

Efnisgæðaritið – Kafli 1: Formáli

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406/1 Efnisgæðaritið	6	Október 2024	21
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 1: Formáli			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli (október 2024)
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

1 Formáli

Markmið þessa rits er að leiðbeina um val á efnum til vegagerðar, um eftirlit með framleiðslu steinefna og notkun þeirra í vegum og öðrum mannvirkjum, sem eru í umsjá Vegagerðarinnar. Fjallað er um efni í mismunandi lög veghlotsins og í steinsteypu. Í ritinu eru innleiddir Evrópustaðlar sem við eiga í vegagerð og íslenskir fylgistaðlar þeirra, ÍST 75 um framleiðslu á malbiki og ÍST 76 um framleiðslu á steinefnum. Við samningu og reglubundna endurskoðun á ritinu er tekið mið af niðurstöðum rannsókna á sviði vegagerðar. Einnig er tekið mið af verklýsingum á Norðurlöndunum og víðar. Ekki er í ritinu fjallað sérstaklega um rofvarnargrjót enn sem komið er, en til stendur að gefa út nýjan kafla 9 um rofvarnargrjót fljótlega. Þess má einnig geta að það sem áður var viðauki 10 í Efnisgæðaritinu um berggreiningu, hefur nú verið gert að sérstöku leiðbeiningariti sem vitnað er til í köflum Efnisgæðaritsins eftir þörfum. Ekki er fjallað beint um burðarþolshönnun eða hvernig hún byggir á efniseiginleikum mismunandi efna í veghlotinu, en leiðbeiningar um burðarþolshönnun er að finna í öðru riti Vegagerðarinnar.

Skipuð var nefnd hjá Vegagerðinni í júní 2001 til að hafa umsjón með útgáfu Efnisgæðaritsins, en í henni sátu Jón Helgason, Rögnvaldur Gunnarsson og Gunnar Bjarnason. Kristján Kristjánsson kom inn í nefndina árið 2006. Pétur Pétursson hefur starfað með nefndinni frá upphafi og Þórir Ingason starfaði með nefndinni til ársins 2007. Ásbjörn Jóhannesson vann tímabundið með nefndinni að kafla 6 um malbiksslitlag. Völundur Jónsson veitti góðfúslegt leyfi til að stuðst yrði við óbirt kennslugögn, sem hann hefur samið um steinsteypu, við skrif á kafla 7.

Nefndin hefur ekki haldið fundi síðan 2007 og hafa Gunnar Bjarnason og Pétur Pétursson haft umsjón með útgáfu Efnisgæðaritsins frá þeim tíma til ársins 2021. Gunnar lét af störfum um áramótin 2020/2021 og hefur forstöðumaður Stoðdeildar tekið við ritstjórninni.

Rit þetta er sett fram sem stuðningsrit við verklýsingu fyrir útboðslýsingu með nokkuð ýtarlegum leiðbeiningum um þætti er varða efnisrannsóknir við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Kröfur sem settar eru fram í útboðslýsingum eru í samræmi við leiðbeiningar Efnisgæðaritsins og eru yfirleitt teknar beint upp úr því. Í Verklýsingu fyrir útboðslýsingu er ekki leiðbeinandi texti varðandi efnisrannsóknir, heldur eru einungis settar fram lágmarkskröfur um þær efnisrannsóknir sem verktaki ber ábyrgð á. Upplýsingar um auknar efnisrannsóknir sækja veghönnuðir hins vegar í Efnisgæðaritið og setja kröfur um þær fram í sérverklýsingu.

Þar sem Ísland er aðili að evrópska efnahagssvæðinu (EES) gilda Evrópustaðlar fyrir prófanir og framleiðslu steinefna og vegagerðarefna hér á landi. Þessar leiðbeiningar eru því í samræmi við ákvæði staðlanna, en Gunnar og Pétur hafa tekið virkan þátt í störfum nefnda TC154 (steinefni) og TC227 (vegagerðarefni) um langt skeið. Ýmsar breytingar hafa orðið á bæði prófunar- og framleiðslustöðlum þessara nefnda við endurskoðanir þeirra og hafa slíkar breytingar skilað sér í Efnisgæðaritið jafn óðum.

Efnisgæðaritinu er ætlað að koma að góðum notum fyrir alla þá sem vinna að vega- og brúargerð. Fjallað er um hvert lag vegarins í aðskildum köflum og með þeim hætti að hver kafli geti verið

sjálfstæð handbók um efnisrannsóknir og efniskröfur fyrir viðkomandi lag vegarins og steypt mannvirki. Uppbygging kafla 3 til 7 um einstök lög vegarins auk steinsteypu, eru með sama hætti þannig að fyrst er almenn umfjöllun, en síðan er fjallað um rannsóknir, prófanir og mælingar á hinum ýmsu stigum frá hönnun til framleiðslu og framkvæmda. Settar eru fram efniskröfur í hverjum kafla, þ.e.a.s. fyrir hvert lag vegar, en framsetning þeirra tekur meðal annars mið af kröfuflokkum í evrópskum framleiðslustöðlum fyrir steinefni. Gerðar eru mismiklar kröfur eftir umferðarálagi.

Rétt er að geta þess að ákveðið á sínum tíma að nota orðið *veghlot* yfir það sem oft er nefnt vegbygging eða veguppbygging, en það er í samræmi við tillögur Vegorðanefndar. Þá var ákveðið að nota orðið styrktarlag yfir það sem áður hafði verið nefnt neðra burðarlag hérlendis og efra burðarlag er hér nefnt burðarlag. Er það gert að norskri fyrirmynd, þar sem þessi lög eru nefnd "forsterkningslag" og "bærelag". Öll umfjöllun um styrktarlag og burðarlag verður þjálli þegar þessi heiti eru notuð.

Gefið hefur verið út vefrit með orðasafni þar sem eru skilgreind og útskýrð öll helstu hugtök sem notuð eru í vegagerð. Vegorðasafnið er gagnagrunnur í gagnvirkri vefútgáfu á slóðinni: https://vegordasafn.vegagerdin.is/ og er einnig að finna á vefslóðinni: http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/vegordasafn/ á vef Vegagerðarinnar. Í Íðorðabankanum, https://idordabanki.arnastofnun.is/ er hægt að leita að skilgreiningum íðorða í fjölmörgum orðasöfnum og þar á meðal Vegorðasafninu. Einnig má nefna að á vefslóðinni: http://namur.vegagerdin.is/ eru allar námur landsins birtar á korti og loftmynd. Þar er hægt að fá upplýsingar um niðurstöður rannsókna í hverri námu fyrir sig. Á vefslóðinni www.namur.is er ýtarleg umfjöllun um lög og reglur sem gilda við undirbúning verka með sérstakri áherslu á námuvinnslu. Þar eru einnig leiðbeiningar um það hvernig skuli standa að landmótun og uppgræðslu námusvæða og vegsvæða.

Í kafla 2 er m.a. fjallað almennt um veghlotið og hvernig og hvers vegna því er skipt upp í lög. Einnig er þar sagt frá efnisnotkun í vegagerð, vali á efnisnámum og Evrópustöðlum á sviði steinefna (CEN tækninefnd TC154) og stöðlum fyrir malbik og klæðingu (CEN tækninefnd TC227). Einnig er þar fjallað um íslenska fylgistaðla fyrir framleiðslu á steinefnum til mismunandi nota og algengustu malbiksgerðum sem notaðar eru hérlendis. Í köflum 3 – 6 er umfjöllun um lög vegarins og er farið upp á við gegnum veghlotið, um fyllingu, styrktarlag, burðarlag og upp í slitlag. Í kafla 7 er fjallað um efnisþætti og kröfur til steinsteypu og í kafla 8 er fjallað um sand til mismunandi nota, til dæmis í vegagerð.

Í viðaukum eru ýmsar upplýsingar og fróðleikur. Þar á meðal eru lýsingar á hinum ýmsu prófunaraðferðum fyrir vegagerðarefni í viðauka 1, en auk þess viðaukar um sýnatöku, efnisgerðir, jarðmyndanir, vinnsluaðferðir og fleira. Þá er tekið á framleiðslueftirliti, frávikskröfum, orðskýringum og einnig birt ýtarefni um malbik. Í viðauka 7 er orðalisti með samtals 960 völdum orðum og orðasamböndum úr Vegorðasafninu sem geta komið að gagni við lestur Efnisgæðaritsins. Öll orðin varða efni ritsins en koma ekki öll fyrir í ritinu. Í Vegorðasafninu eru nú um 2500 íðorð með skilgreiningum og skýringum sem Vegorðanefnd hefur samþykkt. Í viðauka 8 má finna ýtarefni um malbik almennt og viðauki 9 fjallar um niðurstöður steinefnarannsókna Vegagerðarinnar og þær bornar saman við kröfur.

Í leiðbeiningaritinu er efnisgerðum sem notaðar eru í vegagerð skipt í þrjá flokka, set, berg og endurunnið efni. Hver þessara flokka getur svo skipst frekar eftir jarðmyndunum og vinnsluaðferð.

Endurunnin efni eru mikið notuð í vegagerð í Evrópu en hafa til þessa lítið verið notuð hér á landi, en notkun slíkra efna hefur aukist á síðustu árum. Sem dæmi um endurunnið efni hér á landi má nefna að malbiksfræs er malað og flokkað í malbikskurl sem er blandað í vissum hlutföllum í nýtt malbik eða notað sem kaldblandað 100% endurunnið, til dæmis í efsta hluta burðarlags til að auka stífni þess. Einnig má nefna endurvinnslu malbiks á staðnum (e. repave).



Efnisgæðaritið – Kafli 2: Inngangur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406/2 Efnisgæðaritið	14	Október 2024	21
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 2: Inngangur			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur (október 2024)
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

Efnisyfirlit

Lykilsíða 2
2 Inngangur 5
2.1 Uppbygging veghlots 7
2.2 Steinefnanotkun í vegagerð 11
2.3 Val á efnistökustöðum 11
2.4 Evrópustaðlar og íslenskir fylgistaðlar 12

2 Inngangur

Í þessum kafla er gerð grein fyrir því hvernig vegir eru byggðir upp í lögum sem hafa hvert sínu hlutverki að gegna í veghlotinu og ástæður þess að gera þarf mismunandi kröfur, m.a. til steinefna í hverju lagi. Einnig er í stuttu máli fjallað um efnisnotkun í vegagerð hér á landi, hvað helst þurfi að hafa í huga við val á efnum. Fjallað er um Evrópustaðla fyrir steinefni (e. Aggregates) og vegagerðarefni (e. Road Materials) og innleiðingu staðlanna hér á landi. Sagt er frá íslenskum fylgistöðlum um framleiðslu steinefna og malbiks. Í kafla 2.5 er umfjöllun um gæðastýringu og eftirlit með framkvæmdum.

Í köflum 3 til 6 er fjallað nánar um hvert lag vegarins. Þar er ýtarleg umfjöllun um það hvernig staðið skuli að efnisrannsóknum við hönnun, framleiðslu og framkvæmdir og um kröfur sem gerðar eru til vegagerðarefna. Í kafla 7 er fjallað um steinsteypu og alla efnisþætti hennar þ.e. vatn, sement, íblendi, íauka og steinefni í steinsteypu. Í viðaukum er m.a. ýtarefni um steinefni til vegagerðar, vinnslu þeirra, sýnatöku og prófunaraðferðir. Í viðauka 4 er umfjöllun um gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur. Einnig er birt yfirgripsmikið orðasafn í viðauka 7 og ýtarefni um malbik í viðauka 8. Vakin er athygli á viðauka 9 en í honum er gerður samanburður á prófunarniðurstöðum og kröfum. Í sérstöku leiðbeiningariti, LEI-3410, er fjallað um berggreiningu og gæðaflokkun steinefna (sem áður var viðauki 10).

Kröfur sem settar eru fram í köflum 3 til 6 miðast annars vegar við meðalumferð ársins á dag (ÁDU, ársdagsumferð) og hins vegar meðalumferð þungra bíla yfir allt árið á dag ($ÁDU_{Þ}$, árdagsumferð þungra bíla). Fjöldi bíla miðast við tveggja akreina veg og þungir bílar teljast vera bílar með heildarþyngd > 3,5 tonn. Kröfur til fyllinga, styrktarlags og óbundins burðarlags miðast við meðalumferð þungra bíla á dag. Ástæðan er sú að þungir bílar eru ráðandi varðandi álag og niðurbrot í þessum lögum. Í því sambandi má benda á þá þumalfingursreglu að niðurbrot í óbundnu burðarlagi getur til dæmis verið 10 þúsund sinnum meira af völdum þungs bíls en fólksbíls ef þyngdarmunur á bílunum er tífaldur[1]. Það er álitamál hvort rétt sé að miða við þunga bíla > 3,5 tonn þar sem þyngri bílar valda mun meira niðurbroti og veldur 10 tonna bíll t.d. um 70 földu niðurbroti miðað við 3,5 tonna bíl. Ástæðan fyrir þessari ákvörðun er sú að það er venjan hér á landi við talningu bíla að miða við að mörkin séu við 3,5 tonn. Kröfur til slitlaga miðast hins vegar við meðalumferð allra bíla á dag yfir allt árið, enda ræður slit af völdum nagladekkja miklu um endingu slitlaga ef umferð er mikil. Þungur bíll á nagladekkjum er reyndar talinn slíta slitlagi fimm til tífalt meira en fólksbíll, en á móti kemur að hlutfall fólksbíla getur verið um og yfir 90% á umferðarmestu vegunum.
Það er á valdi veghönnuðar hvaða kröfur til steinefna hann velur að gera hverju sinni. Þó er mikilvægt að rökstyðja slíka ákvörðun vel ef valið er að slaka á kröfum miðað við kröfur Efnisgæðaritsins. Kröfur Efnisgæðaritsins eru leiðbeinandi og miðast við að byggður verði traustur

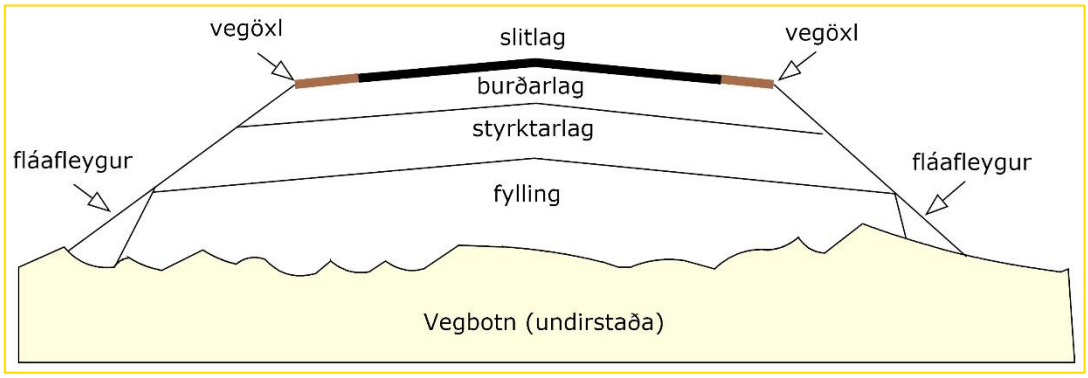
[1] AASHO (*American Association of State Highway Officials) Road Test 1961 setti þessar niðurstöður fram á grundvelli yfirgripsmikilla álagsmælinga á tilraunaköflum sem svokallaða fjórða veldis reglu til að lýsa áhrifum misþungra bíla á niðurbrot óbundins burðarlags (þyngd þungs bíls/þyngd fólksbíls) í fjórða veldi. Til dæmis (10 tonn/1 tonn)^4 = 10.000 sinnum meira niðurbrot.*

vegur með langan líftíma. Önnur sjónarmið geta komið til álita svo sem að stytta hannaðan líftíma vegarins og að kostnaður sé of mikill við að framleiða steinefni sem standast allar kröfur á viðkomandi svæði. Einnig ber að nefna sérstaklega að kröfur um styrk steinefna í óbundið burðarlag miðast við að bundna slitlagið verði þunn klæðing. Ef fyrirhugað er að leggja burðarlagsmalbik ofan á óbundið burðarlag og síðan slitlagsmalbik kemur til greina að draga úr kröfum til styrks steinefna í óbundna burðarlaginu (LA gildi). Ástæðan er sú að spennur (álag) frá umferð ökutækja minnka hratt með auknu dýpi í veghlotinu og þar með minnkar niðurbrot steinefna í óbundna burðarlaginu. Einnig kemur til álita að draga úr kröfum fyrir styrk steinefna í burðarlag ef fyrirhugað er að styrkja það með sementi eða biki. Einnig má nefna að til greina kemur að gera minni kröfur til neðri hluta burðarlags en efri hluta. Kröfur til steinefna í óbundið burðarlag miðast við heildarfjölda þungra bíla á tveggja akreina vegi. Ef akreinar eru fleiri en ein í hvora átt kemur til greina að taka tillit til að álag dreifist mismunandi milli akreina og draga þar með úr kröfum til berggæða steinefna. Þó verður ávallt að tryggja að umferðarmestu vegir landsins hafi mjög gott burðarþol og að vegyfirborð þeirra haldi góðum sléttleika allan líftíma vegarins.

Kröfur um slitþol steypu í slitlag á vegi og brýr fara eftir umferðarálagi (ÁDU) en kröfur til annarrar steypu eru mismiklar eftir því hversu miklu áreiti frá umhverfinu steypan mun verða fyrir.

2.1 Uppbygging veghlots

Hefðbundinn vegur skiptist í undirbyggingu og yfirbyggingu, sem saman er nefnt veghlot. Undirbyggingin er vegbotn og fylling. Yfirbyggingin er gerð úr styrktarlagi, burðarlagi og slitlagi. Á mynd 2-1 er yfirlit yfir helstu heiti byggingarhluta veghlots, eins og þau eru notuð í þessu riti.



Mynd 2-1:
Heiti byggingarhluta í veghloti (teikning ekki í réttum mælikvarða)

Ástæðan fyrir lagskiptingu vega er sú að gera þarf mismunandi kröfur til efnisgæða eftir staðsetningu lags í veghlotinu. Kröfurnar eru mestar efst, þar sem spennur eru stærstar og áraun mest, en minnka samhliða lækkandi spennum og áraun þegar neðar dregur. Einnig þarf að hafa í huga að lag sem er ofan við áætlað frostdýpi sé ónæmt fyrir áhrifum frostþenslu. Í reynd er það þó oftast látið nægja hér á landi utan þéttbýlis að óbundið burðarlag og styrktalag séu úr efni sem er ónæmt fyrir frostáhrifum, þó frostdýpi sé meira en sem nemur þykkt þessara laga. Í þéttbýli er hins vegar algengt að byggja götur úr frostfríu efni niður fyrir frostdýpi. Slitlag myndar slétt yfirborð sem þarf meðal annars að hafa gott slitþol og veðrunarþol.

→ Neðsti hluti veghlots er **fylling**. Hún er oft gerð úr þeim efnum sem fyrir eru í vegstæðinu eða næsta nágrenni þess og/eða úr efni sem flutt er að úr námum. Efni sem nota á í fyllingu á að flokka í frost- og burðarþolsflokka samkvæmt norskum reglum og eru þeir ráðandi um þykktir þeirra laga sem koma ofan á. Fyllingin jafnar vegbotninn og undirbyggingin fær þannig rétta hæð áður en yfirbyggingin er sett á. Fyllingin má vera með brattari fláa en styrktarlag og burðarlag (allt að 1:1,25) og er þá settur utan á hana **fláafleygur**, sem hefur minni halla. Vegna öryggissjónarmiða er nú í vaxandi mæli gerð krafa um flatann fláa (fláafleyg) og skal hann á nýbyggingum vera að lágmarki 1:3 og helst 1:4. Mikilvægt er að tryggja að fláafleygurinn hindri ekki afvötnun vegarins og því er hann ekki látinn ná nema upp að neðri brún styrktarlags. Undirbyggingin (fyllingin og undirliggjandi vegbotn) þarf að geta borið yfirbygginguna og álag vegna umferðar án verulegra formbreytinga. Einnig er rétt að hafa í huga að fyllingin þarf að geta borið álag vinnuumferðar. Fyllingu þarf að þjappa vel og yfirborðið skal vera nægilega þétt og með halla til að tryggja að vatn geti runnið af því.

→ Ofan á fyllinguna kemur **styrktarlag**. Við uppbyggingu veghlots er mikilvægt að ekki sé of mikill munur á burðarþoli mismunandi laga, en það á að aukast jafnt og þétt upp á við. Því eru gerðar meiri kröfur til efnis í styrktarlagi en í fyllingu en minni en í burðarlagi. Hlutverk styrktarlagsins er, með burðarlaginu, að dreifa umferðarálaginu á undirbygginguna þannig að ekki komi fram formbreytingar á slitlaginu. Styrktarlagið þarf að hafa þann eiginleika að geta leitt vatn burt úr veghlotinu. Einnig þarf styrktarlag að standast kröfur um berggæði og styrk steinefna og vera

ónæmt fyrir frostáhrifum. Styrktarlagi er oft skipt upp í tvo hluta, efra- og neðra styrktarlag, þar sem meiri kröfur eru gerðar til efnis í efri hlutanum, en til neðri hluta styrktarlags eru fyrst og fremst gerðar kröfur um að efnið sé ekki næmt fyrir frostáhrifum auk kröfu um kornadreifingu þess.

→ **Burðarlag** er næsta lag undir **slitlagi**. Gerðar eru meiri kröfur til efnis í óbundnu burðarlagi en í styrktarlagi. Burðarlagið tekur við álagi af umferðinni og dreifir því niður í styrktarlagið, og þau saman niður í fyllinguna. Hlutverk burðarlagsins er að koma í veg fyrir formbreytingar í slitlaginu. Það þarf því að vera stíft og stöðugt, en jafnframt að hafa lektareiginleika þannig að ekki safnist í það vatn. Steinefnið í burðarlagi þarf að hafa ákveðinn styrk vegna aflrænnar áraunar sem það verður fyrir og einnig að vera ónæmt fyrir frostáhrifum. Óbundið burðarlag er gjarnan lagt í tveimur lögum, þar sem efni í neðri hluta þess getur verið grófara en efnið í efri hlutanum. Gerðar eru ákveðnar kröfur um kornadreifingu efna í þessum lögum, sem meðal annars taka tillit til þess að efni má ekki vera of gróft né of fínt miðað við þykkt lagsins og einnig er grófleikinn háður gerð slitlags sem kemur ofan á. Efri hluta burðarlagsins er hægt að binda, annað hvort með sementi eða biki. Á undanförnum árum hefur færst í vöxt að nota malbikskurl sem unnið er úr malbiksfræsi í efsta hluta burðarlags. Þetta á sérstaklega við þar sem um nýbyggingu veghlots er að ræða og notað er slitlagsmalbik undir mikla og þunga umferð í efsta lagið. Þessu nýja, efsta burðarlagi hafa ekki verið gerð skil í Efnisgæðaritinu hingað til, en ákveðið hefur verið að tímabært sé nú að setja fram ákveðnar kröfur til þessarar gerðar burðarlags undir malbik. Í raun má útbúa kaldblandaða 100% endurunna malbiksblöndu í malbikunarstöð og leggja út á nokkuð hefðbundinn hátt til nota í þetta bikbundna burðarlag. Um þetta lag er nánar fjallað í kafla 5.1 um burðarlag og einnig eru settar fram ákveðnar kröfur til þessa bikbundna burðarlags í kafla 5.5.

→ **Slitlagið** er efsta lag veghlotsins. Hlutverk þess er að skapa jafnt og slétt ökusvæði, m.a. þarf að vera tryggt að nægilegt viðnám sé á milli dekkja og slitlags til að hindra að ökutæki renni til á veginum. Slitlagið þarf að þola áraun frá umferðinni, s.s. slit og núningsáhrif frá dekkjum ekki síst nagladekkjum. Það þarf að þola veðrun svo sem frost/þíðu-áraun og vera þétt og hindra sem mest að vatn komist niður í undirliggjandi lög. Slitlög geta verið bundin eða óbundin. Malarslitlög teljast óbundin, þótt til dæmis kalsíumklóríð sé oft notað til að rykbinda þau. Bundin slitlög geta verið annað hvort steypt eða bikbundin. Malbik og klæðingar teljast til bikbundinna slitlaga. Fyrir þessar síðastnefndu gerðir þarf að vera tryggt að viðloðun sé nægileg milli steinefna og bindiefna því annars er hætta á að göt komi á slitlagskápuna þegar steinar losna úr henni.

→ **Vegaxlir**[2] eru utan við slitlagsbrúnir. Æskilegt er að efnið í þeim hafi sem mest af eiginleikum slitlags og hefur því færst í vöxt á undanförnum árum að bikbinda axlir vega, sem lagðir eru bundnu slitlagi.

→ **Síukröfur** Milli laga veghlotsins, kann að vera nauðsynlegt að koma fyrir síulagi. Á það við þegar hætta er á að fínna efni úr einu lagi gangi inn í grófari efni í næsta lagi fyrir ofan eða neðan. Í stað síuefna, má einnig nota síudúka í sama tilgangi, en aðlaga skal hann aðstæðum á hverjum stað. Ekki er fjallað um síuefni annars staðar í þessu riti enda eru síukröfur þær sömu fyrir öll lög veghlotsins. Krafa er um að > 50% af síuefni skuli vera > 2 mm og krafa til fínefnamagns (< 0,063 mm) er sú

[2] Vegöxl er einnig nefnd vegræma sem er safnheiti fyrir rönd við hlið akbrautar, sem stundum er akfær. Vegræmur eru hliðræma, kantræma, neyðarræma, miðræma og öryggisræma, sbr. https://vegordasafn.vegagerdin.is.

sama og til styrktarlagsefnis. Einnig er gerð krafa um að mesta steinastærð síulags skuli vera minni en hálf lagþykkt og að síulagið sé að minnsta kosti 150 mm þykkt.
Ef tryggja á að frostlyftingar verði ekki í veginum getur þurft að bæta við frostvarnarlagi (n. frostsikringslag) milli fyllingar og styrktarlags. Einnig getur verið þörf á jöfnunarlagi (n. avrettingslag) milli laga veghlotsins. Í þessu riti er ekki fjallað sérstaklega um þessi lög, en frostvarnarlag skal að lágmarki uppfylla kröfur til neðri hluta styrktarlags og jöfnunarlag skal uppfylla kröfur til næsta lags ofan við lagið sem verið er að jafna.

Þegar lagt er mat á það hvort þörf sé á síulagi eru síukröfur reiknaðar fyrir hver þau tvö samliggjandi lög sem hugsanlega þarf að skilja að með síulagi. Útreikningunum er lýst hér á eftir með dæmum. Hins vegar er almennt ekki þörf fyrir sérstakt síulag ef þess er gætt að hæfilegur munur sé á kornadreifingu samliggjandi laga í veghlotinu. Gerð síuefnis ákvarðast af kornadreifingu í þeim efnum sem það á að skilja að, samanber töflu 2-1 a). Í töflunni stendur „S“ fyrir smágerðara efnið en „G“ stendur fyrir það grófara. Enn fremur táknar dxx möskvastærð í sigti sem xx% af efninu smjúga. Að öðru leyti skal síuefnið uppfylla sömu kröfur og efnin sem það er síuefni fyrir.

Tafla 2-1 a):
Síukröfur fyrir allar vegtegundir og lög veghlotsins

Stærðahlutfall Grófara (G) / Smágerðara (S)	**Kröfur**
d_{15G}/d_{85S}	≤ 5
d_{50G}/d_{50S}	≤ 25

Til dæmis getur smágerðara efnið (S) verið fyllingarefni og grófara efnið (G) verið styrktarlagsefni. Þegar reiknað er hlutfallið d_{15G}/d_{85S} táknar d_{15G} þá sigtastærð (mm) sem 15% styrktarlagsefnisins smýgur í gegnum og d_{85S} táknar þá sigtastærð sem 85% af fyllingarefninu smýgur í gegnum. Þetta hlutfall skal vera ≤ 5 sbr. töflu 2-1 a). Ef hlutfallið er hærra, þarf að skjóta inn síulagi á milli þessara tveggja laga. Með sama hætti er reiknað hlutfallið d_{50G}/d_{50S}. Þessu getur líka verið öfugt farið þannig að smágerðara lagið sé ofan á því grófara, t. d. smágert styrktarlagsefni ofan á grófu fyllingarefni. Ef valið er að setja síulag á milli laga í veghlotinu þarf að gæta þess að síukröfur séu uppfylltar bæði gagnvart undirliggjandi lagi og því lagi sem byggt er ofan á síulagið. Mikilvægt er að gæta þess að síukröfur séu uppfylltar milli styrktarlags og fyllingar og styrktarlags og vegbotns t.d. til að tryggt sé að fínefni blandist ekki inn í styrktarlagið. Til að tryggja að síulag sem byggt er ofan á vegbotn eða fyllingu afvatnist mun betur en efnið sem það er lagt ofan á skal kanna hvort krafan í töflu 2-1 b) sé uppfyllt. Hlutfallið $d_{15\ síulag}/d_{15\ vegbotn/fylling}$ er þá reiknað á sambærilegan hátt og lýst er hér að ofan.

Tafla 2-1 b):
Viðmiðunarregla um afvötnunareiginleika síulags

Stærðahlutfall síulag / vegbotn eða fylling	Kröfur
$d_{15,\ síulag}/d_{15,\ vegbotn/fylling}$	≥ 5

Nokkra hugmynd má fá um heppilegt síulag með því að reikna út svokallaða markapunkta fyrir sáldurferil síulagsins út frá síukröfunum og sáldurferlum laganna sem síulagið á að skilja að. Með því að nota skilyrðin sem eru sett fram í töflum 2-1 a) og 2-1 b) má finna markapunkta eða hlið sem sáldurferill síulagsins þarf að þræða til að síukröfurnar séu uppfylltar og ef síulag er lagt á vegbotn eða fyllingu að afvötnunareigileikar síulagsins séu fullnægjandi.

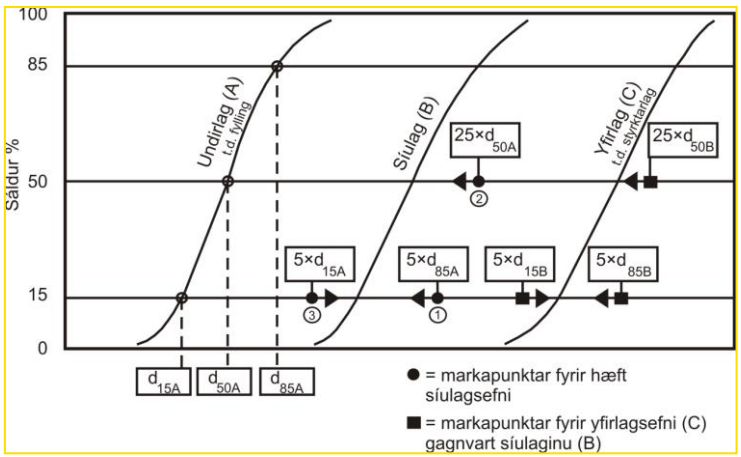
Fyrsta síukrafan segir að d_{15} fyrir síulagið (B) skuli mest vera $5\times d_{85}$ fyrir undirlagið (A). Markapunkturinn $5\times d_{85}$ er merktur 1 á mynd 2-2 og sáldurferill síulagsins verður að koma vinstra megin við hann.

Önnur síukrafan segir að d_{50} fyrir síulagið (B) skuli mest vera $25\times d_{50}$ fyrir undirlagið (A). Markapunkturinn $25\times d_{50}$ er merktur 2 á mynd 2-2 og sáldurferill síulagsins verður líka að koma vinstra megin við hann.

Þriðja krafan, sem tryggir hlutfallslega afvötnunareiginleika síulags, segir að d_{15} fyrir síulagið (B) skuli vera minnst $5\times d_{15}$ fyrir undirlagið (A). Markapunkturinn $5\times d_{15}$ er merktur 3 á mynd 2-2 og sáldurferill síulagsins verður að koma hægra megin við hann. Sáldurferill síulagsins á sem sé að fara um hliðið sem markast af markapunktunum 1 og 3 og á auk þess að liggja vinstra megin við markapunktinn sem er merktur 2.

Samsvarandi reikninga (þ.e. fyrstu og aðra síukröfu) er rétt að gera fyrir síulagið og yfirlagið (C) til að ganga úr skugga um að yfirlagið uppfylli síukröfur gagnvart síulaginu.

Ekki er raunhæft að draga markalínur milli markapunkta vegna þess að ef t.d. síulagið er fært til hægri að markapunktum $5\times d_{85A}$ og $25\times d_{50A}$ þá er óvíst að yfirlagið sé enn innan markapunkta og þarf því að reikna fyrir hvert einstakt tilvik.

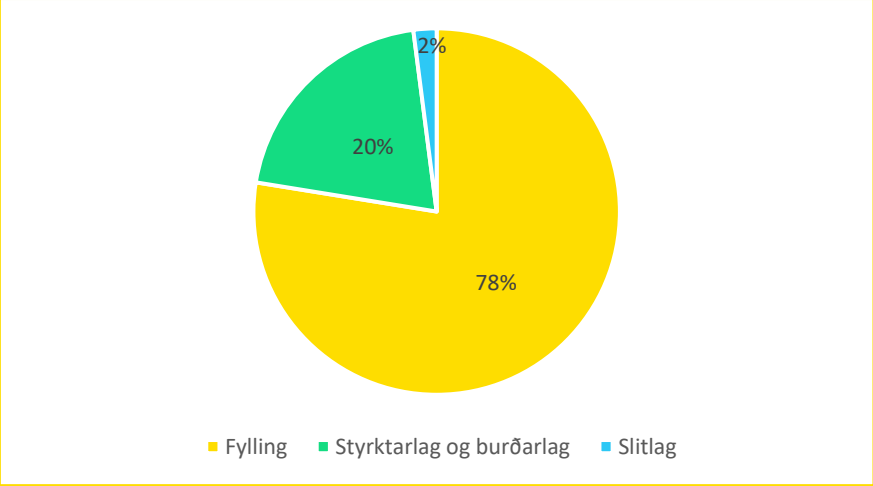


Mynd 2-2:
Markapunktar reiknaðir út frá síukröfum

2.2 Steinefnanotkun í vegagerð

Um 60% af steinefnisnotkuninni í landinu er til vegagerðar sem er svipað hlutfall og annarsstaðar á Norðurlöndum. Heildarefnisnotkun á Íslandi er hins vegar margföld á við önnur Evrópulönd mæld í tonnum á íbúa, enda hefur uppbygging hér á landi verið mjög hröð bæði í vegagerð og á öðrum sviðum mannvirkjagerðar. Líklegt er að þróunin á næstu áratugum verði sú að heildarefnisnotkun í vegagerð muni minnka en að hlutfallslegt magn gæðaefna í efri lög vegarins muni vaxa. Þetta stafar af því að efnisnotkun til viðhalds á efri lögum veganna mun fara vaxandi hlutfallslega miðað við efni til nýbygginga. Vinnsla á bergi hefur farið vaxandi á undanförnum árum, en á árinu 2008 var slík vinnsla um 35% af heildinni en hefur vaxið jafnt og þétt með tímanum. Til samanburðar má miða við að vinnsla bergs geti verið um 50% af heildarefnisnotkun á Norðurlöndunum og í sumum Evrópulöndum eru allt að 90% af steinefnum til mannvirkjagerðar unnin úr bergi.

Til að gefa hugmynd um efnisnotkun í vegagerð, má taka árið 2008 sem dæmi, sjá mynd 2-3. Þá var efnisnotkun til vegagerðar samtals tæplega 5 milljón rúmmetrar (m^3), þar af liðlega 3,8 milljón m^3 í fyllingar, liðlega 1 milljón m^3 í óbundin styrktar- og burðarlög og um 0,1 milljón m^3 í slitlög. Þó ber að hafa í huga að þessi hlutföll á notkun steinefna til vegagerðar geta verið breytileg með tíma. Sérstaklega á það við að stór nýbyggingarverkefni, jarðgangagerð og fleira geta breytt notkunarhlutföllum og ekki síður heildarmagni steinefnanotkunar meðan á þeim stendur.



Mynd 2-3:
Skipting efnisnotkunar í vegagerð árið 2008

2.3 Val á efnistökustöðum

Nálægt markaðssvæðum við þéttbýli eru verk yfirleitt boðin út með þeim hætti að verktaka er ætlað að útvega steinefni til verksins. Verktaki kaupir þá efnið af steinefnaframleiðendum sem starfrækja námuvinnslu á svæðinu. Hér á landi hefur hins vegar verið algengt utan þéttbýlissvæða að Vegagerðin leiti að og rannsaki jarðmyndanir sem eru vænlegar sem efnistökusvæði og semji við landeigendur um leyfi til efnistöku fyrir viðkomandi verk. Í útboðsgögnum er þá gerð grein fyrir efnistökustöðum þar sem verktaka er ætlað að taka efni til verksins. Efnisgerðum og jarðmyndunum er lýst í viðaukum 2 og 3.

Yfirgripsmikil skýrsla um efnisvinnslu hefur verið gefin út[3] og einnig handbók um sama efni sem var gefin út í febrúar 2018[4].

Við val á efnistökustöðum er mikilvægt að styðjast við rannsóknir á steinefnum til að tryggja að efni sem eru valin séu hæf til vegagerðar. Einnig er mikilvægt að bera saman mismunandi valkosti, bæði með tilliti til efnisgæða og kostnaðar við vinnslu og flutning efnisins. Magn efnisins, efniskröfur, og vinnslu- og flutningskostnaður eru vegin saman í slíku mati. Kröfur til fyllingarefna eru t.d. almennt litlar en hins vegar er oft um mikið magn að ræða og því er leitast við að lágmarka flutningsvegalengd. Efniskröfur eru meiri til efstu laga veghlotsins en efnismagn tiltölulega lítið og því eru efni í burðarlag og slitlag oft flutt tugi kílómetra frá efnistökustað að vegstæði. Það sama á við um steinefni sem notað er í gæðasteypu og slitlagssteypu, að það er oft flutt langar leiðir. Það getur verið kostnaðarsamt að vinna vegagerðarefni úr bergi, en með slíkri vinnslu fást oft hæfustu efnin í óbunið burðarlag og slitlag og getur því klapparvinnsla verið hagkvæmari en að flytja hæft efni úr setlögum langar leiðir. Efni í hvert lag vegarins eru valin þannig að þau standist kröfur, en mikilvægt er að sólunda ekki gæðaefnum í neðri lög vegarins á svæðum þar sem skortur er á slíkum efnum. Til dæmis ætti ekki að byggja vegfyllingar úr hágæðaefnum, sem geta nýst t.d. sem steypuefni eða sem steinefni í klæðingu eða malbik. Við val á efnistökustað ber að hafa í huga að áraun malarflutninga á vegakerfið er mikil og frá því sjónarmiði er óæskilegt að flytja efni of langa vegalengd. Einnig þarf ávalt að taka tillit til umhverfissjónarmiða þegar efnistökustaðir eru valdir en ýtarlegar upplýsingar um þau mál er að finna á vefsíðunni http://www.namur.is/. Vegagerðin skráir námur á landinu og hægt að sjá staðsetningu námanna ásamt helstu upplýsingum um þær á slóðinni: http://namur.vegagerdin.is/. Með því að smella á námupunkta á korti/loftmynd er hægt að skoða niðurstöður steinefnarannsókna.

2.4 Evrópustaðlar og íslenskir fylgistaðlar

Samhæfðir Evrópustaðlar sem ná yfir prófanir á steinefnum og framleiðslu þeirra tóku gildi 2004. Endurskoðun framleiðslustaðlanna (e. Product Standards) og samræming þeirra og jafnvel samruni 4 framleiðslustaðla í einn staðal er í vinnslu. Líkur eru á að endurskoðaðir framleiðslustaðlar verði gefnir út á árinu 2022 eða 2023. Þessir staðlar eru gefnir út af staðlanefnd CEN/TC154 sem fjallar um steinefni (e. Aggregates). Framleiðslustaðlarnir liggja til grundvallar því hvaða prófanir á efniseiginleikum steinefna til vegagerðar skuli eða megi gera og þar eru settir fram kröfuflokkar fyrir hvern mældan eiginleika. Ísland er aðili að evrópska efnahagssvæðinu (EES) og ber því að fara eftir ákvæðum staðlanna. Yfir 40 prófunaraðferðir hafa nú verið settar fram sem Evrópustaðlar fyrir prófanir á steinefnum og níu framleiðslustaðlar sem fjalla um steinefni til mismunandi nota, svo sem í steinsteypu, malbik og óbundin efni.

Ekki er skylt að nota alla þá prófunarstaðla sem settir eru fram og sumir þeirra miðast við séraðstæður í einstökum löndum. Því er nauðsynlegt að velja úr þá staðla sem byggingariðnaðurinn í hverju landi kemur sér saman um að æskilegt eða nauðsynlegt sé að nota til að tryggja að fullnægjandi upplýsingar liggi fyrir um gæði steinefna til mannvirkjagerðar. Í Efnisgæðaritinu er tekið mið af íslenskum fylgistöðlum með framleiðslustöðlunum þar sem valdar hafa verið þær

[3] Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason 2013: Vinnsla steinefna til vegagerðar - Tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit.

[4] Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason 2018: Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar. Sjá slóð beggja rita: http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/

prófunaraðferðir sem eru taldar henta best íslenskum steinefnum og aðstæðum. Gerð er grein fyrir þeim í einstökum köflum og viðauka 4. Prófunaraðferðum er lýst í viðauka 1.

Framleiðslustaðlar fyrir óbundin steinefni, bikbundin steinefni og steinefni í steinsteypu eru settir fram á samræmdan hátt, en þó eru tilteknar prófunaraðferðir og kröfur þess eðlis að þær henta eingöngu viðkomandi framleiðsluafurð. Í stöðlunum er í sumum tilfellum gefinn kostur á að velja á milli tveggja eða fleiri prófunaraðferða sem mæla sambærilega eiginleika steinefna. Í framleiðslustöðlunum er að finna ákvæði varðandi framsetningu prófunarniðurstaðna á sýnum, t.d. hvað varðar kornadreifingu, lögun, styrk, slitþol, veðrunarþol og efnainnihald þeirra, svo eitthvað sé nefnt. Einnig eru viðaukar í öllum framleiðslustöðlunum (e. Annex ZA) með lýsingu á því hvernig standa skuli að gæðayfirlýsingu (e. Declaration of Performance, DoP).

Í framleiðslustöðlum fyrir steinefni er fjallað um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit sem ber að viðhafa og er grundvöllur CE merkingar framleidds steinefnis.

Margar aðildarþjóðir hafa skrifað fylgistaðla (e. National Annex eða National Document), til þess að innleiðing Evrópustaðla á steinefnasviðinu gangi hnökralaust fyrir sig. Slíkur fylgistaðall, ÍST 76, er gefinn út af Staðlaráði Íslands og tók fyrst gildi hérlendis árið 2013. Fylgistaðallinn verður gefinn út í endurskoðaðri útgáfu þegar endurskoðaðir framleiðslustaðlar verða gefnir út. Fylgistaðallinn er með framleiðslustöðlunum ÍST EN 12620 Steinefni í steinsteypu, ÍST EN 13043 Steinefni í malbik og klæðingar á vegi, flugvelli og önnur umferðarsvæði og ÍST EN 13242 Steinefni í mannvirki og vegagerð, notuð óbundin eða bundin með vatnshverfum efnum. Í fylgistaðli ÍST 76 eru sett fram ákvæði um prófanir, tíðni prófana og gæðastöðugleika (e. Constancy of Performance) vegna framleiðslu steinefna. Í fylgistaðlinum felst samkomulag milli framleiðenda og kaupenda steinefna svo og prófanastofa, t.d. hvað varðar val á prófunaraðferðum sem nota skal til mælinga á eiginleikum steinefna til mismunandi nota. Fylgistaðallinn tekur afdráttarlausa afstöðu til prófunaraðferða og eftirlitskerfa (e. AVCP). Þar kemur fram að eftirlit með framleiðslu skuli vera einungis á hendi framleiðanda steinefnis (eftirlitskerfi AVCP 4) við framleiðslu á steinefni til óbundinna nota (ÍST EN 13242), en að tilnefndur aðili (e. Notified Body) skuli staðfesta gerðarpróf og eftirlit framleiðanda (eftirlitskerfi AVCP 2+) við framleiðslu steinefnis í steinsteypu (ÍST EN 12620) og við framleiðslu steinefnis til bikbundinna nota (ÍST EN 13043). Á grundvelli yfirlýsingar framleiðanda um eiginleika steinefna, sbr. ÍST 76, getur framleiðandi CE-merkt sína framleiðslu. Meginefni fylgistaðals um framleiðslu steinefna er birt í viðauka 4.

Í lok árs 2013 kom upp sú staða að nýjustu útgáfur framleiðslustaðla ÍST EN 12620, ÍST EN 13043, ÍST EN 13139, ÍST EN 13242, ÍST EN 13383-1 og ÍST EN 13450 undir staðlanefnd CEN TC 154 voru dregnar til baka af tæknilegum ástæðum. Eldri útgáfur hafa tekið gildi á meðan unnið er að nýrri útgáfu sameinaðs staðals. Að mestu var um að ræða ritstjórnarleg atriði (e. editorial), en að sama skapi hefur þessi vinna leitt til ákveðinnar samræmingar milli staðlanna. Formlegri atkvæðagreiðslu um nýja útgáfu staðlanna lauk í ágúst 2018 og voru staðlarnir samþykktir af öllum aðildarþjóðunum. Hins vegar krafðist ráðgjafastofa (HAS consultants) fjölmargra breytinga á stöðlunum sem mun seinka enn útgáfunni. Reiknað er með að sameinuð útgáfa flestra ofangreindra staðla (ÍST EN 12620, 13043, 13139 og 13242) muni koma út á árinu 2025 eða síðar að undangengnu CEN Enquiry og Formal Vote. Nýju staðladrögin hafa fengið númerið ÍST EN 17555-1 (e. Aggregates for constuction works Part 1-Characteristics). Í Efnisgæðaritinu er enn tekið mið af þeim staðaldrögum sem samþykkt voru af aðildarþjóðunum í formlegri atkvæðagreiðslu 2018, þótt þeir hafi formlega séð ekki tekið gildi, en eftir formlega útgáfu nýja staðalsins mun að sjálfsögðu verða vísað til hans. Framleiðslustaðlar undir tækninefnd CEN TC 227 (e. Road Materials), sem fjalla um vegagerðarefni m.a. malbik og klæðingu, voru gefnir út á árinu 2016. Sambærileg ritstjórnarleg atriði þarfnast leiðréttingar í þeim stöðlum. Í Efnisgæðaritinu er tekið mið af stöðlunum sem voru gefnir út 2016 en tóku ekki formlega gildi með auglýsingu í OJEU tíðindunum sem er forsenda gildistöku. Endurskoðun fylgistaðlanna ÍST 75 og ÍST 76 mun bíða þar til nýjar útgáfur staðlanna hafa verið gefnar út.

Tækninefnd CEN/TC227, fjallar um staðla fyrir vegagerðarefni (e. Road Materials) eins og fyrr segir og fjalla undirnefndir hennar (e. WG, working groups) um malbik, klæðingar, steinsteypu og óbundin lög í vegi og flugvelli. Endurskoðaðir framleiðslustaðlar um mismunandi gerðir malbiks, ÍST EN 13108-1 til 9 voru gefnir út árið 2016 en voru ekki formlega auglýstir í OJEU (e. Official Journal of the European Union). Einnig voru gefnar út nýjar útgáfur af stöðlum um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit með malbiki, ÍST EN 13108-20 og 13108-21. Staðlaráð Íslands gaf árið 2013 út fylgistaðal, ÍST 75, sem gildir hérlendis og verður staðallinn endurskoðaður þegar nýjar útgáfur staðla hafa tekið formlegt gildi. Fylgistaðallinn er með framleiðslustöðlunum ÍST EN 13108-1 Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 1: Stífmalbik (AC) og ÍST EN 13108-5 – Hluti 5: Steinríkt malbik (SMA) og setur fram ákvæði um prófanir, tíðni prófana og samræmiskerfi vegna framleiðslu malbiks. Í fylgistaðlinum er m.a. tilgreint hvaða lágmarkskröfur um prófanir við framleiðslueftirlit (e. Factory Production Control, FPC) skv. ÍST EN 13108-21 skuli gerðar hérlendis, svo og hvaða gerðarprófanir (e. Type Testing, TT), skv. ÍST EN 13108-20 skuli gera á malbiki. Ákvæði um framleiðslueftirlit og framkvæmdaeftirlit með malbiki og klæðingu eru í kafla 6 í þessu riti og í viðauka 4. Vert er að benda á hér að þar sem umferð er ≥ 8000 ÁDU eða þar sem þungaumferð er ≥ 400 $ÁDU_Þ$ (miðað við heildarumferð á vegi eða götu) og einnig þar sem er sambærilegt álag á malbikinu skal gerðarprófa malbik með hjólfaraprófi, slitþolsprófi og vatnsnæmiprófi auk hefðbundinna prófana sem tilteknar eru í fylgistaðlinum.



Efnisgæðaritið – Kafli 3: Fylling

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406/3 Efnisgæðaritið	18	Október 2024	21
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 3: Fylling			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling (október 2024)
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
3 Fylling **5**
3.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir 5
3.2 Próf við hönnun 8
3.2.1 Verkferlar 8
3.2.2 Steinefnapróf 10
3.2.3 Próf á efnismassa 12
3.2.4 Fjöldi prófa við hönnun 12
3.3 Próf við framleiðslu 13
3.4 Próf og mælingar við framkvæmd 14
3.5 Kröfur 16
3.5.1 Kröfur til steinefna 16
3.5.2 Kröfur við framkvæmd 18

3 Fylling

3.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Hlutverk fyllingar er að vera undirstaða undir berandi hluta veghlotsins. Hún jafnar vegbotninn og undirbyggingin fær þannig rétta hæð áður en vinna við yfirbygginguna hefst. Ysti hluti fyllingar utan við fyllingarfláa, fláafleygur, má vera úr lakara efni en krafist er í fyllingu.

Allar megin efnisgerðirnar þ.e.a.s. set, storkuberg og endurunnin efni eru notaðar í fyllingar. Algengar setgerðir í fyllingum eru t.d. sandur, möl, skriðuefni og jökulruðningur, en einnig er algengt að sprengt berg, til dæmis úr skeringum, sé notað sem fyllingarefni. Sjaldgæfara er að sprengja berg úr námum sem fyllingarefni, en slík vinnsla fer þó vaxandi á svæðum þar sem lítið er af setlögum. Erlendis t.d. í Noregi er algengt að framleiða léttefni (e. LWA, Light Weight Aggregate) sem fyllingarefni á vegbotni þar sem reiknað er með sigi og hér á landi kemur til greina að nota vikur í sama tilgangi. Í þéttbýli er byggingaúrgangur stöku sinnum notaður sem fyllingarefni og nokkuð algengt er að efni úr gömlum vegum sé nýtt sem fyllingarefni. Í þessum kafla verður ekki fjallað sérstaklega um endurunnin efni.

Almennt eru ekki gerðar sérstakar kröfur til efnisins í fláafleyg, en það skal þó ekki vera mosi, hrís, torf eða stórgrýti og má ekki innihalda snjó eða ísklumpa. Í fláafleyga má annars nota efni sem ekki er nothæft í aðra hluta vegarins svo sem mold og moldarblandað efni. Slíkt efni fæst gjarnan þegar jarðvegur er fjarlægður ofan af seti sem annars er nýtt í fyllingar. Svarðlag moldar skal þó einkum nota til uppgræðslu á vegsvæðum og námusvæðum. Vegna öryggissjónarmiða er á nýbyggingum gerð krafa um að flái vegarins sé fremur flatur, þ.e.a.s. ekki brattari en 1:3 og helst 1:4. Mikilvægt er að tryggja að fláafleygurinn hindri ekki afvötnun vegarins og því er hann ekki látinn ná nema upp að neðri brún styrktarlags.

Við góðar aðstæður er hægt að nota allt útgrafið efni sem ekki er um of blandað lífrænum efnum í fyllingu. Ástand efnisins þegar það er sett í fyllinguna skiptir líka máli og það má ekki vera frosið í köggla eða blandað ís eða snjó. Ekki má nota lífræn efni úr móum og mýrum sem fyllingarefni og glæðitap fyllingarefna skal ekki vera meira en 3%, þ.e.a.s. þyngdarhlutfall moldar af öllu efninu. Í brattlendi og/eða þegar byggja á háar fyllingar getur þurft að gera meiri kröfur til stæðni fyllingarefna eins og fjallað er um í kafla 3.2.1. Ef fyllingarefni er of blautt til að hægt sé að koma því fyrir í vegfyllingum og þjappa það getur þurft að haugsetja efnið til að þurrka það.

Háar fyllingar eru lagðar út í lögum og er þykkt hvers lags þá miðuð við að nægileg þjöppun náist í því. Fyllingarefni með ólíka eiginleika skal leggja í lárétt aðskildum lögum þannig að burðarmeira efnið sé ofar í fyllingunni. Í fyllingu fer D'_{98}[1] annars vegar eftir lagþykktinni og hins vegar eftir staðsetningu í fyllingunni og má D'_{98} vera allt að 2/3 af lagþykktinni. Þegar krafist er þjöppunar í þunnum lögum skal minnka D'_{98} í samræmi við lagþykktina. Í þeim hluta fyllingar sem lendir ofar en

[1] D'_{98} er skilgreint sem sú steinastærð sem ætla má að 98% fyllingarefnisins sé minni en og allt að 2% gæti verið stærri en D'_{98}.

1500 mm undir vegyfirborði gildir að efra borð steina sem eru stærri en 500 mm í þvermál skulu ekki vera nær yfirborði vegfyllingar en sem nemur 1,5 x þvermál steinanna. Efstu 1000 mm fyllingarinnar skulu vera úr efni sem er nægilega lekt og yfirborð undirbyggingar á að vera nægilega opið til að vatn safnist ekki fyrir á yfirborði hennar.

Sé fylling sett ofan á mýri, skal neðsta lag fyllingar vera gert úr frostfríu efni. Einnig þarf að gæta þess að rífa ekki upp svörðinn, t.d. ef stórgrýti er í fyllingarefninu. Ekki skal leggja út fyllingu á frosið undirlag sem getur tekið formbreytingum.

Á milli fyllingar úr sprengdu bergi og burðarlags skal koma minnst 200 mm þykkt styrktarlag (sjá kafla 4) til afréttingar sem jafnframt þarf að uppfylla kröfur til síulags ef þörf er á síulagi.

Rakastig í fyllingarefni umfram hagstæðasta raka sem mældur er í Proctorprófi[2] veldur burðarrýrnun efnisins. Hæst þurr rúmþyngd og þar með besta þjöppun næst við rakastig nálægt hagstæðasta rakastigi. Fínefnarík efni, t.d. skriðuefni, taka nægilegri þjöppun á mjög þröngu rakabili nálægt hagstæðasta rakastigi og ef rakinn í efninu er umtalsvert meiri næst lítil þjöppun í efnið. Erfitt getur verið að átta sig á áhrifum raka frá jarðvatni en úrkomu, þar sem áhrifa frá jarðvatni gætir oft í þurrkatíð. Fínefnarík efni geta haldið í sér miklum raka, sér í lagi ef fínefnin eru að hluta til vatnsdrægar og þjálar leirsteindir. Slíkur raki sést ekki á yfirborði efnisins fyrr en farið er að hræra í því og aka með valta eða malarflutningabíla á yfirborði þess.

Fyllingarefni sem metið hefur verið nothæft efni, getur komist í ónothæft ástand sökum breytinga á rakainnihaldi. Þetta á einkum við um fínkorna efni, þar sem magn fínefna < 0,063 mm er hátt. Enn fremur er fínasti hluti fyllingarefnisins úr skeringum oft viðkvæmur fyrir raka og getur efnið því komist í ónothæft ástand, jafnvel við lítilsháttar úrkomu.

Brýnt er að gripið sé til nauðsynlegra aðgerða til að hæfilegt rakastig sé uppfyllt við útlögn. Í þessu felst sú krafa að fyllingarefnið skuli þurrkað eða vökvað svo það sé lagt út við hæfilegt rakastig.

[2] Í viðauka 1 er umfjöllun um þær prófunaraðferðir sem notaðar eru hér á landi, m.a. um proctorpróf.

Ef efni sem komið hefur verið fyrir í fyllingu er of rakt til að það taki þjöppun sem krafist er, mætti framkvæma eitt af eftirfarandi atriðum:

- *Fjarlægja efnið úr fyllingunni og geyma þar til það er komið í það ástand að nota megi það aftur og fylla í staðinn með nothæfu efni.*
- *Bæta efnið með vélrænum eða efnafræðilegum aðferðum til að auka stöðugleika þess.*
- *Bíða þar til ástand efnisins er aftur orðið slíkt, að unnt sé að jafna það og þjappa á þann hátt, sem krafist er.*

Í skýrslunni „Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn“ er ýtarleg umfjöllun um notkun sprengds bergs í fyllingar sem ekki er endurtekin hér nema að litlu leyti. Í skýrslunni eru einnig upplýsingar um síukröfur, en þær eru einnig settar fram í inngangskafla þessa rits. Prentuð hefur verið stytt útgáfa af ritinu sem nefnist „Sprengt berg í vegagerð – handbók fyrir vegagerðarmenn“. Handbókina frá 2018 er að finna á vefsíðu Vegagerðarinnar á sömu vefslóð og Efnisgæðaritið. Vefslóðin er http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/.

3.2 Próf við hönnun

3.2.1 Verkferlar

Prófanir á fyllingarefni á hönnunarstigi beinast fyrst að því að kanna hvort efnið er hæft sem fyllingarefni. Ef efnið stenst lágmarkskröfur er næsta skref að leggja mat á það hvort efnið er hæft við aðstæður þar sem byggja á vegfyllinguna. Meginmarkmið rannsóknanna er að meta burðarþol og stæðni efnisins. Burðarþol og frostnæmi fyllingarefnisins eru ráðandi þættir þegar kemur að því að ákvarða þykkt og eiginleika styrktarlags og burðarlags. Mikilvægt er að þekkja stæðni efnisins þegar halli fyllingafláa er ákvarðaður.

Tafla 3-1 sýnir hvaða hönnunarrannsóknir getur þurft að gera á mismunandi efnum fyrir mismunandi aðstæður, byggt á frostflokkun efnisins (sjá kafla 3.2.2), en lýsingar á prófunaraðferðum eru í viðauka 1. Skyggð svæði í töflunni eru fyrir aðstæður og/eða efnisgerð þar sem hönnuði er sérstakur vandi á höndum að meta hvort og með hvaða hætti hægt er að byggja vegfyllinguna með viðkomandi efni. Einnig er mikilvægt að taka fullt tillit til efnisgerðar í vegbotni þegar vegfylling er hönnuð. Með hárri fyllingu er átt við fyllingu sem er hærri en 5 – 10 m, en þó háð efnisgerð vegbotns.

Tafla 3-1:
Rannsóknir sem koma til greina á fyllingarefna á hönnunarstigi

Frostflokkar	**F1**	**F1/F2**	**F2**	**F3**	**F4**
Gerð efnis ***Halli veg-botns, veghæð***	***Storkuberg (sprengt berg, grjót)***	***Set (möl, sandur)***	***Set (möl,sandur jökulruðn., skriðuefni)***	***Set (jökulruðn., skriðuefni)***	***Set (sylti, leir)***
Halli vegbotns < 1:3 lág fylling	Berggerð (sjónmat)	Kornadreifing, berggreining.	Kornadreifing, raki, standard proctor	Kornadreifing, hydrometer, raki, standard proctor	Kornadreifing, hydrometer, raki, standard proctor, þjálni, kónpróf
Halli vegbotns < 1:3 há fylling	Berggerð (sjónmat)	Kornardreifing, berggreining.	Kornadreifing, raki, standard proctor	Kornadreifing, hydrometer, þjálni, raki, standard proctor, þríás	Kornadreifing, hydrometer, raki, standard proctor, þjálni, þríás, kónpróf.
Halli vegbotns > 1:3 lág fylling	Berggerð (sjónmat)	Kornadreifing, berggreining.	Kornadreifing, raki, standard proctor	Kornadreifing, hydrometer, þjálni, raki, standard proctor, þríás	Kornadreifing, hydrometer, raki, standard proctor, þjálni, þríás, kónpróf.
Halli vegbotns > 1:3 há fylling	Berggerð (sjónmat)	Kornadreifing, berggreining.	Kornadreifing, raki, standard proctor	Kornadreifing, hydrometer, raki, standard proctor, þjálni, berggreining, LA-gildi, þríás	Kornadreifing, hydrometer, raki, standard proctor, þjálni, þríás, kónpróf.

Í töflunni stendur F fyrir frostflokk. Gráskyggðu reitirnir eiga við aðstæður þar sem sérstaklega þarf að meta hvort viðkomandi efni er nothæft til að byggja vegfyllingu og rauðskyggðu reitirnir krefjast enn frekara mats. Ef sjónmat bendir til að efnið sé blandað of miklum lífrænum efnum, þarf að gera glæðitapspróf.

Í mörgum tilfellum er látið nægja að leggja mat á eiginleika (lífræn óhreinindi, berggerð, raka, þjálni) með sjónmati ásamt því að frostflokka efnið á grundvelli kornadreifingar þess. Kornadreifing efnisins leggur grunn að flokkun þess í frost- og burðarþolsflokka. Þegar steinefni er skoðað í námu eða á svæði skeringar á einnig að leggja mat á hversu stórir stærstu steinar eru og hversu mikið er af þeim.

Eftir því sem efnin eru fínefnaríkari og aðstæður erfiðari þar sem byggja á vegfyllinguna er þörf á ýtarlegri rannsóknum, eins og fram kemur í töflu 3-1. Auk kornadreifingar þarf þá að kanna rakainnihald efna og kanna hvort þau mælist þjál þ.e.a.s. hvort fínefnin loði saman þegar þeim er hnoðað í kúlu. Við erfiðar aðstæður svo sem í háum, bröttum fyllingum þarf að skoða efnið nánar, sérstaklega ef fyllingarefnið flokkast frostnæmt. Einnig getur þurft að mæla fínefnainnihald og hlutfall leirs í efninu (hydrometer- eða laserpróf), berggreina það og kanna styrk efnisins. Rakastig getur verið ráðandi þáttur varðandi það hversu auðvelt er að þjappa efnið í fyllingunni. Þá getur þurft að gera proctorpróf, til að finna hagstæðasta þjöppunarrakastig, sem borið er saman við rakastig efnisins þegar sýnið var tekið. Í sumum tilvikum getur komið til greina að gera þríásapróf á

efninu, til að geta sagt fyrir um stæðni þess í hárri fyllingu. Skúfstyrk leirs og syltis má kanna með kónprófi ef nýta á þessi efni sem fyllingarefni.

Ávallt þarf að meta stærðir og magn stærstu steina og stærðarflokka skal grjót sprengdrar klappar og grófra efna. Ef sjónmat bendir til að lífræn efni séu blönduð fyllingarefninu þarf að setja það í glæðitapsmælingu.

3.2.2 Steinefnapróf

Til að fá upplýsingar um hvort of mikið er af lífrænu efni í fyllingarefni, er glæðitap þess mælt. Þá er efnið hitað í ofni upp fyrir brennslumark lífrænna efna og hlutfallslegt massatap þess reiknað. Glæðitap er síðan reiknað sem hlutfall af öllu efninu en prófið er framkvæmt á < 0,5 mm efni. Efni í fyllingu er annars flokkað eftir frostnæmi í frost- og burðarþolsflokka. Frostflokkarnir eru fjórir og burðarþolsflokkar sjö.

Mæling á kornadreifingu er fyrsta skrefið til að flokka efnið. Niðurstöður kornadreifingar eru settar fram á eyðublaði, þar sem lesa má þyngdarhluta efnis sem smýgur ákveðið sigti. Það er þó einkum magn fínefnis minna en 0,02 mm, sem er ráðandi um í hvaða flokki viðkomandi efni lendir. Til að fá þær upplýsingar, þarf að gera hydrometer- eða lasermælingu á efninu, en með þessum mælingum er fundin kornadreifing þess hluta efnisins sem er fínna en 0,063 mm. Í töflu 3-2 kemur fram hvernig efni lendir í frostflokkum eftir magni fínefnis í ákveðnum stærðarflokkum. Frostflokkunin (F) og lögun kornakúrfunnar (Cu-tala) eða uppruni efnisins ræður svo hvaða burðarþolsflokk[3] er um að ræða.

Tafla 3-2:
Samband kornadreifingar og frostflokkunar (Vegbygging, N200)

Frostnæmi / Frostflokkur	**Hlutfall af efni < 22,4 mm, %**		
	< 2 μm (< 0,002 mm)	< 20 μm (< 0,02 mm)	< 200 μm (< 0,2 mm)
Ekki frostnæmt F1		< 3	
Lítillega frostnæmt F2		3 – 12	
Meðal frostnæmt F3	(> 40) *	> 12	< 50
Mikið frostnæmt F4	< 40	> 12	> 50

* Jarðefni með meira en 40% undir 2 μm flokkast meðal frostnæm eða í frostflokki F3

Flokkun mismunandi efnis kemur fram í töflu 3-3.

[3] Ekki er fjallað nánar um burðarþolsflokka í þessu riti

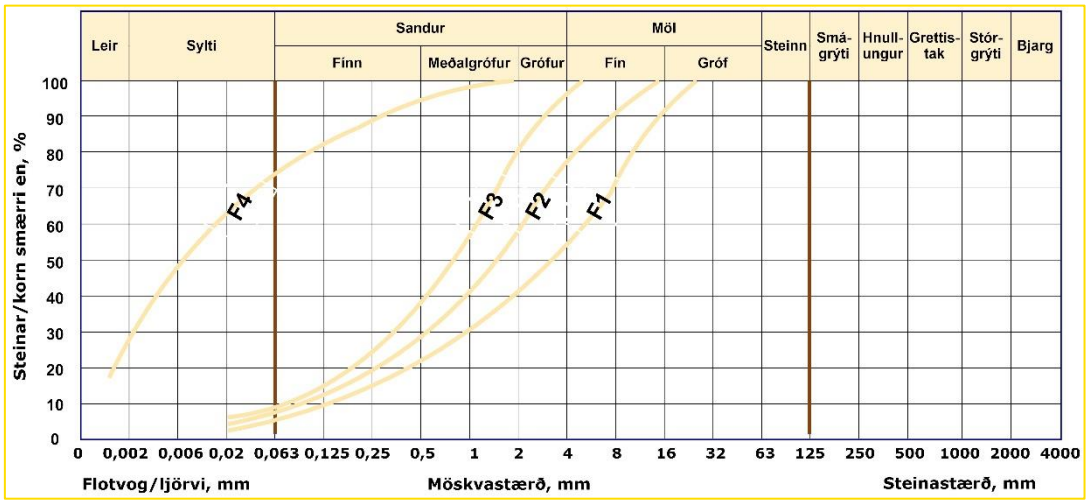
Tafla 3-3:
Frost- og burðarþolsflokkun í fyllingu eftir efnisgerð og lögun kornakúrfu

Efni*	Frostflokkur	Burðarþolsflokkur
Klöpp og sprengt grjót	F1	1
Möl, Cu** ≥ 10	F1	2
Möl, Cu < 10	F1	3
Bergskering, grjótfylling	F2	3
Sandur, Cu ≥ 10	F1	3
Sandur, Cu < 10	F1	4
Möl, sandur, jökulruðningur, skriðuefni	F2	4
Jökulruðningur, skriðuefni	F3	5
Leir, sylti	F4	6
Mór	-	7

** úr Handbok N200: Vegbygging 2018*

*** $Cu=D_{60}/D_{10}$ þar sem D_{60} er sú stærð sem 60% sýnisins smýgur og D_{10} er sú stærð sem 10% sýnisins smýgur.*

Nota má kornadreifingu til að fá fyrstu hugmynd um frostflokkun viðkomandi efnis, og styðjast þá við mynd 3-1.



Mynd 3-1:
Dæmi um samband frostflokkunar og kornadreifingar efna

Dæmi um önnur próf sem gera má á fyllingarefnum eru berggreining og þjálnipróf, en ekki eru gerðar sérstakar kröfur um niðurstöður þeirra. Prófunaraðferðunum er ekki gerð nánari skil hér, en er lýst í viðauka 1.

3.2.3 Próf á efnismassa

Ef aðstæður eru þannig að fylling þurfi að uppfylla ákveðin skilyrði um stæðni (á einkum við um háar fyllingar eða fyllingar í miklum halla), eru gerð próf á efnismassanum til að meta stæðni efnisins. Eins og fram kemur í töflu 3-1, er það meðal annars háð frostflokkun efnanna hvaða próf þarf að gera. Því hærri sem frostflokkurinn er, því fleiri próf þarf að gera.

Próf á efnismassa, sem nefnd eru í töflunni eru proctorpróf, þríásapróf og kónpróf. Í proctorprófi er mælt samband rakainnihalds efnisins og þjöppunareiginleika þess sem er mikilvægt til að fá m.a. upplýsingar um við hvaða rakastig best er að þjappa efnið. Þríásapróf til mats á fyllingarefnum er stöðuálagspróf (statisk) þar sem mældir eru hefðbundnir jarðtæknilegir eiginleikar efna, s.s. viðnámshorn (ϕ) og samloðun (C), sem gjarnan eru notaðir við útreikninga á stæðni hárra fyllinga. Einnig er hægt að fá fleiri upplýsingar um efnið, t.d. lektareiginleika, eftir því hvernig prófið er gert. Kónpróf gefur mat á skúfstyrk syltis og leirs.

3.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Í töflu 3-4 eru leiðbeiningar um fjölda sýna sem taka þarf á hönnunarstigi á fyrirhuguðum efnistökustað til að mæla kornadreifingu. Fjöldi sýna er háður því efnismagni sem áætlað er að vinna á viðkomandi stað. Sjónmat á magni lífrænna óhreininda skal gera á öllum sýnunum og mæla glæðitap efnisins ef taldar eru líkur á því að þau séu yfir mörkum.

Tafla 3-4:
Fjöldi sýna til mælinga á kornadreifingu og sjónmats á lífrænum óhreinindum við könnun á efni í fyllingar

Efnismagn, þús. m^3	Fjöldi sýna
0-30	2-6
30-50	3-9
50-100	6-13
100-200	10-17
200-300	13-19
300-400	15-20

3.3 Próf við framleiðslu

Þar sem efni sem notað er í fyllingar er oftast ekki mikið unnið eiga eiginleg framleiðslupróf ekki við í því sambandi. Þó þarf að fylgjast með efninu og tryggja að breytingar í því leiði ekki til breyttra eiginleika miðað við þá sem áætlaðir voru með hönnunarprófum. Í töflu 3-5 er sýnt hvaða eftirlitsprófanir þarf að gera á mismunandi fyllingarefnum. Þessi próf skal gera minnst einu sinni fyrir hverja 5000 m^3 fyllingarefnis og ekki sjaldnar en einu sinni í verki, einu sinni á hverjum efnistökustað eða einu sinni á ári. Þetta er lágmarkstíðni prófana og getur verið nauðsynlegt að gera fleiri prófanir þegar fylling er byggð úr til dæmis fínefnaríkum efnum við erfiðar aðstæður. Eins og fram kemur í töflunni er í mörgum tilvikum gert ráð fyrir að sjónmat dugi til að fá mat á gæðum efnisins, en í vafatilvikum þarf að gera próf til að sannreyna efnisgæðin.

Tafla 3-5:
Prófanir eða sjónmat á fyllingarefnum á framleiðslustigi

Frostflokkar	**F1**	**F1**	**F2**	**F3**	**F4**
Gerð efnis – Prófanir	Storkuberg (sprengt berg, grjót)	Set (möl, sandur)	Set (möl, jökulruðn., skriðuefni)	Set (jökulruðn., striðuefni)	Set (sylti, leir)
Kornadreifing	S	P	P	P	P
Rakastig	-	-	S/P	P	P
Lífræn efni	-	S/P	S/P	S/P	S/P
Þjálni	-	S/P	S/P	S/P	S/P
Berggæði	S	S	S	S	-

S = Sjónmat og P = Prófun

Kornadreifing er rannsökuð með sigtun en þegar prófuð eru fínefnarík efni, er einnig notuð hydrometermæling eða laserpróf. "S/P" táknar að sjónmat geti dugað, en prófað er í vafatilvikum til að sannreyna sjónmat.

3.4 Próf og mælingar við framkvæmd

Fyllingu skal leggja í lögum og þykkt hvers lags ákvarðast fyrst og fremst af búnaði til þjöppunar. Hvert lag fyllingar nær yfir alla breidd hennar. Ekki skal hefja útlögn styrktarlags fyrr en gerð undirbyggingar hefur verið tekin út og samþykkt. Í töflu 3-6 eru upplýsingar um val á þjöppunarbúnaði og tilsvarandi lagþykktum. Upplýsingarnar í töflunni má einnig nota, þegar þjöppun er metin. Eftirlit með þjöppun byggir á talningu yfirferða og skulu valtar vera með tölvubúnað sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað. Sýna skal fram á fjölda yfirferða við þjöppun með rafrænum gögnum úr búnaði í valta. Slíkur búnaður eykur verulega líkur á því að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti.

Stjórnandi valta skal skila skýrslu þar sem fram koma eftirfarandi upplýsingar:

- dagsetning
- gerð og stærð valta
- þyngd og breidd tromlu
- hvaða vegarkafli var valtaður
- hvaða lag í vegi
- lagþykkt
- hraði valta
- fjölda yfirferða.

Hraði valta skal vera milli 3 og 6 km/klst og efnið skal þjappað við hæfilegt rakastig. Vegna þess hve efni sem notað er í fyllingar getur verið breytilegt, getur verið mjög mismunandi hvernig best er að þjappa það. Fyrir vikið þarf að velja tilhögun þjöppunar í hvert sinn með tilliti til efnisgerða og tækjabúnaðar.

Tafla 3-6:
Leiðbeiningar um val á valta, lagþykkt og fjölda yfirferða fyrir fyllingar

Fyllingarefni		**Tæki****	**Stöðu-álag kN/m***	**Heildar-þyngd (tonn)**	**Lag-þykktir (mm)**	**Fjöldi yfirferða**
Berg	Grjót og hraun	Titurvalti	> 45		> 2000	6-10
			> 30		500-2000	4-6
Set	Möl og sandur	Titurvalti	> 30		200-600	4-6
	Jökulruðningur/ Skriðuefni	Titurvalti/ beltatæki***	> 30	35-70	300-600	4-6
	Sylti	Beltatæki***		35-70	200	2-4

**Einingin kN/m er álag á hvern breiddarmeter snertiflatar tromlu á valta. 30 kN/m jafngildir ~3,1 tonni á meter tromlu*

***Taflan er staðfærð með hliðsjón af kröfum í Vegbygging N200 (tafla 256.3 í útgáfu 2014, en hefur verið felld niður í útgáfu 2018 í handbókinni).*

****Jarðýta eða grafa á beltum*

Valti skal einnig vera búinn þjöppunarmæli sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað. Sýna skal fram á að þjöppun sé fullnægjandi með rafrænum gögnum úr búnaði valta. Einnig er hægt að meta árangur þjöppunar með hæðarmælingu. Mæla skal 10 punkta í þremur þversniðum með 5-10 m millibili.

Úttekt á sléttleika og þykktum skal gera áður en næsta lag er lagt. Til þess eru gerðar hæðarmælingar með 20 m millibili fyrir allar vegtegundir, í þremur punktum í þversniði, þ.e. á útbrúnum og miðju. Við lok frágangs fyllingar er yfirborð hennar skoðað og ástand þess metið.

3.5 Kröfur

3.5.1 Kröfur til steinefna

Hér verða ekki settar fram aðrar efniskröfur til fyllingarefnis fyrir mismunandi aðstæður en þær, að magn lífrænna efna, mælt með glæðitapsprófi, skuli ekki vera meira en 3% af þyngd, þegar umreiknað hefur verið út frá þyngd alls efnisins. Í kafla 3.1 eru ákvæði um steinastærðir fyllingarefnis og hlutfall steinastærðar og lagþykktar.

Ef valið stendur á milli nokkurra efna til að nota í fyllingu ætti að jafnaði að nota burðarmesta efnið og jafnframt hæfasta efnið efst í fyllinguna. Til að meta þessa eiginleika má til dæmis styðjast við niðurstöður berggreiningar. Það er á verksviði hönnuðar að nýta sér niðurstöður prófana, til dæmis að meta það hverju sinni hvort hann vill hafna efni (t.d. fínefnaríku) eða hvort tiltækar eru hagkvæmar leiðir við uppbyggingu vegfyllingar sem gera það mögulegt að nota viðkomandi efni. Það er utan við verksvið þessara leiðbeininga að fjalla um jarðtæknilegar hönnunarleiðir. Þó má nefna nokkur úrræði sem nota má þegar fínefnaríkt efni er notað í háa fyllingu á bröttu landi:

- hert eftirlit og auknar prófanir á fyllingarefnum
- burðarþolshönnun, t.d. ákvörðun um þykkara eða burðarmeira styrktarlag
- hreinsun lífrænna efna af vegbotni
- notkun jarðvegsdúka
- stöllun vegbotns
- flatari fláar
- halli laga í vegfyllingu
- frostfrí drenlög, lárétt og lóðrétt
- vönduð þjöppun fyllingar
- afvötnun í vegrásum
- grjóthleðsla við fláafót
- fínefnaríkt fyllingarefni sett innan í burðarhæfa fyllingu
- styrking fláa með grjótkössum, grjótfyllingu eða stoðveggjum
- þurrkun eða önnur vinnsla efnis

Eins og fram kemur í kafla 3.1, er hægt að nota í fyllingar, allt útgrafið efni sem ekki er blandað lífrænum efnum. Hins vegar eru ýmsar kröfur um ástand efnisins svo sem að það sé ekki frosið í köggla eða blandað ís eða snjó þegar það er sett í fyllinguna. Fyllingu má ekki byggja úr efnum, sem hætta er á að brotni niður eftir að byggingu vegarins lýkur, þannig að fyllingin sigi eða að vandamál komi fram á stöðugleika hennar.

Flestar jarðmyndanir eru hæfar sem fyllingarefni ef ástand efnisins, sérstaklega rakstig, er hæfilegt fyrir uppbyggingu og þjöppun fyllingarinnar. Bestur árangur við þjöppun næst ef rakastig fyllingarefnisins er nálægt hagstæðasta rakastigi sem gefur mesta þurra rúmþyngd, þegar mælt er með Proctor prófi. Ef rakastig efnis er yfir flæðimarki getur verið ógerlegt að vinna við gerð fyllingar. Því er mikilvægt að vinna við gerð fínefnaríkra fyllinga í þurru veðri.

Þó að hægt sé að nota flestar gerðir bæði sets og bergs sem fyllingarefni er það mjög háð aðstæðum svo sem halla lands, hæð vegfyllingar og efnisgerð vegbotns hvernig fylling er hönnuð úr mismunandi efnum. Einnig byggist burðarþolshönnun vegarins, þ.e.a.s. þykkt og gerð styrktarlagsins, meðal annars á eiginleikum fyllingarefnisins. Eins og fram kemur í kafla 3.1 er

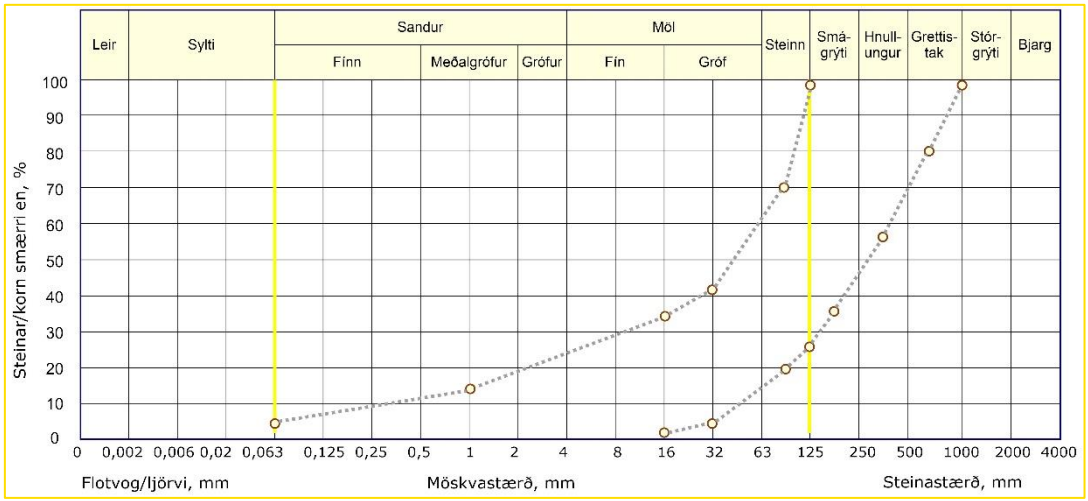
nauðsynlegt að framkvæma fleiri rannsóknir á efni sem nota á við erfiðar aðstæður en á efni sem nota á við góðar aðstæður. Eins og fram hefur komið teljast erfiðar aðstæður vera brattlendi og háar fyllingar en gerð efnis í vegbotni hefur einnig áhrif á hönnun fyllingar.

Ef notaðir eru steinar í fyllinguna, sem eru stærri en hálf lagþykktin (en þó ekki stærri en 2/3 hlutar hennar), skal fínna efni sérstaklega fyllt að þeim, til að tryggja jafna þjöppun. Öll stærri op og ójöfnur í yfirborði grjótfyllinga skal fylla með smátt sprengdu grjóti eða möl og þjappa vel áður en næsta lag er lagt. Yfirborði fyllingar skal lokað þannig að styrktarlagsefni tapist ekki ofan í það. Fjarlægð frá endanlegu yfirborði fyllingar niður á stóran stein skal vera minnst 1,5 sinnum þvermál steinsins.

Sé fylling sett ofan á mýri, skal neðsta lag fyllingar vera gert úr frostfríu efni. Einnig þarf að gæta þess að rífa ekki upp svörðinn, t.d. þegar stórgrýti er í fyllingarefninu. Ekki skal leggja út fyllingu á frosið undirlag sem getur tekið formbreytingum. Þegar fyllt er á mjúkt undirlag skal fyrsta álagsþrep ekki vera meira en 20 kPa og hvert síðara álagþrep ekki meira en 30 kPa. Fylla skal strax í alla breidd fyllingar.

Í fyllingu sem er 1500 mm eða meira undir vegyfirborði má nota óunnið, sprengt berg. D'_{98} takmarkast við 2/3 af lagþykkt allt niður að 4 m undir vegyfirborði, en aðrar kröfur eru ekki gerðar til sáldurferils. Stærstu steinar mega vera jafnir lagþykktinni ef þeir liggja dýpra í fyllingunni en 4 m undir vegyfirborði.

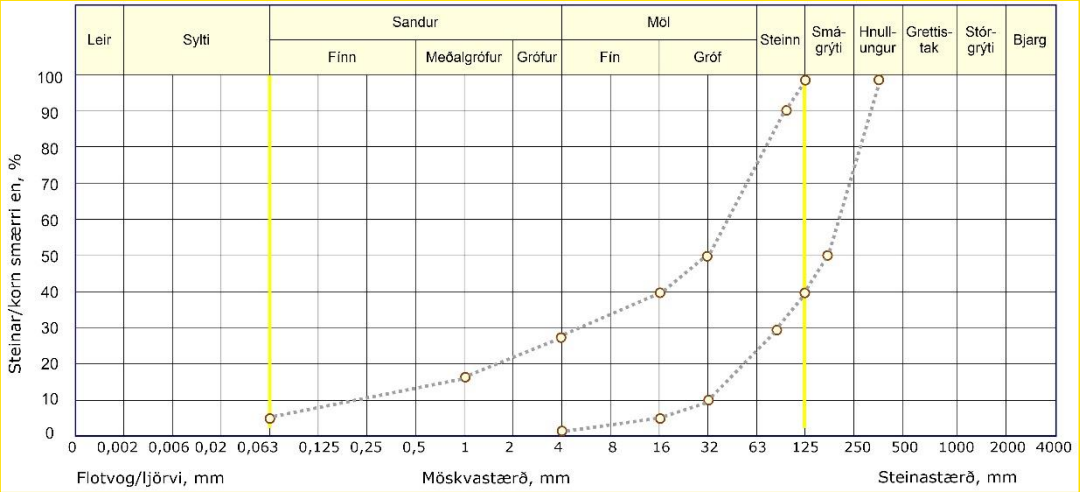
Í fyllingu sem er ofan við 1500 mm undir vegyfirborði kemur til greina að nota sprengt og flokkað berg með efri flokkunarstærð $\leqslant$ 640 mm og 20 % yfirstærðir[4] (G_A80). Þykkt slíkra fyllingar þarf að vera minnst 800 mm og D'_{98} takmarkast við 2/3 af lagþykkt. D'_{98} má ekki vera meiri en helmingur lagþykktar. Kröfur til sáldurferils eru sýndar á mynd 3-2.



Mynd 3-2:
Markalínur fyrir efni í fyllingu úr sprengdu og flokkuðu bergi

[4] Um yfirstærðir, sjá skýrslu Vegagerðarinnar frá 2010 „Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn“ bls. 48-49, sjá http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/.

Í fyllingu sem er ofan við 1500 mm undir vegyfirborði kemur einnig til álita að nota sprengt og mulið berg með efri flokkunarstærð ≤ 250 mm og 20 % yfirstærðir (GA 80). D'_{98} má ekki vera meiri en helmingur lagþykktar. Kröfur til sáldurferils eru sýndar á mynd 3-3.



Mynd 3-3:
Markalínur fyrir efni í fyllingar úr sprengdu og möluðu bergi

3.5.2 Kröfur við framkvæmd

Þegar notaður er þjöppunarmælir í valta til að meta þjöppun, má gera ráð fyrir að þjöppun sé nægjanleg þegar mæligildið breytist ekki meira en um 8% milli síðustu yfirferða valtans en leyft frávik er ± 2%. Ef fylgst er með þjöppun með hæðarmælingu, skal meðalsig yfirborðs frá næstsíðustu til síðustu yfirferðar valtans vera innan við 12% af heildarsigi orsökuðu af þjöppuninni.

Yfirborð fyllingar á að vera þannig að efni úr því blandist ekki efni í styrktarlagi, eða að styrktarlagsefni tapist ofan í fyllinguna, sbr. síukröfur í inngangi þessa rits. Einnig þarf að vera tryggt að ekki séu á því rastir og að ekki safnist á því vatnspollar. Kröfur um nákvæmni í hæð koma fram í töflu 3-7.

Tafla 3-7:
Kröfur um nákvæmni í hæð

	Fjöldi þungra ökutækja, $ÁDU_Þ$			
	⩾ 100		⩽ 100	
	Stök mæling	Meðaltal	Stök mæling	Meðaltal
Leyft frávik frá hönnuðu yfirborði sets (mm)	+40/-40	+20/-30	+60/-60	+30/-50
Leyft frávik frá hönnuðu yfirborði sprengds bergs (mm)	+100/-100	+30/-30	+100/-100	+30/-50



Efnisgæðaritið – Kafli 4: Styrktarlag

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406/4 Efnisgæðaritið	28	Október 2024	21
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 4: Styrktarlag			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag (2024)
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
4 Styrktarlag **5**
4.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir 5
4.2 Próf við hönnun 7
4.2.1 Verkferlar 7
4.2.2 Steinefnapróf 9
4.2.3 Próf á efnismassa 11
4.2.4 Fjöldi prófa við hönnun 12
4.3 Próf við framleiðslu 13
4.3.1 Verkferlar 13
4.3.2 Steinefnapróf 13
4.3.3 Próf á efnismassa 14
4.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu 14
4.4 Próf og mælingar við framkvæmd 15
4.4.1 Verkferlar 15
4.4.2 Steinefnapróf 17
4.4.3 Próf og mælingar 17
4.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd 19
4.5 Kröfur 20
4.5.1 Kröfur til steinefna 21
4.5.2 Kröfur til efnismassa 25
4.5.3 Kröfur við framkvæmd 26

4 Styrktarlag

4.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Hlutverk styrktarlags er ásamt burðarlagi, að dreifa umferðarálagi á undirbygginguna þannig að ekki komi fram formbreytingar á slitlaginu. Meiri kröfur eru gerðar til efnis í styrktarlag en fyllingu.

Styrktarlagi er stundum skipt í tvo hluta, efra- og neðra styrktarlag.Í þeim tilfellum eru gerðarmeiri kröfur til efnis í efri hlutanum[1]. Oftast er styrktarlag þó lagt í einu lagi og gilda þá sömu kröfur fyrir allt lagið og gerðar eru fyrir efri hluta styrktarlagsins. Kröfur til efnis í neðri hluta styrktarlags (ef um tvískipt lag er að ræða) eru aðallega að það sé ekki næmt fyrir frostáhrifum en auk þess eru kröfur um steinastærðir og lögun kornakúrfu (Cu-gildis, $Cu=D_{60}/D_{10}$, þar sem D_{60} er sú sigtastærð sem 60% af efninu smýgur og D_{10} er sú sigtastærð sem 10% af efninu smýgur). Til efra styrktarlags (eða alls lagsins) eru gerðar meiri kröfur, sbr. kafla 4.5.

Í styrktarlag eru notuð eins góð efni og völ er á og ef notuð eru misgóð efni skal nota betra efnið í efri hlutann ef lagið er lagt í tvennu lagi. Efnisgerðir sem koma til greina eru bæði set og berg og einnig getur komið til greina að nota endurunnin efni, að undangengnum sérstökum athugunum.

Steinefni úr setmyndunum er oft notað óunnið í styrktarlag og eru þá valdar jarðmyndanir þar sem efnið er með hæfilegu magni fínefna og góða kornadreifingu fyrir styrktarlag. Á undanförnum árum hefur þó færst mjög í vöxt að efni úr setmyndunum ætlað í styrktarlag, sé malað eða harpað til að uppfylla kröfur um kornastærð.

Sprengt grjót úr námum og skeringum er í vaxandi mæli notað í styrktarlag. Grjót sem springur að verulegu leyti niður í kornastærðir sem eru minni en 200 – 250 mm í þvermál er oft hægt að nota án frekari vinnslu, en það er þó háð þykkt styrktarlagsins. Algengt hefur verið að nota hraunkarga sem er í efstu 2-3 m apalhrauna í styrktarlag og hefur slíkt efni reynst vel þrátt fyrir að styrkur þess sé fremur lágur, þar sem efnið er gropið. Hins vegar brotnar hraunkarginn niður í sand og malarstærðir að hluta á verktíma undan völtun og vinnuumferð og myndar þannig stöðugt lag vegna þess hversu hrjúf og köntótt bergkornin eru, auk þess sem kornakúrfan lagast við niðurbrot efnisins. Bólstraberg og bólstrabrotaberg hefur einnig reynst vel í styrktarlag og er oft hægt að rippa efnið niður í hæfilegar stærðir sem m.a. má nota sem púkk, en það getur haft svipaða burðareiginleika og hraunkargi og grófmalað efni. Vinnsla á hraunklöpp hefur einnig farið vaxandi og er vinnslan sambærileg vinnslu úr öðrum bergnámum.

Hentugt getur verið að miða við D'_{98}[2] fyrir óunnið og óflokkað efni. D'_{98} í styrktarlagi má mest vera 2/3 af lagþykktinni. Fyrir malað eða flokkað efni er æskilegt að miða við efri flokkunarstærð (D) og

[1] Í þessu riti er valið að fjalla um efra- og neðra styrktarlag eða efri- og neðri hluta styrktarlags. Þetta lag í heild sinni nefndist í Alverki ´95 neðra burðarlag. Þess ber þó að geta að algengt er að leggja styrktarlag í einu lagi og gilda þá sömu kröfur til alls lagsins og til efri hluta lagsins.

[2] D'98 tengist ekki D sem er efri flokkunarstærð í framleiðslustaðli ÍST EN 13242. D'98 táknar möskvastærð (mm) í sigti sem minnst 98% steinefnisins smjúga og er hentugt mat á stærð stærstu steina í efninu.

skal hún ekki vera meiri en helmingur af lagþykktinni. Stærstu steinar (D'_{98}) skulu ekki vera stærri en 250 mm. Ef styrktarlaginu er skipt í efra og neðra styrktarlag verður efra lagið að vera minnst 150 mm þykkt. Gera má ráð fyrir að oftast þurfi að flokka eða mala sprengt grjót í styrktarlag til að uppfylla áður nefnd ákvæði um steinastærð. Tafla 4.1 sýnir algenga stærðaflokka efnis sem notað er í styrktarlag. Staðlarnir ÍST EN 13242 og ÍST EN 13285 skilgreina ekki grófara efni en 0/90 mm en verkkaupa er heimilt að skilgreina grófara efni.

Tafla 4-1:
Algengir stærðaflokkar (d/D) efnis sem unnið er í styrktarlag

Óflokkað efni, mm	Flokkað efni, mm
0/45	
0/63	
0/90	22/90*
0/125	22/125*
0/180	22/180*

**Stærðarflokkar sem geta hentað vel fyrir sprengt og flokkað grjót þar sem fínefnaríkur millimassi hefur verið flokkaður frá*

Kröfur eru gerðar til efnis í styrktarlag um kornadreifingu, húmusinnihald, gæðaflokkun samkvæmt berggreiningu og styrk efnisins. Auk þess mega efnin ekki mælast þjál samkvæmt þjálniprófi.

Efnisgerðir og vinnsla efnis sem á við í hvert sinn ræðst að nokkru af umferðarþunga á þeim vegi sem verið er að byggja. Kröfur um gæði efnis og vinnslu aukast eftir því sem þungaumferðin er meiri, sjá nánar kafla 4.5.

4.2 Próf við hönnun

Próf við hönnun, annars vegar steinefnapróf og hins vegar próf á efnismassanum, eru gerð til að fá upplýsingar um eiginleika efnisins með tilliti til notkunar í styrktarlag. Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar prófanir þegar fyrirhuguð er efnistaka á nýjum efnistökustað. Ef efnisnám er fyrirhugað á námusvæði sem er í stöðugri vinnslu skulu nýlegar niðurstöður efnisrannsókna liggja fyrir á hönnunarstigi. Á forhönnunarstigi getur þurft að velja milli mögulegra námusvæða og er það gert á grundvelli efnisgæða en ávalt er mikilvægt að taka fullt tillit til umhverfissjónarmiða við val á efnistökustað og áætlun um tilhögun efnistöku.

Steinefnaprófanir eru gerðar til að fá upplýsingar um almenna eiginleika efnisins. Eiginleikum má skipta í tvennt, annars vegar berggerð og ásýnd bergs og hins vegar berggæði. Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna í efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins með tilliti til notkunar í styrktarlag.

Próf á efnismassa (efnisheild) eru gerð til að fá upplýsingar um hvernig efnið hegðar sér sem heild við þjöppun og eftir að það hefur verið þjappað. Í sumum tilvikum eru gerð próf á efnismassa, til að sannreyna hvort efni geti verið nothæft í styrktarlag, þó það standist ekki kröfur um kornadreifingu.

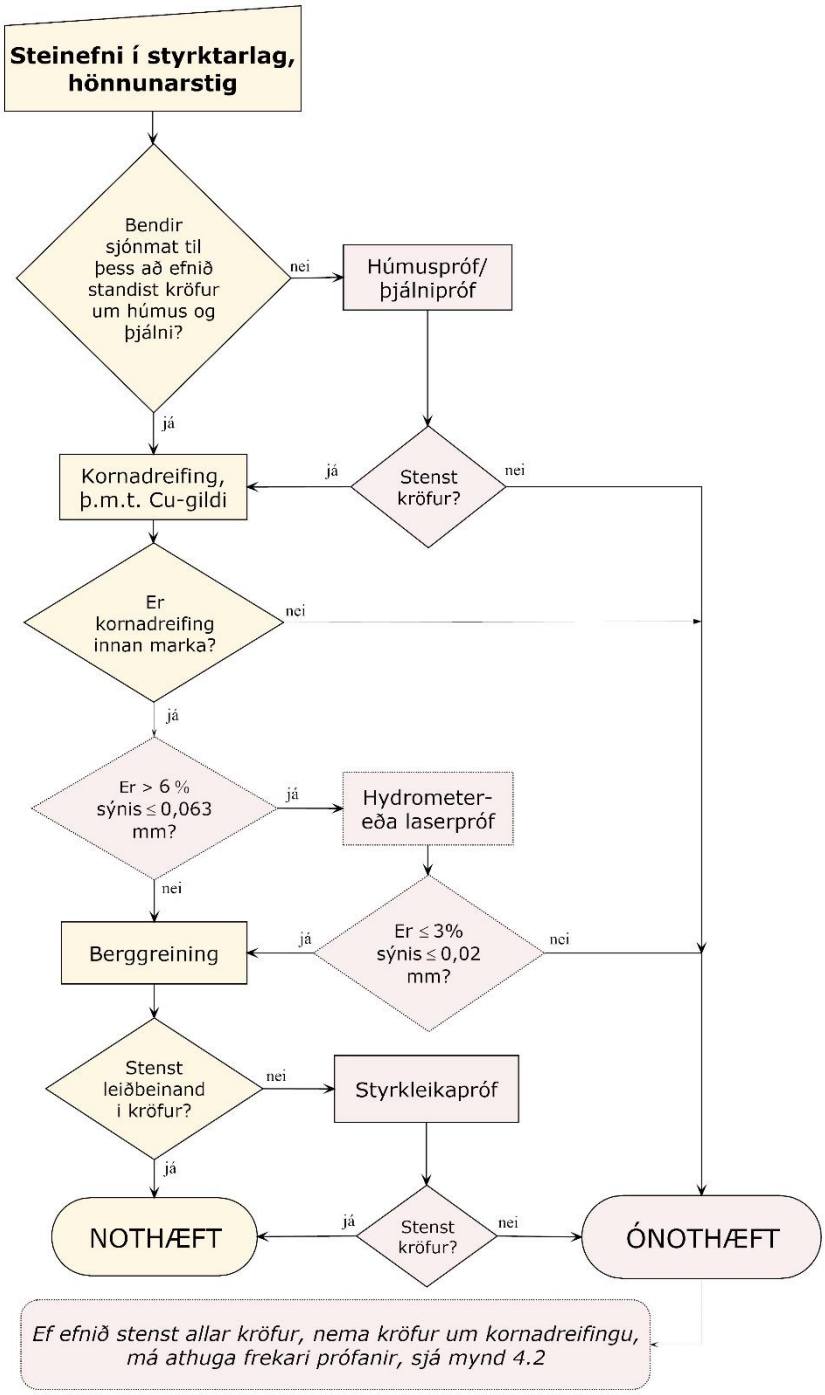
Hér á eftir er gerð grein fyrir verkferlum vegna prófa við hönnun og fjallað um mismunandi steinefnapróf og próf á efnismassa.

4.2.1 Verkferlar

Flæðiritið á mynd 4-1 sýnir feril prófana á efni sem áætlað er að nota í styrktarlag, sérstaklega efni sem ætlað er í efri hluta þess, eða ef styrktarlagið er lagt í einu lagi. Flæðiritið sem myndin sýnir er notað til mats á efni sem unnið er úr seti (lausu efni) og möluðu bergi. Það á ekki nema að hluta til við framleiðslu á sprengdu eða rippuðu bergi (grjótpúkki) þar sem rýmri kröfur eru gerðar varðandi kornadreifingu og fínefnainnihald, sbr. kafla 4.5.

Eins og flæðiritið sýnir, ætti fyrst að beita sjónmati til að fá vísbendingu um hugsanlegt húmusinnihald eða óæskilega þjálni efnisins á efnistökustaðnum. Ef augljóst er að mold eða leir er til staðar í miklum mæli er efnið ónothæft. Ef einhver vafi leikur á um húmusinnihald eða óæskilega þjálni er gert húmus- og/eða þjálnipróf og niðurstöður þeirra geta útilokað efnið án frekari prófa. Næsta skref er annars að taka sýni og mæla kornadreifingu efnisins. Á henni sést hvort kornadreifingin er innan tilskilinna marka. Ýmsar kröfur um kornadreifinguna þ.e.a.s. Cu-gildi, magn fínefna, sandhlutfall og steinastærð eru settar fram í kafla 4.5.1. Hámark fínefna (< 0,063 mm) í styrktarlagi er 7% (sjá þó sérákvæði fyrir grjótpúkk). Ef magn fínefna er yfir 6% af efni í stærðarflokki 0/63 mm, getur það þó bent til þess að frostnæmt fínefni, minna en 0,02 mm, sé til staðar í of miklum mæli. Til þess að fá úr því skorið er efnið sett í hydrómeterpróf eða laserpróf sem gefur upplýsingar um hvort magn efna minni en 0,02 mm er yfir mörkum, þ.e. hvort meira en 3% af efni minna en 0,02 mm er í efninu, reiknað út frá stærðarflokknum 0/22 mm.

Ef allar kröfur til kornadreifingar eru uppfylltar, er efnið næst berggreint og athugað hvort það standist leiðbeinandi kröfur um gæðaflokkun. Þrátt fyrir að efni standist ekki leiðbeinandi kröfur berggreiningar, getur það verið nothæft í styrktarlag ef niðurbrot þess við þjöppun og umferð er innan marka. Til að ganga úr skugga um það þarf að gera styrkleikapróf.



Mynd 4-1:
Flæðirit fyrir mat á steinefni til notkunar í styrktarlag

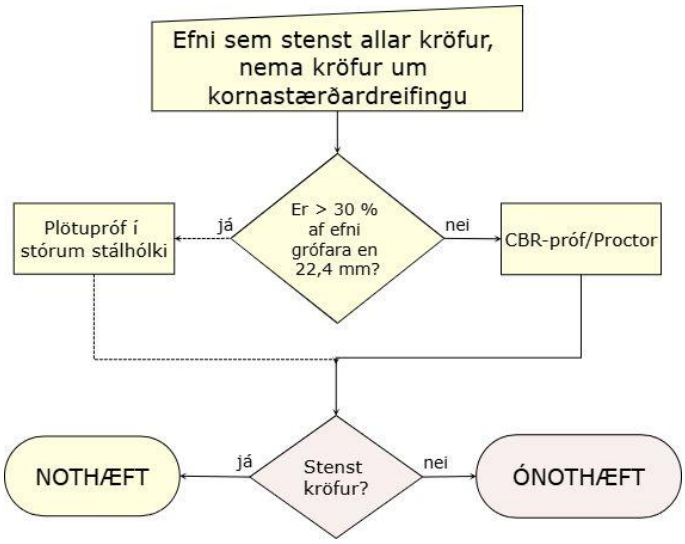
Ef sjónmat bendir til þess að efnið standist kröfur um húmus og þjálni þarf að lágmarki að mæla kornadreifingu og berggreina efnið, áður en hægt er að ákveða hvort það er nothæft, samkvæmt flæðiritinu á mynd 4-1. Sú leið er oftast farin ef efnið er með lágu fínefnainnihaldi, til dæmis ef nota á áreyrarmöl eða efni úr malarhjalla í styrktarlag.

Dæmi eru um að jarðefni sem ekki standast kröfur um kornadreifingu reynist hafa hátt burðarþol og góða stæðni og reynist því vel sem styrktarlagsefni. Slík efni eru til dæmis grjótrík skriðuefni en burðarþol þeirra getur verið hátt sérstaklega ef grjótið í efninu er kantað. Ef hönnuður metur það

svo að efni sem hann vill nota hafi slíka eiginleika getur hann prófað efnið með þeim prófunaraðferðum fyrir burðarþol sem lýst er hér á eftir og sýndar á mynd 4-2. Það á þó einungis við ef efnið uppfyllir allar aðrar kröfur en um kornadreifingu.

Flæðirit á mynd 4-2 sýnir leið sem farin er til að prófa efni sem standast ekki kröfur um kornadreifingu styrktarlagsefna. Rétt er að taka fram að þetta ætti aðeins að gera í undantekningartilvikum og þegar ljóst er að ekki eru önnur nothæf efni innan hæfilegrar fjarlægðar frá vegstæðinu. Prófin eru annað hvort CBR-próf eða plötupróf í stórum stálhólki, eftir því hversu mikið er af efni grófara en 22,4 mm í sýninu. Þegar þessi leið er farin er mikilvægt að gera sér grein fyrir hvort leggja skal meiri áherslu á að efnið hafi nægilegt burðarþol samkvæmt þessum prófunum, eða það sé ónæmt fyrir frostlyftingum. Efni sem stenst þessi burðarþolspróf, getur verið nokkuð fínefnaríkt og þess vegna frostnæmt. Þegar þetta er metið skiptir til dæmis máli hvernig slitlag verður á veginum sem um er að ræða. Klæðingarslitlag þolir meiri hreyfingu en malbiksslitlag og malarslitlag þolir enn meiri formbreytingu. Undir steyptu slitlagi ætti ekki að leyfa neinar frostlyftingar eða aðrar formbreytingar í efninu.

Í sambandi við burðarþolsprófin og leiðina í flæðiriti á mynd 4-2 má einnig nefna að stundum er staðli fyrir CBR-próf ekki fylgt og prófið gert þótt meira en 30% af efninu sé grófara en 22,4 mm. Þá er sá hluti efnisins sem smýgur 22,4 mm prófaður og ef það stenst kröfur er niðurstaðan látin gilda fyrir allt efnið og plötuprófi í stórum stálhólki þar með sleppt. Þess má þó geta að þessi íslenska prófunaraðferð hefur ekki verið notuð í áratugi (sbr. strikalínu) og þyrfti því eflaust að gera sérstakt átak til að endurvekja það ef áhugi er fyrir hendi. Lýsingu á aðferðinni er þó að finna í viðauka 1.



Mynd 4-2:
Flæðirit fyrir efni sem ekki standast kröfur um kornadreifingu, til að meta hvort efni stenst kröfur um burðarþol

Þegar búið er að velja efni til notkunar samkvæmt ofanskráðu, getur í mörgum tilvikum verið þörf á viðbótarupplýsingum um efnið svo sem um þjöppunareiginleika, stífnistuðla og/eða viðnámshorn efnisins. Hið fyrstnefnda fæst úr proctor-prófi, en einnig ef gert er CBR-próf, sbr. mynd 4-2. Stífnistuðlar og/eða viðnámshorn fást með því að gera kvikt eða stöðugt þríásapróf.

Rétt er að taka fram að þær rannsóknir á styrktarlagsefnum sem hafa verið til umfjöllunar hér að ofan geta nýst síðar við val á efnum í aðra hluta veghlotsins.

4.2.2 Steinefnapróf

Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna úr efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins til notkunar í styrktarlag.

Prófanir á steinefnum má flokka niður eftir því hvaða eiginleikum efnisins er verið að leita að eins og fram kemur í millifyrirsögnum hér á eftir. Kröfur fyrir styrktarlagsefni er að finna í kafla 4.5.1, en lýsingu á prófunaraðferðum er að finna í viðauka 1.

Kornadreifing
Mæling á **kornadreifingu** er yfirleitt fyrsta rannsóknastofuprófið sem gert er á steinefnasýni. Niðurstöður kornadreifingar eru settar fram á eyðublaði, þar sem lesa má þyngdarhluta efnis sem smýgur ákveðið sigti. Dæmigert set (laust efni) í styrktarlag hefur gjarnan nokkuð jafna dreifingu kornastærða, þannig að efnið pakkast og þjappast vel og verður stöðugt eftir útlögn og þjöppun. Aðrar efnisgerðir, til dæmis sprengt berg, hraun og bólstraberg hafa hins vegar yfirleitt ekki jafna dreifingu kornastærða. Við skoðun sets er litið til þess hvort magn fínefnis (< 0,063 mm) er innan tilskilinna marka, en of mikið fínefni getur haft afgerandi áhrif á frostnæmi efnisins. Einnig ber að hafa í huga að æskilegt er að fínefni sé til staðar (þó innan marka) til að tryggja að stöðugleiki náist þegar efnið er þjappað. Stærstu steinar (D'_{98}) í setefni skulu ekki vera yfir 150 mm í þvermál og í sprengdu grjóti ekki yfir 250 mm í þvermál. Einnig er þess gætt að samræmi sé á milli efri flokkunarstærðar (D) í hverju lagi og lagþykktar, en flokkunarstærðin má ekki vera meiri en hálf lagþykkt og stærstu steinar (D'_{98}) mega mest vera 2/3 lagþykktar. Þegar magn fínefna undir 0,063 mm er yfir viðmiðunarmörkum er hugsanlega hægt að nota efnið ef kornadreifing fínefnanna, mæld sérstaklega með **hydrometerprófi** eða **laserprófi** sýnir að magn efnis undir 0,02 mm er innan marka, samanber flæðiritið á mynd 4-1.

Berggerð og ásýnd bergs
Berggreining: Tilgangur berggreiningar er fyrst og fremst að ákvarða berggerð og bergbrigði steinefnis, til að leggja mat á gæði þess til viðkomandi mannvirkjagerðar. Berggreiningin er leiðbeinandi og gefur m.a. upplýsingar um þéttleika og ummyndunarstig efnis, en það gefur vísbendingar um hvort hætta er á að efnið brotni niður og hvort of mikið og/eða skaðlegt fínefni myndist við þjöppun og vegna umferðarálags á veginum. Yfirleitt eru nokkur hundruð korn af ákveðinni kornastærð tekin til greiningar. Lögun kornanna og aðrir grunneiginleikar eru greindir lauslega. Að því búnu eru kornin flokkuð í mismunandi bergbrigði eftir bergtegund, ummyndun, þéttleika og öðrum einkennum.

Í niðurstöðum kemur fram hlutfall bergbrigða, lauslegt mat á lögun og hreinleika korna, fjöldi talinna korna, jarðfræðilegar upplýsingar um steinefnið og loks athugasemdir eftir því sem við á.

Það krefst nokkurrar þjálfunar og þekkingar að lesa úr berggreiningum um gæði viðkomandi steinefnis til notkunar í vegagerð. Því er venjan hérlendis að flokka bergbrigði í þrjá gæðaflokka, en sú flokkun byggir á reynslu af hæfi þeirra hérlendis. Gæðaflokkunin, sérstaklega magn 3. flokks efnis, er notuð til að meta efnisgæðin almennt, en einnig getur magn og gerð 3. flokks efnis verið ákvarðandi um framhaldsprófanir og kröfur.

Berggæði
Styrkur: Styrkur korna í styrktarlagi er mikilvægur eiginleiki, enda getur álag á slíkt efni verið mikið, sérstaklega við útlögn, völtun og vinnuumferð. Hætta er á að veik steinefni molni niður undan álagi. Ef steinefnið er mjög ummyndað myndast fínefni við niðurbrotið, sem hætt er við að sé vatnsdrægt og frostnæmt og þannig skaðlegt fyrir burðarþol vegarins.

Ef gæðaflokkun úr berggreiningu er yfir ákveðnum mörkum þarf að mæla styrk efnisins. Það er gert með Los Angeles-próf (LA próf), en það er blandað álagspróf sem veldur bæði núningi og höggáraun. Niðurstaða prófsins er gefin upp sem hluti sýnis (%) sem brotnar niður fyrir 1,6 mm möskvastærð. Aðferðin hentar vel til mælinga á styrk sprengds efnis, enda er prófið gert á flokkuðu efni, oftast á bilinu 10 til 14 mm. Annað próf sem nota má til að mæla styrk steinefna er Bg-stuðull (modified), sjá lýsingu á aðferð í viðauka 1.

Í Los Angeles prófi er sýnið þurrt þegar það er prófað. Það er hins vegar vel þekkt að raki í mikið ummynduðu steinefni getur veikt efnið verulega. Þar sem 5-10% raki er algengur í steinefni í vegum er því mikilvægt að meta niðurstöður LA með hliðsjón af berggreiningu. Þar sem steinefnið er prófað við 6% rakastig í Bg prófinu getur verið mikilvægt að prófa mikið ummynduð steinefni einnig með þeirri prófunaraðferð. Það verður hins vegar að hafa það hugfast að Bg prófið er ekki í Evrópustöðlum og því er það á valdi hönnuða að setja fram kröfur þar að lútandi í sérverklýsingum. Góð fylgni er milli niðurstaðna prófa með þessum tveimur aðferðum.

Eiginleikar fínefna
Eins og fram kemur í flæðiritinu á mynd 4-1 er gert ráð fyrir að húmusinnihald og þjálni verði metin með sjónmati og það látið nægja ef augljóst er að lífræn eða þjál efni eru ekki til staðar. Ef hins vegar leikur grunur á að mold eða skaðleg fínefni séu í styrktarlagsefni skal framkvæma prófanir til að fá úr því skorið hvort slík efni eru innan marka.

Þjálnipróf: Oft er hægt að meta hvort fínefni eru þjál með því að velta sýni á milli fingra sér og athuga þannig hvort fínefnið er leirkennt, þ.e.a.s. hvort hægt er að hnoða það í kúlur. Ef grunur leikur á að þjál efni séu til staðar í sýninu skal gera þjálnipróf. Þjálnistuðull (e. Plasticity Index), er gefinn upp sem munurinn á flæðimarki (hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að verða flotkennt) og þjálnimarki efnisins (lægsta rakagildi sem efni getur haft án þess að molna í sundur við hnoðun), gefið upp í %.

Húmuspróf: Í flestum tilvikum er hægt að sjá hvort set er blandað lífrænum efnum. Ef grunur leikur á að lífræn efni geti verið í sýni skal gera húmuspróf. Prófið felst í því að setja sýni í NaOH lausn, en lífræn efni lita lausnina, mismikið eftir magni þeirra. Til viðmiðunar er höfð staðallausn með ákveðinn litstyrk. Niðurstaða prófsins er hvort lausnin sem sýnið er sett í fær lit sem er sterkari eða veikari en staðallausnin og gefur það til kynna hvort um skaðlegt magn lífrænna efna er að ræða. Einnig kemur til greina að gera glæðitapsmælingu, sem sagt að brenna lífrænt efni úr sýni og mæla þyngdarmissi í %, sjá viðauka 1.

4.2.3 Próf á efnismassa
Í kaflanum hér á undan er greint frá prófunum sem mæla eiginleika einstakra korna eða hóps korna úr efninu sem til skoðunar er. Það getur einnig verið mikilvægt að vita hvernig efnið hegðar sér í heild, þ.e.a.s. hverjir eru eiginleikar efnismassans. Því eru gerðar prófanir á efnismassanum, sem meta eiginleika hans gagnvart þjöppun (proctorpróf) og próf til að meta burðarhæfileika efnisins (CBR-próf og plötupróf í stórum stálhólki). Burðarþolsprófin eru þó sjaldnast gerð, nema efni hafi ekki staðist kröfur um kornadreifingu en samt þyki ástæða til að kanna hvort leyfa megi notkun þeirra á grundvelli niðurstaðna þjöppunar- og burðarþolsprófa (sjá flæðirit á mynd 4-2).

Hér á eftir er fjallað um ofangreind próf ásamt upplýsingum um hvers vegna hvert þeirra er gert. Nánari lýsingar á prófunaraðferðum má einnig finna í viðauka 1.

Proctorpróf. Þetta próf er gert til að meta þjöppunareiginleika og tengsl þjöppunar og rakainnihalds. Ákvarðað er það rakastig sem heppilegast er að efnið hafi við þjöppun til þess að ná hámarks rúmþyngd. Raki hefur lítil áhrif á þjöppun efnis ef það er fínefnasnautt og sandríkt. Niðurstöður prófsins nýtast í tengslum við mat á þjöppun úti í vegi. Proctorpróf er yfirleitt ekki gert á styrktarlagsefni fyrr en ljóst er að það stenst aðrar kröfur og þá er prófið gert til að fá frekari upplýsingar um samband raka og rúmþyngdar við þjöppun.

CBR-próf. CBR-prófið er gert á efni sem smýgur 22,4 mm sigti og er mælikvarði á burðarþolseiginleika þess. Þar sem styrktarlagsefni er yfirleitt mun grófara er prófið því sjaldan framkvæmt á slíku efni. CBR-prófið er m.a. gert á efni sem ekki uppfyllir kröfur um kornadreifingu, til dæmis ef grófleikatala efnisins ($Cu = D_{60}/D_{10}$) er undir viðmiðunarmörkum (sjá kafla 4.5.1). Einnig er rétt að hafa í huga að reynsla er fyrir því að fínefnaríkt efni getur haft hátt CBR-gildi, en varasamt er að nota það í styrktarlag, vegna þess að það getur verið næmt fyrir áhrifum frosts (hætta á frostþenslu). Þá er einnig reynsla fyrir því að sandríkt efni fái lágt CBR-gildi, en það hafi samt reynst vel í neðra styrktarlag. Samkvæmt stöðlum fyrir CBR-prófið er hægt að gera það á efni með allt að 30% korna sem ekki smjúga 22,4 mm, að því tilskyldu að kornakúrfan sé leiðrétt á ákveðinn hátt.

Plötupróf í stórum stálhólki. Þetta próf er mælikvarði á burðarhæfi efnisins. Prófið er hægt að gera á efni með allt að 152 mm stærstu steinastærð. Plötupróf í stórum stálhólk er ætlað fyrir efni sem er of gróft fyrir CBR-próf. Þess má þó geta að þessi íslenska prófunaraðferð hefur ekki verið notuð í áratugi og þyrfti því eflaust að gera sérstakt átak til að endurvekja það ef áhugi er fyrir hendi. Lýsingu á aðferðinni er þó að finna í viðauka 1.

4.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Fjöldi prófa við hönnun fer eftir áætluðu efnismagni sem ráðgert er að vinna. Við forrannsóknir, þegar valið stendur á milli nokkurra staða, er það í höndum hönnuðar hversu mörg próf hann telur að þurfi að gera á sýnum. Þegar efnistökustaður hefur verið valinn, ræðst fjöldi prófa sem á að gera áður en framleiðsla hefst, af efnismagni sem gert er ráð fyrir að vinna. Í töflu 4-2 kemur fram lágmarks fjöldi prófana miðað við það efnismagn, sem fyrirhugað er að taka á hverjum stað. Mikilvægt er að gera sér grein fyrir að vönduð sýnataka við rannsóknir á hönnunarstigi er stór þáttur í að vel takist til. Sýnin þurfa að gefa mynd af því svæði sem gert er ráð fyrir að vinna efni úr. Ef breytileiki er mikill getur verið þörf á fleiri prófunum en sýndar eru í töflunni. Breytileiki efnis getur verið talsvert mismunandi eftir jarðmyndunum.

Tafla 4-2:
Lágmarksfjöldi prófsýna á styrktarlagsefni miðað við áætlað efnismagn

Efnismagn, þús. m^3	Þjálni/húmus (sjónmat*)	Kornadreifing	Berggreining	Styrkur (Bg/LA)**
0-10	2-4	2-4	1	(1)
10-30	4-6	4-6	1	(1)
30-60	6-10	6-10	1-2	(1-2)

** Ef sjónmat bendir til að efni geti verið þjált eða með lífræn óhreinindi þarf að prófa efnið*
*** Ekki er gert ráð fyrir að gera styrkleikapróf nema gæðaflokkun berggreiningar gefi tilefni til*

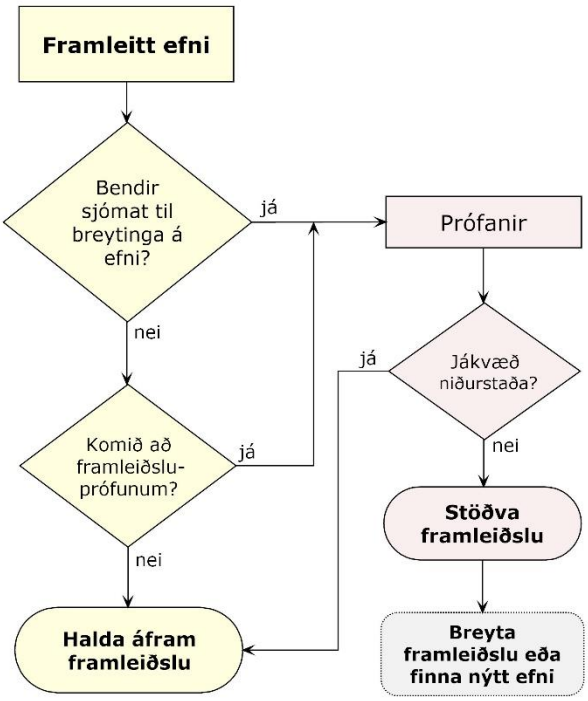
4.3 Próf við framleiðslu

Tilgangur með prófum við framleiðslu, er að fá fullvissu um að efni sem framleitt er hafi þá eiginleika, sem stefnt var að á hönnunarstigi og til að tryggja að gæði efnisins haldist í samræmi við kröfur allt framleiðsluferlið. Með orðinu framleiðsla er hér átt við efnisöflun og/eða aðra vinnslu efnis.

Það er mismunandi eftir efnisgerð og hvernig framleiðslu er háttað, hvaða próf á að gera. Hér á eftir verður fjallað um þau próf sem verktaki á að framkvæma samhliða framleiðslu efnisins en hér er átt við prófanir á efni áður en það er komið út í veg.

4.3.1 Verkferlar

Framleiðsluprófanir skal ávallt gera að lágmarki með þeirri tíðni sem tilgreind er í kafla 4.3.4 Mikilvægt er að nota einnig sjónmat til að fylgjast með vinnslu eða framleiðslu efnis og meta breytingar á efninu allt framleiðsluferlið. Ef grunur leikur á breytingum í átt til lakari efniseiginleika, eru gerð próf til að sannreyna efnisgæðin, sjá flæðirit á mynd 4-3.



Mynd 4-3:
Flæðirit fyrir prófun styrktarlagsefna á framleiðslustigi

Ef niðurstöður framleiðsluprófa eru neikvæðar, þarf að stöðva vinnsluna og gera ráðstafanir til að breyta henni. Ef kornadreifing er ekki innan marka, er oft hægt að breyta vinnsluaðferðum með hörpun, þvotti eða íblöndun. Ef of mikið lífrænt efni er til staðar er mögulega hægt að losna við það með þvotti. Í köflunum hér á eftir er gerð nánari grein fyrir einstökum prófum.

4.3.2 Steinefnapróf

Það próf sem oftast er gert til að fylgjast með framleiðslu efnis í styrktarlag, er mæling á kornadreifingu. Prófið er nauðsynlegt til að kanna hvort efnið sem framleitt er, sé innan þeirra marka sem tilskilin eru. Kröfur til kornadreifingar koma fram í kafla 4.5.1. Ef ákveðið var að nota efni sem stóðst burðarþolspróf (samanber mynd 4-2), er ekki miðað við kröfurnar í kafla 4.5.1, heldur kannað hvort kornadreifingin sé að breytast frá þeirri sem mældist á hönnunarstigi. Ef breytingar eru sjáanlegar á efninu er það sett í viðeigandi próf. Ef grunur leikur á að lífræn

óhreinindi séu til staðar og/eða þjál fínefni er gert húmuspróf og/eða þjálnipróf á þessu stigi. Ef efnið stenst ekki leiðbeinandi kröfur til berggreiningar getur þurft að framkvæma styrkleikapróf en það ætti þó ekki að koma til ef vandað var til undirbúningsrannsókna. Varðandi tíðni prófana við framleiðslu vísast í töflu 4-3.

4.3.3 Próf á efnismassa

Prófanir á efnismassa efnis í styrktarlag á framleiðslustigi eru sjaldgæfar. Ef sjónmat eða mælingar á kornadreifingu benda til breytinga á efni sem ákveðið var að nota að undangengnu burðarþolsprófi (sbr. mynd 4-2), er nauðsynlegt að endurtaka burðarþolsmælingarnar, til að kanna hvort það stenst enn kröfur til þeirra.

4.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Tíðni prófa við framleiðslu, er háð magni sem framleitt er og áætlaðan fjölda þungra bíla, $ÁDU_Þ$, á opnunarári vegarins. Einnig geta niðurstöður prófa við hönnun haft áhrif á tíðni prófa við framleiðslu. Ef valið hefur verið að nota efni sem ekki hefur verið rannsakað í samræmi við flæðiritið á mynd 4-1, eða efni í námu er breytilegt, getur þurft að fjölga prófunum, en tafla 4-3 sýnir lágmarkstíðni prófa miðað við magn sem framleitt er (m^3). Alltaf skal gera eitt próf við upphaf framleiðslu og síðan með þeirri tíðni sem taflan tilgreinir.

Tafla 4-3:
Lágmarkstíðni prófa á styrktarlagsefni á framleiðslustigi

Próf/umferðarflokkur $ÁDU_Þ$	**⩾ 400**	**⩾ 100**	**⩾ 10**	**< 10**
Kornadreifing	3000	4000	5000	5000
Húmus (sjónmat)				
Þjálni (sjónmat)				
Berggreining	15000	15000	15000	-
Styrkleikapróf*	-	-	-	-

Gera skal eitt próf fyrir það magn sem tilgreint er í töflunni (rúmmetrar). Til dæmis ein kornadreifing fyrir hverja 4000 m^3 ef fjöldi þungra ökutækja er áætlaður ≥ 100 $ÁDU_Þ$. Auka þarf tíðni prófana ef prófanir á hönnunarstigi voru ekki gerðar í samræmi við leiðbeiningar.
**Ef steinefni stenst ekki leiðbeinandi kröfur um gerð og magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu getur það kallað á að einnig sé gert styrkleikapróf (LA próf) á framleiðslustigi.*

Gera skal hvert af prófunum minnst einu sinni í verki, einu sinni í námu eða tvisvar sinnum á því ári sem vinnsla fer fram.

Ekki er hægt að nefna tíðni eða ákveðinn fjölda prófa á efnismassa á framleiðslustigi styrktarlags. Þau eru yfirleitt ekki gerð, nema í sérstökum tilvikum og þá þarf að ákveða fjölda þeirra í hvert sinn.

4.4 Próf og mælingar við framkvæmd

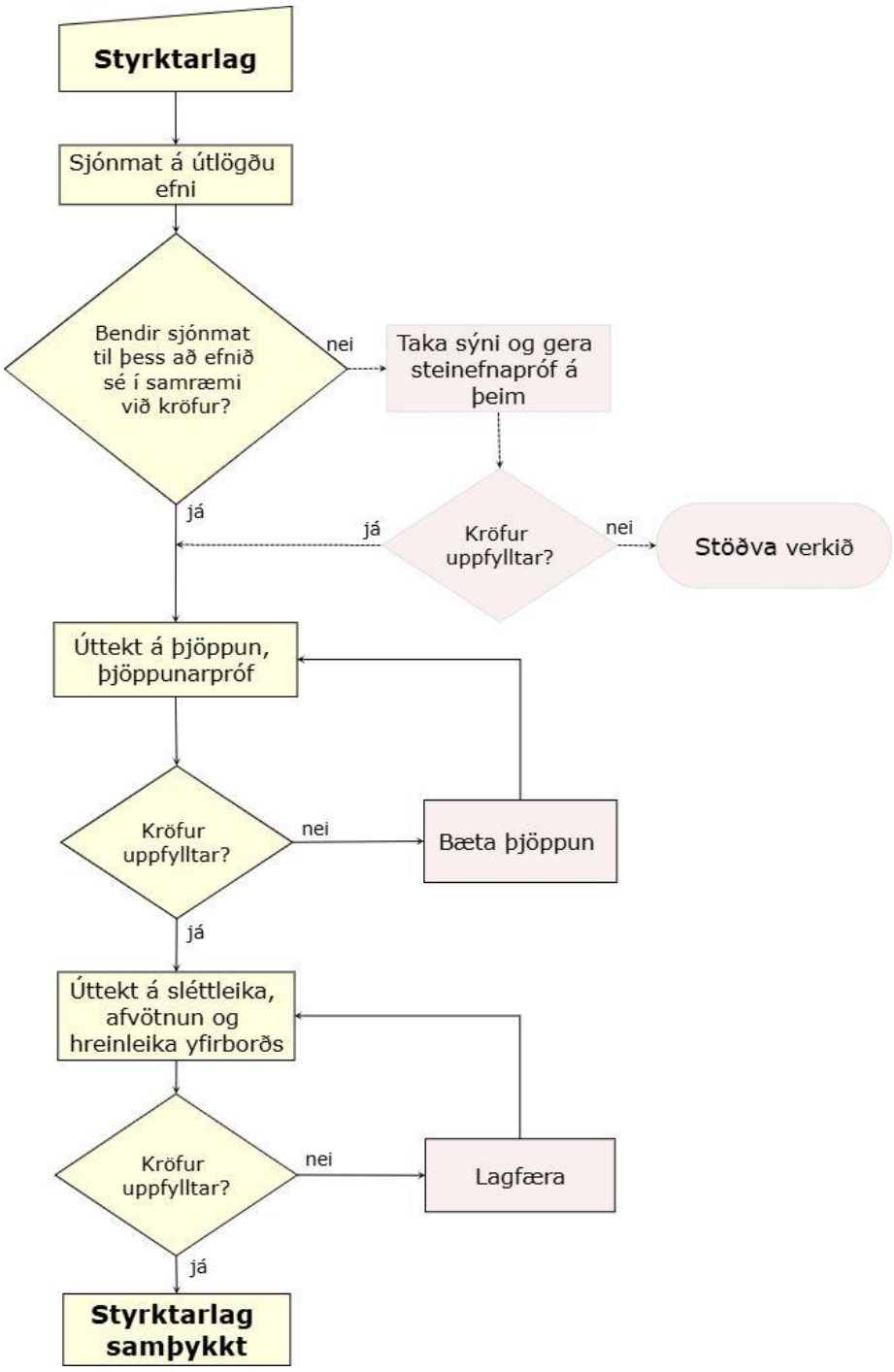
4.4.1 Verkferlar

Flæðiritið á mynd 4-4 sýnir feril athugana og mælinga við framkvæmd þegar unnið er að gerð styrktarlags. Með verkferlinum er verið að sannreyna að verkið sé unnið í samræmi við gerðar kröfur, en jafnframt að tryggja að ekki hafi orðið breyting á efni frá framleiðslu til notkunar.

Eins og fram kemur í flæðiritinu er ávallt rétt að beita sjónmati og ef einhver grunur leikur á að efnið sé gallað á einhvern hátt, eða standist ekki kröfur sem gerðar eru, þarf að taka sýni af efninu og prófa þau. Í versta falli getur þetta leitt til þess að stöðva þurfi verkið. Ef farið er eftir þeim leiðum sem fjallað er um hér að framan um próf á hönnunarstigi og framleiðslustigi, ætti ekki að þurfa að koma til slíkra aðgerða. Til að leggja áherslu á það, er sá hluti flæðiritsins á mynd 4-4 hafður með strikalínum.

Þegar búið er að leggja efni út og þjappa, þarf að kanna hvort þjöppun er nægileg. Einnig þarf að kanna hvort kröfur um sléttleika yfirborðsins, afvötnun og hreinleika þess, eru uppfylltar.

Hér á eftir er gerð grein fyrir helstu prófum og mælingum sem gerðar eru samhliða gerð styrktarlags.



Mynd 4-4:
Flæðirit fyrir prófanir og mælingar við gerð styrktarlags

4.4.2 Steinefnapróf

Ef undirbúningi verksins hefur verið háttað í samræmi við þær áherslur sem nefndar eru í köflunum hér að framan hvað varðar prófanir við hönnun og framleiðslu styrktarlagsefnis ætti ekki að þurfa að gera þessi próf við framkvæmd nema ef eitthvað sérstakt hefur komið upp. Þá er um að ræða sömu próf og nefnd eru í köflum 4.2.2 og 4.3.2, háð því hver ástæða er fyrir því að ákvörðun er tekin um að framkvæma prófanir og um kröfur til steinefna er fjallað í kafla 4.5.1.

4.4.3 Próf og mælingar

Hér verður rætt um þau próf, mælingar og athuganir sem gerðar eru eftir að efni hefur verið lagt út og þjappað. Um er að ræða þjöppunarpróf, mælingu á sléttleika og þykktum, en jafnframt sjónmat á yfirborði styrktarlagsins.

Þjöppunarmæling: Meta má árangur þjöppunar á nokkra mismunandi vegu eins og greint er frá hér á eftir.

Þegar styrktarlag er þjappað skal ávallt **telja fjölda umferða valtans** og miða við lágmarksgildi í samræmi við efni og þykkt laga, eins og fram kemur í töflu 4-4. Upplýsingarnar í töflunni má einnig nota, þegar valtar og völtunaraðferðir eru valdar með tilliti til efnis og lagþykkta. Ef lagþykkt er önnur eða notuð er önnur gerð valta þarf að velja fjölda umferða sem tryggir að sambærileg þjöppun náist. Valtar skulu vera með tölvubúnað sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað þegar umferðir valta eru taldar. Slíkur búnaður eykur verulega líkur á því að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti. Rétt er að hafa í huga að ekki er heppilegt að nota mjög þunga valta á þunn lög, eða ef hætta er á að efni brotni mikið niður. Ef vegbotn er úr mjúkum efnum (t.d. mýri) getur verið erfitt að ná tilskilinni þjöppun og ber verktaka að velja valta sem henta slíkum aðstæðum. Stjórnandi valta skal skila skýrslu, þar sem fram kemur:

- dagsetning
- gerð og stærð valta
- þyngd og breidd tromlu
- hvaða vegarkafli var valtaður hvaða lag í vegi
- lagþykkt
- hraði valta og fjölda yfirferða.

Hraði valta skal vera milli 3 og 5 km/klst. Auk þess skal svo gera eitthvert þeirra prófa sem nefnt er í töflu 4-5 hér á eftir til að sannreyna þjöppunina.

Tafla 4-4:
Þjöppun styrktarlags, val á valta, lagþykkt og fjölda yfirferða

Þjöppunarbúnaður			**Óbrotið efni, sandur og möl**		**Brotið efni og púkk**	
Gerð valta	Heildar-þyngd, tonn	Statísk þyngd, kg/cm*	Lagþykkt, mm	Lágmarks fjöldi yfirferða**	Lagþykkt, mm	Lágmarks fjöldi yfirferða**
Valti með eina tromlu	6-8	15-25	⩽ 400	8	⩽ 200	5
					200-400	7
	8-10	25-35	⩽ 400	7	⩽ 200	4
			400-500	8	200-400	7
					400-500	8
	10-13	35-45	⩽ 400	5	⩽ 200	4
			400-500	6	200-400	5
					400-500	6
	> 13	> 45	⩽ 400	3	⩽ 400	3
			400-500	4	400-500	4

Taflan er sambærileg við töflu 602.3 bls. 186 í Vegbygging N200 (útgáfa 2018). Samkvæmt ritinu N200 skal ekki nota tveggja tromlu valta við þjöppun styrktarlags.
**Þyngd á hverja valtatromlu í kg á breiddareiningu hverrar valtatromlu sem mæld er í cm*
*** Völtun fram og til baka telst vera tvær yfirferðir*

Árangur þjöppunar skal einnig meta með ***þjöppunarmæli í valta***. Því skal valti vera útbúinn með þjöppunarmæli og mæliaflestur vera skráður reglulega. Slíkir valtar eru með tölvubúnað, sem sér um skráninguna og hægt er að fá skýrslu um þjöppunina strax á staðnum. Til að hægt sé að vinna með þjöppunarmæli í völtum skal kvarða mælinn með því að gera tilraunaþjöppun á efninu sem notað er, mæla það og bera saman við niðurstöður plötuprófs. Tilraunaþjöppun skal gera á vegarkafla sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu og skulu prófin gerð á veikustu svæðum kaflans. Endurtaka skal kvörðun þjöppumælis á minnst tveggja mánaða fresti eða eftir hverja 15.000 m^2 sem unnir hafa verið og eins ef skipt er um efnistökustað, breyting verður á efnisgerð, undirbygging breytist, o.s.frv. Mæligildi þjöppumælis í valta skal skilað á tölvutæku formi fyrir allt þversnið vegarins. Í kafla 5.5.3 eru birtar kröfur til þjöppunar. Einnig er hægt að meta árangur þjöppunar með *plötuprófi* eða *hæðarmælingum. Rúmþyngdarmælingar (rafsegulmælingar eða sandkeiluprófi)*, koma einnig til greina, en eru þó aðeins nothæfar þegar efni er með hámarks steinastærð milli 25 og 30 mm, þannig að sjaldnast er hægt að nota þær á styrktarlagi. Þó má geta þess að rafsegulmælingar hafa stundum verið notaðar á efni með allt að 50 mm stærstu kornastærð með viðunandi árangri.

Þegar valið er hver af ofangreindum aðferðum er notuð, má hafa upplýsingar í töflu 4-5 til hliðsjónar.

Tafla 4-5:
Aðferðir til mælinga á þjöppun

Aðferð	Notkunarsvið og athugasemdir
Telja fjölda umferða	Notað við allar aðstæður.
Þjöppunarmælir í valta	Hægt að nota við allar aðstæður.
Plötupróf	Hægt að gera á öllum vegum, en sjaldnast notað nema á umferðarmestu vegum.
Hæðarmæling	Hægt að nota við allar aðstæður.
Rúmþyngdarmæling (rafsegulmælingar)	Takmarkast við hámarkskornastærð 25-30 mm, en hefur stundum verið notað á efni með allt að 50 mm stærstu kornastærð með viðunandi árangri.
Rúmþyngdarmæling (sandkeiluprór)	Takmarkast við hámarkskornastærð 25-30 mm. Prófið er tímafrekt og niðurstöður liggja ekki fyrir strax.

Hannað yfirborð, þverhalli og þykkt: Gerðar eru kröfur um mesta frávik frá hönnuðu yfirborði og mesta frávik frá hannaðri þykkt. Þriggja punkta þversniðsmælingar eru gerðar til að hafa eftirlit með þessum þáttum.

Sjónmat á yfirborði styrktarlags: Við lok frágangs styrktarlags, þarf að skoða yfirborð þess. Yfirborðið á að vera lokað til að koma í veg fyrir að efni úr burðarlaginu gangi niður í það, sjá síukröfur í inngangi þessa rits. Einnig þarf að vera tryggt að ekki safnist á því vatnspollar og að ekki séu á því rastir. Yfirborðið skal vera laust við óhreinindi.

4.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Við þjöppun er fjöldi yfirferða valtans ávallt talinn og skráður, en einnig þarf að gera aðrar mælingar (plötupróf eða hæðarmælingar) til að staðfesta árangur þjöppunarinnar. Tíðni þeirra mælinga kemur fram í töflu 4-6.

Æskilegt er að valti sé búinn þjöppunarmæli, sjá kafla 4.4.3. Með því móti fæst mælikvarði á þjöppun alls yfirborðsins sem unnið er með. Slíka mæla þarf þó að kvarða með einhverju af ofangreindum prófum, en fækka má mælingunum sem gerðar eru til staðfestingar á árangri. Ef valti telur umferðir sjálfkrafa má minnka tíðni staðfestingarmælinga niður í 75% af því sem fram kemur í töflu 4-6 og ef valtinn mælir burðarþolsgildi þá dugar að gera tvær staðfestingarmælingar fyrir hverja efnisgerð og gerð undirstöðu í hverju verki.

Tafla 4-6:
Tíðni mælinga á þjöppun

Aðferð	Fjöldi þungra ökutækja, ÁDUþ		
	⩾ 400	**⩾ 100**	**< 100**
Plötupróf	Á 100 m bili	Á 300 m bili	Á 500 m bili
(Rúmþyngdarmæling)			
Hæðarmæling			

Úttekt á sléttleika og þykktum skal gera áður en burðarlag er lagt. Til þess eru gerðar hæðarmælingar og eru þær gerðar með 20 m millibili, fyrir alla umferðarflokka, í þremur punktum í þversniði, þ.e. á útbrúnum og miðju.

4.5 Kröfur

Þær kröfur sem koma fram í köflunum hér á eftir eiga einkum við um efni í efri hluta styrktarlags ef það er lagt út í tvennu lagi, eða allt styrktarlagið ef það er lagt út í einu lagi. Við framsetningu á kröfunum hér á eftir er almennt miðað við kröfuflokka sem settir eru fram í evrópsku stöðlunum ÍST EN 13242 um óbundin steinefni (e. Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction), sem fjallar um kröfur til einstakra korna og ÍST EN 13285 Óbundnar blöndur – eiginleikar (e. Unbound mixtures – Specification), sem fjallar um kröfur til efnismassa. Rétt er að taka fram að fleiri kröfur eru í þessum stöðlum en teknar eru hér og að auki er skerpt á sumum þeirra í samræmi við reynslu hérlendis.

Kröfur til efnisgæða miðast við áætlaðan fjölda þungra bíla ($ÁDU_Þ$) á opnunarári vegarins þannig að krafist er betri efnisgæða eftir því sem vegurinn hefur meira hlutverki að gegna í þjóðvegakerfi landsins. Þannig eru gerðar mestar kröfur til efnisgæða styrktarlags þar sem þungaumferð er mikil, enda er hún ráðandi hvað varðar álag á styrktarlag. Þungir bílar teljast vera bílar með heildarþyngd > 3,5 t. Miðað er við þungaumferð samtals á tveggja akreina vegi. Ef akreinar eru fleiri en ein í hvora átt kemur til greina að taka tillit til að að álag dreifist mismunandi milli akreina og draga þar með úr kröfum til efnisgæða steinefna. Þó verður ávallt að tryggja að umferðarmestu vegir landsins hafi mjög gott burðarþol og að vegyfirborð þeirra haldi góðum sléttleika allan líftíma vegarins. Malarslitlög þola meiri formbreytingar en t.d. malbiksslitlög á vegum í hærri umferðarflokkum og steypt slitlög þola mjög litlar formbreytingar. Sú grundvallarkrafa er gerð til styrktarlagsefnis að það sé frostfrítt þannig að í efninu verði ekki frostlyftingar. Þetta á jafnt við um malarvegi þó að malarslitlög þoli miklar hreyfingar. Vegakerfið er í stöðugri uppbyggingu og malarvegur í dag getur síðar verið lagður klæðingu og er þá mikilvægt að styrktarlag malarvega standist þær kröfur sem gerðar eru til efnis í vegum með bundnu slitlagi.

Íslenskur fylgistaðall um framleiðslu steinefna var gefinn út af Staðlaráði Íslands og tók gildi hérlendis árið 2013, ÍST 76. Í þessum leiðbeiningum er tekið mið af íslenskum fylgistöðlum með framleiðslustöðlunum þar sem valdar hafa verið þær prófunaraðferðir sem eru taldar henta best íslenskum steinefnum og aðstæðum. Gerð er grein fyrir þeim í einstökum köflum og viðauka 4. Í fylgistaðlinum felst samkomulag milli framleiðenda og kaupenda steinefna svo og prófanastofa, t.d. hvað varðar val á prófunaraðferðum sem nota skal til mælinga á eiginleikum steinefna til mismunandi nota. Fylgistaðallinn tekur afdráttarlausa afstöðu til prófunaraðferða og eftirlitskerfa. Þar kemur fram að eftirlit með framleiðslu skuli vera einungis á hendi framleiðanda steinefnis (eftirlitskerfi 4) við framleiðslu á steinefni til óbundinna nota (ÍST EN 13242).

Þær kröfur sem hér eru settar fram gilda fyrir efni í námu en gera má ráð fyrir og rétt að hafa í huga, að breytingar geta orðið á eiginleikum efnisins við frágang í vegi.

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 er fjallað um mat og staðfestingu á gæðastöðugleika steinefna – gerðarprófun og framleiðslueftirlit (e. AVCP of aggregates — Type Testing and Factory Production Control), sem ber að viðhafa við framleiðslu steinefna.

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinefna og verkgæði séu skráð með fullnægjandi hætti. Ef efni er fengið úr námu framleiðanda sem selur steinefni á markaði er heimilt að telja skjalfest framleiðslueftirlit með í heildarumfangi eftirlits með gæðum steinefna í viðkomandi verk.

4.5.1 Kröfur til steinefna

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 eru settar fram frávikskröfur vegna framleiðslu steinefna (sjá viðauka 4). Kröfurnar eru að 90% mælinga á kornadreifingu skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk. Vegagerðin gerir sömu kröfur varðandi frávik þegar kröfur um kornadreifingu styrktarlagsefna eru settar fram sem kröfuflokkur í samræmi við staðal ÍST EN 13242 (sjá töflur 4-8 og 4-9). Þar að auki skulu skv. framleiðslustaðli öll gildi fyrir aðrar prófunaraðferðir vera innan þess kröfuflokks sem framleiðandi ábyrgist (e. within the limit specified). Vegagerðin setur hins vegar fram almennar nokkru rýmri frávikareglur varðandi kröfur Vegagerðarinnar til berggæða styrktarlags og ásýndar bergs, sem gera ráð fyrir að eitt gildi af hverjum fimm gildum megi víkja frá kröfugildi sem nemur allt að 10% í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi 22 ef kröfuflokkurinn er LA_{20} og hin fjögur skulu þá vera innan marka.

Kornadreifing

Kröfur til kornadreifingar eru samkvæmt ÍST EN 13285 og ÍST EN 13242.

Kröfur til kornadreifingar styrktarlagsefnis eru ákvarðaðar með eftirfarandi hætti:

- með vali á stærðarflokki
- með kröfum um hámarksmagn fínefna (< 0,063 mm og < 0,02 mm)
- með kröfum um grófleikatölu (Cu, D_{60}/D_{10})
- með kröfum um sandhlutfall
- með kröfum um stærstu steina
- með kröfum um undirstærðir og yfirstærðir

Algengt er að miða við stærðarflokka styrktarlagsefnis í töflu 4-1 í kafla 4.1. Stærstu steinar (D'_{98}) í neðra styrktarlagi skulu ekki vera stærri en 250 mm (ef lagt er í tveimur lögum). Miða skal kröfur um fínefnainnihald við flokk UF_7, þ.e. að fínefni minna en 0,063 mm skal ekki vera meira en 7%. Miðað er við efni í námu í flokki 0/63 mm, en gera má ráð fyrir að magn fínefna verði 1 til 2% hærra í frágengnu efni í vegi. Ef fínefnainnihald (≤ 0,063 mm) sýnishluta undir 63 mm er meira en 6% skal þó einnig mæla kornadreifingu fínefnis og skal hlutfall efnis ≤ 0,02 mm vera ≤ 3%. Til viðbótar við staðlana eru gerðar kröfur um að grófleikatala, Cu, uppfylli kröfur í töflu 4-7.

Tafla 4-7:
Kröfur til grófleikatölu

Cu (=D_{60}/D_{10})*	**Fjöldi þungra ökutækja**	
	$ÁDU_Þ \geqslant 10$	**$ÁDU_Þ < 10$**
*Efri hluti styrktarlags***	Cu ⩾ 15	Cu ⩾ 10
Neðri hluti styrktarlags	Cu ⩾ 5	

**Cu=D_{60}/D_{10}, þar sem D_{60} er sú steinastærð sem 60% af efninu smýgur og D_{10} er sú steinastærð sem 10% af efninu smýgur*
***Þessar kröfur gilda fyrir allt styrktarlagið ef það er lagt út í einu lagi*

Auk ofangreindra krafna um kornadreifingu gildir um efra styrktarlag (eða allt lagið ef það er lagt út sem eitt lag) að hlutfall efnis minna en 4 mm má ekki vera meira en 45%. Í þeim tilfellum skal efri flokkunarstærð efnis (D) ekki vera meiri en 150 mm eða ekki meiri en hálf lagþykkt. Fyrir óunnið efni skal miða við að D'_{98} sé ekki meira en 2/3 hlutar lagþykktar.

Fyrir sprengt berg eða gróft efni (til dæmis hraun og bólstraberg) með kornadreifingu sem myndar burðargrind og fínefnið rúmast vel á milli steinanna er gerð krafa um UF_6. Magn fínefna minna en

0,063 mm í slíku efni, miðað við efni í flokki 0/63 mm, má sem sagt ekki vera meira en 6%. Sprengt berg sem notað er í efri hluta styrktarlags (eða allt lagið í heild sinni) skal vera malað og/eða flokkað.

Í staðli ÍST EN 13242 eru settar fram kröfur um leyfilegar undir- og yfirstærðir flokkaðs efnis og óflokkaðs efnis, sjá töflu 4-8. Í töflunni stendur d fyrir neðri flokkunarstærð og D fyrir efri flokkunarstærð, t.d. 22/63 (d/D). Nokkrir valkostir eru fyrir undir- og yfirstærðir í flokkuðu efni til dæmis kröfuflokkur G_C 85/15 þar sem G_C X/Y táknar að minnst X% efnisins eiga að smjúga grófara sigtið (efri flokkunarstærð) og mest Y% mega smjúga það fínna (neðri flokkunarstærð). Auk þess eru samsvarandi ákvæði fyrir d/2, 1,4×D og 2×D.

Fyrir óflokkað efni þ.e.a.s. 0/X efni þar sem d = 0 (t.d. 0/63) má velja milli flokka G_A úr töflu 4-8 um yfirstærðir þar sem G_A X táknar að minnst X% eiga að smjúga sigti efri flokkunarstærðar, auk samsvarandi ákvæða um 1,4×D og 2×D, en þar sem neðri flokkunarstærð er 0 eru engir kröfuflokkar um undirstærðir.

Tafla 4-8:
Kröfuflokkar með leyfilegum yfir- og undirstærðum samkvæmt staðli ÍST EN 13242

Gerð steinefnis	Stærð, mm	Sáldur, % af þyngd					Kröfuflokkur G
		2xD[a]	1,4xD	D[b]	d[c]	d/2	
Flokkað efni* D > 4 d ⩾ 1		100	98-100	85-99[b]	0-15	0-5	G_C 85/15
		100	98-100	80-99	0-20	0-5	G_C 80/20
Óflokkað efni* D > 4 d = 0		100	98-100	90-99	-	-	G_A 90
		100	98-100	85-99	-	-	G_A 85
		100	98-100	80-99	-	-	G_A 80

Skýringar við töfluna:

[a] Steinefni með D > 63 mm (t.d. 90 mm) er undanþegið ákvæðinu um sáldur á sigti með möskvastærð 2xD, þar sem sigtaröð ISO 565/R20 takmarkast að ofan við 125 mm sigti. Ákvæðið varðandi 1,4xD gildir hins vegar.

[b] Ef hlutfallið D/d er minna en 2 (flokkað efni) og kröfuflokkurinn er GC 85/15 má minnka hlutfallið sem smýgur sigti með möskvastærðina D um 5%, að teknu tilliti til fyrirhugaðrar notkunar steinefnisins.

[c] Mörkunum fyrir þann hluta steinefnanna sem smjúga sigti með möskvastærð d má breyta og tilgreina í staðinn tölu á bilinu 1-15 fyrir GC 85/15 og á bilinu 1-20 fyrir GC 80/20, ef það er nauðsynlegt til að tryggja heppilega stærðadreifingu steinefnisins.

**Það sem nefnt er flokkað efni hér kallast „Coarse" í staðlinum, samanber C í kröfuflokki G_C. „All-in" í staðlinum samanber A i G_A er nefnt óflokkað efni hér.*

Sem dæmi um notkun töflu 4-8 má taka flokkað efni 22/125, þ.e. d = 22 mm og D = 125 mm. Ef valinn er kröfuflokkur Gc 85/15 mega 0 – 15% af efninu smjúga 22 mm sigti (d) og 85 – 99% af efninu skal smjúga 125 mm sigti (D). Þannig verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 125 mm sigtinu sem er mikilvægt til að tryggja að efnið nái þeirri efri flokkunarstærð (í þessu dæmi D = 125 mm). Samkvæmt kröfuflokki Gc 85/15 mega 0 – 5% af efninu smjúga 11 mm sigti (d/2 = 11) og 98 – 100% verða að smjúga 175 mm sigti (1,4×D = 175). Að lokum verður allt efnið að smjúga 250 mm sigti (2×D = 250).

Sem dæmi um óflokkað efni má taka flokkunarstærðir 0/90, (d = 0 og D = 90 mm). Ef valinn er kröfuflokkur G_A 80 þá skal 80 – 99% af efninu smjúga 90 mm sigti (D) og eins og í dæminu hér fyrir ofan verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 90 mm sigtinu. Á bilinu 98 – 100% verða að smjúga 125 mm sigti (1,4×D = 125). Að lokum verður allt efnið að smjúga 180 mm sigti (2×D = 180).

Lífræn efni
Efni sem nota á í styrktarlag skal vera laust við lífræn efni. Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni er innan marka, en í vafatilfellum skal prófa samkvæmt staðli ÍST EN 1744-1 og er miðað við að efnið standist kröfur samkvæmt staðallausn í NaOH prófi samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13242. Einnig kemur til greina að gera glæðitapsmælingu á efninu, sjá viðauka 1.

Þjálni
Efni sem nota á í styrktarlag má ekki flokkast sem þjált efni. Sjónmat er almennt látið nægja til að meta þjálni en í vafatilfellum skal efnið prófað með tilliti til þjálni. Ef fínefni (≤ 0,063 mm) er minna en 3% er ekki ástæða til að prófa þjálni.

ATH: Heimilt er að gera kröfu um þjálnipróf samkvæmt grein 4.5 í staðli ÍST EN 13285: Unbound mixtures – Specifications.

Stærðargreining fínefna
Ef magn fínefna (≤ 0,063 mm) í styrktarlagsefni er yfir 6% af efni 0/63 mm, skal stærðargreina fínefni samkvæmt hydrometer- eða laserprófi. Greiningin er gerð til að ákvarða þyngdarhluta sýnis undir 0,02 mm. Ef hann er hærri en 3% miðað við stærðarflokk 0/22 mm, skal hafna efninu.

ATH: Heimilt er að gera kröfu um slíkt próf til að meta frostnæmi efna samkvæmt staðli ÍST EN 13285: Unbound mixtures – Specifications.

Berggreining
Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki koma fram í töflu 4-10. Kröfurnar miðast við sýni af steinefni á stærðarbilinu 5,6-11,2 mm, sem eru hentugar steinastærðir til að meta í berggreiningu.

Tafla 4-10:
Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í gæðaflokkum við berggreiningu

Fjöldi þungra ökutækja	**Mjög ummyndað efni***	**Ferskt, efni***
$ÁDU_þ$	% í 3. gæðaflokki	% í 3. gæðaflokki
⩾ 400	≤ 10	≤ 25
⩾ 100	≤ 15	≤ 30
⩾ 10	≤ 20	≤ 35
< 10	≤ 25	≤ 40

** Miðað er við að meirihluti þess efnis sem lendir í 3. gæðaflokki sé af viðkomandi berggerð*

Athygli er vakin á tvenns konar kröfum um leyfilegt magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu. Munurinn liggur í því að bergbrigði með ólíka eiginleika lenda í sama gæðaflokki. Þar sem mjög ummynduð bergbrigði eru talin mun óæskilegri fyrir styrktarlag en fersk, eru gerðar minni kröfur til ferskra efna en ummyndaðra, jafnvel þótt þau séu fínblöðrótt og brotni þar af leiðandi niður undan álagi. Ástæðan er sú að við niðurbrot mikið ummyndaðs bergs geta skaðlegar leirsteindir valdið frostlyftingum, en við niðurbrot ferskra efna er afurð niðurbrotsins yfirleitt í sandstærðum sem eru skaðlausar í styrktarlagi.

Ef setberg er í efninu þarf að meta sérstaklega hvort hætta er á því að við niðurbrot þess hækki fínefni efnisins yfir leyfileg mörk.

ATH: Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13242 eru ekki eiginlegar kröfur til niðurstöðu berggreiningar. Berggreiningin á aðeins að segja almennt til um berggerð sýnisins og fylgja með sem upplýsingar um efnið. Íslenska aðferðin hefur verið aðlöguð ÍST EN 932-3, en er mun ýtarlegri í skiptingu basalts eftir ummyndun og þéttleika. Íslenska gæðaflokkunin er hins vegar alveg óháð Evrópustöðlum og hefur enga tilvísun í þá, enda er ávallt talað um leiðbeinandi kröfur til gæðaflokkunar í þessu riti. Í Leiðbeiningum Vegagerðarinnar, LEI-3410, er íslenska berggreiningarkerfið skjalfest.

Styrkleikapróf

Gera skal styrkleikapróf ef magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu stenst ekki leiðbeinandi kröfur fyrir viðkomandi umferðarflokk. Með öðrum orðum ræður leiðbeinandi gæðaflokkun berggreiningar því hvort gera skuli styrkleikapróf eða ekki. Kröfur til styrkleika steinefna í styrktarlag koma fram í töflu 4-11. Miðað er við að sýni úr 10-14 mm steinefni sé prófað samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2.

Tafla 4-11:
Kröfur til styrkleika ef 3. flokks efni er yfir mörkum (Los Angeles próf)

	LA kröfuflokkar skv. ÍST EN 13242	
Fjöldi þungra ökutækja	Ef 3. flokks efni er mjög ummyndað*	Ef 3. flokks efni er ferskt*
$ÁDU_þ$	LA gildi	LA gildi
$\geqslant$ 400	LA_{20}	LA_{35}
$\geqslant$ 100	LA_{25}	LA_{40}
$\geqslant$ 10	LA_{30}	LA_{40}
< 10	LA_{35}	LA_{50}

**Í töflunni þýðir LA_X að LA-stuðullinn skuli að hámarki vera X %*

Við mat á styrkleika steinefna hérlendis hefur svonefndur Bg-stuðull einnig verið mældur, en þar er notuð samsett, lokuð kornakúrfa efnisins. Sú aðferð er þó ekki til sem Evrópustaðall, en miða má við kröfur í töflu 4-12 ef valið er að nota hana til viðbótar eða í staðinn fyrir LA prófið við framleiðslueftirlit.

Tafla 4-12:
Kröfur til styrkleika ef 3. flokks efni er yfir mörkum (Bg-stuðull)

Fjöldi þungra ökutækja	**Ef 3. flokks efni er mjög ummyndað***	**Ef 3. flokks efni er ferskt***
$ÁDU_þ$	Bg stuðull	Bg stuðull
$\geqslant$ 400	$\leq$ 8	$\leq$ 14
$\geqslant$ 100	$\leq$ 10	$\leq$ 16
$\geqslant$ 10	$\leq$ 12	$\leq$ 16
< 10	$\leq$ 14	$\leq$ 20

4.5.2 Kröfur til efnismassa

Proctorpróf
Rúmþyngdarmælingar úr proctorprófi má nota sem mælikvarða á þjöppun, með því að bera þær saman við rúmþyngdir mældar með rafsegulmælingum eða sandkeilu aðferð. Sandkeilupróf og rafsegulmælingar eru hins vegar ekki gerðar á grófkorna efni, þannig að notkunin takmarkast við að efnið í styrktarlaginu sé með hámarks kornastærð milli 25 og 30 mm og fyrir vikið koma þessi próf ekki oft til greina. Þó ber að geta þess að rafsegulmælingar hafa stundum verið gerðar á efni með allt að 50 mm kornastærð. Ef miðað er við proctorpróf telst efnið nægilega þjappað þegar útlögð þurr rúmþyngd þess er hærri en rúmþyngd sem jafngildir 95% af hæstu rúmþyngd við Modified Proctor þjöppun. Frávik einstakra rúmþyngdaprófa til lækkunar má vera mest 2%.

Í þeim tilvikum sem proctorprófið bendir til að þjöppun efnisins sé háð rakainnihaldi þess, eru niðurstöður þess notaðar til að ákveða við hvaða rakastig skal þjappa styrktarlagið. Er þá miðað við lægra gildið af tveimur; hagstæðasta rakastiginu (W_{obt}), sem er það rakastig sem gefur hæsta þurra rúmþyngd við proctorþjöppun, eða rakastig sem er þremur prósentum lægra en mettunarrakinn samkvæmt proctorprófinu ($W_{mettað}$ - 3%). Æskilegt er að þessar niðurstöður liggi fyrir á hönnunarstigi.

ATH: Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13285, kemur fram að ákveða skal þurra rúmþyngd og heppilegasta rakastig (e. optimal water content) efnisins við þjöppun, en þessa þætti má mæla með proctorprófi.

CBR-próf
Ef ákveðið hefur verið, samanber flæðirit á mynd 4-2, að meta hvort efni er hæft í styrktarlag með því að gera CBR-próf, er krafan sú að efni má nota í efri hluta styrktarlags ef CBR gildið mælist hærra en 40% við þurra rúmþyngd sem svarar til 95% af hæstu þurru rúmþyngd við Modified-Proctor þjöppun. Sama gildir fyrir efni sem nota á í neðri hlutann (sjá einnig kafla 4.5.1), ef CBR gildið mælist hærra en 20%, sjá töflu 4-13.

Tafla 4-13:
Kröfur til CBR-gilda, ef efni uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu

Styrktarlag	CBR
Efri hluti*	> 40
Neðri hluti	> 20

**Gildir fyrir allt styrktarlagið ef það er lagt út í einu lagi*

Þó efnið sé of gróft fyrir CBR-próf (meira en 30% grófara en 22,4 mm) má heimila notkun þess ef fínni hluti þess (sá sem prófaður er í CBR-prófinu) uppfyllir ofanskráðar kröfur. Hins vegar er rétt að taka fram að samkvæmt staðli er ekki gert ráð fyrir að gera CBR próf á svo grófu efni.

ATH: Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13285 eru engar kröfur um niðurstöður CBR-prófa.

4.5.3 Kröfur við framkvæmd

Ef D'_{98}[3] í styrktarlagsefni er 90 mm eða minna er æskilegt að leggja styrktarlag út með malardreifara og að útlögn lokinni á styrktarlagið að hafa slétt yfirborð.

Sprengt berg sem notað er í efri hluta styrktarlags (eða allt lagið ef lagt í einu lagi) skal vera malað eða flokkað. Þegar styrktarlag er lagt úr sprengdu bergi getur reynst erfitt að uppfylla kröfur um hæðarlegu og sléttleika og þá getur þurft að rétta styrktarlagið af. Efnið sem notað er til afréttingar þarf að lágmarki að uppfylla efniskröfur til styrktarlags (aðrar en kornastærð) og til burðarlags ef umferðin er meiri en 100 $ÁDU_Þ$. Auk þess þurfa síukröfur að vera uppfylltar, sjá umfjöllun um síukröfur í inngangi þessa rits.

Styrktarlag skal þjappað við rakastig sem tryggir góða þjöppun samkvæmt Modified Proctor prófi í samræmi við kröfur sem eru tilgreindar í kafla 4.5.2. Proctor próf er þó ekki framkvæmt á grófum efnum og sprengdu möluðu grjóti og gefur ekki góðar vísbendingar fyrir hrein sandrík efni og sand. Slík efni skal þjappa í röku ástandi við rakastig sem telst hæfilegt samkvæmt sjónmati.

Þess skal gætt að yfirborð hafi verið hreinsað vel, losað við öll óhreinindi, jafnað, þjappað og frágengið áður en útlögn burðarlags hefst. Eftir að gengið hefur verið frá yfirborði má engin vinnuumferð vera á því. Forðast skal aðskilnað kornastærða efnisins og bæta úr á fullnægjandi hátt þar sem aðskilnaður verður.

Útlögn burðarlags má ekki hefjast fyrr en gerð styrktarlags hefur verið tekin formlega út og samþykkt.

Þjöppunarmælingar

Í upphafi verks skal verktaki leggja fram áætlun um allan tækjabúnað sem hann áætlar að nota við þjöppun vegarins og um þær aðferðir sem hann hyggst beita við að mæla árangur þjöppunarinnar.

Valtar skulu vera með tölvubúnað sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað þegar umferðir valta eru taldar. Slíkur búnaður tryggir að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti. Valtar skulu einnig vera með þjöppumæli. Hraði valta skal vera á bilinu 3 til 5 km/klst. Stjórnandi valta skal halda dagbækur um völtun, þar sem fram kemur dagsetning, gerð og stærð valta, þyngd og breidd tromlu, hvaða vegstæði var valtað, hvaða lag í vegi, lagþykkt, hraði valta og fjöldi yfirferða. Tafla 4-3 í kafla 4.4.3 sýnir lágmarksfjölda umferða mismunandi valta miðað við lagþykkt.

Viðmiðunargildi **þjöppumælis á valta** skal ákveða út frá niðurstöðum plötuprófsmælinga við upphaf verks og skal miða við E2 og gildin fyrir hlutfall E gilda í töflu 4-15. Framkvæma skal plötupróf á veikustu punktum hvers kafla vegarins sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu. Halda skal skrá yfir lokaþjöppun þar sem er skráð stöð og hvaða lag er valtað. Þjöppun telst fullnægjandi ef 8% ± 2% viðbótarþjöppun mælist milli síðustu yfirferða valta á yfirborði styrktarlags. Mælingar sýna þjöppunarstig og hve mikið þjöppun eykst í % fyrir eina viðbótarumferð. Völtun telst fullnægjandi þegar viðbótarþjöppun við eina viðbótarumferð er undir þeim gildum sem mælast við tilraunaþjöppunina. Ef ekki er hægt að gera tilraunaþjöppun, er hægt að miða við reglur um val á valta, lagþykktir og meta fjölda yfirferða út frá niðurstöðum mælisins. Þá er miðað við að hægt sé að hætta völtun ef munur í þjöppunarmælingum milli umferða er innan við 8% en leyft frávik er ± 2%.

[3] D'_{98} tengist ekki D sem er efri flokkunarstærð í framleiðslustaðli ÍST EN 13242. D'_{98} táknar möskvastærð (mm) í sigti sem minnst 98% steinefnisins smjúga og er hentugt mat á stærð stærstu steina í efninu

Við athugun á niðurstöðum ***plötuprófa***, sem gerð eru á yfirborði styrktarlags, eru annars vegar gerðar kröfur um lágmark fyrir gildi E2 og hins vegar kröfur til þess að hlutfallið milli gildanna E2/E1 sé ekki of hátt. Fyrri krafan er gerð til að sannreyna að efnið hafi nægilegt burðarþol, en hin síðari á að tryggja að þjöppun sé nægileg. Fyrir getur komið, til dæmis ef vegur er byggður á mýri, að hlutfallið E2/E1 sé lágt og þjöppun þar með góð, en E2 sé hins vegar líka lágt og burðarþolið því ekki nægilegt. Tekið skal fram að ekki er rétt að líta á þessi E-gildi sem reiknuð eru út frá niðurstöðum plötuprófa út frá fræðilegu sjónarhorni, sem upplýsingar um eðlisfræðilega eiginleika efnisins í styrktarlaginu. Réttara er að skoða þau sem nokkurs konar "mótstöðustuðla", sem gefa hugmynd um burðarþol út frá reynslu. Plötupróf hentar vel fyrir mælingu á efni með efri flokkunarstærð ≤ 150 mm og fyrir lagþykkt < 300 mm. Krafan er að niðurstöður plötuprófa og hlutfall E-gilda kemur fram í töflu 4-15.

Tafla 4-15:
Kröfur til E2 gildis og hlutfall E-gilda úr plötuprófi með 300 mm plötu

Fjöldi þungra ökutækja, $ÁDU_Þ$	**E2 MPa**	**E2/E1 hlutfall**
$\geqslant$ 400	$\geq$ 120	$\leqslant$ 2,5
$\geqslant$ 100	$\geq$ 120	$\leqslant$ 3,0
< 100	$\geq$ 100	$\leqslant$ 3,5

Í fyrri útgáfum Efnisgæðaritsins var krafan fyrir E2 ≥ 110 MPa. Þessar kröfur eru nú úreltar og eru ekki í samræmi við aukið umferðarálag á vegum landsins. Á umferðarmestu vegunum er gjarnan notað púkk eða sprengt berg í styrktarlag sem uppfyllir stífar kröfur ef vandað er til þjöppunar. Hins vegar er veruleikinn sá að styrktarlag á tiltölulega umferðarlitlum vegum er oft úr óunnum lausum jarðlögum og því er ekki raunhæft að gera stífari kröfur til slíkra vega en gerðar eru í töflunni.

Mesta frávik einstakra plötuprófa til lækkunar er 10 MPa fyrir burðarþolsgildið (E2) en meðaltal E2 gilda skal ná kröfugildinu.

Þjöppun mæld með ***sandkeiluprófi*** eða ***rafsegulmælingu*** skal sýna að þurr rúmþyngd eftir þjöppun sé a.m.k. 95% af hæstu þurru rúmþyngd við Modified Proctor þjöppun. Rétt er að minna á að hægt er að nota þessar aðferðir ef aðstæður bjóða upp á það, þ.e.a.s. ef hámarks steinastærð er milli 25 og 30 mm. Þó ber að geta þess að rafsegulmælingar hafa stundum verið gerðar á efni með allt að 50 mm kornastærð.

Í undantekningartilvikum eru ***hæðarmælingar*** notaðar og þá telst þjöppun nægileg, ef meðal sig yfirborðs frá næst síðustu til síðustu umferðar valta er minni en 10% af heildarsigi sem þjöppunin hefur í för með sér. Hæðarmælingar eru aðeins gerðar í undantekningartilvikum.

Hannað yfirborð og þykktir

Kröfur til mesta fráviks frá hönnuðu yfirborði og mesta fráviks frá hannaðri þykkt, koma fram í töflu 4-16.

Tafla 4-16:
Kröfur um nákvæmni í hæð og þykktum mælt á 500 m kafla fyrir tveggja akreina veg og 1000 m á einnar akreinar vegi

	Fjöldi þungra ökutækja, $ÁDU_þ$			
	⩾ 100		< 100	
	Stök mæling	*Meðaltal*	*Stök mæling*	*Meðaltal*
Hámark frávika frá hönnuðu yfirborði (mm)	+30/-30	+7/-7	+50/-50	+20/-25
Hámark frávika frá hannaðri lagþykkt (%)	+20/-15	/-5	+30/-20	/-10



Efnisgæðaritið – Kafli 5: Burðarlag

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406/5 Efnisgæðaritið	52	Október 2024	21
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 5: Burðarlag			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín
Styrktaraðili		**Samvinnuaðilar**
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar		

Lykilorð	
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.	
Undirskrift verkefnastjóra	**Yfirfarið af**
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag (2024)
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
Efnisyfirlit **4**
5 Burðarlag **5**
5.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir 5
5.2 Próf við hönnun 8
5.2.1 Verkferlar 8
5.2.2 Steinefnapróf 13
5.2.3 Próf á efnismassa 18
5.2.4 Fjöldi prófa við hönnun 19
5.3 Próf við framleiðslu 21
5.3.1 Verkferlar 21
5.3.2 Steinefnapróf 22
5.3.3 Próf á efnismassa 22
5.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu 23
5.4 Próf og mælingar við framkvæmd 24
5.4.1 Verkferlar 24
5.4.2 Steinefnapróf 25
5.4.3 Próf og mælingar 26
5.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd 28
5.5 a) Kröfur til óbundinna og festra burðarlaga 30
5.5.1 a) Kröfur til steinefna 31
5.5.2 a) Kröfur til efnismassa 49
5.5.3 a) Kröfur við framkvæmd 50
5.5 b) Kröfur til bikbundinna burðarlaga með 100% malbikskurli 55
5.5.1 b) Kröfur til steinefna í bikbundið burðarlag með 100% malbikskurli 55
5.5.2 b) Kröfur til efnismassa í bikbundið burðarlag með 100% malbikskurli 55
5.5.3 b) Kröfur við framkvæmd lagnar 100% malbikskurls í efsta hluta burðarlags 56

5 Burðarlag

5.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Burðarlagið er næsta lag undir slitlaginu og tekur upp álagið af umferðinni og dreifir því niður á styrktarlagið og þau saman niður á fyllinguna. Hlutverk burðarlagsins er að koma í veg fyrir formbreytingar í slitlaginu og því þarf það að vera stíft og stöðugt. Jafnframt þarf óbundið burðarlag að vera nægilega lekt til að ekki safnist í það vatn og það verður einnig að vera ónæmt fyrir frostáhrifum. Þó er æskilegt að burðarlag **malarvega** sé þétt með hæfilegu fínefnamagni (þó ekki frostnæmt) til að raki haldist í malarslitlaginu.

Óbundið burðarlag undir **klæðingu** skal unnið í tveimur hlutum, efri og neðri hluta, þar sem efni í neðri hlutanum er grófara en efnið í efri hlutanum[1]. Almennt gildir um efri flokkunarstærð hvors hluta fyrir sig að hún sé ekki meiri en helmingur lagsins. Einnig er æskilegt að efri flokkunarstærðin sé ekki minni en fjórðungur lagþykktar til að tryggja stæðni og þjöppun lagsins. Þetta má setja fram á eftirfarandi hátt og hafa til viðmiðunar: $h/4 \leq D \leq h/2$, þar sem „h" er lagþykktin sem þjappa á og „D" er efri flokkunarstærð efnisins. Æskilegt er að hámarkskornastærð neðri hluta burðarlags sé sem næst efri mörkum, miðað við lagþykkt en val á kornastærð efri hluta burðarlags er háð gerð slitlags.

Efri hluti burðarlagsins er stundum bundinn, annað hvort með sementi eða biki til að auka styrk og endingu þess. Stundum er burðarlagsmalbik notað í stað efri hluta burðarlags. Fjallað er um burðarlagsmalbik í kafla 6.

Gerð og uppbygging burðarlags er verulega háð því slitlagi sem ætlað er að nota á veginn. Óbundið burðarlag undir klæðingu þarf að vera þéttara og sléttara og þess vegna gert úr smærra efni en burðarlag undir malbik eða steinsteypu. Auk þess þarf óbundið burðarlag undir klæðingu að vera gert úr mjög sterku steinefni þar sem klæðingin eykur burðarþol vegarins lítið og álag frá umferð er að mestu borið af burðarlaginu. Burðarlag undir malarslitlagi þarf að vera rakaheldið en samt ekki fínefnaríkara en svo að það haldist frostþolið.

Yfirleitt er gerð krafa um að efni úr seti sé malað í óbundið burðarlag, þannig að hlutfall steina sem eru að meiri hluta brotnir sé hærra en 50%. Í kröfum (sjá kafla 5.5) kemur einnig fram hversu mikill hluti efnisins má vera núinn. Í seinni tíð hefur orðið aukning á því að mala berg í burðarlög vega. Ástæða þess er að hæf setlög hafa sums staðar gengið til þurrðar, en einnig er auðveldara að tryggja berggæði í góðri bergnámu, en í setnámu þar sem setið er blanda af mörgum berggerðum.

[1] Hér valið að fjalla um efri hluta- og neðri hluta burðarlags, en ekki efra- og neðra burðarlag, þar sem það sem kallað var neðra burðarlag í Alverki ´95 nefnist nú styrktarlag.

Kostir bergs í burðarlög umfram set, er að það er alveg brotið og yfirborðseiginleikar því hagstæðari varðandi stöðugleika þjappaðs efnis.

Malað efni í óbundið burðarlag er flokkað í stærðarflokka samkvæmt markalínum völdum úr staðli ÍST EN 13285. Markalínurnar tiltaka neðri og efri flokkunarstærðir í mm (d/D), tölugildi efnis sem smýgur einstök sigti og einnig ákvæði um yfir- og undirstærðir. Fyrir 80 mm þykkan efri hluta burðarlags undir klæðingu koma stærðarflokkarnir 0/22 mm (sem sagt d/D) og 0/32 mm til greina. Til að auðvelda fínjöfnun á yfirborði burðarlagsins með veghefli getur verið æskilegt að efri flokkunarstærð sé 22 mm. Slíkt efni er einnig gjarnan með vel lokað yfirborð sem er æskilegt fyrir lagningu klæðingar. Fyrir 125 mm þykkan neðri hluta burðarlags koma stærðarflokkarnir 0/32, 0/45 og 0/63 mm til greina. Ef valið er að nota óbundið burðarlag undir malbik og steinsteypu er það gjarnan lagt í stærðarflokkum 0/32, 0/45 og 0/63 mm. Í staðlinum eru ekki skilgreindar markalínur fyrir grófara efni en 0/90 mm, en samkvæmt honum er verkkaupa þó heimilt að skilgreina markalínur fyrir grófara efni. Í burðarlag undir malarslitlag er hæfilegt að nota stærðarflokkinn 0/32 eða 0/45 mm. Þegar óbundið burðarlag er gert úr grófu efni getur verið nauðsynlegt að loka yfirborðinu og jafna það með smærra efni.

Fyrir malað eða flokkað efni, t.d. 22/63 mm, skal miða við að efri flokkunarstærð (D) sé ekki meiri en helmingur af lagþykktinni og æskilegt er að hún sé ekki minni en fjórðungur lagþykktar. Ef notað er flokkað eða harpað púkk (t.d. 0/90 mm) í neðri hluta burðarlags getur komið til greina að miða við D'_{98}[2] sem má mest vera 2/3 af lagþykktinni.

Hægt er að vinna ofangreindar efnisgerðir frekar til notkunar í burðarlag, til dæmis er hægt að binda þær á mismunandi hátt, s.s. með biki eða sementi.

Á undanförnum árum hefur færst í vöxt að nota malbikskurl sem unnið er úr malbiksfræsi og öðrum malbiksleifum í efsta hluta burðarlags. Þetta á sérstaklega við þar sem um nýbyggingu veghlots er að ræða og notað er slitlagsmalbik undir mikla og þunga umferð í efsta lagið. Þessu nýja, efsta burðarlagi hafa ekki verið gerð skil í Efnisgæðaritinu hingað til, en ákveðið hefur verið að tímabært sé nú að setja fram ákveðnar kröfur til þessarar gerðar burðarlags undir malbik. Í raun má útbúa kaldblandaða 100% endurunna malbiksblöndu í malbikunarstöð og leggja út á nokkuð hefðbundinn hátt til nota í þetta bikbundna burðarlag. Til þess eru notuð efni til íblöndunar til að unnt sé að ná þjöppun lagsins, svo sem bikþeytu, lífbindiefni eða biknæringu (e. rejuvenator). Nauðsynlegt er að prófa gamla bikið í kurlinu með tilliti til stungudýptar og mýkingarmarks til að ákvarða gerð og magn íblöndunarefna til að hámarka efnisgæði malbikskurlsins sem efsta lag burðarlagsins. Til þess þarf að endurheimta gamla bikið til að prófa ofangreinda eiginleika. (ÍST EN 12697-3: Rotary evaporator. Með öðrum orðum þarf að endurheimta æskilega eiginleika gamla biksins í malbikskurlinu með íblöndun. Að auki eru ýmsar kröfur sem

[2] D'_{98} tengist ekki D sem er efri flokkunarstærð í framleiðslustaðli ÍST EN 13242. D'_{98} táknar möskvastærð (mm) í sigti sem minnst 98% steinefnisins smjúga og er hentugt mat á stærð stærstu steina í efninu.

malbikskurl í efsta lag burðarlags þarf að uppfylla, svo sem bikinnihald og kornadreifingu, en kröfurnar eru settar fram í kafla 5.5 hér í lok þessa kafla.

Enn sem komið er má segja að mestöll umfjöllun í þessum burðarlagskafla miðast við óbundin burðarlög, en reikna má með að á komandi árum verið meiri áhersla lögð á umrætt efsta lag burðarlags, sem sagt bikbundið burðarlag, gjarnan úr 100% endurunnu efni.

Efnisgerðir og vinnsla efnis sem á við í hvert sinn ræðst af umferðarþunga á þeim vegi sem verið er að byggja. Kröfur um gæði efnis og vinnslu aukast eftir því sem þungaumferðin er meiri, sjá nánar kafla 5.5.

Í handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar er fjallað ýtarlega um vinnslu steinefna. Í skýrslunni „Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn“ og handbókinni um sprengt berg í vegagerð er ýtarleg umfjöllun um notkun sprengds bergs sem ekki er endurtekin hér nema að litlu leyti. Þessi rit eru öll aðgengileg á vefslóðinni: http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/. Upplýsingar um síukröfur eru settar fram í inngangskafla Efnisgæðaritsins.

5.2 Próf við hönnun

Próf við hönnun, annars vegar steinefnapróf og hins vegar próf á efnismassanum (efnisheildinni), eru gerð til að fá upplýsingar um eiginleika efnisins með tilliti til notkunar í burðarlag. Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar prófanir þegar fyrirhuguð er efnistaka á nýjum efnistökustað. Ef efnisnám er fyrirhugað á námusvæði sem er í stöðugri vinnslu skulu nýlegar niðurstöður efnisrannsókna liggja fyrir á hönnunarstigi. Á forhönnunarstigi getur þurft að velja milli mögulegra námusvæða og er það gert á grundvelli efnisgæða en ávallt er mikilvægt að taka fullt tillit til umhverfissjónarmiða við val á efnistökustað og áætlun um tilhögun efnistöku.

Steinefnapróf eru gerð til að fá upplýsingar um almenna eiginleika efnisins. Eiginleikunum má skipta í tvennt, annars vegar bergbrigði og ásýnd bergs og hins vegar berggæði. Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna í efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins með tilliti til notkunar í burðarlag.

Próf á efnismassa eru gerð til að fá upplýsingar um hvernig efnið hegðar sér sem heild við þjöppun og eftir að það hefur verið þjappað.

Benda má á að með því að breyta vinnsluaðferðum má hafa áhrif á ýmsa eiginleika steinefna, sjá viðauka 6 og áðurnefnda skýrslu um notkun bergs til vegagerðar. Hér á eftir er gerð grein fyrir verkferlum vegna prófa við hönnun og fjallað um mismunandi steinefnapróf og próf á efnismassa.

Það skal tekið skýrt fram að þessi kafli um próf við hönnun miðast að mestu leyti um að verið sé að hanna óbundið burðarlag, en ekki bikbundið efsta lag burðarlagsins með kaldblönduðu, 100% endurunni malbikskurli. Hönnun á bikbundnum efnisgerðum sem blandaðar eru í stöð er í eðli sínu háð öðrum verkferlum en hönnun á óbundnum efnisgerðum og aðrar aðferðir notaðar til að ná æskilegum eiginleikum blöndunnar. Á þessu stigi er ekki tímabært að fjalla ítarlega um hönnun bikbundinna burðarlaga, en eins og fyrr segir eru settar fram ákveðnar kröfur, t.d. um mælingar á kornadreifingu, bindiefnisinnihaldi, holrýmd og stífni. Einnig þurfa mælingar á gamla bikinu í kurlinu að liggja fyrir, en nánar er fjallað um kröfur til bikbundins burðarlags í kafla 5.5 hér á eftir.

5.2.1 Verkferlar

Við mat á steinefnasýni efnis sem nota á í óbundið burðarlag, er farið eftir flæðiritinu sem sýnt er á mynd 5-1. Kröfur eru settar fram í kafla 5.5. Fyrsta skrefið er að sjónmeta efnið og kanna hvort það standist kröfur um húmus og þjálni. Ef augljóst er að svo sé þ.e. að mold eða fínefni er ekki til staðar í miklum mæli, er ekki þörf frekari prófana. Ef vafi er á þessu er hægt að gera húmus eða þjálnipróf og niðurstöðurnar geta útilokað notkun efnisins. Næsta skref er að mæla kornadreifingu sýnisins, en hún gefur til kynna hvort dreifingin er innan tilskilinna marka. Ef magn fínefna minni en 0,063 mm er á bilinu 5-6% (6-7% fyrir burðarlag malarvega) af efni í stærðarflokknum 0/63 mm, getur það bent til þess að frostnæmt fínefni, minna en 0,02 mm í kornastærð, er til staðar í of miklum mæli. Til þess að fá úr því skorið er

hægt að setja efnið í hydrometerpróf eða laserpróf sem gefur upplýsingar um hvort skaðlegar kornastærðir í fínefni eru yfir mörkum, þ.e.a.s. hvort meira en 3% er af efni minna en 0,02 mm í stærðarflokknum 0⁄22 mm. Sé of mikið af fínefnum til staðar í efninu sem verið er að skoða, er möguleiki á að nota það, með því að blanda það með biki eða sementi, eins og vikið er að hér á eftir.

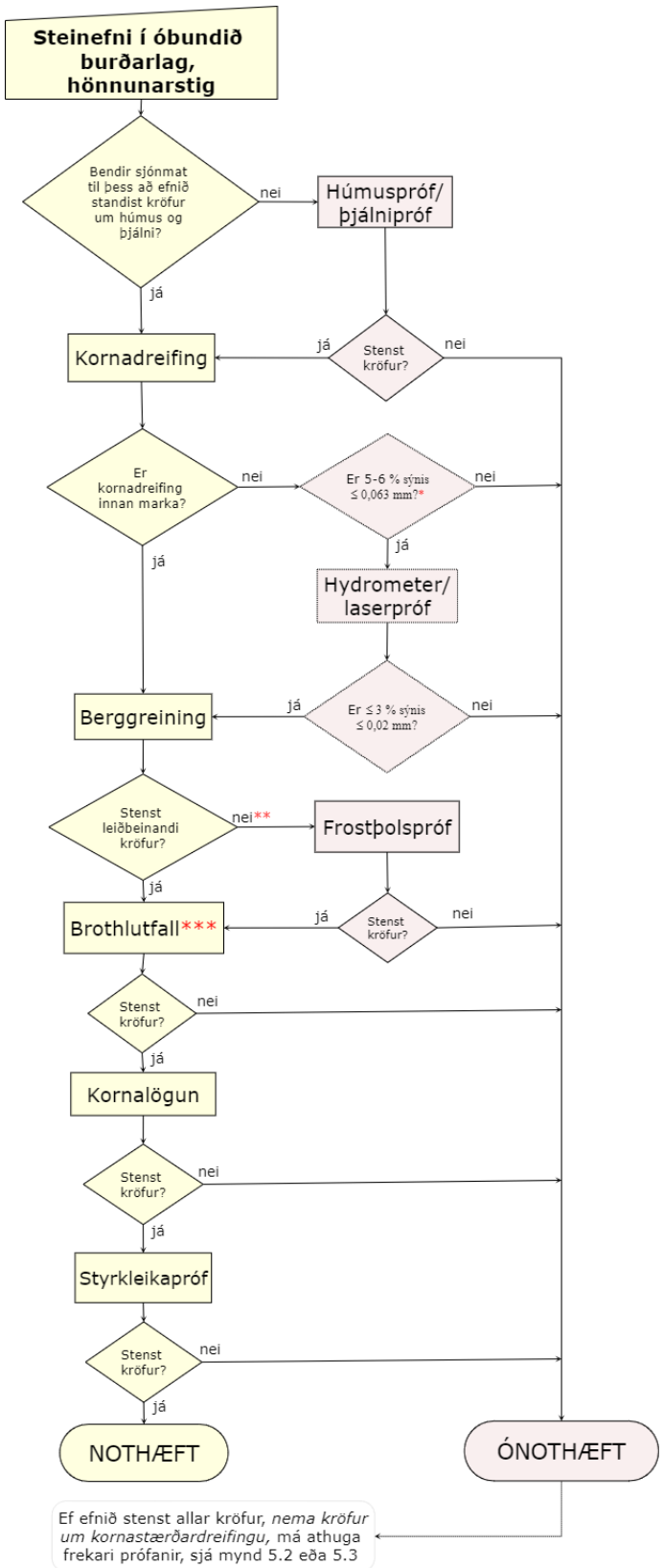
Ef efnið stenst kröfur um kornadreifingu er það berggreint. Berggreiningin gefur vísbendingar um það hvort hætta er á að óæskileg bergbrigði séu til staðar í sýninu í of miklu magni. Ef svo er, á að athuga hvort sýnið er frostþolið, en niðurstöður frostþolsprófs gefa upplýsingar um hvort hætta er á að efnið brotni mikið niður vegna veðrunar þegar fram líða stundir. Ef steinefnasýnið sem um ræðir kemur vel út úr ofangreindum prófum, eru líkur á að það henti sem óbundið burðarlagsefni. Þó eru nokkur atriði sem þarf að athuga nánar til þess að fá betri mynd af efniseiginleikunum. Samkvæmt flæðiritinu á mynd 5-1 skal næst athuga brothlutfall sýnisins, ef um malað set er að ræða. Brothlutfallsprófið segir til um hvort efnið er nægilega brotið til þess að burðargeta þess sé í lagi, en skrið getur orðið í óbrotnu efni. Oft er hægt að auka brothlutfall efnis með bættum vinnsluaðferðum.

Ef ljóst er að kornadreifing, bergsamsetning og brothlutfall eru ásættanleg, er kornalögun sýnisins könnuð með kornalögunarmælingu, til að kanna hvort það er kleyfið eða flögótt, en lögunin getur haft áhrif á stæðni lagsins og þjöppunareiginleika. Ef allir þessir eiginleikar eru innan tilskilinna marka, er styrkleiki efnisins kannaður. Það er gert með einföldu, aflrænu styrkleikaprófi (Los Angeles próf) sem gefur upplýsingar um hvort hætta er á að efnið brotni óæskilega mikið niður á vinnslutíma eða undir umferðarálagi.

Hafi efnið staðist öll ofangreind próf og athuganir telst það hæft til notkunar í óbundið burðarlag vega.

Burðarlagsefni verða sem sagt að standast þær almennu kröfur til steinefna sem flæðiritið sýnir og gerð er nánari grein fyrir í kafla 5.1. Ef kornadreifing er hins vegar utan við markalínur og önnur vinnsluaðferð eða annað efni eru ekki fyrir hendi, er hugsanlegt að hægt sé að nota efnið ef:

- Burðarlagið stenst kröfur um burðarþol (sjá mynd 5-2)
- Burðarlagið er bikbundið eða sementsbundið (sjá mynd 5-3)

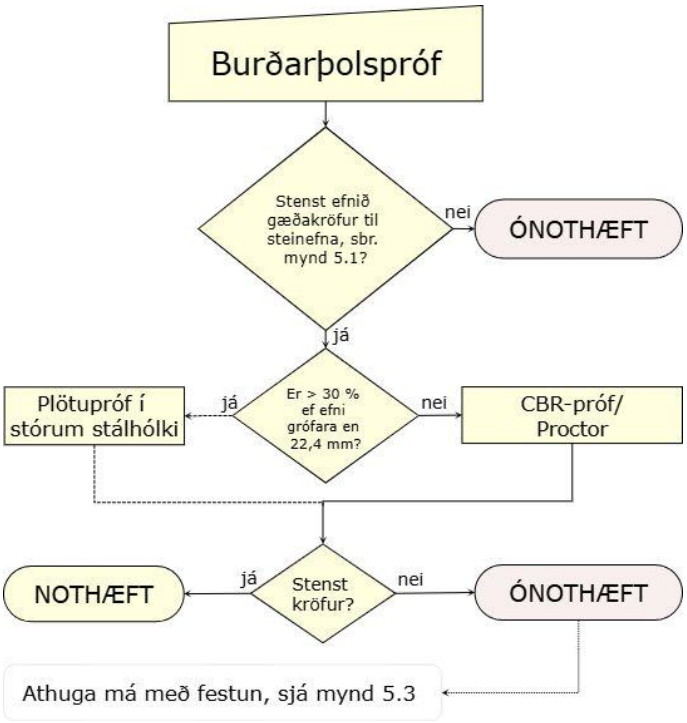


*Um burðarlag undir malarslitlag gildir að spurt er hvort 6-7 % sýnis sé ≤ 0,063 mm.
**Ekki þarf að framkvæma frostþolspróf nema 3. flokks efni samkvæmt berggreiningu sé að mestu mjög ummyndað basalt og standist ekki leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn. Ef 3. flokks efnið er hins vegar að mestu ferskt, er ekki talin ástæða til að kanna frostþol þess.
***Ekki þarf að mæla brothlutfall malaðs bergs

Mynd 5-1:
Flæðirit fyrir mat á efni til notkunar í óbundið burðarlag vegar

Ef efnið telst ónothæft, samkvæmt mynd 5-1 vegna þess að það uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu, er hægt að samþykkja notkun þess ef það stenst kröfur til burðarþolsprófana. Leiðin sem farin er í því sambandi, er sýnd á mynd 5-2. Skilyrði fyrir því að þessi leið sé farin er eins og áður segir, að aðrar kröfur til steinefna séu uppfylltar. Þess má þó geta að íslenska prófunaraðferðin Plötupróf í stórum stálhólki hefur ekki verið notuð í áratugi (sbr. strikalínu) og þyrfti því eflaust að gera sérstakt átak til að endurvekja það ef áhugi er fyrir hendi. Lýsingu á aðferðinni er þó að finna í viðauka 1.

Til greina kemur að fylgja ekki staðli fyrir CBR-próf hvað varðar efri flokkunarstærð og gera prófið þótt meira en 30% af efni sé grófara en 22,4 mm.

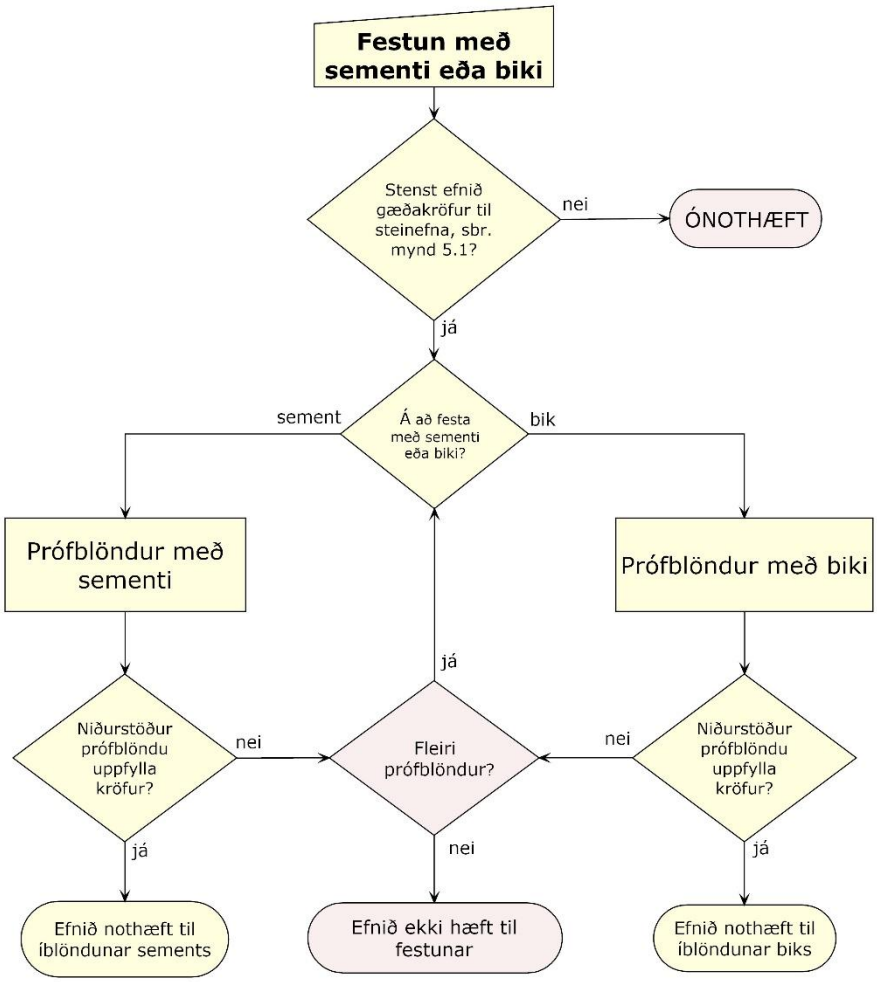


Mynd 5-2:
Flæðirit fyrir burðarþolspróf

Bik- eða sementsfestun burðarlags getur verið nauðsynleg ef umferðarálag er mikið á veginum, en kemur einnig til greina ef burðarlagsefnið uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu. Við vegagerð sem ætluð er undir malbik með mikið umferðarálag hefur færst í vöxt að leggja efsta lag burðarlagsins með bikbundnu 100% endurunnu malbikskurli til að auka burðarþol burðarlagsins í heild sinni.

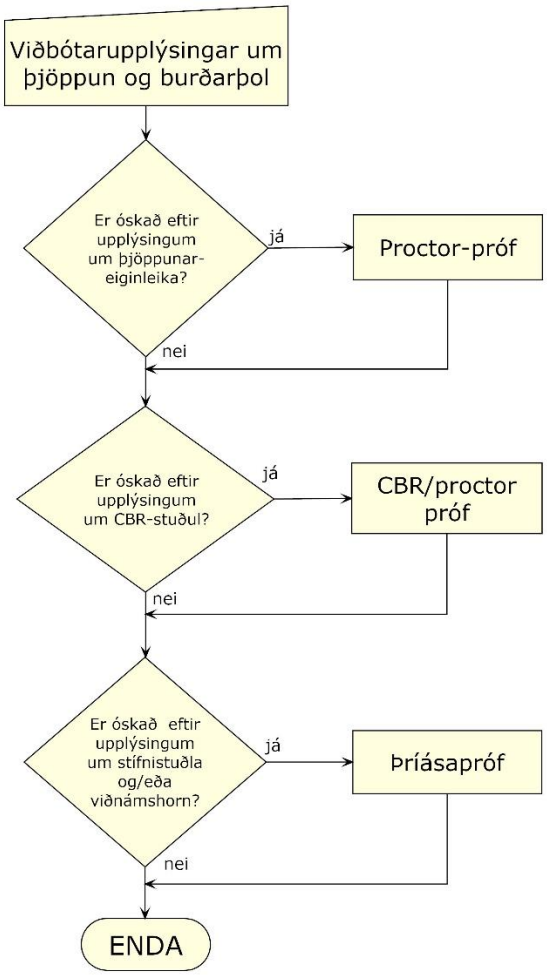
Það er háð aðstæðum hverju sinni hvaða aðferð og efni eru valin til að festa óbundið burðarlag. Ef efnið er fínefnasnautt og stefnt er að því að auka burðarþol þess, er bikþeyta heppilegri en froðubik, meðan hið síðarnefnda getur verið hentugra við fínefnaríkari efni, þó bikþeyta komi þá einnig til greina. Sement er einnig notað sem bindiefni og er notað þar sem þörf er á sérstaklega sterku burðarlagi. Óháð því hvaða aðferð er valin, þarf að gera prófblöndur, sjá lýsingu á aðferðum í viðauka 1.

Með prófblöndunum, samanber flæðiritið á mynd 5-3, fást upplýsingar um væntanlega eiginleika festa burðarlagsefnisins, meðal annars burðarþol. Einnig fást upplýsingar um hve mikið þarf að nota af bindiefninu í hverju tilviki fyrir sig.



Mynd 5 3:
Flæðirit fyrir próf ef festa á burðarlagsefni

Þegar búið er að samþykkja efni sem óbundið burðarlagsefni samkvæmt ofangreindum aðferðum, er oft einnig þörf á að fá fleiri upplýsingar um eiginleika þess, einkum efnismassans í heild. Flæðirit á mynd 5-4 sýnir hvaða próf eru gerð í því sambandi. Proctorpróf gefur upplýsingar um þjöppunareiginleika efnisins við mismunandi rakastig, en mikilvægt getur verið að hafa þær upplýsingar til að tryggja að efnið þjappist eins og best verður á kosið. Ef þykkt burðarlaga er hönnuð samkvæmt 2. þrepi í norsku handbókinni (Vegbygging, N200), getur verið þörf á að gera CBR-próf. Sé það gert, fást jafnframt upplýsingar um þjöppunareiginleika efnisins eins og í proctorprófinu. Upplýsingar um stífnistuðla, sem notaðir eru ef fræðilegar aðferðir eru notaðar við þykktarhönnun (3. þrep samkvæmt norsku handbókinni), fást úr kviku þríásaprófi. Þríásapróf (stöðugt) gefur upplýsingar um viðnámshorn (ϕ) og samloðun (c), ef þess er óskað.



Mynd 5 4:
Flæðirit fyrir próf til að kanna eiginleika burðarlagsefna

Að lokinni yfirferð prófana með hliðsjón af ofangreindu er hægt að vega og meta hæfi viðkomandi efnisnámu til notkunar í óbundið burðarlag. Segja má að allir helstu eiginleikar efnisins sem máli skipta varðandi hæfi sem burðarlagsefni hafi verið kortlagðir, auk þess sem niðurstöðurnar geta nýst vel við val á efni í slitlag.

5.2.2 Steinefnapróf

Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna í efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins til notkunar í óbundið burðarlag. Til að fá marktæk sýni til prófana þarf að vinna efnið, sem getur falið í sér að flytja stór sýni til tilraunamölunar fjarri fyrirhuguðum efnistökustað. Mikilvægt er að efnið sé malað á þann hátt sem gert er ráð fyrir að vinna það, enda hefur mölun áhrif á efniseiginleika. Til samanburðar eru svo tekin fleiri sýni úr námunni, sem eru prófuð óunnin, til að kanna einsleitni hennar, sjá viðauka um sýnatöku.

Prófanir á steinefnum má flokka niður eftir því hvaða eiginleikum verið er að leita eftir í steinefninu, eins og fram kemur í millifyrirsögnum hér á eftir. Kröfur fyrir burðarlagsefni er að finna í kafla 5.5.1. Prófunaraðferðum er lýst í viðauka 1.

Kornadreifing
Mæling á kornadreifingu er yfirleitt fyrsta prófið sem gert er á steinefnasýni sem ætlað er til nota í óbundið burðarlag. Þegar kornadreifing er skoðuð almennt, þarf að gæta að því hvort of mikið er af yfir- og undirstærðum í hverju tilfelli miðað við þær flokkunarstærðir sem leitað er eftir. Við vinnslu burðarlags er hægt að hafa veruleg áhrif á kornadreifingu, til dæmis með því að þvo fínefni burtu, bæta við eða taka frá ákveðnar kornastærðir, eða blanda saman mismunandi kornastærðum. Niðurstöður kornadreifingar eru settar fram á eyðublaði, þar sem lesa má þyngdarhluta efnis sem smýgur ákveðið sigti. Dæmigert malað set (laust efni) í óbundið burðarlag hefur gjarnan nokkuð jöfn hlutföll kornastærða, þannig að efnið pakkast og þjappast vel og verður stöðugt eftir lögn og þjöppun. Sérstaklega er litið til þess hvort magn efnis < 0,063 mm, er innan tilskilinna marka. Fínefni (< 0,02 mm), þótt í litlum mæli sé, getur haft afgerandi áhrif á efniseiginleika steinefna, t.d. frostnæmi. Hlutfall fínefna er mælt með *hydrometerprófi* eða *laserprófi*. Einnig er þess gætt að samræmi sé á milli efri flokkunarstærðar steina í lagi og lagþykktar, samanber viðmið sem sett eru fram þar að lútandi í kafla 5.1. Gerðar eru kröfur um magn fínefna og einnig að efnið í heild sé innan marka fyrir kornadreifingu burðarlagsefnis, þ.e.a.s. innan markalína eða ákvæða um undir- og yfirstærðir. Ef kornadreifing sprengds og malaðs bergs er of einskorna og uppfyllir ekki kröfur um kornastærðir, getur lausnin verið sú að jafna yfirborðið við útlögn með því að fylla í holrými til dæmis með sandi.

Berggerð og ásýnd bergs
Berggreining: Tilgangur berggreiningar er fyrst og fremst að ákvarða berggerð og bergbrigði steinefnis, til að leggja mat á gæði þess til viðkomandi mannvirkjagerðar. Berggreiningin er leiðbeinandi og gefur meðal annars upplýsingar um þéttleika og ummyndunarstig efnis. Það gefur aftur vísbendingar um hvort hætta er á að efnið brotni niður og hvort of mikið fínefni myndist við þjöppun og vegna umferðarálags á veginum. Yfirleitt eru nokkur hundruð korn af ákveðinni kornastærð tekin til greiningar. Lögun kornanna og aðrir grunneiginleikar eru greindir lauslega. Að því búnu eru kornin flokkuð í mismunandi bergbrigði eftir bergtegund, ummyndun, þéttleika og öðrum einkennum.

Í niðurstöðum kemur fram hlutfall bergbrigða, lauslegt mat á lögun og hreinleika korna, fjöldi talinna korna, jarðfræðilegar upplýsingar um steinefnið og athugasemdir eftir því sem við á.

Það krefst nokkurrar þjálfunar og þekkingar að lesa úr berggreiningum um gæði viðkomandi steinefnis til notkunar í vegagerð. Því er venjan hérlendis að flokka bergbrigði í þrjá leiðbeinandi gæðaflokka, en sú flokkun byggir á reynslu af hæfi þeirra hérlendis, en er ekki hluti af evrópskum berggreiningarstaðli. Gæðaflokkunin, oftast magn 3. flokks efnis, er notuð til að meta efnisgæðin almennt, en einnig er hún ákvarðandi í sumum tilfellum um framhaldsprófanir og kröfur.

Kornalögun: Lögun einstakra korna hefur áhrif á tæknilega eiginleika þeirra. Oft er lögun korna lýst með hugtökum svo sem teningslaga (kúbísk), hnöttótt, flöt, plötulaga, ílöng og staflaga. Þegar korn eru berggreind er lögun þeirra lýst í almennum orðum (þ.e.a.s. tekið er fram að meiri hluti sýnis sé teningslaga, flatur eða

ílangur), en til þess að fá samanburð á milli efna svo og töluleg gildi á kornalögun er nauðsynlegt að mæla hana á vissan hátt.

Lögun steina hefur áhrif á notkunarmöguleika þeirra. Brotstyrkur teningslaga korna er að öðru jöfnu meiri en styrkur flatra og ílangra korna. Einnig má nefna að stæðni óbundinnar malar er betri ef efni er teningslaga en ef það er flatt og ílangt, þar sem fyrrnefndu kornin raða sér strax, en flötu og ílöngu kornin geta þurft tíma til þess að leggjast flöt. Því skal velja vinnsluaðferðir (til dæmis val á brjótum) fyrir burðarlagsefni sem stuðla að teningslögun korna við framleiðslu. Rétt er að benda á að hér er ekki átt við að efni skuli vera kúlulaga, heldur teningslaga, þótt kornalögunarmælingin gefi í raun ekki upplýsingar um hvort er að ræða. Fullyrðingin um stæðni teningslaga korna á ekki við um stæðni kúlulaga korna. Einnig er rétt að hafa í huga að fleiri þættir ráða stæðni efnis, svo sem yfirborðsáferð korna, en brotin korn eru að jafnaði hrjúfari en óbrotin.

Brothlutfall: Mæling á brothlutfalli steinefna úr möluðu seti gefur upplýsingar um hlutfall brotinna og óbrotinna korna í sýni sem greint er. Í brothlutfallsmælingu kemur fram hversu stór hluti einstakra korna hefur brotflöt. Einnig er mælt hversu hátt hlutfall korna eru alveg núin (óbrotin). Brothlutfall hefur áhrif á notkunarmöguleika steinefna vegna þess að tæknilegir eiginleikar ráðast að hluta til af yfirborðsáferð korna. Þegar gerð er krafa um að steinefnakorn séu að mestu teningslaga (kúbísk), er mikilvægt að hluti yfirborðs þeirra hafi einnig ferska brotfleti. Ástæðan fyrir því er að slétt og núin steinefnakorn hafa ekki mikla stæðni og renna til hvert á öðru. Brotfletir á kornum varna því að slíkt skrið eigi sér stað. Þetta á bæði við um grófa hluta efnisins og sandstærðirnar. Mikilvægt er að óbundin burðarlagsefni séu með nokkuð hátt hlutfall brotinna korna til þess að stuðla að viðunandi burðarþoli.

Berggæði

Styrkur: Styrkur korna í óbundið burðarlagsefni er mikilvægur eiginleiki, enda getur álag á slíkt efni verið mikið við útlögn (vinnuumferð, völtun), en einnig eftir að vegur hefur verið tekinn í notkun. Þetta á sérstaklega við efst í óbundnu burðarlagi undir þungri umferð, ef slitlagið er þunnt (t.d. klæðing). Ef styrkur steinefna er ekki nægilegur er hætta á að þau molni niður undan álagi. Ef umtalsverður hluti steinefnisins er mikið ummyndaður geta myndast skaðleg fínefni við niðurbrotið, sem geta gert efnið frostnæmt. Ef veik steinefni eru hinsvegar fersk, en blöðrótt er ekki hætta á myndun skaðlegra fínefna, þótt umtalsvert niðurbrot eigi sér stað.

Hérlendis er gert Los Angeles-próf (LA próf), en það er blandað álagspróf sem veldur bæði núningi og höggáraun til þess að mæla styrk steinefna.Niðurstaða prófsins er gefin upp sem hluti sýnis af stærðarbilinu 10 til 14 mm sem brotnar niður fyrir 1,6 mm möskvastærð (%). Aðferðin hentar vel til mælinga á styrk malaðs bergs, þótt hún sé einnig ætluð til mælinga á sýnum úr möluðu seti. Annað próf sem kemur til greina að nota til að mæla styrk steinefna er Bg-stuðull (modified), en það er ekki Evrópustaðlað próf. Til þess að fá beinan samanburð milli steinefna hefur prófið verið útfært á þann hátt að sýni er sigtað í sundur og sett saman aftur með ákveðna kornadreifingu fyrir prófun. Um er að ræða lokaða kornakúrfu (Füller-kúrfu) með

ákveðið rakastig. Niðurstaðan er gefin upp sem mismunur á milli upphaflegrar kornakúrfu sýnis og kornakúrfu þess eftir Proctor þjöppun (e. modified Proctor).

Í Los Angeles prófi er sýnið þurrt þegar það er prófað. Það er hins vegar vel þekkt að raki í mikið ummynduðu steinefni getur veikt efnið verulega. Þar sem 5-10% raki er algengur í steinefni í vegum er því mikilvægt að meta niðurstöður LA prófsins með hliðsjón af berggreiningu. Þar sem steinefnið er prófað við 6% rakastig í Bg prófinu kemur til greina að prófa mikið ummynduð steinefni einnig með þeirri prófunaraðferð. Það verður hins vegar að hafa það hugfast að Bg prófið er ekki í Evrópustöðlum og því er það á valdi hönnuða að setja fram kröfur þar að lútandi í sérverklýsingum. Góð fylgni er milli niðurstaðna prófa með þessum tveimur aðferðum. Samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13242, þar sem m.a. er fjallað um framleiðslueftirlit (e. Factory Production Control, FPC) er heimilt að nota prófunaraðferð við framleiðslueftirlit ef sýnt hefur verið fram á góða fylgni niðurstaðna við niðurstöður þeirrar aðferðar sem er í prófunarstöðlum (e. Standard Reference Test).

Veðrunarþol (frostþolspróf): Í sumum tilfellum getur verið nauðsynlegt að gera frostþolspróf á steinefnum sem ætluð eru til nota í óbundið burðarlag. Það á helst við ef berggreining bendir til ummyndunar steinefnisins, þannig að frostnæm fínefni geti myndast við niðurbrot efnisins. Frostþolspróf á lausum steinefnum gefa upplýsingar um hæfi þeirra til þess að standast endurteknar frost/þíðu-sveiflur án þess að eiginleikar þeirra breytist verulega. Aðferðin sem valið hefur verið að nota hérlendis er gerð í 1% saltlausn (NaCl), sbr. ÍST EN 1367-6.

Eiginleikar fínefna

Eins og fram kemur í flæðiritinu á mynd 5-1 er gert ráð fyrir að húmusinnihald og þjálni verði metin með sjónmati og það látið nægja ef augljóst er að lífræn óhreinindi eða þjál efni eru ekki til staðar. Ef hins vegar leikur grunur á að mold eða skaðleg fínefni séu í burðarlagsefni skal framkvæma prófanir til að fá úr því skorið hvort slík efni eru innan marka.

Þjálnipróf: Oft er hægt að meta hvort fínefni eru þjál með því að velta sýni á milli fingra sér og athuga þannig hvort fínefnið er leirkennt, þ.e.a.s. hvort hægt er að hnoða það í kúlur. Ef grunur leikur á að þjál efni séu til staðar í sýninu skal gera þjálnipróf á því. Þjálnistuðull (e. Plasticity Index) er gefinn upp sem munurinn á flæðimarki (hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að missa þjálni sína og verða flotkennt) og þjálnimarki efnisins (lægsta rakagildi sem efni getur haft án þess að molna í sundur við hnoðun).

Húmuspróf: Í flestum tilvikum er auðvelt að sjá hvort sýni er blandað lífrænum efnum. Ef grunur leikur á að lífræn óhreinindi geti verið í sýni er lagt til að gert verði húmuspróf á því. Prófið felst í því að setja sýni í NaOH lausn, en lífræn óhreinindi lita lausnina, mismikið eftir magni lífrænna efna. Til viðmiðunar er höfð staðallausn með ákveðinn litstyrk. Niðurstaða prófsins er hvort lausnin sem sýnið er sett í fær lit sem er sterkari eða veikari en staðallausnin og gefur það til kynna hvort um skaðlegt magn lífrænna óhreininda er að ræða.

5.2.3 Próf á efnismassa

Í kaflanum hér á undan er greint frá prófunum sem mæla magn eða eiginleika einstakra korna. Einnig er mikilvægt að vita hvernig efnið hegðar sér í heild, þ.e.a.s hverjir eru eiginleikar efnismassans (efnisheildarinnar), samanber kafla 5.2.1.

Proctorpróf mælir þjöppunareiginleika efnismassa við mismunandi rakastig. Önnur próf eins og CBR-próf, stöðugt þríásapróf og plötupróf í stórum stálhólki meta burðarhæfi efnisins. Kleyfnistyrkspróf á bikfestum efnum og þrýstistyrkspróf á sementsfestum efnum gegna samskonar hlutverki. Slíkar mælingar eru einnig gerðar í tengslum við prófblöndur sem þarf að gera ef ákveðið er að festa efni í burðarlagi með biki eða sementi. Einnig er hægt að gera próf (kvik þríásapróf) til að fá upplýsingar sem nýtast við burðarþolshönnun, með fræðilegum aðferðum, en slíkar aðferðir hafa þó ekki rutt sér til rúms hérlendis til þessa.

Þær prófanir sem um er að ræða í þessu sambandi eru taldar upp hér á eftir, með upplýsingum um það hvers vegna hvert þeirra er gert. Kröfur til efnismassa burðarlagsefna er að finna í kafla 5.5.2. Nánari lýsingar á prófunum má finna í viðauka 1.

Proctorpróf: Þetta próf er gert til að meta þjöppunareiginleika og tengsl þjöppunar og rakainnihalds. Ákvarðað er það rakastig sem heppilegast er að efnið hafi við þjöppun. Þó skal bent á að raki hefur lítil áhrif á þjöppun efnis ef það er fínefnasnautt og sandríkt. Niðurstöður proctorprófsins nýtast í tengslum við mat á þjöppun í vegi.

CBR-próf: Þetta próf er gert á efni sem smýgur 22,4 mm sigti og er mælikvarði á burðarhæfileika þess. CBR-prófið er gert á efni sem ekki uppfyllir kröfur um kornadreifingu. CBR-prófið má einnig gera í tengslum við mat á efni vegna burðarþolshönnunar samkvæmt 2. þrepi í norsku handbókinni (Vegbygging, N200). Við mat á niðurstöðum CBR-prófs, skal hafa hliðsjón af kröfum í kafla 5.5.2. Rétt er að hafa í huga að reynsla er fyrir því að fínefnaríkt efni getur haft hátt CBR-gildi, en varasamt er að nota það í burðarlag, vegna þess að það getur verið næmt fyrir áhrifum frosts (hætta á frostþenslu). Þá er einnig reynsla fyrir því að sandríkt efni fái lágt CBR-gildi en hafi samt reynst nothæft í burðarlög á vegi með litla umferð. Samkvæmt stöðlum fyrir CBR-prófið er hægt að gera það á efni með allt að 30% korna sem ekki smjúga 22,4 mm sigti, að því tilskildu að kornakúrfan sé leiðrétt á ákveðinn hátt.

Prófblöndur á bikfestu efni: Prófblöndur eru gerðar til að fá upplýsingar um heppilegasta bikinnihald og aðra eiginleika blöndunnar. Prófblöndur hefjast með því að gert er proctorpróf á efninu og í framhaldi af því er efnið blandað með mis miklu magni af biki, kjarnar þjappaðir og gert á þeim kleyfnistyrkspróf. Það bikinnihald sem gefur bestar niðurstöður úr kleyfnistyrksprófinu er valið, að því tilskildu að niðurstaðan uppfylli einnig lágmarkskröfur til kleyfnistyrks.

Prófblöndur á sementsfestu efni: Prófblöndur eru gerðar til að fá upplýsingar um hvaða sementsmagn og rakainnihald gefur besta eiginleika blöndunnar. Gerðar eru

blöndur með mismunandi sementsmagni og rakainnihaldi, þjappaðir sívalningar og þrýstistyrkur þeirra mældur eftir 7 sólarhringa.

Þríásapróf: Þríásapróf geta verið tvenns konar. Annars vegar stöðuálagspróf (statisk) og er þá verið að finna hefðbundna jarðtæknilega eiginleika efna, sem sagt skerhorn (ϕ) og samloðun (C), og einnig er hægt að fá fleiri upplýsingar, s.s. um lekt efnisins, eftir því hvernig prófið er gert. Hins vegar er sveifluálagspróf (dynamiskt), sem notað er til að meta stífnieiginleika efnis. Upplýsingar um stífnieiginleika er hægt að nota við burðarþolshönnun með greiningaraðferðum (analytical methods).

5.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Fjöldi prófa við hönnun óbundins burðarlags fer eftir áætluðu efnismagni sem þarf til verksins. Við forrannsóknir, þegar valið stendur á milli nokkurra náma, er það í höndum hönnuðar hversu mörg próf hann telur að þurfi að gera á sýnum úr þeim. Þegar náma/efnistökustaður hefur verið valin, ræðst fjöldi prófa sem á að gera, af magni sem gert er ráð fyrir að vinna. Lágmarksfjöldi prófa miðað við magn, kemur fram í töflu 5-1. Mikilvægt er að hafa í huga að vönduð sýnataka vegna rannsókna á hönnunarstigi er stór þáttur í að vel takist til. Sýnin þurfa að gefa mynd af öllu því svæði sem gert er ráð fyrir að vinna efnið úr. Þau sýni sem fara í prófun þarf að vinna með svipuðum aðferðum og ætlunin er að nota á framleiðslustigi. Ef breytileiki er mikill getur verið þörf á fleiri prófunum en sýndar eru í töflunni. Breytileiki efnis getur verið talsvert mismunandi eftir jarðmyndunum.

Tafla 5-1:
Lágmarksfjöldi prófana á óbundnu burðarlagsefni úr námu, miðað við efnismagn sem áætlað er að vinna úr henni

Efnis-magn, þús. m³	**Korna-dreifing**	**Þjálni/ húmus (sjónmat)****	**Berg-greining**	**Brothlutfall og kornalögun**	**Veðrunar-þol (frostþols-próf)***	**Styrkur LA (Bg)**
0-10	4-5	4-5	1	1	(1)	1
10-20	5-7	5-7	1	1	(1)	1
20-30	7-8	7-8	1-2	1-2	(1-2)	1-2
30-40	8-10	8-10	2-3	2-3	(2-3)	1-2
40-60	10-12	10-12	3-4	3-4	(3-4)	2-3

** aðeins gert ef niðurstöður berggreiningar gefa tilefni til*

*** gert um leið og kornastærðarmæling*

Tafla 5-1 hér að ofan á ekki við um hönnun á bikbundnu 100% endurunnu malbikskurli eins og gefur að skilja. Í því tilfelli þarf framleiðandi að haga hönnun eftir því hvaða aðferðir og efni hann hyggst nota til að hanna rétta blöndu í þetta efsta, bikbundna burðarlagsefni. Það getur verið mismunandi eftir framleiðendum hvaða efni þeir nota til að ná fram æskilegum eiginleikum bikblöndunnar, en í öllu falli þarf á hönnunarstigi að endurheimta og greina bikhluta malbikskurlsins. Það er gert í þeim tilgangi að að mæla eiginleika þess svo sem stungudýpt (ÍST EN 1426)

og mýkingarmark (ÍST EN 1427), en það eru þeir þættir sem helst ráða því hvernig hönnun á lokaafurðinni fer fram (með íblöndun mýkingarefna). Helstu prófanir á endurunna malbiksmassanum felast svo í því að mæla og setja fram kornadreifingu, bikinnihald og, eftir föngum, holrýmd og stífni eftir Marshall þjöppun. Þessar niðurstöður mælinga, auk upplýsinga um uppruna steinefnis ef það er þekkt skal setja fram sem nokkurs konar gerðarpróf á þeirri 100% endurunnu malbiksblöndu sem notuð er í efsta hluta burðarlagsins.

5.3 Próf við framleiðslu

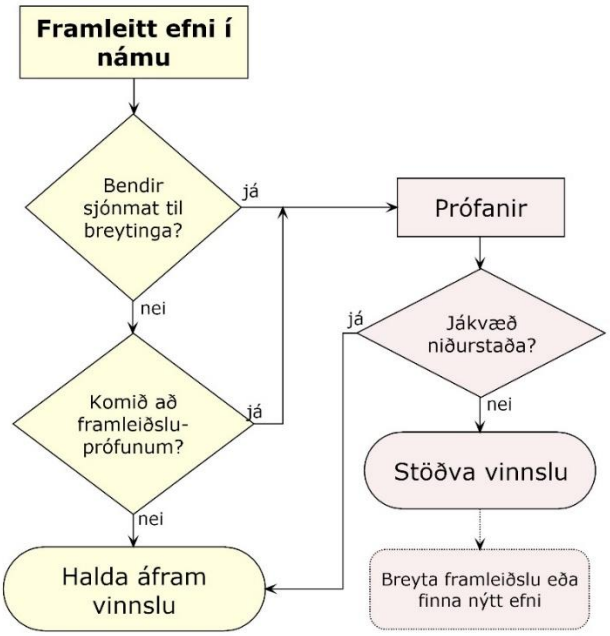
Tilgangur með efnisprófum óbundins burðarlags við framleiðslu er að fá fullvissu um að efni sem framleitt er hafi þá eiginleika sem stefnt var að á hönnunarstigi og til að tryggja að gæði efnisins haldist í samræmi við kröfur allt framleiðsluferlið. Með orðinu framleiðsla er hér átt við efnisöflun og aðra vinnslu efnis, svo sem mölun og flokkun (hörpun).

Það er mismunandi eftir efnisgerð og hvernig framleiðslu er háttað, hvaða próf á að gera á þessu stigi. Hér á eftir verður fjallað um þau próf sem verktaki á að framkvæma samhliða framleiðslu efnisins. Hér er átt við prófanir á efninu í námunni, þ.e.a.s. áður en því er ekið út í veg. Þar sem kröfur miðast við efni á framleiðslustað er mjög mikilvægt að ekki verði aðskilnaður kornastærða í efnishaugum. Mikil hætta er á aðskilnaði í keilulaga haugum og því er æskilegt að haugsetja efnið í láréttum lögum sem ekki eru meira en 2 m á þykkt til að forðast aðskilnað. Slíkir haugar geta þó skapað ákveðin vandamál á framleiðslustað, þar sem þeir þurfa verulegt rými á haugsvæðinu, sjá nánari umfjöllun í ritunum „Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn“, „Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar“ og „Sprengt berg í vegagerð“, sjá vefslóð: http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/.

5.3.1 Verkferlar

Við framleiðslu er mikilvægt að fylgjast með því að efnið sé ekki að breytast frá því sem gert var ráð fyrir við hönnun. Það er gert með því að prófa efnin reglulega og skal ávalt gera framleiðsluprófanir að lágmarki með þeirri tíðni sem tilgreind er í töflu 5-2. Mikilvægt er að nota einnig sjónmat til að fylgjast með vinnslu eða framleiðslu efnis og meta breytingar á efninu allt framleiðsluferlið. Í flæðiriti á mynd 5-5 er sýndur verkferill fyrir próf við framleiðslu.

Ef niðurstöður framleiðsluprófa eru neikvæðar, þarf að stöðva vinnsluna og gera ráðstafanir til að breyta henni. Ef kornadreifing er ekki innan marka, er oft hægt að breyta vinnsluaðferðum með hörpun, þvotti eða íblöndun. Ef of mikið lífrænt efni er til staðar er mögulega hægt að losna við það með þvotti. Þá kemur hugsanlega til greina að hægt sé að nota efnið ef það stenst kröfur til burðarþolsprófa, eins og nefnt er í kafla 5.3.3. Einnig má kanna hvort hægt sé að nota efnið með því að binda það með sementi eða biki. Í köflunum hér á eftir er gerð nánari grein fyrir einstökum prófum.



Mynd 5-5:
Flæðirit fyrir framleiðslupróf

5.3.2 Steinefnapróf

Í töflu 5-2 eru taldar upp þær prófanir sem gerðar eru á burðarlagsefnum við framleiðslu. Kröfur til efnis í óbundið burðarlag koma fram í kafla 5.5.1. Það próf sem oftast er gert til að fylgjast með framleiðslu efnisins er mæling á kornadreifingu. Samhliða mælingu á kornadreifingu er gert sjónmat á lífrænum óhreinindum og þjálni fínefna, en prófanir á þessum eiginleikum þarf einungis að gera ef grunur leikur á að efnið standist ekki kröfur. Berggreining og mæling á brothlutfalli og kornalögun er framkvæmd nokkrum sinnum í hverju verki, sjá töflu 5-2. Þessar prófanir eru mikilvægar, sérstaklega þar sem prófanir við hönnun eru oft ekki gerðar á efni sem hefur verið unnið að öllu leyti með sama hætti og við framleiðslu. Niðurstaða berggreiningar getur kallað á prófanir á styrkleika efnisins og frostþoli þess.

Ef ákveðið var að nota efni sem ekki stóðst kröfur til kornadreifingar, en stóðst aðrar kröfur til steinefnis og kröfur um burðarþol (samanber mynd 5-2), er kannað hvort kornadreifing eða aðrir eiginleikar séu að breytast frá því sem mældist á hönnunarstigi.

5.3.3 Próf á efnismassa

Prófanir á efnismassa efnis í óbundið burðarlag á framleiðslustigi eru sjaldgæfar. Ef sjónmat eða niðurstöður steinefnaprófa benda til breytinga á efni sem ákveðið var að nota að undangengnu burðarþolsprófi, sjá mynd 5-2, þarf að endurtaka burðarþolsmælingarnar til að kanna hvort efnið stenst enn kröfur til þeirra.

Þegar efni í burðarlag er blandað með biki eða sementi í stöð, er fylgst með framleiðslunni samkvæmt kafla 5.3.4.

Fyrir bikblandað efni skulu tekin sýni til að mæla bikinnihald og jafnframt skal þjappa kjarna og mæla kleyfnistyrk þeirra, a.m.k. einu sinni í hverju verki. Ef notað er froðubik til festunar skal athuga hvernig bikið freyðir. Um kröfur til gæða froðubiks, vísast í kafla 5.5.3. Fyrir sementsblandað efni eru tekin sýni og þau þjöppuð í mót til að mæla rúmþyngd þeirra og þrýstistyrk eftir 7 daga.

5.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Tíðni prófa við framleiðslu á óbundnu burðarlagsefni, er háð magni sem framleitt er og umferðarþunga. Tafla 5 2 sýnir tíðni prófa miðað við framleitt magn steinefnis og fjölda þungra ökutækja[3], til dæmis ein kornastærðarmæling fyrir hverja 1 eða 2 þúsund rúmmetra og ein berggreining fyrir hverja 6 eða 9 þúsund rúmmetra. Alltaf skal gera eitt próf við upphaf framleiðslu og síðan með þeirri tíðni sem taflan tilgreinir.

Tafla 5 2:
Lágmarkstíðni steinefnaprófa á óbundnu burðarlagsefni á framleiðslustigi

	Fjöldi þungra ökutækja, $ÁDU_þ$		
Próf (framleiddir m^3)	**⩾ 400**	**⩾ 10**	**< 10**
Kornadreifing	1000	1000	2000
Húmus (sjónmat)			
Þjálni (sjónmat)			
Berggreining	6000	9000	9000
Kornalögun			
Brothlutfall	1500	3000	3000
Frostþol*	-	-	-
Styrkleikapróf	6000	9000	9000

Gera skal eitt próf fyrir það magn sem tilgreint er í töflunni (m^3). Auka þarf tíðni prófana ef prófanir á hönnunarstigi voru ekki gerðar í samræmi við leiðbeiningar. Ekkert af þessum prófunum skal gera sjaldnar en einu sinni í verki, einu sinni á hverjum efnistökustað eða tvisvar sinnum á ári.
** Ef steinefni stenst ekki leiðbeinandi kröfur um gerð og magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu, getur það kallað á að einnig sé gert frostþolspróf á framleiðslustigi.*

Þegar efni í burðarlag er blandað með biki (froðubiki eða bikþeytu) í blöndunarstöð skal taka sýni fyrir hver 500 tonn sem framleidd eru. Fyrstu tvo dagana skal taka a.m.k. 8 sýni ef verið er að blanda viðkomandi efni í fyrsta sinn, eða ef verið er að nota viðkomandi blöndunarstöð í fyrsta sinn. Kjarnar eru steyptir og kleyfnistyrkur þeirra mældur. Gera skal athuganir á gæðum froðubiks og bikþeytu a.m.k. einu sinni á dag. Ef sementi er blandað í efni í blöndunarstöð skal mæla kornadreifingu

[3] Sjá umfjöllun um þung ökutæki í inngangi Efnisgæðaritsins

steinefnis, húmusinnihald (sjónmat), sementsmagn sem notað er og þjöppun sýna fyrir hver 500 tonn sem framleidd eru.

Við efnisprófanir á 100% endurunnu malbikskurli skal miða við ákvæði staðals ÍST EN 13108-8 *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 8: Reclaimed asphalt*. Samkvæmt staðlinum skal lágmarkstíðni prófana vera eitt próf fyrir hver 2000 framleidd tonn af 100% endurunnu malbikskurli í efsta hluta burðarlags. Helstu prófanir á endurunna malbiksmassanum felast svo í því að mæla og setja fram kornadreifingu, bikinnihald og, eftir föngum, holrýmd og stífni eftir Marshall þjöppun.

5.4 Próf og mælingar við framkvæmd

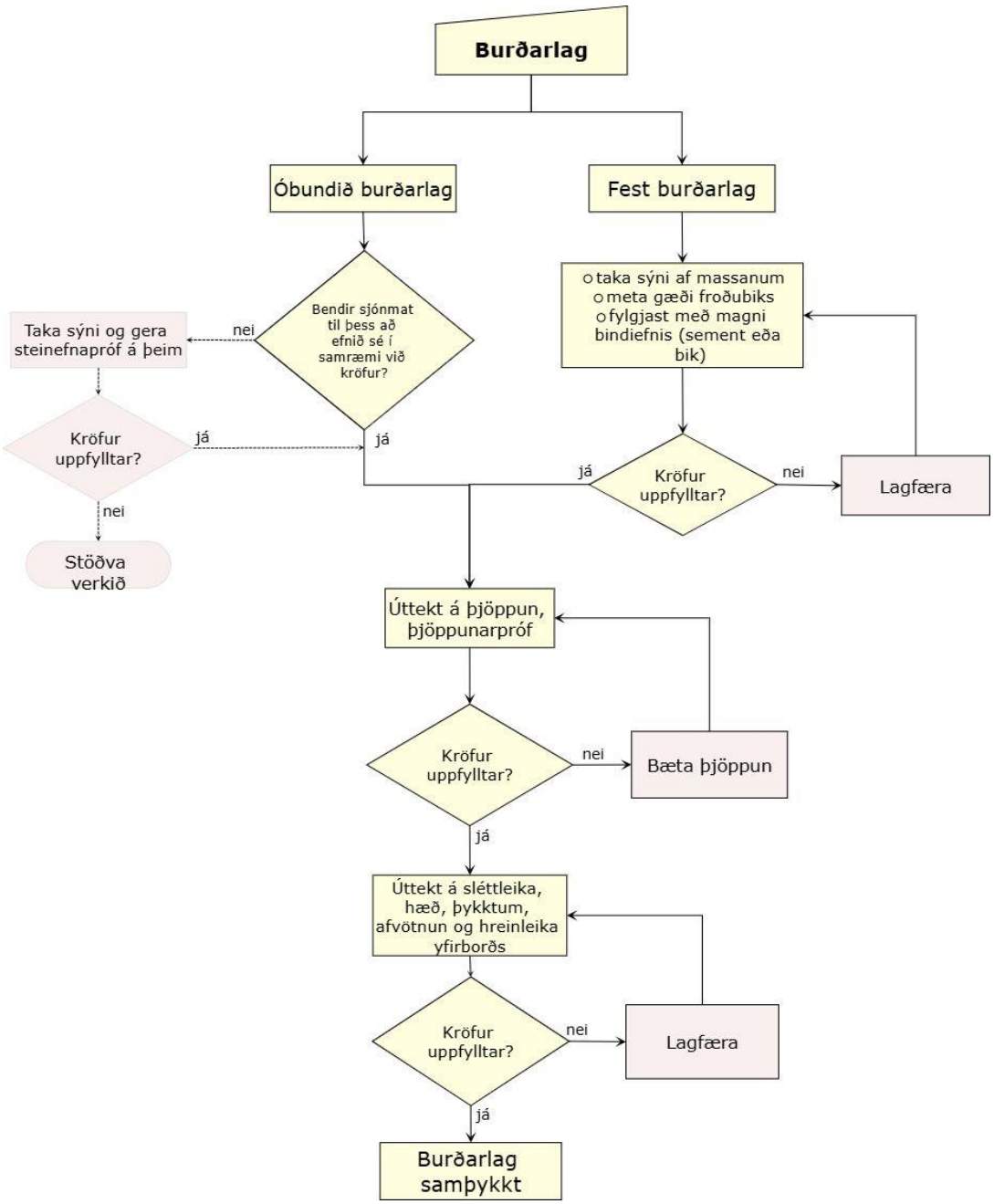
5.4.1 Verkferlar

Flæðirit á mynd 5-6 sýnir feril athugana og mælinga sem gerðar eru þegar unnið er að byggingu burðarlaga (framkvæmdastig). Verkferillinn gengur út á að sannreyna að verkið sé unnið í samræmi við kröfur og einnig til að tryggja að efnið sem notað er hafi ekki breyst frá framleiðslu þar til það er komið í veginn.

Eins og fram kemur í flæðiritinu skal ávallt sjónmeta efnið eftir að það hefur verið lagt út og ef einhver grunur leikur á að það sé gallað á einhvern hátt, eða standist ekki kröfur sem gerðar eru til gæða þess, skal taka sýni af efninu og prófa það. Þetta á við ef efnið í burðalaginu er ekki bundið með biki eða sementi. Ef efnið er bundið skal taka sýni af útlögðu efni, samanber það sem fram kemur í flæðiritinu. Fyrir óbundið efni ætti aðeins að þurfa að taka sýni í undantekningartilvikum ef farið hefur verið eftir þeim leiðum sem fjallað er um hér að framan varðandi prófanir á hönnunarstigi og framleiðslustigi. Til að leggja áherslu á þetta, er sá hluti flæðiritsins á mynd 5-6 hafður með strikalínum.

Þegar búið er að leggja efnið út og þjappa það, er kannað hvort þjöppunin sé nægileg með aðferðum sem lýst er hér á eftir. Einnig eru gerðar kröfur til sléttleika yfirborðsins, afvötnunar og hreinleika þess, sem skal kanna og mæla eftir því sem við á.

Hér á eftir er gerð grein fyrir helstu prófunum og mælingum sem gerðar eru í tengslum við þennan verkferil.



Mynd 5-6:
Flæðirit fyrir próf og mælingar við gerð burðarlags

5.4.2 Steinefnapróf

Ef undirbúningi verksins hefur verið háttað í samræmi við þær áherslur sem nefndar eru í köflunum hér að framan hvað varðar prófanir við hönnun og framleiðslu burðarlagsefnis, ætti ekki að þurfa að gera nein steinefnapróf á efni eftir að það hefur verið lagt út, nema ef sjónmat bendir til að efnið standist ekki kröfur. Ef um slíkt er að ræða eru gerð sömu próf og nefnd eru í köflum 5.2.2 og 5.3.2, háð því hver ástæðan er fyrir því að ákvörðun er tekin um prófanir. Vísast því í þessa kafla og um kröfur til steinefna er fjallað í kafla 5.5.1.

5.4.3 Próf og mælingar

Hér er fjallað um þau próf, mælingar og athuganir sem gerðar eru eftir að óbundið burðarlagsefni hefur verið lagt út og þjappað. Um er að ræða þjöppunarpróf, mælingar á sléttleika og þykktum og sjónmat á yfirborði burðarlags, en einnig er gerð grein fyrir prófunum á festum burðarlögum og athugun á froðubiki. Um kröfur til niðurstaðna prófa og mælinga vísast í kafla 5.5.3.

Þjöppunarmæling: Meta má árangur þjöppunar á nokkra mismunandi vegu eins og greint er frá hér á eftir.

Þegar óbundið burðarlag er þjappað skal ávallt telja fjölda yfirferða valta og miða við lágmarksgildi í samræmi við gerð valta og lagþykktir, eins og fram kemur í töflu 5-3. Ef lagþykkt er önnur eða notuð er önnur gerð valta þarf að velja fjölda umferða sem tryggir að sambærileg þjöppun náist. Valtar skulu vera með tölvubúnað sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað þegar umferðir valta eru taldar. Slíkur búnaður eykur verulega líkur á því að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti. Rétt er að hafa í huga að ekki er heppilegt að nota mjög þunga valta á þunn lög, eða ef hætta er á að efni brotni mikið niður. Stjórnandi valta skal skila skýrslu, þar sem fram kemur:

- dagsetning
- gerð og stærð valta
- þyngd og breidd tromlu
- hvaða vegarkafli var valtaður
- hvaða lag í vegi
- lagþykkt
- hraði valta og fjölda yfirferða.

Hraði valta skal vera milli 3 og 5 km/klst. Auk þess þarf að gera einhver þeirra prófa sem nefnd eru hér á eftir til að meta árangur þjöppunarinnar.

Tafla 5-3:
Val á valta, lagþykkt og fjölda yfirferða fyrir óbundin burðarlög

Gerð valta	Heildar-þyngd, t	Statisk þyngd, kg/cm*	Lagþykkt, mm	Lágmarksfj. yfirferða
Einnar tromlu titurvalti	6-8	15-25	100	6
	8-10	25-35	200	6
	10-13	35-45	250	6
Tveggja tromlu titurvalti	2-4	15-25	100	6
	4-8	15-25	200	6
	8-13	25-35	250	6

** Þyngd á hverja valtatromlu í kg á breiddareiningu hverrar valtatromlu sem mæld er í cm*

Taflan er unnin með hliðsjón af töflu 602.3 bls. 186 í Vegbygging N200 (útgáfa 2018) og töflu E5.4-3 bls. 44 í ATB VÄG (útgáfa 2005).

Árangur þjöppunar skal einnig meta með kvörðuðum niðurstöðum þjöppunarmælis í valta. Því skal valti vera með þjöppunarmæli og mæliaflestur vera skráður reglulega. Slíkir valtar eru með tölvubúnað, sem sér um skráninguna og er hægt að fá skýrslu um þjöppunina strax á staðnum. Til að hægt sé að vinna með þjöppunarmæli í völtum skal kvarða mælinn með því að gera tilraunaþjöppun á efninu sem notað er, mæla það og bera saman við niðurstöður plötuprófs. Tilraunaþjöppun skal gera á vegarkafla sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu og skulu prófin gerð á veikustu svæðum kaflans. Endurtaka skal kvörðun þjöppunarmælis á minnst 2 mánaða fresti eða eftir hverja 15.000 m^2 sem unnir hafa verið og eins ef skipt er um efnistökustað, breyting verður á efnisgerð, undirbygging breytist, o.s.frv. Mæligildi þjöppunarmælis í valta skal skila fyrir allt þversnið vegarins á tölvutæku formi. Í kafla 5.5.3 eru birtar kröfur til þjöppunar.

Einnig er hægt að meta árangur þjöppunarinnar með rúmþyngdarmælingum (rafsegulmælingum eða sandkeiluprófi), plötuprófi eða í undantekningartilvikum hæðarmælingum.

Þegar valið er hver af ofangreindum aðferðum er notuð, má hafa upplýsingar í töflu 5-4 til hliðsjónar.

Tafla 5-4:
Aðferðir til mælinga á þjöppun

Aðferð	Notkunarsvið og athugasemdir
Telja fjölda umferða	Tölvubúnaður með GPS staðsetningu.
Þjöppunarmælir í valta	Tölvubúnaður með GPS staðsetningu, tengdur þjöppunarmæli.
Plötupróf	Notað til eftirlits þar sem umferð þungra bíla er meiri en 400 ÁDUÞ en einnig á umferðarminni vegum til kvörðunar á þjöppunarmælum í völtum.
Rúmþyngdarmæling (sandkeilupróf)	Takmarkast við burðarlög með hámarkskornastærð 25-30 mm. Prófið er tímafrekt og niðurstöður liggja ekki fyrir fyrr en á þriðja degi eftir að það er gert.
Rúmþyngdarmæling (rafsegulmælingar)	Takmarkast við hámarkskornastærð 25-30 mm, en hefur stundum verið notað á efni með allt að 50 mm stærstu kornastærð með viðunandi árangri.
Hæðarmæling	Hægt að nota við allar aðstæður en er þó einungis notað í undantekningartilvikum.

Þegar burðarlag er fest með biki eða sementi þarf á sama hátt og fyrir óbundin efni að tryggja nægilega þjöppun. Þjöppunin er oftast mæld með rafsegulmælingum, þar sem rúmþyngd efnisins er mæld og fylgst með hvernig hún breytist á milli umferða valtans. Um kröfur til niðurstaðna þessara mælinga, vísast í kafla 5.5.3.

Sérprófanir fyrir bundin burðarlög: Þegar óbundið burðarlag er fest með biki (bikþeytu) eða sementi á staðnum (þ.e.a.s. ekki blandað í stöð), hvort sem það er gamall vegur eða nýbygging, skal taka sýni af efninu eftir að búið er að leggja það,

til að geta metið hversu vel blöndunin hefur tekist. Sýnin, eitt úr hvorri akrein, eru tekin eftir íblöndun biks eða sements og jöfnun með hefli, en áður en þjöppun fer fram. Þegar um fræsun og bikfestun er að ræða, á að færa sýnið á rannsóknastofu og mæla bikinnihald þess. Niðurstöður gefa m.a. til kynna hvort blöndun sé nægilega góð (þ.e.a.s. hvort of mikil dreifing er á niðurstöðunum). Þjappa skal kjarna úr hluta af sýnum (a.m.k. einu í hverju verki og fleiri ef um stórt verkefni er að ræða) og mæla kleyfnistyrk þeirra. Þetta er gert til að afla upplýsinga um líklegan styrk burðarlagsins, en verður ekki notað til beins eftirlits. Ef efni er fest með froðubiki skal fylgjast með gæðum froðubiksins með því að athuga hvernig bikið freyðir. Er það gert á þann hátt að froðubiki er sprautað í fötu og kannað hversu mikið það þenst út, auk þess sem fylgst er með hversu hratt rúmmálið minnkar aftur.

Ef burðarlagsefni er blandað sementi skal steypa kjarna úr sýninu strax, með því að þjappa það í mót með Kango-hamri og þrýstistyrkur er síðan prófaður á rannsóknastofu eftir 7 daga hörðnun.

Þegar um er að ræða fræsingu og festun skal fylgjast með bikmagninu sem notað er (aðfluttum förmum af bindiefni), bera bikmagnið saman við rúmmál þess efnis sem fræst er og kanna hvort það er í samræmi við fyrirskrifað bikinnihald.

Fyrir sementsfestun er ákvörðun á notuðu sementsmagni gerð þannig að 1 m^2 plata er sett á milli sementsdreifara og fræsara. Magn sements sem situr á plötunni er vigtað og borið saman við fyrirskrifað magn.

Sléttleiki, hannað yfirborð, þverhalli og þykktir: Gerðar eru kröfur um sléttleika yfirborðs þegar gengið er frá burðarlagi. Kröfur eru gerðar til mesta fráviks frá hönnuðu yfirborði sem er hæðarmælt í þriggja punkta þversniðum. Einnig eru gerðar kröfur til sléttleika, annars vegar þvert á akstursstefnu og hins vegar langs eftir akstursstefnu, mælt með 3 m langri réttskeið. Þá eru kröfur um að þykktir séu innan marka.

Sjónmat á yfirborði burðarlags: Þegar óbundið eða fest burðarlag hefur verið lagt skal yfirborð þess vera þannig að það hafi fullnægjandi afvötnun. Það mega ekki vera rastir í yfirborðinu og vatn má ekki safnast í polla á því. Yfirborðið skal vera laust við óhreinindi.

5.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Við þjöppun er fjöldi yfirferða valtans ávallt talinn og skráður, en einnig þarf að gera aðrar mælingar (s.s. plötupróf, rúmþyngdarmælingar eða hæðarmælingar) til að staðfesta árangur þjöppunarinnar. Tíðni þeirra mælinga kemur fram í töflu 5-5.

Æskilegt er að valti sé búinn þjöppunarmæli, sjá kafla 5.4.3. Með því móti fæst mælikvarði í þjöppun alls yfirborðsins sem unnið er með. Slíka mæla þarf þó að kvarða með einhverju af ofangreindum prófum, en á móti kemur að fækka má öðrum mælingum sem gerðar eru til staðfestingar á árangri. Ef valti telur umferðir sjálfkrafa þá má minnka tíðni staðfestingarmælinga niður í 75% af því sem fram kemur í töflu 5-5 og ef valtinn mælir burðarþolsgildi þá dugar að gera tvær staðfestingarmælingar fyrir hverja efnisgerð og gerð undirstöðu í hverju verki.

Tafla 5-5:
Tíðni mælinga á þjöppun óbundinna burðarlaga

Aðferð	Fjöldi þungra ökutækja, $ÁDU_þ$		
	⩾ 400	⩾ 100	< 100
Plötupróf	Á 100 m bili	Á 300 m bili	Á 500 m bili
Rúmþyngdarmæling			
Hæðarmæling (bil milli svæða)			

Ef burðarlagið er fester þjöppun oftast eingöngu metin með rúmþyngdarmælingum (rafsegulmælum) og skal hún þá mæld á 100 m bili.

Í töflu 5-6 eru tekin saman helstu próf (önnur en þjöppunarpróf) og mælingar sem gerðar eru þegar gamall vegur er fræstur og styrktur (festur) með íblöndun biks eða sements. Taflan á einnig við í nýbyggingum ef bindiefni er blandað í óbundna burðarlagið á staðnum.

Tafla 5-6:
Tíðni prófa á efni ef bindiefni er blandað í óbundið burðarlag á staðnum

Gerð bindiefnis	Próf / Aðgerð	Tíðni
Sement eða bik	Sýni af bik- og sementsbundnu burðarlagi, eftir útlögn	Tekið á 500 m fresti, eitt sýni úr hvorri akrein.
Bik	Mæling á bikinnihaldi sýna úr bikbundnu burðarlagi	Öll sýni sem tekin eru
	Mæling á kleyfnistyrk bikbundinna efna	Eftir vali, a.m.k. eitt sýni úr hverju verki.
	Athugun á freyðieiginleikum froðubiks	Í upphafi verks og a.m.k. einu sinni á dag.
	Magn biks sem notað er við bikfestun	Reikna fyrir hvern 18-20 tonna farm af aðfluttu biki
Sement	Mæling á þrýstistyrkur sementsbundinna efna	Öll sýni sem tekin eru
	Mæling á sementsmagni við fræsingu og festun	Í upphafi verks og a.m.k. einu sinni á dag

Úttekt á sléttleika og þykktum skal gera áður en slitlag er lagt. Til þess eru gerðar hæðarmælingar með 20 m millibili í þriggja punkta sniðum, þ.e.a.s. á útbrúnum og miðju, fyrir alla umferðarflokka. Sléttleiki langs og þvers er mældur með 3 m réttskeið á 20 m bili fyrir alla umferðarflokka.

5.5 a) Kröfur til óbundinna og festra burðarlaga

Við framsetningu á kröfum til steinefna og efnismassa óbundins burðarlags hér á eftir, er almennt miðað við kröfuflokka sem settir eru fram í evrópskum framleiðslustöðlum, það er ÍST EN 13242 Steinefni í mannvirki og vegagerð, notuð óbundin eða bundin með vatnshverfum efnum (e. *Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*), sem fjallar um kröfur til einstakra korna og ÍST EN 13285 Óbundnar blöndur – eiginleikar (e. *Unbound mixtures – Specification*), sem fjallar um kröfur til efnismassa. Rétt er að taka fram að fleiri kröfur eru í þessum stöðlum en teknar eru upp hér og að auki er skerpt á sumum þeirra í samræmi við reynslu hérlendis.

Kröfur til efnisgæða óbundins burðarlags miðast við áætlaðan fjölda þungra bíla á dag ($ÁDU_Þ$) á opnunarári vegarins þannig að krafist er betri efnisgæða eftir því sem vegurinn hefur meira hlutverki að gegna í þjóðvegakerfi landsins. Þannig eru gerðar mestar kröfur til efnisgæða burðarlags þar sem þungaumferð er mikil, enda er hún ráðandi hvað varðar álag á burðarlag. Þungir bílar teljast vera bílar með heildarþyngd > 3,5 tonn og miðað er við þungaumferð samtals á tveggja akreina vegi.

Það er á valdi veghönnuðar hvaða kröfur til steinefna hann velur að gera hverju sinni. Þó er mikilvægt að rökstyðja slíka ákvörðun vel ef valið er að slaka á kröfum miðað við kröfur Efnisgæðaritsins. Kröfur Efnisgæðaritsins eru leiðbeinandi og miðast við að byggður verði traustur vegur með langan líftíma. Önnur sjónarmið geta komið til álita svo sem að stytta hannaðan líftíma vegarins og að kostnaður sé of mikill við að framleiða steinefni sem standast allar kröfur á viðkomandi svæði. Einnig ber að nefna sérstaklega að kröfur um styrk steinefna (LA gildi) í burðarlag miðast við að bundna slitlagið verði þunn klæðing. Ef fyrirhugað er að leggja burðarlagsmalbik ofan á óbundið burðarlag og síðan slitlagsmalbik kemur til greina að draga úr kröfum til styrks steinefna í óbundna burðarlaginu. Ástæðan er sú að spennur (álag) frá umferð ökutækja minnka hratt með auknu dýpi í veghlotinu og þar með minnkar niðurbrot steinefna í óbundna burðarlaginu. Einnig kemur til álita að draga úr kröfum fyrir styrk steinefna í burðarlag ef fyrirhugað er að styrkja það með sementi eða biki. Einnig má nefna að til greina kemur að gera minni kröfur til neðri hluta burðarlags en efri hluta. Kröfur til steinefna í burðarlag miðast við heildarfjölda þungra bíla á tveggja akreina vegi. Ef akreinar eru fleiri en ein í hvora átt kemur til greina að taka tillit til að álag dreifist mismunandi milli akreina og draga þar með úr kröfum til berggæða steinefna. Þó verður ávallt að tryggja að umferðarmestu vegir landsins hafi mjög gott burðarþol og að vegyfirborð þeirra haldi góðum sléttleika allan líftíma vegarins.

Það er meiri vandkvæðum bundið að sinna viðhaldi vega eftir því sem umferðin er meiri og því mikilvægt að umferðarmestu vegirnir séu í upphafi byggðir úr gæðaefnum. Malarslitlög þola meiri formbreytingar í burðarlagi en malbiksslitlög á vegum í hærri umferðarflokkum og steypt slitlög þola mjög litlar formbreytingar. Sú grundvallarkrafa er gerð til burðarlagsefnis að það sé frostfrítt þannig að í efninu verði ekki frostlyftingar. Þetta á einnig við um malarvegi, þó að malarslitlög þoli miklar hreyfingar, enda er vegakerfið í stöðugri uppbyggingu og malarvegur í dag

getur verið lagður klæðingu á morgun. Þegar malarvegir eru styrktir fyrir lögn klæðingar er malarslitlagið fyrst hreinsað af veginum en síðan er vegurinn yfirleitt styrktur með nýju burðarlagi þannig að gamla burðarlagið gegnir eftirleiðis hlutverki styrktarlags. Af þessum ástæðum er látið nægja að gera sömu kröfur til efnisgæða burðarlaga á malarvegum og styrktarlaga samsvarandi vega sem lagðir eru klæðingu.

Íslenskur fylgistaðall um framleiðslu steinfna var gefinn út af Staðlaráði Íslands og tók gildi hérlendis árið 2013, ÍST 76[4]. Í Efnisgæðaritinu er tekið mið af íslenskum fylgistöðlum með framleiðslustöðlunum þar sem valdar hafa verið þær prófunaraðferðir sem eru taldar henta best íslenskum steinefnum og aðstæðum. Gerð er grein fyrir þeim í einstökum köflum Efnisgæðaritsins og í viðauka 4. Í fylgistaðlinum felst samkomulag milli framleiðenda og kaupenda steinefna svo og prófanastofa, t.d. hvað varðar val á prófunaraðferðum sem nota skal til mælinga á eiginleikum steinefna til mismunandi nota. Fylgistaðallinn tekur afdráttarlausa afstöðu til prófunaraðferða og eftirlitskerfa (e. AVCP). Þar kemur fram að eftirlit með framleiðslu skuli vera einungis á hendi framleiðanda steinefnis (eftirlitskerfi AVCP 4) við framleiðslu á steinefni til óbundinna nota (ÍST EN 13242). Bent skal á að í kafla 2.4 í Inngangi er fjallað nánar um stöðu evrópskra framleiðslustaðla fyrir steinefni.

Þær kröfur sem hér eru settar fram gilda fyrir efni í námu en gera má ráð fyrir og rétt að hafa í huga, að breytingar verða á eiginleikum efnisins við frágang í vegi.

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 er fjallað um mat og staðfesting á gæðastöðugleika steinefna – gerðarprófun og framleiðslueftirlit (e. *Assessment and Verification of the Constancy of Performance (AVCP) of aggregates — Type Testing and Factory Production Control*), sem ber að viðhafa við framleiðslu steinefna.

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinefna og verkgæði séu skráð með fullnægjandi hætti. Ef efni er fengið úr námu framleiðanda sem selur steinefni á markaði er heimilt að telja skjalfest framleiðslueftirlit með í heildarumfangi eftirlits með gæðum steinefna í viðkomandi verk.

5.5.1 a) Kröfur til steinefna

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 eru settar fram frávikskröfur vegna framleiðslu steinefna (sjá viðauka 4). Kröfurnar eru að 90% mælinga á kornadreifingu skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk. Vegagerðin gerir sömu kröfur varðandi frávik þegar kröfur um kornadreifingu burðarlagsefna eru settar fram sem kröfuflokkur í samræmi við staðal ÍST EN 13242 (sjá töflur 5-8 a og 5-8 b) að 90% mælinga skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir. Þar að auki skulu skv. framleiðslustaðli öll gildi fyrir aðrar prófunaraðferðir vera innan þess kröfuflokks sem framleiðandi ábyrgist (e. *within the limit specified*). Vegagerðin setur einnig fram almennar frávikareglur

[4] Í kafla 2.4 í inngangi Efnisgæðaritsins og í viðauka 4 er fjallað um stöðuna varðandi endurskoðun ÍST 76

varðandi kröfur til berggæða og ásýndar bergs, sem gera ráð fyrir að eitt gildi af hverjum fimm gildum megi víkja frá kröfugildi sem nemur allt að 10% í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi 22 ef kröfuflokkurinn er LA_{20} og hin fjögur skulu þá vera innan marka.

Markalínur Vegagerðarinnar fyrir óbundið burðarlag byggja á ákvæðum staðals ÍST EN 13285 og þar gilda frávikskröfur um kornadreifingu, þ.e. innri og ytri markalínur, sem tilgreindar eru í kaflanum um kornadreifingu hér á eftir.

Kornadreifing

Kröfur til kornadreifingar óbundinna burðarlagsefna þar sem d=0 og D=X (neðri og efri flokkunarstærð í mm) miðast við staðalinn ÍST EN 13285 Óbundnar blöndur – eiginleikar (e. *Unbound mixtures – Specification*). Hönnuður/verkkaupi velur stærðarflokk sem hentar viðkomandi notkun efnisins, sjá töflu 1 í staðlinum (e. *mixture designation*). Alls eru 14 stærðarflokkar í staðlinum en hér verða birtar markalínur 5 stærðarflokka sem taka mið af flokkunarkerfi staðalsins fyrir burðarlagsefni, þ.e. 0/22, 0/32, 0/45, 0/63 og 0/90. Í staðlinum eru einnig settir fram flokkar fyrir hámark og lágmark fínefna minni en 0,063 mm (sjá töflur 2 og 3 í staðlinum) og um yfirstærðir, þ.e. hversu stórt hlutfall sýnis má vera yfir efri flokkunarstærð (sjá töflu 4 í staðlinum). Þá er kornadreifingin valin með tilliti til taflna 5 og 6 í staðlinum, þar sem ytri (e. *Overall grading*) og innri (e. *Suppliers declared value*) markalínur eru settar fram á almennan hátt. Fyrrnefndu markalínurnar sýna hvar allar kornagreiningar skulu liggja, en þær síðarnefndu sýna hvar meðaltal allra kornagreininga skal liggja. Þessi stöku frávik mega þó ekki víkja bæði niður og upp fyrir innri markalínur. Það sem að ofan er talið má setja fram á einfaldan hátt eins og dæmið hér á eftir sýnir:

0/32: UF_5, LF_2, OC_{85}, G_O

þar sem:

0/32 er kornastærðarbilið d/D í mm
UF_5 þýðir að fínefni skuli að hámarki vera 5% (e. UF = Upper Fines)
LF_2 þýðir að fínefni skuli að lágmarki vera 2% (e. LF = Lower Fines)
OC_{85} þýðir að 85 til 99% efnisins skuli smjúga 31,5 mm sigtið (efra flokkunarsigtið, e. Oversize Category)
G_O lýsir kúrfunni í heild (e. Grading) með kornastærðarbilum á viðkomandi sigtum (markalínum)

Kröfur til kornadreifingar óbundinna burðarlagsefna miðast við flokk G_O fyrir mulið set og G_P fyrir malað berg. Lágmarks magn fínefna (< 0,063 mm) skal vera 2%, þ.e. efnið falli í flokk LF_2 samkvæmt ÍST EN 13285, en hámarks magn fínefna skal vera 5%, þ.e. efnið falli í flokk UF_5. Ef fínefnainnihald (≤ 0,063 mm) sýnishluta undir 63 mm er á bilinu 5-6% (6-7% fyrir burðarlag malarvega) skal þó einnig mæla kornadreifingu fínefnis og skal hlutfall efnis ≤ 0,02 mm vera ≤ 3%. Ekki eru þó gerðar kröfur um lágmark fínefna (LF_N) í púkkmulningi undir malbiki eða steypu í

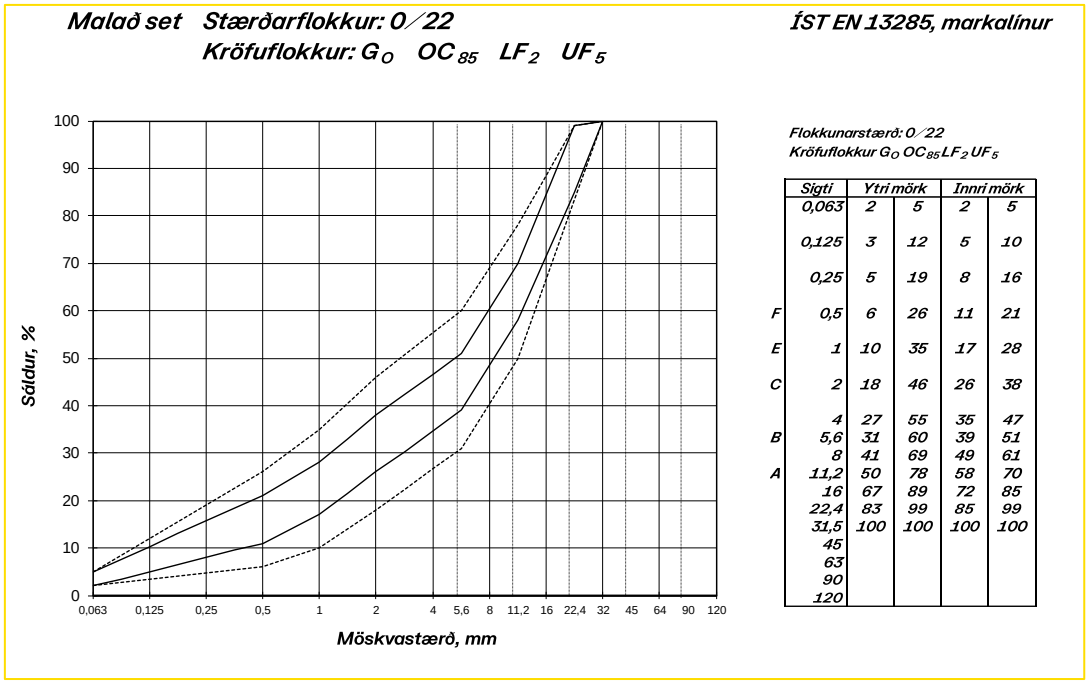
stærðarflokkum 0/45 og 0/63. Kröfur um yfirstærð miðast við flokk OC_{85} þannig að á bilinu 1 - 15% efnisins geta verið á bilinu D (efri flokkunarstærð) til 1,4xD. Þessar kröfur eru miðaðar við efni í námu, en gera má ráð fyrir að fínefnainnihald sé 1 til 2% hærra í frágengnu efni í vegi.

Fínefnakröfur fyrir burðarlög malarvega eru þó LF_4 og UF_7 til að rakaþéttleiki gagnvart malarslitlaginu sé tryggður en efnið þó væntanlega frostfrítt.

Í efri hluta burðarlags undir klæðingu skal ekki vera grófara efni en í stærðarflokki 0/32. Hafa ber þó í huga að allt að 15% efnis getur verið yfir efri flokkunarstærð og því getur í mörgum tilfellum hentað betur að velja 0/22 efni með allt að 15% á bilinu 22,4-31,5 mm (D til 1,4×D). Í neðri hluta burðarlagsins er oft grófara efni notað en í efri hlutanum, t.d. í stærðarflokkum 0/45 eða 0/63. Ef slitlagsgerðin er malbik eða steypa er efni í efri hluta burðarlagsins gjarnan í stærðarflokkum 0/32, 0/45 eða 0/63. Burðarlag undir malarslitlag getur verið af stærðarflokkum 0/32 eða 0/45.

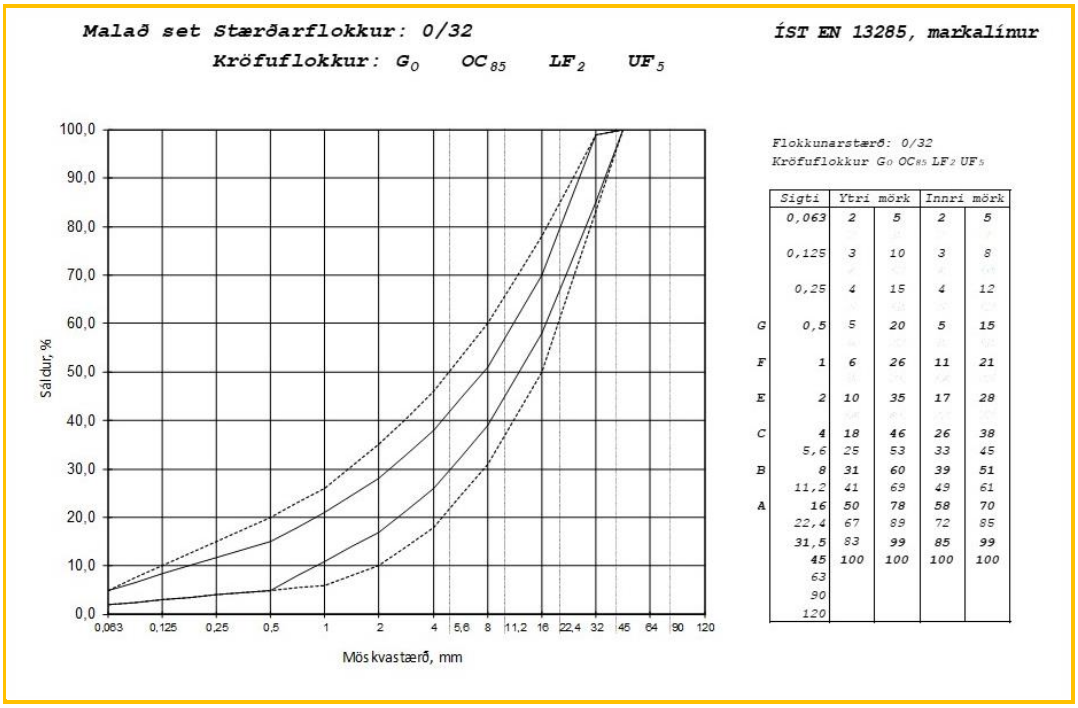
Púkkmulningur í burðarlagi getur verið af stærðarflokkum 0/45, 0/63, eða jafnvel 0/90. ÍST EN 13242 og ÍST EN 13285 skilgreina ekki grófara efni en 0/90, en ef púkkmulningur er grófari en 0/90 er heimilt að verkkaupi skilgreini eigin markalínur. Einnig kemur til greina að styðjast við staðal ÍST EN 13242 varðandi yfirstærðir, undirstærðir og millistærðir, sbr. töflur 5-8 a) og 5-8 b).

Markalínur fyrir óbundið burðarlagsefni samkvæmt áðurnefndum kröfum eru sýndar á myndum 5-7 til 5-15. Á myndunum eru sýndar markalínur fyrir stærðarflokkana 0/22, 0/32, 0/45, 0/63 og 0/90. Meðaltal allra mælinga skal liggja innan við innri markalínurnar en einstakar mælingar mega liggja utan þeirra en þó skal engin kornadreifing liggja utan við ytri markalínur. Þessi stöku frávik mega þó ekki víkja bæði niður og upp fyrir innri markalínur. Markalínur fyrir burðarlag malarvega eru sýndar á myndum 5-16 til 5-19 og á myndum 5-20 til 5-23 eru sýndar leiðbeinandi markalínur fyrir bikbundin burðarlög blönduð í námu. Í töflum til hliðar við myndirnar eru sýnd tölugildi kornadreifingar og eru sýndar sáldurtölur samkvæmt staðlinum ÍST EN 13285 (sigti A, B, C, E, F og G á myndunum) en einnig millitölur á völdum sigtum. Aðrar millitölur eru reiknaðar til að hægt sé að teikna samfellda kornadreifingu. Staðallinn skilgreinir því einungis sáldurgildi fyrir flokkana A–G sem gilda fyrir mismunandi möskvastærðir háð grófleika efnisins, en markalínur með öllum sigtum eru ekki dregnar upp í staðlinum.



	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	2	5	2	5
	0,125	3	12	5	10
	0,25	5	19	8	16
F	0,5	6	26	11	21
E	1	10	35	17	28
C	2	18	46	26	38
	4	27	55	35	47
B	5,6	31	60	39	51
	8	41	69	49	61
A	11,2	50	78	58	70
	16	67	89	72	85
	22,4	83	99	85	99
	31,5	100	100	100	100
	45				
	63				
	90				
	120				

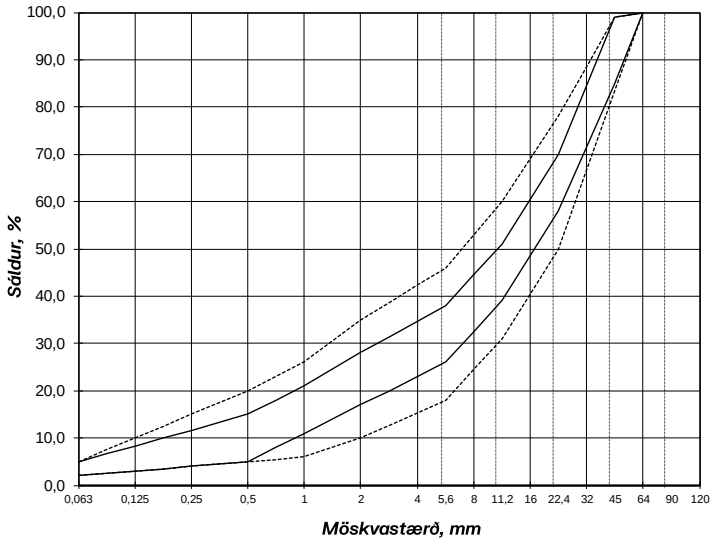
Mynd 5-7:
Markalínur fyrir malað 22 mm set í burðarlag



	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	2	5	2	5
	0,125	3	10	3	8
	0,25	4	15	4	12
G	0,5	5	20	5	15
F	1	6	26	11	21
E	2	10	35	17	28
C	4	18	46	26	38
	5,6	25	53	33	45
B	8	31	60	39	51
	11,2	41	69	49	61
A	16	50	78	58	70
	22,4	67	89	72	85
	31,5	83	99	85	99
	45	100	100	100	100
	63				
	90				
	120				

Mynd 5-8:
Markalínur fyrir malað 32 mm set í burðarlag

Malað set Stærðarflokkur: 0/45 ÍST EN 13285, markalínur
Kröfuflokkur: G_O OC_{85} LF_2 UF_5

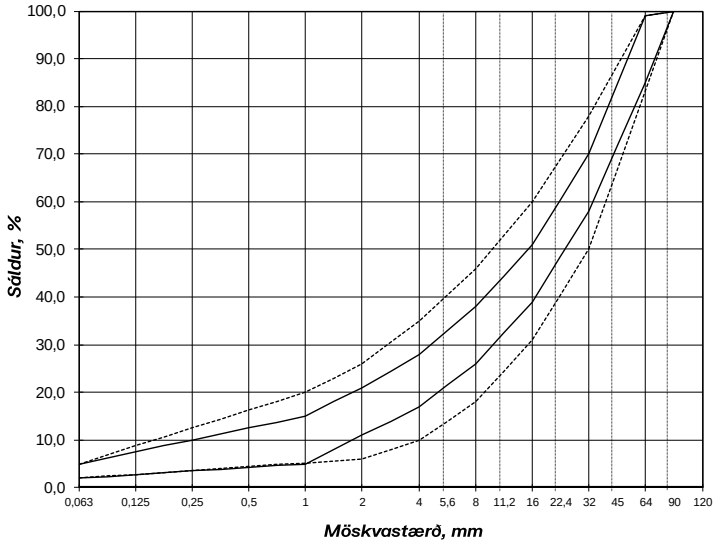


Flokkunarstærð: 0/45
Kröfuflokkur $G_O OC_{85} LF_2 UF_5$

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	2	5	2	5
	0,125	3	10	3	8
	0,25	4	15	4	12
G	0,5	5	20	5	15
F	1	6	26	11	21
E	2	10	35	17	28
	4	15	42	23	35
C	5,6	18	46	26	38
	8	25	53	33	45
B	11,2	31	60	39	51
	16	41	69	49	61
A	22,4	50	78	58	70
	31,5	67	89	72	85
	45	83	99	85	99
	63	100	100	100	100
	90				
	120				

Mynd 5-9:
Markalínur fyrir malað 45 mm set í burðarlag

Malað set Stærðarflokkur: 0/63 ÍST_EN 13285, markalínur
Kröfuflokkur: G_O OC_{85} LF_2 UF_5

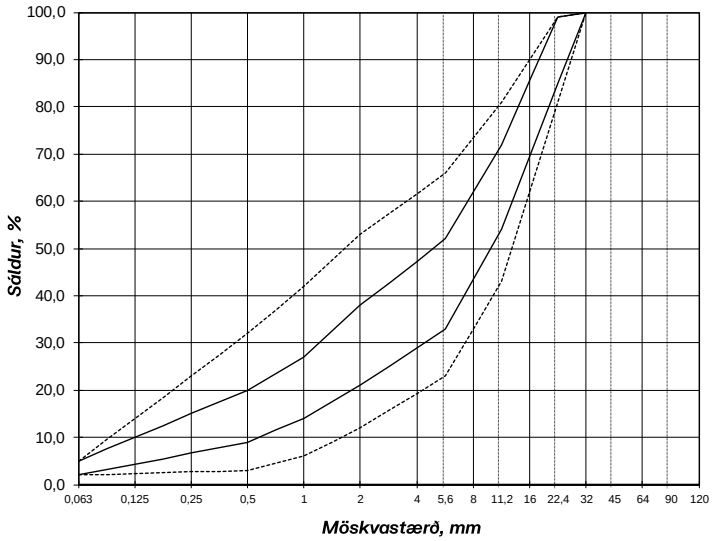


Flokkunarstærð: 0/63
Kröfuflokkur $G_O OC_{85} LF_2 UF_5$

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	2	5	2	5
	0,125	3	9	3	8
	0,25	4	13	4	10
	0,5	4	16	4	13
G	1	5	20	5	15
F	2	6	26	11	21
E	4	10	35	17	28
	5,6	14	41	22	33
C	8	18	46	26	38
	11,2	25	53	33	45
B	16	31	60	39	51
	22,4	41	69	49	61
A	32	50	78	58	70
	45	67	89	72	85
	63	83	99	85	99
	90	100	100	100	100
	120				

Mynd 5-10:
Markalínur fyrir malað 63 mm set í burðarlag

Malað berg ***Stærðarflokkur: 0/22*** ***ÍST_EN 13285, markalínur***
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_2 UF_5

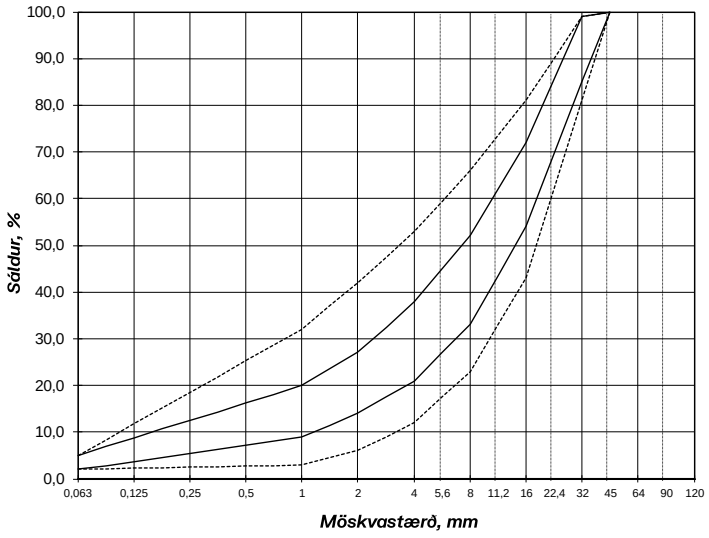


Flokkunarstærð: 0/22
Kröfuflokkur G_P OC_{85} LF_2 UF_5

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**2**	**5**	**2**	**5**
	0,125	2	14	4	10
	0,25	3	23	7	15
F	**0,5**	**3**	**32**	**9**	**20**
E	**1**	**6**	**42**	**14**	**27**
C	**2**	**12**	**53**	**21**	**38**
	4	19	62	29	47
B	**5,6**	**23**	**66**	**33**	**52**
	8	33	74	44	62
A	**11,2**	**43**	**81**	**54**	**72**
	16	62	90	70	86
	22,4	81	**99**	**85**	**99**
	31,5	**100**	**100**	**100**	**100**
	45				
	63				
	90				
	120				

Mynd 5-11:
Markalínur fyrir malað 22 mm berg í burðarlag

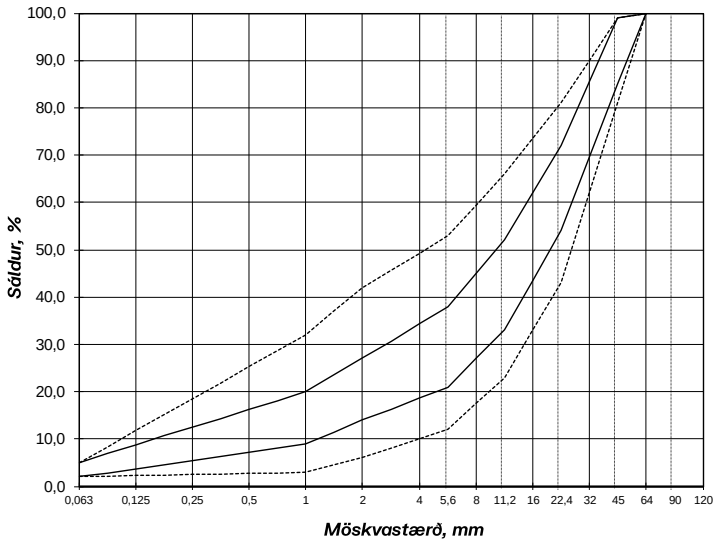
Malað berg ***Stærðarflokkur: 0/32*** ***ÍST_EN 13285, markalínur***
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_2 UF_5



Flokkunarstærð: 0/32
Kröfuflokkur G_P OC_{85} LF_2 UF_5

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**2**	**5**	**2**	**5**
	0,125	2	12	4	9
	0,25	3	19	6	13
	0,5	3	25	7	16
F	**1**	**3**	**32**	**9**	**20**
E	**2**	**6**	**42**	**14**	**27**
C	**4**	**12**	**53**	**21**	**38**
	5,6	18	60	27	45
B	**8**	**23**	**66**	**33**	**52**
	11,2	33	74	44	62
A	**16**	**43**	**81**	**54**	**72**
	22,4	62	90	70	86
	31,5	81	**99**	**85**	**99**
	45	**100**	**100**	**100**	**100**
	63				
	90				
	120				

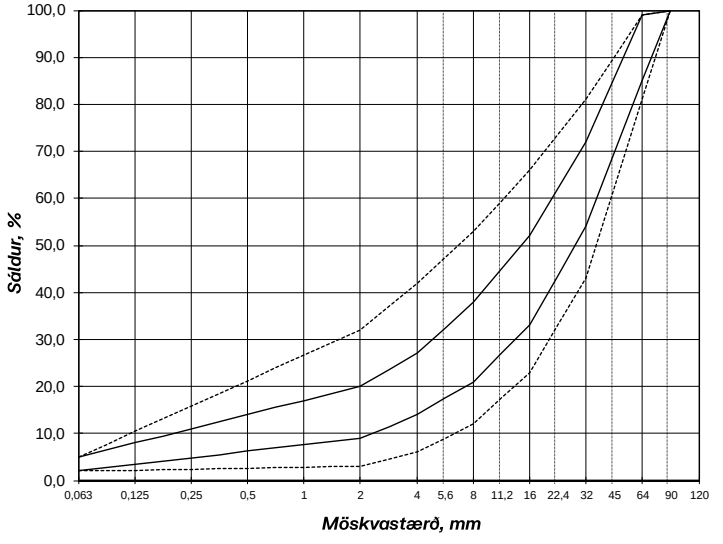
Mynd 5-12:
Markalínur fyrir malað 32 mm berg í burðarlag



Flokkunarstærð: 0/45
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_2 UF_5

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**2**	**5**	**2**	**5**
	0,125	2	12	4	9
	0,25	3	19	6	13
	0,5	3	25	7	16
F	**1**	**3**	**32**	**9**	**20**
E	**2**	**6**	**42**	**14**	**27**
	4	10	49	19	34
C	**5,6**	**12**	**53**	**21**	**38**
	8	18	60	27	45
B	**11,2**	**23**	**66**	**33**	**52**
	16	33	74	44	62
A	**22,4**	**43**	**81**	**54**	**72**
	31,5	62	90	70	86
	45	81	**99**	**85**	**99**
	63	**100**	**100**	**100**	**100**
	90				
	120				

Mynd 5-13:
Markalínur fyrir malað 45 mm berg í burðarlag

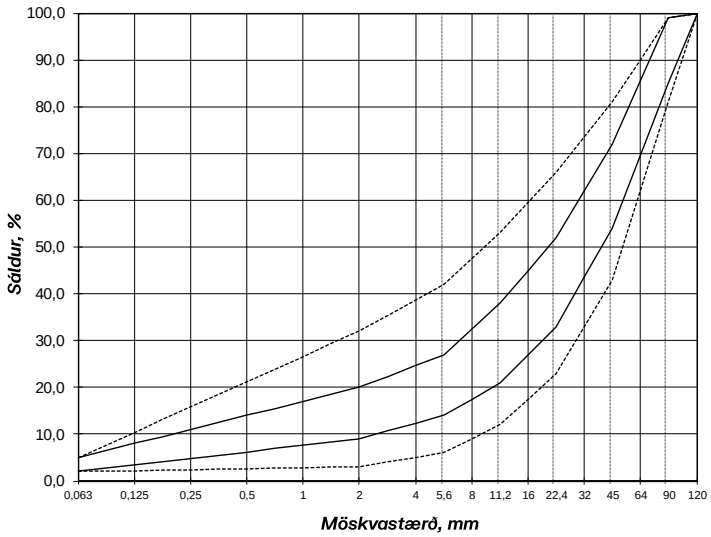


Flokkunarstærð: 0/63
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_2 UF_5

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**2**	**5**	**2**	**5**
	0,125	2	10	3	8
	0,25	2	16	5	11
	0,5	3	21	6	14
	1	3	27	8	17
F	**2**	**3**	**32**	**9**	**20**
E	**4**	**6**	**42**	**14**	**27**
	5,6	9	48	18	33
C	**8**	**12**	**53**	**21**	**38**
	11,2	18	60	27	45
B	**16**	**23**	**66**	**33**	**52**
	22,4	33	74	44	62
A	**32**	**43**	**81**	**54**	**72**
	45	62	90	70	86
	63	81	99	85	99
	90	100	100	100	100
	120				

Mynd 5-14:
Markalínur fyrir malað 63 mm berg og púkk í burðarlag

Malað berg ***Stærðarflokkur: 0/90*** ***ÍST_EN 13285, markalínur***
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_2 UF_5



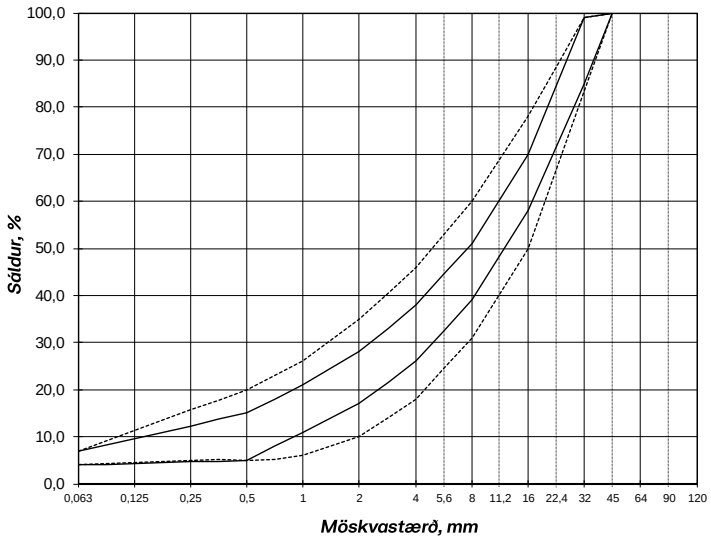
Flokkunarstærð: 0/90
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_2 UF_5

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**2**	**5**	**2**	**5**
	0,13	2	10	3	8
	0,25	2	16	5	11
	0,5	3	21	6	14
	1	3	27	8	17
F	**2**	**3**	**32**	**9**	**20**
	4	5	39	12	25
E	**5,6**	**6**	**42**	**14**	**27**
	8	9	48	18	33
C	**11,2**	**12**	**53**	**21**	**38**
	16	18	60	27	45
B	**22,4**	**23**	**66**	**33**	**52**
	32	33	74	44	62
A	**45**	**43**	**81**	**54**	**72**
	63	62	90	70	86
	90	81	**99**	**85**	**99**
	120	**100**	**100**	**100**	**100**

Mynd 5-15:
Markalínur fyrir malað 90 mm berg og púkk í burðarlag

Á myndum 5-16 til 5-19 eru sýndar markalínur fyrir óbundið burðarlag sem ætlað er til nota undir malarslitlag.

Malað eða harpað set ***Stærðarflokkur 0/32*** ***ÍST_EN 13285, markalínur***
(***Undir malarslitlag***) ***Kröfuflokkur: G_O OC_{85} LF4 UF7***

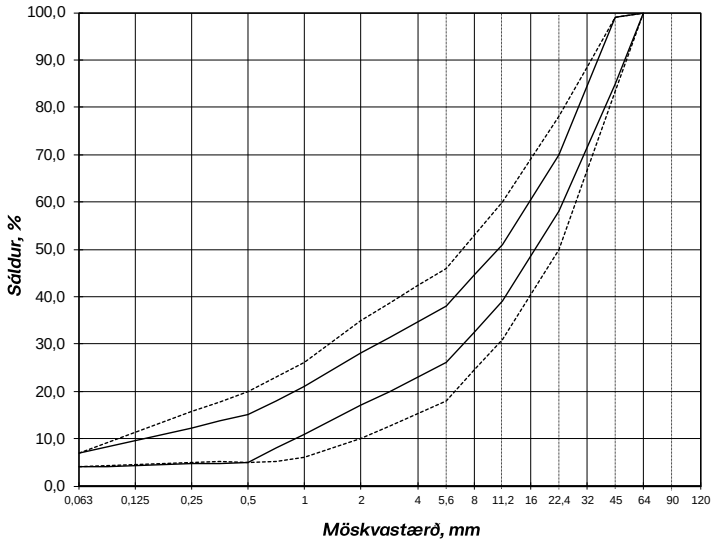


Flokkunarstærð: 0/32
Kröfuflokkur: G_O OC_{85} LF_4 UF_7

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**4**	**7**	**4**	**7**
	0,125	5	11	4	10
	0,25	5	16	5	12
G	**0,5**	5	**20**	**5**	**15**
F	**1**	**6**	**26**	**11**	**21**
E	**2**	**10**	**35**	**17**	**28**
C	**4**	**18**	**46**	**26**	**38**
	5,6	25	53	33	45
B	**8**	**31**	**60**	**39**	**51**
	11,2	41	69	49	61
A	**16**	**50**	**78**	**58**	**70**
	22,4	67	89	72	85
	31,5	83	**99**	**85**	**99**
	45	**100**	**100**	**100**	**100**
	63				
	90				
	120				

Mynd 5-16:
Markalínur fyrir 32 mm malað eða harpað set í burðarlag malarvega

Malað eða harpað set ***Stærðarflokkur 0/45*** ***ÍST_EN 13285, markalínur***
(Undir malarslitlag) ***Kröfuflokkur: G_O OC_{85} LF4 UF7***

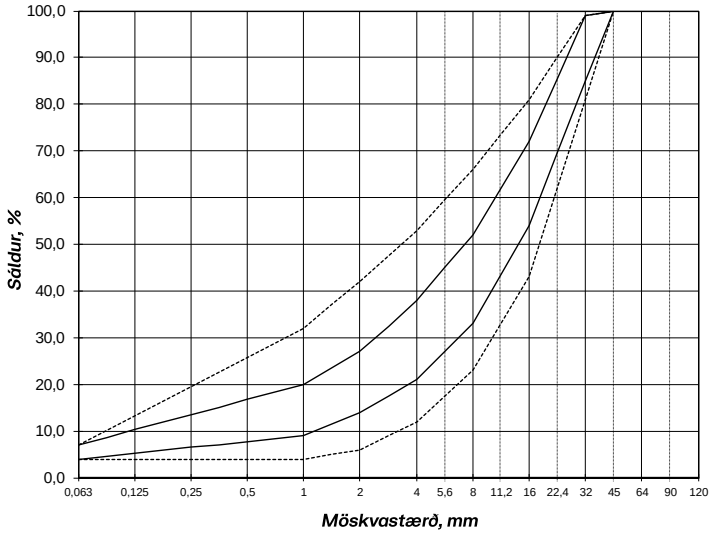


Flokkunarstærð: 0/45
Kröfuflokkur: G_O OC_{85} LF_4 UF_7

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**4**	**7**	**4**	**7**
	0,125	5	11	4	10
	0,25	5	16	5	12
G	**0,5**	5	**20**	**5**	**15**
F	**1**	**6**	**26**	**11**	**21**
E	**2**	**10**	**35**	**17**	**28**
	4	15	42	23	35
C	**5,6**	**18**	**46**	**26**	**38**
	8	25	53	33	45
B	**11,2**	**31**	**60**	**39**	**51**
	16	41	69	49	61
A	**22,4**	**50**	**78**	**58**	**70**
	31,5	67	89	72	85
	45	83	**99**	**85**	**99**
	63	**100**	**100**	**100**	**100**
	90				
	120				

Mynd 5-17:
Markalínur fyrir 45 mm malað eða harpað set í burðarlag malarvega

Malað berg ***Stærðarflokkur 0/32*** ***ÍST_EN 13285, markalínur***
(Undir malarslitlag) ***Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF4 UF7***

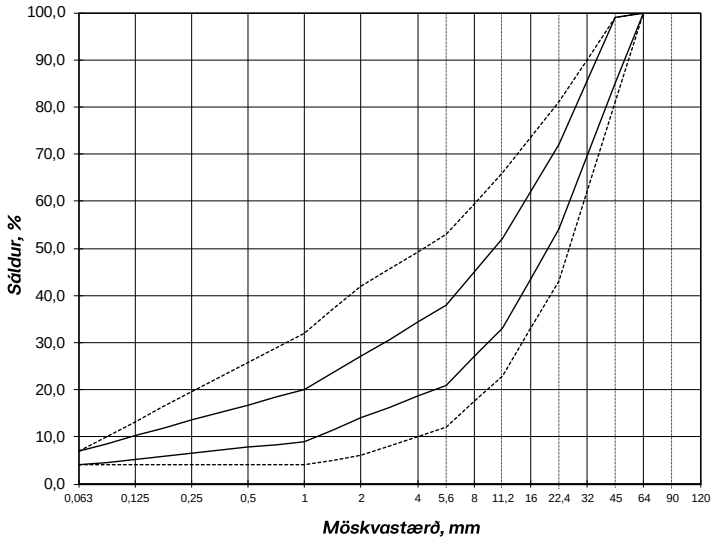


Flokkunarstærð: 0/32
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_4 UF_7

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**4**	**7**	**4**	**7**
	0,125	4	13	5	10
	0,25	4	20	7	14
	0,5	4	26	8	17
F	**1**	4	**32**	**9**	**20**
E	**2**	**6**	**42**	**14**	**27**
C	**4**	**12**	**53**	**21**	**38**
	5,6	18	60	27	45
B	**8**	**23**	**66**	**33**	**52**
	11,2	33	74	44	62
A	**16**	**43**	**81**	**54**	**72**
	22,4	62	90	70	86
	31,5	81	**99**	**85**	**99**
	45	**100**	**100**	**100**	**100**
	63				
	90				
	120				

Mynd 5-18:
Markalínur fyrir 32 mm malað berg í burðarlag malarvega

Malað berg ***Stærðarflokkur 0/45*** ***ÍST_EN 13285, markalínur***
(Undir malarslitlag) ***Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF4 UF7***



Flokkunarstærð: 0/45
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_4 UF_7

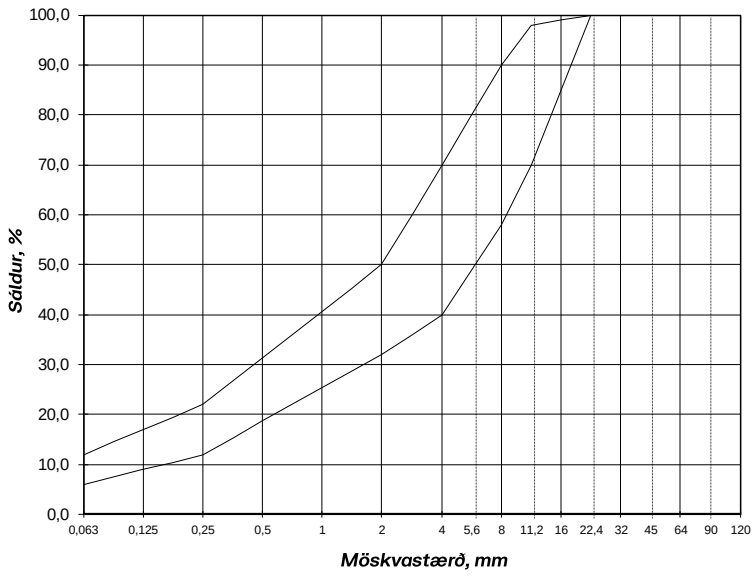
	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**4**	**7**	**4**	**7**
		4	10	5	9
	0,125	4	13	5	10
		4	16	6	12
	0,25	4	20	7	14
		4	23	7	15
	0,5	4	26	8	17
		4	29	8	18
F	**1**	4	**32**	**9**	**20**
		5	37	12	24
E	**2**	**6**	**42**	**14**	**27**
		8	46	16	31
	4	10	49	19	34
C	**5,6**	**12**	**53**	**21**	**38**
	8	18	60	27	45
B	**11,2**	**23**	**66**	**33**	**52**
	16	33	74	44	62
A	**22,4**	**43**	**81**	**54**	**72**
	31,5	62	90	70	86
	45	81	**99**	**85**	**99**
	63	**100**	**100**	**100**	**100**
	90				
	120				

Mynd 5-19:
Markalínur fyrir 45 mm malað berg í burðarlag malarvega

Á myndum 5-20 til 5-23 eru sýndar leiðbeinandi markalínur fyrir bikfest burðarlög blönduð í námu, byggt á handbók N200 norsku vegagerðarinnar. Víkja má frá þessum leiðbeinandi mörkum, ef blandan stenst kröfur um kleyfnistyrk. Til að aðlaga markalínur handbókar N200 að framsetningu Evrópustaðla hefur efri markalínum verið breytt þannig að a.m.k. 1% efnis sitji á sigti efri flokkunarstærðar.

Froðubik ***Stærðarflokkur 0/16***
Kröfuflokkur: OC_{85} LF_6 UF_{12}

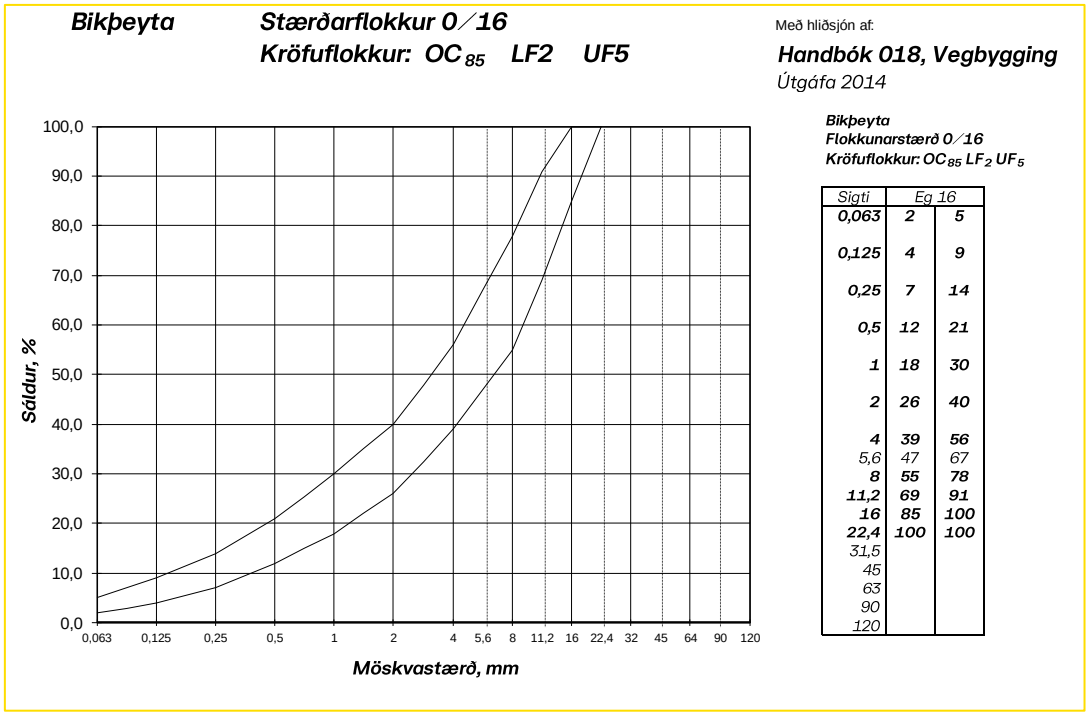
Með hliðsjón af:
Handbók 018, Vegbygging
Útgáfa 2014



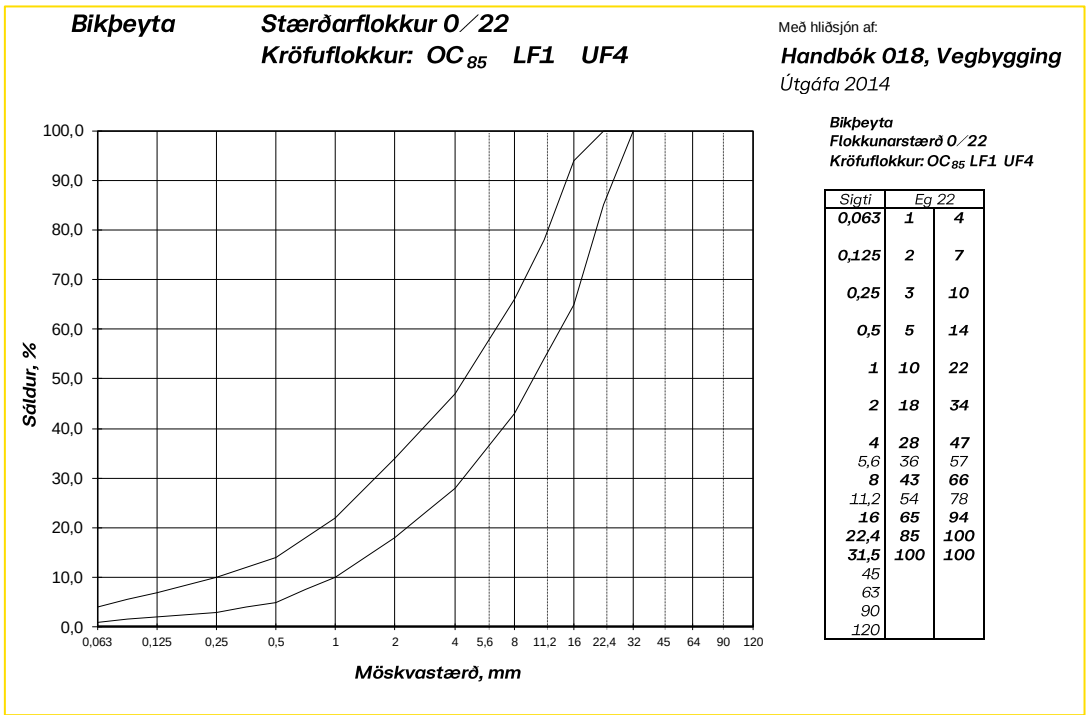
Froðubik
Flokkunarstærð 0/16
Kröfuflokkur: OC_{85} LF_6 UF_{12}

Sigti	Mörk	
0,063	**6**	**12**
0,13	9	17
0,25	**12**	**22**
0,5	19	31
1	25	41
2	**32**	**50**
4	**40**	**70**
5,6	49	80
8	**58**	**90**
11,2	**70**	**98**
16	**85**	**99**
22,4	**100**	**100**
31,5		
45		
63		
90		
120		

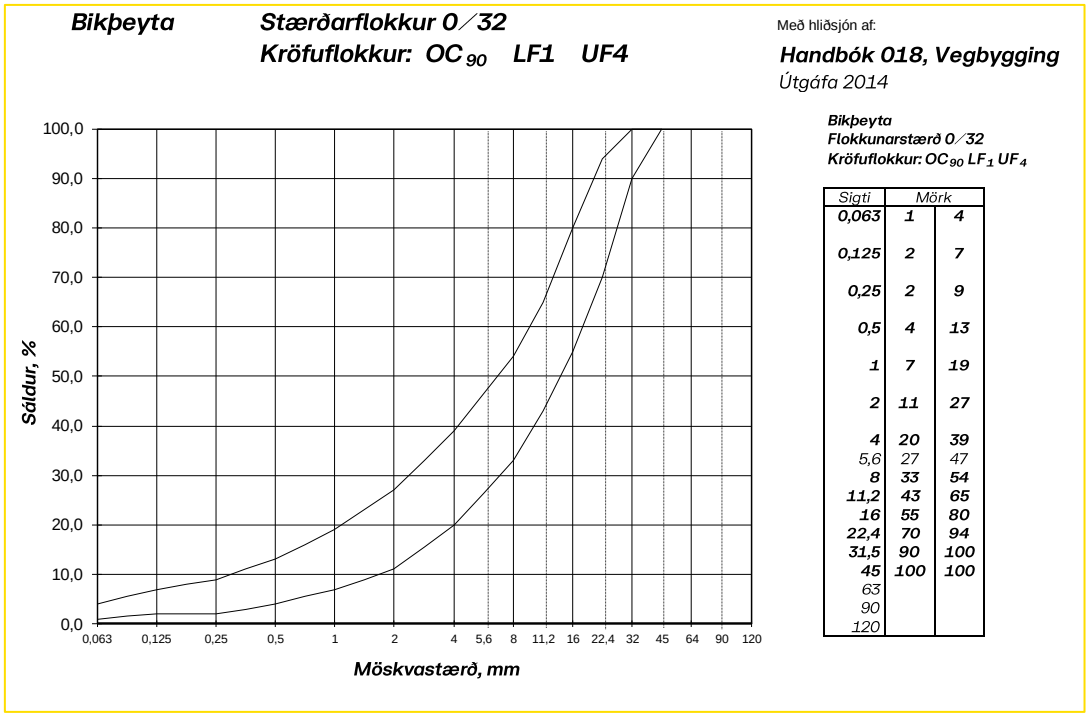
Mynd 5-20:
Markalínur steinefnis (leiðbeinandi), fyrir froðumalbik blandað í námu



Mynd 5-21:
Markalínur fyrir 16 mm steinefni (leiðbeinandi), fyrir bikþeytumalbik blandað í námu

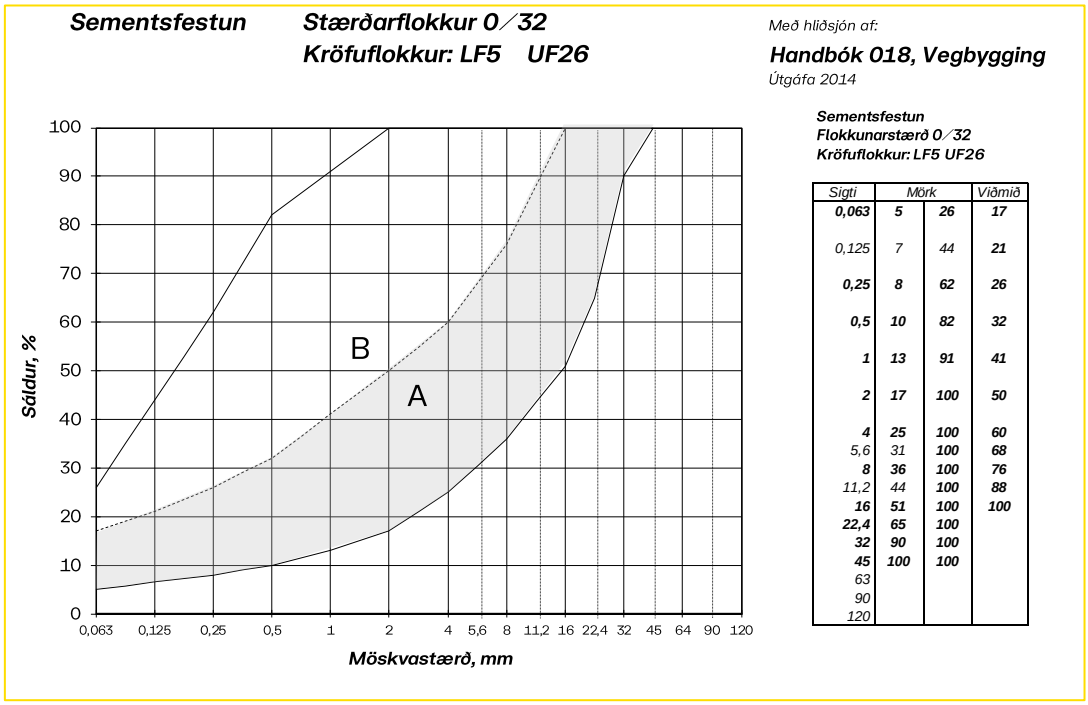


Mynd 5-22:
Markalínur fyrir 22 mm steinefni (leiðbeinandi), fyrir bikþeytumalbik blandað í námu



Mynd 5-23:
Markalínur fyrir 32 mm steinefni (leiðbeinandi), fyrir bikþeytumalbik blandað í námu

Viðmiðun fyrir kornadreifingu efnis í sementsfest burðarlög eru sýnd á mynd 5-24. Efni innan svæðis merkt A, er heppilegast fyrir umferðarmikla vegi, en einnig er hægt að festa efni sem lendir á svæði B, en þá þarf meira sementsmagn.



Mynd 5-24:
Markalínur steinefnis fyrir sementsfest burðarlög

Aðrar kröfur til sementsfestra burðarlaga en kornadreifing eru vatns/sements-tala og þrýstistyrkur kjarna, auk þjöppunarkrafna, sjá töflu 5-7. Auk þess má styðjast við kröfur til sýna sem tekin eru úr vegi sem gefnar eru upp í töflu 523.18 í Vegbygging N200 frá árinu 2014.

Tafla 5-7
Kröfur til sementsfestra burðarlaga

Eiginleikar efnis	Kröfur	Vikmörk[4)]	Mesta frávik
Kornadreifing	Skv. hönnunarforskrift	20%	[1)]
Vatns/sements-tala	0,8-1,0	20%	0,2%
Þrýstistyrkur eftir 7 daga[2)]	5 MPa	20%	0,8 MPa
Þjöppun	Sbr. Modified Proctor[3)]	-	-

[1)] *Frávik tilgreind í hönnunarforskrift*

[2)] *Sýni útbúin og þjöppuð með Kango hamri*

[3)] *Þjöppun ræðst af rúmþyngd úr Modified Proctor prófi*

[4)] *Hámarksfjöldi prófa sem lenda utan krafna (samsvarar 1 af hverjum 5 sýnum)*

Við hönnun á sementsfestu burðarlagi þarf að gera prófblöndur með því steinefni sem á að festa hverju sinni til að ákvarða sementsmagn. Sementsfestun hér á landi er yfirleitt aðgerð til að styrkja eldra burðarlag. Einnig kemur til greina að sementsbinda nýtt burðarlag.

Hér á eftir eru sett fram ákvæði um undir- og yfirstærðir kornadreifingar fyrir óbundið burðarlag sem koma til álita þegar ekki er valið að gera kröfur samkvæmt markalínum, t.d. þegar nota skal púkk í burðarlag.

Í staðli ÍST EN 13242 eru settar fram leyfilegar undir- og yfirstærðir flokkaðs efnis og óflokkaðs efnis, sjá töflu 5-8 a). Í töflunni stendur d fyrir neðri flokkunarstærð og D fyrir efri flokkunarstærð, t.d. 16/45 (d/D) í mm. Tveir valkostir eru fyrir undir- og yfirstærðir í flokkuðu efni, til dæmis kröfuflokkur G_C 85/15 þar sem G_C X/Y táknar að minnst X% efnisins eiga að smjúga grófara sigtið (efri flokkunarstærð) og mest Y% mega smjúga það fínna (neðri flokkunarstærð). Auk þess eru samsvarandi ákvæði fyrir d/2, 1,4×D og 2×D.

Fyrir óflokkað efni þ.e.a.s. d/D = 0/X t.d. 0/63, þá má velja milli þriggja kröfuflokka G_A úr töflu 5-8 a) um yfirstærðir þar sem G_A X táknar að minnst X% eiga að smjúga sigti efri flokkunarstærðar, auk samsvarandi ákvæða um 1,4×D og 2×D, en þar sem neðri flokkunarstærð er d = 0 eru engar kröfur um undirstærðir.

Tafla 5-8 a):
Kröfuflokkar með leyfilegum yfir- og undirstærðum samkvæmt staðli ÍST EN 13242

Gerð steinefnis	Stærð, mm	Sáldur, % af þyngd					Kröfuflokkur kornadreifingar G
		2xD[a]	1,4xD	D[b]	d[c]	d/2	
Flokkað efni* D > 4 d ⩾ 1		100	98-100	85-99[b]	0-15	0-5	G_C 85/15
		100	98-100	80-99	0-20	0-5	G_C 80/20
Óflokkað efni* D > 4 d = 0		100	98-100	90-99	-	-	G_A 90
		100	98-100	85-99	-	-	G_A 85
		100	98-100	80-99	-	-	G_A 80

Skýringar við töfluna:
[a] Steinefni með D > 63 mm (t.d. 90 mm) er undanþegið ákvæðinu um sáldur á sigti með möskvastærð 2xD, þar sem sigtaröð ISO 565/R20 takmarkast að ofan við 125 mm sigti. Ákvæðið varðandi 1,4xD gildir hins vegar.
[b] Ef hlutfallið D/d er minna en 2 (flokkað efni) og kröfuflokkurinn er GC 85/15 má minnka hlutfallið sem smýgur sigti með möskvastærðina D um 5%, að teknu tilliti til fyrirhugaðrar notkunar steinefnisins.
[c] Mörkunum fyrir þann hluta steinefnanna sem smjúga sigti með möskvastærð d má breyta og tilgreina í staðinn tölu á bilinu 1-15 fyrir GC 85/15 og á bilinu 1-20 fyrir GC 80/20, ef það er nauðsynlegt til að tryggja heppilega stærðadreifingu steinefnisins.

**Það sem nefnt er flokkað efni hér kallast „Coarse" í staðlinum, samanber C í kröfuflokki G_C. „All-in" í staðlinum samanber A i G_A er nefnt óflokkað efni hér.*

Sem dæmi um notkun töflu 5-8 a) má taka flokkað efni 22/63, þ.e. d = 22 mm og D = 125 mm. Ef valinn er kröfuflokkur Gc 85/15 mega 0 – 15% af efninu smjúga 22 mm sigti (d) og 85 – 99% af efninu skal smjúga 63 mm sigti (D). Þannig verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 63 mm sigtinu sem er mikilvægt til að tryggja að efnið nái þeirri efri flokkunarstærð (þ.e. D = 63). Samkvæmt kröfuflokki Gc 85/15 mega 0 – 5% af efninu smjúga 11 mm sigti (d/2 = 11) og 98 – 100% verða að smjúga 90 mm sigti (1,4×D = 90). Að lokum verður allt efnið að smjúga 125 mm sigti (2×D = 125).

Sem dæmi um óflokkað efni má taka flokkunarstærðir 0/90, þ.e. d = 0 og D = 90 mm. Ef valinn er kröfuflokkur G_A 80 þá skal 80 – 99% af efninu smjúga 90 mm sigti (D) og eins og í dæminu hér fyrir ofan verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 90 mm sigtinu. Á bilinu 98 – 100% verða að smjúga 125 mm sigti (1,4×D = 125). Að lokum verður allt efnið að smjúga 180 mm sigti (2×D = 180).

Auk ákvæðanna um yfirstærðir og undirstærðir eru í staðli ÍST EN 13242 ákvæði, fyrir flokkað efni (D/d >2), um millistærðir D/1,4 og D/2, sjá töflu 5-8 b). Sem dæmi má taka að fyrir flokkað efni 22/63 (D/d < 4), má á bilinu 20-70% af efninu smjúga 45 mm sigti (D/1,4) ef neðri valkosturinn er valinn.

Tafla 5-8 b)
Ákvæði um sáldurdreifingu millistærða

Hlutfall D/d	Stærð millisigtis mm	Sáldur %
< 4	D/1,4	25-80
		20-70
≥ 4	D/2	20-70

Húmus
Efni sem nota á í óbundið burðarlag skal vera laust við lífræn óhreinindi. Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni sé innan marka, en í vafatilfellum skal prófa samkvæmt staðli ÍST EN 1744-1 og er miðað við að efnið standist kröfur samkvæmt staðallausn í NaOH prófi samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13242.

Þjálni
Efni sem nota á í óbundið burðarlag má ekki flokkast sem þjált efni. Sjónmat er almennt látið nægja til að meta þjálni en í vafatilfellum skal efnið prófað með tilliti til þjálni. Ef fínefni (þ.e. efni minna en 0,063 mm) er minna en 3% er ekki ástæða til að prófa þjálni efnisins.

ATH: Heimilt er að gera kröfu um þjálnipróf samkvæmt staðli ÍST EN 13285 Unbound mixtures – Specifications.

Stærðargreining fínefna
Almennt er krafa um að fínefni minna en 0,063 mm sé undir 5% (7% fyrir burðarlög malarvega). Hins vegar má nota efnið þó að fínefnið sé á bilinu 5-6% (7%) ef þyngdarhluti sýnis undir 0,02 mm er minni en 3% miðað við stærðarflokk 0/22 mm). Stærðargreining fínefna er gerð með flotvog (e. hydrometer) eða lasertæki.

ATH: Heimilt er að gera kröfu um slíkt próf til að meta frostnæmi efna samkvæmt staðli ÍST EN 13285 Unbound mixtures – Specifications.

Berggreining

Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki fyrir óbundið burðarlag eru sýndar í töflu 5-9. Kröfurnar miðast við að greint sé sýni af 5,6-11,2 mm steinefni.

Tafla 5-9:
Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í gæðaflokkum við berggreiningu

	Kröfur	
Fjöldi þungra ökutækja	**Mjög ummyndað efni**	**Ferskt, efni**
$ÁDU_þ$	**% í 3. flokki**	**% í 3. flokki**
⩾ 400	≤ 7	≤ 12
⩾ 100	≤ 10	≤ 20
⩾ 10	≤ 15 (20)	≤ 30 (35)
< 10	≤ 15 (25)	≤ 30 (40)

** Miðað er við að meirihluti þess efnis sem lendir í 3. gæðaflokki sé af viðkomandi berggerð. Kröfur innan sviga gilda fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.*

Athygli er vakin á tvenns konar kröfum um leyfilegt magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu. Munurinn liggur í því að bergbrigði með ólíka eiginleika lenda í sama gæðaflokki samkvæmt kerfinu. Þar sem ummynduð bergbrigði eru talin mun óæskilegri fyrir burðarlög en fersk, eru gerðar rýmri kröfur til ferskra efna en ummyndaðra, jafnvel þótt þau séu fínblöðrótt og brotni þar af leiðandi niður undan álagi. Ástæðan er sú að við niðurbrot mikið ummyndaðs bergs geta skaðlegar leirsteindir leyst úr læðingi, en við niðurbrot ferskra efna er afurð niðurbrotsins skaðlaus fyrir burðarlag.

Ef setberg er í efninu þarf að meta það sérstaklega hvort hætta sé á að við niðurbrot þess hækki fínefni efnisins yfir leyfileg mörk.

ATH: Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13242 eru ekki eiginlegar kröfur til niðurstöðu berggreiningar. Berggreiningin á aðeins að segja almennt til um berggerð sýnisins og fylgja með sem upplýsingar um efnið. Íslenska aðferðin hefur verið aðlöguð ÍST EN 932-3, en er mun ýtarlegri í skiptingu basalts eftir ummyndun og þéttleika. Íslenska gæðaflokkunin er hins vegar alveg óháð Evrópustöðlum og hefur enga tilvísun í þá, enda er ávallt talað um leiðbeinandi kröfur til gæðaflokkunar í þessu riti. Í leiðbeiningariti Vegagerðarinnar, LEI-3410, er íslenska berggreiningarkerfið skjalfest.

Frostþolspróf

Kröfur til niðurstaðna frostþolsprófs fyrir steinefni í óbundin burðarlög koma fram í töflu 5-10. Kröfurnar eru miðaðar við sýni af 8-16 mm steinefni og miðast við að prófið sé gert samkvæmt ÍST EN 1367-6 (frostþolspróf í saltlausn).

Tafla 5-10:
Kröfur til niðurstöðu frostþolsprófs fyrir steinefni í burðarlög

Fjöldi þungra ökutækja	**Niðurbrot, % Flokkun skv. ÍST EN 13242**
$ÁDU_þ$	**Frostþolsgildi, %**
≥ 400	$F_{EC}8$
≥ 100	$F_{EC}14$
≥ 10	$F_{EC}14$
< 10	$F_{EC}25$

EC í F_{EC} stendur fyrir „extreme conditions“

Gera skal frostþolspróf ef 3. flokks efni samkvæmt berggreiningu er að mestu mjög ummyndað basalt og stenst ekki leiðbeinandi gæðaflokkun fyrir viðkomandi umferðarflokk.

Brothlutfall

Kröfur til niðurstaðna mælinga á brothlutfalli steinefnis í óbundið burðarlag koma fram í töflu 5-11. Prófið er gert á flokkuðu sýni samkvæmt staðli ÍST EN 933-5. Steinefni sem fengin eru úr sprengdu bergi teljast uppfylla kröfuflokk C100/0 og þarfnast ekki prófunar á brothlutfalli samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13242.

Tafla 5-11:
Kröfur til niðurstöðu mælinga á brothlutfalli steinefna í burðarlög

Fjöldi þungra ökutækja	**Malað set Flokkun skv. ÍST EN 13242**	**Malað harpað grjót** Flokkun skv. ÍST EN 13242**
$ÁDU_þ$	**Brothlutfall**	**Brothlutfall**
⩾ 400	$C_{50/10*}$	$C_{90/3}$
⩾ 100	$C_{50/10*}$	$C_{90/3}$
⩾ 10	$C_{50/30}$	$C_{50/10*}$
< 10	$C_{\text{Ekki krafa}/50}$	$C_{50/10*}$

**Hér er að auki gerð krafa um að 30 til 100% þess efnis sem flokkast brotið sé albrotið.*
***Ef krafist er hærra brothlutfalls en næst beint við vinnslu úr möluðu seti getur þurft að harpa grjótið frá og mala það svo.*

Í töflunni merkir $C_{X/Y}$ að ≥ X% efnisins á að vera brotið, en ≤ Y% má vera alnúið. Steinefnakorn telst vera brotið ef minnst helmingur yfirborðs kornsins er brotið. Ekki er gerð krafa um brothlutfall fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

Kornalögun

Kröfur til kornalögunar steinefna í óbundin burðarlög koma fram í töflu 5-12. Prófið er gert skv. staðli ÍST EN 933-3, en staðallinn gerir ráð fyrir að lögun sé mæld á stærðarflokkum frá 4 mm upp í 80 mm. Hérlendis hefur þó gjarnan verið miðað við að mæla stærðarflokka frá 4 mm upp í 31,5 mm, þótt um grófara efni sé að ræða. Æskilegra væri að mæla lögun alls efnisins frá 4 mm og upp í raunstærð, t.d. er algengt að nota stærðarflokk 0/63 mm í neðri hluta burðarlags.

Tafla 5-12:
Kröfur til kornalögunar steinefna í burðarlag

Fjöldi þungra ökutækja	**Flokkun samkvæmt staðli ÍST EN 13242**
$ÁDU_þ$	**Kleyfnistuðull**
≥ 400	FI_{20}
≥ 100	FI_{25}
≥ 10	FI_{30}
< 10	FI_{35}

Í töflunni þýðir FI_X að kleyfnistuðullinn (flakiness index) skuli að hámarki vera X%. Engar kröfur eru gerðar um kornalögun fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

Styrkleikapróf

Kröfur til niðurstöðu styrkleikaprófs á steinefni í óbundið burðarlag koma fram í töflu 5-13. Miðað er við að 10 -14 mm steinefni sé prófað samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2. Hér er miðað við að klæðing sé lögð ofan á óbundið burðarlag. Þegar eitt malbikslag er lagt ofan á burðarlagið má rýmka kröfur sem settar eru fram í töflu 5-13 og jafnvel enn meir ef tvö malbikslög eru lögð ofan á burðarlagið. Það er ákvörðun hönnuðar hverju sinni hvort hann telji í lagi að rýmka leyfilegt niðurbrot í LA prófi fyrir burðarlag undir malbik, en það kemur til greina að hækka niðurbrotsgildið um 5-10% í slíkum tilfellum.

Tafla 5-13:
Kröfur til styrkleika steinefna í óbundið burðarlag undir klæðingu

	LA flokkun skv. ÍST EN 13242	
Fjöldi þungra ökutækja	**Ef 3. flokks efni skv. berggr. er mjög ummyndað**	**Ef 3. flokks efni skv. berggr. er ferskt**
$ÁDU_þ$	**LA gildi**	**LA gildi**
⩾ 400	LA_{20}	LA_{25}
⩾ 100	LA_{25}	LA_{30}
⩾ 10	LA_{30}	LA_{35}
< 10	LA_{35}	LA_{40}

Í töflunni þýðir LA_X að LA-stuðullinn skuli að hámarki vera X%.

Við mat á styrkleika steinefna hérlendis getur komið til greina að svokallaður Bg-stuðull verði mældur, þar sem efni með samsetta lokaða kornakúrfu er prófað. Sú aðferð er þó ekki til sem Evrópustaðall, en miða má við kröfur í töflu 5-14 ef valið er að nota þá aðferð til viðbótar eða í staðinn fyrir LA prófið, t.d. við framleiðslueftirlit.

Tafla 5-14:
Kröfur til styrkleika steinefna í burðarlag

Fjöldi þungra ökutækja	**Ef 3. flokks efni skv. berggr. er mjög ummyndað**	**Ef 3. flokks efni skv. berggr. er ferskt**
$ÁDU_þ$	**Bg stuðull**	**Bg stuðull**
⩾ 400	≤ 8	≤ 10
⩾ 100	≤ 10	≤ 12
⩾ 10	≤ 12	≤ 14
< 10	≤ 14	≤ 16

5.5.2 a) Kröfur til efnismassa

Proctorpróf
Rúmþyngdarmælingar úr proctorprófi má nota sem mælikvarða á þjöppun, með því að bera þær saman við rúmþyngdir mældar með geislamælingu, rafsegulmælingu eða sandkeilu aðferð. Þessar mælingar henta þó ekki á grófkorna efni, þannig að notkunin takmarkast við að efnið í burðarlaginu sé með hámarkskornastærð milli 25 og 30 mm. Ef miðað er við proctorpróf telst efnið nægilega þjappað þegar þurr rúmþyngd þess er hærri en rúmþyngd sem tilsvarar 98% af hæstu rúmþyngd við Modified Proctor þjöppun.

Í þeim tilvikum sem proctorprófið bendir til að þjöppun efnisins sé háð rakainnihaldi þess, eru niðurstöður þess notaðar til að ákveða við hvaða rakastig skuli þjappa burðarlagið. Er þá miðað við lægra gildið af tveimur, hagstæðasta rakastiginu (Wobt), sem er það rakastig sem gefur hæsta þurra rúmþyngd við proctorþjöppun, eða rakastig sem er þremur prósentum lægra en mettunarrakinn samkvæmt proctorprófinu ($W_{mettað}$-3%). Æskilegt er að þessar niðurstöður liggi fyrir við hönnun.

Í framleiðslustaðli, ÍST EN 13285, kemur fram að ákveða skal þurra rúmþyngd og heppilegasta rakastig (e. optimal water content) efnisins við þjöppun, en þessa þætti má meðal annars mæla með proctorprófi.

CBR-próf
Efni má nota í óbundið burðarlag þó kornakúrfa þess sé ekki innan marka, ef CBR-gildi á mettuðu sýni mælist við þurra rúmþyngd sem svarar til 98% af hæstu þurru rúmþyngd við Modified-Proctor þjöppun samkvæmt töflu 5-15.

Tafla 5-15:
Kröfur til CBR gilda efnis í burðarlag vega

Fjöldi þungra ökutækja, ÁDU$_þ$	**CBR (Standard Proctor)**	**CBR (Modified Proctor)**
⩾ 400	> 80	> 110
⩾ 100	> 75	> 100
⩾ 10	> 70	> 90
< 10	> 65	> 85

Í norsku handbókinni N200, útgáfa 2014 bls. 271, er gerð lágmarks krafa um CBR gildi (Modified Proctor) 100 og ef ÁDU er meiri en 1500 þá CBR 110. Þessi CBR ákvæði hafa verið tekin út úr 2018 útgáfu handbókar N200.

Þó efnið sé of gróft fyrir CBR-próf (meira en 30% grófara en 22,4 mm) má heimila notkun þess ef fínni hluti þess (sá sem prófaður er í CBR-prófinu) uppfyllir ofanskráðar kröfur. Hins vegar er rétt að taka fram að samkvæmt staðli er ekki gert ráð fyrir að gera CBR próf á svo grófu efni. Engar kröfur eru gerðar til CBR gildis fyrir burðarlag vega með malarslitlagi.

Kleyfnistyrkur bikfestra efna
Við hönnun skal miða við að kleyfnistyrkur bikbundinna efna sé ⩾ 100 kPa. Það samsvarar álagsdreifingarstuðli a=1,75, samkvæmt norska vegstaðlinum þegar hannað er samkvæmt aðferð 1. Breyta má út af þessum kröfum í sérstökum tilvikum og jafnframt má nota niðurstöðurnar á annan hátt, til dæmis ef hannað er samkvæmt aðferð 2 í norska staðlinum má reikna álagsdreifingarstuðulinn út frá líkingunni:

$$a = 0{,}38 * \sqrt[3]{p}$$

þar sem p er kleyfnistyrkur við 25 °C.

Þetta próf er ekki gert samkvæmt Evrópustaðli.

Þrýstistyrkur sementsfestra efna
Brotþol sementsbundins burðarlagsefnis skal vera 5 MPa eftir 7 daga, fyrir sívalning 150 mm í þvermál og 150 mm að hæð. Ákvæði um frávik eru í töflu 5-7.

5.5.3 a) Kröfur við framkvæmd
Óbundið burðarlag skal leggja út í rétta lagþykkt með púkkdreifara og að útlögn lokinni á yfirborðið að standast kröfur sem gefnar eru upp í töflu 5-16. Við útlögn þarf að halda aðskilnaði kornastærða í skefjum eins og kostur er og því er mikilvægt að halda efninu hæfilega röku allan verktímann. Við útlögn burðarlagsins skal byrja fjærst efnishaugum hverju sinni til að halda vinnuumferð í lágmarki á efra

burðarlaginu. Haga skal vinnu við útlögn burðarlags þannig, að ekki berist skaðleg efni eins og leir og mold inn á burðarlagið.

Ef notað er púkk eða flokkað efni í burðarlag þarf að jafna yfirborðið og ef skortur er á millistærðum í efninu getur þurft að kíla það með fínna efni. Ef aðskilnaður kemur í ljós í útlögðu burðarlagi úr sprengdu og muldu bergi og lagið er laust við flekki með of miklu fínefni, má lagfæra gróf hreiður með því að strá í þau þunnu lagi af meðalgrófum sandi sem síðan er titraður niður á milli. Að öðrum kosti þarf að blanda efninu saman og leggja út að nýju. Efnið sem notað er til afréttingar þarf að uppfylla kröfur til burðarlags. Gæta verður þess að magn kílingarefnis sé hæfilegt þannig að ekki verði eftir á yfirborði umframmagn af fíngerðu efni eftir völtun.

Óbundið burðarlag skal þjappað við rakastig sem tryggir góða þjöppun samkvæmt Modified Proctor prófi í samræmi við kröfur sem eru tilgreindar í kafla 5.5.2.

Þess skal gætt að yfirborð burðarlags hafi verið hreinsað vel, losað við öll óhreinindi, jafnað, þjappað og frágengið áður en lagning slitlags hefst. Eftir að gengið hefur verið frá yfirborði má engin vinnuumferð vera á því. Forðast skal aðskilnað kornastærða (e. *separation*) efnisins og bæta úr á fullnægjandi hátt þar sem aðskilnaður verður.

Útlögn slitlagslags má ekki hefjast fyrr en gerð burðarlags hefur verið tekin formlega út og samþykkt.

Þjöppunarmælingar
Í upphafi verks skal verktaki leggja fram áætlun um allan tækjabúnað sem hann áætlar að nota við þjöppun vegarins og um þær aðferðir sem hann hyggst beita við að mæla árangur þjöppunarinnar.

Valtar skulu vera með tölvubúnað sem tengdur er við GPS staðsetningarbúnað þegar umferðir valta eru taldar. Slíkur búnaður tryggir að allt yfirborð vegarins hafi verið þjappað með fullnægjandi hætti. Valtar skulu einnig vera með þjöppunarmæli. Hraði valta skal vera á bilinu 3 til 5 km⁄klst.

Stjórnandi valta skal halda dagbækur um völtun, þar sem fram kemur:

- dagsetning
- gerð og stærð valta
- þyngd og breidd tromlu
- hvaða vegstæði var valtað
- hvaða lag í vegi
- lagþykkt
- hraði valta
- fjöldi yfirferða.

Tafla 5-3 í kafla 5.4.3 sýnir lágmarksfjölda umferða mismunandi valta miðað við lagþykkt. Mikilvægt er að vanda völtun sérstaklega vel á ferskum blöðróttum basalt steinefnum, ekki síst púkki, sem mælast með há gildi í LA prófi og hafa því tiltölulega

lágan styrk. Ástæðan er sú að mikilvægt er að ná fram sem mestu af niðurbroti þessara efna á framkvæmdatíma og aukin þjöppun (pökkun) dregur úr líkum á niðurbroti og þar með færslum í burðarlaginu eftir að umferð hefur verið hleypt á veginn.

Viðmiðunargildi *þjöppumælis á valta* skal ákveða út frá niðurstöðum plötuprófsmælinga við upphaf verks og skal miða við E2 og gildin fyrir hlutfall E gilda í töflu 5-15. Framkvæma skal plötupróf á veikustu punktum hvers kafla vegarins sem hefur einsleita efnisgerð og undirstöðu. Endurtaka skal mælingu á tilraunalögn á minnst 2 mánaða fresti eða eftir hverja 15.000 m^2 sem unnir hafa verið. Halda skal skrá yfir lokaþjöppun þar sem er skráð stöð og hvaða lag er valtað. Þjöppun telst fullnægjandi ef 5% ± 1% viðbótarþjöppun mælist milli síðustu yfirferða valta á yfirborði burðarlags. Mælingar sýna þjöppunarstig og hve mikið þjöppun eykst í % fyrir eina viðbótarumferð. Völtun telst fullnægjandi þegar viðbótarþjöppun við eina viðbótarumferð er undir þeim gildum sem mælast við tilraunaþjöppunina.

Ef ekki er hægt að gera tilraunaþjöppun, má miða við reglur um val á valta, lagþykktir og meta fjölda yfirferða út frá niðurstöðum mælisins. Þá er miðað við að hægt sé að hætta ef munur milli umferða er innan við 5% en leyft frávik er +1%.

Við athugun á niðurstöðum *plötuprófa* eru annars vegar gerðar kröfur um lágmark fyrir gildi E2 og hins vegar kröfur um að hlutfallið E2/E1 sé ekki of hátt. Fyrri krafan er gerð til að tryggja að nægilegt burðarþol hafi náðst við þjöppunina, en hin síðari til að tryggja að þjöppun sé nægileg. Nauðsynlegt er að hafa báðar þessar kröfur saman, því fyrir getur komið, til dæmis ef vegur er byggður á mýri, að hlutfallið sé lágt og þjöppun þannig góð en E2 sé líka lágt og burðarþolið því ekki nægilegt. Rétt er að taka fram að ekki er rétt að líta á þessi E-gildi, sem reiknuð eru út frá niðurstöðum plötuprófa, út frá fræðilegu sjónarhorni sem upplýsingar um eðlisfræðilega eiginleika efnisins í burðarlaginu. Réttara er að skoða þau sem nokkurs konar „mótstöðustuðla", sem gefa hugmynd um burðarþol út frá reynslu. Krafan er að niðurstöður plötuprófa skuli ná gildinu E2 ≥ 150 MPa. Krafa um hlutfall E-gilda kemur fram í töflu 5-16.

Tafla 5-16:
Niðurstöður plötuprófa á óbundið burðarlag, kröfur til E2 gildis og hlutfalls E-gilda úr plötuprófi með 300 mm plötu

Fjöldi þungra ökutækja, ÁDUþ	E2, MPa Undir klæðingu	E2, MPa Undir malbik	E2/E1
≥ 400	≥ 140	≥ 120	≤ 2,5
≥ 100	≥ 130	≥ 120	≤ 2,7
< 100	≥ 120	≥ 120	≤ 3,0

Mesta ráðlagða frávik einstakra plötuprófa til lækkunar er 10 MPa fyrir burðarþolsgildið (E2) en meðaltal E2 gilda skal ná kröfugildinu, nema annað sé tekið fram í útboðslýsingu verks.

Mælingar á rúmþyngdum (sandkeiluprófeða rafsegulmæling) skulu sýna að þurr rúmþyngd eftir þjöppun sé a.m.k. 98% af hæstu þurri rúmþyngd við Modified Proctor þjöppun.

Í undantekningartilvikum eru notaðar hæðarmælingar, þá telst þjöppun nægileg, ef meðal sig yfirborðs frá næst síðustu til síðustu umferðar valta, er minni en 10% af heildarsigi, sem þjöppunin hefur í för með sér.

Þegar *bikfest burðarlag* er þjappað, er fylgst með þjöppuninni með rafsegulmæli og telst hún nægileg þegar breytingar á rúmþyngd milli umferða er orðin ásættanlega lítil (minni en 5%), eða þegar kröfum um rúmþyngd er náð. Ef síðarnefnda viðmiðunin er notuð, ætti a.m.k. í stærri verkum að gera tilraunaþjöppun með viðkomandi valta og efni til að ákveða nauðsynlegan fjölda yfirferða. Ef valti er búinn þjöppunarmæli er hann notaður og miðað við að munur milli lokaumferða sé minni en 5%.

Sementsfest burðarlag er þjappað þar til kröfum er náð. Kröfurnar eru miðaðar við að mæld rúmþyngd með geislamæli sé 97% af mældri rúmþyngd kjarna sem þjappaðir eru með Kango-hamri á rannsóknastofu. Líklegt er að þessar kröfur náist ef þjöppunin er gerð á þann hátt að fara fyrstu tvær umferðirnar með gúmmíhjólavalta en eftir það má nota stáltromluvalta án titrunar fyrstu umferðirnar. Þjöppun skal lokið á innan við 4 klukkustundum ef hiti er á bilinu 5-10°C en 3 klukkustundum ef hann er meiri en 10°C.

Prófanir fyrir fest burðarlög

Þegar mælingar í bikinnihaldi sýna úr bikbundnum burðarlögum er metin, með tilliti til hvort blöndun sé nægilega góð skal ekki vera meira en 1,2% munur á mesta og minnsta mælda bikinnihaldi.

Þegar þensla froðubiks er metin á það að þenjast út, þannig að rúmmál þess 12 til 18 faldist. Miða á við að rúmmálsþenslan sé a.m.k. 12 föld. Rúmmálið má svo ekki minnka um helming, fyrr en að minnsta kosti 15 sekúndum liðnum.

Þegar fylgst er með bikmagni sem notað er í bikfest burðarlög við fræsingu og festun, skal frávikið ekki vera meira en ± 0,4% fyrir hvern 18-20 tonna farm bindiefnis og ekki meira en ± 0,2% fyrir verkið í heild.

Þegar sementsmagn sem notað er við fræsingu og festun er metið, er miðað við að frávikið sé mest ± 1 kg/m^2.

Sléttleiki, hannað yfirborð og þykktir

Kröfur um mesta frávik frá hönnuðu yfirborði, sléttleika þvers og langs og frávik frá hannaðri þykkt koma fram í töflu 5-17.

Tafla 5-17:
Kröfur til sléttleika, hannaðs yfirborðs og þykkta burðarlags, mælt á 500 m kafla fyrir tveggja akreina veg og 1000 m á einnar akreinar vegi

	Fjöldi þungra ökutækja, ÁDUþ

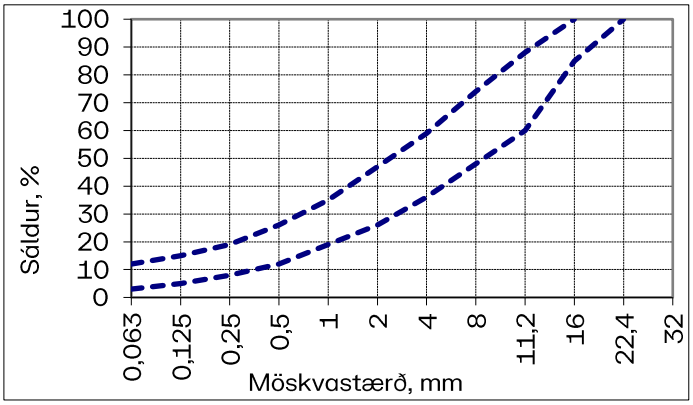
	≥ **100**		< **100**	
	Stök mæling	*Meðaltal*	*Stök mæling*	*Meðaltal*
Leyft frávik frá hönnuðu yfirborði (mm)	+20/-20	+5/-5	+30/-30	+10/-15
Sléttleiki í þverátt mældur með 3 m réttskeið (mm)	10		15	
Sléttleiki í langátt mældur með 3 m réttskeið (mm)	10		15	
Hámark frávika frá hannaðri lagþykkt (%)	+20/-10	/-5	+30/-15	/-10
Hámark frávika frá hönnuðum axlarbrúnum (mm)	+100/-0		+100/-0	

5.5 b) Kröfur til bikbundinna burðarlaga með 100% malbikskurli

Endurheimta þarf bik úr kurli til að áætla magn íblöndunar á bikþeytu, lífbindiefni eða biknæringu (e. rejuvenator). Nauðsynlegt er að prófa gamla bikið í kurlinu með tilliti til stungudýptar og mýkingarmarks. Það er gert til að ákvarða gerð og magn íblöndunarefna til að hámarka efnisgæði malbikskurlsins sem efsta lag burðarlagsins. Til þess þarf að endurheimta gamla bikið til að prófa ofangreinda eiginleika (ÍST EN 12697-3: Rotary evaporator). Með öðrum orðum þarf að endurheimta æskilega eiginleika gamla biksins í malbikskurlinu með íblöndun, ekki síst til að unnt sé að þjappa það til að ná æskilegri holrýmd og stífni.

5.5.1 b) Kröfur til steinefna í bikbundið burðarlag með 100% malbikskurli

- Upplýsingar um uppruna steinefnis í viðeigandi malbikskurli ef þekkt, annars þarf að taka fram sérstaklega í framleiðslueftirliti að uppruni sé ekki þekktur.
- Lausleg greining steinefnisins, eftir að bikið hefur verið skilið frá því og endurheimt.
- Kornadreifing steinefnis er hluti af framleiðslueftirliti, sjá mynd 5-25 hér að neðan.



Sigti	Neðri	Efri
0, 063	3, 0	12, 0
0, 125	5, 0	15, 0
0, 25	8, 0	19, 0
0, 5	12, 0	26, 0
1	19, 0	35, 0
2	26, 0	47, 0
4	36, 0	59, 0
8	48, 0	74, 0
11, 2	60, 0	88, 0
16	85, 0	100, 0
22, 4	100, 0	

Mynd 5-25
Markalínur steinefnis (leiðbeinandi), fyrir 100% malbikskurl

- Sáldurferill – markalínur fyrir 0/16 mm steinefni í 100% malbikskurl eftir að allt bindiefni hefur verið fjarlægt/endurheimt úr blöndunni.

5.5.2 b) Kröfur til efnismassa í bikbundið burðarlag með 100% malbikskurli

- Útbúa skal Marshallkjarna með 100% endurunnu malbikskurli auk íblöndunarefna og skal miða við að setja 20 högg á hvorn enda kjarnans, við stofuhita.

- Mæla skal og skjalfesta bikinnihald, kornadreifingu og holrýmd sem fæst úr Marshallkjörnunum.
- Gefa skal upp og skrá festu og sig við framleiðslueftirlit, meðaltal tveggja Marshallkjarna.
- Bikinnihald í hönnuðu, endurunnu malbikskurli eftir íblöndun mýkingar- eða næringarefna skal liggja á bilinu 5 til 8% +/- 1% vikmörk.
- Holrýmd í útlögðu og þjöppuðu 100% endurunnu malbikskurli skal liggja á bilinu 4 til 14%.

5.5.3 b) Kröfur við framkvæmd lagnar 100% malbikskurls í efsta hluta burðarlags

Tafla 5-18:
Kröfur til útlagðs 100% endurunnins malbiks í efsta hluta burðarlags

Eftirlitsþáttur	Krafa
Þykkt á útlögðu og þjöppuðu malbikslagi miðast við 50 mm þykkt eftir þjöppun	Leyft frávik frá hannaðri þykkt er +10/-0 mm
Holrýmd í útlögðu og þjöppuðu malbikslagi:	4-14 %

Tafla 5-19:
Kröfur til sléttleika og legu fyrir yfirborð 100% endurunnins malbiks í efsta hluta burðarlags

Mælingar	Kröfur
Mestu ójöfnur á akrein mældar með 3 m réttskeið (mm)	15
Hámark frávika frá hönnuðu yfirborði (mm)	± 30
Hámark hæðarbreytinga á 20 m (mm)	± 10
Hámark frávika frá hönnuðum þverhalla (‰)	± 4,0



Efnisgæðaritið – Kafli 6: Slitlag

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406/6 Efnisgæðaritið	121	Október 2024	21
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 6: Slitlag			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	OSH

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag (2024)
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
Efnisyfirlit **4**
60 Slitlag **6**
60 Slitlag 6
61 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir **7**
61 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerði 8
62 Malarslitlag **10**
62.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir 10
62.2 Próf við hönnun 12
62.2.1 Verkferlar 12
62.2.2 Steinefnapróf 14
62.2.3 Próf á efnismassa 15
62.2.4 Fjöldi prófa við hönnun 15
62.3 Próf við framleiðslu 16
62.3.1 Verkferlar 16
62.3.2 Steinefnapróf 16
62.3.3 Próf á efnismassa 17
62.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu 17
62.4 Próf og mælingar við framkvæmd 18
62.4.1 Verkferlar 18
62.4.2 Steinefnapróf 18
62.4.3 Próf og mælingar 18
62.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd 19
62.5 Kröfur 20
62.5.1 Kröfur til steinefna 20
62.5.2 Kröfur til efnismassa 25
62.5.3 Kröfur við framkvæmd 25
63 Klæðing **27**
63.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir 27
63.2 Próf við hönnun 37
63.2.1 Verkferlar 37
63.2.2 Steinefnapróf 42
63.2.3 Próf á efnismassa 44
63.2.4 Fjöldi prófa við hönnun 44
63.3 Próf við framleiðslu 45
63.3.1 Verkferlar 45
63.3.2 Steinefnapróf 46
63.3.3 Próf á efnismassa 48
63.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu 48
63.4 Próf og mælingar við framkvæmd 49
63.4.1 Verkferlar 49
63.4.2 Steinefnapróf 51

63.4.3 Próf og mælingar ... 51
63.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd ... 51
63.5 Kröfur ... 53
63.5.1 Kröfur til steinefna ... 53
63.5.2 Kröfur til bikbindiefnis ... 61
63.5.3 Kröfur til efnismassa ... 61
63.5.4 Kröfur við framkvæmd ... 61
64 Malbik ... 65
64.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir ... 65
64.2 Próf við hönnun ... 79
64.2.1 Verkferlar ... 80
64.2.2 Steinefnapróf ... 87
64.2.3 Próf á efnismassa ... 89
64.2.4 Fjöldi prófa við hönnun ... 90
64.3 Próf við framleiðslu ... 91
64.3.1 Verkferlar ... 91
64.3.2 Steinefnapróf ... 92
64.3.3 Próf á efnismassa ... 93
64.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu ... 93
64.4 Próf og mælingar við framkvæmd ... 96
64.4.1 Verkferlar ... 96
64.4.2 Steinefnapróf ... 96
64.4.3 Próf og mælingar ... 96
64.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd ... 98
64.5 Kröfur ... 99
64.5.1 Kröfur til steinefna ... 99
64.5.2 Kröfur til bikbindiefnis ... 110
64.5.3 Kröfur til efnismassa ... 110
64.5.4 Kröfur við framkvæmd ... 116

60 Slitlag

61 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Slitlagið er efsta lag vegarins. Hlutverk þess er að skapa öruggt og slétt ökusvæði, m.a. þarf að vera tryggt að nægilegt viðnám sé á milli dekkja og slitlags til að hindra að ökutæki renni til á veginum. Slitlagið þarf að þola áraun frá umferðinni, s.s. slit og núningsáhrif frá dekkjum, ekki síst nagladekkjum. Það þarf að þola veðrun svo sem frost/þíðu-áraun og vera þétt og hindra sem mest að yfirborðsvatn komist niður í undirliggjandi lög. Slitlög eru af mismunandi gerðum og má flokka þau annars vegar í bundin og hins vegar óbundin slitlög. Malarslitlög teljast óbundin og síðan má flokka bundnu slitlögin í tvennt, annars vegar bikbundin slitlög og hins vegar steypt slitlög.

Bikbundnu slitlögin sem eru notuð hérlendis eru aðallega tvenns konar; annars vegar malbik (heitblandað í malbikunarstöð) og hins vegar klæðing. Fleiri bikbundnar slitlagstegundir hafa verið notaðar hérlendis. Algengt var að leggja olíumöl á árum áður, en hún er alveg horfin af sjónarsviðinu. Þá er kaldblandað fínkorna slitlag (e. micro surfacing) hentugt til viðhalds á umferðarlitlum götum, á axlir og til hjólfarafyllingar undir klæðingu. Með tilkomu nýrra íauka hafa volgar og kaldar malbiksgerðir verið lagðar út hérlendis með og án endurunnins malbiks. Þess má geta að leyfilegt er skv. Evrópustöðlum að blanda allt að 10% af malbikskurli sem unnið er úr malbiksfræsi í stífmalbik (ÍST EN 13108-1) og steinríkt malbik (ÍST EN 13108-5) í slitlag og allt að 20% í burðarlagsmalbik. Ef óskað er eftir hærra hlutfalli af malbikskurli þarf að flokka kurlið eftir uppruna steinefna og mæla eiginleika bindiefnis í kurlinu, en þá gildir staðallinn ÍST EN 13108-8, sbr. efsta hluta burðarlags sem fjallað er um í kafla 5 hér að framan.

Steypt slitlög hafa verið notuð hér á árum áður, t.d. á Reykjanesbraut og Vesturlandsvegi, en notkun hin seinni ár hefur verið tiltölulega lítil og mest á tilraunastigi. Þó má benda á að í kafla 7 í þesssu riti, Steinsteypa, eru settar fram kröfur sem steypt slilög geta fallið undir.

Í þessum kafla ritsins verður aðeins fjallað um þrjár af ofan nefndum slitlagsgerðum, þ.e. malarslitlag, klæðingu og malbik. Mælt er með að notkunarsvið mismunandi slitlagsgerða miðað við umferð sé með hliðsjón af mynd 61-1, en ástæða er til að endurskoða þetta mat reglulega. Mikilvægt er að hafa hliðsjón af þjónustustigi vega þegar ákvörðun er tekin um hvort leggja skuli klæðingu eða malbik sem slitlag. Ástæðan er meðal annars sú að vetrarviðhald, ekki síst snjóplógar, valda mikilli áraun á klæðingu, jafnvel svo að þeir skafi klæðingu af hryggjum ef hjólför hafa myndast. Malbik þolir hins vegar mun betur vetrarviðhald, bæði vegna gæða slitlagsins og einnig vegna þess að hjólför myndast mun hægar þar sem umferð er tiltölulega lítil.

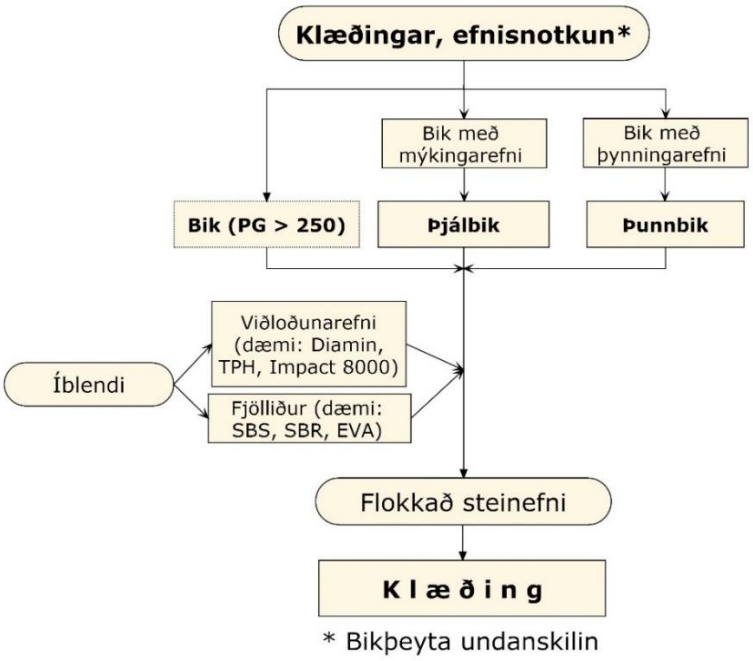
Bent er á hér að kröfur til hálkuvarnarsands eru meðal annars settar fram í kafla 8, Sandur, í þessu leiðbeiningariti.

Slitlagsgerð	Árdagsumferð, ÁDU							
	100	300	1500	2500	3000	8000	15000	
Malarslitlag	———							
Klæðing með óflokkuðu steinefni	———	———						
Klæðing með flokkuðu steinefni, efri flokkunarstærð 11-12 mm	———	———	———					
Klæðing með flokkuðu steinefni, efri flokkunarstærð 14-16 mm	———	———	———	———				
Slitlagsmalbik (AC og SMA)	———	———	———	———	———	———	———	———

Mynd 61-1:
Tillaga að notkunarsviði mismunandi slitlagsgerða miðað við umferð

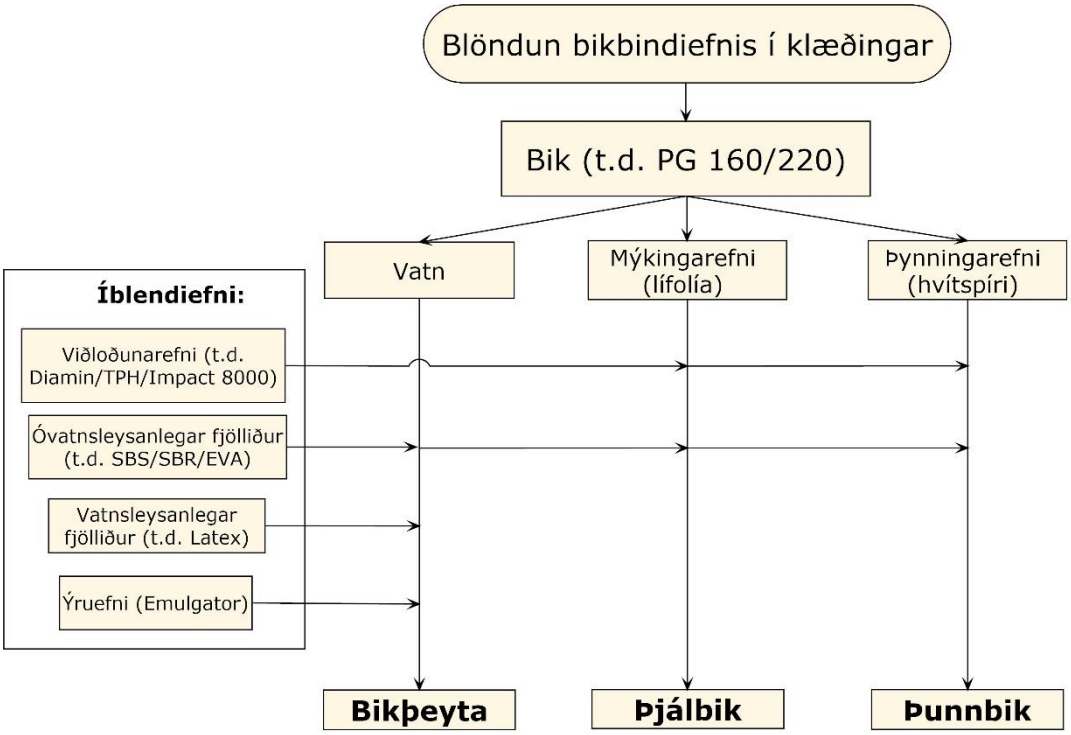
Umferðartölurnar sem miðað er við í mynd 61-1 byggja á skýrslu frá 2010 um val á slitlagsgerð miðað við umferðarmagn og aðrar forsendur[1]. Mikilvægt er að endurskoða þessa útreikninga, þar sem ýmsar forsendur hafa breyst á undanförnum árum.

Venslarit fyrir hugtök um bikbundin efni í vegagerð
Hjá vegagerðinni er starfandi orðanefnd sem fjallar um hugtök sem tengjast vegagerð. Nefndin hefur sett í gagnagrunn um 2000 orð og fylgja með skilgreiningar og skýringar á hugtökunum auk þýðinga á ensku og norsku. Orðasafnið sem er í stöðugri uppfærslu er á netinu á vefslóðinni https://idordabanki.arnastofnun.is/https://vegordasafn.vegagerdin.is/. Hér á eftir eru birt nokkur venslarit fyrir hugtök um bikbundin efni, sem Vegorðanefndin hefur unnið að með höfundum Efnisgæðaritsins, sjá myndir 61-2 til 61-4.

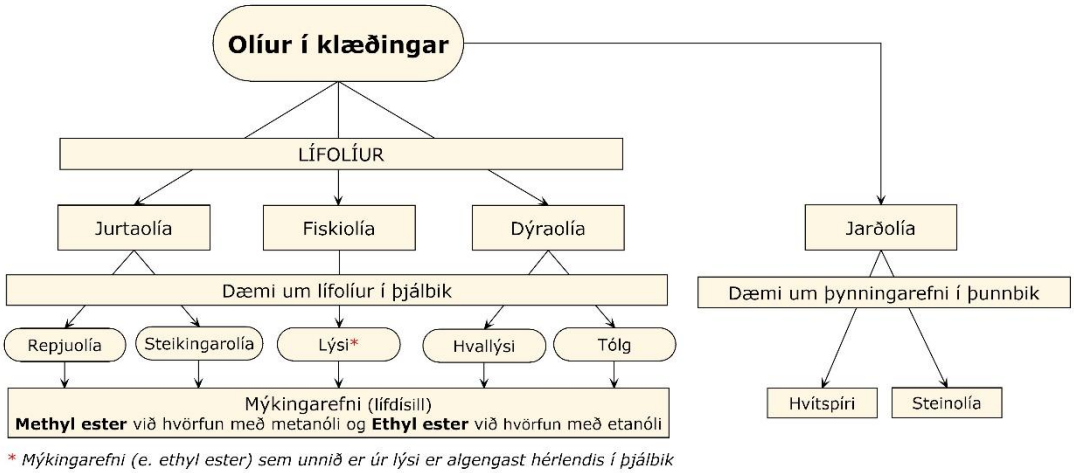


Mynd 61-2:
Efnisnotkun í flokkuð klæðingarslitlög

[1] Breyttar áherslur í vali slitlaga 2010, sjá:
http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Breyttar_aherslur_i_vali_slitlaga/$file/Breyttar%20%C3%A1herslur%20%C3%AD%20vali%20slitlaga.pdf



Mynd 61-3:
Blöndun bikbindiefnis í klæðingar



Mynd 61-4:
Olíur sem mýkingarefni eða þynningarefni í klæðingar

Það skal tekið fram hér að notkun á þunnbiki í klæðingar er nánast aflögð hjá Vegagerðinni, enda eru þynningarefni mengandi og ætti ekki að nota nema í undantekningartilvikum.

62 Malarslitlag

62.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Malarslitlög eru algeng hérlendis. Til að fá gott malarslitlag þarf gott malarefni og gott viðhald, bæði hvað varðar heflun og rykbindingu. Malarslitlag þarf að mynda öruggt og slétt yfirborð allt árið sem er án skemmda svo sem þvottabretta, hola eða djúpra hjólfara. Slitlagið þarf því að þola allt það álag sem það verður fyrir m.a. frá umferð, heflun og veðrun, þ.e. áraun frá vatni, vindi og frost/þíðu sveiflum. Á góðu malarslitlagi er ekki mikil lausamöl og ryk þyrlast ekki upp úr slitlaginu.

Efni í malarslitlög hefur nær alltaf verið unnið úr setmyndunum hér á landi, ýmist með mölun og hörpun eða jafnvel eingöngu hörpun. Jarðmyndanir sem hafa oft reynst vel til framleiðslu malarslitlagsefna eru t.d. skriður, aurkeilur og framhlaup. Malarslitlag er sjaldan unnið úr bergi, enda er malað berg oft með lágt fínefnainnihald, sérstaklega í leirstærðunum, auk þess sem það er oft dýrara í vinnslu en efni sem unnið er úr setmyndunum. Nokkuð er þó um að malarslitlag sé unnið úr hraungjalli. Erlendis er góð reynsla af notkun mulins bergs í malarslitlög þar sem stöðugleiki efnisins er talinn mikill vegna þess að öll kornin eru brotin, jafnvel þó að hlutfall fínefna og sands sé lágt. Því eru settar fram markalínur fyrir sáldurferil sprengds bergs í malarslitlag í þessum kafla. Endurunnið efni hefur ekki verið notað í malarslitlög hérlendis.

Með réttum vinnsluaðferðum má hafa veruleg áhrif á flesta eiginleika steinefna svo sem kornadreifingu, fínefnahlutfall og hlutfall leirs og lögun korna. Breyta má kornadreifingu með mölun, hörpun og íblöndun. Algengt er að taka burtu sand eða fínefni en einnig er algengt að blanda fínefnum og jafnvel sandi í efnið sem verið er að vinna. Mikilvægt er að mala malarslitlagsefni fremur en að harpa það eingöngu vegna þess að með mölun má bæta brothlutfall og kornalögun verulega og þar með stöðugleika efnisins. Það sem fram kemur í þessum leiðbeiningum varðandi malarslitlög miðast við malað efni.

Auk umferðar hefur veðurfar, einkum úrkoma, mikil áhrif á endingu malarslitlaga. Gerðar eru mismunandi kröfur til þjálni malarslitlagsefna eftir því hvort meðalársúrkoma á viðkomandi svæði er undir eða yfir 1000 mm. Hér á landi er meðalársúrkoman víða undir 1000 mm á norðan- og austanverðu landinu en yfir 1000 mm á sunnan- og vestanverðu landinu. Úrkoman er sérstaklega mikil á suðaustanverðu landinu og þarf að taka tillit til þess með því að hafa fínefni (< 0,063 mm) í efninu við lægri markalínu.

Afvötnun yfirborðs á malarslitlagi getur haft úrslitaáhrif á endingu slitlagsins. Að því gefnu að burðarþol vegarins sé nægjanlegt verða holur í slitlaginu einkum þar sem vatn nær að sitja á honum, en það gerist þar sem afvötnun er ekki nægjanleg, þ.e.a.s. á hallalitlum vegi. Þar sem þverhalli eða langhalli vegarins er í lagi t.d. í brekkum eru holur sjaldgæfar jafnvel á malarvegum með fremur lélegu malarslitlagi. Ef afvötnun er ekki nægjanleg myndast holur mjög fljótt eftir úrkomu í lélegum malarslitlögum og jafnvel bestu malarslitlög standast ekki áraun vatnsins mjög lengi ef yfirborðið nær ekki að afvatnast. Æskilegt er að þverhalli malarslitlaga sé á bilinu 4 til 6%, háð planboga. Þakhalli skal vera að lágmarki 4% og einhliða þverhalli minnst 5,5% og ekki meiri en 8% og skal hallinn mótaður með burðarlaginu en malarslitlagið lagt ofan á í 50 – 70 mm þykku lagi. Mælt er með að lagþykkt malarslitlags sé að lágmarki 70 mm á nýbyggingu. Einhliða þverhalli skal vera á mjóum vegum og í beygjum og helst sem víðast á malarvegum. Varasamt er að nota rishalla m.a. vegna þess að bílar geta kastast til við framúrakstur þegar þeir aka yfir miðhrygginn en kosturinn er sá að leið vatnsins er styttri út af veginum. Varast skal að hryggir myndist á vegöxlum sem koma í veg fyrir að vatn nái að renna út af veginum.

Stefnt er að því að allir stofnvegir og allir vegir með meira en 100 bíla ársdagsumferð fái bundið slitlag. Umferðarálag hefur mikil áhrif á endingu malarslitlaga og jafnvel bestu malarslitlög þola ekki meira en 300 – 500 bíla umferð nema með dýru viðhaldi, sérstaklega ef veðrátta er óhagstæð.

Sem dæmi um aðra umhverfisþætti sem hafa áhrif á endingu malarslitlaga má nefna veðurþætti svo sem mikla veðurhæð sem veldur foki úr malarvegum og frost/þíðu-sveiflur sem valda niðurbroti efnisins. Gott burðarþol malarvega er nauðsynleg forsenda þess að malarslitlag geti haft góða endingu.Til að auka endingu og gæði malarslitlaga eru þau gjarnan rykbundin. Mjög misjafnt er hvernig staðið er að rykbindingu malarslitlaga og er það bæði háð umferðarálagi og gæðum malarslitlagsefnisins hvort og með hvaða hætti er rykbundið. Vegir eru rykbundnir með sjó, natríumklóríði (NaCl) eða kalsíumklóríði (CaCl2). Gerðar hafa verið tilraunir með að nota ýmsar aðrar gerðir af rykbindiefni[2].

[2] Sigurþór Guðmundsson o.fl. 1995: Skýrsla um rykbinditilraunir framkvæmdar 1993 og 1994.

62.2 Próf við hönnun

Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar prófanir[3] þegar fyrirhuguð er efnistaka á nýjum efnistökustað til vinnslu efnis í malarslitlag. Ef efnisnám er fyrirhugað á námusvæði sem er í stöðugri vinnslu skulu nýlegar niðurstöður efnisrannsókna liggja fyrir á hönnunarstigi. Á forhönnunarstigi getur þurft að velja milli mögulegra námusvæða og er það gert á grundvelli efnisgæða en ávallt er mikilvægt að taka fullt tillit til umhverfissjónarmiða við val á efnistökustað og áætlun um tilhögun efnistöku.

62.2.1 Verkferlar

Á mynd 62-1 er flæðirit sem sýnir hvaða leið er farin þegar efni í malarslitlag er metið. Fyrsta skrefið til að meta steinefni í malarslitlag er að sjónmeta efnið og kanna hvort það standist kröfur um lífræn óhreinindi. Ef vafi er á þessu skal gera húmuspróf en niðurstöður þess geta útilokað notkun efnisins.

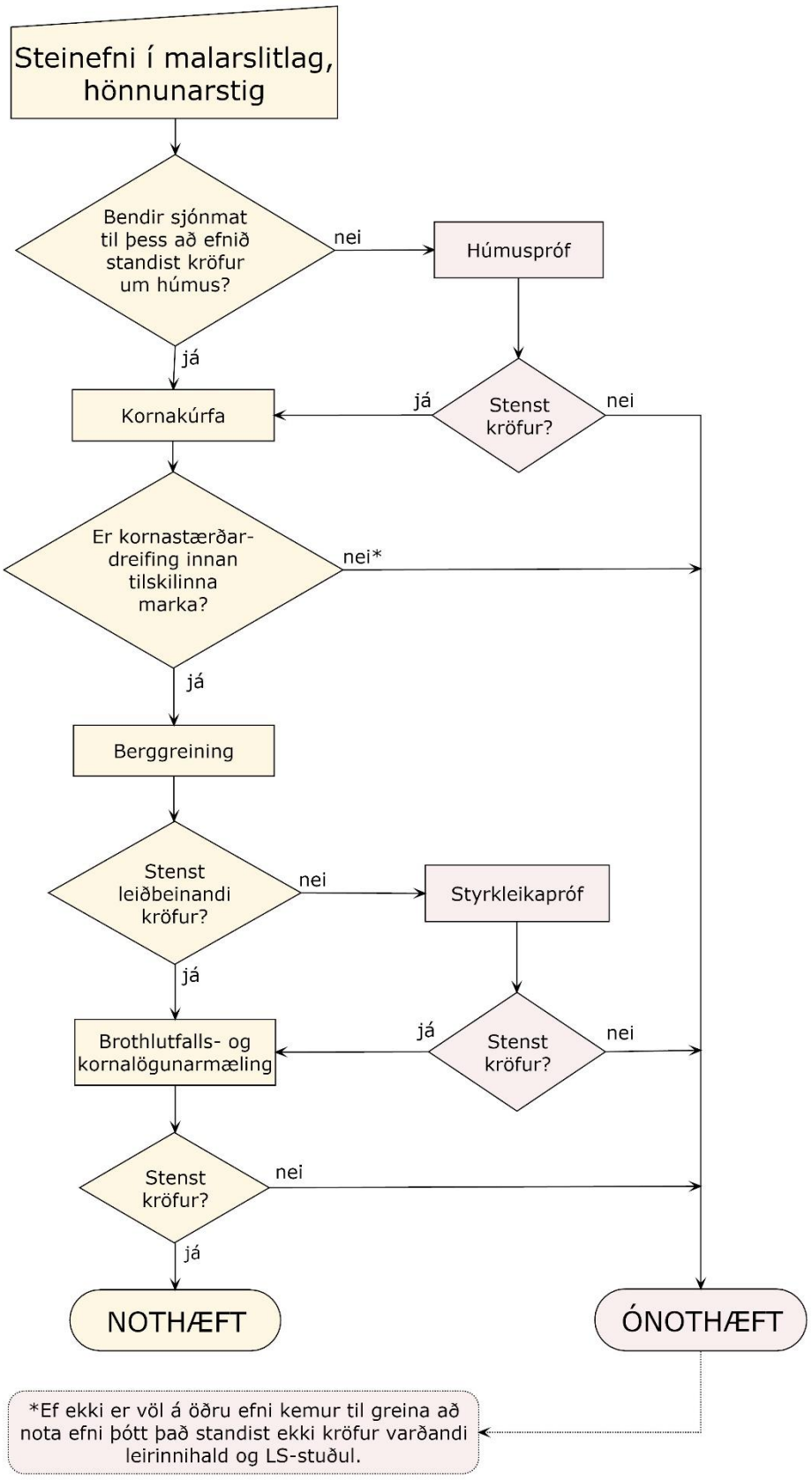
Næsta skref er að mæla kornadreifingu. Ef kornadreifingin er innan marka er hlutfall leirs mælt og rýrnunarstuðull efnisins. Til að efni sé hæft sem malarslitlag, þarf það að innihalda tilskilið magn af fínefnum minni en 0,063 mm og einnig ætti hlutfall leirs (efni < 0,002 mm) að vera á bilinu 10 – 30% af heildarmagni fínefna, sjá kafla 62.5. Kornakúrfan þarf einnig að vera innan markalína sem eru mismunandi eftir því hvort um er að ræða set eða berg. Rýrnunarstuðull (LS) gefur mikilvægar upplýsingar um eiginleika fínefna og skal malarslitlagsefni standast kröfur um LS gildi.

Sýnið er berggreint og kannað hversu mikið af kornum flokkast sem 3. flokks efni. Ef efnið stenst ekki kröfur til bergreiningar er einungis hægt að samþykkja efnið ef það stenst kröfur til styrkleikaprófs. Rétt er að nefna að frostþol steinefna í malarslitlagi skiptir einnig máli, einkum ef 3. flokks efnið er mjög ummyndað. Hins vegar er ekki enn næg reynsla eða rannsóknir til að hægt sé að gera kröfur um niðurstöður frostþolsprófs og er því þar með sleppt úr verkferlinum. Að lokum er brothlutfall efnisins og kornalögun mæld. Einungis þarf að mæla brothlutfall malaðs sets þar sem gert er ráð fyrir að malað berg sé albrotið.

Ef efnið telst nothæft samkvæmt flæðiritinu á mynd 62-1 (sjá kröfur í kafla 62.5) þarf að gera á því mælingar til að finna hagstæðasta rakastig þess við þjöppun, en þær upplýsingar eru nauðsynlegar til að hægt sé að þjappa slitlagið með hámarksárangri við lögn þess.

Rétt er að taka fram að flæðiritið sem sýnt er á mynd 62-1 er miðað við ýtrustu kröfur til malarslitlaga. Raunin er hins vegar sú að erfitt getur verið að finna efni sem uppfyllir þessar kröfur í hæfilegri fjarlægð frá verkstað. Sérstaklega getur verið erfitt að finna efni sem hefur nægilegt leirinnihald. Það er því algengt að slakað sé á þessum kröfum, en í þeim tilvikum er mikilvægi reglubundins viðhalds á slitlaginu, í formi heflunar og rykbindingar, þeim mun meira.

[3] Í viðauka 1 er fjallað um þær prófunaraðferðir sem notaðar eru hér á landi.



Mynd 62-1:
Flæðirit fyrir val á steinefni í malarslitlag

62.2.2 Steinefnapróf

Hér er gerð grein fyrir þeim steinefnaprófum sem gerð eru við hönnun malarslitlags. Lýsingu á einstaka prófum má finna í viðauka 1 og upplýsingar um kröfur eru í kafla 62.5.

Kornadreifing

Settar eru fram kröfur um magn fínefna og lögun kornakúrfunnar. Kornadreifing skiptir miklu máli varðandi gæði malarslitlagsefna. Mikilvægt er að kornadreifing myndi þéttan sáldurferil þannig að sem minnst holrými séu á milli korna í efninu. Kornadreifing malarslitlags getur breyst talsvert í veginum bæði vegna niðurbrots efnisins en einnig vegna foks sands og fínefna úr veginum ef ekki eru valin nægilega sterk efni og með hæfilegt magn fínefna.

Magn fínefna: Leirinnihald sýnis, sem sagt magn fínefnis undir 0,002 mm, mælt með flotvog (e. hydrometer) eða ljörva (e. laser), segir mikið til um gæði efnis í malarslitlag. Við mat á malarslitlagsefnum er mikilvægt að gera sér grein fyrir að fínefni geta bæði verið of mikil og of lítil í efninu. Ef fínefni eru lítil í efninu þá dugar ekki að fínefni séu þjál til að nægur bindingur náist. Ef fínefni eru of mikil veðst efnið upp í bleytu, sérstaklega á úrkomumiklum svæðum.

Ef fínefni eru nægilega mikil og hlutfall leirs af fínefnum er nægilega hátt er líklegt að nægilegur bindingur sé í efninu, þ.e. að fínefnin nái að binda saman sandinn og steinana í efninu þannig að efnið haldist stöðugt í veginum.

Berggerð og ásýnd bergs

Berggreining: Gæðaflokkun steinefnis er gerð með því að greina steinefnin í bergbrigði og flokka bergbrigðin í þrjá gæðaflokka. Ef efnið er innan leiðbeinandi viðmiðunarmarka fyrir gæðaflokkun bergs má samþykkja efnið, án þess að prófa berggæði þess.

Brothlutfall: Til að minnka líkur á að steinarnir skríði til og losni upp úr malarslitlagi, eru gerðar kröfur um að þeir séu að talsverðu leyti brotnir. Því er gerð mæling á brothlutfalli ef um malað set er að ræða. Mælt er hversu hátt hlutfall kornanna eru brotin korn og hversu hátt hlutfall telst vera alnúin korn. Korn teljast vera brotin ef meira en 50% af yfirborði þeirra er brotið.

Kornalögun: Kornalögun og áferð steina hefur talsverð áhrif á það hversu stöðugt malarslitlag er í vegi. Hraun og bólstraberg eru dæmi um efni sem geta reynst sæmilega þrátt fyrir lítil fínefni vegna þess að lögun korna er hagstæð. Óheppilegt er, ef steinefni sem nota skal í malarslitlag eru kleyfin (flöt og/eða ílöng). Því eru gerðar kröfur um að kornalögunin sé mæld.

Berggæði

Mikilvægt er að steinar í malarslitlagi hafi þol gagnvart niðurbroti vegna umferðar og heflunar, en ending malarslitlags ræðst að nokkru leyti af styrk steinefnanna.

Styrkur: Styrkur steinefna sem nota á í malarslitlag er metinn með Los Angeles prófi ef steinefnið hefur ekki staðist kröfur um leiðbeinandi gæðaflokkun samkvæmt berggreiningu.

Eiginleikar fínefna

Rýrnunarstuðull: Oft má meta eiginleika fínefna með sjónmati en einnig má gera þjálnipróf eða rýrnunarpróf til að mæla eiginleika fínefnanna. Í þjálniprófi er fundið flæðimark og þjálnimark efnisins en þjálnistuðull (PI) er mismunur á flæðimarki og þjálnimarki. Eftir því sem þjálnistuðull er hærri helst fínefnið þjált á víðara rakabili og efnið heldur betur í sér raka. Í rýrnunarprófi er fundinn rýrnunarstuðull (LS) sem er mæling á rýrnun efnisins þegar það þornar sem er ákveðinn mælikvarði á þjálni efnisins. Sterk fylgni er milli rýrnunarstuðuls (LS) og þjálnistuðuls (PI~1,4×LS) og þar sem mæling á rýrnunarstuðli er einfaldara próf er mælt með því hér, þó að þjálnistuðull hafi verið meira notaður hér áður fyrr. Þegar áhrif þjálni á gæði malarslitlags eru metin er mikilvægt að skoða

jafnframt hvort fínefni eru í hæfilegu magni þar sem góð þjálni nær ekki tilskildum áhrifum á samloðun efnisins ef magn fínefna er of lítið.

Húmuspróf: Ef grunur leikur á að lífræn óhreinindi geti verið í sýni er lagt til að gert verði húmuspróf til að kanna hvort skaðlegt magn lífrænna óhreininda er til staðar.

62.2.3 Próf á efnismassa

Proctorpróf: Þetta próf er gert til að meta þjöppunareiginleika efnisins og tengsl þjöppunar og rakainnihalds. Prófið gefur vísbendingu um það rakastig sem heppilegast er að efnið hafi við þjöppun. Niðurstaða prófsins er notuð til að ákveða hvaða raki skal vera í malarslitlagsefninu þegar það er lagt út og þjappað, til að ná hámarksárangri. Bestur árangur fæst við hagstæðasta rakastig samkvæmt proctorprófinu eða 1 – 2% þar undir.

62.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Fjöldi prófa við hönnun fer eftir áætluðu efnismagni sem til stendur að vinna. Við forrannsóknir þegar valið stendur e.t.v. á milli nokkurra náma, er það í höndum hönnuðar hversu mörg próf hann telur að þurfi að gera á sýnum úr hverri þeirra. Þegar ákveðin náma hefur svo verið valin, ræðst fjöldi prófa sem á að gera áður en framleiðsla hefst, af því magni sem gert er ráð fyrir að vinna í námunni. Í töflu 62-1 kemur fram lágmarks fjöldi prófana miðað við það efnismagn sem fyrirhugað er að taka úr hverri námu, hverju sinni. Mikilvægt er að gera sér grein fyrir að vönduð sýnataka er stór þáttur í að vel takist til. Sýnin þurfa að gefa mynd af allri námunni, eða því svæði hennar sem gert er ráð fyrir að vinna efnið úr. Þau sýni sem fara í prófun á brothlutfalli og kornalögun þarf að vinna með svipuðum aðferðum og ætlunin er að nota við framleiðslu. Ef breytileiki innan námunnar er mikill getur verið þörf á fleiri prófunum en sýndar eru í töflunni. Breytileiki m.a. í lagskiptingu efnis, getur verið talsvert mismunandi eftir jarðmyndunum.

Tafla 62-1:
Lágmarksfjöldi prófsýna af malarslitlagsefni úr námu, miðað við áætlað efnismagn

Efnis-magn, m^3	Húmus (sjónmat)	Korna-dreifing	Leir-innihald	Rýrnunar-stuðull (LS)	Berg-greining	Styrkur*	Brot-hlutfall	Korna-lögun
< 5000	2-4	2-4	1	1	1	(1)	1	1
> 5000	4-6	4-6	1	1	1	(1)	1	1

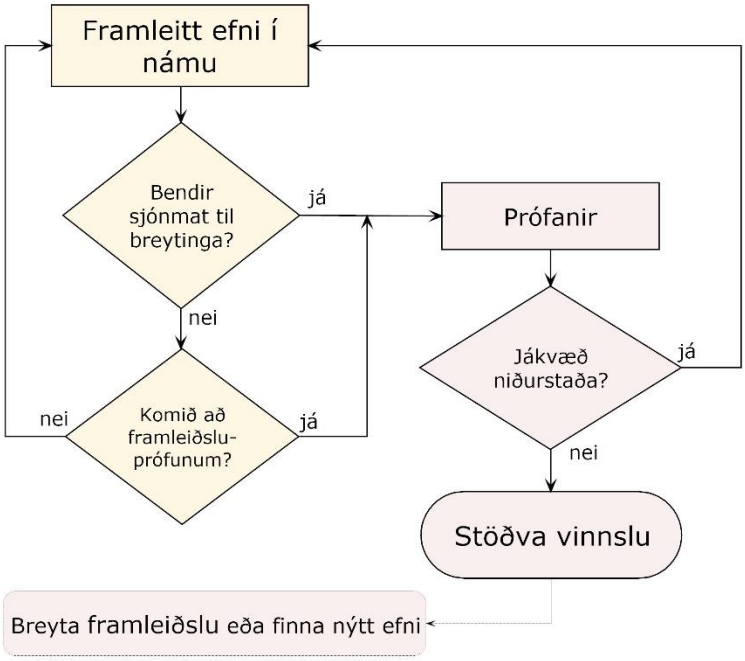
** Styrkleikapróf er einungis framkvæmt ef leiðbeinandi kröfur um berggreiningu standast ekki*

62.3 Próf við framleiðslu

Tilgangur með efnisprófum við framleiðslu, er að fá fullvissu um að efnið sem framleitt er, sé í samræmi við það sem fram kom við hönnun og þá var ákveðið að stefna að. Það er mismunandi eftir efnisgerð og hvernig framleiðslu er háttað, hvaða próf á að gera. Hér á eftir verður getið um þau próf sem helst koma til greina. Rétt er að taka fram að hér er átt við prófanir á efninu í námunni, þ.e. áður en það er komið út í veg því mikilvægt er að hugsanlegir vankantar komi fram áður en efnið er notað.

62.3.1 Verkferlar

Hlutverk framleiðsluprófa er að tryggja að efnið sem notað er, sé í samræmi við þær kröfur sem við hönnun var ákveðið að malarslitlagið skyldi uppfylla. Fyrst og fremst er fylgst með því hvort kornadreifing breytist, en einnig skal berggreina efnið og mæla kornalögun þess og brothlutfall með reglulegu millibili. Flæðirit fyrir framleiðslupróf malarslitlags er sýnt á mynd 62-2.



Mynd 62-2:
Flæðirit fyrir framleiðslupróf malarslitlags

62.3.2 Steinefnapróf

Í töflu 62-2 eru taldar upp þær prófanir sem gerðar eru á malarslitlagsefnum við framleiðslu. Kröfur til efnis í malarslitlag koma fram í kafla 62.5.1. Það próf sem oftast er gert til að fylgjast með framleiðslu efnis í malarslitlag er mæling á kornadreifingu. Samhliða mælingu á kornadreifingu er gert sjónmat á lífrænum óhreinindum en prófanir þarf einungis að framkvæma ef grunur leikur á að efnið standist ekki kröfur. Berggreining og mæling á brothlutfalli og kornalögun eru mikilvægar prófanir við framleiðslu, sérstaklega þar sem prófanir við hönnun eru sjaldnast gerðar á efni sem hefur verið unnið að öllu leyti með sama hætti og við framleiðslu. Niðurstaða berggreiningar getur kallað á prófanir á berggæðum.

62.3.3 Próf á efnismassa

Proctorpróf er gert til að finna það rakastig í efninu sem gefur mesta þjöppun, sjá kafla 62.2.3. Prófið er einungis gert á þessu stigi ef einhverjar breytingar hafa orðið á efninu, þannig að þjöppunareiginleikar þess hafa breyst. Það heyrir því til undantekninga að efnið sé prófað með proctoraðferð við framleiðslu malarslitlags.

62.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Tíðni prófa við framleiðslu, er háð magni sem framleitt er. Tafla 62 2 sýnir tíðni prófa miðað við magn af framleiddu efni. Alltaf skal gera eitt próf við upphaf framleiðslu og síðan með þeirri tíðni sem taflan tilgreinir.

Tafla 62-2:
Tíðni steinefnaprófa við framleiðslu-gera skal eitt próf fyrir það magn sem tilgreint er í töflunni (m^3)

Próf	**Magn, m^3**
Húmus (sjónmat)	1000
Kornadreifing	
Brothlutfall	2000
Rýrnunarstuðull (LS)	6000
Berggreining	
Kornalögun	
Styrkur (LA próf)*	-

**Ef steinefni stenst ekki leiðbeinandi kröfur um gerð og magn 3. flokks efnis samkvæmt berggreiningu, getur það kallað á að einnig sé gert styrkleikapróf á framleiðslustigi.*

Ekkert af þessum prófunum skal gera sjaldnar en einu sinni í verki, einu sinni í námu eða tvisvar á því ári sem vinnsla fer fram. Of mikið af 3. flokks efni skv. berggreiningu, getur kallað á að berggæði séu einnig prófuð.

62.4 Próf og mælingar við framkvæmd

Ef vel er staðið að framkvæmdum við lagningu malarslitlags verða prófanir og mælingar markvissari og miðast tíðni mælinga hér á eftir við slík vinnubrögð. Góður árangur við lögn malarslitlags næst með því að dreifa mölinni með malardreifara og þjappa með valta og nást þá jafnari þykktir og betur þjappað efni yfir allt yfirborðið, sérstaklega ef rakastig í efninu við völtun er nálægt hagstæðasta rakastigi. Oft er malarslitlögum hins vegar dreift með því að sturta efninu á veginn af vörubílspalli og jafna svo úr efninu með veghefli. Veghefillinn þjappar efnið talsvert en síðan er umferðin um veginn látin sjá um þjöppun að öðru leyti. Þessi aðferð veldur því að efnið leggst nokkuð misþykkt á veginn og ekki næst jöfn og góð þjöppun yfir allt yfirborðið. Þykkt malarslitlags skal vera að lágmarki 50 mm. Efri flokkunarstærð má að hámarki vera hálf lagþykkt.

62.4.1 Verkferlar

Í nýbyggingu með malarslitlagi skal undirlag standast kröfur til burðarlags fyrir malarvegi (sjá kafla 5). Þar sem malarslitlag er endurnýjað, skal hefla yfirborð undirlagsins, jafna og þjappa þannig að það sé með þverhalla eins og hönnun gerir ráð fyrir. Yfirborðið skal vera þétt og án lausra steina, sem geta dregist til í malarslitlaginu við heflun vegarins. Ekki má vera snjór eða klaki í yfirborðinu þegar slitlagið er lagt.

Þegar efnið er lagt út þarf að fylgjast með rakastigi þess og er hægt að gera það með mælingum eða sjónrænt. Mikilvægt er að efnið sé hæfilega rakt við útlögn, samanber niðurstöður proctorprófs, til að tryggja þjöppun þess og jafnframt skal undirlagið vera rakt til að tryggja nægilega bindingu slitlagsins við það. Forðast skal aðskilnað fínna og grófra efna. Þjappa skal yfirborðið í samræmi við töflu 62-3. Ef það er gert er líklegt að þjöppun náist sem samsvarar a.m.k. 95% af þjöppun í breyttu proctorprófi (e. modified Proctor). Bestur árangur næst ef rakainnihald efnisins er hagstæðasta rakastig eða 1 til 2% undir hagstæðasta raka samkvæmt proctorprófi.

Fylgjast skal með þykkt útlagðs malarslitlags og mæla hana. Einnig eru kröfur um mesta frávik frá hönnuðu yfirborði, mestu hæðarbreytingu á 10 m lengd og mesta frávik frá hönnuðum þverhalla. Þessi síðastnefndu atriði eru mæld við lok verks.

62.4.2 Steinefnapróf

Almennt ætti ekki að vera þörf á að gera nein steinefnapróf eftir að efnið hefur verið lagt út nema ef sjónmat bendir til þess að efnið standist ekki kröfur.

62.4.3 Próf og mælingar

Þjöppunarmælingar: Þegar malarslitlag er þjappað skal ávallt *telja fjölda yfirferða valta* og miða við lágmarksgildi eins og fram kemur í töflu 62-3. Töfluna má einnig hafa til hliðsjónar, þegar valtar og völtunaraðferðir eru valdar. Ef lagþykkt er önnur eða notuð er önnur gerð valta þarf að velja fjölda umferða sem tryggir að sambærileg þjöppun náist. Bent skal á að ekki er heppilegt að nota mjög þunga valta á þunn lög, eða ef hætta er á að efni brotni mikið niður. Stjórnandi valta skal skila skýrslu, þar sem fram kemur dagsetning, gerð og stærð valta, þyngd og breidd tromlu, hvaða vegarkafli var valtaður, lagþykkt, hraði valta og fjöldi yfirferða. Hraði valta skal vera milli 3 og 5 km/klst. Hægt er að mæla þjöppun með sandkeiluprófi, eða rúmþyngd með rafsegulmæli.

Tafla 62-3:
Val á valta og fjöldi yfirferða við þjöppun malarslitlags

Gerð valta	Heildar þyngd (tonn)	Statisk þyngd* (kg/cm)	Lagþykkt (mm)	Lágmarksfjöldi yfirferða
Einnar tromlu valti	6 - 8	15 - 25	≤ 100	3
	8 -10	25 - 35	≤ 100	3
	10 - 13	35 - 45	≤ 100	3
Tveggja tromlu valti	2 - 4	15 - 25	≤ 100	5
	4 - 8	15 - 25	≤ 100	3
	8 - 13	25 - 35	≤ 100	3

** Þyngd á hverja valtatromlu í kg á breiddareiningu sem mæld er í cm*

Ath: *Taflan er unnin með hliðsjón af töflu 662.1 bls. 236 í Vegbygging N200 (útgáfa 2018) og kröfum bls. 43 í kafla E5.4.3.1 í ATB VÄG (útgáfa 2005).*

Sléttleiki, hannað yfirborð, þverhalli og þykktir: Gerðar eru kröfur um sléttleika yfirborðs þegar gengið er frá malarslitlagi. Kröfur eru gerðar til mesta fráviks frá hönnuðu yfirborði sem er hæðarmælt í þriggja punkta þversniðum. Einnig eru gerðar kröfur til sléttleika, annars vegar þvert á akstursstefnu og hins vegar langs eftir akstursstefnu, mælt með 3 m langri réttskeið. Rétt er að taka fram að þessar kröfur verða ekki uppfylltar nema burðarlagið hafi staðist kröfur um sléttleika og hæðarlegu (sjá kafla 5). Þá eru kröfur um að þykktir séu innan marka. Fylgst er með lagþykkt útlagðs malarslitlags og hún tilgreind sem útlagt magn á flatareiningu.

Sjónmat á yfirborði malarslitlags: Þegar malarslitlag hefur verið lagt skal yfirborð þess að vera þannig að það hafi fullnægjandi afvötnun út af veginum og mikilvægt að lágmarksþverhalla sé ávallt náð. Það mega ekki vera rastir í yfirborðinu og vatn má ekki safnast í polla.

62.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Við þjöppun er fjöldi yfirferða valtans ávallt talinn og skráður.

Mæling á hæð, sléttleika og þykktum skal gerð við úttekt. Til þess eru gerðar hæðarmælingar með 20 m millibili í þriggja punkta sniðum, þ.e. á útbrúnum og miðju, á minnst 500 m löngum kafla. Sléttleiki langs og þvers er mældur með réttskeið á 20 m bili.

62.5 Kröfur

Við framsetningu á kröfum til steinefna í malarslitlag er almennt miðað við kröfuflokka sem settir eru fram í evrópskum framleiðslustöðlum um óbundin steinefni, það er ÍST EN 13242 (e. *Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction*).

Kröfur til efnisgæða miðast við umferðarþunga (ársdagsumferð, ÁDU) á hönnunarári vegarins og er miðað við umferð samtals á tveggja akreina vegi.

Þær kröfur sem hér eru settar fram gilda fyrir efni í námu en gera má ráð fyrir og rétt að hafa í huga, að breytingar verða á eiginleikum efnisins við frágang í vegi.

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinefna og verkgæði séu skráð með fullnægjandi hætti. Ef efni er fengið úr námu framleiðanda sem selur steinefni á markaði er heimilt að telja skjalfest framleiðslueftirlit með í heildarumfangi eftirlits með gæðum steinefna í viðkomandi verk.

62.5.1 Kröfur til steinefna

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 eru settar fram frávikskröfur vegna framleiðslu steinefna (sjá viðauka 4). Kröfurnar eru að 90% mælinga á kornadreifingu skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk. Vegagerðin gerir sömu kröfur varðandi frávik þegar kröfur um kornadreifingu malarslitlagsefna eru settar fram sem kröfuflokkur í samræmi við staðal ÍST EN 13242. Þar að auki skulu skv. framleiðslustaðli öll gildi fyrir aðrar prófunaraðferðir vera innan þess kröfuflokks sem framleiðandi ábyrgist (e. within the limit specified). Vegagerðin setur hins vegar fram almennar nokkru rýmri frávikareglur varðandi kröfur Vegagerðarinnar til berggæða og ásýndar bergs, sem gera ráð fyrir að eitt gildi af hverjum fimm gildum megi víkja frá kröfugildi sem nemur allt að 10% í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi 39 ef kröfuflokkurinn er LA_{35} og hin fjögur skulu þá vera innan marka.

Markalínur Vegagerðarinnar fyrir malarslitlag byggja hins vegar á ákvæðum staðals ÍST EN 13285 og þar gilda frávikskröfur um kornadreifingu sem tilgreindar eru í kaflanum um kornadreifingu hér á eftir.

Lífrænt efni (e. humus)

Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni sé innan marka, en í vafatilfellum er miðað við að efnið standist kröfur til mælinga á glæðitapi. Ekki mega vera meiri en 1% lífræn efni í malarslitlagsefni þegar mælt er glæðitap á efni undir 0,5 mm með glæðitaps-aðferð samkvæmt prófunarstaðli ÍST-EN 1744-1, kafla 15.

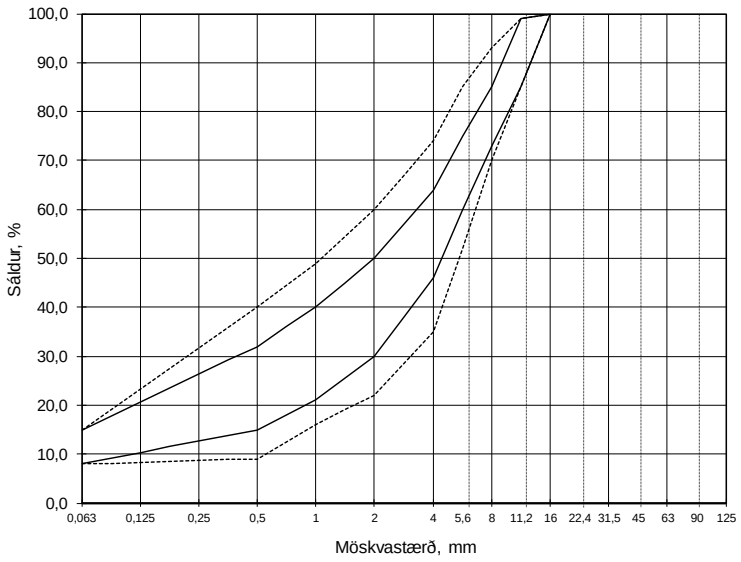
Kornadreifing (e. grading)

Markalínur fyrir malarslitlagsefni eru sýndar á myndum 62-3 til 62-6 og eru unnar með hliðsjón af framleiðslustaðlinum ÍST EN 13285 en þó er vikið nokkuð frá staðlinum til að uppfylla kröfur sem samræmast reynslu hérlendis.

Á myndunum eru sýndar markalínur fyrir stærðarflokkana 0/11 og 0/16 mm bæði fyrir malað set og berg. Ef notað er grófara efni, t.d. 0/22 mm þarf að reikna út markalínur út frá ákvæðum staðalsins. Meðaltal allra mælinga skal liggja innan við innri markalínurnar en einstakar mælingar mega liggja utan þeirra en þó skal enginn hluti kornadreifingar liggja utan við ytri markalínur. Þessi stöku frávik mega þó ekki víkja bæði niður og upp fyrir innri markalínur. Í töflum við hlið markalína eru sýnd tölugildi kornadreifingar og eru sáldurtölur samkvæmt staðlinum dekkri en millitölur sem eru reiknaðar til að hægt sé að teikna samfellda kornadreifingu. Staðallinn ÍST EN 13285 skilgreinir því einungis sáldurgildi fyrir ákveðin sigti sem gilda fyrir mismunandi möskvastærðir háð grófleika efnisins. Kornadreifing er mæld samkvæmt staðli ÍST EN 933-1.

Malarslitlag, malað set **Stærðarflokkur 0/11** **ÍST_EN 13285, markalínur***

Kröfuflokkur: G_{B*} OC_{85} LF_8 UF_{15}



Stærðarflokkur: 0/11
Kröfuflokkur: G_B OC_{85} LF_8 UF_{15}

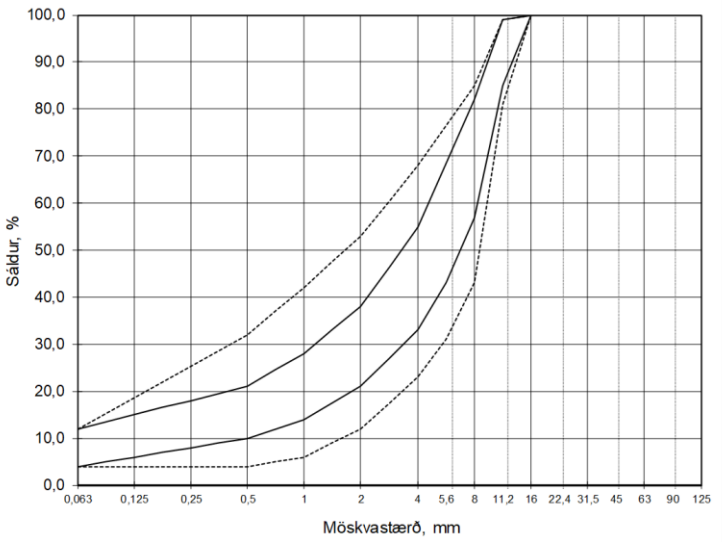
Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
0,063	**8**	**15**	**8**	**15**
0,125	8	23	10	21
0,25	9	32	13	26
0,5	**9**	**40**	**15**	**32**
1	**16**	**49**	**21**	**40**
2	**22**	**60**	**30**	**50**
4	**35**	**74**	**46**	**64**
5,6	52	85	60	75
8	**70**	**93**	**73**	**85**
11,2	85	99	85	99
16	**100**	**100**	**100**	**100**
22,4				
31,5				
45				
63				
90				
125				

Mynd 62-3:
Markalínur fyrir 11 mm malarslitlag (malað set)

**Ath: Markalínur eru gerðar með hliðsjón af staðli ÍST EN 13285 en vikið nokkuð frá staðli í samræmi við reynslu hérlendis.*

Malarslitlag, malað berg **Stærðarflokkur 0/11** **ÍST_EN 13285, markalínur***

Kröfuflokkur: G_{P*} OC_{85} LF_4 UF_{12}



Stærðarflokkur: 0/11
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_8 UF_{15}

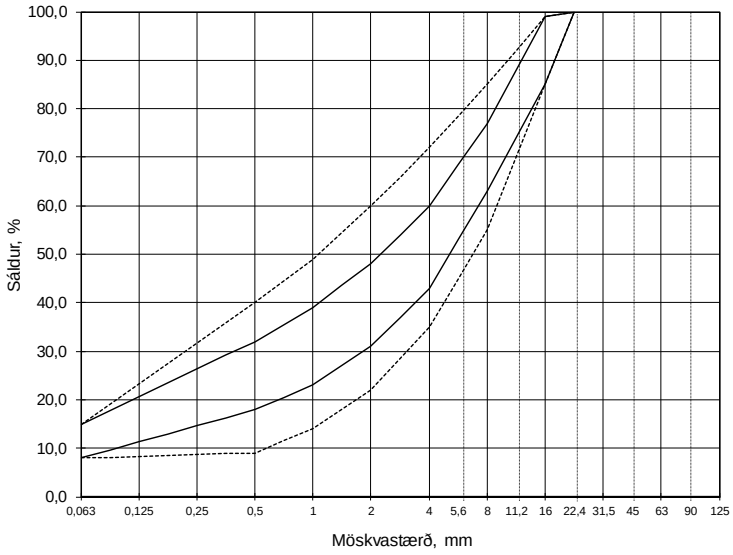
Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
0,063	**4**	**12**	**4**	**12**
0,125	4	19	6	15
0,25	4	25	8	18
0,5	4	**32**	**10**	**21**
1	**6**	**42**	**14**	**28**
2	**12**	**53**	**21**	**38**
4	**23**	**68**	**33**	**55**
5,6	31	77	43	69
8	**43**	**85**	**57**	**82**
11,2	81	99	85	99
16	**100**	**100**	**100**	**100**
22,4				
31,5				
45				
63				
90				
125				

Mynd 62-4:
Markalínur fyrir 11 mm malarslitlag (malað berg)

**Ath: Markalínur eru gerðar með hliðsjón af staðli ÍST EN 13285 en vikið nokkuð frá staðli í samræmi við reynslu hérlendis.*

Malarslitlag, malað set **Stærðarflokkur 0/16** **ÍST_EN 13285, markalínur***

Kröfuflokkur: G_{B*} OC_{85} LF_8 UF_{15}



Stærðarflokkur: 0/16
Kröfuflokkur: G_B OC_{85} LF_8 UF_{15}

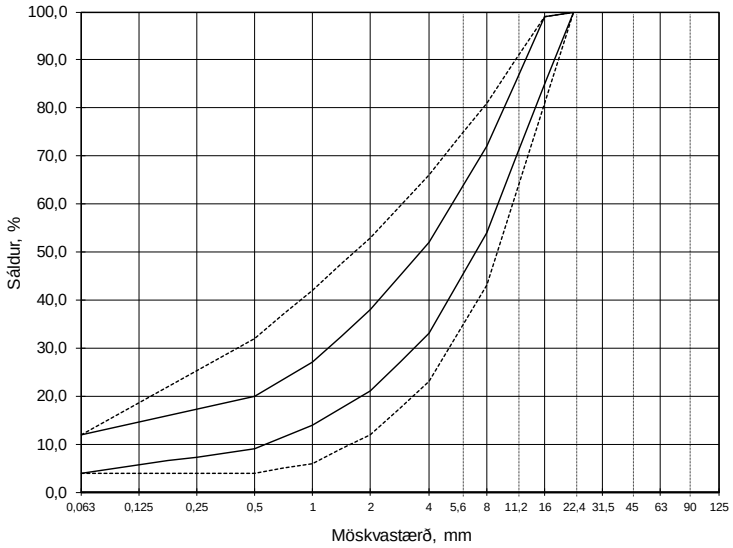
Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
0,063	**8**	**15**	**8**	**15**
0,125	8	23	11	21
0,25	9	32	15	26
0,5	**9**	**40**	**18**	**32**
1	**14**	**49**	**23**	**39**
2	**22**	**60**	**31**	**48**
4	**35**	**72**	**43**	**60**
5,6	45	79	53	69
8	**55**	**85**	**63**	**77**
11,2	70	92	74	88
16	**85**	**99**	**85**	**99**
22,4	**100**	**100**	**100**	**100**
31,5				
45				
63				
90				
125				

Mynd 62-5:
Markalínur fyrir 16 mm malarslitlag (malað set)

**Ath: Markalínur eru gerðar með hliðsjón af staðli ÍST EN 13285 en vikið nokkuð frá staðli í samræmi við reynslu hérlendis.*

Malarslitlag, malað berg **Stærðarflokkur 0/16** **ÍST_EN 13285, markalínur***

Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_4 UF_{12}



Stærðarflokkur: 0/16
Kröfuflokkur: G_P OC_{85} LF_8 UF_{15}

	Sigti	Ytri mörk		Innri mörk	
	0,063	**4**	**12**	**4**	**12**
	0,125	4	19	6	15
	0,25	4	25	7	17
F	***0,5***	4	**32**	**9**	**20**
E	***1***	**6**	**42**	**14**	**27**
C	***2***	**12**	**53**	**21**	**38**
B	***4***	**23**	**66**	**33**	**52**
	5,6	33	74	44	62
A	***8***	**43**	**81**	**54**	**72**
	11,2	62	90	70	86
	16	**81**	**99**	**85**	**99**
	22,4	**100**	**100**	**100**	**100**
	31,5				
	45				
	63				
	90				
	125				

Mynd 62-6:
Markalínur fyrir 16 mm malarslitlag (malað berg)

**Ath: Markalínur eru gerðar með hliðsjón af staðli ÍST EN 13285 en vikið nokkuð frá staðli í samræmi við reynslu hérlendis.*

Til að efni sé hæft sem malarslitlag, þarf það að innihalda ákveðið magn af fínefnum (minni en 0,063 mm) og einnig er gerð krafa um að hlutfall leirs (efni minna en 0,002 mm) skuli vera á bilinu 10 – 30% af heildarmagni fínefna.

Rýrnunarstuðull (e. linear shrinkage)

Í töflu 62-4 eru settar fram kröfur til rýrnunarstuðuls LS, mæling er samkvæmt ASTM C356.

Tafla 62-4:
Kröfur um niðurstöður mælinga á rýrnunarstuðli steinefna

Meðalársúrkoma	**< 1000 mm**	**⩾ 1000 mm**
LS stuðull	2–10%	2-7%

Berggreining (e. petrographic description)

Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki fyrir malarslitlag, eru sýndar í töflu 62-5. Kröfurnar miðast við greiningu steinefnasýnis á stærðarbilinu 5,6-11,2 mm.

Tafla 62-5:
Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt magn steinefna í 3. gæðaflokki

Ársdagsumferð (ÁDU)	**< 75**	**⩾ 75**
% í 3. gæðaflokki	< 30	< 25

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13242 eru ekki eiginlegar kröfur um niðurstöður berggreiningar. Íslenska aðferðin hefur verið aðlöguð prófunarstaðlinum ÍST EN 932-3, en er mun ítarlegri í skiptingu basalts eftir ummyndun og þéttleika. Íslenska gæðaflokkunin er hins vegar alveg óháð Evrópustöðlum og hefur enga tilvísun í þá, enda er ávallt talað um "leiðbeinandi" gæðaflokkun í þessu riti. Í leiðbeiningariti Vegagerðarinnar, LEI-3410, er íslenska berggreiningarkerfið skjalfest.

Styrkleikapróf (e. Los Angeles test)

Kröfur til niðurstöðu styrkleikaprófs á steinefni í malarslitlag koma fram í töflu 62-6. Miðað er við að 10-14 mm steinefni sé prófað samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2.

Tafla 62-6:
Kröfur um niðurstöður mælinga á styrkleika (LA-gildi) steinefna

Ársdagsumferð (ÁDU)	**< 75**	**⩾ 75**
Flokkun samkvæmt ÍST EN 13242	LA_{40}	LA_{35}

Í töflunni þýðir LA_X að LA-stuðullinn skuli að hámarki vera X%

Brothlutfall (e. crushed and broken surfaces)

Kröfur til niðurstaðna mælinga á brothlutfalli steinefnis í malarslitlag koma fram í töflu 62-7. Prófið er gert á flokkuðu sýni samkvæmt staðli ÍST EN 933-5. Steinefni sem fengin eru úr sprengdu bergi teljast uppfylla kröfuflokk C100/0 og þarfnast ekki prófunar á brothlutfalli samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13242.

Tafla 62-7:
Kröfur um niðurstöður mælinga á brothlutfalli steinefna í malarslitlög

Ársdagsumferð (ÁDU)	**< 75**	**⩾ 75**
Flokkun samkvæmt ÍST EN 13242	$C_{\text{Ekki krafa}/50}$	$C_{50/30}$

Í töflunni þýðir $C_{X/Y}$ að ≥ X% efnisins á að vera brotið (alveg brotið eða að meirihluta brotið), en ≤ Y% má vera alveg núið.

Kornalögun (e. Flakiness Index)
Kröfur til kornalögunar steinefna í malarslitlag koma fram í töflu 62-8. Prófið er gert skv. staðli ÍST EN 933-3.

Tafla 62-8:
Kröfur um niðurstöður mælinga á kornalögun steinefna í malarslitlög

Ársdagsumferð (ÁDU)	**< 75**	**⩾ 75**
Flokkun samkvæmt ÍST EN 13242	FI_{35}	FI_{30}

Í töflunni þýðir FI_X að kleyfnistuðullinn (e. Flakiness Index) skuli að hámarki vera X%.

62.5.2 Kröfur til efnismassa

Proctorpróf
Ekki eru gerðar eiginlegar kröfur til niðurstaðna proctorprófsins, en niðurstöðu prófsins má nota til að ákveða hvaða raki skal vera í malarslitlagsefninu þegar það er lagt út og þjappað, til að ná hámarksárangri við þjöppun. Rúmþyngdarmælingar úr proctorprófi má nota til að bera saman við rúmþyngdir í malarslitlagi vegar í byggingu, sem mælikvarða á þjöppun, til dæmis ef þjöppun er mæld með rafsegulmælingum eða sandkeiluaðferð.

62.5.3 Kröfur við framkvæmd
Þverhalli skal vera að lágmarki 4% og skal hann mótaður með burðarlaginu en malarslitlagið lagt ofan á í 50 – 70 mm þykku lagi. Mælt er með að lagþykkt malarslitlags sé að lágmarki 70 mm á nýbyggingu. Einhliða þverhalli skal vera á mjóum vegum og í beygjum og helst sem víðast á malarvegum. Varasamt að nota rishalla m.a. vegna þess að bílar geta kastast til við framúrakstur þegar þeir aka yfir miðhrygginn en kosturinn er sá að leið vatnsins er styttri út af veginum.

Mæling á þjöppun
Nægileg þjöppun malarslitlags næst ef aðferð sem lýst er í kafla 62.4.3 er notuð við val á völtum og fjölda yfirferða. Sé þjöppun mæld með rúmþyngdarmælingum (rafsegulmælingum eða sandkeiluprófi) skal hún vera að meðaltali 96% af þjöppun í breyttu proctorprófi (e. modified Proctor).

Mælingar á öðrum þáttum:

Mesta frávik frá hönnuðu yfirborði, má ekki vera meira en ± 50 mm, mesta hæðarbreyting á 10 m kafla má ekki vera meiri en ± 25 mm. Frekari kröfur eru í töflu 62-9.

Tafla 62-9:
Kröfur til sléttleika og legu fyrir yfirborð útlagðs malarslitlags

Frávik	**stök mæling**	**meðaltal**
Leyft frávik á staðsetningu í láréttum fleti (breidd) (mm)	+100/0	
Leyft frávik á lagþykkt (mm)	+15/-15	+5/-5
Leyft frávik á sléttleika mældum með 3 m réttskeið (mm)	10	
Leyft frávik á þverhalla (0/00)	10	
Mesta frávik frá hönnuðu yfirborði (mm)	+50 / -50	
Mesta hæðarbreyting á 10 m (mm)	+25 / -25	

63 Klæðing

63.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Klæðing er einfaldasta gerð bikbundins slitlags og jafnframt ódýrasta gerðin hvað stofnkostnað varðar. Hún er gerð þannig að bindiefni er dreift á yfirborð vegar og steinefni stráð í það. Yfirborðið er síðan valtað með gúmmíhjólavalta og að lokum, þegar steinefni hefur raðast vel og náð góðri viðloðun við bindiefnið, er lausum umframsteinum sópað af veginum. Bindiefnið er bik sem oftast er blandað með mýkingarefni (þjálbik) eða vatni (bikþeyta), viðloðunarefni og öðru íblendi, svo sem fjölliðum eftir þörfum. Bikþeyta er sérstök gerð klæðinga þar sem vatni og biki er þeytt saman með hjálp sérstakra yfruefna (e. emulgator) sem virka sem blöndunarhvatar, svo og öðrum íblendum. Klæðing skyldi ávallt lögð í þurru veðri og gera þarf viðeigandi ráðstafanir ef rignir í nýlagða klæðingu. Í slíkum tilvikum gæti þurft að verja klæðinguna með því að dreifa grófum, flokkuðum og hreinum sandi (t.d. 2/6 mm eða 4/8 mm) yfir hana og þjappa. Lofthitastig skiptir einnig máli og er lagt til að hitastig skuli vera hærra en 5°C þegar þjálbiksklæðing er lögð og að ekki hafi verið næturfrost nóttina áður. Bikþeyta er sérstaklega viðkvæm fyrir lágu hitastigi og ætti því að leggja hana um hásumar og við góðar aðstæður, katjónska bikþeytu við hærra hitastig en 6°C og fjölliðubreytta bikþeytu við hærra hitastig en 10°C. Umferð með takmörkun á hraða er hleypt á klæðingu fljótlega eftir útlögn og þjappar hún slitlagið enn betur. Þar sem umferð er mikil getur þurft að nota leiðibíla til að stjórna umferð um vinnusvæðið á hægum hraða til að varna skemmdum á nýlagðri klæðingu og ökutækjum. Að loknum aðlögunartíma, oftast um einum sólarhring, er umfram steinefni sópað af klæðingunni og hún þá tilbúin til merkinga. Ekki er ráðlegt að bíða lengi með að sópa klæðingu þar sem lausir steinar geta kastast upp úr ósópuðum klæðingum og valdið rúðubroti með tilheyrandi slysahættu.

Í nýbyggingum eru yfirleitt lögð tvö lög klæðingar og ýmist notað flokkað eða óflokkað steinefni og eru stærðarflokkar valdir í samræmi við það sem fram kemur í töflu 63-1. Taflan gerir ráð fyrir að neðra lagið sé grófara en efra lagið þannig að fínna efnið fylli í holrými neðra lagsins. Undanfarna áratugi var algengt að nota óflokkað steinefni í klæðingu en í seinni tíð hefur flokkað steinefni orðið æ algengara. Hér er mælt með að nota steinefni 8/11 mm ofan á 11/16 eða 11/14 mm í tvö lög einfaldra klæðinga í nýbyggingum á umferðarmikla vegi*.

**Samkvæmt skilgreiningu í ÍST EN 12271 er hér um að ræða tvær einfaldar klæðingar þar sem sópað er á milli og einhver tími líður á milli lagna. Hér á landi hefur þetta hins vegar oft verið nefnt tvöföld klæðing.*

Þar sem umferð er lítil í þéttbýli kemur til greina að nota 4/8 mm í efra lagið til að draga úr veghljóði frá umferð. Eitt lag einfaldrar klæðingar ætti aðeins að nota sem yfirlögn á eldra bundið slitlag. Það hefur færst í vöxt hérlendis að leggja einfalda klæðingu úr flokkuðu steinefni sem síðan er kíld með smærra flokkuðu steinefni, án þess að bindiefni sé dreift undir seinna lagið. Sem dæmi má nefna að leggja 11/16 eða 11/14 mm fyrra lag og kíla með 4/8 mm steinefni. Slitþol steinefna gagnvart nagladekkjum fer vaxandi með vaxandi steinastærð. Þar sem umferð á nagladekkjum er mikil og hröð kemur til greina að nota 11/16, 11/14 eða 8/16 mm í efra lagið ofan á 16/22 mm í nýlagnir til að auka endingu slitlagsins. Rétt er að taka fram að ofangreindir stærðarflokkar, sem og

þeir sem settir eru fram í töflu 63-1 geta haft nokkurt magn af yfir- og undirstærðum, sbr. kröfur þar að lútandi í kafla 63.5.1. Ef ætlunin er að steinefnið sé allt undir ákveðinni efri flokkunarstærð þarf því að velja næsta stærðarflokk fyrir neðan.

Tafla 63-1:
Dæmi um stærðarflokka klæðingarefnis

Klæðingar, dæmi um stærðarflokka		
Nýbygging		**Yfirlögn (einföld klæðing)***
Fyrra lag	**Seinna lag**	
8/11 mm	4/8 mm	8/11 mm
11/16 mm	4/8 mm	8/16 mm
11/16 mm	8/11 mm	11/16 mm
16/22 mm**	8/11 mm	11/14
16/22 mm**	8/16 mm	0/16 mm
16/22 mm**	11/16 mm	
0/16 mm	0/11 mm	

** Stærðarflokkur 2/6 mm er gjarnan notaður til kílingar á 8/11 mm efni. Stærðarflokkinn 4/8 mm má einnig nota til kílingar á 11/16 eða 11/14 mm efni.*
*** Þessi stærðarflokkur kemur til greina sem neðra lag klæðingar í nýbyggingu til að auka endingu slitlagsins. Ofan á kæmi fíngerðari stærðarflokkur steinefnis, t.d. 11/16 mm, 8/16 mm, 11/14 mm eða 8/11 mm.*

Í staðli ÍST EN 12271 um kröfur til klæðingar eru taldar upp með skýringarmyndum nokkrar gerðir klæðinga, sjá mynd 63-1. Auk einfaldrar klæðingar sem fjallað hefur verið lítillega um hér að ofan má nefna tvöfalda klæðingu, viðsnúna tvöfalda klæðingu og samlokuklæðingu. Í tvöfaldri klæðingu er grófara steinefni gjarnan lagt fyrst í útsprautað bindiefni og síðan sprautað aftur og fínna steinefni lagt út. Þetta er ekki ósvipað og tvö lög einfaldra klæðinga, nema að hér er um að ræða eina aðgerð. Þessi gerð klæðingar er gjarnan lögð sem yfirlögn þar sem umferðarálag er mikið. Í viðsnúinni tvöfaldri klæðingu er grófara steinefnið sett ofan á fínna steinefnið og sprautað tveimur lögum af biki, þ.e. undir og ofan á neðra lagið. Þessa gerð klæðingar má velja þar sem undirlagið er mjög hart og býður ekki upp á þrykkingu (e. embedment), en fínna steinefnið myndar þá lag þar sem grófara steinefnið nær að festast. Í samlokuklæðingu er biki ekki sprautað á yfirborð undirlagsins heldur einungis á milli tveggja misgrófra laga af steinefni þar sem efra lagið er fíngerðara. Þessi gerð er gjarnan valin þar sem undirlag er það bindiefnisríkt að fyrra lagið nær að leggjast vel ofan í undirlagið, án þess að þurfi að dreifa bindiefni fyrst.

Löng hefð var hér á landi fyrir notkun þunnbiks (e. cut back bitumen) með biki með stungudýpt PG 160/220 í klæðingar og hefur bikið verið þynnt með rokgjörnu efni (hvítspíra, e. white spirit). Lögn klæðinga með þunnbiki hefur nú að mestu verið aflögð, aðallega vegna umhverfisáhrifa af völdum hvítspíra. Frá árinu 2005 hafa verið gerðar tilraunir með þjálbik sem er bindiefni úr biki sem mýkt hefur verið með órokgjörnu mýkingarefni úr lífolíu. Tvær gerðir lífolía hafa verið notaðar sem mýkingarefni í klæðingu hérlendis á undanförnum árum, þ.e. jurtaolía úr repju og afurðir fiskiolíu sem unnar eru úr lýsi (ethyl ester). Það er vænlegri kostur að nota lífolíur út frá umhverfissjónarmiðum þar sem hvítspíri veldur mengun þegar hann gufar upp. Repjuolía var notuð

í vaxandi mæli á árunum frá 2005 til 2010. Á árinu 2010 voru gerðar tilraunir með þjálbik sem þynnt er með afurðum fiskiolíu.

Tilraunir með þjálbik úr ethyl ester úr lýsi hafa þótt lofa svo góðu að tekin var ákvörðun um að nota einvörðungu þá gerð þjálbiks frá og með árinu 2012[4]. Þó er stöðugt haldið áfram tilraunum með nýjar gerðir mýkingarefna.

Önnur gerð bikbindiefnis í klæðingar er bikþeyta (e. bitumen emulsion). Hún er framleidd á þann hátt að venjulegt bik, gjarnan með uppleysanlegum fjölliðum (e. polymers) eða fljótandi, vatnsleysanlegu „latexi“, er þeytt í vatni ásamt ýruefnum (e. emulgator), þannig að bikið myndar smáar kúlur í vatninu. Þegar steinefninu er stráð í bikþeytuna, “brotnar” hún þannig að bikið sest á steinana en vatnið skilst frá. Eins og gefur að skilja er bikþeytu sprautað út undir suðumarki vatns, oftast um 80-85°C heitri, en þjálbiki er sprautað við mun hærra hitastig, gjarnan um 140-150°C. Bikþeyta er að þessu leyti hættuminni í notkun en þjálbik, auk þess sem bikleifin[5] er að mestu hreint bik og án mýkingarefna. Það er því lítil sem engin hætta á að blæðing eigi sér stað í bikþeytuklæðingum.

Fjölliður eru efni með stórum kolefniskeðjum sem breyta eiginleikum bindiefna þannig að þau verða stöðugri, þ.e. stífari í miklum hitum og teygjanlegri í miklum kuldum. Ýmsar gerðir af fjölliðum eru til, svo sem ethylen-vinyl-acetat (EVA) og styren-butadine-styrene (SBS). Víða er fjölliðum nánast undantekningarlaust blandað í bikbindiefni til notkunar í klæðingar. Tilraunakaflar með vatnsleysanlegum fjölliðum í bikþeytur (latex) hafa verið lagðir, en einnig hafa verið gerðar tilraunir með blöndun SBS fjölliða í þjálbik og bikþeytur. Á Írlandi eru eingöngu notaðar bikþeytur í klæðingar og eru þær yfirleitt blandaðar með SBS fjölliðum nema um nýbyggingu á óbundið burðarlag sé að ræða.

Viðloðun í bikbundnum slitlögum má skilgreina sem mælikvarða á það hversu vel bindiefni loðir við steinefni undir nánar tilteknum kringumstæðum. Bein mæling á þessum eiginleika er hins vegar erfiðleikum bundin og í staðinn er notast við óbeina mælingu, t.d. hrærslupróf. Þegar bikbindiefni kemst í snertingu við þurrt steinefni getur viðloðunin verið góð en ef yfirborð steinefnisins er rakt, getur viðloðunin verið mun lakari. Orsökin er sú að í flestum tilfellum er viðloðun vatns og steinefnis sterkari en viðloðun bindiefnis og steinefnis. Ef steinn er þakinn vatni loðir því venjulegt bindiefni (þ.e.a.s. án viðloðunarefna) illa eða alls ekki við hann. Þótt steinninn sé þegar þakinn bindiefni getur vatn samt sem áður hrakið bindiefnið af honum ef vatnið kemst í gegnum bindiefnishimnuna (t. d. ef hún rifnar) og að yfirborði steinsins.

Viðloðun bindiefnis og steinefnis er háð ýmsum eiginleikum beggja efnisþátta. Þessir eru helstir:

- *Kísilsýruinnihald steinefnis.* Bergtegundir með hátt kísilssýruinnihald (> 60%) hafa að jafnaði lakari viðloðun við bindiefni en bergtegundir með lágt innihald. Sem þumalfingursreglu má nota að ljós steinefni (granít, kvarsít, líparít) hafa yfirleitt lakari viðloðun en dökk (basalt). Þessi munur stafar af mismunandi hleðslum á yfirborði

[4] Ethyl ester (lífdísill), sem unnið er úr lýsi, er ein gerð lífolíu og er frá og með árinu 2012 sú gerð mýkingarefnis sem notuð er í klæðingar hérlendis. Í daglegu tali er þetta mýkingarefni nefnt lífolía, en í þessu riti er það orð skilgreint sem yfirheiti fyrir margar gerðir lífolía, sbr. mynd 61-4.

[5] Það sem átt er við með „bikleif“ er magn bikbindiefnis eftir að vatnið hefur skilið sig frá (brotnað). Algengt er að bikleif sé um 69% af bikþeytunni.

steinefnis, en mikilvægt er að nota viðloðunarefni sem hæfa yfirborðshleðslum steinefnisins.

- *Gropa.* Ef vatn situr í gropum getur það þrengt sér milli bindiefnishimnunnar og steinsins og rifið hana frá. Ef steinefnið er hins vegar þurrt, þrengir bindiefnið sér inn í gropurnar og þá fæst betri viðloðun (stærri snertiflötur) en í gropulausu efni.
- *Kornalögun og yfirborðsáferð.* Á hvössum brúnum steinefnisins er bindiefnishimnan mjög þunn. Þar er hætt við að himnan rifni, vatn komist undir hana og byrji að flysja bindiefnishimnuna frá. Sama máli gegnir um steinefni í yfirborði slitlagsins, þar rofnar bindiefnishimnan af völdum negldra hjólbarða.
- *Hreinleiki.* Ef steinefnið er óhreint (fínefnasmurt) getur viðloðun brugðist jafnvel þótt það sé fullkomlega þurrt, vegna þess að óhreinindin varna bindiefninu að komast í fulla snertingu við steinefnið. Þá getur verið nauðsynlegt að þvo steinefnið. Veðrunarhúð á steinefninu getur haft samskonar áhrif.
- *Seigja bindiefnis.* Því þynnra sem bindiefnið er, þeim mun auðveldara á það með að væta steinefnið og smjúga inn í gropur.
- *Efnafræðilegir eiginleikar bindiefnis.* Sýrustig bindiefnis hefur áhrif á viðloðun þess við steinefni.
- *Íaukar.* Viðloðunarefni og fjölliður bæta viðloðun milli steinefnis og bindiefnis.

Viðloðun getur verið tvenns konar:

- *Treg (e. passive) viðloðun.* Að jafnaði límist bindiefni við þurran stein, þótt það nái engri festingu við hann rakan. Þetta er kölluð treg viðloðun. Þessi gerð af viðloðun er algengust í malbiki þar sem steinefnið er hitað og þurrkað.
- *Áleitin (e. active) viðloðun.* Ef dropi af bindiefni, sem snertir rakan stein, skríður út yfir steininn þannig að snertiflöturinn stækkar er viðloðunin kölluð áleitin. Þetta er merki um að viðloðun bindiefnisins við steininn sé meiri en viðloðun vatns við hann. Þegar viðloðunarefnum er blandað í bindiefni breytist viðloðunin oft úr tregri viðloðun í áleitna.

Algengustu viðloðunarefnin eru amin, þ.e.a.s. kolvetnakeðjur með aminhóp á öðrum endanum. Sá endi er hlaðinn og binst auðveldlega gagnstæðum hleðslum á yfirborði steinefnisins. Hinn endinn er fitusækinn og tengist þess vegna bindiefninu. Þessi virkni getur verið svo öflug að viðloðunin verði áleitin, eins og berlega kemur í ljós þegar viðloðun er prófuð í hrærsluprófi. Viðloðunarefni hefur takmarkað geymsluþol eftir að því hefur verið blandað saman við bindiefnið. Geymsluþolið er háð hitastigi en rannsóknir hérlendis benda til að varasamt geti verið að nota blöndu sem er orðin meira en 2 daga gömul nema með enduríblöndun. Það getur þó verið háð gerð viðloðunarefna hversu hitaþolin þau eru með tíma.

Viðloðun skiptir miklu máli fyrir endingu klæðinga og þess vegna hafa verið reyndar ótal aðferðir til að prófa viðloðunareiginleika steinefna. Þessar prófunaraðferðir hafa sætt mismikilli gagnrýni en eru þó taldar gefa vísbendingar um viðloðunareiginleika. Þær aðferðir sem hafa verið notaðar hvað mest hérlendis eru hrærslupróf á viðloðun fyrir þjálbik, Vialit Plate próf fyrir bikþeytur[6] og rúlluflöskupróf fyrir malbik, sjá nánari lýsingu á aðferðunum í viðauka 1.

[6] Til greina kemur að blanda þjálbik og gera einnig hrærslupróf með viðkomandi steinefni þó að til standi að leggja bikþeytuklæðingu og fá þannig auknar upplýsingar um viðloðunareiginleika.

- *Hrærsluprófá viðloðun (íslensk aðferð)* prófar áleitna viðloðun. Í eldri verklýsingu fyrir hrærslupróf sem notað var nær eingöngu hér á landi er þunnu bindiefni (vegolíu), blönduðu viðloðunarefni, hrært saman við rakt steinefni í stærðaflokknum 4-20 mm í fáeinar mínútur í þar til gerðri hrærivél. Síðan er vatni hellt yfir og hrært í klukkustund. Að því búnu er þakningin metin. Þetta próf var upphaflega hannað sem viðloðunarpróf fyrir olíumöl, en þótti reynast nokkuð vel til að meta viðloðunareiginleika steinefna í klæðingar með þunnbiki. Þegar byrjað var að nota þjálbik með lífolíum og fljótandi viðloðunarefni þótti sýnt að nauðsynlegt væri að prófa viðloðun á raunblöndum klæðinga. Því var farið í þróun á hrærsluprófi með raunblöndum, sem sagt steinefni og þjálbiki með viðkomandi viðloðunarefni. Sú aðferð er einna mest notuð til að mæla viðloðun klæðingarefnis við viðkomandi bikbindiefni, en breyta þurfti eldri verklýsingu nokkuð til að aðferðin hentaði raunblöndum, sjá prófunarlýsingu í viðauka 1.
- *Vialit Plate Shock Test (ÍST EN 12272-3)* má segja að mæli raunblöndur steinefna og bindiefna. Í stuttu máli felst prófunin í því að dreifa bindiefni á stálplötu, dreifa síðan ákveðnum fjölda flokkaðra steina ofan á og valta síðan með rúllu af ákveðinni gerð. Allt er þetta gert við ákveðnar aðstæður og að lokum er plötu með bindiefni og steinefni snúið á hvolf og kúla (svipuð LA-kúlu) látin detta á bakhliðina. Við það geta steinar dottið úr bindiefninu og þeir steinar sem detta og hafa ekki bindiefnisþekju taldir ekki hafa náð viðloðun. Þetta er eina viðloðunarpróf Evrópustaðla sem ætlað er fyrir klæðingarefni.
- *Rúlluflöskupróf (ÍST EN 12697-11)* mælir trega viðloðun. Þurrum steinum í stærðaflokkum á bilinu 5,6-11,2 mm er blandað saman við bik (með eða án viðloðunarefnis). Að því loknu eru steinarnir, einn og einn, tíndir upp í 500 ml glerflöskur þar til 150 g eru komin í hverja af þrem flöskum, og þær síðan fylltar að mestu með vatni. Þá eru flöskurnar lagðar á hliðina í vél sem veltir þeim í sífellu. Eftir 6 klst og aftur eftir 24 klst (prófið má einnig framlengja í 48 og 72 klst) eru steinarnir skoðaðir og þakning þeirra metin. Þetta próf hefur verið notað lítið eitt hérlendis en árangurinn orkar tvímælis þar sem nákvæmnin er ekki sérlega mikil. Það skýrist að miklu leyti af því að erfitt er og persónubundið að meta þakningu úr prófinu, sérstaklega á dökkum steinefnum eins og gjarnan eru notuð hérlendis (basalt). Rúlluflöskupróf er hannað fyrir mælingu á viðloðun steinefnis í malbik frekar en klæðingu.

Á síðustu árum hafa fljótandi viðloðunarefni rutt sér æ meira til rúms, m.a. vegna þess að auðveldara er að blanda þeim í bindiefnið. Með tilkomu nýrra mýkingarefna og viðloðunarefna hefur þörfin fyrir að prófa nýjar raunblöndur með tilliti til viðloðunar aukist verulega, enda ekki sjálfgefið að viðkomandi bik, steinefni, mýkingarefni og viðloðunarefni eigi alltaf saman. Í lok árs 2010 hófust umfangsmiklar rannsóknir á viðloðun raunblandna klæðinga. Fyrsta skrefið í þeirri rannsókn var að kanna möguleika gamla hrærsluprófsins til að mæla viðloðun steinefnis við mismunandi þynningarefni, mýkingarefni og viðloðunarefni. Niðurstöður prófana benda til að með lítils háttar breytingum á prófunaraðferðinni væri vænlegt að gera hrærslupróf á raunblöndum steinefna, bindiefna og íblendiefna. Í framhaldi af þessum rannsóknum hefur nú verið sett fram verklýsing fyrir prófunaraðferð til að mæla viðloðun raunblandna klæðinga og hefur úrdrætti úr verklýsingunni verið bætt við í viðauka 1, lýsingu á prófunaraðferðum. Eins og fram kemur á mynd 63-4 hefur raunblönduprófið nú tekið að mestu við sem viðloðunarpróf, en þó er heimilt að nota gömlu aðferðina ef umferð er lítil.

Í töflu 63-2 eru sýndar ýmsar gerðir af biki og bikblöndum, sem koma til greina í klæðingar og hitastig þeirra við útsprautun.

Tafla 63-2:
Dæmi um gerðir biks í klæðingu og kröfur um hitastig við útsprautun

Gerð klæðingar	Gerð bindiefnis	Hreyfðar-seigja, cSt (mm^2/s)* við 60°C	Hreyfðar-seigja, cSt (mm^2/s)* við 135°C	Æskilegt hitastig við útsprautun °C
Einföld klæðing með flokkuðu steinefni	PG 160/220			140-165
	PG 250/330			135-160
	PG 330/430			130-155
	C69B3 bikþeyta	-		80-85
	Þjálbik með ethyl ester úr lýsi 6,5%	~7000**	85-95	130-150
	Þjálbik með repjuolíu 7,5%	~10.000**	95-105	130-150
Einföld klæðing úr óflokkaðri möl	C69B3 bikþeyta	-		80-85
	Þjálbik með ethyl ester úr lýsi 6,5%	~7000**	85-95	130-150
	Þjálbik með repjuolíu 7,5%	~10.000**	95-105	130-150

** Hreyfðarseigja er mæld með því að ákveðið magn bindiefnis er látið renna undan þyngdarkrafti um pípu við þekktan hita og tíminn mældur sem það tekur vökvann að renna milli kvarða á pípunni. Báðar einingarnar (mm^2/s og cSt) hafa í raun sama tölugildi fyrir mælda hreyfðarseigju sama vökva miðað við sama hitastig við mælingu. Eftir því sem tölugildið er hærra er efnið seigara og flæðir því hægar við gefið hitastig. Hreyfðarseigja vatns við stofuhita hefur tölugildið 1.*

***Þessi gildi eru ekki mæld heldur lesin af hitastigs-hreyfðarseigju línuriti. Stuðst er við mælingar sem gerðar voru við 105, 120 og 135°C á þessum bindiefnisgerðum.*

Skýringar við töflu 63-2:
PG stendur fyrir stungudýpt biks (e. Paving Grade)
C stendur fyrir jákvætt hlaðna (e. cationic) bikþeytu (dæmi C69B3 merkir 69% bik (B) og hár brothraði (3)
Þjálbik er bindiefni sem hefur verið mýkt með lífolíu, til dæmis repjuolíu eða ethyl ester unnið úr lýsi.

Í töflu 63-2 er gefinn möguleiki á að nota ýmsar gerðir af biki (PG), án mýkingarefna, bik sem hefur verið mýkt með mýkingarefnum, eða bik þeytt með vatni. Einnig koma fram í töflunni upplýsingar um hreyfðarseigju og hitastig bindiefna sem mýkt eru með repju eða ethyl ester úr lýsi, en hérlendis hefur notkun á slíkum bindiefnum komið í stað þunnbiks. Þessi bindiefni hafa verið úr PG 160/220 biki, sem blandað hefur verið með repjuolíu eða ethyl ester og fljótandi viðloðunarefnum. Æskilegt er að hreyfðarseigja við útsprautun sé á bilinu 40-100 cSt.

Bik er flokkað eftir stungudýpt (e. Paving Grade, PG) sem er mælikvarði á stífleika þess og tilgreinir hversu djúpt 100 g nál með tiltekinni lögun sekkur í bikið við tiltekið hitastig og á tilteknum tíma. Stífleikinn er tilgreindur sem þessi dýpt og mælikvarðinn er tíundi hluti úr mm. Hérlendis er mest notað bik með stungudýpt á bilinu 160 til 220 í klæðingu, (nálin sekkur 16 til 22 mm ofan í sýnið á 5 sek við 25°C), en bikið er þó ávallt blandað með mýkingarefnum. Einnig kæmi vel til álita að kanna

notkun biks með stungudýpt PG 250/330 eða jafnvel PG 330/430 og þá jafnvel án þynningarefna eða mýkingarefna.

Ýmsir mælikvarðar eru notaðir til að lýsa eiginleikum mýktra bikblandna. Algengast er að gefa upp hreyfðarseigjugildi sem mælt er við mismunandi hitastig og er gefið upp í mm^2/s eða centistoke (cSt) sem hefur sama tölugildið. Því hærra sem tölugildið er, því seigari er vökvinn. Í töflu 63-2 er hreyfðarseigja ÞUB gefin upp við 60°C, en hreyfðarseigja þjálbiks með ethyl ester úr lýsi og repjuolíu við 60°C og 135°C. ÍST EN 15322 „*Bitumen and bituminous binders. Framework for specifying cut-back and fluxed bituminous binders*“ skilgreinir mismunandi gerðir bikbindiefna.

Magn bindiefnis í klæðingu á að vera nægilegt til að binda steinefnin en ekki svo mikið að blæðingar verði á yfirborði klæðingar. Í töflu 63-3 a) eru leiðbeinandi upplýsingar um grunnmagn bindiefnis sem byggðar eru á reynslu hérlendis. Hafa ber í huga að í töflunni er einungis tekið mið af stærðarflokkum og tvenns konar undirlagi, þ.e. óbundnu burðarlagi og nýlegri eða eldri klæðingu. Grunnmagn bikbindiefnis er gefið upp fyrir tvær gerðir klæðinga þ.e. þjálbik blandað með 6,5% mýkingarefni (e. ethyl ester) úr lýsi og 69% bikþeytu (bikið er 69% af heildarmagni bikbindiefnisins en afgangurinn er að mestu vatn, auk íblendiefna).

Tafla 63-3 a):
Leiðbeinandi upplýsingar um magn bikbindiefnis í einfalda klæðingu

Stærðarflokkur mm/mm	**Neðra lag í klæðingu á óbundið burðarlag (l/m²)**		**Efra lag í klæðingu og yfirlögn (l/m²)**	
	Þjálbik	69% bikþeyta*	Þjálbik	69% bikþeyta*
4/16	1,8	2,6	1,6	2,3
8/11	1,6	2,3	1,5	2,2
11/14	1,7	2,5	1,6	2,3
8/16	1,8	2,6	1,7	2,5
11/16	1,9	2,8	1,8	2,6
0/16	1,8	-	1,7	-

**Grunnmagn 69% bikþeytu er reiknað með því að deila með 0,69 í þjálbiksmagnið.*

Endanleg ákvörðun um magn bindiefnis í klæðingu fer síðan eftir umferðarálagi og aðstæðum svo sem langhalla vegar, kornalögun, brothlutfalli og þéttleika steinefnis, en einnig gerð og þéttleika undirlags. Í töflu 63-3 b) er bent á þætti sem geta haft áhrif á ákvörðun um aukningu eða minnkun á útsprautuðu bikbindiefni.

Tafla 63-3 b):
Þættir sem geta haft áhrif til breytinga á magni bindiefnis í þjálbik og bikþeytu

Þættir til leiðréttingar*	**Leiðrétting á magni bikbindiefnis í þjálbik**, l/m²**		**Leiðrétting á magni bikbindiefnis í 69% bikþeytu**, l/m²**	
	aukning	minnkun	aukning	minnkun
Gropið steinefni	0,1-0,2		0,15-0,3	
Mjög kúbískt steinefni (FI < 5)	0,2		0,3	
Kúbískt steinefni (FI 5-10)	0,1		0,15	
Steinefni með > 30% af núnum steinum	0,1		0,15	
Umferð < 500 ÁDU	0,1		0,15	
Veghalli > 5% upp á við		0,1		0,15
Klæðing lögð á bindiefnisríka klæðingu		0,1		0,15
Klæðing lögð á bindiefnisrýra klæðingu	0,1		0,15	
Undirlag klæðingar sementsfest burðarlag, opið yfirborð	0,1		0,15	
Undirlag klæðingar bikfest burðarlag, mjúkt og bikríkt		0,1		0,15
Neðra lag klæðingar á opið, óbundið burðarlag	0,1		0,15	

**Heildarleiðrétting skal ekki verða meiri en 0,4 l/m² í þjálbik, en 0,6 l/m² í bikþeytu.*
***Magn 69% bikþeytu er reiknað með því að deila með 0,69 í þjálbiksmagnið eftir að tillit hefur verið tekið til leiðréttingarþátta. Dæmi fyrir 8/11 mm þjálbiksyfirlögn: grunnmagn bikbindiefnis er 1,5 l/m² og hækkar um 0,2 þar sem FI er < 5 og verður því 1,7 l/m². Ef um bikþeytu væri að ræða yrði gildið 1,7/0,69 =2,5 l/m² í stað grunnmagns 2,2 l/m² skv. töflu 63-3 a). Sama gildi fæst með því að leggja saman grunngildið 2,2 l/m², úr töflu 63-3 a) og leiðréttinargildið 0,3 l/m² úr töflu 63-3 b), þ.e. 2,5 l/m².*

Mælt er með að magn mýkingarefnis (e. ethyl ester) sé 5-7% og magn viðloðunarefnis að lágmarki 0,9%, miðað við fljótandi viðloðunarefni í þjálbiki. Ef talin er hætta á úrkomu skömmu eftir lögn klæðingar kemur til greina að auka hlutfall viðloðunarefnis í þjálbikinu.

Magn steinefnis sem dreift er ofan á bindiefni er misjafnt og þarf að meta það hverju sinni hvað er hæfilegt. Þættir sem ráða mestu um magnið eru stærðarflokkur steinefnis og lögun þess. Í öllu falli skal stefnt að því að hæfilegu magni steinefna sé dreift, bæði til að ekki sé of mikið af lausu steinefni á yfirborðinu sem kastast geta í rúður ökutækja og einnig að sparlega sé farið með steinefnið. Full þakning ætti að nást ef dreift er u.þ.b. 17-22 kg/m² af 11/16 mm steinefni, en það þarf að meta hæfilegt magn hverju sinni.

Magn steinefnis verður að nægja til að hylja bindiefnið. Steinefni ætti að dreifa þannig að það hylji 100 – 105% yfirborðsins. Magnið fer eftir gerð klæðingar, stærðarflokki og lögun steinefnis. Í

handbók um klæðingar[7] eru sett fram gildi til viðmiðunar í viðauka H, sjá töflu 63-3 c) sem á við einfalda, ókílda klæðingu. Hafa ber í huga að ef kíla á einfalda klæðingu með smærra steinefni þá þarf að minnka magn steinefnis í neðra laginu og jafnframt auka magn bikbindiefnis undir það.

Tafla 63-3 c):
Hæfilegt rúmmál og þyngd steinefnis á flatareiningu í einfalda klæðingu

Stærðarflokkur steinefnis, mm	**Rúmmál steinefnis á flatarmál***	**Þyngd steinefnis á flatarmál m.v. rúmþyngd 1,7 kg/l**
	l/m²	**kg/m²**
8/11	7-10	12-17
11/16	10-13	17-22

**Ef steinefni er kleyfið (FI > 15), þó innan kröfumarka, kemur til greina að minnka magn steinefna um allt að 20%. Ef valið er að vigta steinefni í stað rúmmálsmælingar þarf að umreikna ofangreindar tölur yfir í kg/m² með tilliti til rúmþyngdar. Reikna má með að 8/11 mm kúbískt steinefni hafi lausa rúmþyngd á bilinu 1,6-1,8 Mg/m³, sem jafngildir kg/l. Dæmi: 8/11 mm steinefni með rúmþyngd 1,7 kg/l * 8 l/m² = 13,6 kg/m².*

Yfirborð klæðingar er nokkuð hrjúft, þannig að hún hefur yfirleitt gott hemlunarviðnám. Með tímanum getur steinefnið þó máðst og viðnámið minnkað og einnig vegna blæðingar ef of mikið af bindiefni er til staðar í yfirborði. Hingað til hafa ekki verið gerðar kröfur til steinefnis hvað þetta varðar, einkum vegna þess að umferð er tiltölulega lítil á klæðingarvegum og einnig er talið að notkun negldra hjólbarða á veturna geri steinana hrjúfa og minnki þannig áhrifin af slípun þeirra og blæðingum. Veghljóð er nokkuð mikið frá klæðingum einkum ef steinefnið er gróft. Minnka má veghljóðið með smærra steinefni en þá minnkar hemlunarviðnám klæðingarinnar og einnig slitþol gagnvart negldum hjólbörðum að öðru jöfnu.

Það getur verið kostur við klæðingarslitlag hversu sveigjanlegt það er og fylgir lóðréttri hreyfingu vegar, s.s. sigi eða frostlyftingu, án þess að varanlegar sprungur myndist. Þessi eiginleiki, ásamt því að klæðing er tiltölulega ódýr slitlagsgerð, gerir það að verkum að oft hentar klæðing sem fyrsta slitlag í nýbyggingu, þar sem gera má ráð fyrir að sig eigi eftir að koma fram, þó malbik eða annað stífara slitlag verði lagt síðar.

Efnisgerðir sem notaðar eru í klæðingu eru set og berg. Krafa er gerð um að steinefnið sé alltaf malað til að tryggja nægilegt hemlunarviðnám. Endurunnið efni hefur ekki verið notað í klæðingar hérlendis, utan stálgjalls (e. steel slag) sem var notað í tilraunaskyni og reyndist vel. Klæðingu með steinefni úr óflokkaðri möl skal að jafnaði ekki nota ef ársdagsumferð (ÁDU) er meiri en 200 bílar samtals á tveimur akreinum, en klæðing með möluðu, flokkuðu bergi kemur til greina á vegi með ÁDU allt að 2500 bílum. Víða erlendis er algengt að nota klæðingu þar sem umferð er margfalt

[7] Handbók um klæðingar, sjá:
http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/handbok_um_klaedingar/$file/Handbok%20um%20kl%C3%A6%C3%B0ningar.pdf

meiri en 2500 bíla viðmiðunargildið sem notast er við hérlendis, fyrst og fremst til þess að auka hemlunarviðnám á hálu malbiki.

Þegar hjólför hafa myndast í undirliggjandi klæðingu er nauðsynlegt að fylla í þau áður en ný klæðing er lögð, þannig að ekki verði hjólför í nýju klæðingunni. Til greina kemur að hjólfarafylla með klæðingarlagi. Einnig er algengt að fylla í hjólförin með bikþeytumassa (e. micro surfacing (t.d. Ralumac)) með sérstakri útlagnarvél. Massinn er fjölliðubreytt bikþeyta sem brotnar hratt og er með smágerðu steinefni. Bikþeytumassinn er lagður út kaldur og í hálffljótandi formi en stífnar hratt. Hann hentar ekki sem slitlag hérlendis vegna notkunar nagladekkja og þarf því að leggja klæðingarlag ofan á bikþeytumassann sem fyrst.

Í viðauka 4 er fjallað um gerðarprófanir (e. Type Testing (TT)) og eftirlitsprófanir steinefnaframleiðanda (e. Factory Production Contol (FPC)). Slíkar prófanir á steinefni í námu sem er í stöðugri framleiðslu til sölu á markaði (sem sagt CE-vottaðar námur), geta komið að hluta eða jafnvel að öllu leyti í stað steinefnaprófana á hönnunarstigi sem fjallað er um í kafla 63.2 hér á eftir.

63.2 Próf við hönnun

Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar steinefnaprófanir þegar fyrirhuguð er efnistaka á nýjum stað. Ef efnisnám er fyrirhugað á námusvæði sem er í stöðugri vinnslu skulu nýlegar niðurstöður efnisrannsókna liggja fyrir á hönnunarstigi. Á forhönnunarstigi getur þurft að velja milli mögulegra námusvæða og er það gert á grundvelli efnisgæða. Ávallt er mikilvægt að taka fullt tillit til umhverfissjónarmiða við val á efnistökustað og gera áætlun um tilhögun efnistöku.

Hér er gert ráð fyrir að búið sé að gera frumathugun á hugsanlegum námum sem til greina koma. Frumathugun er yfirleitt fólgin í að kanna hugsanlegt magn, grófleika, hreinleika og gerð bergs (þéttleika, ummyndun, holufyllingar og millilög).

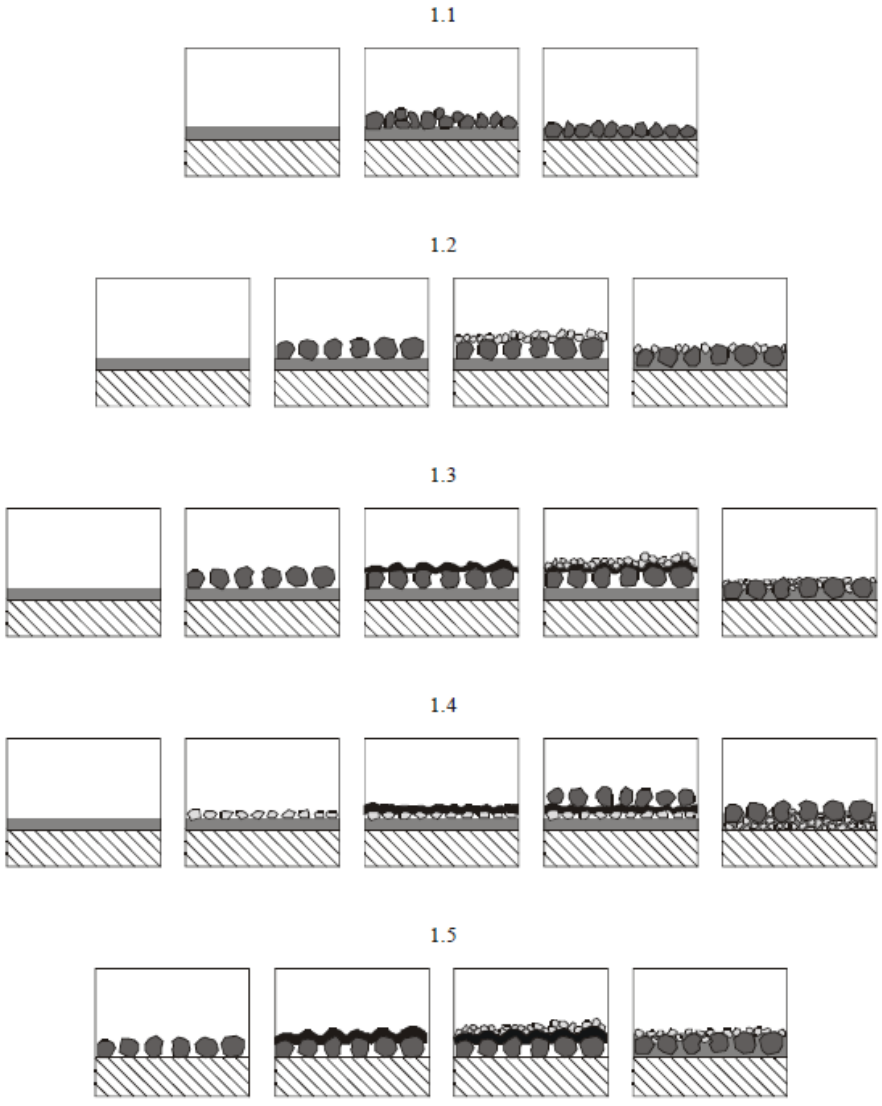
Rannsóknir á steinefnum í klæðingu felast í að gera ýmis próf sem gefa upplýsingar um eiginleika efnisins. Eiginleikarnir eru kornadreifing, viðloðun, berggerð og ásýnd bergs, berggæði og eiginleikar fínefna. Gerð er nokkur grein fyrir prófunaraðferðum í kafla 63.2.2 hér á eftir en ýtarlegri lýsing á þeim er í viðauka 1.

Hér á eftir er gerð grein fyrir verkferlum vegna prófana við hönnun og fjallað um mismunandi próf.

63.2.1 Verkferlar

Fjölmargar gerðir klæðinga eru notaðar víða um heim og getur hönnuður því valið þá gerð klæðingar sem hann telur henta best á hverjum stað miðað við umferðarálag, undirlag og aðstæður. Í grunninn er klæðing þó ætíð lögð og framkvæmd með svipuðum hætti, þ.e.a.s. bindiefni er dreift á yfirborð vegar, steinefni dreift þar ofan á og síðan þjappað með gúmmíhjólavalta.

Gerðir klæðinga, sem valið er að nota, ræðst mjög af umferð og aðstæðum. Í framleiðslustaðli ÍST EN 12271 um klæðingar eru meðal annars taldar upp nokkrar gerðir klæðinga og þær útskýrðar, sjá mynd 63-1. Hérlendis er langalgengast að klæðingar séu lagðar í einföldu lagi, sbr. lið 1.1. á mynd 63-1 og ef um tvöfalt lag klæðingar er að ræða samanstendur hún af tveimur einföldum klæðingum samkvæmt skilgreiningu í ofangreindum staðli og fjallað er um í kafla 63-1 hér að framan. Þó hefur færst í vöxt hérlendis að leggja einfalda, kílda klæðingu sbr. lið 1.2 á mynd 63-1.



Skýringar

1.1 Einföld klæðing (e. single surface dressing); einfalt lag steinefnis lagt í bindiefni

1.2 Kíld, flokkuð klæðing (e. racked-in surface dressing); bindiefni dreift á vegyfirborð og lagi af grófu, flokkuðu steinefni dreift yfir. Síðan er fínna steinefni dreift yfir sem kílist inn á milli grófara steinefnisins. Ekki er sprautað bindiefni á milli steinefnalaga.

1.3 Tvöföld klæðing (e. double surface dressing); bindiefni dreift á vegyfirborð og lagi af grófu, flokkuðu steinefni dreift yfir. Aftur er sprautað bindiefni á fyrra lagið og síðan er fínna steinefni dreift yfir sem kílist að hluta inn á milli grófara steinefnisins.

1.4 Viðsnúin tvöföld klæðing (e. inverted double surface dressing); Eins og 1.3, nema að fínna steinefninu er dreift á undan því grófara.

1.5 Samlokuklæðing (e. sandwich surface dressing, example of pre-chipping dressing)); Grófu, flokkuðu steinefni er dreift á yfirborð vegar og síðan er bindiefni sprautað yfir. Að lokum er fíngerðara steinefni dreift yfir.

Mynd 63-1:
Dæmi um gerðir klæðinga

Eins og komið hefur fram í kafla 63-1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir eru ýmsar gerðir einfaldra klæðinga notaðar hérlendis. Til dæmis er ýmist notað flokkað eða óflokkað steinefni af mismunandi stærðarflokkum. Þess ber þó að geta að klæðing með óflokkuðu steinefni er lögð í undantekningartilvikum þar sem umferð er mjög lítil. Uppistaða bindiefna geta verið bikgerðir með mismunandi stungudýpt, en hér á landi hefur nær eingöngu verið notað bik með stungudýpt PG 160/220. Mýkingarefni sem notuð eru til að minnka seigju biksins til að unnt sé að sprauta því út í þunnu lagi geta verið lífolíur, svo sem jurtaolía (t.d. repjuolía) eða fiskiolía (t.d. ethyl ester unnið úr lýsi). Notkun hvítspíra í klæðingu (þunnbik) var allsráðandi fram á miðjan fyrsta áratuginn, en var þá hætt að mestu af umhverfisástæðum, en við tóku klæðingar með lífrænum mýkingarefnum og svo bikþeytur. Í klæðingar þarf ávallt að nota sérstök efni sem tryggja viðloðun á milli steinefnis og bindiefnis.

Margar gerðir viðloðunarefna eru á markaði, en hérlendis var diamin í föstu formi notað með þunnbiki hér áður fyrr. Með nokun á lífolíu til mýkingar hafa fljótandi gerðir viðloðunaefna komið á markað sem valkostur, enda auðveldar í notkun. Dæmi um fljótandi tegundir sem notaðar hafa verið hérlendis eru Wetfix, TPH og Impact 8000, en fleiri gerðir eru á markaði. Eins og fram kemur í kafla 63.1 hefur viðloðunarefni takmarkað geymsluþol eftir blöndun við bikbindiefni og þarf að taka tillit til þess með því að bæta við viðloðunarefni ef nauðsynlegt reynist að geyma tilbúna bindiefnisblöndu lengur en 2 daga af sérstökum ástæðum (t.d. vegna rigningar eða bilana).

Lögn bikþeytuklæðinga hefur færst í vöxt á undanförnum árum eins og fram hefur komið í kafla 63-1. Hönnun og blöndun bikþeytu þarf að fara fram í sérstakri blöndunarstöð, þar sem ýmsum efnum er blandað saman til að tryggja að bikþeytan hafi þá eiginleika sem til er ætlast. Ekki verður farið nánar út í það ferli hér, enda oft um að ræða efni sem ekki eru gefnar upplýsingar um af framleiðanda bikþeytunnar.

Með tilkomu fleiri valkosta í klæðingargerðum, mýkingarefnum og viðloðunarefnum er hönnun klæðinga orðin talsvert flóknari en áður. Því er mikilvægt að gerðar séu rannsóknir á eiginleikum þessara efna og raunblöndum þeirra áður en ákveðið er að nota þær. Í þessu riti er ekki fjallað um allar prófanir á biki, mýkingarefnum og viðloðunarefnum, enda skulu upplýsingar framleiðenda ætíð fylgja þessum efnum. Síðar í þessum kafla er fjallað um hönnun á raunblöndum klæðinga.

Mat á steinefni

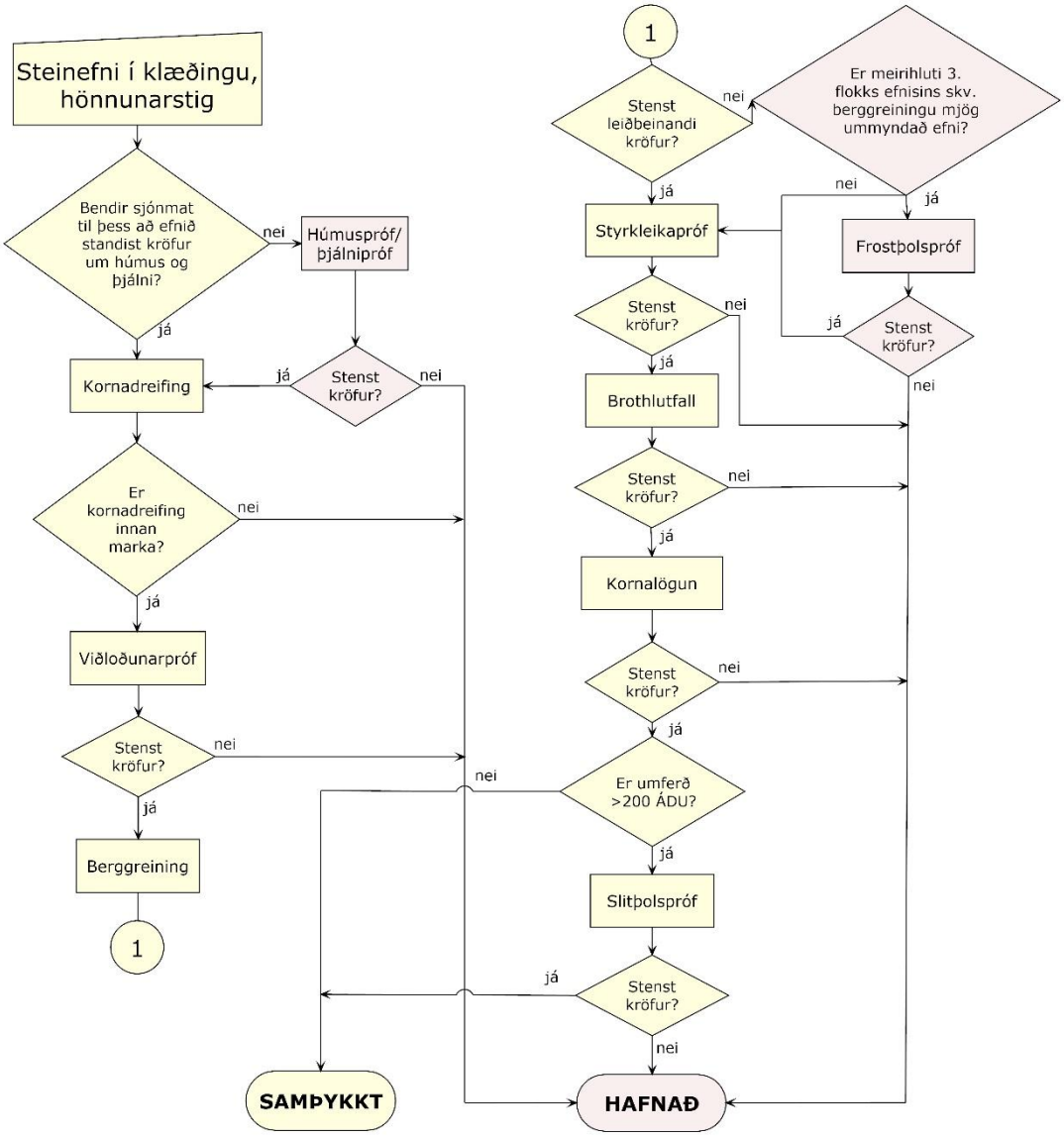
Við mat á steinefni sem nota á í klæðingar, má fara eftir flæðiritinu sem sýnt er á mynd 63-2. Nauðsynlegt er að sýnið, sem metið er samkvæmt flæðiritinu, sé af steinefni sem er unnið með svipuðum aðferðum og gert er ráð fyrir að nota við framleiðslu, þannig að prófanir á þessu stigi endurspegli sem best væntanlega eiginleika efnisins. Með sjónmati er fyrst lagt mat á það hvort *lífræn óhreinindi* séu í efninu eða hvort fínefnið er *þjált* (á við um óflokkaða klæðingu sem framleidd er í undantekningartilfellum). Ef líkur eru á lífrænum óhreinindum er gert húmuspróf, en þjálnipróf ef líkur eru á að efnið sé þjált. Næst er mæld *kornadreifing* sýnisins og hún borin saman við kröfur sem gerðar eru. Í framhaldi af því eru gerð ýmis próf á steinefnum, sem mæla mismunandi eiginleika efnisins.

Ákvörðun kornadreifingar gefur mikilvægar upplýsingar um hvort hægt er að nota efnið til að framleiða klæðingarefni. Yfirleitt er notað flokkað efni til klæðingar og er því mikilvægt að mæla kornadreifingu, brothlutfall og kornalögun á efni sem malað er í réttar kornastærðir og með þeim aðferðum sem áætlað er að nota við framleiðslu þess. Í kornastærðamælingu sést hvort yfir- og

undirstærðir eru innan marka og einnig hvort magn fínefna er innan tilskilinna marka. Ef svo er ekki, má í flestum tilfellum laga framleiðsluna svo að efnið uppfylli skilyrðin. Á þessu stigi er nauðsynlegt að skjóta inn millisigti í flokkað efni til að kanna hvort það er grófara eða fínna en kröfur leyfa (sjá texta undir töflu 63-9 b), en grófleikinn getur haft áhrif á val hönnuðar á bindiefnisinnihaldi og slitþol og endingu slitlagsins. Mælt er með því að steinefni í klæðingu sé þvegið í námu og undantekningarlaust skal þvo steinefni ef um bikþeytuklæðingar er að ræða. Þegar ljóst er að kornadreifing steinefnasýnis sem ætlað er í klæðingu er innan marka, er nauðsynlegt að athuga *viðloðunarhæfni* efnisins. Nú hefur verið tekið í notkun nýtt hrærslupróf til að prófa raunblöndur þjálbiksklæðinga. Kröfur til viðloðunar í raunblönduprófi eru þær sömu og þær sem hafa verið í gildi fyrir gamla viðloðunarprófið.

Þegar jákvæðar niðurstöður varðandi kornadreifingu og viðloðun liggja fyrir er næsta skref, samkvæmt flæðiritinu, að *berggreina* sýnið. Berggreining gefur vísbendingar um væntanlega eiginleika steinefnisins svo sem styrk, slitþol og veðrunarþol, en einnig getur gropa haft áhrif á val á bindiefnismagni. Litið er til leiðbeinandi gæðaflokkunar til þess að meta efniseiginleika, svo sem styrk og veðrunarþol. Ef berggreiningin bendir til þess að of mikið sé af 3. flokks efni og að það sé að mestu mjög ummyndað basalt er ástæða til að kanna *veðrunarþol* efnisins með frostþolsprófi. Ef berggreining bendir hins vegar til að efnið sé að mestu ferskt en blöðrótt (gropið) er ástæða til að kanna *styrkleika* þess með Los Angeles prófi eins og allra klæðingarefna, líka þeirra sem standast veðrunarþolsprófið. Ef efnið stenst styrkleikapróf er næst kannað *brothlutfall* efnisins, þ.e.a.s. ef um malað set er að ræða. Hlutfall brotinna korna í efninu er mikilvægt, bæði hvað varðar viðloðun og hemlunarviðnám. Einnig er mæld *kornalögun* steinefnis en það er mikilvægt til að kanna hvort sýnið er mikið kleyfið eða flögótt. Kornalögun hefur meðal annars áhrif á bindiefnisþörf í klæðingu, en einnig er hætta á að klæðing verði of þunn ef hún er gerð úr flögóttu efni, svo og að blæðingar eigi sér stað. Ef brothlutfall og kornalögun eru viðunandi er *slitþol* efnisins kannað ef áætluð umferð er > 200 ÁDU, en yfirleitt er talið að slitþol skipti miklu máli fyrir endingu klæðinga þar sem umferð er mikil, en frostþol skiptir hlutfallslega meira máli þar sem umferð er lítil. Gerð er grein fyrir kröfum til klæðingarefna í kafla 63.5.

Það prófanaferli, sem hér er lýst, fyrir sýni af klæðingarefni miðar að því að fá gott yfirlit yfir helstu efniseiginleika sem geta haft áhrif á gæði og endingu slitlagsins.



Mynd 63-2:
Flæðirit fyrir mat á steinefni til notkunar í klæðingu

63.2.2 Steinefnapróf

Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna í efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins til notkunar í klæðingarslitlag. Til að fá marktækt sýni til prófunar er mikilvægt að það sé tekið af efni sem er unnið á sama hátt og gert er ráð fyrir að vinna það við framleiðslu enda hefur vinnsluaðferð áhrif á eiginleika efnisins.

Lögn klæðingar felst í því að dreifa steinefni í bindiefnið eftir að því hefur verið sprautað á yfirborð vegarins. Steinefnið er því ekki steypt í massa, eins og í malbiki eða steyptu slitlagi. Mikilvægir eiginleikar steinefnis eru því í fyrsta lagi að það límist vel í bindiefnið og að það hafi nægilegan styrk, slitþol og þol gegn frostáraun. Einnig er mikilvægt að hluti þess sé brotinn og kornalögunin sé innan marka. Kornadreifing skal einnig vera innan tiltekinna marka. Hér á eftir er getið þeirra prófa sem gera þarf til að meta ofangreinda eiginleika en nánari lýsingu á prófunaraðferðum má finna í viðauka 1 og fjallað er um kröfur í kafla 63.5.

Kornadreifing

Við hönnun klæðingar er fyrst mæld kornadreifing óunnins efnis (á við um set), en einnig er æskilegt að setja efnið í tilraunavinnslu og mæla kornadreifingu malaðs efnis auk annarra efnisrannsókna. Algengast er að nota flokkað efni til klæðingar og í slíkum tilfellum sést á kornastærðamælingu efnisins hvort yfir- og undirstærðir, svo og fínefnamagn er innan marka. Ef svo er ekki, má í flestum tilfellum laga framleiðsluna þannig að efnið uppfylli skilyrðin, t.d. með frekari hörpun og þvotti á steinefni til að losna við fínefnið. Á síðustu árum hefur Vegagerðin gert kröfu um að steinefni í klæðingar sé þvegið í námu, ekki síst í bikþeytuklæðingar.

Viðloðun

Ráðandi eiginleiki steinefnis í klæðingu er að það festist vel í bindiefnið. Þegar þunnbik (hvítspíri sem þynningarefni) var notað í klæðingar voru viðloðunareiginleikar þess mældir með hrærsluprófi með vegolíu. Mikil reynsla er af þessari prófunaraðferð en hún hefur þann annmarka að notuð er vegolía í prófinu en ekki þunnbik. Engu að síður hafði aðferðin verið notuð til að meta viðloðunareiginleika steinefnis í þunnbik með góðum árangri. Á undanförunum árum hefur notkun þunnbiks verið hætt af umhverfisástæðum, en mýkingarefni hafa rutt sér til rúms í kjölfarið, fyrst repjuolía en síðan ethyl ester úr lýsi. Einnig hafa ný fljótandi viðloðunarefni verið tekin í notkun í stað fasts diamins.

Hrærslupróf með vegolíu hefur ekki gefið góða raun til að mæla viðloðun nýrra gerða bindiefna (raunblandna) og því hefur nú verið þróað hrærslupróf á viðloðun til að það henti raunblöndum þjálbiksklæðinga. Nota skal raunblöndupróf til að mæla viðloðun fyrir þjálbiksklæðingar, en þar sem umferð er lítil má notast við eldra viðloðunarprófið, sbr. mynd 63-4. Kröfur til viðloðunar eru settar fram í töflu 63-10. Mikilvægt er að kornadreifing efnisins liggi ávallt fyrir þegar viðloðunarpróf eru gerð. Ef á að nota bikþeytu má notast við “Vialit plate” próf skv. staðli ÍST EN 12272-3. Ef viðloðun er ófullnægjandi getur það verið af því að efnið er fínefnasmurt. Þá er hægt að þvo efnið og ef viðloðun er enn ófullnægjandi eftir þvott ber að hafna efninu. Ekki eru í þessu riti settar fram kröfur sem byggja á „Vialit Plate“ prófi.

Berggerð og ásýnd bergs

Berggreining: Gæðaflokkun steinefnis er gerð með því að greina steinefnin í bergbrigði og flokka bergbrigðin í þrjá gæðaflokka. Tilgangur berggreiningar er að greina berggerð og ásýnd steinefnis, sem fyrsta áfanga við mat á gæðum þess til klæðingar. Berggreiningin er leiðbeinandi fyrir

klæðingarefni. Ef efnið er innan viðmiðunarmarka má samþykkja það, án þess að prófa styrk og frostþol sérstaklega (að öðrum kröfum uppfylltum).

Brothlutfall: Gerðar eru kröfur um að steinar séu að talsverðu leyti brotnir til að klæðingin verði stöðug og til að tryggja nægilegt hemlunarviðnám og bæta viðloðun. Upplýsingar um þennan eiginleika steinefnisins má fá með brothlutfallsmælingu, en sú mæling gefur upplýsingar um hlutfall brotinna og óbrotinna korna í sýni sem greint er. Í mælingunni kemur fram hversu stór hluti einstakra korna hefur brotflöt á meira en 50% yfirborðs og hversu stór hluti er alveg óbrotinn (alnúinn). Einungis þarf að mæla brothlutfall malaðs sets, en ekki er þörf á að mæla brothlutfall malaðs bergs, þar sem það er albrotið.

Kornalögun: Lögun einstakra korna hefur áhrif á gæði þeirra í klæðingu. Óheppilegt er ef steinefnin eru of kleyfin (of flöt og/eða ílöng) og gefur kornalögunarmæling upplýsingar um þennan eiginleika steinefnisins. Kornalögun er lýst með almennum orðum við berggreiningu, en til að fá töluleg gildi á lögun er lögunarstuðull mældur með hjálp stafsigta. Vinnslutæki (brjótar) og vinnsluaðferðir hafa áhrif á hvernig þessi eiginleiki steinefnanna er og til eru brjótar sem stuðla að teningslögun kornanna (sjá viðauka 6 í þessu riti og ritið Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn).

Berggæði

Styrkur: Styrkur steinefna sem nota á í klæðingu er mældur með Los Angeles prófi. Þetta próf er aðeins framkvæmt á öllu klæðingarefni nema því efni sem stenst ekki leiðbeinandi kröfur til berggreiningar og þriðja flokks efnið er mjög ummyndað og fellur á frostþolsprófi. Ef efnið stenst kröfur til frostþolsprófs, er hægt að samþykkja notkun þess (að öðrum kröfum uppfylltum).

Veðrunarþol (frostþol): Steinefni sem notuð eru í klæðingu, verða fyrir talsverðri áraun vegna frost/þíðu skipta. Ef salt er notað sem hálkueyðir, er áraunin enn meiri en ella. Því getur verið nauðsynlegt að kanna hversu vel steinefnin þola þessa áraun. Það er gert með frostþolsprófi, sem er fyrst og fremst ætlað að gefa upplýsingar um hæfi steinefnanna til að standast endurteknar frost/þíðu-sveiflur án þess að brotna verulega niður. Frostþolspróf er aðeins framkvæmt á klæðingarefni þegar efnið stenst ekki leiðbeinandi kröfur til berggreiningar og þriðja flokks efnið er mjög ummyndað. Ef efnið stenst þetta próf, er hægt að samþykkja notkun þess (að öðrum kröfum uppfylltum).

Slitþol: Steinefni í klæðingu þurfa að vera slitþolin til þess meðal annars að geta staðist áraun negldra hjólbarða. Slitþol er mælt í kúlnakvarnarprófi sem mælir fyrst og fremst þol steinefnanna gagnvart núningsáraun. Los Angelesprófið sem nefnt er hér að framan mælir hins vegar þol steinefna gagnvart höggáraun. Slitþolspróf er þó einungis framkvæmt fyrir klæðingarefni á vegi með ársdagsumferð (ÁDU) meira en 200 bíla, sjá kafla 63.5.1.

Eiginleikar fínefna

Almennt séð ætti ekki að þurfa að gera mælingar á eiginleikum fínefna í klæðingarefni, þ.e.a.s. ef um er að ræða framleiðslu á flokkuðu og þvegnu steinefni. Slík framleiðsla er nú krafa hjá Vegagerðinni þar sem umferð er umtalsverð, ekki síst í bikþeytuklæðingar.

Húmus: Ekki er þörf á að gera húmuspróf á flokkuðu klæðingarefni. Klæðingarefni skulu ekki innihalda lífræn óhreinindi. Yfirleitt er hægt að meta slík óhreinindi með sjónmati, en í vafatilfellum þarf að framkvæma húmuspróf.

Þjálni: Ekki er þörf á að gera þjálnipróf á flokkuðu klæðingarefni. Oft er hægt að meta hvort fínefni óflokkaðs klæðingarefnis eru þjál með því að velta sýni á milli fingra sér og athuga þannig hvort fínefnið er leirkennt, þ.e. hvort hægt er að hnoða það í kúlur. Ef grunur leikur á að þjál efni séu til staðar í sýninu skal gera þjálnipróf á því. Þjálnistuðull (e. Plasticity Index) er gefinn upp sem munurinn á flæðimarki (hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að missa þjálni sína og verða "flotkennt") og þjálnimarki efnisins (lægsta rakagildi sem efni getur haft þannig að enn sé hægt að hnoða það).

63.2.3 Próf á efnismassa

Engin próf eru gerð á efnismassa klæðingarefna.

63.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Við forrannsóknir, þegar valið stendur á milli tveggja eða fleiri náma, er það í höndum hönnuðar hversu mörg próf hann telur að þurfi að gera á sýnum úr hverri námu. Þegar ákveðin náma hefur svo verið valin ræðst fjöldi prófa sem á að gera áður en framleiðsla hefst á því magni sem gert er ráð fyrir að vinna í námunni. Lágmarksfjöldi prófa miðað við magn kemur fram í töflu 63-4. Sýnin þurfa að gefa mynd af öllu því svæði sem gert er ráð fyrir að vinna efnið úr. Einnig er mikilvægt að vinna sýnin með svipuðum aðferðum og ætlunin er að nota við framleiðslu. Ef breytileiki er mikill innan efnistökusvæðis getur verið þörf á að fjölga prófunum. Í viðauka 4 er fjallað um framleiðslueftirlit og tíðni prófana sem steinefnaframleiðenda ber að uppfylla fyrir steinefni sem sett er á markað.

Tafla 63-4:
Lágmarksfjöldi prófana miðað við efnismagn sem á að vinna

Efnis-magn, m3	Korna-dreifing	Húmus sjónmat	Við-loðun	Berg-greining	Styrkur	Frost-þol*	Brot-hlutfall	Korna-lögun	Slitþol**
< 2000	4	4	1	1	1	(1)	1	1	1
2000-3000	5	5	2	1-2	1-2	(1-2)	1-2	1-2	1-2
3000-4000	6	6	2	1-2	1-2	(1-2)	1-2	1-2	1-2
> 4000	6	6	3	2	2	(2)	2	2	2

** Frostþolspróf er einungis framkvæmt ef steinefni stenst ekki leiðbeinandi kröfur um magn mjög ummyndaðs bergs skv. berggreiningu.*

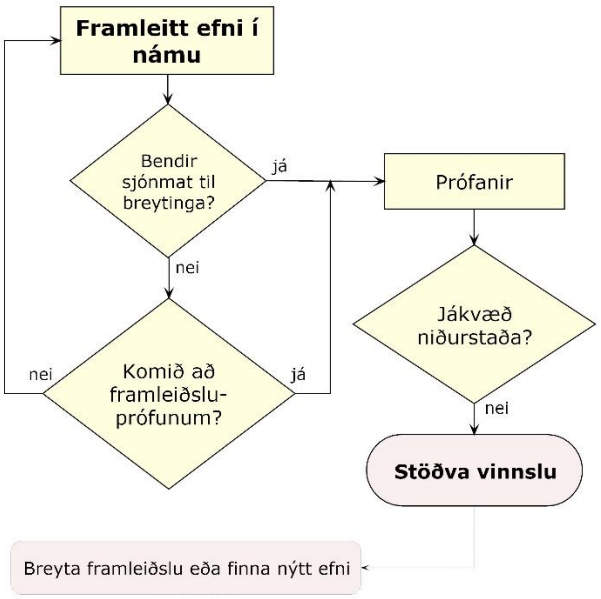
*** Slitþolspróf er aðeins framkvæmt ef umferð er meiri en 200 ÁDU*

63.3 Próf við framleiðslu

Tilgangur með efnisprófum við framleiðslu, er að fá fullvissu um að efnið sem framleitt er standist allar kröfur sem gerðar eru til klæðingarefnis. Hér er átt við prófanir á sýni af efninu í námunni eða geymsluhaug nálægt verkstað, þ.e. áður en það er komið út í veg, því mikilvægt er að hugsanlegir vankantar komi fram áður en efnið er notað. Þegar steinefni er rannsakað við hönnun er það oft ekki unnið á nákvæmlega sama hátt og við framleiðslu. Því eru prófanir við framleiðslu mikilvægar, sérstaklega hvað varðar mælingar á kornadreifingu, viðloðun, kornalögun og brothlutfalli. Þar sem kröfur miðast við efni á framleiðslustað eða geymsluhaug nálægt verkstað er mjög mikilvægt að ekki verði aðskilnaður kornastærða í efnishaugum. Mikil hætta er á aðskilnaði í keilulaga haugum og því skal haugsetja efnið í láréttum lögum sem ekki eru meira en 1 m á þykkt til að forðast aðskilnað.

63.3.1 Verkferlar

Verkferill sem fylgt er þegar fylgst er með framleiðslu steinefnis í klæðingu, er sýndur á mynd 63-3. Eins og fram kemur á flæðiritinu er fylgst með framleiddu efni og ef einhverjar breytingar, til dæmis á lit, kornalögun eða grófleika, koma fram í efninu er tekið sýni og það sett í próf. Ef efnið virðist í lagi samkvæmt sjónmati er nægilegt að prófa framleidda efnið með þeirri tíðni sem fram kemur í töflu 63-5. Ef niðurstöður prófa eru innan settra marka er framleiðslu haldið áfram, annars þarf að stöðva hana og gera ráðstafanir til að laga það sem miður hefur farið. Ef kornadreifing er ekki innan marka er oft hægt að breyta vinnsluaðferðum með hörpun og þvotti. Kornalögun og brothlutfall má einnig í flestum tilfellum lagfæra með bættum vinnsluaðferðum. Ef breyttar vinnsluaðferðir duga ekki til að efnið uppfylli kröfur kann að vera nauðsynlegt að hætta framleiðslunni og finna nýtt efni eða nýja námu. Slíkt ætti þó sjaldan að koma upp, ef vel hefur verið staðið að prófunum og athugunum við hönnun.

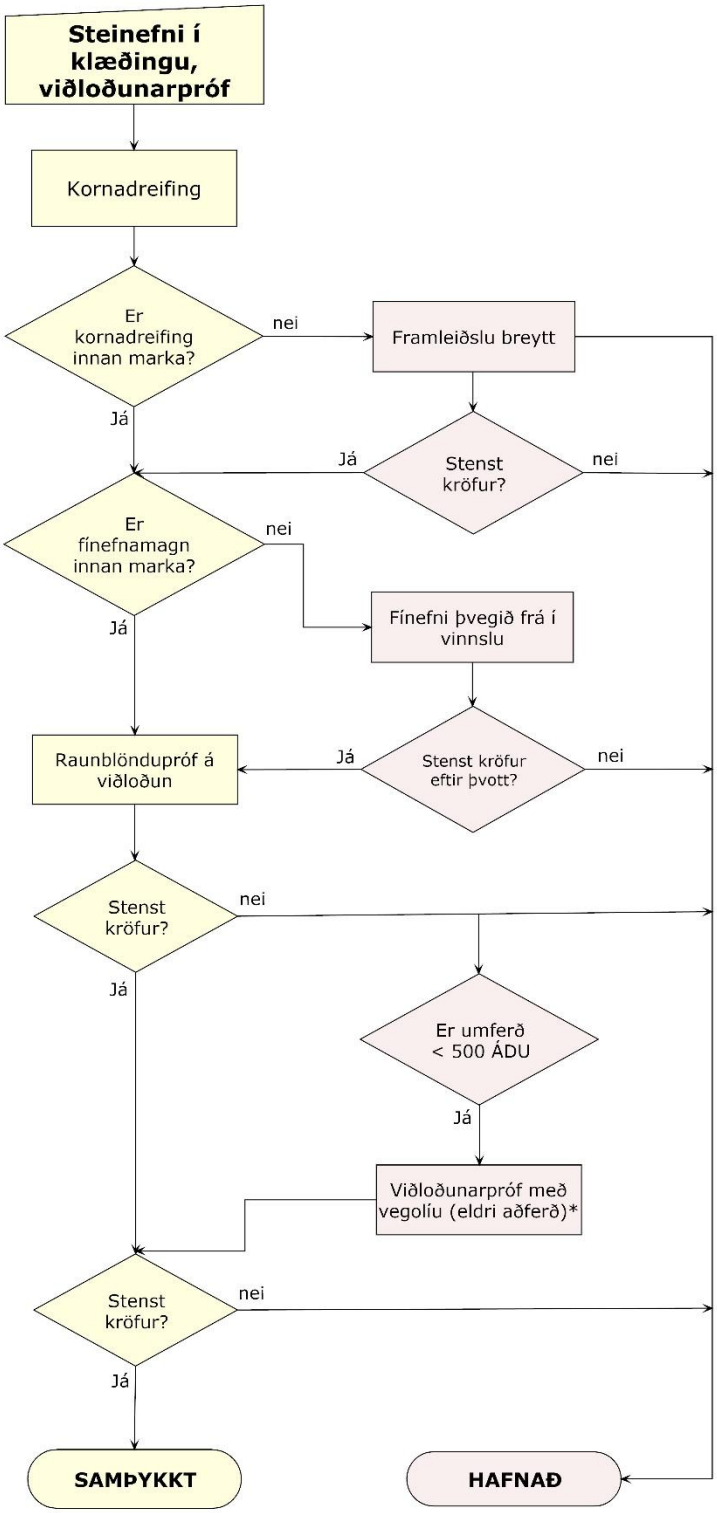


Mynd 63-3:
Flæðirit fyrir verkferla prófana við framleiðslu klæðingarefnis

63.3.2 Steinefnapróf

Í töflu 63-5 eru taldar upp þær prófanir sem gerðar eru á steinefnum í klæðingar við framleiðslu og lágmarkstíðni þeirra. Kröfur til klæðingarefna koma fram í kafla 63.5.1. Samhliða framleiðslu klæðingarefna er mikilvægt að mæla kornadreifingu og fínefnainnihald efnisins og einnig er fylgst með því að ekki séu lífræn óhreinindi í efninu en ef um flokkað efni er að ræða ætti ekki að vera mikil hætta á því. Einnig er mikilvægt að prófa aðra eiginleika sem taldir eru upp í töflunni enda er efnið nú prófað eftir vinnslu og á því að hafa alla þá eiginleika sem að var stefnt með vinnslunni. Rétt er að taka fram að hér er átt við prófanir á efninu áður en það er komið á útlagnarstað.

Mynd 63-4 sýnir dæmi um ferli prófana og ákvarðana varðandi kornadreifingu og viðloðunareiginleika steinefna og bindiefna. Reiknað er með að á síðari stigum muni notkun á gamla viðloðunarprófinu með vegolíu verða hætt, en lagt er til að það megi nota prófið ef umferð er < 500 ÁDU.



** Líkur eru á að þessi aðferð leggist af og hætt verði að útbúa vegolíu til prófana*

Mynd 63-4:
Flæðirit fyrir mat á kornadreifingu og viðloðun á framleiddu efni

63.3.3 Próf á efnismassa

Engin próf eru gerð á efnismassa fyrir klæðingu.

63.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Fjöldi prófa sem gera á við framleiðslu steinefnis í klæðingu, er háður magni sem framleitt er og er tilgreindur í töflu 63-5. Alltaf skal gera eitt próf við upphaf framleiðslu og síðan með þeirri tíðni sem taflan tilgreinir. Ekkert af þessum prófunum skal þó gera sjaldnar en einu sinni í verki, einu sinni í námu eða einu sinni á því ári sem vinnsla fer fram. Auka getur þurft tíðnina ef prófanir við hönnun voru ekki gerðar í samræmi við leiðbeiningar.

Tafla 63-5:
Lágmarkstíðni steinefnaprófa við framleiðslu (m^3)

Próf/ÁDU	> 2000	1000-2000	200-1000	< 200
Kornadreifing	1000	1000	1000	1000
Húmus (sjónmat)*				
Viðloðun***	3000	3000	3000	3000
Berggreining				
Frostþol**				
Styrkur				
Brothlutfall				
Kornalögun				
Slitþol****				Ekki krafa

** Prófanir einungis framkvæmdar ef sjónmat gefur tilefni til.*

*** Einungis framkvæmt ef steinefnið stenst ekki leiðbeinandi kröfur magn mjög ummyndaðs bergs í 3. flokki samkvæmt berggreiningu.*

**** Sjá mynd 63-4 um mælingar á kornadreifingu og viðloðun. Mikilvægt er að kornadreifing efnisins liggi ávallt fyrir þegar viðloðunarpróf eru gerð.*

***** Ekki gerðar kröfur um slitþol ef umferð er < 200 ÁDU.*

Við upphaf framleiðslu skal gera eitt próf með hverri prófunaraðferð sem við á. Síðan skal gera eitt próf fyrir það magn sem tilgreint er í töflunni.

63.4 Próf og mælingar við framkvæmd

Þegar klæðing er lögð eru prófanir á steinefnum aðeins gerðar í undantekningatilvikum og þá þau hin sömu og nefnd eru hér að framan. Hins vegar er nauðsynlegt að mæla hvort magn útsprautaðs bindiefnis og magn steinefnis sem dreift er sé innan hönnunarmarka áður en útlögn hefst og skrá niðurstöður. Einnig skal mæla magn eftir að viðkomandi dreifari kemur úr viðgerð eða sýnist starfa óeðlilega.

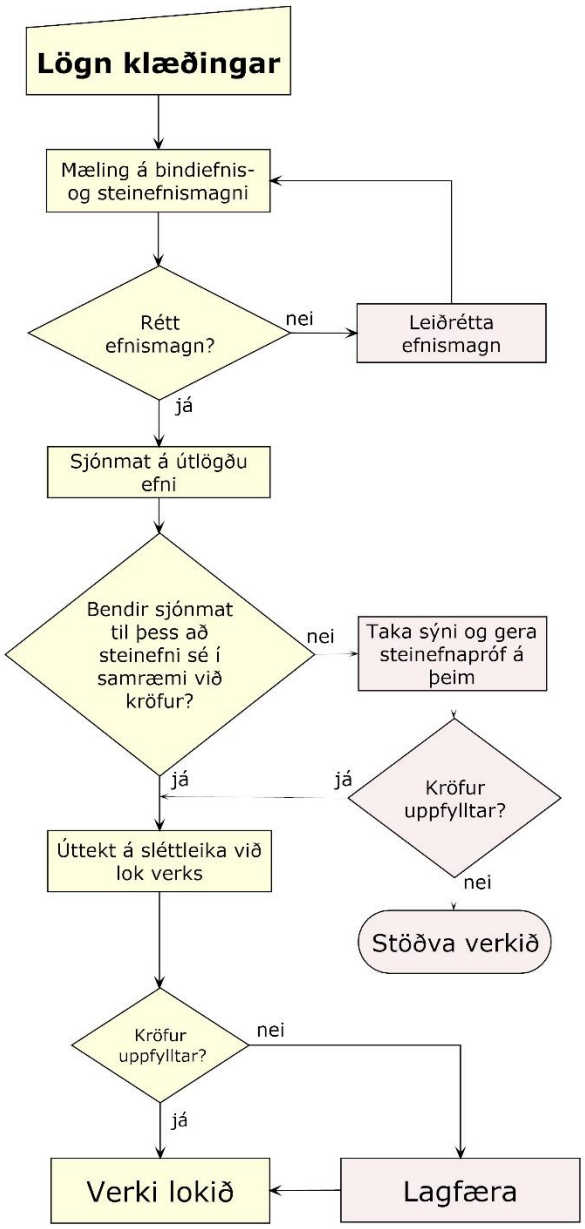
Sléttleikinn er mældur með réttskeið og fylgst með magni bindiefna (sjá kröfur í kafla 63.5.2).

63.4.1 Verkferlar

Verkferill vegna prófa og mælinga sem gerðar eru við lögn klæðingar er sýndur á mynd 63-5. Eins og fram kemur á flæðiritinu, er í fyrsta lagi gert ráð fyrir að fylgst sé með því að útsprautað bindiefnismagn sé í samræmi við það sem gert var ráð fyrir við hönnun klæðingarinnar sem og magn steinefnis sem dreift er. Þetta felur í sér að fylgjast með því að ekki sé misdreifing á bindiefni, t.d. vegna stíflaðs spíss og að steinefni sé jafndreift um yfirborðið. Í öðru lagi er mikilvægt að fylgjast með steinefninu og prófa það ef eitthvað bendir til þess að það uppfylli ekki kröfur. Slíkar prófanir ættu þó að heyra til undantekninga, einkum ef verkferlum við próf við hönnun og framleiðslu, sem fjallað var um hér á undan, hefur verið fylgt. Til að leggja áherslu á það, er þessi leið sýnd með strikalínum í flæðiritinu.

Klæðing er í raun framleidd úti í vegi, þ.e.a.s. stein- og bindiefnin sem notuð eru komast þá fyrst í snertingu við hvort annað, ólíkt t.d. malbiki sem blandað er í stöð undir framleiðslueftirliti. Því er mjög mikilvægt að allar skráningar um efnisgerðir sem notaðar eru í klæðingar séu ýtarlegar og rekjanlegar, þannig að eftirlitsaðili úti í verki geti skráð með vissu hvað fór í viðkomandi klæðingu. Þetta á t.d. við um magn og gerð mýkingarefnis í bikbindiefni, svo og magn og gerð viðloðunarefnis. Einnig þarf að skrá hvenær viðloðunarefni er sett í viðkomandi bindiefni og við hvaða hitastig það er flutt og geymt ef svo ber undir. Þetta er sérstaklega mikilvægt vegna þess að viðloðunarefni missa virkni sína með tíma, en virknin er einnig háð geymsluhitastigi. Því þarf eftirlitsaðili að meta hvort bæta skuli viðloðunarefni í tank, t.d. vegna tafa, þannig að tryggt sé að virkt viðloðunarefni sé til staðar í bindiefninu. Einnig þurfa að liggja fyrir skrásettar upplýsingar um gerð bikþeytu þegar slíkar lagnir eiga í hlut, þannig að unnt sé að rekja hvaða íblendi (ýruefni, mýkingarefni o.s.frv.) voru notuð og í hvaða magni í viðkomandi bikþeytu.

Við lok verksins, þ.e.a.s. eftir sópun þarf að kanna hvort yfirborð slitlagsins uppfylli kröfur um sléttleika og hæðarlegu og hvort klæðingarkápan er samfelld.



Mynd 63-5:
Flæðirit fyrir próf og mælingar við framkvæmd fyrir klæðingar

63.4.2 Steinefnapróf

Eins og áður greinir, ætti helst ekki að koma til þess að gera þurfi próf á steinefnunum, eftir að þau eru komin út í veginn. Ef sú staða kemur hins vegar upp, þá fara úrræði, t.d. val á prófunum, eftir því hvaða eiginleikar virðast ekki vera uppfylltir. Nánar er fjallað um prófunaraðferðir í kafla 62.2.2 og viðauka 1 þar sem steinefnaprófunum er lýst og í kafla 63.5 er fjallað um kröfur til steinefna.

63.4.3 Próf og mælingar

Mælingar á útsprautuðu bindiefnismagni: Hægt er að mæla útsprautað magn bindiefnis með því að vigta teppisbút með plastpoka, leggja síðan teppið á veginn og láta bindiefnisdreifarann sprauta yfir. Eftir útsprautun er teppisbúturinn svo tekinn upp, settur í plastpoka og veginn aftur. Út frá þyngd og flatarmáli er hægt að reikna útsprautað magn á flatareiningu yfir þversnið akreinar. Samkvæmt staðli um mælingar á magni útsprautaðs efnis, ÍST EN 12272-1, ber að nota minnst 5 teppisbúta þvert yfir akrein, þar sem hver um sig er 250-500 mm á kant. Ysti búturinn skal vera 200 mm innan við mörk útsprautaðs efnis. Ef bindiefnisdreifarann er búinn mælum sem skrá notkun og magn á flatareiningu, ætti að sannreyna þá með ofangreindri aðferð og síðan má nota þessar upplýsingar við framhald verksins. Skráningar á þessum mælingum skulu vera hluti af skýrslu eftirlits.

Mæling á magni steinefna: Hentugt er að notast við kassa með kvörðuðu, gagnsæu loki til að mæla magn steinefna í klæðingu, þar sem lesið er rúmmál dreifðs steinefnis í l/m^2. Tafla 63-3 c) hér að framan sýnir hæfilegt rúmmál steinefnis á flatareiningu í einfalda klæðingu. Einnig er hægt að mæla magn steinefna úr dreifara með því að safna því í bakka með þekktu flatarmáli, undan steinefnadreifara og vigta. Þannig fæst magn steinefna í kg/m^2 í lögn klæðingar. Ef valið er að vigta steinefni í stað rúmmálsmælingar þarf að umreikna tölurnar í töflu 63-3 c) yfir í kg/m^2 með tilliti til rúmþyngdar. Reikna má með að 8/11 mm kúbískt steinefni hafi lausa rúmþyngd á bilinu 1,6-1,8 Mg/m^3, sem jafngildir kg/l. Samkvæmt staðli um mælingar á magni steinefnis, ÍST EN 12272-1, ber að gera minnst 3 mælingar þvert yfir akrein. Skráningar á þessum mælingum skulu vera hluti af skýrslu eftirlits.

Mælingar á sléttleika: Gerðar eru kröfur um sléttleika yfirborðs klæðingar við lok verks. Ákvæði eru um mestu ójöfnu, mældri með 3 m réttskeið, en einnig eru ákvæði um mesta frávik frá hönnuðu yfirborði, mestu hæðarbreytingu á ákveðinni vegalengd og mesta frávik frá hönnuðum þverhalla. Hafi verið vandað vel til hæðarlegu og sléttleika burðarlags eru miklar líkur á að yfirborð klæðingar verði í samræmi við kröfur og að sama skapi er nær ómögulegt að uppfylla þessar kröfur hafi svo ekki verið.

63.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Tíðni prófa við framkvæmd við lagningu klæðingar ræðst af umfangi verka fyrir hvert tæki sem notað er við dreifingu bikbindiefnis og steinefna. Þeim má fjölga eða fækka eftir því hvernig eftirlitsaðili metur stöðuna í hvert sinn.

Mæling á útsprautuðu magni bindiefnis ætti ávallt að gera samkvæmt töflu 63-6, dálki F2. Tækjabúnaður skal ávalt kvarðaður við upphaf klæðingatímabils (að vori). Auk þess skal mæla bindiefnis- og steinefnadreifingu í hvert sinn þegar skipt er um gerð bindiefnis eða steinefnis og einnig eftir að viðkomandi dreifari kemur úr viðgerð eða sýnist starfa óeðlilega.

Tafla 63-6:
Tíðni mælinga á magni bindiefnis og dreifðu steinefni skv. ÍST EN 12271

	F1	F2	F3	F4
Mæling á útsprautuðu bindiefni, m^2	Heildarmagn deilt með flatarmáli	100.000	25.000	10.000
Nákvæmni útsprautunar, m^2	Einu sinni í verki	100.000	25.000	25.000
Mæling á dreifðu steinefni, m^2	Heildarmagn deilt með flatarmáli	100.000	25.000	10.000
Nákvæmni steinefnadreifingar, m^2	Einu sinni í verki	100.000	25.000	25.000

Í töflu 63-6 er tíðni mælinga sett fram í samræmi við framsetningu í töflu B-6 í staðli ÍST EN 12271. Í staðlinum eru flokkar F1 til F4 ekki skilgreindir með tilliti til umferðarálags og er ákvörðun um tíðni því í höndum verkkaupa. *Lagt er til að hérlendis verði miðað við dálka F1 og F2 í töflunni fyrir mælingar á útsprautun bindiefnis og steinefnadreifingu fyrir allar lagnir klæðinga*. Mælingar á hverju tæki fari þá fram í upphafi lagningatímabils (að vori) og síðan eftir hverja 100.000 m^2 sem hefur verið dreift (F2). Auk þess er ávalt skráð til samanburðar magn á m^2 af útsprautuðu og dreifðu efni sem miðast við heildarmagn sem notað er í verkinu (F1). Ekki er almennt þörf á að gera mælingu á nákvæmni útsprautunar bindiefnis og dreifingar á steinefnum nema grunur leiki á að útsprautun eða dreifing sé ekki jöfn yfir allt yfirborðið.

Ekki er hægt að tiltaka tíðni steinefnaprófa við framkvæmd, en eins og áður segir ættu þau að heyra til undantekninga.

Sléttleiki og aðrar mælingar á nákvæmni yfirborðs við lok verks skulu gerðar á minnst 20% af lengd kaflans sem unnið var við.

63.5 Kröfur

Við framsetningu á kröfum til steinefna í klæðingu er miðað við kröfuflokka sem settir eru fram í evrópska framleiðslustaðlinum ÍST EN 13043 *Steinefni í malbik og klæðningar á vegi, flugvelli og önnur umferðarsvæði* (e. Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas). Kröfur til efnisgæða miðast við umferðarþunga (ÁDU) á hönnunarári vegarins þannig að krafist er betri efnisgæða eftir því sem vegurinn hefur meira hlutverki að gegna í þjóðvegakerfi landsins. Miðað er við heildarumferð á tveggja akreina vegi.

Kröfur sem varða framleiðslueftirlit með klæðingu við útlögn, miðast við Evrópustaðal ÍST EN 12271 *Klæðing-Framleiðslustaðall* (e. Surface dressing, requirements). Sá staðall vísar m.a. í prófunarstaðla í ÍST EN 12272 röðinni svo sem um magn og nákvæmni dreifingar bindiefnis og steinefnis.

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinefna, bindiefna og annarra efna sem notuð eru, svo og að verkgæði séu skráð með fullnægjandi hætti. Ef steinefni er fengið úr námu framleiðanda sem selur steinefni á markaði er heimilt að telja skjalfest framleiðslueftirlit með í heildarumfangi eftirlits með gæðum steinefna í viðkomandi verki.

Þær kröfur sem hér eru settar fram gilda fyrir unnið efni í námu en gera má ráð fyrir og rétt að hafa í huga, að breytingar geta orðið á eiginleikum efnisins við frágang í vegi.

63.5.1 Kröfur til steinefna

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13043 eru settar fram frávikskröfur vegna framleiðslu steinefna (sjá viðauka 4). Kröfurnar eru að 90% mælinga á kornadreifingu skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk. Vegagerðin gerir sömu kröfur varðandi frávik bæði þegar kröfur um kornadreifingu klæðingarefna eru settar fram sem kröfuflokkur í samræmi við framleiðslustaðal ÍST EN 13043 (sjá töflur 63-9a og 63-9b) og einnig þegar kröfur miðast við markalínur. Þar að auki skulu skv. framleiðslustaðli öll gildi fyrir aðrar prófunaraðferðir vera innan þess kröfuflokks sem framleiðandi ábyrgist (*e. within the limit specified*). Vegagerðin setur hins vegar fram almennar nokkru rýmri frávikareglur varðandi kröfur Vegagerðarinnar til berggæða klæðingarefna og ásýndar bergs, sem gera ráð fyrir að eitt gildi af hverjum fimm gildum megi víkja frá kröfugildi sem nemur allt að 10% í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi 22 ef kröfuflokkurinn er LA_{20} og hin fjögur skulu þá vera innan marka.

Lífræn efni (e. humus)

Efni sem nota á í klæðingu skal vera laust við lífræn efni. Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni sé innan marka en í vafatilfellum er miðað við að efnið standist kröfur samkvæmt staðli ÍST EN 13043, þegar prófað er samkvæmt staðli ÍST EN 1744-1.

Þjálni

Steinefni sem nota á í klæðingu má ekki flokkast sem þjált efni, skv. ASTM D4318. Í vafatilfellum skal efnið prófað í þjálniprófi.

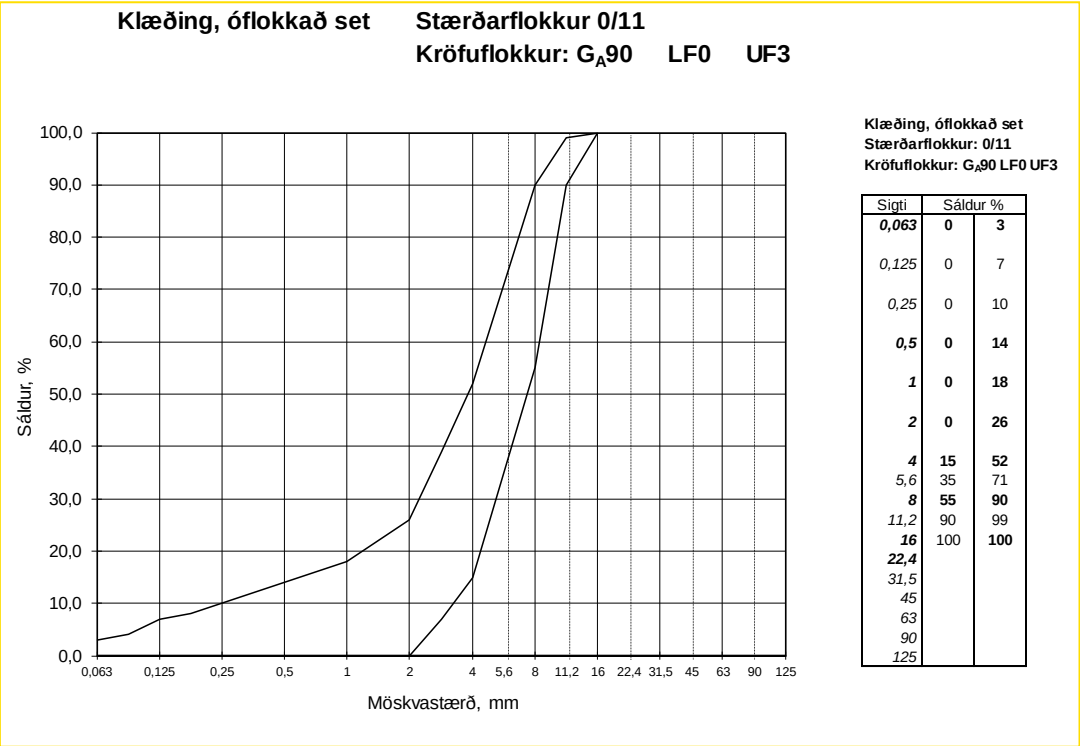
Kornadreifing óflokkaðs efnis

Kröfur um kornadreifingu steinefnis í klæðingar með óflokkuðu efni koma fram í töflu 63-7. Ekki er mælt með að nota óflokkað efni í klæðingu ef umferð er > 300 ÁDU. Þess skal getið að Evrópustaðlar um klæðingar gera ekki ráð fyrir að notað sé óflokkað steinefni í klæðingar. Kornadreifing er mæld samkvæmt staðli
ÍST EN 933-1.

Tafla 63 7:
Kröfur um kornadreifingu óflokkaðs steinefnis í klæðingu

Möskvastærð, mm	**Sáldur, %, stærðarflokkur 0/11**	**Sáldur, %, stærðarflokkur 0/16**
0,063	0-3	0-3
0,125	0-7	0-6
0,25	0-10	0-8
0,5	0-14	0-11
1	0-18	0-15
2	0-26	0-22
4	15-52	2-30
8	55-90	15-60
11,2	90-99	25-90
16	100	90-99
22,4	0-3	100

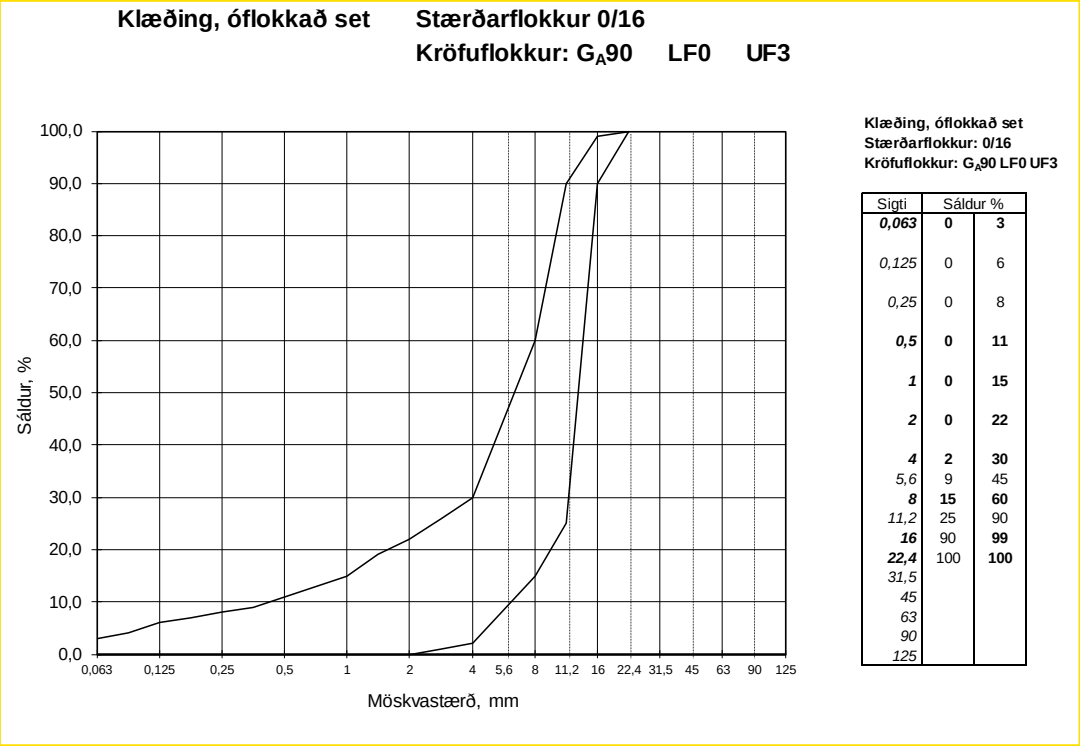
Myndir 63-6 og 63-7 sýna markalínur fyrir óflokkað klæðingarefni í mismunandi stærðarflokkum samkvæmt töflu 63-7.



Klæðing, óflokkað set
Stærðarflokkur: 0/11
Kröfuflokkur: G_A90 LF0 UF3

Sigti	Sáldur %	
0,063	**0**	**3**
0,125	0	7
0,25	0	10
0,5	**0**	**14**
1	**0**	**18**
2	**0**	**26**
4	**15**	**52**
5,6	35	71
8	**55**	**90**
11,2	90	99
16	100	**100**
22,4		
31,5		
45		
63		
90		
125		

Mynd 63-6:
Markalínur fyrir óflokkað 0/11 klæðingarefni



Klæðing, óflokkað set
Stærðarflokkur: 0/16
Kröfuflokkur: G_A90 LF0 UF3

Sigti	Sáldur %	
0,063	**0**	**3**
0,125	0	6
0,25	0	8
0,5	**0**	**11**
1	**0**	**15**
2	**0**	**22**
4	**2**	**30**
5,6	9	45
8	**15**	**60**
11,2	25	90
16	90	**99**
22,4	100	**100**
31,5		
45		
63		
90		
125		

Mynd 63-7:
Markalínur fyrir óflokkað 0/16 klæðingarefni

Kornadreifing flokkaðs efnis

Algengar steinastærðir í klæðingar með flokkuðu efni eru 4/8 mm, 8/11mm, 8/14 mm og 11/16 mm. Hér er mælt með að velja flokk Gc90/10 eða Gc90/15 varðandi undir- og yfirstærðir í flokkuðu efni og flokk $f_{0,5}$ úr töflu 6 í ÍST EN 13043 um magn fínefna í flokkuðu klæðingarefni, sem sagt að ≤ 0,5% sé undir 0,063 mm. Til að standast þessar kröfur og til að tryggja að yfirborð steinefnis sé hreint þarf oftast að þvo flokkað steinefni í klæðingar. Í töflu 63-1 hér að framan er sýnt hvernig stærðarflokkar eru notaðir í einfalda og tvöfalda klæðingu, samsetta úr tveimur einföldum klæðingum, sjá umfjöllun um skilgreiningu einfaldrar klæðingar í kafla 63-1.

Hér á eftir eru sett fram ákvæði um undir- og yfirstærðir kornadreifingar sem koma til álita þegar ekki er valið að gera kröfur samkvæmt markalínum, t.d. þegar nota skal flokkað steinefni í klæðingu.

Í staðli ÍST EN 13043 eru settar fram kröfur um leyfilegar undir- og yfirstærðir flokkaðs efnis og óflokkaðs efnis, sjá úrdrátt í töflu 63-8. Í töflunni stendur d fyrir neðri flokkunarstærð og D fyrir efri flokkunarstærð, t.d. 11/16 (d/D). Nokkrir valkostir eru fyrir undir- og yfirstærðir í flokkuðu efni, til dæmis kröfuflokkur G_C 90/10 þar sem G_CX/Y táknar að minnst X% efnisins eiga að smjúga grófara sigtið (efri flokkunarstærð) og mest Y% mega smjúga það fínna (neðri flokkunarstærð). Auk þess eru samsvarandi ákvæði fyrir d/2, 1,4×D og 2×D.

Fyrir óflokkað efni þ.e.a.s. 0/X efni þar sem d = 0 (t.d. 0/16) má velja milli kröfuflokka G_A úr töflu 63-8 um yfirstærðir þar sem G_A X táknar að minnst X% eiga að smjúga sigti efri flokkunarstærðar, auk samsvarandi ákvæða um 1,4×D og 2×D, en þar sem neðri flokkunarstærð er 0 eru engir kröfuflokkar um undirstærðir.

Í þessum leiðbeiningum er mælt með að velja flokk G_C90/10 eða Gc90/15 fyrir flokkað klæðingarefni og auk þess að magn fínefna sé ≤ 0,5% undir 0,063 mm. Lagt er til að nota kröfuflokk G_A90 fyrir óflokkað klæðingarefni.

Tafla 63-8:
Kröfuflokkar með leyfilegum yfir- og undirstærðum samkvæmt staðli ÍST EN 13242

Gerð steinefnis	Stærð, mm	Sáldur, % af þyngd					Kröfuflokkur G**
		2xD	1,4xD	D	d	d/2	
Flokkað efni* D > 4 d ⩾ 1		100	100	90-99	0-10	0-2	G_C 90/10
		100	98-100	90-99	0-15	0-5	G_C 90/15
Óflokkað efni* D > 4 d = 0		100	98-100	85-99	0-15	0-5	G_C 85/15
		100	98-100	90-99	-	-	G_A 90
		100	98-100	85-99	-	-	G_A 85

Skýringar við töfluna:
**Ef hlutfallið D/d er minna en 2 (flokkað efni) og kröfuflokkurinn er GC 85/15, má minnka hlutfallið sem smýgur sigti með möskvastærðina D um 5%, að teknu tilliti til fyrirhugaðrar notkunar steinefnisins*
***Það sem nefnt er flokkað efni hér kallast „Coarse" í staðlinum, samanber C í kröfuflokki G_C. All-in í staðlinum samanber A i G_A er nefnt óflokkað efni hér*

Sem dæmi um notkun á töflu 63-9 a) má taka flokkað efni 11/16, þ.e. d = 11 mm og D = 16 mm. Ef valinn er kröfuflokkur G_C 90/10 þá mega 0 – 10% af efninu smjúga 11 mm sigti (d) og 90 – 99% af efninu skal smjúga 16 mm sigti (D). Þannig verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 16 mm sigtinu sem er mikilvægt til að tryggja að efnið nái upp í efri flokkunarstærðina (þ.e. D = 16). Samkvæmt kröfuflokki Gc 90/10 mega 0 – 2% af efninu smjúga 5,6 mm sigti (d/2 = 5,6) og 100% verða að smjúga 22,4 mm sigti (1,4×D = 22,4).

Sem dæmi um óflokkað efni má taka stærðarflokkinn 0/16, þ.e. d = 0 og D = 16. Ef valinn er kröfuflokkur G_A 90 þá skulu 90 – 99% af efninu smjúga 16 mm sigti (D) og eins og í dæminu hér fyrir ofan verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 16 mm sigtinu. Á bilinu 98 – 100 verða að smjúga 22,4 mm sigti (1,4×D = 22,4) og allt efnið verður að smjúga 32 mm sigti (2×D = 32).

Auk ákvæðanna um yfirstærðir og undirstærðir eru í staðli ÍST EN 13043 ákvæði fyrir flokkað efni (D/d ≥ 2), um millistærðir D/1,4 og D/2, sjá töflu 63-9. Sem dæmi má taka að fyrir flokkað efni 8/16 (D/d < 4) þá má á bilinu 20-70% af efninu smjúga 11,2 mm sigti (D/1,4) ef neðri valkosturinn er valinn.

Tafla 63-9:
Ákvæði um sáldurdreifingu millistærða

Hlutfall D/d	Stærð millisigtis, mm	Sáldur, %
< 4	D/1,4	25-80
		20-70
≥ 4	D/2	20-70

Þegar flokkað efni er á þrengra bili, þ.e. D/2 < 2 eins og algengt er um flokkað klæðingarefni, t.d. 11/16 mm og 8/11 mm, gildir að 40-60% efnisins skulu smjúga millisigti. Millisigtin eru 12,5 mm fyrir 11/16 mm efni og 10 mm fyrir 8/11 mm efni. Ef um er að ræða víðari flokkun, t.d. 8/16 mm efni gildir 11,2 mm sigtið sem millisigti með þeirri kröfu að 40-60% efnisins skuli smjúga það sigti.

Viðloðun

Kröfur um niðurstöður hrærsluprófs á viðloðun sem birtar eru í töflu 63-10 eru miðaðar við steinefni sem stenst kröfur um kornadreifingu og fínefnamagn, sbr. flæðirit á mynd 63-4. Kröfurnar eru miðaðar við að hrærsluprófið sé gert með spaðann í innra gati. Miðað er við sýni af steinefni sem liggur á milli sigta 4 mm og 16 mm. Ætíð skal mæla kornadreifingu í tengslum við viðloðunarpróf.

Tafla 63-10:
Kröfur um viðloðun steinefnis í klæðingu, mældri með hrærsluprófi

Umferð, ÁDU	Viðloðun, þakning*
< 200	≥ 90%
200-1000	≥ 90%
1000-2000	≥ 95%
> 2000	≥ 99%

**Hrærslupróf á viðloðun er ekki til sem Evrópustaðall*

Eins og fram kom í kafla 63-2-2 var þróað viðloðunarpróf fyrir raunblöndur steinefna og bindiefna í þjálbik, vegna tilkomu nýrra mýkingar- og viðloðunarefna á íslenskum markaði. Þar er miðað við að prófuð sé viðloðun þeirra steinefna og bindiefna sem notuð verða í klæðingu í hvert sinn, sem sagt raunblöndur, sbr. verklýsingu á raunblönduprófi, sjá úrdrátt í viðauka 1. Kröfurnar eru þær sömu og fyrir hrærslupróf með vegolíu, en sú aðferð kemur einungis til álita ef umferð er < 500 ÁDU og verður eflaust lögð af með tímanum.

Berggreining

Leiðbeinandi kröfur um leyfilegt hlutfall steinefna í gæðaflokkum koma fram í töflu 63-11. Kröfurnar miðast við sýni af steinefni sem liggur á milli sigta 5,6 mm og 11,2 mm, nema ef um er að ræða flokkað efni sem er grófara (t.d. 11/16 mm klæðingarefni), en þá miðast kröfurnar við þann stærðarflokk.

Tafla 63-11:
Leiðbeinandi kröfur um gæðaflokkun fyrir steinefni í klæðingu

Umferð, ÁDU	Gæðaflokkur 1, %	Gæðaflokkur 3, %
< 200	Ekki krafa	≤ 15
200-1000	Ekki krafa	≤ 10
1000-2000	Ekki krafa	≤ 5
> 2000	≥ 50	≤ 5

Í framleiðslustaðli frá CEN, sem fjallar um steinefni í bikbundnar blöndur og klæðingar (ÍST EN 13043), eru ekki eiginlegar kröfur um niðurstöður berggreiningar. Berggreiningin á aðeins að segja almennt til um berggerð sýnisins. Íslenska aðferðin hefur verið aðlöguð ÍST EN 932-3, en er mun ýtarlegri í skiptingu basalts eftir ummyndun og þéttleika. Íslenska gæðaflokkunin er hins vegar alveg óháð Evrópustöðlum og hefur enga tilvísun í þá, enda er ávallt talað um "leiðbeinandi" gæðaflokkun í þessu riti. Í leiðbeiningariti Vegagerðarinnar, LEI-3410, er íslenska berggreiningarkerfið skjalfest.

Styrkleikapróf (Los Angeles – próf)

Kröfur um niðurstöðu LA-prófs fyrir steinefni í klæðingu koma fram í töflu 63-12. Miðað er við að sýni af steinefni sem liggur á milli sigta 10 mm og 14 mm sé prófað samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2.

Tafla 63-12:
Kröfur um LA-gildi steinefna í klæðingu

Umferð, ÁDU	Flokkun skv. ÍST EN 13043
	LA gildi
< 200	LA_{30}
200-1000	LA_{25}
1000-2000	LA_{20}
> 2000	LA_{15}

Í töflunni þýðir LA_X að LA-gildið skuli að hámarki vera X%.

Frostþolspróf

Kröfur um niðurstöður frostþolsprófs, fyrir steinefni í klæðingu, koma fram í töflu 63-13. Kröfurnar eru miðaðar við sýni af steinefni sem liggur á milli sigta 8 mm og 16 mm og miðast við að prófið sé gert samkvæmt ÍST EN 1367-6.

Tafla 63-13:
Kröfur um niðurstöður frostþolsprófs fyrir steinefni í klæðingu

Umferð, ÁDU	**Flokkun skv. ÍST EN 13043**
	Frostþolsgildi
< 200	$F_{EC}14$
200-1000	$F_{EC}14$
1000-2000	$F_{EC}8$
> 2000	$F_{EC}4$

EC í F_{EC} stendur fyrir „Extreme Conditions“

Brothlutfall

Kröfur um brothlutfall steinefna í klæðingu koma fram í töflu 63-14. Kröfurnar miðast við sýni þar sem efri mörk kornastærðar, D, eru minni eða jöfn tvöfölduðum neðri mörkum, d, þ.e. D ≤ 2×d, til dæmis 4-8 mm, 8-16 mm o.s.frv. Prófið er gert samkvæmt staðli ÍST EN 933-5. Steinefni sem fengin eru úr sprengdu bergi teljast uppfylla kröfuflokk $C_{100/0}$ (albrotin) og þarfnast ekki prófunar á brothlutfalli samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13043.

Tafla 63-14:
Kröfur um brothlutfall steinefna í klæðingu

Umferð, ÁDU	**Flokkun skv. ÍST EN 13043**
	Brothlutfall
< 200	$C_{50/30}$
200-1000	$C_{50/30}$
1000-2000	$C_{50/10*}$
> 2000	$C_{90/1*}$

**Hér er að auki gerð krafa um að 30 til 100% þess efnis sem flokkast brotið sé albrotið.*
Í töflunni þýðir $C_{X/Y}$ að X% af þunga efniskorna á að vera brotið að meirihluta eða að öllu leyti, en Y% má vera alnúið.

Kornalögun

Kröfur um kornalögun steinefna í klæðingu koma fram í töflu 63-15. Prófið er gert samkvæmt staðli ÍST EN 933-3.

Tafla 63-15:
Kröfur um kornalögun steinefna í klæðingu

Umferð, ÁDU	**Flokkun skv. ÍST EN 13043**	
	Kleyfnistuðull > 8 mm	**Kleyfnistuðull < 8 mm**
< 200	FI_{30}	FI_{35}
200-1000	FI_{25}	FI_{30}
1000-2000	FI_{20}	FI_{25}
> 2000	FI_{15}	FI_{20}

Í töflunni þýðir FI_X að kleyfnistuðullinn (e. Flakiness Index) skuli að hámarki vera X%. Miðað er við vegið meðaltal þeirra kornastærðarbila sem sýnið nær til.

Slitþol (kúlnakvarnargildi)

Kröfur um slitþol steinefna í klæðingar, mældu með kúlnakvarnarprófi, koma fram í töflu 63-16. Kröfurnar eru miðaðar við sýni af steinefni sem liggur á milli sigta 11,2 mm og 16 mm, samkvæmt staðli ÍST EN 1097-9. Þegar lagt er mat á kúlnakvarnargildi verður að hafa í huga að ef steinefnið er með lágt brothlutfall og mikið af núnum steinum þá mælist kvarnargildið tiltölulega lágt (gott), jafnvel þó að berggæði séu ekki mikil.

Tafla 63-16:
Kröfur um kvarnargildi steinefna í klæðingu

Umferð, ÁDU	**Flokkun skv. ÍST EN 13043**
	Kvarnargildi
< 200	Ekki krafa
200-1000	A_N 19
1000-2000	A_N 14
> 2000	A_N 10

Í töflunni þýðir A_N X að kvarnargildið má að hámarki vera X%.

63.5.2 Kröfur til bikbindiefnis

Í kafla 63.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir er fjallað almennt um bikbindiefni í klæðingu. Í töflu 63-2 eru settar fram upplýsingar um gerð bikbindiefnis, hreyfðarseigju við mismunandi hitastig og kröfur um hitastig við útsprautun bindiefnis.

Tafla 63-17 sýnir kröfur til eiginleika mýkingarefnis í klæðingar (ethyl ester úr lýsi). Efnismælingar mýkingarefnis skal gera reglulega á eftirfarandi þáttum hjá viðurkenndri rannsóknarstofu, árlegt sýni úr hverjum geymslutanki skal liggja fyrir hjá birgjum.

Tafla 63-17:
Kröfur til mýkingarefnis í klæðingar (ethyl ester úr lýsi)

Þáttur	Gildi (mörk)	Prófunaraðferð
Útlit	Hrein og tær	Sjónmat
Ljósbrot við 20°C	1,450nD (RI)	Ljósbrotsmælir
Eðlisþyngd við 15°C	872-878 kg/m^3	ÍST EN ISO 12185
Seigja við 40°C	3,50-5,00 mm^2/s	ÍST EN 16896
Vatn	< 0,1%	ISO 3733
Blossamark COC	> 160°C	ÍST EN ISO 2592
Rennslimark (PP)	u.þ.b. 3°C	ÍST EN ISO 3016
Fitusýrusamsetning (EPA+DHA)	≥ 5,0%	Ph Eur 2.4.29
Hlutfall etýlestera	≥ 96%	Ph Eur 2.2.30
Móðumark (CP)	u.þ.b. 5°C	ÍST EN ISO 3015
Stíflumark (CFPP)	u.þ.b. 0°C	ÍST EN 116

63.5.3 Kröfur til efnismassa

Ekki eru hér gerðar kröfur til efnismassa klæðingar, enda ekki um eiginlegan efnismassa að ræða, heldur tvö sjálfstæð lög (bindiefni og steinefni).

63.5.4 Kröfur við framkvæmd

Áður en klæðing er lögð í nýbyggingu skal yfirborð burðarlagsins vera vel valtað, slétt og þétt og með réttri hæðarlegu, sjá kafla 5 Burðarlag í þessu riti. Ef um yfirlögn á eldri klæðingu er að ræða þarf að gæta þess að yfirborð gamla slitlagsins sé hreint og er mikilvægt að sópa það eftir þörfum. Mikilvægt er að þegar þjálbik er sett á tankbíl liggi fyrir skráning á gerð og magni biks, mýkingarefnis og viðloðunarefnis. Á sama hátt þurfa upplýsingar um innihald bikþeytu að liggja fyrir við afgreiðslu. Hafa skal í huga að virkni viðloðunarefna minnkar við geymslu og að geymsluhitastig hefur áhrif á hversu hratt virknin minnkar. Ef tafir verða á notkun bindiefnis sem sett hefur verið á tank (vegna úrkomu, bilana eða annars), getur þurft að bæta viðloðunarefni á tankinn vegna minnkandi virkni þess sem fyrir er með tíma.

Lofthitastig skal vera hærra en 5°C þegar þjálbiksklæðing er lögð og ekki má hafa verið næturfrost nóttina áður. Bikþeyta er sérstaklega viðkvæm fyrir lágu hitastigi og ætti því að leggja hana um hásumar og við góðar aðstæður, katjónska bikþeytu við hærra hitastig en 6°C og fjölliðubreytta bikþeytu við hærra hitastig en 10°C. Sérstakt leyfi verkefnastjóra bundinna slitlaga og svæðisstjóra viðkomandi svæðis þarf til að leggja klæðingu fyrir 1. júní og eftir 1. september. Steinefnið skal

leggja út með dreifara um leið og lokið er við að sprauta bindiefninu á vegyfirborðið og skal steinefnið rétt ná að þekja vegyfirborðið en ekki meira en það. Um leið og lokið er við að dreifa steinefninu skal valta yfirborð klæðingarinnar með gúmmíhjólavalta en ef undirlagið er slétt má einnig nota titurvalta með gúmmíklæddri tromlu. Völtun skal haldið áfram þar til steinefnið hefur raðað sér vel og bundist bindiefninu. Valta skal allt yfirborð klæðingarinnar með minnst 4 yfirferðum og er mælt með að notaðir séu 2 valtar í stærri verkum. Hraði valta skal ekki vera meiri en 5 km/klst. Þegar lögð eru tvö lög klæðingar skal fyrra lagið hafa bundist undirlaginu vel áður en seinna lagið er lagt og öllu lausu efni sópað af yfirborði neðra lagsins og gert við skemmdir á yfirborði þess áður en seinna lagið er lagt. Æskilegt er að sem stystur tími líði á milli lagnar fyrra og seinna lags klæðingar á nýbyggingar.

Ef taka þarf sýni af steinefnum og prófa þau gilda þær kröfur sem nefndar eru í kafla 63.5.1.

ÍST EN 12271 „*Surface dressing – Requirements*“ setur fram kröfuflokka fyrir þolvik á dreifðu bindiefni og steinefni. Kröfuflokkarnir eru þrír, þar sem frávik frá hönnuðu magni geta verið ±5, ±10 eða ±15% í einstökum mælingum. Hér er lagt til að almennt gildi að frávik verði ekki meiri en ±10% hvað varðar frávik í dreifingu bindiefna og steinefna, sjá töflu 63-18.

Varðandi magn steinefna fyrir flokkað efni skal dreifa nægu magni til að yfirborð vegarins sé þakið en ekki meira en svo. Til að kanna heppilegt magn af flokkuðu steinefni getur verið æskilegt að taka sýni af framleiddu efni og dreifa á ákveðið flatarmál, þannig að steinar liggi þétt saman en leggist ekki ofan á hvorn annan. Síðan er hægt að reikna út æskilegt magn í kg/m^2. Fyrir óflokkað efni 0/16 mm er venjulegt magn 22 til 30 kg/m^2 en fyrir 0/11 mm er magnið 18 til 22 kg/m^2.

Kröfur um sléttleika eru háðar umferð og koma fram í töflu 63-18. Ekki er gert ráð fyrir að klæðing sé notuð í nýbyggingum þar sem umferð er meiri en ÁDU 2500, samtals á tveggja akreina vegi.

Tafla 63-18:
Kröfur um sléttleika og nákvæmni yfirborðs slitlags við lok verks

	Umferðarmagn			
	ÁDU ⩾ 400		**ÁDU < 400**	
	einstök mæling	**meðaltal**	**einstök mæling**	**meðaltal**
Hámark frávika frá hönnuðu yfirborði (mm)	+20/-20	+5/-5	+30/-30	+10/-15
Sléttleiki í þverátt mældur með 3 m réttskeið (mm)	10	-	15	-
Sléttleiki í langátt mældur með 3 m réttskeið (mm)	10	-	15	-
Hámark frávika frá hönnuðum slitlagsbrúnum (mm)	+100/-0	+100/-0	+100/-0	+100/-0

Mikilvægt er að gera mælingar á útsprautuðu bindiefni og dreifingu steinefnis með reglulegu millibili, samanber töflu 63-6 hér að framan. Í töflu 63-19 eru gefin upp mestu leyfilegu frávik í magni og hitastigi bindiefnis við útsprautun og magni steinefna

Tafla 63-19:
Leyfileg frávik í magni og hitastigi bikbindiefnis og magni steinefna

Frávik	
Bindiefnismagn	± 10%
Magn steinefna	± 10%
Hitastig útsprautaðs bindiefnis	± 5°C

Hér á eftir eru talin upp þau atriði sem skrá þarf við þessar mælingar á magni bindiefnis og steinefnis.

Vegna mælinga á útsprautuðu bindiefni skal eftirfarandi skráð samkvæmt staðli ÍST EN 12272-1:

1. að mæling hafi verið í samræmi við ÍST EN 12272-1
2. númer tankbíls og bindiefnisdreifara sem notaður var
3. hæð bindiefnisdreifara
4. breidd bindiefnisdreifara
5. staðsetning mælingar
6. dagsetning mælingar
7. veðurskilyrði sem gætu haft áhrif á mælingu (t.d. vindur)
8. hitastig bindiefnis skv. mæli tankbíls
9. gerð og eðlisþyngd bindiefnis við útsprautunarhitastig
10. áætlað magn af dreifðu bindiefni
11. niðurstöður mælingar (l/m^2)
12. athugasemdir
13. nafn og undirskrift þess sem ber ábyrgð á mælingunni

Vegna mælinga á dreifingu steinefnis skal eftirfarandi skráð samkvæmt staðli ÍST EN 12272-1:

1. að mæling hafi verið í samræmi við ÍST EN 12272-1
2. númer steinefnadreifara sem notaður var
3. breidd þversniðs
4. staðsetning mælingar
5. dagsetning mælingar
6. námuheiti og námunúmer
7. stærðarflokkur steinefnis
8. áætlað magn til dreifingar
9. niðurstöður mælingar (kg/m^2)
10. athugasemdir
11. nafn og undirskrift þess sem ber ábyrgð á mælingunni

64 Malbik

64.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Almennt

Malbik er blanda af steinefni, biki og oft ýmsum íaukum svo sem trefjum, viðloðunarefnum, fjölliðum, vaxefnum, sementi og/eða kalkdufti. Þyngdarhlutföllin í malbiki eru oft um það bil 94% steinefni og 6% bik, en þyngdarhlutfall íauka er hverfandi. Hlutverk steinefnisins er margþætt. Að öðru jöfnu er valið steinefni með sem mest slitþol gagnvart negldum hjólbörðum, en það þarf einnig ásamt bikbindiefninu að sjá slitlaginu fyrir nægilegu burðarþoli gagnvart þungri umferð, þ.e. nægjanlegri stífni og viðnámi gegn skriði og að tryggja veðrunarþol slitlagsins. Ennfremur eru eiginleikar steinefnisins mikilvægir fyrir hemlunarviðnám milli slitlags og hjólbarða. Hlutverk bikbindiefnisins er einnig fjölbreytt en fyrst og fremst er því ætlað að binda steinefniskornin saman í eina heild, en jafnframt að ljá malbikinu vissan sveigjanleika en samt nægilegan stöðugleika og í sumum tilfellum verja það gagnvart vatni. Trefjar eru notaðar í vissar malbiksgerðir til að hindra aðskilnað bindiefnis frá steinefni á meðan malbikið er heitt og óþjappað. Viðloðunarefni eru leyst upp eða þeim blandað í bindiefnið og er magn þeirra oftast um 0,3% af bindiefnismagni. Hlutverk viðloðunarefna er að styrkja tengingu (viðloðun) bindiefnisins við steinefnið. Rannsóknir sýna að viðloðun biks við bæði íslensk og erlend steinefni má bæta með viðloðunarefnum. Því skal ávallt nota viðloðunarefni í allar malbiksblöndur. Þar sem umferð er mikil er fjölliðum (e. polymer) gjarnan blandað í bindiefnið (e. polymer modified bitumen, PMB) eða í malbikið (e. polymer modified asphalt, PMA) til að breyta seigju þess á vissu hitastigsbili og auka viðnám þess gagnvart skriði. Einnig má blanda vissum vaxefnum í bikbindiefni eða malbik, en slík efni í litlum mæli valda því að hægt er að ná þjöppun við lægra hitastig en ella og þar með lækka framleiðsluhitastig og/eða auka flutningsvegalengdir. Ef vaxi er blandað í umtalsverðu magni (t.d. um 3%) eykur það viðnám malbiksins gegn skriði. Í viðauka 8 er sett fram ýtarefni um malbik, þótt sumt af því sé nú orðið gamalt og að hluta úrelt efni. Í viðaukann hefur því verið bætt inn ýmsum athugasemdum um atriði sem hafa breyst frá því hann var upphaflega settur fram.

Þess má geta að leyfilegt er skv. Evrópustöðlum að blanda allt að 10% af malbikskurli sem unnið er úr malbiksfræsi í AC stífmalbik (ÍST EN 13108-1) og SMA steinríkt malbik (ÍST EN 13108-5) í slitlag og allt að 20% í burðarlagsmalbik. Ef óskað er eftir hærra hlutfalli af malbikskurli þarf að flokka kurlið eftir uppruna steinefna og mæla eiginleika bindiefnis í kurlinu, en þá gildir staðallinn ÍST EN 13108-8 *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 8: Reclaimed asphalt*.

Malbik er blandað í þar til gerðum blöndunarstöðvum. Steinefnið er þurrkað við um 150°C og bikinu, sem einnig er heitt og þunnfljótandi, hrært saman við ásamt íaukum. Malbiksblandan er síðan flutt heit þangað sem á að nota hana og er algengt að hún sé lögð í u.þ.b. 50 mm þykku lagi með sérstökum útlagnarvélum og völtuð þar til tilskilinni þjöppun er náð. Eftir útlögn eru rúmmálshlutföll í hefðbundnu stífmalbiki (AC-malbiki) um 80% steinefni, um 17% bindiefni og um 3% loft (holrýmd), en það fer nokkuð eftir hannaðri malbiksgerð hver hlutföllin eru.

Steinefni í malbik eru ýmist fengin úr setlögum eða sprengdu og möluðu bergi. Endurunnin efni, sem sagt malbikskurl hafa verið notuð í stífmalbik og steinríkt malbik innan þeirra marka sem tilskilin eru, en að öðru leyti ekki í miklum mæli hérlendis. Endurlögn (e. repave) er einnig aðferð til endurvinnslu á staðnum og hefur verið notuð talsvert hérlendis sem viðhaldsaðgerð, sjá umfjöllun um endurvinnslu hér á eftir.

Steinefni í malbik eru gjarnan flokkuð í þrennt eftir kornastærð, þ.e.a.s. fínefni minni en 0,063 mm (e. fines), 0,063-4 mm (sandur) og > 4 mm (perla, flokkuð möl). Fínefni er gjarnan fengið úr mélu steinefnis (e. filler), en hún er þannig samsett að 100% smjúga 2 mm sigti, 85-100% smjúga 0,125 mm sigti og 70-100% smjúga 0,063 mm sigti. Perlan getur verið af ýmsum stærðaflokkum, t.d. 4/8, 8/11, 11/16 eða 16/22 mm. Efri flokkunarstærð malbiks sem ætlað er í slitlag er yfirleitt ekki grófari en 16 mm, en velja má grófara efni í burðarlagsmalbik. Aðrir stærðaflokkar steinefna eru líka notaðir eftir atvikum, svo sem 0/4, 0/8, 0/11 og fleiri. Steinefnið þarf að uppfylla margvíslegar kröfur, mismunandi eftir fyrirhugaðri notkun malbiksins.

Bik er seigfljótandi, klísturkennt og vatnsfælið efni, sem er nær eingöngu unnið úr jarðolíu. Þegar léttari hlutar jarðolíunnar svo sem bensín, dísilolía, steinolía og smurolíur hafa verið eimaðir frá verður eftir eimingarleif, sem eftir frekari vinnslu verður að biki. Bikið hefur mismunandi eiginleika eftir uppruna og vinnsluaðferðum. Í Evrópu er bik meðal annars flokkað eftir stungudýpt (e. Paving Grade, PG), sem er mælikvarði á stífleika og tilgreinir hversu djúpt 100 g nál með tiltekinni lögun sekkur í bikið við tiltekið hitastig og á tilteknum tíma. Stífleikinn er tilgreindur sem þessi dýpt og mælikvarðinn er tíundu hlutar úr mm. Hérlendis er mest notað bik með stungudýpt á bilinu 160 til 220 þar sem umferð er ekki mjög þung, táknað sem PG 160/220, (nálin sekkur 16 til 22 mm ofan í sýnið á 5 sek við 25°C). Á götum og vegum með mikla og þunga umferð er hins vegar mest notað bik með stungudýpt PG 70/100 sem er mun stífara en PG 160/220. Einnig kemur vel til álita að nota bik með stungudýpt mitt á milli, sem sagt PG 100/150, annað hvort innflutt sér eða blandað úr hinum tveimur sem eru mýkra og harðara bikið. Jafnvel kæmi til greina að nota bik með stungudýpt PG 50/70 þar sem álag af þungum bílum er mjög mikið, en það hefur ekki tíðkast hér á landi.

Íaukar og íblendi eru til dæmis plasttrefjar, sem draga úr hættu á að bindiefnið skiljist frá steinefninu í blöndun og flutningi, en þær eru til dæmis notaðar í steinríkt malbik (e. Stone Mastic Asphalt, SMA). Einnig má nefna viðloðunarefni sem styrkir bindinginn milli bindiefnis og steinefnis. Þessir tveir íaukar eru mjög lítill hluti af malbiksblöndunni í heild sinni. Í þriðja lagi er stundum bætt fínmöluðum kalksteini eða sementi út í malbiksblönduna (viðbætt fínefni), sem gerir hana stífari og hefur oft jákvæð áhrif á viðloðun. Fyrir malbik á vegi með mikilli og þungri umferð er, eins og fyrr segir, fjölliðum (e. polymers, t.d. SBS) gjarnan blandað í bindiefni eða malbik til að breyta seigjueiginleikum þess, aðallega til að það þoli betur sumarhita án þess að skríða til undir umferðinni og frosthörkur án þess að brotna. Fjölliður geta einnig bætt aðra eiginleika malbiks, svo sem viðloðun og slitþol gagnvart nagladekkjum. Þá er blöndun á vaxefnum í malbik algeng, til að auðvelda þjöppun og auka viðnám malbiksins gegn skriði í sumarhitum.

Eiginleikar malbiks

Tilgangurinn með hönnun malbiks er að velja grunnefni af heppilegri gerð og ákvarða blöndunarhlutföll þeirra þannig að líkur séu á að malbikið hafi æskilega eiginleika. Hönnunin tekur mið af aðstæðum þar sem á að nota malbikið (veðurfari, umferð, tiltækum hráefnum, tækjabúnaði o.s.frv.) og á eftir föngum að tryggja eiginleikana sem eru taldir upp hér á eftir:

- *Slitþol.* Með slitþoli malbiks er átt við þol þess gagnvart áraun negldra hjólbarða. Þetta er sá þáttur sem hefur hvað mest áhrif á endingu malbiks, þó því aðeins að umferðin sé meiri en 2500 ÁDU eða svo, samtals á tveimur akreinum. Tveir eiginleikar öðrum fremur ráða úrslitum, slitþol steinefnisins og hlutfall grófs efnis af steinefni.
- *Veðrunarþol* gagnvart vatni, frost/þíðu sveiflum og hálkuvarnarefnum. Mikilvægast í þessu sambandi er veðrunarþol steinefnis, en einnig holrýmd malbiksins (þ.e. hvort vatn nái að setjist til í malbikinu), svo og hæfilegt bindiefnisinnihald. Þó þarf ávalt að hafa í huga að nauðsynleg holrýmd sé til staðar eftir þjöppun til að varna því að hemlunarviðnám sé skert.
- *Viðnám gegn steinlosi.* Góð viðloðun milli bindiefnis og steinefnis vinnur gegn steinlosi, sömuleiðis hæfilega mikið bindiefnisinnihald.
- *Viðnám gegn skriði.* Hæfilegt bindiefnisinnihald hamlar gegn skriði, einnig hrjúft steinefni með hvössum brúnum og heppilegri lögun, hæfilegt fínefnainnihald (sem hlutfall af bindiefnismagni), hart bindiefni, heppileg kornadreifing og síðast en ekki síst íblöndun fjölliða eða vaxefna.
- *Hemlunarviðnám.* Of hátt bindiefnisinnihald og of lág holrýmd geta stuðlað að því að kröfur um hemlunarviðnám eru ekki uppfylltar og þarf þá að grípa til tafarlausra ráðstafana. Því er mikilvægt við framleiðslu malbiks að hafa sérstaklega eftirlit með að kröfur um lágmarksholrýmd á Marshallkjörnum séu uppfylltar. Hátt hlutfall af grófu steinefni hefur jákvæð áhrif, svo fremi steinefnið slípist (e. polish) ekki undir umferð. Hrýfi (e. texture), einkum fínhrýfi steinefnisins ræður einnig miklu um hemlunarviðnám.
- *Viðnám gegn þreytubroti.* Að þessum eiginleika stuðlar hátt bindiefnisinnihald, þéttur sáldurferill og góð viðloðun milli bindiefnis og steinefnis. Hérlendis vegur þessi þáttur þó lítið, miðað við slitþol og viðnám gegn skriði svo eitthvað sé nefnt.
- *Viðnám gegn frostsprungum.* Í miklu frosti skreppur malbikið saman og getur rifnað. Frostsprungur eru þó afar fátíðar, ef ekki óþekktar, hérlendis.
- *Viðnám gegn öldrun.* Mjúkt bindiefni og steinefni með góða viðloðun minnkar líkur á öldrunarskemmdum, sömuleiðis hæfilegt bindiefnisinnihald og holrýmd.

Eins og upptalningin hér að ofan sýnir geta æskilegir eiginleikar togast á við hönnun malbiks. Við hönnun malbiks þarf því oft að fara bil beggja og velja samsetningu malbiksins með bestun á eiginleikum þess. Um leið þarf að taka tillit til aðstæðna (veðurfars, umferðar) þar sem á að nota malbikið.

Hönnunarstikar og aðrir eiginleikar malbiks

Nokkrir mikilvægir hönnunarstikar (e. parameter) sem notaðir hafa verið hérlendis um árabil fyrir malbik eru holrýmd í malbiki, bindiefnisinnihald, festa og sig í Marshallprófi og hlutfall festu og sigs. Aðrir hönnunarstikar koma til greina til þess að leita að malbiksblöndum sem hafa tiltekna eftirsótta eiginleika. Hægt er að staðfesta eiginleika hannaðrar malbiksblöndu með aflrænum gerðarprófunum (e. performance related), svo sem próf á skriðeiginleikum, sliteiginleikum og vatnsnæmi. Slíkar prófanir er hægt að nota til að kanna hversu vel tókst til við hönnun. Þar sem væntanlegt álag á malbik vegna umferðar er mikið eru þessi aflrænu próf hluti af gerðarprófunum (e. Type Testing) í samræmi við fylgistaðal ÍST 75 „Framleiðsla á malbiki“[8]. Hér á eftir verður gerð

[8] Fylgistaðlar ÍST 75 Framleiðsla á malbiki og ÍST 76 Framleiðsla á steinefnum komu út í desember 2013. Þeir kveða á um hvaða gerðarprófanir og prófanir vegna framleiðslueftirlits skuli gera.

stutt grein fyrir áhrifum nokkurra hönnunarstika á eiginleika malbiks og heppilegu vali á þeim með hliðsjón af aðstæðum.

Holrýmd (%). Kröfur til holrýmdar eru annars vegar gerðar til að fyrirbyggja að vatn eigi greiða leið niður í bikbundin lög í veghlotinu og setjist þar að, frjósi og þiðni á víxl og valdi þannig skemmdum og hins vegar til að minnka líkur á að malbikið skríði til undir þungri umferð. Þá má nefna mikilvægi þess að tryggja að ætíð séu kröfur um lágmarkholrýmd uppfylltar til að tryggja að biksmit eigi sér ekki stað upp í yfirborðið. Malbik getur talist þétt ef holrýmdin er undir 3%, nokkurn veginn þétt ef holrýmdin er á bilinu 3-5%, lítillega lekt á bilinu 5-8%, en lekt ef holrýmdin er meiri.

Tiltölulega lág holrýmd í malbiki getur verið æskileg fyrir margra hluta sakir, þó ekki svo lág að það geti valdið biksmiti upp í yfirborðið. Íslenskt veðurfar gerir miklar kröfur til veðrunarþols malbiksins; slitlög eru blaut langtímum saman yfir vetrartímann og frost/þíðu sveiflur eru mjög margar, auk þess sem götur á höfuðborgarsvæðinu og vegir í nágrenni þess eru saltaðir margoft að vetrarlagi. Á móti kemur að með of lágri holrýmd eykst hættan á skriði undan þungri umferð talsvert á heitum sumardögum, en einnig er hætta á að hemlunarviðnám verði of lítið.

Íslenskar holrýmdarkröfur hafa verið snöggtum lægri en í nágrannalöndunum. Lengi var talið að sumur væru nægilega svöl hérlendis og miklir sumarhitar sjaldgæfir og því væri hætta á skriði í malbiki hverfandi. Á undanförnum árum hafa mörg sumur verið sólrík hér á landi og hitastig í slitlagi hefur mælst allt að 50°C á um 20 mm dýpi. Á síðustu árum hefur í auknum mæli borið á grunnum dældum við gatnamót og jafnframt djúpum hjólförum í malbiki, sérstaklega við umferðarmikil gatnamót og á skiptistöðum strætisvagna. Mælingar á malbiki á höfuðborgarsvæðinu hafa gefið til kynna að hluti skriðs í hjólfaramyndun væri 10-25%. Í skýrslu sem kom út 2014[9] kemur fram að skrið getur verið enn hærra hlutfall hjólfaramyndunar en fyrri mælingar bentu til í dæmigerðu AC malbiki með PG 160/220 biki. Rannsóknin bendir til að liðlega 40% hjólfaramyndunar verði vegna deigra formbreytinga eftir 2 ár, skv. sænsku spálíkani sem unnið var með. Eftir 8 ár eru formbreytingar liðlega 20% hjólfaramyndunar. Til að sporna við skriði, með tilliti til stöðugt aukins umferðarþunga og biksmiti í yfirborði malbiks var tekin ákvörðun hjá Vegagerðinni að hækka lægstu hönnuðu holrýmd í stífmalbiki úr 0,4% og nú síðast (2021) í 1,5%.

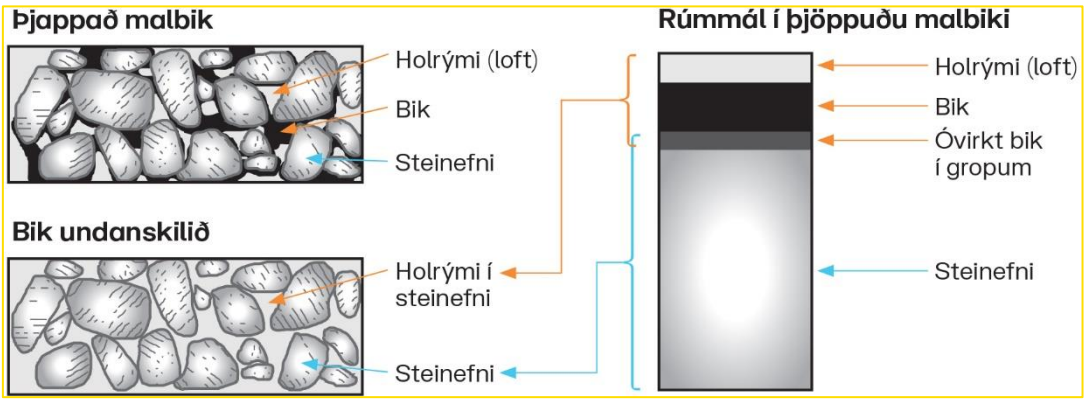
Rétt er að minna á að líkur á skriði stjórnast ekki eingöngu af holrýmd, þar sem samsetning malbiksblöndunnar, gerð og magn bindiefnis, íaukar og íblendi skipta líka máli. Líkurnar á skriði minnka að jafnaði með auknu fínefnainnihaldi (sem hlutfalli af bindiefnismagni), heppilegri lögun korna, auknu innihaldi af grófu steinefni, hækkandi brothlutfalli steinefnisins og stífara bindiefni, auk íblöndunar á fjölliðum og/eða vaxefnum.

Neðri mörk holrýmdar í Marshallprófi eru sett við 1,5% fyrir stífmalbik (AC) hérlendis, en sú krafa er í samræmi við ÍST EN 13108-1 um þá malbiksgerð. Neðri mörk holrýmdar eru sett 2,0% fyrir steinríkt malbik (SMA) hérlendis, en sú krafa er í samræmi við ÍST EN 13108-5 um þá malbiksgerð. Af tæknilegum ástæðum er æskilegt að bilið milli hámarks- og lágmarksholrýmdar í Marshallprófi sé minnst 2% (annars kann að verða erfitt að hanna malbik með tilskilinni Marshallholrýmd). Þess vegna eru efri mörk holrýmdar fyrir SMA í Marshallprófi sett 4,0% og 3,5% fyrir AC malbik.

[9] Birkir Hrafn Jóakimsson 2014: Hjólför í íslensku malbiki - Slit og deigar formbreytingar. MSc ritgerð við Háskóla Íslands.

Burðarlagsmalbik er undirlagsmalbik þar sem holrýmdin skiptir ekki eins miklu máli og í malbiki í slitlag. Hætta á skriði er mjög lítil, bæði vegna þess að álag frá umferð er farið að dreifast til muna og eins er ósennilegt að hitastig í burðarlagsmalbiki verði svo hátt að hætta sé á skriði af þeim sökum. Á hinn bóginn er mjög há holrýmd í burðarlagi óheppileg vegna hættu á sigi (vegna eftirþjöppunar). Lág holrýmd stuðlar hins vegar að góðu þreytuþoli sem er æskilegur eiginleiki, því burðarlagi er yfirleitt ætlað að endast margfalt á við slitlag.

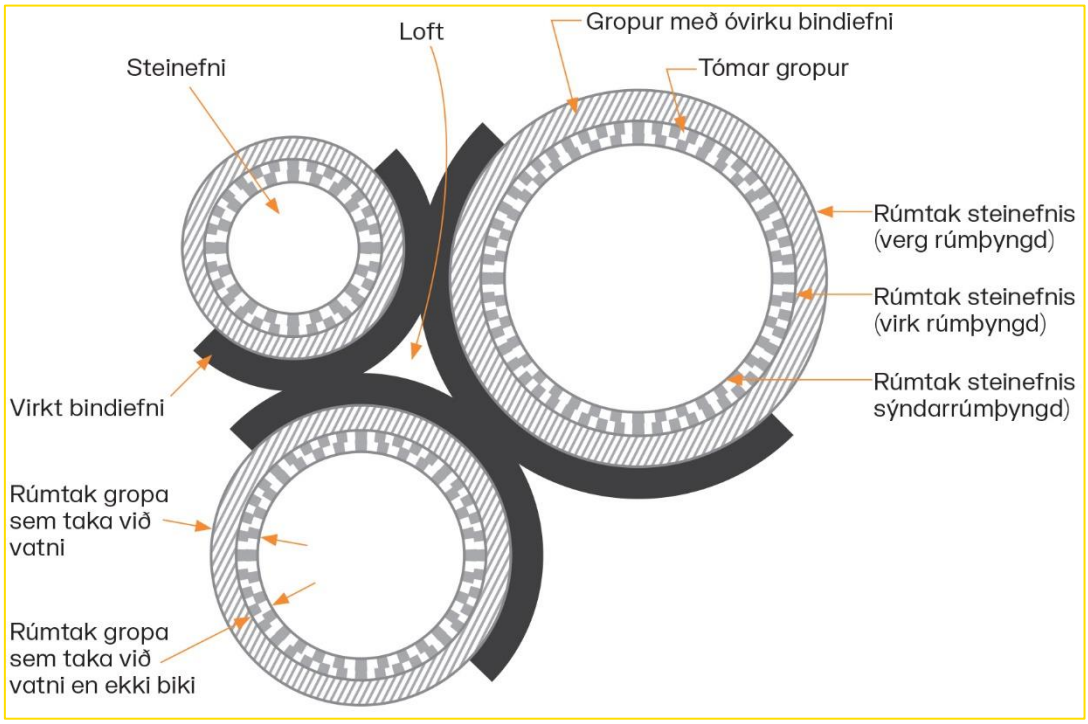
Holrýmd í steinefni (%) og bikfyllt holrýmd (%). Með holrýmd í steinefni er ekki átt við gropur í steinefnunum, heldur þann hluta af rúmmáli þjappaðrar malbiksblöndu sem steinefnið fyllir ekki. Með öðrum orðum er hún sá rúmmálshluti malbiksblöndunnar sem er loft og bindiefni að undanskildu bindiefni sem gengur inn í gropur í steinefninu við blöndun (óvirkt bindiefni), sjá mynd 64-1. Ófylltar eða lokaðar gropur í steinefnakornum eru taldar með rúmmáli steinefna. Holrýmd í steinefni breytist með sáldurferli, bindiefnisinnihaldi, hámarkskornastærð blöndunnar, þjöppun malbiksins og og öðrum stikum, svo sem kornalögun steinefnisins.



Mynd 64-1:
Myndræn framsetning á rúmmálshugtökum sem þarf til að lýsa holrýmd í malbiki, holrýmd í steinefni og fylltri holrýmd

Mynd 64-1 skýrir nánar hvernig hugtökin holrými í malbiki og holrými í steinefni tengjast efnishlutum malbiksins, steinefni og biki. Reiturinn „þjappað malbik“ sýnir afar grófa mynd af malbiki eftir þjöppun og er best lýst sem bindiefnishúðuðum steinum með loftrými á milli þeirra. Þetta loftrými, sem hlutfall af heildarrúmmáli malbiksins, er það sem í daglegu tali er kallað holrýmd í malbiki. Reiturinn „bik undanskilið“ sýnir sömu malbikssneiðina þegar búið er að fjarlægja bik. Nú hefur loftrýmið aukist sem svarar rúmmáli fjarlægða biksins og heitir nú holrými í steinefni (holrýmd í steinefni, þegar átt er við hlutfall þess af heildarrúmmáli malbiksins). Reiturinn hægra megin á myndinni gerir grein fyrir efnishlutum malbiksins (þó ekki endilega í réttum hlutföllum) og á meðal annars að sýna að óvirkt bik er sá hluti þess sem hverfur inn í gropur í steinefninu. Yfirleitt eru þó notuð það þétt steinefni í malbik að þessi hluti biks er hverfandi.

Steinefni sem notuð eru í malbik geta oft verið lítið eitt gropin, ekki síst íslensk steinefni. Með gropum er átt við holur í steinum sem ýmist eru algerlega lokaðar, þannig að vatn kemst ekki inn í þær, eða opnar út á yfirborð steinefnisins svo að þær geta fyllst af vatni (og að meira eða minna leyti af biki) ef svo ber undir. Að jafnaði eru opnu gropurnar svo þröngar að þær fyllast aðeins að mjög litlum hluta af bindiefni. Mynd 64-2 sýnir hvernig rúmtaki steinefnis má í stórum dráttum skipta niður í þrjá flokka eftir eiginleikum sem hafa áhrif á hönnun malbiks.



Mynd 64-2:
Skipting malbiks í rúmmál steinefnis, virkt og óvirkt bindiefni og loft

Steinefnakornin eru sýnd sem kúlur, ysta lagið á þeim (skástrikað) táknar þann hluta steinefnakornanna sem hefur nægilega víðar gropur til að þær geti tekið við bindiefni. Lagið fyrir innan (deplótt) táknar á hliðstæðan hátt þann hluta steinefnakornanna sem hefur gropur nægilega stórar til að þær geti tekið við vatni en ekki nægilega stórar til að taka við biki. Þar fyrir innan er svo sýndur sá hluti steinefnisins sem er hvorki aðgengilegur fyrir vatn né bik. Á milli steinefnakornanna er sýnd loftbóla sem er hluti af holrýmd malbiksins og svarta lagið utan á kúlunum táknar virkt bindiefni.

Annað nátengt hugtak er bikfyllt holrýmd. Með bikfylltri holrýmd er átt við þann hluta af holrýmd í steinefni sem er fylltur með bindiefni. Það sem eftir stendur er þá holrýmd (loft) í malbiki, sem í daglegu tali er stytt í holrýmd.

Ef sáldurferillinn er opinn í lögun getur holrýmd í steinefni farið allt upp í 30%. Ef fínefnainnihaldið er fram úr hófi hátt í annars grófum sáldurferli, getur holrýmd í steinefni á hinn bóginn farið niður fyrir 10%. Hæfileg holrýmd í steinefni er alla jafna á bilinu 14-20%. Í verklýsingum eru að jafnaði ekki gerðar kröfur til holrýmdar í steinefni, heldur tilgreind leiðbeinandi gildi.

Holrýmd í steinefni þarf að fylla með bindiefni, þó ekki að fullu, því þá er hætta á að bindiefnið pressist upp á yfirborðið í hitum, slitlagið verði hált og skríði undir þungri umferð. Á hinn bóginn þarf að fylla nægilega mikið af holrýmdinni í steinefninu með bindiefni til að slitlagið verði vatnsþétt, með öðrum orðum; svo að holrýmd í malbiki verði hæfileg. Heppileg bikfyllt holrýmd liggur gjarnan á bilinu 75-85%.

*Bindiefnisinnihald (%).*Hérlendis hefur heppilegasta bindiefnisinnihald oftast verið ákvarðað með Marshallprófi við hönnun malbiks. Ýmsir eiginleikar malbiks standa í nánu samhengi við bindiefnisinnihaldið en áhrif þess á eiginleikana eru ýmist jákvæð eða neikvæð eftir því hvaða eiginleikar eiga í hlut. Hátt bindiefnisinnihald eykur þreytuþol, dregur úr veðrun og líkum á viðloðunarskemmdum. Ef bindiefnisinnihald er hátt aukast líkur á skriði í malbiki, sérstaklega við hátt hitastig í vegi. Sama er að segja um hemlunarviðnám; þegar bindiefnið er orðið svo mikið að það pressast upp úr slitlaginu við völtun eða undir umferð, má búast við lægri viðnámsstuðli á blautum slitlögum, þar til negldir hjólbarðar hafa skrapað slikjuna af yfirborðinu.

Vegna umferðaröryggis eru gerðar kröfur um að viðnámsstuðull í nýlögðu malbiki sé ekki undir tilteknum mörkum. Í töflu 64-22 eru settar fram kröfur Vegagerðarinnar um að viðnámsstuðullinn sé > 0,55 óháð leyfðum hámarkshraða. Sumarið 2020 mældist viðnámsstuðull allt niður í 0,2 á malbiki og var sá vegur því hættulega háll þannig að grípa þurfti til sérstakra ráðstafana (sjá kafla 64.5.4). Í heimild[10] er lýst aðferðum til að mæla hemlunarviðnám og ráðstöfunum þegar yfirborð malbiks stenst ekki kröfur um hemlunarviðnám.Í töflu 64-3 eru sett fram leiðbeinandi gildi fyrir hámark og lágmark bindiefnis en innan þeirra marka er bindiefnisinnihald ákvarðað með Marshallprófi við hönnun blöndu. Tekið er tillit til gropu steinefna þegar bindiefnisinnihald er áætlað fyrir Marshallprófið, en í flestum tilfellum er reynt að sneiða hjá því að nota gropin efni á umferðarmikla vegi og götur.

Festa, sig og hlutfall festu og sigs. Mælingar á festu og sigi eru hluti af Marshallaðferðinni sem er ein sú algengasta af mörgum hönnunaraðferðum fyrir malbik. Festan er mælikvarði á brotþol malbikssívalnings, sem liggur á hliðinni í sívalningslaga móti sem er opið til endanna og sigið er mælikvarði á samþjöppunina þegar álagið nær hámarki. Aðferðin var þróuð um 1940 og er lang algengasta aðferðin til að ákvarða samsetningu malbiks, meðal annars vegna þess að með tímanum hefur safnast upp mikil reynsla af notkun hennar. Marshallaðferðin er fremur einföld, fljótleg og tiltölulega ódýr og hana er hægt að nota á öllum ferlinum, allt frá hönnun til eftirlits með framleiðslu. Aðferðin er einungis ætluð fyrir heitblandað malbik með hámarks kornastærð 22 mm og tiltölulega þéttan sáldurferil. Marshallaðferðin er því ekki eins heppileg til að hanna og prófa steinríkt, SMA malbik. Aðferðin hefur verið notuð hérlendis, bæði við hönnun og framleiðslu um langt árabil, en á síðustu árum hafa Evrópustaðlar um framleiðslu malbiks tekið gildi hérlendis. Í þeim er ekki reiknað með mælingu á festu og sigi samkvæmt Marshallprófinu við framleiðslueftirlit fyrir malbik á vegi (heldur eingöngu flugvallamalbik). Þjöppun á malbikskjörnum til mælinga á rúmþyngd og holrýmd er þó gerð með Marshall hamri vegna eftirlits með framleiðslu malbiks hérlendis.

Að jafnaði er sóst eftir hárri festu í malbiki í Marshallprófi sem er talið draga úr líkum á skriði. Sig er talið túlka sveigjanleika slitlagsins og minna sig en 2 mm er talið óheppilegt, þá verði slitlagið stökkt og líklegt til að springa. Á hinn bóginn er talið óheppilegt að sig fari yfir 4,5 mm, en það er oft fylgifiskur lágrar festu. Malbik með óeðlilega háa festu og lágt sig samtímis er talið óheppilegt vegna skorts á sveigjanleika og hættu á sprungumyndun.

Í töflu 64-15 eru birt leiðbeinandi gildi um festu, sig og hlutfallið milli þessara stika. Hafa ber þó í huga að ekki eru settar fram kröfur um þessi gildi, enda gera Evrópustaðlar ekki ráð fyrir að festa og

[10] Hallvarður Vignisson, „Hemlunarviðnám skilgreiningar og aðgerðir“, Verkfræðistofan Hnit, apríl 2019.

sig séu ákvörðuð fyrir malbik í vegi. Í fylgistaðli ÍST 75 og viðauka 4 kemur fram hvaða gerðarprófanir skal gera á malbiksgerðum í upphafi og sannreyna á fimm ára fresti, svo og í hvaða prófunum framleiðslueftirlit er fólgið.

Eins og áður hefur komið fram var því haldið fram að skrið í malbiki væri ekki vandamál á Íslandi vegna lágs hitastigs, nema undir sérstökum kringumstæðum svo sem á akreinum strætisvagna eða annarsstaðar þar sem umferð þungra bíla er mikil. Því var malbik á sínum tíma hannað með háu bindiefnisinnihaldi úr mjúku biki og lágri holrýmd, sem allt eru þættir sem stuðla að auknu skriði og jafnvel lágu hemlunarviðnámi eftir völtun. Malbiksrannsóknir undanfarinna ára, sýndu hins vegar verulega hættu á skriði í malbiki við mikið umferðarálag. Því er nú orðið ljóst að skrið getur verið vandamál samfara álagi af auknum umferðarþunga, ef ekki er vandað vel til hönnunar á malbiki fyrir slíkar aðstæður.

Vatnsnæmi. Vatnsnæmi lýsir áhrifum vatns á endingu malbiks og er samspil margra þátta. Þeir mikilvægustu eru viðloðun bindiefnis við steinefni (sem er lýst í kafla 64.2.2), notkun viðloðunarefna og holrýmd. Slitlög hérlendis eru oft blaut langtímum saman á veturna og frost/þíðu-sveiflur margar. Tilraunir hafa sýnt að malbikskjarnar úr saltblönduðu steinefni, sem hafa legið lengi í vatni, skemmast fyrr undir sveiflandi álagi en malbikskjarnar úr samskonar saltlausu steinefni. Vegna notkunar negldra hjólbarða rofnar bindiefnishúðin á steinum í yfirborði slitlagsins strax á fyrsta vetri og þar með getur vatn komist á milli bindiefnis og steins og rofið bindinginn þar á milli. Á síðari árum hefur tíðkast að setja viðloðunarefni í bindiefnið til að styrkja tengslin milli bindiefnis og steinefnis. Hér er mælt með að viðloðunarefni sé ávallt blandað í bindiefni fyrir blöndun malbiks, óháð gerð steinefnis og að hlutfall þess sé um 0,3% af bindiefninu.

Ýmsar aðferðir eru tiltækar til að mæla vatnsnæmi en þær eru allar annmörkum háðar og yfirleitt hefur ekki tekist að sýna fram á sterkt samband milli prófunarniðurstöðu og endingar. Sú aðferð sem er hluti Evrópustaðla fyrir malbik er vatnsnæmipróf samkvæmt ÍST EN 12697-12 (e. Determination of the water sensitivity). Prófunaraðferðin felst í því að bera saman kleyfnitogþol malbikssýna, sem hafa legið í vatni í tiltekinn tíma, við kleyfnitogþol samskonar malbikssýna sem hafa verið geymd jafnlengi þurr. Kostur við þessa aðferð er að hana má nota jafnt á kjarna gerða á rannsóknastofu með Marshall- eða snúðþjöppu, sem og borkjarna úr slitlagi.

Krafa um vatnsnæmi er hluti af gerðarprófum á malbiki sem ætlað er þar sem umferðarálag er mikið (> 8000 ÁDU miðað við heildarumferð, > 400 $ÁDU_þ$ eða sambærilegt álag), sbr. fylgistaðal ÍST 75 „Framleiðsla á malbiki“ og viðauka 4. Vatnsnæmiprófið er óbeinn mælikvarði á viðloðun í malbiki.

Skrið. Skrið undan umferðarálagi þungra bíla getur átt sér stað í malbiki að sumarlagi og er mælt með hjólfaraprófi. Skriðið getur verið umtalsvert og er mikilvægt að hanna malbik sem verður fyrir miklu álagi að sumarlagi með tilliti til þessa stika. Krafa um hámarkshjólfaramyndun malbiks í hjólfaraprófi er hluti af gerðarprófum á malbiki sem ætlað er þar sem umferð er mikil (> 8000 ÁDU miðað við heildarumferð, > 400 $ÁDU_þ$ eða sambærilegt álag), sbr. fylgistaðal ÍST 75 „Framleiðsla á malbiki“ og viðauka 4.

Slitþol. Með slitþoli malbiks er átt við þol þess gagnvart áraun negldra hjólbarða. Þetta er sá þáttur sem hefur hvað mest áhrif á endingu malbiks, þó því aðeins að umferðin sé mikil. Tveir eiginleikar öðrum fremur ráða úrslitum um slitþol malbiksins, þ.e. slitþol steinefnisins og hlutfall grófs steinefnis. Krafa um slitþol malbiks, mælt með Prall slitþolsprófi er hluti af gerðarprófum á malbiki

sem ætlað er þar sem umferð er mikil (> 8000 ÁDU miðað við heildarumferð, > 400 $ÁDU_Þ$ eða sambærilegt álag), sbr. fylgistaðal ÍST 75 „Framleiðsla á malbiki“ og viðauka 4.

Sáldurferill. Rétt er að taka fram að sáldurferill er ekki hönnunarstiki í venjulegum skilningi þar sem ekki er hægt að lýsa sáldurferli með einni eða tveimur tölum. Á hinn bóginn hefur sáldurferillinn afgerandi áhrif á eiginleika malbiksins og af þeirri ástæðu er fjallað um hann sérstaklega sem stika.

Sáldurferlar í malbiki geta verið mjög mismunandi, en þegar sáldurferill hefur verið ákveðinn fyrir tiltekna blöndu eru gerðar kröfur um að hann breytist ekki út fyrir sett mörk. Ástæðan er sú að breyting á sáldurferlinum, að öðrum stikum óbreyttum, hefur umtalsverð áhrif á eiginleika malbiksins. Til dæmis má taka að ef sáldurferill reynist grófari en blöndunarforskrift malbiksins gerir ráð fyrir, má búast við að holrýmdin aukist, en við það eykst hætta á vatnsskemmdum, fleiðrum og ótímabærri öldrun malbiksins. Á hinn bóginn má taka að ef sáldurferill reynist fíngerðari en blöndunarforskrift gerir ráð fyrir, má búast við að holrýmdin minnki, en við það eykst hætta á að bindiefni þrýstist upp í yfirborð malbiksins og valdi skertu hemlunarviðnámi og jafnvel hættu á skriði. Af þessum sökum er leyfilegum vikum frá tilgreindum sáldurferli settar þröngar skorður í framleiðslu malbiks, samanber kröfur um þolmörk kornadreifingar, sjá töflur 64-18, 64-19, 64-20 og 64-21 í kafla 64.5.2 um kröfur til efnismassa.

Í verklýsingum fyrir malbik er sáldurferillinn alltaf sýndur sem þyngdarhluti sýnisins sem smýgur tiltekið sigti (sáldur), sem fall af möskvastærð sigtisins. Venjulega er möskvastærðin sýnd (í mm) á lárétta ásnum, en sáldur sýnisins á lóðrétta ásnum (í %). Þrír eiginleikar sáldurferils öðrum fremur eru mikilvægir fyrir eiginleika malbiksins, þ.e. hlutfall fínefna < 0,063 mm af steinefninu, efri flokkunarstærð þess og lögun sáldurferilsins þar á milli. Fínefnainnihald í malbiki er oftast valið á bilinu 6-10% af þyngd steinefnisins, þó misjafnt eftir malbiksgerð. Meginhlutverk fínefna er að minnka holrýmd malbiksins og draga þannig úr vatnsnæmi þess. Jafnframt auka þau stífni malbiksins, því þegar fínefnin blandast bindiefninu verður blandan seigari og vinnur þannig gegn skriði. Ef hlutfall fínefnis og bindiefnis verður mjög hátt er hins vegar hætta á að malbikið verði óþjált og erfitt í útlögn og við það hækkar holrýmdin. Því eru oft settar takmarkanir á hlutfallið fínefni/bindiefni í verklýsingum og gjarnan miðað við að það fari ekki yfir 1,5 og ekki undir 1,15 fyrir AC og SMA malbik.

Rannsóknir hafa sýnt að slitþol malbiks eykst með efri flokkunarstærð steinefnisins, þó ekki undantekningarlaust, þar sem til dæmis slitþol grófa hluta steinefnisins sem notað er í malbikið ræður miklu um slitþol þess. Hemlunarviðnám fer vaxandi með efri flokkunarstærð, einkum á vegum þar sem negldir hjólbarðar eru notaðir á vetrum og umferðarhraði er mikill. Ástæðan er sú að yfirborð slitlagsins verður grófara með stækkandi hámarkskornastærð og vatn sem verður á milli hjólbarða og slitlags á greiðari leið burt en ella. Á hinn bóginn eru slitlög með fíngerðu steinefni hljóðlátari en þau sem eru úr grófara steinefni.

Lögun sáldurferilsins hefur veruleg áhrif á eiginleika malbiksins. Hæfilega þéttur sáldurferill stífmalbiks (AC) hefur margvísleg jákvæð áhrif, að því gefnu að lágmarksholrýmd sé > 1,5%. Festan er að jafnaði mikil, ef bindiefnisinnihaldið sé hæfilegt, malbikið verður þéttara og ver sig betur fyrir vatni. Malbik með þéttum sáldurferli er að öðru jöfnu þjált í útlögn og völtun. Á hinn bóginn getur sáldurferillinn orðið of þéttur, þannig að ekki verði nægilegt rúm fyrir bindiefnið, en það getur aukið hættu á skriði, eða að bindiefnið þrýstist upp í yfirborð slitlagsins og veldur skertu hemlunarviðnámi.

Stundum er sáldurferillinn af ásettu ráði hafður verulega frábrugðinn þéttasta sáldurferli. Dæmi um þetta er svokallað drenmalbik. Sáldurferill drenmalbiks er hafður mjög opinn þannig að vatn geti seytlað gegnum malbikið og út til hliðanna og standi ekki uppi í hjólförum. Holrýmd í slíku malbiki er gjarnan höfð 15-20%, en talið er að álag af völdum nagladekkja útiloki notkun á drenmalbiki sem slitlagsmalbik hérlendis. Annað dæmi er steinríkt malbik (SMA) þar sem hluti grófs steinefnis er aukinn til muna á kostnað grófs sands, þannig að sáldurferillinn verður tiltölulega flatur á bilinu 1-5 mm, en fínefnainnihaldið og bindiefnismagnið er aukið til að fylla að hluta upp í holrúmið sem myndast.

Markalínur ÍST EN-staðlanna fyrir mismunandi malbiksgerðir eru tiltölulega rúmar og leyfa margskonar sáldurferla. Samt sem áður ætti alltaf að vera keppikefli malbikshönnuða að hannaður sáldurferill liggi sem næst samsíða markalínunum og innan þeirra að teknu tilliti til þolvika.

Eiginleikar mélu (e. filler). Því skal haldið til haga hér að méla (100% smjúga 2 mm sigti, 85-100% smjúga 0,125 mm sigti og 70-100% smjúga 0,063 mm sigti samkvæmt skilgreiningu) er vigtuð inn í blönduna, s.s. þyngdarhlutfall hennar ræður hversu mikið er sett í malbikið. Hins vegar getur kornarúmþyngd mélu verið afar mismunandi eftir uppruna og rúmmál sömu þyngdar því verið mismikið. Aðrir eiginleikar mélu, svo sem kornadreifing, lögun, yfirborðsflatarmál og áferð skipta allir máli um hæfi hennar í malbik. Framangreindir eiginleikar ráða miklu um hvað mélan getur bundist miklu bindiefni, en það hefur m.a. áhrif á stífni malbiksins. Unnt er að áætla það með því að mæla kornarúmþyngd og einnig holrýmd í þurri, þjappaðri mélu. Segja má að það sé tvennt sem æskilegt er að fylgst verði með reglulega varðandi eiginleika mélu úr stöð, en það er kornarúmþyngd hennar og fínleiki (stærðardreifing mélunnar). Æskilegt er að minnst 80% mélunnar (fyrir íblöndun) smjúgi 0,063 mm sigti. Ef kornarúmþyngdin er há getur getur verið ráðlegt að auka aðeins við magnið (þyngdina) miðað við mélu með lága kornarúmþyngd til að ná sambærilegu rúmmáli mélu. Að sama skapi mætti minnka magnið (þyngdina) aðeins ef kornarúmþyngdin er lág. Mæld gildi á holrýmd mélu liggja að mestu á bilinu 30 til 40%, sem er tiltölulega þröngt bil[11]. Kornarúmþyngd mélu, er hins vegar nokkuð breytileg eftir berggerð og liggur á bilinu 2,70 til 3,05 Mg/m^3. Méla úr súru bergi[12] (innflutt) er með gildi milli 2,7 og 2,85 Mg/m^3 og méla úr basísku bergi er frá 2,85 og upp fyrir 3,0 Mg/m^3. Segja má að magn mélu miðist í grunninn við kornarúmþyngdina 2,85 Mg/m^3 sem er um það bil miðgildi milli þeirra mélugerða sem notuð eru hérlendis. Ef kornarúmþyngdin er meiri eða minni þarf að auka eða minnka þyngd mélu í samræmi við hlutfall kornarúmþyngdar miðað við grunnrúmþyngdina 2,85 Mg/m^3. Á þessu stigi er hvorki gerð krafa um fínleika mélu, né ákvæðum sem byggja á rúmþyngd hennar í kafla 64.5 um kröfur, en það gæti breyst með tilliti til frekari rannsókna á því sviði.

Hérlendis hefur ekki tíðkast að mæla holrýmd og kornarúmþyngd mélu sérstaklega, né að halda mélu af mismunandi uppruna aðskilinni í stöð, aðallega af tæknilegum ástæðum. Algengasta aðferðin til að mæla holrýmd í mélu (< 0,125 mm) er Rigden aðferðin sem lýst er í ÍST EN 1097-4. Á árunum 2015 til 2017 voru gerðar fjölmargar mælingar með Rigden aðferð hjá NMÍ á mélu frá malbikunarstöðvunum Höfða og MHC. Í ljós kom að holrýmdin lá á bilinu 32 til 41% sem er á

[11] http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/slitlog_malbik_afangi_2017/$file/Slitl%C3%B6g%20-%20malbik%20-%C3%A1fangi%202017.pdf

[12] Méla úr súru bergi er gjarnan ljós á lit, en basísk méla er dökk. Méla sem notuð er í framleiðslu malbiks getur verið blanda mismunandi berggerða, þar sem oft er skipt um framleiðsluafurð en áfram notuð sama mélan.

tiltölulega þröngu bili og í góðu samræmi við stífar kröfur í framleiðslustaðli ÍST EN 13043 fyrir steinefni í malbik. Í sömu rannsókn var reiknuð kornarúmþyngd mélunnar á bilinu 2,7 – 3,0 Mg/m^3. Í ljósi þess að méla er viktuð inn í steinefnakúrfuna er ljóst að kornarúmþyngd mélu getur haft talsverð áhrif á magn hennar í malbikinu. Það mætti hugsa sér að nálgast frekar rúmmál mélu við íblöndun með því að nota leiðréttingarstuðul, t.d. byggðan á því að deila í 2,85 ef kornarúmþyngdin er lægri en það tölugildi, en deila með 2,85 ef kornarúmþyngdin er hærri. Síðan að margfalda magn mélu (kg eða tonn) með stuðlinum sem fæst úr rúmþyngdarjöfnunni. Sem dæmi má taka að ef kornarúmþyngd mélu er 2,7 Mg/m^3 þá 2,7/2,85 = 0,95 og þannig minnkar t.d. 1000 kg af mélu í 1000 x 0,95 = 950 kg. Hins vegar ef kornarúmþyngd mélu er 3,0 Mg/m^3 þá 3,0/2,85 = 1,05 og þannig hækka 1000 kg af mélu í 1000 x 1,05 = 1050 kg.

Veðrunarþol. Eins og öll slitlög vega verður malbikið fyrir áraun frá frost/þíðu-sveiflum. Þess vegna er mikilvægt að steinefnið sem í það er notað sé frostþolið. Rannsóknir hérlendis hafa hins vegar sýnt að frost/þíðu-sveiflur einar sér ráða ekki úrslitum um endingu malbiksblöndunnar (þ.e. blöndu steinefnis og bikbindiefnis), en þær verða hins vegar til að auka slitáhrif negldra hjólbarða enn frekar. Ástæðan fyrir litlum veðrunaráhrifum frá frost/þíðu-sveiflum einum sér á malbiksblönduna, er líklega meðal annars sú að hérlendis er oftast gerð krafa um tiltölulega lága holrýmd í malbiki, svo og stífar kröfur um frostþol steinefna sem notuð eru í malbik.

Hemlunarviðnám. Hemlunarviðnám er mikilvægur eiginleiki slitlags, en það getur ekki talist stiki í malbikshönnun. Nefna má þrjú atriði sem beint eða óbeint hafa einhver áhrif á hemlunarviðnám.

Ef *bindiefnisinnihald* er of hátt miðað við holrýmd í steinefni (þ.e. holrýmd í malbiki er of lítil) getur farið svo að bindiefnið pressist upp úr slitlaginu, annað hvort í sumarhitum eða við þjöppun meðan á útlögn stendur. Þá geta myndast feitir blettir á yfirborði slitlagsins með lágt hemlunarviðnám. Lágt bindiefnisinnihald er að öðru jöfnu talið stuðla að betra hemlunarviðnámi. Sé bindiefnið of mikið mun það sem umfram er koma fyrr eða síðar upp á yfirborðið.

Yfirborðseiginleikar steinefna skipta einnig máli. Sum steinefni hafa tilhneigingu til að slípast undir umferð einkum þau sem eru slitþolin. Þá getur hemlunarviðnámið orðið of lítið vegna lítils núningsviðnáms milli hjólbarða og steinanna í yfirborði slitlagsins. Þetta á þó aðeins við ef slitlagið er blautt; þurrt malbik er undir venjulegum kringumstæðum talið hafa nægilegt hemlunarviðnám. Ef umferðarhraðinn er lítill hefur slípunin afgerandi áhrif á hemlunarviðnámið. Eftir því sem hraðinn eykst fara hlutfallsleg áhrif slípunar minnkandi en grófleiki slitlagsins verður mikilvægari, þ.e.a.s. hæfileikinn til að veita burtu vatni sem verður á milli hjólbarða og slitlags. Skilin þarna á milli eru ekki skörp en við mikinn hraða getur farið svo að bíllinn fljóti upp ef vatnið á ekki greiða leið út undan hjólbarðanum. Negldir hjólbarðar vinna gegn slípun steinefnisins.

Mæling á slípun steinefna (e. Polished Stone Value, PSV). Með þessari aðferð er mælt hversu mikið steinefni slípast við ákveðna áraun, sjá kafla 64.2.2 og í viðauka 1. Mikil slípun steinefna getur valdið því að hemlunarviðnám á yfirborði malbiks verði of lágt, sjá kröfur til hemlunarviðnáms í töflu 64-22.

Mæling á endurskini frá steinefnum (n: Lyshetsmåling). Þennan eiginleika steinefna má mæla eins og lýst er í riti norsku vegagerðarinnar, Håndbok R210 Laboratorie-undersøkelser, kafla 115. Aðferðin felst í því að mæla endurskin steinefnis í stærðarflokki 0,125 til 0,250 mm með sérstökum endurskinsmæli, sjá kafla 64.2.2 og viðauka 1.

Efri flokkunarstærð steinefna í malbiki hefur óbein áhrif á hemlunarviðnám í samspili við neglda hjólbarða, ef umferðarhraðinn er mikill. Ef steinefnið er slitþolið verður yfirborð slitlagsins fljótlega fremur gróft þar sem steinarnir standa þá upp úr. Það verður til þess að vatn á tiltölulega greiða leið út úr snertifletinum milli hjólbarða og slitlags sem er jákvætt fyrir hemlunarviðnámið, þó fyrst og fremst ef bílarnir eru á miklum hraða.

Meðan negldir hjólbarðar eru notaðir í miklum mæli er ósennilegt að hemlunarviðnám sé of lítið, nema á tímabilinu frá því að slitlagið er lagt og þar til nagladekkin hafa hreinsað bindiefnisslikju og feita bletti af yfirborðinu. Þó er rétt að taka fram að í Noregi og hér á landi hefur mælst hálka á slitlögum yfir sumartímann sem nemur um 0,2 einingum í hemlunarviðnámi. Fari svo að verulega dragi úr notkun negldra hjólbarða, getur hemlunarviðnám breyst til hins verra á íslenskum slitlögum.

Gerðarprófanir. Í ÍST EN 13108-1 um framleiðslu stífmalbiks (AC) eru ákvæði um festu, sig og hlutfall festu og sigs, en aðeins fyrir malbik sem er ætlað fyrir flugvelli. Samsvarandi staðall ÍST EN 13108-5 fyrir steinríkt malbik (SMA) hefur engin ákvæði um þessa stika.

Í staðli ÍST EN 13108-20 eru ákvæði um að malbik skuli gerðarprófa og eru tilgreindar nokkrar aðferðir þar að lútandi. Hér á landi hefur verið valið að mæla skrið í malbiki með hjólfaraprófi við gerðarprófanir (samkvæmt ÍST EN 12697-22) ef malbik er hannað til að þola mikla umferð, sbr. fylgistaðal ÍST 75 „Framleiðsla á malbiki“. Einnig skal mæla slitþol malbiks með Prall aðferð (samkvæmt ÍST EN 12697-16) og vatnsnæmi malbiks (samkvæmt ÍST EN 12697-12) sem hannað er á götur með mikilli umferð. Í fylgistaðli ÍST 75 og viðauka 4 eru nánari fyrirmæli um prófunaraðferðir við gerðarprófanir á malbiki (e. Type Testing) til að mæla skriðeiginleika, sliteiginleika og vatnsnæmi viðkomandi malbiksblöndu ef umferð er > 8000 ÁDU miðað við heildarumferð, > 400 $ÁDU_þ$ eða sambærilegt álag.

Í Evrópustöðlum um framleiðslu malbiks eru tilgreindar 9 gerðir malbiks og er framleiðslustaðall um hverja gerð. Í eftirfarandi töflu (ótölusett) eru númer og ensk heiti hverrar gerðar fyrir sig, en einnig íslenskar þýðingar sem Staðlaráð Íslands hefur samþykkt og tekið upp. Athygli er vakin á því að það sem nú er nefnt stífmalbik (AC) var áður nefnt slitlagsmalbik (SL). Nú má því líta svo á að heitið slitlagsmalbik eigi við sem yfirheiti um allar gerðir malbiks sem ætlaðar eru sem slitlag vega.

Staðall	Enskt heiti	Íslensk þýðing
ÍST EN 13108-1	Asphalt Concrete (AC)	Stífmalbik
ÍST EN 13108-2	Very Thin Layer Asphalt Concrete	Þunnt malbik
ÍST EN 13108-3	Soft Asphalt	Mjúkmalbik
ÍST EN 13108-4	Hot Rolled Asphalt	Gapmalbik
ÍST EN 13108-5	Stone Mastic Asphalt (SMA)	Steinríkt malbik
ÍST EN 13108-6	Mastic Asphalt	Biksteypa
ÍST EN 13108-7	Porous Asphalt	Gropið malbik
ÍST EN 13108-8	Reclaimed Asphalt	Malbikskurl
ÍST EN 13108-9	Asphalt for Ultra-Thin Layer (AUTL)	Malbiksskel
ÍST EN 13108-31	Asphalt concrete with bituminous emulsion	Bikþeytumalbik

Líming malbiks við undirlag. Til að tryggja að malbik bindist undirlaginu með fullnægjandi hætti er nauðsynlegt að bera bindiefni til límingar á yfirborð undirlags. Yfirleitt er notuð bikþeyta til límingar og er dreift um 0,3 kg/m^2 af bikþeytu. Bikþeytan skal hafa brotnað, þ.e. að vatnið hafi skilist frá, áður en malbikið er lagt yfir. Þegar lagt er yfir bundið undirlag skal dreifa límefni yfir allan flötinn.

Límbera skal alla kalda kanta sem lagt er að með malbiki. Víkja má frá því að límbera ef verkkaupi heimilar að nota kanthitara til þess að hita upp kant á fyrri færu. Yfirborðshiti kants skal að jafnaði vera a.m.k. 140°C þegar malbik er lagt að kantinum.

Endurvinnsla malbiks. Hér á eftir fara nokkrir fróðleiksmolar um endurvinnslu malbiks, en segja má að í grunnin sé hún tvenns konar. Annars vegar er um að ræða að kalt malbik er tekið upp úr götu (annað hvort í flekum eða fræst upp) og það svo unnið frekar til íblöndunar síðar, t.d. í malbik eða burðarlag, eða lagt sem 100% endurunnið efsta lag burðarlags (sjá kafla 5 Burðarlag). Hins vegar er um að ræða upphitun og skröpun á gömlu malbiki á staðnum sem síðan er lagt aftur og valtað, venjulega eftir ákveðna íblöndun.

- *Köld endurvinnsla.* Eins og fyrr segir hefst köld endurvinnsla á því að fjarlægja gamalt malbik sem á að endurvinna í vinnslustöð. Þar er gamla malbikið sem annað hvort er fræst úr götu (malbiksfræs) eða tekið upp í malbiksplötum, sett í gegnum vinnsluferli og er afurðin úr því ferli kallað malbikskurl. Þessi afurð er að því leytinu einsleit að reynt er að stýra kornadreifingu hennar eins og kostur er, en aðrar breytur geta verið mismunandi. Þar má nefna að steinefni endurunna malbiksins getur augljóslega verið breytilegt eftir því hvað var notað hverju sinni í malbikið sem er endurunnið. Að sama skapi getur bikgerðin verið breytileg, til dæmis hvað varðar stungudýpt, en auk þess harðnar og stífnar bik með tímanum og missir að mestu sína upphaflegu eiginleika. Leyfilegt er samkvæmt Evrópustöðlum, t.d. um framleiðslu stífmalbiks AC (ÍST EN 13108-1) í slitlag, að nota allt að 10% af malbikskurli án þess að um sé að ræða aðra gerð af malbiki. Ef meira magn af kurli er notað í slitlagsmalbik skal fara eftir framleiðslustaðli ÍST EN 13108-8 (e. reclaimed asphalt), en sá staðall setur fram viðbótarkröfur um sérstakar mælingar á endurunna bikinu til að unnt sé að ná t.d. réttri stungudýpt af blöndunni í heild sinni.

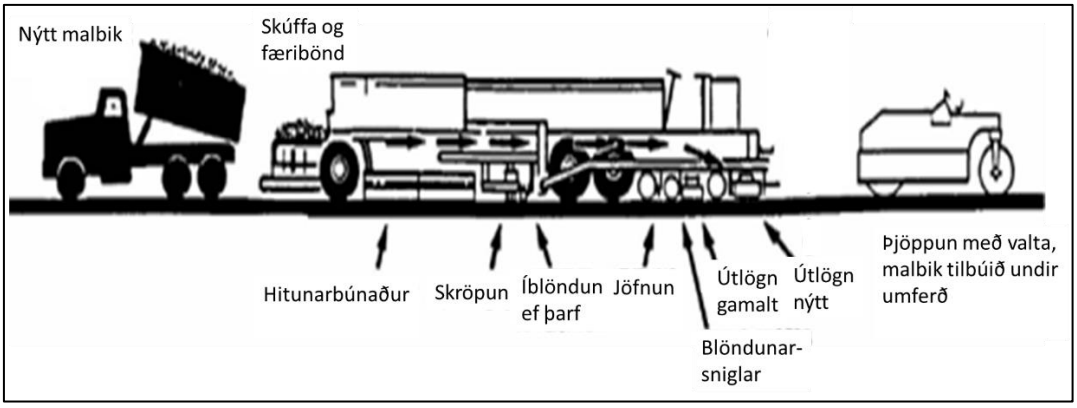
Hérlendis hefur tíðkast nú um nokkurra ára skeið að blanda malbikskurli í stífmalbik um eða undir þeim mörkum sem leyfilegt er samkvæmt framleiðslustaðli. Einnig er malbikskurl notað til íblöndunar í óbundin burðarlög, gjarnan um 20 til 25% sem talið er hafa jákvæð áhrif á burðargetu

(stífni) burðarlagsins. Stefnt hefur verið að því að auka magn malbikskurls í slitlagsmalbik, en til þess að það sé unnt þarf að flokka malbikskurl eftir gæðum þess, en ekki að blanda saman kurli úr gömlu malbiki, t.d. með mismunandi steinefnum. Það þarf sem sagt að aðskilja framleiðslu á malbikskurli eftir uppruna endurunna malbiksins.

- *Heit endurvinnsla á staðnum (e. on site).* Samkvæmt heimildum er aðallega um þrenns konar útfærslur á heitri endurvinnslu á staðnum að ræða. Þær eiga það þó sameiginlegt að yfirborð gamla slitlagsins er hitað upp með sérstökum tækjabúnaði, það skrapað upp þegar það er orðið nógu heitt og lagt aftur á veginn eftir íblöndun. Venjulega er notað logandi gas við upphitunina, bæði við forhitun og við uppskröpun, en þó óbeint þar sem gasið hitar upp málmplötu sem er á milli þess og yfirborðsins sem hitað er upp. Hér á eftir er fjallað lítillega um þessar þrjár aðferðir.

→ *Yfirborðsendurvinnsla (e. surface recycling).* Þessi aðferð er í raun ætluð til að gera við efsta hluta slitlagsins til að eyða út sprungum, jafna út hjólför og í raun vatnsþétta efsta lagið. Oftast eru einungis 20 til 25 mm hitaðir og skrapaðir upp til íblöndunar. Með þessari aðferð er einungis blandað við efni til að bæta eiginleika bikbindiefnisins (e. rejuvinator) og svo er endurþjappað með gúmmíhjólavalta. Oft er þessi aðferð notuð til að þétta og slétta út undirlag fyrir nýtt lag til að leggja yfir. Þessi aðferð hefur ekki verið notuð hérlendis til endurvinnslu, en hugsanlega gæti hún komið til greina til að jafna undirliggjandi slitlag áður en nýtt lag er lagt. Aðferðin er mest notuð á gamalt malbik.

→ *Endurlögn malbiks á endurunnið malbik (e. repaving)*. Þessi aðferð hefur verið talsvert notuð hérlendis og felst í því að skrapa upp og jafna út gamla malbikið eftir hitun og leggja svo nýtt malbik yfir í sömu aðgerð. Þessi aðferð hentar vel til að jafna út gamla malbikið og eyða skemmdum í efsta hluta þess og kemur í því tilliti í stað kaldfræsunar. Þegar upphitaða gamla malbikið hefur verið skrapað upp, jafnað út og lagt út og hefur kólnað niður í u.þ.b. 100°C, leggur vélin út nýtt malbik ofan á það gamla. Bæði lögin eru síðan völtuð saman á sama hátt og venjulegt malbik, en nýja lagið getur verið þynnra en hefðbundið malbik, þar sem gamla lagið bætist í raun við þykktina. Skýringamyndin hér að neðan sýnir á myndrænan hátt meginþættina við endurlögn malbiks á endurunnið malbik[13].



[13] Mynd tekin af slóðinni: https://www.fhwa.dot.gov/pavement/recycling/98042/09.cfm

Oftast er notast við forhitaraeiningu sem hitar gamla malbikið upp, auk hitunarbúnaðar á útlagnavélinni sjálfri eins og sést á myndinni.

- *Blöndun á nýju malbiki og endurunnu malbiki (e. remixing)*. Þessi aðferð er ekki í notkun hérlendis, en hún felst í því að blanda saman gamla malbikinu og nýju, viðbættu malbiki á staðnum, eða jafnvel einungis steinefni, auk íblendiefna (e. recycling agent). Fyrst er vegyfirborðið hitað niður á 40 til 50 mm dýpi, skrapað upp og sett í sérstakan blandara (e. pugmill) ásamt íblendiefnum og nýju malbiki (eða steinefni) og fer blandan svo í snigla sem dreifa blöndunni í jafnt lag undir útlagnarvélinni. Síðan er þessi malbiksblanda lögð út í einu lagi undan bretti með titringi og völtuð á hefðbundinn hátt.

- *Að lokum*. Notkun á hiturum til að mýkja gamla bikbindiefnið getur orsakað ofhitnun, en hún getur valdið skaða á bikinu, sem sést á því að það rýkur mikið úr því og óæskilegar lofttegundir geta rokið úr gömlu bikblöndunni. Ef gamla malbikið er hins vegar of kalt getur það valdið því að steinefnið brotni við uppskröpunina. Forhitun á gamla malbikinu leiðir til þess að malbikið hitnar mun hægar upp og jafnt yfir allt yfirborðið og síðasti hitarinn þarf þá ekki að vera of heitur og æskilegt lokahitastig næst. Þá er yfirleitt notaður sérstakur tækjabúnaður sem er til þess að hættulegar lofttegundir sleppi ekki út í andrúmsloftið. Búnaðurinn sogar saman gufu og reyk sem rjúka úr við upphitunina og þannig er hægt að varna því að slík efni sleppi. Þar sem notað hefur verið viðgerðarefni til að fylla í sprungur í gamla malbikinu er sérstaklega hætt við að kvikni í og slíkur eldur getur valdið ofhitnun og skemmdum á bikbindiefninu. Til að varna slíku er hægt að dreifa 1 til 2 mm sandi yfir viðgerðarefnið áður en hitararnir fara yfir það.

  Heit endurvinnsla á staðnum hefur ýmsa kosti til að bera ef vel tekst til. Segja má að með þessari aðferð fari saman endurvinnsla og útlögn malbikslags í einni aðgerð, en köld endurvinnsla kallar á tvær aðgerðir, þ.e.a.s. að fjarlægja efnið sem á að endurvinna, blanda því svo við nýtt malbik í stöð og loks að leggja blönduna út sérstaklega.

64.2 Próf við hönnun

Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar steinefnaprófanir þegar fyrirhuguð er efnistaka á steinefnum í malbik á nýjum efnistökustað. Ef efnisnám er fyrirhugað á námusvæði sem er í stöðugri vinnslu skulu nýlegar niðurstöður efnisrannsókna liggja fyrir á hönnunarstigi samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 13043 fyrir steinefni til nota í bikbundin lög. Í fylgistöðlum ÍST 75 og 76, svo og í viðauka 4 í þessu riti eru töflur sem sýna hvaða prófanir skuli gera á steinefnum annars vegar og malbiksblöndum hins vegar og með hvaða tíðni skuli prófa.

Rannsóknir á steinefnum í malbik felast í að gera ýmis steinefnapróf, þar sem leitað er að upplýsingum um eiginleika efnisins. Eiginleikarnir eru kornadreifing, viðloðun, berggerð og ásýnd bergs, berggæði og eiginleikar fínefna. Gerð er nokkur grein fyrir prófunaraðferðum í kafla 63.2.2 hér á eftir en ýtarlegri lýsing á þeim er í viðauka 1.

Rannsóknir á malbiksmassa felast í mælingu á kornadreifingu, bindiefnisinnihaldi, holrýmd, bikfylltri holrýmd, hitastigi blöndu og fyrir malbik sem á að þola mikla umferð (> 8000 ÁDU miðað við heildarumferð) eru einnig mældir skriðeiginleikar, sliteiginleikar og vatnsnæmi.

Hér á eftir er gerð grein fyrir verkferlum vegna prófana við hönnun og fjallað um mismunandi próf.

64.2.1 Verkferlar

Fjölmargar aðferðir hafa verið notaðar til að hanna malbik og af þeim er Marshall-aðferðin algengust, enda hefur hún marga kosti. Hún er tiltölulega fljótleg, nauðsynlegur tækjabúnaður er fremur ódýr og margra áratuga reynsla af aðferðinni hefur lagt grundvöll að víðtækri þekkingu á sambandi niðurstaðna úr prófinu og notagildi þeirra. Evrópustaðlar um prófanir á eiginleikum malbiks gera hins vegar ráð fyrir að í stað mælinga á festu og sigi, sem Marshallaðferðin notar, verði teknar upp aðrar aðferðir, meðal annars hjólfarapróf (ÍST EN 12697-22), Prall slitþolspróf (ÍST EN 12697-16) og vatnsnæmipróf (ÍST EN 12697-12), sem eru taldar líkja betur eftir raunverulegri áraun (e. Performance Related). Ákvæði um mælingar með hjólfaraprófi, Prall slitþolsprófi og vatnsnæmiprófi eru sett fram í fylgistaðli ÍST 75 „Framleiðsla á malbiki“ og í viðauka 4. Ákvæðin felast í að þessar prófunaraðferðir verði notaðar við gerðarprófanir (e. Type Testing) á malbiki sem þola þarf mikið umferðarálag (> 8000 ÁDU miðað við heildarumferð, > 400 $ÁDU_Þ$ eða sambærilegt álag). Við hönnun malbiks og framleiðslueftirlit verður Marshall aðferðin enn notuð til leiðbeiningar og í Efnisgæðaritinu eru því birt leiðbeinandi gildi fyrir festu og sig í Marshallprófi.

Fyrsta skrefið við hönnun malbiksblöndu, er að velja hvaða gerð malbiks á að nota. Þá er kannað hvort steinefni, sem til greina koma, uppfylli settar kröfur miðað við umferð, hvaða bikgerð skuli nota, hvaða íauka og/eða íblendi, og að lokum er ákveðið í hvaða hlutföllum skuli blanda steinefnum við bindiefni.

Gerð malbiks sem valið er að nota, ræðst mjög af aðstæðum. Til skamms tíma, voru aðeins tilgreindar tvær gerðir af malbiki í verklýsingum Vegagerðarinnar, þ.e.a.s.
AC 11 og AC 16 (stífmalbik með 11 mm og 16 mm efri flokkunarstærð). Báðar þessar gerðir eru að jafnaði ætlaðar fyrir vegi og götur með mikla umferð. Reynslan hefur sýnt, að ef umferð er lítil, má að skaðlausu slaka á ýmsum kröfum til malbiksins. Þetta kemur meðal annars fram í skýrslu frá Slitlaganefnd BUSL-samstarfsins (skýrsla S-16: Endurskoðun á markalínum fyrir malbik). Þar eru gerðar tillögur um ellefu malbiksgerðir sem tekið var mið af á sínum tíma við gerð Efnisgæðaritsins.

Malbiksgerðir sem Vegagerðin notar og notkunarsvið þeirra koma fram í töflu 64-1. Bent skal á að í töflunni er ekki tekið sérstaklega á stungudýpt bindiefnis, heldur einungis steinastærðum og kornadreifingu. Hins vegar hefur stungudýpt biks og íblöndunarefni mikil áhrif á eiginleika malbiksblandna, ekki síst viðnám gagnvart skriði. Sem dæmi má taka að þar sem umferð er mikil og þung er æskilegt að nota frekar bik með stungudýpt PG 70/100 en PG 160/220 og auk þess að nota fjölliður eða vaxefni sem íblöndunarefni við slíkar aðstæður, sbr. töflu 64-2.

Tafla 64 1:
Malbiksgerðir, eiginleikar þeirra og notkunarsvið

Malbiks-gerð	Skýring	Eiginleikar og notkunarsvið (umferðarmagn miðast við tvær akreinar)
AC 8	Stífmalbik í slitlag, efri flokkunarstærð 8 mm	Er slétt og þess vegna hljóðlátt. Hefur lítið slitþol gagnvart negldum hjólbörðum. Hentar sem þunnt slitlag á húsagötur eða þar sem umferð er lítil, til hjólfarafyllinga undir slitlag og sem þunnt slitlag á bílastæði.
AC 11	Stífmalbik í slitlag, efri flokkunarstærð 11 mm	Hefur meira slitþol gagnvart negldum hjólbörðum en AC 8. Er fremur hljóðlátt. Hentar á húsagötur og safngötur eða vegi með umferð upp að 8.000 ÁDU.
AC 16	Stífmalbik í slitlag, efri flokkunarstærð 16 mm	Hefur fremur gott slitþol gagnvart negldum hjólbörðum, en fremur hávært. Hentar á tengibrautir og stofngötur, síður þó þar sem umferð er yfir 15.000 ÁDU, nema með íblöndun fjölliða eða vaxefna.
SMA 8	Steinríkt malbik í slitlag, efri flokkunarstærð 8 mm	Slitþolið malbik miðað við efri flokkunarstærð, með gott hemlunarviðnám. Hentar sem slitlag, sem verður að vera þunnt, þar sem umferð er jafnframt tiltölulega mikil.
SMA 11	Steinríkt malbik í slitlag, efri flokkunarstærð 11 mm	Slitþolið malbik með gott hemlunarviðnám. Hentar á safngötur og tengivegi með mikla umferð.
SMA 16	Steinríkt malbik í slitlag, efri flokkunarstærð 16 mm	Slitþolið malbik með gott hemlunarviðnám. Hentar m.a. vel á götur þar sem umferð er mikil.
BRL 16	Burðarlagsmalbik, efri flokkunarstærð 16 mm	Notað sem burðarlag, í undantekningartilvikum sem bráðabirgðaslitlag en þá með auknum kröfum og lagt er yfir ári síðar.
BRL 22	Burðarlagsmalbik, efri flokkunarstærð 22 mm	Notað sem burðarlag, í undantekningartilvikum sem bráðabirgðaslitlag en þá með auknum kröfum og lagt er yfir ári síðar.

Val á malbiksgerð. Við hönnun stífmalbiks (AC) og steinríks malbiks (SMA) er valinn stærðarflokkur steinefnis, stungudýpt biks, viðloðunarefni og stífniaukandi fjölliður með hliðsjón af umferð (ÁDU), sjá töflu 64-2. Umferðarflokkar miðast við heildarumferð.

Tafla 64 2:
Ýmsir valkostir hönnuðar fyrir blöndun malbiks

Heildar-umferð (ÁDU)	Stærðarflokkur og gerð steinefnis	Sungudýpt biks (PG)	Viðloðunarefni* (% af bindiefnismagni)	Stífniaukandi fjölliður/vax**
< 3000	AC8, AC11, AC16, SMA8, SMA11, SMA16	160/220, 70/100	0,25-0,3%	Nei
3000-8000	AC11, AC16, SMA11, SMA16	160/220, 70/100	0,25-0,3%	Nei
8000-15000	AC11, AC16, SMA11, SMA16	160/220, 70/100	0,25-0,3%	Já, ef gerðarprófanir gefa þá vísbendingu***
> 15000	AC16, SMA16	70/100	0,25-0,3%	Já, ef gerðarprófanir gefa þá vísbendingu***
> 30000	AC16, SMA16	70/100	0,25-0,3%	Já

**Tilgreina skal viðloðunarefni af viðurkenndri tegund svo sem Rediset eða Evotherm.*

***Tilgreina skal magn fjölliðu/vaxefnis af viðurkenndri tegund svo sem SBS eða Sasobit.*

**** Settar eru fram kröfur um lágmarksgildi úr hjólfaraprófi, Prall-slitþolsprófi og vatnsnæmiprófi í kafla 64.5.3 (tafla 64.17) ef þungaumferð er meiri en 8000 ÁDU. Þar sem álag er mikið kemur íblöndun stífniaukandi fjölliða/vax vel til álita.*

Hægt er að setja fram kröfu um gerð og magn viðurkennds hitalækkandi efnis í malbik ef útlögn fer fram í köldu veðri eða ef malbik er flutt langa vegalengd.

Gerðarprófanir (e. Type Testing) fyrir viðkomandi malbiksgerð m.t.t. umferðar skulu liggja fyrir samkvæmt íslenskum fylgistaðli ÍST 75 í upphafi verks. Í kafla 64.5.3 eru settar fram kröfur byggðar á niðurstöðum hjólfaraprófs, Prall slitþolsprófs og vatnsnæmiprófs.

Þegar malbiksgerðin hefur verið valin, er verkferillinn fyrir hönnun malbiksblanda tvíþættur. Fyrst þarf að kanna hvort steinefni sem til greina koma uppfylla kröfur sem gerðar eru til þeirra og ef svo er, þá er hægt að ákveða í hvaða hlutföllum á að blanda þau. Þar á eftir hefst verkferill sem fólginn er í að meta malbiksblönduna sem úr þessu verður. Verkferlarnir eru sýndir á myndum 64-3 og 64-4.

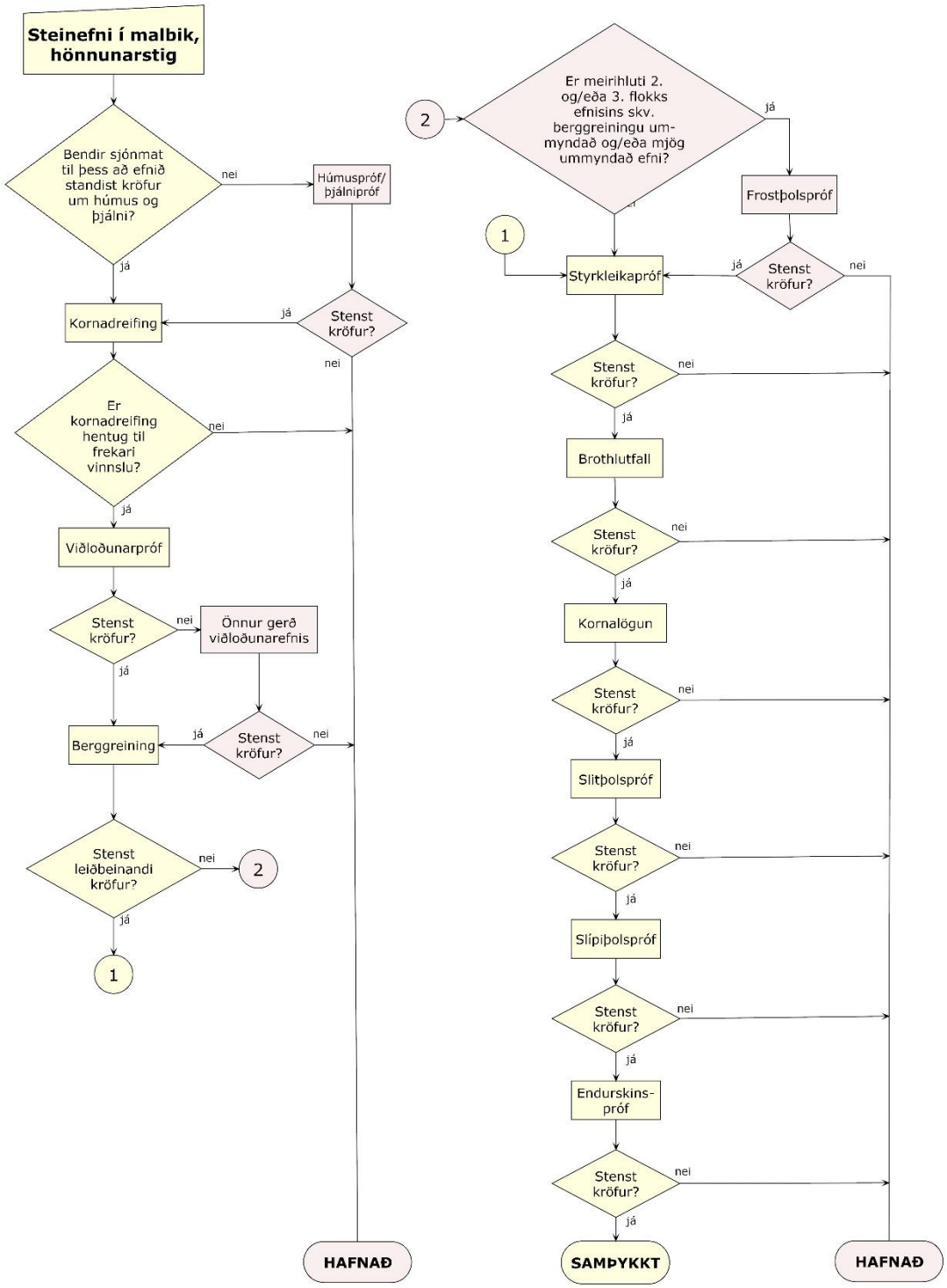
Mat á steinefni. Við blöndun malbiks í stöð eru oftast notuð steinefni sem hafa verið möluð og sigtuð í kornastærðarflokka. Mismunandi er úr hversu mörgum steinefnaflokkum malbikunarstöðvar geta blandað og því þarf hönnuður að kanna það hjá viðkomandi malbikunarstöð. Í framhaldi af því er ákveðið hvaða stærðaflokkar verða notaðir og ákveða í hvaða hlutföllum þeim er blandað saman. Kosturinn við þetta er að hægt er að nota steinefni úr mismunandi námum í mismunandi stærðaflokka. Til dæmis getur steinefnið í grófasta kornaflokknum (perlan) komið úr námu þar sem steinefnið er sterkt (til dæmis sprengt og malað berg). Í malað berg getur vantað smærri kornastærðir til að sáldurferillinn rúmist innan markalína malbiksgerðarinnar sem á að blanda. Þá er hægt að blanda í efnið sandi eða fínsandi úr öðrum námum til að lagfæra sáldurferilinn og stundum hefur sement eða fínmalaður kalksteinn verið notað til að auka innihald fínefnis (efni smærra en 0,063 mm), enda eru stundum sett takmörk á hlutfall fínefna sem eru fengin úr steinefninu. Tekið skal fram að ef skipt er um steinefni í einhverjum stærðarflokki skal gerðarprófa malbiksblönduna sem nýja gerð. Þó getur framleiðandi

kosið að sleppa gerðarprófi fyrir ákveðinn eiginleika ef breytingin er augljóslega til hins betra fyrir viðkomandi eiginleika. Til dæmis þarf ekki að gera Prall-slitþolspróf ef steinefni sem tekið er inn er slitsterkara en steinefnið sem var fyrir því til sönnunar að slitstyrkur hafi ekki minnkað.

Þegar steinefni er skoðað til að kanna hvort það er hæft í malbik, er fyrsta skrefið að meta innihald lífrænna efna, sjá flæðirit á mynd 64-3. Þegar malbik er blandað, er steinefnið hitað upp og þurrkað og við það rjúka lífræn óhreinindi í burtu að hluta. Þrátt fyrir það er óæskilegt að lífræn óhreinindi séu í of miklu magni og ef sjónmat bendir til þess þarf að framkvæma *húmuspróf*.

Eins og sést á mynd 64-3 er næsta skref að mæla *kornadreifingu* allra stærðarflokka sem þarf að vera þekkt áður en ákvörðun er tekin um blöndunarhlutföll steinefna í malbiksblöndu. Á eftir sáldurgreiningu eru *viðloðunareiginleikar* steinefnisins mældir.

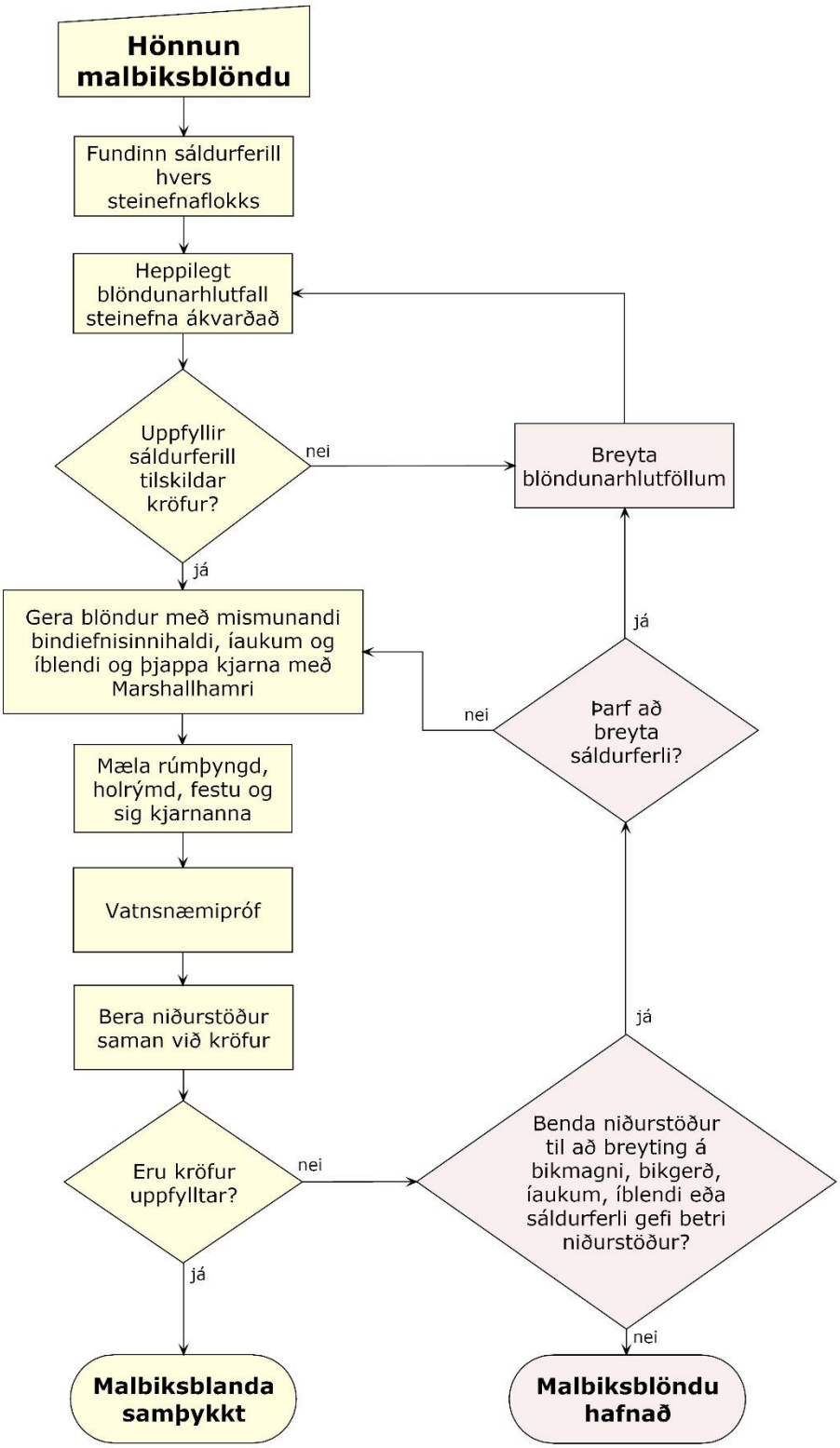
Næsta skref er að *berggreina* efnið og þá fást upplýsingar um hlutfall óæskilegra bergbrigða í steinefninu og um leið hvort það er líklegt til að standast aðrar kröfur sem til þess eru gerðar. Ef niðurstöður berggreiningar standast ekki leiðbeinandi kröfur þarf að gera *frostþolspróf*, sem gefur vísbendingu um hvort hætta er á að efnið brotni mikið niður vegna veðrunarálags. Ef steinefnið stenst leiðbeinandi kröfur um berggreiningu og/eða frostþolspróf þarf að prófa það frekar til að kanna ýmsa mikilvæga eiginleika. *Styrkleikapróf* segir til um hættu á niðurbroti steinefnisins undan höggáraun. Mæling á *brothlutfalli* eftir mölun efnisins er mikilvæg þar sem hlutfall brotinna og núinna steina hefur áhrif á skriðeiginleika malbiksins. Einungis er mælt brothlutfall á möluðu seti en gert er ráð fyrir að malað berg sé albrotið. Lögun korna getur haft áhrif á þjálni og stöðugleika malbiksins og því er gerð *kornalögunarmæling.* Einn mikilvægasti eiginleiki steinefnis í malbik er *slitþol* enda getur slit vegna umferðar verið mjög mikið ef hjólbarðar eru negldir og umferð er hröð og mikil. Þar sem álag er mikið, t.d. á umferðarmiklum vegum og í hringtorgum, er sett fram krafa um *slípieiginleika* steinefna (e. Polished Stone Value, PSV). Aðferðinni er lýst í viðauka 1 og í stuttu máli í kafla 64.2.2. Steinefni skal hafa ákveðið *endurskin* og skal mæla það eins og lýst er í kafla 64.2.2 og viðauka 1. Mikilvægt er að efnið sé unnið á sama hátt og gert er ráð fyrir við framleiðslu. Þetta á sérstaklega við athugun á brothlutfalli, kornalögun og viðloðun.



Mynd 64 3:
Flæðirit fyrir mat á steinefni sem nota á í malbik.

Ef gæði steinefna eru fullnægjandi, er næsta skref að blanda saman mismunandi stærðaflokkum þannig að sáldurferill blöndunnar verði innan marka fyrir viðkomandi malbiksgerð. Ef nauðsynlegir stærðaflokkar fást ekki úr einni námu þarf að finna þá annars staðar. Þegar blöndunarhlutföll steinefna hafa verið ákveðin eru gerð hönnunarpróf á malbiksblöndum með mismunandi bindiefnisinnihaldi (bik, íaukar og íblendi).

Hönnun malbiksblanda. Ferillinn fyrir hönnun malbiksblanda er sýndur á flæðiriti á mynd 64-4 og gildir ef kosið er að notast við Marshall hönnunarpróf en það er ein af mörgum hönnunaraðferðum og hefur mest verið notuð hérlendis hingað til.



Mynd 64 4:
Flæðirit fyrir hönnun malbiksblöndu

Fyrsta skrefið er eins og flæðiritið sýnir, að finna blöndunarhlutföll steinefnaflokka sem gert er ráð fyrir að nota þannig að sáldurferillinn liggi innan markalína sem við eiga í hvert sinn. Þegar búið er að finna réttu hlutföllin, er gert Marshallpróf á blöndunum (sjá viðauka 1 og kafla 64.2.3). Í stórum dráttum er prófið þannig að fyrst eru gerðar blöndur með þeim steinefnum sem valin hafa verið og hrært í þær mismunandi magni af bikbindiefni. Þessar blöndur eru síðan þjappaðar í mót með Marshallhamri. Kjarnar úr mótunum eru svo mældir (hæð, þvermál og þyngd), reiknuð rúmþyngd þeirra og síðan styrkur (festa og sig). Auk þess er holrýmd og fleiri eiginleikar blöndunnar reiknaðir út. Niðurstöðurnar eru bornar saman við kröfur um þessa eiginleika og fundið út hvaða bikmagn gefur besta samanlagða niðurstöðu. Ef steinefnin uppfylla tilskildar kröfur er sjaldgæft að ekki sé hægt að hanna malbik sem uppfyllir kröfur um niðurstöður Marshallprófs. Samhliða Marshallprófi er gert vatnsnæmipróf.

Rétt er að árétta að Evrópustaðlarnir fyrir malbik gera ekki ráð fyrir mælingum á festu og sigi nema malbikið sé ætlað í flugbrautir. Þrátt fyrir að Marshall prófið sé ekki gerðarpróf fyrir malbik á vegi er samt gert ráð fyrir því hér að þessi aðferð verði áfram notuð við hönnun

Bindiefnisþörf í malbiki er misjafnlega mikil og fer annars vegar eftir eiginleikum steinefnisins (m.a. sáldurferli og gropu), hins vegar hvaða eiginleikum er sóst eftir í malbikinu. Þess vegna verður að gera ráð fyrir að hönnuður malbiksins ákvarði heppilegt bindiefnisinnihald fyrir hverja malbiksgerð.

Bindiefnisinnihald í Marshallsýnum má velja með hliðsjón af töflu 64-3, sem miðast við íslenskar aðstæður og steinefni. Íslensk steinefni hafa oft gropu á bilinu

1-3%, en innflutt steinefni í malbik eru oftast mun þéttari og þurfa minna bindiefni en tafla 64-3 gefur til kynna. Ef um er að ræða mjög þétt steinefni (mettivatn < 0,5%), getur vel komið til álita að minnka bindiefnismagn um allt að 1% frá því sem fram kemur í töflu 64-3. Taflan er einungis leiðbeinandi því við val á bindiefnisinnihaldi getur þurft að taka tillit til bindiefnisgerðar (stungudýpt, breytt bindiefni) og íauka. Í reynd er það þó hönnun malbiksblöndu hverju sinni sem ræður bindiefnismagni, sem og öðrum þáttum hennar.

Tafla 64-3:
Leiðbeinandi gildi fyrir bindiefnisinnihald í nokkrum malbiksgerðum

Slitlagsgerð	Tillaga, %	Mörk, %
AC 8	6,1	5,8 - 6,4
AC 11	5,7	5,5 - 6,0
AC 16	5,5	5,3 - 5,8
SMA 8	6,8	6,1 - 7,7
SMA 11	6,4	5,9 - 7,4
SMA 16	6,2	5,7 - 7,2
BRL 16	4,8	4,6 - 5,6
BRL 22	4,6	4,2 - 5,3

Þegar bætt er við 3% SBS fjölliðu í bikbindiefnið hefur verið miðað við að lækka bikmagn um 0,2%.
Ath: Gildin í töflunni eru einungis leiðbeinandi, en fyrir AC malbik voru þau lækkuð um 0,3% í útgáfu Efnisgæðaritsins 2021.

64.2.2 Steinefnapróf

Próf á steinefnum veita upplýsingar um gæði steinefna í tilteknum stærðaflokki og á grundvelli niðurstaðnanna er metið hvort steinefnin uppfylli kröfur til notkunar í malbik. Að sjálfsögðu þurfa sýnin að endurspegla eiginleika steinefnanna sem á að nota í malbikið. Vinnsluaðferð hefur óhjákvæmilega nokkur áhrif á eiginleika þeirra og þess vegna er æskilegast að sýni til prófunar séu tekin af steinefninu eftir að það hefur gengið í gegnum nákvæmlega sama framleiðsluferli og notað verður þegar framleiðslan hefst.

Mikilvægir eiginleikar steinefna í malbik eru m.a. nægilegur styrkur, nægilegt slitþol gagnvart negldum hjólbörðum, einkum þegar umferð er hröð og mikil, og þol gegn frostáraun sem skiptir hlutfallslega meira máli en slitþol, þegar umferð er lítil. Lögun korna, einkum í þeim hluta steinefnisins sem er grófari en 8 mm, þarf að vera viðunandi og hvert þeirra að meirihluta brotið til að minnka líkur á skriði. Sáldurferill steinefnablöndunnar verður einnig að vera innan tiltekinna marka. Hér á eftir er getið þeirra prófa sem eru nauðsynleg til að meta eiginleika steinefna í malbik en nánari lýsingu á prófunum má finna í viðauka 1 og um kröfur er fjallað í kafla 64.5.

Kornadreifing

Sáldurferlar eru fyrst og fremst notaðir til að ákvarða blöndunarhlutföll steinefna í malbiksblöndunni. Sáldurferill hvers steinefnis fyrir sig er fundinn og heppileg blöndunarhlutföll reiknuð út þannig að kornadreifing blöndunnar liggi á milli markalína sem við eiga í hvert sinn. Þegar steinefnasýnunum hefur verið blandað saman í samræmi við útreikningana, er kornadreifing blöndunnar mæld, til að sannreyna að hún sé eins og til er ætlast. Í undantekningartilfellum er blöndun tveggja eða fleiri stærðaflokka óþörf.

Viðloðun

Íslenskt veðurfar einkennist meðal annars af rakri veðráttu og mörgum frost/þíðu-sveiflum. Að auki er salt talsvert notað til hálkueyðingar. Þess vegna þarf að gera kröfur til viðloðunar milli steinefna og bindiefnis.

Hér er lagt til að rúlluflöskuprófið verði notað til að meta viðloðunareiginleika steinefnis og bindiefnis í malbik. Niðurstöðurnar gilda þó aðeins fyrir þá samsætu af bindiefni og steinefni sem prófuð er hverju sinni. Rétt er að taka fram að rúlluflöskuprófið hefur sætt gagnrýni eins og flest önnur viðloðunarpróf.

Eiginleikar fínefna

Lífræn óhreinindi: Ef grunur leikur á lífrænum óhreinindum í sýni er lagt til að það sé prófað. Þá er sýnið sett í NaOH lausn, en lífræn óhreinindi lita lausnina, mismikið eftir magni þeirra. Til viðmiðunar er höfð staðallausn með ákveðnum litarstyrk. Ef liturinn á lausninni með sýninu er sterkari en liturinn á staðallausninni gefur það til kynna skaðlegt magn lífrænna óhreininda.

Þjálnipróf: Oft er hægt að meta hvort fínefni eru þjál með því að velta sýni á milli fingra sér og athuga þannig hvort fínefnið er leirkennt, þ.e. hvort hægt er að hnoða það í kúlu. Ef grunur leikur á að fínefni sé þjált þarf að gera þjálnipróf á því. Þjálnistuðull (e. Plasticity Index) er skilgreindur sem munurinn á flæðimarki (hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að missa þjálni sína og flæða eins og þykkur vökvi) og þjálnimarki efnisins (lægsta rakagildi sem efni getur haft þannig að enn sé hægt að hnoða það).

Berggerð og ásýnd bergs

Berggreining: Gæðaflokkun steinefnis er gerð með því að greina steinefnin í bergbrigði. Berggreiningin er leiðbeinandi og gefur vísbendingar um eiginleika steinefnisins.

Brothlutfall: Til að minnka líkur á skriði í malbiki er gerð krafa um lágmarkshlutfall brotinna korna og einnig er gerð krafa um hámark alnúinna korna.

Kornalögun: Korn sem notuð eru í malbik mega af ýmsum ástæðum ekki vera of kleyfin (flöt og ílöng). Þess vegna er gerð krafa um lögun steinefniskorna sem eru grófari en 4 mm.

Berggæði

Slitþol: Þegar umferð á götu eða vegi er orðin 3000 bílar á sólarhring, ræður slit af völdum negldra hjólbarða oftast mestu um endingu malbiksins. Slitið eykst með auknum hraða. Slitþol steinefnis er einn af mikilvægustu eiginleikum varðandi hæfni malbiks til að standast áraun frá negldum hjólbörðum. Slitþol er mælt í kúlnakvarnarprófi. Þar eð slit vex með hraða eru kröfur annars vegar miðaðar við hraða undir 70 km/klst, hins vegar hraða yfir 70 km/klst.

Styrkur: Áraun negldra hjólbarða er sambland af núningi og höggum. Í kúlnakvarnarprófinu verða steinefnin fyrst og fremst fyrir núningi en aðeins lítilsháttar höggáraun. Betri mynd af styrkleika þeirra gagnvart höggáraun má fá með Los Angeles prófi sem veitir mun meiri höggáraun en kúlnakvarnarprófið.

Veðrunarþol (frostþol): Malbiksslitlög verða fyrir talsverðri áraun vegna frost/þíðu skipta. Salt er gjarnan notað til hálkueyðingar á malbiksslitlögum sem eykur áraunina til muna. Steinefni í malbik þarf að velja með hliðsjón af veðrunarþoli þeirra sem fæst úr frostþolsprófi í saltlausn.

Slípiþol steinefna (e. Polished Stone Value, PSV): Á undanförnum árum hefur borið nokkuð á því að malbik verði hált í bleytu, sérstaklega þegar líður á sumar. Þessa hefur sérstaklega orðið vart í hringtorgum þar sem umferð er tiltölulega mikil og hröð. Ekki þótti áður ástæða til að mæla sérstaklega þennan eiginleika steinefna, sem sagt að slípast undan umferð, þar sem talið var að nagladekkjanotkun á vetrum kæmi í veg fyrir slíka slípun svo nokkru næmi. Með aukinni umferð virðist þó að slípun eigi sér stað yfir sumartímann og því raunveruleg hætta á að slitlög verði sleip af þeim sökum. Slípiþolsprófi (PSV aðferðinni), sem mælir slípiþol steinefna, ÍST EN 1098-8, er lýst í viðauka 1.

Þess skal getið að hvorki aðstaða né tækjabúnaður til að framkvæma þetta próf er til staðar hérlendis, enda var ekki talin ástæða til eins og fram hefur komið. Því þurfa framleiðendur íslenskra steinefna eða innflytjendur erlendra steinefna að fá PSV prófanir gerðar erlendis. Vegagerðin hefur gert kröfu um slípiþolsgildi steinefna sem ætluð eru í malbiksslitlög þar sem umferð er mikil og hröð og álag mikið, t.d. í hringtorgum. Í kafla 64.5.1 í þessu riti eru einungis settir fram kröfuflokkar úr evrópskum framleiðslustaðli, ÍST EN 13043.

Endurskin frá steinefnum (n: Lyshet): Endurskin steinefna má mæla eins og lýst er í riti norsku vegagerðarinnar, Håndbok R210 Laboratorie-undersøkelser, kafla 115. Aðferðin felst í því að mæla endurskin steinefnis í stærðarflokki 0,125 til 0,250 mm með sérstökum endurskinsmæli. Mælirinn er þannig kvarðaður að hvítur glerungur gefur 100% endurskin, en ekkert endurskin er frá svörtum fleti.

Þess skal getið að þetta próf er ekki gert hérlendis og því þurfa framleiðendur íslenskra steinefna eða innflytjendur erlendra steinefna að fá prófanir á endurskini gerðar erlendis. Vegagerðin hefur gert kröfu um endurskin steinefna sem ætluð eru í malbiksslitlög. Í kafla 64.5.1 í þessu riti eru einungis settar fram kröfur til leiðbeiningar sem byggja á norskum kröfum.

64.2.3 Próf á efnismassa

Próf á steinefnum og bikbindiefnumi eiga að tryggja að grunnefni malbiksins standist tilskildar kröfur. Þar með aukast líkur á að malbikið standist áraunina sem hönnunarforsendur gera ráð fyrir. Hönnun malbiks byggist á prófunum á blöndu steinefna, bikbindiefnis (bik, íaukar og íblendi) sem talin er hæfa aðstæðum þar sem á að nota malbikið svo sem umferðarálagi og hitastigi.

Kröfur um eiginleika malbiks sem mældir eru á hönnunarstigi eru birtar í kafla 64.5.3 og prófum er lýst í viðauka 1.

Marshallpróf: Marshallpróf lýsir nokkrum eiginleikum malbiksins. Þeir eru holrými, bikfyllt holrými og rúmþyngd þjappaðra kjarna, svo og festa og sig. Holrými malbiksins hefur áhrif á veðrunarþol þess, því lægri sem hún er, því betra er veðrunarþolið, þó ætíð innan lágmarksholrýmdar. Festa og sig segja til um skriðþol malbiksins, þ.e. hversu staðfast það er undir álagi frá umferðinni. Við hönnun malbiks er Marshallprófið notað til að finna heppilegasta bikinnihald, miðað við kröfur sem gerðar eru hverju sinni til ofangreindra eiginleika. Þegar malbik er hannað með Marshallaðferð, er búin til röð sýna með mismunandi bindiefnisinnihaldi. Bindiefnisinnihald í sýnaröðinni er valið með hliðsjón af slitlagsgerð og reynslu af sama eða samskonar steinefni. Gera þarf minnst þrjár blöndur með mismunandi bikinnihaldi og fyrir hverja þarf að steypa að lágmarki þrjá prófhluta.

Auk eiginleika sem eru mældir í Marshallprófi, eru sett mörk á hlutfallið fínefni/bindiefni í blöndunni, m. a. til að draga úr líkum á þreytubroti í malbikinu vegna síendurtekins álags frá umferð. Marshallprófið hefur verið notað hérlendis við hönnun malbiksblandna en kemur ekki í stað gerðarprófana (e. Type Testing, TT) sem talin eru upp hér á eftir fyrir malbik sem hannað er til að þola mikla umferð.

Hjólfarapróf: Skriðeiginleikar malbiks eru mældir með hjólfaraprófi (ÍST EN 12697-22). Tækjabúnaður fyrir slíkar mælingar er í notkun hérlendis. Eins og fram kemur í fylgistaðli ÍST 75 „Framleiðsla malbiks“ og í viðauka 4, er kveðið á um að skriðeiginleikar malbiks séu mældir við gerðarprófun (TT) með hjólfaratæki ef umferð er > 8000 ÁDU heildarumferð, > 400 ÁDUþ eða sambærilegt álag. Ekki er gert ráð fyrir þessari prófunaraðferð við framleiðslueftirlit. Í kafla 64.5.3 eru settar fram kröfur um skriðeiginleika.

Slitþolspróf: Slitþol malbiks er mælt með Prall-slitþolsprófi (ÍST EN 12697-16). Tækjabúnaður fyrir slíkar mælingar er í notkun hérlendis. Eins og fram kemur í fylgistaðli ÍST 75 „Framleiðsla malbiks“ og í viðauka 4, er kveðið á um að sliteiginleikar malbiks séu mældir við gerðarprófun (TT) með Prall slitþolstæki ef umferð er > 8000 ÁDU heildarumferð, > 400 ÁDUþ eða sambærilegt álag. Ekki er gert ráð fyrir þessari prófunaraðferð við framleiðslueftirlit. Í kafla 64.5.3 eru settar fram kröfur um slitþol.

Vatnsnæmipróf: Æskilegt er að geta metið hversu vel malbik þolir áraun frá vatni í samspili við umferðina. Á síðari árum hefur verið lögð aukin áhersla á slíkar prófanir, ekki síst á norðlægum slóðum og vegna veðurfarslegra aðstæðna hérlendis er æskilegt að gera vatnsnæmipróf á malbiki. Próf sem notuð eru til að meta vatnsnæmi taka tillit til þess hversu greiða leið vatn á inn í

malbikssýnið og líkja þannig að vissu leyti eftir aðstæðum í vegi. Í vatnsnæmiprófi er mælt hversu mikil áhrif vatn hefur á kleyfnibrotþol malbikskjarna, sem er mælikvarði á samloðun þeirra og þar með viðloðun steinefnis við bikbindiefni. Rétt er að taka fram að óvissa á niðurstöðum vatnsnæmiprófs getur verið nokkuð mikil.

Vatnsnæmi malbiks er mælt með vatnsnæmiprófi (ÍST EN 12697-12). Eins og fram kemur í fylgistaðli ÍST 75 „Framleiðsla malbiks“ og í viðauka 4, er kveðið á um að vatnsnæmi malbiks sé mælt við gerðarprófun (TT) ef umferð er > 8000 ÁDU heildarumferð, > 400 ÁDUþ eða sambærilegt álag. Í kafla 64.5.3 eru settar fram kröfur um vatnsnæmi.

64.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Steinefni í malbik eru oft unnin í námum sem hafa verið í notkun í langan tíma. Í slíkum námum eru gerðar reglubundnar prófanir á því, sem flokkast undir framleiðslueftirlits¬próf (e. Factory Production Control, FPC). Hafi steinefnið ekki verið notað áður til malbiksframleiðslu þarf að rannsaka það áður en hún hefst. Lágmarksfjöldi prófana miðað við áætlað framleiðslumagn, kemur fram í töflu 64-4. Sýnin þurfa að gefa raunhæfa mynd af öllu steinefninu sem á að nota og endurspegla fyrirhugaða vinnslu á því. Ef breytileiki steinefnisins er mikill innan námunnar getur þurft að fjölga prófunum.

Tafla 64-4:
Lágmarksfjöldi prófana á steinefni úr námu miðað við efnismagn, sem á að vinna úr námunni

Magn, m^3	Korna-dr.	Húmus/ þjálni*	Viðl.	Berg-gr.	Frost-þol**	Styrkur (LA)	Brot-hlutf.	Korna-lögun	Slit-þol	Slípi-þol	Endur-skin
1000	4	4	1	1	(1)	1	1	1	1	1	1
2000	4	4	1	1	(1)	1	1	1	1	1	1
3000	5	5	1-2	1-2	(1-2)	1-2	1-2	1-2	1-2	1	1
4000	6	6	1-2	1-2	(1-2)	1-2	1-2	1-2	1-2	1	1
5000	6	6	2	2	(2)	2	2	2	2	2	2

**Ákvörðun um próf byggir á sjónmati*

*** Frostþolspróf er einungis gert ef steinefni stenst ekki leiðbeinandi kröfur berggreiningar*

64.3 Próf við framleiðslu

64.3.1 Verkferlar

Verkferlum prófana við malbiksframleiðslu má skipta í tvennt, annars vegar verkferla við eftirlit með gæðum steinefna sem eru notuð í malbikið, hins vegar verkferla fyrir eftirlit með blöndun malbiksins. Ef steinefni er aðkeypt til malbikunarstöðvar þurfa að fylgja því upplýsingar sem sýna fram á eiginleika þess samkvæmt framleiðslueftirliti, samræmisyfirlýsingu og CE-merkingu. Ef steinefni er framleitt í malbikunarstöð þarf engu að síður að sýna fram á eignleikana með sambærilegum gögnum og gilda um aðkeypt steinefni.

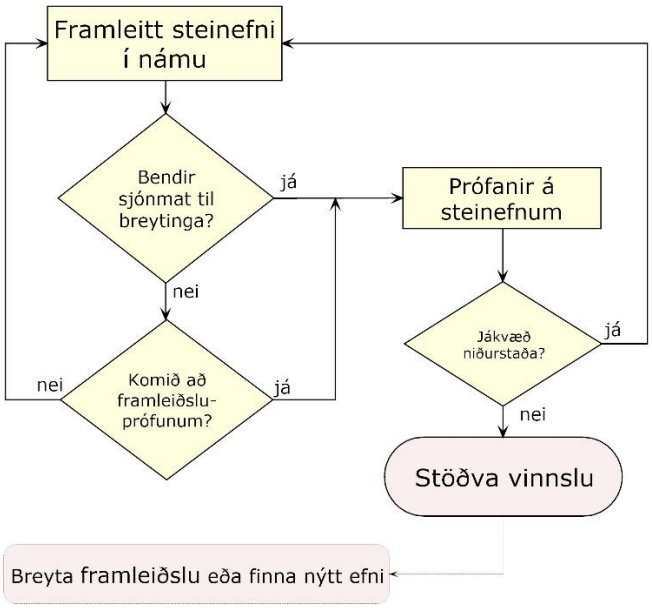
Ákveðið hefur verið að hérlendis gildi eftirlitskerfi AVCP 2+, samkvæmt Evrópustöðlum, til vottunar á samræmi við framleiðslu steinefna í bikbundin slitlög, þar með talið malbik (sjá viðauka 4). Í því felst að tilnefndur aðili (e. Notified Body) hafi eftirlit með að framleiðslukerfi uppfylli allar kröfur sem settar eru fram í ÍST EN 13043 viðauka ZA, meðal annars varðandi framleiðslueftirlit og tíðni prófana. Á grundvelli þess getur framleiðandi steinefna lagt fram yfirlýsingu um gæðastöðugleika (e. Declaration of Performance, DoP) og CE-merkingu. Verkkaupi getur ávallt óskað eftir gögnum um og úr innra eftirliti og auk þess sett fram kröfur um aukna tíðni prófana.

Samkvæmt stöðlum um malbik, m.a. ÍST EN 13108-1 (AC) og ÍST EN 13108-5 (SMA) er gerð krafa um að eftirlitskerfi 2+ sé notað til vottunar, sem sagt AVCP, (sjá íslenskan fylgistaðal nr. ÍST 75 og viðauka 4). Í því felst að tilnefndur aðili votti framleiðslueftirlitskerfi (e. Factory Production Control, FPC) framleiðanda. Það gerir hann með upphafsúttekt á framleiðslustöð og framleiðslueftirlitskerfi, svo og reglubundnu eftirliti (m.a. heimsókn í stöð) a.m.k. einu sinni á ári. Ferlið sem lýst er hér vísar í viðauka ZA í ofangreindum stöðlum um AVCP sem á að nota til að sýna fram á að farið sé eftir kröfum byggingavörutilskipunar ESB (e. EU Construction Products Regulations, CPR). Gerðarprófanir (e. Type Testing) framleiðanda til CE merkinga fara eftir staðli ÍST EN 13108-20. Tilnefndur aðili skal fara að ákvæðum ÍST EN 13108-21, viðauka B í þessum tilgangi.

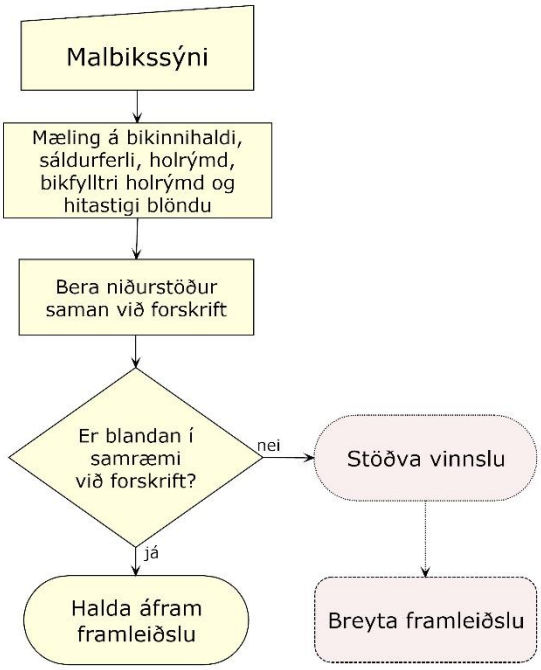
Verkkaupi fær niðurstöður innra eftirlits framleiðanda en gerir þar að auki sambærilegar prófanir ef ástæða þykir til.

Dæmi um verkferil fyrir eftirlit með gæðum steinefna er sýnt á mynd 64-5. Fylgst er sjónrænt með framleiddu eða aðkeyptu efni og ef einhverjar breytingar virðast vera á efninu, eru gerð próf til að sannreyna það. Ef allt virðist í lagi, eru aðeins gerð fyrirskrifuð framleiðslupróf með tíðni í samræmi við töflu 64-5.

Prófanir á framleiddu malbiki eru fyrst og fremst gerðar til að ganga úr skugga um hvort malbikið hafi uppfyllt tilskildar gæðakröfur, því niðurstöðurnar fást að jafnaði ekki fyrr en eftir að malbikið hefur verið lagt út. Verkferill fyrir prófanir vegna framleiðslueftirlits malbiks er sýndur á mynd 64-6. Ef verkferlum fyrir próf við hönnun hefur verið fylgt, er lítil hætta á að illa takist til við framleiðslu, ef framleiðandinn er reyndur og tæki hans virka rétt. Áðurnefnt innra gæðaeftirlit malbiksframleiðanda tryggir líka oftast að svo sé.



Mynd 64-5:
Verkferill fyrir eftirlit með gæðum steinefna í malbik



Mynd 64-6:
Verkferill fyrir framleiðslupróf á malbiki

64.3.2 Steinefnapróf

Gæði steinefna sem notuð eru í malbik eru prófuð og skráð reglulega á ábyrgð framleiðanda steinefnanna. Prófin eru tilgreind í kafla 64.2.2, tíðni þeirra í kafla 64.3.4, og kröfur í kafla 64.5.1. Ef sjónrænt mat bendir til breytinga á framleiddu efni, þarf að auka tíðni prófana.

64.3.3 Próf á efnismassa

Kornadreifing, bindiefnisinnihald, holrýmd, bikfyllt holrýmd og hitastig malbiksblöndu er notað til eftirlits með malbiksframleiðslu. Úr malbikssýnum eru þjappaðir kjarnar sem eru svo prófaðir, eins og greint er frá í kafla 64.2.3. Kröfur eru tilgreindar í kafla 64.5.3.

64.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Steinefnapróf

Framleiðslueftirlit (e. Factory Production Control): Tíðni prófana í innra eftirliti framleiðanda með steinefnum sem eru notuð í malbik skal vera í samræmi við töflu 2.2 í viðauka 4 í þessu riti.

Eftirlit verkkaupa: Eftirfarandi reglur um tíðni prófana á steinefnum til malbiksframleiðslu gilda óháð innra eftirliti steinefnaframleiðandans, nema hvað heimilt er að nota niðurstöður prófana í framleiðslueftirliti framleiðandans sem hluta af eftirliti verkkaupa með gæðum steinefna í malbiksframleiðslu.

Tíðni prófana við framleiðslu steinefna skal að lágmarki uppfylla kröfur framleiðslustaðals ÍST EN 13043. Ef ástæða þykir til skal auka prófanatíðnina, til dæmis þegar ný náma er tekin í notkun. Við eftirlit með aukinni prófanatíðni skal í upphafi verks gera eitt próf á sérhverjum efniseiginleika sem er tilgreindur í töflu 64-5. Tíðni prófana fer eftir umfangi verksins og er tilgreind í sömu töflu. Heimilt er að nýta próf frá hönnunarstigi til að uppfylla tíðnikröfuna. Ef steinefni til malbiksgerðar er úr vottaðri námu er gert ráð fyrir að þessir eiginleikar liggi fyrir. Í töflunni er gerður greinarmunur á tíðni prófana eftir því hvort steinefnin eru unnin úr lausum jarðlögum eða bergi. Ekki er skylt að prófa aðra eiginleika en þá sem eru tilgreindir í töflunni.

Tafla 64-5:
Prófanatíðni í eftirliti verkkaupa með steinefnum til malbiksframleiðslu

Eiginleiki	Laus jarðlög		Berg	
	Lágmarksfjöldi prófana úr fyrstu 500 m^3	Fjöldi pr. hverja byrjaða 5000 m^3 umfram 500 m^3	Lágmarksfjöldi prófana úr fyrstu 500 m^3	Fjöldi pr. hverja byrjaða 5000 m^3 umfram 500 m^3
Húmus	1	2	-	-
Sáldurferill	2	4	2	2
Viðloðun	1	1	1	1
Berggreining	1	1	1	1
Frostþol**	-	-	-	-
Styrkur	1	1	1	1
Brothlutfall	1	1	-	-
Kornalögun	1	1	1	1
Slitþol	1	1	1	1
Slípiþol	1	-	1	-
Endurskin	1	-	1	-
Kornarúmþyngd*	1	1	1	1
Mettivatn*	1	1	1	1

**Ekki eru gerðar sérstakar kröfur um gildi, en æskilegt er að þessar mælingar liggi fyrir*

*** Einungis framkvæmt ef steinefnið stenst ekki leiðbeinandi kröfur gæðaflokkunar samkvæmt berggreiningu.*

Taflan tilgreinir prófanatíðni fyrir hverja gerð steinefna sem er notuð í malbik.

Sýni tekin af hálfu verkkaupa, skulu tekin í samræmi við ÍST EN 932-1. Hverju sinni skal tekið svo stórt sýni að það nægi til ofangreindra prófana. Fulltrúa verkkaupa (eftirlitsaðila) er skylt að gera verktaka viðvart áður en sýni er tekið og er verktaka heimilt að krefjast þess að sýnið sé svo stórt að það nægi til þrefaldrar prófunar, eina sem verktaki gerir, aðra sem verkkaupi lætur gera og einn hluta til prófunar, ef ágreiningur kemur upp á verkábyrgðartíma.

Malbikspróf

Framleiðslueftirlit (e. Factory Production Control, FPC): Tíðni prófana í innra eftirliti framleiðanda með malbiksmassa skal vera í samræmi við töflu 3.2 í viðauka 4 í þessu riti. Gerðarprófanir (e. Type Testing, TT), sbr. ÍST EN 13108-20 skulu ætíð liggja fyrir áður en framleiðsla hefst.

Eftirlit verkkaupa: Eftirfarandi reglur um tíðni prófana á massa gilda óháð innra eftirliti malbiksframleiðandans, nema hvað heimilt er að nota niðurstöður prófana í framleiðslueftirliti framleiðandans sem hluta af eftirliti verkkaupa með gæðum malbiks, ef verkkaupi samþykkir það.

Lágmarkstíðni prófana við eftirlit með framleiðslu malbiks skal ákvarða með tilliti til kafla A.4 og A.5, svo og töflu A.3 í viðauka A í staðli ÍST EN 13108-21 (FPC). Tíðnin getur verið breytileg eftir því

hvort þolmörk eru uppfyllt (e. Operating Compliance Level, OCL) hverju sinni. Samkvæmt staðlinum skal lágmarkstíðni prófana vera eitt próf (sáldurferill, bindiefnisinnihald, holrýmd, bikfyllt holrýmd og hitastig) fyrir hver 2000 framleidd tonn ef niðurstöður eru innan þolmarka, þó ekki sjaldnar en einu sinni í viku. Ef ástæða þykir til skal auka prófanatíðnina, til dæmis í upphafi framleiðslu á nýjum stað og skal hún þá að lágmarki vera samkvæmt töflu 64-6. Ekki er skylt að prófa aðra eiginleika en þá sem eru tilgreindir í töflunni. Ef grunur leikur á að bik hafi ofhitnað má kanna það með því að athuga breytingar á stungudýpt. Ef stungudýpt (PG) er utan marka skal meðhöndla malbikið í samræmi við það.

Tafla 64-6:
Lágmarks prófanatíðni malbiksmassa við framleiðslu

Eiginleiki	**Prófanatíðni að lágmarki**
Sáldurferill	1 próf fyrir hver byrjuð 1000 tonn
Bikinnihald	1 próf fyrir hver byrjuð 1000 tonn
Holrýmd	1 próf fyrir hver byrjuð 2000 tonn
Bikfyllt holrýmd	1 próf fyrir hver byrjuð 2000 tonn
Hitastig á malbiki	1 mæling á hverjum bílfarmi ef hitastig á malbiki er ekki skráð sjálfvirkt í stöð eða ef búast má við verulegri kólnun við flutning

Sýni tekin af hálfu verkkaupa skulu tekin í samræmi við ÍST EN 12697-27. Hverju sinni skal tekið svo stórt sýni að það nægi til ofangreindra prófana. Fulltrúa verkkaupa (eftirlitsaðila) er skylt að gera verktaka viðvart áður en sýni er tekið, og er verktaka heimilt að krefjast þess að sýnið sé svo stórt að það nægi til þrefaldrar prófunar, eina sem verktaki gerir, aðra sem verkkaupi lætur gera og einn hluta til prófunar, ef ágreiningur kemur upp á verkábyrgðartíma.

64.4 Próf og mælingar við framkvæmd

64.4.1 Verkferlar

Meðan malbik er lagt út þarf hið minnsta að mæla hitastig þess, þjöppun, rúmþyngd og þykkt. Að útlögn lokinni þarf að mæla sléttleika slitlagsins og, ef þurfa þykir, hemlunar¬viðnám. Þessir verkþættir eru oft í umsjá eftirlitsaðila verkkaupa, sem jafnframt sinnir ýmis konar öðru eftirliti við malbiksútlögn. Sem dæmi má nefna eftirlit með hreinsun og nauðsynlegum viðgerðum á undirlagi, afréttingu á hjólförum, límingu milli malbikslaga, vinnubrögðum við útlögn og völtun og frágangi á samskeytum. Jafnframt segir eftirlitsaðili fyrir um sýnatöku af hálfu verkkaupa.

64.4.2 Steinefnapróf

Að undanteknum mælingum á sáldurferli steinefna eru að jafnaði engin önnur próf gerð á steinefnum í malbiksmassa nema í undantekningartilfellum svo sem þegar grunur vaknar um að gæðum steinefna sé ábótavant og einfaldari leiðir eru ekki færar til að meta þau.

64.4.3 Próf og mælingar

Mælingar á hitastigi: Gæta skal þess við framleiðslu malbiks í stöð að hitastig biksins fari ekki yfir mörk sem gefin eru upp í framleiðslustöðlum fyrir malbik. Taflan hér að neðan gefur upp hámarkshita biks við framleiðslu fyrir malbik, en það er mismunandi eftir stungudýpt.

Stungudýpt (PG)	Hámarkshitastig, ºC
10/20, 15/25, 20/30	200
30/45	195
35/50, 40/60	190
50/70, **70/100**	**180**
100/150	170
160/220	**165**
250/330	160
330/430	155

Hitastig á malbiki verður að ná tilteknu lágmarki, sem er háð bikgerð og íblendi, áður en völtun hefst. Hitastig má mæla á bílpalli á útlagnarstað en er oftast mælt í skúffu útlagnarvélar. Völtun verður að vera lokið áður en malbikið kólnar niður fyrir tiltekið hitastig, háð bindiefnisgerð. Til að fylgjast með hitastigi malbikslagsins meðan á völtun stendur er æskilegt að eftirlitsaðili hafi aðgang að hitamyndavél. Vegagerðin hefur gert kröfu um að útlagnarvélar séu með síritandi hitamyndavél sem mælir hitastig alls yfirborðins strax eftir útlögn malbiks. Einnig er staðsetningarbúnaður tengdur myndavélinni. Slík hitamæling er mikilvæg til að tryggja að hitastig malbiks sé hvergi undir þeim mörkum sem gerðar eru kröfur um við þjöppun, en Vegagerðin á að hafa aðgang að frumgögnum úr hitamyndavél eftir verklok.

Þjöppun í útlögðu malbiki: Tilgangurinn með mælingu á þjöppun er að ganga úr skugga um að holrýmd í útlögðu malbiki sé innan settra marka.

Tvennt kemur til greina sem mælikvarði á þjöppun:

- → að tiltaka þjöppunarhlutfall, þ.e. rúmþyngd borkjarna úr útlögðu malbiki í % af Marshallrúmþyngd
- → að tiltaka holrýmd í útlögðu malbiki

Þjöppunarhlutfall er hinn eiginlegi mælikvarði á þjöppun og hefur einn augljósan kost. Það tiltekur hversu mikið malbikið, sem var lagt, var þjappað miðað við þá þjöppun sem gerðarpróf og framleiðslueftirlit gerir ráð fyrir að malbikið geti náð. Til þess að fá þennan samanburð þarf að taka kjarna úr þjöppuðu malbiki og bera saman rúmþyngdir þeirra við rúmþyngdir úr framleiðslueftirliti. Einfalt er að tiltaka holrýmd í útlögðu malbiki. Gallinn á þeirri aðferð er sá að hún tryggir ekki að malbikið sé vel þjappað, aðeins að holrýmdin sé innan tiltekinna marka. Það er hugsanlegt að áskilin holrýmd náist með tiltölulega lítilli þjöppun og þjöppunarhlutfall malbiksins getur þess vegna verið ófullnægjandi.

Æskilegt er að gera kröfu um að bæði holrýmd og þjöppunarkrafa sé uppfyllt samtímis, en algengast er að setja einungis fram holrýmdarmörk.

Áreiðanlegasta aðferðin til að mæla holrýmd er að taka borkjarna úr malbiki að útlögn lokinni, mæla rúmþyngd þeirra svo og eðlisþyngd malbiksins í borkjörnunum. Með samanburði á þessum tveim mælingum er auðvelt að finna holrýmdina. Þessi aðferð er sú nákvæmasta sem völ er á, en hún er fremur kostnaðarsöm, tefur fyrir umferð og skemmir auk þess malbikið þar sem borkjarnarnir eru teknir. Hana er heldur ekki hægt að nota til að meta hvort frekari völtunar sé þörf meðan á útlögn stendur. Önnur aðferð er að mæla rúmþyngd þjappaðs malbiks er með mælitækjum sem byggjast á rafsegulmælingu. Þessi aðferð er mjög fljótleg og er hægt að beita meðan á völtun stendur og stýra völtuninni á bletti þar sem rúmþyngd bendir til að þjöppun sé ábótavant. Hins vegar eru þessi aðferð ekki fyllilega áreiðanleg fyrir einstakar mælingar en gefur góða heildarmynd af rúmþyngd á svæði þar sem margar mælingar hafa verið gerðar. Niðurstöður mælinganna geta verið háðar malbiksgerðinni sem verið er að mæla og þess vegna þarf að kvarða mælitækin við mælingar á rúmþyngd í borkjörnum ef vel á að vera. Afbrigði af þessari aðferð er DOR (e. Density On Run), sem gerir mögulegt að mæla holrýmdina í samfellu um leið og mælitækinu er ekið eftir malbikslaginu. Þriðji möguleikinn er að mæla þéttni malbikslagsins með hjálp rafsegulbylgna (e. Pavement Quality Indicator). Fjórði möguleikinn er að nota svokallaðan georadar sem einnig þarf að kvarða við mælingar á holrýmd í borkjörnum. Auk upplýsinga um holrýmd fást upplýsingar um lagþykktir, bæði malbiks og undirbyggingar. Mælingarnar eru samfelldar. Þjöppumælar í völtum (e. Intelligent Compaction Control) nýtast vel við að fylgjast með þjöppun með hjálp GPS staðsetningarmælinga. Annars vegar með því að tryggja að tiltekinn fjöldi umferða valta hafi verið farinn yfir allt yfirborð slitlagsins og hins vegar með beinum mótstöðumælingum. Nauðsynlegt er að kvarða þjöppumæla í völtum, t.d. með rafsegulmæli eða borkjörnum, til að hægt sé að túlka niðurstöður mælanna með tilliti til holrýmdar.

Mælingar á þykkt: Venjulega er þykkt mæld með því að reka stálpinna í gegnum malbikslagið rétt aftan við útlagningarvélina og áður en það er þjappað. Mæld þykkt er leiðrétt vegna væntanlegrar þjöppunar. Að auki er þykkt malbikslagsins oft mæld á borkjörnum sem teknir eru að útlögn lokinni.

Mælingar á sléttleika: Gerðar eru kröfur um sléttleika á yfirborði malbiks að útlögn lokinni. Kröfurnar eru gerðar til mestu ójöfnu, mældri með réttskeið, en einnig eru gerðar kröfur til mesta fráviks frá hönnuðu yfirborði, mestu hæðarbreytingar á ákveðinni vegalengd og mesta fráviks frá

hönnuðum þverhalla. Þessar mælingar eru gerðar með hallamálstækjum. Hin síðari ár hafa komið fram útlagnarvélar búnar GPS-tækjum (svo og skynjarar í útlagnarvélinni tengdir við hönnunarhæðir vegarins). Slíkur búnaður á að tryggja að hæðarlega malbiksins sé innan settra marka. Auk þess er til búnaður til að mæla sléttleika (í alþjóðlegum einingum, IRI eða RN) með bíl sem er ekið eftir slitlaginu.

64.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Eftirlit verkkaupa: Í töflu 64-7 er sýnd lágmarkstíðni prófana á útlögðu malbiki sem gildir óháð framleiðslueftirliti malbiksframleiðandans, nema hvað heimilt er að nota niðurstöður prófana í innra eftirliti útlagnarverktaka sem hluta af eftirliti verkkaupa með útlögn, ef verkkaupi samþykkir það. Mælingar á þykkt og holrýmd skulu gerðar á borkjörnum.

Tafla 64 7:
Prófanatíðni á útlögðu malbiki

Eiginleiki	Prófanatíðni að lágmarki
Þykkt borkjarna, ÁDT > 3000	1 próf fyrir hverja byrjaða 6000 m^2
Þykkt borkjarna, ÁDT $\leqslant$ 3000	1 próf fyrir hverja byrjaða 9000 m^2
Holrýmd í borkjörnum, ÁDT > 3000	1 próf fyrir hverja byrjaða 6000 m^2, þó minnst tvö próf fyrir hvert verk
Holrýmd í borkjörnum ÁDT ≤ 3000	1 próf fyrir hverja byrjaða 9000 m^2, þó minnst tvö próf fyrir hvert verk
Hæðarlega	200 m mældir af hverjum km
Þverhalli	Minnst 10 snið innan 200 m kafla á hverjum km
Ýfi (sléttleiki)	Minnst 40 m á hverjum 200 m kafla með réttskeið eða mæling á öllum kaflanum með veggreini
Hemlunarviðnám*	Mældir feitir blettir samkvæmt sjónmati, en ef þeir eru undir lágmarki skal stöðva verk og breyta framleiðslu

** Þar sem leyfilegur hraði er ≥ 50 km/klst*

Sýni tekin af hálfu verkkaupa skulu tekin í samræmi við ÍST EN 12697-27. Hverju sinni skal tekið svo stórt sýni að það nægi til ofangreindra prófana. Fulltrúa verkkaupa (eftirlitsaðila) er skylt að gera verktaka viðvart áður en sýni er tekið og er verktaka heimilt að krefjast þess að sýnið sé svo stórt að það nægi til þrefaldrar prófunar, eina sem verktaki gerir, aðra sem verkkaupi lætur gera og einn hluta til prófunar, ef ágreiningur kemur upp á verkábyrgðartíma.

64.5 Kröfur

Verkkaupi setur fram kröfur í útboðsgögnum til allra efnisþátta malbiks og malbiksins sjálfs í þeim tilgangi að tryggja gæði þeirrar vöru sem hann kaupir af verktaka. Kröfurnar eru í samræmi við fyrirhugaða notkun, enda er mikilvægt að tryggja að malbikið standist þá áraun sem það verður fyrir á líftíma slitlagsins. Á hliðstæðan hátt gera kröfurnar verktaka kleift að meta hversu miklu þurfi að kosta til þeirrar vöru sem hann selur verkkaupanum og einnig til grundvallar raunhæfu tilboði í malbiksverk. Skýrar og vel ígrundaðar kröfur eru því bæði verkkaupa og verktaka til hagsbóta.

Í þessum kafla eru settar fram kröfur til steinefna og bikbindiefnis í malbik, svo og kröfur til blandaðs malbiks (malbiksmassa) og kröfur við framkvæmd, þ.e.a.s. til vinnubragða við útlögn og til eiginleika útlagðs malbiks.

Kröfur til steinefna eru í samræmi við ÍST EN 13043. Í flestum tilfellum eru kröfurnar flokkaðar eftir umferð, þar sem umferðarflokkarnir eru < 3000 ÁDU, 3000-8000 ÁDU, 8000-15000 ÁDU og > 15000 ÁDU, samtals miðað við tvær akreinar.

Kröfur til malbiksmassa eru byggðar á gerðarprófunum og framleiðslueftirliti samkvæmt Evrópustöðlum fyrir malbik á vegi (ÍST EN 13108-1 (AC) og ÍST EN 13108-5 (SMA)) sem hafa nú verið innleiddir hérlendis, svo og staðlanna 13108-20 (e. Type testing) og ÍST EN 13108-21 (e. Factory production control), sjá kafla 64.5.2. Þó má búast við að þar sem mikil reynsla er hér á landi af Marshall aðferðinni verði hún í notkun enn um sinn við hönnun á malbiksblöndum. Evrópustaðlar gera þó ráð fyrir að Marshall aðferðina (festu og sig) megi nota við gerðarprófanir og framleiðslueftirlit fyrir malbik á flugbrautir.

Almennt gildir um frávikskröfur Vegagerðarinnar til steinefna að eitt sýni af hverjum fimm (20%) má víkja frá gildandi kröfu en þó má ekkert frávik vera meira en 10% af tölugildi kröfuflokksins í átt til lakari efnisgæða. Þannig má mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi 22 ef kröfuflokkurinn er LA_{20}.

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinefna, malbiks og verkgæði séu skráð með fullnægjandi hætti. Ef steinefni og malbik er fengið frá framleiðendum á markaði er heimilt að telja skjalfest framleiðslueftirlit með í heildarumfangi eftirlits með gæðum steinefna og malbiks í viðkomandi verk.

64.5.1 Kröfur til steinefna

Í þessum kafla eru settar fram kröfur til steinefna í malbik. Kröfurnar eru byggðar á prófunaraðferðum og kröfuflokkum Evrópustaðals um framleiðslu steinefna í bikbundin efni, ÍST EN 13043 en þar er einnig fjallað um mat og staðfestingu á gæðastöðugleika steinefna – gerðarprófun og framleiðslueftirlit (e. Assessment and Verification of the Constancy of Performance (AVCP) of aggregates - Type testing and Factory Production Control), sem ber að viðhafa við framleiðslu steinefna.

Í framleiðslustaðli ÍST EN 13043 eru settar fram frávikskröfur vegna framleiðslu steinefna (sjá viðauka 4). Kröfurnar eru að 90% mælinga á kornadreifingu skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk. Vegagerðin gerir hinsvegar einungis kröfur í samræmi við markalínur hér að neðan (sjá myndir 64-7 til 64-14) sem eru í samræmi við framleiðslustaðla ÍST EN 13108-1 (stífmalbik og burðarlagsmalbik) og 13108-5 (steinríkt malbik).

Kröfur um vikmörk frá hönnuðum sáldurferli (e. Target grading curve) eru í samræmi við ÍST EN 13108-21 (e. Factory production control) og íslenskan fylgistaðal ÍST 75. Sáldurferill steinefna í malbiksmassa skal þannig vera í samræmi við hannaðan sáldurferil malbiksframleiðanda og skal hann liggja innan markalínanna en þó með þolvikum skv. töflum 64-18 til 64-21 (sjá nánari umfjöllun um kornadreifingu hér á eftir).

Samkvæmt evrópska framleiðslustaðlinum skulu öll gildi fyrir aðrar prófunaraðferðir en kornadreifingu vera innan þess kröfuflokks sem framleiðandi ábyrgist. Vegagerðin setur hins vegar fram almennar nokkru rýmri frávikareglur varðandi kröfur Vegagerðarinnar til berggæða steinefna í malbik og ásýndar bergs, sem gera ráð fyrir að eitt gildi af hverjum fimm gildum megi víkja frá kröfugildi sem nemur allt að 10% í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi 22 ef kröfuflokkurinn er LA_{20} og hin fjögur skulu þá vera innan marka eins og fyrr segir.

Í stórum dráttum þarf steinefni í malbik að:

- hafa heppilegan sáldurferil, lögun og brothlutfall, svo það skríði síður undan þunga umferðarinnar
- hafa góða viðloðunareiginleika gagnvart biki
- vera veðrunarþolið, einkum gagnvart margendurteknum hitasveiflum kringum frostmarkið sem eru einkennandi fyrir íslenskt veðurfar
- vera nægilega sterkt til að þola höggáraun frá umferðinni
- vera slitþolið til að þola áraun frá negldum hjólbörðum

Eiginleikar steinefnisins eru mældir með:

- sáldurgreiningu til að meta kornadreifingu
- viðloðunarprófi (rúlluflöskuprófi) til að meta viðloðunareiginleika
- berggreiningu og frost/þíðu prófi til að meta veðrunarþol
- Los Angeles-prófi til að meta styrk (höggþol)
- brothlutfalls- og lögunarmælingu
- kúlnakvarnarprófi til að meta slitþol
- frekari prófunum, þar á meðal skynmati ef ástæða þykir til

Eiginleikar mélu (filler)

Hérlendis hefur ekki tíðkast að mæla eiginleika mélu sérstaklega, né að halda mélu af mismunandi uppruna aðskilinni í stöð, aðallega af tæknilegum ástæðum. Þó gildir sú meginregla skv. staðli ÍST EN 13043 að 100% skal vera smærra en 2 mm, ≥ 85% skal vera smærra en 1,125 mm og ≥ 70% skal vera smærra en 0,063 mm. Á árunum 2015 til 2017 voru ýmsar rannsóknir gerðar á mismunandi mélusýnum sem tekin voru í malbikunarstöðvum[14]. Einnig var gerð rannsókn á áhrifum mélu á Marshall-eiginleika prófblandna, en skýrsla þar að lútandi kom út 2022[15]. Nánari umfjöllun um mélu er að finna í kafla 64.1 „Eiginleikar mélu (e. filler)“. Þar er meðal annars lagt til að

14 http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/slitlog_malbik_afangi_2017/$file/Slitl%C3%B6g%20-%20malbik%20-%C3%A1fangi%202017.pdf

15 https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/NR_1800_579_Malbiksrannsoknir-Profblondur_med_mismunandi_gerdum_melu/$file/NR_1800_579_Malbiksranns%C3%B3knir-Pr%C3%B3fbl%C3%B6ndur%20me%C3%B0%20mismunandi%20ger%C3%B0um%20m%C3%A9lu.pdf

framleiðendur fylgist með kornarúmþyngd mélunnar og grófleika hennar og leiðrétti magn mélu sem vigtað er inn í malbik í samræmi við þær niðurstöður. Einnig að framleiðendur fylgist með fínleika mélunnar og að 80% hennar smjúgi 0,063 mm sigti, en á þessu stigi er það ekki sett fram sem krafa. Til þess þyrfti frekari rannsóknir á eiginleikum mélu á eiginleika malbiks almennt.

Víða erlendis eru gerðar kröfur um að fleiri eiginleikar mélu liggi fyrir, t.d. stærðardreifingu, yfirborðsflatarmál (Blaine aðferð), skaðleg fínefni, rakastig og áhrif mélu á stífni malbiks, auk nokkurra efnafræðilegra eiginleika.

Húmus
Steinefni sem nota á í malbik skal vera laust við lífræn óhreinindi. Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni sé til staðar, en í vafatilfellum skal prófa húmusinnihald samkvæmt staðli ÍST EN 1744-1 og skal efnið standast kröfur í staðli ÍST EN 13043 um litstyrk í NaOH prófi.

Þjálni
Steinefni sem nota á í malbik má ekki flokkast sem þjált efni. Í vafatilfellum skal efnið prófað í þjálniprófi.

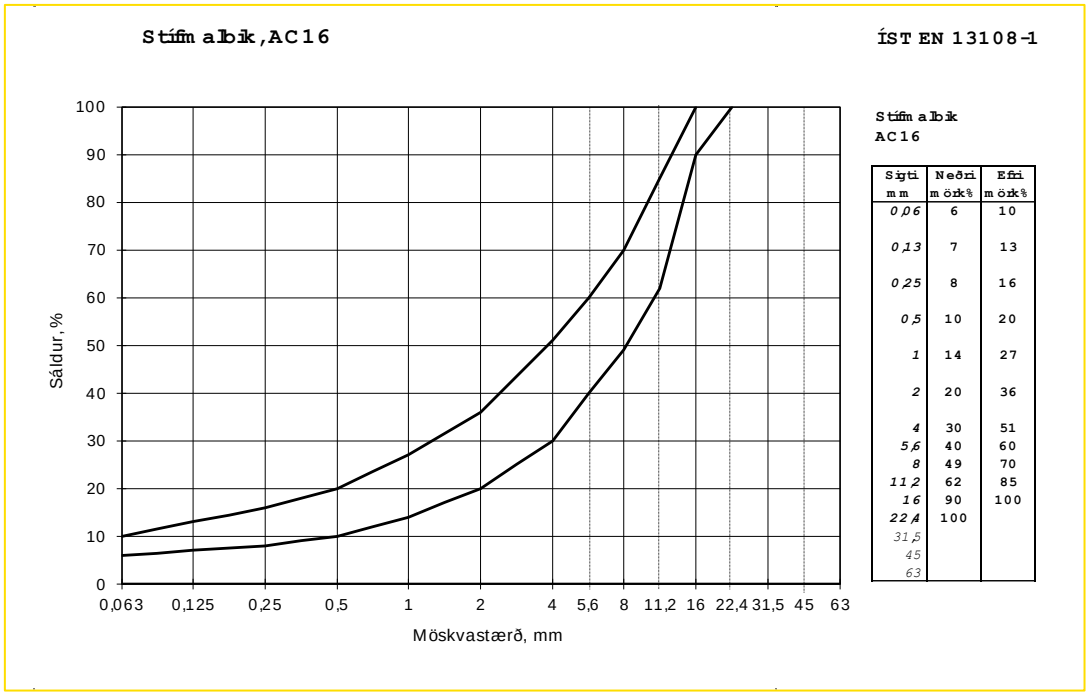
Kornadreifing.
Markalínur fyrir malbik voru ákveðnar með hliðsjón af norskum, sænskum og finnskum verklýsingum, en jafnframt var tekið tillit til íslenskra aðstæðna og reynslu. Markalínurnar falla innan þess ramma sem þeim eru settar í Evrópustöðlum um AC og SMA malbik, sbr. ÍST EN 13108-1 og 13108-5.

Vegna ákvæða í áðurnefndum Evrópustöðlum hefur reynst óhjákvæmilegt að þrengja markalínur kringum efri flokkunarstærð sumra malbiksgerða frá því sem áður hefur tíðkast. Í samanburði við erlendar verklýsingar hafa ákvæði um fínefnainnihald í sumum tilfellum verið rýmkuð, með hliðsjón af íslenskri reynslu, þó að teknu tilliti til ákvæðis um fínefna/bindiefnis hlutfall.

Við hönnun skal áldurferill steinefna í malbiki (eftir blöndun úr mismunandi stærðaflokkum ef svo ber undir) liggja milli markalína sem eru tilgreindar á myndum 64-7 til 64-14. Markalínurnar eru í samræmi við staðla ÍST EN 13108-1 fyrir stífmalbik (AC) og burðarlagsmalbik (BRL) og ÍST EN 13108-5 fyrir steinríkt malbik (SMA). Hannaður áldurferill skal liggja á milli markalínanna og heppilegast er að hann liggi samsíða þeim. Áldurferill sem slangrar milli markalínanna er óheppilegur og ber að forðast. Leyfileg þolvik frá hönnuðum áldurferli eru tilgreind í töflum 64-18 til 64-21. Samkvæmt Evrópustöðlum er því mögulegt að niðurstöður mælinga liggi utan við markalínur að svo miklu leyti sem taflan leyfir, þ.e.a.s. ef hannaður áldurferill liggur nálægt efri eða neðri markalínu. Æskilegt er þó að áldurferill liggi allur innan markalína að teknu tilliti til þolvika.

Fínefni er gjarnan fengið úr mélu steinefnis (e. filler), en hún er þannig samsett skv. staðli ÍST EN 13043 að 100% skal smjúga 2 mm sigti, 85-100% skal smjúga 0,125 mm sigti og 70-100% skal smjúga 0,063 mm sigti.

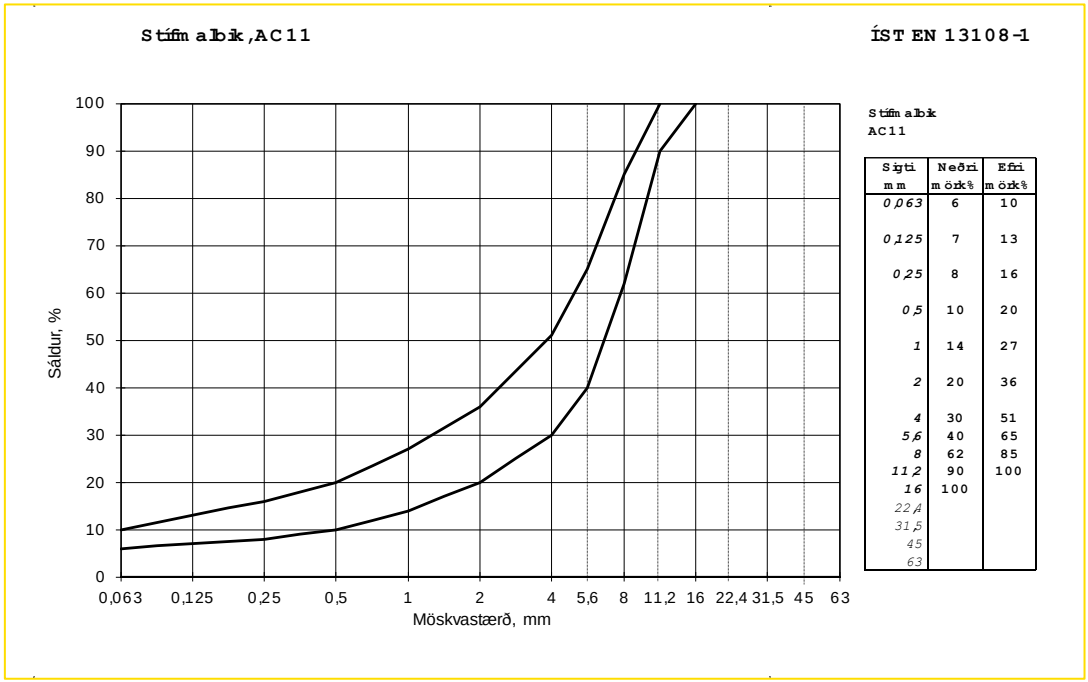
Lagþykkt malbiks (AC og SMA) skal velja þannig að hún sé aldrei minni en 2,5 sinnum efri flokkunarstærð malbiksins eftir völtun og fyrir burðarlagsmalbik skal lagþykktin aldrei vera minni en tvöföld efri flokkunarstærð.



Stífmalbik AC16

Sigti mm	Neðri mörk %	Efri mörk %
0,06	6	10
0,13	7	13
0,25	8	16
0,5	10	20
1	14	27
2	20	36
4	30	51
5,6	40	60
8	49	70
11,2	62	85
16	90	100
22,4	100	
31,5		
45		
63		

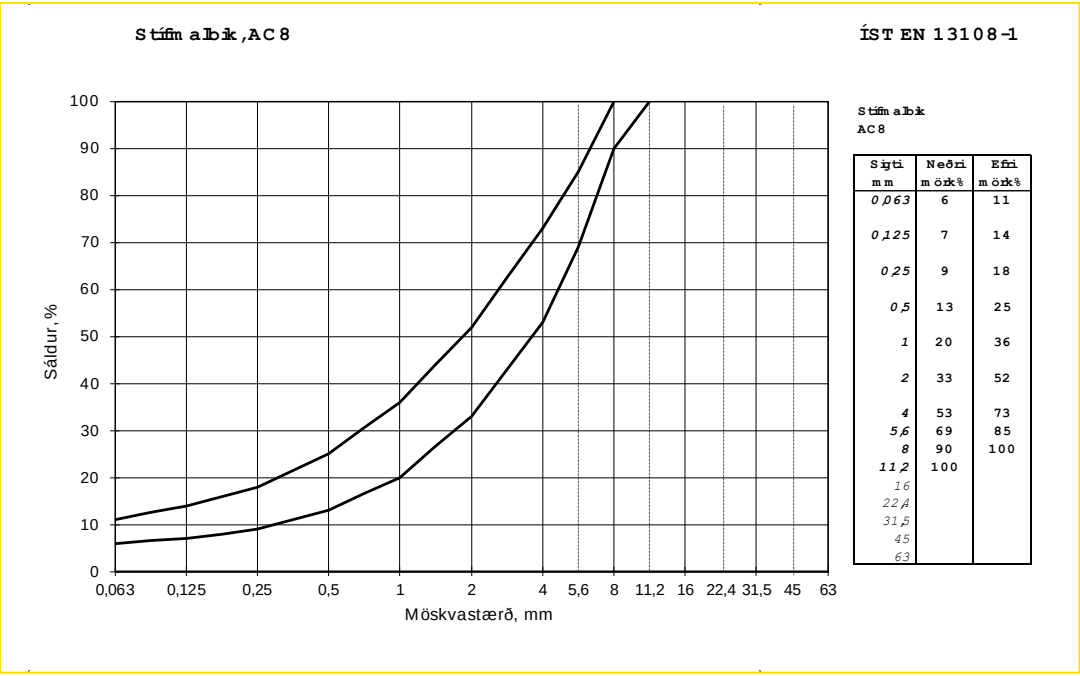
Mynd 64-7:
Markalínur fyrir stífmalbik með 16 mm efri flokkunarstærð



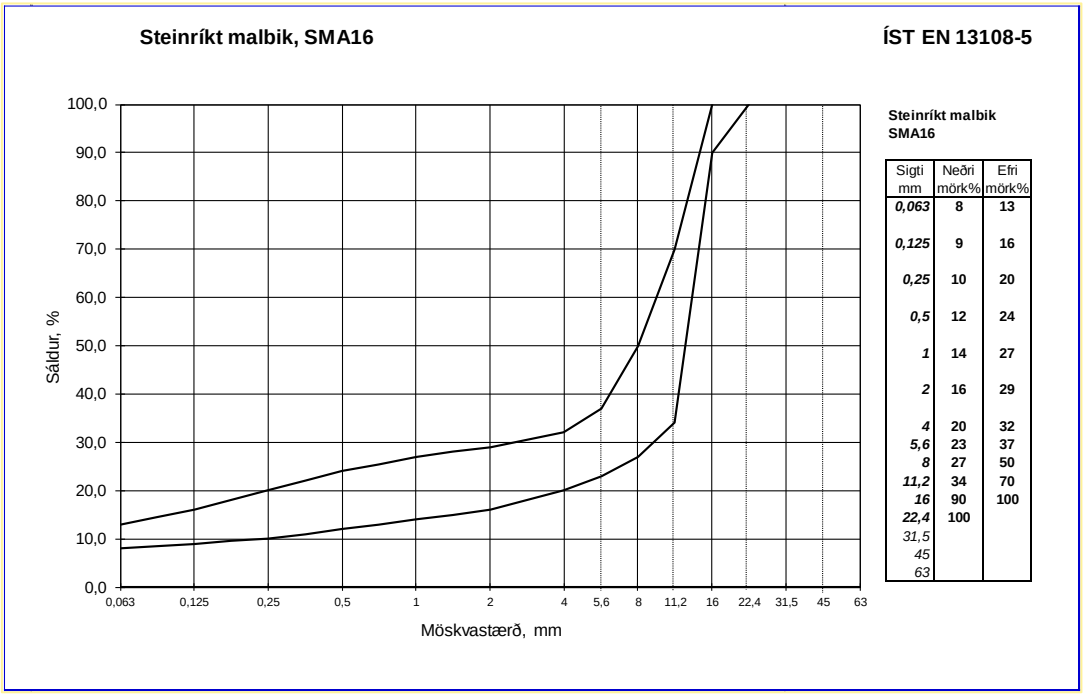
Stífmalbik AC11

Sigti mm	Neðri mörk %	Efri mörk %
0,063	6	10
0,125	7	13
0,25	8	16
0,5	10	20
1	14	27
2	20	36
4	30	51
5,6	40	65
8	62	85
11,2	90	100
16	100	
22,4		
31,5		
45		
63		

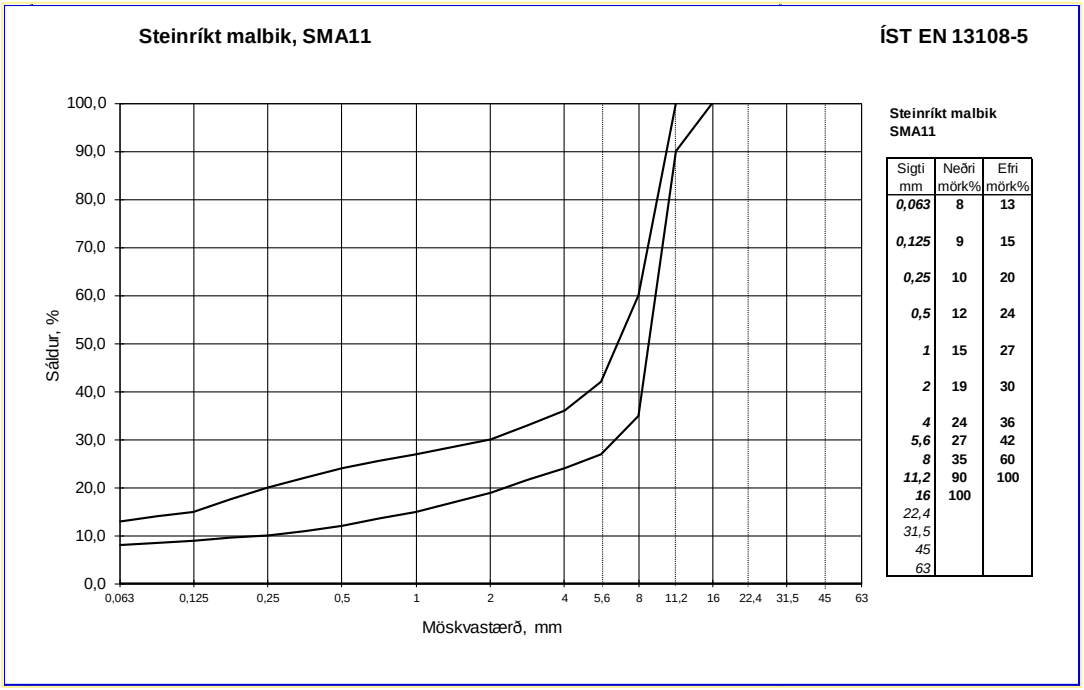
Mynd 64-8:
Markalínur fyrir stífmalbik með 11 mm efri flokkunarstærð



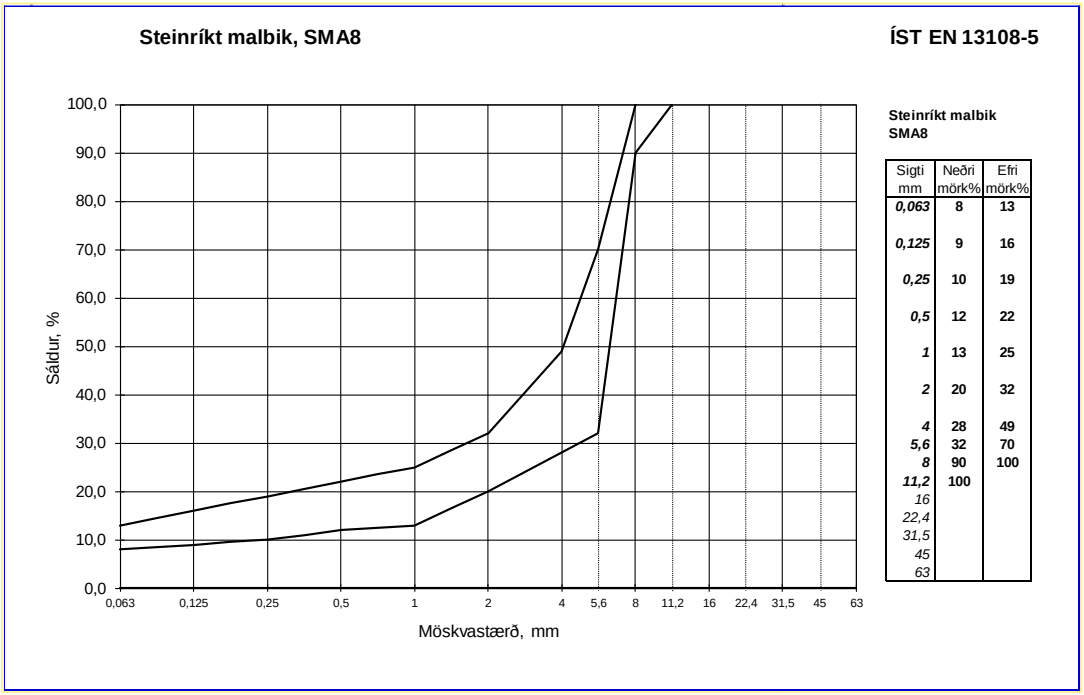
Mynd 64-9:
Markalínur fyrir stífmalbik með 8 mm efri flokkunarstærð



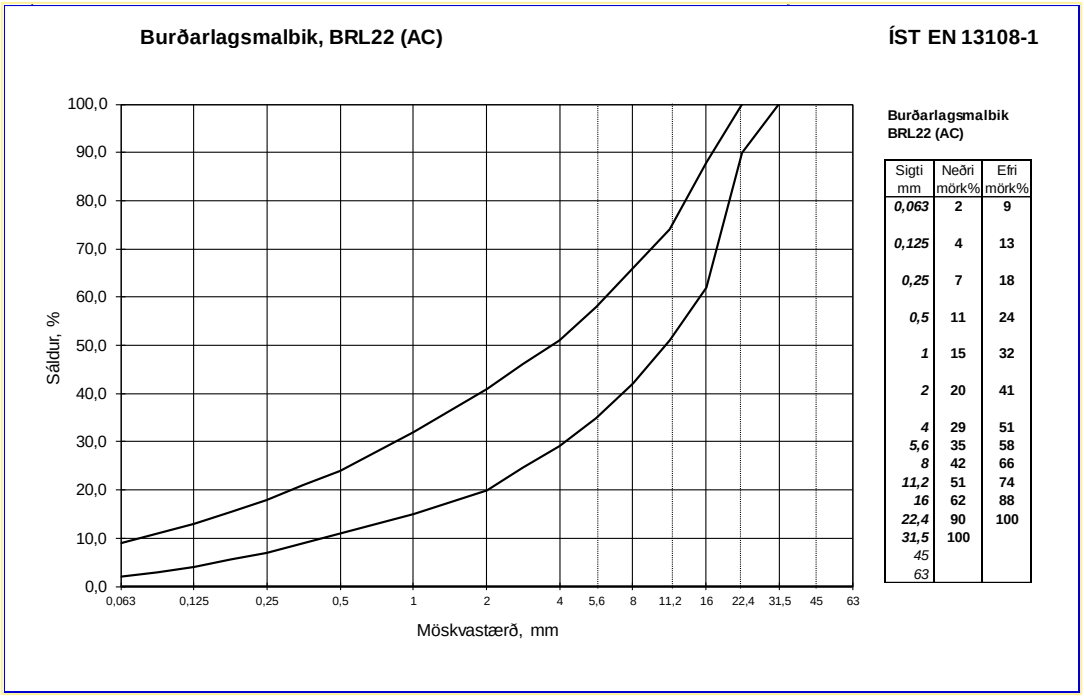
Mynd 64-10:
Markalínur fyrir steinríkt malbik með 16 mm efri flokkunarstærð



Mynd 64-11:
Markalínur fyrir steinríkt malbik með 11 mm efri flokkunarstærð



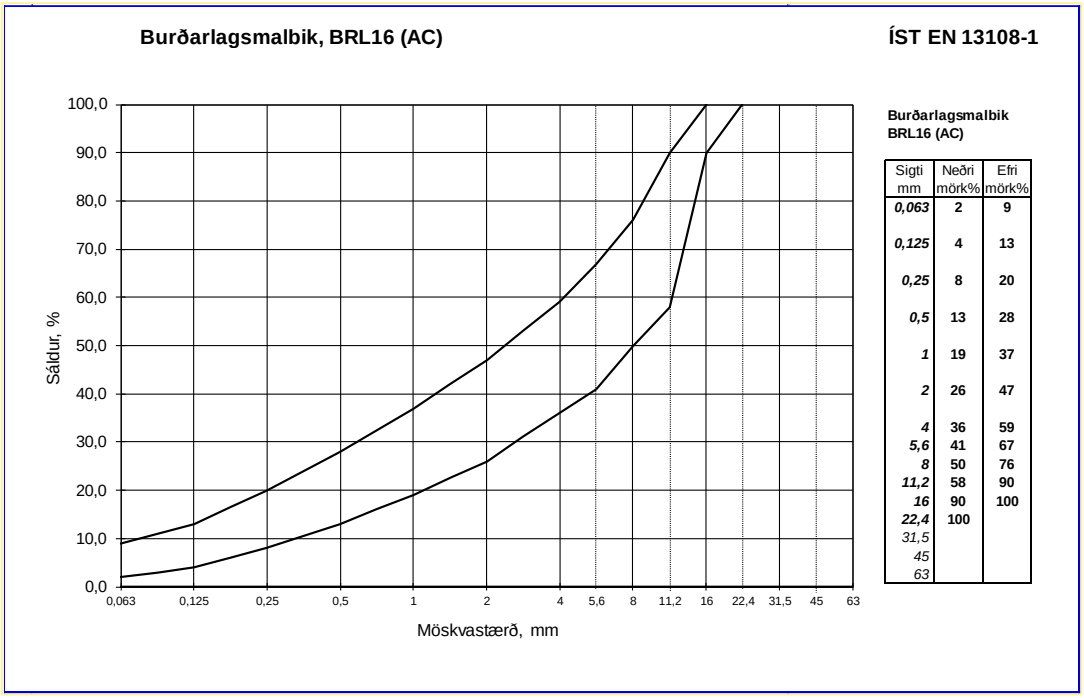
Mynd 64-12:
Markalínur fyrir steinríkt malbik með 8 mm efri flokkunarstærð



Burðarlagsmalbik BRL22 (AC)

Sigti mm	Neðri mörk%	Efri mörk%
0,063	**2**	**9**
0,125	**4**	**13**
0,25	**7**	**18**
0,5	**11**	**24**
1	**15**	**32**
2	**20**	**41**
4	**29**	**51**
5,6	**35**	**58**
8	**42**	**66**
11,2	**51**	**74**
16	**62**	**88**
22,4	**90**	**100**
31,5	**100**	
45		
63		

Mynd 64-13:
Markalínur fyrir burðarlagsmalbik með 22 mm efri flokkunarstærð



Burðarlagsmalbik BRL16 (AC)

Sigti mm	Neðri mörk%	Efri mörk%
0,063	**2**	**9**
0,125	**4**	**13**
0,25	**8**	**20**
0,5	**13**	**28**
1	**19**	**37**
2	**26**	**47**
4	**36**	**59**
5,6	**41**	**67**
8	**50**	**76**
11,2	**58**	**90**
16	**90**	**100**
22,4	**100**	
31,5		
45		
63		

Mynd 64-14:
Markalínur fyrir burðarlagsmalbik með 16 mm efri flokkunarstærð

Viðloðun

Viðloðun bindiefnis við steinefni, með eða án íauka og íblendis eftir því sem við á, skal prófa með rúlluflöskuprófi (ÍST EN 12697-11). Þakning eftir 48 klst skal að lágmarki vera 25%.

Berggreining

Leiðbeinandi gildi fyrir malbik um leyfilegt magn steinefna í gæðaflokkum samkvæmt berggreiningu eru sýndar í töflu 64-8. Kröfurnar miðast við sýni sem liggur á milli 5,6 og 11,2 mm sigta.

Tafla 64-8:
Leiðbeinandi gildi um niðurstöður berggreiningar fyrir steinefni í malbik

Umferð (ÁDU)	**Gæðaflokkur 1 AC og SMA, %**	**Gæðaflokkur 3 AC og SMA, %**	**Gæðaflokkur 1 BRL, %**	**Gæðaflokkur 3 BRL, %**
< 3000	Ekki krafa	$\leqslant$ 10	Ekki krafa	$\leqslant$ 15
3000-8000	$\geqslant$ 65	$\leqslant$ 7	$\geqslant$ 50	$\leqslant$ 15
8000-15000	$\geqslant$ 90	$\leqslant$ 5	$\geqslant$ 65	$\leqslant$ 10
> 15000	$\geqslant$ 90	$\leqslant$ 3	$\geqslant$ 65	$\leqslant$ 10

ÍST EN 13043 (framleiðslustaðall um steinefni í malbik og klæðingar) hefur engin ákvæði um niðurstöðu berggreiningar. Berggreiningin á samkvæmt staðlinum aðeins að segja almennt til um berggerð sýnisins og fylgja með sem upplýsingar um efnið. Íslenska aðferðin hefur verið aðlöguð ÍST EN 932-3, en er mun ítarlegri í skiptingu basalts eftir ummyndun og þéttleika. Íslenska gæðaflokkunin er hins vegar alveg óháð Evrópustöðlum og hefur enga tilvísun í þá, enda er ávallt talað um „leiðbeinandi" gæðaflokkun í þessu riti. Í leiðbeiningariti Vegagerðarinnar, LEI-3410, er íslenska berggreiningarkerfið skjalfest.

Frostþol

Kröfur um frostþol steinefna til nota í malbik, koma fram í töflu 64-9. Kröfurnar eru miðaðar við sýni af steinefni sem liggur á milli 8 og 16 mm sigta. Frostþolspróf skal gert samkvæmt ÍST EN 1367-6 (frostþol í 1% saltlausn).

Tafla 64-9:
Kröfur um frostþol steinefna í malbik.

Umferð (ÁDU)	**Flokkun skv. ÍST EN 13043, AC og SMA**	**Flokkun skv. ÍST EN 13043, BRL**
	Frostþolsgildi	**Frostþolsgildi**
< 3000	$F_{EC}14$	$F_{EC}14$
3000-8000	F_{EC} 8	F_{EC} 14
8000-15000	F_{EC} 4	F_{EC} 8
> 15000	$F_{EC}4$	$F_{EC}8$

Í töflunni þýðir $F_{EC}X$ að frostþolsgildið (mylsna < 4 mm að prófun lokinni) skuli að hámarki vera X%. EC í F_{EC} stendur fyrir „extreme conditions".

Styrkleiki (LA-gildi)

Kröfur um styrkleika steinefna, sem nota á í malbik, koma fram í töflu 64-10. Kröfurnar eru miðaðar við steinefni sem liggur á milli 10 mm og 14 mm sigta og styrkleikann skal prófa samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2.

Tafla 64-10:
Kröfur um Los Angeles – gildi steinefna í malbik.

Umferð (ÁDU)	**Flokkun skv. ÍST EN 13043, AC og SMA**	**Flokkun skv. ÍST EN 13043, BRL**
	LA gildi	**LA gildi**
< 3000	LA_{25}	LA_{30}
3000-8000	LA_{20}	LA_{25}
8000-15000	LA_{15}	LA_{20}
> 15000	LA_{15}	LA_{20}

Í töflunni þýðir LA_X að LA-gildið skuli að hámarki vera X%.

Brothlutfall

Kröfur til brothlutfalls steinefnis, til nota í malbik koma fram í töflu 64-11. Prófið er gert á flokkuðu sýni með lágmarks kornastærð 4 mm og samkvæmt staðli ÍST EN 933-5. Steinefni sem fengin eru úr sprengdu bergi teljast uppfylla kröfuflokk C100/0 og þarfnast ekki prófunar á brothlutfalli samkvæmt ákvæði í framleiðslustaðli ÍST EN 13043.

Tafla 64-11:
Kröfur um brothlutfall steinefna í malbik.

Umferð (ÁDU)	**Flokkun skv. ÍST EN 13043, AC og SMA**	**Flokkun skv. ÍST EN 13043, BRL**
	Brothlutfall	**Brothlutfall**
< 3000	$C_{50/30}$	$C_{50/30}$
3000-8000	$C_{50/30}$	$C_{50/30}$
8000-15000	$C_{50/10*}$	$C_{50/10*}$
> 15000	$C_{90/1*}$	$C_{50/10*}$

**Hér er að auki gerð krafa um að 30 til 100% þess efnis sem flokkast brotið sé albrotið.*

Í töflunni þýðir $C_{X/Y}$ að X% af þunga efnisins á að vera brotið að meirihluta eða að öllu leyti, en Y% má vera alnúið.

Kornalögun

Kröfur til kornalögunar steinefnis, til nota í malbik koma fram í töflu 64-12. Prófið er gert samkvæmt staðli ÍST EN 933-3.

Tafla 64-12:
Kröfur um kornalögun steinefna í malbik.

Umferð (ÁDU)	Flokkun skv. ÍST EN 13043, AC og SMA	Flokkun skv. ÍST EN 13043, BRL
	Kleyfnistuðull	Kleyfnistuðull
< 3000	FI_{20}	FI_{25}
3000-8000	FI_{20}	FI_{20}
8000-15000	FI_{20}	FI_{20}
> 15000	FI_{15}	FI_{20}

Í töflunni þýðir FI_X að kleyfnistuðullinn (e. Flakiness Index) skuli að hámarki vera X %.

Slitþol (kvarnargildi)

Kröfur um slitþol (kvarnargildi) steinefna sem eru notuð í malbik, koma fram í töflu 64-13 a). Kröfurnar eru miðaðar við steinefni sem liggur á milli 11,2 og 16 mm sigta. Prófið er gert samkvæmt staðli ÍST EN 1097-9.

Tafla 64-13 a):
Kröfur til kvarnargildis steinefna í malbik.

Umferð (ÁDU)	Flokkun skv. ÍST EN 13043, AC og SMA Hraði < 70 km/klst	Flokkun skv. ÍST EN 13043, AC og SMA Hraði > 70 km/klst
	Kvarnargildi	Kvarnargildi
< 3000	A_N 19	A_N 14
3000-8000	A_N 14	A_N 10
8000-15000	A_N 10	A_N 7
> 15000	A_N 7	A_N 7

Í töflunni þýðir A_N X að kvarnargildið má að hámarki vera X%.

Eins og sjá má í töflu 64-13 a) eru gerðar strangari kröfur til slitþols steinefna í slitlögum með hraða umferð (> 70 km/klst) en með hæga umferð (< 70 km/klst). Þetta er gert með hliðsjón af því að nagladekkjaslit vex með auknum umferðarhraða.

Slípiþol steinefna (e. Polished Stone Value)

Leiðbeinandi kröfur um slípiþol (PSV) steinefna sem eru notuð í malbik samkvæmt prófunarstaðli ÍST EN 1097-8, sjá viðauka 1, koma fram í töflu 64-13 b). Þar sem álag er mikið, t.d. á umferðarmiklum vegum og í hringtorgum skal setja fram kröfu um slípiþol steinefna (e. Polished Stone Value). sbr. töflu 64-13 b) og umfjöllun neðan við töfluna. Mikil slípun steinefna getur valdið

því að hemlunarviðnám á yfirborði malbiks verði of lágt (sjá kröfur til hemlunarviðnáms í töflu 64-22.

Tafla 64-13 b):
Kröfur til slípigildis steinefna í malbik.

Umferð (ÁDU)	**Flokkun skv. ÍST EN 13043**
	Slípigildi
< 3000	Ekki krafa
3000-8000	Ekki krafa
8000-15000	PSV $\geqslant$ 50
> 15000	PSV $\geqslant$ 56

Vegagerðin hefur í útboðsgögnum sett fram kröfu um slípigildi **PSV 52** sem er ekki kröfuflokkur í ÍST EN 13043, heldur liggur á milli flokka. Ástæðan fyrir þessari millikröfu var sú að innflutt steinefni sem eru talin hafa valdið hálku standast kröfuna PSV 50, en ekki kröfuna PSV 52 í slípiþolsprófi. Önnur innflutt gæðasteinefni sem talið er að verði ekki of hál standast kröfuna PSV 52 en ekki PSV 56. Ef gerð yrði krafa um PSV 56 þyrfti því að flytja inn steinefni sem hingað til hefur ekki þótt ástæða til að nota hérlendis í malbik. Víða í Evrópu eru settar fram mjög strangar kröfur um slípiþol steinefna, en þá ber einnig að hafa í huga að þar eru nagladekk ekki notuð, en þau gera yfirborð steinefnis aftur hrjúft yfir veturinn. Einnig má benda á að erlend steinefni með mjög hátt PSV gildi eru gjarnan einhvers konar samlímdur, hrjúfur sandsteinn sem hefði að öllum líkindum lítið þol gagnvart umferð á negldum hjólbörðum.

Íslensk basalt steinefni, sem notuð hafa verið í malbik, liggja oftast með slípigildi öðru hvoru megin við PSV 50. Þess má geta að íslensk steinefni sem mælast með tiltölulega gott slitþol (lágt kvarnargildi) geta fengið lágt PSV gildi, sem sagt slípast auðveldlega.

Ljóstæknilegir eiginleikar
Samkvæmt norskum leiðbeiningum (intern rapport 827 frá Veglaboratoriet) gildir eftirfarandi flokkun um ljóstæknilega eiginleika steinefna, sjá töflu 64-13 c):

Tafla 64-13 c):
Flokkar fyrir endurskin steinefna í malbik

Mælt endurskin - gildi	**Endurskinsflokkur**
L_{blautt} < 10% (dekkst)	5
L_{blautt} = 10-20%	4
L_{blautt} = 20-30%	3
L_{blautt} = 30-40%	2
L_{blautt} > 40% (ljósast)	1

Endurskin steinefna skal mæla eins og lýst er í riti norsku vegagerðarinnar, Håndbok R210 Laboratorieundersøkelser, kafla 115. Aðferðin felst í því að mæla endurskin steinefnis í stærðarflokki 0,125 til 0,250 mm með sérstökum endurskinsmæli. Mælirinn er þannig kvarðaður að hvítur glerungur gefur 100% endurskin, en ekkert endurskin er frá svörtum fleti. Endurskinsgildið (L) er meðaltal tveggja mælinga á blautum steinefnum.

Á undanförnum árum hefur Vegagerðin gert kröfu um að endurskin steinefna fyrir tilteknar malbiksgerðir skuli uppfylla endurskinsflokk 3 eða ljósara, sem sagt að endurskinið skuli vera $\mathbf{L_{blautt} \geq 20\%}$. Innflutt gæðasteinefni standast þessar kröfur en ekki íslenskt basalt.

64.5.2 Kröfur til bikbindiefnis

Í töflu 64-14 eru settar fram kröfur til bikbindiefnis sem byggðar eru á norskum kröfum sem settar eru fram í Vegbygging, Håndbok N200 frá 2021, töflu 4.49, en hafa verið felldar út í 2018 útgáfunni. Þessir niðurstöður þurfa að koma fram á fylgiseðlum með bikinu og/eða samkvæmt prófunum á óháðri prófunarstofu.

Tafla 64-14:
Kröfur um eiginleika biks.

Eiginleiki	**Eining**	**Prófunar-aðferð**	**Stungudýpt (e. Paving Grade, PG)**		
			70/100	100/150	160/220
Stungudýpt við 25°C	0,1 mm	ÍST EN 1426	70-100	100-150	160-220
Mýkingarmark	°C	ÍST EN 1427	43-51	39-47	35-43
Blossamark, Coc, lágmark	°C	EN ISO 2592	230	230	220
Uppleysanleiki, lágmark	%	ÍST EN 12592	99,0	99,0	99,0
Dynamísk seigja við 60°C, lágmark	Pa s	ÍST EN 12596	90	55	30
Kinematisk seigja við 135°C, lágmark	mm^2/s	ÍST EN 12595	230	175	135
Fraas brotpunktur, hámark	°C	ÍST EN 12593	-10	-12	-15

64.5.3 Kröfur til efnismassa

Kröfum til efnismassa má skipta í þrjú stig:

a) Leiðbeinandi hönnunarkröfur (e. mix design), en hlutverk þeirra er að stýra hönnun malbiksins í stórum dráttum. Hönnunarkröfur eru mismunandi eftir því hvaða hlutverk malbikinu er ætlað og eiga að tryggja vissa grundvallareiginleika þess. Þeir helstu eru:

- Slit- og veðrunarþol efsta malbikslagsins; sliti af völdum negldra hjólbarða verður að halda í skefjum og sömuleiðis veðrun vegna veðurfarslegra áhrifa eða hálkueyðingar.
- Burðarþol eða skriðeiginleika; malbikslagið þarf að þola lárétt og lóðrétt álag frá umferðinni án þess að skríða til eða rifna.
- Sveigjanleiki; malbikslagið verður að geta lagað sig að lítilsháttar frostlyftingum eða sigi í undirbyggingu án þess að springa.
- Umferðaröryggi; slitlag verður að hafa nægilegt hemlunarviðnám, heppilega ljóstæknilega eiginleika og vera laust við ójöfnur, sprungur eða aðrar óreglur á yfirborðinu sem gætu haft neikvæð áhrif á stjórnun farartækis.

b) Gerðarprófanir sem felast í yfirlýsingu á eiginleikum hverrar gerðar malbiks sem framleitt er, að lágmarki kornakúrfa, bindiefnisinnihald, holrýmd, bikfyllt holrýmd og hitastig. Fyrir malbik sem framleitt er fyrir umferðarmikla vegi, eða > 8000 ÁDU miðað við heildarumferð eða þar sem þungaumferð er $\geqslant$ 400 ÁDUþ (miðað við heildarumferð á vegi eða götu), og einnig þar sem er sambærilegt álag á malbikinu, t.d. á flugvöllum, flughlöðum, hafnarsvæðum, biðstöðvum strætisvagna og öðrum vinnusvæðum þungra farartækja skal auk þess lýsa yfir niðurstöðum úr hjólfaraprófi, slitþolsprófi og vatnsnæmiprófi, samanber viðauka 4 í þessu riti og ÍST EN 13108-20.

c) Framleiðslueftirlit, en það á að tryggja að framleitt malbik sé í samræmi við forskrift (e. target mix) samanber viðauka 4 í þessu riti og ÍST EN 13108-21. Leyfð eru ákveðin frávik frá forskrift sem verða að teljast sanngjörn vegna óvissu í rannsóknaniðurstöðum og óhjákvæmilegs breytileika í hráefnum og framleiðsluferli, þó ekki meiri en svo að áhrif þeirra á eiginleika malbiksins eru hverfandi.

Leiðbeinandi hönnunarkröfur

Hönnun er fólgin í því að velja efni (steinefni, bindiefni og íauka/íblendi) og ákvarða blöndunarhlutföll þeirra þannig að malbikið uppfylli hönnunarkröfurnar og henti vel til fyrirhugaðrar notkunar. Varðandi kostnaðaráætlanir við hönnun er mikilvægt að miða við heildarkostnað á líftíma malbiksins. Hönnunin er aðallega fólgin í að finna heppileg hlutföll steinefna (mélu, sands og perlu) og hæfilegt bindiefnismagn í blönduna. Hæfilegt bindiefnismagn er oft fundið á grundvelli Marshallprófs, en þá eru þjöppuð heit malbikssýni í mót með mismunandi miklu bindiefnisinnihaldi, völdu með hliðsjón af mörkunum í töflu 64-3. Sýnin eru síðan mæld og prófuð og eiginleikar þeirra bornir saman við hönnunarkröfurnar. Síðan er endanlegt bindiefnisinnihald valið þannig að eiginleikarnir séu í sem bestu samræmi við fyrirhugaða notkun malbiksins, að teknu tilliti til hönnunarkrafnanna. Gerð er krafa um að viðloðunarefni séu ávallt notuð í malbik, óháð gerð steinefnis, og að hlutfall þeirra sé á bilinu 0,25-0,3% af bindiefnismagni, þó háð gerð viðloðunarefnisins.

Leiðbeinandi hönnunargildi úr Marshallprófi koma fram í töflu 64-15. Það skal ítrekað að festa og sig eru ekki gerðarprófanir eða prófanir við framleiðslueftirlit í Evrópustöðlum, nema fyrir flugvallarmalbik.

Tafla 64-15:
Gildi til eiginleika malbiksblöndu við hönnun malbiks.

Tegund malbiks	**Eiginleiki - Marshallpróf**			
	Holrýmd, %	Festa, kN	Sig, mm	Festa/sig, kN/mm
Stífmalbik, AC 8	1,5-3,5	≥ 5,0	1,5-5,0	> 1,0
Stífmalbik, AC 11	1,5-3,5	≥ 5,0	1,5-5,0	> 1,0
Stífmalbik, AC 16	1,5-3,5	≥ 5,0	1,5-5,0	> 1,0
Steinríkt malbik, SMA 8	2,0-4,0	≥ 5,0	1,5-5,0	> 1,0
Steinríkt malbik, SMA 11	2,0-4,0	≥ 5,0	1,5-5,0	> 1,0
Steinríkt malbik, SMA 16	2,0-4,0	≥ 5,0	1,5-5,0	> 1,0
Burðarlagsmalbik, BRL 16	2,0-6,0	≥ 3,5	1,0-5,0	-
Burðarlagsmalbik, BRL 22	2,0-6,0	≥ 3,5	1,0-5,0	-

Ath: Holrýmd skal liggja innan þeirra marka sem gefin eru í töflunni og voru gildin hækkuð fyrir AC og SMA malbik sem nemur 0,5% í útgáfu 2021, úr 1,0 í 1,5%. Gildin í töflunni fyrir festu og sig eru leiðbeinandi.

Á grundvelli hönnunarinnar gerir framleiðandi forskrift að malbiksblöndunni og á samsetning malbiksins þá að vera í samræmi við hana. Forskriftin á meðal annars að tilgreina:

- Steinefni sem á að nota, efri flokkunarstærð þeirra og uppruna (náma eða vörumerki).
- Innbyrðis hlutföll steinefna (méla, sandur, perla).
- Sáldurferil steinefnablöndunnar.
- Bikgerð (stungudýpt) og hlutfall biks af malbiksblöndu.
- Gerð og magn íauka og íblendis.
- Ýmsar almennar upplýsingar, svo sem hitastig við blöndun og útlögn, slitlagsþykkt, þjöppunarhlutfall og þolvik.

Kröfur til gerðarprófana (e. Type Testing, TT)
Kröfur um gerðarprófanir gera ráð fyrir að eiginleikum mismunandi malbiksgerða sé lýst yfir á ákveðinn hátt (e. Declaration of Performance, DoP). Íslenskur fylgistaðall um framleiðslu malbiks, ÍST 75, kveður meðal annars á um hvaða prófanir skuli gera vegna gerðarprófana. Fyrir malbik sem ætlað er til nota þar sem umferð er lítil nægir að lýsa yfir kornakúrfu, bindiefnisinnihaldi, holrýmd, bikfylltri holrýmd og hitastigi við blöndun. Ef malbiksgerð er ætluð til nota þar sem heildarumferð mikil, eða $\geqslant$ 8000 ÁDU eða þar sem þungaumferð er $\geqslant$ 400 $ÁDU_þ$ (miðað við heildarumferð á vegi eða götu), og einnig þar sem er sambærilegt álag á malbikinu, t.d. á flugvöllum, flughlöðum, hafnarsvæðum, biðstöðvum strætisvagna og öðrum vinnusvæðum þungra farartækja, skal auk þess lýsa yfir skrið-, slit- og vatnsnæmi-eiginleikum. Gerðarprófanir hverrar malbiksgerðar sem framleidd er á markað skal gera í upphafi og síðan á fimm ára fresti að lágmarki. Ef gerð malbiks er breytt á afgerandi hátt (þannig að farið er út fyrir þolvik) skal meðhöndla malbiksblönduna sem nýja gerð malbiks sem þarf þá að gerðarprófa sem slíka.

Lýsa skal efniseiginleikum stífmalbiks (AC) og steinríks malbiks (SMA) með tilliti til framleiðslustaðla ÍST EN 13108-1 og ÍST EN 13108-5 og skrá í samræmi við ÍST EN 13108-20 (e. Type Testing), auk annarra upplýsinga sem skrá skal skv. kafla 7 í þeim staðli. Í töflu 64-16 kemur fram hvað á við í viðkomandi framleiðslustöðlum.

Tafla 64-16
Prófanir sem eiga við vegna gerðarprófana malbiks

Eiginleiki	**Flokkur (e. Category)**
Kornadreifing, ÍST EN 12697-2	Á ekki við
Lágmarksbindiefnisinnihald, ÍST EN 12697-1	B_{min}
Holrými, ÍST EN 12697-8	V_{min} og V_{max}
Bikfyllt holrými, ÍST EN 12697-8	VFB_{min} og VFB_{max}
Hámarkshitastig blöndu, ÍST EN 12697-13	Háð bikgerð (PG)
Hjólfarapróf, ÍST EN 12697-22	WTS_{AIR} og $RD_{AIR\ max}$
Slitþolspróf, ÍST EN 12697-16	$Abr_{A\ max}$
Vatnsnæmipróf, ÍST EN 12697-12	$ITSR_{min}$

Í töflu 64-17 eru settar fram kröfur um skrið, slitþol og vatnsnæmi malbiks. Athygli er vakin á því að í gerðarprófunum skal bæði tilgreina hámarkshjólfaradýpt (RD_{AIR}) og skrið á hverjum 1000 umferðum síðustu 5000 umferðirnar (WTS_{AIR}). Vegagerðin getur í útboðsgögnum tilgreint bæði kröfugildin og valið annað þeirra, enda er nokkuð góð fylgni á milli þeirra, sérstaklega ef þess er gætt að þjöppun sýna sé í lagi.

Tafla 64-17:
Kröfur um eiginleika malbiks í gerðarprófunum

Prófunaraðferð	**< 8000 (ÁDU)*****	**⩾ 8000 (ÁDU)*****	**⩾ 15000 (ÁDU)*****	**⩾ 30000 (ÁDU)*****
Hjólfarapróf, mm*	Ekki krafa	6	5	4
Hjólfarapróf, mm**	Ekki krafa	0,2	0,15	0,1
Prall slitþolspróf, ml	Ekki krafa	24	24	20
Vatnsnæmipróf, %	Ekki krafa	70	70	70

** Um er að ræða hámarksdýpt hjólfara (e. Rut Depth, RD_{AIR}).*

*** Um er að ræða skrið á hverjum 1000 umferðum síðustu 5000 umferðirnar (e. Wheel Tracking Slope, WTS_{AIR}).*

**** Eða sambærilegt álag, sjá umfjöllun hér fyrir ofan. Miðað er við heildarumferð á vegi eða götu og að umferð þungra bíl, ÁDUÞ, sé 5% heildarumferðar.*

Kröfur við framleiðslu malbiks

Kröfur vegna eftirlits með framleiðslu malbiks snúast fyrst og fremst um að tryggja að framleiðsla malbiksins sé í samræmi við forskrift (e. Target Mix), að teknu tilliti til leyfðra frávika, sem hér eru kölluð þolvik. Mæla skal og halda skrá yfir sáldurferil, bindiefnisinnihald, holrýmd, bikfyllta holrýmd og hitastig við blöndun, samanber viðauka 4 í þessu riti. Við eftirlit með þessum þáttum eru Marshalleiginleikar malbiksins oft kannaðir í leiðinni til upplýsingar, sem sagt festa og sig.

ÍST EN 13108-21 (e. Factory production control) og íslenskur fylgistaðall ÍST 75 tilgreina meðal annars þolvik fyrir malbiksframleiðslu. Malbik með flokkunarstærð ≤ 16 mm hefur vikmörk þess sem kallað er „small aggregate sizes“ skv. viðauka A í staðlinum. Tveir flokkar þolvika eru leyfðir, sbr. töflu A.1 í viðauka A í Evrópustaðlinum. Annar þeirra leggur niðurstöður stakra sýna til grundvallar, hinn notar meðaltöl af niðurstöðum fjögurra sýna. Aðeins er heimilt að nota annan flokkinn í hverri framleiðslustöð hverju sinni og skal síðarnefndi flokkurinn notaður hérlendis ef framleitt efnismagn er nægjanlegt miðað við tíðni prófana. Að öðrum kosti má nota stök sýni til mælinga á þolvikum.

Þolvik á meðaltali fjögurra sýna af bikinnihaldi í malbiki (AC, SMA og BRL) skal vera ± 0,3%, óháð efri flokkunarstærð, en ± 0,5% í stakri mælingu þar sem steinefni er
< 16 mm og 0,6% í stakri mælingu þar sem steinefni er ≥ 16 mm.

Sáldurferill steinefna í malbiksmassa skal vera í samræmi við forskrift, þó með þolvikum skv. töflu 64-18 og 64-19, ef um meðaltal fjögurra sýna er að ræða.

Tafla 64-18:
Þolvik (%) frá hönnuðum sáldurferli í sýnum af malbiki (AC og SMA). Þolvikin gilda fyrir meðaltal fjögurra sýna úr sama verki og sömu malbiksgerð.

Malbiksgerð AC og SMA						
Sigti, mm	AC 8	AC 11	AC 16	SMA 8	SMA 11	SMA 16
0,063	±1	±1	±1	±1	±1	±1
0,5	±2	±2	±2	±2	±2	±2
2	±3	±3	±3	±3	±3	±3
4	±4	-	-	±4	-	-
5,6	-	±4	-	-	±4	-
8	±4	-	±4	±4	-	±4
11,2	-2*	±4	-	-2*	±4	-
16		-2*	±4		-2*	±4
22,4			-2*			-2*

** Krafan er að sáldur sem smýgur 1,4D sé 100% en þolvik eru -2, sem þýðir að minnst 98% skulu smjúga það sigti.*

Tafla 64-19:
Þolvik (%) frá hönnuðum sáldurferli í sýnum af burðarlagsmalbiki. Þolvikin gilda fyrir meðaltal fjögurra sýna úr sama verki og sömu malbiksgerð.

Sigti, mm	BRL 16	BRL 22
0,063	±2	±2
0,5	±2	±2
2	±3	±3
4	-	-
5,6	-	-
8	±4	-
11,2	-	±4
16	±5	-
22,4	-2*	±5
31,5		-2*

** Krafan er að sáldur sem smýgur 1,4D sé 100% en þolvik eru -2, sem þýðir að minnst 98% skulu smjúga það sigti.*

Á sama hátt skal sáldurferill steinefna í malbiksmassa vera í samræmi við forskrift, þó með þolvikum skv. töflu 64-20 og 64-21, ef um stakar mælingar er að ræða.

Tafla 64-20:
Þolvik (%) frá hönnuðum sáldurferli í sýnum af malbiki (AC og SMA). Þolvikin gilda fyrir stakar mælingar sýna úr sama verki og sömu malbiksgerð.

Malbiksgerð AC og SMA						
Sigti, mm	AC 8	AC 11	AC 16	SMA 8	SMA 11	SMA 16
0,063	±2	±2	±2	±2	±2	±2
0,5	±4	±4	±4	±4	±4	±4
2	±6	±6	±6	±6	±6	±6
4	±7	-	-	±7	-	-
5,6	-	±7	-	-	±7	-
8	-8+5	-	±7	-8 +5	-	±7
11,2	-2*	-8+5	-	-2*	-8+5	-
16		-2*	-8+5		-2*	-8+5
22,4			-2*			-2*

** Krafan er að sáldur sem smýgur 1,4D sé 100% en þolvik eru -2, sem þýðir að minnst 98% skulu smjúga það sigti.*

Tafla 64-21:
Þolvik (%) frá hönnuðum sáldurferli í sýnum af burðarlagsmalbiki. Þolvikin gilda fyrir stakar mælingar sýna úr sama verki og sömu malbiksgerð.

Sigti, mm	BRL 16	BRL 22
0,063	±3	±3
0,5	±5	±5
2	±7	±7
4	-	-
5,6	-	-
8	±9	-
11,2	-	±9
16	-9 +5	-
22,4	-2*	-9 +5
31,5		-2*

** Krafan er að sáldur sem smýgur 1,4D sé 100% en þolvik eru -2, sem þýðir að minnst 98% skulu smjúga það sigti.*

Kröfur til hitastigs malbiks við framleiðslu eru háðar gerð bindiefnisins sem notað er í viðkomandi malbiksblöndu. Til viðmiðunar skal hitastig malbiksins við framleiðslu vera á bilinu 130-165 °C þegar bik með stungudýpt PG 160/220 eða PG 100/150 er notað, en 140-180°C ef bikið er með stungudýpt PG 70/100. Ef vaxefni eða fjölliður eru notuð í bikið, geta önnur hitastigsmörk gilt.

Lágmarkstíðni prófana við eftirlit með framleiðslu malbiks skal ákvarða með tilliti til kafla A.4 og A.5, svo og töflu A.3 í viðauka A í staðli ÍST EN 13108-21. Tíðnin getur verið breytileg eftir því hvort þolmörk eru uppfyllt (e. Operating Compliance Level, OCL) hverju sinni. Samkvæmt staðlinum skal lágmarkstíðni prófana vera eitt próf (sáldurferill, bindiefnisinnihald, holrými, bikfyllt holrými og hitastig) fyrir hver 2000 framleidd tonn ef niðurstöður eru innan þolmarka, þó ekki sjaldnar en einu sinni í viku meðan á framleiðslu stendur.

64.5.4 Kröfur við framkvæmd

Með framkvæmd er átt við útlögn og völtun malbiksins. Að jafnaði eru kröfur við framkvæmd einskorðaðar við hitastig á malbiki við útlögn og völtun, rúmþyngd og/eða þjöppun í útlögðu malbiki, þykkt malbikslagsins, hæðarlegu yfirborðsins og stundum, ef slitlag á í hlut, ýfi og hemlunarviðnám. Stundum eru einnig tekin sýni af útlögðu malbiki til að kanna holrými, rúmþyngd, bindiefnisinnihald og sáldurferil, jafnvel eiginleika steinefna, en oftast nær til að útkljá ágreining um eiginleika massans. Þá gilda kröfur um efnismassa sem eru tilgreindar í kafla 64.5.2.

Ef sjónmat á malbiki bendir til að hemlunarviðnám sé undir kröfum sem birtar eru í töflu 64-22 skal samstundis stöðva verkið og mæla hemlunarviðnám. Í útboðsgögnum er gjarnan miðað við að flatarmál bindiefnisríkra (feitra) bletta sé ekki meira en 5 m^2. Ef hemlunarviðnámið er undir kröfugildum þarf að grípa til einhverra af eftirfarandi ráðstöfunum:

- Fínfræsa yfirborð slitlagsins með demantsblöðum (e. diamond grooving)
- Sandblástur yfirborðs feitra bletta (e. shot blasting)
- Hömrun (e. bush hammering)
- Háþrýstihreinsun með vatni (e. high velocity water blasting)
- Strá grófum sandi á yfirborðið. Þessi aðferð dugar ekki ef bindiefnismagnið er of hátt og verður að gera samhliða útlögn.
- Fræsa allt malbikslagið af og leggja nýtt malbik (á við ef holrýmd er ekki innan marka)
- Leggja nýtt malbik ofan á malbikið sem stóðst ekki kröfur.
- Yfirlögn með klæðingu

Fjallað er um flestar af þessum ráðstöfunum í heimild[16].

Kröfur til hitastigs malbiks í skúffu útlagningarvélar, eru háðar gerð bindiefnisins sem notað er í viðkomandi malbiksblöndu. Sé bikið með stungudýpt PG 160/220 skal hitastig malbiksins vera a.m.k. 120°C, 125°C ef stungudýpt er PG 100/150 og 130°C ef bikið er með stungudýpt PG 70/100. Ef hitalækkandi efni eru notuð í bikið, gilda önnur hitastigsmörk.

Tafla 64-22 sýnir kröfur til holrýmdar í útlögðu malbiki. Ef þjöppunarkröfu er beitt, eða þjöppunarmælar (rafsegulbylgjur, georadar) notaðir til að fylgjast með þjöppun, skal mæld rúmþyngd vera ≥ 96% af rúmþyngd fenginni í Marshallprófi.

Tafla 64-22:
Kröfur til útlagðs malbiks

Eftirlitsþáttur	**Krafa**
Þykkt á útlögðu og þjöppuðu malbikslagi	Leyft frávik frá hannaðri þykkt er +10/-0 mm
Holrýmd í útlögðu og þjöppuðu malbikslagi:	
- AC 8, AC 11, AC 16	1,5-3,5%
- SMA 8, SMA 11, SMA 16	2,0-4,0%
- BRL 16, BRL 22	2,0-6,0%
Hemlunarviðnám*:	> 0,55

**Hemlunarviðnám mælt með veggripsmæli Vegagerðarinnar BV-11, skrikhjóls-mælir eða sambærilegum mæli.*

[16] Hallvarður Vignisson, „Hemlunarviðnám skilgreiningar og aðgerðir“, Verkfræðistofan Hnit, apríl 2019.

Kröfur til nákvæmni og eiginleika yfirborðs á malbiki koma fram í töflu 64-23.

Tafla 64-23:
Kröfur til sléttleika og legu fyrir yfirborð útlagðs malbiks

Mælingar	**Kröfur**
Mestu ójöfnur á akrein mældar með 3 m réttskeið (mm)	6
IRI (International Roughness Index), hámark hrýfis	2,0
Hámark frávika frá hönnuðu yfirborði (mm)	± 30
Hámark hæðarbreytinga á 20 m (mm)	± 10
Hámark frávika frá hönnuðum þverhalla (‰)	± 4,0

Tafla 64-23 gildir fyrir malbik á vegi með umferð > 3000 ÁDU miðað við tvær akreinar.



Efnisgæðaritið – Kafli 7: Steinsteypa

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/heiti	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406-7/Efnisgæðaritið	50	1.1.23	19
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 7: Steinsteypa			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa (2023)
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10 Berggreining og gæðaflokkun

Efnisyfirlit

Lykilsíða 2
7 Steinsteypa 5
7 Steinsteypa 5
7.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir 6
7.2 Próf við hönnun 13
7.2.1 Verkferlar 13
7.2.2 Steinefnapróf 18
7.2.3 Próf á steypublöndum 22
7.2.4 Fjöldi prófa við hönnun 27
7.3 Próf við framleiðslu 28
7.3.1 Verkferlar 28
7.3.2 Steinefnapróf 30
7.3.3 Próf á steypublöndum 30
7.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu 31
7.4 Próf og mælingar við framkvæmd 33
7.4.1 Verkferlar 33
7.4.2 Steinefnapróf 33
7.4.3 Próf og mælingar 33
7.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd 33
7.5 Kröfur 34
7.5.1 Kröfur til steinefna 35
7.5.2 Kröfur til sements, íauka og íblenda 42
7.5.3 Kröfur til steypublöndu (efnismassa) 43
7.5.4 Kröfur við framkvæmd 46
Viðauki A: Tilvísun í staðla sem varða steinsteypu 47

7 Steinsteypa

Þessi kafli er unninn upp úr ýmsum heimildum, héðan og þaðan til að setja fram kafla í Efnisgæðaritið með leiðbeiningum og kröfum til steinsteypu. Þetta er gert með sama hætti og gert hefur verið í öðrum köflum ritsins varðandi öll lög veghlotsins. Ekki er tiltekið nákvæmlega hvaðan allar upplýsingar og kröfur sem hér eru settar fram koma, en vert er að þakka sérstaklega eftirfarandi heimildamönnum sem lagt hafa lið við gerð þessa kafla. Fyrstan skal nefna Völund Jónsson sem góðfúslega gaf leyfi til að nota efni úr handriti hans að kennsluriti sem fjallar um ýmsa þætti varðandi steinsteypu. Einnig er fengið efni úr gögnum frá Gylfa Sigurðssyni hjá hönnunardeild Vegagerðarinnar, Guðna Jónssyni hjá Eflu, Þórði I. Kristjánssyni hjá Eflu og Kristni Lind Guðmundssyni hjá Steypustöðinni. Gylfi Sigurðsson hjá Vegagerðinni, Ásbjörn Jóhannesson hjá NMÍ og Kristinn Lind Guðmundsson og Kai Westphal hjá Steypustöðinni lásu yfir kaflann og komu með gagnlegar ábendingar um það sem betur mætti fara.

7.1 Hlutverk, eiginleikar og efnisgerðir

Steinsteypa er byggingarefni sem gert er úr blöndu af sementi, steinefni[1] og vatni, auk íblendiefna og íauka. Algengast er að nota svokallað Portland sement (CEM I skv. ÍST EN 197 og Portland blandað sement (e. Portland composite cement), CEM II) í steinsteypu, en það er framleitt með því að hita kalk (uppsprettu kalsíum) og leir, mala síðan blönduna og blanda í hana súlfati, oftast gifsi. Á meðan sementsverksmiðja var starfrækt á Akranesi fékkst kalk úr skeljabrotum úr Faxaflóa og auk þess var notað líparít úr námu í Hvalfirði við sementsgerðina. Blöndun kísilryks í íslenskt sement hófst um 1979, en rannsóknir höfðu sýnt að koma mætti í veg fyrir alkalíþenslur með íblöndun kísilryks og reyndar einnig „pozzolana“[2]. Steinefni í steinsteypu er allt frá malarstærðum, sandstærðum og niður í mjög fínt duft (t.d. kísilryk). Vatn hefur þau áhrif að efnahvarf á sér stað í sementsefjunni sem límir saman steinsteypublönduna þegar hún þornar og þá verður steypan hörð og svipar til bergs. Sementsefjan fyllir jafnframt í bil á milli steinefnakorna og gerir blönduna þétta.

Efnahvarf sem verður í sementsefju í steinsteypu er eftirfarandi ef notað er Portlandsement (einfaldað ferli):

$$2(3CaO*SiO_2)+6H_2O \rightarrow 3CaO*SiO_2*3H_2O+3Ca(OH)_2$$

Notkun steinsteypu við vegagerð, er aðallega til brúar- og ræsagerðar, forskála jarðganga, vegskála og í slitlög á vegi, en þar af er brúargerð mest að umfangi hér á landi. Einnig má nefna sementsfestun burðarlaga og sprautusteypu í jarðgöngum, en ekki er fjallað um þær gerðir hér. Steypt slitlög hafa verið lögð hér á árum áður, s.s. á Reykjanesbraut og Vesturlandsvegi og víða í þéttbýli, en notkun hin seinni ár hefur verið tiltölulega lítil og mest á tilraunastigi. Steyptir vegskálar eru til að verja vegi fyrir snjóskriðum og öðrum skriðuföllum við brattar hlíðar.

Notkun steinsteypu er mjög fjölþætt. Hún hefur mikinn þrýstistyrk en mun lakari beygjutogstyrk (beygjutogstyrkur oft um 10% af þrýstistyrk). Því er járnbent steinsteypa mjög góður kostur í burðarvirki eins og brýr þar sem steypan sjálf tekur upp þrýstikrafta og járnbending (slakbending eða forspennt/eftirspennt bending) tekur upp togkrafta. Ending steypunnar er lykilatriði í mannvirkjum, sérstaklega á það við þar sem steypan gegnir einnig hlutverki veðrunarkápu. Almennt eru því settar fram kröfur um hámarksflögnun fyrir steypu utanhúss í frost/þíðu prófi í saltlausn, sbr. CEN/TS 12390-9. Yfirborðsflögnun er mæld 7, 14, 28, 42 og 56 dögum eftir að prófið hófst, en algengast er að setja fram kröfur um flögnun eftir 28 daga og 56 daga. Ef steypan er frostþolin (flagnar lítið) verður megnið af flögnuninni á fyrstu 28 dögunum, en ef hún er ekki mjög frostþolin heldur hún áfram að flagna. Því getur verið mikilvægt að reikna hlutfall flögnunar eftir 28 daga og 56 daga. Steypt mannvirki í vegagerð þurfa oft að standast frost/þíðu áhrif frá söltu vatni,

[1] Sterk hefð er fyrir því að nota orðið fylliefni um steinefni sem ætlað er til nota í steinsteypu. Í þessum kafla er notað orðið steinefni, sem þýðingu á orðinu „aggregate“, sbr. staðal ÍST EN 12620.
[2] Guðmundur Guðmundsson 2007: Alkalívirkni steinsteypu - saga alkalírannsókna á Íslandi. Steinsteypunefnd, Rb skýrsla nr. 96.

hvort sem mannvirkið er í sjó, saltið er loftborið eða sem vegsalt. Þetta á við hvort heldur um er að ræða brúarsteypu eða steypt slitlag.

Steyptar brýr eiga sér langa hefð á Íslandi. Steypa var fyrst notuð í brúargerð þegar byggð var ójárnbundin steinbogabrú í Reykjavík árið 1899. Árið 1907 var byggð steinsteypt brú yfir Bláskeggsá í Hvalfirði. Fyrsta brúin úr járnbentri steinsteypu á Íslandi var á Fnjóská í Þingeyjarsýslu sem byggð var 1908. Í dag er steypa mikið notuð í brúarsmíði, bæði stórra og lítilla brúa og kemur einnig við sögu þótt meginburðarvirkið sé úr stáli, t.d. í undirstöðum og stöplum. Mjög þarf að vanda alla steypuvinnu í brúargerð. Þrýstistyrkur steinsteypu er skilgreindur sem 28 daga styrkur steypusýna sem geymd eru í þokuskáp eða í vatni í 28 daga við 20°C í samræmi við ÍST EN 12390-2. Algengt er að steypan hafi náð um 90% af endanlegum styrk eftir 28 daga. Þegar steypa á að uppfylla t.d. kröfur um C35/45 MPa (= N/mm^2, og 1MPa er u.þ.b. 10 kg/cm^2) styrk er vísað til einkennandi 5% styrks (e. characteristic strength) skv. líkindareikningi, sem ekki er farið nánar út í hér. Til dæmis er steypa sem á að þola 35/45 MPa þrýstiálag áður en hún brotnar flokkuð sem C35/45. Fyrri talan í C35/45 er sívalningsstyrkur og seinna gildið teningsstyrkur og eru kröfur um styrk steypu almennt settar þannig fram með tilvísun í ÍST EN 206. Hér á landi hefur þrýstistyrkur steypu nær eingöngu verið mældur með því að þrýstiprófa sívalninga og því oft talað um t.d. steypu C35 og þá átt við flokkinn C35/45. Þó er prófun á teningum að verða algengari en áður, en kosturinn við þá er að sýnin hafa sléttari áferð og gefa oft nákvæmari upplýsingar um styrk steypunnar. Einnig má nefna að teningar raðast vel í sýnageymslur og taka minna pláss en sívalningar. Það getur komið sér vel í stórum verkum, þar sem framleiðslan er mikil. Í brúarvinnu er algengt að nota steypu í styrkleikaflokkum C35/45 til C50/60. Steypa sem steypt er utandyra þarf að vera veðrunarþolin og þétt. Auknar kröfur þarf að gera til efnisgæða steyptra mannvirkja í sjó, til dæmis brúarstöpla. Mikið er af brennisteinssamböndum og öðrum uppleystum efnum í sjó sem eru mjög skaðleg steinsteypu, en auk þess getur mikil frost/þíðu virkni átt sér stað, sérstaklega á stöplum þar sem sjávarfalla gætir, en saltvatn getur aukið niðurbrot steinefna og flögnun steinsteypu.

Slitlag á vegi hefur sjaldan verið steypt hér á landi á síðari árum. Bikbundin slitlög, malbik og klæðing, eru oftast valin nema á vegum þar sem óbundið malarslitlag er látið duga. Þó hafa verið steyptir vegkaflar í gegnum tíðina, fyrst árið 1937 þegar steyptur var 350 m kafli á Suðurlandsbraut í Sogamýri. Á árunum frá 1960 til 1972 voru steyptar götur í þorpum víða um land. Einnig voru steyptir langir vegkaflar á Reykjanesbraut og Vesturlandsvegi að Kollafirði alls um 50 km á þessum árum. Síðan þá hafa verið steypt slitlög á vegi hér og þar en það hafa að mestu verið tilraunaverkefni sem sum hver hafa misheppnast, sérstaklega hvað sléttleika varðar. Steypt slitlög geta haft ýmsa kosti fram yfir bikbundin slitlög ef hönnun blöndunnar er rétt sem og allt verklag við meðhöndlun og niðurlögn. Kostirnir eru helstir að steypt slitlög eru að öðru jöfnu bjartari, geta verið töluvert slitsterkari ef vel er að öllu staðið, sérstaklega gagnvart negldum hjólbörðum og lagið skríður ekki undan þungaumferð eins og getur gerst með malbik við hátt hitastig. Gallarnir eru helstir að gera þarf meiri kröfur til undirbyggingar steyptra slitlaga og þau þola ekki

frostlyftingar og missig í undirbyggingu. Einnig þarf að leysa vandamál vegna rýrnunar steypunnar og stofnkostnaður er meiri en fyrir malbik.

Kröfur eru gerðar til steinefna í steypu varðandi hreinleika, kornastærðardreifingu þar með talið magn fínefna, og stærstu steinastærð en auk þess kornalögun, þéttleika, styrk, frostþol og slitþol. Steinefnakröfur eru þó mismiklar eftir þeirri áraun sem búist er við að steypan verði fyrir.

Steinsteypa er samsett úr sementi, vatni, steinefnum (bæði möl og sandi), en einnig er blandað í steypuna íblendi (t.d. þjálniefnum og lofblendiefnum) til þess að minnka vatnsþörf og auka veðrunarþol, svo og íaukum (t.d. stál og/eða plasttrefjum) eftir þörfum. Steypan er sem sagt samsett úr tveimur fösum, sementsefju (hvörfunarafurðum sements og vatns) og steinefnum (fínum og grófum).

Algengast er að nota svokallað Portland sement (CEM I skv. ÍST EN 197 og Portland blandað sement (e. Portland composite cement), CEM II), en til eru margar tegundir af Portlandsementi. Ýmsar sérstakar sementsgerðir eru blandaðar í ákveðnum tilfellum, s.s. hraðharðnandi sement, seinharðnandi sement, súlfatþolið sement og lágalkalísement. Algengt er að notaðir séu íaukar til að hafa áhrif á eiginleika sements, svo sem kísilryk og svifaska.

Hérlendis er basalt algengasta berggerðin sem steinefni í steinsteypu en erlendis er basalt lítið notað. Algeng steinefni í öðrum löndum t.d. í Evrópu og Norður-Ameríku eru þétt (lítið holrými) svo sem granít og kalksteinn sem finnast ekki hér á landi nema í mjög litlu magni. Íslenskt steinefni (basalt) er oft nokkuð gropið (mikil holrýmd) samanborið við efni sem notað er í nágrannalöndunum. Sem dæmi má taka að mettivatn er algengt u.þ.b. 0,5% þyngdarhlutfall í algengu steinefni erlendis, en ekki er óalgengt að það sé á bilinu 2 til 6% í íslensku basalti sem algengt er til nota í steinsteypu hér á landi. Þetta getur haft áhrif á eiginleika steypunnar, svo sem slitþol, styrk, rýrnun, vatnsþörf, vinnanleika o.fl. Nokkuð er um að erlend steinefni séu flutt til landsins, t.d. granít, til notkunar í slitþolna steypu, en Vegagerðin hefur ekki notað innflutt steinefni í steypu.

Basalt er basískt gosberg sem storknar á yfirborði. Líparít er einnig gosberg og til í vel nýtanlegu magni hérlendis. Það er hins vegar ríkt af kísilsýru og því er það mjög alkalívirkt og ekki nothæft sem steinefni í steinsteypu. Algengast er að nota náttúrulegt steinefni úr setnámum hér á landi, t.d. úr fjöruseti, árfarvegum, gömlum sjávarbökkum eða efni unnið af sjávarbotni. Þó er hægt að nota steinefni í steypu sem unnið er úr brotnu bergi og það færist í vöxt að nota brotið efni í nágrannalöndunum vegna skorts á náttúrulegu setefni. Náttúrulegt malarefni er yfirleitt ódýrari kostur og hentar vel til steypugerðar þar sem það hefur yfirleitt núið og slétt yfirborð og þar með betri vinnanleika (þjált) en sprengt (rippað) og malað berg, sem er kantað og hrjúft eftir hefðbundna vinnslu. Með því að fjölga brotstigum og beita hverfibrjótum við mölunina má bæta kornalögunina, slæva kanta og auka sandhlutfallið. Einnig má bæta náttúrulegum sandi við í steinefnaframleiðslu úr möluðu bergi.

Þegar steinefni er tekið úr vottuðum námum þurfa að liggja fyrir niðurstöður prófana, bæði gerðarprófanir í upphafi vinnslu og prófanir við framleiðslueftirlit steinefnis í steinsteypu samkvæmt framleiðslustaðli þar sem fjallað er um mat og staðfesting á gæðastöðugleika steinefna - Gerðarprófanir og framleiðslueftirlit (e. Assessment and Verification of the Constancy of Performance (AVCP) of aggregates - Type testing and Factory Production Control). Þeir eiginleikar sem steinefnið þarf að uppfylla til þess að hægt sé að nota það í steinsteypu fara eftir fyrirhugaðri notkun hverju sinni, en þeir eiginleikar sem um ræðir eru helstir, sbr. ÍST EN 12620:

- Kornadreifing/stærðarflokkur
- Húmus (magn lífrænna óhreininda)
- Þjálni
- Kornalögun (FI próf)
- Styrkur (LA próf)
- Slitþol (Kúlnakvörn)
- Frostþol (1% saltlausn)
- Alkalívirkni
- Klórinnihald

Sáldurferill er oft samsettur úr tveimur eða fleiri stærðarflokkum steinefna, en algengt er að um sé að ræða tvo eða þrjá flokka, fínsand, grófsand og gróft, flokkað efni (möl, perlu). Algengir stærðarflokkar steinefna til skömmtunar í steinsteypu eru 0/8, 8/11, 8/16, 8/22 og 16/32 mm og kornakúrfan sem nota á er fengin með skömmtun á steinefnum úr þessum stærðarflokkum í réttum hlutföllum. Stærðarflokkar eftir skömmtum geta þá t.d. verið 0/11 mm, 0/16 mm, 0/22 mm og 0/32 mm. Sandur og fínmöl (0/8 mm flokkurinn) eru oftast fengin úr sömu námum og grófari stærðirnar (möl, perla). Stundum getur verið gagnlegt að skipta þessum stærðarflokki í tvennt, sem sagt í 0/4 og 4/8 mm, en það gefur möguleika á að stýra betur kornadreifingunni í samsettu kúrfunni, sérstaklega ef lítið er um fínefni. Sandgerð og hlutfall sands eru mikilvægur hluti steypunnar og hafa mikið að segja um þjálni steypunnar og þar með hversu dælanleg hún er. Í þessum kafla eru settar fram markalínur fyrir sáldurferla fyrir þær steypugerðir sem Vegagerðin notar helst.

Auk sements, vatns og steinefna eru notaðir íaukar í steypu[3]. Þetta er gert í tvennum tilgangi, annars vegar til að bæta eiginleika og endingu steypunnar og hins vegar til að minnka kolefnisspor hennar. Íaukarnir eru þá yfirleitt notaðir til að minnka megi sementsnotkun. Íaukar eru yfirleitt aukaafurðir við framleiðslu annarra efna. Kísilryk verður til við framleiðslu á kísilmálmi, svifaska (e. fly ash) við brennslu kola og stálslagg (e. steel slag) við framleiðslu á stáli. Aðrir algengir íaukar eru möluð, fíngerð steinefni, t.d. úr basalti, kalksteini og kvarsi. Sumir þessara íauka hvarfast við kalsíumhydroxíð sem verður til við hvörfun vatns og sements. Hvörfun

[3] Íaukar er hugtak notað um fast efni sem blandað er í sement og steypu. Íaukar eru aðgreinanlegur hluti blöndunnar. Dæmi: kísilryk, gossalli (pozzolanefni) og svifaska (fly ash).

íauka og kalsíumhydroxíðs í réttum hlutföllum gefur sementsefjunni aukinn styrk og þéttleika.

Íblendi[4] eru notuð til að hafa áhrif á eiginleika steypunnar, bæði ferskrar og harðnaðrar. Flotefni (sérvirk þjálniefni sem er blandað í steypuna á byggingarstað og eykur þjálni hennar tímabundið án þess að hækka v/s-tölu hennar) eru notuð til að draga úr vatnsþörf og auka flot ferskrar steypu. Tilgangurinn með notkun loftblendis er fyrst og fremst að hafa áhrif á loftdreifingu í steypu og auka þar með frostþol hennar. Hæfilegt loftmagn og loftdreifing í steinsteypu getur skipt sköpum til að taka við þenslu þegar vatn frýs í steypu. Ef þessum þætti er ábótavant er hætt við að steypan springi og molni niður við endurteknar frost/þíðu sveiflur. Auk framangreindra íblendiefna er til fjöldinn allur af efnum til að hafa áhrif á eiginleika steypunnar, s.s. hraðarar, seinkarar, rýrnunarvarar, þykkingarefni o.fl.

Trefjar eru notaðar í steinsteypu í vissum tilfellum, gjarnan til að stýra sprungumyndun vegna rýrnunar. Trefjarnar valda því að fíngert sprungunet myndast sem hamlar myndun stærri sprungna. Trefjar eru mikið notaðar í sprautusteypu í jarðgangnagerð en hafa verið minna notaðar í hefðbundinni steypu. Trefjar eru einnig meðal annars settar í þunn steypulög ofan á aðra steypu, t.d. slitlag á brúargólf. Algengustu trefjar í steinsteypu eru stáltrefjar og plasttrefjar af ýmsum toga, en fleiri gerðir trefja má nota í steinsteypu.

Steypa til mannvirkjagerðar er flokkuð skv. ÍST EN 206, eftir þrýstistyrk, áreitisflokkum og þjálniflokkum.

Þrýstistyrksflokkar steypu eru frá C8/10 til C100/115 MPa (N/mm^2), skv. staðlinum. Flokkarnir eru grundvallaðir á kennistyrk sívalninga og teninga. Kennistyrkur er styrkgildi sem gert er ráð fyrir að 95% allra styrkákvarðana þeirrar steypu sem um er að ræða standist. Fyrri talan í t.d. C35/45 er sívalningsstyrkur og seinna gildið teningsstyrkur eins og fyrr segir.

Áreitisflokkarnir eru fjölmargir skv. ÍST EN 206. Þeim er ætlað að ná yfir flestar þær aðstæður sem steypa getur lent í. Helstu flokkar eru tengdir hættu á tæringu bendistáls, frost/þíðuáraun og efnaáraun ýmiskonar frá umhverfinu. Í töflu 7-1 eru sýndir áreitisflokkar úr staðli ÍST EN 206 og með hvaða hætti þeir eiga við um helstu gerðir steypu sem Vegagerðin notar.

[4] Íblendi er hugtak notað um fljótandi efni sem blandað er í steypu. Íblendi samlagast eða leysist upp í efninu sem því er blandað saman við. Dæmi loftblendi og þjálniefni.

Tafla 7-1:
Áreitisflokkar fyrir þær gerðir steypu sem Vegagerðin notar

Kröfuflokkur	**Áreitisflokkar skv. ÍST EN 206***					
	1	2	3	4	5	6
Fyllisteypa	X0	-	-	-	-	-
Burðarsteypa	-	-	-	XS1	XF1 XF2	-
Gæðasteypa	-	-	-	XS3	XF3 XF4	-
Slitlagssteypa, brúargólf	-	-	XD3	XS1 XS3	XF3 XF4	-

** Lausleg skilgreining áreitisflokka og undirflokka þeirra sem notaðir eru í vegagerð:*

1. *Engin hætta á tæringu eða öðrum skemmdum, X0*
   a. *X0 Engin áraun vegna frost/þíðu, slits eða efnahvarfa*
2. *Tæring vegna kolsýringar, XC1, XC2, XC3 og XC4*
3. *Tæring af völdum klóríða annarra en úr sjó, XD1, XD2 og XD3*
   a. *XD3 Skiptist á þurrt og blautt ástand*
4. *Tæring vegna klóríða úr sjó XS1, XS2 og XS3*
   a. *XS1 Áhrif frá saltúða en ekki í snertingu við sjó*
   b. *XS3 Sjávarfalla gætir með öldugangi og saltúða*
5. *Frost/þíðu-áraun með eða án afísingarefna, XF1, XF2, XF3 og XF4*
   a. *XF1 Væg vatnsmettun án hálkuvarnarefna*
   b. *XF2 Væg vatnsmettun með hálkuvarnarefnum*
   c. *XF3 Mikil vatnsmettun án hálkuvarnarefna*
   d. *XF4 Mikil vatnsmettun með hálkuvarnarefnum*
6. *Efnaáraun, XA1, XA2 og XA3*

Eins og fram kemur í töflu 7-1 setur Vegagerðin fram kröfur til fjögurra gerða steinsteypu, sem sagt fyllisteypu, burðarsteypu, gæðasteypu og slitlagssteypu. Flokkarnir skarast vegna umhverfisþátta, t.d. getur burðarsteypa þurft að standast kröfur fyrir gæðasteypu í sjó.

- Fyllisteypa er oftast ójárnbundin steypa sem notuð er meðal annars í sökkla, undirstöðu undir burðarsteypu og sem þrifalag. Þessi gerð steypu verður fyrir mjög litlu áreiti frá umhverfinu.
- Burðarsteypa er notuð í burðarvirki mannvirkja í vegagerð, svo sem stöpla, bita, boga og vegskála. Þessi gerð steypu er algengust við brúargerð, ræsagerð, vegskála og forskála jarðganga.
- Gæðasteypa er notuð þar sem sérstaklega mikil áraun er á steypuna, meðal annars í brúarstöpla og brúarsökkla í sjó, sérstaklega þar sem sjávarfalla gætir.
- Slitlagssteypa er notuð í slitlag á brúargólf og vegyfirborð.

Þjálniflokkar eru sigmálsflokkar sem er flokkun notuð til að meta seigju hefðbundinnar steypu (skv. ÍST EN 12350-2). Einnig má nefna vebe-flokka (skv. ÍST

EN 12350-3) til að meta þurrsteypu, þjöppunarflokka til að meta þurrsteypu og léttsteypu og flæðisflokka til að meta steypu með meiri floteiginleika en í hefðbundinni steypu, s.s. sjálfútleggjandi eða hálfsjálfútleggjandi steypu, sjá kafla 5.4.1 í ÍST EN 206. Ekki er fjallað um þær gerðir hér.

Sement til mannvirkjagerðar skal uppfylla staðalinn ÍST EN 197-1 og steinefni staðalinn ÍST EN 12620. Báðir þessir staðlar eru samhæfðir staðlar og skal því bæði sement og steinefni samkvæmt stöðlunum vera CE merkt. Sama má segja um önnur hlutefni[5] steypunnar, þ.e. íauka og íblendi.

Staðallin ÍST EN 13670 “Framkvæmdir við steypt mannvirki” fjallar um steypuframkvæmdir. ÍST EN 206 “Steinsteypa – Tæknilýsing, eiginleikar, framleiðsla og samræmi“ fjallar um framleiðslu steinsteypu. Framangreindir staðlar og verklýsingar eru þeir sem gilda um steinsteypu en þó eru ótaldir meðal annarra ýmsir staðlar, sbr. viðauka A í þessum kafla, m.a. prófunarstaðlar og staðlar sem fjalla um sprautusteypu.

Þessar leiðbeiningar um steinsteypu í vegagerð eru í samræmi við Evrópustaðla hvað varðar prófanir á efnisgæðum steinefna, sements, íblendis, íauka sem notuð eru í steinsteypu, svo og til hannaðrar og útlagðrar steypu. Í þessum kafla er haldið þeirri kaflaskiptingu sem er í öðrum köflum Efnisgæðaritsins. Minni áhersla er þó lögð á kafla sem varða framkvæmd við útlögn steinsteypu en í þeim köflum er vísað til annarra rita og staðla sem fjalla ýtarlega um það efni.

[5] Hlutefni eru steinefni, sement, vatn, íblendi og íaukar.

7.2 Próf við hönnun

Unnt er að lýsa steypu sem hannaðri blöndu með því að tilgreina þá eiginleika steypu sem krafist er (sbr. ÍST EN 206) eða sem fyrirskrifaðri blöndu með því að gefa forskrift að samsetningu hennar, á grundvelli prófana eða langtímareynslu af sambærilegri steypu. Hönnuð steypa er steypublanda þar sem verkkaupi ber ábyrgð á að tilgreina kröfur um eiginleika og aðrar kröfur og verktakinn ber ábyrgð á að afhenda blöndu sem fullnægir kröfum um eiginleika. Sé ekki annað tiltekið skal miða við að steypu sé lýst sem hannaðri blöndu. Fyrirskrifuð blanda er hins vegar steypublanda þar sem verkkaupi tilgreinir samsetningu blöndunnar og þeirra efna sem nota skal. Verktakinn ber ábyrgð á að afhenda hina tilgreindu blöndu en ber ekki ábyrgð á eiginleikum steypunnar.

Próf við hönnun, annars vegar steinefnapróf og hins vegar próf á efnismassanum þ.e. steinsteypunni, eru gerð til að fá upplýsingar um eiginleika efnisins með tilliti til notkunar í steinsteypu. Mikilvægt er að framkvæma ýtarlegar prófanir þegar fyrirhuguð er efnistaka á nýjum efnistökustað. Ef steinefni er fengið úr námu sem er í stöðugri vinnslu skulu niðurstöður rannsókna liggja fyrir á hönnunarstigi með lágmarkstíðni samkvæmt framleiðslustaðli ÍST EN 12620. Á hönnunarstigi getur þurft að velja milli mögulegra námusvæða og er það gert á grundvelli prófana á efnisgæðum en ávalt er mikilvægt að taka fullt tillit til umhverfissjónarmiða við val á efnistökustað og áætlun um tilhögun efnistöku. Í viðauka 4 í þessu riti og fylgistaðli ÍST 76 eru töflur sem sýna hvaða prófanir skuli gera á steinefnum í steinsteypu og með hvaða lágmarkstíðni skuli prófa.

Steinefnapróf eru gerð til að fá upplýsingar um almenna eiginleika efnisins. Eiginleikarnir eru kornadreifing, berggerð og ásýnd bergs, berggæði og eiginleikar fínefna, en ýtarleg lýsing á þeim er í viðauka 1 í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar. Með steinefnaprófum er hægt að meta almennt gæði efnisins með tilliti til notkunar í mismunandi gerðir af steinsteypu.

Próf á steinsteypu eru gerð til að fá upplýsingar um eiginleika steypunnar, sem ráðast af öllum þáttum og hlutefnum við blöndun hennar, þ.e.a.s. steinefni, sementi, vatni, íaukum og íblendum, þ.e. meðal annars loftblendi, þjálniefni og trefjum. Í framleiðslustaðli ÍST EN 206 eru settir fram kröfuflokkar varðandi ýmsa eiginleika steinsteypu.

Hér á eftir er gerð grein fyrir verkferlum vegna prófa við hönnun og fjallað um mismunandi steinefnapróf og próf á steinsteypu.

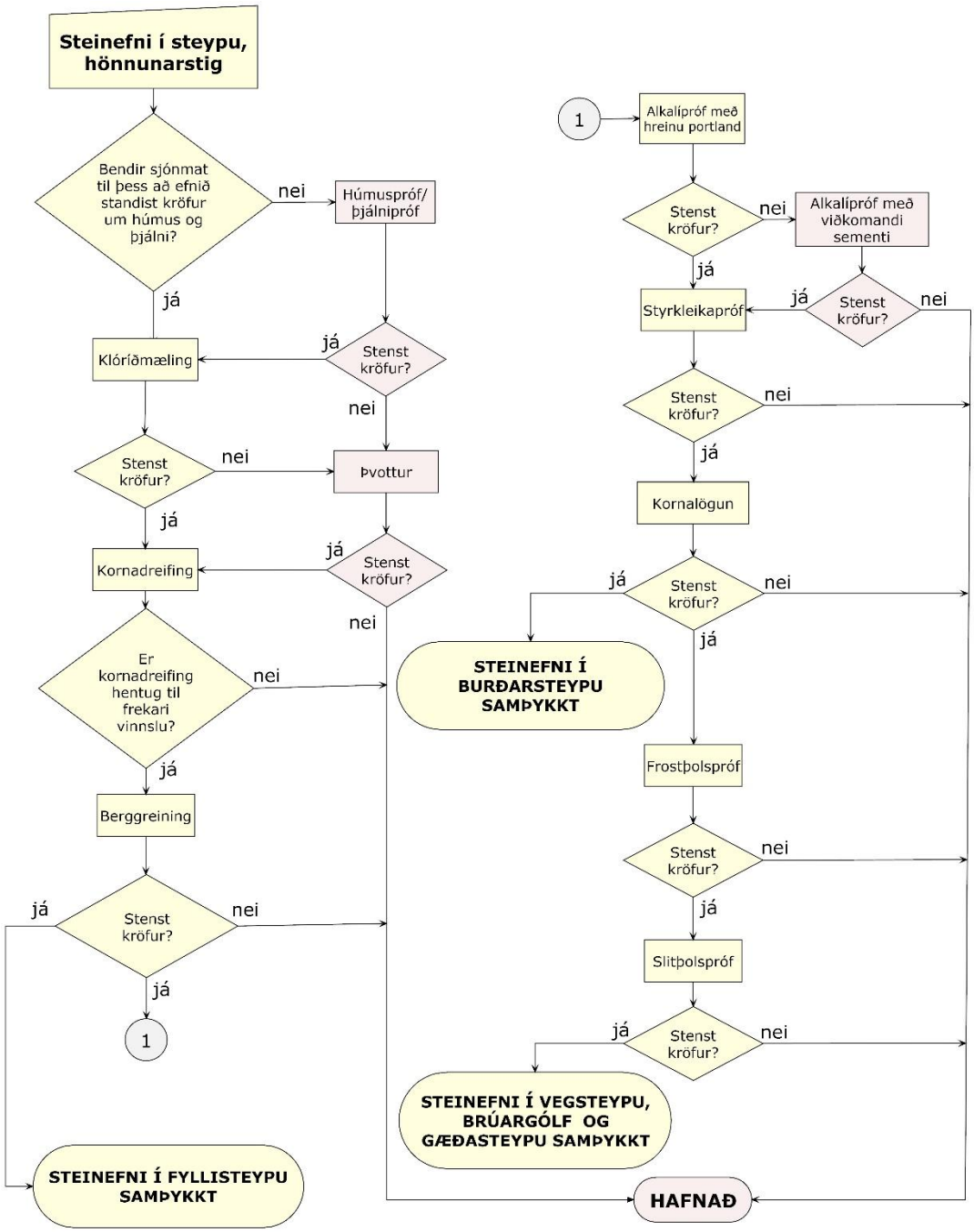
7.2.1 Verkferlar

Við mat á steinefnasýni efnis sem nota á í steinsteypu er farið eftir flæðiritinu sem sýnt er á mynd 7-1. Í kafla 7.5 eru settar fram kröfur til steinefnis í steinstypu sem byggja á eftirfarandi prófunaraðferðum.

Fyrsta skrefið við mat á eiginleikum steinefnis í steinsteypu er að sjónmeta efnið til að meta hvort lífræn efni eða þjál fínefni eru til staðar í of miklum mæli. Ef vafi leikur á að efnið standist kröfur um húmusinnihald eða gæði fínefna þarf að gera *húmuspróf* og/eða *þjálnipróf*. Ef grunur leikur á að salt geti verið í efninu (t.d.

sjávarset) þarf að mæla *klóríðinnihald* efnisins. Þessar mælingar (óhreinindi og salt) gefa til kynna hvort þvo þurfi efnið í námunni. Næsta skref er að mæla *kornadreifingu* sýnisins til að kanna hvort efnið henti til vinnslu steypuefnis. Hafa ber í huga að á þessu stigi er verið að meta efniseiginleika steinefnis í námu sem á seinni stigum verður skammtað inn í endanlegan sáldurferil hannaðrar steypu. Næst er steinefnasýnið *berggreint*. Berggreiningin gefur vísbendingar um það hvort hætta er á að óæskileg bergbrigði séu til staðar í sýninu í of miklu magni. Ef steinefnið kemur vel út úr ofangreindum prófum, eru líkur á að það geti hentað sem steinefni í fyllisteypu. Ef hins vegar á að nota steinefnið í steypu sem þolir meiri áraun en fyllisteypa eru nokkur atriði sem þarf að athuga nánar til þess að fá betri mynd af efniseiginleikunum. Ef ljóst er að húmus, þjálni, saltinnihald, kornadreifing og berggerðir eru innan marka, þarf að kanna hvort steinefnið er alkalívirkt með alkalíprófi. Ef efnið stenst *alkalípróf* er styrkleiki efnisins kannaður með *styrkleikaprófi* (Los Angeles próf) sem gefur upplýsingar um styrk efnisins. Því næst er kornalögun efnisins könnuð og gerð *kornalögunarmæling*. Ef steinefnið kemur vel út úr ofangreindum prófum, eru líkur á að það geti hentað sem steinefni í burðarsteypu. Loks er steinefni sem ætlað er í gæðasteypu og slitlag á vegi og brýr prófað í *frostþolsprófi* og *slitþolsprófi*.

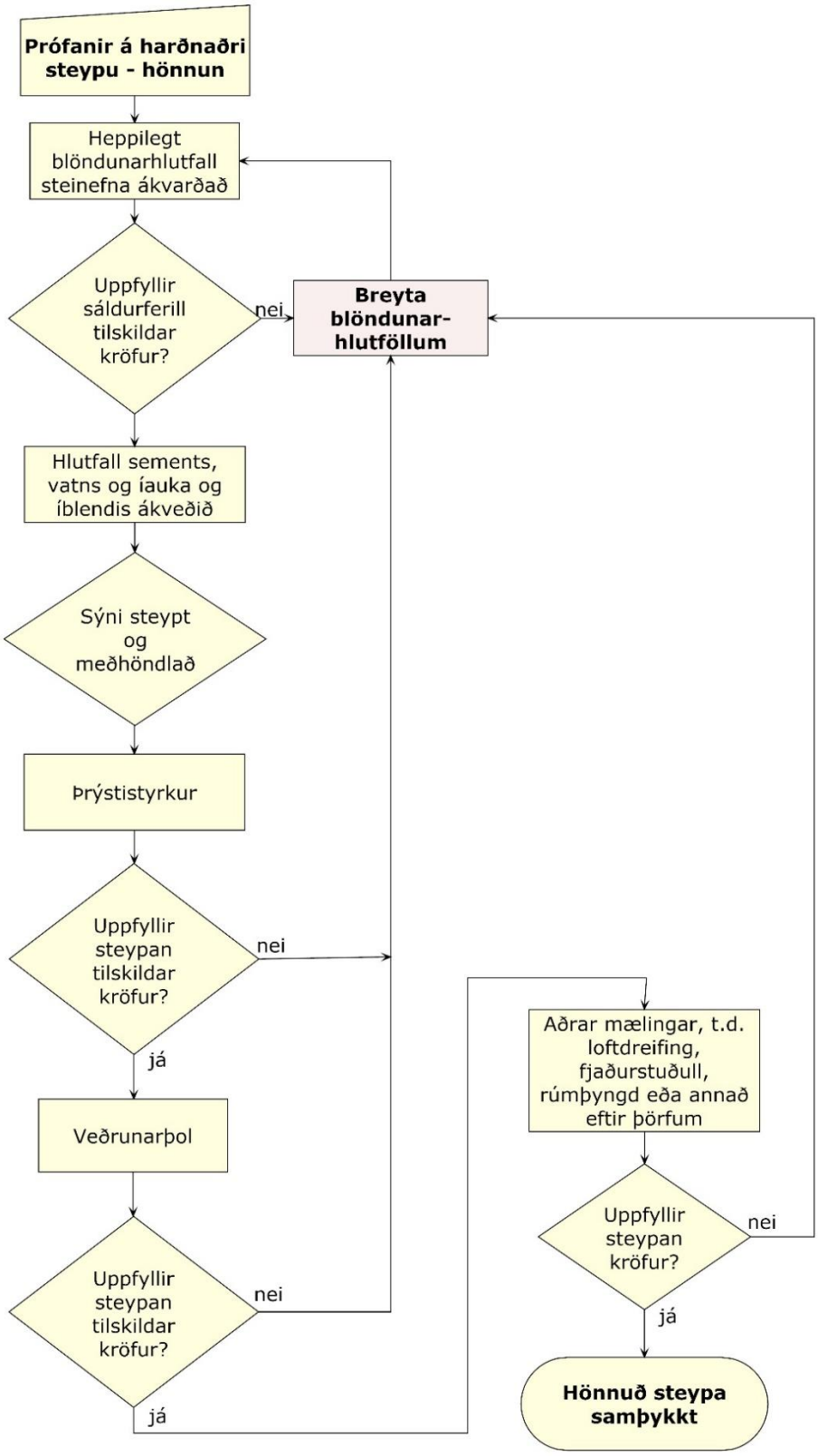
Hafi steinefnið staðist öll ofangreind próf telst það hæft til notkunar í allar helstu gerðir steinsteypu sem Vegagerðin notar. Þess má þó geta að mæling á brothlutfalli steinefnis, skv. ÍST EN 933-5, gefur upplýsingar um áferð grófa hluta steinefnisins, en brot hefur áhrif á vinnanleika (þjálni) steinsteypu. Ekki er þó gerð krafa um slíka mælingu hér og engar kröfur settar fram á grundvelli þessa prófs.



Mynd 7 1:
Flæðirit fyrir mat á steinefni til notkunar í steinsteypu

Þegar fyrir liggur að steinefnið er hæft til nota sem steinefni í steinsteypu þarf að gera prófblöndur og framkvæma prófanir á steyptum sýnum eins og sýnt er á flæðiritinu á mynd 7-2.

Fyrst eru reiknuð út heppileg blöndunarhlutföll steinefna, sem sagt fínsands, grófsands og perlumalar til að *sáldurferill* verði innan marka fyrir viðkomandi steinsteypu (sjá kafla 7.5.1). Því næst eru útbúnar steypublöndur með steinefninu og öðrum efnum í mismunandi hlutföllum samkvæmt hönnun, sem sagt sementi, vatni, íblendum og íaukum. Sýnin (sívalningar eða teningar) eru látin harðna við ákveðnar aðstæður samkvæmt staðli og í ákveðið langan tíma. Eftir meðhöndlun eru sýnin brotin í pressu til að mæla *brýstistyrk* (brotstyrk) steypunnar. Ef meta á styrkleikaþróun steypunnar má mæla styrkinn eftir 2, 7 og 28 daga meðhöndlun. Einnig kemur til greina að mæla styrk sýna sem geymd hafa verið við raunaðstæður á byggingarstað eftir að steypan er komin í mótin. Það á helst við í eftirspenntum mannvirkjum, forsteyptum einingum og staurum, þar sem finna þarf lágmarksstyrk steypunnar áður en álag er sett á hana. Ef steypuuppskriftin stenst kröfur um styrk er *frostþol* (flögnun) steypunnar mælt. Ýmsar aðrar mælingar gæti þurft til að kanna aðra eiginleika steypunnar sem um ræðir (eftir því til hvaða nota steypan er ætluð), svo sem *loftdreifing, fjaðurstuðull, rúmþyngd* og fleira. Ef steypusýni stenst ekki kröfur samkvæmt ofangreindum prófum þarf að endurhanna steypuna með því að breyta hlutföllum efna og endurtaka prófanir. Þegar sýnt er að steypublandan uppfylli þær kröfur sem gerðar eru til hennar má samþykkja hannaða steypu.



Mynd 7 2:
Flæðirit fyrir prófanir á steypublöndum

Að lokinni yfirferð prófana með hliðsjón af ofangreindu er hægt að vega og meta hæfi viðkomandi hlutefna til notkunar í steinsteypu.

7.2.2 Steinefnapróf

Með steinefnaprófum eru skoðuð gæði einstakra korna eða hóps korna í efninu og út frá niðurstöðum þeirra er hægt að meta almennt gæði efnisins til notkunar í steinsteypu. Prófanir á steinefnum má flokka niður eftir því hvaða eiginleikum verið er að leita eftir, eins og fram kemur í millifyrirsögnum hér á eftir. Kröfur fyrir steinefni í steinsteypu er að finna í kafla 7.5.1. Prófunaraðferðum er lýst í viðauka 1 í Efnisgæðaritinu.

Kornadreifing

Mæling á *kornadreifingu* er yfirleitt fyrsta prófið sem gert er á steinefnasýni sem ætlað er til nota í steinsteypu. Þegar kornadreifing er skoðuð almennt, þarf að gæta að því hvort of mikið er af yfir- og undirstærðum í hverju tilfelli miðað við stærðarflokk sem á að framleiða. Hægt er að hafa veruleg áhrif á kornadreifingu, til dæmis með því að þvo fínefni burtu, bæta við eða taka frá ákveðnar kornastærðir, eða blanda saman mismunandi kornastærðum. Niðurstöður kornadreifingar eru settar fram á eyðublaði, þar sem lesa má þyngdarhluta efnis sem smýgur ákveðið sigti. Sérstaklega er litið til þess hvort magn fínefnis < 0,063 mm, er innan tilskilinna marka. Fínefni getur haft afgerandi áhrif á efniseiginleika steinefna í steinsteypu og þarf að tryggja að þenjanlegar leirsteindir séu ekki til staðar í steypuefni. Of hátt fínefna magn getur heft neikvæð áhrif á steypu og á vinnanleika hennar. Hlutfall fínefna er mælt með hydrometerprófi eða laserprófi. Gerðar eru kröfur um magn fínefna, og einnig að efnið í heild sé innan marka fyrir kornadreifingu steypuefnis, þ.e.a.s. innan markalína.

Berggerð og ásýnd bergs

Berggreining: Tilgangur berggreiningar er fyrst og fremst að ákvarða berggerð og bergbrigði steinefnis, til að leggja mat á gæði þess til viðkomandi mannvirkjagerðar. Berggreiningin er leiðbeinandi og gefur m.a. upplýsingar um þéttleika og ummyndunarstig efnis. Berggreining gefur vísbendingar um berggæði, þ.e. styrk, slitþol og veðrunarþol steinefna en full vissa um þessa eiginleika fæst einungis með því að mæla þá í þar til gerðum prófum. Yfirleitt eru nokkur hundruð korn af ákveðinni kornastærð tekin til greiningar. Lögun kornanna og aðrir grunneiginleikar eru greindir lauslega. Að því búnu eru kornin flokkuð í mismunandi bergbrigði eftir bergtegund, ummyndun, þéttleika og öðrum einkennum.

Í niðurstöðum kemur fram hlutfall bergbrigða, lauslegt mat á lögun og hreinleika korna, fjöldi talinna korna, jarðfræðilegar upplýsingar um steinefnið og loks athugasemdir eftir því sem við á.

Það krefst nokkurrar þjálfunar og þekkingar að lesa úr berggreiningum um gæði viðkomandi steinefnis til notkunar í steinsteypu. Því er venjan hérlendis að flokka bergbrigði í þrjá gæðaflokka með tilliti til notkunar í steinsteypu, en sú flokkun byggir á reynslu af hæfi þeirra hérlendis. Gæðaflokkunin, það er að segja magn efnis sem flokkast í 1., 2. og 3. flokk, er notuð til að meta efnisgæðin almennt.

Kornarúmþyngd og mettivatn: Kornarúmþyngd þarf að liggja fyrir svo hægt sé að hanna og framleiða endingargóða steypu. Mettivatn þarf einnig að liggja fyrir við

hönnun steypu, en það er stór þáttur þegar kemur að útreikningum á vatns/sementstölu (v/s hlutfall) fyrir steypu. Vatns/sementtala er einn af lykilþáttum í steypugerðum, sér í lagi varðandi endingu á steypu. Hér á landi er oft notað fylliefni með hærri mettivatnsgildum en víða í Evrópu.

Kornalögun: Lögun einstakra korna hefur áhrif á tæknilega eiginleika þeirra. Lögun steinefna sem notuð eru í steypuframleiðslu er mikilvæg og getur góð kornalögun haft jákvæð áhrif á vinnanleika og þjálni steypunnar. Oft er lögun korna lýst með hugtökum svo sem teningslaga (kúbísk), hnöttótt, flöt, plötulaga, ílöng og staflaga. Þegar korn eru berggreind er lögun þeirra lýst í almennum orðum (þ.e.a.s. tekið er fram að meiri hluti sýnis sé teningslaga, flatur eða ílangur), en til þess að fá samanburð á milli efna svo og töluleg gildi á kornalögun er nauðsynlegt að mæla hana með kleyfniprófi (e. Flakiness index, FI).

Yfirborðsáferð korna: Yfirborðsáferð korna hefur áhrif á eiginleika steinsteypu. Brotin korn eru að jafnaði hrjúfari en óbrotin. Slétt yfirborðsáferð steinefna bætir flæðieiginleika steypunnar. Ekki eru gerðar kröfur um sérstaka mælingu á flæðieiginleika steinefna í ÍST EN 12620 og því eru slíkar kröfur ekki settar fram í þessu riti.

Brothlutfall: Mæling á brothlutfalli gefur upplýsingar um hlutfall brotinna og óbrotinna korna í sýni sem greint er. Í brothlutfallsmælingu kemur fram hversu stór hluti einstakra korna hefur brotflöt og auk þess hversu stór hluti korna er alveg brotinn. Einnig er skráð hversu hátt hlutfall korna eru alveg núin (óbrotin). Brotin korn eru að jafnaði hrjúfari og auka styrk steypu að öðru jöfnu, en óbrotin korn hafa oft slétta yfirborðsáferð sem bætir flæðieiginleika steypunnar. Í þessu riti eru ekki gerðar kröfur um að steinefni standist ákveðnar kröfur um brothlutfall, en æskilegt er að mæla þennan eiginleika á framleiddu steinefni.

Berggæði

Styrkur: Styrkur korna er mikilvægur eiginleiki í steyptu slitlagi á vegi og brýr en einnig í burðarsteypu og gæðasteypu. Ef styrkur steinefna er ekki nægilegur er hætta á að þau molni niður undan álagi.

Hérlendis er Los Angeles-próf (LA próf) notað til þess að mæla styrk steinefna í steinsteypu, en það er blandað álagspróf sem veldur bæði núningi og höggáraun. Niðurstaða prófsins er gefin upp sem hluti sýnis af stærðarbilinu 10-14 mm sem brotnar niður fyrir 1,6 mm möskvastærð (%).

Í Los Angeles prófi er sýnið þurrt þegar það er prófað. Það er hins vegar vel þekkt að raki í mikið ummynduðu steinefni getur veikt efnið verulega. Þar sem 5-10% raki er algengur í steinefni er því mikilvægt að meta niðurstöður LA prófsins með hliðsjón af berggreiningu.

Veðrunarþol (frostþolspróf): Ef steinefni er ætlað í gæðasteypu og steypt slitlög skal gera veðrunarþolspróf á steinefnum. Veðrunarþolsprófum á lausum steinefnum er fyrst og fremst ætlað að gefa upplýsingar um hæfi þeirra til þess að standast endurteknar frost/þíðu-sveiflur án þess að eiginleikar þess breytist verulega.

Alkalívirkni: Mikilvægt er að ekki komi fram alkalískemmdir í steyptum mannvirkjum. Til þess að tryggja að það gerist ekki, þarf að kanna hvort viðkomandi steinefni sé alkalívirkt miðað við það sement sem nota á. Það er gert með því að mæla þenslu sýnis sem blandað er úr steinefninu og sementinu, eftir geymslu við ákveðnar aðstæður (sjá lýsingu á prófunaraðferð í viðauka 1).

Saltinnihald steinefnis: Reglubundin mæling á vatnsleysanlegum klóríðsöltum er nauðsynleg ef um sjávarefni er að ræða. Salt sem fylgir sjávarefnum eykur hættu á alkalíþenslu og getur haft skaðleg áhrif á steypustyrktarjárn sé styrkur þess mikill. Því er nauðsynlegt að þvo allt sjávarefni, enda kveður Byggingareglugerð á um leyfilegt saltmagn í steinefnum í steinsteypu. Volhard-aðferðinni, sem er viðmiðunaraðferðin, er lýst í ÍST EN 1744-1, kafla 7 og í viðauka 1 í þessu riti.

Eiginleikar fínefna

Eins og fram kemur í flæðiritinu á mynd 7-1 er gert ráð fyrir að húmusinnihald og þjálni fínefna verði metin með sjónmati og það látið nægja ef augljóst er að lífræn óhreinindi eða þjál efni eru ekki til staðar. Ef hins vegar leikur grunur á að mold eða skaðleg fínefni séu í steinefni sem ætlað er í steinsteypu skal framkvæma prófanir til að fá úr því skorið hvort slík efni eru innan marka.

Þjálnipróf: Oft er hægt að meta hvort fínefni eru þjál með því að velta sýni á milli fingra sér og athuga þannig hvort fínefnið er leirkennt, þ.e.a.s. hægt er að hnoða það í kúlur. Ef grunur leikur á að þjál efni séu til staðar í sýninu skal gera þjálnipróf á því. Þjálnistuðull, eða “Plasticity Index”, er gefinn upp sem munurinn á flæðimarki (hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að missa þjálni sína og verða flotkennt) og þjálnimarki efnisins (lægsta rakagildi sem efni getur haft án þess að molna í sundur við hnoðun). Þjál fínefni (þenjanlegar leirsteindir) geta haft neikvæð áhrif á gæði steinsteypu.

Húmuspróf: Í flestum tilvikum er auðvelt að sjá hvort sýni er blandað lífrænum efnum. Ef grunur leikur á að lífræn óhreinindi geti verið í sýni er lagt til að gert verði húmuspróf á því. Prófið felst í því að setja sýni í NaOH lausn, en lífræn óhreinindi lita lausnina, mismikið eftir magni óhreininda. Við gerðarpróf er höfð til viðmiðunar staðallausn með ákveðinn litstyrk. Niðurstaða prófsins er hvort lausnin sem sýnið er sett í fær lit sem er sterkari eða veikari en staðallausnin og gefur það til kynna hvort um skaðlegt magn lífrænna óhreininda er að ræða. Sé magn lífrænna óhreininda mikið getur það haft neikvæð áhrif á styrkleikaþróun steypu með tíma. Við framleiðslueftirlit er oft notuð stöðluð litaskífa með ákveðnum litatónum sem er auðveld í notkun.

Skaðleg fínefni (e. Methylene Blue): Prófunaraðferðin felst í því að títra Methylene Blue-litarlausn saman við steinefnasýni í vatni í þrepum í því skyni að ákvarða hversu mikið af litarlausninni sýnið getur tekið í sig. Með því að taka sýni af lausninni á glerstaf og setja það á filterpappír (dropapróf) er unnt að sjá hvenær því stigi er náð að fínefni í sýninu hættir að draga í sig litarlausnina (er mettað). Við það breytist ásýnd dropans og baugur af fríu litarefni myndast í kringum blettinn. MB-gildið er gefið upp í grömmum af litarefni sem þarf í hvert kg af steinefnasýni til að mynda

baug sem helst í 5 mínútur. Ummyndaðar, vatnsdrægar leirsteindir soga í sig litarlausnina, en ferk fínefni ekki og þannig skilur prófið á milli skaðlegra fínefna og meinlausra.

Í töflu 7-2 er birt flokkun í samræmi við ÍST EN 12620 miðað við þær prófunarniðurstöður sem safnað var saman um viðkomandi námur sem notaðar hafa verið í steinsteypu. Samantektin bendir til að oft vanti nokkuð upp á að uppfylltar séu kröfur um prófanir sem settar eru fram í ÍST 76. Tekið skal fram að gæðaflokkun samkvæmt berggreiningu er ekki hluti af Evrópustaðlinum, heldur íslensk aðferð til gæðaflokkunar á íslenskum steinefnum.

Tafla 7-2:
Steinefni í steinsteypu, nokkrar steypuefnanámur – niðurstöður prófana

Námuheiti	Námu-númer	Berggr. 1./2./3./fl.	Frostþol	Styrkur	Slitþol	Korna-lögun	Metti-vatn
Harðikambur	17361	89/9/3	-	LA20	A_N5	-	-
Blöndubakki	18550	-	-	LA20	A_N14	-	≤ 2
Jökulsáreyrar	20314	97/2/1	-	LA15	A_N7	-	-
Björgun	18720	-	$F_{EC}4$	LA20	A_N10	FI15	≤ 3
Esjuberg	15746	1/87/12	$F_{EC}4$	LA15	A_N19	-	-
Víkursandur	15618	75/18/6	$F_{EC}2$	LA15	A_N5	FI10	≤ 2
Austurfjörur	22608	81/16/3	$F_{EC}2$	LA15	A_N5	FI20	≤ 2
Vatnsskarð	16878	78/17/5	$F_{EC}2$	LA35	-	FI10	-
Hólabrú	19177	73/22/5	$F_{EC}8$	LA20	-	FI10	-
Halsvik (NO)	-	-	$F_{EC}2$	LA25	A_N14	FI10	-
Rauðamelur	16919	25/74/1	$F_{EC}2$	LA30	-	FI10	≤ 7
Affall	15691	66/27/7	$F_{EC}4$	LA20	A_N10	FI10	≤ 3
Holtsá	22786	83/11/6	$F_{EC}2$	LA15	-	FI10	-
Krossholt	17820	41/45/14	-	-	-	-	≤ 4
Lambafell	16825	100/-/-	$F_{EC}2$	LA15	-	FI0	≤ 2
Skjálfandafljót	18352	87/12/1	$F_{EC}2$	LA20	-	FI10	≤ 3

7.2.3 Próf á steypublöndum

Í kaflanum hér á undan er greint frá prófunum sem mæla eiginleika steinefna. Próf á steinefnum og gæðavottun á sementi, íaukum og íblendum í steypublöndunni eiga að tryggja að hlutefni steypunnar standist tilskildar kröfur. Þar með er líklegt að hægt sé að hanna steypu sem stenst þá áraun sem hönnunarforsendur gera ráð fyrir. Kröfur til steinefna eru settar fram í kafla 7.5.1 og kröfur til sements, íauka og íblenda í kafla 7.5.2.

Samsetning steypu og hlutefni til notkunar í steypu með skilgreinda eiginleika eða skilgreinda samsetningu skulu valin þannig (sjá kafla 6.1 í ÍST EN 206) að þau uppfylli kröfur sem tilgreindar eru fyrir ferska og harðnaða steypu. Þar með eru taldar kröfur um þjálni, eðlismassa, styrk, endingu og verndun innsteypts stáls gegn tæringu. Sé annað ekki tekið fram í steypulýsingu skal framleiðandi velja þær tegundir og þá flokka hlutefna, sem hafa staðfest notagildi skv. ákvæðum sem gilda á notkunarstaðnum fyrir tilgreindar umhverfisaðstæður. Steypan skal hönnuð þannig að aðskilnaður og blæðing ferskrar steypu sé í lágmarki. Steypa skal uppfylla kröfur sem settar eru fram um upphafsprófanir (e. initial test) í viðauka A í ÍST EN 206.

Hönnun steinsteypu byggist á prófunum á eiginleikum steypublöndu sem talin er hæfa aðstæðum þar sem á að nota hana, samanber kafla 7.2.1 og flæðirit á mynd 7-2. Þegar búið er að velja hæft steinefni til að nota í steypuna þarf að gera prófblöndur með völdu sementi, íaukum og íblendum í ákveðnum hlutföllum til að kanna eiginleika blöndunnar. Kröfur um eiginleika steypublöndu sem mældir eru á hönnunarstigi eru birtar í kafla 7.5.3.

Þær prófanir sem um er að ræða í þessu sambandi eru allar taldar upp í framleiðslustaðli fyrir steinsteypu ÍST EN 206. Í staðlinum er talinn upp fjöldi prófunaraðferða sem sumar hverjar eru ekki notaðar hérlendis og ekki er því fjallað nánar um þær hér. Aðferðir sem notaðar eru við hönnun steypu hérlendis eru taldar upp hér á eftir og þeim lýst í stuttu máli. Einnig er lýst stuttlega nokkrum aðferðum sem eru í staðlinum, þó að kröfur sem byggja á þeim aðferðum séu ekki settar fram í þessum kafla. Nánari lýsingar á helstu prófunaraðferðum er að finna í viðauka 1 við Efnisgæðaritið.

Fersk steinsteypa:

Hér á eftir eru taldar upp helstu próf og mælingar sem gerðar eru á ferskri[6] steinsteypu og sem taldar eru upp í framleiðslustaðli ÍST EN 206:

Vatns/sements tala (v/s hlutfall) og sementsmagn. Ekki er um eiginlega prófunaraðferð að ræða, en hlutfallið þarf ætíð að liggja fyrir. Í brúarsteypu og vegsteypu er talan yfirleitt á bilinu 0,4 til 0,45. Samkvæmt byggingareglugerð er v/s hlutfallið 0,55 hið leyfða hámark fyrir útisteypu sem ekki er undir sérstöku álagi af veðrun og kemískum efnum og 0,45 ef steypan er í saltumhverfi. Sementsmagn í

[6] Fersk steinsteypa samkvæmt skilgreiningu í staðli ÍST EN 206 er að fullu blönduð og enn í því ástandi að hægt sé að þjappa hana

útisteypu er yfirleitt að lágmarki 350-400 kg/m3. Erfitt er að sannreyna v/s hlutfall og sementsmagn á byggingastað og er ekki gert ráð fyrir því í staðli, heldur einungis skoðun á fylgiseðli. Því er mikilvægt að umsjónarmaður verkkaupa hafi þekkingu á framleiðslu steypunnar.

Hörðnun steypu – varmamyndun. Við hörðnun steypu sem steypt er með portland sementi myndast steindin "ettringite" (e. calcium sulfoaluminate). Megnið af súlfatinu í sementinu gengur í efnasamband til að mynda ettringite steindina. Myndun steindarinnar í ferskri steinsteypu er sá þáttur sem stjórnar hörðnun steypu. Þessi efnahvörf eru útvermin (e. exothermic) sem veldur því að steypan hitnar við hörðnun.

Oft eru settar fram kröfur í sérverklýsingum um hámarkshita og/eða kröfur um hámarkshitamismun milli útbrúnar og innri hluta í steypu. Þetta er gert til þess að draga úr spennum og sprungumyndun. Hitastigi er m.a. hægt að stýra með notkun sements með lága hitamyndun (lághitasements). Ef hvörfunarvarminn hleypir hitanum upp fyrir 65°C er hætta á að steypan verði of gropin og bindingur milli efju og steinefnis veikist.

Þjálni

- *Sigmál (ÍST EN 12350-2).* Sigmál er elsti og algengasti mælikvarðinn á þjálni ferskrar steypu, en í reynd er það einkum seigja hennar sem mælist. Mælingin hentar helst þegar steypan er í meðallagi stíf. Notuð er keila úr plötustáli af ákveðinni stærð sem er opin í báða enda. Keilan er sett á sléttan flöt með víðara opinu niður og fyllt með steypu. Síðan er keilan dregin upp af steypunni sem þá sígur saman. Lækkun steypunnar, mæld í mm, er mælikvarði á stífleikastigið/flotstigið. Því hærra tölugildi, því hærra sigmál. Almennt má segja að æskilegt er að hefðbundin steypa hafi ekki hærra sigmál en nauðsynlegt er vegna flutnings, niðurlagnar og þjöppunar.

- *Þjöppunarmæling (ÍST EN 12350-4).* Þjálnin er mæld með því að ákvarða hve steypa þjappast mikið við ákveðna titrun á stöðluðu titurborði. Ílát er sléttfyllt af steypu og titrað. Mælt er hve steypan lækkar mikið í ílátinu við titrunina. Þjöppumæling er frekar lítið notuð hérlendis og þá helst í einingaverksmiðjum.

- *Flæðimæling með fallborði (ÍST EN 12350-5).* Þessi mæliaðferð er helst notuð við mjög þunnfljótandi steypu. Fremur lítil sigmálskeila er látin standa á fallborði, fyllt af steypu og síðan fjarlægð, þannig að steypan situr eftir á borðinu. Steypunni er síðan komið á hreyfingu með því að lyfta fallborðinu og sleppa því síðan. Þetta er gert 15 sinnum og að því loknu er þvermál steypulagsins mælt í tvær hornréttar stefnur.

- *Sigmál sjálfútleggjandi steypu (ÍST EN 12350-8).* Þessi aðferð hentar til að mæla flæðieiginleika sjálfútleggjandi steypu. Sama keila er notuð í þessu prófi og sú sem notuð er í hefðbundnu sigmálsprófi. Keilan er fyllt af steypu á

sléttri stálplötu sem er a.m.k. 900 mm á kant. Keilunni er lyft upp og flæðið mælt með því að tíminn er tekinn á því hversu lengi steypan er að flæða þannig að hún myndi hringlaga form sem er 500 mm í þvermál, t_{500}.

Fleiri prófanir eru taldar upp fyrir ferska sjálfútleggjandi steypu í staðli ÍST EN 206. Má þar nefna hreyfðarseigjumælingu skv. ÍST EN 12350-9, flæðimælingu skv. ÍST EN 12350-10 og -12 (L-box og J-hringur) og viðnám gegn aðskilnaði skv. ÍST EN 12350-11. Þessum aðferðum er ekki lýst nánar í þessum kafla, þar sem steypa sem notuð er í vegagerð er yfirleitt hefðbundin.

Loftinnihald (ÍST EN 12350-7). Í staðlinum er tveimur aðferðum lýst; vatnssúluaðferð (e. water column meter) og þrýstimæliaðferð með lofti (e. pressure gauge meter). Um báðar aðferðir gildir að steypan er þjöppuð fyrir mælinguna samkvæmt ákvæðum staðalsins þannig að hún innihaldi fyrst og fremst blendiloft. Vatnssúluaðferðin felst í því að setja steypusýni í stálfötu með loki og á því er lóðréttur stútur með glerröri með áföstum þrýstimæli að ofanverðu. Steypusýnið er sett í stálfötuna og glerrörið fyllt með vatni. Loftþrýstingurinn í rörinu er aukinn að ákveðnu marki og þjappast þá steypan saman eftir því hve mikið loft er í henni. Loftinnihaldið mælist sem sigið á vatnssúlunni eftir að þrýstingur er settur á. Þrýstimæling með lofti felst í því að þekkt rúmmál af lofti setur ákveðinn þrýsting á sýnið í lokuðu íláti. Mælirinn er kvarðaður þannig að lesa megi hlutfall lofts í steypunni. Lofthlutfall steypu ætti alltaf að mæla með reglubundnum hætti og ekki sjaldnar en á 50 m^3 fresti. Nauðsynlegt er að hlutfallið sé mælt á byggingarstað ef flutningsvegalengd er löng.

Rúmþyngd (ÍST EN 12350-6). Rúmþyngd steypu getur verið þýðingarmikill eiginleiki, m.a. vegna flutnings, niðurlagnar og þjöppunar steypunnar. Mælingin felst í því að þjappa steypu í mót með þekktri þyngd og rúmmáli og er rúmþyngdin reiknuð út frá þyngd steypu og rúmmáli hennar.

Hörðnuð steinsteypa:
Gerðar eru fjölmargar prófanir á harðnaðri[7] steinsteypu til að kanna mismunandi eiginleika hennar. Við hönnun steinsteypu er meðal annars prófaður þrýstistyrkur hennar, frostþol, loftdreifing og alkalívirkni. Ef um er að ræða vegsteypu eða brúargólf þarf einnig að prófa slitþol steypunnar og beygjutogstyrk hennar. Hér á eftir og í viðauka 1 er þessum aðferðum lýst og kröfur sem byggja á niðurstöðum þessara prófana eru settar fram í kafla 7.5.3.

Þrýstistyrkur (ÍST EN 12390-3). Þrýstistyrkur (brotstyrkur, e. compressive strength) steinsteypu er fundinn með því að brjóta prófsýni í pressu. Sýnin hafa þá verið steypt og látin harðna við stöðluð skilyrði, þ.e.a.s. í þokuklefa eða vatni við staðlaðar aðstæður í ákveðinn tíma (t.d. 28 daga) þar sem hlutfallsraka (HR) er haldið sem næst 100% og hitastiginu við 20°C. Stundum eru sýni líka söguð úr steypuvirkinu eftir á. Þrýstistyrk má mæla á ákveðinn hátt eftir skemmri geymslutíma en 28 daga,

[7] Hörðnuð steypa samkvæmt skilgreiningu í staðli ÍST EN 206 er í föstu formi og hefur náð ákveðnum styrk.

þ.e.a.s. ef vitað er um samhengi milli hins mælda þrýstistyrks og 28 daga þrýstistyrks. Þrýstistyrkur er gefinn upp í einingunni N/mm^2 eða MPa og er algengt í vega- og brúargerð að hann liggi á bilinu C35/45 til C50/60, sjá nánar í kafla 7.1 og í viðauka 1.

Kleyfnistyrkur (ÍST EN 12390-6). Steypusívalningur sem er 150 mm í þvermál og 300 mm að lengd er lagður á hliðina og brotinn eftir endilöngu. Álagið sem þarf til að brjóta sýnið er skráð sem kleyfnistyrkur (e. tensile splitting strength) steypunnar.

Rúmþyngd (ÍST EN 12390-7). Rúmþyngdarmælingu á steypu má gera á blautu steypusýni (í 20°C heitu vatni í 24 klst. og yfirborðsþerrað) eða þurru steypusýni (ofnþurrkað við 105°C í 24 klst.). Massi og rúmmál sýnis er ákvarðaður og rúmþyngdin reiknuð út frá því. Lágmarksrúmmál sýnis skal vera 0,785 l.

Vatnsþéttleiki (ÍST EN 12390-8). Vatni er þrýst inn í harðnaða steypu undir ákveðnum þrýstingi í ákveðinn tíma. Sýnið er síðan brotið til að mæla hversu langt vatnið gekk inn í steypuna.

Loftinnihald og dreifing lofts. Ef engu loftblendi væri blandað í venjulega steypu væri loftinnihald hennar oftast lítið, gjarnan um 2%. Ef steypa á að vera frostþolin þarf að blanda í hana loftblendiefni og er miðað við að blendiloft skuli vera á bilinu 5-8%. Loftinnihald harðnaðrar steypu er metið í söguðum og slípuðum fleti steypusýnis í smásjá. Annars vegar er mældur fjarlægðarstuðull og hins vegar heildarloftmagn. Fjarlægðarstuðullinn lækkar (loftdreifing verður betri) eftir því sem loftbólurnar verða fleiri og smærri.

Frostþol (CEN/TS 12390-9[8]). Veðrunarþolspróf á steinsteypu er framkvæmt samkvæmt staðli CEN/TS 12390-9. Sagaðar eru tvær plötur (tvö hlutasýni) úr steypu sem prófa á, 150 x 150 x 50 mm á kant eftir að steypan hefur harðnað við ákveðnar aðstæður og verið vatnsmettuð. Plöturnar eru settar í einangruð mót og þétt meðfram, þannig að einungis yfirborðsflöturinn er óvarinn. Síðan er sett 3 mm þykkt lag af 3% NaCl lausn ofan á yfirborðsflötinn og plastfilma þar yfir (til að hindra uppgufun).

Sýnin eru sett í sérstakan skáp þar sem skiptist á frost og þíða eftir fyrirfram ákveðinni hitastigssveiflu. Hitasveiflan er frá u.þ.b. +20°C, niður í -20°C og svo aftur upp í +20°C á einum sólarhring. Eftir 7, 14, 28, 42 og 56 umferðir eru sýnin tekin út úr frost/þíðu skápnum og skoluð og burstuð til að safna því sem hefur flagnað við áraunina. Það er síðan þurrkað og vigtað og reiknað út hlutfall flagnaðs efnis miðað við yfirborð sýnis og umreiknað í kg/m2. Eftir hverja skolun er sett ný saltlausn ofan á sýnið áður en það er sett aftur inn í frost/þíðu skápinn.

[8] Þessi staðall er að uppruna sænskur staðall, SS 137244, en er nú tæknilýsing (e. Technical Specification, TS) innan CEN/TC51 en er ekki samhæfður staðall (e. Harmonized Standard). Staðlinum er ætlað að mæla yfirborðsflögnun steypu (e. scaling).

Alkalívirkni. Tvenns konar próf eru gerð til að meta alkalívirkni steinefna í steypu hérlendis. Annars vegar hraðpróf samkvæmt RILEM AAR-2, þar sem sýnin eru geymd í vítissóda (NaOH) upplausn við 80°C. Lengdarbreytingar sýnisins eru mældar daglega og yfirleitt hætt eftir hálfan mánuð. Ef sýnið stenst hraðprófið er það yfirleitt látið duga og efnið er samþykkt. Ef ekki, er seinvirkara prófið gert samkvæmt RILEM AAR-3, en það tekur um það bil eitt ár í framkvæmd.

Prófið er gert með því sementi sem gert er ráð fyrir að nota í viðkomandi mannvirki. Blandan er svo gerð þannig að notaður er 1 hluti af sementi á móti 2,25 hlutum af steinefni miðað við þunga.

Prall slitþolspróf (ÍST EN 12697-16). Ef steypublanda er ætluð í vegsteypu eða brúargólf er hér mælt með því að gera Prall slitþolspróf á hönnunarstigi á hörðnuðu steypusýni. Prófunaraðferðin ÍST EN 12697-16 er notuð til að mæla viðnám malbikssýna gegn sliti af völdum negldra hjólbarða. Aðferðin hentar einnig vel til að mæla slitþol steypusívalninga en er þó ekki hluti af prófunarstöðlum fyrir steypu. Prófið er gert þannig að komið er fyrir sneið af steypukjarna í litlum stálhólki sem er um 100 mm í þvermál og 30 mm hár ásamt 40 stálkúlum sem eru 11,5 mm í þvermál. Á hólkinn er sett lok sem hleypir vatnsstreymi yfir sýnið, 2 l/mín af 5°C vatni. Tækið hristir síðan stálhólkinn með sýninu og kúlunum upp og niður, 950 sveiflur/mínútu í 15 mínútur og er slaglengdin 43 mm. Þyngd og rúmþyngd mettaðra sýnanna er mæld fyrir próf og þyngdin aftur eftir próf. Þyngdartapið er reiknað yfir í millilítra, ml. Í hverju prófi eru prófuð fjögur hlutasýni og er Prall gildið meðaltal þeirra.

Beygjutogstyrkur (ÍST EN 12390-5). Við hönnun ákveðinna steypuvirkja er ekki þýðingarminna að huga að ýmsum öðrum styrk en þrýstistyrknum. Þar er öðru fremur átt við beygjutogstyrkinn (e. flexural strength) sem einkum er mikilvægur þegar steypt slitlög eiga í hlut, t.d. á vegum og flugbrautum. Algengt er að nota trefjar í steypu sem þarf að hafa mikinn beygjutogstyrk. Í bindingnum milli steinefna og sementsefju reynir á beygjutogstyrkinn. Steinefni með hátt brothlutfall reynist gefa sterkari binding en ávalt eða núið efni að öðru jöfnu.

Fjaðurstuðull (ISO 1920-10). Í staðlinum er tilgreind aðferð til að ákvarða stöðufjaðurstuðul harðnaðrar steypu undir þrýstingi (e. Determination of static modulus of elasticity in compression). Prófunin felst í því að leggja grunnálag 0,5 MPa á sívalan prófhlut með hlutfall hæðar og þvermáls 2,0. Álagið er aukið þar til það nær 1/3 af þrýstistyrk steypunnar. Streitan er mæld og fjaðurstuðullinn fundinn með því að bera saman streitugildi og þrýstigildi á ákveðinn hátt. Þessi aðferð er ekki talin upp í framleiðslustaðli steinsteypu, ÍST EN 206. Aðferðin er notuð í rannsóknaskyni hér á landi og eiginleikinn getur verið mikilvægur við hönnun vegsteypu og steypu í brúarbita og brúarplötur). Ekki eru settar fram kröfur um fjaðurstuðul í þessum kafla.

7.2.4 Fjöldi prófa við hönnun

Rannsóknir á steinefnum: Í kafla 7.2.1 er lýst verkferlum við prófanir á steinefnum í steinsteypu. Þar er mynd 7-1 sem lýsir heppilegu ferli við þær prófanir. Ef á hönnunarstigi er leitað að nýrri námu til að vinna steinefni í steinsteypu er mikilvægt að framkvæma yfirlitsrannsókn á þeim jarðmyndunum sem þykja koma helst til greina. Á grundvelli kortlagningar og fárra prófana eru þó yfirleitt valdir einn til tveir staðir til að rannsaka ýtarlega. Fjöldi prófa við slíka ýtarrannsókn á hönnunarstigi fer eftir efnismagni í þeirri jarðmyndun sem verið er að rannsaka m.t.t. notkunar í steinsteypu. Við forrannsóknir, þegar valið stendur á milli nokkurra náma, er það í höndum hönnuðar hversu mörg próf hann telur að þurfi að gera á sýnum úr þeim. Þegar náma/efnistökustaður hefur verið valin, ræðst fjöldi prófa sem á að gera, af magni sem gert er ráð fyrir að vinna. Hér eru ekki settar fram kröfur um tíðni slíkra prófana á hönnunarstigi, þar sem algengast er að steinefni í steinsteypu sé unnið í námum þar sem ákvæði um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit eru í samræmi við Evrópustaðla og íslenskan fylgistaðal ÍST 76.

Mikilvægt er þó að hafa ávallt í huga að vönduð sýnataka vegna rannsókna á nýjum efnistökustöðum á hönnunarstigi er stór þáttur í að vel takist til. Sýnin þurfa að gefa mynd af öllu því svæði sem gert er ráð fyrir að vinna efnið úr. Þau sýni sem fara í prófun þarf að vinna með svipuðum aðferðum og ætlunin er að nota á framleiðslustigi. Ef breytileiki er mikill getur verið þörf á fleiri prófunum. Breytileiki efnis getur verið talsvert mismunandi eftir jarðmyndunum.

Reyndin er sú að algengast er að steinefni í steinsteypu sé unnið í námum þar sem ákvæði um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit eru í samræmi við framleiðslustaðal ÍST EN 12620. Í fylgistaðli ÍST 76 um framleiðslu steinefna eru settar fram tíðnitöflur prófana við framleiðslueftirlit, m.a. um framleiðslu steinefna í steinsteypu. Því er oftast ekki þörf á að lýsa hvernig staðið skuli að rannsóknum á steinefnum í steinsteypu á hönnunarstigi, heldur vísað í framleiðslueftirlit framleiðanda.

Rannsóknir á steypublöndum: Í kafla 7.2.1 er lýst verkferlum við hönnun steinsteypu. Þar er mynd 7-2 sem lýsir heppilegu ferli við hönnun steypublöndu. Hér verður ekki fjallað um tíðni prófana við hönnun steinsteypu sérstaklega. Þó ber að hafa í huga að framkvæma þarf að lágmarki eitt hönnunarferli fyrir hverja gerð steypublöndu, sbr. Annex A í ÍST EN 206. Endurtaka þarf hönnunarferlið ef breyting verður á efnisgerð og/eða efnishlutföllum steypunnar, þ.e. breytingar verða á steinefni, sementi, íaukum eða íblendi.

7.3 Próf við framleiðslu

7.3.1 Verkferlar

Tilgangur með efnisprófum við framleiðslu, er að fá fullvissu um að steinefni í steinsteypu og steypan sem framleidd er, hafi þá eiginleika, sem stefnt var að á hönnunarstigi og til að tryggja að gæði efnisins haldist í samræmi við kröfur allt framleiðsluferlið. Með orðinu framleiðsla er hér átt við efnisöflun og aðra vinnslu steinefnis, svo sem mölun, flokkun og blöndun steinefna og einnig blöndun steypunnar.

Það er mismunandi eftir efnisgerð og hvernig framleiðslu er háttað, hvaða próf á að gera. Hér á eftir er fjallað um þau próf sem verktaki á að framkvæma samhliða framleiðslu efnisins. Hér er átt við prófanir á steinefninu í námunni, þ.e.a.s. áður en því er blandað í steypuna, svo og á steypublöndunni sjálfri. Mikilvægt er að ekki verði aðskilnaður kornastærða í efnishaugum eða við flutning á framleiðslustað steypunnar. Einnig er mikilvægt að ekki verði aðskilnaður í ferskri steypublöndu við flutning og meðhöndlun.

Steinefni

Upplýsingar þurfa að liggja fyrir um steinefni sem eru aðkeypt til steypustöðvar. Þær upplýsingar þurfa að sýna fram á eiginleika steinefnanna samkvæmt framleiðslueftirliti, yfirlýsingu um nothæfi (AVCP) og CE-merkingu. Ef steinefni er framleitt sérstaklega fyrir steypustöð þarf engu að síður að sýna fram á eignleikana með sambærilegum gögnum og gilda um aðkeypt steinefni.

Ákveðið hefur verið að hérlendis gildi eftirlitskerfi AVCP 2+, samkvæmt Evrópustöðlum, til yfirlýsingar um nothæfi við framleiðslu steinefna í steinsteypu (sjá íslenskan fylgistaðal nr. ÍST 76 og viðauka 4). Í því felst að tilnefndur aðili (e. Notified Body) hafi eftirlit með að framleiðslukerfi uppfylli allar kröfur sem settar eru fram í framleiðslustaðli ÍST EN 12620, meðal annars varðandi framleiðslueftirlit og tíðni prófana. Á grundvelli þess getur framleiðandi steinefna lagt fram yfirlýsingu um nothæfi (e. Assessment and Verification of the Constancy of Performance, AVCP) og CE-merkingu. Verkkaupi getur ávallt óskað eftir gögnum úr innra eftirliti og auk þess sett fram kröfur um aukna tíðni prófana.

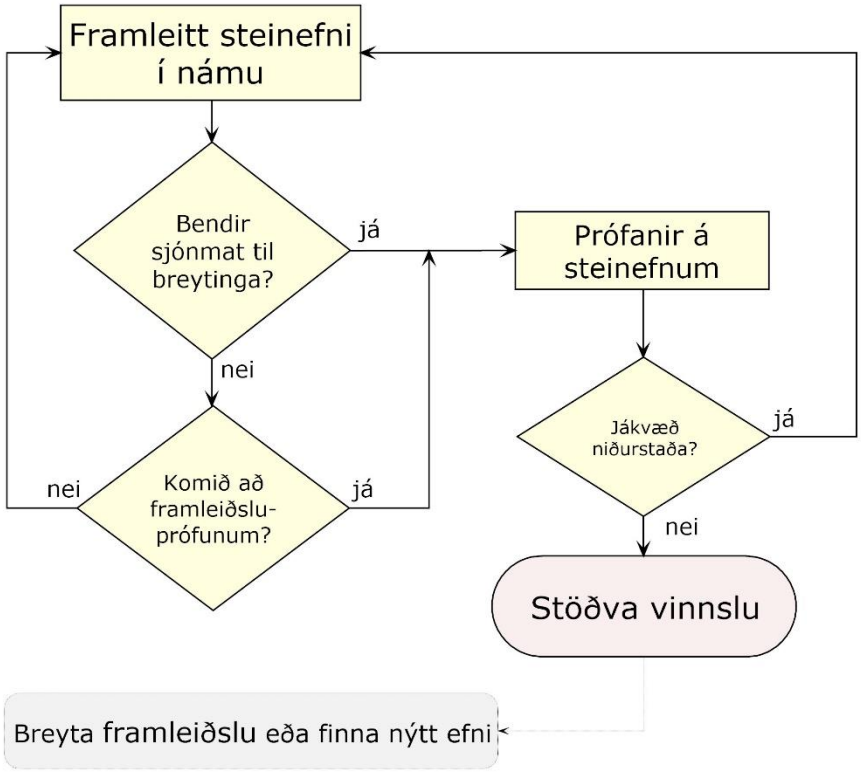
Steypublöndur

Samkvæmt staðli um steinsteypu, ÍST EN 206 er gerð krafa um að eftirlitskerfi AVCP 2+ sé notað til vottunar á steypublöndum. Í því felst að tilnefndur aðili votti framleiðslueftirlitskerfi (e. Factory Production Control, FPC) framleiðanda. Það gerir hann með upphafsúttekt á framleiðslustöð og framleiðslueftirlitskerfi, svo og reglubundnu eftirliti. Ferlið sem lýst er hér vísar í kafla 9 og viðauka A, B og C í staðli ÍST EN 206. Gerðarpróf (e. Initial test skv. viðauka A) eru framkvæmd á nýrri gerð steinsteypu og endurtekin ef steypublandan breytist.

Verkkaupi fær niðurstöður innra eftirlits framleiðanda en gerir þar að auki sambærilegar prófanir ef ástæða þykir til.

Við framleiðslu steinefnis er mikilvægt að fylgjast með því að efnið sé ekki að breytast frá því sem gert var ráð fyrir við hönnun. Dæmi um verkferil fyrir eftirlit með gæðum steinefna er sýnt á mynd 7-3. Fylgst er sjónrænt með steinefni og ef verður vart einhverra breytinga á efninu, eru gerð próf til að sannreyna efniseiginleika þess. Ef allt virðist í lagi, eru aðeins gerð fyrirskrifuð framleiðslupróf með tíðni í samræmi við framleiðslueftirlit steinefnaframleiðanda, sjá töflu 7-3 eða samkvæmt töflu 7-4 ef slíkt framleiðslueftirlit liggur ekki fyrir.

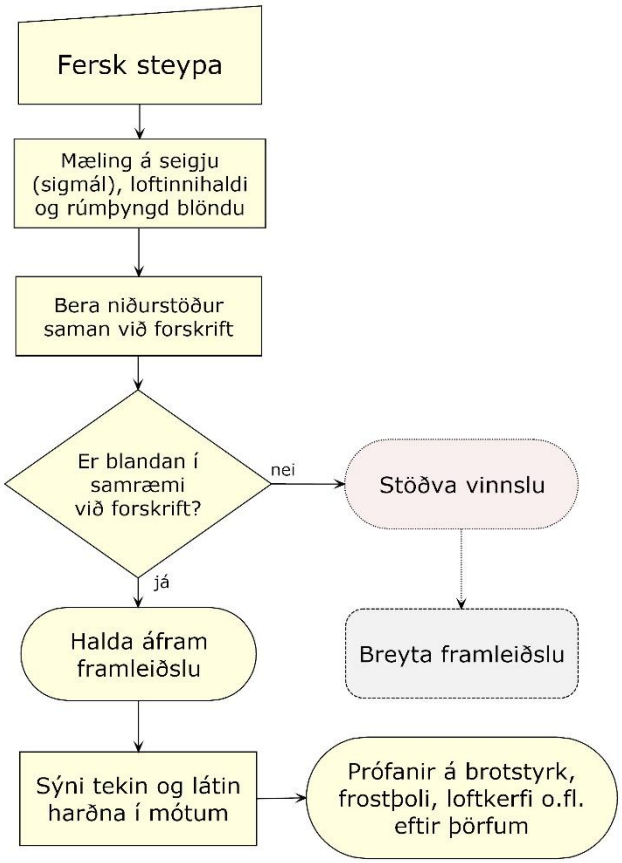
Ef niðurstöður framleiðsluprófa á steinefni eru neikvæðar, þarf að stöðva vinnsluna og gera ráðstafanir til að breyta henni. Ef kornadreifing er ekki innan marka, er oft hægt að breyta vinnsluaðferðum með hörpun, þvotti eða blöndun mismunandi stærðarflokka steinefna. Ef of mikið lífrænt efni er til staðar er mögulega hægt að losna við það með þvotti.



Mynd 7 3:
Verkferill fyrir framleiðslupróf á steinefni í steypu

Prófanir á ferskri steinsteypu eru fyrst og fremst gerðar til að ganga úr skugga um hvort steypan hafi uppfyllt tilskildar gæðakröfur. Verkferill fyrir prófanir vegna framleiðslueftirlits steinsteypu er sýndur á mynd 7-4. Ef blöndun á ferskri steypu er í samræmi við hönnun hennar eru líkur á að gæði harðnaðrar steypu verði í samræmi við prófanir við hönnun. Samt sem áður eru tekin sýni af ferskri steypu og þau sett í mót til mælinga á henni eftir að hún hefur harðnað við rétt skilyrði. Niðurstöður þeirra prófana gefa upplýsingar um hversu vel hönnun steypunnar hefur tekist og hvort steypan sé í samræmi við kröfur. Ef í ljós kemur að harðnað steypusýni stenst ekki kröfur og hluti mannvirkis hefur verið steyptur úr þeirri steypu er hægt að

endurhanna steypuna áður en næsti hluti er steyptur. Einnig geta slíkar rannsóknir nýst við endurbætur á hönnun steypu til framtíðar.



Mynd 7-4:
Verkferill fyrir framleiðslupróf á ferskri steypu

7.3.2 Steinefnapróf

Í töflu 7-3 eru taldar upp þær prófanir sem verkkaupi lætur gera á steypuefni á framleiðslustigi. Kröfur til steinefnis í steypu koma fram í kafla 7.5.1. Það próf sem oftast er gert til að fylgjast með framleiðslu efnisins er mæling á kornadreifingu. Það fer svo eftir gerð steypunnar sem nota á steinefnið í hversu ítarlega það er prófað.

7.3.3 Próf á steypublöndum

Prófanir á steypublöndum á framleiðslustigi eru mikilvægar, bæði á ferskri steypu og harðnaðri þrátt fyrir að niðurstöður prófana á harðnaðri steypu liggi oftast ekki fyrir fyrr en áfanga er lokið. Mikilvægt er að skrá vandlega eiginleika framleiddrar steypu bæði til að þekkja eiginleika steypu í viðkomandi mannvirki en ekki síður til að læra af reynslunni þannig að hámarka megi síðar gæði steypu sem framleidd úr steypuefni í viðkomandi námu.

7.3.4 Tíðni prófa við framleiðslu

Steinefnapróf
Framleiðslueftirlit (e. Factory Production Control): Tíðni prófana í innra eftirliti framleiðanda með steinefnum sem eru notuð í steinsteypu, sbr. ÍST EN 12620, skal að lágmarki vera í samræmi við fylgistaðal ÍST 76.

Eftirlit verkkaupa: Eftirfarandi reglur um tíðni prófana á steinefnum til steypuframleiðslu gilda hjá Vegagerðinni óháð innra eftirliti steinefnaframleiðandans. Þó er að sjálfsögðu heimilt er að nota niðurstöður prófana í framleiðslueftirliti framleiðandans sem hluta af eftirliti verkkaupa með gæðum steinefna í steypuframleiðslu.

Eins og fyrr segir skal tíðni prófana að lágmarki uppfylla kröfur fylgistaðals ÍST76. Ef ástæða þykir til skal auka prófanatíðnina, til dæmis þegar ný náma er tekin í notkun. Við eftirlit með aukinni prófanatíðni skal í upphafi verks gera eitt próf á sérhverjum efniseiginleika sem er tilgreindur í töflu 7-3. Tíðni prófana fer eftir umfangi verksins og er tilgreind í sömu töflu. Heimilt er að nýta próf frá hönnunarstigi til að uppfylla tíðnikröfuna.

Tafla 7-3:
Prófanatíðni í eftirliti verkkaupa með steinefnum til steypuframleiðslu

Eiginleiki	Lágmarksfjöldi prófana úr fyrstu 500 m³	Fjöldi pr. hverja byrjaða 5000 m³ umfram 500 m³	Gerð steypu
Húmus/þjálni*	1	*2*	Fyllisteypa, burðarsteypa, gæðasteypa og vegsteypa
Klórinnihald**	1	*4*	
Kornadreifing	1	*4*	
Berggreining	1	*1*	
Alkalípróf	1	*1*	Burðarsteypa, gæðasteypa og vegsteypa
Styrkur	1	*1*	
Kornalögun	1	*2*	
Frostþol	1	*1*	Gæðasteypa og vegsteypa
Slitþol	1	*1*	

** Einungis prófað ef sjónmat bendir til lífræn óhreinindi eða þjál fínefni séu til staðar*
*** Einungis mælt á sjávarefni á framleiðslustigi, en einu sinni á hönnunarstigi á landefni*

Sýni tekin af hálfu verkkaupa, skulu tekin í samræmi við ÍST EN 932-1. Hverju sinni skal tekið svo stórt sýni að það nægi til ofangreindra prófana. Fulltrúa verkkaupa (eftirlitsmanni) er skylt að gera verktaka viðvart áður en sýni er tekið og er verktaka heimilt að krefjast þess að sýnið sé svo stórt að það nægi til þrefaldrar prófunar,

eina sem verktaki gerir, aðra sem verkkaupi lætur gera og einn hluta til prófunar, ef ágreiningur kemur upp á verkábyrgðartíma.

Próf á steypublöndum

Framleiðslueftirlit (e. Factory Production Control): Tíðni prófana í innra eftirliti framleiðanda með ferskum og hörðnuðum steypublöndum skal vera í samræmi við ÍST EN 206 og skulu ætíð liggja fyrir við framleiðslu.

Eftirlit verkkaupa: Eftirlit verkkaupa felst fyrst og fremst í því að kanna hvort framleiðandi uppfylli kröfur ÍST EN 206 um framleiðslueftirlit og vottun. Ef eftirlitsmaður verkkaupa metur það svo að steypublandan víki frá hannaðri blöndu getur hann farið fram á viðbótarpróf við framleiðslu steypunnar.

Eins og fyrr segir skal tíðni prófana og mælinga að lágmarki uppfylla kröfur í töflu 29 í ÍST EN 206. Í töflu 7-4 eru sýnd tíðni helstu prófana sem gerðar eru á steinsteypu á framleiðslustigi. Heimilt er að nýta próf frá hönnunarstigi sem gerðar voru á sömu blöndu til að uppfylla tíðnikröfuna.

Tafla 7-4:
Prófanir og mælingar á helstu eiginleikum steypublöndu við framleiðslu

Eiginleiki*	**Prófanatíðni, fersk steypa**
Seigja (sigmál)	Tíðni mælinga á ferskri steypu skal að lágmarki vera í samræmi við töflu 17 í ÍST EN 206
Loftinnihald	
Rúmþyngd	
Eiginleiki*	**Prófanatíðni, hörðnuð steypa**
Þrýstistyrkur	Í samræmi við kafla 8.2.1.3 í ÍST EN 206
Rúmþyngd	
Loftinnihald	

** Ef uppskrift er breytt á einhvern hátt þarf að mæla þessa eiginleika aftur*

Sýni skulu tekin í samræmi við ÍST EN 12350-1. Hverju sinni skal tekið svo stórt sýni að það nægi til ofangreindra prófana. Ef verkkaupi (eftirlitsmaður) ákveður að taka viðbótarsýni til prófana er honum skylt að gera framleiðanda viðvart áður en sýni er tekið og er framleiðanda heimilt að krefjast þess að sýnið sé svo stórt að það nægi til þrefaldrar prófunar á harnaðri steypu, ein sem framleiðandi gerir, önnur sem verkkaupi lætur gera og þriðja hluta til prófunar síðar, ef ágreiningur kemur upp á verkábyrgðartíma.

7.4 Próf og mælingar við framkvæmd

7.4.1 Verkferlar

Litið er svo á að á framkvæmdastigi hafi flestar mælingar og prófanir á steinefnum og steypublöndum þegar farið fram á hönnunarstigi og framleiðslustigi. Ef um vegasteypu og brúargólf er að ræða þarf að tryggja að sléttleiki uppfylli kröfur, sbr. kafla 7.5.4. Í þessu riti er ekki fjallað sérstaklega um mælingar og vinnuaðferðir við niðurlögn steinsteypu. Staðallinn ÍST EN 13670 *Framkvæmdir við steypt mannvirki* fjallar um steypuframkvæmdir.

7.4.2 Steinefnapróf

Á framkvæmdastigi þegar uppsteypa mannvirkis er hafin á almennt ekki að vera þörf á frekari prófunum á steinefnum.

7.4.3 Próf og mælingar

Ekki eru sett fram í þessu riti ákvæði um próf og mælingar við framkvæmd, en bent er á staðal ÍST EN 13670 *Framkvæmdir við steypt mannvirki* (e. Execution of concrete structures).

7.4.4 Tíðni prófa við framkvæmd

Að jafnaði eru mælingar við framkvæmd einskorðaðar við hitastig við hörðnun, sigmál, loftinnihald og sléttleika. Einnig eru tekin sýni af óharðnaðri steypu og sett í mót til mælinga á eiginleikum harðnaðrar steypu, samkvæmt ákvæðum útboðsgagna. Hér eru ekki settar fram nánari kröfur um tíðni prófana við framkvæmd, en eftirlitsmaður ákveður hvort þörf er á frekari prófunum á framkvæmdastigi.

7.5 Kröfur

Verkkaupi setur fram kröfur í þeim tilgangi að tryggja að sú steypa sem hann kaupir af framleiðanda, henti fyrirhugaðri notkun og muni standast þá áraun sem notkunin hefur í för með sér. Samsetning steypu og hlutefni[9] til notkunar í steypu skulu valin þannig að þau uppfylli þær kröfur sem til þeirra eru gerðar.

Kröfur til steypublöndu til mannvirkjagerðar skulu vera í samræmi við ÍST EN 206. Eingöngu skal nota hlutefni í samræmi við ÍST EN 206 og í samræmi við staðla sem þar er vísað til. Hlutefni í steypu mega ekki innihalda skaðleg efni í því magni að þau geti haft neikvæð áhrif á endingu steypunnar og skulu uppfylla lágmarkskröfur til viðkomandi steypugerðar. Rétt er að taka fram að fleiri kröfur eru settar fram í þessum staðli en settar eru fram í þessu leiðbeiningariti.

Í staðli ÍST EN 206 eru settir fram 6 áreitisflokkar eftir umhverfisálagi og er hver flokkur með mismarga undirflokka. Flokkunin byggir á mismunandi verðurfarslegu áreiti, tæringu af völdum ýmissra efnasambanda og einnig á efnaáraun sem steypan verður fyrir við ákveðin skilyrði. Í riti þessu hefur verið ákveðið að tengja áreitisflokka staðalsins við fjórar mismunandi steypugerðir. Kröfurnar eru mismunandi eftir steypugerðum. þ.e.a.s. fyllisteypa, burðarsteypa, gæðasteypa og slitlagssteypa. Þannig flokkast fyllisteypa í áreitisflokk 1-X0, burðarsteypa getur flokkast undir 4-XS1 og/eða 5-XF1 o.s.frv. Í töflu 7-5 er sýnt hvernig áreitisflokkarnir tengjast kröfuflokkunum. Einfaldaðar skýringar á þessum flokkum eru settar fram undir töflu 7-5, en ítarlegri umfjöllun um flokkana er í staðli ÍST EN 206.

Tafla 7-5:
Áreitisflokkar fyrir þær gerðir steypu sem Vegagerðin notar

Kröfuflokkur	**Áreitisflokkar skv. ÍST EN 206***					
	1	2	3	4	5	6
Fyllisteypa	X0	-	-	-	-	-
Burðarsteypa	-	-	-	XS1	XF1 XF2	-
Gæðasteypa	-	-	-	XS3	XF3 XF4	-
Slitlagssteypa, brúargólf	-	-	XD3	XS1 XS3	XF3 XF4	-

** Lausleg skilgreining áreitisflokka og undirflokka þeirra sem notaðir eru í vegagerð:*

1. *Engin hætta á tæringu eða öðrum skemmdum, X0*
   a. *X0 Engin áraun vegna frost/þíðu, slits eða efnahvarfa*
2. *Tæring vegna kolsýringar, XC1, XC2, XC3 og XC4*
3. *Tæring af völdum klóríða annarra en úr sjó, XD1, XD2 og XD3*
   a. *XD3 Skiptist á þurrt og blautt ástand*

[9] Hlutefni eru steinefni, sement, vatn, íblendi og íaukar

4. *Tæring vegna klóríða úr sjó XS1, XS2 og XS3*
   a. *XS1 Áhrif frá saltúða en ekki í snertingu við sjó*
   b. *XS3 Sjávarfalla gætir með öldugangi og saltúða*
5. *Frost/þíðu-áraun með eða án afísingarefna, XF1, XF2, XF3 og XF4*
   a. *XF1 Væg vatnsmettun án hálkuvarnarefna*
   b. *XF2 Væg vatnsmettun með hálkuvarnarefnum*
   c. *XF3 Mikil vatnsmettun án hálkuvarnarefna*
   d. *XF4 Mikil vatnsmettun með hálkuvarnarefnum*
6. *Efnaáraun, XA1, XA2 og XA3*

Eins og fram kemur hér að ofan og í töflu 7-5 setur vegagerðin fram kröfur til fjögurra gerða steinsteypu, sem sagt fyllisteypu, burðarsteypu, gæðasteypu og slitlagssteypu. Flokkarnir skarast vegna umhverfisþátta, t.d. getur burðarsteypa þurft að standast kröfur fyrir gæðasteypu í sjó ef aðstæður krefjast.

- Fyllisteypa er oftast ójárnbundin steypa sem notuð er meðal annars í sökkla, undirstöðu undir burðarsteypu og sem þrifalag. Þessi gerð steypu verður fyrir mjög litlu áreiti frá umhverfinu.
- Burðarsteypa er notuð í burðarvirki mannvirkja í vegagerð, svo sem stöpla, bita, boga og vegskála. Þessi gerð steypu er algengust við brúargerð, ræsagerð, vegskála og forskála jarðganga.
- Gæðasteypa er notuð þar sem mikil áraun mæðir á steypunni, meðal annars í brúarstöpla og brúarsökkla í sjó, sérstaklega þar sem sjávarfalla gætir.
- Slitlagssteypa er notuð í slitlag á brúargólf og vegyfirborð.

7.5.1 Kröfur til steinefna

Við framsetningu á kröfum til steinefna hér á eftir, er almennt miðað við kröfuflokka sem settir eru fram í evrópska framleiðslustaðlinum ÍST EN 12620 Steinefni í steinsteypu (e. Aggregates for concrete), sem fjallar um kröfur til steinefna í steinsteypu. Í stórum dráttum þarf steinefni í steypu að:

- hafa heppilegan sáldurferil
- vera samsett úr fersku steinefni (ef um íslenskt efni er að ræða) og að mestu laust við mjög ummyndaðar steindir
- hafa heppilega kornalögun
- vera veðrunarþolið, einkum gagnvart margendurteknum hitasveiflum kringum frostmarkið sem eru einkennandi fyrir íslenskt veðurfar, en þetta á sérstaklega við í söltu umhverfi
- vera nægilega sterkt og slitþolið til að þola höggáraun og slit ef um gæða- eða slitlagssteypu er að ræða

Eiginleikar steinefnisins eru mældir með:

- sáldurgreiningu til að ákvarða kornadreifingu
- berggreiningu til að meta efnisgæði
- lögunarmælingu
- frost-þíðu prófi til að meta veðrunarþol
- Los Angeles-prófi til að meta styrk (höggþol)
- kúlnakvarnarprófi til að meta slitþol
- frekari prófunum, þ.á.m. sjónmati ef ástæða þykir til

Verktaki skal í upphafi verks leggja fram nákvæma áætlun um gæðaeftirlit og skal eftirlitskerfi verktaka tryggja að gæði steinefna og verkgæði séu skráð með fullnægjandi hætti. Ef steinefni er fengið úr námu framleiðanda sem selur steinefni á markaði er heimilt að telja skjalfest framleiðslueftirlit með í heildarumfangi eftirlits með gæðum steinefna í viðkomandi verk.

Í staðli ÍST EN 12620 eru settar fram frávikskröfur vegna framleiðslu steinefna (sjá fylgistaðal ÍST 76 og viðauka 4). Kröfurnar eru að 90% mælinga á kornadreifingu skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk. Vegagerðin gerir hins vegar kröfur til kornadreifingar steinefna í steinsteypu, sem miðast við markalínur, sjá myndir 7-5 til 7-9 (sjá nánari umfjöllun um kornadreifingu hér á eftir).

Þar að auki skulu skv. staðli ÍST EN 12620 öll gildi fyrir aðrar prófunaraðferðir vera innan þess kröfuflokks sem framleiðandi ábyrgist (e. *Within the limit specified*). Vegagerðin setur hins vegar fram almennar nokkru rýmri frávikareglur varðandi kröfur Vegagerðarinnar til berggæða steinefna í steinsteypu og ásýndar bergs, sem gera ráð fyrir að eitt gildi af hverjum fimm gildum megi víkja frá kröfugildi sem nemur allt að 10% í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest 1 sýni af 5 mælast með slitþol A_N11 ef kröfuflokkurinn er A_N10. og hin fjögur skulu þá vera innan marka.

Húmus
Steinefni sem nota á í steinsteypu skal vera laust við lífræn óhreinindi. Yfirleitt er sjónmat látið nægja til að meta hvort lífrænt efni sé til staðar. Í vafatilfellum skal prófa húmusinnihald samkvæmt staðli ÍST EN 1744-1 og er miðað við að efnið standist kröfur sem settar eru fram í staðli ÍST EN 12620.

Þjálni
Fínefni í steinefni sem nota á í steinsteypu má ekki flokkast sem þjált efni. Í vafatilfellum skal efnið prófað með þjálniprófi.

Klóríð
Almenn krafa til steinefna í steypu er að klóríðinnihald skuli vera ≤ 0,06% miðað við þurrt efni, mælt samkvæmt ÍST EN 1744-1.

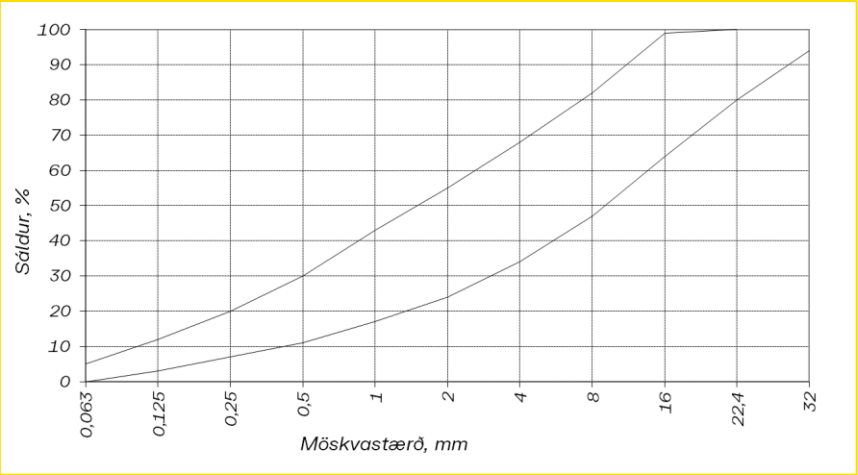
Ef um er að ræða sjávarefni, gilda stífari kröfur um magn klóríðs og má það ekki vera meira en 0,036% miðað við þurran sand fyrir járnbenta steypu og 0,012% fyrir steypu með spenntu bendistáli vegna tæringarhættu.

Kornadreifing
Við hönnun skal miða við að sáldurferill steinefna í steypu (eftir blöndun úr mismunandi stærðaflokkum ef svo ber undir) liggi milli markalína sem eru tilgreindar á myndum 7-5, 7-6, 7-7, 7-8 og 7-9. Heppilegast er að hannaður sáldurferill liggi sem mest samsíða markalínum. Meðaltal sáldurferla skal liggja innan markalína, en einn ferill af hverjum fimm má þó víkja allt að 0,5% út fyrir á hverju sigti og á öllum sigtum. Hér á eftir eru settar fram markalínur fyrir nokkrar gerðir steinsteypu, þ.e.a.s. fyrir fyllisteypu, fyrir burðar- og gæðasteypu í þremur stærðarflokkum og loks ein

mynd fyrir 16 mm slitlagssteypu. Hönnuður getur valið aðra stærðarflokka en hér eru settir fram en þó í samræmi við ÍST EN 12620.

Markalínurnar eru hannaðar hérlendis í samræmi við ákvæði í staðli ÍST EN 12620 um framleiðslu steinefna í steypu og ÍST EN 13877-1 (e. *Concrete Pavements Part 1: Materials*).

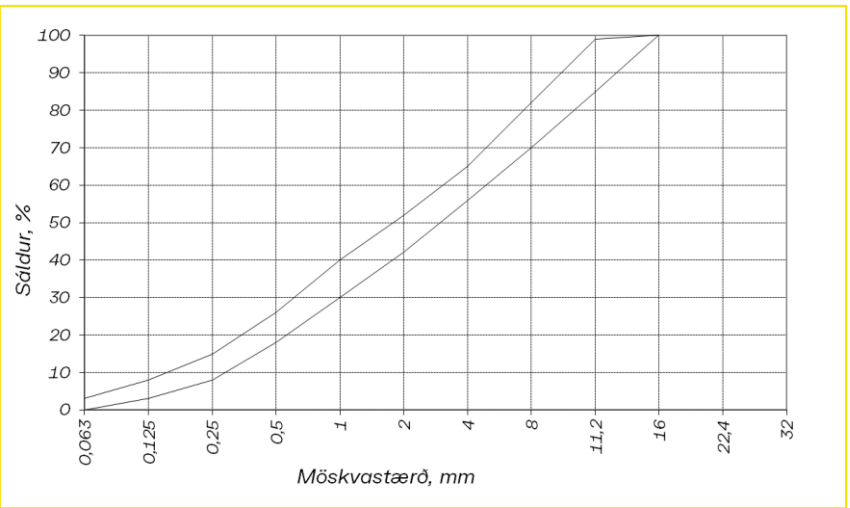
Fyllisteypa



Sigti	0/32	0/32
0,063	5	0
0,125	12	3
0,25	20	7
0,5	30	11
1	43	17
2	55	24
4	68	34
8	82	45
11,2	92	56
16	99	66
22,4	100	80
32		95
45		100

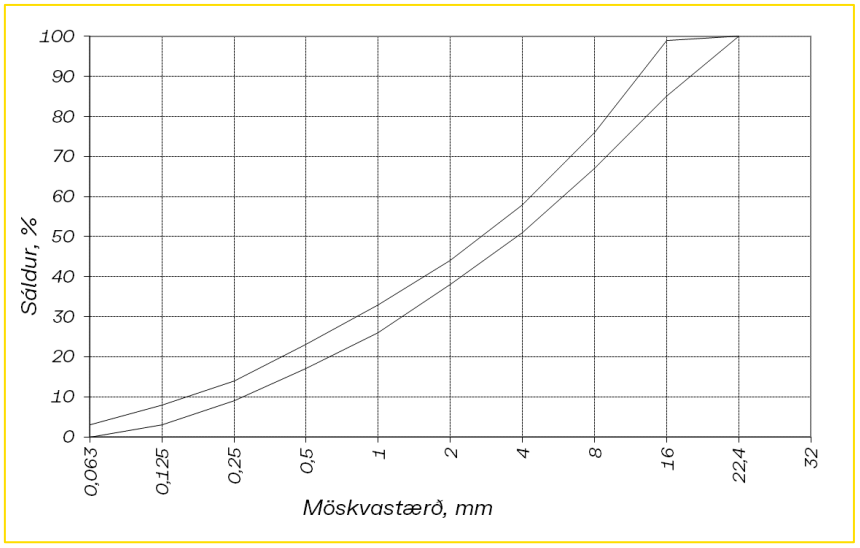
Mynd 7-5:
Markalínur fyrir 0/11, 0/16, 0/22 og 0/32 mm steinefni í fyllisteypu

Burðar- og gæðasteypa



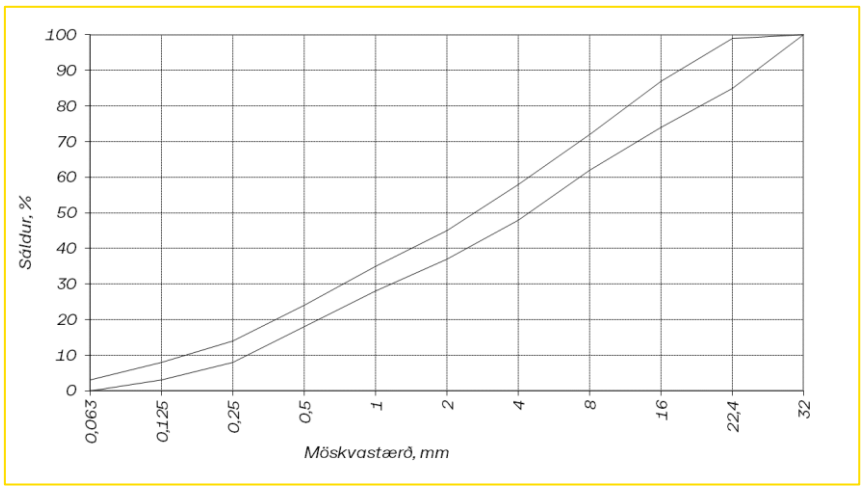
Sigti	0/11	0/11
0,063	3	0
0,125	8	3
0,25	15	8
0,5	26	18
1	40	30
2	52	42
4	65	56
8	82	70
11,2	99	85
16	100	100

Mynd 7-6:
Markalínur fyrir 0/11 steinefni í burðar- og gæðasteypu



0/16 steypuefni		
Sigti, mm	*Markalínur*	
0,063	*3*	*0*
0,125	*5*	*3*
0,25	*12*	*9*
0,5	*22*	*17*
1	*33*	*26*
2	*44*	*38*
4	*58*	*51*
8	*71*	*63*
11,2	*85*	*74*
16	*99*	*85*
22,4	*100*	*100*

Mynd 7-7:
Markalínur fyrir 0/16 steinefni í burðar- og gæðasteypu

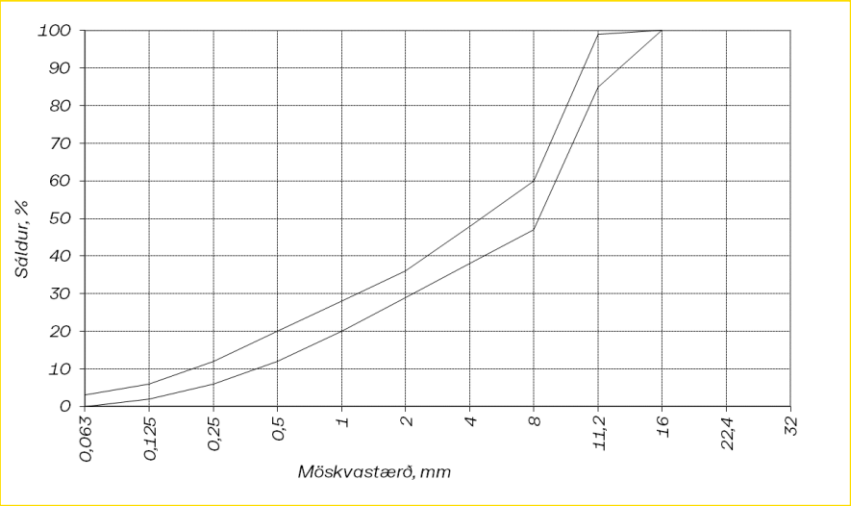


Sigti	*0/22*	*0/22*
0,06	*3*	*0*
0,13	*8*	*3*
0,25	*14*	*8*
0,5	*24*	*18*
1	*35*	*28*
2	*45*	*37*
4	*58*	*48*
8	*72*	*62*
11,2	*76*	*69*
16	*87*	*74*
22,4	*99*	*85*
32	*100*	*100*

Mynd 7-8:
Markalínur fyrir 0/22 steinefni í burðar- og gæðasteypu

Slitlagssteypa

Samkvæmt norska ritinu Vegbygging, N200 (hér staðfært) skal kornadreifing vegsteypu vera samkvæmt mynd 7-9 til að tryggja nægjanlegt slitþol (mikið af grófu steinefni).



Sigti	0/16	0/16
0,06	3	0
0,13	6	2
0,25	12	6
0,5	20	12
1	28	20
2	36	29
4	48	38
8	60	47
11,2	99	85
16	100	100

Mynd 7-9:
Markalínur fyrir 0/16 steinefni í slitlagssteypu

Berggreining

Leiðbeinandi gildi fyrir leyfilegt magn steinefna í steinsteypu í gæðaflokkum samkvæmt berggreiningu (berggreiningarkerfi í viðauka 10 þessa rits) eru sýndar í töflu 7-6. Kröfurnar miðast við stærðarflokkinn 5,6-11,2 mm.

Tafla 7-6:
Leiðbeinandi gildi um niðurstöður berggreiningar í steinsteypu

Gerð steypu	Gæðaflokkur 1, %	Gæðaflokkur 3, ummyndað, %	Gæðaflokkur 3, ferskt, %
Fyllisteypa	Ekki krafa	≤ 20	≤ 25
Burðarsteypa	≥ 60	≤ 10	≤ 15
Gæðasteypa	≥ 70	≤ 5	≤ 10
Slitlagssteypa	≥ 80	≤ 5	≤ 10

Samkvæmt ÍST EN 12620 á berggreining aðeins að segja til um berggerð sýnis og fylgja með sem upplýsingar um efnið. Íslenska aðferðin hefur verið aðlöguð ÍST EN 932-3, en er mun ítarlegri í skiptingu basalts eftir ummyndun og þéttleika. Íslenska gæðaflokkunin er hins vegar alveg óháð Evrópustöðlum og hefur enga tilvísun í þá.

Alkalívirkni steinefna
Steinefni skal prófa með tilliti til alkalívirkni. Þau teljast óvirk ef þensla múrstrendinga sem steyptir eru úr því og háalkalísementi er minni en:

a) 0,2% eftir 14 daga skv. prófunaraðferð RILEM AAR-2.

b) 0,05% eftir 6 mánuði eða 0,1% eftir 12 mánuði skv. prófunaraðferð RILEM AAR-3.

Ef steinefni reynist virkt eftir prófun með aðferð a) þarf að velja annað steinefni eða prófa það með aðferð b). Þá er notkun heimil ef þensla steypustrendinga sem steyptir eru með þeirri blöndu af steinefni og sementi sem til stendur að nota, er minni en 0,05% eftir 12 mánuði samkvæmt prófunaraðferð RILEM AAR-3.

Styrkleikapróf
Kröfur um styrkleika steinefna, sem nota á í steinsteypu, koma fram í töflu 7-7. Kröfurnar eru miðaðar við stærðaflokkinn 10-14 mm og styrkleikann skal prófa samkvæmt staðli ÍST EN 1097-2.

Tafla 7-7:
Kröfur um Los Angeles – gildi steinefna í steinsteypu

Gerð steypu	Niðurbrot, %
Fyllisteypa	Ekki krafa
Burðarsteypa	LA_{30}
Gæðasteypa	LA_{25}
Slitlagssteypa	LA_{20}

Í töflunni þýðir LA_x að LA-gildið skuli að hámarki vera X%.

Kornalögun
Kröfur til kornalögunar steinefnis, til nota í steinsteypu koma fram í töflu 7-8. Prófið er gert samkvæmt staðli ÍST EN 933-3.

Tafla 7-8:
Kröfur um kornalögun steinefna í steinsteypu

Gerð steypu	Kornalögunarstuðull, %
Fyllisteypa	Ekki krafa
Burðarsteypa	FI_{20}
Gæðasteypa	FI_{20}
Slitlagssteypa	FI_{15}

Í töflunni þýðir FI_X að kleyfnistuðullinn (e. Flakiness Index) skuli að hámarki vera X%.

Frostþolspróf
Kröfur um frostþol steinefna til nota í steinsteypu, koma fram í töflu 7-9. Kröfurnar eru miðaðar við sýni af 8-16 mm steinefni. Frostþolspróf skal gert samkvæmt ÍST EN 1367-6 (frostþol í saltlausn).

Tafla 7-9:
Kröfur um frostþol steinefna í steinsteypu

Gerð steypu	Niðurbrot, %
Fyllisteypa	Ekki krafa
Burðarsteypa	Ekki krafa
Gæðasteypa	F_{EC} 4
Slitlagssteypa	F_{EC} 4

Í töflunni þýðir $F_{EC}X$ að frostþolsgildið skuli að hámarki vera X%.

***Slitþol** (**kvarnargildi**)*
Kröfur um slitþol (kvarnargildi) steinefna sem eru notuð í steinsteypu, koma fram í töflu 7-10. Kröfurnar eru miðaðar við stærðaflokkinn 11,2 – 16 mm. Prófið er gert samkvæmt staðli ÍST EN 1097-9.

Tafla 7-10:
Kröfur til kvarnargildis steinefna í steinsteypu

Gerð steypu	Kvarnargildi, %
Fyllisteypa	Ekki krafa
Burðarsteypa	Ekki krafa
Gæðasteypa	A_N 10
Slitlagssteypa	A_N 7

Í töflunni þýðir A_N X að kvarnargildið má að hámarki vera X%.

Brothlutfall slitlagssteypu
Brothlutfall steinefnis til nota í slitlagssteypu skal að lágmarki uppfylla kröfuflokkinn $C_{50/30}$. Þessi krafa er sett fram til að minnka líkur á að hemlunarviðnám verði undir mörkum, t.d. á brúargólfum. Prófið er gert á flokkuðu sýni með lágmarks kornastærð 4 mm og samkvæmt staðli ÍST EN 933-5. Steinefni sem fengin eru úr sprengdu bergi teljast uppfylla kröfuflokk $C_{100/0}$ og þarfnast ekki prófunar á brothlutfalli samkvæmt ákvæði í framleiðslustaðli ÍST EN 12620.

$C_{X/Y}$ þýðir að X% af þunga efnisins á að vera brotið að meirihluta eða að öllu leyti, en Y% má vera alnúið.

7.5.2 Kröfur til sements, íauka og íblenda

Sement (e. cement)
Sement sem samræmist ÍST EN 197-1 (*Sement - Hluti 1: Samsetning, eiginleikar og samræmiskröfur fyrir venjulegt sement*) telst almennt nothæft í steinsteypu. Nota skal Portland sement, CEM I (e. Portland cement) og CEM II/A-V (e. Portland-fly ash cement) og CEM II/A-D með ≥ 6,0% kísilryksíblöndun (e. Portland-silica fume cement) sbr. töflu 1 og í styrkleikaflokki 42,5R, sbr. töflu 3 í ÍST EN 197-1.

Íblendi: (e. admixtures, t.d. loftblendi, vatnsspari, þjálniefni, sérvirk þjálniefni).
Íblendi skulu ekki innihalda skaðlega efnisþætti í slíku magni að það geti haft neikvæð áhrif á haldgæði steypunnar eða orsakað tæringu bendistáls. Íblendi skulu vera af viðurkenndri gerð og áhrif þess á loftmyndun í steypu þannig að kröfur um loftinnihald og loftdreifingu í veðrunarþolinni steypu séu innan viðeigandi marka. Íblendi sem samræmist ÍST EN 934-2 (*Íblöndunarefni í steinsteypu, - Hluti 2: Skilgreiningar, kröfur, samræmisauðkenningar og merkingar*) teljast almennt nothæf í steinsteypu.

Ef ekki eru fyrirmæli um annað skulu sérvirk þjálniefni vera af melamin gerð. Önnur þjálniefni eða vatnssparandi efni eru ekki leyfð nema sýnt sé fram á það með óyggjandi hætti að samverkun þeirra og loftblendis séu þannig að loftmagn og loftdreifing séu innan tilgreindra marka.

Blendivatn (e. mixing water for concrete):
Blendivatn í samræmi við ÍST EN 1008 telst almennt nothæft.

Íaukar: (e. additives, t.d. kísilryk, pozzolanefni, svifaska, trefjar).
Um íauka gilda yfirleitt sömu kröfur og gilda um sement, enda eru þeir jafnan innifaldir í því sementi sem notað er með þeim. Íaukar skulu ekki innihalda skaðlega efnisþætti í slíku magni að það geti haft neikvæð áhrif á haldgæði steypunnar eða orsakað tæringu bendistáls. Íaukar skulu vera af viðurkenndri gerð og áhrif þeirra á loftmyndun í steypu þannig að kröfur um loftinnihald og loftdreifingu í veðrunarþolinni steypu séu innan viðeigandi marka

Íaukar sem nothæfir eru í steypu með CEM I er meðal annars steinefnaméla sem er í samræmi við ÍST EN 12620 eða ÍST EN 13055.

Íaukar sem nothæfir eru í steypu með CEM II eru svifaska (e. fly ash) sem uppfyllir kröfur skv. ÍST EN 450-1, kísilryk í samræmi við kröfur ÍST EN 13263-1 og háofnagjall (e. *ground granulated blastfurnace slag*) í samræmi við kröfur ÍST EN 15167-1.

Stáltrefjar í samræmi við kröfur ÍST EN 14889-1 og fjölliðutrefjar í samræmi við kröfur ÍST EN 14889-2 teljast hæfar í steinsteypu.

7.5.3 Kröfur til steypublöndu (efnismassa)

Almennt gildir að fersk og hörðnuð steinsteypa, ásamt hlutefnum, skal vera í samræmi við ÍST EN 206, Steinsteypa – Tæknilýsing, eiginleikar, framleiðsla og samræmi (e. *Conctrete – specification, performance, production and conformity*) og þá staðla sem þar er vísað til, sjá töflu 7-11.

Tafla 7-11:
Sementsmagn og v/s tala í ferska steypu

Gerð steypu	Sementsmagn, kg/m³	v/s tala
Fyllisteypa	≥ 300	≤ 0,55
Burðarsteypa	≥ 350	≤ 0,45
Gæðasteypa	≥ 400	≤ 0,40
Slitlagssteypa	≥ 400	≤ 0,40

Loftinnihald ferskrar steypu:
Loftinnihald skal vera a.m.k 5% mælt rétt fyrir niðurlögn.
Ef dælt er skal loftinnihald vera a.m.k 6-7%.

Loftdreifing harðnaðrar steypu:
Yfirborð loftbóla: ≥ 25/mm
Fjarlægðarstuðull: < 0,2 mm

Sigmál ferskrar steypu:
Almennt má segja að æskilegt er að hefðbundin steypa hafi ekki hærra sigmál en nauðsynlegt er vegna flutnings, niðurlagnar og þjöppunar. Í staðli ÍST EN 206 eru gefnir upp eftirfarandi sigmálsflokkar í töflu 3:

S1, sigmál 10-40 mm
S2, sigmál 50-90 mm
S3, sigmál 100-150 mm
S4, sigmál 160-210 mm
S5, sigmál ≥ 220 mm

Miða skal við að sigmál steypu án þjálniefna skuli vera í flokki S2. Sé þörf á hærra sigmáli við steypuframkvæmdir skal nota þjálniefni til að ná sigmáli steypunnar í S3 og S4. Sé steypan í sigmálsflokki S5 skal gæta þess að ekki verði aðskilnaður í henni við niðurlögn og passa að titra steypuna ekki um of svo að steypumassinn verði einsleitur og án aðskilnaðar.

Þrýstistyrkur harðnaðrar steypu:
Þrýstistyrkur steypu er settur fram sem kennistyrkur og er skilgreindur sem það styrkgildi sem vænta má að 5% allra mögulegra styrkmælinga muni lenda undir fyrir þá steypu sem um er að ræða. Styrkinn skal ákvarða skv. ÍST EN 12390-3.

Steypa er flokkuð eftir þrýstistyrk í styrkleikaflokka sem eru táknaðir með bókstafnum C ásamt kennistyrk $f_{c,cyl}$ eða $f_{c,cube}$ í MPa, eftir því hvort um er að ræða sívalningssýni eða teningssýni. Þrýstistyrkur skal vera í samræmi við það sem gefið er upp í töflu 7-12.

Tafla 7-12:
Kröfur til þrýstistyrks steinsteypu

Gerð steypu	Þrýstistyrkur, $f_{c,\,cyl}$ MPa	Þrýstistyrkur, $f_{c,\,cube}$ MPa
Fyllisteypa	≥ 30	≥ 37
Burðarsteypa	≥ 35	≥ 45
Gæðasteypa	≥ 45	≥ 55
Slitlagssteypa	≥ 45	≥ 55

Veðrunarþol harðnaðrar steypu:
Veðrunarþol steypu skal sannreynt með frost/þíðu-prófi í 3% NaCl-upplausn skv. EN/TS 12390-9 (e. *Testing hardened concrete - Part 9: Freeze-thaw resistance - Scaling - Complementary element*).

Til þess að steypa teljist veðrunarþolin skal flögnun vera samkvæmt kröfum til mismunandi steypugerða í töflu 7-13.

Tafla 7-13:
Kröfur til veðrunarþols steinsteypu

Gerð steypu	Flögnun, 28 daga, kg/m²	Flögnun, 56 daga, kg/m²
Fyllisteypa	Ekki krafa	Ekki krafa
Burðarsteypa	≤ 0,5	≤ 1,0
Gæðasteypa	≤ 0,5	≤ 1,0
Slitlagssteypa	≤ 0,5	≤ 1,0

** Í mannvirkjum þar sem veðrunarþol þarf að vera sérstaklega mikið getur hönnuður valið stífari kröfur*

Prall slitþol harðnaðrar steypu:
Ef steypublanda er ætluð í vegsteypu eða brúargólf er hér mælt með því að gera Prall slitþolspróf á hönnunarstigi á hörðnuðu steypusýni. Prófunaraðferðin ÍST EN 12697-16 er notuð til að mæla viðnám malbikssýna gegn sliti af völdum negldra hjólbarða. Aðferðin hentar einnig vel til að mæla slitþol steypusívalninga en er þó ekki hluti af prófunarstöðlum fyrir steypu. Miða skal við að slit í Prall prófi sé samkvæmt töflu 7-14, sem byggð er á umferðarviðmiðum.

Tafla 7-14:
Kröfur til slitþols steinsteypu

Umferð, ÁDU	Prall gildi, ml
< 3000	28
3000-8000	28
8000-15000	24
> 15000	20

Hitastig við hörðnun ferskrar steypu:
Hámarkshiti byggingarhluta sem er í votu umhverfi eða votu og þurru umhverfi á víxl er miðaður við $\leqslant 65^\circ$ C og hámarksmismunur á hitastigi í gegn um snið $\leqslant 20^\circ$ C. Í sérlýsingum eru stundum settar fram kröfur um lægri hámarkshita og/eða kröfur um hámarkshitamismun milli útbrúnar og innri hluta byggingarhluta, hvort tveggja til þess að koma í veg fyrir eða draga úr spennum og sprungumyndunum. Hitastigi er m.a. hægt að stýra með notkun sements með lága hitamyndun (lághitasements). Ef steypa er lögð við hærri lofthita en 20°C getur það haft áhrif á langtímastyrk hennar og getur þá komið til greina að velja steypu í hærri styrkleikaflokki.

Klórleiðni harðnaðrar steypu:
Í þessu riti eru ekki settar fram kröfur um leyfilega klórleiðni, en hér á eftir eru settar fram upplýsingar um klórleiðni fyrir sýni eftir 28 daga aðhlúun, skv. NT BUILD 492:

$D_{nssm} < 2{\cdot}10^{-12}$ m²/s: Mjög góð mótspyrna gegn klórleiðni.
$D_{nssm} < 8{\cdot}10^{-12}$ m²/s: Góð mótspyrna gegn klórleiðni.
$D_{nssm} < 16{\cdot}10^{-12}$ m²/s: Hófleg mótspyrna gegn klórleiðni.
$D_{nssm} > 16{\cdot}10^{-12}$ m²/s: Ekki mælt með í umhverfi þar sem klórleiðni gæti átt sér stað.

7.5.4 Kröfur við framkvæmd

Í þessu riti eru ekki settar fram kröfur við framkvæmd á þessu stigi. Í þessu sambandi má benda á ritin:

Reglur við hönnun brúa á vefslóðinni: http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/reglur-um-honnun-brua/.

Håndbok R762 Prosesskode 2 Standard beskrivelse for bruer og kaier Hovedprosess 8 á vefslóðinni: https://www.vegvesen.no/siteassets/content/vedlegg/handboker/hb-r762-prosesskode-2-05072018.pdf.

Einnig er bent á staðalinn ÍST EN 13670, *Framkvæmdir við steypt mannvirki* (e. Execution of concrete structures).

Viðauki A: Tilvísun í staðla sem varða steinsteypu

Hér á eftir er vísað í staðla sem snerta steinsteypu og efni sem í hana eru notuð.

ÍST EN 206 Steinsteypa – Tæknilýsing, eiginleikar, framleiðsla og samræmi (e. Concrete - Specification, performance, production and conformity).

ÍST EN 12620 Steinefni í steinsteypu (e. Aggregates for concrete).

ÍST EN 13055 Létt steinefni (e. Lightweight aggregates).

ÍST 76 Framleiðsla á steinefnum, íslenskur fylgistaðall.

ÍST EN 12350-1 Testing fresh concrete - Part 1: Sampling.

ÍST EN 12350-2 Testing fresh concrete - Part 2: Slump-test.

ÍST EN 12350-3 Testing fresh concrete - Part 3: Vebe test.

ÍST EN 12350-4 Testing fresh concrete - Part 4: Degree of compactability.

ÍST EN 12350-5 Testing fresh concrete - Part 5: Flow table test.

ÍST EN 12350-6 Testing fresh concrete - Part 6: Density.

ÍST EN 12350-7 Testing fresh concrete - Part 7: Air content - Pressure methods.

ÍST EN 12350-8 Testing fresh concrete - Part 8: Self-compacting concrete - Slump-flow test.

ÍST EN 12350-9 Testing fresh concrete - Part 9: Self-compacting concrete - V-funnel test.

ÍST EN 12350-10 Testing fresh concrete - Part 10: Self-compacting concrete - L box test.

ÍST EN 12350-11 Testing fresh concrete - Part 11: Self-compacting concrete - Sieve segregation test.

ÍST EN 12350-12 Testing fresh concrete - Part 12: Self-compacting concrete - J-ring test.

ÍST EN 12390-2 Testing hardened concrete - Part 2: Making and curing specimens for strength tests.

ÍST EN 12390-3 Testing hardened concrete - Part 3: Compressive strength of test specimens.

ÍST EN 12390-6 Testing hardened concrete - Part 6: Tensile splitting strength of test specimens.

ÍST EN 12390-7 Testing hardened concrete - Part 7: Density of hardened concrete.

ÍST EN 12390-8 Testing hardened concrete - Part 8: Depth of penetration of water under pressure.

CEN/TS 12390-9 Testing hardened concrete - Part 9: Freeze-thaw resistance - Scaling - Complementary element.

ÍST EN 932-1 Test for general properties of aggregates - Part 1: Methods for sampling.

ÍST EN 932-3 Test for general properties of aggregates - Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description.

ÍST EN 933-3 Tests for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape - Flakiness index.

ÍST EN 1097-2 Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation.

ÍST EN 1097-9 Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 9: Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres - Nordic test.

ÍST EN 1367-6 Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 6: Determination of resistance to freezing and thawing in the presence of salt (NaCl).

ÍST EN 1744-1, kafli 7 Tests for chemical properties of aggregates - Part 1: Chemical analysis.

ÍST EN 12697-16 Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 16: Abrasion by studded tyres.

ÍST EN 13877-1 Concrete pavements - Part 1: Materials.

ÍST EN 197-1 Sement - Hluti 1: Samsetning, eiginleikar og samræmiskröfur fyrir venjulegt sement (e. Cement - Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements).

ÍST EN 14216 Sement - Samsetning, eiginleikar og samræmiskröfur fyrir sérframleitt lághitasement (e. Cement - Composition, specification and conformity criteria for very low heat special cements).

ÍST EN 14647 Kalsíumálsement - Samsetning, eiginleikar og samræmiskröfur (e. Calcium aluminate cement - Composition, specifications and conformity criteria).

ÍST EN 15743 Súlfatríkt háofnagjallssement – Samsetning, eiginleikar og samræmiskröfur (e. Supersulfated cement - Composition, specifications and conformity criteria).

ASTM C227 Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method).

ÍST EN 450-1 Svifaska í steinsteypu - Hluti 1: Skilgreining, eiginleikar og samræmisskilyrði (e. Fly ash for concrete - Part 1: Definition, specifications and conformity criteria).

ÍST EN 1008 Mixing water for concrete - Specification for sampling, testing and assessing the suitability of water, including water recovered from processes in the concrete industry, as mixing water for concrete.

ÍST EN 934-1 Íblöndunarefni í steinsteypu, múrblöndur og þunnfljótandi múrblöndur – Hluti 1: Sameiginlegar kröfur (e. Admixtures for concrete, mortar and grout - Part 1: Common requirements).

ÍST EN 934-2 Íblöndunarefni í steinsteypu, múrblöndur og þunnfljótandi múrblöndur - Hluti 2: Íblöndunarefni í steinsteypu - Skilgreiningar, kröfur, samræmisauðkenningar og merkingar (e. Admixtures for concrete, mortar and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definations, requirements, conformity, marking and labelling).

ÍST EN 12504-1 Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression.

ÍST EN 13263-1 Kísilryk í steinsteypu - Hluti 1: Skilgreiningar, kröfur og samræmisskilyrði (e. Silica fume for concrete – Part 1: Definitions, requirements and conformity criteria).

ÍST EN 13263-2 Silica fume for concrete - Part 2: Kísilryk í steinsteypu - Hluti 2: Samræmismat (e. Conformity evaluation).

ÍST EN 12878 Litarefni fyrir byggingarefni úr sementi og / eða kalki - Eiginleikar og prófunaraðferðir (e. Pigments for the colouring of building materials based on cement and/or lime - Specifications and methods of test).

ÍST EN 13670 Framkvæmdir við steypt mannvirki (e. Execution of concrete structures).

ÍST EN 15167-1 Malað, kornað brennsluofnagjall til nota í steinsteypu, múrblöndur og þunnfljótandi múrblöndur - Hluti 1: Skilgreiningar, eiginleikar og samræmisskilyrði (e. Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout - Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria).

ÍST EN 14889-1Trefjar í steinsteypu - Hluti 1: Stáltrefjar - Skilgreining, eiginleikar og samræmi (e. Fibres for concrete - Part 1: Steel fibres - Definition, specifications and conformity).

ÍST EN 14889-2 Trefjar í steinsteypu - Hluti 2: Fjölliðutrefjar - Skilgreining, eiginleikar og samræmi (e. Fibres for concrete - Part 2: Polymer fibres - Definition, specification and conformity).



Efnisgæðaritið – Kafli 8: Sandur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	**Fjöldi síðna**	**Dagsetning**	**Útgáfa**
LEI-3406/8 Efnisgæðaritið	15	Október 2024	2
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Efnisrannsóknir og efniskröfur – Kafli 8: Sandur			

Höfundur/ar	**Verkefnastjóri**	**Tengiliður Vegagerðarinnar**
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason Þorgeir S. Helgason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín

Styrktaraðili	**Samvinnuaðilar**
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	**Yfirfarið af**
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur (2024)

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
8 Sandur **5**
8.1 Steinefnanotkun í vegagerð 6
8.2 Stærðaflokkun steinefna 7
8.3 Sandur undir hellur, götusteina, við rör, jarðstrengi og sem hálkuvörn 8
8.3.1 Burðarlag undir ílagnasand undir hellur og götusteina 9
8.3.2 Ílagnasandur undir hellur og götusteina með eða án snjóbræðslu 9
8.3.3 Ílagnasandur undir malbik með snjóbræðslu 11
8.3.4 Strengjasandur umhverfis lágspennustrengi 11
8.3.5 Strengjasandur umhverfis háspennustrengi 11
8.3.6 Lagnasandur umhverfis veitulagnir 12
8.3.7 Hálkuvarnarsandur 12
8.3.7.1 Kornadreifing hálkuvarnarsands 13
8.3.7.2 Berggreining hálkuvarnarsands 15
8.3.7.3 Brothlutfall hálkuvarnarsands 15
8.3.7.4 Kornalögun hálkuvarnarsands 15

8 Sandur

Í þessum 8. kafla Efnisgæðarits Vegagerðarinnar er fyrst gerð lausleg grein fyrir efnisnotkun í vegagerð hér á landi og hvað helst þurfi að hafa í huga við val á efnum. Meginefni kaflans er hins vegar umfjöllun um sand til mismunandi nota, svo sem ílagnarsand undir hellur, ílagnasand við rör, strengjasand við jarðstrengi og einnig um hálkuvarnarsand. Þess ber að geta að meginhluti þessa kafla var áður settur fram í inngangi Efnisgæðaritsins, kafla 2, en er nú færður yfir í sérstakan kafla. Segja má að með þessari tilfærslu er verið að gera sandinum hærra undir höfði en áður var, enda mikilvægt efni til ýmissa nota, bæði hvað snertir vegagerð, en einnig sem hluti af lagnavinnu af ýmsum toga.

Hafa ber í huga að þegar fjallað er um sand í þessum kafla er oftast seilst nokkuð inn í fínmöl samkvæmt skilgreiningu um stærðarflokka steinefna. Í Evrópustöðlum um framleiðslu steinefna (e. aggregates) eru m.a. skilgreiningar eða heiti (e. designation) steinefna eftir grófleika og eru meginflokkarnir fínefni (e. fines), smágert eða fínkorna steinefni (e. fine aggregates) og grófgert eða grófkorna steinefni (e. coarse aggregate). Samkvæmt skilgreiningum má segja að það sem kallað er sandur í daglegu tali sé á stærðarbilinu frá 0,063 mm til 4 mm, en þar fyrir neðan eru fínefni (silti og leir) og fyrir ofan 4 mm er fínmöl og þaðan af grófara efni. Þó eru yfirleitt ákveðin mörk sett á það hve mikið má vera af yfir- og undirstærðum.

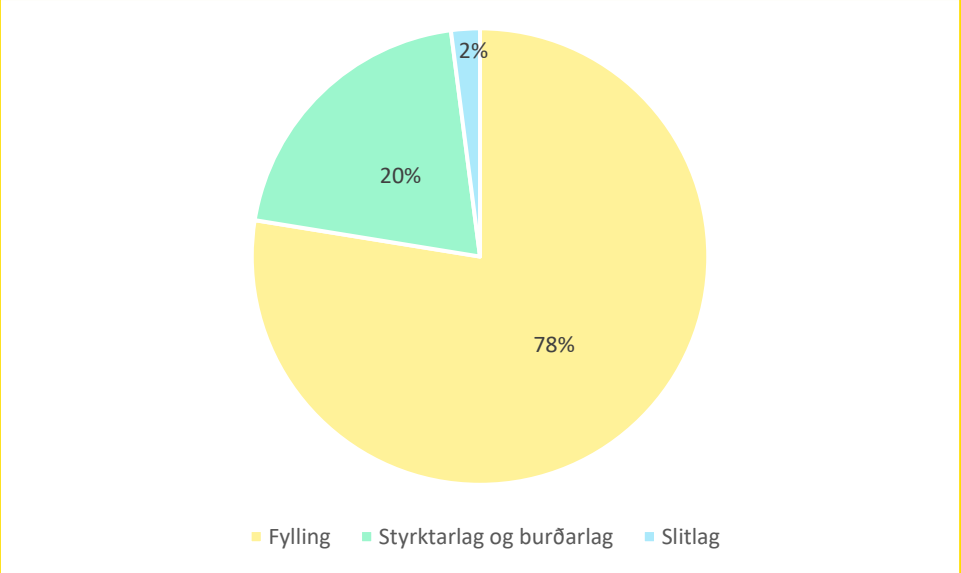
Eins og komið hefur fram fjalla undirkaflar þessa kafla um sand til mismunandi nota. Ástæðan fyrir því er að gerðar eru mismunandi kröfur um æskilega eiginleika sands, eftir því í hvaða tilgangi hann er notaður, bæði hvað varðar kornadreifingu, en einnig varðandi aðra eiginleika, svo sem styrk korna, lögun þeirra og brothlutfall. Í þessari fyrstu útgáfu 8. kafla Efnisgæðaritsins eru settar fram tiltölulega einfaldar kröfur til sands. Til stendur að auka við leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu, framkvæmd og auk þess að setja fram skýrari leiðbeinandi kröfur við komandi endurskoðun kaflans og næstu útgáfu hans. Til dæmis er um þessar mundir unnið að rannsóknaverkefni um eiginleika hálkuvarnarsands sem mun eflaust leiða til frekari umfjöllunar og krafna til sands sem notaður er í þeim tilgangi að sporna við hálku. Auk þess mun aukin heimildavinna auka við og skerpa á leiðbeiningum og kröfum til sands til ýmissa nota.

8.1 Steinefnanotkun í vegagerð

Um 60% af steinefnisnotkuninni í landinu er til vegagerðar sem er svipað hlutfall og annarsstaðar á Norðurlöndum. Heildarefnisnotkun á Íslandi er hins vegar margföld á við önnur Evrópulönd mæld í tonnum á íbúa, enda hefur uppbygging hér á landi verið mjög hröð bæði í vegagerð og á öðrum sviðum mannvirkjagerðar. Líklegt er að þróunin á næstu áratugum verði sú að heildarefnisnotkun í vegagerð muni minnka en að hlutfallslegt magn gæðaefna í efri lög vegarins muni vaxa. Þetta stafar af því að efnisnotkun til viðhalds á efri lögum veganna mun fara vaxandi hlutfallslega miðað við efni til nýbygginga.

Vinnsla á bergi hefur farið vaxandi á undanförnum árum, en á árinu 2008 var slík vinnsla um 35% af heildinni en hefur vaxið jafnt og þétt með tímanum. Til samanburðar má miða við að vinnsla bergs sé um 50% af heildarefnisnotkun á Norðurlöndunum og í sumum Evrópulöndum eru allt að 90% af steinefnum til mannvirkjagerðar unnin úr bergi.

Til að gefa hugmynd um efnisnotkun í vegagerð hérlendis, má taka árið 2008 sem dæmi, sjá mynd 8-1. Þá var efnisnotkun til vegagerðar samtals tæplega 5 milljón rúmmetrar (m^3), þar af liðlega 3,8 milljón m^3 í fyllingar, liðlega 1 milljón m^3 í styrktar- og burðarlög og um 0,1 milljón m^3 í slitlög. Þó ber að hafa í huga að þessi hlutföll á notkun steinefna til vegagerðar geta verið breytileg með tíma. Sérstaklega á það við að stór nýbyggingarverkefni, jarðgangagerð og fleiri verkefni sem geta breytt notkunarhlutföllum og ekki síður heildarmagni steinefnanotkunar meðan á þeim stendur.



Mynd 8-1:
Skipting efnisnotkunar í vegagerð árið 2008

8.2 Stærðaflokkun steinefna

Tafla 8-1 sýnir tillögu að heitum stærðaflokka steinefna sem hefur verið samþykkt af Vegorðanefnd.

Möskvastærð sigta fyrir korn eða steina minni en 125 mm í þvermál eru í samræmi við framleiðslustaðla CEN/TC 154 og prófunarstaðla ÍST EN 933-1 og 933-2. Fyrir stærri steina er höfð hliðsjón af flokkun sem kynnt er í orðabókinni Glossary of Geology eftir Bates og Jackson[1]. Öll mál í þeirri bók miðast þó í grunninn við enska kerfið sem byggir á málsetningu í tommum en stærðir hafa hér verið færðar til metrakerfis í eðlilegu framhaldi af ISO 565 R20 sigtaröðinni. Þess ber að geta að hugtakið *grettistak* er í jarðfræði notað yfir grjót sem verður eftir þegar jökull bráðnar en slíkt grjót getur verið af ýmsum stærðum. Til fróðleiks eru einnig birtar í töflunni þyngdir grjóts sem miðast við að rúmþyngd þess sé 2,85 Mg/m^3 (tonn/m^3). Annars vegar er gert ráð fyrir að grjótið sé kúlulaga og hinsvegar að það sé teningslaga. Í reynd er grjótið vigtað við byggingu rofvarna og brimvarna. Í jarðtækni er stærðaflokkun að nokkru leyti önnur; t.d. eru mörkin milli sands og malar þar dregin við 2 mm samanber heimild[2].

Í Evrópustaðli um brimvarnargrjót, ÍST EN 13383 (e. Armourstone), eru auk sigtastærða að 360 mm meðal annars gefnir upp eftirfarandi þyngdarflokkar (e. heavy grading): 300 - 1.000 kg, 1.000 - 3.000 kg, 3.000 - 6.000 kg, 6.000 - 10.000 kg og 10.000 - 15.000 kg en auk þess léttari þyngdar-flokkar milli 5 og 300 kg (e. light grading).

Tafla 8-1:
Stærðarflokkun steinefna

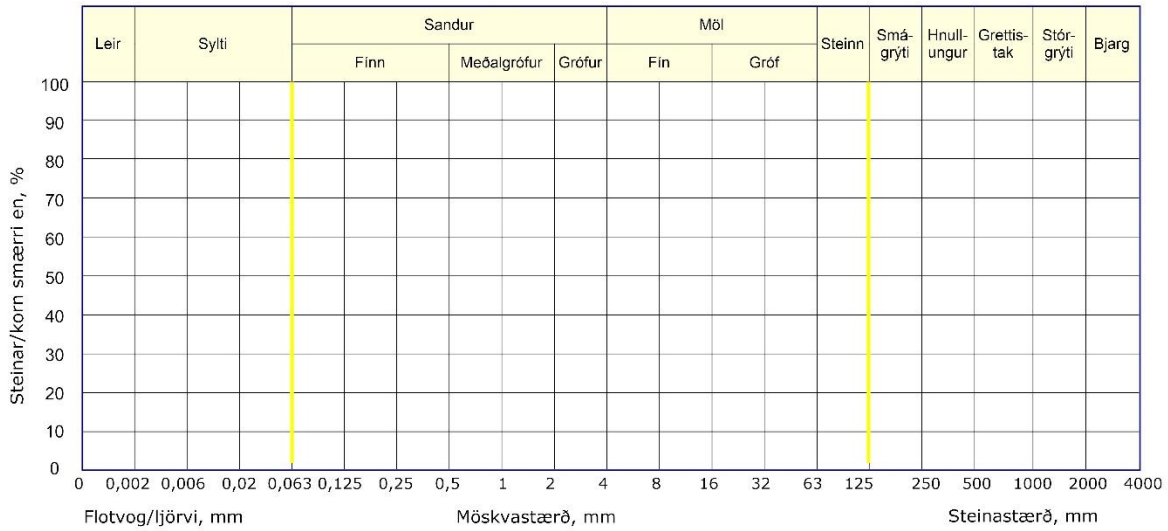
Íslensk heiti stærðaflokka	Stærðabil, mm	Þyngd kúlulaga grjóts	Þyngd teningslaga grjóts	Enskt heiti stærðaflokka (Bates og Jackson)
Leir	< 0,002			Clay
Sylti	0,002-0,063			Silt
Sandur	0,063-4			Sand, < 4
Möl (völur)	4-63			Pebble, 4-64
Steinn	63-125			Small cobble, 64-128
Smágrýti	125-250	3 – 23 kg	6 – 45 kg	Large cobble, 128-256
Hnullungur	250-500	23 – 185 kg	45 – 360 kg	Small boulder, 256-512
Grettistak	500-1000	0,185 – 1,4 t	0,36 – 2,85 t	Medium boulder, 512-1024
Stórgrýti	1000-2000	1,4 – 12 t	2,85 – 23 t	Large boulder, 1024-2048
Bjarg	2000-4000	12 – 97 t	23 – 182 t	Very large boulder, 2048-4096

Á mynd 8-2 eru möskvastærðir og steinastærðir allra stærðaflokkanna teiknaðar á x-ás. Myndin er annars notuð til að sýna sáldurferla og þá er þyngdarhlutfall sáldurs á y-ás. Þess ber að geta að mikill munur er á því hvernig stærðir steinefnakorna eru mældar. Smæstu stærðirnar leir og sylti

[1] Bates, R.L., and Jackson, J.A., eds., 1987, Glossary of geology (3d ed.): Alexandria, Va., American Geological Institute, 788 p
[2] ÍST EN ISO 14688-1:2018 (E): Geotechnical investigation and testing – Identification and classification of soils - Part 1: Identification and description. Reykjavik: Staðlaráð Íslands.

eru mældar með flotvog (e. hydrometer) eða ljörva (e. laser) en stærðir frá 0,063 – 125 mm eru mældar með sigtun.

Hérlendis hefur verið ákveðið að nota sigtaröð 1 (e. basic set plus set 1) úr grunnsigtaröð ISO 565/R20. Þessari tilhögun er lýst í fylgistaðli ÍST 76 og einnig í viðaukum 1 og 4 í Efnisgæðaritinu, en prófunaraðferðum er lýst í viðauka 1. Fyrir rofvarnargrjót eru sett fram ákvæði um þyngdir steina og er þá miðað við að þeir hafi lögun tenings og miðast stærðin þá við hliðarlengd á teningnum. Stærðir rofvarnargrjóts eru oft mældar með málbandi en einnig er hægt að stærðargreina grjótið með myndgreiningu. Það er því ekki nákvæmt orðalag að tala um möskvastærðir eða sáldur fyrir grjót sem er stærra en 125 mm.



Mynd 8-2:
Stærðaflokkar steinefna

8.3 Sandur undir hellur, götusteina, við rör, jarðstrengi og sem hálkuvörn

Hvorki ílagnarsandur undir hellur, götusteina, við rör og jarðstrengi, né hálkuvarnarsandur eru til umfjöllunar í öðrum köflum Efnisgæðaritsins. Ástæðan er sú að slíkur sandur er sérstök framleiðsluafurð sem fellur ekki að umfjöllun annarra kafla ritsins. Í BUSL skýrslu nr. B-32 „Steinlagnir í vega- og gatnagerð[3]“ er fjallað um athuganir sem gerðar voru með ílagnarsand með sérstöku tilliti til eiginleika sandsins með snjóbræðslurörum. Hér á eftir er fjallað um sand til mismunandi nota og sagt frá helstu efnisgerðum og kröfum. Hafa skal í huga að það sem hér er kallað sandur til ýmissra nota er í flestum tilfellum blanda af sandstærðum, fínefnum og fínmöl samkvæmt skilgreiningu, en strangt til tekið nær sandur frá 0,063 mm til 4 mm. Það er þó rík hefð fyrir því að nota orðið sandur, þótt viðkomandi efni nái upp í 5,6 mm eða jafnvel 8 mm.

Kröfurnar til sands sem hér er til umfjöllunar eru fyrst og fremst varðandi kornastærð og kornastærðardreifingu, bergbrigði, brotstig, lögun, styrk að einhverju leyti og frostþol. Yfirleitt eru

[3] Jón Skúli Indriðason, Lech Pajdak, Ólafur Melsted, Þorgeir S. Helgason og Þór Gunnarsson 2001: Steinlagnir í vega- og gatnagerð – lokaskýrsla. BUSL skýrsla nr. B-32.

þessir þættir, aðrir en kornadreifing, metnir sjónrænt, þar sem staðlaðar prófunaraðferðir til að mæla ofangreinda þætti eru af skornum skammti í sandstærðum. Þó getur verið mögulegt að berggreina sandinn ef hann er ekki of fíngerður, en í tengslum við það má meta brotstig og kornalögun hans. Þá getur verið gagnlegt að hafa til hliðsjónar niðurstöður mælinga á styrk og/eða frostþoli grófari kornastærða í þeim tilfellum sem sandurinn fellur til við vinnslu grófara efnis, t.d. klæðingarefnis. Sem dæmi um mismunandi æskilega eiginleika sands má nefna að sandur umhverfis háspennustrengi þarf helst að vera núinn og hafa góða varmaleiðni. Hálkuvarnarsandur og sandur til kílingar í klæðingu þarf hins vegar að hafa hátt brothlutfall auk annarra eiginleika.

Kröfur til sands sem hér er til umfjöllunar eru margvíslegar og eru kröfuþættir stundum metnir sjónrænt, þar sem staðlaðar prófunaraðferðir til að mæla þá eru af skornum skammti í sandstærðum, aðrar en kornastærðadreifing. Tengdir eiginleikar t.d. kornarúmþyngd, lífræn efni, rakastig, varmaviðnám og vatnsdrægni eru þó vel mælanlegir. Auk þess má t.d. mæla ávalaflokkadreifingu, bergbrigða- og gæðaflokkadreifingu, brothlutfallsflokk, kleyfni- eða formflokk, ef magn og hlutfall korna stærri eða jafnt og 4 mm er nægjanlegt. Þá getur verið gagnlegt að hafa til hliðsjónar niðurstöður mælinga á styrk og frostþoli grófari kornastærða í þeim tilfellum sem sandurinn fellur til við vinnslu grófara efnis, t.d. klæðingarefnis. Sem dæmi um mismunandi æskilega eiginleika sands má nefna að sandur umhverfis háspennustrengi og sveigjanleg rör má ekki hafa nema lítilræði af „mjög köntuðum“ molum og þarf að hafa góða varmaleiðni. Hálkuvarnarsandur og sandur til kílingar í klæðingu þarf hins vegar að hafa hátt brothlutfall auk annarra eiginleika.

Í BUSL skýrslu nr. B-32 „Steinlagnir í vega- og gatnagerð“ er fjallað um athuganir sem gerðar voru með ílagnarsand með sérstöku tilliti til eiginleika sandsins með snjóbræðslurörum. Mest af því sem hér er sagt um ílagnarsand og tengda þætti kemur þaðan.

8.3.1 Burðarlag undir ílagnasand undir hellur og götusteina

Í burðarlag undir ílagnasand og undir hellur og götusteina skal nota steinefni sem uppfyllir kröfur til burðarlagsefna, sbr. kafla 5 í Efnisgæðaritinu. Burðarlagsefnið, sem gjarnan er óflokkað steinefni (e. all-in aggregate) úr stærðaflokki 0/22 eða 0/32 mm og jafnvel grófara þarf að liggja innan markalína fyrir burðarlagsefni, sbr. kafla 5 í Efnisgæðatitinu. Það þarf að þjappa vel og slétta eins og kostur er í rétta hæð.

Burðarlaginu er oft komið fyrir og það þjappað í tveimur lögum þar til endanlegri hæð er náð, en hæðarlega burðarlags er háð því hvort hitalögn verður undir yfirborðinu eða ekki. Við sléttun og þjöppun á burðarlaginu er mikilvægt að hæðarlega sé nákvæm.

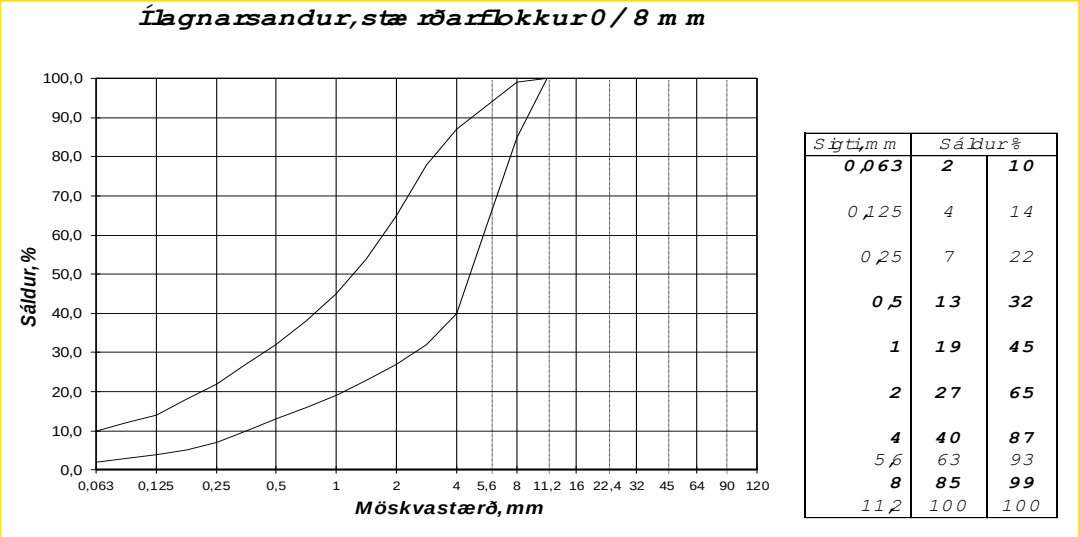
Mjög mikilvægt er að efsti hluti burðarlagsins hafi verið vel blandaður, þannig að hvergi séu í honum hreiður eða oddhvassir steinar uppi við yfirborð hans. Ef svo er þarf að fylla í með ílagnarsandi og þjappa vel, þannig að t.d. plaströr leggist á slétt og steinalaust yfirborð, ef um snjóbræðslulögn er að ræða.

8.3.2 Ílagnasandur undir hellur og götusteina með eða án snjóbræðslu

Það getur verið vandasamt að slétta nákvæmlega yfirborð burðarlags sem hefur verið þjappað undir hellulögn eða götusteina. Því er oft sett þunnt lag af ílagnarsandi ofan á burðarlagið til þess að unnt sé að mynda slétt yfirborð, ≤ 30 mm að þykkt ef kostur er. Þar sem snjóbræðslulögn er lögð

í sandinn kemur til viðbótar t.d. 60 til 80 mm ílagnasandur umhverfis snjóbræðslurörin, þar af 10 mm undir lögnum nema hafi verið ílagnasandur ofan á burðarlaginu eins og nefnt er hér að ofan.

Fyrir ílagnarsand undir hellur og götusteina, með eða án snjóbræðslu í vega- og gatnagerð er miðað við notkun á óflokkuðu steinefni í stærðarflokki 0/4, 0/5 eða 0/8 mm. Markalínur 0/8 mm ílagnarsands undir hellur og götusteina eru sýndar á mynd 8-3. Ef fínefni < 0,063 mm eru > 7% gildir sú krafa að minna en 3% af þyngd efnisins má vera fínna en 0,02 mm til að fyrirbyggja að frostlyftingar, sem skemma og aflaga hellu- eða steinlögnina, geti átt sér stað.

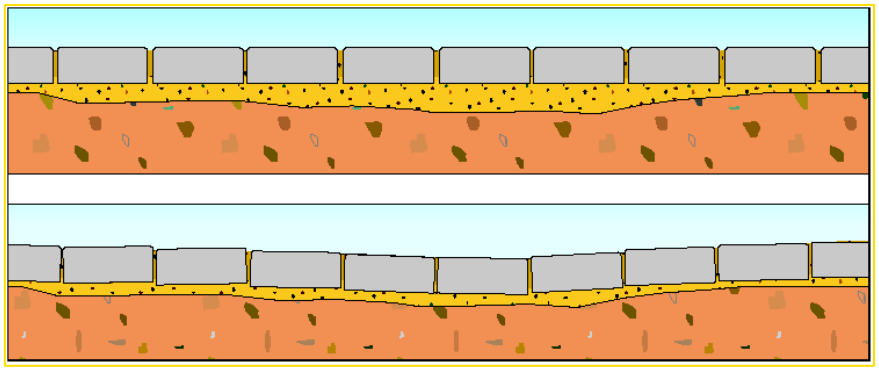


Sigti, mm	Sáldur %	
0,063	**2**	**10**
0,125	4	14
0,25	7	22
0,5	**13**	**32**
1	**19**	**45**
2	**27**	**65**
4	**40**	**87**
5,6	63	93
8	**85**	**99**
11,2	100	100

Mynd 8-3:
Markalínur 0/8 mm ílagnarsands undir hellur og götusteina

Sandurinn skal vera þjöppunarhæfur, ófrostnæmur og hafa nægjanlegan styrkleika til að hann molni ekki niður við þjöppun eða umferðarálag og verði þannig frostnæmur. Kornastærð skal vera innan markalina á mynd 8-3 eða sambærilegra markalína fyrir aðra áðurnefnda stærðarflokka. Brotinn sandur hefur betri stæðni en ávöl sandkorn og hentar því vel undir hellulögn ef gætt er að ávala kornanna, til dæmis að sandurinn sé ekki það kantaður að hann skemmi snjóbræðslurör. Dæmi um sand með þeim eiginleikum, sem auk þess er frostþolinn, myndast við vandaða vinnslu á bólstrabrotabergi.

Mynd 8-4 sýnir hvernig skrið og aflögun hellulagnar getur orsakast af of þykku eða misþykku lagi ílagnarsands, en það getur orsakast af því að burðarlagið er ekki nægilega slétt og því er sléttleikinn undir hellulagnir leiðréttur með sandþykktinni.



Mynd 8-4:
Skrið og aflögun hellulagnar sem orsakast af of þykku (misþykku) sandlagi

8.3.3 Ílagnasandur undir malbik með snjóbræðslu

Ef leggja á snjóbræðslurör undir malbik er sandur, sem að jafnaði hefur sömu eiginleika og sandur undir hellulagnir, sbr. kafla 8.3.2, jafnaður út í rétta þykkt og þjappaður með plötuþjöppu, gjarnan í þremur yfirferðum. Við þjöppun skal raki sandsins vera sem næst hagstæðasta raka skv. Proctor-prófi (sjá lauslega lýsingu á aðferð í viðauka 1 í Efnisgæðaritinu). Hér gildir eftir sem áður að þykkt ílagnarsandlagsins er haldið í lágmarki til að koma í veg fyrir hjólfaramyndun vegna skriðs í sandlaginu, en skrið í sandlaginu er mjög háð þykkt lagsins.

8.3.4 Strengjasandur umhverfis lágspennustrengi

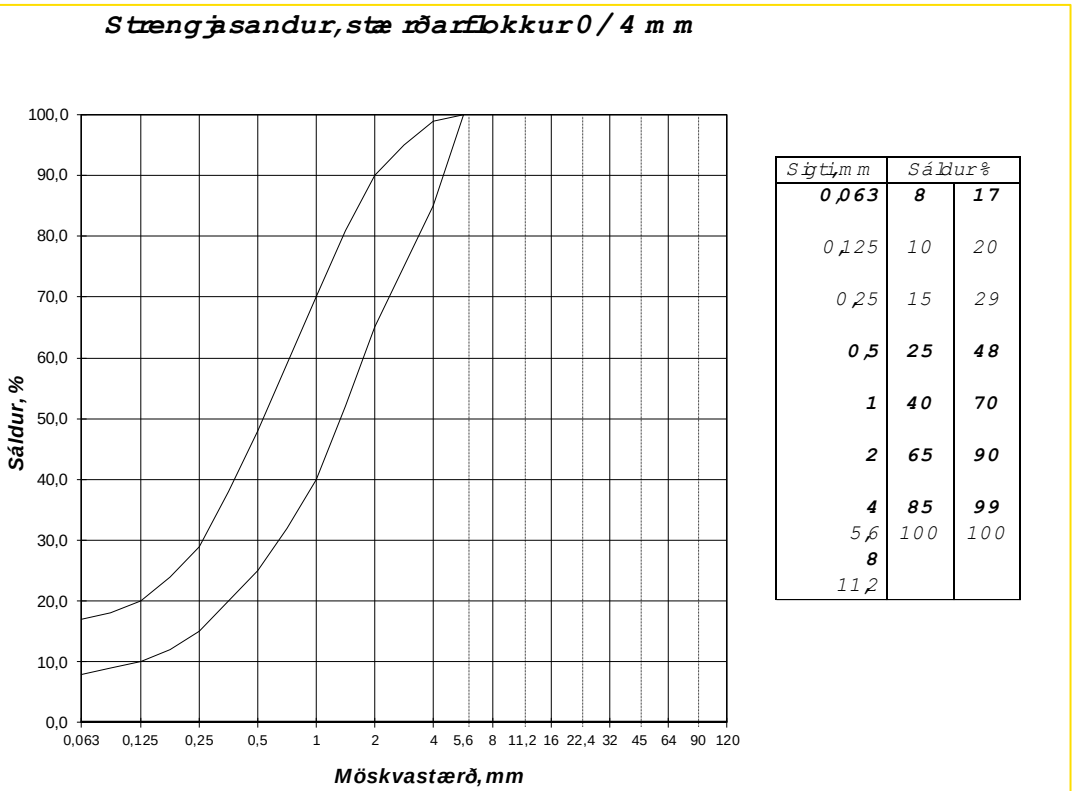
Jarðstrengir skulu lagðir í sand sem uppfyllir kröfur í greinum 8 til 8.3.2. Undir jarðstreng skal ganga frá 150 mm þykku sandlagi og síðan 150 mm sandlagi ofan á jarðstreng. Ofan á sand skal síðan fylla í skurð með burðarlagsefni ef um veg eða götu er að ræða.

8.3.5 Strengjasandur umhverfis háspennustrengi

Sandur sem nota á umhverfis háspennustrengi þarf að uppfylla strangar kröfur um efniseiginleika, m.a. varðandi varmaviðnám, enda er mjög mikilvægt að slíkir strengir ofhitni ekki. Í aðalatriðum gilda sömu kröfur um strengjasandinn og koma fram í greinum 8 til 8.3.2, en auk þess gilda eftirfarandi kröfur:

- Sandurinn má ekki innihalda skel, blöðrótt korn eða lífrænt efni.
- Sandurinn þarf að vera þjappanlegur, æskilegt er að Cu > 5 (Cu = D_{60}/D_{10})
- Fínefna innihald (< 0,063 mm) skal vera á bilinu 8 – 17%. Í sumum tilfellum hafa mörkin verið sett á bilinu 6 – 20%.
- Varmviðnám skal vera < 1,5 W/m K, við 5% rakastig eða önnur hættumörk rakastigs.

Á mynd 8-5 er sett fram dæmi um 0/4 mm strengjasand við háspennustrengi, þótt velja megi að nota grófara efni allt að flokkunarstærð 0/8 mm með, hámarks kornastærð < 11 mm.



Sigti, mm	Sáldur %	
0,063	**8**	**17**
0,125	10	20
0,25	15	29
0,5	**25**	**48**
1	**40**	**70**
2	**65**	**90**
4	**85**	**99**
5,6	100	100
8		
11,2		

Mynd 8-5:
Dæmi um markalínur fyrir 0/4 mm strengjasand umhverfis háspennustrengi

Strengjasand getur þurft að blanda sérstaklega til að ná réttri varmaleiðni við lágt rakastig og góðum þjöppunareiginleikum.

Mikilvægt er að frágangur og þjöppun sands sé góð. Miðað er við að þjappað sé með 200 kg plötuþjöppu. Þjappa skal a.m.k. þrjár umferðir og huga að því að þjöppur séu hæfilega litlar til að komast með góðu móti í lagnaskurð. Tryggja skal að sandur sé þjappaður rakur og getur verið nauðsynlegt að vökva sand til að tryggja það.

Þegar söndun er lokið skal fylla í skurðinn upp að yfirborði með uppgröfnu efni, eða viðeigandi burðarlagsefni ef um veg eða götu er að ræða og tryggja að síukröfur séu uppfylltar eða að jarðdúkur sé notaður milli strengjasandsins og uppfyllingarefnisins.

8.3.6 Lagnasandur umhverfis veitulagnir

Kringum hitaveitulagnir og vatnslagnir skal nota sand og fína möl án hvassra brúna með stærstu kornastærð ≤ 16 mm og með < 9% fínefni (< 0,063 mm). Auk þess er gerð krafa um að < 3% efnisins sé ≤ 0,02 mm og að hlutfallið D_{60}/d_{10} > 1,8.

8.3.7 Hálkuvarnarsandur

Að frátöldum umferðarmestu vegum á Íslandi, sem eingöngu eru hálkuvarðir með salti, er sandur notaður til hálkuvarna á meginhluta vegakerfisins, á þeim vegköflum sem á annað borð eru með skilgreindar hálkuvarnir skv. þjónustureglum. Vert er að geta þess að unnið var að rannsóknarverkefni um gerð hálkuvarnarsands vítt og breytt um landið, en safnað var alls 18 sýnum

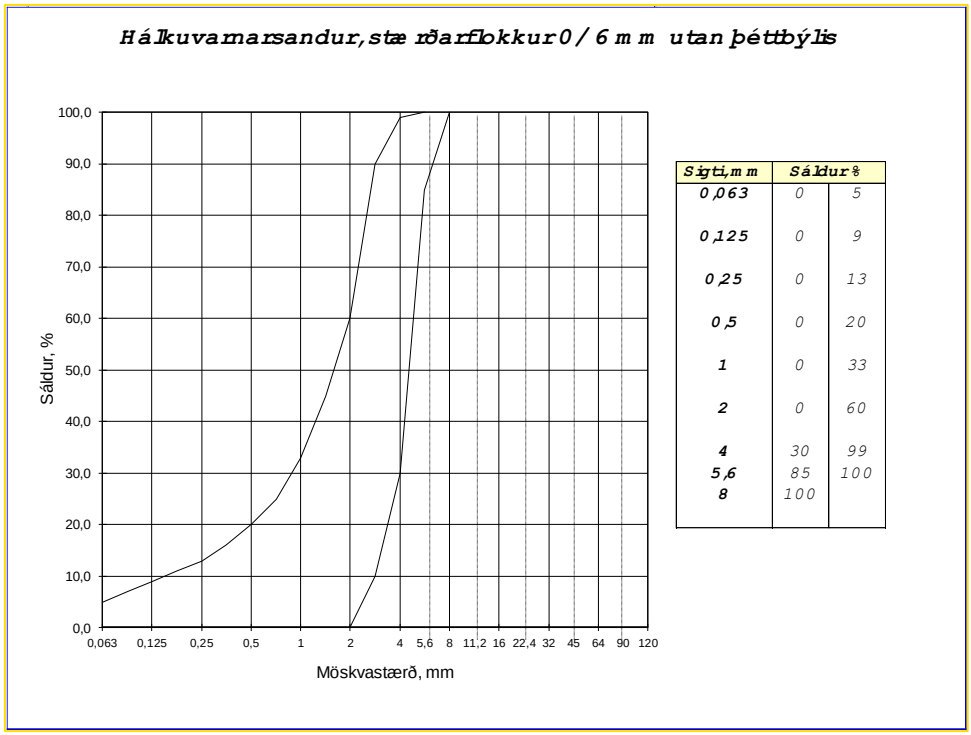
til greininga. Kornastærðardreifing sandsins er greind og auk þess voru sýnin berggreind og lögun og brothlutfall korna greint um leið[4]. Þá kom einnig í ljós að í flestum tilfellum hafði salti verið blandað í sandinn, líklega í mismunandi magni en í öðrum tilfellum var ekkert salt í sandinum. Þegar unnið hafði verið úr gögnum um hálkuvarnarsand var ákveðið að setja fram skýrari kröfur um hálkuvarnarsand í þessum kafla Efnisgæðaritsins en áður höfðu verið settar fram samanber tillögurnar hér að neðan..

8.3.7.1 Kornadreifing hálkuvarnarsands

Nauðsynlegt er að sandur til hálkuvarna sé tiltölulega fínefnasnauður og alls ekki of grófur. Þetta hefur með virkni hálkuvarnar að gera, en jafnframt til að tryggja jafna dreifingu með efnisdreifurum. Ef sandurinn er of grófur getur verið hætta á steinkasti sem leiðir til skemmda á bifreiðum. Á myndum 8-6 og 8-7 eru settar fram markalínur fyrir hálkuvarnarsand sem, með lítilsháttar breytingum, byggja á rannsókn norsku Vegagerðarinnar[5]. Vakin er athygli á því að þessum markalínum hefur verið breytt frá því sem var í kafla 2, Inngangi, í útgáfunni frá 2022 á þann hátt að efri mörk hafa verið aukin úr 1 mm í 2 mm grófleika á báðum myndunum. Auk þess eru nú rýmkaðar tillögur um yfirstærðir 0/6 mm sands, þar sem lagt er til að allt að 15% megi vera yfir 5,6 mm sigtinu. Í þéttbýli er mjög mikilvægt að tryggja að ekki sé svifryk (smærra en 10 míkrómetrar eða 0,01 mm) í hálkuvarnarsandi og er við þær aðstæður mælt með að lítið af sandinum sé smærri en 0,250 mm, sjá markalínur á mynd 8-7. Með þvotti á hálkuvarnarsandi er hægt að losna að mestu við svifryk úr efninu. **Athugið að mikilvægt er að senda sandsýni til mælinga á kornadreifingu og öðrum eiginleikum til prófunarstofu áður en salti er blandað saman við hann.** Ástæðan er sú að saltið reiknast sem fínefni við mælingu á kornadreifingu, en fyrsti hluti mælingar á kornadreifingu er að þvo sýnið á 0,063 mm þvottasigti til að losna við mesta fínefni. Við það leysist saltið upp og reiknast þar með sem aukið fínefni og skekkir þar með niðurstöðu mælingar á kornadreifingu.

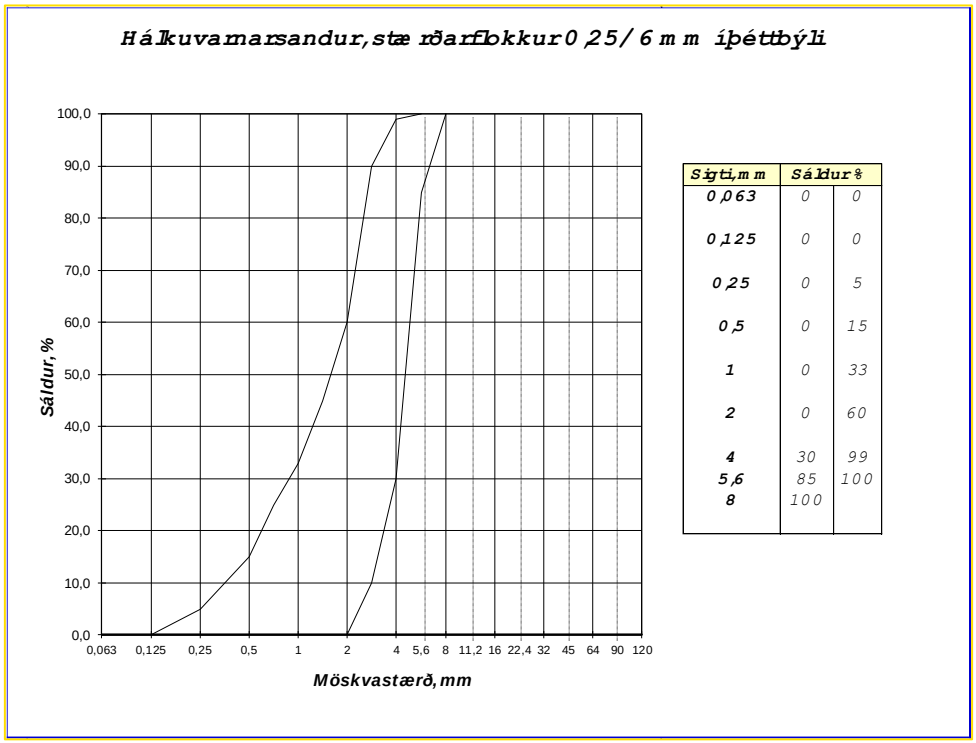
[4] Pétur Pétursson 2023: Hálkuvarnarsandur – niðurstöður prófana, sjá: https://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/NR_1800_250_Halkuvarnarsandur_-_Nidurstodur_profana_a_adsendum_synum/$file/NR_1800_250_H%C3%A1lkuvarnarsandur%20-%20Ni%C3%B0urst%C3%B6%C3%B0ur%20pr%C3%B3fana%20%C3%A1%20a%C3%B0sendum%20s%C3%BDnum.pdf

[5] Feltforsök med ulik strösandskvalitet, Vegdirektoratet, Vegavdelingen 2017.



Sigti, mm	Sáldur %	
0,063	0	5
0,125	0	9
0,25	0	13
0,5	0	20
1	0	33
2	0	60
4	30	99
5,6	85	100
8	100	

Mynd 8-6:
Markalínur fyrir 0/6 mm hálkuvarnarsand utan þéttbýlis



Sigti, mm	Sáldur %	
0,063	0	0
0,125	0	0
0,25	0	5
0,5	0	15
1	0	33
2	0	60
4	30	99
5,6	85	100
8	100	

Mynd 8-7:
Markalínur fyrir 0,25/6 mm hálkuvarnarsand í þéttbýli

8.3.7.2 Berggreining hálkuvarnarsands

Lagt er til að sandur sem ætlaður er til hálkuvarna verði, auk rannsóknar á kornadreifingu, settur í berggreiningu, þ.e.a.s. sá hluti hans sem er stærri en 4 mm. **Tillaga að kröfu sem sett er fram hér er að < 30% korna falli í 3. flokk berggreiningar.**

8.3.7.3 Brothlutfall hálkuvarnarsands

Hálkuvarnarsandur þarf helst að hafa hátt brothlutfall til að veita gott viðnám og festast í yfirborðinu. Lagt er til að brothlutfall sé metið samhliða berggreiningu, sem sagt á efni sem er grófara en 4 mm. **Tillaga að kröfu sem sett er fram hér er að allt að 50% efnisins megi vera óbrotið, en þó ekki meira en það.**

8.3.7.4 Kornalögun hálkuvarnarsands

Hálkuvarnarsandur þarf að öllu jöfnu að vera nokkuð kúbískur til að virka sem skildi, en flöt korn leggjast gjarnan á flötu hliðina og veita minna viðnám en kúbísk. Auk þess eru flöt korn veikari en kúbísk gagnvart höggum frá nagladekkjum og brotna því frekar niður. Unnt er að mæla kleyfnistuðul korna niður í 4 mm stærð (4/5 og 5/6,3 mm) og í raun ekkert því til fyrirstöðu, ef valið er að tryggja gæði hálkuvarnarsands. Í því tilfelli er **tillaga að kröfu sem sett er fram hér er að allt að 30% efnisins megi flokkast sem kleyfið (FI < 30%).** Að öðrum kosti má meta kornalögun lauslega í tengslum við berggreiningu og þar gildir þá að flöt og/eða ílöng korn séu ekki fleiri en 30% greindra korna.



Efnisgæðaritið – Viðauki 1:
Lýsing á prófunaraðferðum

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Október 2024

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
Efnisgæðarit Vg	93	Október 2024	21
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið –Viðauki 1: Lýsing á prófunaraðferðum			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum (2024)
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10 Berggreining og gæðaflokkun

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
Inngangur **6**
1 STEINEFNAPRÓF **7**
1.1 Mæling á kornastærðardreifingu, ÍST EN 933-1 7
1.2 Kornadreifing fínefnis, smærra en 0,063 mm 12
1.2.1 Mæling með flotvog (ASTM D422) 12
1.2.2 Mæling fínefnis með ljörva-aðferð (e. *laser, er ekki hluti Evrópustaðla*) 13
1.3 Mæling á lífrænum efnum, ÍST EN 1744-1 14
1.3.1 Húmusinnihald, NaOH-aðferð (*kafli 15.1 í staðlinum*) 14
1.3.2 Glæðitap (*kafli 15.3 í prófunarstaðlinum*) 15
1.4 Eiginleikar fínefna 17
1.4.1 Sand equivalent-próf, ÍST EN 933-8 17
1.4.2 Methylene Blue-próf, ÍST EN 933-9 19
1.4.3 Kornarúmþyngd mélu (e. filler), ÍST EN 1097-7 20
1.4.4 Holrýmd í mélu (e. filler), Rigden aðferð, ÍST EN 1097-4 20
1.4.5 Kornadreifing mélu mæld með ljörva (e. laser) 22
1.5 Þjálni fínefna 24
1.5.1 Þjálnistuðull (ASTM D4318) 25
1.5.2 Rýrnunarstuðull (ASTM C356) 26
1.6 Kornarúmþyngd og mettivatn, ÍST EN 1097-6 28
1.7 Laus rúmþyngd, ÍST EN 1097-3 og rakastig, ÍST EN 1097-5 30
1.8 Berggreining, ÍST EN 932-3 31
1.9 Kornalögunarmæling, FI og SI 34
1.9.1 Kleyfnistuðull (e. *Flakiness Index*), ÍST EN 933-3 35
1.9.2 Lögunarstuðull (e. *Shape Index*), ÍST EN 933-4 37
1.10 Brothlutfallsmæling, ÍST EN 933-5 38
1.11 Styrkleikapróf 40
1.11.1 Los-Angelespróf, ÍST EN 1097-2 41
1.11.2 BG-modified stuðull á staðlaðri kornakúrfu (ekki Evrópustaðall) 43
1.12 Kúlnakvarnarpróf, ÍST EN 1097-9 45
1.13 Frostþolspróf, ÍST EN 1367-6 47
1.14 Viðloðunarpróf 49
1.14.1 Hrærslupróf á viðloðun (gamla aðferðin) 49
1.14.2 Hrærslupróf á viðloðun (raunblönduprof) 51
1.14.3 Vialit plate-viðloðunarpróf, ÍST EN 12272-3 52
1.15 Próf á slípiþoli steinefna, ÍST EN 1097-8 53
1.16 Próf á ljóstæknilegum eiginleikum steinefna (R210-115) 55
1.17 Mæling á alkalívirkni steinefna í steypu. 56
1.18 Saltmæling steinefnasýnis (Volhard), ÍST EN 1744-1, kafli 7 58
2 JARÐTÆKNILEG PRÓF **60**
2.1 Kónpróf, ÍST EN ISO 17892-6 60
2.2 CBR-próf, ÍST EN 13286-47 61

2.3 Plötupróf í stórum stálhólki (íslenskt próf) 62
2.4 Proctorpróf, ÍST EN 13286-2 62
2.5 Þríásapróf 64
2.5.1 Stöðuálagspróf 64
2.5.2 Sveifluálagspróf 65
3 MÆLINGAR Á ÞJÖPPUN Í VEGI 66
3.1 Plötupróf 66
3.2 Þjöppumælar í völtum 68
3.3 Hæðarmælingar 69
3.4 Rúmþyngd í vegi (*rafsegulmælingar, sandkeilupróf*) 69
4 PRÓFANIR Á BIKBUNDNUM EFNUM 72
4.1 Hjólfarapróf, ÍST EN 12697-22 með þjöppun ÍST EN 12697-33 72
4.2 Marshallpróf, ÍST EN 12697-34 73
4.3 Mæling á bindiefnisinnihaldi, ÍST EN 12697-1 og 12697-39 76
4.4 Hnoðþjöppun malbikskjarna, ÍST EN 12697-31 77
4.5 Vatnsnæmipróf (kleyfnibrotþol) á malbikssýnum, ÍST EN 12697-23 79
4.6 Prall slitþolspróf, ÍST EN 12697-16 81
4.7 Hitamyndavél á útlagnarvél 82
5 PRÓFANIR Á SEMENTSBUNDNUM EFNUM 84
5.1 Fersk steinsteypa 84
5.1.1 Vatns/sements tala (v/s hlutfall) og sementsmagn. 84
5.1.2 Hörðnun steypu – varmamyndun 84
5.1.3 Þjálni steypublöndu 84
5.1.4 Loftinnihald, ÍST EN 12350-7 85
5.1.5 Rúmþyngd, ÍST EN 12350-6 86
5.2 Hörðnuð steinsteypa 86
5.2.1 Brotstyrkur steypusýna, ÍST EN 12390-3 86
5.2.2 Veðrunarþolspróf á steinsteypu, CEN/TS 12390-9 86
5.2.3 Kleyfnistyrkur, ÍST EN 12390-6 88
5.2.4 Rúmþyngd, ÍST EN 12390-7 88
5.2.5 Vatnsþéttleiki, ÍST EN 12390-8 88
5.2.6. Loftinnihald og dreifing lofts 88
5.2.7 Prall slitþolspróf, ÍST EN 12697-16 88
5.2.8 Beygjutogstyrkur, ÍST EN 12390-5 88
5.2.9 Fjaðurstuðull, ISO 1920-10 88
6 PRÓFANIR Á SÝNUM ÚR FESTU BURÐARLAGI 89
6.1 Kleyfnibrotþol bikbundinna festunarsýna 89
6.2 Prófanir á sementsfestu burðarlagsefni 91

Inngangur

Þessum viðauka er ætlað að gefa yfirlit yfir algengustu prófanir sem gerðar eru á vegagerðarefnum, bæði á rannsóknarstofu og úti í vegi. Almennt er lýst í stuttu máli hvaða eiginleika viðkomandi prófunaraðferð er ætlað að mæla, hvernig prófið er framkvæmt og hvernig niðurstöður eru settar fram.

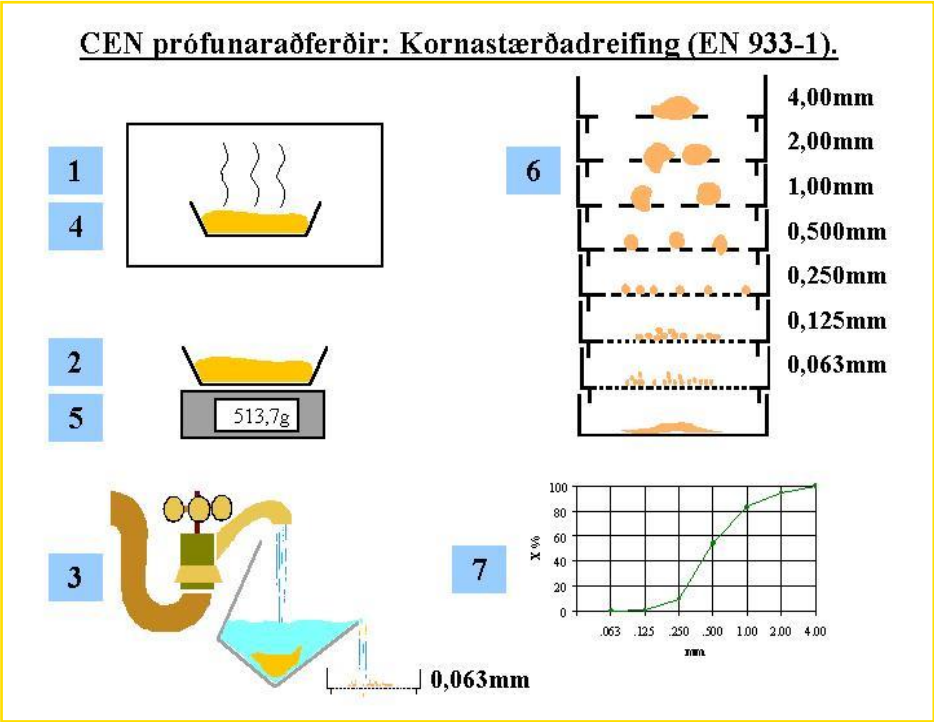
Fjallað er um steinefnaprófanir og prófanir á efnisblöndum óbundinna, bikbundinna og sementsbundinna efna, svo og próf sem mæla eiginleika útlagðs efnis í vegagerð.

Það skal tekið fram að þessum viðauka er einungis ætlað að auðvelda skilning á mismunandi prófunaraðferðum á sviði vegagerðar, en kemur ekki í stað gildandi staðla eða verklýsinga. Þar sem Evrópustaðall liggur fyrir er númer viðkomandi staðals gefið upp, þannig að auðvelt sé að nálgast viðkomandi staðla hjá Staðlaráði Íslands eftir þörfum.

1 STEINEFNAPRÓF

1.1 Mæling á kornastærðardreifingu, ÍST EN 933-1

Teikningin á mynd 1 sýnir hvernig ákvörðun kornadreifingar fer fram og hvernig niðurstöðurnar eru settar fram.



SKÝRINGAR:

1 Þurrkað við 110°C í 24 klst. eða þar til þyngdarbreyting er hverfandi

2 Vigtað og þyngd skráð með einum aukastaf (tíundapart úr grammi)

3 Skolað með þvottasigti til að fjarlægja fínefni sem er < 0,063 mm

4 Þurrkað, sbr. 1

5 Vigtað, sbr. 2

6 Sett í sigtaröð og hrist (helst í hristara)

7 Vigtað af hverju sigti og fundið þungahlutfall sem smýgur viðkomandi sigti og súldurferill dreginn upp.

Mynd 1
Framkvæmd mælingar á kornadreifingu

Sigtin sem gefin eru upp á myndinni eru á möskvastærðarbilinu frá 0,063 mm til 4,0 mm, þ.e.a.s. í sandstærðum. Yfirleitt er þó stærsta sigtið stærra, en það fer eftir grófleika sýnisins. Sigtaröðin er byggð þannig upp að möskvastærð sigtis er tvisvar sinnum meiri en næsta sigtis fyrir neðan (D = 2 x d). Algengt er að bæta sigtum inn í röðina og eru þau tiltekin í staðlinum ISO 565. Vegagerðin hefur valið að nota „sett 1“ úr R-20 röð ISO 565. Þó hefur færst í vöxt við útboð á klæðingarverkefnum að sigti úr „setti 2“ séu tekin inn eftir því sem þurfa þykir, til dæmis 12 mm og/eða 14 mm sigti.

Millisigtin sem notuð eru í setti 1 hafa möskvastærðina 1,4 x d. Með tilliti til þess er til dæmis oft notað 5,6 mm sigti milli 4,0 og 8,0 mm, 11,2 mm sigti milli 8,0 mm og 16,0 mm sigta og 22,4 mm sigti milli 16,0 mm og 31,5 mm sigta.

Eftirfarandi sigtaröð er gjarnan notuð við ákvörðun kornadreifingar sýna:

0,063 – 0,125 – 0,25 – 0,5 – 1 – 2 – 4 – 5,6 – 8 – 11,2 – 16 – 22,4 – 31,5 – 45 – 63 – 90 mm.

Ef augsýnilega er mikið af kornastærðum yfir 16 mm í sýni og stærstu steinar eru enn stærri, getur verið nauðsynlegt að sigta sýnið fyrst á stórum sigtum eins og sjá má á mynd 2 og nota þá sigtaröðina 16 - 22,4 - 31,5 - 45 - 63 - 90 mm. Ef enn stærri steinar eru í sýni þarf að mæla ása þeirra með málbandi til að ákvarða stærð þeirra og vigta þá sérstaklega. Þegar malarsýni með stórum steinum eru tekin til kornagreiningar þarf fyrst að skipta sýninu niður í hæfilega stórt hlutasýni fyrir grófsigtun. Algengast er að 15-20 kg sýni sé sigtað í stórri sigtaröð og er sýnið sigtað við það rakastig sem það hefur að lokinni skiptingu sýnis.



Mynd 2
Sigti til grófsigtunar

Grófasti hlutinn er vigtaður af hverju sigti, en það sem smýgur gegnum 16 mm sigti er tekið til nánari greiningar í minni sigtaröð. Þá er yfirleitt nauðsynlegt að skipta (splitta) þeim hluta sýnisins nokkrum sinnum til þess að fá hæfilegt magn í minni sigtaröðina. Gæta þarf þess, þegar sigtun er lokið, að minnka tölurnar sem grófari hlutinn gaf af sér svo að þær verði tilsvarandi þeim tölum sem fást við sigtun á smækkaða sýninu. Þetta er gert með því að margfalda mældar þyngdir úr stóra hristaranum með hlutfalli 16 mm efnis fyrir og eftir skiptingu fyrir smærri sigtaröðina. Gæta

þarf þess að báðir hlutar séu vigtaðir með skömmu millibili til að rakastig haldist það sama í báðum hlutum sýnisins.

Í viðauka 5 er ýtarleg umfjöllun um sýnatöku, stærð sýna eftir kornastærð og mismunandi aðferðir við skiptingu sýna.

Mynd 3 sýnir dæmigerð sigti sem notuð eru á rannsóknastofu, annars vegar svokallað plötusigti og hins vegar vírsigti.



Mynd 3
Dæmigerð plötu- og vírsigti

Æskilegt er að nota plötusigti þegar sigtaðar eru stærðir yfir 4 mm, þótt vírsigti séu leyfileg þar yfir. Reyndar er ákvæði í ÍST EN 933-2 þess eðlis að ef upp koma efasemdir um niðurstöður sigtunar með vírsigtum í kornastærðum yfir 4 mm skal sannreyna niðurstöðurnar með plötusigtum. Ástæða þess að plötusigti eru talin æskilegri fyrir grófar kornastærðir er sú, að opin eru föst og nákvæmari en á vírsigtum, en undir 4 mm þarf að nota vírsigti af tæknilegum ástæðum. Í ÍST EN 933-1 er gefin upp gagnleg reikniaðferð til að varna því að of mikið sitji á hverju sigti í lok sigtunar til þess að sigtun geti talist rétt.

Leyfilegt magn sem situr á sigti (í grömmum) er samkvæmt eftirfarandi jöfnu (til upplýsingar):

Magn á sigti (g) = (A x $\sqrt{}$d)/200, þar sem A er flatarmál sigtisins í mm^2 og d er möskvastærð viðkomandi sigtis. Sem dæmi má taka hversu mörg g mega sitja eftir á sigti sem er 200 mm í þvermál og 8 mm möskvastærð samkvæmt þessu að hámarki eftir sigtun:

(100^2 x π x $\sqrt{}$8)/200 = 444 g mega sitja eftir á sigti með 8 mm möskvastærð eftir sigtun ef þvermál sigtis er 200 mm.

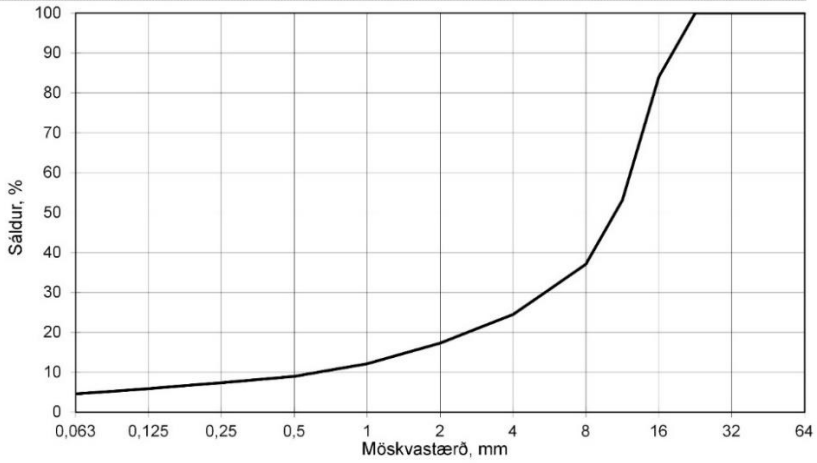
Tafla 1 hér á eftir er með útreiknuðum gildum um leyfilegt magn á hverju sigti fyrir bæði 300 og 200 mm þvermál á sigtum. Athugið að þyngdirnar eru afrúnnaðar tölur, sbr. Annex D í ÍST EN 933-1.

Tafla 1
Útreiknuð gildi um leyfilegt magn á hverju sigti eftir möskvastærð þess

Möskva-stærð, mm	**Þyngd á 300 mm sigtum, g**	**Þyngd á 200 mm sigtum, g**
16	1.400	630
12,5	1.200	560
11,2	1.200	530
10	1.100	500
8	1.000	440
5,6	840	370
4	710	310
2	500	220
1	350	160
0,5	250	110
0,25	180	80
0,125	120	60
0,063	89	20

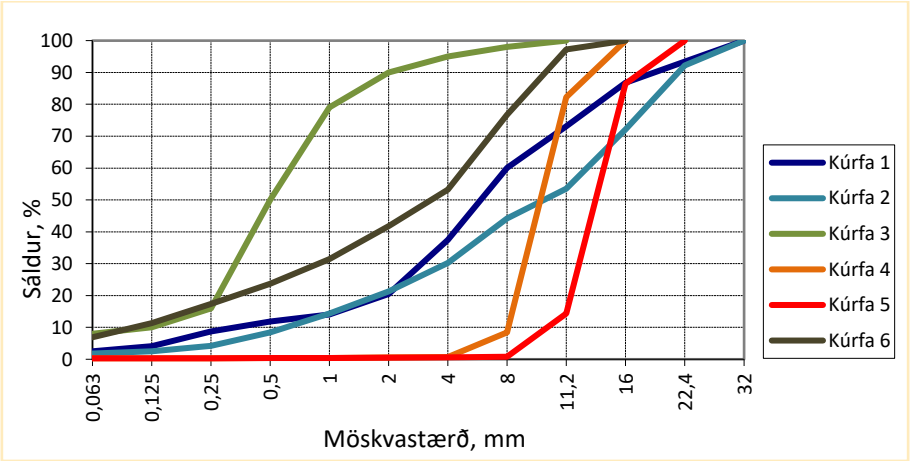
Mynd 4 a) sýnir dæmi um framsetningu á rannsókn á kornadreifingu og mynd 4 b) sýnir nokkur dæmi um mismunandi kornakúrfur.

											Rannsókn nr.		
											Dags.		
Rannsókn á kornadreifingu											Framkv. af		
Fyrir:							Náma:						
Vegna:							Sendandi:						
Heildarþungi sigtaðs sýnis (g): 60905				Heildarþungi (<16mm) (g): 51480,0			Merking sýnis:						
Bakki (tara), (g): 383,4			Frátekið+bakki (g): 2560,5		Þurrt +bakki (g): 2481,7		Votsigt. + bakki (g): 2380,3		Húmus, gr.:		Slamm, %:		Raki, % 3,8
Möskv., mm	64	32	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	botn
Þyngd (g)	0	0	0	9425	770,4	1172,4	1486,3	1665,7	1794,4	1873,0	1912,9	1950,5	1982,6	1997,4
Sáldur,%	100,0	100,0	100,0	84,0	53,2	37,1	24,5	17,3	12,2	9,0	7,4	5,9	4,6	
Athugasemdir:														



Mynd 4 a)
Útskrift af niðurstöðum mælingar á kornadreifingu

Myndin sýnir hversu hátt hlutfall efnis smýgur (sáldur, %) sigti með viðkomandi möskvastærð. Þannig má lesa úr töflunni fyrir ofan myndina að allt efnið er smærra en 22,4 mm sigtið (100% sáldur), 84,0% er fínna en 16 mm, 37,1% er smærra en 8 mm, 4,6% er smærra en fíngerðasta sigtið (0,063 mm) og svo framvegis. Mynd 4 b) sýnir nokkrar gerðir kornadreifingar.



Mynd 4 b)
Dæmi um mismunandi kornadreifingu sýna

Eins og myndin sýnir er hér um að ræða sýni með afar mismunandi kornadreifingu. Það sem kallað er kúrfa 3 á myndinni er í raun sandur, þar sem um 95% efnisins er smærra en 4 mm og um helmingur sýnisins er smærri en 0,5 mm. Kúrfa 6 myndi flokkast sem 0/11 mm efni þar sem nánast allt smýgur 11,2 mm sigti, þó ekki alveg allt. Kúrfur 1 og 2 flokkast sem 0/22 mm efni með tæplega 10% af yfirstærðum (stærra en efri flokkunarstærðin 22 mm). Kúrfur 4 og 5 eru svo dæmi um það sem kallast flokkað efni (mikið notað í vegklæðingar), þó með nokkru magni af undir- og yfirstærðum. Þannig flokkast kúrfa 4 sem 8/11 mm efni með tiltölulega mikið af yfirstærðum, eða tæplega 20% og innan við 10% af undirstærðum. Kúrfa 5 er hins vegar dæmi um flokkað 11/16 mm efni með tæplega 15% af yfir- og undirstærðum. Í báðum þessum flokkuðu kúrfum hefur tekist vel til að losna við nánast allt efni sem er fíngerðara en næsta sigti fyrir neðan neðri flokkunarstærðina (sem sagt < 4 mm í 8/11 mm efninu og < 8 mm í 11/16 mm efninu).

1.2 Kornadreifing fínefnis, smærra en 0,063 mm

1.2.1 Mæling með flotvog (ASTM D422)

Mæling með flotvog (e. hydrometer) byggist á því að ákvarða þvermál efniskorna út frá sökkhraða þeirra í vökvalausn, sjá mynd 5. Prófunin felst í því að um 65 g af efni <0,063 mm er vigtað nákvæmlega og sett í bikarglas ásamt 125 ml af natríum-metafosfati og látið standa í a.m.k. 16 klst. Að því loknu er bikarglasið hrist, efnið hrært vel saman og hellt í 1000 ml mæliglas og fyllt upp að marki með eimuðu vatni.

Álestur af flotvog fer fram eftir 2, 5, 15, 30, 60, 250 og 1440 mínútur, en við hverja tímaeiningu gefur álesturinn upplýsingar um hlutfall hverrar kornastærðar. Reiknaðar eru tvær stærðir með hjálp taflna og línurita. Stærðirnar eru D og P, þar sem D er kornaþvermál, sem P miðast við og P er % af heildarsýninu sem hefur kornaþvermál minna en D



Mynd 5
Ljósmynd af mælingu fínefnis með flotvog

1.2.2 Mæling fínefnis með ljörva-aðferð (e. *laser, er ekki hluti Evrópustaðla*)

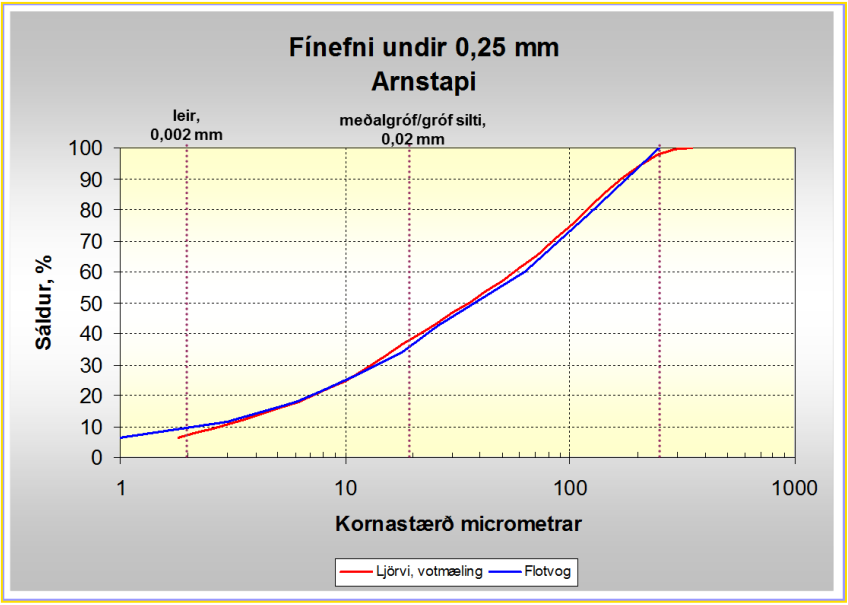
Þessi prófunaraðferð er notuð til mælinga á kornadreifingu steinefna sem eru undir 0,25 mm, en þó aðallega korn sem eru minni en 0,063 mm, en það er fíngerðasta sigtið í hefðbundinni sigtaröð. Aðferðin hefur verið notuð á síðustu árum til mælinga á fínefnum í vegagerðarefnum í stað flotvogar. Góð fylgni hefur fundist milli niðurstaðna prófana með þessum tveimur aðferðum (sbr. mynd 7), en ljörva aðferðin er mun fljótlegri og ódýrari mæliaðferð. Hún byggist á því að láta fínefnakorn berast þvert á lasergeisla, sem síðan er beint að nema sem nemur styrkleikadreifingu ljóssins og sendir frá sér merki sem hægt er að nota til að greina kornadreifingu sýnisins.

Mynd 6 sýnir tækjabúnaðinn sem notaður er til ljörva-mælinga.



Mynd 6
Ljörvatæki til mælingar á kornastærð

Í rannsóknaverkefni um samanburð á flotvogarprófi og ljörva-aðferðinni (Rb skýrsla nr. 04-10 frá 2004) kemur meðal annars fram að mælingar með ljörva-aðferð eru nægilega áreiðanlegar til að meta hvort kröfur í verklýsingum Vegagerðarinnar eru uppfylltar, sjá dæmi um samanburð á niðurstöðum flotvogarmælingar og ljörvamælingar á mynd 7. Af myndinni má lesa að í þessu tilfelli eru u.þ.b. 60% sýnisins undir 0,063 mm (63 µ), um 35% er undir 0,02 mm (20 µ, en það er kornastærð sem litið er til þegar mat er lagt á frostnæmi steinefnasýna í vegagerð) og u.þ.b. 10% af leirstærðum (2 µ).



Mynd 7
Samanburður á kornastærðamælingu með flotvog (hydrometer) og ljörva (lasertæki)

1.3 Mæling á lífrænum efnum, ÍST EN 1744-1

1.3.1 Húmusinnihald, NaOH-aðferð (*kafli 15.1 í staðlinum*)

Ákvörðun á því hvort magn lífrænna efna (þ.e.a.s. mold og gróðurleifar) í sýni er yfir æskilegum mörkum er gjarnan gerð með húmusprófi. Í stuttu máli fer prófið þannig fram að sýni er þurrkað í ofni við 55°C. Sýnið er sigtað á 4 mm sigti og það sem smýgur sigtið er notað í prófið. Natríum hydroxíð (3% NaOH) lausn er hellt í mæliflösku eða mæliglas upp að 80 mm marki. Steinefnasýninu er bætt út í þar til lausn og sýni nær 120 mm marki. Mæliglasið er hrist rækilega til að losna við loftbólur og lausnin síðan látin standa í 24 klst. Eftir það er litur lausnarinnar borinn saman við staðallausn og ákvarðað hvort litur próflausnar er sterkari eða veikari en litur hennar. Sú ákvörðun er notuð til að segja til um hvort lífræn efni eru innan marka. Mynd 8 sýnir 6 mæliflöskur með sýnum með mismunandi styrk af lífrænum efnum (gróðurmold) og til samanburðar mæliglas með viðmiðunarsýni (efst). Viðmiðunarlausnin reynist vera með á bilinu 0,5% - 1% (þyngdar) af lífrænum efnum. Þess má geta hér að gróðurmoldin sem notuð var til að útbúa missterkar lausnir er sennilega sérstaklega húmusrík. Það má telja líklegt að “venjulegt” jarðvegslag sé snauðara af lífrænum efnum en tilbúin gróðurmold, þótt engar mælingar liggi fyrir hér til að styðja þá ályktun.



Mynd 8
Mæling á lífrænum efnum (gróðurmold í þessu tilfelli)

1.3.2 Glæðitap (*kafli 15.3 í prófunarstaðlinum*)

Glæðitaps-aðferðin byggir á því að steinefnaprufa er hituð upp í (480 ± 25)°C og því haldið í (4 ± 0,25) klst. og þyngdartapið við þessa meðferð er túlkað sem húmus, eða lífræn efni, sem brenna og rjúka burt við þetta hitastig. Niðurstaðan er gefin upp sem þyngdarhlutfall af þurrefni minna en 0,5 mm. Í sambærilegum ASTM-aðferðum er hitastigið hærra og því er vafasamt að bera niðurstöður beint saman.

Aðferðin er í stórum dráttum sú að tekin eru um 150 g af efninu sem mæla á og það þurrkað við 110°C. Efnið er síðan malað og sigtað á 0,5 mm sigti. Um 10 g af efni sem smýgur sigtið er sett í postulínsskál og þurrkað áfram í 2 klst við 110°C. Sýnið er látið kólna niður í herbergishita; það síðan vigtað nákvæmlega og sett í glæðiofn í 4 klst. við 480 ± 25°C, sjá mynd 9. Eftir þessa meðferð er efnið kælt og vigtað og þyngdarmunurinn reiknaður sem hlutfall af upphaflegu prufunni sem fór í glæðiofninn.

Nefna má hér að kröfur til fyllingarefnis í vegagerð miðast við að magn lífrænna efna skuli ekki vera meira en 3% af þyngd alls efnisins, mælt með glæðitapsaðferð. Í slíku tilfelli þarf að umreikna niðurstöðu glæðitapsmælingar þannig að niðurstaðan verði glæðitap sem hlutfall af öllu efninu.

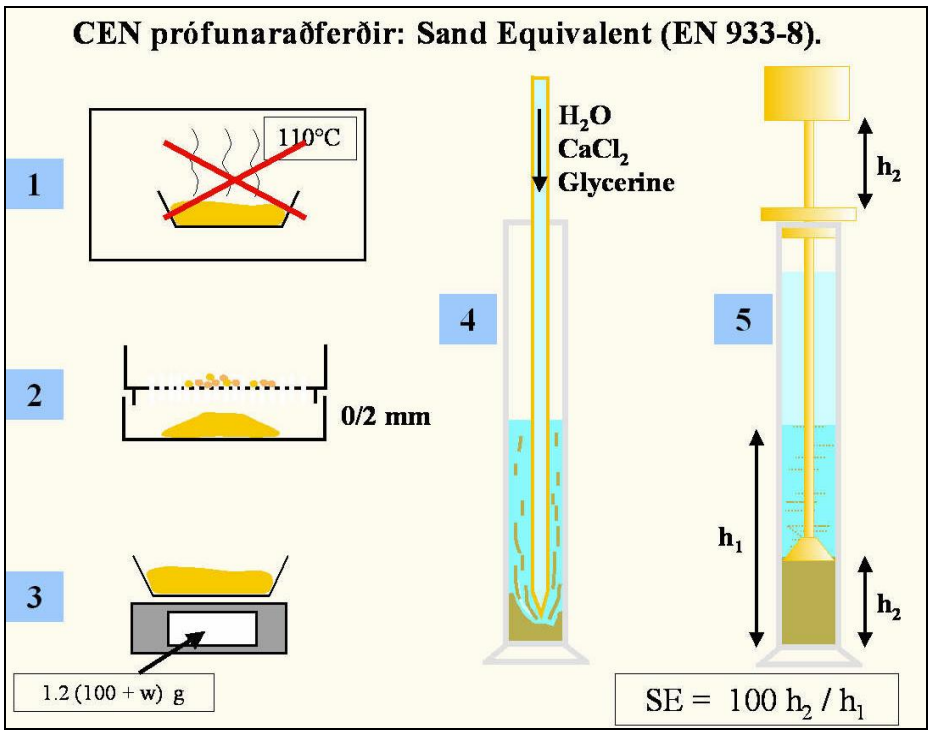


Mynd 9
Ofn til að hita sýni til glæðitapsmælingar

1.4 Eiginleikar fínefna

1.4.1 Sand equivalent-próf, ÍST EN 933-8

Prófunaraðferðin Sand Equivalent (SE) er, ásamt Methylene Blue-prófi (MB), Evrópustaðall sem ætlað er að mæla magn skaðlegra fínefna (e. harmful fines) í steinefnasýni. SE-aðferðin mælir þó í raun einungis hlutfallið milli sands og fínefna. Teikningin á mynd 10 lýsir aðferðinni nánar.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið á ekki að ofnþurrka.

2 Tekið er frá efni sem er < 2 mm til prófunar.

3 Þyngd sýnis skal vera 1,2 x (100 að viðbættum raka)=g.

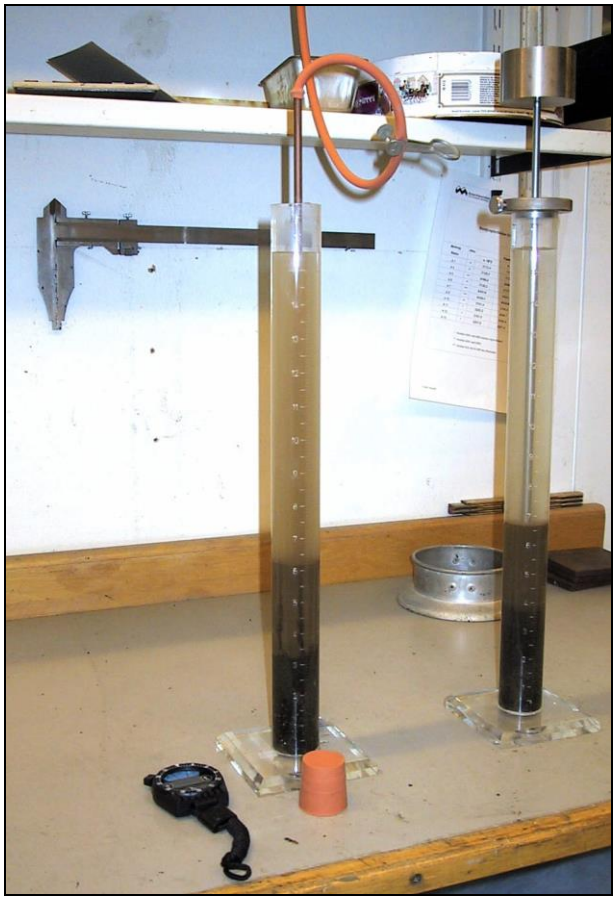
4 Skolvökva dælt um pípu í botn mæliglassins.

5 SE er reiknað út sem hlutfall milli fasts efnis (h2) og fasts efnis og efnis í lausn (h1).

Mynd 10
Framkvæmd mælingar á SE-gildi

Sýni sem er prófað með þessari aðerð er ekki ofnþurrkað, en skal hafa rakastig undir 2%. Hæfilegt magn af sýni á stærðarbilinu 0-2 mm ásamt litlu magni af skolvökva (samsettur úr kalsíumklóríði, glyceríni, formaldehyði og eimuðu vatni) er sett í tvær mæliflöskur sem eru 32 mm í innra þvermál og 430 mm á hæð, fyllt að marki (100 mm) og hrist rækilega saman í 30 s. Síðan er flaskan fyllt að efra marki (380 mm) með vökvanum í gegn um pípu sem sett er í botninn og sýnið látið setjast, þannig að fínefnið setjist ofan á sandinn. Eftir 20 min. er SE-gildið lesið af mæliflöskunum og gefið upp sem hluti sands af heildarsýninu.

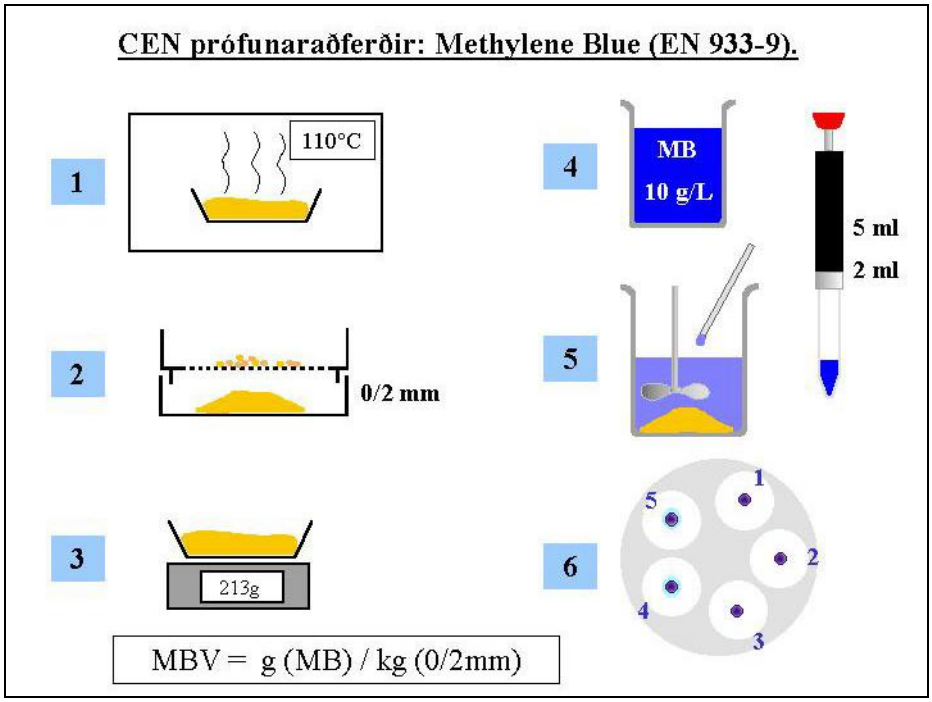
Mynd 11 sýnir tækjabúnað og uppstillingu til mælinga á SE-gildi, en aðferðin er tiltölulega fljótleg og ódýr og krefst lítils tækjabúnaðar. Aðferðin getur því hentað vel til að meta hlutfall fínefna á verkstað.



Mynd 11
Tæki til mælingar á Sand Equivalent gildi (SE)

1.4.2 Methylene Blue-próf, ÍST EN 933-9

Prófunaraðferðinni er, eins og SE-gildis aðferðinni, ætlað að mæla magn skaðlegra fínefna í steinefnasýni. Teikningin á mynd 12 lýsir aðferðinni nánar.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið er ofnþurrkað.

2 Tekið er frá efni undir 2 mm í prófið.

3 Sýnið er vigtað.

4 Útbúin er MB-litarlausn.

5 Litarlausnin títruð út í glas með sýni og vatni.

6 Blettapróf framkvæmt.

Mynd 12
Framkvæmd mælingar á MB-gildi.

Prófunaraðferðin felst í því að títra Methylene Blue-litarlausn saman við steinefnasýni í vatni í þrepum í því skyni að ákvarða hversu mikið af litarlausninni sýnið getur tekið í sig. Með því að taka sýni af lausninni á glerstaf og setja það á filterpappír (dropapróf) er unnt að sjá hvenær því stigi er náð að fínefni í sýninu hættir að draga í sig litarlausnina (er mettað). Við það breytist ásýnd dropans og baugur af fríu litarefni myndast í kringum blettinn. MB-gildið er gefið upp í grömmum af litarefni sem þarf í hvert kg af steinefnasýni til að mynda baug sem helst í 5 mínútur. Ummyndaðar, vatnsdrægar leirsteindir soga í sig litarlausnina, en ferkt fínefni ekki og þannig aðskilur prófið á milli skaðlegra fínefna og meinlausra.

1.4.3 Kornarúmþyngd mélu (e. filler), ÍST EN 1097-7

Méla er fínasta kornastærð steinefnis í malbik og liggur að mestu leyti undir 0,063 mm (D), en einhverjar yfirstærðir eru leyfðar.

Reiknuð er út kornarúmþyngd mélu með pyknometer og samkvæmt eyðublaði eru þeir útreikningar sýndir á mynd 13.

Kornarúmþyngd Fillers skv. ÍST EN 1097-7.

Tegund vökva:	Eimað vatn	
Hitastig vökva:	25 ± 0,1	°C
Rúmmál flösku:	50,0	ml
Eðlismassi vökva, ρ_l:	0,997	g/cm^3

Flaska nr.	Flaska, g (m_0)	Flaska + vökvi, g	Sýni + flaska, g (m_1)	Flaska+sýni+ vökvi, g (m_2)	Kornarúm-þyngd, g/cm^3	Meðaltal, Mg/m^3
4	43,09	124,65	52,768	130,879	2,80	
1	44,90	124,96	54,148	130,981	2,85	**2,81**
2	39,42	122,46	48,969	128,588	2,79	
3	41,88	124,13	51,52	130,39	2,84	

$\rho f=(m_1-m_0)/(V-((m_2-m_1)/\rho_l))$= g/cm^3=Mg/m^3

Mynd 13
Dæmi um útreikninga á kornarúmþyngd mélu

Í stuttu máli felst aðferðin til að mæla kornarúmþyngd mélu í því að setja sýni af henni (sem smýgur 0,125 mm sigti) í sérstaka 50 ml mæliflösku (*pyknometer*) sem hægt er að fylla nákvæmlega upp að marki. Útbúin eru þrjú hlutasýni og er hvert sýni 10 g (± 1 g) vigtað (með nákvæmni 0,001 g eins og allar aðrar þyngdarmælingar við prófið) og þau sett í þrjár mæliflöskur. Síðan er vökva með þekktum eðlismassa (í þessu tilfelli vatn) hellt í mæliflöskuna og fyllt upp að marki. Samkvæmt staðli skal nota lofttæmibúnað (e. *vacuum desiccator*) til að nú öllu lofti úr sýninu, en í stað þess má hrista sýnið við framleiðslueftirlit ef lofttæmibúnaður er ekki til staðar. Niðurstaða prófsins er svo reiknuð út frá þyngdarmælingum og rúmmáli, eins og fram kemur neðst á eyðublaðinu sem sýnt er á mynd 13 (í þessu tilfelli meðaltal fjögurra mælinga). Segja má að þessi aðferð við að mæla kornarúmþyngd mélu sé bæði einföld og fljótleg og gefi mikilvægar upplýsingar um méluna þegar um er að ræða mismunandi gerðir mélu sem safnast í síur við framleiðslu.

1.4.4 Holrýmd í mélu (e. filler), Rigden aðferð, ÍST EN 1097-4

Mæling á holrýmd mélu með Rigden aðferð felst í því að pakka ákveðnu magni af mélu í lítið mót og er notaður til þess fallhamar, sjá mynd 14 af tækjabúnaði sem notaður er við mælingarnar.





Mynd 14 a) og b)
Búnaður til að mæla Rigden holrýmd mélu

Við útreikninga á Rigden holrýmd er dæmi um mælieiningar sem notast er við sýnt á mynd 15.

Holrýmd Fillers skv. ÍST EN 1097-4.

Þvermál sívalings, α:	25	mm
Þyngd sívalings, g:	350	g
Fjöldi falla:	100	
Eðlismassi sýnis, ρ:	2,81	Mg/m^3

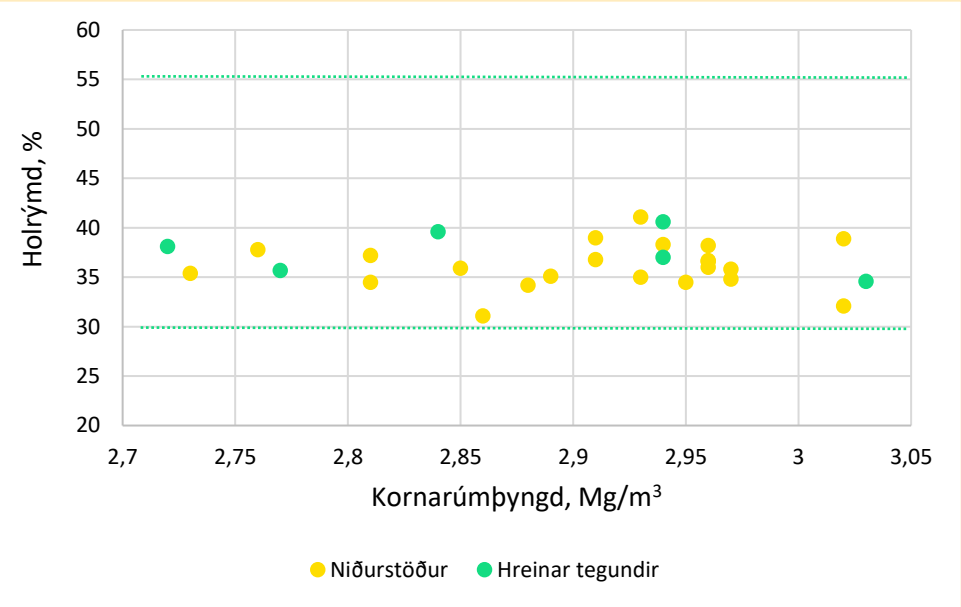
sýni,nr.	Tæki+sýni+filter, g.	Sýni, g (m_2)	Hæð, mm (h)	Holrýmd fillers, %	Meðaltal, %
1	517,2	9,3	10,3	34,49	
2	517,1	9,2	10,2	34,55	**34,5**
3	517,3	9,4	10,4	34,42	

$V=(1-((4*10^3*m_2)/(\alpha^2*\rho*\pi*h)))*100=\%$

Mynd 15
Dæmi um útreikninga á Rigden holrýmd (V)

Eins og sjá má á myndinni þarf kornarúmþyngd mélunnar að vera þekkt til að unnt sé að reikna út Rigden holrýmdina. Mælingin felst í því í stuttu máli að setja 10 g mélusýni (sem smýgur 0,125 mm sigti) í sérstakt sívalt mót sem hefur 25 mm innanmál og er 65 mm á hæð. Mótið sem er 525 g að þyngd stendur á tveimur stýrisúlum þannig að hægt er að lyfta því upp og láta það detta á fasta undirstöðu. Lóð sem er 350 g að þyngd og með 1,6 mm borholu endilangt er sett ofan í mótið og ofan á filterpappír á sýninu og er notað til að þjappa mélusýnið. Mótinu með sýni, filterpappír og lóði er svo lyft í 102 mm hæð og látið detta, einu sinni á sek., alls 100 sinnum. Holrýmdin er síðan reiknuð út samkvæmt jöfnunni sem gefin er upp neðst á eyðublaðingu á mynd 15.

Nýlegar rannsóknir á sýnum af mélu sem notaður er hjá malbikunarstöðvunum Höfða og Hlaðbæ-Colas sýna að holrýmd er yfirleitt á nokkuð þröngu bili, en rúmþyngdin getur verið nokkuð breytileg, sbr. áfangaskýrslu VIII frá 2016 um malbiksrannsóknir á vegum rannsóknasjóðs Vg. Þetta sést vel á mynd 16.

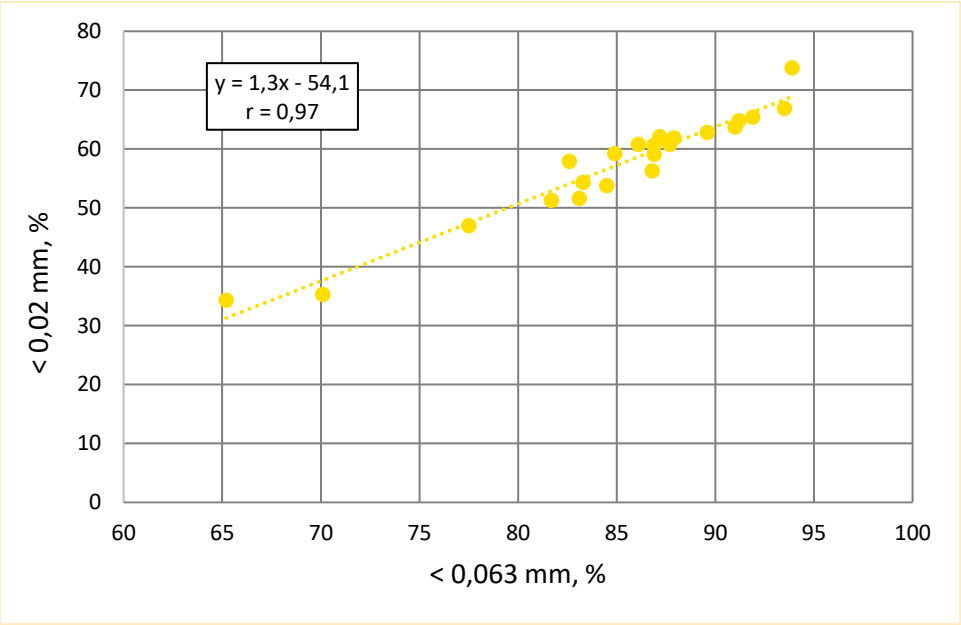


Mynd 16
Samanburður á holrýmd og rúmþyngd mélusýna

Eins og sést á myndinni liggja holrýmdarmælingarnar að mestu leyti milli 35 og 40%, en kornarúmþyngdin liggur á bilinu 2,72 til 3,03 Mg/m^3. Dreifingin er nokkuð jöfn á mæligildum kornarúmþyngdar og hverfist um gildið 2,9 Mg/m^3, þar sem íslensku hreinu tegundirnar eru yfir og erlendu hreinu tegundirnar eru undir. Það er ljóst að ef kornarúmþyngd mélu er tiltölulega lág verður rúmmál mélunnar meiri en ef kornarúmþyngd hennar er há, þegar vigtað er inn við framleiðlu malbiks. Þannig tekur méla með rúmþyngd 2,8 g/cm^3 um 5% meira pláss en méla með rúmþyngdina 2,9 g/cm^3. Á sama hátt er méla með rúmþyngdina 3,0 g/cm^3 um 5% rýrari en méla með rúmþyngdina 2,9 g/cm^3. Mesti munur á rúmþyngd mélu sem notaður er hérlendis samkvæmt þessari rannsókn er um 10% og því er mikilvægt að taka tillit til kornarúmþyngdar þegar méla er veginn inn í malbiksblöndu.

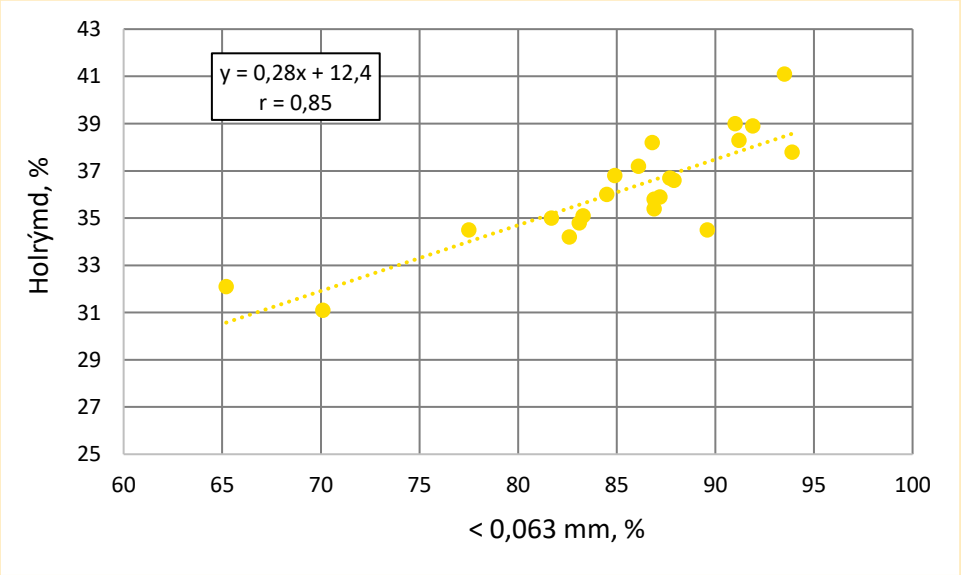
1.4.5 Kornadreifing mélu mæld með ljörva (e. laser)

Kornadreifing sömu mélusýna og voru prófuð með rúmþyngdar- og holrýmdarmælingum (mæld með ljörva, sjá kafla 1.2.2. hér að framan) sýnir að breytileiki í kornadreifingu einstakra sýna getur verið allnokkur, sbr. áfangaskýrslu IX um malbiksrannsóknir á vegum rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar. Má þar nefna til dæmis að magn yfirstærða (> 0,063 mm) er á bilinu frá 5 til 35%, en algengast er að þær séu á bilinu 10 til 20%. Það kom líka í ljós að sterk fylgni var á milli magns yfirstærða og magns syltis undir 0,02 mm, þar sem hlutfall efnis sem er minna en 0,02 mm minnkaði línulega með auknum yfirstærðum, sbr. mynd 17. Tengsl milli yfirstærða og magns leirs voru ekki eins afgerandi, en þó nokkur, sbr. ofangreinda skýrslu.



Mynd 17
Tengsl á milli magns <0,063 mm efnis og magns fínsyltis (<0,02 mm)

Þá má benda á að Rigden holrýmdin minnkar marktækt með auknu magni yfirstærða í mélunni, sjá mynd 18.

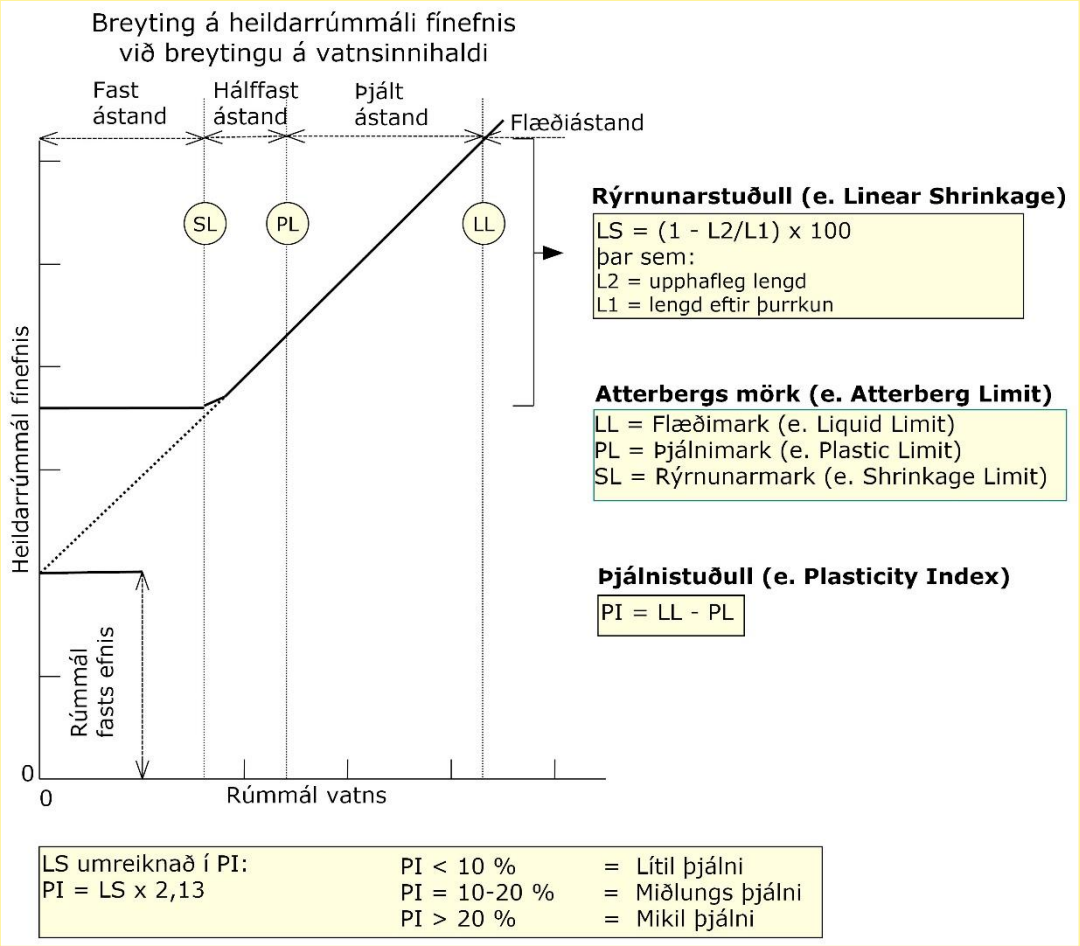


Mynd 18
Tengsl milli Rigden holrýmdar og efnis sem er < 0,063 mm

Segja má að mæling á hlutfalli mélu undir 0,063 mm í framleiðslueftirliti geti gefið mikilvægar upplýsingar um eiginleika hennar, svo sem lauslega kornadreifingu fínefnisins og holrýmd, en frekari rannsóknir á mélu í malbik standa nú yfir. Kornadreifing mélu gefur þó ekki upplýsingar um kornarúmþyngd hennar, en eins og áður er getið hefur kornarúmþyngd mélu áhrif á það rúmmál mélu sem skammtað er inn í framleiðslu á malbiki.

1.5 Þjálni fínefna

Flæðimark og þjálnimark voru fyrst skilgreind af sænska jarðvegsfræðingnum Atterberg, sem mörkin annars vegar milli fljótandi ástands efnisins (LL, *liquid limit*) og þjáls ástands (PL, *plastic limit*) og hins vegar milli þjáls ástands og hálffasts ástands (e. *semisolid state*). Þegar þjált efni þornar dregst það saman (rúmmálið minnkar) og eru þriðju Atterbergsmörkin nefnd rýrnunarmörk (SL, *shrinkage limit*) en við þau mörk hættir rúmmál efnisins að minnka við þornun, sjá mynd 19.



Mynd 19
Skilgreining Atterbergsmarka

Lýsingar á mælingum á þjálnistuðli og rýrnunarstuðli fara hér á eftir, en báðar verklýsingarnar eru teknar úr amerískum ASTM stöðlum.

1.5.1 Þjálnistuðull (ASTM D4318)

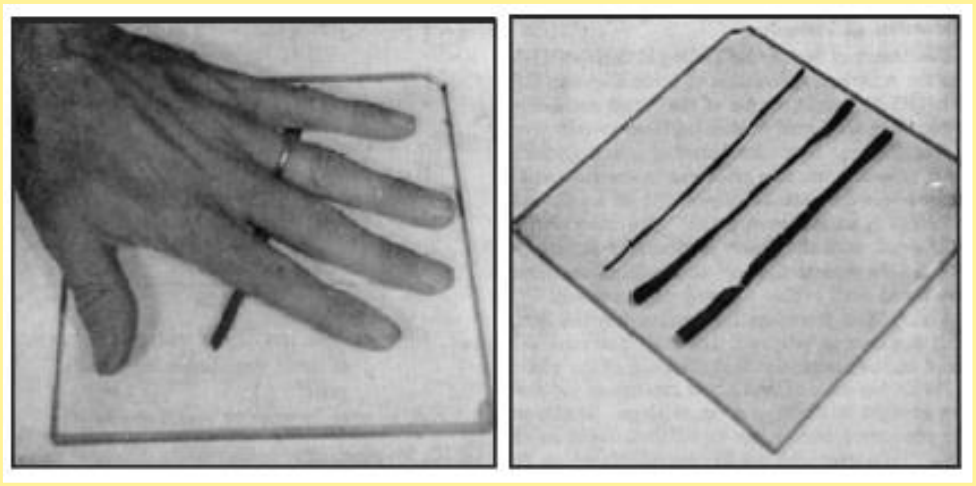
Þjálnistuðull (e. *Plasticity Index, PI*) fínefna er gefinn upp sem mismunurinn á flæðimarki (e. *Liquid Limit*) efnis og þjálnimarki (e. *Plastic Limit*) þess.

Flæðimörkin eru fundin með því að útbúa sýni úr steinefni með kornastærð < 0,5 mm. Efnið er blandað vatni þannig að það myndi mjúkan massa. Efninu er smurt í botn sérstakrar fallskálar, þannig að það myndist lag í henni með mestu þykkt 12,5 mm. Þá er sérstakt raufarjárn dregið eftir miðju skálarinnar þannig að rauf myndist eftir endilöngu sýninu. Skálin er látin falla tvisvar sinnum á sekúndu þar til raufin í sýninu hefur lokast í botninn á 12,5 mm bili og fjöldi högga skráður. Þetta er gert með mismunandi raka í sýninu og þannig fengið sambandið milli raka og höggafjölda. Flæðimörk efnisins eru síðan skráð sem það rakastig í sýninu sem þarf til að raufin lokist á 25 höggum. Mynd 20 sýnir tækjabúnaðinn sem notaður er við mælingu á flæðimarki, þ.e.a.s. fallskálina og raufarjárnið.



Mynd 20
Tæki til mælingar á flæðimarki

Þjálnimarkið er fundið með því að hnoða vel rakt sýni. Því er síðan rúllað á glerplötu þannig að myndist pylsa, u.þ.b. 10 cm löng og 3 mm í þvermál. Þetta er endurtekið við mismunandi rakastig þar til fundið er það rakastig sem veldur því að pylsan byrjar að molna við 3 mm þvermál, sjá mynd 21. Það rakastig er reiknað út í % og kallað þjálnimark efnisins.



Mynd 21
Mæling á þjálnimarki

Þjálnistuðullinn, Plasticity Index, PI, er mismunurinn á flæðimarki efnisins og þjálnimarki þess.

1.5.2 Rýrnunarstuðull (ASTM C356)

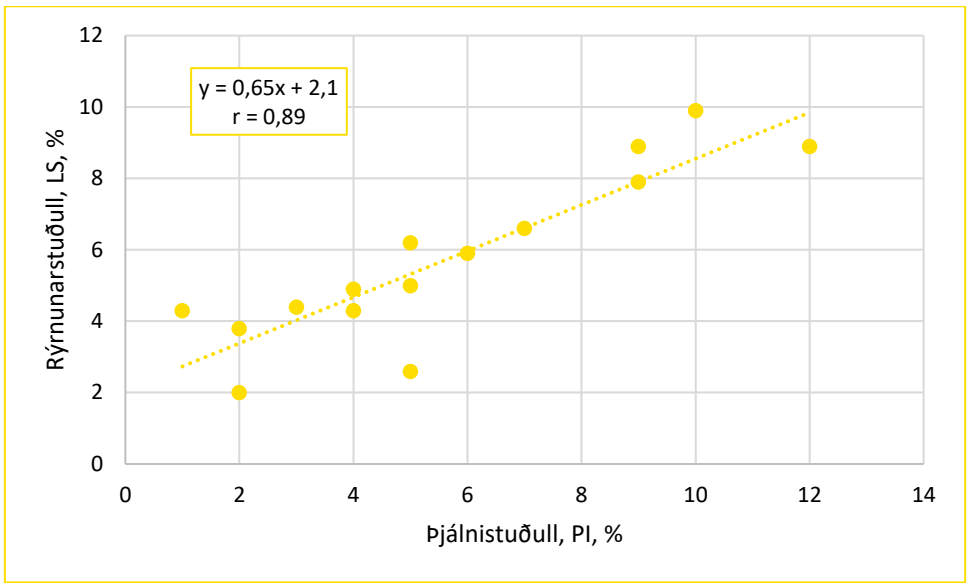
Rýrnunarstuðull fínefna (LS, *Linear Shrinkage*) er gefinn upp sem hlutfallið milli upphaflegrar lengdar raks sýnis í móti og lengdar þess eftir að sýni hefur verið þurrkað í ofni. Mynd 22 sýnir mót sem notuð eru við mælingu þurrkrýrnunar.



Mynd 22
Ljósmynd af sýni í móti við mælingu á þurrkrýrnun fínefna

Sýnið sem sett er í mótið hefur rakastig sem er nálægt flæðimörkum þess. Mótið er sléttfyllt og þess gætt að ekki liggi loftbólur undir yfirborðinu. Eftir þurrkun er lengd sýnisins mæld og sú rýrnun sem átt hefur sér stað við þurrkunina reiknuð út sem hlutfall af upphaflegri lengd (%).

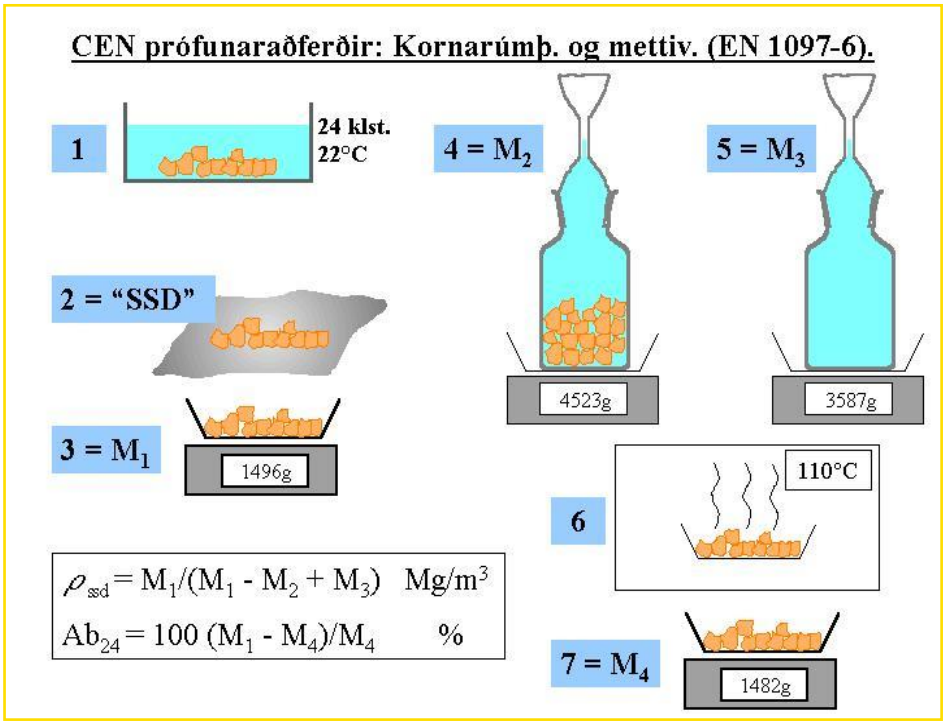
Góð fylgni hefur fengist milli mælinga á þjálnistuðli og rýrnunarstuðli, t.d. í rannsóknarverkefni um fínefni í malarslitlög, sbr. BUSL skýrslu nr. E-44 frá 2004, sjá mynd 23.



Mynd 23
Tengsl milli rýrnunarstuðuls og þjálnistuðuls malarslitlagsefna

1.6 Kornarúmþyngd og mettivatn, ÍST EN 1097-6

Teikningin á mynd 24 sýnir hvernig kornarúmþyngd og mettivatn er ákvarðað með mæliflösku (e. *pyknometer*). Aðferðin felst í því að bera saman þyngdir á þurru steinefni, yfirborðsþurru steinefni og steinefni á kafi í vatni í mæliflösku.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið vatnsmettað í 24 klst.

2 Tekið úr vatnsbaði og yfirborðsþerrað (samt vatnsmettað).

3 Vigtað yfirborðsþurrt og vatnsmettað og þyngd skráð.

4 Sett í mæliflösku, fyllt að marki með vatni, vigtað og þyngd skráð.

5 Pyknometer með vatni, en án sýnis vigtaður og þyngd skráð.

6 Þurrkað við 110°C í 24 klst. eða þar til þyngdarbreyting er hverfandi.

7 Vigtað og þyngd skráð með einum aukastaf.

Mynd 24
Mæling á kornarúmþyngd og mettivatni

Í prófunarstaðlinum eru gefnar upp þrjár aðferðir til að reikna út kornarúmþyngd (e. *particle density, p.d.*) steinefnasýnis (e. *apparent p.d., oven dried p.d. og saturated surface dried p.d.*), en mæliaðferðirnar eru þær sömu í öllum tilvikum. Kornarúmþyngd (ρ_a , ρ_{rd} og ρ_{ssd}) er gefin upp í megagrömmum á rúmmeter, Mg/m^3, samkvæmt eftirfarandi jöfnum:

Sýndarrúmþyngd (e. *apparent p.d.*)

$$\rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

Ofnþurr rúmþyngd (e. *oven-dried p.d.*)

$$\rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

Yfirborðsþurr, mettuð rúmþyngd (e. *p.d. ssd*) $\rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$

Ath: ρ_w er eðlisþyngd vatns (Mg/m^3) við það hitastig sem mælt er við, en það hefur áhrif á rúmmálsmælinguna á mæliflöskunni (e. *pyknometer*).

Mettivatn er reiknað sem hlutfall af þurru efni eftir vatnsmettun í 24 klst.:

$$WA_{24} = \frac{100x(M_1 - M_4)}{M_4} \%$$

Kornarúmþyngd er gefin upp með tveimur aukastöfum (0,01 Mg/m^3) og mettivatn með einum aukastaf (0,1%).

Önnur aðferð við kornarúmþyngdarmælingu steinefna hefur verið notuð jafnhliða mæliflösku aðferðinni hérlendis og víða. Hún gerir ráð fyrir að sýnið sé vigtað í vírkörfu sem sett er í vatnsbað undir vigtinni, til þess að fá mælingu á þyngd efnis, á kafi í vatni. Í raun skiptir ekki máli hvor aðferðin er notuð ef þess er gætt að útreikningar séu sambærilegir.

Mettivatn steinefnasýnis er reiknað út sem hlutfallið milli þurrar þyngdar þess og þyngdar yfirborðs-þerraðs efnis eftir vatnsmettun í 24 klst. (%). Mynd 25 sýnir sýni sem hefur verið tekið úr vatnsbaði og yfirborðs-þerrað til þess að fá mælingu á mettivatni þess.



Mynd 25
Vatnsmettað og yfirborðsþerrað sýni

1.7 Laus rúmþyngd, ÍST EN 1097-3 og rakastig, ÍST EN 1097-5

Prófunarstaðall ÍST EN 1097-3 lýsir aðferð til að mæla lausa rúmþyngd á þurru steinefnasýni og til að reikna út holrýmd þess. Aðferðin felst í því að vigta ofnþurrt, óþjappað steinefnasýni í móti með þekktu rúmmáli, sjá mynd 26. Rúmmál mótsins sem valið er, fer eftir hámarkskornastærð sýnisins og er gefið upp í töflu í prófunarstaðlinum, auk þess sem settar eru fram kröfur um hlutfallið milli hæðar og þvermáls móts. Laus rúmþyngd er reiknuð sem þyngd efnis í móti/rúmmáli móts og gefin upp í Mg/m^3.



Mynd 26
Mót til mælinga á lausri rúmþyngd

Holrýmd sýnis er reiknuð með samanburði á lausri rúmþyngd (sbr. hér að ofan) og kornarúmþyngd á ofnþurru steinefni, sem fundin er samkvæmt ÍST EN 1097-6 og er holrýmdin reiknuð á eftirfarandi hátt:

$V = (\rho p - \rho b)/\rho p \times 100$ gefið upp sem hlutfall, %.

þar sem ρb er laus rúmþyngd efnisins og ρp er ofnþurr kornarúmþyngd þess.

ÍST EN 1097-5 lýsir aðferð til að mæla rakastig (e. *water content*) steinefnasýna. Aðferðin byggist á því að bera saman þyngd sýnis fyrir og eftir þurrkun í blástursofni við (110 ± 5)°C. Þyngd prófsýnis er háð stærstu kornum, þannig að ef D < 1,0 mm skal sýnið vera 0,2 kg, en ef D > 1,0 mm skal sýnið vera D x 0,2 = kg. Sýnið er sett á bakka og ráðlagt að þykkt sýnis sé ekki meiri en tvöföld steinastærð stærstu steina (D x 2). Rakastigið er reiknað með jöfnunni:

$w = (M_1 – M_3)/M_3 \times 100$ gefið upp sem hlutfall, %.

þar sem M_1 er þyngd sýnis með raka (g) og M_3 er þyngd ofnþurrkaðs sýnis (g).

Oftast nægir að þurrka steinefnasýni í þurrkofni með blæstri yfir nótt. Til þess að tryggja að sýni sé hætt að léttast eftir þurrkun má taka það úr ofninum, kæla niður í herbergishita í þurrkara (e. *desiccator*) með kísilgeli eða kalsíumklóríði (oft sleppt) og vigta. Setja það síðan aftur í ofninn í 1 klst., kæla niður eins og fyrr og vigta aftur. Ef þyngdarmunur milli tveggja mælinga er minni en 0,1% má telja sýnið fullþurrt. Að öðrum kosti þarf að endurtaka þurrkun, 1 klst. í senn.

1.8 Berggreining, ÍST EN 932-3

Tilgangur berggreiningarinnar er fyrst og fremst að greina berggerðir steinefnasýna en það er fyrsta skrefið í mati á gæðum þeirra til notkunar í mannvirkjagerð. Yfirleitt eru korn á stærðabilinu 5,6 til 11,2 mm tekin til berggreiningar, en einnig er hægt að berggreina aðrar stærðir ef þess er óskað. Berggreining felst í því að flokka steinefnakorn niður í bergbrigði. Bergbrigði geta verið sömu bergtegundar en ólík hvað varðar þéttleika og ummyndunarstig og tæknilegir eiginleikar þeirra þar með ólíkir. Til dæmis er vel þekkt að þéttleiki steinefna hefur veruleg áhrif á styrk þeirra og að ummyndunarstig hefur áhrif á veðrunarþol steinefna. Íslenska berggreiningarkerfið „Berggreining og gæðaflokkun“ er nú skjalfest í viðauka 10 í Efnisgæðaritinu eftir ýtarlega endurskoðun kerfisins.

Ef steinefnasýnið sem um ræðir er set eða mulningur (malarsýni), eru nokkur hundruð korn tekin til berggreiningar, en ef sýnið er úr sprengdu, einsleitu bergi nægir yfirleitt minna sýni (færri korn). Kornin eru flokkuð í bergbrigði og byggir flokkunin á bergtegund, ummyndun, þéttleika og öðrum einkennum. Í berggreiningu er gjarnan er notast við léttan hamar til að ná fram fersku brotsári í einstök korn og til aðstoðar við að meta hörku korna. Svo eru kornin greind nánar í víðsjá, sjá mynd 27.

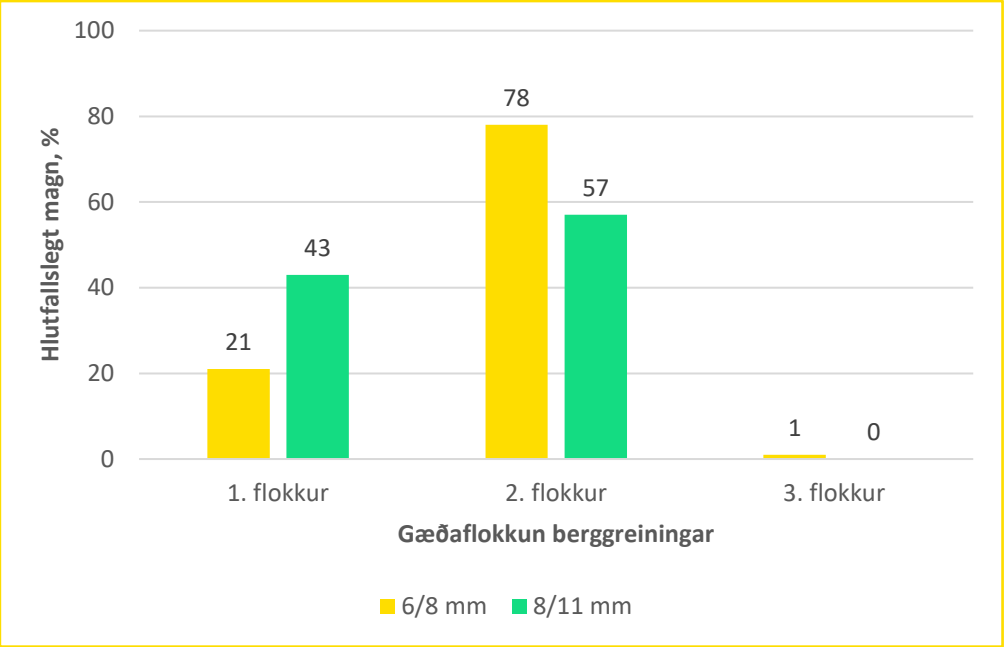


Mynd 27
Berggreining, víðsjá og léttur hamar.

Hérlendis hefur tíðkast að gæðaflokka sýni, annars vegar með tilliti til notkunar í bundin slitlög og hins vegar í steinsteypu. Gæðaflokkunin byggir á reynslu af gæðum mismunandi bergbrigða og er

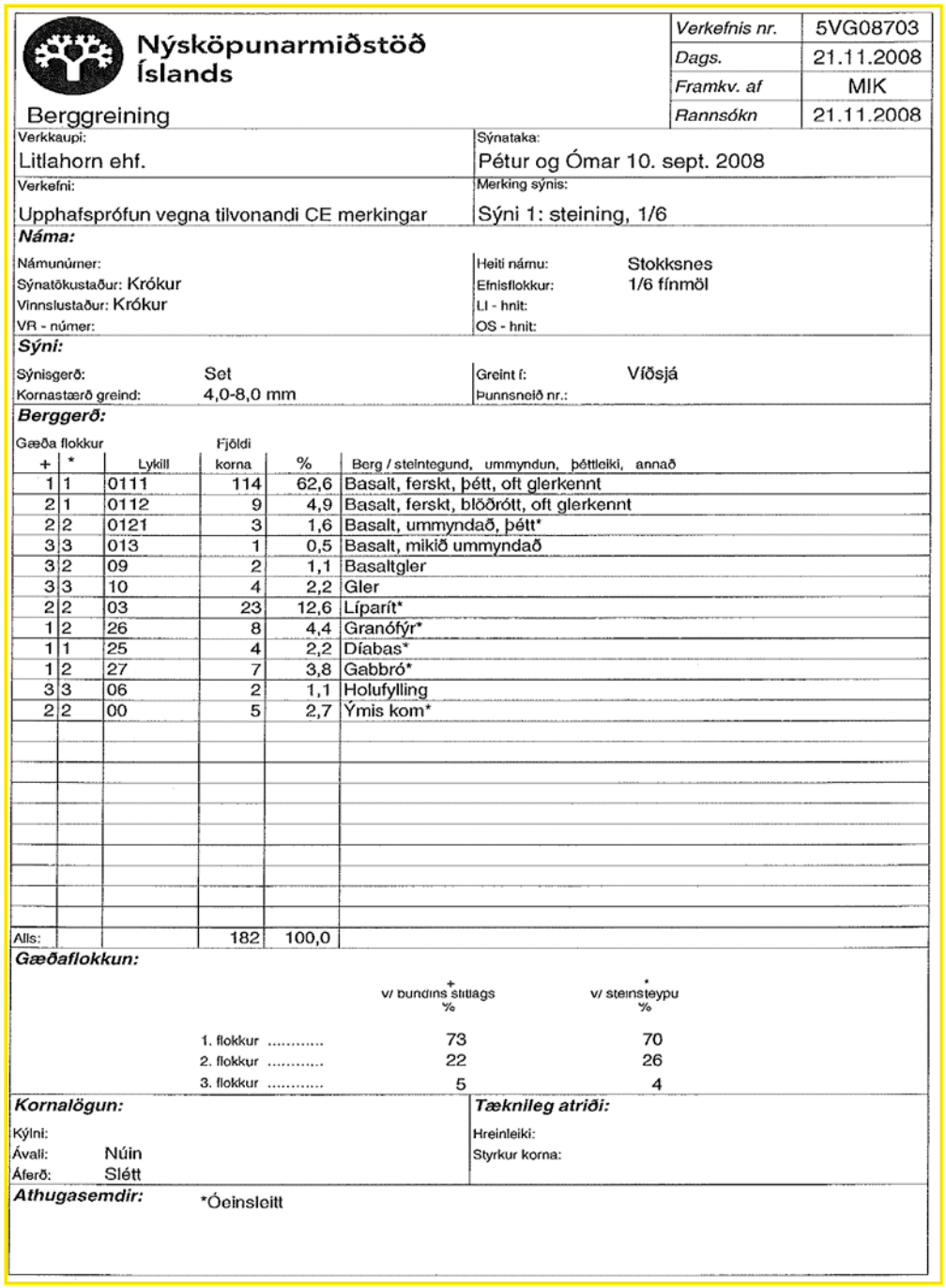
fyrst og fremst litið til ummyndunarstigs og gropu (þéttleika) einstakra korna. Fyrsta flokks efni er yfirleitt ferskt og þétt basalt og annars flokks efni er yfirleitt einnig basalt, en ummyndað og/eða blöðrótt (gropið) að einhverju marki. Þriðja flokks efnið getur verið samsett úr mjög ummynduðu eða mjög blöðróttu basalti, en einnig ýmsum öðrum bergbrigðum, svo sem móbergi og brotum úr setbergi.

Bent skal á til fróðleiks að berggreining getur verið breytileg í sýni eftir því hvaða kornastærð er greind. Yfirleitt aukast gæði steinefna með aukinni kornastærð (þótt það sé ekki algilt) og er vert að hafa það í huga þegar berggreiningar eru bornar saman, hvaða kornastærð er greind hverju sinni. Mynd 28 sýnir dæmi um tvær berggreiningar á sama sýni, en í mismunandi kornastærð.



Mynd 28
Dæmi um tvær berggreiningar á sama sýni, en í mismunandi kornastærð

Oftast er litið fyrst og fremst til magns efnis sem lendir í þriðja gæðaflokki en magn efnis í þeim flokki gefur oftast sterka hugmynd um hvort efnið muni standast aðrar kröfur sem gerðar eru til steinefnisins. Mynd 29 sýnir dæmi um niðurstöður berggreiningar og framsetningu á þeim.



Nýsköpunarmiðstöð Íslands

Berggreining

Verkefnis nr.	5VG08703
Dags.	21.11.2008
Framkv. af	MIK
Rannsókn	21.11.2008

Verkkaupi: Litlahorn ehf.

Sýnataka: Pétur og Ómar 10. sept. 2008

Verkefni: Upphafsprófun vegna tilvonandi CE merkingar

Merking sýnis: Sýni 1: steining, 1/6

Náma:

Námunúmer:
Sýnatökustaður: Krókur
Vinnslustaður: Krókur
VR - númer:

Heiti námu: Stokksnes
Efnisflokkur: 1/6 fínmöl
LI - hnit:
OS - hnit:

Sýni:

Sýnisgerð: Set
Kornastærð greind: 4,0-8,0 mm

Greint í: Víðsjá
Þunnsneið nr.:

Berggerð:

Gæða flokkur +	*	Lykill	Fjöldi korna	%	Berg / steintegund, ummyndun, þéttleiki, annað
1	1	0111	114	62,6	Basalt, ferskt, þétt, oft glerkennt
2	1	0112	9	4,9	Basalt, ferskt, blöðrótt, oft glerkennt
2	2	0121	3	1,6	Basalt, ummyndað, þétt*
3	3	013	1	0,5	Basalt, mikið ummyndað
3	2	09	2	1,1	Basaltgler
3	3	10	4	2,2	Gler
2	2	03	23	12,6	Líparít*
1	2	26	8	4,4	Granófýr*
1	1	25	4	2,2	Díabas*
1	2	27	7	3,8	Gabbró*
3	3	06	2	1,1	Holufylling
2	2	00	5	2,7	Ýmis kom*
Alls:			182	100,0	

Gæðaflokkun:

	+ v/ bundins slitlags %	* v/ steinsteypu %
1. flokkur	73	70
2. flokkur	22	26
3. flokkur	5	4

Kornalögun:

Kýlni:
Ávali: Núin
Áferð: Slétt

Tæknileg atriði:

Hreinleiki:
Styrkur korna:

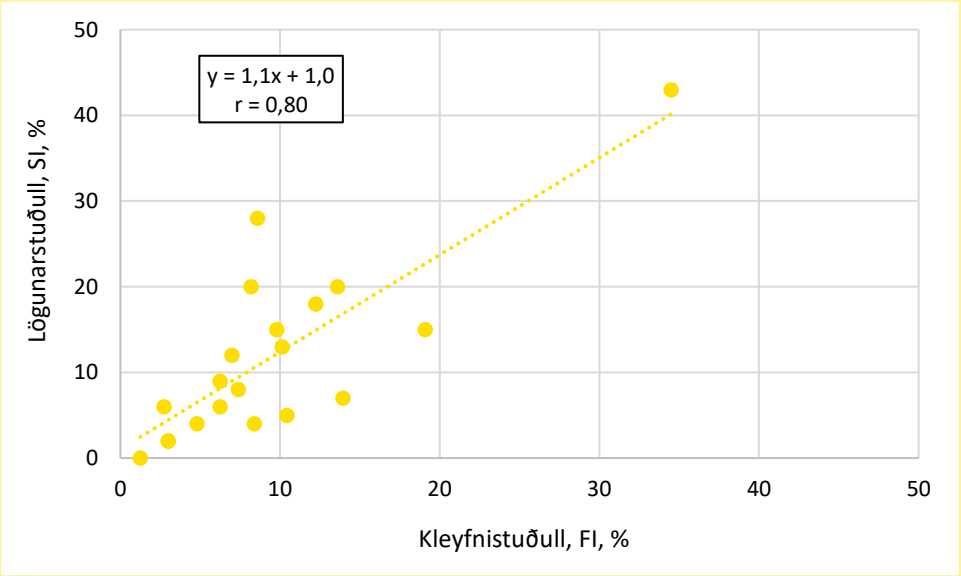
Athugasemdir: *Óeinsleitt

Mynd 29
Dæmi um niðurstöður berggreiningar

Auk berggreiningar, þ.e.a.s. flokkunar steinefna í bergbrigði, er almennum tæknilegum eiginleikum þeirra lýst. Hér er átt við almenna lýsingu á lögun korna, yfirborðsáferð þeirra og hreinleika, en þessir þættir geta haft mikil áhrif á gæði steinefna til nota í mismunandi mannvirkjagerð. Sem dæmi má nefna að kornalögun og yfirborðsáferð korna getur haft áhrif á stæðni óbundinna jarðefna og hreinleiki á viðloðun steinefna við bindiefni í bikbundnum slitlögum.

1.9 Kornalögunarmæling, FI og SI

Tvær prófunaraðferðir sem mæla lögun steinefnakorna eru settar fram í Evrópustöðlum: kleyfnistuðull (e. Flakiness Index, FI), og lögunarstuðull (e. *Shape Index, SI*). Ýmsar aðrar aðferðir hafa verið notaðar til að mæla lögun steinefnakorna og til dæmis var skandinavíska kleyfniprófið (n: *flisighet*) notað hérlendis um árabil. Samkvæmt íslenskum rannsóknum á kornalögun steinefnabanka Efnisgæðanefndar BUSL samstarfsins er sambandið milli kleyfni- og lögunarstuðuls nokkuð sterkt, en þó ekki alveg afgerandi þar sem einn punktur (nálægt 40% gildinu) stjórnar legu aðfallslínunnar mikið, eins og sjá má á mynd 30.

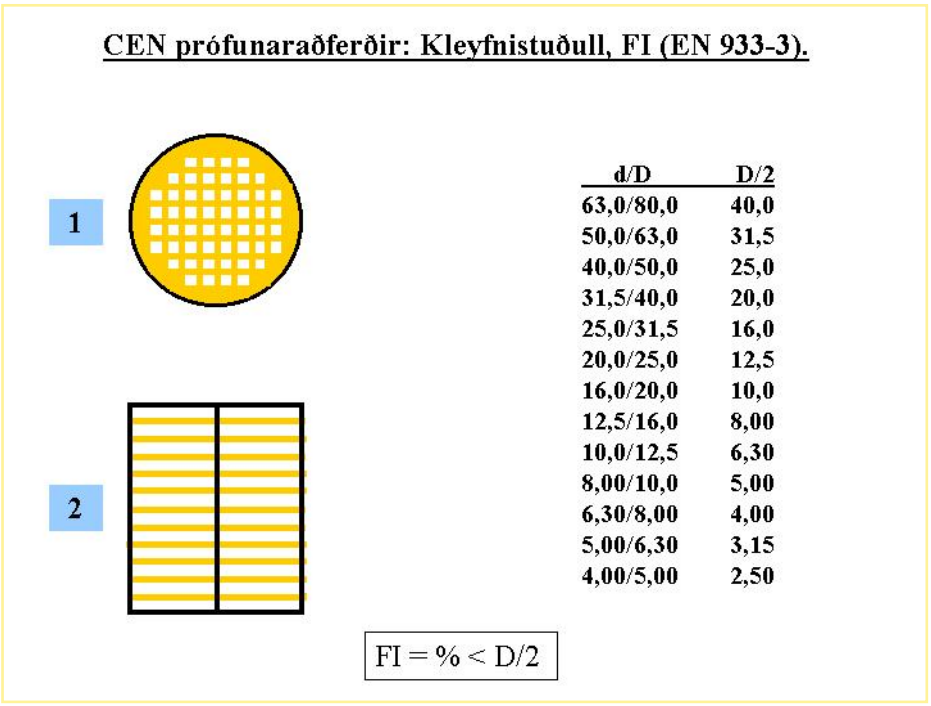


Mynd 30
Samband kleyfnistuðuls og lögunarstuðuls

Þess má geta að í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar eru settar fram kröfur um lögun korna miðað við mælingu á kleyfnistuðli, en ekki lögunarstuðli. Í því sambandi má nefna að steinefnaframleiðendur hafa flestir hverjir fest kaup á þeim búnaði sem nauðsynlegur er til að mæla kleyfnistuðul. Þannig geta þeir sjálfir athugað hvort framleiðslan er innan þeirra marka sem fram koma í Efnisgæðaritinu, eða hvort ástæða sé til að breyta framleiðsluferlinu. Hér að neðan er evrópsku lögunarmælingunum lýst nánar.

1.9.1 Kleyfnistuðull (e. *Flakiness Index*), ÍST EN 933-3

Þessi prófunaraðferð felst í því að sigta steinefnasýni á röð ferningssigta og ákvarða síðan með sigtun á stafsigtum hversu stór hluti hvers kornastærðarbils telst kleyfinn. Teikningin á mynd 31 lýsir aðferðinni nánar.



d/D	D/2
63,0/80,0	40,0
50,0/63,0	31,5
40,0/50,0	25,0
31,5/40,0	20,0
25,0/31,5	16,0
20,0/25,0	12,5
16,0/20,0	10,0
12,5/16,0	8,00
10,0/12,5	6,30
8,00/10,0	5,00
6,30/8,00	4,00
5,00/6,30	3,15
4,00/5,00	2,50

SKÝRINGAR:

1 Ákveðin kornastærðarbil sigtuð á ferningssigtum, d/D.

2 Sömu kornastærðarbil sigtuð á stafsigtum sem hafa bilið D/2 á milli rimla.

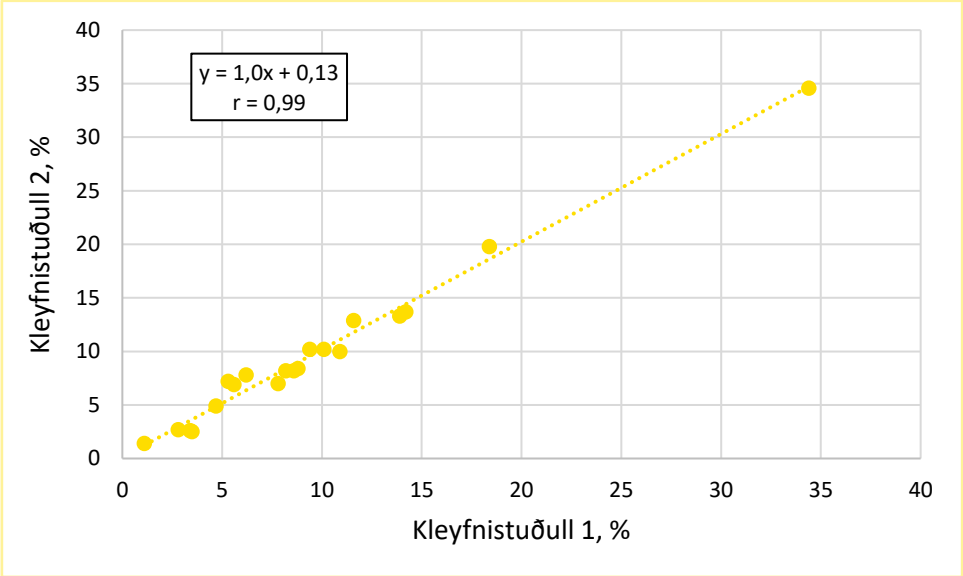
Mynd 31
Framkvæmd mælingar á kleyfnistuðli

Kornalögunarmælingin felst í því að reikna út þyngdarhluta þess efnis af heildarsýninu sem smýgur tiltekið stafsigti á hverju kornastærðarbili. Með því móti fæst góð hugmynd um hversu hátt hlutfall sýnisins getur talist flögótt, eða kleyfið. Til dæmis má taka að sýni sem situr á milli 8,0 og 10,0 mm ferningssigta er sigtað á 5,0 mm stafsigti, sýni á milli 10,0 og 12,5 mm er sigtað á 6,3 mm stafsigti o.s.frv. Kleyfnistuðullinn (e. *Flakiness Index, FI*) er síðan reiknaður sem vegið meðaltal þyngdarhluta sýnis sem smýgur gegnum hvert stafsigti. Benda má á að aðferðin mælir ekki beint hlutfallslengd langáss kornanna, heldur einungis hlutfall skammáss miðað við miðás. Því kemur í raun ekki fram hvort kleyfnu kornin sem mælast eru plötulaga eða staflaga, nema að því leyti sem ferningssigtin takmarka streymi plötulaga korna í stærðarflokkinn sem um ræðir. Mynd 32 sýnir steina á stafsigti og er henni ætlað að gefa hugmynd um hvernig mælingin virkar. Þessir steinar hafa verið á milli 20 og 25 mm ferningssigta og smjúga ekki 12,5 mm stafsigti og teljast því ekki flögóttir, þ.e. ekki hlutfallslega flatir og/eða ílangir.



Mynd 32
Stafsigti til mælingar á kleyfnistuðli

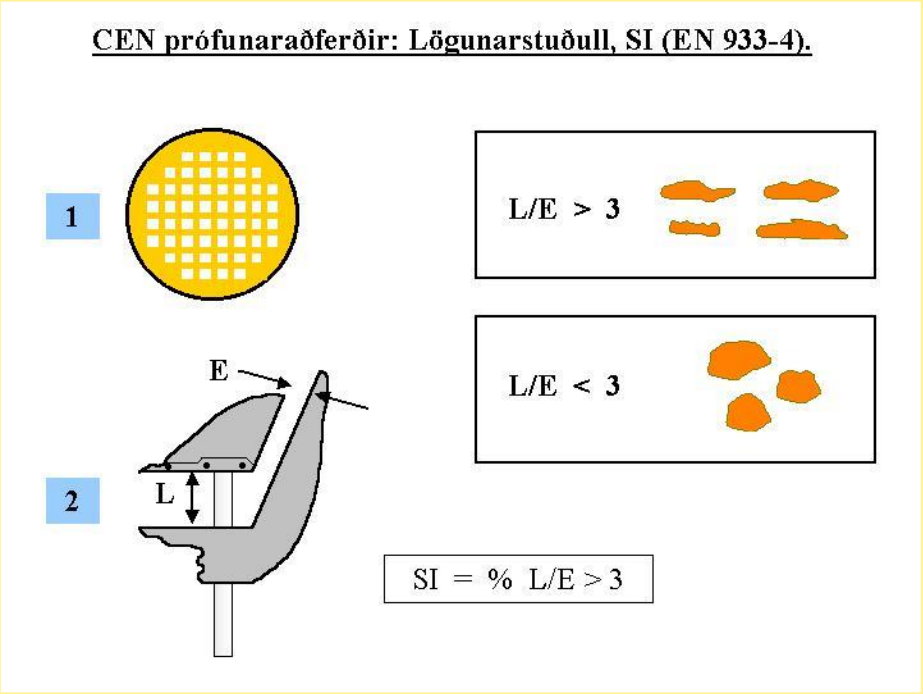
Þess má geta að steinefnabanki BUSL samstarfsins (20 sýni) var settur í tvö aðskilin próf á kleyfnistuðli (FI) og má segja að tengslin milli tveggja prófa hafi verið nánast fullkomin, sjá mynd 33.



Mynd 33
Tengslin milli tveggja prófa með kleyfnistuðuls aðferðinni

1.9.2 Lögunarstuðull (e. *Shape Index*), ÍST EN 933-4

Þessi prófunaraðferð felst í því að mæla ása einstakra korna og gefa upp hversu stór hluti hvers kornastærðarbils telst ílangur, það er að segja með langás sem er þrisvar sinnum lengri en skammás. Teikningin á mynd 34 að neðan lýsir aðferðinni nánar.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið er sigtað niður í ákveðið kornastærðarbil, d/D

2 Sýnið er flokkað niður í korn sem hafa hlutfall skammáss og langáss < 3 eða > 3

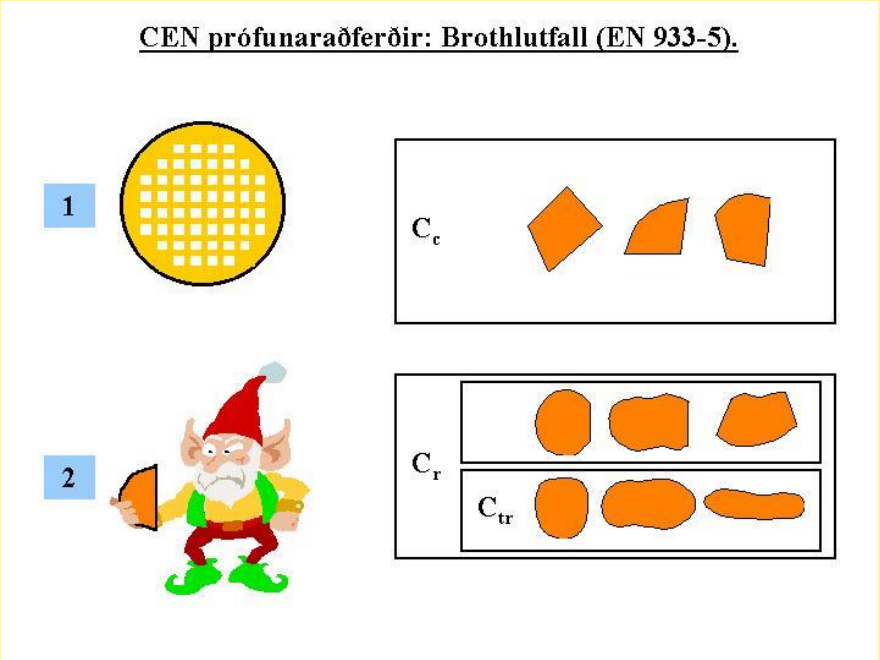
Mynd 34
Framkvæmd mælingar á lögunarstuðli

Kornalögunarmæling með SI aðferðinni felst sem sagt í því að gefa upp hversu stór hluti sýnis (þyngdarhlutfall) hefur langás sem er þrisvar sinnum stærri en skammás. Mæld eru a.m.k. 100 korn af hverjum stærðarflokki, en það gildir að stærðarflokkar skuli ekki vera víðari en svo að $D \leq 2d$. Það má hugsa sér að þröngur kassi um hvert efniskorn hafi þrjár hliðar (hæð, breidd og lengd) og er þá lengsta hliðin langás og sú stysta skammás.

Aðferðin er tiltölulega einföld og þarfnast ekki flókins tækjabúnaðar, en gefur samt hugmynd um kornalögun efnis í námu (eða haug) og hentar því vel til frumrannsókna.

1.10 Brothlutfallsmæling, ÍST EN 933-5

Flokkuðu malarefni af greinanlegri stærð (> 4 mm) er skipt niður í fjóra flokka eftir því hversu mikill hluti af yfirborði korns er brotinn. Teikningin á mynd 35 lýsir aðferðinni nánar.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið er sigtað niður í ákveðið kornastærðarbil, d/D.

2 Einstök korn eru skoðuð m.t.t. brotflata og metið hvort þau eru: i) alveg brotin (Ctc vantar á myndina), ii) að meirihluta brotin (Cc á myndinni), iii) alveg núin (Ctr á myndinni) og iv) að meirihluta núin (Cr á myndinni).

Mynd 35
Framkvæmd mælingar á brothlutfalli

Eins og sést á teikningunni eru korn fyrst flokkuð í annars vegar brotin korn (> 50% af yfirborði brotin) og hins vegar núin korn (< 50% af yfirborði brotin). Því næst eru brotin korn metin með tilliti til þess hvort þau flokkist sem alveg brotin korn, þ.e.a.s. hvort meira en 90% af yfirborði þeirra séu brotin. Eins er farið með núin korn og metið hvaða korn flokkast sem alveg núin, þ.e.a.s. hvort meira en 90% af yfirborði þeirra séu núin. Mælt er með því að meta a.m.k. 100 korn af hverjum stærðarflokki, en það gildir jafnframt að stærðarflokkar skuli ekki vera víðari en svo að D ≤ 2d. Mynd 36 sýnir núin korn (til vinstri) og brotin korn (til hægri).



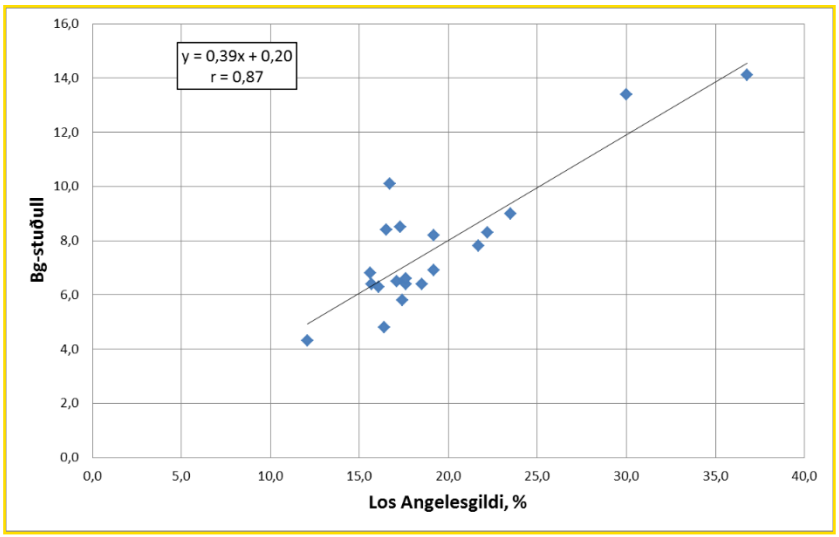
Mynd 36
Brothlutfall steinefna, núin og óbrotin vinstra megin og brotin hægra megin

Í framleiðslustöðlum fyrir steinefni er niðurstaða brothlutfallsmælingar gefin upp sem Cx/y, þar sem x er hlutfall steina sem eru að meirihluta brotnir (> 50% yfirborðs) og y er hlutfall alveg rúnnaðra steina. Einnig er í sumum tilfellum lýst yfir hversu mikill hluti malar sem er metin að meirihluta brotinn skuli vera albrotinn (> 90% yfirborðs).

Benda má á að korn sem flokkuð eru sem alveg brotin (til hægri) eiga það til að vera „sljó", þ.e.a.s. brotfletirnir geta hafa núist nokkuð við vinnsluferlið í brjóti og við aðra vinnslu (sigtun, ámokstur o.s.frv.). Aðferðin á þó ekki við um malað berg, þar sem slík vinnsla telst að fullu brotin.

1.11 Styrkleikapróf

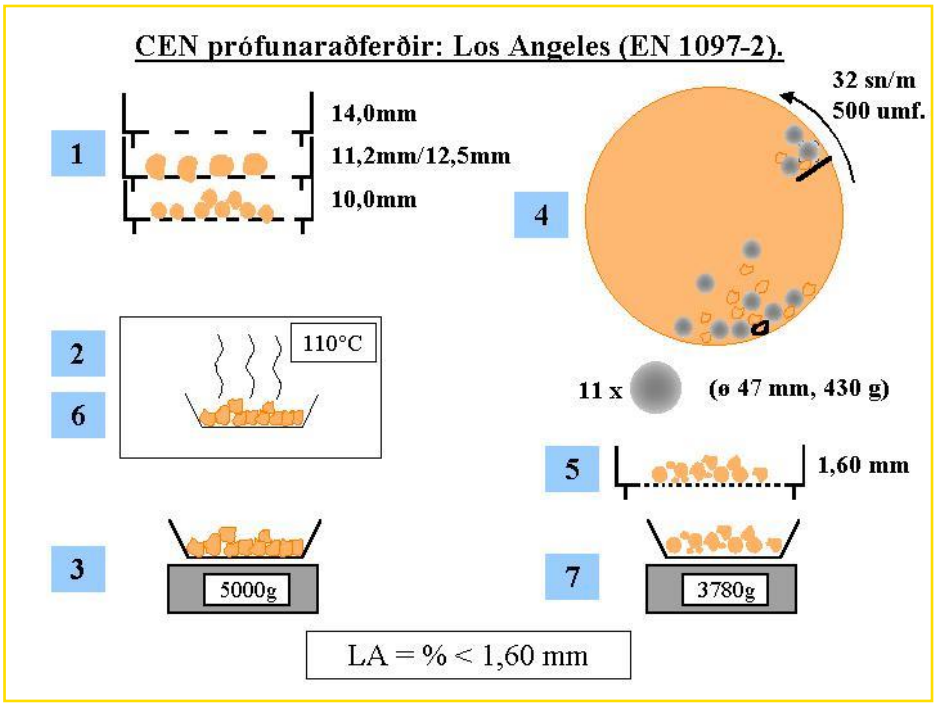
Hérlendis hafa um nokkurra ára skeið verið notuð tvenns konar próf til að meta styrk steinefna, annars vegar Los Angeles próf, skv. Evrópustaðli, sem er þá viðmiðunarprófið og hins vegar Bg-stuðull í vissum tilfellum. Aðferðirnar eru nokkuð ólíkar en engu að síður hafa íslenskar rannsóknir á steinefnabanka Efnisgæðanefndar BUSL sýnt fram á að sambandið milli LA- og Bg-stuðuls er nokkuð sterkt, eins og sjá má á mynd 37. Það er þó ekki alveg afgerandi þar sem tveir punktar (með tiltölulega há gildi) stjórnar legu aðfallslínunnar mikið.



Mynd 37
Samband LA-gildis og Bg-stuðuls

1.11.1 Los-Angelespróf, ÍST EN 1097-2

Prófunaraðferðin er notuð til að mæla styrk flokkaðs steinefnis og er kornastærðin á milli 10,0 til 14,0 mm notuð í prófið. Jafnframt kemur fram í prófunarstaðlinum að 30-40% sýnis skuli smjúga 11,2 mm sigtið eða 60-70% sýnis skuli smjúga 12,5 mm sigti. Teikningin á mynd 38 lýsir prófunaraðferðinni nánar.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið flokkað á 10 og 14 mm sigti (með 11,2 eða 12,5 mm millistigi).

2 Ofnþurrkað við 110°C.

3 U.þ.b. 5000 g vigtuð nákvæmlega.

4 Prófun í Los Angeles tromlu.

5 Sigtað á 1,6 mm sigti (oft þurrsigtað, en staðallinn gerir ráð fyrir þvotti).

6 Það sem situr á sigtinu er ofnþurrkað (sleppt ef þurrsigtað).

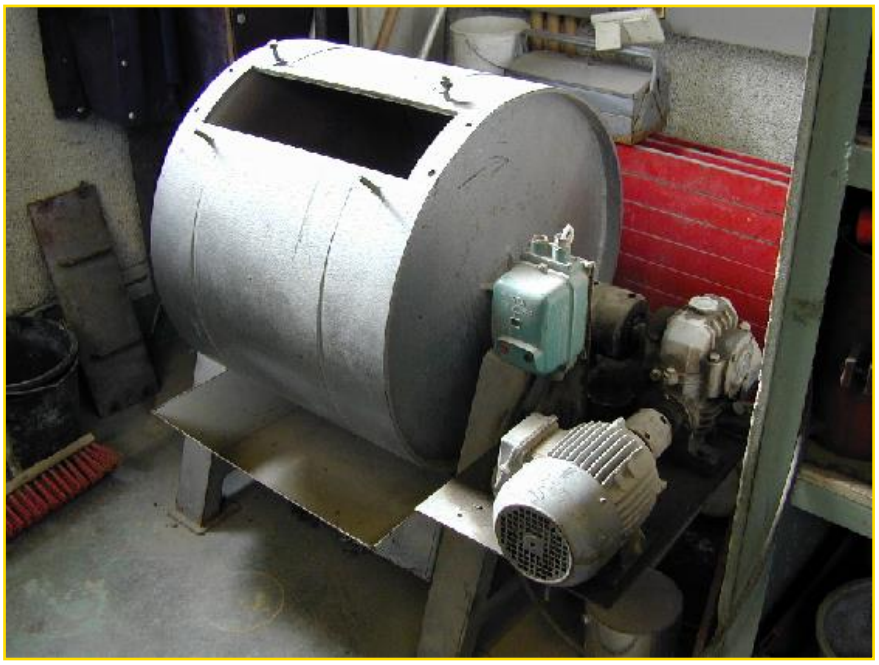
7 Vigtað og reiknað % < 1,6 mm.

Mynd 38
Framkvæmd mælingar á LA-gildi.

Steinefnasýnið er þurrkað og skal heildarþyngd þess vera um 5000 g. Það er sett í tromlu (sjá mynd 39) ásamt 11 stórum stálkúlum sem hver um sig vegur 400 til 445 g (ekkert vatn). Tromlunni er snúið 31-33 snúninga á mínútu, alls 500 snúninga. Eftir prófun er sýnið fjarlægt úr tromlunni og þvegið á 1,6 mm sigti. Sá hluti sem situr eftir á 1,6 mm sigtinu er þurrkaður og vigtaður. Prófunarniðurstaðan (LA) er reiknuð sem þyngdarhlutfall sýnis sem smýgur 1,6 mm sigti. Oftast er brugðið frá þessari aðferð með þeim hætti að sýni er þurrsigtað beint úr tromlunni í stað þess að votsigta. Sú aðferð er talin gefa sambærilega niðurstöðu við votsigtun í flestum tilfellum, en ef efnið vill sjáanlega loða saman ber að votsigta samkvæmt Evrópustaðli.

Á mynd 39 er ljósmynd af tromlu sem snýst með sýnið og stálkúlurnar. Fyrir neðan tromluna sést bakki sem notaður er til þess að sturta í sýninu sem hefur molnað niður að hluta og stálkúlunum

sem valda höggárauninni. Eftir próf eru kúlurnar skildar frá sýninu, fínefnamulningurinn sigtaður frá og niðurstaðan gefin upp sem þungatap sýnis.



Mynd 39
Los Angeles tromla

1.11.2 BG-modified stuðull á staðlaðri kornakúrfu (ekki Evrópustaðall)

Notuð er breytt (e. *modified*) proctor þjöppun við mælingu á Bg-stuðli, en hún felur í sér meiri höggþunga og höggafjölda en staðal (e. *standard*) aðferðin og veldur þar með meira niðurbroti steinefna. Mynd 40 sýnir Proctor hamar og mót sem notuð eru við framkvæmd Bg-prófsins, en lýsing á proctorprófi er í kafla 2.4 hér að neðan.



Mynd 40
Proctor hamar notaður til þjöppunar á sýni í Bg-próf

Stuðullinn byggist á samanburði á staðlaðri lokaðri og fínefnalausri kornakúrfu (svokölluð Füller kúrfa) sýnis sem sett er í prófið við 6% rakastig og samanlögðum hluta sýnis sem brotnar niður á hverju sigti fyrir sig við áraunina. Kornakúrfan sem er samsett og þekkt er sem sagt borin saman við kornakúrfu sem tekin er eftir að proctor-hamarinn hefur mulið sýnið niður að hluta. Mismunur á þyngdarhlutfalli ($\triangle p$) á hverju sigti er fundinn, þ.e.a.s. summa allra neikvæðra eða jákvæðra gilda, $\triangle p$, og gefið upp sem Bg-stuðull. Á mynd 41 er sýnd dæmigerð niðurstaða úr Bg-stuðuls prófi.

Eftir því sem steinefnasýni er veikara verður munur á kornakúrfunum fyrir og eftir próf meiri og Bg-tölugildið hærra. Sýnt hefur verið fram á sterka fylgni milli niðurstaðna úr LA-prófi og Bg-prófi eins og fram kemur hér að ofan. Það er þó talinn vera góður kostur að geta valið á milli aðferðanna eftir kornastærð þess efnis sem nota á í vegbyggingu.

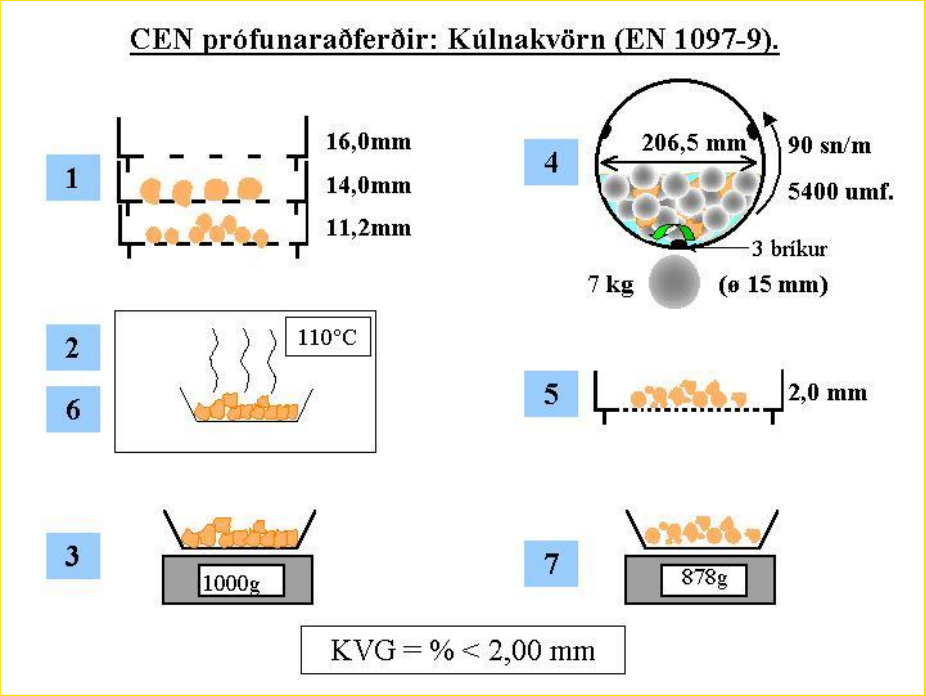


Mynd 41
Niðurstaða úr Bg prófi

Það á samkvæmt Evrópustaðli að nota LA-prófið til að meta styrk steinefna sem ætluð eru til dæmis í flokkaða klæðingu en Bg-prófið kemur jafnframt til álita þegar um er að ræða mat á steinefni í burðarlög vega. Þá er átt við að kornadreifing sýna sem prófuð eru í LA-prófinu er nokkuð svipuð þeirri kornastærð sem notuð er til dæmis í flokkaða klæðingu, en kornadreifing sýna sem prófuð eru með Bg-prófi er ekki ósvipuð þeirri sem notuð er í burðarlög vega. Sýni í LA prófi er þurrt en rakt í Bg prófi. Rakastig getur haft afgerandi áhrif á styrk ummyndaðra og mjög ummyndaðra steinefna þannig að rök steinefni mælast með lægri styrk en þurr steinefni. Af þessari ástæðu getur verið ástæða til að gera bæði LA próf á ummynduðu steinefni og Bg próf þar sem rakastig steinefnis úti í vegi getur legið á bilinu 5-10%.

1.12 Kúlnakvarnarpróf, ÍST EN 1097-9

Kúlnakvarnarprófið er sænskt að uppruna og var hannað séstaklega með það í huga að líkja eftir áraun nagladekkja á bundin slitlög. Teikningin á mynd 42 lýsir aðferðinni nánar.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið flokkað á 11,2 og 16 mm sigti með 14 mm millisigti.

2 Ofnþurrkað við 110°C.

3 U.þ.b. 1000 g vigtuð nákvæmlega.

4 Prófað í kúlnakvörninni.

5 Votsigtað á 2 mm sigti.

6 Efni > 2 mm ofnþurrkað.

7 Vigtað og reiknað % < 2 mm.

Mynd 42
Framkvæmd mælingar í kúlnakvörn

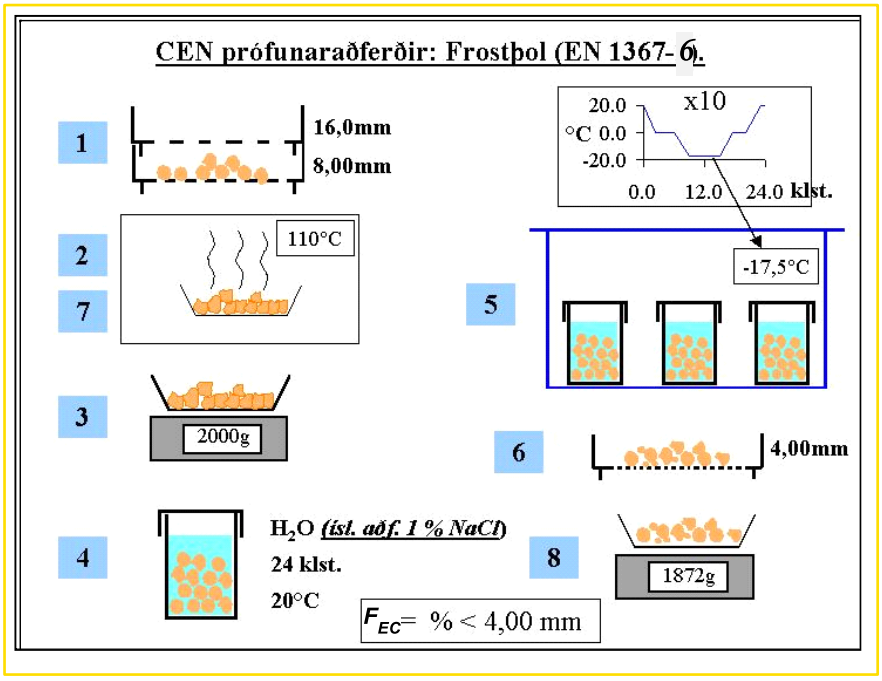
Eins og sést á myndinni er prófið byggt á því að setja sýnið, ásamt stálkúlum (7.000 g af kúlum sem eru 15 mm í þvermál) og vatni, í tromlu sem snýst með 90 sn./mín. hraða í alls 5400 umferðir. Við það verður sýnið fyrir núningsáraun sem slítur því. Jafnframt á sér stað svolítil högg- eða hoppáraun sem orsakast af þremur bríkum sem eru langsum á innra borði tromlunnar. Það er þó mun minna högg en orsakast í Los Angelesprófinu og því er með réttu hægt að kalla kúlnakvarnarprófið slitþolspróf og LA-prófið styrkleikapróf. Mynd 43 sýnir búnaðinn sem notaður er í kúlnakvarnarprófi. Á myndinni sést tromlan á hjólunum sem hún snýst á, en við prófun liggur tromlan lárétt á hjólunum. Á bakkanum undir kvörninni sjást stálkúlurnar sem mynda áraunina í prófinu. Kúlnakvarnargildið er reiknað sem hlutfall sýnis sem smýgur 2 mm sigti eftir að prófun er lokið.



Mynd 43
Kúlnakvörn

1.13 Frostþolspróf, ÍST EN 1367-6

Prófunaraðferðin frostþolspróf í saltvatni, sem hefur öðlast gildi sem Evrópustaðall, ÍST EN 1367-6 var þróuð af Pétri Péturssyni í samstarfi við Vegagerðina og Nýsköpunarmiðstöð Íslands (áður Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins). Starfið hófst að frumkvæði Steinefnanefndar og var síðar fram haldið af efnisgæðanefnd BUSL samstarfsins en sú nefnd var að miklu leyti kostuð af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar. Prófið er í megindráttum útfært á sama hátt og sambærilegt ferskvatnspróf (ÍST EN 1367-1), en þó með þeirri mikilvægu undantekningu að notuð er 1% saltlausn til prófunar á sýni í stað fersks vatns. Evrópskar samanburðar-rannsóknir (FRAS-verkefnið) leiddu í ljós að sáralítið niðurbrot á sér stað í öllum tilfellum ef ferskvatn er notað í prófinu. Á hinn bóginn kemur fram mikill munur á niðurbroti milli mis-frostþolinna efna í 1% saltlausn og má segja að þær niðurstöður hafi veitt prófunaraðferðinni brautargengi innan viðkomandi Evrópustaðla-nefndar. FRAS skýrsluna má finna á vefslóðinni: http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/2004_frostthol_Nordtest/$file/FINAL-FRAS-270904.pdf. Teikningin á mynd 44 sýnir útfærslu aðferðarinnar.



SKÝRINGAR:

1 Sýnið flokkað á milli 8 og 16 mm sigta.

2 Ofnþurrkað við 110°C.

3 U.þ.b. 3 x 2000 g vigtuð nákvæmlega.

4 Sett í þrjár dósir með 1% NaCl í 24 klst.

5 Sýni verður fyrir 10 frost/þíðu sveiflum, +20/-17,5°C.

6 Sýni þvegið á 4 mm sigti.

7 Efni > 4 mm ofnþurrkað.

8 Vigtað og reiknað % < 4 mm.

Mynd 44
Framkvæmd mælingar á frostþoli

Eins og sjá má á skýringarmyndinni felst prófið í því að setja 8/16 mm steinefnasýni í dós með 1% saltlausn og athuga hvort efnið brotnar niður við endurteknar frost/þíðu-sveiflur. Það er gert með

því að sigta og vigta steinefnasýnið fyrir prófun og aftur eftir prófun á 4 mm sigti (d/2) og reikna út þungatapið sem á sér stað vegna molnunar.

Mynd 45 sýnir frost/þíðu-skáp og dæmigerðar sýnadósir. Frostþolsgildið F_{EC} (e. Extreme Conditions, EC) reiknast sem hlutfall sýnis sem smýgur 4 mm sigti eftir að frost/þíðu-áraun er lokið.



Mynd 45
Frost/þíðu skápur með sýnadósum

1.14 Viðloðunarpróf

Ýmsar gerðir viðloðunarprófa fyrir bikbundin slitlagsefni (klæðingu/malbik) hafa verið í notkun með misgóðum árangri. Hérlendis hafa verið prófaðar ýmsar útfærslur síðustu áratugina, svo sem hrærslupróf, rúlluflöskupróf, suðupróf, Vialit-Plate höggpróf og fleira. Steinefnanefnd stóð fyrir umfangsmiklum rannsóknum á viðloðunarprófum á 9. áratug síðustu aldar og komst að þeirri niðurstöðu að nota gamla hrærsluprófið (með vegolíu og diamin viðloðunarefni) áfram fyrir klæðingarefni með hvítspíraþynntu bindiefni (þunnbiki). Segja má að gamla prófið hafi gefið nokkuð góða mynd af viðloðunarhæfni steinefna við þunnbik og því hafi það verið notað nær eingöngu fyrir þá gerð klæðinga. Vialit-Plate höggprófið var hins vegar talið henta betur en hrærsluprófið til að meta viðloðun steinefna við bikþeytu og var notað í þeim tilgangi framan af þegar tilraunir með bikþeytuklæðingar fóru fram hérlendis. Á síðustu árum hafa svo komið til sögunnar ný mýkingarefni og viðloðunarefni til notkunar í klæðingar (þjálbik) sem kölluðu á breytingar á hrærsluprófinu, sem leiddi til þróunar á raunblönduprófi. Nánar verður fjallað um þessar þrjár aðferðir til að meta viðloðun klæðingarefna, sem sagt gamla hrærsluprófið, raunblöndu-hrærslupróf og Vialit-Plate höggpróf.

1.14.1 Hrærslupróf á viðloðun (gamla aðferðin)

Hrærsluprófi er ætlað að segja fyrir um hæfi steinefnasýnis til að halda viðloðun við bindiefni eftir áraun við hrærslu. Steinefni, vegolíu og föstu viðloðunarefni er blandað saman í skál og síðan hrært í vatni í 1 klst. í sérstakri hrærivél. Þakning steinaúrtaks af bindiefni er síðan metin og gefin upp sem hlutfallsleg meðalþakning (%) heildarsýnis. Prófinu er ætlað að segja til um viðloðunarhæfni steinefna í þunnbiks-klæðingu. Mynd 46 sýnir hrærivél sem notuð er við prófun og mynd 47 sýnir steinefnasýni eftir próf en í þessu tilfelli er viðloðun metin 95-100%.



Mynd 46
Hrærivél sem notuð er við prófun á viðloðun með hrærsluprófi

Í prófinu er mulningurinn fyrst bleyttur og síðan blandað vandlega saman við fínefnið þannig að ef fínefnið er mjög áleitið sest það á steinana. Síðan er allt efnið hrist á 16 og 4 mm sigtum. Það sem

verður eftir milli þessara sigta er þurrkað í ofni við 110 + 5°C þar til efnið er orðið þurrt.

Sett eru 3,0 kg af steinefninu í hrærivélaskálina, bætt 90 g af köldu vatni út í og hrært þar til vatnið (3% raki) er jafndreift um allt efnið. Hrærivélarspaði er hafður í innra gati. Blandað er saman 90 g af vegolíu og 0,9 g af föstu diamíni (viðloðunarefni) í bikarglasi og hitað upp í 80°C og þess gætt að allt amínið bráðni. Passa þarf að hitinn fari ekki yfir 80°C því þá er hætta á að amínið eyðileggist. Hrærivélin er sett í gang og olíunni hellt rólega saman við mölina. Mikilvægt að öll olían renni úr glasinu. Hrært í nokkrar mínútur, þar til mölin er vel þakin. Ef mölin þekst ekki öll á að geta þess í niðurstöðu. Næst er 3 lítrum af 22°C heitu vatni hellt í skálina og hrært í 60 mín. Ef efnið er gott á hrærsluvatnið að vera tært eftir hrærslu og skal þess getið í niðurstöðu.

Eftir prófið er tekið sýni á bakka og látið þorna við herbergishita um stund, sjá mynd 47. Ef mölin er ekki öll vel þakin á að velja af handahófi 20 steina af ýmsum stærðum úr sýninu og meta þakninguna á þar til gerðu spjaldi. Vegin meðalþakning er síðan reiknuð út.



Mynd 47
Sýni úr hrærsluprófi, þakning mikil

Þvottur á steinefni fyrir próf bætir oft viðloðun. Ef áhugi er fyrir vitneskju um hvort fínefni spilli viðloðun (þ.e.a.s. hvort hægt væri að bæta viðloðun efnis úr námu með þvotti) skal endurtaka prófið á þvegnu sýni. Ávalt skal sáldurgreina sýni sem fer í viðloðunarpróf áður en flokkun þess fyrir prófið hefst.

1.14.2 Hrærslupróf á viðloðun (raunblönduprófi)

Raunblönduprófi er í megindráttum svipað og hrærsluprófið sem lýst er hér að ofan, en þó með þeirri megin breytingu að notuð eru þau efni sem til stendur að nota hverju sinni (í stað vegolíu og fasts diamins). Til þess að unnt sé að gera hrærslupróf á raunblöndum þurfti að breyta einstökum útfærsluþáttum, t.d. að hita hrærivélarskál áður en próf fer fram. Skrifuð var ítarleg verklýsing fyrir raunblönduprófi í tengslum við verkefni um rannsóknir á klæðingarefnum, sjá skýrslu á slóðinni:

http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Klaedingar_ranns_throun_profunaradf/$file/Klaedingar_ranns_throun_profunara%C3%B0f.pdf

Hér á eftir er birtur úrdráttur úr verklýsingunni til glöggvunar.

Ávallt skal kanna kornadreifingu sýna sem setja á í raunblönduprófi, skv. ÍST EN 933-1 og gefa upp magn < 4 mm og magn < 0,063 mm á eyðublaði um niðurstöður, auk þess að kornakúrfa fylgi með raunblönduprófi á sérstöku eyðublaði.

Steinefnasýnið er grófsigtað á sigtum 4 mm og 16 mm og það sem verður eftir á milli þessara sigta, u.þ.b. 3.500-4.000 g, er þurrkað í ofni við 110°C yfir nótt eða þar til efnið er orðið þurrt. Síðan er steinefnið látið kólna niður í herbergishita, hrist aftur á 4 og 16 mm sigtum og vigtuð 3 kg af steinefninu. Þá er sýnið tilbúið til prófunar.

Mæla skal 90 g af vatni og setja í bikarglas, svo og 3 l af vatni við 22°C og setja í fötu. Hrærsluskálina skal setja í þurrkofn og hita við 110°C í 40 mín. að lágmarki. Hún er svo tekin út rétt áður en steinefnið er sett í hana og réttu hitastigi bikblöndu hefur verið náð.

Þegar útbúa skal bindiefni með olíum eða esterum til mýkingar á bindiefninu (repjuolíu, esterum unnum úr lýsi eða öðru sambærilegu) er bikið hitað upp í 150 °C og síðan er mýkingarefninu bætt út í og hrært vandlega saman við. Ef nota á hvítspíra til þynningar er honum blandað í bikið við < 100°C þar sem hann er hvarfgjarnt efni.

Vega skal 90 g af bindiefni í bikarglasi og hita upp á rafhellu í 60°C, 0,81 g af viðloðunarefni bætt við (ef ætlunin er að magn viðloðunarefnis verði 0,9%) og blandað vel saman. Bindiefnið sem mýkt er með olíu eða esterum er hitað með viðloðunarefninu upp í 130°C, til að líkja eftir raunhitastigi við framkvæmd, og hrært í með glerstaf eða hitamæli. Ef um er að ræða bindiefni þynnt með hvítspíra skal hitastig blöndunnar vera 120°C. Ef notað er amín í föstu formi sem viðloðunarefni skal gæta þess að allt amínið bráðni.

Þegar bikblandan er að nálgast lokahitastig er hrærsluskálin tekin úr ofninum og henni komið fyrir í hrærivélinni. Síðan er steinefnið sett í skálina. Hrærivélin er svo sett í gang og 90 g af vatni bætt út í þar til steinefnið er allt orðið jafnrakt. Næst skal hella heitri bikblöndunni saman við steinefni við hrærslu. Mikilvægt er að öll bikblandan renni úr glasinu, en samt þarf að gera ráð fyrir því magni sem sest innan á glerið í upphafi. Hræra skal þar til sýnið er vel þakið, eða að hámarki í 8 mínútur. Þegar bindiefni hefur verið hrært saman við steinefnasýnið er 3 l af 22°C heitu vatni hellt í skálina og síðan er hrært í 1 klst. Eftir prófið er sýnið sett á bakka og látið þorna í a.m.k. 6 klst, eða þar til steinefni er yfirborðsþurrt.

Ef steinefnið er ekki allt vel þakið, en samt ekki alveg óþakið, skal velja af handahófi 20 steina úr sýninu og meta þakningu þeirra á hreinum bakgrunni, t.d. pappaspjaldi. Þakning hvers steins er

metin og vegin meðalþakning 20 steina er síðan reiknuð út og gefin upp í heilum og hálfum tugum. Ef þakning er > 90% þarf ekki að velja steina af handahófi, heldur meta þakningu beint í bakkanum. Sama gildir ef þakning er < 30%, en þá nægir að taka fram að svo sé.

Ávallt skal mæla kornadreifingu sýnis sem fer í viðloðunarpróf áður en flokkun þess fyrir prófið hefst. Í skýrslu um niðurstöður þurfa eftirfarandi atriði að koma fram:

- Tilvísun í verklýsing
- Upplýsingar um gerð bindiefnisblöndu
- Aðferð við sýnatöku ef þekkt, námuheiti og námunúmer
- Flokkunarstærð
- Magn efnis < 4 mm
- Magn efnis < 0,063 mm
- Þakning sýnis eftir hrærslupróf
- Númer rannsóknar
- Dagsetning og nafn rannsóknastofu
- Undirskrift (upphafsstafir rannsóknarmanns)

Auk þess skal kornakúrfa sýnis fylgja með raunblönduprófi á sérstöku eyðublaði.

1.14.3 Vialit plate-viðloðunarpróf, ÍST EN 12272-3

Prófið er ætlað sem viðloðunarpróf fyrir klæðingu með flokkuðu steinefni. Í raun er hægt að velja útfærslu eftir því hvað er áhugavert að skoða hverju sinni, t.d. áhrif þvottar steinefnis á viðloðun, áhrif viðloðunarefna, biktegundar o.s.frv. Samkvæmt staðlinum skal prófa þau steinefni og bindiefni sem nota á í viðkomandi útlögn og við aðstæður sem líkjast aðstæðum við útlögn. Steinefni hafa yfirleitt verið prófuð þurr og óþvegin hérlendis, en sú útfærsla er nefnd „mechanical adhesion“ í prófunarstaðlinum. Aðrar útfærslur eru þó í boði í staðlinum. Steinefni sem prófa á er þurrkað við 50°C í sólahring og þurrir steinar settir í plastpoka og geymdir í kæliskáp við 5°C í 24 tíma fyrir próf.

Hæfilegu magni af heitu bindiefni (umreiknað sem l/m^2) er dreift á 3 stálplötur sem eru 20 cm á kant. Síðan er steinefni raðað í bindiefnið við herbergishita, sem talinn er vera nægilega nálægt því sem gerist í raunveruleikanum að sumri til. Fjöldi steina sem prófaðir eru fer eftir steinastærð og eru til dæmis prófaðir 100 steinar ef steinefnið flokkast sem 8/11 mm en 50 steinar ef steinefnið flokkast sem 11/16 mm. Þegar steinum hefur verið raðað á plöturnar eru þær valtaðar og geymdar í sólarhring við herbergishita. Plöturnar með steinunum eru síðan prófaðar eftir 20 mínútur við 5°C í kæliskáp í Vialit plate búnaði, sjá mynd 48.



Mynd 48
Búnaður til að mæla viðloðun með Vialit plate-aðferðinni

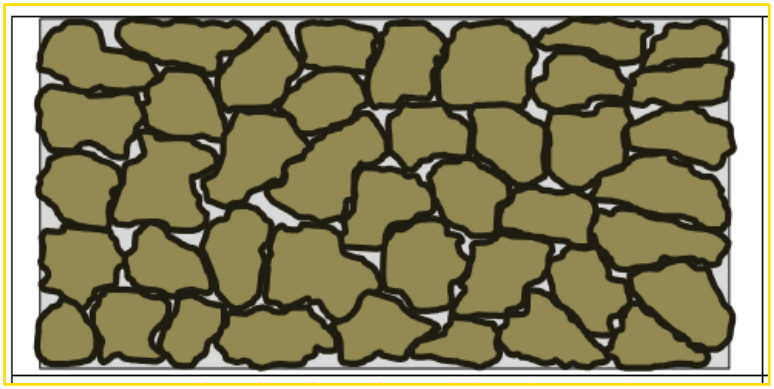
Prófunin fer þannig fram að hver plata er tekin úr kæliskáp, hún sett á hvolf ofan á þrjá pinna sem mynda statíf og 510 +/- 10 g kúla látin detta á botn plötunnar úr 50 cm hæð, þrisvar sinnum.

Eftir próf eru taldir þeir steinar sem hafa fallið án bindiefnis, þeir sem hafa fallið með bindiefni og að lokum þeir sem eru enn fastir á plötunni. VPT gildið er summa tveggja síðarnefndu talninganna í prósentum.

1.15 Próf á slípiþoli steinefna, ÍST EN 1097-8

Á undanförnum árum hefur borið nokkuð á því að malbik verði hált í bleytu, sérstaklega þegar líður á sumar. Þessa hefur sérstaklega orðið vart í hringtorgum þar sem umferð er tiltölulega hröð. Ekki þótti ástæða til að mæla sérstaklega þennan eiginleika steinefna, sem sagt að fágast undan umferð, þar sem talið var að nagladekkjanotkun á vetrum kæmi í veg slíka fágun svo nokkru næmi. Með aukinni umferð virðist þó að slípun (e. *polishing*) eigi sér stað yfir sumartímann og því raunveruleg hætta á að slitlög verði sleip af þeim sökum.

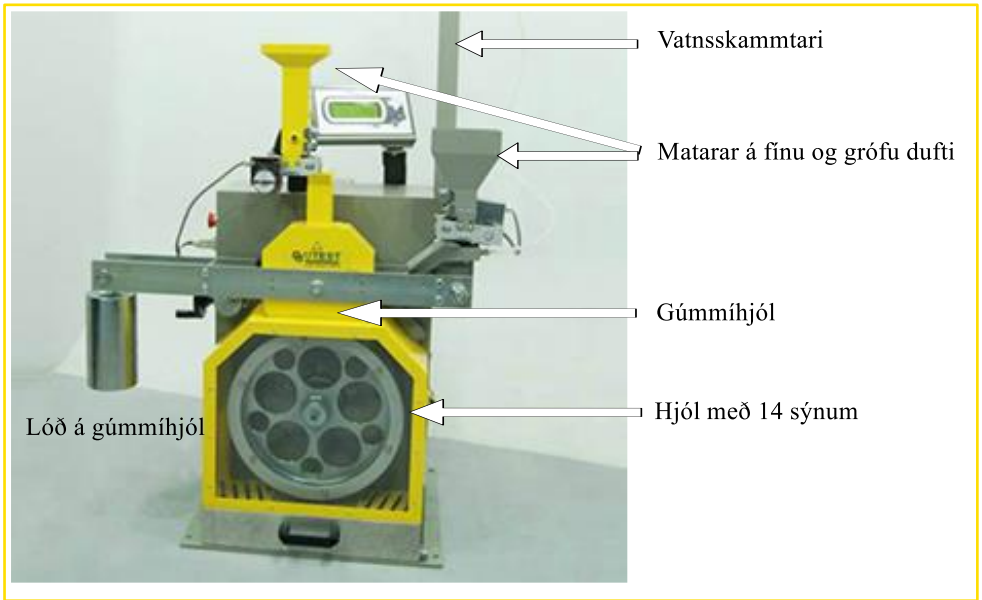
Prófunin á slípiþoli steinefna (e. *Polished Stone Value, PSV*) fer fram í nokkrum þrepum. Fyrst þarf að útbúa sýni með því að líma flokkað steinefni í platta sem síðan eru festir á stálhjól slípivélar. Í plattann er límt steinefni sem smýgur 10 mm ferningssigti en situr á 7,2 mm stafsigti. Steinunum er raðað í mótið þannig að þeir myndi nokkurn veginn yfirborð þar sem steinar snertast eins og best verður á kosið án þess að þeim sé raðað reglulega, sjá mynd 49 af fylltu móti hér að neðan. Þess er gætt að steinar liggi á þeirri hlið sem þeir leggjast best á. Síðan er mótið fyllt af fínum sandi að 2/3 hlutum og líðan er límið smurt yfir. Þegar límið er orðið hart er sýnið tekið úr mótinu og sandurinn fjarlægður.



Mynd 49
Dæmi um röðun steinefnis í mót við gerð prófsýnis

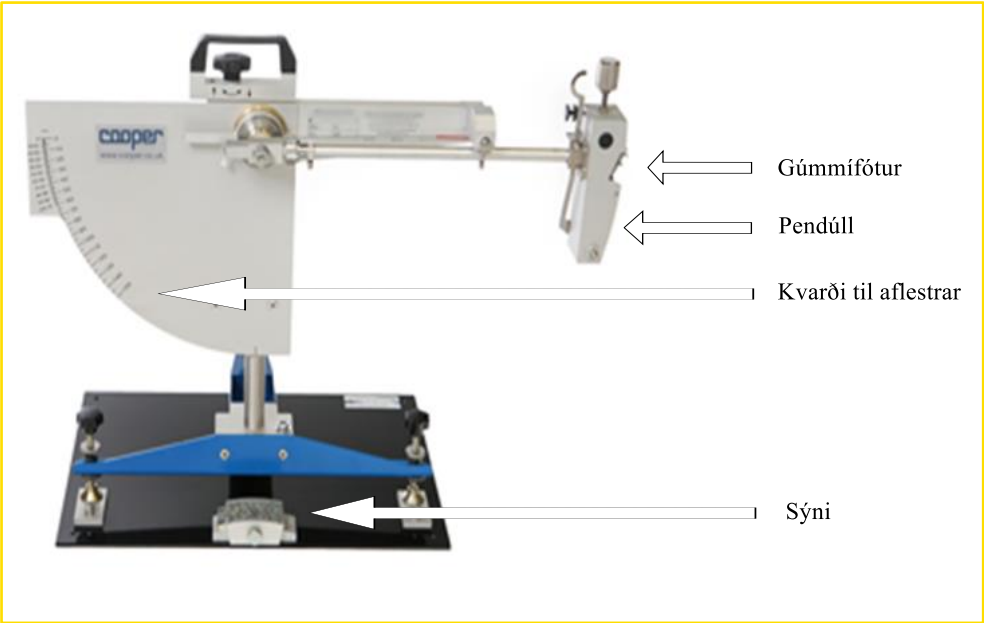
Þegar sýni eru tilbúin til slípunar er þeim raðað í sérstakt stálhjól í slípivélinni , sjá mynd 50 hér að neðan. Til að fylla stálhjólið af sýnum þarf að setja 2 x 6 sýnisplatta á hjólið auk tveggja viðmiðunarsýna, alls 14 platta. Þetta er endurtekið, þar sem prófa á fjögur hlutasýni til að fá niðurstöðu úr prófinu. Hver platti leggst utan á hjólið og er þannig í laginu að hann fellur alveg að stálhjólinu. Ofan á sýnin leggst gúmmíhjól sem er 200 mm í þvermál og 38 mm á breidd og er lagt 725 N álag á hjólið með lóði og eru sýnin þá tilbúin til slípunar.

Sýnin eru slípuð í tvennu lagi með stöðluðu slípiefni, fyrst með grófara slípiefninu (að mestu < 0,6 mm) og síðar með fínna slípiefninu (allt < 0,063 mm). Hvor slípun um sig tekur 180 mín og fer öll slípun fram í röku ástandi þar sem vatni er skammtað inn jafn óðum. Þessari meðhöndlun er ætlað að líkja eftir slípun sem á sér stað undan bíldekkjum.



Mynd 50
Vélbúnaður til að slípa steinefnasýni

Þegar slípun er lokið er komið að hinni eiginlegu prófun á sýnunum, þ.e.a.s. mælingu á því hversu sleip þau eru eftir ofangreinda meðhöndlun. Sú mæling fer fram með handvirku tæki og felst í því að sleppa pendúl, sem er útbúin með litlum, fjaðrandi gúmmífót, sjá mynd 51.



Mynd 51
Pendúll til að mæla hrjúfleika steinefnasýna

Þegar pendúlnum er sleppt úr láréttri stöðu ferðast hann yfir sýnið og snertir það á leiðinni upp hinu megin. Eftir því sem sýnið er hrjúfara ferðast pendúllinn styttri leið vegna bremsuáhrifa sýnisins. Kvarðinn byrjar því í 0, en það er gildið sem fæst ef engin fyrirstaða er fyrir hendi. Því hækkar talan eftir því sem steinefnasýnið er hrjúfara.

Þess skal getið að hvorki aðstaða né tækjabúnaður til að framkvæma þetta próf er til staðar hérlendis, enda var ekki talin ástæða til eins og fram hefur komið. Því þurfa framleiðendur íslenskra steinefna eða innflytjendur erlendra steinefna að fá slípiþolsprófanir (PSV) gerðar erlendis.

1.16 Próf á ljóstæknilegum eiginleikum steinefna (R210-115)

Prófuninni sem hér er lýst er fengin úr riti norsku vegagerðarinnar „*R210 Laboratorieundersökelser, 115 Lyshetsmåling, mars 2015*“. Aðferðin felst í því að mæla endurskin steinefnis í stærðarflokki 0,125 til 0,250 mm er mælt með sérstökum endurskinsmæli. Mælirinn er þannig kvarðaður að hvítur glerungur hefur 100% endurskin. Mynd 52 sýnir dæmi um útbúnað til að mæla endurskin.

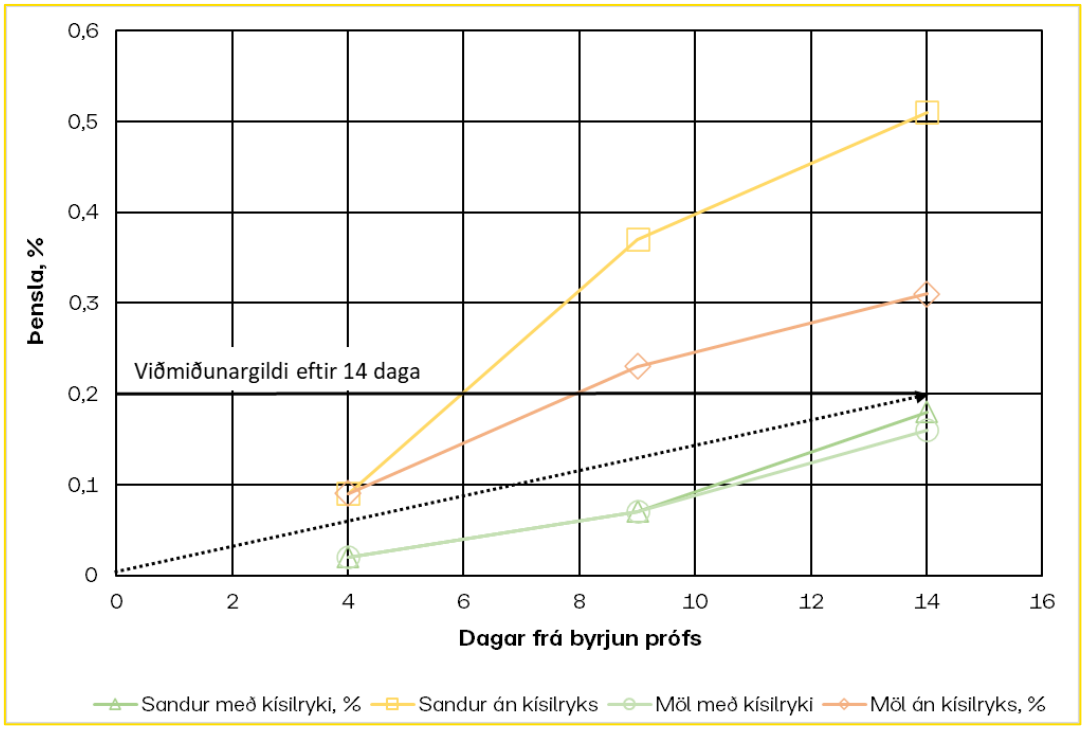


Mynd 52
Dæmi um búnað til að mæla endurskin steinefna

Mælingin fer í stuttu máli fram þannig að u.þ.b. 500 g af steinefni í stærðarflokki 0,125 til 0,250 mm er sett í mót og mælt tvisvar í þurru ástandi og meðaltal skráð. Steinefnið er síðan fjarlægt úr mótinu og sett í vatnsmettun. Því er síðan aftur hellt í mótið í blautu ástandi og mælt tvisvar. Meðaltal blautu mælinganna er svo sett fram sem Lblautt, eða endurskin steinefnis miðað við hvítan glerung. Ef meiru en 10% munar á milli hlutasýnanna skal endurtaka prófið.

1.17 Mæling á alkalívirkni steinefna í steypu.

Tvenns konar próf eru gerð til að meta alkalívirkni steinefna í steypu hérlendis. Annars vegar hraðpróf samkvæmt RILEM AAR-2 aðferðinni, þar sem steyptir strendingar með stöðluðu sementi eru geymdir í vítissóda (NaOH) upplausn við 80°C. Lengdarbreytingar strendinganna eru mældar eftir 4, 9 og 14 daga og gildir þá 14 daga mælingin sem krafa um leyfilega þenslu. Dæmi um niðurstöður úr hröðuðu alkalíprófi er sýnt á mynd 53.



Mynd 53
Dæmi um hraðalkalípróf samkvæmt RILEM AAR-2, með og án kísilryks

Ef sýnið fær minni þenslu en 0,2% eftir 14 daga telst það standast hraðprófið. Í dæminu sem sýnt er á mynd 53 standast sýni með kísilryki hraðprófið, en ekki þau sem eru án kísilryks.

Ef sýnið stenst hraðprófið er það yfirleitt látið duga og efnið er samþykkt. Ef ekki, er seinvirkara próf gert samkvæmt RILEM AAR-3 aðferðinni, en það tekur um það bil eitt ár í framkvæmd.

Mælingin sem gerð er í samræmi við RILEM AAR-3 aðferðina er fólgin í því að kanna hvort þensla eigi sér stað í steypu sem hrærð er með stöðluðu sementi og viðkomandi steinefni. Steypan er sett í mót og steyptir strendingar. Sýnin eru geymd í rakaklefa í sólarhring og eftir það eru þau tekin úr mótinu og lengd þeirra mæld. Strendingarnir eru svo geymdir við 37,8°C hita og lengd þeirra mæld eftir ákveðinn tíma (t.d. 6 og 12 mánuði). Lengdarmælingin fer fram við 23°C hita og skulu strendingarnir geymdir við það hitastig í a.m.k. 16 klst. áður en þeir eru mældir.

Steinefni teljast óvirk ef þensla múrstrendinga sem steyptir eru úr því og háalkalísementi er minni en 0,05% eftir 6 mánuði eða 0,1% eftir 12 mánuði skv. prófunaraðferð RILEM AAR-3.

Ef steinefni reynist virkt eftir prófun er notkun heimil ef þensla steypustrendinga sem steyptir eru úr því *með þeirri blöndu af steinefni og sementi sem til stendur að nota*, er minni en 0,05% (strangari kröfur en með stöðluðu sementi) eftir 12 mánuði samkvæmt prófunaraðferð RILEM AAR-3.

1.18 Saltmæling steinefnasýnis (Volhard), ÍST EN 1744-1, kafli 7

Þessi aðferð hentar fyrir steinefni þar sem klórinnihald á upptök sín vegna beinnar snertingar við saltvatn, t.d. sjávarefni. Aðferðin felst í títrun á vökva sem verður til við skolun á steinefnasýni. Notast er við svokallaða Volhard títrun þar sem silfurnítrati er bætt í klórlausnina í yfirmagni og það sem verður eftir óhvarfað er baktítrað með staðlaðri lausn af thiocyanate, þar sem ammonium járn (III) súlfat lausn er notuð sem vísir (e. *indicator*). Niðurstaðan er sett fram sem klórjónamagn sem hlutfall (%) af þunga steinefnis.

Undirbúningur sýna: Sýnataka skal vera samkvæmt ÍST EN 932-1 og gæta skal þess að sýnið hafi marktækt rakastig. Sýni er skipt samkvæmt ÍST EN 932-2 í hæfilega stærð samkvæmt prófunarstaðli. Prófsýni er þurrkað við 110°C þar til það hættir að léttast. Síðan er steinefnasýnið sigtað á 16 mm sigti og skipt í tvo hluta, hvor um 2 kg ef um gróft efni er að ræða, en 500 g ef um sand er að ræða.

Næst eru steinefnasýnin sett í hæfilega stórar flöskur af þekktri þyngd og vigtuð og síðan bætt við jafn miklu vatni og þyngd steinefnis í flöskurnar. Því næst eru flöskurnar með steinefnasýninu hristar eða rúllað í 60 mínútur og síðan er vökvinn síaður í gegn um meðalgrófan filterpappír þar til a.m.k. 100 ml hafa náðst í hæfilega stór bikarglös.

Framkvæmd: Teknir eru 100 ml af vökvanum í pípettu og flutt yfir í 250 ml tilraunaglas. Bætt er við 5 ml af saltpéturssýru (e. nitric acid) í glasið og síðan silfur nítrat lausn úr búrettu, þar til allt klóríð hefur fallið út og bætt þá við yfirmagni til að tryggja a.m.k. 3 ml títrun á thiocyanate lausn síðar.

Bætt er við 2 ml af 3.5.5-trimethylhexan-1-ol, settur tappi á og hrist rækilega. Losað er um tappann og allur vökvi skolaður af honum ofan í glasið. Bætt er við 5 ml af ammoníum járn (III) súlfat indicator lausn og síðan er staðlaðri thiocyanate lausn títrað út í úr búrettu uns greinileg og varanleg litabreyting á sér stað, sjá mynd 54. Sams konar mæling er endurtekin á hinu hlutasýninu.



Mynd 54
Títrun

Útreikningar: Reiknað er út klórmagnið C í steinefninu samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$C = 0{,}003546W \{V_5 - (10 \times c_T \times V_6)\} \text{ (í \%)}$$

Þar sem:

V_5 er rúmmál silvur nítrat lausnar (í millílítrum);

V_6 er rúmmál staðlaðrar thiocyanate lausnar (í millílítrum);

c_T er styrkur staðlaðrar thiocyanate lausnar (mól per lítri);

W er hlutfall vatns/steinefnis (grömm/grömm)

Niðurstaða prófsins er meðaltal tveggja hlutasýna og gefin upp sem hlutfall (%) með þrjá aukastafi (0,001%).

2 JARÐTÆKNILEG PRÓF

2.1 Kónpróf, ÍST EN ISO 17892-6

Kónpróf (e. *Fall cone test*) er gert til að mæla efniseiginleika (skúfstyrk) fínkorna jarðefnis í ódreneruðu ástandi. Prófið er reynslupróf og byggst á því að keila af ákveðinni stærð (ákveðið topphorn) og þyngd er látin síga ofan í sýnið sem prófað er, sjá mynd 55 af tækjabúnaði. Niðurstaðan, þ.e.a.s. skúfstyrkur efnisins, er lesinn úr töflum. Keilunni er komið fyrir þannig að hún rétt snerti yfirborð sýnisins og síðan er henni sleppt og sigið mælt. Prófið er líka gert til að kanna næmi jarðefnis fyrir fínkorna efni, s.s. leir, þannig að efnið er annars vegar prófað í óhreyfðu sýni og hins vegar eftir að sýnið hefur verið hrært upp og þjappað aftur.



Mynd 55
Kónpróf, tækjabúnaður

Skúfstyrkstap efnisins við þetta segir til um næmi efnisins, eða hversu viðkvæmt það er fyrir því að vera hreyft úr því ástandi sem það er í við náttúrulegar aðstæður.

2.2 CBR-próf, ÍST EN 13286-47

Þessi prófunaraðferð (e. *Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 47: Test method for the determination of California bearing ratio, immediate bearing index and linear swelling*) er notuð til að meta hlutfallslega burðareiginleika efnisins sem prófað er, sem sagt eiginleika þess samanborið við eiginleika staðlaðs efnis frá Kaliforníu í Bandaríkjunum (e. *California Bearing Ratio, CBR*). CBR-prófið er framkvæmt þannig, að fyrst er gert proctorpróf á efninu, þar sem fundið er hagstæðasta rakastig þess (W_{obt}) miðað við „standard" proctor þjöppun (sjá lýsingu á proctorprófi). Sýnið er síðan þjappað við rakastigið: W_{obt} eða $W_{mettað}$ – 3%. Í raun er prófið oft framkvæmt þannig að sýnið er þjappað við þrenns konar rakainnihald og CBR-próf gert á öllum þremur rakastigunum, þ.e.a.s. proctor- og CBR-prófunum er slegið saman. Mynd 56 sýnir uppstillingu mælibúnaðar við ákvörðun CBR-gildis.



Mynd 56

Mælibúnaður við ákvörðun CBR- gildis

Sýni er þjappað í hólk sem er 152 mm í þvermál (sérstaklega gerð fyrir CBR-próf) með Standard Proctor þjöppun. Eftir að sýni hefur verið þjappað í mótið er lagt lóð ofan á það til að líkja eftir þunga efri laga vegar og það sett í 96 klukkustunda bleyti áður en mælingin er framkvæmd. Prófunin fer því fram á efninu í mettuðu ástandi. Sjálf mælingin gengur út á að mæla hversu mikið álag þarf til að sökkva stálstaut af ákveðinni stærð og með hraðanum 1 mm/mín í þjappað efnið. CBR gildið er vanalega lesið af við tvær dýptir stautsins, þ.e.a.s. við 2,54 og 5,08 mm og það gildi sem er hærra er skráð.

CBR-prófið er gert á efninu eins og það kemur fyrir, en þó er efni sem er grófara en 22,4 mm sigtað frá. Niðurstaðan er svo borin saman við hversu mikið álag þurfti til að þrýsta sambærilegum staut jafn langt með sama hraða í staðlað efni (sandur úr sprengdu bergi). CBR gildi efnis er gefið upp sem hlutfall (%) og því hærra sem tölugildið er þeim mun meiri er burðarhæfni efnisins.

2.3 Plötupróf í stórum stálhólki (íslenskt próf)

Prófið var útfært af Jóni Skúlasyni og Oddi Þórðarsyni, en hefur löngu verið aflagt, þótt því sé lýst lauslega til upplýsingar hér að neðan.

Prófiðvar þannig gert að jarðefnasýni var þjappað í hringlaga stálhólk sem er um 50 cm í þvermál og 50 cm á hæð. Utan um stálhólkinn er hólkur sem hægt er að hafa vatn í og neðst í stálhólknum er röð af götum til að auðvelda mettun sýnisins. Efnið er þjappað í þremur lögum. Hvert lag er þjappað í um eina mínútu með rafdrifnum höggbor. Þyngd borsins er um 11 kg, höggin eru 1370 á mínútu og orkan er 15 joule. Við borvélina er tengd stöng með plötu sem efnið er þjappað með. Platan er 131 mm í þvermál og vegur hún og stöngin samtals 3,7 kg. Raki efnisins við þjöppun er valinn þannig að hann sé sem næst því sem gert er ráð fyrir að efnið verði þjappað við í mörkinni. Eftir þjöppun er vatn látið fljóta yfir sýnið og það látið mettast í einn sólarhring áður en það er plötuprófað. Rétt fyrir prófun er vatnsborðið þó lækkað aðeins niður fyrir yfirborð.

Á miðjan endaflöt sýnisins er sett hringlaga plata, 200 mm í þvermál. Álag er sett á með tjakki og sig plötunnar mælt á þremur stöðum út við rönd hennar, sjá mynd 57 um undirbúning og framkvæmd prófsins.


Þjöppun


Vatnsmettun


Prófun

Mynd 57
Útfærsla plötuprófs í stórum stálhólki

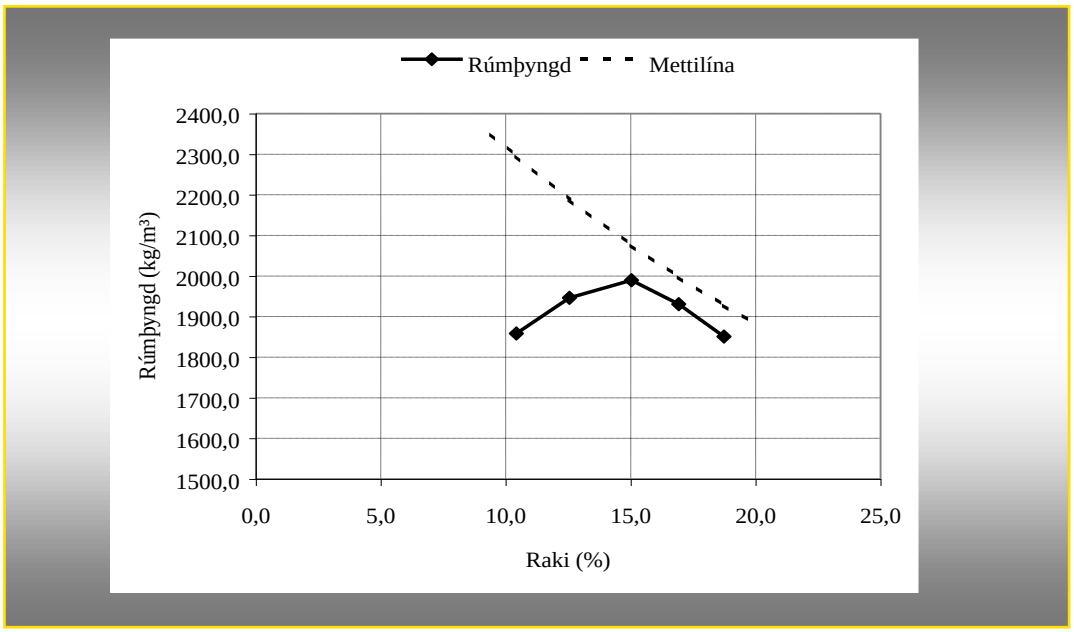
Plötuprófið er gert á sambærilegan hátt og plötupróf á fyllingu, en hámarksálag er um 11 kg/cm^2 og forálag er tæplega 2 kg/cm^2. Reiknuð eru gildin E1 og E2 og hlutfall þeirra, á sama hátt og fyrir plötupróf á fyllingu.

2.4 Proctorpróf, ÍST EN 13286-2

Proctorpróf (e. *Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 2: Test method for the determination of the laboratory reference density and water content - Proctor compaction*) eru tvenns konar, annars vegar staðlað (e. *standard*) Proctorpróf og hins vegar breytt (e. *modified*) Proctorpróf. Munurinn liggur m.a. í orkunni sem notuð er við þjöppun sýnanna í mótið. Sami þjöppunarbúnaður (hamar) er notaður í Proctorprófum og í Bg-prófinu sem lýst er hér að framan. Í „standard" prófinu er notaður 2,5 kg þungur hamar sem látinn er falla úr u.þ.b. 300 mm hæð, 50 sinnum á hvert lag í mótinu, en mótið er fyllt í þremur lögum í þessari útfærslu af prófinu. Í

„modified" prófinu er notaður 4,5 kg þungur hamar sem látinn er falla úr u.þ.b. 450 mm hæð á hvert lag í mótinu og mótið fyllt í fimm lögum.

Prófin eru framkvæmd þannig að jarðefnasýninu sem prófa skal er skipt niður í hlutasýni sem hvert um sig er undirbúið með mismunandi rakainnihaldi. Hvert sýni fyrir sig er síðan þjappað í móti eins og áður er lýst. Mótin eru af tveimur stærðum og er stærðin valin eftir grófleika efnisins sem prófað er. Þegar efnið hefur verið þjappað í mótinu og það sléttfyllt samkvæmt verklýsingu, er vigtað hversu mikið efni komst fyrir í mótinu. Út frá rakainnihaldi efnisins og stærð mótsins er þurr rúmþyngd efnisins í mótinu reiknuð. Síðan er samband rakainnihalds og þurrar rúmþyngdar dregið upp á línurit, sjá dæmi á mynd 58. Út frá línuritinu má lesa við hvaða rakastig efnið þjappast best en það er það rakastig sem gefur hæsta þurra rúmþyngd, í þessu tilfelli 15%.



Mynd 58
Dæmi um samband rakainnihalds og þurrar rúmþyngdar

Rétt er að taka fram að í stöðlum ASTM er ekki gert ráð fyrir að prófa efni með þessari aðferð ef meira en 30% efnisins er grófara en 22,5 mm. Ef 10 og 30% sýnisins eru grófari en 22,5 mm er kornakúrfan leiðrétt með tilliti til þess.

2.5 Þríásapróf

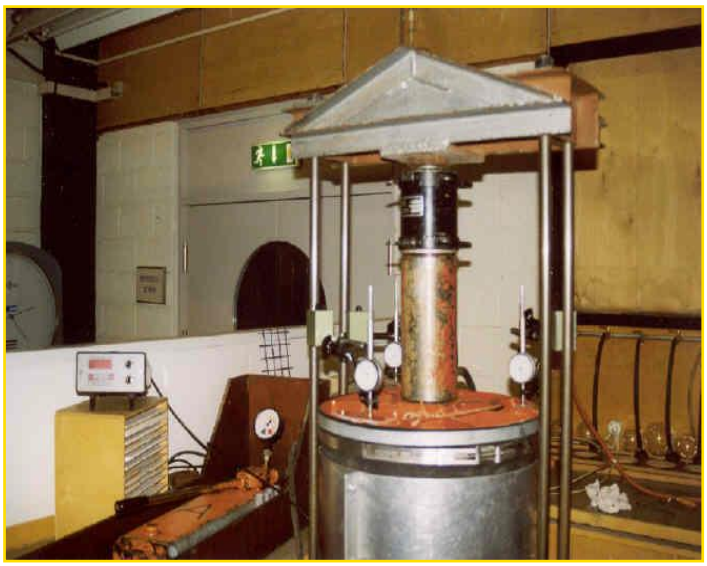
2.5.1 Stöðuálagspróf

Í grundvallaratriðum er sívalningslaga sýni, annað hvort þjöppuðu á rannsóknastofu eða teknu óhreyfðu úr mörkinni, komið fyrir í þrýstisellu. Sýnið er haft í gúmmíhúð. Selluna er hægt að fylla af vatni og breyta vatnsþrýstingi, þannig að hægt er að hafa stjórn á hliðarþrýstingi á sýnið. Mælibúnaði er komið þannig fyrir að upplýsingar fáist um hliðarþrýstinginn, poruþrýstinginn, lóðrétt álag á sýnið og lóðrétta samþjöppun þess undan álagi. Framkvæmd prófsins, þ.e.a.s. hvernig lóðrétt og lárétt álag er látið breytast, hvort vatni er hleypt út úr sýninu meðan á prófi stendur o.s.frv., getur svo verið mismunandi eftir því hvaða niðurstöðum sóst er eftir hverju sinni. Mynd 59 sýnir dæmi um þríása tækjabúnað.



Mynd 59
Stöðuálagspróf, þríásatæki

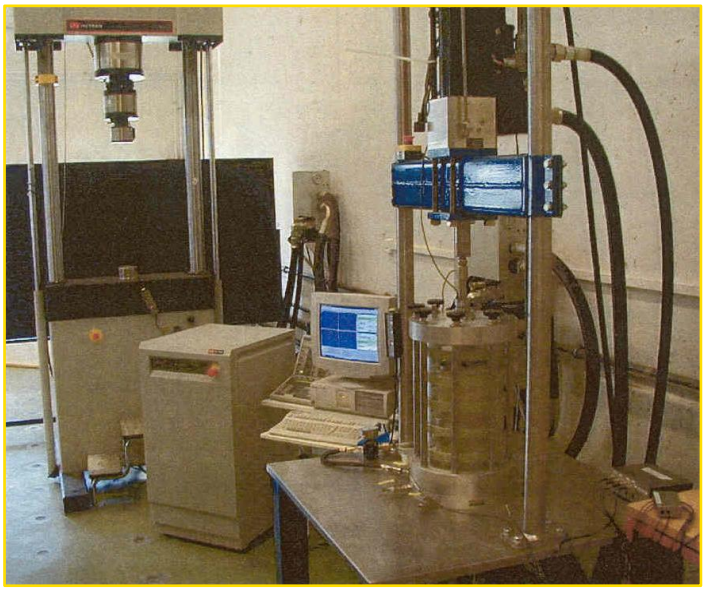
Einnig má setja stöðuálag á jarðefnasýni í risa-þríásaprófi, en þá er sýni komið fyrir í stóru móti, sjá mynd 60, álag sett á enda þess og hægt er að mæla hliðarfærslur, eða halda hliðarfærslum föstum og mæla sig. Í risa-þríásaprófi er ekki hægt að mæla poruþrýsting, eða lekt sýnisins.



Mynd 60
Risa-þríásapróf

2.5.2 Sveifluálagspróf

Með sveifluálagsprófi er reynt að líkja eftir því álagi sem jarðefnið verður fyrir vegna umferðar ökutækja eða annarra álagsvalda sem ekki eru stöðugir, heldur hreyfanlegir og endurteknir. Við prófanir eru lagðir á sýnið álagspúlsar og á meðan er upplýsingum um lóðrétta og lárétta færslu safnað. Þessar niðurstöður eru svo notaðar til að reikna stuðla í líkingar, sem notaðar eru til að reikna stífni út frá spennuástandi (stífnistuðlar eru spennuháðir). Mynd 61 sýnir dæmi um uppstillingu tækja við prófun með aðferðinni.

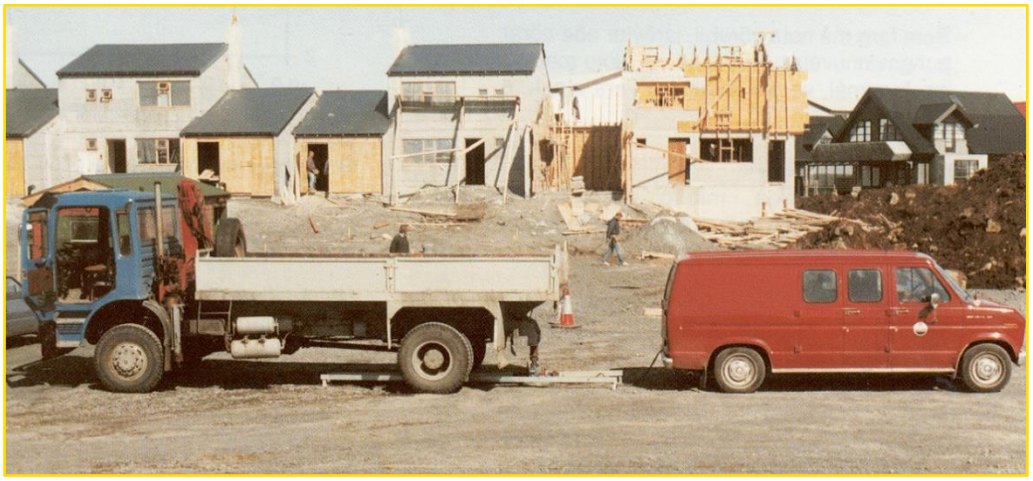


Mynd 61
Sveifluálagspróf, tækjabúnaður

3 MÆLINGAR Á ÞJÖPPUN Í VEGI

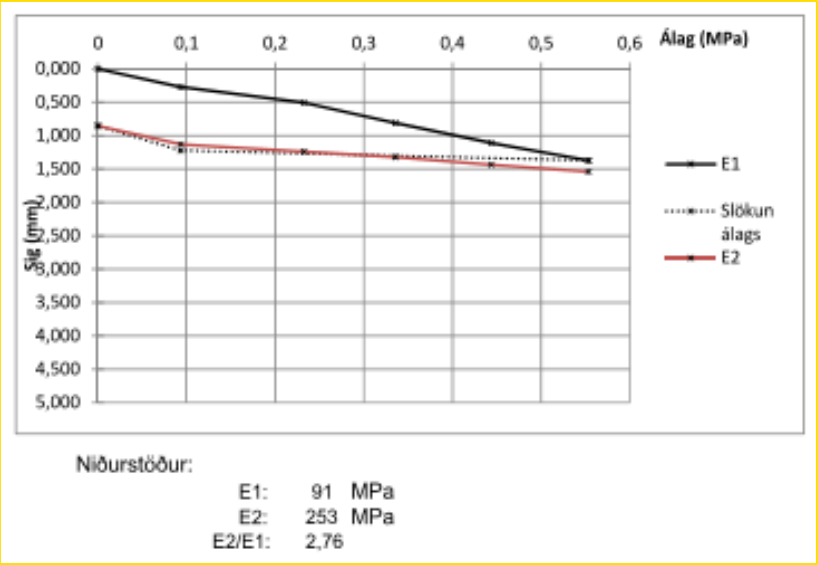
3.1 Plötupróf

Við plötupróf á fyllingar, styrktarlög eða burðarlög í tengslum við vegagerð skal notuð plata sem er 300 mm í þvermál. Forálagið er u.þ.b. 0,08 MPa og álagið síðan sett á í fimm þrepum upp í u.þ.b. 0,5 MPa álag. Eftir fyrri álagsröð er álagið tekið af plötunni og síðan keyrð seinni álagsröð. Gildið E1 er reiknað út frá hallatölu fyrri álagsraðar, en E2 út frá hallatölu seinni álagsraðar. Eftir fyrri álagsröð skilar platan sér ekki alveg upp aftur, en því betur sem hún skilar sér upp, þeim mun betur er efnið þjappað. Endurheimta plötunnar er einnig mælikvarði á fjaðureiginleika efnisins. Mynd 62 sýnir uppstillingu á vörubíl sem notaður er sem farg þegar álag er sett á plötuna og mælibíl, þar sem aflestur fer fram.

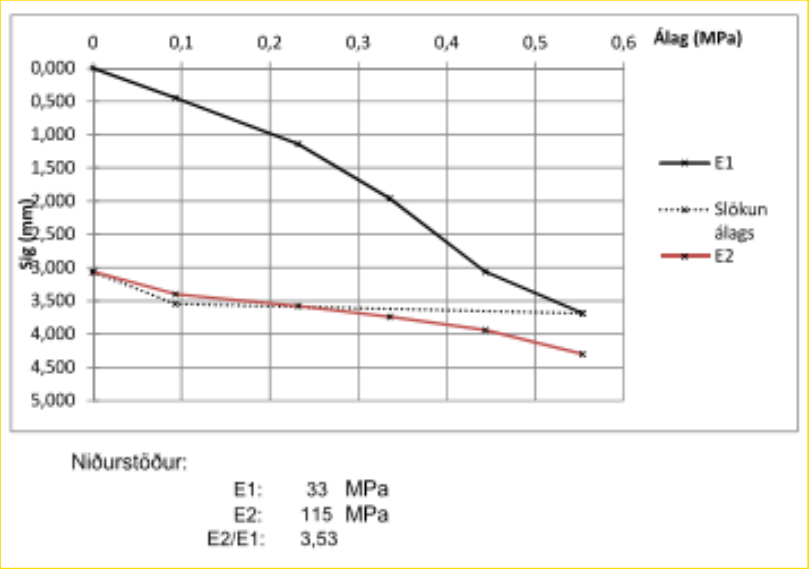


Mynd 62
Uppstilling við plötupróf

Teiknað er upp línurit sem sýnir sig plötunnar sem fall af álagi og eru hallatölur ferlanna, E1 og E2, reiknaðar og eru nokkurskonar stífleikastuðlar lagsins sem mælt hefur verið. E1 er reiknað út frá fyrra álagsprófinu og E2 er reiknað út frá því síðara, sjá dæmi um niðurstöður á mynd 63 a) og b).



a)



b)

Mynd 63 a) og b)
Tvö dæmi um ferla plötuprófs

E stuðlarnir eru reiknaðir út á eftirfarandi hátt:

E1=0,75*0,3*(P2- P1)/(S2-S1) þegar álagið er sett á í fyrra skiptið

E2=0,75*0,3*(P2- P1)/(S2-S1) þegar álagið er sett á í annað sinn

þar sem E1 og E2 stuðlarnir eru hlutfallið milli P2-P1 (álag) og S2-S1 (sig), margfaldað með þvermáli plötunnar og fastans 0,75, þ.e.a.s. Youngs stuðli. Yfirleitt er E1 lesið af í 30% og 70% álagi og E2 í 30% og 100% álagi, en á þessum bilum er hallatala ferlanna oftast á nokkuð einhalla línu.

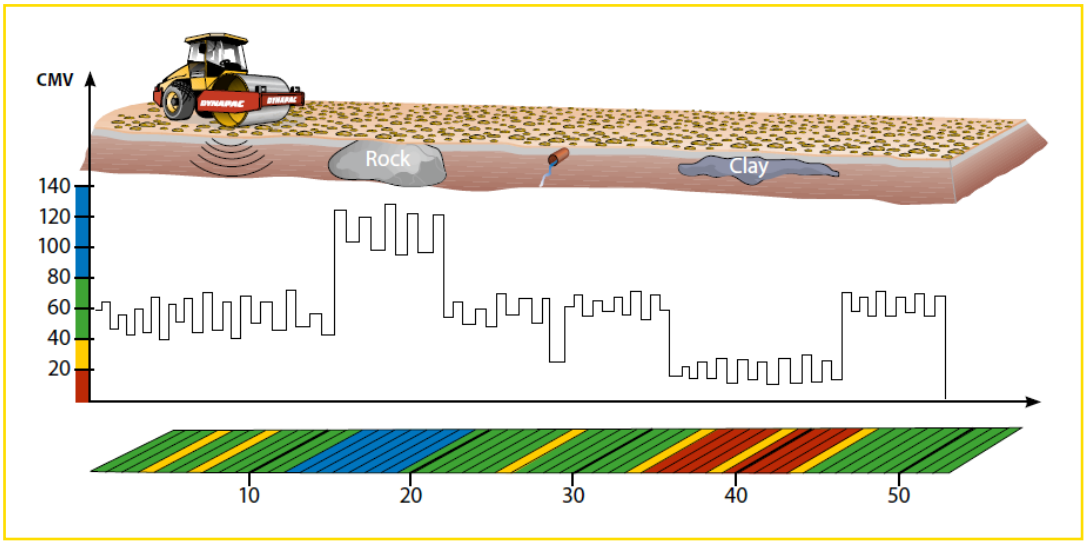
E1 er til dæmis notað við útreikninga á væntanlegu sigi mannvirkis sem byggja skal ofan á viðkomandi lag en E2 gefur upplýsingar um burðarþol viðkomandi lags, því hærra E2 gildi, þeim

mun meira burðarþol. Algengar kröfur eru að E2 eigi að vera hærra en 120 til 150 Mpa ef um burðarlag er að ræða.

Ef til dæmis burðarlag er illa þjappað verður mikill munur á milli E1 og E2. Hlutfallið E2/E1 er notað sem mælikvarði á þjöppun lags; því lægra hlutfall, því betri þjöppun. Oft er miðað við að þjöppun sé góð ef hlutfallið E2/E1 er < 2,5.

3.2 Þjöppumælar í völtum

Þjöppun með þjöppumæli í völtum nýtir sér þá samverkan sem er á milli tromluhröðunar og hreyfifræðilegs stífleika jarðvegsins sem breytist með aukinni rúmþyngd. Þjöppunarorkuna, sem er yfirfærð í jarðveginn við þjöppun, er hægt að ákvarða út frá kröftum sem verka á milli tromlunnar og jarðvegsins. Mótstöðukraftur jarðvegsins er í beinu hlutfalli við statískan öxulþunga valta annars vegar og miðflóttakraft mynduðum af hjámiðju- og tregðukröftum sem háðir eru hröðun tromlunnar hins vegar. Með aðstoð GPS tækni er svo hægt að kortleggja hvar þjöppun er nægileg og hvar ekki. Skematískt dæmi um virkni þjöppumælis af þessari gerð frá Dynapac má sjá á mynd 64, en þar er CMV (e. *Compaction Meter Value*) á Y-ásnum.



Mynd 64
Mótstöðukraftur jarðvegs mældur með þjöppumæli í valta

Annað dæmi um þjöppumæli er frá BOMAG, AM II (e. *Asphalt Manager II*), sem sýnir þjöppun sem stefnt er að og niðurstöður fyrir titrings stuðul E_{vib} (MN/m²) við þjöppun malbiks og auðveldar eftirlit með þjöppun og þar með betri gæði þjöppunar, sjá mynd 65.



Mynd 65
BOMAG; ASPHALT MANAGER II

Enn ein aðferð er sú að þjöppumælir telji yfirferðir valta og með aðstoð GPS staðsetningartækis er fylgst með því að allt vegyfirborðið hafi verið valtað með fyrirskrifuðum fjölda umferða. Fylgst er með yfirborði vegar á tölvuskjá og eru t.d. staðir sem ekki hafa verið valtaðir merktir með rauðum lit en staðir sem hafa verið valtaðir með réttum fjölda umferða eru merktir með grænum lit.

3.3 Hæðarmælingar

Þegar þjöppun er mæld með hæðarmælingu, skal mæla u.þ.b. 10 punkta í þremur þversniðum með 5-10 m millibili. Þjöppun telst nægileg, ef meðaltals sig yfirborðs frá næstsíðustu til síðustu umferðar valta er minni en 10% af heildarsigi sem þjöppunin hefur í för með sér.

Hæðarmælingin er því gerð áður en þjöppun hefst og svo aftur eftir að valti hefur farið tilskyldar umferðir. Þá þarf að gera mælingar, láta valta fara eina umferð enn og mæla aftur. Ef ofangreindar kröfur eru uppfylltar, er verkið samþykkt.

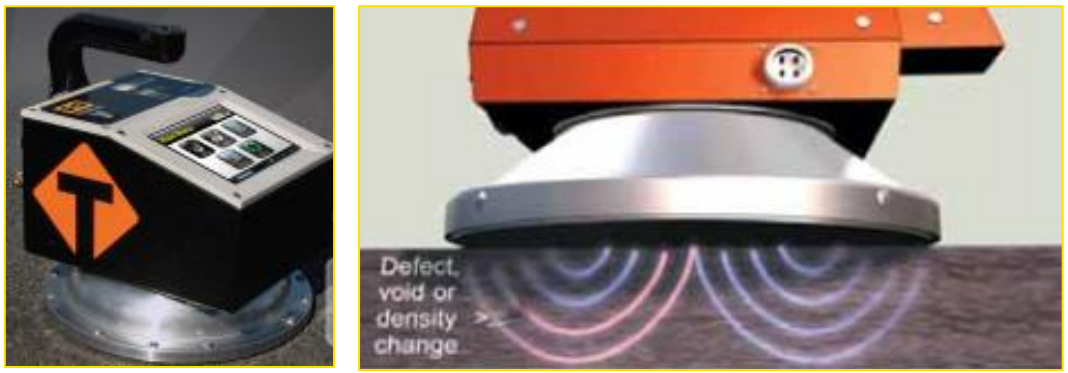
3.4 Rúmþyngd í vegi (*rafsegulmælingar, sandkeiluprófi*)

Á árum áður var notast við svokallaðar geislamælingar, en þær voru fólgnar í því að mæla rúmþyngd efna á yfirborði einstakra laga í veghloti með ísótópamælum til þess að áætla hversu vel þjöppun hefur tekist í viðkomandi lagi, sjá dæmi á mynd 66. Notkun geislamæla hefur nú að mestu verið aflögð vegna geislavirkra efna í mælinum og með tilkomu nýrrar tækni þar sem notast er við rafsegulbylgjur og lýst er hér að neðan. Oftast er mælda rúmþyngdin borin saman við rúmþyngdir sem fást á rannsóknastofu. Því meiri sem rúmþyngdin er, þeim mun meiri er þjöppun efnisins.



Mynd 66
Dæmi um geislamæli til mælingar á rúmþyngd/þjöppun

Rafsegulmælingar: Segja má að mælingar á rúmþyngd/þjöppun á malbiki með rafsegulmæli (e. *electromagnetic density gauge*) séu á allan hátt betri og öruggari en mælingar með geislamæli sem notast var við á árum áður. Þess má geta að báðar stærstu malbikunarstöðvarnar hérlendis notast að langmestu leyti við rafsegulmæla við eftirlit með þjöppun. Mynd 67 sýnir dæmigerðan rafsegulmæli, en hann er í raun ekki ósvipaður geislamæli. Hann er þó mun léttari (6-7 kg) og auðveldari í notkun á allan hátt. Hægt er að fá mæla með snertiskjá, gps staðsetningu, geymsluminni, upplýsingar um malbiksuppskriftir, skýrslu sem hægt er að flytja í excel, stað og stund o.s.frv. Rafhlaða endist allan daginn og tekur 4 klst. að endurhlaða, skv. upplýsingum framleiðanda (TransTech).



Mynd 67
Dæmi um rafsegulmæli til mælingar á rúmþyngd/þjöppun

Sandkeilupróf: Með sandkeiluprófi er mæld rúmþyngd lausra, þjappaðra jarðefna á yfirborði einstakra laga í veghloti. Því meiri sem rúmþyngdin er, þeim mun betri er þjöppun efnisins. Miðað

er við þá rúmþyngd sem hægt er að ná í efninu með Proctorprófi inni á rannsóknastofu. Prófið gengur út á að þurr rúmþyngd efnis í fyllingu er ákvörðuð með sandkeiluaðferðinni. Aðferðin felst í því að grafin er u.þ.b. 150 mm djúp hola, 150 mm í þvermál, í lagið sem prófa á. Öllu efni sem kemur úr holunni er safnað í fötu eða poka. Eftir það er rúmmál holunnar mælt með því að fylla hana af þurrum sandi með þekktri rúmþyngd. Sandurinn er látinn ofan í holuna með hjálp svokallaðrar sandkeilu og þannig er nafn prófsins til komið, sjá dæmi á mynd 68.



Mynd 68
Dæmi um búnað til rúmþyngdarmælingar með sandkeiluprófi

Rúmmálið er reiknað út frá því sandmagni sem þarf til að fylla holuna (þungi sands í holu/rúmþyngd hans). Efnið sem safnað var úr holunni er þurrkað og vigtað og þá liggja fyrir allar upplýsingar til að reikna út þurra rúmþyngd þess. Þessi rúmþyngd er svo borin saman við hæstu þurru rúmþyngd sem fæst úr proctorprófi. Við þann samanburð er rétt að hafa í huga að í Proctorprófinu er tekið burt það efni sem er grófara en 22,5 mm áður en það er þjappað. Oftast veldur það því að þurr rúmþyngd mælist lægri en ef allt efnið er með, vegna þess að steinar stærri en 22,5 mm sem hafa verið fjarlægðir hafa hærri rúmþyngd en efni minna en 22,5 mm, sem kemur í þeirra stað. Hægt er að taka tillit til þessa með því að leiðrétta þurru rúmþyngdina sem fæst með sandkeiluprófi.

4 PRÓFANIR Á BIKBUNDNUM EFNUM

4.1 Hjólfarapróf, ÍST EN 12697-22 með þjöppun ÍST EN 12697-33

Skrið í malbiki er hér á landi mælt með hjólfaraprófi samkvæmt staðlinum ÍST EN 12697-22 og þá þeim hluta staðalsins sem nefnist lítill búnaður (e. *small scale device*) og er tækjabúnaður til slíkra mælinga til staðar hérlendis. Einnig er til staðar tæki til að þjappa malbikssýni sem eru 260-300 mm á breidd, 320-400 mm á lengd og 40-120 mm á þykkt og henta til mælinga á skriði í hjólfaratækinu. Þjöppunin líkir eftir þjöppun með valta úti í vegi og er hægt að stjórna hraða (upp í 10 umf./mín.) og álagi upp í 30 kN. Þjöppunin er gerð samkvæmt staðlinum ÍST EN 12697-33. Mynd 69 a) sýnir hjólfaraprófið og mynd 69 b) malbiksþjöppuna sem eru til staðar hérlendis.



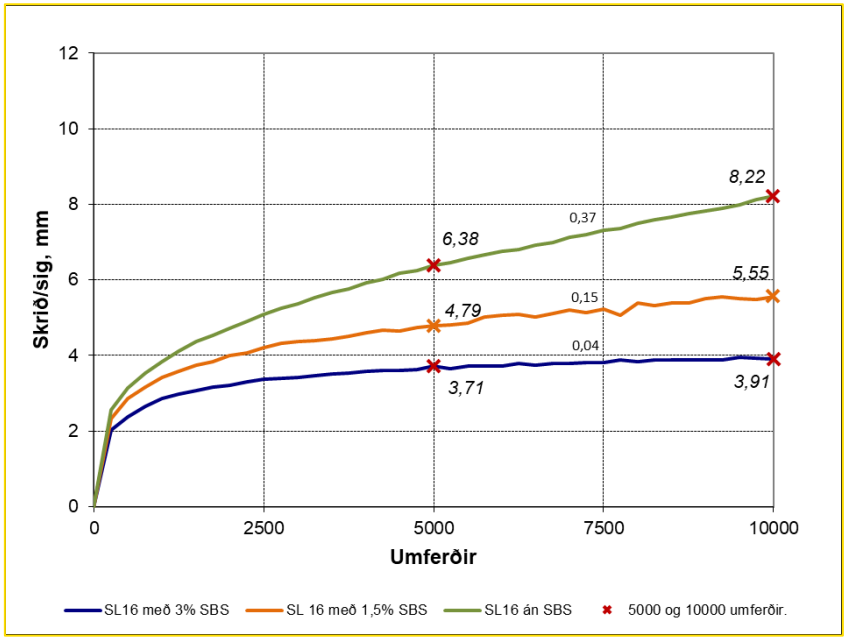
Mynd 69
a) hjólfaratæki og b) malbiksþjappa

Í hjólfaraprófinu er gúmmíhjól, sem er 20 cm í þvermál, 5 cm breitt úr 2 cm þykku gegnheilu gúmmíi, ekið fram og aftur á malbikssýni. Á hjólinu er 700 N álag, lárétt færsla er 23 cm og er hraðinn 26,5 umferðir á mínútu. Heil umferð er keyrsla fram og afur.

Hérlendis er notuð aðferð „B í lofti“ samkvæmt staðlinum. Hún felst í því að sýni, sem er annað hvort sagað eða kjarnaborað úr vegi eða þjappað í malbiksþjöppunni, er komið fyrir í tækinu og er hafður sterkur stuðningur við það á alla kanta. Þegar sýni hefur verið komið fyrir í hjólfaratækinu er hitastýring stillt á 45°C, a.m.k. fjórum tímum fyrir próf en tímin ræðst af þykkt sýnis. Þegar prófunarhitastigi er náð er hjólið fært að sýninu og mæliúr til skriðmælinga stillt á upphafsstöðu. Keyrðar eru fimm umferðir og stillingar yfirfarnar áður en raunveruleg keyrsla hefst. Síðan eru keyrðar 10.000 umferðir og hjólfaradýpt skráð sjálfvirkt eftir hverjar 250 umferðir. Í staðlinum er gert ráð fyrir að prófuð séu tvö hlutasýni og meðaltal þeirra notað sem niðurstaða prófsins.

Það eru einkum þrjú gildi sem eru reiknuð út frá hjólfaraprófinu og byggjast þau á þykkt sýnis og hjólfardýpt við 5.000 og 10.000 umferðir. Reiknuð er hallatala (e. *wheel-tracking slope in air*) WTS_{AIR}, sem er meðalskrið á 1.000 umferðir reiknað út frá skriðinu á síðustu 5.000 umferðunum. Einnig er mæld heildarhjólfaradýpt (e. rut depth) eftir 10.000 umferðir, RD_{AIR}, og þriðja gildið er hlutfallsleg hjólfaradýpt eða hve mörg prósent heildarskriðið er af þykkt sýnisins (e. *proportional*

rut depth) PRD_{AIR}. Mynd 70 sýnir dæmi um framsetningu gagna úr hjólfaraprófi þar sem bornar eru saman mismunandi malbiksgerðir með og án fjölliða.



Mynd 70.
Dæmi um framsetningu gagna úr hjólfaraprófi

Eitt af því sem hefur mikil áhrif á niðurstöður er hitastig við próf. Í almennri rannsókn má að sjálfsögðu velja hvaða hitastig sem er, en ef gerðar eru kröfur til malbiks á grundvelli gerðarprófana (e. Type testing) skal prófað við 45°C.

4.2 Marshallpróf, ÍST EN 12697-34

Tilgangur Marshallprófs er tvíþættur:

- Prófið er notað sem hönnunarpróf til að ákveða heppileg hlutföll steinefna og bikbindiefnis í malbiki. Í því sambandi er byrjað á að finna blöndunarhlutföll steinefna sem nota skal, þannig að sálduferillinn lendi innan tiltekinna markalína samkvæmt verklýsingum. Berggæði steinefna, bikgerðin (stungudýpt) og íaukar og íblendi eru valin með hliðsjón af umferðarálagi þess vegar sem á að malbika.
- Prófið er framkvæmt til eftirlits með framleiðslu á malbiksblöndum með gerð kjarna með Marshallhamri, mælingar á rúmþyngd, holrýmd og bikfylltri holrýmd. Einnig er algengt að taka kjarna úr vegi til eftirlits með raunverulegum hlutföllum bindiefna og steinefna, svo og rúmþyngd og holrýmd.

Þegar Marshallprófið er notað til hönnunar, sem sagt til að ákveða hlutföll steinefna og bikbindiefnis í malbiki, er byrjað á því að ákveða sáldurferil steinefnanna. Síðan eru blönduð sýni með mismunandi bindiefnisinnihaldi til prófunar. Sýnin eru blönduð og þjöppuð við tiltekin skilyrði, s.s. ákveðið hitastig til að seigja bindiefnisins sé innan ákveðinna marka. Þjappað er í sérstök mót með Marshall-hamri, sjá mynd 71.



Mynd 71
Marshall hamar og mót

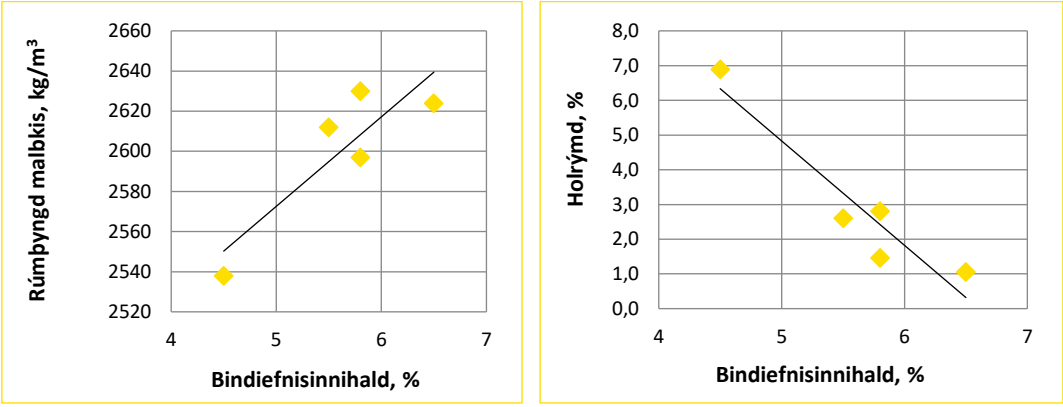
Þegar sýnin hafa kólnað í mótunum eru þau tekin úr þeim og stærð þeirra og rúmþyngd mæld. Auk þess er holrýmd þeirra reiknuð út. Því næst eru sýnin sett í álagspróf, sjá ljósmynd af álagsbúnaði, mynd 72, til að ákveða festu (stífni, e. *stability*) og sig (skriðeiginleika, e. *flow*) þeirra. Niðurstöður ofangreindra mælinga eru dregnar upp á línurit sem fall af bindiefnisinnihaldi og fundið það bindiefnisinnihald sem svarar til mestrar rúmþyngdar, mestrar festu og holrýmdar innan ákveðinna marka. Einnig er hlutfallið festa/sig skoðað. Samkvæmt Evrópustaðli eru kröfur til festu og sigs, vegna gerðarprófana eða framleiðslueftirlits, ekki gerðar fyrir malbik sem ætlað er til nota í vegi. Þær kröfur eiga hins vegar við fyrir malbik á flugbrautir.



Mynd 72
Álagsbúnaður fyrir mælingu á festu og sigi

Þegar Marshallprófið er notað til eftirlits, eru sýni tekin af malbiksframleiðslunni, annað hvort úr stöð, af vörubílspalli eða úr útlagnarvél og færð á rannsóknastofu. Þau eru þar þjöppuð með Marshall-hamrinum og gerðar á þeim sömu mælingar og lýst er hér að ofan. Niðurstöður mælinganna eru svo bornar saman við þær kröfur sem settar hafa verið. Segja má að almennt séð minnkar holrýmd með auknu bikmagni og sömuleiðis eykst skrið með auknu bikmagni. Því er mikilvægt að mæla holrýmd og bindiefnisinnihald í malbiki við framleiðslu þess til að tryggja að það sem framleitt er haldist innan marka sem sett eru fram í útboðslýsingum.

Dæmi um niðurstöður mælinga á rúmþyngd og holrýmd sýna sem þjöppuð voru með Harshallhamri og framsetning gagna sést á mynd 73.



Mynd 73
Dæmi um niðurstöður Marshallmælingar á rúmþyngd og holrýmd

4.3 Mæling á bindiefnisinnihaldi, ÍST EN 12697-1 og 12697-39

Hægt er að mæla bindiefnisinnihald sýna á nokkra mismunandi vegu, sbr. Evrópustaðla ÍST EN 12697-1 (e. *soluble binder content*) og ÍST EN 12697-39 (e. *binder content by ignition*).

Hérlendis hefur skilvinduaðferðin verið hvað mest notuð þar til í seinni tíð, þegar brennsluofnar hafa verið teknir upp við mælingarnar í auknum mæli.

Skilvinduaðferðin (e. *centrifuge binder extractor*) er byggð á því að sýni sem mæla skal er sett í skilvindu. Mynd 74 sýnir dæmigerða skilvindu til mælingar á bindiefnisinnihaldi. Bætt er í skilvinduna leysiefni sem leysir bikið upp og við snúning skilvindunnar skilst það frá steinefninu sem verður eftir. Sýnið er vigtað fyrir og eftir skolun og bikinnihaldið reiknað sem hlutfall (%) af þunga sýnisins fyrir mælingu (% af þunga blöndunnar).



Mynd 74
Dæmigerð skilvinda til mælingar á bindiefnisinnihaldi

Brennsluofn (e. *binder content by ignition*) er notaður í sama tilgangi og skilvinda, nema í því tilviki er bikbindiefnið brennt burtu úr malbikssýninu. Þess má geta að tvær stærstu malbikunarstöðvar landsins notast við sams konar ofna til að ákvarða bindiefnismagn malbiksblöndu (frá Troxler), sjá mynd 75. Ofninn tekur allt að 5.000 g af sýni, 2.500 g í hvora körfu, en losa þarf þjappað malbikssýni í sundur fyrir brennslu. Ofninn hefur innbyggða vog, þannig að upphafsþyngd sýnis skráist sjálfkrafa. Ofninn er fyrst hitaður upp í 375°C áður en sýnið er sett inn og er síðan hitaður upp í 5-600°C til að allt bikbindiefni brenni. Bindiefnisinnihaldið skráist sjálfvirkt og er gefið upp sem þungahlutfall (%) af malbiksblöndunni.



Mynd 75
Dæmigerður brennsluofn til mælingar á bindiefnisinnihaldi

Þegar brennsluofn er notaður þarf að stilla hann fyrir það steinefni sem er í blöndunni og rakastigi í sýni ef það er fyrir hendi, til að bindiefnisinnihaldið reiknist rétt.

Taka skal fram að unnt er að skoða kornadreifingu steinefnis eftir að bikið hefur verið leyst upp eða brennt og þannig að fá enn frekari upplýsingar um malbikið eins og það var framleitt.

4.4 Hnoðþjöppun malbikskjarna, ÍST EN 12697-31

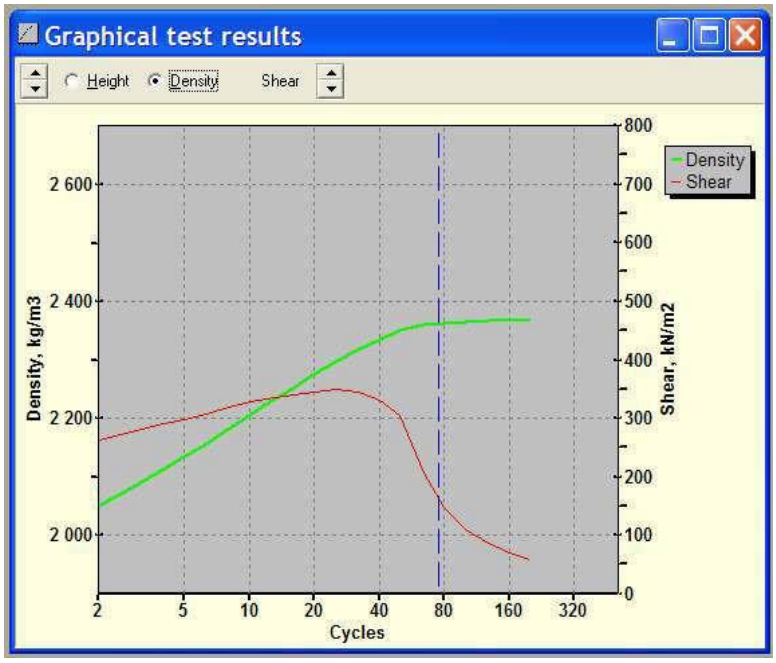
Um er að ræða tæki sem notað er fyrst og fremst til þjöppunar malbikskjarna og kemur í mörgum tilfellum í staðinn fyrir Marshall-hamarinn. Prófað er samkvæmt Evrópustaðli, ÍST EN 12697-31 (e. *Specimen preparation by gyratory compactor*). Hnoðþjöppun er talin líkja betur eftir þjöppun undan völtum heldur en þjöppun með t.d. fallhamri (Marshall). Þjöppunartækið er notað við malbikshönnun, en einnig við gerð sýna í ýmis próf á malbikskjörnum. Einnig hafa verið gerðar prófanir á sambandi þjöppunar og rakastigs óbundinna efna í hnoðþjöppu. Mynd 76 sýnir dæmigerðan tækjabúnað til þjöppunar með þessari aðferð.

Sýni er sett í mót sem er annað hvort 100 eða 150 mm í þvermál. Mótið er sett í tölvustýrða þjöppuna og snúið undir álagi, þannig að skerhorn myndist í mótinu. Hægt er að sjórna fjölda og hraða snúninga, álagi, álagshraða og snúningshorni innan ákveðinna marka. Hérlendis er farið eftir Evrópustaðli og er þrýstingur á sýni 600 kPa, halli móts 16 mrad eða 0,9° og hraði 30 snúningar á mínútu. Þjappan er látin snúast allt að 200 snúninga en stundum er hætt fyrr. Tölva tengd þjöppunni skráir gefin gildi og mælir hæð með vissu millibili, þétt í upphafi en sjaldnar eftir því sem snúningum fjölgar. Hún sýnir einnig skerspennu og reiknar rúmþyngd út frá hæð og gefnum efnismassa.



Mynd 76
Tækjabúnaður til hnoðþjöppunar

Mynd 77 sýnir dæmi um útprentaðar niðurstöður eftir þjöppun í hnoðþjöppu. Eins og sjá má er rúmþyngd sýnisins reiknuð út jafnóðum (kg/m^3), svo og skerstyrkurinn sem myndast við þjöppunina (kN/m^2). Einn af kostum hnoðþjöppunar er að fylgst er með þjöppunarferlinu í tíma en ekki aðeins við fast álag.



Mynd 77
Dæmi um útprentaðar niðurstöður úr prófun í hnoðþjöppu

4.5 Vatnsnæmipróf (kleyfnibrotþol) á malbikssýnum, ÍST EN 12697-23

Mæling á vatnsnæmi malbikskjarna felst í því að bera saman kleyfnibrotþol (e. *indirect tensile strength*) ómeðhöndlaðra sýna og sýna sem hafa verið geymd í vatnsbaði við ákveðnar aðstæður og reikna út hlutfall brotstyrks þess sýnis sem var vatnsmeðhöndlað af brotstyrk ómeðhöndlaðs sýnis. Sýnin eru meðhöndluð á þann hátt sem lýst er í ÍST EN 12697-12, aðferð A og síðan brotin í pressu samkvæmt verklýsingu í ÍST EN 12697-23. Prófinu er ætlað að gefa upplýsingar um þol malbiks gegn áraun vatns og gefur vísbendingu um viðloðun í malbikinu milli steinefna og bikbindiefna, svo og samloðun malbiksmassans.

Samkvæmt staðli er hægt að velja um fjórar þjöppunaraðferðir á malbikssýnum til notkunar í vatnsnæmipróf (*Marshall, Gyratory, Vibratory eða Slab Compaction*) og auk þess má velja misstór sýni að þvermáli (100, 120, 150 eða 160 mm). Einnig má velja bik af mismunandi stungudýpt og er miðað við að það sé gert með tilliti til notkunar. Hérlendis hefur verið ákveðið að nota Marshall þjöppun og kjarna sem eru 100 mm í þvermál ef um gerðarprófanir er að ræða (e.*Type testing*). Nánari lýsing á framkvæmd prófunar tekur mið af því og er eftirfarandi: Útbúnir eru sex malbikssívalningar með Marshall-þjöppun, 35 högg á hvorn enda (ath. ekki 50 högg eins og í hefðbundnu Marshallprófi). Sívalningarnir eru mældir og vegnir og þeim síðan skipt í tvo hópa, 3 hlutasýni í hvorum. Annar hlutinn er geymdur þurr við 20°C þangað til rétt fyrir próf. Sívalningarnir sem á að prófa eftir meðhöndlun eru vatnsmettaðir við undirþrýsting í 30 mínútur og rúmmál þeirra mælt. Ef rúmmál prófhlutar hefur aukist um tvö prósent eða meira er honum hafnað. Sívalningarnir eru síðan hafðir í vatnsbaði við 30°C í 68 til 72 klst. Þessi vatnshiti miðast við bik með stungudýpt PG 160/220 eða mýkra, en fyrir harðara bik er vatnshitinn 40°C notaður. Þegar vatnsnæmipróf er notað til gerðarprófunar á malbiki (e. Type Testing) skal prófið gert á sýnum við 15°C. Síðustu tvo tímana fyrir próf er hiti allra sívalninganna því færður að 15°C prófunarhita. Vatnsmeðhöndluðu sýnin eru færð óvarin í vatnsbað, en þau þurru í sama vatnsbaði við 15°C, en í vatnsheldum plastpokum.

Kleyfnibrotþol sívalninganna er mælt með sérstökum útbúnaði í pressu. Reiknað er út styrkhlutfall (e. *Indirect Tensile Strength Ratio*) votu sívalninganna og þeirra þurru skv. eftirfarandi jöfnu:

$$ITSR = 100 \times \frac{ITS_{\mathrm{w}}}{ITS_{\mathrm{d}}}$$

Þar sem ITSR er kleyfnitogþol í %, ITS_w er meðalbrotstyrkur vatnsmeðhöndlaðra sýna og ITS_d er meðalbrotstyrkur ómeðhöndlaðra sýnia.

Í staðli er gert ráð fyrir að rúmþyngd sívalninganna og aðrar stærðir séu fundnar með vigtun og mælingu með skíðmáli. Mynd 78 sýnir malbikskjarna sem hefur verið brotinn í pressu.

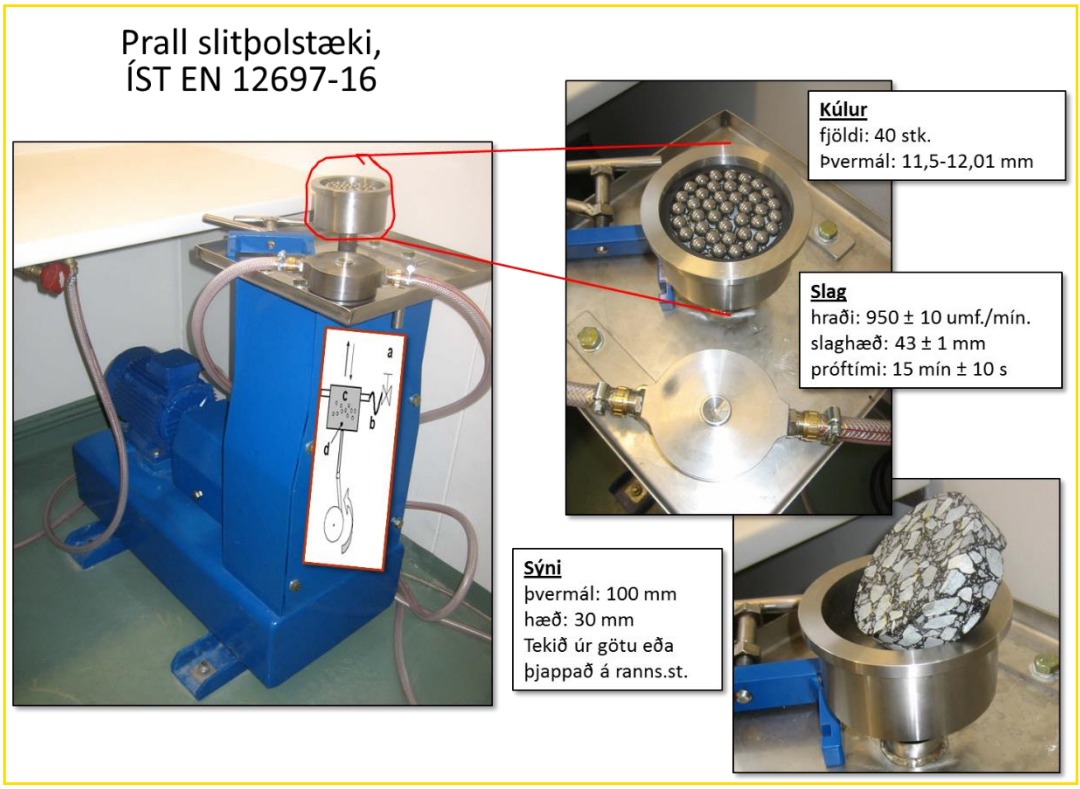


Mynd 78
Brotinn kjarni í pressu

4.6 Prall slitþolspróf, ÍST EN 12697-16

Prall slitþolspróf er ætlað til þess að meta slitþol þjappaðs malbiks gagnvart nagladekkjaáraun. Aðferðin er samkvæmt Evrópustaðli ÍST EN 12697-16
(e. *Abrasion by studded tyres*), en hún er sænsk að uppruna.

Prófið er gert þannig að í litlum stálhólki er komið fyrir sneið af malbiki sem er um 100 mm í þvermál og 30 mm þykk ásamt 40 stálkúlum sem eru 11,5 mm í þvermál. Á hólkinn er sett lok sem hleypir vatnsstreymi yfir sýnið, 2 l/mín af 5°C vatni. Tækið hristir síðan stálhólkinn með sýninu og kúlunum upp og niður, 950 sveiflur/mínútu í 15 mínútur og er slaglengdin 43 mm. Mynd 79 sýnir Prall tæki og er með útskýringum á einstökum hlutum þess.



Mynd 79
Prall slitþolstæki og útskýringar á einstökum hlutum þess

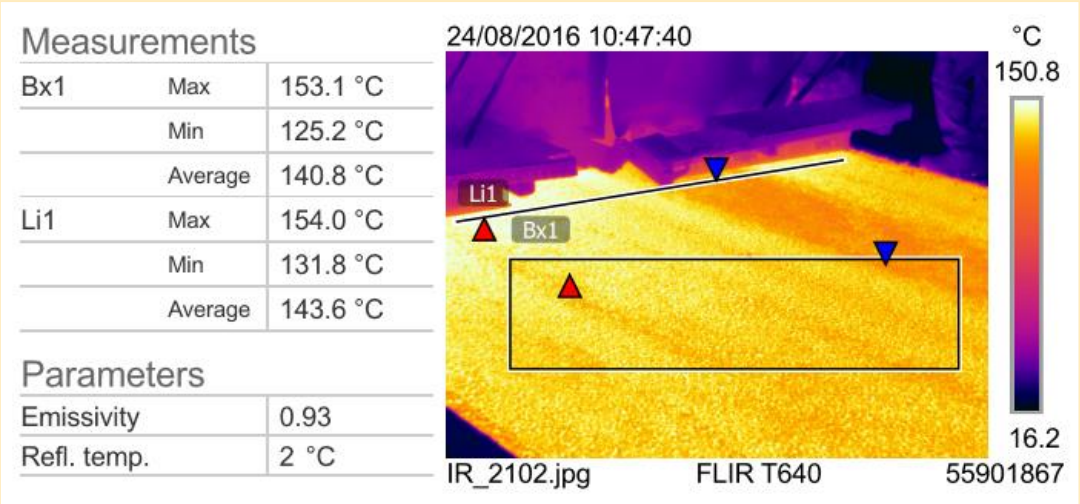
Sneiðar eru hafðar í vatnsbaði við 5°C í a.m.k. 5 klst fyrir próf. Þyngd og rúmþyngd mettaðra sýnanna er mæld fyrir próf og þyngdin aftur eftir próf. Þyngdartapið er reiknað yfir í millilítra, ml. Í hverju prófi eru prófuð fjögur hlutasýni og er Prall gildið meðaltal þeirra.

Í sneiðum sem gerðar eru úr borkjörnum er álagið sett á vegyfirborðið en í þeim sem sagaðar eru úr sívalningum þjöppuðum á rannsóknastofu, er áraunin sett á sagaða flötinn. Prallgildi eru því ekki alveg sambærileg milli sýna sem tekin eru úr götu og sýna sem eru útbúin á rannsóknastofu.

4.7 Hitamyndavél á útlagnarvél

Það hefur lengi verið þekkt að hitastig malbiksblöndu við þjöppun eftir útlögn skiptir miklu máli. Ef malbik er of kalt við þjöppun getur það valdið því að nægileg þjöppun næst ekki, holrýmd verður hærri en blandan er hönnuð fyrir og hætta verður á að ótímabærar skemmdir, svo sem fleiður, eigi sér stað. Í áfangaskýrslum VIII og IX um malbiksrannsóknir, sem styrktar voru af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar, er m.a. fjallað um hitadreifingu malbiks þegar það kemur undan útlagnarvél mælt með handvirkri hitamyndavél. Hitamyndirnar sem teknar voru á verkstað sýndu svo ekki varð um villst að hitastig var ekki alltaf nægilega hátt til að búast mætti við viðunandi þjöppun. Við eðlilegar aðstæður má segja að oftast sé hitastig malbiksins í lagi, en þó geta komið til mistök eða bilanir og auk þess tafir af tæknilegum ástæðum.

Mynd 80 sýnir dæmi um hitadreifingu malbiks undan útlagnarvél eins og hún mældist með hitamyndavél.

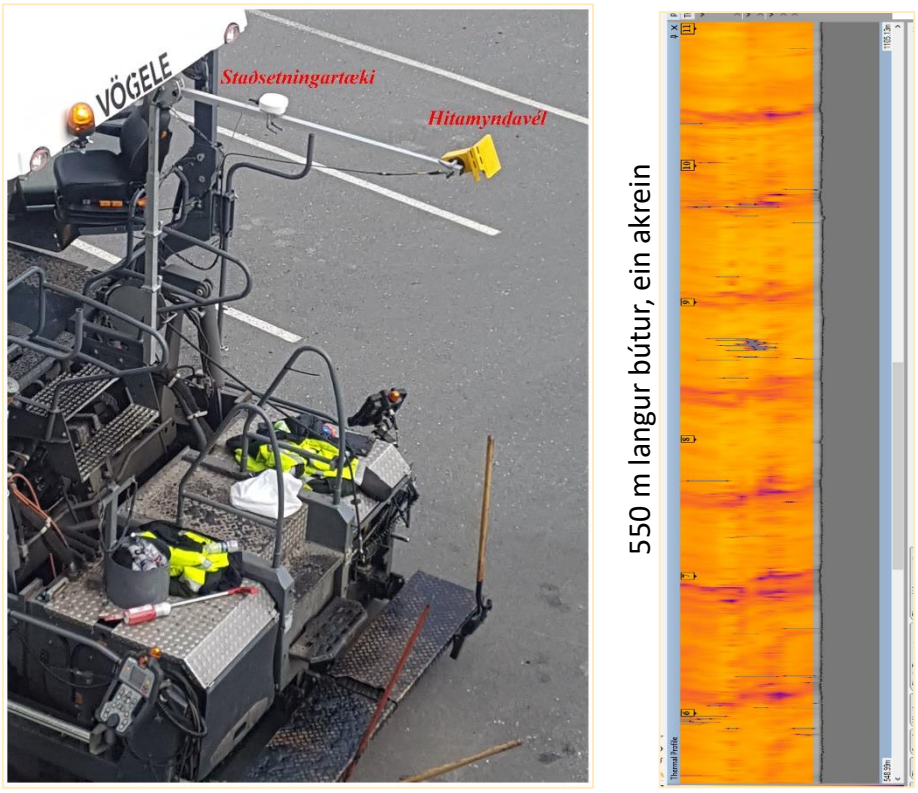


Mynd 80
Dæmi um hitadreifingu malbiks undan útlagnarvél

Eins og myndin sýnir er malbikið u.þ.b. 20 til 25°C kaldara á rönd undan útlagnarvélinni hægra megin við miðju og mælist um 130°C þar (Li1-Min). Segja má að við góðar ytri aðstæður þyrfti ekki að hafa áhyggjur af þessu hitastigi hvað þjöppun varðar, en ef t.d. kalt væri í veðri þyrfti að bregðast við með völtun eins fljótt og auðið er í þessu tilfelli. Segja má að hitamyndavél væri afar nytsamlegt tæki fyrir eftirlitsmenn og aðra þá sem þurfa að fylgjast vel með hitastigi malbiks við útlögn, þar sem hitastigið er auðvitað ekki hægt að sjá með berum augum. Punktmælingar koma að góðum notum (hitabyssa), en gefa mun takmarkaðri upplýsingar um hitadreifingu en hitamyndavélar.

Á grundvelli ofangreindra mælinga með hitamyndavél á verkstað hefur Vegagerðin tekið þá ákvörðun að gera að kröfu að sérstakar hitamyndavélar séu settar á útlagnarvélar í vissum tilfellum. Slíkar myndavélar eru tengdar staðsetningarbúnaði og taka stöðugt hitaþversnið aftan við vélina og skrá þannig samfellt hitastig malbiksins og staðsetningu og tímasetningu. Mynd 81 sýnir hitamyndavél og staðsetningartæki á útlagnarvél hérlendis, svo og dæmi um samfellda útskrift.

Með sérstöku úrvinnsluforriti er svo hægt að skoða og vinna með gögnin sem um ræðir, t.d. að kanna sérstaklega færuskil, tafir, jafnvel breytingar í veðri svo sem skúrir og fleira.



Mynd 81
Hitamyndavél og staðsetningartæki á útlagnarvél og dæmi um útskrift

5 PRÓFANIR Á SEMENTSBUNDNUM EFNUM

5.1 Fersk steinsteypa

5.1.1 Vatns/sements tala (v/s hlutfall) og sementsmagn.

Ekki er um eiginlega prófunaraðferð að ræða, en hlutfallið þarf ætíð að liggja fyrir. Í brúarsteypu og vegsteypu er v/s hlutfallið yfirleitt á bilinu 0,4 til 0,45. Samkvæmt byggingareglugerð er v/s hlutfallið 0,55 hið leyfða hámark fyrir útisteypu sem ekki er undir sérstöku álagi af veðrun og/eða kemískum efnum og 0,45 ef steypan er í saltumhverfi. Sementsmagn í útisteypu er yfirleitt að lágmarki 350-400 kg/m^3. Erfitt er að sannreyna v/s hlutfall og sementsmagn á byggingastað og er ekki gert ráð fyrir því í staðli, heldur einungis skoðun á fylgiseðli. Því er mikilvægt að umsjónarmaður verkkaupa hafi þekkingu á framleiðslu steypunnar.

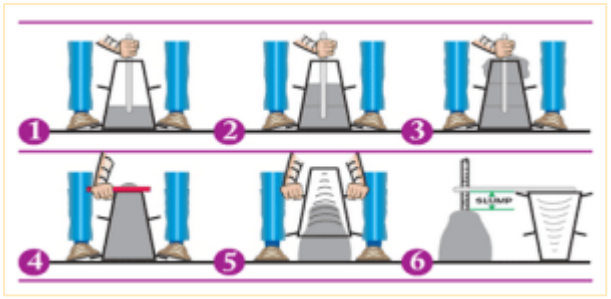
5.1.2 Hörðnun steypu – varmamyndun

Oft eru settar fram kröfur í sérverklýsingum um hámarkshita og/eða kröfur um hámarkshitamismun milli útbrúnar og innri hluta í steypu. Þetta er gert til þess að draga úr spennum og sprungumyndun. Hitastigi er m.a. hægt að stýra með notkun sements með lága hitamyndun (lághitasements). Ef hvörfunarvarminn hleypir hitanum upp fyrir 65°C er hætta á að steypan verði of gropin og bindingur milli efju og steinefnis veikist.

5.1.3 Þjálni steypublöndu

Sigmál (ÍST EN 12350-2). Sigmál er elsti og algengasti mælikvarðinn á þjálni ferskrar steypu, en í reynd er það einkum seigja hennar sem mælist. Mælingin hentar helst þegar steypan er í meðallagi stíf. Notuð er keila sem er 300 mm há úr plötustáli af ákveðinni stærð sem er opin í báða enda, sjá mynd 82. Keilan er sett á sléttan flöt með víðara opinu niður og fyllt með steypu. Síðan er keilan dregin upp af steypunni sem þá sígur saman. Lækkun steypunnar, mæld í mm, er mælikvarði á stífleikastigið/flotstigið. Því hærra tölugildi, því hærra sigmál. Almennt má segja að æskilegt er að hefðbundin steypa hafi ekki hærra sigmál en nauðsynlegt er vegna flutnings, niðurlagnar og þjöppunar. Algengt er að miða við að sigmál skuli vera minna en 100 mm í hefðbundinni steypu ef ekki er notað flotefni.





Mynd 82
Keila til að mæla sigmál ferskrar steypu

Þjöppunarmæling (ÍST EN 12350-4). Þjálnin er mæld með því að ákvarða hve steypa þjappast mikið við ákveðna titrun á stöðluðu titurborði. Ílát er sléttfyllt af steypu og titrað. Mælt er hve steypan lækkar mikið í ílátinu við titrunina. Þjöppunarmæling er frekar lítið notuð hérlendis og þá helst í einingaverksmiðjum.

Flæðimæling með fallborði (ÍST EN 12350-5). Þessi mæliaðferð er helst notuð við mjög þunnfljótandi steypu. Fremur lítil sigmálskeila er látin standa á fallborði, fyllt af steypu og síðan fjarlægð, þannig að steypan situr eftir á borðinu. Steypunni er síðan komið á hreyfingu með því að lyfta fallborðinu og sleppa því síðan. Þetta er gert 15 sinnum og að því loknu er þvermál steypulagsins mælt í tvær hornréttar stefnur.

Sigmál sjálfútleggjandi steypu (ÍST EN 12350-8). Þessi aðferð hentar til að mæla flæðieiginleika sjálfútleggjandi steypu. Sama keila er notuð í þessu prófi og sú sem notuð er í hefðbundnu sigmálsprófi. Keilan er fyllt af steypu á sléttri stálplötu sem er a.m.k. 900 mm á kant. Keilunni er lyft upp og flæðið mælt með því að tíminn er tekinn á því hversu lengi steypan er að flæða þannig að hún myndi hringlaga form sem er 500 mm í þvermál, t_{500}.

5.1.4 Loftinnihald, ÍST EN 12350-7

Í staðlinum er tveimur aðferðum lýst; þrýstimæliaðferð og vatnssúluaðferð. Um báðar aðferðir gildir að steypan er þjöppuð fyrir mælinguna samkvæmt ákvæðum staðalsins þannig að hún innihaldi fyrst og fremst blendiloft. Vatnssúluaðferðin er oftar notuð hérlendis. Mælirinn er þá stálfata með loki og á því er lóðréttur stútur með glerröri með áföstum þrýstimæli að ofanverðu. Steypusýnið er sett í stálfötuna og glerrörið fyllt með vatni. Loftþrýstingurinn í rörinu er aukinn að ákveðnu marki og þjappast þá steypan saman eftir því hve mikið loft er í henni. Loftinnihaldið mælist sem sigið á vatnssúlunni eftir að þrýstingur er settur á. Lofthlutfall ætti alltaf að mæla á byggingarstað á steypu úr hverjum bíl.

5.1.5 Rúmþyngd, ÍST EN 12350-6

Rúmþyngd steypu getur verið þýðingarmikill eiginleiki, m.a. vegna flutnings, niðurlagnar og þjöppunar steypunnar. Mælingin felst í því að þjappa steypu í mót með þekktri þyngd og rúmmáli og er rúmþyngdin reiknuð út frá þyngd steypu og rúmmáli hennar.

5.2 Hörðnuð steinsteypa

Gerðar eru fjölmargar prófanir á harðnaðri steinsteypu til að kanna mismunandi eiginleika hennar. Við hönnun steinsteypu er meðal annars prófaður brotstyrkur hennar, frostþol og loftdreifing. Ef um er að ræða vegsteypu eða brúargólf þarf einnig að prófa slitþol steypunnar og beygjutogstyrk hennar. Hér á eftir er nokkrum aðferðum lýst sem notaðar eru til að prófa harðnaða steypu.

5.2.1 Brotstyrkur steypusýna, ÍST EN 12390-3

Brotstyrkur (e. *compressive strength*) steinsteypu er fundinn með því að brjóta prófsýni í pressu, skv. staðli ÍST EN 12390-3. Sýnin hafa þá verið steypt og látin harðna við stöðluð skilyrði, þ.e.a.s. í þokuklefa í ákveðinn tíma (t.d. 28 daga) þar sem hlutfallsraka (HR) er haldið sem næst 100% og hitastiginu við 20°C. Steypa er flokkuð eftir brotstyrk í styrkleikaflokka sem eru táknaðir með bókstafnum C ásamt kennistyrk $f_{c,cyl}$ eða $f_{c,cube}$ í MPa, eftir því hvort um er að ræða sívalningssýni eða teningssýni. Til dæmis er steypa sem á að þola 35/45 MPa þrýstiálag áður en sýnið brotnar flokkað sem C35/45. Fyrri talan í C35/45 er sívalningsstyrkur og seinna gildið teningsstyrkur og eru kröfur um styrk steypu almennt settar þannig fram með tilvísun í ÍST EN 206. Hér á landi er brotstyrkur steypu nær eingöngu mældur með því að þrýstibrjóta sívalninga og því oft talað um t.d. steypu C35 og þá átt við flokkinn C35/45. Styrkleiki steypu er háður tíma, hita og raka og mæling á þrýstiþoli við staðlaðar aðstæður er nauðsynleg til að unnt sé að bera saman og hanna sterka steypu. Má segja að þessar aðstæður séu hinar ákjósanlegustu og að u.þ.b. 90% af endanlegum styrkleika séu komin fram eftir 28 daga. Skilyrðin á byggingarstað eru aftur á móti yfirleitt ekki eins góð og steypa er venjulega lengur að ná samsvarandi styrk, en hún gerir það þó að lokum.

Mynd 83 sýnir dæmi um mælingu á brotsyrki steypusívalnings.



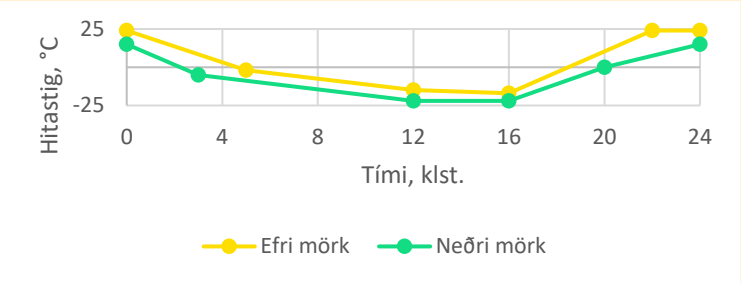
Mynd 83
Dæmi um mælingu á brotstyrki steypusívalnings

5.2.2 Veðrunarþolspróf á steinsteypu, CEN/TS 12390-9

Þessi staðall er að uppruna sænskur staðall, SS 137244, en er nú tæknilýsing (e. Technical Specification, TS) innan CEN/TC51 og er því ekki samhæfður staðall (e. Harmonized Standard). Staðlinum er ætlað að mæla yfirborðsflögnun steypu (e. scaling) við frost/þíðu-álag. Sagaðar eru

tvær plötur (tvö hlutasýni) úr steypu sem prófa á, 150 x 150 x 50 mm á kannt eftir að steypan hefur harðnað við ákveðnar aðstæður og fengið tilhlýðilega vatnsmettun. Plöturnar eru settar í einangruð mót og þétt meðfram, þannig að einungis yfirborðsflöturinn er óvarinn. Síðan er sett 3 mm þykkt lag af 3% NaCl lausn ofan á yfirborðsflötinn og plastfilma þar yfir (til að hindra uppgufun).

Sýnin eru sett í sérstakan skáp þar sem skiptir á frosti og þýðu eftir fyrir fram ákveðinni hitastigssveiflu, í þessu tilfelli skal hitasveiflan vera innan þeirra marka sem upp eru gefin á mynd 84. Hitasveiflan er frá u.þ.b. +20°C, niður í -20°C og svo aftur upp í +20°C á einum sólarhring.



Mynd 84
Frostþolspróf (flögninarpróf) á steinsteypu, hitaferill sveiflu

Eftir 7, 14, 28, 42 og 56 umferðir eru sýnin tekin út úr frost/þíðu skápnum og skoluð og burstuð til að safna því sem hefur flagnað við áraunina, sjá mynd 85. Eftir hverja skolun er sett ný saltlausn ofan á sýnið áður en það er sett aftur inn í frost/þíðu skápinn.



Mynd 85
Frostþolspróf á steinsteypu, það sem flagnar við áraun er fjarlægt

Algengt er hérlendis að miða við að flögnun skuli ekki vera meiri en 1 kg/m^2 eftir 56 frost/þíðu umferðir og auk þess að hlutfallið milli flögninar eftir 56 sveiflur og 28 sveiflur skuli ekki vera hærra en 2,0.

5.2.3 Kleyfnistyrkur, ÍST EN 12390-6
Steypusívalningur sem er 150 mm í þvermál og 300 mm að lengd er lagður á hliðina og brotinn eftir endilöngu. Álagið sem þarf til að brjóta sýnið er skráð sem kleyfnistyrkur (e. tensile splitting strength) steypunnar.

5.2.4 Rúmþyngd, ÍST EN 12390-7
Rúmþyngdarmæling á steypu má gera á blautu steypusýni (í 20°C heitu vatni í 24 klst. og yfirborðsþerrað) eða þurru steypusýni (ofnþurrkað við 105°C í 24 klst.). Massi og rúmmál sýnis er ákvarðaður og rúmþyngdin reiknuð út frá því. Lágmarksrúmmál sýnis skal vera 0,785 l.

5.2.5 Vatnsþéttleiki, ÍST EN 12390-8
Vatni er þrýst inn í harðnaða steypu undir ákveðnum þrýstingi í ákveðinn tíma. Sýnið er síðan brotið til að mæla hversu langt vatnið gekk inn í steypuna.

5.2.6. Loftinnihald og dreifing lofts
Ef engu loftblendi væri blandað í venjulega steypu væri loftinnihald hennar oftast lítið, gjarnan um 2%. Ef steypa á að vera frostþolin þarf að blanda í hana loftblendiefni og er miðað við að blendiloft skuli vera á bilinu 5-8%. Loftinnihald harðnaðrar steypu er metið í þunnsneið í víðsjá. Annars vegar er mældur fjarlægðarstuðull og hins vegar heildarloftmagn. Fjarlægðarstuðullinn lækkar (loftdreifing verður betri) eftir því sem loftbólurnar verða fleiri og smærri.

5.2.7 Prall slitþolspróf, ÍST EN 12697-16
Ef steypublanda er ætluð í vegsteypu eða brúargólf er hér mælt með því að gera Prall slitþolspróf á hönnunarstigi á hörðnuðu steypusýni. Prófunaraðferðin ÍST EN 12697-16 er notuð til að mæla viðnám malbikssýna gegn sliti af völdum negldra hjólbarða. Aðferðin hentar einnig vel til að mæla slitþol steypusívalninga en er þó ekki hluti af prófunarstöðlum fyrir steypu. Prófunaraðferðinni er lýst nánar í kafla 4.7 í þessum viðauka.

5.2.8 Beygjutogstyrkur, ÍST EN 12390-5
Við hönnun ákveðinna steypuvirkja er ekki þýðingarminna að huga að ýmsum öðrum styrk en þrýstistyrknum. Þar er öðru fremur átt við beygjutogstyrkinn (e. flexural strength) sem einkum er mikilvægur þegar steypt slitlög eiga í hlut, t.d. á vegum og flugbrautum. Algengt er að nota trefjar í steypu sem þarf að hafa mikinn beygjutogstyrk. Í bindingnum milli steinefna og sementsefju reynir á beygjutogstyrkinn. Steinefni með hátt brothlutfall reynist gefa sterkari binding en ávalt eða núið efni að öðru jöfnu.

5.2.9 Fjaðurstuðull, ISO 1920-10
Í staðlinum er tilgreind aðferð til að ákvarða stöðufjaðurstuðul harðnaðrar steypu undir þrýstingi (e. Determination of static modulus of elasticity in compression). Prófunin felst í því að leggja grunnálag 0,5 Mpa á sívalan prófhlut með hlutfall hæðar og þverməls 2,0. Álagið er aukið þar til það nær 1/3 af þrýstistyrk steypunnar. Streitan er mæld og fjaðurstuðullinn fundinn með því að bera saman streitugildi og þrýstigildi á ákveðinn hátt. Þessi aðferð er ekki talinn upp í framleiðslustaðli steinsteypu, ÍST EN 206. Aðferðin er notuð í rannsóknaskini hér á landi og eiginleikinn getur verið mikilvægur við hönnun vegsteypu og steypu í brúarbita og brúarplötur.

6 PRÓFANIR Á SÝNUM ÚR FESTU BURÐARLAGI

6.1 Kleyfnibrotþol bikbundinna festunarsýna

Ítarleg verklýsing er birt í skýrslu BUSL nr. B-14 *(Festun burðarlaga með froðubiki - prófanir á rannsóknastofu)* og á við um prófblöndur og prófanir á þeim þegar froðubik er notað til festunar. Hún gildir einnig fyrir prófblöndur vegna fræsingar og festunar með froðubiki og svipaður framgangsmáti gildir einnig þegar bikþeyta er notuð til festunar, en mismunurinn liggur í blöndun og steypu prófhluta. Stytt verklýsing er birt hér á eftir:

Sýnataka

Sýni skulu tekin af efni úr námu eins og gert er ráð fyrir að það verði notað í framkvæmdinni. Ef hins vegar á að styrkja veg með fræsun og festun þarf að hafa nokkur atriði í huga varðandi sýnatöku. Fjarlægð milli sýnatökustaða ræðst af ástandi vegarins (því verra ástand, þeim mun þéttari sýnataka) og því hversu vel uppbygging hans er þekkt. Hægt er að miða að jafnaði við að taka sýni á um 250 m fresti og þá til skiptis í hægri og vinstri akrein. Stærð sýnatökuhola ætti að vera 1x1 m og dýptin ræðst af því hvað gert er ráð fyrir að fræsa djúpt. Gott er að skilja að slitlag og burðarlag, eftir því sem hægt er. Um leið og sýnin eru tekin ætti að skrá þykkt slitlags og burðarlags.

Rannsóknastofupróf

Mæling á kornastærðardreifingu: Þegar sýni koma á rannsóknastofu er kornastærðardreifing þeirra mæld, skv. ÍST EN 933-1, ásamt rakainnihaldi og húmusinnihaldi. Ef um er að ræða sýni tekin úr vegi sem á að fræsa og festa, er slitlagsefnið fjarlægt úr, ef það er til staðar, áður en kornastærðardreifing er mæld.

Proctorpróf, „modified": Til að finna hvaða rakastig skal vera í prufunum, þegar froðubikinu er blandað út í, er gert „modified" Proctorpróf. Út frá því fæst heppilegasta (e. optimum) rakastig, þ.e.a.s. það rakastig sem gefur hæsta þurra rúmþyngd við þjöppun.

Rakastig í prufu er síðan ákveðið út frá eftirfarandi:

$$w = w_{obt} - 0{,}5\ x\ bindiefni(\%)$$

þar sem w_{obt} er heppilegasta rakstig samkvæmt „modified" Proctorprófi.

Þegar bikþeyta er notuð þarf að taka tillit til þess að hún inniheldur vatn og leiðrétta fyrir því. Til dæmis, ef blandan á að innihalda 3% bik og bikþeytan er með 40% vatn, þarf magn bikþeytu að vera 3,0/0,6=5,0% þar af er vatn 5,0*0,4=2%.

Blöndun steinefnis og froðubiks (gildir einnig fyrir bikþeytu): Sýni er fyrst sigtað á 22,4 mm sigti og prófblöndur gerðar með efni sem er þar fyrir neðan. Ef um er að ræða sýni úr vegi er slitlagið að öllu jöfnu ekki haft með. Ef slitlagið er hins vegar þykkt (meira en 60-70% af þykktinni sem á að festa) þarf að gera sérstakar prófblöndur úr slitlaginu. Gert er ráð fyrir að prófa þrenns konar bikinnihald, sem ákveðið er í hvert sinn. Blöndun steinefnis og froðubiks (eða bikþeytu) er gerð í hrærivél og skal magn steinefnis sem í hana fer ákvarðast af því að blöndun sé auðveld.

Froðubikið sem notað er skal að jafnaði gert með PG 160/220 bindiefni að viðbættu hitaþolnu viðloðunarefni. Froðubikið er framleitt á rannsóknastofu um leið og blöndun fer fram í sérstöku tæki, sjá mynd 86, en bikþeytu þarf að fá frá framleiðanda hennar.



Mynd 86
Tæki til að framleiða froðubik á rannsóknastofu

Steypa kjarna: Miðað er við að steypa 4 kjarna fyrir hvert bikinnihald og eru fjögur 1200 g hlutasýni útbúin. Kjarnarnir eru steyptir á eftirfarandi hátt:

- Sýni sett í mót og í pressuna
- Álag er aukið úr 0 í 8 tonn á tveimur mínútum
- álagi haldið í 8 tonnum í tvær mínútur
- álag tekið af, kjarni tekinn úr pressunni og settur á sléttan flöt meðan hinir kjarnarnir eru steyptir

Meðhöndlun kjarna: Fyrir prófun eru kjarnarnir settir í hitaskáp við 60°C í þrjá sólarhringa til þess að þeir nái að þorna og mynda styrk. Ef þörf er á að geyma þá má láta þá standa í stofuhita í allt að 3 klukkustundir, en ef þeir eru geymdir í meira en 3 klukkustundir skal koma þeim fyrir í kassa og breiða plast yfir. Ef geyma á kjarnana í lengri tíma (1,5-14 sólarhringa) skal það gert í kæliskáp við 5-10°C.

Mæling á rúmmáli og þyngd: Þegar kjarnarnir koma úr hitaskáp er hæð þeirra og þvermál mælt og þeir vigtaðir þurrir og niðurstöður skráðar.

Vatnsmeðhöndlun: Kjarnarnir eru vatnsmettaðir við 1 atm undirþrýsting í 1 klukkustund. Eftir það eru þeir geymdir í sólarhring í vatnsbaði við stofuhita.

Mæling á kleyfnibrotþoli: Eftir meðhöndlun kjarnanna eins og lýst er hér að framan, eru þeir settir í hitabað, sem stillt er á 25°C og hafðir þar í u.þ.b. 1 klukkustund. Þá eru þeir teknir og brotnir með kleyfnibrotþolsaðferð og er hraði á pressunni hafður 50 mm/mín. Brotálagið (kN) er skráð á mæliblað.

Útreikningar: Út frá framangreindum niðurstöðum er eftirfarandi reiknað:

- rúmþyngd hvers kjarna
- kleyfnibrotþol hvers kjarna
- meðaltal og staðalfrávik kleyfniþols

Kleyfnibrotþol kjarnanna er reiknað samkvæmt eftirfarandi líkingu:

$$kl = \frac{2 * P * 10000}{\pi * þ * h}$$

þar sem P er brotálag (kN), þ er þvermál kjarna (cm) og h er hæð kjarna (cm).

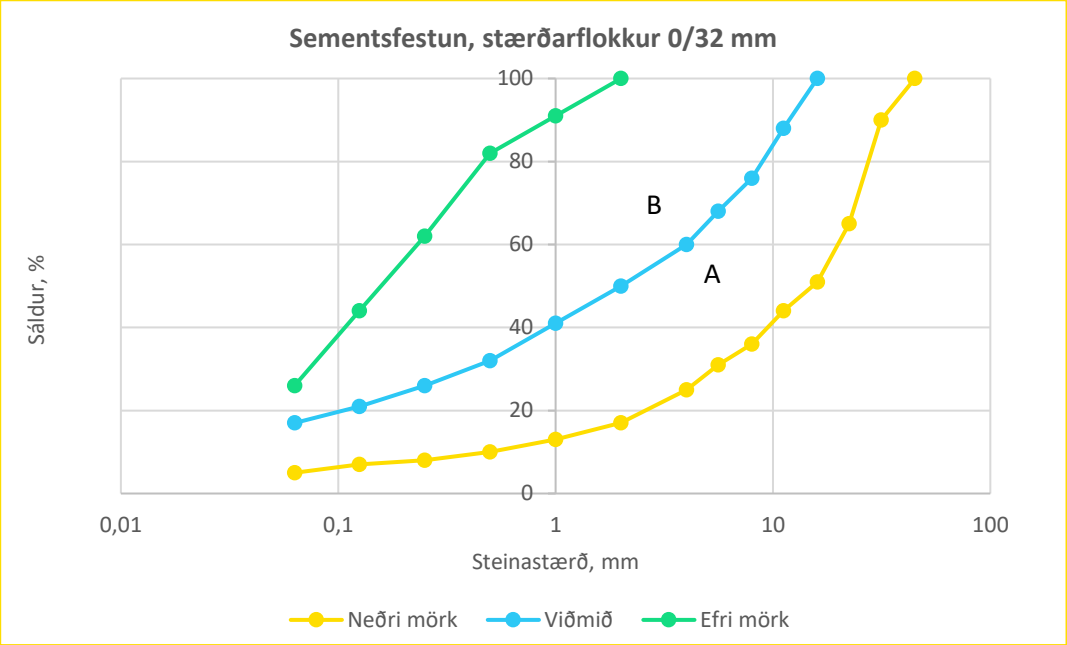
6.2 Prófanir á sementsfestu burðarlagsefni

Á vef Vegagerðarinnar er að finna skýrsluna *Leiðbeiningar fyrir framkvæmd og eftirlit með sementsfestun* sem kom út 2013, en þar er lýst aðferðum við sementsfestun og prófanir í tengslum við festun, sjá slóðina: http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/Leidb_framkv_eftirlit_m_sementsfestun/$file/Leidb_framkv_eftirlit_m_sementsfestun.pdf. Hér með er vísað í þá skýrslu með ítarlegri lýsingum á verklagi og prófunum, en sumt hér á eftir er afritað beint úr skýrslunni.

Þegar ákveðið hefur verið hvaða kafla á að sementsfesta þarf að burðarþolsmæla hann, mæla upp og hanna nýja viðmiðunarhæðarlegu. Lagið sem fest er skal vera að lágmarki 150 mm þykkt. Taka þarf sýni úr vegi til hönnunar á sementsfestun, sem sagt ákvörðunar á hagstæðasta rakastigi og sementsmagni, kg/m2, til að ná nægilegum styrk. Sýni skulu send til viðurkenndrar rannsóknarstofu sem framkvæmir rannsóknina.

Við hönnun á sementsfestu burðarlagi þarf að gera prófblöndur með því steinefni sem á að festa hverju sinni til að ákvarða sementsmagn. Sementsfestun hér á landi er yfirleitt aðgerð til að styrkja eldra burðarlag. Einnig kemur til greina að sementsbinda nýtt burðarlag á umferðarmikla vegi, t.d. við breikkanir vega. Viðmiðun fyrir kornadreifingu efnis í sementsfest burðarlög er sýnd á mynd 87.

Efni innan svæðis merkt A, er heppilegast fyrir umferðarmikla vegi, en einnig er hægt að festa efni sem lendir á svæði B, en þá þarf meira sementsmagn.



Mynd 87
Markalínur steinefnis fyrir sementsfest burðarlög

Aðrar kröfur til sementsfestra burðarlaga en kornadreifing eru vatns/sements-tala og brotstyrkur kjarna, auk þjöppunarkrafna. Vatns/sements-tala skal vera á bilinu 0,8 til 1,0 og sjö daga brotstyrkur á sýni sem þjappað er með Kango hamri skal vera ≥ 5 MPa.

Framkvæmd sementsfestunar er lýst ýtarlega í skýrslunni sem vitnað er í hér að framan, en hún felst í eftirfarandi aðgerðum:

- *Þurrfræsing:* Sementsfestun skal unnin þannig að fyrst er kaflinn þurrfræstur og bætt í steinefni samkvæmt fyrirmælum, jafnað með hefli og valtað með einni umferð. Dýpt þurrfræsingar skal vera 30 mm grynnri en endanleg festunarþykkt.
- *Blöndun:* Sementi er dreift á veginn skv. niðurstöðu hönnunar um magn á fermeter og því blandað saman við þurrfræstan massa í einni umferð. Blöndun skal fara fram með sérhæfðum búnaði sem tryggir jafna blöndun sements. Miðað er við að lágmarks festunardýpt sé 150 mm. Dreifitæki skulu hafa búnað sem dreifir sementsmagni eftir vegalengd óháð hraða tækja.
- *Heflun:* Ganga þarf frá yfirborði þess kafla sem blandaður hefur verið með sementi innan 3 til 5 klst., háð lofthita. Strax eftir blöndun hvers kafla skal efnið jafnað í rétta hæð með veghefli. Veghefill skal hafa þar til gerðan tölvubúnað þannig að þverhalli sé í samræmi við hönnun. Þá verður yfirborð að vera slétt í þver- og langátt.
- *Völtun:* Hefja skal völtun með ráltromluvalta strax eftir að hefill hefur rifið efni upp og hafið jöfnun. Valta skal 4 til 7 umferðir með titrun (háð þyngd valta).
- *Brotvöltun:* Brotvöltun fer þannig fram að þjappa skal með a.m.k. 10 tonna þungum titurvalta u.þ.b. 36 - 48 klst. eftir íblöndun eða síðar, þó innan viku, með 2 til 3 umferðum.
- *Meðhöndlun yfirborðs fram að klæðingu:* Að frágangi loknum skal halda yfirborði röku í a.m.k. 7 daga eða loka því með yfirlögn slitlags. Áður en klæðing er lögð skal verktaki gera við yfirborðsskemmdir með sementsblönduðum sandi og tryggja að yfirborð sementsfesta lagsins sé hreint (sópað). Eftirlit verkkaupa gefur heimild fyrir útlögn slitlags á kafla. Ef

malbik er lagt á sementsfest burðarlag er mikilvægt að líma með sérstakri bikþeytu á sementsfesta lagið áður en malbik er lagt.

Til ákvörðunar á 28 daga brotstyrk úr festu burðarlagi skal verktaki taka kjarnasýni á 500 m bili eftir endilöngum veginum. Sýnataka skal dreifast jafnt á báðar akreinar. Sýnataka skal fara fram innan við 42 dögum eftir festun. Sýni skal sent strax til viðurkenndrar rannsóknarstofu í lokuðum plastpokum. Þar skulu þau brotin sem fyrst og leiðrétt miðað við 28 daga brotstyrk steinsteypu. Krafa um brotstyrk eftir 28 daga er 7 MPa.



Efnisgæðaritið – Viðauki 2: Efnisgerðir

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	7	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 2: Efnisgerðir í vega- og gatnagerð			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur
Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir í vega- og gatnagerð (2023)
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Viðauki 2: Efnisgerðir í vega- og gatnagerð

Inngangur
Efnisgerðum, sem notaðar eru í vegagerð er skipt í þrjá meginflokka **1. set** (efni úr setmyndunum), **2. storkuberg** (efni úr storkubergi), **3. endurnýtt efni** (endurunnin efni), sjá flæðirit á mynd 1. Flokkar 1 og 2 eru meginflokkar jarðmyndana sem lýst er í viðauka 3 en í flokki 3 er byggingarúrgangur, sem fellur til m.a. við niðurbrot bygginga, endurnýtingu vegagerðarefna og sem úrgangur frá verksmiðjum. Efnisgerðirnar eru flokkaðar í undirflokka eftir vinnslu efnisins. Ástæðan fyrir flokkun efna í efnisgerðir er að eiginleikar þeirra eru misjafnir og því eru gerðar mismunandi kröfur til efnis eftir því hver efnisgerðin er og hvernig vinnslu hefur verið háttað.

Jarðmyndanir eru mishæfar til vinnslu í einstök lög vegar. Þannig getur t.d. verið óhagkvæmt eða ómögulegt að vinna burðarlagsefni úr sumum jarðmyndunum, t.d. botnruðningi (grjótmulningur neðst í skriðjökli). Aðrar jarðmyndanir, t.d. bólstraberg, er í sumum tilvikum hægt að nota í burðarlag eftir losun en án þess að það þurfi að vinna efnið að öðru leyti. Mikilvægt er að hafa í huga að það eru grunneiginleikar efnisins, svo sem kornadreifing, kristalbygging bergs, kornalögun, gropa (blöðrur) og ummyndun sem ráða miklu um afleidda eiginleika, svo sem styrk, veðrunarþol, slitþol og burðarþol efnisins. Berggæði og eiginleikar jarðmyndunar eru mikilvægar grunnforsendur til að hægt sé að framleiða gott efni en efnisgæði steinefnisins ráðast þó einnig að verulegu leyti við vinnslu þess. Basalt getur verið lítið ummyndað og með gott veðrunarþol (frostþol) eða mikið ummyndað og með lélegt veðrunarþol. Á sama hátt getur steinefni verið þétt og með mikinn styrk eða gropið (blöðrótt) og með lítinn styrk. Þó að mikilvægt sé að rannsaka vel grunneiginleika og afleidda eiginleika efnisins er alltaf mjög gagnlegt að hafa hliðsjón af reynslu af ákveðnum bergtegundum við mat á hæfi þeirra til vegagerðar.

Með viðeigandi vinnsluaðferðum[1] má bæta suma af grunneiginleikum efnisins svo sem kornadreifingu, brothlutfall og kornalögun. Algengar aðferðir til að bæta kornadreifingu eru þvottur og undantekt á fínefnum og sandi, t.d. í flokkaða vegklæðingu. Með réttu vali á brjótum og vinnsluaðferðum er einnig hægt að bæta kornalögun efna sem hafa tilhneygingu til að verða kleyfin (flögótt).

Efnisgerðirnar set og storkuberg hafa verið mikið rannsakaðar og einnig er margra áratuga reynsla bæði hér á landi og erlendis af notkun þeirra, sem efniskröfur byggja að verulegu leyti á. Endurunnin efni hafa ekki verið mikið notuð til vegagerðar en

[1] Um vinnsluaðferðir er fjallað í viðauka 6 og einnig ýtarlega í ritunum *„Vinnsla steinefna til vegagerðar – tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit (2013)“ og „Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar (2018)“. Þessi rit eru á vefslóðinni* http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/

vaxandi áhugi er fyrir því bæði hér á landi og erlendis að auka þekkingu og notkun á þessum efnum. Hér á eftir er gerð grein fyrir mismunandi efnisgerðunum.

Efnisgerð 1 Set
Allar setmyndanir falla í þennan flokk en einnig setberg, gjóska og móbergstúff. Í viðauka 3 sem fjallar um jarðmyndanir er sagt frá helstu setmyndunum. Gjóska og móbergstúff eru strangt til tekið flokkaðar jarðfræðilega með myndunum gosbergs þar sem uppruni þessara jarðmyndana er í hraunkviku. Við notkun eru eiginleikar þessara efna hins vegar líkir eiginleikum sets. Gjóskan er mikið í sandstærðum en hefur sérstæða eiginleika þar sem kornin eru mjög köntótt og blöðrótt. Móbergstúff (samlímd og hörðnuð gjóska) brotnar niður í sand og malarstærðir við vinnslu og eru eiginleikar efnisins þá líkir eiginleikum grófrar gjósku, t.d. vikurs. Á sama hátt eru eiginleikar setbergs metnir eftir því hvaða laust efni verður til við niðurbrot efnisins við vinnslu t.d. möl úr völubergi, sylti úr syltarsteini, leir úr leirsteini og jökulruðningur úr jökulbergi. Í kaflanum um jarðmyndanir er yfirlit yfir það hvaða not má hafa af mismunandi setmyndunum í vegagerð

Efnisgerð 2 Storkuberg[2]
Allar bergtegundir storkubergs tilheyra þessum flokki en algengast er að efni til vegagerðar hér á landi sé unnið úr mismunandi gerðum basalts.

Skipta má storkubergi í efnisflokka eftir eiginleikum þess til vegagerðar, sem eru m.a. háðir ummyndun bergsins og gropu (blöðrum) þess en það hefur meðal annars áhrif á styrk, veðrunarþol og slitþol bergsins. Efnisflokkarnir eru til dæmis **hraunkargi**, **hraun, ferskt berg**, **bólstraberg** og **mikið ummyndað berg**.

Sprungumynstur, straumflögun og kristalbygging eru ráðandi eiginleikar varðandi grjótstærðir og lögun grjóts sem berg springur í. Þó má hafa áhrif á það hversu smátt grjót springur með vinnslutækni svo sem bormynstri og hleðslu borhola. Grjótstærðir ráða miklu um það í hvaða lög vegarins hægt er að nota grjótið ómalað. Stórir forbrjótar ráða einungis við grjót sem er minna en u.þ.b. 0,8 m í þvermál þannig að ef mala á grjótið er mikilvægt að gera vinnsluspá, sem er áætlun um hlutfall mismunandi grjótstærða. **Þóleiít basalt** springur yfirleitt fremur smátt. Stuðlaberg sem er með þétt sprungumynstur bæði lárétt og lóðrétt nefnist **kubbaberg,** en **stuðlaberg** er sprungið í eina stefnu. Kubbaberg og fínstuðlað berg springur smátt og hentar því vel til vinnslu vegagerðarefna. Dæmi um berg sem springur í stórar steinastærðir er **dílabasalt** og **gabbró** og henta þessar bergtegundir að öðru jöfnu vel í rofvarnir en hins vegar getur hlutfall stórgrýtis verið nokkuð hátt fyrir vinnslu grjótsins í t.d. burðarlag.

[2] Í ritunum *„Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla efniskröfur og útlögn (2010)“ og „Sprengt berg í vegagerð - Handbók fyrir vegagerðarmenn (2012)“ er ýtarleg umfjöllun um notkun bergs. Þessi rit eru á vefslóðinni* http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/

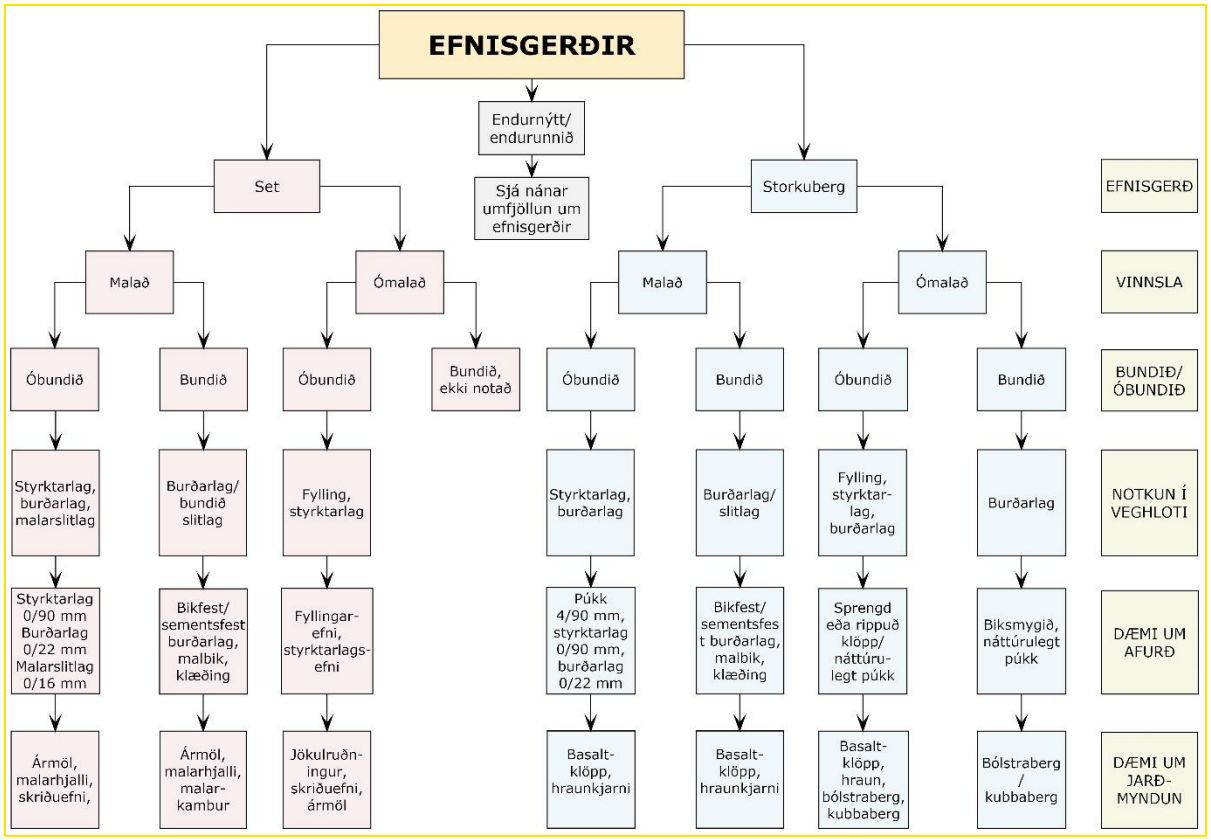
Púkk er berg af steinastærðum minni en 250 mm í þvermál ýmist malað eða ómalað. Malað púkk getur verið af mismunandi steinastærðum t.d. fínpúkk 4 – 22 mm og 11 – 16 mm og grófara púkk 4 – 80 mm, þ.e. sandur og fínefni eru ekki með í efninu. Malað berg hefur tilhneygingu til að hafa opna kornadreifingu þannig að mest af efninu er af malarstærðum en einnig er í efninu nokkuð af sandi og fínefnum. Með viðeigandi vinnsluaðferðum er þó hægt að laga kornadreifingu efnisins með því að auka hlutfall sands. **Bólstraberg** og **kubbaberg** gefa oft af sér það smáa steina við losun að hægt er að nota efnið óunnið sem púkk. Púkk er oft gert stöðugra með því að þjappa t.d. fínna efni ofan í yfirborðið á því (**forkílt púkk**). Straumflögun, sem myndast við það að seigfljótandi kvika er á hreyfingu eftir að hún er farin að storkna, getur valdið fíngerðum sprungum. Líparít er oft straumflögótt og straumflögun kemur einnig fyrir í þóleiít basalti og andesíti. Straumflögótt berg er ekki heppilegt til vinnslu burðarlags- og slitlagsefna þar sem það springur oft í flögótta (flata og ílanga) lögun korna sem veldur óstöðugleika í efninu, auk þess sem kornin eru brotgjörn. Í viðauka 3 um jarðmyndanir er yfirlit yfir það hvaða not má hafa af mismunandi myndunum storkubergs í vegagerð.

Efnisgerð 3 Endurnýtt og endurunnin efni

Við endurbyggingu vega fellur til verulegt magn af efnum úr gamla veginum sem hægt er að endurnýta. Öll lög gamalla vega er hægt að endurnýta sem fyllingarefni í nýja vegi en einnig er algengt að vegir séu styrktir með því að bikbinda eða sementsbinda burðarlag þeirra. Á undanförnum árum hefur verið vaxandi áhugi á því að auka endurnýtingu efna í vegagerð. Enn er þó heildarmagn slíkra efna óverulegt miðað við heildarmagn vegagerðarefna. Ástæður fyrir því eru m.a. að oft er auðveldara að aka nýju efni úr námum, en einnig er oft þörf fyrir gamla veginn til dæmis sem reiðveg.

Erlendis er talsvert gert af því að nota frákastsefni úr verksmiðjum og málmnámum til vegagerðar en auk þess efni sem fellur til við niðurrif bygginga og jafnvel gömul bíldekk. Til að framleiða efni til vegagerðar í hæfilegum stærðum úr byggingarúrgangi þarf sérhæfðan tækjabúnað, m.a. til að fjarlægja steypustyrktarjárn og smækka steyptar einingar niður í stærðir sem forbrjótur mölunarsamstæðu ræður við. Ef nýta á slík efni þarf að rannsaka þau hverju sinni með þeim aðferðum sem henta fyrir hvert af þessum fjölbreytilegu efnum. Á síðustu árum hefur farið vaxandi að nýta malbikskurl sem unnið er úr malbiksfræsi bæði til íblöndunar í burðarlag og malbik. Almennar kröfur til steinefna gilda fyrir endurunnin vegagerðarefni en yfirleitt ekki fyrir önnur endurnýtt efni. Sérstaklega mikilvægt er að rannsaka vel hvort slík efni eru mengandi eða blönduð eiturefnum. Í framleiðslustöðlum um steinefni er sett fram flokkunarkerfi fyrir endurunnin efni (e. *classification of constituents of recycled aggregates*) og þar er einnig fjallað um hættuleg efni (e: *dangerous substances*).

Myndin hér að neðan sýnir helstu efnisgerðir og flokkun þeirra eftir hæfi til notkunar í vegagerð.



Mynd 1
Efnisgerðir í vega- og gatnagerð



Efnisgæðaritið – Viðauki 3: Jarðmyndanir

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	**Fjöldi síðna**	**Dagsetning**	**Dreifing**
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	17	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 3: Jarðmyndanir			

Höfundur/ar	**Verkefnastjóri**	**Tengiliður Vegagerðarinnar**
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson
Styrktaraðili		**Samvinnuaðilar**
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar		

Lykilorð	
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.	
Undirskrift verkefnastjóra	**Yfirfarið af**
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur

Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir (janúar 2023)
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Inngangur

Námuvinnsla er talsvert umfangsmikil atvinnugrein hér á landi enda eru jarðefni, bæði setlög og berg, mikilvæg í byggingariðnaðinum. Á árinu 2009 var efnisnotkun til vegagerðar rétt innan við 6 milljón m^3 og var efnið að mestu tekið úr námum en einnig að talsverðu leyti úr skeringum við vegi. Langmest af efninu var notað í fyllingu og fláafleyga eða 4,8 milljón m^3, 1,1 milljón m^3 samtals í styrktarlag og burðarlag og um 85 þúsund m^3 í slitlög. Um 1,5 milljón m^3 voru unnir úr föstu bergi, oft úr skeringum, eða um 25% af heildarmagninu en um 75% voru úr setlögum. Hlutfall sprengds bergs, aðallega basalts, við vegagerð hefur farið hratt vaxandi á undanförnum árum. Í námukerfi Vegagerðarinnar eru skráðar liðlega 3200 efnisnámur. Um 89% námanna eru setnámur og um 11% eru bergnámur. Notkun steinefna til mannvirkjagerðar er hlutfallslega mjög mikil hér á landi eða um 60 tonn fyrir hvern íbúa landsins. Til samanburðar er notkun steinefna á bilinu 5 – 10 tonn á íbúa á hinum Norðurlöndunum. Hinsvegar er notkun sprengds bergs hlutfallslega mun meiri þar en hér á landi, m.a. vegna þess að aðgengileg laus jarðefni hafa sums staðar gengið til þurrðar, en einnig má vænta þess að betra efni fáist oft við vinnslu bergs. Þá hafa umhverfissjónarmið fengið aukið vægi og er víða lögð áhersla á verndun þeirra lausu jarðmyndana sem eftir standa óhreyfðar, til dæmis jökulmenjar á Norðurlöndunum.

Um 60% af steinefnum hér á landi eru notuð til vegagerðar sem er svipað hlutfall og annarsstaðar á Norðurlöndum.

Vegagerðarefni er að talsverðum hluta tekið úr skeringum þar sem lega vegarins kallar á lækkun yfirborðs lands á vegsvæðinu. Hins vegar er efni úr námum þar sem efni er tekið ýmist óunnið eða malað og harpað og flutt á framkvæmdastað. Þessar aðferðir við efnistöku eru ólíkar í lagalegu tilliti þar sem efnistaka úr námum fellur undir sérstök ákvæði laga um umhverfismat en efnisflutningur úr skeringum skoðast sem hluti af framkvæmdum. Þar sem skeringarstaðir eru yfirleitt ekki valdir með tilliti til efnisgæða er algengt að skeringarefnið nýtist fyrst og fremst í fyllingar og fláafleyga en þó fer nú vaxandi að mala grjót úr bergskeringum í efri lög vega. Námustaðir eru hins vegar fyrst og fremst valdir, að teknu tilliti til umhverfissjónarmiða, með hliðsjón af gæðum þess efnis sem þar finnst og vegalengd frá námunni að veginum sem á að byggja.

1. Jarðfræðiágrip

Magn og gæði þeirra jarðefna, sem notuð eru til mannvirkjagerðar, eru háð jarðfræðilegri uppbyggingu og gerð berggrunnsins á viðkomandi svæði og þeim öflum sem hafa verið að verki við ummyndun bergsins, og niðurbrot þess í laus jarðefni og við flutning þessa lausa efnis. Af berggrunnskortunum má fá gróft yfirlit yfir bergtegundir svæðisins sem líklegt er að einkenni einnig malarefnið á hverjum stað, þar sem meginhluti lausa efnisins hefur oftast flust tiltölulega stutta vegalengd frá móðurberginu. Þannig er yfirleitt alltaf eitthvað af líparíti í setmyndunum nálægt megineldstöðvum og móberg er víða áberandi í malarefni í gosbeltunum og í nánd við þau. Undantekningar frá þessari meginreglu eru til dæmis þar sem jökulár bera efni langar leiðir úr einu jarðfræðilegu svæði í annað. Sem dæmi um það má nefna Jökulsá á Dal sem borið hefur mikið magn af fersku basalti niður á svæði á Austurlandi þar sem annars er ummyndaðra berg.

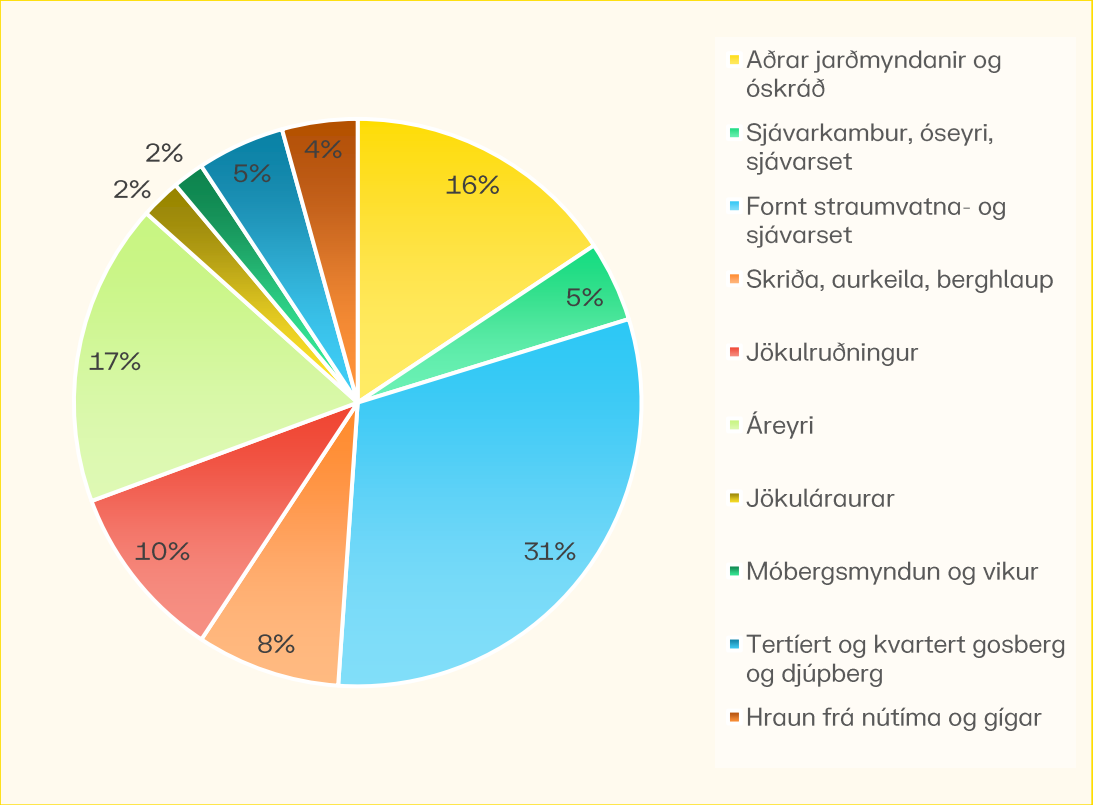
Mikið af þeim jarðmyndunum sem gerðar eru úr lausum jarðlögum (seti) urðu til í tengslum við síðasta jökulskeið, sem lauk fyrir um 10 þúsund árum. Jökulruðningur (mórena) frá síðasta jökulskeiði þekur stór landsvæði, einkum á flötum heiðum og hálendi. Skolað set (sem er með hæfilegu magni af fínefnum) getur verið vandfundið á heiðum og á það t.d. við um flesta fjallvegi landsins. Sums staðar á heiðum, svo sem á Jökuldalsheiði, er þó mikið af jökulárseti; malarásum og fornum áraurum. Við hærri sjávarstöðu í ísaldarlok fluttu jökulár ógrynni af bergmylsnu út í þáverandi víkur og firði. Óseyrar teygðust fram á núverandi undirlendi og ströndin færðist fram, bæði vegna lyftingar landsins að afléttu jökulfargi og af framburði ánna. Þessar fornu óseyrar mynda nú víða flata malarhjalla neðan við 100 m hæð yfir sjávarmáli. Hjallarnir eru oft sundurgrafnir af ám og lækjum, stundum þaktir jarðvegslagi en oft blásnir melar (vegna jarðvegsrofs). Sums staðar má sjá sjávarkamba sem hafa rótast upp í brimi við hærri sjávarstöðu. Myndun óseyra hélt áfram meðan sjávarborð var að lækka og æ síðan. Óseyrarnar eru mestar að vöxtum á Suðurlandsundirlendi, en renna þar saman við áraura eða sanda, og annan árframburð. Áreyrarset, þ.e. framburður vatnsfalla annarra en jökuláa, auraset, fjöruset, skriðuset og gosefni eru þau lausu jarðlög, sem eru enn í myndun á þurru landi og skipta verulegu máli við efnisöflun.

2. Yfirlit yfir helstu jarðmyndanir

Jarðmyndunum má skipta í fast berg annars vegar og laus jarðlög hinsvegar. Ofan á jarðlögunum er svo víða jarðvegur þ.e. mold, mór og önnur laus jarðefni með lífrænum leifum.

Bergtegundum má skipta í þrjá meginflokka eftir uppruna þ.e. **storkuberg**, **setberg** og **myndbreytt berg**. *Gosberg* er storkuberg sem storknað hefur á yfirborði. Ef hinsvegar bergkvika storknar á nokkru dýpi kallast bergið *djúpberg* en *gangberg* ef það storknar í sprungum á minna dýpi. Mismunandi gerðir basalts (þ.e. basísks gosbergs) eru 80 – 90% af öllu storkubergi hérlendis en einnig má nefna bergtegundir eins og líparít (súrt gosberg), andesít (ísúrt gosberg) og gabbró (basískt djúpberg). Á ísöld varð *móbergsmyndunin* til við gos undir jökli og þá myndaðist m.a. móbergstúff og bólstraberg. Þessari myndun tilheyra líka dyngjur og grágrýtishraunlög. *Hraun* eru storkubergmyndanir sem hafa myndast eftir ísöld og eru því yngri en u.þ.b. 10 þúsund ára. **Setberg** myndast m.a. úr setlögum við samlímingu þeirra og hörðnun. Sem dæmi um setberg má nefna harðnaðan jökulruðning *(jökulberg*). **Myndbreyting bergs** er fremur lítil hér á landi og er algengara að tala um að berg sé *ummyndað,* t.d. þannig að einstakar steindir bergsins hafa ummyndast yfir í leirsteindir. Ummyndun bergs ræður miklu um gæði bergsins til mannvirkjagerðar. Til eru ágæt kort af berggrunni landsins í mælikvarða 1:500.000 og einnig nokkur landshlutakort í mælikvarða 1:250.000. Nákvæmari kort í mælikvarða 1:50.000 eru einungis til af örfáum svæðum.

Laus jarðlög myndast við niðurbrot, þ.e. veðrun bergsins. Efnið flyst til frá veðrunarstað af völdum jökla, fallvatna, sjávar, hruns eða með vindi og mynda jarðmyndanir lausra jarðlaga sem kallaðar eru setmyndanir. Samkvæmt námuskrá Vegagerðarinnar eru um 89 % allra náma á landinu jarðgrunnsnámur og um 11 % náma berggrunnsnámur. Á kökuritinu á mynd 1 sést hlutfallsleg skipting náma á landinu eftir grófri flokkun jarðmyndana.



Mynd 1
Hlutfallsleg skipting náma á Íslandi eftir grófri flokkun jarðmyndana

Mestur hluti setmyndana hér á landi hefur orðið til í lok ísaldar og byrjun nútíma. Í lok síðasta jökulskeiðs var setmyndun mjög hröð enda voru jökulár þá mjög vatnsmiklar og báru fram mikið efni þegar ísaldarjökullinn bráðnaði. Á sama tíma og jöklarnir hopuðu frá ströndinni jókst mjög vatnsmagn í höfunum þannig að sjór flæddi yfir land sem áður var hulið jökli. Sjávarstaðan varð hæst á bilinu 30 – 125 m hærri en hún er nú, og mynduðust því sjávarkambar og óseyrar þar sem nú er þurrlendi. Hæst varð sjávarstaðan þar sem farg (þykkt) jökulsins hafði verið mest á síðasta kuldaskeiði ísaldar. Þegar fargi jöklanna létti reis landið en við það lækkaði sjávarstaðan smám saman og því er talsvert af strandseti og sjávarseti á yfirborði milli núverandi sjávarmáls og hæstu strandlínumarka. Mest er af skoluðum setlögum með lágt hlutfall fínefna neðan við hæstu strandlínu en ofan hennar er helst að leita að skoluðum efnum í áreyrum og í fjölbreyttum setmyndunum sem myndast hafa við framburð jökulvatns.

Heildarmagn lausra jarðlaga hér á landi er óþekkt enda hefur jarðgrunnurinn ekki enn verið kortlagður. Það er þó vel þekkt að magninu er mjög misskipt og að skortur er í sumum landshlutum en yfirdrifið efni í öðrum. Mjög brýnt er að gefin verði út jarðgrunnskort af landinu en slík kort hafa nær einungis verið gefin út af virkjanasvæðum. Nákvæmari vitneskja um magn og dreifingu lausra jarðlaga myndi stuðla að hagkvæmari og umhverfisvænni nýtingu þeirra þannig að t.d. hágæðaefni og merkilegar setmyndanir séu ekki ofnýttar. Bergnámur eru eins og áður sagði einungis um 11% af heildarfjölda náma á landinu. Notkun grjóts fer smám saman vaxandi m.a. vegna þess að auðveldara er að tryggja jöfn gæði efnis í góðri grjótnámu en í setnámu, þar sem efnið í setnámum er oft samsett af margvíslegum bergtegundum af misjöfnum gæðum.

3. Efniseiginleikar jarðmyndana

Setlög úr margs konar jarðmyndunum hafa í gegnum árin oft verið valin til vinnslu vegagerðarefna með tilliti til þess að setið henti í viðkomandi lag vegarins án þess að leggja þurfi í mjög mikinn kostnað við vinnslu efnisins. Þannig hefur t.d. oft verið valið að vinna malarslitlagsefni úr skriðum eða jökulruðningi, sem eru jarðmyndanir með nægilegt magn af fínefnum, þ.e. sylti og leir, til að binda yfirborð slitlagsins. Sylti getur hins vegar verið mjög fokgjörn og er mikilvægt að hlutfall leirs sé tiltölulega hátt, en slíkt efni er t.d. í skriðum sem eru blandaðar rauðum millilögum. Fyrir burðarlag og styrktarlag er hins vegar leitað að frostfríu efni með lítið magn af fínefnum, en slíkt efni er t.d. í áreyrum og malarhjöllum. Náttúruleg kornadreifing efnisins, þ.e. magn fínefna, sandhlutfall og steinastærð hentar þó sjaldnast til nota í efri lög vegarins án þess að vinna efnið með mölun og hörpun. Með efnisvinnslu er hægt að stýra kornadreifingu, brothlutfalli og kornalögun efnisins.

Grunneiginleikar bergsins, svo sem kristalbygging, gropa (blöðrur) og ummyndun ráða miklu um berggæði, þ.e. tæknilega eiginleika, svo sem styrk, veðrunarþol og slitþol efnisins. Sem dæmi má nefna að basalt getur verið lítið eða ekkert ummyndað og með gott veðrunarþol (frostþol) eða mikið ummyndað og með lítið veðrunarþol, og allt þar á milli. Á sama hátt getur steinefni verið þétt og með mikinn styrk eða gropið og með lítinn styrk.

Mikilvægt er að velja sterkt og veðrunarþolið berg til vinnslu í efstu lög veghlotsins en minni kröfur eru hins vegar gerðar til bergs sem nota á neðar í veghlotinu.

Almennt séð er basískt gosberg (blágrýti) frá míósen og plíósen (áður nefnt tertíertímabilið), þ.e. 2,6 – 16 milljón ára gamalt berg, oft talsvert ummyndað. Basaltlög frá ísöld (grágrýti), þ.e. 0,1 – 2,6 milljón ára, eru hins vegar tiltölulega lítið ummynduð en geta verið nokkuð blöðrótt. Dyngjubasalt er oft með mjög opna kristalbyggingu og hefur því fremur lítinn styrk og slitþol. Í jarðlagastaflanum frá míósen og plíósen er þess helst að vænta að finna tiltölulega lítið ummyndað basalt í þéttu bergi, t.d. þóleiíti fjarri megineldstöðvum þar sem slíkt berg ummyndast hægar og bergið er ekki nægilega gropið til að heitt vatn hafi náð að leika um það og valda ummyndun frumsteinda yfir í leirsteindir. Dyngjubasalt hentar oft vel til vinnslu rofvarnargrjóts enda er algengt að það sé stórstuðlað og myndi nægilega stóra steina við sprengingar til að grjótið henti í ölduvörn.

Vegakerfið var árið 2017 samtals um 13.000 km að lengd. Þar af voru um 7.500 km með malarslitlagi en 5.500 km veganna eru lagðir með bundnu slitlagi. Framleiðsla á hæfu malarslitlagi er því mikilvægur þáttur í starfi Vegagerðarinnar. Æskilegur efniseiginleiki malarslitlags er góð kornadreifing með hæfilegu magni fínefna og er mikilvægt að hluti fínefnanna sé í leirstærðum til að tryggja rakaheldni slitlagsins. Auk þess þurfa steinefni í malarslitlag að hafa hæfilegan styrk og veðrunarþol. Jarðmyndanir sem henta best til að framleiða gæðaefni í malarslitlag eru helst framhlaup og skriður á svæðum frá míósen- og plíósentíma um norðan- og austanvert landið, sérstaklega á þeim stöðum þar sem efnið er blandað fínefnaríkum rauðum millilögum. Á móbergssvæðum sunnanlands eru ekki slíkar jarðmyndanir. Hins vegar er hægt að flytja leirinn um nokkuð langan veg til íblöndunar við mölun á

steinefni þar sem skortur er á fínefnum. Jökulruðningur getur verið með nægilegu heildarmagni fínefna en þau eru fyrst og fremst í syltarstærðum. Syltin er ekki nægilega rakaheldin og fýkur slíkt efni því auðveldlega úr veginum í þurrkatíð.

4. Notkun efnis úr mismunandi jarðmyndunum

Hér á eftir er yfirlit yfir helstu flokka jarðmyndana og það hvernig efni úr þeim nýtist til vegagerðar. Þess ber að geta að nokkrar jarðmyndanir t.d. hraun, gervigígar og eldgígar njóta sérstakrar verndar samkvæmt lögum um náttúruvernd (sjá vefritið námur.is)

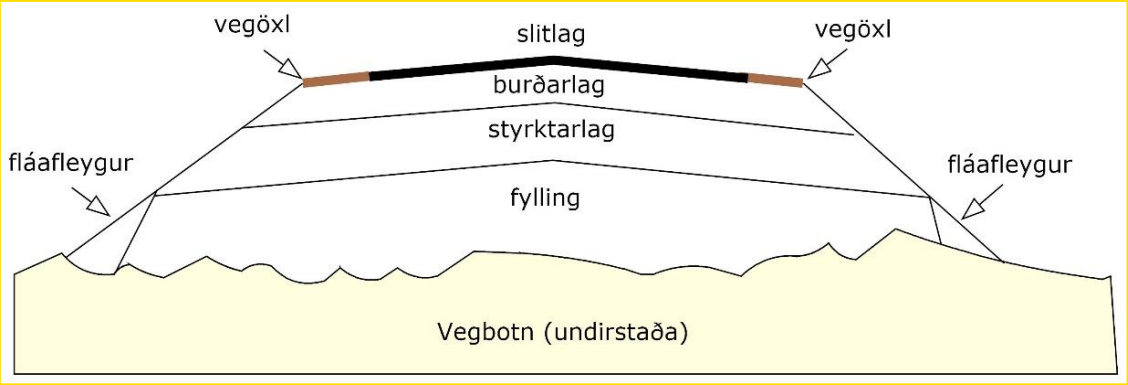
Storkuberg

Basalt er langalgengasta bergtegundin hér á landi og er fremur óalgengt að berg af öðrum bergtegundum sé unnið til vegagerðar. Aðrar bergtegundir en basalt hafa lítið verið rannsakaðar m.t.t. vinnslu burðarlagsefna og slitlagsefna en gabbró hefur verið notað sem rofvarnargrjót og reynst vel.

Grjót til vegagerðar er yfirleitt unnið úr námum eða skeringum þar sem efni er oftast losað úr bergi með sprengiefni. Þó kemur fyrir að stórgrýti til rofvarnar sé flokkað úr skriðum og berghlaupum.[1] Vegagerðin nýtir berg í grjótnámum einkum fyrir rofvarnir, sem fyllingarefni og í auknum mæli í styrktarlag, burðarlag og slitlög.

Í brim- og rofvarnir þarf yfirleitt hátt hlutfall af stóru grjóti en sé efnið malað er heppilegra að hlutfall grjóts yfir 1 tonni sé lægra, helst innan við 10%. Ekki er óalgengt við byggingu rofvarnagarða að nota grjót í ýmsum stærðarflokkum auk sprengds kjarna, en sprengdur kjarni er það sem eftir verður af sprengda salvanum þegar búið er að flokka grjótið frá. Yfirleitt verður afgangur í slíkum grjótnámum af smáu grjóti sem nýtist ekki í rofvarnargarð en getur hinsvegar nýst til vegagerðar m.a. til vinnslu burðarlagsefna og klæðingarefna. Algengara er þó að valdar séu bergnámur fyrir mölun grjóts í burðarlög og slitlög þar sem sprungumynstur bergsins er tiltölulega fíngert þannig að grjótið springur að miklu leyti í hæfilegar stærðir fyrir forbrjót mölunarsamstæðu. Mikilvægt er að velja sterkt berg til vinnslu efstu laga veghlotsins (sjá mynd 2), en minni kröfur eru hinsvegar gerðar til berggæða fyrir neðri lögin.

[1] Salvi: Efni sem losnar við hverja sprengingu



Mynd Error! No text of specified style in document.
Heiti hluta í veghloti (teikning ekki í réttum mælikvarða).

Styrkur bergs fer m.a. eftir kornastærð þess, þéttleika og ummyndun. Blöðrótt berg hefur að öðru jöfnu minni styrk en þétt berg. Ummyndun bergs er einnig mjög ráðandi þáttur varðandi gæði bergs til mannvirkjagerðar þar sem veðrunarþol bergs minnkar með aukinni ummyndun. Basískt gosberg frá míósen og plíósen (áður nefnt tertíer tímabilið) þ.e. 2,6 – 16 milljón ára er oft talsvert ummyndað en basaltlög frá ísöld (grágrýti), þ.e. 0,1 – 2,6 milljón ára eru tiltölulega lítið ummynduð.

Algengt er að grjót hafi verið unnið úr **hraunum** sem runnið hafa eftir ísöld, þ.e. yngri en 10 þúsund ára. Mest hefur verið tekið úr gjallhluta apalhrauna, þ.e. efstu 2 – 3 m hraunsins, sem auðvelt hefur verið að losa. Þetta efni hefur verið nýtt bæði í styrktarlag og sem fyllingarefni. Í vaxandi mæli hefur á undanförnum árum einnig verið unnið dýpra í hraunið enda fæst þá ferskt, þ.e. mjög lítið ummyndað grjót, sem þó er oft talsvert blöðrótt, til vinnslu í burðarlag, klæðingu og rofvarnir.

Móberg og **bólstraberg** eru yfirleitt úr basískum gosefnum sem myndast hafa við gos í vatni, undir jökli eða í sjó. Móberg (túff) myndast þannig að heit bergkvika snöggkælist í vatni, og myndar glersalla sem hleðst upp kringum gosopið. Þannig myndast hrúga af vatnsósa, lausri gosösku. Með tíð og tíma ummyndast glersallinn í brúnt og samlímt berg, móbergstúff. Bólstraberg myndast hins vegar við gos undir miklum þrýstingi, t.d. djúpt í sjó eða vatni og undir þykkum jökli. Við vinnslu brotnar móbergstúffið niður í sand og malarstærðir og nýtist í styrktarlög og fyllingar í vegagerð. Bólstrabergið brotnar niður í fremur smáa steina úr fersku basalti og er slíkt efni mjög gott í styrktarlag og kemur til álita til vinnslu burðarlags og jafnvel slitlags ef það er ekki of blöðrótt.

Setberg myndast m.a. úr setlögum við samlímingu þeirra og hörðnun. Sem dæmi má nefna jökulberg (harðnaður jökulruðningur), sandstein og syltarstein sem vegagerðarmenn nefna oft móhellu.

Laus gosefni

Gosaska myndast þegar heit bergkvika snöggkælist í vatni og myndar gleragnir sem geta borist mjög langt frá eldstöðinni. **Vikur** nefnast molar úr frauðkenndri, storknaðri bergkviku. Líparítvikur er ljós á litinn, en basaltvikur dökkur. Vikur hefur m.a. verið notaður í vegfyllingar. Vikur er að mestu í sandstærðum en þar sem kornin eru mjög köntótt hefur basaltvikur oft góða stæðni og hefur því reynst ágætlega í styrktarlag á umferðarlitla vegi þrátt fyrir að sandkornin séu blöðrótt og brotni því niður við völtun og vinnuumferð. **Gjall** er glerkennt og blöðrótt eða frauðkennt og annaðhvort er það rautt eða svart. Það er einkum að finna í og við eldgíga og

gervigíga. Gjall hefur verið notað sem fyllingarefni en einnig í styrktarlög og jafnvel í malarslitlög á vegum þó að efnið hafi bæði lágan styrk og samloðun sem eru þó mikilvægir eiginleikar malarslitlags.

Setlög
Heildarmagn setlaga hérlendis er óþekkt, en magn þeirra er mismunandi eftir landshlutum. Vitneskja um magn og dreifingu lausra jarðlaga á landinu myndi stuðla að hagkvæmari og markvissari nýtingu efnisins miðað við mismunandi aðstæður og gæðakröfur. Hér er nánar fjallað um jarðmyndanir setlaga og fjallað um það hvernig efni þessara jarðmyndana geta nýst til vegagerðar. Í því sambandi er einungis gert ráð fyrir vinnsluaðferðum sem eru innan hóflegra kostnaðarmarka.

Jökulruðningur: (botnruðningur, leysingaruðningur). Í jökulruðningi ægir saman öllum kornastærðum, allt frá leir og upp í stórgrýti. Jökulruðningur er oftast fínefnaríkur og er mest notaður í vegfyllingar en hann er einnig oft unninn í malarslitlög á vegum. Hinsvegar er mest af fínefnunum yfirleitt af syltarstærðum en lítið um leirstærðir sem veldur því að malarslitlag sem unnið er úr jökulruðningi er yfirleitt rokgjarnt þar sem fínefnin hafa lága samloðun og litla þjálni. Lágur þjálnistuðull veldur því að efnið heldur illa í sér raka og rýkur því auðveldlega úr veginum.

Jökulár- og jökulvatnaset: (malarásar, svelgásar, jaðarhjallar, jökuláraurar, árhjallar, dalfyllur). Set jökuláa hleðst upp við breytilegar aðstæður, sem ráða miklu um mismunandi kornastærðardreifingu, lagskiptingu og útbreiðslu. Algengast er að efnið sé nokkuð hrein sandrík möl, sem er mikið notuð í styrktarlög vega og ef berggæði eru nægileg og efnið nægilega gróft er oft einnig hægt að vinna þetta efni í burðarlög og bundin slitlög. Grófleiki er mikilvægur þar sem hæfilegur fjöldi steina verður að vera til staðar í efni sem á að mala til að malaða efnið hafi nægilega hátt brothlutfall og hagstæða kornalögun.

Árset (**Áreyrar**)**:** (grjótsvæði, eyrasvæði, bugðusvæði, ósasvæði). Áreyrar eru algengastu jarðmyndanir ársets. Árfarvegir mótast af rennsli, aurburði, botngerð og halla árfarvega. Oft er þetta nokkuð hreint efni en misgróft þ.e. sandur, möl, gróf möl og stórgrýtt möl háð straumþunga árinnar. Sandur á lygnum svæðum getur verið nokkuð syltarblandaður. Algengast er að efnistaka í ám fari fram á eyrasvæðum, en þar er kornstærð efnisins breytilegust. Slíkt efni er oftast hæft í styrktarlag og ef berggæði eru góð og grófleiki hæfilegur er einnig hægt að vinna það í burðarlög og slitlög. Við efnistöku úr ám og áreyrum er mjög algengt að í ljós komi moldarlög sem spilla notagildi efnisins þannig að það er einungis hæft sem fyllingarefni. Þessi moldarlög myndast við það að áreyrin nær að gróa upp á tímabilum sem áin rennur um annað svæði. Þegar áin rennur svo aftur í fyrri farvegi setur hún af sér möl yfir moldina. Efnistaka úr árbotni veldur því að hann kemst úr jafnvægi og er mikilvægt að gæta þess að botnskrið í ánni skemmi ekki, uppeldisstöðvar eða veiðistaði t.d. þannig að hyljir í ám fyllist í grennd við efnistökusvæði eða að lækkun árbotns valdi því að það grafist undan brúarsökklum. Mikilvægt er að haft sé samráð við fulltrúa Veiðimálastofnunar ef fyrirhuguð er efnistaka úr veiðiám (sjá vefritið námur.is).

Aurkeilur: (árkeilur, skriðukeilur). Árkeilur myndast þar sem ár koma fram úr giljum en skriðukeilur þar sem vatn nær sjaldnar að renna yfir skriðuefni. Í raun er um að

ræða fjölbreytt stig þessara jarðmyndana sem spanna jarðmyndanir milli brattrar áreyrar og skriðu, þar sem þáttur vatnsins minnkar en hrunsins vex. Eftir því sem vatnið á minni þátt í jarðmynduninni minnkar skolunin þannig að fínefnin verða meiri. Aurkeilur geta því verið misfínefnaríkar frá því að vera með litlum fínefnum og upp í það að vera talsvert fínefnaríkar. Jarðvegslög eru algeng í aurkeilum af svipuðum ástæðum og á áreyrum. Efni með lágu fínefnainnihaldi úr aurkeilum geta verið hæf sem styrktarlagsefni en mun algengara er að þessi efni séu notuð í fyllingar. Algengt er einnig að aurkeiluefni sé unnið í malarslitlög enda eru þessi efni oft grjótrík og með hæfilegu magni fínefna fyrir malarslitlög. Ávallt þarf þó að kanna berggæði og eiginleika fínefna svo sem þjálni þeirra áður en vinnsla hefst.

Skriður: (hrunskriður, aurskriður, berghlaup, urðarjöklar (þelaurð). Skriður eru ein algengasta gerð lausra jarðlaga. Skriðuefni er helst notað í fyllingar og malarslitlag. Þar sem grjót í skriðum er köntótt er burðarþol skriðuefnis oft hlutfallslega hátt, þrátt fyrir nokkuð hátt hlutfall fínefna. Ef hlutfall fínefna í skriðum er tiltölulega lágt og rakastig hæfilegt getur efnið verið nothæft sem styrktarlagsefni. Bestu malarslitlög landsins eru unnin úr skriðum oft berghlaupum, sem hafa hæfilega mikil fínefni og leir, þar sem þjálni efnisins er þá oft hæfileg. Skriður sem eru blandaðar rauðum setlögum (millilög milli basaltlaga frá míósen og plíósen tímabilum), reynast oft vel til vinnslu malarslitlags.

Malarhjallar: (forn óseyri, forn sjávarkambur). Malarhjallar er notað yfir þær jarðmyndanir sem hlaðist hafa upp við hærri sjávarstöðu en nú er. Í malarhjöllum skiptast á malarlög, sandlög og fínna efni, en efnið í heild er oftast sandkennd möl. Algengt er að þessi efni séu notuð í styrktarlög. Efni úr malarhjöllum er oft hæft til vinnslu bæði í burðarlög og bundin slitlög vega ef berggæði og hlutfall steina er hæfilegt. Í því sambandi er mikilvægt að brimið bæði við núverandi og fornar strendur hefur oft nægilega orku til að brjóta veikar bergtegundir niður í sand og fínefnastærðir en fínefnin flytjast síðan frá ströndinni út á meira sjávardýpi. Á malarhjallanum og malarkambinum sest því oft til efni sem hefur hátt hlutfall steina með góð berggæði. Þetta er þó háð því að orka brimsins sé nægjanleg og að hlutfall lélegra bergtegunda hafi ekki verið of hátt í því efni sem fluttist að ströndinni.

Malarkambar (**Strandset**)**:** (fjara, fjörukambur, marbakki). Kambar efst í fjöru úr möl og lábörðum hnullungum sem brimið hleður upp (einnig nefndir sjávarkambar eða fjörukambar). Efni við strendur er mjög mismunandi eftir bratta strandarinnar og orku brimsins. Breiðar og flatar strendur eru sandríkar en algengt er að strendur hér við land séu mjóar og brattar með misgrófri möl og fjörur víða stórgrýttar. Algengt er að taka efni úr fjörum til notkunar í steypu en efni úr malarkömbum hefur einnig verið notað í öll lög vega með sama hætti og malarhjallar.

Sjávarset: Nokkuð er um að efni sé sótt á sjávarbotn vegna ýmissa framkvæmda hér á landi. Mest af efnistöku í sjó fer fram við SV-horn landsins, einkum í Faxaflóa. Þar er tekinn sandur og möl sem notuð er m.a. sem efni til vegagerðar á höfuðborgarsvæðinu. Með réttum vinnsluaðferðum má vinna efni í öll lög vega úr efninu af Faxaflóasvæðinu.

5. Efnisleit

Á síðustu árum hafa kröfur til steinefna sem notuð eru í vegagerð aukist mikið. Er það einkum vegna aukinnar kröfu um burðarþol vega og vegna mikillar aukningar á bundnum slitlögum. Hefur þetta haft í för með sér aukna vinnu jarðfræðinga við leit að hæfum efnum sem næst notkunarstað og auknar rannsóknir á gæðum efnanna. Við leit að heppilegum efnistökustöðum þarf að hafa í huga að efnið standist gæðakröfur og að efnisnámið verði hagkvæmt hvað varðar kostnað við losun og flutning efnisins. Einnig er mjög mikilvægt að hafa ávallt í huga að efnistakan valdi ekki mikilli röskun á umhverfinu. Mestar kröfur eru gerðar til efnis efst í veghlotinu. Hagkvæmt getur verið, með tilliti til endingar og viðhalds vegarins, að velja einungis hágæðaefni í slitlag og burðarlag þó að kostnaður við losun efnisins sé mikill og flutningsvegalengd jafnvel yfir 10 km með burðarlagsefni og yfir 30 km með steinefni í klæðingu. Efni í fyllingu er helst ekki flutt lengri leið en 4–5 km og efni í styrktarlag ekki lengra en 5–10 km. Steinefni (fylliefni) í steinsteypu er oft flutt mun lengri vegalengd jafnvel yfir 200 km enda er magn steypuefnis, t.d. í brúarsteypu, oftast einungis nokkur hundruð rúmmetrar í hverja brú. Fyrr á árum var steypan oftast framleidd á framkvæmdarstað en nú er hún yfirleitt flutt tilbúin frá steypustöðvum, oft langar vegalengdir.

Á þéttbýlissvæðinu á suðvesturhorni landsins hefur það lengi verið venjan að bjóða vegagerðarverk út með þeim hætti að verktaki útvegi efni til verksins með því að kaupa það á steinefnamarkaði. Evrópustaðlar fyrir steinefni gera kröfu um að framleiðendur steinefna fyrir markað séu með CE vottað efni og því liggi fyrir allar upplýsingar um gæði efnisins.

Áður en rannsóknir hefjast á svæði fyrirhugaðrar vegagerðar eru allar tiltækar heimildir skoðaðar til að staðsetja jarðmyndanir þar sem líklegt er að finnist hæft efni til vegagerðar. Heimildirnar geta verið skólaritgerðir, skýrslur, berggrunnskort og upplýsingar úr námukerfi og rannsóknakerfi Vegagerðarinnar. Í námukerfinu er sýnd staðsetning allra náma landsins á korti og loftmynd auk almennra upplýsinga um efnið í námunum[2]. Í rannsóknakerfinu eru skráðar niðurstöður rannsókna sem hafa verið gerðar á efninu. Loftmyndir á tölvutæku formi eru mikið notaðar við þessa undirbúningsvinnu. Til eru ágæt kort af berggrunni landsins í mælikvarða 1:500.000 og einnig nokkur landshlutakort í mælikvarða 1:250.000. Nákvæmari kort í mælikvarða 1:50.000 eru einungis til af örfáum svæðum. Heildarmagn lausra jarðlaga hér á landi er óþekkt enda hefur jarðgrunnurinn ekki enn verið kortlagður. Það er þó vel þekkt að magninu er mjög misskipt og að skortur er í sumum landshlutum en yfirdrifið efni í öðrum.

Æskilegt er að gefin verði út jarðgrunnskort af landinu en slík kort hafa nær einungis verið gefin út af virkjunarsvæðum. Nákvæmari vitneskja um magn og dreifingu lausra jarðlaga myndi stuðla að hagkvæmari og umhverfisvænni nýtingu þeirra þannig að t.d. hágæðaefni og merkilegar setmyndanir séu ekki ofnýttar.

[2] Sjá einnig vefslóðirnar namur.vegagerdin.is og www.namur.is

Þegar um nýja efnistökustaði er að ræða er gerð úttekt á fyrirhuguðu námusvæði, til magn- og gæðakönnunar, með greftri í setnámum og borunum í bergnámum. Stöku sinnum er beitt jarðeðlisfræðilegum aðferðum svo sem jarðsjá til að rannsaka þykkt og lagskiptingu setlaga. Oft þarf einnig að rannsaka eldri námur ef litlar upplýsingar liggja fyrir um námuna. Rannsóknir beinast að því að kanna þykkt jarðvegs sem ýta þarf ofan af, skrá millilög í efninu og mæla þykkt efnisins sem á að vinna, þ.e. dýpi á klöpp eða dýpi niður að setlagi af lakari gæðum sem ekki er sóst eftir til efnistöku. Einnig er mæld vatnsstaða í gryfjunni. Tekin eru sýni af efninu og þau send til berggæðarannsókna á rannsóknastofu. Mynd 3 sýnir gerð rannsóknargryfju.



Mynd 3
Rannsóknargryfja við Jökulsá í Lóni. Ljósm.: Reynir Gunnarsson.

Borun í berg getur bæði verið svarfborun og kjarnaborun. Með svarfborun er hægt að mæla borhraða, sem gefur hugmynd um eiginleika bergsins og lagskiptingu auk þess sem hægt er að taka sýni af svarfinu til berggreiningar. Kjarnaborun gefur mun gleggri mynd af lagskiptingu bergsins og millilögum en auk þess er æskilegt að taka kjarna af berginu til að rannsaka bergtæknilega eiginleika þess á rannsóknastofu.



Mynd 4
Borað í klöpp á Hólmahálsi við Eskifjörð. Ljósm.: Hafdís Eygló Jónsdóttir.

Ýmsar ástæður eru fyrir aukinni notkun bergs til vegagerðar. Víða um land er skortur á malarefnum sem standast kröfur til burðarlags- og styrktarlagsefnis og því getur verið hagkvæmt að nýta sprengt berg enda þótt vinnsla þess, sérstaklega losun, sé nokkuð kostnaðarsöm. Set í malarnámum eru oftast blanda berggerða af mismunandi gæðum en berggæði í góðum bergnámum eru yfirleitt jafnari. Einnig eru malarnámur oft sandríkar og fremur snauðar af grófu efni þannig að ekki næst nægilega hátt brothlutfall við vinnsluna til að hægt sé að framleiða burðarhæft efni með góðan stöðugleika. Sprengt og malað berg hefur hinsvegar 100% brothlutfall. Óheppileg kornadreifing og kornalögun, þ.e. einskorna opin kornadreifing og flögótt og ílöng korn, hefur oft verið vandamál við vinnslu bergs en með viðeigandi vinnsluaðferðum er hægt að ná fram hagstæðri kornadreifingu og kornalögun við vinnslu á flestum berggerðum.

Það einkennir íslenska jarðlagastaflann að einsleit berglög eru oft fremur þunn en á milli þeirra eru lakari millilög. Í nágrannalöndunum er vegagerðarefni oft unnið úr þykkum einsleitum berghleifum, t.d. graníti. Millilög, svo sem setlög og aðliggjandi lakari berglög og einnig sprungufyllingar, geta valdið talsverðum erfiðleikum við vinnslu úr bergnámum. Efni úr slíkum lögum má í mörgum tilfellum blandast við fyllingarefni en við vinnslu styrktarlags, burðarlags og slitlags þarf yfirleitt að hreinsa slíkt efni frá áður en bergið er malað og/eða því ekið út í veg.

Sprungumynstur, straumflögun og kristalbygging eru ráðandi eiginleikar varðandi stærðir og lögun grjóts sem verður til við sprengingar. Þó má hafa mikil áhrif á það hversu smátt grjót springur með vinnslutækni svo sem bormynstri og hleðslu borhola.

6. Umhverfismál

Hluti af starfi jarðfræðinga við efnisleit er að hafa það í huga að efnistaka valdi sem minnstum umhverfisspjöllum. Samkvæmt lögum um náttúruvernd njóta eldvörp, gervigígar og eldhraun sérstakrar verndar. Einnig er mikilvægt að gæta varúðar við efnistöku á eyrum veiðiáa og er einungis ráðist í slíka efnistöku eftir náið samráð við Veiðimálastofnun og veiðifélög. Mikilvægt er að hafa ávallt í huga að sýnilegt rask verði eins lítið og kostur er og æskilegt er að haga efnistökunni þannig að hún sé sem minnst í augsýn frá alfaraleið og að auðvelt verði að ganga vel frá námunni að lokinni efnistöku. Þó að jarðmyndanir njóti ekki sérstakrar verndar getur verið mjög óæskilegt að taka efni úr þeim ef efnistakan verður til mikilla lýta. Gott dæmi um mikil sjónræn áhrif er efnistaka úr skriðum þar sem lítilsháttar efnistaka neðst í skriðunni getur valdið því að yfirborð skriðunnar skríður fram allt upp að klettabeltum sem geta verið ofarlega í fjallinu. Í stærri verkum er það í ferlinu um mat á umhverfisáhrifum sem ákvörðun er tekin um hvort og með hvaða hætti efnistaka fer fram. Mikilvægt er að hafa ávallt náið samráð við landeigendur og frá og með 1. júlí 2012 var öll efnistaka í námum óheimil nema að fyrir liggi framkvæmdaleyfi sveitarfélags.

Vorið 1999 voru sett í lög um náttúruvernd (nr. 44/1999) ákvæði um námufrágang. Í 49. grein laganna var sett inn ákvæði um að efnistökusvæði skuli ekki standa ónotað og ófrágengið lengur en í þrjú ár og í 2. tl. ákvæðis til bráðabirgða er kveðið á um frágang á eldri efnisnámum, sem ekki eru lengur í notkun. Bæði þessi ákvæði laganna hafa nú verið felld brott úr lögum um náttúruvernd (nr. 60/2013) en ákvæðið um að efnistökusvæði skuli ekki standa ónotað og ófrágengið lengur en í þrjú ár er nú í Skipulagslögum nr. 123/2010. Um þessi ákvæði og margt fleira varðandi undirbúning námuvinnslu og frágang og uppgræðslu námusvæða er fjallað um á vefsíðunni www.namur.is

Á árinu 2000 hóf Vegagerðin átaksverkefni við námufrágang í samræmi við ákvæði laganna. Markmiðið var að ganga frá 35 eldri námum árlega. Í júní 2004 gaf Vegagerðin út ritið „Langtímaáætlun um námufrágang 2004–2018“, þar sem mörkuð er sú stefna Vegagerðarinnar að frágangi náma, sem ekki eru lengur í notkun, alls um 900 námur, skuli lokið á fimmtán árum þ.e. á árunum 2004–2018 eða um 60 eldri efnisnámur árlega. Þetta markmið náðist ekki að fullu og í upphafi árs 2020 voru enn um 39 eldri námur eftir í skrá um langtímaáætlun um námufrágang. Vegagerðin stendur að umfangsmikilli sáningu og áburðargjöf bæði á námusvæðum og á vegsvæðum. Vegagerðin er reyndar einn af stærstu landgræðsluaðilum landsins og lét t.d. árið 2009 sá um 6 tonnum af grasfræi og um 208 tonnum af tilbúnum áburði.



Efnisgæðaritið – Viðauki 4: Gerðarprófanir

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	**Fjöldi síðna**	**Dagsetning**	**Dreifing**
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	20	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 4: Gerðarprófanir - framleiðslueftirlit			

Höfundur/ar	**Verkefnastjóri**	**Tengiliður Vegagerðarinnar**
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson

Styrktaraðili	**Samvinnuaðilar**
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	**Yfirfarið af**
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur
Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur (janúar 2023)
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Athugasemd:

Í lok árs 2013 kom upp sú staða að nýjustu útgáfur framleiðslustaðla fyrir steinefni undir CEN TC 154 voru dregnar til baka af tæknilegum ástæðum. Staðlarnir eru eftirfarandi:

ÍST EN 12620 (Steinefni í steinsteypu)
ÍST EN 13043 (Steinefni í malbik og klæðingar á vegi, flugvelli og önnur umferðarsvæði)
ÍST EN 13139 (Steinefni í múrblöndur)
ÍST EN 13242 (Steinefni í mannvirki og vegagerð, notuð óbundin eða bundin með vatnshverfum efnum)
ÍST EN 13383-1 (Rofvarnargrjót)
ÍST EN 13450 (Steinefni undir járnbrautarteina)
ATH: ÍST EN 16236 (Mat og staðfesting á gæðastöðugleika steinefna – gerðarprófun og framleiðslueftirlit). Þessi staðall var gefinn út á árinu 2018 en nú hefur verið tekin sú ákvörðun að draga hann til baka. Ákvæði staðalsins munu verða færð inn í viðkomandi framleiðslustaðla og miðast því tilvísanir í Efnisgæðaritinu til þeirra staðla en ekki ÍST EN 16236,

Eldri útgáfur hafa tekið gildi á meðan unnið er að nýjum útgáfum. Að mestu er um að ræða ritstjórnarleg atriði (e. editorial), en að sama skapi hefur þessi vinna leitt til ákveðinnar samræmingar milli staðlanna. Tvær formlegar atkvæðagreiðslur (e. Formal Vote) hafa síðan farið fram um staðlana og lauk þeirri seinni í ágúst 2018. Í báðum tilfellum samþykktu nær allar aðildarþjóðir ESB og evrópska efnahagssvæðisins staðlana en í báðum tilfellum höfnuðu eftirlitsaðilar Evrópuráðsins (e. European Commission) að samþykkja þá óbreytta. Í framhaldi af þessari stöðu ákvað CEN TC 154 nefndin að sameina framleiðslustaðlana fyrir steinefni í steinsteypu, bikbundin lög og óbundin auk steinefna í múrblöndur í einn staðal sem verður númer EN 17555-1. Vonast er til að þrátt fyrir þessar tafir muni nýi framleiðslustaðallinn koma út á árinu 2023 eftir þriðju formlegu atkvæðagreiðsluna. Vegna þessara tafa mun endurútgáfa fylgistaðals um steinefni ÍST 76 dragast til ársins 2023 eða 2024. Efnisgæðaritið tekur mið af þeim stöðlum sem nú eru í farvatninu þó að formleg útgáfa þeirra hafi dregist.

Framleiðslustaðlar undir CEN TC 227 sem fjalla um vegagerðarefni, m.a. malbik og klæðingu, voru gefnir út á árinu 2016. Sambærileg ritstjórnarleg atriði þarfnast leiðréttingar í þeim stöðlum. Fylgistaðall fyrir malbik ÍST 75 verður endurskoðaður þegar nýir staðlar hafa tekið gildi, en fyrirsjáanlegat tafir eru á því og óvíst hvenær næst að virkja þá formlega.

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
1 Inngangur **6**
2 Steinefnaframleiðsla **7**
2.2 Prófanir vegna efnistöku utan markaðar 9
2.3 Gerðarprófanir og eftirlit með framleiðslu steinefna á markað 11
3 Malbiksframleiðsla **14**
3.1 Almennt 14
3.2 Gerðarprófanir 14
3.2.1 Hjólfarapróf til mælingar á skriðeiginleikum malbiks 15
3.2.2 Slitþolspróf til mælingar á þoli malbiks gagnvart nagladekkjaáraun 15
3.2.3 Vatnsnæmipróf til mælingar á viðloðunareiginleikum malbiks 15
3.2.4 Framsetning merkingar á malbiksblöndu 15
3.2.5 Önnur ákvæði 16
3.3 Eftirlit með framleiðslu malbiks 16
4 Almennar frávikskröfur **17**
4.1 Frávik frá steinefnakröfum 17
4.2 Vikmörk kornadreifingar 17
4.2.1 Almennt 17
4.2.2 Þolvik frá hönnuðum sáldurferli í malbiki 17
4.2.3 Stærðarflokkar og magn undir- og yfirstærða 19

1 Inngangur

Í Evrópustöðlum um framleiðslu steinefna til ýmissa nota svo og um framleiðslu malbiks eru sett fram ýmis ákvæði um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit. Þeir framleiðendur sem selja sína framleiðslu á markað þurfa að uppfylla ákvæði staðlanna. Í þessum viðauka setur Vegagerðin fram í töfluformi hvaða niðurstöður prófana skuli liggja fyrir, bæði gerðarprófanir og við framleiðslueftirlit, vegna framleiðslu á steinefnum og malbiki á markað. Settar eru fram töflur um tíðni prófana sem brjóta ekki í bága við viðkomandi Evrópustaðla. Íslenskir fylgistaðlar vegna framleiðslu malbiks, ÍST 75 og framleiðslu steinefna, ÍST 76, voru gefnir út í desember 2013 í samráði við hagsmunaaðila. Líta má á þennan viðauka sem leiðbeiningar við íslensku fylgistaðlana og eru auk þess settar fram ýmsar reglur um frávikskröfur vegna framleiðslu steinefna sem Vegagerðin setur fram.

Vegna tafa við útgáfu framleiðslustaðla fyrir steinefni sem lýst var hér að framan, er ekki enn tímabært að endurskoða fylgistaðal ÍST 76. Í Efnisgæðaritinu og þessum viðauka er hinsvegar stuðst við endurskoðaðar útgáfur staðlanna þó að þeir hafi ekki fengist gefnir út formlega vegna þess ágreinings sem nefndur var hér að framan. Fylgistaðall fyrir malbik ÍST 75 verður endurskoðaður þegar nýir framleiðslustaðlar hafa verið gefnir út. Enn er ágreiningur um báða þessa staðlapakka eins og raunar fjölmarga aðra staðla sem varða byggingariðnaðinn, sem hafa ekki verið auglýstir opinberlega hjá Evrópuráðinu (Official Journal of the European Union (OJEU)).

2 Steinefnaframleiðsla

2.1 Almennt

Samhæfðir Evrópustaðlar sem ná yfir prófanir á steinefnum og framleiðslu þeirra tóku gildi sem ein heild þann 1. júní 2004. Staðlarnir eru unnir og gefnir út af staðlanefnd CEN TC 154 (e. *Aggregates*). Endurskoðun framleiðslustaðlanna og samræmingu þeirra að miklu leyti lauk vorið 2013, en þá var endurskoðuð útgáfa staðlanna samþykkt af aðildarlöndunum til útgáfu. Staðlarnir voru síðan formlega dregnir til baka af tæknilegum ástæðum, meðan unnið var að lagfæringu á þeim, en samkvæmt nýjustu útgáfum í vinnuferlinu hafa ekki orðið afgerandi breytingar frá 2013 útgáfunum.

Nýjar útgáfur framleiðslustaðlanna voru aftur samþykktar formlega (e. Formal Vote) í ágúst 2018, en voru aftur dregnir til baka af tæknilegum ástæðum og munu þeir væntanlega ekki koma út fyrr en á árinu 2023 í fyrsta lagi. Í Efnisgæðaritinu og í þessum viðauka er miðað við þessar nýju útgáfur af framleiðslustöðlum ÍST EN 12620, 13043 og 13242. Íslenskur fylgistaðall ÍST 76 (steinefni) þarfnast endurskoðunar en hún verður að bíða eftir formlegri útgáfu framleiðslustaðlanna. Staðlar um prófanir og framleiðslu á steinefnum, m.a. til vegagerðar, hafa mikla þýðingu hérlendis í ljósi þess að sem aðilum að EES ber Íslandi að fara eftir ákvæðum þeirra.

Yfir 40 prófunarstaðlar eru nú í gildi sem Evrópustaðlar fyrir prófanir á steinefnum og níu framleiðslustaðlar sem fjalla m.a. um kröfuflokka fyrir steinefni til mismunandi nota, svo sem í steinsteypu, malbik og óbundin efni, en þessir þrír framleiðslustaðlar eru til umfjöllunar hér. Þeir framleiðslustaðlar sem Efnisgæðaritið fjallar ekki um sérstaklega, enn sem komið er, eru um múrefni, létt steinefni (2 staðlar), rofvarnargrjót (2 staðlar) og steinefni undir járnbrautarteina, en til stendur að semja sérstakan kafla í Efnisgæðaritið um rofvarnargrjót 2023.

Það er ekki skylda aðildarlanda að nota alla þá prófunarstaðla sem settir eru fram í framleiðslustöðlum og sumir þeirra miðast við séraðstæður í einstökum löndum. Því er nauðsynlegt að velja úr þær prófunaraðferðir sem steinefnaiðnaðurinn í hverju landi kemur sér saman um að æskilegt eða nauðsynlegt sé að nota til að tryggja að fullnægjandi upplýsingar liggi fyrir um gæði steinefna til mannvirkjagerðar. Í Efnisgæðaritinu hafa verið valdar þær prófunaraðferðir sem eru taldar henta best íslenskum steinefnum og aðstæðum í vegagerð og er gerð grein fyrir því hvaða prófunaraðferðir hafa verið valdar í þessum viðauka.

Framleiðslustaðlar fyrir óbundin steinefni, bikbundin steinefni og steinefni í steinsteypu hafa verið samræmdir að hluta, en þó eru tilteknar prófunaraðferðir og kröfur þess eðlis að þær henta eingöngu viðkomandi afurð og í þeim tilvikum á samræming ekki við. Í stöðlunum er í mörgum tilfellum gefinn kostur á að velja á milli

tveggja eða fleiri prófunaraðferða sem mæla svipaða eiginleika steinefna, en þó ekki nákvæmlega þá sömu. Í framleiðslustöðlunum er að finna ákvæði varðandi framsetningu prófunarniðurstaðna á sýnum, t.d. hvað varðar kornadreifingu, lögun, styrk, veðrunarþol og efnainnihald þeirra, svo eitthvað sé nefnt. Einnig er viðauki sem kallast ZA í öllum framleiðslustöðlunum með lýsingu á því hvaða eftirlitskerfi (e. *System of AVCP*) má nota. Eftirlitskerfin sem um ræðir eru kerfi 2+ sem felur í sér ytra eftirlit eða kerfi 4 þar sem framleiðandi lýsir sjálfur yfir eiginleikum framleidds steinefnis. Við yfirlýsingu framleiðanda á eiginleikum steinefna (e. *Declaration of Performance (DoP)* sem er grundvöllur CE-merkingar efnisgerða, skal notast við það kerfi sem á við um viðkomandi afurð, sjá nánari umfjöllun um eftirlitskerfin í kafla 2.3 hér að neðan. CE merkingin skal vera í samræmi við ákvæði framleiðslustaðlanna um mat og staðfestingu á gæðastöðugleika steinefna – gerðarprófun og framleiðslueftirlit (e. *Assessment and Verification of the Constancy of Performance (AVCP) of aggregates - Type testing and Factory Production Control*).

Gerðarprófanir (**e. Type Testing, TT**)**:**
Allar þær prófanir sem ákvarða eiginleika steinefnasýna hverrar efnisgerðar.
Framleiðslueftirlit (**e. Factory Production Control, FPC**)**:**
Stöðugt innra eftirlit framleiðanda með steinefnaframleiðslu þar sem skráð er á skipulagðan hátt m.a. aðferð við sýnatöku, niðurstöður prófana, tíðni prófana, frávik frá yfirlýstum eiginleikum og aðgerðir vegna frávika, svo og annað sem skrá þarf í samræmi við gæðakerfi framleiðanda.
Mat og staðfesting á gæðastöðugleika steinefna (**e. Assessment and Verification of the Constancy of Performance** (**AVCP**))**:**
Framleiðandi lýsir því yfir að hann uppfylli ákvæði viðkomandi framleiðslustaðals um TT og FPC fyrir hverja efnisgerð og hvaða eftirlitskerfi (e. *System of AVCP*) á við (4 eða 2+) samkvæmt viðauka ZA í viðkomandi framleiðslustaðli.
CE merking:
Á grundvelli yfirlýsingar um eiginleika steinefna (e. *Declaration of Performance, DoP*), sem er byggð á gerðarprófunum og framleiðslueftirliti getur framleiðandi gefið út CE merkingu fyrir hverja efnisgerð. Í CE merkingu kemur m.a. fram hvaða eiginleika efnisgerð hefur samkvæmt niðurstöðum prófana í samræmi við viðkomandi framleiðslustaðal.

Fylgistaðall fyrir framleiðslu steinefna, ÍST 76, var gefinn út í lok árs 2013 af Staðlaráði Íslands til þess að innleiðing Evrópustaðla á steinefnasviðinu gangi hnökralaust fyrir sig og ekki fari milli mála hvaða prófunaraðferðir beri að nota við framleiðslu steinefna. Fylgistaðallinn þarfnast endurskoðunar með tilliti til breytinga á framleiðslustöðlunum fyrir steinefni en sú endurskoðun verður að bíða eftir formlegri útgáfu staðlanna.

Evrópustaðlar um prófanir og framleiðslu steinefna gera ráð fyrir að gerðarprófanir liggi fyrir og að viðhaft sé framleiðslueftirlit með efnisflokkum og að yfirlýsing um mat og staðfestingu á gæðastöðugleika steinefna liggi fyrir um hverja efnisgerð. Misjafnt getur verið hvaða prófanir eru gerðar, eftir því hver lokaafurðin verður (t.d. steinefni í malbik, steypu eða óbundið steinefni) en unnið hefur verið að samræmingu viðkomandi framleiðslustaðla að hluta. Yfirlýsingar um eiginleika

steinefna (e. *DoP*) eru gefnar út af framleiðanda og á ábyrgð hans og gerir Vegagerðin kröfu um að slíkar lýsingar liggi fyrir, byggðar á gerðarprófunum og framleiðslueftirliti, í samræmi við evrópska staðla þegar um er að ræða steinefni sem framleitt er á markað.

2.2 Prófanir vegna efnistöku utan markaðar

Ef um efnistöku er að ræða á vegagerðarefni sem ekki er framleitt undir framleiðslueftirliti og ber ekki yfirlýsingu um eiginleika, skal gera prófanir samkvæmt töflu 2.1 á hönnunarstigi og leggja fram niðurstöður þeirra. Ef framleiðandi uppfyllir þær kröfur sem settar eru fram í töflu 2.1 telst hann jafnframt hafa uppfyllt skilyrði í meginköflum þessa rits um prófanir á hönnunarstigi. Bent skal á að í köflunum eru auk þess sérstök ákvæði Vegagerðarinnar um prófanir og tíðni prófana á framleiðslu- og framkvæmdastigi.

Tafla 2.1:
Prófanir á steinefnum á hönnunarstigi/í upphafi framleiðslu sem gera þarf á efni sem ekki er vottað sérstaklega

Prófunaraðferð	Styrktar-lag	Burðar-lag	Malarslit-lag	Klæðing	Malbik	Stein-steypa
Kornadreifing	x	x	x	x	x	x
Fínefnainnihald	x	x	x	x	x	x
Gæði fínefna[1]	x	x	x	x	x	x
Lögun (FI)	-	x	x	x	x	x
Brothlutfall[4]	-	x	x	x	x	x
Styrkur (LA)	x	x	x	x	x	x
Holrýmd mélu	-	-	-	-	x	-
Rúmþyngd mélu	-	-	-	-	x	-
Kornarúmþyngd og mettivatn	-	-	-	-	-	x
Pólering (PSV)	-	-	-	-	x	x
Endurskin (L)	-	-	-	-	x	-
Slitþol (A_N)	-	-	-	x	x	x[2]
Viðloðun	-	-	-	x	x	-
Frostþol (F_{EC})	-	x	-	x	x	x
Alkalípróf	-	-	-	-	-	x
Berggreining	x	x	x	x	x	x
Klórinnihald	-	-	-	-	-	x[3]
Lífræn efni[5]	x	x	x	x	x	x

[1] *Ef sjónmat bendir til að þess sé þörf. Mæld með þjálniprófi eða rýrnunarprófi sem eru ekki prófanastaðlar undir CEN TC 154*
[2] *Ef um vegsteypu er að ræða*
[3] *Ef um sjávarefni er að ræða*
[4] *Ef um malarefni er að ræða*
[5] *Ef sjónmat bendir til að þess sé þörf*

Hafa skal í huga að í viðkomandi köflum í Efnisgæðaritinu eru nánari ákvæði og undantekningar varðandi einstakar prófanir. Þannig getur sjónmat nægt í stað mælingar á lífrænum óhreinindum og þjálni og á grundvelli berggreiningar getur í sumum tilfellum verið óþarft að gera styrkleikapróf og/eða frostþolspróf. Einnig skal bent á að í töflu 2.1 er ekki fjallað um fyllingarefni.

2.3 Gerðarprófanir og eftirlit með framleiðslu steinefna á markað

Evrópustaðlar setja fram lágmarkskröfur um gerðarprófanir og tíðni prófana á steinefnum samhliða framleiðslu þeirra til að framleiðandi geti sett fram yfirlýsingu um eiginleika (e. *Declaration of Performance, DoP*) og CE merkingu viðkomandi efnisflokka. Vegagerðin sem kaupandi steinefna á markaði setur fram eigin kröfur um tíðni prófana við framleiðslueftirlit í hverju verki fyrir sig en reiknar inn í þá tíðni prófana í yfirlýsingu framleiðanda um eiginleika steinefna. Þannig er einungis krafist viðbótarprófana ef tíðnitöflurnar í þessu riti kveða á um aukna tíðni miðað við lágmarkstíðni Evrópustaðla. Í meginköflum Efnisgæðaritsins, sem fjalla um einstök lög vegarins, eru töflur sem sýna kröfur Vegagerðarinnar um lágmarkstíðni prófana á steinefnum til vegagerðar á framleiðslustigi. Í tíðnitöflum Efnisgæðaritsins er miðað við fjölda prófana miðað við framleitt magn en auk þess tekið fram að prófanir skuli ekki gera sjaldnar en einu sinni í verki, einu sinni í námu eða tvisvar á því ári sem vinnsla fer fram. Evrópustaðlar bjóða í sumum tilfellum upp á fleiri en eina prófunaraðferð sem mæla svipaða eiginleika steinefna (þó ekki nákvæmlega þá sömu). Þær prófunaraðferðir sem Vegagerðin hefur valið að nota og taldar eru upp í töflu 2.2 koma fram í viðkomandi köflum og flæðiritum í megintexta Efnisgæðaritsins og eru í samræmi við fylgistaðal ÍST 76.

Tafla 2.2 hér að neðan er unnin upp úr töflum í framleiðslustöðlunum um mat og staðfestingu á gæðastöðugleika steinefna – gerðarprófun og framleiðslueftirlit (e. *Assessment and Verification of the Constancy of Performance (AVCP) of aggregates – Type testing and Factory Production Control*). Sams konar tafla er í fylgistaðli ÍST 76. Taflan sýnir lágmarkstíðni prófana á steinefnum og tekur Vegagerðin eins og áður sagði mið af töflunni við kaup á steinefnum frá framleiðendum með yfirlýsingu um eiginleika þeirra (e. *DoP*).

Tafla 2.2:
Gerðarprófanir og lágmarkstíðni prófana við framleiðslueftirlit á steinefnum frá vottuðum framleiðendum á markaði skv. framleiðslustöðlunum

Eiginleiki		ÍST EN 13043 Bikbundið		ÍST EN 12620 Í steinsteypu		ÍST EN 13242 Óbundið		Tilvísun í prófunar-aðferð, ÍST EN:
		Ath.-semd	Lágm.-tíðni	Ath.-semd	Lágm.-tíðni	Ath.-semd	Lágm.-tíðni	
1	Kornadreifing		1/viku		1/viku		1/viku	933-1
2	Fínefnainnihald		1/viku		1/viku		1/viku	933-1
3	Lögun, FI		1/mán.		1/mán.		1/mán.	933-3
4	Brothlutfall	Möl	1/mán.		1/mán.	Möl	1/mán.	933-5
5	Hluti skeljabrota			Sjávar-efni	1/ári			933-7
6	Styrkur, LA		1/ári	Gæða-steypa	2/ári		1/ári	1097-2
7	Holrýmd mélu		2/ári					1097-4
8	Kornarúm./ mettiv.		1/ári		1/ári		1/ári	1097-6
9	Kornarúmþ. mélu		1/ári					1097-7
10	Pólering, PSV	Slitl.efni	1/ári	Slitl.efni	1/2 ári			1097-8
11	Endurskin, L	Slitl.efni	1/ári					Norskt
12	Slitþol, A_N	Slitl.efni	1/ári	Slitl.efni	1/ári			1097-9
13	Frostþol, F_{EC}		1/2 ár		1/2 ár		1/2 ár	1367-6
14	Alkalívirkni			Reglug.				Reglug.
15	Berggreining		1/3 ár	1/3 ár	1/3 ár		1/3 ár	932-3
16	Klórinnihald			Lande.	1/2 ár			1744-1
				Sjávare.	1/viku			
17	Lífræn efni			Sjónm.	1/ári	Sjónm.	1/ári	1744-1
18	Hættuleg efni	Reglug.		Reglug.		Reglug.		Reglug.
19	Endurunnin efni			Reglug.				933-11

ÍST EN 12620: Steinefni í steinsteypu (e. Aggregates for concrete)
ÍST EN 13043: Steinefni í malbik og klæðningar á vegi, flugvelli og önnur umferðarsvæð (e. Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficked areas)
ÍST EN 13242: Steinefni í mannvirki og vegagerð, notuð óbundin eða bundin með vatnshverfum efnum (e. Aggregates for unbound and hydraulically bound materials for use in civil engineering work and road construction)

Bent skal á að kröfur Vegagerðarinnar um tíðni prófana á steinefnum til vegagerðar á framleiðslustigi getur verið aukin miðað við töflu 2.2, enda miðar þessi tafla við lágmarkstíðni prófana.

Við gerðarprófanir skal nota þá prófunarstaðla sem valdir eru úr töflu 2.2. Við prófanir vegna framleiðslueftirlits er hins vegar heimilt að prófa steinefni annað hvort með prófunarstöðlum í töflu 2.2 eða með öðrum prófunaraðferðum sem sýnt hefur verið fram á að hafi fullnægjandi fylgni við stöðluðu prófunaraðferðirnar, sbr. ákvæði þar að lútandi í framleiðslustöðlunum.

Prófunarniðurstöður sem eru grundvöllur yfirlýsingar um eiginleika (e. *DoP*) skulu settar fram í samræmi við viðkomandi framleiðslustaðal. Þegar valinn er kröfuflokkur skal það gert þannig að niðurstöður prófana verði innan marka. Berggreining skv. ÍST EN 932-3 skal fylgja yfirlýsingunni um eiginleika steinefna. Við framleiðslu steinefnis í steinsteypu og við framleiðslu bikbundins steinefnis skal styðjast við eftirlitskerfi 2+ og við framleiðslu á steinefni til óbundinna nota skal styðjast við eftirlitskerfi 4 (e. *System of AVCP*), sbr. viðauka ZA í framleiðslustöðlunum.

Til þess að það liggi skýrt fyrir hvaða prófunaraðferðir Vegagerðin hefur valið og hvaða aðferðir eru ekki valdar hefur tafla 2.3 verið sett saman með öllum prófunaraðferðunum í staðlapakka CEN TC 154 um steinefni (e. *Aggregates*). Í töflunni eru einungis tilgreindir prófunarstaðlar sem eru evrópskir CEN staðlar undir nefnd CEN/TC 154.

Tafla 2.3:
Prófunarstaðlar sem Vegagerðin fer fram á að notaðir verði við gerðarprófanir og eftirlit með framleiðslu steinefna

Númer og heiti prófunarstaðla sem getið er um í framleiðslustöðlum og valið úr ÍST EN 16236	ÍST EN 12620 í steypu	ÍST EN 13043 bikbundið	ÍST EN 13242 óbundið
ÍST EN 932-1 Aðferðir við sýnatöku			
ÍST EN 932-2 Aðferð við hlutun sýna			
ÍST EN 932-3 Berggreining			
ÍST EN 932-5 Tæki og stilling þeirra			
ÍST EN 932-6 Endurtekningastuðlar			
ÍST EN 933-1 Aðferð við sigtun			
ÍST EN 933-2 Möskvastærðir sigta			
ÍST EN 933-3 Kleyfnistuðull, FI			
ÍST EN 933-4 Lögunarstuðull, SI			
ÍST EN 933-5 Brothlutfall malar			
ÍST EN 933-6 Flæðistuðull steinefna			
ÍST EN 933-7 Hluti skeljabrota			
ÍST EN 933-8 Mat á fínefni, SE			
ÍST EN 933-9 Mat á fínefni, MB			
ÍST EN 933-10 Mat á fínefni, Air jet sieving			
ÍST EN 933-11 Flokkun á endurunnum steinefnum			
ÍST EN 1097-1 Micro-Deval slitþolspróf			
ÍST EN 1097-2 Styrkleikapróf LA/SZ			
ÍST EN 1097-3 Laus rúmþyngd og holrýmd			
ÍST EN 1097-4 Rigden holrýmd í þurrum filler (mélu)			
ÍST EN 1097-5 Ákvörðun rakastigs fillers (mélu)			
ÍST EN 1097-6 Kornarúmþyngd og mettivatn			
ÍST EN 1097-7 Kornarúmþyngd fillers (mélu)			
ÍST EN 1097-8 Pólering steinefnis, PSV			
ÍST EN 1097-9 Kúlnakvarnarpróf			
ÍST EN 1097-10 Vatns-sogs-hæð			
ÍST EN 1367-1 Frostþolspróf, ferskvatn			
ÍST EN 1367-2 $MgSO_4$ próf			
ÍST EN 1367-3 Suðupróf á basalti			
ÍST EN 1367-4 Þurrkrýrnun steinefna			
ÍST EN 1367-5 Hitaþolni steinefna			
ÍST EN 1367-6 Frostþolspróf með saltlausn			
ÍST EN 1744-1 Efnafræðileg próf			
ÍST EN 1744-3 Uppleysing í vatni			
ÍST EN 1744-4 Vatnsnæmi fillers (mélu) í bikbundnar blöndur			
ÍST EN 1744-5 Sýruleysanleg klórsölt			
ÍST EN 1744-6 Áhrif endurunnina efna á hörðnun sements			
ÍST EN 13179-1 Filler (méla)-Kúla og hringur			
ÍST EN 13179-2 Filler (méla)-Bindiefnisnúmer			

SKÝRINGAR

Lagt til að prófunarstaðall verði notaður hérlendis vegna steinefna í vegagerð	
Staðals ekki getið í framleiðslustaðli en gildir engu að síður	
Prófunarstaðals er ekki getið í framleiðslustaðli og á því ekki við	
Lagt til að prófunarstaðall verði ekki notaður hérlendis við prófanir fyrir Vegagerðina	

3 Malbiksframleiðsla

3.1 Almennt

Þessi viðauki er í samræmi við íslenskan fylgistaðal ÍST 75 um malbiksframleiðslu sem kom fyrst út árið 2013 og verður endurskoðaður þegar endurskoðaðir framleiðslustaðlar og eftirlitsstaðlar frá CEN TC 227 (e. *Road materials*) hafa verið gefnir út. Í fylgistaðlinum eru sett fram ákvæði um prófunaraðferðir, annars vegar við gerðarprófanir (e. *Type Testing, TT*) og hins vegar vegna framleiðslueftirlits (e. *Factory Production Control, FPC*). Með tilkomu fylgistaðalsins gerir Vegagerðin þá kröfu að gerðarprófanir og framleiðslueftirlit malbiks sem Vegagerðin kaupir á markaði verði í samræmi við hann. Þess er gætt að kafli 64 í Efnisgæðaritinu og þessi viðauki séu í samræmi við fylgistaðalinn.

Í þessum viðauka eru sett fram ákvæði varðandi eftirfarandi malbiksgerðir: ÍST EN 13108-1, Stífmalbik (e. *Asphalt Concrete, AC*) og ÍST EN 13108-5, Steinríkt malbik (e. *Stone Mastic Asphalt, SMA*).

3.2 Gerðarprófanir

Allt AC og SMA malbik sem framleitt er á íslenskan markað skal gerðarprófað (TT, sbr. ÍST EN 13108-20) og skulu lágmarksupplýsingar sem settar eru fram vera samkvæmt töflu 3.1.

Tafla 3.1:
Eiginleikar malbiks sem skylt er að staðfesta hérlendis við gerðarprófun

ÍST EN 13108-1	ÍST EN 13108-5	Eiginleiki
5.2.2	5.2.2	Kornadreifing
5.3.2	5.3.2	Holrýmd[1)]
5.2.3	5.2.3	Bindiefnisinnihald
5.3.2	5.3.2	Bikfyllt holrýmd[1)]
5.3.14	-	Festa og sig fyrir flugvallamalbik[1)]

1) Við sýnagerð er farið eftir staðli ÍST EN 12697-30. Malbik í vegagerð er þjappað með 2x50 höggum og fyrir flugvelli 2x75 höggum. Ekki er gerð krafa um mælingu á festu og sigi samkvæmt Marshall aðferð fyrir malbik á vegi en ef framleiðandi kýs að framkvæma slíkar prófanir geta niðurstöður fylgt með öðrum niðurstöðum gerðarprófana.

Auk ofangreindra eiginleika skal gerðarprófa samkvæmt kafla 5.3.3, 5.3.4 og 5,3,5 í ÍST EN 13108-1 og kafla 5.3.4, 5.3.5 og 5.3.6 í ÍST EN 13108-5 og lýsa yfir eiginleika (e. declared value) AC og SMA malbiks, sem ætlað er til nota þar sem umferð er 8000 ÁDU eða meiri (miðað við heildarumferð á vegi eða götu) eða þar sem þungaumferð er 400 $ÁDU_Þ$ eða meiri og einnig þar sem er sambærilegt álag á malbikinu, t.d. á flugvöllum, flughlöðum, hafnarsvæðum, biðstöðvum strætisvagna og öðrum vinnusvæðum þungra farartækja. Hver malbiksgerð skal gerðarprófuð í upphafi og

svo á 5 ára fresti. Í töflu 64-17 í malbikskafla Efnisgæðaritsins eru settar fram kröfur um skrið, slitþol og vatnsnæmi malbiks, sem taka mið af umferðarþunga.

3.2.1 Hjólfarapróf til mælingar á skriðeiginleikum malbiks

Lýsing framleiðanda á skriðeiginleikum í gerðarprófum skulu byggðar á hjólfaraprófi (e. *Wheel Tracking Test*) samkvæmt grein 5.3.5, töflu 14, í ÍST EN 13108-1 og grein 5.3.6, töflu 14, í ÍST EN 13108-5. Prófunin skal gerð samkvæmt staðli ÍST EN 12697-22, grein 6.3, aðferð B (e. *small device,* $RD_{AIR\,max}$) fyrir Stífmalbik og Steinríkt malbik við 45°C. Prófuð skulu sýni sem þjöppuð eru samkvæmt grein 7.2.2 í ÍST EN 12697-33: *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 33: Specimen prepared by roller compactor*.

3.2.2 Slitþolspróf til mælingar á þoli malbiks gagnvart nagladekkjaáraun

Lýsing framleiðanda á sliteiginleikum í gerðarprófum skulu byggðar á slitþolsprófi samkvæmt grein 5.3.4, töflu 10, í ÍST EN 13108-1 og grein 5.3.5, töflu 10, í ÍST EN 13108-5. Prófunin skal gerð samkvæmt staðli ÍST EN 12697-16, aðferð A (e. *Abrasion by studded tyres-method A, Prall aðferðin*) fyrir Stífmalbik og Steinríkt malbik. Við sýnagerð skal farið eftir grein 5.1 í staðli ÍST EN 12697-30: *Bituminous mixtures — Test methods for hot mix asphalt — Part 30: Specimen preparation by impact compactor*. Sýni eru þjöppuð með 50 höggum á hvorn enda sýnis.

3.2.3 Vatnsnæmipróf til mælingar á viðloðunareiginleikum malbiks

Lýsing framleiðanda á viðloðunareiginleikum í gerðarprófum skal byggð á vatnsnæmiprófi (e. *Water sensitivity*) samkvæmt grein 5.3.3, töflu 9, í ÍST EN 13108-1 og grein 5.3.4, töflu 9, í ÍST EN 13108-5. Prófunin skal gerð samkvæmt ÍST EN 12697-12, aðferð A (e. *Indirect Tensile Strength Ratio*, ITSR) fyrir Stífmalbik og Steinríkt malbik við 15°C í samræmi við kafla D.4 í viðauka D í ÍST EN 13108-20. Við sýnagerð er farið eftir grein 5.1 í staðli ÍST EN 12697-30: *Bituminous mixtures — Test methods for hot mix asphalt — Part 30: Specimen preparation by impact compactor*. Sýni eru þjöppuð með 35 höggum á hvorn enda sýnis.

3.2.4 Framsetning merkingar á malbiksblöndu

Í kafla 7 í framleiðslustöðlum ÍST EN 13108-1 ÍST EN 13108-5 er tilgreint hvaða lágmarksmerkingar skuli fylgja hverri malbiksgerð. Hérlendis hefur verið valið að nota AC fyrir Stífmalbik (e. *Asphalt Concrete, AC surf*), BRL fyrir buðrarlagsmalbik (e. *AC base*) og SMA fyrir Steinríkt malbiks (e. *Stone Mastic Asphalt, SMA surf*). Í merkingu malbiksgerðar skal gefa upp stungudýpt biksins (e. Paving Grade), t.d. PG 70/100. Jafnframt skal í merkingunni gefa upp íslenska skammstöfun (AC, BRL, SMA) ásamt upplýsingum um efri flokkunarstærð steinefnis.

DÆMI:
*AC11 – 70/100 surf **
*BRL16 – 110/150 base ***
*SMA16 – 160/220 SMA surf ****

** Stífmalbik í slitlag (e. AC surf), efri flokkunarstærð steinefnis 11 mm og bik með PG 70/100*
*** Burðarlagsmalbik (e. AC base), efri flokkunarstærð steinefnis 16 mm og bik með stungudýpt PG 110/150*
**** Steinríkt malbik (e. SMA surf), efri flokkunarstærð steinefnis 16 mm og bik með stungudýpt PG 160/220*

Auk ofangreindra upplýsinga skal skrá ýmsar aðrar upplýsingar, svo sem gerð mélu (e. *filler*) og íblöndunarefna, til dæmis viðloðunarefna, trefja eða fjölliða. Nánari upplýsingar um það sem nauðsynlega þarf að skrá við gerðarprófun er að finna í kafla 7 í ÍST EN 13108-20: *Bituminous mixtures-Material specifications-Part 20: Type testing*.

3.2.5 Önnur ákvæði

Settar eru fram íslenskar kröfur um slit- og skriðeiginleika malbiks, auk vatnsnæmis vegna gerðarprófana í kafla 64.5, þar sem kröfur taka mið af umferðarmagni.

3.3 Eftirlit með framleiðslu malbiks

Við framleiðslu malbiks skal viðhafa framleiðslueftirlit (e. *FPC*) í samræmi við ÍST EN 13108-21 og fylgistaðal ÍST 75. Prófanir og mælingar á malbiki við framleiðslu skulu að lágmarki vera sáldurferill, bindiefnisinnihald, holrýmd, bikfyllt holrýmd og hitastig blöndu, sbr. töflu 3.2 hér að neðan, með þeirri tíðni sem tilgreind er í viðauka A í ÍST EN 13108-21. Auk þess skal hafa eftirlit með hráefnum sem notuð eru í malbikið, svo og með malbiksblöndunni, samkvæmt því sem talið er upp í töflum 3 til 8 í grein 6 í ÍST EN 13108-21.

Í kafla 64.5.3 í töflu 64-6 í Efnisgæðaritinu eru settar fram nánari leiðbeiningar um framleiðslueftirlit með malbiki þegar verkkaupi telur ástæðu til að setja fram auknar kröfur um tíðni prófana við framleiðslu. Lágmarkstíðni prófana við eftirlit með framleiðslu malbiks skal ákvarða með tilliti til viðauka A í staðli ÍST EN 13108-21. Tíðnin getur verið breytileg eftir því hvort þolmörk eru uppfyllt hverju sinni (e. *Operating Compliance Level, OCL*). Samkvæmt staðlinum skal lágmarkstíðni prófana vera eitt próf (sáldurferill, bindiefnisinnihald, holrýmd, bikfyllt holrýmd og hitastig) fyrir hver 2000 framleidd tonn ef niðurstöður eru innan þolmarka, þó ekki sjaldnar en einu sinni fyrir hverja fimm framleiðsludaga.

Tafla 3.2:
Eiginleikar malbiks sem skylt er að staðfesta hérlendis við framleiðslueftirlit

ÍST EN 13108-1	ÍST EN 13108-5	Eiginleiki
5.2.2	5.2.2	Kornadreifing
5.3.2	5.3.2	Holrýmd[1)]
5.4	5.4	Hitastig blöndu
5.2.3	5.2.3	Bindiefnisinnihald
5.3.2	5.3.2	Bikfyllt holrýmd[1)]
5.3.14	-	Festa og sig fyrir flugvallamalbik[1)]

1) Við sýnagerð er farið eftir staðli ÍST EN 12697-30. Malbik í vegagerð er þjappað með 2x50 höggum og fyrir flugvelli 2x75 höggum. Ekki er gerð krafa um mælingu á festu og sigi samkvæmt Marshall aðferð fyrir malbik á vegi.

Kröfur til hitastigs malbiks við framleiðslu eru háðar gerð bindiefnisins sem notað er í viðkomandi malbiksblöndu. Til dæmis skal hitastig malbiksins við framleiðslu vera að hámarki 165°C þegar bik er með stungudýpt PG 160/220, en 180°C ef bikið er með stungudýpt PG 70/100.

4 Almennar frávikskröfur

Hér eru birt ákvæði Vegagerðarinnar um leyfileg frávik frá kröfum til steinefna og kornadreifingar steinefna sem ætluð eru til nota í óbundin eða bikbundin lög vegar eða í steinsteypu.

4.1 Frávik frá steinefnakröfum

Um frávik á kröfum til steinefna svo sem um styrk, veðrunarþol eða slitþol gildir sú almenna regla hjá Vegagerðinni að eitt sýni af hverjum fimm (20%) má víkja frá gildandi kröfu en þó má ekkert frávik vera meira en 10% af tölugildi kröfuflokksins í átt til lakari efnisgæða. Þannig mætti mest eitt sýni af fimm mælast með LA gildi að hámarki 22 ef kröfuflokkurinn er LA_{20}.

4.2 Vikmörk kornadreifingar

4.2.1 Almennt

Markalínur fyrir burðarlagsefni og malarslitlagsefni eru birtar í viðkomandi köflum í Efnisgæðaritinu. Sýndar eru innri og ytri markalínur fyrir hvern stærðarflokk á súldurferlum sem byggðar eru á framleiðslustaðli ÍST EN 13285, sem gefinn er út af CEN TC 227 (e. *Road materials*). Almennt gildir að meðaltal allra mælinga skal liggja innan við innri markalínurnar en einstakar mælingar mega liggja utan þeirra en þó skal enginn hluti kornadreifingar liggja utan við ytri markalínur. Þessi stöku frávik mega þó ekki víkja bæði niður og upp fyrir innri markalínur.

Ekki eru settar fram frávikskröfur fyrir kornadreifingu styrktarlagsefnis, óflokkaðs klæðingarefnis og steinefnis í steinsteypu. Í framleiðslustöðlunum eru sett fram ákvæði um að minnst 90% mælinga á kornadreifingu (yfir- og undirstærðir og fínefnaflokkur) skuli vera innan marka þess kröfuflokks sem settur er fram. Þessi ákvæði gilda þegar ekki eru sett önnur vikmörk varðandi kornadreifingu.

4.2.2 Þolvik frá hönnuðum súldurferli í malbiki

Við hönnun skal súldurferill steinefna í malbiki (eftir blöndun úr mismunandi stærðaflokkum ef svo ber undir) liggja milli markalína sem eru tilgreindar á myndum 64-7 til 64-14 í kafla 64 í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar. Markalínurnar eru í samræmi við Evrópustaðla, ÍST EN 13108-1 fyrir stífmalbik (AC) og burðarlagsmalbik (BRL) og ÍST EN 13108-5 fyrir steinríkt malbik (SMA). Hannaður súldurferill skal liggja á milli markalínanna og heppilegast er að hann liggi sem næst samsíða þeim. Súldurferill sem slangrar milli markalínanna er óheppilegur og ber að forðast. ÍST EN 13108-21 um framleiðslueftirlit (e. *Factory Production Control*) tilgreinir meðal annars þolvik frá hönnuðum súldurferli við malbiksframleiðslu. Tveir flokkar þolvika eru leyfðir, sbr. viðauka A í staðlinum. Annar þeirra leggur meðaltöl af niðurstöðum fjögurra sýna

til grundvallar, sjá mynd 4.1, en hinn leggur niðurstöður stakra sýna til grundvallar, sjá mynd 4.2. Aðeins er heimilt að nota annan flokkinn í hverri framleiðslustöð hverju sinni.

Tafla 4.1:
Þolvik (%) frá hönnuðum sáldurferli í sýnum af stífmalbiki og steinríku malbiki í slitlag, meðaltal fjögurra sýna

Malbiksgerð AC og SMA						
Sigti, mm	**AC 8**	**AC 11**	**AC 16**	**SMA 8**	**SMA 11**	**SMA 16**
0,063	±1	±1	±1	±1	±1	±1
0,5	±2	±2	±2	±2	±2	±2
2	±3	±3	±3	±3	±3	±3
4	±4	-	-	±4	-	-
5,6	-	±4	-	-	±4	-
8	±4	-	±4	±4	-	±4
11,2	-2*	±4	-	-2*	±4	-
16		-2*	±4		-2*	±4
22,4			-2*			-2*

** Krafan er að sáldur sem smýgur 1,4*D sé 100 % en þolvik eru -2, sem þýðir að minnst 98 % skulu smjúga það sigti*

Þolvik á magni bindiefnis er ±0,3% fyrir allar malbiksgerðirnar sem fjallað er um í töflu 4.1, sem sagt ef um er að ræða meðaltal fjögurra sýna.

Tafla 4.2:
Þolvik (%) frá hönnuðum sáldurferli í sýnum af stífmalbiki og steinríku malbiki í slitlag, stakar mælingar

Malbiksgerð AC og SMA						
Sigti, mm	**AC 8**	**AC 11**	**AC 16**	**SMA 8**	**SMA 11**	**SMA 16**
0,063	±2	±2	±2	±2	±2	±2
0,5	±4	±4	±4	±4	±4	±4
2	±6	±6	±6	±6	±6	±6
4	±7	-	-	±7	-	-
5,6	-	±7	-	-	±7	-
8	-8+5	-	±7	-8 +5	-	±7
11,2	-2*	-8+5	-	-2*	-8+5	-
16		-2*	-8+5		-2*	-8+5
22,4			-2*			-2*

** Krafan er að sáldur sem smýgur 1,4*D sé 100 % en þolvik eru -2, sem þýðir að minnst 98 % skulu smjúga það sigti*

Þolvik á magni bindiefnis er ±0,5% fyrir malbiksgerðir með 8 og 11 mm hámarksstærð, en ±0,6% fyrir malbiksgerðir með 16 mm hámarksstærð, sem fjallað er um í töflu 4.2, sem sagt ef um er að ræða stakar mælingar.

Þess ber að geta að samskonar kröfur og settar eru fram í töflum 4-1 og 4-2 gilda einnig um burðarlagsmalbik, en í því tilfelli getur efri flokkunarstærð verið grófari en töflurnar sýna. Þá er hægt að nota viðauka A í ÍST EN 13108-21 til að finna út þolvikin.

4.2.3 Stærðarflokkar og magn undir- og yfirstærða

Tafla 4.3 sýnir þá kröfuflokka sem Vegagerðin leggur til að verði valið á milli varðandi magn undir- og yfirstærða til mismunandi nota steinefna, sbr. framleiðslustaðla ÍST EN 12620, 13043 og 13242. Í megintexta Efnisgæðarits Vegagerðarinnar hafa þessir kröfuflokkar verið valdir í þeim köflum sem það á við og eru mismunandi kröfuflokkar valdir fyrir mismunandi lög vegarins. Þó má benda á að fyrir sum lög veghlotsins er algengara að gera kröfur um kornadreifingu sem byggðar eru á markalínum. Í áðurnefndum framleiðslustöðlum er boðið upp á fleiri flokka um undir- og yfirstærðir en valdir hafa verið í Efnisgæðaritið.

Stærðaflokkar í töflunni eru táknaðir með neðri og efri flokkunarstærð d/D, t.d. 8/11 mm. Flokkað efni er nefnt Coarse í staðlinum (sbr. merkinguna $_C$ í G_C). Óflokkað efni er nefnt All-in í staðlinum (sbr. merkinguna $_A$ í G_A). Kröfur til yfirstærða eru tilgreindar í töflunni fyrir 1,4*D og 2*D og til undirstærða fyrir d/2 fyrir flokkað efni, en óflokkað efni telst ekki hafa undirstærðir.

Þegar undir- og yfirstærðir eru tilgreindar er hægt að velja um fjóra kosti fyrir flokkað efni. Í töflunum táknar G_C X/Y að minnst X% efnisins eiga að smjúga grófara sigtið (efri flokkunarstærð), mest Y% mega smjúga það fínna (neðri flokkunarstærð) og allt efnið á að smjúga sigti með möskvastærð 2*D.

Fyrir óflokkað efni er ekki um neinar undirstærðir að ræða þar sem neðri flokkunarstærð er 0. Yfirstærðir er hægt að velja úr þremur flokkum, sem sagt G_A 90, G_A 85 og G_A 80 þar sem G_A X táknar að minnst X% eiga að smjúga sigti sem svarar til efri flokkunarstærðar. Allt efnið á að smjúga sigti með möskvastærð 2*D og minnst 98 % sigti með möskvastærð 1,4*D.

Tafla 4.3:
Flokkar um vikmörk á kornastærðardreifingu steinefna

Steinefni	Stærð, mm	Sáldur, þyngdarprósenta					Flokkur
		2 D[a)]	*1,4 D*	*D*[b), c)]	*d*	*d/2*	*G*
Flokkað	D > 4	100	100	90 til 99	0 til 10	0 til 2	G_C90/10
Efni (Course)	d ≥ 1	100	98 til 100	90 til 99	0 til 15	0 til 5	G_C90/15
		100	98 til 100	85 til 99[C]	0 til 15	0 til 5	G_C85/15
		100	98 til 100	80 til 99	0 til 20	0 til 5	G_C80/20
Óflokkað efni	D > 4	100	98 til 100	90 til 99	-	-	G_A90
(All-in)	d = 0	100	98 til 100	85 til 99	-	-	G_A85
		100	98 til 100	80 til 99	-	-	G_A80

a) *Fyrir steinastærðir þar sem D er stærra en 63 mm (t.d. 80 mm eða 90 mm) gilda einungis kröfur um yfirstærðir samkvæmt 1,4*D, þar sem ekki eru stærri sigti en 125 mm í ISO 565/R20 röðinni.*

b) *Ef hluti efnis sem situr á D er < 1% þyngdar skal framleiðandi skrá og lýsa (declare) kornadreifingunni með sigtunum D, d og d/2, auk grunnsigta og setti 1 sem liggja á milli d og D.*

c) *Fyrir flokkuð, einskorna steinefni d/D, þar sem D/d < 2 í flokki G_C85/15, má lækka gildi þyngdarhluta sem smýgur D um 5% ef notkun býður upp á það.*

Í viðkomandi köflum Efnisgæðaritsins eru birtir þeir kröfuflokkar sem Vegagerðin mælir með að verði notaðir, annars vegar fyrir steinefni í klæðingu og hins vegar óbundin steinefni í burðarlag eða styrktarlag.

Sem dæmi úr töflu 4.3 má taka flokkað efni 22/63 mm, þar sem d = 22 mm og D = 63 mm. Ef valinn er kröfuflokkur Gc 85/15 þá mega 0-15% af efninu smjúga 22 mm sigti (d) og 85-99% af efninu mega smjúga 63 mm sigti (D). Þannig verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 63 mm sigtinu sem er mikilvægt til að tryggja að efnið nái þeirri efri flokkunarstærð sem um ræðir (þ.e. D = 63). Samkvæmt kröfuflokki Gc 85/15 mega 0-5% af efninu smjúga 11 mm sigti (d/2 = 11) og 98-100% verða að smjúga 90 mm sigti (1,4*D = 90). Að lokum verður allt efnið að smjúga 125 mm sigti (2*D = 125).

Sem dæmi má taka óflokkað efni 0/32, þar sem d = 0 og D = 32. Ef valinn er kröfuflokkur G_A 80 þá mega 80-99% af efninu smjúga 32 mm sigti (D) og eins og í dæminu hér fyrir ofan verður að lágmarki 1% af efninu að sitja á 32 mm sigtinu. Á bilinu 98-100% verða að smjúga 45 mm sigti (1,4*D = 45). Að lokum verður allt efnið að smjúga 63 mm sigti (2*D = 63). Í framleiðslustöðlum er sett fram sú krafa varðandi kornadreifingu að 90% mælinga skuli liggja innan marka sem framleiðandi lýsir yfir, um yfir- og undirstærðir og fínefnaflokk.

Eins og áður kom fram eru í framleiðslustöðlum ÍST EN 12620, 13043 og 13242 enn fleiri stærðarflokkar. Þessir flokkar eru ekki birtir í töflunni, þar sem ekki er hefð fyrir að nota slíkt efni hérlendis.



Efnisgæðaritið – Viðauki 5: Sýnataka

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	**Fjöldi síðna**	**Dagsetning**	**Dreifing**
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	20	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 5: Sýnataka			

Höfundur/ar	**Verkefnastjóri**	**Tengiliður Vegagerðarinnar**
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson

Styrktaraðili	**Samvinnuaðilar**
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	**Yfirfarið af**
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur

Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5	Sýnataka (janúar 2023)
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Efnisyfirlit

Lykilsíða 2
1 Inngangur 5
2 Kortlagning jarðmyndana 6
3 Stærð sýna 7
4 Sýnataka úr bergi og setmyndunum á hönnunarstigi 9
5 Sýnataka og skipting sýna á framleiðslustigi 12
6 Sýnataka á framkvæmdastigi 17
7 Helstu ákvæði Evrópustaðla um sýnatöku 18

1 Inngangur

Í þessum viðauka er fjallað um sýnatöku á steinefnum til vegagerðar en ekki um sýnatöku úr undirstöðu vegar t.d. með töku borkjarna til jarðtæknilegra rannsókna. Prófanir á steinefnum til vegagerðar eru gerðar til að meta hæfi efnanna til notkunar í einstök lög vegarins og má skipta þeim á eftirfarandi hátt eftir tilgangi þeirra:

- Almennt mat á hæfi steinefnis
- Samanburður á steinefnum sem koma til greina til viðkomandi nota
- Mat á því hvort steinefnið stenst gæðakröfur
- Gæðaeftirlit á framleiðslustigi

Í riti Vegagerðarinnar um efnisrannsóknir og efniskröfur er því lýst hvernig staðið skuli að prófunum á steinefnum á hönnunarstigi, framleiðslustigi og framkvæmdastigi fyrir mismunandi lög í vegi. Jafnframt eru settar fram töflur um það hvernig tíðni prófana er háð magni framleiðslunnar. Einnig eru settar fram kröfur til steinefna í hvert lag veghlotsins sem eru ýmist háðar áætlaðri heildarumferð, eða áætlaðri þungaumferð.

2 Kortlagning jarðmyndana

Með hjálp fyrri rannsókna á rannsóknasvæðinu, loftmynda, korta og með yfirlitsathugun á svæðinu eru valdar ein eða fleiri jarðmyndanir sem helst þykja koma til greina til efnistöku. Við yfirlitsrannsóknir er oft nauðsynlegt að taka takmarkaðan fjölda sýna til að bera saman og velja á milli mismunandi valkosta en þegar efnistökustaður hefur verið valinn eru tekin fleiri sýni. Áður en sýnataka hefst er nauðsynlegt að kanna umfang og einkenni þeirrar jarðmyndunar, sem fyrirhugað er að nýta og áætla hversu mikið magn steinefnis verði unnið á staðnum.

Talsverður munur er á aðferðum við könnun á storkubergi og setmyndunum en markmiðin eru í báðum tilfellum að kanna gerð, einsleitni, þykkt, útbreiðslu og legu þeirra jarðlaga sem á að vinna. Mikilvægt er einnig við kortlagningu að kanna ofanafýtingu, grunnvatnsstöðu, vatnsból, línulagnir, forminjar og upplýsingar um verndargildi svæðisins eða einstakra jarðmyndana. Einnig þarf að fara varlega við sýnatöku við ár þar sem stangveiði er stunduð, sjá mynd 1.

Æskilegt er að staðsetja fyrir fram á loftmynd eða korti gryfjustaði þar sem taka á sýni. Þetta tryggir jafna dreifingu gryfja auk þess sem minni líkur eru á að val á gryfjustöðum verði hlutdrægt, t.d. að eingöngu sé grafið á flötum, þurrum og ógrónum stöðum en efnisgerð getur verið misjöfn eftir slíkum aðstæðum. Hnit gryfjustaðanna er skráð í GPS tæki og staðirnir fundnir með hjálp tækisins.



Mynd 1:
Námusvæði við Fnjóská

Oft er nauðsynlegt að endurskoða áætlun um sýnatöku eftir að byrjað er að grafa, þegar breytileiki efnisins eða aðstæður gefa tilefni til. Fjöldi gryfjanna fer eftir því magni sem á að framleiða en algengt er að 50 – 200 m séu á milli gryfja. Ef mikill hæðarmunur er á yfirborði innan jarðmyndunar þarf að gæta þess að dreifa sýnatökustöðum þannig að yfirlit fáist yfir hvert 5 – 10 m hæðarbil og auk þess að gryfjur séu jafndreifðar yfir það svæði sem á að vinna. Ef halli jarðlaga er mikill þarf einnig að taka tillit til hallastefnu þegar sýnatökustaðir eru valdir.

3 Stærð sýna

Stærð sýna fer eftir kornadreifingu efnisins og því hvað fyrirhugað er að framkvæma margar rannsóknir. Ef efnið er til dæmis gróft og fyrirhugað er að framkvæma allar helstu rannsóknir fyrir burðarlagsefni getur verið nauðsynlegt að taka 200 - 300 kg sýni. Ef einungis á að rannsaka kornadreifingu efnisins má nota eftirfarandi töflu til hliðsjónar varðandi þyngd sýnis. Þyngdir miðast við að ákvörðun á lausri rúmþyngd skv. staðli ÍST EN 1097-3 og er miðað við lausa rúmþyngd 1,8 Mg/m^3 í íslensku steinefni.

Tafla 1:
Æskileg þyngd sýnis í mælingu á kornadreifingu miðað við mestu kornastærð

Mesta kornastærð sýnis D_{max} í mm	**Lágmarksþyngd sýnis, kg**
125	120
90	100
63	85
45	70
22,4	50
8	30
< 4 mm	20

Í þeim tilfellum sem stærstu steinar eru það stórir að sýni þyrfti að vera um of yfir hundrað kg er fyrsta skipting (splittun) í reynd oft gerð á sýnatökustað þannig að sýni sem flutt er á rannsóknastofu er þá um helmingur af tilgreindri þyngd fyrir grófustu sýnin.

Á mynd 2 er haugur af mjög grófri hnullungamöl með stærstu steinum allt að 0,5 m í þvermál. Sýni sem tekið er til flutnings á rannsóknastofu af slíku efni inniheldur oftast stærstu steina á bilinu 90 – 125 mm og gefur prófun á kornadreifingu því ekki rétta mynd af öllu efninu. Sjaldan er þörf á að þekkja nákvæmlega kornadreifingu alls efnisins og er í slíkum tilvikum oftast látið nægja að mæla þvermál stærstu steina og lýsa grófleika malarinnar með almennum orðum. Ef hins vegar er áhugi á að mæla kornadreifinguna þarf að hefja rannsóknina á staðnum með því að harpa og vigta grjót sem er stærra en 125 mm. Einnig er vel þekkt að taka sýni í stór ker til meðhöndlunar síðar á rannsóknastofu.



Mynd 2:
Grafið í grófa hnullungamöl

4 Sýnataka úr bergi og setmyndunum á hönnunarstigi

Sýnataka úr bergi getur verið nokkuð dýr og því er mikilvægt að vanda vel til berggreiningar á staðnum til að meta breytileika bergsins. Fyrsta sýni af bergi er oft tekið með því að losa steina úr berginu með handverkfærum eða fleygum, en ef bergið er breytilegt þarf að taka fleiri sýni. Slíkt sýni er brotið og malað á rannsóknastofu áður en það er sett í hinar ýmsu prófanir. Mölun á rannsóknastofu gefur oft flögóttara berg en vinnsla í mölunarsamstæðu og þarf að hafa það í huga þegar niðurstöður eru metnar.

Ef til stendur að taka marktækara sýni af berglagi sem á að vinna og talið er sæmilega einsleitt, er oft nægjanlegt að sprengja bergið á einum stað og flytja grjótið til mölunar í mölunarsamstæðu. Mikilvægt er í slíkum tilfellum að grjótið sé unnið með svipuðum hætti og það verður unnið á framkvæmdastigi. Ef viðkomandi berglag er hins vegar alveg hulið af jarðvegi (ofanaf-ýtingu) og/eða öðrum jarðlögum er oft látið duga að taka sýni með kjarnabor en sú aðferð gefur takmarkað sýnismagn, sem dugar einungis til grunnprófana, svo sem berggreiningar. Í einstaka tilvikum kemur til greina að fresta eiginlegum prófunum á berginu og ætla verktaka að framkvæma rannsóknir þegar bergið hefur verið malað á verktíma. Slíkt kemur helst til greina þar sem tilraunalosun á berginu er of kostnaðarsöm eða að ekki er talið réttlætanlegt af umhverfisástæðum að raska landinu fyrr en á verktíma.

Sýnataka úr setlögum er að mörgu leyti einfaldari og ódýrari en sýnataka úr bergi. Til að fá yfirlit yfir jarðmyndunina er hægt að bora eða grafa en sýnataka er oftast framkvæmd með aðstoð gröfu. Fyrst er jarðvegslag hreinsað vandlega ofan af efninu, sem taka á sýni úr og ef hætta er á að jarðvegslagið hrynji ofan í gryfjuna þarf að hreinsa af stærra svæði. Síðan er efninu sem taka á sýni af mokað í haug. Áður en sýni er tekið úr haugnum er mikilvægt að skipta haugnum í tvo hluta og taka sýnið úr stálinu sem þá myndast. Þetta er gert til að tryggja sem best að sýnið gefi góða mynd af blöndu efnis úr öllu setlaginu sem fyrirhugað er að vinna. Ef sýnið væri einungis tekið efst úr haugnum væri það einungis af efninu neðst í gryfjunni, sjá mynd 3.



Mynd 3:
Möl sem taka á sýni úr komið í haug

Fjöldi sýna miðar að því að gefa gott yfirlit yfir efnið á staðnum og þarf því almennt séð að fjölga sýnum ef breytileiki efnisins virðist mikill milli gryfja. Oftast er setlagið, sem á að vinna undir misþykku jarðvegslagi (ofanafýting) og undir setlaginu ýmist annað setlag með ólíka eiginleika eða klöpp. Setlagið sem á að vinna þarf almennt að hafa lágmarksþykkt 1 – 2 m til að vinnsla borgi sig og er þá miðað við að jarðvegslag sé mjög þunnt. Þykkt setsins þarf að vera þeim mun meiri eftir því sem ofanafýting er meiri. Á sunnanverðu landinu getur jarðvegsþykkt verið allt að 3 – 4 m og þarf þykkt efnisins sem á að vinna að lágmarki að vera sú sama til að vinnsla sé fýsileg.

Sýni eru oftast tekin sem blanda af öllu laginu sem á að vinna en ekki tekin sýni af einstökum þynnri lögum innan lagskipts setlags t.d. sandlögum í möl, sjá mynd 4. Gæta þarf sérstaklega að því að jarðvegur eða aðliggjandi setlög blandist ekki í sýnið.



Mynd 4:
Sandlög í lagskiptri, sandríkri möl

Sýnataka úr námustáli getur verið vandasöm sérstaklega þar sem hætta er á blöndun úr jarðvegslagi og aðliggjandi setlögum, enda getur verið nauðsynlegt að losa talsvert magn til að hægt sé að ná marktæku sýni.

5 Sýnataka og skipting sýna á framleiðslustigi

Við sýnatöku á framleiðslustigi er afar brýnt að vanda vel til sýnatöku þannig að heildarsýnið sé marktækt fyrir þann haug sem það er fulltrúi fyrir. Algengast er að sýni á framleiðslustigi séu tekin af færibandi eða úr haug undir færibandi. Ætíð skal hafa í huga að rétt og nákvæm vinnubrögð við sýnatöku er forsenda þess að niðurstöður rannsókna á sýninu gefi rétta mynd af eiginleikum efnisins sem um ræðir. Iðulega á sér stað einhver aðskilnaður við vinnslu og haugsetningu á steinefnum og því þarf að tryggja að heildarsýnið sem tekið er endurspegli meðalsýnið sem er í öllum efnishaugnum. Hér er ekki fjallað sérstaklega um sýnatöku úr stórum lagerhaugum sem byggðir eru upp í mörgum, u.þ.b. 2 m þykkum lögum. Almennt má þó segja að æskilegt er að sýni úr slíkum haugum séu tekin með vélskóflu, þannig að steinefnið sem sýnið er tekið úr hafi blandast úr öllu sniði haugsins[1].

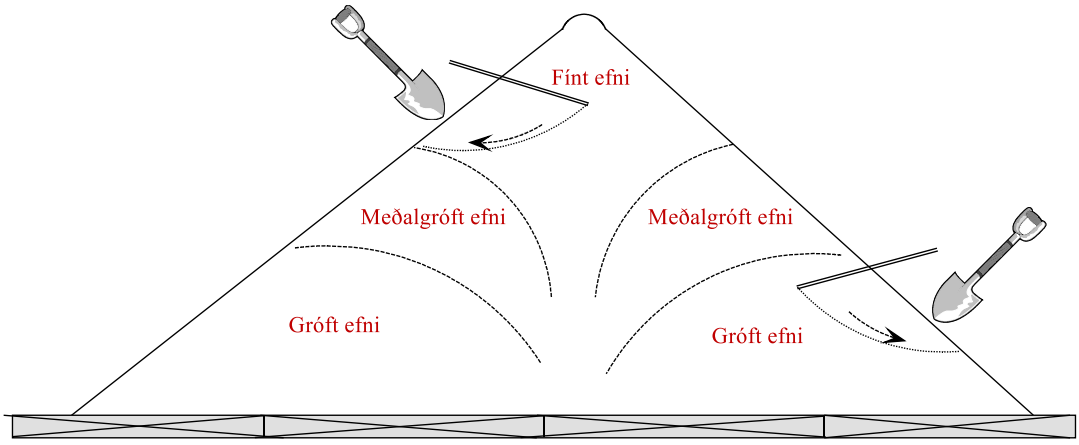
Ef sýni er tekið af framleiddu steinefni úr efnishaug undir færibandi, sjá mynd 5, þarf að lágmarki þrjú jafnstór hlutasýni sem tekin eru á mismunandi stöðum úr hlassinu eða haugnum. Miða skal við að taka efni neðst, í miðju og efst við þessar aðstæður og skal það tekið að minnsta kosti 100 mm undir yfirborði. Sýnastærðin er nokkuð háð mestu kornastærð efnisins og má hafa töflu 1 hér að ofan til viðmiðunar.

[1] *Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason 2013: Vinnsla steinefna til vegagerðar - Tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit. Vegagerðin.*
Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason 2018: Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar.
Sjá slóð: http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/



Mynd 5:
Haugur undan færibandi með flokkuðu steinefni

Við sýnatöku úr haug er oftast notast við malarskóflu. Gæta skal þess að efni hrynji ekki jafn óðum af yfirborði haugs ofan í tökustaðinn (sem er neðan yfirboðs), en það má gera með skilrúmi, t.d. málmþynnu, sem rekin er inn í hauginn ofan við tökustaðinn, sjá skýringar á mynd 6. Oftast eru sýni tekin í plastpoka, þau merkt rækilega og síðan bundið fyrir pokana. Merkimiðum þarf að pakka í plast áður en þeir eru settir í sýnispokann, þannig að merkingin verði læsileg, þótt hún blotni. Nauðsynlegt er að nota blýant til merkingar, en hann rennur síður út en blekpenni. Þegar um er að ræða sýnatöku af mjög grófum efnum þarf oft á tíðum stærri ílát og annars konar verkfæri.



Mynd 6:
Lagskipting haugs og sýnatökustaðir

Stór, gróf sýni eru oft tekin í fiskiker, sjá mynd 7, og er þá gjarnan notuð grafa til sýnatöku.

Ef aðstæður leyfa er það talinn kostur að fletja efnishaug út áður en sýnataka fer fram. Það hefur þó ekki tíðkast hérlendis við sýnatöku, heldur gert eins og lýst er hér að ofan.



Mynd 7:
Stór sýni eru oft tekin í fiskiker

Við sýnatöku af færibandi er oft unnt að setja ílát undir efnisstrauminn þar sem hann fer út af bandinu og er það þá gert að minnsta kosti þrisvar með reglubundnu millibili, þannig að heildarsýnið verði hæfilega stórt. Ef ekki er unnt að koma því við að safna öllu efni sem fram af færibandi fer á þennan hátt er nauðsynlegt að stöðva færibandið til sýnatöku. Hlutasýni er þá tekið á ákveðnum stað á bandinu, þannig að öllu efni á ákveðinni lengdareiningu færibandsins ef safnað og notaður bursti til að ná allra fíngerðasta efninu. Síðan er færibandið látið keyra áfram um stund og aftur stöðvað og samskonar sýni tekið á sama stað. Þetta er síðan endurtekið í þriðja skiptið og að því loknu á að hafa safnast hæfilega stórt heildarsýni til að gefa rétta mynd af því sem verið er að framleiða.

Þegar sýnum er skipt (splittað) niður í hentugar stærðir til prófana, er mikilvægt að hlutasýni sem fást með skiptingu verði marktæk fyrir heildarsýnið. Ef um stór sýni er að ræða (t.d. fiskiker) er ein aðferð við fyrstu skiptingu sýnisins svokölluð fjórðungsskipting. Öllu sýninu er þá dreift á slétt og þétt yfirborð, því blandað vel saman og síðan búin til flöt, hringlaga hrúga. Þeirri hrúgu er skipt í fjóra jafnstóra hluta í kross. Gagnstæðum fjórðungum er síðan blandað aftur saman (sem sagt helmingur efnisins) og fjórðungsskipting endurtekin á því hlutasýni ef með þarf, sjá mynd 8.



Mynd 8:
Sýni hefur verið fjórðungsskipt og tveimur fjórðungum blandað saman (fjærst)

Önnur aðferð sem gjarnan er notuð við skiptingu sýna felst í því að hella þeim í gegn um rifflubox, sem ætlað er að skipta sýni í tvo jafn stóra hluta, sjá mynd 9. Undir boxinu eru ílát sem taka við hvorum helmingi sýnisins. Þegar minnka þarf sýni enn frekar er aftur skipt úr öðru ílátinu í riffluboxinu og svo koll af kolli. Gæta þarf þess að stærstu steinar sýnisins eigi auðvelda leið í gegn um rifflurnar, þannig að þær stíflist ekki, eða hindri frjálst flæði sýnisins. Ef stærstu steinar sýnisins eru of grófir fyrir boxið má sigta þá frá áður en skipting fer fram. Þá þarf að gæta þess að slíkir steinar verði teknir með í útreikninga á t.d. kornastærðardreifingu sýnisins.



Mynd 9:
Rifflubox og ílát sem taka við sýninu

Þess má geta að riffluboxeru framleidd í ýmsum stærðum og ef kornastærðardreifing sýnis er smá hentar betur að nota minna box. Einnig eru til sérsmíðuð riffluboxsem hægt er að nota til að skipta mjög grófgerðum sýnum úr fiskikerjum, en við það sparast vinna við fjórðungsskiptingu, sjá mynd 10.



Mynd 10:
Grófgerðu sýni úr fiskikeri skipt í stóru riffluboxi

Besta aðferðin til þess að skipta sýnum er talin vera með notkun á rafknúnum sýnaskiptara (e. Rotary sample divider). Slíkir skiptarar eru ekki fyrir hendi hérlendis, en hafa rutt sér til rúms erlendis.

6 Sýnataka á framkvæmdastigi

Ekki er gert ráð fyrir að steinefni sé prófað á framkvæmdastigi nema í undantekningartilvikum þegar talið er að efnið sem sett var í veginn sé lakara en efnið sem var prófað og samþykkt við vinnslu. Hér verða ekki settar fram leiðbeiningar um umfang slíkrar sýnatöku en það verður ávallt háð magni og grófleika þess efnis sem talið er að standist ekki kröfur.

7 Helstu ákvæði Evrópustaðla um sýnatöku

Evrópustaðallinn ÍST EN 932-1 (e. *Methods for sampling*) fjallar um aðferðir við sýnatöku framleiddra steinefna, þar með talið haugsett efni. Staðallinn tekur almennt á sýnatöku við mismunandi aðstæður og með mismunandi verkfærum. Um er að ræða almenna lýsingu á handvirkri sýnatöku, en tekið er fram að sjálfvirk, eða vélræn sýnataka sé einnig leyfileg ef ákveðnum ákvæðum er fylgt eftir (sbr. A.8 í viðauka staðalsins).

Tekið er fram í staðlinum að rétt sýnataka er grundvöllur fyrir því að prófanir gefi áreiðanlegar niðurstöður. Í misleitu (e. *heterogenous*) efni er reynt að komast hjá skekkjum í sýnatöku með því að taka nægjanlega mörg hlutasýni. Æskilegt er að slík hlutasýni séu tekin á tilviljunarkenndan hátt (e. *random*). Ef um einsleitt efni er að ræða (t.d. flokkaða möl) getur verið nægjanlegt að taka eitt stórt sýni, sem er þá marktækt fyrir allan hauginn (e. *batch*).

Stærð heildarsýnis þarf að áætla með tilliti til prófunaraðferða, fjölda prófana sem til stendur að framkvæma, kornastærðar og rúmþyngdar steinefnisins. Fjöldi hlutasýna sem mynda heildarsýnið fer eftir eðli efnisins sem tekið er úr (sbr. hér að ofan). Þá má hafa eftirfarandi jöfnu til hliðsjónar þegar sýnastærðin er ákveðin:

$$M = 6 \times \sqrt{D} \times \rho_b$$

Þar sem:
M er þyngd sýnis, kg
D er stærsta kornastærð, mm
ρ_b *er laus rúmþyngd, Mg/m³, samkvæmt ÍST EN 1097-3*

Útbúa skal sýnatökuáætlun áður en sýnataka hefst, þar sem tekið er mið af kornastærð sýnis, eðli og stærð efnistökustaðar, aðstæðum á sýnatökustað og tilgangi sýnatöku. Í áætlun þarf eftirfarandi að koma fram:

- gerð steinefnis
- tilgangur sýnatöku, listi yfir prófanir
- staðsetning tökustaða hlutasýna
- áætluð þyngd hlutasýna
- tæki til sýnatöku
- aðferð við sýnatöku og skiptingu sýna, skv. ÍST EN 932-1
- merking, pökkun og geymsla sýnanna

Gefnar eru upp leiðbeiningar um tækjabúnað sem nota skal við sýnatöku. Almenna reglan er að breidd sýnatökutækis (t.d. skóflu) skal vera að minnsta kosti þrisvar sinnum meiri en stærsta kornastærð sýnisins.

Kafli 8 í staðli ÍST EN 932-1 um sýnatöku lýsir aðferðum við sýnatöku við mismunandi aðstæður, svo sem úr haugum, af færiböndum, úr vélskóflum o.s.frv. Ekki verður farið nánar út í lýsingu á einstökum sýnatökuaðferðum hér, heldur vísað til staðalsins. Þó má geta þess að sýnataka úr haug undir færibandi er talin vera einna vandasamasta aðferðin, vegna aðskilnaðar í haugum. Í því tilfelli er lagt til að haugar séu flattir út áður en sýnataka hefst.

Í kafla 9 í ÍST EN 932-1 er fjallað um skiptingu sýna og helstu aðferðir við hana. Tekið er fram að ef rafknúinn sýnaskiptari (e. *rotary sample divider*) af heppilegri stærð er til staðar er notkun hans heppilegasta leiðin til að skipta sýni. Einnig er lýst skiptingu í riffluboxi, með fjórðungsskiptingu og “smáskammta”-skiptingu (e. *fractional shovelling*). Það sem fram kemur í staðlinum er í öllum megin dráttum í samræmi við það sem tíðkast hefur hérlendis. Rétt er að benda á ákvæði sem varða riffluboxið þess efnis að op skuli að lágmarki vera átta talsins. Einnig er tekið fram að breidd opa skuli vera að lágmarki tvisvar sinnum meiri en stærsta kornastærð sýnis til að fyrirbyggja stíflun. Tekið er fram að leyfilegt er að nota mismunandi skipti-aðferðir við sama sýnið, t.d. að byrja á fjórðungsskiptingu og halda síðan áfram með riffluboxi.

Í staðli ÍST EN 932-1 eru sett fram ákvæði varðandi merkingu sýna og sýnatökuskýrslu (kaflar 10 og 11 í staðlinum). Á merkingu þarf að koma fram eiginleg merking sýnis, sýnatökustaður, dagsetning sýnatöku og efnisgerð (eða nafn), gefið upp af framleiðanda. Tekið er fram að ílát skuli vera þannig að ekki tapist efni úr þeim (t.d. fínefnið). Einnig er tekið fram að ef til stendur að ákvarða rakastig sýnisins þarf að tryggja að ílátið (t.d. plastpokinn) sé loftþétt (bundið þétt fyrir).

Sýnatökumaður skal útbúa sýnatökuskýrslu fyrir hvert rannsóknastofusýni, eða fyrir mörg sýni sem tekin eru úr sama sýnatökustað (haug). Í skýrslunni skal vitnað til ÍST EN 932-1 og eftirfarandi komi fram:

- Númer sýnatökuskýrslu
- Merking sýnis
- Staður og dagsetning sýnatöku
- Yfirlýst kornastærð og stærð haugs (framleidds efnis)
- Sýnatökustaður innan framleidds efnis
- Tilvitnun í sýnatökuáætlun
- Nafn sýnatökumanns

Ýmsar aðrar upplýsingar má birta í sýnatökuskýrslu og fer nauðsyn þess eftir aðstæðum hverju sinni. Á mynd 3 í staðli ÍST EN 932-1 er sett fram dæmi um hvernig sýnatökuskýrsla getur litið út og hvaða upplýsingar má setja inn á slíka skýrslu.

Að lokum má birta hér mynd af nýlegum sýnatökumiða Vegagerðarinnar, þ.e.a.s. bæði af framhlið og bakhlið miðans, sjá mynd 11.



Mynd 11:
Sýnatökumiði Vegagerðarinnar



Efnisgæðaritið – Viðauki 6: Vinnsluaðferðir

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	8	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 6: Vinnsluaðferðir			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Hafdís Eygló Jónsdóttir Gunnar Bjarnason Pétur Pétursson	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson
Styrktaraðili		**Samvinnuaðilar**
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar		

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur
Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir (janúar 2023)
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Í þessum viðauka er greint í stuttu máli frá nokkrum meginatriðum sem varða vinnslu steinefna til vegagerðar. Í heimildaskrá hér á eftir eru talin upp rit og vefslóðir þeirra, sem fjalla ýtarlega um kröfur til steinefna, steinefnavinnslu og eftirlit með henni.

Markmiðið með vinnslu steinefna er að breyta setinu eða storkuberginu þannig að það sé hæft sem steinefni til ákveðinna nota, t.d. í vegagerð. Þeir eiginleikar efnisins sem hægt er að breyta með mismunandi vinnsluaðferðum eru kornadreifing, lögun korna og brothlutfall. Aðrir eiginleikar svo sem berggæði, þ.e. styrkur, veðrunarþol og slitþol, ráðast af bergerðinni og er námum því valinn staður í jarðmyndunum þar sem berggæði eru talin nægileg fyrir viðkomandi framleiðsluafurð, svo sem styrktarlag, burðarlag eða slitlag vegar. Mikilvægur þáttur vinnslunnar er að framleiða efni með kornastærðardreifingu sem hæfir viðkomandi lagi vegarins. Með viðeigandi vinnsluaðferðum er einnig hægt að hafa áhrif á kornalögun og brothlutfall. Margir þættir ráða því hversu mikið þarf að vinna efnið, en þeir helstu eru efnisgerðin (hráefnið), lag í vegi sem nota á efnið í og umferðarþungi á veginum. Þannig eru gerðar meiri kröfur til efnisgæða í efri lög vegar en neðar í veghlotinu og þar sem þarf að vinna efnið meira í efri lögin eru þau dýrari í framleiðslu. Algengt er hér á landi að einungis slitlagsefnið og burðarlagsefnið fari í eiginlega efnisvinnslu (mölun og hörpun), en í vaxandi mæli er einnig farið að vinna efni í styrktarlag. Fyllingarefni er oftast notað óunnið en það er þó stundum flokkað eftir steinastærð. Mynd 1 sýnir dæmigerða vinnslu klæðingarefnis, þar sem berg er sprengt og síðan malað og harpað í mölunarsamstæðu.

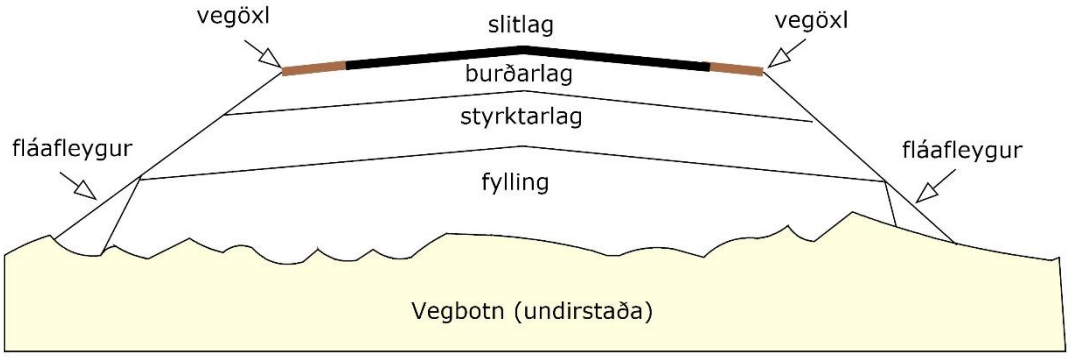


Mynd 1
Vinnsla klæðingarefnis í Uppsalanámu (Ljósmynd Hafdís Eygló Jónsdóttir)

Í vegagerð er steinefnaframleiðsla mikilvægur verkþáttur. Forsenda fyrir því að ná góðum gæðum steinefna við efnisframleiðslu er að hafa góða stjórn á öllum þáttum

vinnslunnar: efnisnámi, flokkun, hreinsun, mölun, blöndun og að lokum haugsetningu steinefnisins. Vinnsluaðferðir ráðast af hráefninu, eiginleikum þess og þeim kröfum sem gerðar eru til framleiðslunnar.

Kröfurnar eru mismunandi eftir því í hvað á að nota efnið og eru strangari eftir því sem ofar dregur í veghlotinu. Hefðbundinn vegur skiptist í undir- og yfirbyggingu. Undirbygging samanstendur af fyllingu og fláafleygum. Yfirbyggingin kemur þar ofan á og samanstendur af styrktarlagi, burðarlagi og slitlagi, sjá mynd 2.



Mynd 2
Þverskurður af uppbyggingu dæmigerðs vegar

Í efnisvinnslu er sett saman vinnslulína úr nokkrum einingum eftir atvikum, þ.e. brjótum, möturum, hörpum og færiböndum og þvottabúnaði. Vinnslusamstæður eru ýmist fastar, færanlegar, flytjanlegar eða sjálfkeyrandi og eru þær síðastnefndu algengar hér á landi, sjá mynd 3. Flestar eru þessar einingar tölvustýrðar.



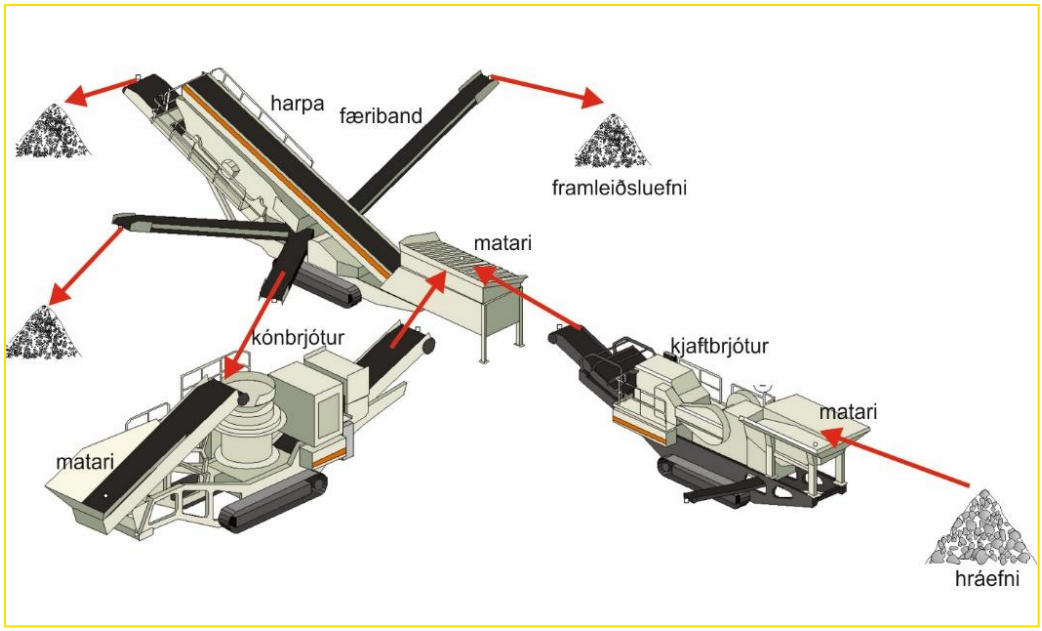
Mynd 3
Fastar, færanlegar, flytjanlegar og sjálfkeyrandi vinnslusamstæður.© Metso Minerals

Fastar samstæður (einingar) eru á steyptum grunni og boltaðar niður. Þær eru settar upp til lengri tíma og framleiða yfirleitt staðlaða steinefnaafurð úr sömu námunni. Þær eru yfirleitt settar upp í töluverðri fjarlægð frá sjálfri námunni eða námustálinu, og fá efnið til sín t.d. með námubifreiðum (búkollum) eða færiböndum.

Færanlegar samstæður eru á sleðum og eru hálffæranlegar að því leyti að þær er hægt að færa til með kranabíl.

Flytjanlegar samstæður á hjólavögnum eru oftast fullbúnar með matara, eftirbrjót, hörpu og færiböndum. Uppsetningin innan samstæðunar er ekki breytileg. Þegar þær eru fluttar til innan námusvæðisins þarf að nota dráttarvagn.

Sjálfkeyrandi samstæður á beltum eru útbúnar þannig að auðvelt sé að flytja þær á milli staða. Þegar komið er á staðinn, eru samstæðurnar fluttar til innan svæðisins með fjarstýringu. Kosturinn við færanlegar samstæður er að þær geta unnið saman eða í sitt hvoru lagi og auðvelt er að breyta uppsetningu á vinnslulínunni, sjá mynd 4. Frá því að færanlegar einingar komu til sögunnar hefur notkun þeirra stóraukist og tæknibúnaður þeirra þróast hröðum skrefum.



Mynd 4
Dæmi um uppsetningu á sjálfkeyrandi samstæðum.© Metso Minerals

Steinefni til vegagerðar eru unnin úr ýmsum jarðmyndunum og bæði úr setlögum og úr bergi. Þegar kemur að vali á efnisvinnslustað er mikilvægt að hafa í huga að íslenskt berg hefur mjög misjafna eiginleika fyrir vinnslu steinefna til vegagerðar. Berggæðin þ.e. styrkur, veðrunarþol og slitþol bergsins eru mikið háð gropu og ummyndun bergsins og eru þessir grunneiginleikar mikilvægir þegar lagt er mat á hæfi efnisins. Berggæðin og efnisgerðin, þ.e. hvort hráefnið er úr seti eða bergi, skipta einnig miklu máli þegar ákveðið er hvernig verktækni skuli beitt við vinnslu steinefna úr viðkomandi námu.

Misgóðar námur, þekkingarleysi á efnisvinnslu og tímaskortur hafa oft haft afdrifaríkar afleiðingar þegar vanda þarf til steinefnaframleiðslu. Fækka þarf þeim tilvikum sem koma upp og valda því að steinefnið, sem verið er að vinna, standist ekki þær kröfur sem settar eru fram í útboðsgögnum. Bæta þarf gæði hönnunar, framleiðslu og eftirlits með steinefnaframleiðslu með því að auka þekkingu bæði verkkaupa og verktaka, sem mun vonandi leiða til markvissari vinnubragða við vinnslu steinefna.

Ýtarlegar upplýsingar um kröfur til steinefna og um steinefnavinnslu eru í þeim ritum sem talin eru upp hér á eftir. Í tveimur síðast töldu ritunum eru upplýsingar um alla þætti vinnslunnar og um þann tækjabúnað sem talinn er henta best við vinnslu vegagerðarefna.



Haugur af sprengdu bergi undir námustáli Bláhæðar á Holtavörðuheiði (Ljósmynd Pétur Pétursson)

Heimildaskrá:

Öll ritin hér að neðan eru á vefslóðinni http://www.vegagerdin.is/upplysingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/.

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingvi Árnason 2010. *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla efniskröfur og útlögn.* Vegagerðin, Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir og Ingvi Árnason 2012. *Sprengt berg í vegagerð* 2012. *Handbók fyrir vegagerðarmenn.* Vegagerðin, Reykjavík.

Efnisrannsóknir og efniskröfur-leiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd. Vegagerðin, Reykjavík.

Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason 2013. *Vinnsla steinefna til vegagerðar – tækjabúnaður, verktækni og framleiðslueftirlit.* Vegagerðin, Reykjavík

Hafdís Eygló Jónsdóttir og Gunnar Bjarnason 2018. *Handbók um vinnslu steinefna til vegagerðar.* Vegagerðin, Reykjavík.



Efnisgæðaritið – Viðauki 7: Orðalisti

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	68	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 7: Orðalisti			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Gunnar Bjarnason o.fl. Pétur Pétursson	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1 Formáli
Kafli 2 Inngangur
Kafli 3 Fylling
Kafli 4 Styrktarlag
Kafli 5 Burðarlag
Kafli 6 Slitlag
Kafli 7 Steinsteypa
Kafli 8 Sandur

Viðauki 1 Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2 Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3 Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4 Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5 Sýnataka
Viðauki 6 Vinnsluaðferðir
Viðauki 7 Orðalisti – skilgreiningar og skýringar (2023)
Viðauki 8 Ýtarefni um malbik
Viðauki 9 Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10 Berggreining og gæðaflokkun

ORÐALISTI, SKILGREININGAR OG SKÝRINGAR Á HUGTÖKUM

Orðalistinn er með samtals 960 völdum orðum og orðasamböndum úr Vegorðasafninu sem geta komið gagni við lestur Efnisgæðaritsins „Efnisrannsóknir og efniskröfur leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd“. Öll orðin varða efni ritsins en koma ekki öll fyrir í ritinu.

Orðalistinn er þannig gerður að á eftir uppflettiorði kemur í flestum tilfellum skilgreining á hugtakinu en nánari skýring kemur inndregin þar fyrir neðan. Í Vegorðasafninu eru ensk og norsk samheiti hugtaka en þeim er sleppt í þessum orðalista. Með breyttu letri (e. *Italic*) eru ýmis helstu hugtök, sem koma fyrir í texta skilgreininga eða skýringa, og eru einnig skilgreind sem sérstök uppflettiorð. Vegorðasafnið er opið almenningi á vefslóðinni: https://vegordasafn.vegagerdin.is/

aðskilnaður kornastærða
verður þegar mismunandi kornastærðir, í blöndu *steinefna* með mikilli breidd í kornastærðum, greinast hver frá annarri þannig að *sáldurferill* verður ólíkur á mismunandi stöðum t.d. í efnishaugum eða í lagi *veghlots*
Þetta getur m.a. gerst þegar *steinefni* hrynur niður halla í efnishaugum eða velkist til undir umferð í vegi.

aflræn *veðrun*
veðrun jarðefna, sem á sér stað án þess að efnasamsetning þeirra breytist
Sú *veðrun* verður t.d. vegna hitabrigða, frostsprengingar, sundrunar við myndun saltkristalla og áhrifa frá plöntum og dýrum.

aflrænt rof
rof, sem verður með þeim hætti, að bergmol og önnur laus *jarðefni* berast brott með vindi, vatni eða ísi
Sjá vindrof, árrof, sjávarrof og jökulrof.

afnám
laust *jarðefni* hreinsað ofan af klöpp eða öðru nýtanlegu *jarðefni*
Sjá *ofanafýting*.

afnámslag
laust *jarðefni* ofan á klöpp eða öðru nýtanlegu *jarðefni*
Einnig nefnd *ofanafýting* eða ónothæft *jarðefni*.

afrétting
jöfnun á yfirborði lags í *veghloti*
Oft gert með því að bæta fínna efni ofan á lagið.

afréttingarlag
þunnt lag, sem sett er ofan á annað lag úr grófara efni
Sjá afrétting.

aftekt
þau náttúruferli í heild, sem fela í sér, að *jarðvegur* og *berg* á yfirborði jarðar mást, sundrast og flytjast niður á við
Jarðefnaskrið telst þar með. Að því stefnir, að jarðaryfirborðið verði slétt og flatt.

afvötnun
framræsla vatns úr *veghloti* og vegstæði

almenn verklýsing
verklýsing sem gildir fyrir nýbyggingar og viðhald vega, með þeim viðbótum og breytingum, sem gerðar kunna að vera í *sérverklýsingu / útboðslýsingu*. Alverk, er almenn verklýsing.

andesít
ísúrt gosberg, dulkorna, mjög dökkt á lit

apalhraun
hraun, með úfnu og ósléttu yfirborði með hraukum af lausu gjallkenndu apalgrýti

aur
föst *árframburðarefni*, sem skiptast í *svifaur* og *skriðaur*

auravatn
straumvatn, venjulega *jökulá* hérlendis, sem rennur um aura í mörgum kvíslum
Kvíslarnar breyta ört farvegum sínum og tengingum hverjar við aðrar.

aurkeila
keilulaga dyngja af auri, sem sest fyrir úr *straumvatni*, einkum framan við gilkjaft, þar sem dregur úr straumhraða vatnsins
Grófari hluti framburðarefnisins situr þar eftir.

aurskriða
vatnsblönduð *skriða jarðefna*

aursvif
það, að *svifaur* berst fram í vatni

axlarbrún
ytri brún *vegaxlar* og vegar
Skurðlína á milli *vegaxlar* og *fyllingarfláa* eða skurðfláa.

ÁDU
skammstöfun fyrir ársdagsumferð, meðalumferð bíla á einum degi í tilteknu vegþversniði á ársgrundvelli

ÁDUᵀ
skammstöfun fyrir ársdagsumferð þungra bíla (>3,5 tonn að heildarþyngd), meðalumferð þungra bíla á einum degi í tilteknu vegþversniði á ársgrundvelli

áfok
1. það, að vindur ber setefni á land, einkum gróið land
2. fokset

álagsdreifistuðull
mælikvarði á hæfi efnis til að dreifa álagi
Venjulega er miðað við hæfi *mulinnar malar* til álagsdreifingar, sem þá fær álagsdreifistuðulinn 1.

ámoksturstæki
tæki á beltum eða hjólum, notað til að moka á flutningstæki

áreyri
1. hallalítil og tiltölulega slétt landræma úr árseti, sem *straumvatn* rennur eftir (í farvegi eða farvegum) og getur flætt yfir í vatnavöxtum
2. hallalítil og tiltölulega slétt landræma, sem er úr *árseti* og er með fram *straumvatni* eða úti í vatninu og stendur upp úr því hverju sinni

árfarvegur, farvegur
renna í landi, sem *straumvatn* rennur eftir, venjulega með *árseti* í botni

árframburðarefni
uppleyst og föst *jarðefni*, sem *straumvatn* ber fram

árframburðarruni
magn uppleystra og fastra *árframburðarefna*, sem berst á tímaeiningu gegnum *þversnið* í farvegi straumvatns

árframburður
það, að *straumvatn* flytur með sér uppleyst og föst *jarðefni*

árhjalli
hjalli, sem verður til við það, að á grefur sér farveg í seti, er hún hefur áður myndað með framburði sínum
Setið er að uppruna fornar *óseyrar* og einkum myndað, þegar sjávarstaða var hærri við ísaldarlok, eða í jökulstífluðu lóni

árrof
rof, sem *straumvatn* veldur með því að losa, mola og bera fram *jarðefni* í farvegi sínum

árset, straumvatnsset
set úr *bergmoli* (*aurí*), sem *straumvatn* hefur borið fram
Setið er oftast lagskipt.

árslétta
flatlent landsvæði, sem mikið *árset* hefur fyllt upp og jafnað

ásýnd steinefnis
heiti yfir *kornalögun*, *brothlutfall* og *yfirborðsáferð steinefnis*

athafnasvæði
hluti af námusvæði ætlaður fyrir vinnslutæki og vinnubúðir

bakgrafa (djúpgrafa)
grafa sérstaklega útbúin þannig að hún grefur að sér aðallega neðan við þann flöt, sem hún stendur á

basalt (basískt *berg*)
berg með hlutfallslega lítilli kísilsýru, minna en 52 % af SiO_2, miðað við þyngd

basaltgler
basískt gosefni, *glerkennt*, oftast svart á lit

basaltstuðull
stuðull úr basalti
Sjá stuðlun.

basískt berg
berg, sem í er minna af SiO, en 52% miðað við þyngd
Sjá *basalt*.

berg
1 klöpp, klettur
2 náttúrulegt *jarðefni*, kristallað eða glerkennt, fast eða laust í sér
Berg, t.d. *basalt*, *gabbró* og *setberg*, úr einni eða fleiri steindum.
Sjá *klöpp*.

bergbensli
stálþynna eða tvær samsíða lengjur af kambstáli, sem samtengja bergbolta og treysta mjög sprungið *berg*

bergboltaskífa
skífa undir ró, sem dreifir álagi á *berg* umhverfis ytri enda bergbolta

bergboltun
bergtreysting með boltum
Bergboltar festa ótraust *berg* við traustara *berg* sem liggur dýpra.

bergbrestur
bergsprunga er nefnd bergbrestur, ef engin eða óveruleg færsla hefur átt sér stað milli sprunguveggjanna

bergbrigði
afbrigði *bergtegundar* greint eftir eiginleikum til mannvirkjagerðar
Bergbrigði eru allmörg, en eru flokkuð í þrjá gæðaflokka eftir eiginleikum sem eru m.a. háðir ummyndunarstigi, þéttleika og öðrum einkennum.
Dæmi um bergbrigði; *basalt*, ummyndað, þétt.

bergfræði
grein af jarðfræði, sem fjallar um myndun og *ummyndun* bergs, *steindir* í *bergi* og greiningu þess í *bergtegundir*

berggangur
gangur, sem hefur myndast í sprungu í jarðskorpunni
Berggangar eru oft þunn berglög og standa venjulega hornrétt við lög grannbergsins.

berggerð
Sjá *bergtegund*.

berggreining
ákvörðun á *berggerð* og *bergbrigðum steinefnis*
Greiningin er gerð til að leggja mat á gæði *bergs* til mannvirkjagerðar. Hún lýsir m.a. *bergbrigðum* þ.e. þéttleika og ummyndunarstigi efnis.

berggrunnur
fast *berg* jarðskorpunnar
Á Íslandi *gosberg* og *setberg* sem er undir jarðvegi og setlögum. Sýndur á berggrunnskortum.

berggæði
heiti yfir *styrk*, *veðrunarþol* og *slitþol steinefna*

berghlaup
skriðuhlaup, þegar stór bergfylla í fjallshlíð eða hamravegg hrynur og hleypur fram

bergkvika
hálfbráðin eða albráðin blanda *jarðefna* í jörðu niðri
Ef bergkvika storknar, myndar hún *storkuberg*.

bergmol
samheiti við *set* en hér er *gjóska* ekki meðtalin
Sundurlaust *jarðefni*, sem myndast, þegar *berg* molnar við *veðrun* og svörfun, t.d. *grjót, möl, sandur, sylti og leir.*

bergmolshrun
það, að bergmol, sem losnar vegna *veðrunar* kletta, hrynur smám saman niður

bergnáma
efnistökustaður þar sem fast *berg* er numið
Það er rifið upp með stórvirkum vinnuvélum eða losað með sprengiefni, t.d. til notkunar í mannvirkjagerð.
Sjá *klapparnáma*.
Er einnig notað um frágengna *námu*, sem er ekki í notkun.

bergsaflfræði
fjallar um eiginleika *bergs*, einkum að því er varðar krafta, hreyfingar, *burðarþol*, *stöðugleika* og *lekt*
Undirstöðugrein í jarðtækni.

bergskriða
skriða eftir *berghlaup* með haugum af brotnu og muldu *bergi* og öðru *bergmoli*

bergskæring
brottnám *bergs* úr vegsvæði
Gert í því skyni að bæta legu og umhverfi vegarins.

bergspenna
innri spenna í *bergi*

bergsprunga (**sprunga**)
brot í *berg,* hvort sem berghlutarnir hafa færst til eða ekki

bergstyrking
aðgerð, sem styrkir *berg*
Sjá bergtreysting. T.d. *grautun*.

bergtegund
gerð *bergs* eftir uppruna
Greind í flokka, *storkuberg*, setberg og myndbreytt *berg* og í tegundir eftir steindum og efnasamsetningu, svo sem eftir því, hve mikið er af kísilsýru (SiO2) í berginu

bergtreysting
aðgerð til að treysta *berg*
T.d. með boltum og benslum gegn hruni. Sjá *bergstyrking*.

bergvatnsá
straumvatn, sem ekkert jökulvatn er í
Bergvatn er oftast tært. Eftir uppruna og eigindum má skipta sumum bergvatnsám annaðhvort í *lindár* eða *dragár*, en aðrar eru sambland af hvoru tveggja.

bergæð
þunnt innskotslag, sem kvíslast óreglulega um *grannbergið* og liggur venjulega út frá stærra *innskoti*

bik
órokgjarnt, límkennt og vatnsfælið efni, unnið úr *jarðolíu* en finnst einnig í *jarðbiki*
Bik er alveg eða nánast alveg leysanlegt í tólúen. Það er mjög seigfljótandi, næstum fast efni, við stofuhita.
Til hægðarauka er biki til nota í vegagerð í daglegu tali skipt í hart bik (*stungudýpt* < 250) og mjúkt bik (*stungudýpt* > 250).

bikað *púkk*
burðarlagsmalbik, blanda af *púkki* og *stífbiki*
Blandað í malbikunarstöð. Notað sem drenandi (gegndræpt) *burðarlag* og til styrkingar á *yfirbyggingu*.

bikbindiefni
límkennt efni sem er að mestu *bik*.
Mjög fjölbreyttur flokkur *bindiefna* sem ýmist eru unnin úr *jarðolíu* eða eru leifar af jarðolíu sem hefur eimast af náttúrulegum orsökum. Undirflokkar bikbindiefna sem eru notuð í vegagerð (þ.e. *klæðingar* og *malbik*) eru m.a.; óbreytt bindiefni og *breytt bindiefni*. Breytt bindiefni eru blönduð *íaukum* og *íblendum*.

bikbundið burðarlag
safnheiti yfir *burðarlag*, samsett úr *biki* og *steinefni*
Bikbundið burðarlag er ýmist blandað í stöð eða blandað á staðnum, t.d. *burðarlagsmalbik* og *bikfest burðarlag*.

bikbundið efni
steinefni bundið með bikbindiefni
Bikbundið *slit-* eða *burðarlag*, ýmist blandað í stöð eða á staðnum.

bikbundið *steinefni*
bikbundið *steinefni* getur verið kald- eða heitblönduð og eru ýmist forblönduð (í malbiksstöð) eða staðblönduð (jafnhliða útlögn).
Hér kemur til greina að nota „bikið *steinefni*“ í staðinn fyrir „bikbundið *steinefni*“.
Dæmi: *Malbik*, *klæðing* og *bikbundin burðarlög*.

bikdreifari
búnaður til að dreifa bikbindiefni í fremur þunnu en jöfnu lagi á vegyfirborð

bikfest burðarlag

burðarlag úr *steinefni* sem blandað er með biki og framleitt á verkstað

Venjulega annað eða þriðja lag talið ofan frá í veghloti, 50-200 mm þykkt.
Bikfest burðarlag getur verið af ýmsu tagi, m.a. bikfyllt *púkk* (biksmygið *púkk*), froðubiksstyrking og malbikskurl.

bikinn

með ívafi af biki að meira eða minna leyti

Lýsingarorð sem vísar til bindiefnis, blöndu af bindiefni og *steinefni*, og í víðari skilningi til hverskonar efnis sem inniheldur bik.

bikleif

sá hluti bikþeytu, sem eftir verður þegar vatnið hefur skilist frá

Áður nefnt restbik.

biksmitun

þegar bindiefni vætlar upp úr bikbundnu slitlagi

Biksmitun (blæðing) er algengust í sólskini og hlýindum. Getur líka komið fram þegar rignir í nýlagða klæðingu í þungri umferð.

biksmygið *púkk*

einskorna púkklag, bundið með biki sem er dreift á yfirborðið, látið seytla um púkklagið og yfirborðið síðan kílt með smærra efni

Notað sem burðarlag. Bindiefnið getur verið
stífbik, *þunnbik* eða *þjálbik*. Efni til kílingar getur verið bikblandað *steinefni* eða malbikskurl.

bikþeyta

örblanda af biki og vatni ásamt ýruefnum

Samheiti á bikfleyti.
Bikið getur verið stífbik eða *þjálbik*. Í bikþeytu er dreifðarþátturinn oftast nær bikið en burðarþátturinn vatn. Undir vissum kringumstæðum geta orðið hlutverkaskipti þannig að bikið verður burðarþáttur en vatnið dreifðarþáttur. Þá er bikþeytan sögð úthverf.
Bikþeyta er einkum notuð til límingar (milli malbikslaga) til festunar og í klæðingar. Bikþeytur eru mjög fjölbreyttar og er skipt í fjölmarga flokka eftir eiginleikum þeirra.

bikþeytupúkk

kaldblönduð hræra af bikþeytu og púkki sem er blandað allt að þriðjungi af smærra *steinefni*

Notað sem *lekt* burðarlag fyrir umferð allt að 15.000 ÁDU.

bindiefni

samheiti yfir efni sem loða við *steinefni* og tryggja samloðun efniskornanna

Meginflokkar bindiefna sem eru notuð í vegagerð eru sement, kalk, bik og áður fyrr tjara.
Dæmi um bindiefni eru bikbindiefni, tjörubindiefni og vatnshverf bindiefni.

Bindiefnisdreifari

vélbúnaður til að dreifa bikbindiefni eða sementi

Notaður til að dreifa bindiefni við útlögn klæðingar eða við festun burðarlags.

bjarg

1 grjót á stærðarbilinu 2-4 m

2 klettur eða standberg

blaðra í bergi

ávalt holrúm í storkubergi

Verður til, þegar þrýstingur minnkar í bergkviku, en við það losna gös úr henni og mynda gasbólu í kvikunni. Kólni kvikan hratt, storknar hún utan um gasbóluna, áður en bólan nær að losna úr kvikunni, og í storkunni verður blaðra.

blágrýti

basískt gosberg, dökkt eða jafnvel svart á lit

Blágrýtismyndunin er elsta jarðmyndun landsins, en hún varð til á míósen og plíósen og er því eldri en u.þ.b. 3 milljón ára.

blöðrótt berg
storkuberg með blöðrum á víð og dreif

blöndunarstöð
vélasamstæða ásamt tilheyrandi búnaði, sem gerir einsleita blöndu úr tilteknum efnum í fyrirfram ákveðnum hlutföllum
Dæmi um blöndunarstöðvar eru malbiksstöðvar, fastar eða færanlegar, og steypustöðvar. Malbiksstöðvar blanda ýmist í skömmtum eða í samfellu.

borgengni
mælikvarði á, hversu hratt bor gengur inn í *berg* og hve mikið slit verður á borkrónu við borun í bergið

borkjarni
sívalningur, tekinn með kjarnabor úr klöpp, steypu eða malbiki í rannsóknaskyni

bormynstur
fyrirkomulag borhola og bil milli þeirra í pall-sprengingu
Markað er fyrir borholum eftir ákveðnu mynstri. Bil milli borhola samsíða stálvegg nefnist raðabil en bil milli borhola þvert á stálvegg nefnist holubil (forsetning).
Val á bormynstri er háð nokkrum þáttum s.s. gerð *bergsins*, hvaða grjótstærð er sóst eftir, pallhæð og þvermáli holu.

bortygi
borvagn ásamt borvélum og öðrum nauðsynlegum búnaði til borunar

botn
botn í jarðgöngum eða bergskæringu

botnhleðsla
sprengihleðsla innst í borholu
Botnhleðsla er venjulega öflugri en hleðsla utar í borholunni.

botnskrið
það, að skriðaur berst fram með straumvatni

botnurð
jökulurð, sem sest að undir skriðjökli
Hún liggur eftir á yfirborði lands, ef jökullinn hopar eða hverfur.

bólstraberg
gosberg, sem oft myndast, ef hraunkvika rennur í vatni og storknar snögglega
Verður þá til safn af bólstrum, sem minna á troðfulla poka. Hver bólstur er stuðlaður, og stefna stuðlarnir sem geislar í allar áttir út frá miðju hans. Ytra borð bólsturs er glerkennt. Basaltbólstrar eru algengir, en líparítbólstrar sjaldgæfir

brattlendi í vegstæði
land í og við vegstæði þar sem halli er meiri en 1:3

breytt bindiefni
bikbindiefni, hvers seigjueiginleikum hefur verið breytt með íblendum sem ganga í efnasamband við bindiefnið
Með íblendum er í þessu tilfelli átt við náttúrlegt gúmmí (natural rubber, latex), gervifjölliður (synthetic polymers).

brimbelti
svæði undan strönd, þar sem stórar öldur brotna þegar þær berast að landi

brimbeltisrif
sandrif í brimbelti, samsíða strönd, myndað af völdum brimöldunnar
Oft liggja fleiri brimbeltisrif en eitt samsíða ströndinni; hið ysta þeirra nálægt ytri mörkum brimbeltisins. Þau koma ekki upp úr sjó.

brimklif
brött eða þverhnípt sjávarströnd, sorfin af brimi

brimþrep
stallur neðan við brimklif
Hann teygist með vægum halla frá rótum klifsins út í sjóinn og er venjulega á þurru um stórstraumsfjöru.

brimvarnargarður
steyptur eða hlaðinn garður, gerður til að sporna við sjógangi
Venjulega gerður úr jarðvegsfyllingu með síulagi og grjótlagi til varnar gegn brimi.

brimvarnargrjót
Brimvarnargrjót er að jafnaði stærstu flokkar rofvarnargrjóts. Sjá rofvarnargrjót.

brimvörn
Brimvörn ver land og mannvirki gegn rofi og flóðum. Sjá *rofvörn*, *grjótvörn* og *ölduvörn*.

brjótur
vélbúnaður af ýmsum stærðum og gerðum til að mylja sprengt *berg* eða laus *set*
Dæmi: Kjálkabrjótur, kónbrjótur og kastbrjótur.

brot
ósamfella í efni, sem rýrir (mjög) burðargetu og notagildi þess

brotflötur í sprungu, sprunguflötur
flötur, þar sem *berg* hefur brotnað
Berg við brotflötinn nefnist sprunguveggur. Sjá gjáveggur, misgengisveggur. Sprunguflötur og sprunguveggur hafa strikstefnu og halla með sama hætti og *jarðlag*. Hallinn nefnist sprunguhalli. Sjá jarðlagahalli.

brothlutfall
hlutfall brotinna og óbrotinna korna í *sýni* og segir til um hversu stór hluti einstakra korna er alveg brotinn, og hversu hátt hlutfall korna er alveg núið (óbrotið)
Steinn telst alveg brotinn ef brotflöturinn er meira en helmingur af yfirborði hans. Brothlutfallið 50/30 þýðir að >50% steina eru alveg brotnir og <30% alveg núnir.

brotstig
gefur til kynna fjölda *brjóta* í mulningssamstæðu, sem *steinefni* hefur farið í gegnum
Mölun í þremur brjótum nefnist þriggja brotstiga *mölun*.

brotstærð
mælikvarði á grjótstærð í sprengdu grjóti

bugðuá
bugðótt straumvatn, er rennur um slétt og hallalítið land, sem venjulega liggur ekki nema lítið eitt yfir rofmörkum
Bugðurnar eru samfelldar og myndaðar við hliðarrof. Vegna straumkasts við ytri hlið hverrar bugðu verður rofið misjafnt í farveginum, og því færast bugðurnar smám saman úr stað.

bundið *slitlag*
safnheiti fyrir slitlög úr steinsteypu, slitlög með bik sem bindiefni eða steinlögð slitlög

burðargildi
reiknað *burðarþol* vegar

burðargildisaðferð
norsk aðferð til að reikna burðargetu vegar
Með því að margfalda saman þykkt tiltekins lags í yfirbyggingu vegar og burðarvísi (álagsdreifistuðul) þess fæst burðargildi lagsins. Samanlagt burðargildi allra laga í yfirbyggingu vegarins er *burðarþol* hans.
Sjá lýsingu á indeksmetode í Haandbok 018

burðarlag
lag í yfirbyggingu veghlots milli styrktarlags og slitlags eða styrktarlags og *burðarlagsmalbiks*
Burðarlagi er stundum skipt í tvennt, efri og neðri hluta burðarlags. Það er ýmist óbundið eða bundið og þá yfirleitt með biki eða sementi.

burðarlagsefni
steinefni í burðarlag vegar sem fullnægir ákveðnum kröfum um efniseiginleika

burðarlagsmalbik
malbik undir slitlagi
Blandað í stöð úr fremur grófu *steinefni* og stífbiki. Bindiefnisinnihaldið er gjarnan haft lægra en í slitlagsmalbiki til að draga úr líkum á skriði.

burðarþol
1 ending og hæfi vegar til þess að bera ökutæki, sem eftir honum fara, án þess að aflagast
Við mat á burðarþoli vegar er jafnan miðað við álag einstakra öxla og heildarþunga farartækis.
2 niðurstaða í mælingu t.d. með falllóði eða *plötuprófi*.

CBR-*próf*
rannsóknaraðferð til að meta burðareiginleika *steinefnis* til vegagerðar, meðal annars áhrif vatns á þann eiginleika

dagskýrsla
skrifleg greinargerð um daglega framvindu verks
Yfirleitt er um að ræða útfyllt eyðublöð.

díabas
basískt gangberg, fínkorna, venjulega dökkt eða gráleitt

díll
allstór kristall í glerkenndu, dulkorna eða fínkorna storkubergi - myndast í bergkviku, áður en hún kemur upp úr iðrum jarðar.

dílótt berg
storkuberg, sem í eru dílar á víð og dreif

díórít
ísúrt djúpberg, smákorna, mjög dökkt á lit

djúpberg
storkuberg, sem myndast við hæga storknun bergkviku djúpt í jarðskorpunni

djúprof
árrof, sem verður á botni farvegar

dragá
bergvatnsá, sem á sér ekki glögg upptök, en verður til úr mörgum sytrum í lækjardrögum, þar sem berggrunnur er fremur þéttur
Vatnið er yfirleitt tært, en verður gruggugt í hláku eða miklum rigningum. Þá vaxa dragár mjög. Hiti vatnsins breytist eftir lofthita.

drymilurð
ávalur hæðarhryggur, er verður til sem botnurð undir skriðjökli og er að jafnaði úr jökulruðningi
Langás hryggjarins hefur sömu stefnu og jökulskriðið. Drymill er dregið af írsk-gelíska orðinu druim með líkum hætti og drumlin á ensku. Druim er hæðarhryggur. Drymilurð er hæðarhryggur, orðinn til sem jökulurð.

dulkorna berg
kristallað *berg*, þó með svo smáum kristöllum, að þeir sjást alls ekki berum augum, minni en 0,02 mm

dúklögn
það að koma þunnum dúk, ofnum úr gerfiefni, fyrir í mannvirki
Dúkurinn kemur í stað síulags í veghloti eða stíflugarði, en má líka nota til styrkingar.

eðjuhlaup
skriðuhlaup, þegar eðja hleypur fram
Með eðju er þá átt við mjög blautan og tiltölulega fínkorna jarðveg, er rennur sem vökvi, ef hann hreyfist niður brekku. Eðjuhlaup er millistig milli jarðvegshlaups og straumvatns með miklum aurburði. Slík hlaup bera með sér grjót og leita oft í farvegi, sem þegar eru til í brekkunni.

eðjuskriða
skriða eftir eðjuhlaup
Hún er venjulega grynnri og sléttari en jarðvegs- skriða og breiðist yfir víðara svæði, ef hlaupið stöðvast á jafnsléttu. Með fram farvegi hlaupsins liggja tíðum hrannir úr grófasta efni þess.

efja
styrktarblanda, sem þrýst er inn í sprungur í bergi, til þess að auka þéttleika og styrk þess (so) það að þrýsta eða dæla styrktarblöndu (efju) inn í sprungur í bergi, til þess að auka þéttleika og styrk þess
Sjá *grautun* og grauta.

efjun
athöfnin að þrýsta styrktarblöndu (efju) inn í sprungur í bergi, til þess að auka þéttleika og styrk þess

efnahvarfarof
rof, sem verður með þeim hætti, að efni, sem losna úr jarðefnum við efnahvarfaveðrun, skolast brott uppleyst í yfirborðsvatni og jarðvatni

efnahvarfaset
flokkur settegunda, sem verða til við efnahvörf eða þegar steindir myndast við útfellingu úr efnaupplausnum
Dæmi: kalklög, saltlög.

efnahvarfaveðrun
það, að *jarðefni* veðrast við efnahvörf, þegar þau komast í snertingu við vatn eða önnur efni, sem tíðast eru uppleyst í vatni

efniseftirlit
mat á eiginleikum efnis til mannvirkjagerðar og samanburður við kröfur sem til þess eru gerðar
Dæmi: Mæling á *steinefni* og samanburður við tilsvarandi kröfur. Vottorð framleiðanda gegnir sama hlutverki.

efnisgerð
tegund *steinefnis*, sem notað er við vegagerð
Eigindir steinefnis eru mismunandi og er efninu skipt í þrjá meginflokka:
1. *set* (efni úr setmyndunum),
2. *storkuberg* (efni úr storkubergi),
3. endurnýtt efni (endurunnin efni).
Efnisgerðirnar eru flokkaðar í undirflokka eftir vinnslu efnisins. Ástæðan fyrir flokkun efna í efnisgerðir er að eiginleikar þeirra eru misjafnir og því eru oft gerðar mismunandi kröfur til efnis eftir því hver efnisgerðin er og hvernig vinnslu hefur verið háttað.

efnisgæði
eiginleikar *steinefnis* sem lýsa því hvort eða að hve miklu leyti steinefnið uppfyllir tilteknar kröfur
Sjá efniskrafa.

efnishaugur
birgðir af *steinefni* (unnu eða óunnu) sem hefur verið *haugsett* til geymslu um lengri eða skemmri tíma

efniskrafa
krafa um lágmarksgæði *steinefnis*, til að efnið teljist hæft til fyrirhugaðrar notkunar
Dæmi um efniseiginleika, sem gerðar eru kröfur til, eru *styrkur*, *veðrunarþol* og *slitþol.*

efnislýsing
lýsing á eiginleikum efna í vegstæði og námum

efnisrannsókn
prófun á efnum samkvæmt viðurkenndum forskriftum, prófunarstöðlum, til að skera úr um efniseiginleika, svo sem styrk, *veðrunarþol*, *kornalögun* og *áldurferil*.

efnistaka
brottnám *steinefna*, *bergs* eða lausra *setlaga*, til notkunar við mannvirkjagerð

efnistökusvæði
afmarkaður hluti námusvæðis eða skæringar, þar sem verið er að taka *steinefni* hverju sinni

efnisvinnsla
framleiðsla steinefna sem hæfir fyrirhugaðri notkun
Vinnslan tekur meðal annars til flokkunar, þvottar, mölunar og sigtunar steinefna.

efnisvottorð
skrifleg staðfesting á eiginleikum efnis til mannvirkjagerðar

efnisvottun
staðfesting á eiginleikum efnis til mannvirkjagerðar

efri flokkunarstærð
möskvastærð (táknuð með D) í sigti sem viss hluti *steinefnis* smýgur, oft 80-90 %
Þetta hugtak er, ásamt *neðri flokkunarstærð*, notað til að skilgreina stærðabil sem megnið af *steinefni* fellur í með hæfilega ákvörðuðum frávikum. Sjá staðal ÍST EN 13242.

efri stærðarmörk
möskvastærð í sigti sem 98 þungaprósent af efninu smjúga
Sjá *stærstu steinar*. Táknuð með D’98.

eftirlit
felst í samanburði á kröfum til verklags, eiginleika viðfangs og upplýsingum, sem fengar eru með mælingum, skoðunum eða prófunum
Dæmi: Samanburður á áldurferli sýnis af burðarlagi og kröfum í verklýsingu.
Samanburður á kostnaðaráætlun og raunkostnaði. Samanburður á niðurlögn ræsa og fyrirmælum í verklýsingu.
Oft notað um þá sem sinna eftirliti.

eftirlitsaðferð
aðferð sem notuð er við *eftirlit* á tilteknum þætti í mannvirkjagerð
Dæmi: Talning á yfirferðum valta.
Þrír meginflokkar eftirlitsaðferða eru, eiginleikaprófun á rannsóknastofu og á verkstað (analyse- og mæliteknisk kontroll), *sjónmat* (visuell kontroll) og *eftirlit* með nákvæmni í legu (*rúmeftirlit*) (geometrisk kontroll)

eftirlitsáætlun
áætlun um hvernig *eftirlit* verkkaupa verður framkvæmt í viðkomandi verki
Verkkaupi gerir eftirlitsáætlun. Þar kemur fram hvernig fylgst verður með að gæðakröfur verkkaupa séu uppfylltar.

eftirlitsmaður
sá sem athugar hvort tiltekin ákvæði í verklýsingum, lögum og reglugerðum séu uppfyllt
Safnar niðurstöðum saman, vinnur úr þeim og birtir.

eftirlitsmæling
mæling til staðfestingar á tilteknum eiginleika eða legu mannvirkis
Dæmi: Burðarþolsmæling, hæðarmæling.

eftirlitsniðurstöður
greinargerð um niðurstöður prófana og annars eftirlits ásamt ákvörðunum í kjölfarið

eftirlitspróf
próf eða rannsóknir sem gerðar eru til að meta verk- og *efnisgæði*
Prófin geta verið *sjónmat* en einnig flóknari efnispróf eða rannsóknir gerðar á rannsóknarstofum.

eftirlitsskjal
skjal sem verkkaupi leggur fram í byrjun verks
Í skjalinu felst eftirlitsáætlun, dagbók ásamt eyðublöðum til úttekta á til dæmis klæðingum, sementsfestun og malbiki.

eftirlitsskráning
kerfisbundin skráning og vistun upplýsinga sem verða til við *eftirlit*

eftirlitsviðfang
atriði sem *eftirlit* beinist að
Viðföngum er oft skipt í flokka til hægðarauka á þann veg að eftirlitið verður einsleitara innan hvers flokks en ella. Slík flokkun getur verið staðsetningar-, steypu-, lagna-, slitlags-, jarðtækni-, þjöppunareftirlit o.s.frv.

eftirþjöppun
rúmmálsminnkun (samþjöppun) í vegagerðarefni fyrir áhrif umferðar eða undan eigin þunga eftir að gengið hefur verið frá því endanlega í veginum

eiði
rif eða landræma, sem tengir eyju við land eða tvær eyjar saman og er venjulega úr sandi og *möl*, myndað við strandburð
Grandi hefur svipaða merkingu og eiði.

eiginleikar fínefna
efniseiginleikar sem lýsa þeim hluta *steinefnis* sem er með smærri korn en 0,063 mm
Dæmi um eiginleika; *þjálni*, magn *myldis* og holrýmd í mélu.

eiginleiki
einkennandi sérkenni

einskorna
þegar kornastærðir (*steinefna*) liggja að mestu á þröngu bili
Aths. 1: Eiginleiki getur verið eðlislægur eða eignaður.
Aths. 2: Eiginleiki getur verið eigindlegur eða megindlegur.
Aths. 3: Til eru nokkrir flokkar eiginleika (efnislegir, skynræmir, tímatengdir, tengdir notagildi).
Sjá ÍST EN ISO 9000.

eldborg
hringlaga klepragígur, brattur að utan og innan, með mjóum gígrima

eldfjall
fjall, sem hlaðist hefur upp úr gosefnum, er komið hafa úr gosopi í fjallinu sjálfu
Í daglegu tali er fjall ekki nefnt eldfjall, nema augljós merki séu þar um gos, t.a.m. eldgígur eða *hraun*.

eldgígur, gígur
skálarlaga lægð með gosopi eða með ummerkjum eftir gosop í botni

eldgos
sá viðburður, að bergkvika og önnur gosefni koma upp á yfirborð Jarðar
Sjá eldvirkni, bergkvika, gosefni.

eldhryggur
ílangt, hrygglaga eldfjall með gossprungum eftir fjallshryggnum endilöngum
Fjallið hefur hlaðist upp úr hraunum og gjósku á víxl í mörgum eldgosum.

eldkeila
uppmjótt eldfjall, sem hlaðist hefur upp úr hraunum og gjósku á víxl í mörgum eldgosum

eldsprunga, gossprunga
sprunga, sem eldgos hefur komið upp úr

eldstöð
staður, þar sem eldgos er eða hefur orðið

eldvarp
hóll eða hæð, sem orpist hefur upp við gosop
Eldvarp verður venjulega til í einu eldgosi.

eldvirkni
þau náttúruferli í heild, sem eiga sér stað, þegar bergkvika og önnur gosefni koma upp á yfirborð jarðar eða nálægt því

endurnýtt *malbik*
malbik sem er notað á nýjan leik, oftast sem burðarlagsefni eða sem hráefnishluti í nýtt *malbik*
Endurnýtt malbik fellur til við losun og uppmokstur á malbiki eða fræsingu á slitlögum. Notkunarmöguleikar þess eru fjölbreyttir. Það er m.a. notað í burðarlag, stundum styrktarlag, og er þá kurlað. Því er líka blandað saman við nýtt malbik í blöndunarstöð en yfirleitt í takmörkuðu hlutfalli. Það má líka blanda með viðbótarbindiefni á staðnum og nota sem slit- eða burðarlag. Blöndunarferlið getur ýmist verið heitt eða kalt.
Endurnýtt *malbik* gengur einnig undir nafninu endurunnið *malbik*.
Sjá ÍST EN 13108-8.

Evrópustaðlar
safn staðla sem þjóðir Evrópu hafa samþykkt að taka í notkun
Þessu samþykki fylgir jafnframt kvöð um að fella um leið úr gildi eigin staðla um sama efni. Hérlendis hafa Evrópustaðlar forskeytið ÍST EN.

eyri
lítið og lágt nes, sem gengur út í sjó eða stöðuvatn
Það er venjulega myndað úr *möl* og sandi við strandburð. Önnur heiti eru oddi og tangi.

farg
tímabundið viðbótarálag (á veg) til að flýta sigi
Gjarnan úr *steinefni* sem stenst kröfur til styrktarlags.

ferskt berg
berg með *steindum* sem hafa ekki náð að ummyndast yfir í aðrar steindir svo sem leirsteindir
Sjá *ummyndun*.

festun
styrking jarðefna með íblöndun bindiefna á verkstað
Tilgangurinn er m.a. að auka burðargetu jarðefnis. Bindiefninu er blandað í jarðefnið sem síðan er jafnað út og valtað. Algeng íblöndunarefni eru sement og bik.

festun undirstöðu
samheiti aðgerða, sem auka burðargetu vegbotns

fiskiolía
olía unnin úr fiskifitu
Dæmi: Lýsi.

fínefnahlutfall
þyngdarhlutfall efnis með smærri korn en 0,063 mm í *sýni* af *steinefni*
Hlutfallið er ýmist miðað við allt sýnið eða þann hluta sem smýgur tiltekið sigti, t.d. 22 eða 63 mm.

fínefni
smágert *steinefni* í *leir* og syltarstærðum, úr smærri kornum en 0,063 mm

fínhrýfi (microtexture)
lítt sýnilegar ójöfnur í yfirborði *slitlags* með bylgjulengdir allt að 0,5 mm og dæmigerða sveifluvídd á bilinu 0,001-0,5 mm
Fínhrýfi ræðst einkum af yfirborðsáferð steina í yfirborði slitlags. Það hefur, ásamt *grófhrýfi*, afgerandi áhrif á hemlunarviðnám slitlagsins en hefur ekki áhrif á akstursþægindi.

fínkorna berg
berg með fíngerðum kristöllum, sem sjást yfirleitt berum augum, innan við 1 mm að stærð

fínmölun
mölun á *steinefni* í smáar stærðir [í vegagerð]
Gjarnan minna en 22 mm flokkunarstærð.

fínpúkk
steinefni, úr sprengdu eða rippuðu *bergi*, innan stærðabilsins 4-80 mm
Sjá *púkk* og *grófpúkk*.

fjaður
sú eigind ýmissa efna, að verði breyting á formi þeirra af völdum krafts, fá þau sjálfkrafa fyrra form sitt, ef krafturinn hættir að verka
Þá fjaðrar efnið.

fjaðurefni
efni, sem getur fjaðrað

fjaðurkraftur
innrænn kraftur, sem verður til í fjaðurefni, þegar kraftur verkar á efnið og veldur formbreytingu á því
Fjaðurkrafturinn verkar gegn formbreytingunni.

fjaðurorka
orka, sem efni geymir, ef í því verkar fjaðurkraftur
Fjaðurorka er ein tegund mættisorku.

fjara
landræma á strönd stöðuvatns eða sjávar, sem er mótuð af hreyfingum vatnsins og venjulega þakin seti úr sandi, *möl* og grjóti
Sjávarfjara telst að jafnaði það svæði, sem við stórstreymi er undir vatni á flóði og á þurru, þegar lágsjávað er.

fjöðrun
formbreyting fjaðrandi efnis

fjöldi yfirferða með valta
tilgreinir hversu oft *valti* hefur farið yfir hvern einstakan blett í lagi (t.d. burðarlagi) vegar
Notað sem mælikvarði á völtun. Hægt að telja með GPS-staðsetningarbúnaði.

fjölliða
stór sameind úr einni eða fleiri tegundum einliða
Ýmis konar fjölliður eru notaðar sem íblendi í bikbindiefni, einkum til að breyta hitaháðri hegðun þess, þanþoli eða viðloðun. Algengar fjölliður til þessara nota eru styren-butadien-styren (SBS), styren-butadien-rubber (SBR) og etylene vinyl acetat (EVA). Bindiefni blandað fjölliðum kallast breytt bik. Dæmi: prótín, fjölsykrur, náttúrugúmmí og gervigúmmí.

fjölliðubik
bik, breytt með lífrænum fjölliðum, einni eða fleiri

fjölliðubikþeyta
bikþeyta með dreifðarþátt úr fjölliðubiki
Bikþeytan getur verið breytt með fjölliðum eða mjólkursafa úr plöntum.

fjörukambur
lágur hryggur úr sandi, *möl* og stundum grjóti, sem brim hefur hrúgað upp ofan við efri fjörumörk

fjöruset
set í fjöru og fjörukambi

fláafleygur
fleygur í *veghloti*, utan við berandi hluta vegar
Gerður til að draga úr bratta vegfláa í öryggisskyni.

fláafrágangur
mótun, sáning, græðsla eða önnur vörn á veg- og skæringarfláa, til að draga úr rofi

fleygað *púkk*
steinefni í burðarlagi, fleygað með *fínpúkki* til þess að auka *stæðni* lagsins
Einnig gert til að þétta og slétta yfirborðið. Sjá *púkk*.

fleygskæra
innskæring í *berg*, með samleitnum borholum

fleygur
lag sem þynnist til endanna [í vegagerð]

flikruberg
gosberg, sem verður til við það, að glóðheit gjóska berst í eldskýi úr gosstöð og er enn svo heit, þegar hún sest að á jörð, að hún rennur saman og myndar fast *berg*
Í því má oft sjá ílanga bletti, flikrur, öðruvísi á lit en aðalefni bergsins.

flokkað efni
steinefni, flokkað með þeim hætti að það spanni tiltekið bil kornastærða
Dæmi 8⁄16 mm.

flokkun
sundurgreining *steinefnis* eftir kornastærðum
Gert með minnst tveim sigtum, með eða án undanfarandi *mölunar*.

flokkunarstærð
möskvastærð sem afmarkar meginhluta *sáldur-ferils steinefnis*
Stærðarflokki steinefnis er lýst með tveim flokkunarstærðum, efri (D) og neðri (d). Sjá *efri flokkunarstærð* og *neðri flokkunarstærð*.

flutningslengd (flutningsvegalengd)
vegalengd sem efni er flutt
Um margs konar efni getur verið að ræða, svo sem malarefni, byggingarefni, snjó o.fl.

flutningstönn
íbjúg ýtutönn
Notuð til að flytja efni langa leið með jarðýtu. Stundum nefnd grjóttönn eða U-tönn.

flæðimark
hæsta rakagildi sem efni getur haft án þess að missa *þjálni* sína og flæða
Rakastig fínefnaríks steinefnis, leirs eða syltis, þegar efnið missir samloðunareiginleika sína.

fok
það, að vindur feykir til jarðefnum

foksandur
1. *sandur* ásamt fíngerðara efni, sem er að fjúka

2. fokset, sem er að mestu úr sandi með hlutfallslega jafnri *kornastærð*
Fokset myndar oft sandhóla.

fokset
bergmolsset, sem hefur myndast við *veðrun* og svörfun og borist með vindi, þangað sem það hefur sest að
Setið er oftast lagskipt.

forbrjótur
fyrsti *brjótur* í *mölunarsamstæðu*, yfirleitt kjaftbrjótur (kjálkabrjótur)

forbrotið efni
steinefni sem hefur farið í gegnum *forbrjót* en enga frekari vinnslu
Dæmi um stærðarflokka: 0/90 og 0/125.

formsprenging
aðferð til að ná fram ákveðinni áferð eða lögun á sprengdum fleti
Ein gerð formsprengingar er "presplitting"

forskrift
skjal þar sem sett eru fram fyrirmæli
Forskrift getur tengst starfsemi (t.d. verklagsregluskjal, forskrift fyrir ferli og forskrift fyrir prófanir), eða vörum (t.d. vörulýsing, frammistöðuforskrift og teikning). Oft sett fram í verklýsingu. Sjá ÍST EN ISO 9000.

framburðarefni
uppleyst og föst *jarðefni*, sem vatn eða jökull ber með sér

framburðarruni
magn af framburðarefni, sem berst á tímaeiningu gegnum þversnið í farvegi
Magnið er mælt eftir þyngd eða rúmmáli.

framburðarruni uppleystra efna
magn uppleystra árfrarnburðarefna, sem berst á tímaeiningu gegnum þversnið í farvegi straumvatns

framburður
það, að vatn eða jökull flytur með sér framburðarefni

framburður uppleystra efna
það, að uppleyst efni berast fram í straumvatni

framgangur
framvinda verks borin saman við verkáætlun

framkvæmdaraðili
við námuvinnslu: sá sem ætlar að nýta og hefur rétt á að nýta efni á efnistökusvæði. Framkvæmdaraðili þarf að hafa umboð frá námurétthafa til að geta numið efni.

framkvæmdareftirlit
kerfisbundnar athuganir, m.a. á vinnubrögðum, efnisgæðum og auðlindanotkun meðan á framkvæmdum stendur

framkvæmdarleyfi
leyfi til framkvæmda í samræmi við skipulag sem ekki eru háðar ákvæðum laga um mannvirki.
Allar framkvæmdir sem teljast meiriháttar, hafa áhrif á umhverfið og breyta ásýnd þess skulu vera í samræmi við skipulagsáætlanir. Óheimilt er að hefja slíkar framkvæmdir nema fyrir liggi samþykki leyfisveitanda um útgáfu framkvæmdarleyfis og að framkvæmdarleyfi hafi verið gefið út.

framkvæmdarmæling
mæling á rúmlegu mannvirkis á ýmsum stigum framkvæmdar
Rúmlega, nýyrði fyrir legu í plani og hæð.

framkvæmdarstig
tilfallandi steinefnarannsóknir á framkvæmdarstigi, hafi þær brugðist á fyrri stigum
Sjá *stig í verkferli efnisrannsókna*.

framleiðsla steinefna
1 hverskonar vinna við *steinefni* svo sem losun, *mölun*, sigtun, þvott o.s.frv., á *steinefni*
2 *steinefni*, að framleiðslu lokinni

framleiðslueftirlit
felst í að bera eiginleika afurðar saman við kröfur

framleiðslustig
vinnsla steinefna og rannsóknir á þeim
Sjá *stig í verkferli efnisrannsókna*.

framleiðsluvottorð
skrifleg yfirlýsing um innihald og eiginleika vöru

framvindueftirlit
vöktun á framgangi verks

frábrigði
það að uppfylla ekki kröfu
Sjá ÍST EN ISO 9000.

frágangur vinnusvæðis
jöfnun og frágangur á aflögðum námum, og svæðum við hlið vegar sem raskað hefur verið

frákastsefni
efni sem ekki nýtist í tiltekna framkvæmd

frávik
mismunur á mældu gildi og fyrirskipuðu gildi

frávikaskýrsla
skrá yfir atriði sem ekki eru í samræmi við fyrirmæli
Hluti af gæðastýringu á verki. *Frávik* geta verið frá kröfum útboðsgagna eða verklagsreglum.

frávikstilboð
tilboð sem leysir þarfir kaupandans á annan hátt en gert er ráð fyrir í tæknilegri lýsingu útboðsgagna og uppfyllir jafnframt lágmarkskröfur þeirra

freramörk
þykkt jarðvegs sem að jafnaði frýs að vetrarlagi
Freramörk má skilgreina nánar með líkum, t.d. 20, 50 eða 100 ára freramörk.

freri
frosin jörð

froðubik
óstöðug blanda af biki og vatni
Bikið (stíf- eða *þjálbik* er hitað upp í 160-170 °C og bætt í það 2-4 % af vatni svo að það freyðir stutta stund og á meðan er því blandað saman við *steinefni*. Froðubik er einkum notað við festun á burðarlagi samhliða fræsingu.

froðumalbik
Froðumalbik má nota í burðarlag og sem *slitlag* á vegi með umferð undir 1500 ÁDU.

frost
hitastig undir frostmarki

frostbrigð
1 hneigð jarðefnis (bergmols) til að mynda íslinsur
2 mælikvarði á hvort og hversu frostbrigt/frostnæmt *jarðefni* er
Íslinsur myndast því aðeins í bergmoli að bergmolið sé nægilega fínefnaríkt til að mynda hárpípur og hárpípur í bergmolinu hafi óheftan aðgang að vatni.
Sjá *frostnæmi*.

frostbrigður vegur
vegur þannig gerður að frost nær niður i frostnæma yfirbyggingu eða vegfyllingu

frostbrigt *jarðefni*
jarðefni sem dregur vatn upp í frosna hlutann og missir *burðarþol* þegar ísinn þiðnar
Sjá frostvirkt *jarðefni*. Áður var notað frostnæmt *jarðefni*.

frostdýpi
fjarlægðin frá yfirborði að neðra byrði frosins jarðefnis

frosteinangrun
frostvörn með notkun einangrunarefna

frostheildi
margfeldi af fjölda daga á ári með meðalhita neðan við frostmark, og meðalhita sömu daga
Frostheildi er mælt í gráðudögum (dagar x °C).

frostlyfting
hækkun á yfirborði lands, sem stafar af frostþenslu í undirliggjandi, frostnæmum efnum

frostmark
hitastig vatns þegar það er að frjósa eða bráðna, við 0° á Celsíus
Einnig nefnt bræðslumark.

frostnæmi
sjá *frostbrigð*

frosttryggur vegur
vegur, þannig gerður að frost nær ekki niður í frostnæmt efni við hámarks frostheildi

frostvarnarlag
lag í *yfirbyggingu*, næst undir *styrktarlagi*, sem ætlað er að einhverju eða öllu leyti að hindra að frost hlaupi niður í frostnæmt efni

frostvirkt *jarðefni*
jarðefni sem dregur vatn upp í frosna hlutann og missir *burðarþol* þegar ísinn þiðnar
Sjá frostbrigt *jarðefni*. Áður var notað frostnæmt *jarðefni*.

frostþol
hæfileiki steinefnis til að standast víxlverkun frosts og þíðu án þess að molna niður og tapa burðarþoli
Efni er frostþolið ef það er ekki vatnsdrægt og þenst ekki út þegar það frýs.

fræsa
tæta ofan af malbiki með tenntum valsi (fræsara)
Gert til að slétta yfirborðið eða lækka það og mynda fals fyrir nýtt *slitlag*.

fræsing
verknaðurinn að fræsa

fullgilding
staðfesting á því, með framlagningu hlutlægra sannana, að tilteknar kröfur vegna tiltekinna fyrirhugaðra nota hafi verið uppfylltar

fylling
Sjá *vegfylling*.

fyllingarbyrði
yfirborð *vegfyllingar*

fyllingarflái
flái fyllingar
Hér er bæði átt við yfirborð fláa og halla hans.

fyllingarhæð
þykkt fyllingar í miðlínu vegar

fyllingarmagn
rúmmál jarðefna, sem mynda vegfyllingu

fyrirmæli
bindandi ákvæði
Orðið „fyrirmæli“ og orðasambandið „að mæla fyrir um“ er notað án frekari skýringa um öll bindandi fyrirmæli verkkaupa eða eftirlits og öll fyrirmæli í verksamningi, verklýsingu, sérverklýsingu og uppdráttum eins og við á hverju sinni.

færiband
belti til færslu á jarðefnum [vegagerð]
Steinefni er flutt á færiböndum milli framleiðslueininga í vinnslusamstæðu, þ.e. frá forbrjót yfir á eftirbrjót og hörpu og þaðan út í hauga. Færibönd eru einnig notuð til að flytja efni úr jarðgöngum.

færsla
ef efnisögn hreyfist frá einum stað á annan, er færsla beina leiðin milli staðanna án tillits til þess, hvaða leið ögnin fer milli þeirra

gabbró
basískt, stórkristallað *djúpberg* sem hefur storknað hægt á miklu dýpi

galli
það að *krafa* er tengist fyrirhugaðri eða tilætlaðri notkun er ekki uppfyllt
Aths. 1: Munurinn milli hugtakanna ”galli” og ”*frábrigði*” er mikilvægur þar sem hann hefur lagalega þýðingu, sérstaklega í sambandi við skaðsemiábyrgð. Af þessum sökum ætti að nota hugtakið „galli“ af sérstakri varúð.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

gangberg
storkuberg, sem myndast við storknun bergkviku í sprungu eða milli laga ofarlega í jarðskorpunni

gangur
innskot, sem myndar *jarðlag*
Sjá berggangur og laggangur.

gátlisti
listi yfir atriði sem þarf að gaumgæfa

gervigígur
hóll úr hraungjalli á stað, þar sem hraunkvika hefur runnið yfir votlendi eða grunnt vatn
Vatnsgufa undir hraunkvikunni veldur því, að kvikan verður að gjalli, sem þeytist upp og safnast í hóla. Dæmi: Rauðhólar við Reykjavík.

gígaröð
röð eldvarpa, sem orðið hafa til við það, að gosið hefur á aðgreindum stöðum í eldsprungu

gígrimi
hryggur úr gjósku, sem hlaðist hefur upp umhverfis gosop í eldgosi og myndað gígbarm

gjallgígur, gíghóll
eldvarp, sem hlaðist hefur að mestu upp úr lausu hraungjalli

gjóska
laus gosefni úr bergkviku sem þeytast upp í loft úr gjósandi eldstöð við það að gas losnar úr kvikunni

gjóskuset
set úr gjósku frá gjósandi eldstöð
Sbr. gjóska, gosaska, vikur, *móberg*, flikruberg.

glerkennt berg
storkuberg, sem hefur storknað svo hratt, að kristallar hafa ekki náð að myndast.

gosaska
gjóska úr smágerðum glerkenndum kornum, minni en 2 mm í þvermál

gosberg
storkuberg, sem myndast við storknun hraunkviku ofan jarðar, einnig í lofti eða vatni

gosdyngja, dyngja
bungulaga, hallalítið og víðáttumikið eldfjall, sem verður til úr þunnfljótandi basalthraunkviku

gosefni
sameiginlegt heiti á efnum, sem koma upp í eldgosum, þegar bergkvika nær yfirborði
Þau skiljast þá sundur í gaskennd eða reikul gosefni (gös, vatn), laus gosefni (gjósku) og föst gosefni (*hraun*, gosberg).

GPS staðsetningarbúnaður
tæki sem tilgreinir staðsetningu í hnitum með aðstoð gervihnatta

grafa
vélknúið tæki með bómu til að moka *jarðefni*

granít
súrt djúpberg, grófkorna, venjulega ljósgrátt eða rauðleitt með dökkum yrjum

grannberg
berg, sem er umhverfis innskotsberg og er eldra en það

granófýr
súrt gangberg, fínkorna eða meðalkorna, ljósleitt

grautun
1 þétting eða styrking með sementsefju
2 fylling í kapalrör í spenntri steinsteypu
Grautun eða sementsídæling er fólgin í því að dæla blöndu af vatni og sementi, oft með íblendi eða íauka, undir miklum þrýstingi gegnum borholur í bergvegg til að fylla sprungur og önnur holrými og til að verja spennukapla gegn tæringu. Stundum er sett kísilryk í blönduna, og stöku sinnum ýmis konar íblendi sem auka smeygni hennar, flýta fyrir hörðnun eða þenja blönduna þegar hún harðnar. Samsetning blöndunnar er valin með hliðsjón af aðstæðum.

grágrýti
basískt gosberg, gráleitt *basalt*
Grágrýtismyndunin varð til á ísöld, kvarter, og er því yngri en u.þ.b. 3 milljón ára og eldri en u.þ.b. 0,7 milljón ára.

grenndargróður
ríkjandi gróðurfar í næsta nágrenni framkvæmdar

grettistak
1 grjót á stærðabilinu 500-1000 mm
2 grjót sem verður eftir þegar jökull bráðnar

gripskófla
ámoksturssskófla, sem er opnuð og síðan lokað til að fylla hana
Krumla í tveim innbyrðis hreyfanlegum hlutum sem opna hana (við losun) og loka (til að fylla hana). Notuð m.a. til að moka lausum jarðefnum eða tína upp stóra steina.

grjót
samsafn af allstórum steinum

grjóthrun
atvik þegar grjót losnar úr bergi og fellur niður
Grjóthrun verður jafnan úr klettum og stöku sinnum í jarðgöngum.

grjótkassi
kassalaga net, fyllt með grjóti
Til varnar ofanflóðum eða stoðveggir. Ýmist úr stáli eða gerviefni.

grjótnáma
staður, þar sem grjót er tekið til vinnslu

grjótvörn
hleðsla úr grjóti til að hindra rof af völdum vatns, vinda eða sjávar
Sjá *rofvörn*, *sjóvörn*, *ölduvörn*, *brimvörn* og *varnargarður*.

grop
hlutfallið á milli rúmtaks *gropa* í efni og heildarrúmtaks efnis
Venjulega táknað í %.

gropa
smágert holrúm í efni

gropinn
að gropur eru dreifðar víðs vegar um efni
Orð svipaðrar merkingar eru blöðróttur og holóttur.

gropumalbik
heitblandað slitlagsmalbik með gisinn sáldurferil
Vegna mikillar holrýmdar (15-20 %) á yfirborðsvatn tiltölulega greiða leið gegnum slitlagið og út til hliðanna, sem stuðlar að umferðaröryggi. Gropumalbik hefur einnig gott hemlunarviðnám, góða ljóstæknilega eiginleika og dregur úr umferðarhávaða.
Sjá ÍST 13108-7

grófhrýfi (macrotexture)
sýnilegar en smágerðar ójöfnur í yfirborði *slitlags* með bylgjulengdir á bilinu 0,5-50 mm og dæmigerða sveifluvídd á bilinu 0,1-20 mm.
Grófhrýfi ræðst af afstöðu steina hvers til annars í yfirborði slitlags og að hve miklu leyti efja fyllir upp í bil á milli þeirra. Grófhrýfi með stuttar bylgjulengdir dregur úr veghljóði en það eykst síðan með vaxandi bylgjulengdum. Grófhrýfi hefur jákvæð áhrif á hemlunarviðnám með því að veita burtu vatni þar sem hjólbarði og vegyfirborð mætast.

grófkorna berg
berg með kristöllum, sem flestir eru stærri en 5 mm

grófmölun
mölun efnis, oftast í einum *brjóti*, þannig að *stærstu steinar* verði af hæfilegri stærð til nota í viðkomandi lagi vegar
Dæmi: 0⁄250 mm.
Sjá *forbrotið efni*.

grófpúkk
steinefni, úr sprengdu eða rippuðu *bergi*, innan stærðabilsins 80-300 mm
Sjá *púkk* og fínpúkk.

grunneiginleikar bergs
grunnþættir í uppbyggingu og eiginleikum *bergs*
Eru háðir öllum þáttum í uppbyggingu bergsins svo sem efnasamsetningu, gerð *steinda*, *kristalbyggingu*, *kornastærð*, þéttleika, sprungum, straumflögun o.fl. en allir þessir þættir geta haft áhrif á *berggæðin*.

grunneiginleikar steinefnis
grunnþættir í eiginleikum *steinefnis*
Eru ásýnd *bergs*, *berggæði* o.fl. sem ásamt *kornadreifingu* eru ráðandi varðandi gæði efnisins þegar það hefur verið lagt út og þjappað í vegi.

grunnvatn
jarðvatn, sem fyllir holur og glufur í jarðlögum, hefur ákveðið vatnsborð og vatnsþrýsting, sem er jafn eða meiri en þrýstingur lofthjúps jarðar

grunnvatnsborð
efri mörk *grunnvatns*, en neðan þeirra er jörð mettuð vatni
Yfirborð vatnsforða undir yfirborði jarðar. Yfirborð stöðuvatns samsvarar grunnvatnsborði á sama stað.

grynning
svæði á botni sjávar, stöðuvatns eða straumvatns, þar sem vatn er tiltölulega grunnt

grýfi (megatexture)
ójöfnur í yfirborði slitlags með bylgjulengdir á bilinu 50-500 mm og dæmigerða sveifluvídd á bilinu 0,1-50 mm
Dæmi um grýfi eru grunnar holur í malarvegum, fleiður eða brotholur í malbiki, gárur í malbiksslitlagi, kröpp þvottabretti á malarvegum og viðlíka ójöfnur. Grýfi er að flestu leyti neikvæður eiginleiki, eykur eldsneytiseyðslu, veldur umferðarhávaða og titringi sem eykur slit á bíl og óþægindum fyrir farþega.

grýta
kröpp hola í slitlagi [í vegagerð]

græfni
mælikvarði þess hve auðgræft *jarðefni* er

græfur (**lo**)
efni er grævt, sem unnt er að grafa án undangenginnar losunar

gröftur
athöfnin að grafa
T.d. gröftur á *jarðefni*.

gúmhjólavalti
valti á mörgum sléttum gúmhjólum

gæðaeftirlit
kerfisbundið *eftirlit* til að tryggja að gæði séu samkvæmt kröfum
Kerfisbundið, að því leyti að árangurinn ræðst af skipulögðu meðvituðu framtaki. Sumir velja kerfi til gæðaeftirlits sem byggir á gæðahandbókum eða ferlahandbókum. Gæðaeftirlitskerfi búa yfirleitt yfir völdu úrvali af viðmiðunarreglum að því er varðar innleiðingu gæðaeftirlits í reyndinni og á hvern hátt gæði eru mæld og bætt.

gæðahandbók
skjal sem veitir forskrift fyrir gæðastjórnunarkerfi fyrirtækis
Gæðahandbækur geta verið mismunandi að nákvæmni og framsetningu eftir því hversu stórt eða margbrotið fyrirtæki er. Sjá ÍST EN ISO 9000.

gæðamat
eftirlit sem að jafnaði byggist á mælingum á tilteknum eiginleikum fleiri eða færri eininga sem valdar eru með slembiaðferð (random) úr heildinni, og meta eiginleika heildarinnar út frá þessum mælingum
Eftirlit af þessu tagi útilokar ekki að einhverjar ónothæfar einingar í heildinni sleppi gegnum eftirlitið, en aðferðin gerir mögulegt að stýra líklegu hlutfalli gallaðra eininga í heildinni, sem getur verið hagkvæmara en að skoða hverja einstaka einingu.

gæðastjórnun
samhæfð starfsemi til að stýra og stjórna fyrirtæki með tilliti til gæða
Stýring og stjórn að því er varðar gæði felur venjulega í sér að setja fram gæðastefnu og gæðamarkmið og að koma upp skipulagningu gæða, gæðastýringu, gæðatryggingu og gæðaumbótum.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

gæðastjórnunarkerfi
stjórnunarkerfi til að stýra og stjórna með tilliti til gæða
Innifelur m.a. gæðastefnu, skipurit, markmið, verklagsreglur, flæðirit, skjöl, skriflegar leiðbeiningar, gögn og eyðublöð.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

gæðastýring
sá hluti af gæðastjórnun er beinist að því að uppfylla gæðakröfur
Sjá ÍST EN ISO 9000.

gæðastýring verks
yfirlit um það hvernig verktaki eigi að uppfylla kröfur útboðsgagna
Verkkaupi leggur fram gæðastýringu verks, sem hluta af útboðsgögnum.

gæði
það að hvaða marki safn tiltekinna eðlislægra eiginleika uppfyllir kröfur
„Eðlislægur“, öfugt við „eignaður“, merkir sem býr í einhverju, einkum sem varanlegur eiginleiki.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

handahófssýni
sýni, valið af handahófi úr stóru hloti
Sýnið er valið þannig að öll hugsanleg sýni úr hlotinu hafa jafna möguleika á að vera valin.
Dæmi: Sýni af bílfarmi af *steinefni*, borkjarni úr malbiksslitlagi.

handhroð
það að fjarlægja lauslegt grjót með hroðkarli úr bergskæringu
Sjá hroð.

hanna
gera grunnteikningar að, ráða fyrirkomulagi á, skipuleggja
Sjá hönnun.

harpa
tæki, stakt eða í vinnslusamstæðu til að flokka *steinefni* eftir stærð
Hörpur eru ýmist rimlar eða net.

haugsetning
flutningur og frágangur *steinefnis* ellegar jarðvegs á geymslustað, til síðari nota

haugsvæði
afmarkaður hluti námusvæðis, þar sem jarð- og *steinefni*, unnin eða óunnin, eru geymd um lengri eða skemmri tíma

haugur
uppbyggður lager af unnu eða óunnu *steinefni*
Sjá haugsvæði

hálka
lítið viðnám milli snertiflata
Dæmi: Frosið vatn á yfirborði vegar hefur í för með sér, að viðnám milli vegar og hjólbarða verður lítið. Hálka á vegi getur einnig stafað af öðrum ástæðum, svo sem olíu og vatni.

hálkusandur
sandur til hálkuvarna

heflun
jöfnun *steinefnis* í vegi (malarslitlagi, burðarlagi) með *veghefli*

helluhraun
hraun, sem hefur storknað þannig, að yfirborð þess er heilleg og tiltölulega slétt klöpp, sem oft er alsett bogmynduðum gárum, hraunreipum
Víða hafa spildur fallið niður og hraunkatlar myndast og einnig er algengt að hraunið hafi gúlpast upp í hraunhóla sem eru gjarnan sprungnir á yfirborði.

hemlunarlengd
vegalengdin sem ökutæki færist, frá því að ökumaður hemlar þar til ökutækið stöðvast

himna
utan á liggjandi filma (þynna) til að verja steypu gegn vatni eða skaðlegum efnum
T.d. úr tjörupappa, plasti eða gúmíi.

hjalli
þreplaga stalli í hallandi landi

hjáleið
bráðabirgðavegur til hliðar við aðalveg
Oftast gert til að veita umferð framhjá vegi í byggingu, meðan á framkvæmdum stendur.

hjálparhola
hola, sem ásamt innskæringsholum og öðrum hjálpurum er boruð í miðju þess þversniðs, sem sprengt skal
Hjálparholur eru sprengdar næst á eftir innskæringsholunum. Áður nefnt hjálparar.

hjólfar
far í yfirborði eftir hjólbarða ökutækis
Orsakir hjólfara á vegi eru í flestum tilfellum
a) slit (sem í bundnum slitlögum stafar aðallega frá negldum hjólbörðum);
b) formbreytingar efnis í slit- eða burðarlagi (skrið eða sig).

hjólfarafylling
far eða dæld í slitlagi vegar sem fyllt er með slitlagsefni
Aðgerðin er ýmist gerð ein og sér eða nýtt *slitlag* lagt yfir veginn.

hjólfaramyndun
hjólför í yfirborði vegar vegna álags frá umferð

hlaupskriða
dyngja af *jarðefni*, sem hefur skriðið eða hlaupið niður brekku

hliðarrof
árrof, sem verður á bakka farvegar

hnallur
þungt handverkfæri notað til að þjappa með
Einkum notað við *þjöppun* á bikinni vegþekju upp við kantsteina, við flórun o.þ.h.

hnullungur
steinn á stærðabilinu 250-500 mm

holufylling [**jarðfræði**]
steind, sem fellur út úr vatnsupplausn í bergi og sest fyrir í blöðru eða öðru holrúmi í berginu

holuviðgerð
viðgerð á lítilsháttar skemmdum á bundnu slitlagi [í vegagerð]
Einnig notað holufylling.

hoplengd jökuls
vegalengd, sem jökull hopar á tímabili milli þess, að staða jökulbrúnar hans er mæld

hrafntinna
súrt gosberg, glerkennt, oftast svart á lit

hraun
hraunkvika eða storknuð hraunkvika ofanjarðar
Á einkum við, hafi hraunið runnið eftir að ísöld lauk fyrir um 10 þúsund árum.

hraungjall
hrjúf, grófgerð, gropin *gjóska* oft með glerkenndu yfirborði
Sekkur í vatni.

hraungúll
eldfjall, sem myndast við það, að hraunkvika, er kemur upp um gosop, er svo seig, að hún rennur ekki brott, heldur hrúgast upp yfir gosopinu

hraunkargi
gjallkennt, gropið *hraun* sem er oft bæði efst og neðst í *apalhraun*lögum

hraunklöpp
þéttur kjarni *hrauns*

hraunkvika
bráðið *berg* ofan jarðar

hreyfðarseigja
seigja kvikefnis, sem samsvarar þeirri skúfspennu sem þarf til þess að tveir samsíða fletir í efninu með einnar lengdareiningar millibili hreyfist innbyrðis með hraða sem er ein hraðaeining
Hreyfðarseigja er oft táknuð með μ og SI-eining hennar er Pascal-sekúnda (Pa x s) eða N·s/m2.
Hreyfðarseigja bindiefnis er mæld með því að ákveðið magn þess er látið renna undan
þyngdarkrafti um pípu við þekktan hita og tíminn mældur sem það tekur vökvann að renna milli kvarða á pípunni. Alla einingarnar (10-6 m2/s, mm2/s og cSt) hafa í raun sama tölugildi fyrir mælda hreyfiseigju sama vökva miðað við sama hitastig við mælingu. Eftir því sem tölugildið er hærra er efnið seigara og flæðir því hægar við gefið hitastig. Hreyfiseigja vatns við stofuhita hefur tölugildið 1.

hrjóða
að fjarlægja lausa steina úr lofti og veggjum jarðganga eða hliðum bergskæringar

hroð
það að fjarlægja lauslegt grjót úr bergskæringu
Sjá handhroð.

hroði
það sem hroðið hefur verið
Lausagrjót úr gangahvelfingu eða bergveggjum.
Sjá hroð og handhroð.

hroðkarl
áhald til að hrjóða með
Sjá hroð.

hrunskriða
skriða í fjallshlíð, sem myndast við bergmolshrun í fjallinu

hrýfi (texture)
yfirborðsáferð *slitlags* með bylgjulengdir allt að 500 mm
Skipt eftir bylgjulengdum í *fínhrýfi*, *grófhrýfi* og *grýfi*. Núningsstuðull eða hemlunarviðnám er stundum notað sem óbeinn mælikvarði á hrýfi.

hrökkvi
mælieining fyrir niðurbrot steina við högg, gert á staðlaðan hátt

húmus
Sjá *myldi*.

hvarf
staðbundin burðarlagsskemmd í vegi, sem nær upp í vegþekjuna [í vegagerd]

hvarf [**jarðfræði**]
eitt lag í lagskiptu seti, þar sem hvert lag myndast á einu ári
Unnt er að greina lögin vegna þess, að gerð setsins er breytileg eftir árstíðum. Orðið hvarf hefur hér fengið tökumerkingu úr sænsku. Varv, er notað um *jarðlag*, sem myndast í einni umferð í reglubundinni hringrás árstíðanna.

hvarfleir
lagskipt *set*, sem myndast í stöðuvatni eða sjó undan mynni jökulár
Framburðarefni árinnar er meira og grófara á sumri en vetri, svo að grófgert og fíngert efni skiptast á með reglubundnum hætti og afmarka hvert hvarf. Hvarfleir er yfirleitt úr sandi og sylti.

hverfisvernd
ákvæði í svæðis-, aðal- eða deiliskipulagi um verndun sérkenna eldri byggðar, annarra menningarsögulegra minja eða náttúruminja
Sjá skipulagslög.
Ekki er um lögformlega friðun að ræða.

hvítspíri
tær, fituleysandi og rokgjarn vökvi, eimaður úr jarðolíu
Notaður m.a. sem þynnir í *þunnbik* og málningarvörur.

hæð
í mælingum, lóðhnit punkts
Í vegagerð eru lóðhnit stundum miðuð við fastmerki sem hafa staðbundið hnitakerfi.

hæðarlega
vegagerð, ferill vegar í lóðréttu plani

hæðarmæling
ákvörðun á lóðhniti punkts

höggborun
mæling á þéttleika jarðlaga með höggbor
Mælt er hversu langt stálstöng, með oddi af tiltekinni gerð og þvermáli, gengur niður í jarðveg við hvert högg falllóðs af tiltekinni þyngd og úr ákveðinni fallhæð.
Aðferðin er oft notuð til grundunar mannvirkja.
Stundum nefnt borróborun.

hönnun
ákvörðun á eigindum mannvirkis, hugverk eða sköpun
Hönnun uppfyllir þær kröfur sem gerðar eru til mannvirkis eða sköpunarverks.

hönnunarskeið (hönnunartími)
sá tími sem hönnunarforsendur ætla mannvirki að endast
Orðin ætlaður líftími og ætluð ending hafa verið notuð yfir þetta hugtak. Ekki þykir rétt að nota orðið líf um dauð fyrirbæri.

hörpun
sigtun steinefnis, í þeim tilgangi að skilja frá efni grófara en möskvastærð sigtisinsFrákastið er ýmist tekið til annarra nota eða haugsett.
Við *undantekt* er efnið sem fer í gegnum sigtið flokkað frá.

innrænn (**lo**)
(lýsingarorð) um landmótunaröfl, sem eiga uppruna undir yfirborði jarðskorpunnar, t.d. landsig eða eldgos
Sbr. útrænn.

innskot
1. það að bergkvika þrengir sér inn í eldri jarðlög og storknar neðan yfirborðs jarðar
2. bergheild, sem myndast skv. 1. lið.

innskotsberg
storkuberg, sem orðið hefur til við innskot, t.d. gangberg

innskæring
sá hluti þversniðs, sem fyrst er sprengdur út, til þess að öðlast rými fyrir þann hluta bergsins, sem sprengdur er á eftir í sömu lotu

innskæringshola
borhola, sem sprengd er fram ásamt öðrum innskæringsholum
Sprengd fyrst í hverri lotu til að auðveldara sé að sprengja holurnar umhverfis inn á við seinna í sömu lotu.

íauki
smágert, fast efni, lífrænt eða ólífrænt, sem er blandað í *malbik*, klæðingu eða steypu til að bæta tiltekna eiginleika eða fá fram sérstaka eiginleika
Íauki er aðgreinanlegur í blöndunni sem hann er hluti af, gagnstætt íblendi, sem samlagast eða leysist upp í öðrum hluta hennar.
Dæmi um íauka í malbiksframleiðslu eru plasttrefjar (í SMA) og sement (eða aðrar gerðir viðbótarmélu). Dæmi um íauka í steypu er kísilryk, gossalli (pozzolanefni) og flugaska (fly ash).

íblendi
efni, sem er blandað í bindiefni í litlu magni miðað við massa þess, til að breyta tilteknum eiginleikum bik- eða sementsbundinna steinefna
Íblendi samlagast eða leysist upp í efninu sem því er blandað saman við, gagnstætt íauka, sem heldur áfram að vera aðgreinarnlegur hluti blöndunnar. Dæmi um íblendi í *malbik* eru viðloðunarefni (loðbætir) fast eða fljótandi, og *ýruefni* í bikþeytur. Dæmi um íblendi í steypu er loftblendi.

ísteyptur bolti
bolti, festur í þar til gerða holu í bergvegg með múrblöndu eða ámóta efni

ísúrt berg
berg, með SiO_2 á bilinu 52 – 66 % miðað við þyngd

jaðarrof
jökulrof við jaðar skriðjökuls, þar sem jökullinn skríður fram með fjallshlíð

jaðarurð
1. jökulurð á hliðarjaðri skriðjökuls, sem skríður með fram fjallshlíð
2. jökulurð, sem er mynduð með sama hætti og í 1. lið, en situr eftir í hlíðinni, ef skriðjökullinn þynnist og
Jökulurðin er mynduð að mestu úr bergmoli, sem losnar úr hlíðinni og fellur niður á jökuljaðarinn.

jafnstæður jökull, jökull í jafnstöðu
jökull með kyrrstæðri jökulbrún

jarðbik
bik sem finnst í náttúrunni, leifar af jarðolíu sem hefur eimast af náttúrulegum orsökum
Oft blandað fíngerðri eða mjög fíngerðri steinmylsnu. Er nánast fast efni við 25 °C en seigfljótandi vökvi við 175 °C.
Dæmi: Trinidad asfalt.

jarðbyrði
óhreyft yfirborð jarðvegs
Sjá *vegbotn*.

jarðdúkur
Sjá síudúkur.

jarðeðlisfræði
grein af jarðfræði, sem fjallar um viðfangsefnin með aðferðum eðlisfræðinnar

jarðeðliskönnun
könnun á innangerð jarðar með aðferðum jarðeðlisfræði
Meðal þeirra aðferða eru mælingar á hitastreymi, rafstraumsviðnámi, segulmagni, skjálftabylgjum og þyngdarhröðun.

jarðefnafræði
grein af jarðfræði, sem fjallar um viðfangsefnin með aðferðum efnafræðinnar

jarðefnaskrið
heildarheiti á því fyrirbæri, að *jarðvegur* og bergmol losnar og skríður niður brekku, einkum fyrir áhrif þyngdarkrafts, og án þess, að vindur, vatn eða ís flytji jarðefnið með sér
Hreyfingin er mismunandi eftir því, hversu mikið vatn er í efninu. Sjá jarðsil, jarðskrið, skriðuhlaup, bergmolshrun.

jarðefni
1 efni í eða úr jörð
2 í jarðtækni: efni jarðar, sem notað er til þess að búa til mannvirki eða er umhverfis mannvirki

jarðeldafræði
grein af jarðfræði, sem fjallar um eldgos, orsakir þeirra, svo og ferli og fyrirbæri þeim tengd

jarðfræði
fræði um gerð jarðar, þróun hennar og þau ferli, sem þar eru virk

jarðgangagerð
öll vinna við gerð jarðganga

jarðgangagröftur
öll jarðvinna við að grafa jarðgöng

jarðgrunnur
öll laus jarðlög sem liggja ofan á berggrunni þ.e. *jarðvegur* og setlög
Sýndur á jarðgrunnskortum. Sjá *berggrunnur*.

jarðgöng
göng grafin í gegnum jarðlög
Dæmi: veggöng og vatnsgöng við virkjanir.

jarðhæð
hæð jarðbyrðis
T.d. hæð í vegmiðju.

jarðlag
samfellt lag af *jarðefni* (*bergi*, *jarðvegi*), sem greinist vegna eiginleika sinna eða uppruna bæði frá jarðefnum er liggja undir og ofan á því

jarðlagafræði
grein af jarðfræði, sem fjallar um skipan jarðlaga innbyrðis, myndun þeirra og aldur

jarðlagastafli
safn jarðlaga, sem hlaðist hafa hvert á annað á tilteknu svæði

jarðlagshalli
halli jarðlags er mældur sem hornið milli lárétts flatar og flatar jarðlagsins
Armar hornsins eru hornréttir við jarðlagsstrikið.

jarðlagsstrik
strikstefna jarðlags

jarðolía
mjög fjölbreyttur flokkur af kolvetnasamböndum, föstum, fljótandi eða loftkenndum, aðallega mettuðum kolvetnum
Jarðolía er blönduð lítilræði af brennisteini, nitri og súrefni. Einnig notað orðið hráolía en það orð hefur þó meira verið notað yfir dísilolíu

jarðsil
að *jarðvegur* mjakast mjög hægt (fáeina mm á ári) en stöðugt, niður brekku vegna smáhreyfinga í jarðveginum og þyngdar hans

jarðskorpa
sá hluti jarðar, sem nær frá yfirborði niður að Moho-mörkum

jarðskrið
að *jarðvegur* færist hægt fram undan halla, einkum þegar jarðvegurinn er blautur eða jörð er að þiðna
Sbr. jarðsil.

jarðtækni
fræði um eiginleika jarðefna og hagnýtingu þeirra, einkum við mannvirkjagerð
Jarðvegsaflfræði og bergsaflfræði eru undirstöðugreinar í jarðtækni.

jarðtæknieftirlit
athuganir á eiginleikum jarðefna í vegstæði og samanburður þeirra við hönnunarforsendur

jarðtækniprófun
prófun á jarðtæknilegum eiginleikum
Dæmi: Mæling á skerstyrk, glæðitapi, rakastigi.

jarðvatn
allt vatn, sem er undir föstu yfirborði jarðar
Það greinist í jarðvætu og grunnvatn.

jarðvegsaflfræði
undirstöðugrein í jarðtækni, sem fjallar um eiginleika jarðvegs, einkum að því er varðar krafta, hreyfingar, *burðarþol*, stöðugleika og *lekt*

jarðvegshlaup
skriðuhlaup, þegar moldarborinn *jarðvegur* hleypur fram

jarðvegsskipti
skipti á ónothæfu *jarðefni* og hæfu efni

jarðvegsskriða
skriða eftir jarðvegshlaup, venjulega með haugum af *mold* og grjóti

jarðvegstegund
í jarðtækni: *jarðvegur* flokkaður eftir tilteknum eiginleikum, t.d. *kornastærð*, efnainnihaldi, *frostnæmi* o.s.frv.

jarðvegur
hið efsta lausa *jarðlag* sem plönturætur geta smogið og fundið næringu í og er að nokkru leyti af lífrænum uppruna

jarðvinna
öll meðhöndlun jarðvegs og jarðefnis frá því, að það er tekið af upprunalegum stað, uns frá því hefur verið gengið

jarðvæta
jarðvatn, sem er í ómettuðum jarðlögum milli jarðaryfirborðs og grunnvatnsborðs

jarðýta
jarðvinnutæki á skriðbeltum með lóðréttu stálblaði til að ýta *jarðefni*

jarðþrúgun
samþjöppun jarðlags vegna aukins álags, sem veldur útpressun vatns
Oft gert til að koma í veg fyrir sig síðar meir.

jurtaolía
olía unnin úr jurtaríkinu
Dæmi: Repjuolía og matarolía.

jöfnun
vinna við að koma yfirborði lags í fyrirhugaða hæð
Hér getur t.d. verið átt við lag í vegi.

jöklafræði
fræði um eigindir íss í hvaða mynd sem er, en einkum um jökla
Jöklafræði fjallar m.a. um tilurð jökla og vensl við veðurfar, hreyfingar þeirra og áhrif til landmótunar.

jökulaur
framburðarefni jökulár eða jökulhlaups

jökulá
straumvatn, sem verður til við leysingu jökulíss og snævar á jökli
Jökulvatn er ógegnsætt og skolgrátt eða hvítleitt á lit. Hiti þess er um 0°C við upptök, en getur hækkað mikið á sólríkum degi, þegar fjær dregur upptökum, ef áin rennur á aurum. Rennsli jökulár er mjög háð lofthita og er margfalt meira á sumri en vetri.

jökuláraurar, aurar
flatlendi með litlum halla, þakið seti frá jökulám og jökulhlaupum
Orðið sandar (kk, flt) er stundum notað í sömu merkingu og jökuláraurar.

jökulárset
árset úr jökulauri

jökulberg
setberg (molaberg), sem er orðið til úr jökulruðningi

jökulflúð
klapparbunga, sem jökull hefur skriðið yfir og núið
Sumir nota orðið hvalbak um jökulflúð.

jökulframburður
það, að jökull flytur fram *jarðefni*
Sjá jökulset.

jökulframgangur
það, að jökulbrún gengur fram, þ.e. færist fram

jökulframgengd
vegalengd, sem jökull gengur fram á tímabili milli þess, að staða jökulbrúnar hans er mæld

jökulgarður
jökulurð, sem orpist hefur upp framan við skriðjökul og myndar þar hæðarhrygg, oft bogadreginn

jökulhlaup
mikið flóð, sem kemur í jökulá við það, að vatn, er safnast saman við jökul eða undir jökli, fær snögglega framrás
Tildrög eru einkum með tvennu móti:
1. Vatn safnast í jökullón við jökulrönd, en kemst ekki brott fyrir jöklinum, fyrr en vatnsdýpi er orðið svo mikið, að vatnið nær að komast undir jökulstífluna.
2. Vatn safnast í geymi undir jökli vegna leysingar íssins af völdum jarðhita eða eldsumbrota. Það ryðst að lokum fram undan jöklinum.

jökulhop
það, að jökulbrún hopar, þ.e. færist aftur

jökuljafnstaða, jafnstaða jökuls
það, að jökulbrún stendur á sama stað um skeið

jökulker
dæld í jökulset eða jökulárset eftir ísflikki, sem hefur skilist frá jökulbrún, sokkið í setið og bráðnað
Vatn stendur tíðum í jökulkerum.

jökulrák
1. rák eða gróp í klöpp, frá því að jökull skreið yfir klöppina og neri hana með steinum, sem voru fastir neðan í jökulísnum
2. rispa á steini, sem talin er stafa af því, að hann hafi verið í skriðfleti jökuls

jökulrof
rof, sem jökull veldur með því að losa, mola og flytja fram *jarðefni* úr farvegi sínum og einnig með því að flytja fram bergmol, sem fellur á jaðar jökulsins

jökulruðningur
bergmol, sem verður til við rof af völdum jökuls
Í jökulruðningi geta verið allar kornastærðir, allt frá *leir* upp í stóra steina.

jökulset
set úr jökulruðningi, að jafnaði ekki lagskipt

jökulsker
fjallskollur, sem stendur upp úr jökli og er umkringdur honum

jökulurð
setlag eða *haugur* úr jökulruðningi, sem skriðjökull hefur skilið eftir eða orpið upp
Eftir legu efnisins má greina jökulurðir í botnurð, jaðarurð, urðarrana eða jökulgarð.

kennisnið vegar
þversnið hornrétt á veg, sem sýnir almenna uppbyggingu hans

kerfisbundin bergboltun
bergboltun með kerfisbundinni staðsetningu bergbolta

kílingarefni
steinefni sem kílt er niður í annað grófara *steinefni* til þess að loka yfirborði þess

kílt *púkk*
burðarlagsefni úr grófpúkki stöðgað með fínpúkki

kjarni
Innsti hluti mannvirkja eins og brimvarnagarða og jarðvegsstíflna.
Kornastærð kjarna getur verið breytileg.

kjörraki
rakastig, sem efni skal hafa, til að gefa hámarks þurr-rúmþyngd við Proctorpróf
Við *þjöppun* er kjörrakinn háður þjöppunarbúnaði.

klapparhreinsun
fjarlæging lausra jarðefna ofan af klöpp fyrir sprengingu

klapparnáma
náma, þar sem fast *berg* er losað og í mörgum tilfellum unnið, meðal annars til vegagerðar
Sjá bergnáma. Er einnig notað um frágengna námu, sem er ekki í notkun.

klepragígur
lágt eldvarp, sem hlaðist hefur upp úr hraunslettum, er kastast hafa upp úr gosopi og límst saman eftir fallið, þegar þær storknuðu

klæðing
þunnt *slitlag*, blanda af bikbindiefni og *steinefni*
Gerð úr þunnbiki, þjálbiki eða bikþeytu, sem sprautað er á vegyfirborðið og *steinefni* sem stráð er ofan í það.

klöpp
Sjá *berg*.

kornadreifing
Sjá *sáldurferill*.

kornalögun
lögun korna, lýst með ýmsum stikum
Stikar sem lýsa lögun korna eru flestir hlutlægir, svo sem lengd/breidd, lengd/þykkt, breidd/þykkt en aðrir huglægir, til dæmis skarpkantað, ávalt, núið o.s.frv.

kornastærð
stærð korna í *steinefni* [vegagerð]
Kornastærð er oft mæld með sáldurgreiningu. Dæmi sandkorn sem er 2 mm í þvermál; steinvala sem er 50 mm í þvermál.

kornastærð í bergi
stærð steinda (kristalla) í bergi [jarðfræði]Stærð kristalla er háð því í hvaða umhverfi bergið storknar, í lofti (glerkennt), á miklu dýpi (grófkorna) eða á yfirborði (dulkorna til meðalkorna).

krafa
þörf eða vænting sem er yfirlýst, almennt undirskilin eða skyldubundin
„Almennt undirskilin“ merkir að fyrir því sé hefð eða almenn venja hjá fyrirtækinu, viðskiptavinum þess og öðrum hagsmunaaðilum, að þörfin eða væntingin sem umræðir sé undirskilin.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

kristalbygging
innbyrðis afstaða frum- eða sameinda í kristölluðum efnum, sem endurtekur sig óbreytt hvarvetna í efninu
Í kristölluðu bergi mynda steindir kristalla af mismunandi gerð og lögun. Kristallabyggingin er ráðandi um kleyfni bergs og hvernig brotsár þess lítur út.

kröfuflokkur
gæðaflokkar *Evrópustaðla* fyrir niðurstöður efnisprófana
Í Evrópustöðlum (framleiðslustöðlum) eru skilgreindir kröfuflokkar (category) fyrir rannsóknaniðurstöður allra þeirra prófunaraðferða sem lýst er í prófunarstöðlum. Kröfuflokkarnir eru sá mælikvarði sem skal nota þegar settar eru fram kröfur t.d. til vegagerðarefna.

kröfulýsing
lýsing á kröfu fyrir verkframkvæmd
T.d. í útboðsgögnum. T.d. í útboðsgögnum.

kubbaberg
stuðlað *basalt* með stuttum og grönnum stuðlum, sem oft mynda sveipi í *bergi*
Algengt í móbergsmyndun

kurlun
upprif efnis í yfirbyggingu vegar [í vegagerð]
Oftast gert með riftönn(um), stundum með gróftenntri tromlu (kurlun á yfirbyggingu).

kvörðun
samstilling á tæki eða áhaldi í samræmi við gilda viðmiðun

laggangur
gangur, sem hefur orðið til við það, að bergkvika þrengir sér inn á milli jarðlaga og myndar innskotslag, sem venjulega er samlægt lögum grannbergsins

lagnamylsna
steinefni, sem liggur næst lögnum, svo sem rörum og köplum
Áður var notað orðið lagnasandur.
Oft er notað brotið *steinefni* 0⁄8 mm.

lagning
losun efnis af flutningstæki og dreifing þess í tiltekið lag vegar
Með þar til gerðum búnaði. Einnig notað orðið útlögn.

lagþykkt
þykkt á tilteknu lagi í vegi eftir *þjöppun*

landgrunnsset
set á landgrunni, sem er að mestu úr landrænu setefni, en víða er það blandað lífkynja efni úr sjónum, svo sem leifum af skeljum og kuðungum

landmótun
það, að landslag myndast og breytist af völdum náttúruafla

landmótunarfræði
grein af jarðfræði, sem fjallar um það, hvernig landslag verður til og breytist í tímans rás, og um þau öfl, útræn og innræn, sem þar eru að verki

landris
það, að land lyftist; ástæður eru sama eðlis og ástæður fyrir landsigi

landrænt setefni
setefni, sem berst ofan frá landi og sest til á sjávarbotni eða í stöðuvatni

landsig
það, að land sígur
Ástæður geta verið margvíslegar: röskun á flotjafnvægi, hitabreytingar og spennubreytingar í jarðlögum, bergkvikuhreyfingar o.fl.

laus *jarðefni*
allt set og *jarðvegur* ofan á berggrunni
Einnig notað *jarðgrunnur*.

láhola
borhola, í neðri mörkum jarðgangaþversniðs
Gólfhola; nálega lárétt hola sem er boruð í sama fleti og fyrirhugaður gólfflötur þversniðsins eða rétt við hann.

leir
bergmol, smærra en 0,002 mm
Orðið leir er oft notað um bergmol, sem í eru leiragnir að miklu leyti.
Þurr leir er harður, en mýkist og jafnvel flæðir, ef hann blotnar.
Sjá einnig leirögn.

leirsteinn
setberg (molaberg) úr *leir* að mestu leyti

leirögn
leiragnir eru smæstu korn, sem myndast við *veðrun* og svörfun bergs
Tíðum eru þær örsmáar flögur. Þær eru minni en 0,002 mm, en sums staðar er þó miðað við 0,004 mm. Leiragnir sökkva treglega eða ekki í vatni vegna smæðar. Sé *leir* núinn milli fingurgóma, finnst ekki fyrir ögnum, og þær eru ósýnilegar berum augum.

lekt
hæfi lags í *veghloti* til að hleypa vatni í gegn um sig
Vatnið er leitt til hliðar, út úr veghloti.

létt steinefni
steinefni undir tiltekinni rúmþyngd
Steinefni með þurreðlismassa < 2000 kg/m3, ákveðinn samkvæmt ÍST EN 1097-6 eða lausan þurreðlismasssa < 1200 kg/m3, ákveðinn samkvæmt ÍST EN 1097-3. Dæmi um steinefni af þessu tagi er vikur.

lindá
bergvatnsá, sem á sér upptök í lindum, oft við hraunjaðra eða ung berglög
Lindarvatn er tært. Hiti þess og rennsli breytist lítið árið um kring. Bakkar lindár eru að jafnaði grónir niður að vatnsborði.

lífdísill
esti af lífolíu og alkóhóli
Esti verður til við efnahvörf milli fitusýru og alkóhols. Af fitusýru og metanóli myndast metýlesti (metýlester), af fitusýru og etanóli myndast etýlesti (etýlester). Lífdísil má nota sem mýki í *þjálbik*.

lífkynja *set*
flokkur settegunda, sem einkum verða til úr leifum dýra og plantna
Dæmi: lög af skeljasandi og kísilgúr.

lífolía
olía unnin úr jurta eða dýraríkinu
Flokkar: Jurtaolía, fiskiolía og dýraolía.

lífrænar leifar
fíngerðar leifar í jarðvegi af jurtum eða dýrum á ýmsum rotnunarstigum

línuálag valta
þyngd valta, í kyrrstöðu og án titrunar, á hverja lengdareiningu tromlu

líparít
súrt gosberg, dulkorna, venjulega ljóst á lit, grátt, gulleitt eða bleikt

lýsi
fljótandi fita unnin úr tilteknum fiskum eða úr lifur eða spiki dýra
Lýsi unnið úr ansjósum er notað sem hráefni í *mýkingarefni* fyrir bik. Þá er því breytt í ester sem er ein tegund lífdísils.

löss (**hvk**)
einsleitt, óharðnað fokset, sem er að mestu leyti úr sylti

magndreifirit
efnismagn úr vegskæringum annars vegar og efnisþörf í fyllingu, *rofvörn* og *styrktarlag* hins vegar
Á magndreifiriti er sýnt magn fyllinga og skeringa á 20 m stöðvabili svo og summurit. Einnig er gefið upp magn samfelldra fyllinga og skeringa. Magn styrktarlags er sýnt á sér ás.

magneftirlit
mæling á aðföngum til verks og samanburður við áætlun
Hér er átt við efnismagn t.d. steypu, *malbik*, bik o.s.frv.

magnjafnvægi
þegar rúmmál þess efnismagns, sem er nýtanlegt úr vegskæringum, er jafnt því sem þarf í veghlotið á ákveðnum kafla
Einnig nefnt massajafnvægi.

magnreikningar
útreikningar á magni efna úr vegskæringum og efnisþörf í undir- og yfirbyggingu, einnig efni úr námum og efni sem verður ofaukið

malarás
hryggur úr sandi og *möl*, venjulega langur og bugðóttur
Hann myndast sem *set* úr straumvatni í göngum undir skriðjökli, í sprungu í jöklinum eða í farvegi á yfirborði hans. Hryggurinn situr eftir, ef jökullinn hopar.

malardreifari
búnaður, til að dreifa *steinefni* í fremur þunnu og jöfnu lagi á veg
Tæki til að leggja burðarlagsefni og klæðingarefni á veg. Sjá útlagnarvél.

malargreiða
aukaútbúnaður aftan á veghefli til að dreifa malarröst

malarnáma
efnistökustaður til töku malar
Er einnig notað um frágengna námu, sem er ekki í notkun.

malarröst
röst sem myndast úr *möl* við heflun vega

malarslitlag
slitlag úr óbundnu *steinefni*
Með þéttan sáldurferil á bilinu 0-20 mm, gjarna nokkuð *leir*- og syltarríkan.

malarvegur
vegur lagður malarslitlagi

malbik
blanda af *steinefni* og bikbindiefni hrærð í stöð
Malbik er safnheiti fyrir margs konar blöndur af stífbiki og *steinefni*. Mismunur þeirra er einkum fólginn í sáldurferli steinefnisins og seigju bindiefnisins. Yfirleitt blandað við 130-190 °C. Dæmi um gerðir malbiks eru m.a. slitlagsmalbik og steinríkt malbik.

malbikskurl
smátt mulið *malbik*
Verður til þegar *malbik* er kurlað.

marbakki
setlagabakki framan við strönd
Hann teygist út í vatnið frá fjöru eða brimþrepi. Setefni berst að marbakka frá fjörunni, þegar öldugangur er, eða með strandburði. Marbakki er að jafnaði skálögóttur.

markalínur
línur á sáldurriti, sem sýna innan hvaða marka *sáldurferill* á að liggja [jarðtækni]

massapróf
próf sem mæla eiginleika efnisheildar (efnismassa) svo sem *burðarþol* og *þjöppun*
Grunneiginleikar *steinefnanna* og *kornadreifing* hafa mikil áhrif á eiginleika efnismassa.
Sjá *grunneiginleikar steinefnis*.

mat á umhverfisáhrifum
við mat á umhverfisáhrifum er á skipulegan hátt gerð grein fyrir áhrifum fyrirhugaðrar framkvæmdar á umhverfið.
Skylt er að meta umhverfisáhrif tiltekinna framkvæmda samkvæmt lögum nr. 106/2000 um mat á umhverfisáhrifum, áður en framkvæmdaleyfi er veitt.

meðalkorna berg
berg með kristöllum, sem eru yfirleitt 1 til 5 mm að stærð

melur
svæði, sem er að mestu slétt, með sand- og syltarbornum jarðvegi, en á yfirborði þakið þunnu lagi úr *möl* og steinum, nægilega þéttu til þess að hefta sandfok
Melur er að uppruna jökulset eða árset. Hann er gróðurlítið land, yfirleitt auðvelt yfirferðar, nema meðan jörð er að þána. Þá er yfirborðið eðjukennt.

méla
1 sjá sylti
2 *steinefni* smærra en 2 mm, *íauki* í *malbik*
Hérlendis er sjaldgæft að bæta framandmélu (2) í malbik, hluti steinefna í þessum stærðaflokki (eiginméla) er yfirleitt nægilegur í malbiksefninu. Erlendis er framandmélu (2) oft bætt í malbik, oftast möluðum kalksteini, sem þá þarf að uppfylla nánar tilteknar kröfur, sjá ÍST EN 13043.
Sjá fínefni, eiginméla og framandméla.

miðhleðsla
sprengihleðsla næst botnhleðslu og venjulega veikari en hún

millilag
lag á milli *setlaga* eða berglaga sem hefur aðra (lakari) eiginleika til mannvirkjagerðar en meginlög námunnar
Sjá *jarðlag*.

millistærðir
sá hluti *steinefnis* sem tilheyrir stærðaflokkum sem lenda á milli efri og *neðri flokkunarstærðar* steinefnisins og um miðbik *sáldurferilsins*, t.d. grófur *sandur* í malarefni

minniháttar efnistaka
efnistaka sem er önnur og meiri en *efnistaka* til eigin nota landeiganda, en minni en tilkynningarskyld og/eða matsskyld *efnistaka*.

misgengi
bergsprunga, þar sem sprunguveggir hafa færst til innbyrðis samsíða sprungufletinum
Helstu gerðir misgengja eru siggengi, sniðgengi og samgengi, en auk þess kemur fyrir sambland af siggengi og sniðgengi eða af samgengi og sniðgengi.

misgengisflötur
sprunguflötur í misgengi
Strikstefna og halli misgengisflatar eru m.a. háð spennum, sem voru í berginu, þegar það brotnaði. Flöturinn getur verið láréttur, lóðréttur og allt þar á milli, auk þess að vera boginn. *Berg* við misgengisflöt nefnist misgengisveggur. Sjá sprunguveggur, slútveggur, fláveggur.

misgengisfærsla
afstæð heildarfærsla í misgengishreyfingu, mæld í misgengisfletinum
Misgengisfærslu má greina í þrjár partfærslur: hæðarfærslu, þverfærslu og sniðfærslu. Hver þeirra er hornrétt á hinar tvær.

misgengishreyfing
afstæð hreyfing sprunguveggja, þegar misgengi myndast, og síðar ef hreyfingin heldur áfram

misgengisstallur
stallur á yfirborði lands, þar sem siggengi eða samgengi er

mislæg jarðlög
jarðlög, sem liggja hvort að öðru, en eru ekki samsíða

mislægi
að tvö jarðlög eða fleiri eru mislæg

missig
misfellur í *jarðbyrði*, *vegfyllingu* eða vegi, sem stafa af mismiklum lóðréttum hreyfingum í *undirbyggingu* vegar eða í *veghlotinu*

molaberg
greinist í bergtegundir m.a. eftir *kornastærð*, *kornalögun* og steindum, sbr. völuberg, þursaberg, sandsteinn, syltarsteinn, leirsteinn og jökulberg.

mold
jarðvegstegund, sem er myldi (af lífrænum uppruna) að meira en helmingi þyngdar

móberg
gosberg er verður til úr gjósku, einkum gosösku, sem síðan límist saman
Móberg er einnig nefnt *túff* eða móbergstúff.
Í gjóskunni er oft *vikur* og bergmolar.
Ef mikið er af bergmolum í gjóskunni er það nefnt brotaberg.

móbergsfjall
fjall úr móbergi og bólstrabergi, sem hlaðist hefur upp við eldgos í vatni
Á Íslandi verður það tíðum undir jökli.

móbergshryggur
ílangt móbergsfjall, sem hefur hlaðist upp í eldgosi úr gossprungu í vatni

móbergsstapi
eldfjall, sem að neðan er bratt móbergsfjall, en að ofan gosdyngja
Efri hlutinn hefur orðið til ofan vatnsborðs eða jökuls, sbr. móbergsfjall.

mógler
basaltgler, sem hefur ummyndast við það að taka í sig vatn og er orðið brúnt eða gult á lit
Aðalefnið í íslensku móbergi.

mór, svörður
jarðvegstegund úr myndbreyttum, hálfrotnuðum leifum votlendisplantna, sem legið hafa áfram á staðnum, þar sem plönturnar uxu
Frekari myndbreyting getur haft í för með sér myndun brúnkola.

mulin *möl*
steinefni úr grófu *seti*, eftir að hafa farið í gegnum mulningsvélar

mulningur
steinefni sem hefur farið í gegnum einn eða fleiri *brjóta* í *mölunarsamstæðu*

múrblanda
steinsteypa með smærra *steinefni* en 10 mm

myldi
jarðefni af lífrænum uppruna, þ.e. smágerðar, rotnaðar eða rotnandi leifar plantna og dýra

mylsna
sáldurleifar frá sprengdu og muldu *steinefni* eftir að nýtilegar stærðir hafa verið hirtar

myndbreyting
það, að e-ð skiptir um mynd, breytir gervi

myndbreytt berg
berg, sem áður var *storkuberg* eða *setberg*, en hefur orðið fyrir breytingum á gerð og efnasamböndum á þann hátt, að upphaflegar steindir hafa að fullu breyst í aðrar fyrir áhrif þrýstings og hita

mýkingarefni
Sjá *mýkir*.

mýkir
lítt rokgjarn vökvi sem dregur úr seigju bikbindiefnis, notaður til framleiðslu á þjálbiki
Gerður úr lífrænum efnasamböndum eða eimi af jarðolíu.
Hlutverk mýkis er að minnka seigju biks til langframa.
Dæmi um mýki eru þungar brennsluolíur, smurolíur, repja og lýsisafurðir.
Mýkir er einnig kallaður *mýkingarefni*.

mýktarmark
hitastig á stífbiki þegar stálkúla með vissri þyngd aflagar sérstaklega tilreitt sýni af bikinu á vissan hátt
Þessi mælikvarði á seigjueiginleika er valinn af handahófi og táknar ekki ákveðið eðlisfræðilegt ástand stífbiks. Af þessum sökum er mýktarmark á undanhaldi sem prófunaraðferð og í stað þess hefur seigjumæling verið tekin upp í vaxandi mæli.
Mælingu á mýktarmarki er m.a. lýst í ÍST EN 1427.
Mæliaðferðin er oft kölluð ”kúla og hringur”.

möl
1 bergmol, þar sem meirihluti korna er í stærðar-flokknum 4-63 mm
2 á sáldurriti; *kornastærð* á bilinu 4-63 mm

mölun
vinnsla bergs í *mölunarsamstæðu*

mölunarsamstæða
röð af *brjótum*, sigtum og færiböndum til steinefnaframleiðslu
Einingum er raðað saman með það fyrir augum að *framleiðslan* uppfylli tilteknar kröfur um *kornastærð* og lögun korna.

möndluberg
berg með holufyllingum, þar sem allar blöðrur eru fylltar

nagladekk
negldur hjólbarði ökutækis; með naglaendum í slitfleti til að auka akstursöryggi í hálku að vetrarlagi

náma
efnistökustaður þar sem unnið er að brottnámi efnis
Efnið er losað og eftir atvikum mulið, sigtað, þvegið og stundum geymt til síðari nota. Er einnig notað um frágengna námu, sem er ekki í notkun.

námurétthafi
landeigandi eða annar sá sem hefur yfirráðarétt yfir efnistökusvæði samkvæmt lögum.
Sjá *framkvæmdaraðili.*

námuskýrsla
skýrsla um aðstæður í námu og eiginleika efnisins

námusvæði
svæði þar sem *steinefni* er losað, unnið og geymt, að meðtöldu landrými fyrir vinnubúðir
Nær til alls landrýmis sem tengist nýtingu námunnar, að námuvegi undanskildum.

námuvegur
vegur frá námusvæði að þjóðvegi
Vegur, fyrst og fremst ætlaður til tækja- og efnisflutninga að og frá námu.

náttúrubundinn (**lo**)
sem orðinn er til af völdum náttúrunnar eða er í samræmi við náttúruna

náttúruhamfarir
náttúruviðburður, sem oft er snöggur og svo stórfelldur, að hann veldur varanlegri breytingu á umhverfi
Dæmi: berghlaup, stórt jökulhlaup, sprengigos, hraunflóð, aftakabrim á stórstraumsháflæði, fellibylur, stór jarðskjálfti. Náttúruhamfarir teljast ekki náttúruvá, nema þar sem þær geta orðið mönnum, mannvirkjum eða athöfnum manna til tjóns.

náttúrulegur gróður
allur gróður annar en sá sem telst vera ræktaður gróður

náttúruminjar
1. náttúruverndarsvæði
2. lífverur, búsvæði þeirra, vistgerðir og vistkerfi sem eru á náttúruminjaskrá

náttúruvá
náttúruviðburður, sem kann að verða mönnum, mannvirkjum eða athöfnum manna til tjóns

náttúruverndarsvæði
1. Friðlýst svæði, þ.e. þjóðgarðar, friðlönd, fólkvangar, og náttúruvætti
2. Önnur svæði og náttúrumyndanir sem eru á náttúruminjaskrá
3. Afmörkuð svæði á landi og sjó sem njóta verndar samkvæmt öðrum lögum vegna náttúru eða landslags

neðri *flokkunarstærð*
möskvastærð (táknuð með d) í sigti sem viss hluti *steinefnis* smýgur, oft 10 - 20 %
Þetta hugtak er, ásamt *efri flokkunarstærð*, notað til að skilgreina stærðabil sem megnið af *steinefni* fellur í með hæfilega ákvörðuðum frávikum. Sjá staðal ÍST EN 13242.

netjun
aðferð til að koma í veg fyrir steinhrun
Í stað þéttrar bergboltunar er notað net á milli bolta. Notað bæði í jarðgöngum og skæringum.

netlög
belti meðfram landi í sjó eða vatni sem tilheyrir aðliggjandi landareign
Einkaeignarréttur og lögsaga sveitarfélaga nær að ytri mörkum netlaga sem eru 115 m frá bakka stöðuvatns sem landareign liggur að, svo og 115 m út fyrir stórstraumsfjöruborð landareignar.

niðurrekstrarstaur
stólpi úr tré, stáli eða járnbentri steinsteypu, rekinn í jörð til að bera uppi mannvirki (brýr eða hús)
Niðurrekstrarstaurar eru ýmist reknir niður á fast, eða látnir fljóta, og þá er það núningskrafturinn milli þeirra og jarðefnisins sem ber uppi mannvirkið.

niðurrekstur
það að reka niður staura sem eiga að bera mannvirki

núningsstuðull
einingarlaus stuðull sem lýsir mótstöðu tveggja samliggjandi hluta gegn mismunarhreyfingu
Núningsstuðull er oft táknaður með gríska bókstafnum μ.
Oft er talað um viðnámsstuðul.

ofanafýting
afnám lauss jarðefnis ofan af klöpp eða öðru nýtanlegu *jarðefni*
Sjá afnám.
Einnig er notað ofanýting.

ofbrot
berg, sem sprengt er eða losnar, utan hönnunarmarka

olíumöl
blanda af þjálbiki, vegolíu, ásamt loðbæti (viðloðunarefni), og *steinefni* með dreifðum sáldurferli, lítt eða ekki þurrkuðu
Var notuð sem *slitlag* á vegi með umferð undir 1500 ÁDU. Blönduð í olíumalarstöð.

opna
staður, þar sem sjá má eitt eða fleiri jarðlög, sem að öðru leyti eru hulin *jarðefni* eða gróðri

orkulosun
það, að orka losnar úr einu orkuformi og breytist í annað
Dæmi: Fjaðurorka, sem er mættisorka, losnar og breytist í hreyfingarorku og hita.

orkusöfnun
það, að orka safnast saman, hleðst upp
Dæmi: fjaðurorka í fjaðurefni, stöðuorka vatns í miðlunarlóni vatnsorkuvers, raforka í rafgeymi.

óbundið *steinefni*
steinefni sem ekki er blandað bindiefni af neinu tagi svo sem biki eða sementi

óflokkað *steinefni*
steinefni sem ekki hefur verið sigtað, eða flokkað á annan hátt í kornastærðir

óseyrarlög (**hvk, flt**)
setlög, sem einkenna jarðlagastafla óseyrar
Neðst og efst eru lög, sem liggja að mestu lárétt, en þar á milli eru lög, sem hallast frá landi.

óseyrarslétta
samfellt sléttlendi, venjulega með mörgum árkvíslum, sem hefur myndast við það, að óseyrarsvæði hefur smám saman þakist árseti og orðið að ársléttu

óseyri
jarðlagastafli úr seti, er myndast, þar sem straumvatn rennur í stöðuvatn eða sjó
Straumhraði minnkar þar snögglega og jafnframt aurburðarmáttur árinnar. Skriðaur sest fyrir við ármynnið, nema brim eða hafstraumar hindri, en svifaur berst brott að mestu. Að gerð er óseyri á mörkum árset og sjávarset eða stöðuvatnsset. Algengt er, að óseyri nái að hluta upp úr vatninu. Hluti hennar, sem að jafnaði stendur upp úr, nefnist óshólmi.

plötupróf
aðferð til að mæla *burðarþol* og *þjöppun* jarðefnis
Felst í að mæla hversu mikið stálplata af tiltekinni gerð sígur undir tilteknu álagi sem er sett á hana í þrepum.
Aðferðinni er m.a. lýst í DIN 18134 og ASTM D 1196. Í Alverk ’95 er vísað í ZTVE-StB76 Boden Prüfverfahren.

plötupróf í stórum stálhólki
próf á *steinefni*, gert á rannsóknastofu eftir að steinefninu hefur verið komið fyrir í stórum stálhólki og þjappað
Notað meðal annars til að athuga hvaða áhrif vatnsmettun hefur á burðarþolseiginleika steinefnis. Oft gert á grófu *steinefni*, t.d. skriðuefni.

proctorpróf
aðferð til að mæla hvernig þurr rúmþyngd steinefnis breytist með rakainnihaldi þess
Tvær mismunandi aðferðir eru notaðar, Standard Proctor og Modified Proctor. Í þeirri síðarnefndu sætir sýnið meðal annars öflugri *þjöppun* en í þeirri fyrrnefndu.

próf
mæling samkvæmt tiltekinni aðferð
Sjá *prófun*.

prófmölun (prufumölun)
mölun efnis í smáum stíl í tilraunaskyni, gerð til að auðvelda athugun á því hvort *steinefnið* uppfyllir tilskildar kröfur að *mölun* lokinni

prófsprenging
sprenging sem gerð er í því skyni að finna hæft *berg* eða hentuga sprengiaðferð

prófsýnaeftirlit
eftirlit verkkaupa sem byggist á sýnum (ekki endilega slembiúrtaki) af eftirlitsviðfanginu og er beitt á ýmsum stigum framkvæmdarinnar, gjarnan þegar sjónrænt *eftirlit* vekur grun um galla
Prófsýnaeftirlit er miklu minna að umfangi en hefðbundið framkvæmdaeftirlit. Því má beita hvar sem er í framkvæmdaferlinu og stundum er því beitt sameiginlega af verkkaupa og verktaka til að útkljá ágreining um gæði.

prófun
ákvörðun eins eða fleiri eiginleika samkvæmt verklagsreglu
Prófun gerð með margvíslegum prófum, sjá *próf*.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

púkk
steinefni, úr sprengdu eða rippuðu *bergi*, innan stærðarbilsins 4-300 mm
Sjá einnig *fínpúkk* og *grófpúkk*.

púkkmulningur
mulið *púkk*

rakastig
þyngdarhlutfall (%) vatns í *steinefni*, sem hlutfall af þyngd þurrefnis

raufarþétting
athöfnin að loka rauf í steinsteypu með til þess gerðu þéttiefni

reiðvegur
vegur einkum ætlaður umferð ríðandi manna

rekjanleiki
það að geta rakið sögu, notkun eða staðsetningu þess sem um er að ræða
Aths. 1: Þegar um er að ræða vöru, getur rekjanleiki tengst
-uppruna efna og hluta,
-vinnslusögu,
-dreifingu og staðsetningu vöru eftir afhendingu.
Aths. 2: Í mælifræði er skilgreiningin í VIM:1993, 6.10, hin viðtekna skilgreining.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

rekþil
smíð úr einingum, sem reknar eru niður í jörðina, venjulega lóðrétt; þær læsast saman á hliðunum og mynda þil eða vegg
Rekþil er oftast stálþil, einkum notað í öryggisskyni til afstífingar við útgröft og þá oft til bráðabirgða en einnig til að mynda stalla.

repjuolía
olía, pressuð úr fræjum repjuplöntunnar
Repjuolía var um tíma notuð sem *mýkingarefni* í klæðingar, en annars sem matarolía.

réttskeið
3-5 m langt borð/löng fjöl til að sannreyna sléttleika vegar

riftönn
búnaður, sem hægt er að festa á veghefil eða jarðýtu, til þess að rífa upp efni
Notuð til að rífa upp fast efni t.d. jökulruðning og ummyndaða klöpp.

rippað efni
efni sem losað er með *riftönn*
Riftennur eru t.d. á jarðýtu eða gröfu.

rishryggur
ílöng landspilda, sem hefur risið miðað við umhverfi sitt og er afmörkuð á tvær eða fleiri hliðar af misgengjum

rof
sameiginlegt heiti á *veðrun* og svörfun bergs og annarra jarðefna ásamt brottflutningi hins sundraða efnis með vindi, vatni eða ísi
Sjá efnahvarfarof og aflrænt rof.

rofflötur
yfirborð lands eða bergs, sem hefur orðið fyrir rofi

rofmörk
takmörk, sem því eru sett á hverjum stað, hve rof getur lækkað yfirborð lands mikið
Renni t.d. á í vatn, getur árrofið ekki lækkað landið nema um það bil til móts við yfirborðshæð vatnsins.

rofslétta
landsvæði, sem hefur orðið fyrir rofi í langan tíma, án þess að jarðskorpuhreyfingar eða eldvirkni hafi raskað því, og er því orðið að mestu slétt og flatt

rofvörn
þekja til varnar gegn rofi af völdum straumvatns, öldugangs og vinds
Til dæmis grjóthleðsla sem veit að árfarvegi eða er í fjöruborði.
Sjá grjótvörn,sjóvörn, brimvörn

runi
magn af efni (þyngd eða rúmmál), sem berst á tímaeiningu gegnum tiltekið þversnið

rúmeftirlit
Sjá eftirlitsaðferð.
Athugun á því hvort tilteknir hlutar af veghlotinu séu innan leyfðra vika frá fyrirmælum í verklýsingu.
Dæmi: Staðsetning á yfirborði undirbyggingar, staðsetning veglínu, þakhæð í undirgöngum, *ýfi* á vegyfirborði.

rúmþyngdarmæling
ákvörðun á þyngd efnis í rúmmálseiningu
Gert á rannsóknarstofu eða á byggingarstað.
Mæld er bæði laus rúmþyngd og rúmþyngd þjappaðs efnis.

rykbindiefni
efni, notað til að draga úr ryki á malarvegum
efni, notað til að draga úr ryki á malarvegum
T.d. CaCl2 og NaCl.

rykbinding
aðgerð til að draga úr ryki á malarvegum

rýmkun
aðgerð til að stækka þversnið jarðganga [gangagerð]

rýni
ferli til að ákveða hvort viðfangsefnið henti eða sé fullnægjandi og nægilega virkt til að ná settum markmiðum
Dæmi: Rýni stjórnenda, rýni hönnunar- og þróunar, rýni á kröfum viðskiptavina og frábrigðarýni.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

rýnifundur
fundur til að ná sameiginlegum skilningi á verkþáttum í sérverklýsingu
T.d. sameiginlegur fundur eftirlits, verktaka og hönnuða. Sjá rýni.

ræktað land
land að lokinni meðferð, svo sem jarðvinnslu, sáningu eða áburðargjöf, sem eykur afurðir þess
Garðar, tún, akrar, skóglendi o.fl., þ.e. land sem hefur verið ræktað með jarðvinnslu, sáningu og reglulegri áburðargjöf, land í skógrækt eða land sem hvorki hefur þarfnast jarðvinnslu né sáningar til að verða slægjuland en er það vegna áburðargjafar og er notað sem slíkt.

rörhleðsla
sprengiefnishleðsla einkum í plaströr
Notuð, þegar þarf að dempa áhrif sprengingar.

safnlína efnismagns
magndreifirit, sýnir uppsafnaðan mismun efnismagns úr vegskæringum og efnisþörf í fyllingar
Oft nefnd massavægislína.

saltbera (**so**)
að dreifa salti til að eyða hálku
T.d. á vegi og götur.

salvi
efni sem losað er við hverja sprengingu
Sjá einnig *sprengilota*/*sprengirúst*.

samdráttarrauf
rauf í steinsteypu til að stýra sprungumyndun vegna rýrnunar

samgengi
misgengi, sem hefur það einkenni, að slútveggur hefur risið miðað við flávegg
Samgengi myndast tíðum, þar sem jarðlög eða stinnhvolf kýtast saman. Misgengisflöturinn hallast venjulega minna en 45°. Sbr. siggengi.

samhverfa
stafli samhverfra jarðlaga

samhverft *jarðlag*
jarðlag, sem gert er ráð fyrir, að hafi verið slétt í fyrstu, en er nú innhvelft, oftast vegna jarðhniks

samloðun
hæfileiki efnis til að loða saman

samlæg jarðlög
jarðlög, sem liggja hvort að öðru og eru samsíða

samlægi
að tvö jarðlög eða fleiri eru samlæg

samningur
bindandi samkomulag
Sjá ÍST EN ISO 9000.

samræmi
það að uppfylla kröfu
Sjá ÍST EN ISO 9000.

samsíða innskæra
innskæring með samsíða borholum

sanda
dreifa sandi á hálku til að hækka viðnámsstuðul milli hjólbarða og vegar

sanddreifari
tæki til að dreifa sandi

sandgirðing
girðing til að stöðva sandrenning, breyta stefnu hans eða láta sandinn safnast á valinn stað
Sandgirðing dregur úr vindhraða sem verður til þess að sandurinn staðnæmist beggja vegna girðingarinnar.

sandgrynning
grynning, sem er mynduð af lausu seti úr sandi og *möl*

sandhlutfall
þyngd *steinefnis* á kornastærðabilinu 0,063-4 mm, reiknuð í prósentum af heildarþyngd *sýnis*

sandhóll
hóll úr foksandi
Sandhóll færist til í vindi, ef rof á sér stað áveðurs í honum og setmyndun hlémegin.

sandkista
geymsla fyrir hálkuvarnarsand eða salt

sandkorn
sandkorn eru oftast orðin til við *veðrun* og svörfun bergs, en stundum eru þau gosaska
Tíðum eru þau ávöl af núningi í vatni og vindi. Sandkorn í gjósku eru skarpköntuð. Stærðarmörk, samkvæmt Evrópustaðli, eru 0,063 - 4 mm. Sandkorn eru sýnileg berum augum. Þau sökkva í vatni.

sandlag
lag úr sandi t.d. undir hellu- eða steinlögn

sandrif
löng og mjó sandgrynning í sjó eða stöðuvatni, tíðum með fram strönd og mynduð við strandburð
Sum sandrif ná upp úr vatninu, einkum þegar vatnsborð stendur lágt.

sandsteinn
setberg (molaberg) úr sandi að mestu leyti

sandur [**vegagerð**]
steinefni með kornastærðir á bilinu 0,063-4 mm

sandur [**jarðfræði**]
bergmol, sem í eru sandkorn að miklu leyti, en lítið af leirögnum
Þurr sandur er laus, en votur sandur óþjáll og oft nokkuð fastur undir fæti.
Sjá einnig sandkorn.

sáldur
sá hluti *steinefnis* sem smýgur tiltekið sigti

sáldurferill
línurit sem lýsir innbyrðis hlutföllum kornastærða í *steinefni* með því að tengja saman möskvastærð í sigti og *sáldur sýnisins* á sama sigti
Sáldurferillinn er svokallað dreififall (cumulative distribution function) og lárétti ásinn í línuritinu, sem tilgreinir kornastærðir, er yfirleitt kvarðaður með veldisfalli af tölunni tveir.

sáldurgreining
ákvörðun á hlutföllum kornastærða í sýni

sáning
það að sá; dreifing á grasfræi til uppgræðslu, í gróðurlaus svæði með fram vegum og flög eftir jarðvegsrask eða námuvinnslu [vegagerð]
Sjá áburðardreifing.

sementsfestun
blöndun sements í *steinefni*, til að auka burðargetu þess

set
jarðefni sem borist hefur um yfirborð jarðar og sest að á þurrlendi, botni vatns eða sjávar
Dæmi: *grjót*, *möl*, *sandur*, *jökulruðningur*, sylti og *leir* en einnig *gjóska*.

setberg [**jarðfræði**]
berg, sem myndast úr seti við það, að *setlag* þjappast undir fargi og límist saman með efnum, sem berast um það með jarðvatni, eða á þann hátt, að kornin í setinu festast saman við nýmyndun kristalla úr efni setsins
Setberg er mismunandi eftir setinu, sem það er myndað úr, en seti má skipta í þrjá flokka. Dæmi: hverahrúður er myndað úr efnahvarfaseti, kalksteinn úr lífkynja seti og molaberg úr bergmolsseti.

setberg [**vegagerð**]
berg úr *seti*
Myndast við það að *setlag* þjappast undir fargi og límist saman með efnum sem berast um það með jarðvatni þannig að kornin í setinu festast saman vegna nýmyndunar kristalla úr efni setsins

setefni
laust jarðefni, sem er að berast frá einum stað á annan, þar sem það getur sest að og orðið að seti
Á erlendum tungum er efnið nefnt sediment, þótt það hafi ekki enn sest að.

setefnisburður
flutningur setefnis af völdum náttúruafla, einkum þyngdarkrafts, vinds og hreyfingar vatns í straumvötnum, stöðuvötnum og sjó

setlag
jarðlag úr *seti*

setlagafræði
grein af jarðfræði um *set* og setlög

setmyndun
það, að *jarðefni* flyst til, sest að og myndar *set*
Sjá *set*, *setlag*, *setberg*

setnáma
náma í lausum setlögum

sérverklýsing
lýsing einstakra verkþátta í útboðslýsingu, til viðbótar við almenna verklýsingu

sig
lóðrétt samþjöppun efnis

sigdalshelft
ílöng landspilda, sem hefur sigið miðað við umhverfi sitt og er afmörkuð öðrum megin af misgengi
Hinum megin hafa berglög svignað niður án þess að brotna að ráði.

sigdalur
ílöng landspilda, sem hefur sigið miðað við umhverfi sitt og er afmörkuð á báðar hliðar af misgengjum

siggengi
misgengi, sem hefur það einkenni, að slútveggur hefur sigið miðað við flávegg
Siggengi myndast tíðum, þar sem tognar á jarðlögum eða stinnhvolfi.
Misgengisflöturinn hallast venjulega meira en 45° frá láréttum fleti.

sigmæling
mæling á sigi vegar, með þar til gerðum búnaði
Sig er oftast mælt þegar vegir eru byggðir á mýrum en einnig á háum fyllingum.

sigplata
1 stálplata sem notuð er til sigmælinga
2 steinsteypt plata við brúarenda

sigslanga
plaströr, notað til að mæla sig
Oftast 63 mm í þvermál.

sigvatn
sá hluti jarðvætu, sem er á hreyfingu niður að grunnvatnsborði fyrir áhrif þyngdarkraftsins

sífreri
frost er í jörðu allt árið þótt þiðni næst yfirborði á sumrin

síudúkur
dúkur, ofinn eða lagður úr plasttrefjum með mikla *lekt*
Notaður í stað *síulags* og stundum til styrkingar á jarðvegi.

síuefni
steinefni sem uppfyllir síukröfur gagnvart aðliggjandi lögum í *veghloti*

síulag
lag úr *síuefni*
Að jafnaði neðsta lagið í *yfirbyggingu* vegar, á milli yfirborðs *undirbyggingar* og *styrktarlags.*

síþíð jörð
jörð fyrir neðan freramörk

sjávarrof
rof á sjávarströnd og sjávarbotni
Það verður einkum af völdum öldugangs og sjávarstrauma.

sjávarset
set, sem myndast á sjávarbotni og í fjöru Það getur verið efnahvarfaset, lífkynja *set* og bergmolsset að uppruna.
Það getur verið efnahvarfaset, lífkynja *set* og bergmolsset að uppruna.

sjónmat
eftirlit sem í grundvallaratriðum styðst við skynrænar athuganir
Skynrænar athuganir eru sjón, heyrn, bragð, ilmur og snerting. Sjónmat er oft undanfari frekara mats.
Dæmi: Mat t.d. á húmus og *þjálni*.

sjóvörn
vörn gegn ágangi sjávar
Sjóvörn ver land gegn rofi og flóðum.
Sjá *rofvörn*,*grjótvörn*, *brimvörn*

skammær gróður
Gróður sem lifir stutt

skjal
upplýsingar og stuðningsmiðill þeirra
Dæmi: Skrá, forskrift, verklagsregluskjal, teikning, skýrsla, staðall.
Aths. 1. Miðillinn getur verið pappír, seguldiskur, geisladiskur, eða rafrænn tölvudiskur, ljósmynd eða frumupptaka, eða sambland af einhverju af þessu.
Aths. 2: Þegar rætt er um tiltekið safn skjala, til dæmis forskriftir og skrár, er oft talað um „gögn“.
Aths. 3: Sumar kröfur (t.d. *krafa* um læsileika) tengjast öllum tegundum skjala, en hins vegar geta verið aðrar kröfur varðandi forskriftir (t.d. *krafa* um stýringu skjala og stöðu) og skrár (t.d. Sú *krafa* að hægt sé að kalla skrána fram).
Sjá ÍST EN ISO 9000.

skoðun
mat á samræmi með athugunum og mati ásamt mælingu eða *prófun*, eftir því sem við á
Sjá ÍST EN ISO 9000.

skrá
skjal þar sem tilgreindur er árangur sem hefur náðst eða færðar sönnur fyrir starfsemi sem hefur farið fram
Aths. 1: Nota má skrár, til dæmis, til að skjalfesta rekjanleika og til að leggja fram sem sönnun fyrir sannprófun, forvörnum, og úrbótum.
Aths. 2: Yfirleitt þurfa skrár ekki að lúta stýringu á stöðu gagnvart útgáfu.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

skriða
dyngja af *jarðefni*, sem hefur skriðið, hlaupið eða hrunið niður brekku
Sjá hlaupskriða og hrunskriða.

skriðaur
aur, sem berst fram með straumvatni eftir botni farvegar

skriðaursruni
magn af skriðauri, sem berst á tímaeiningu gegnum þversnið í farvegi straumvatns

skriðrákaflötur
bergflötur, sem er rispaður og máður eða fægður af núningi við annan bergflöt, oft þar sem misgengishreyfing hefur orðið
Stundum er bergið myndbreytt af núningshita.

skriðuhlaup
sá atburður, að fylla af jarðefnum losnar og skríður eða hleypur hratt niður brekku

skriðuset
bergmolsset, sem myndast neðan við eða neðst í brekku við jarðefnaskrið
Sjá jarðefnaskrið.

skriðviðnám
mótstaða hjólbarða gegn skriði á vegyfirborði

skrikvísir
mælieining fyrir núningsviðnám milli vegyfirborðs og hjólbarða
Sjá núningsstuðull.

skurðbotn
botn á skurði

skurðhreinsun
að fjarlægja úr skurði allt sem hindrar gott vatnsstreymi um hann

skæra
að gera skæringu
T.d. skæra fyrir vegi.
so: skæra - skærði - skært
Sjá *skæring*.

skæring
1 það að skæra, t.d. að nema brott *jarðefni* úr vegsvæði
2 landformið eftir að efnið hefur verið fjarlægt

skæringarmagn
efnismagn úr skæringu

slagborun
mæling á þéttleika jarðlaga með slagbor
Mælt er hversu hratt stálstöng gengur niður í jarðveg undir tíðum höggum frá vélknúnum hamri. Aðferðin er oftast notuð til að mæla dýpt á klöpp eða burðarhæft efni.
Stundum nefnt kóbraborun.

sléttleiki
mælikvarði á það hversu slétt yfirborð er
Sjá t.d. *hrýfi*, *ýfi* og grýfi.

slit
það að slitna, eyðast við notkun
T.d. þynning á slitlagi vegar vegna umferðar bíla á nagladekkjum.

slitlag
efsta lag vegar, slitflötur til að vernda undirliggjandi lög fyrir áraun af völdum umferðar og veðurfars
Efsta lag í veghloti, bundið (t.d. *malbik* eða *klæðing*) eða óbundið (*malarslitlag*)

slitlagsmalbik
malbikstegund
Einkennist af dreifkorna sáldurferli, sterku *steinefni*, fremur háu bindiefnisinnihaldi og lágri holrýmd eftir útlögn. Notað á vegi og götur.
Sjá ÍST EN 13108-1.

slitlagsskemmd
skemmd í eða á slitlagi

slitþol
hæfileiki *steinefnis* (bundins eða óbundins) til að standast innbyrðis núning korna eða ytri sverfandi áhrif, til dæmis frá negldum hjólbörðum
Til dæmis þol gagnvart sliti frá negldum hjólbörðum.

slíking
athöfnin að gefa slikju
T.d. við sléttun á nýsteyptri gólfplötu.

slúti
e-ð sem skagar fram
Í vegagerð; *berg*, sem slútir fram yfir skurð, vegfláa eða veg

slútveggur
sprunguveggur eða berghluti, sem liggur ofan við hallandi misgengisflöt

smágrýti
steinar í stærðaflokknum 125-250 mm

smitun
Sjá biksmitun.

sniðgengi
misgengi, er hefur það einkenni, að veggir þess hafa færst til innbyrðis í stefnu, sem er samsíða strikstefnu misgengisflatarins
Sniðgengi er nefnt hægra sniðgengi eða vinstra sniðgengi eftir því, hvort sprungubarmur þess hefur færst til hægri eða vinstri, ef horft er til hans frá hinum barminum.

spennibolti
stálbolti, sem er strekktur eftir að honum er komið fyrir

spennuminnkun
Í aflfræði: það, að spenna í efni minnkar

spennuvöxtur
Í aflfræði: það, að spenna í efni vex

sprautusteypa
smákorna steinsteypa, blönduð trefjum, sem sprautað er á flöt

sprengigígur
gígur, sem myndast við það, að kröftugt eldgos þeytir brott *jarðefni*, sem fyrir er kringum gosop

sprengigjá
ílöng lægð, sem myndast hefur við gos í röð þéttsettra sprengigíga

sprengilota
sprengihleðslur, sem hleypt er af í einu skoti
Stundum nefnt *salvi*. Bergið sem losnar er nefnt sprengirúst.

sprenging bergs
losun *bergs* með sprengiefnum

sprengingaráætlun
áætlun um framkvæmd borunar og sprengingar sérhverrar lotu [gangagerð]
Skrifleg áætlun með leiðbeiningum um það hvernig öryggi við sprengivinnu á tilteknum stað skuli tryggt í einu og öllu, ásamt kveikiröð á sprengihleðslum.

sprengingarhæfi
mælikvarði á það hversu auðvelt er að losa *berg* með sprengiefni

sprengirúst
grjóthrúga sem losnað hefur úr bergstáli við sprengingu

sprengt berg
steinefni úr föstu *bergi*, óháð kornastærðum og innbyrðis dreifingu þeirra, sem hefur verið sprengt eða rifið upp með öflugum tækjum

sprengt og flokkað berg
sprengt berg, stundum mulið, sem hefur verið sigtað og fellur innan tiltekinna stærðarmarka
Þetta heiti nær einnig yfir *steinefni* sem er fengið með því að mylja gróft *grjót*.

sprengt og mulið berg
mulið *berg* (mulin klöpp) sem hefur, að lokinni losun farið gegnum mulningsvélar
Þetta heiti nær einnig yfir *steinefni* sem er fengið með því að mylja gróft *grjót*.

sprengt þversnið
þversnið í jarðgöngum, sprengt þannig að kennisnið þeirra rúmist innan sprengda þversniðsins

sprungubarmur
kantur á yfirborði jarðar, þar sem sprunguveggur mætir því

sprungubelti
ílangt svæði, þar sem mikið er um bergsprungur, sem eru nærri samsíða

sprungublokk
berghluti, sem er afmarkaður af sprungum

sprungumynstur
sprungur í *bergi* verða til við hreyfingar á bergmassa og geta myndast í fleiri en eina stefnu á hverju svæði
Sprungur í bergi mynda ákveðið mynstur (sprungumynstur) sem getur verið mikilvægt að þekkja þegar gerðar eru jarðfræðilegar athuganir t.d. á bergnámum.

sprungurimi
rein milli tveggja sprungna, sem hafa svipaða eða sömu strikstefnu

staðbundin bergboltun
bergboltun á afmörkuðum stöðum innan svæðis sem annars er traust

staðlapakki CEN TC 154
safn staðla í staðlaröðinni ÍST EN, sem allir fjalla á einn eða annan hátt um prófanir á *steinefnum* til mannvirkjagerðar (Aggregates) eða kröfur til eiginleika þeirra.

staðlapakki CEN TC 227
safn staðla í staðlaröðinni ÍST EN, sem allir fjalla á einn eða annan hátt um prófanir á vegagerðarefnum (Road Materials) eða kröfur til eiginleika þeirra. Staðlarnir eru um *malbik*, *klæðingu*, steinsteypu og óbundin efni.

stafn
endaflötur í jarðgöngum, þar sem verið er að vinna hverju sinni
Holur nýrrar lotu eru boraðar í stafninn.

starfsleyfi
leyfi til atvinnustarfsemi
Starfsleyfi er ákvörðun viðkomandi heilbrigðisnefndar eða Umhverfisstofnunar í formi skriflegs leyfis þar sem tilteknum rekstraraðila er heimilað að starfrækja tilgreindan atvinnurekstur að því tilskyldu að hann uppfylli viðeigandi ákvæði laga, reglugerða og starfsleyfisins. Sjá http://www.namur.is/leyfisveitingar/starfsleyfi/

stál
lóðréttur endaflötur í bergskæringu eða bergnámu þar sem unnið er hverju sinni

stálhæð
hæð þess *stáls*, sem sprengt skal í einni lotu

steind
kristallað, fast frumefni eða efnasamband í *bergi*, flokkað eftir efnasamsetningu og kristallagerð
Steindir eru frumeiningar *bergtegunda*.
Dæmi um steindir: ólivín, pýroxen, plagioklas.

steindafræði
fræði um steindir, myndun þeirra, gerð og eiginleika

steinefnapróf
aðferðir sem beitt er á rannsóknastofu til að mæla hvers konar tæknilega eiginleika *steinefnis*

steinefni
mulningur úr bergi eða náttúrulega brotið berg
Steinefni er m.a. notað við framkvæmdir.
Dæmi *möl* við vegagerð og í steinsteypu.
Það getur verið náttúrulegt eða malað og flokkað.

steinn
1 stykki úr bergi, að jafnaði stærra en 4 mm
2 bergmol á stærðarbilinu 63-125 mm

steinolía
eimi úr jarðolíu
Sýður við 150-300 °C, m.a notað sem eldsneyti fyrir þotuhreyfla, til upphitunar og á lampa.

steinríkt *malbik*
malbikstegund
Blanda af hörðu stífbiki, og *steinefni* með opinn sáldurferil, ríkan af mélu og grófum mulningi, ásamt lítilræði af trefjum, gerð í malbiksstöð.
Notað sem *slitlag* á vegi og götur.
Sjá ÍST EN 13108-5.

steinsteypa
blanda sements, malar og vatns
Oft er ýmsum efnum bætt í steypuna til að bæta eiginleika hennar. Sjá nánar í ÍST EN 206-1.

steypt *slitlag*
slitlag úr steinsteypu
Getur verið járnbent eða ójárnbent.

steypueftirlit
hvers konar *eftirlit* með ferskri eða harðnaðri steinsteypu
Dæmi: Mæling á sigmáli ferskrar steinsteypu, brotþolsmæling á harðnaðri steinsteypu.
Dæmi: Blöndun steinsteypu, niðurlögn steinsteypu.

steypuhlynning
umönnun steypu á hörðnunartíma
Til dæmis með því að stýra raka- og/eða hitastigi.

steypustöð
stöð til framleiðslu á steinsteypu

stig í verkferli efnisrannsókna
Sjá *framkvæmdarstig*, *framleiðslustig* og hönnunarstig.

stiklingur
greinarbútur sem klipptur hefur verið af tré til gróðursetningar
Stiklingum er stungið í jörðu þar sem þeir skjóta rótum.

stífbik
bik með *stungudýpt* á bilinu 20x0,1 mm - 900x0,1 mm
Skipt í tvo meginflokka, annars vegar 20x0,1 - 220x0,1 mm (hart stífbik), hins vegar 250x0,1 - 900x0,1 mm (mjúkt stífbik). Síðarnefndi flokkurinn er lítt eða ekki notaður hérlendis.

stífnimál
Sjá *stungudýpt*.

stoðveggur
veggur til að verjast jarðskriði
Byggður þar sem hæðarmunur lands ofan veggjar og neðan er það mikill að ekki er rými til að nota fláa.

stofnvegur
hluti af grunnkerfi samgangna eins og það er skilgreint í samgönguáætlun hverju sinni

storkuberg
berg sem myndast við það að bergkvika storknar
Storkuberg má greina í *djúpberg*, *gangberg* og *gosberg*.

stórgrýti
grjót á stærðabilinu 1-2 m

strandburður
setefnisflutningur með fram strönd vegna öldugangs og strauma
Vindur veldur því, að öldur bera efnið oftast skáhallt að strönd, en í útsogi skolast efni þvert út frá henni, svo að úr því verður efnisflutningur með fram ströndinni.

strandfærsla
það, að strönd breytist, þegar efni, sem losnar vegna öldugangs, færist til við strandburð með fram henni og sest að á öðrum stað

strandlón
stöðuvatn á sjávarströnd innan við strandrif
Strandlón er að jafnaði tengt sjó með ósi. Í strandlónum gætir tíðum sjávarfalla. Annað nafn er hóp.

strandrif
rif úr sandi og *möl*, sem hleðst upp þvert fyrir flóa, fjörð eða ármynni, svo að strandlón verður fyrir innan.
Rifið myndar nýja strönd með fjöru og fjörukambi, sem brim hleður upp.

straumflögótt berg
storkuberg, sem ber þess merki, að kvikan var enn á hreyfingu, eftir að hún var farin að storknaAfar kleyfið *steinefni*, klofnar auðveldlega í stórar, þunnar flögur eða skífur.

straumlína
lína í streymandi efni, þannig hugsuð, að hún fylgi alls staðar stefnu straumhraðans á tilteknum tíma

straumvatn
rennandi vatn í farvegi, af hvaða stærð sem er
Straumvötn skiptast í bergvatnsár og jökulár.

straumvörn
þekja til varnar gegn rofi af völdum straumvatns
Til dæmis grjót í vegfláa sem veit að árfarvegi og fyrirhleðslur til að beina straumvatni frá vegi.
Ein gerð rofvarnar.

strikstefna, strik
stefna láréttrar línu í náttúrubundnum hallandi fleti, t.d. jarðlagi eða sprunguvegg
Strikstefna er tilgreind með stærð hornsins milli norðuráttar og línunnar.

strönd
landræma eða svæði, sem liggur að sjó eða stóru stöðuvatni
Strönd hefst við neðri fjörumörk, en eftir landslagi fer, hversu langt upp á land hún er talin ná.

stuðlaberg
stuðlað *storkuberg*, einkum *gangberg* eða *gosberg*

stuðlun
einkenni á storknaðri bergkviku; verður þegar *storkubergið* heldur áfram að kólna og dregst saman og klofnar í ílangar einingar, stuðla, sem tíðum eru sexstrendir
Fyrirbærið er einkum algengt í basalti. Stuðull stendur jafnan hornrétt á kólnunarflöt *bergsins*.

stungudýpt
dýpt á spori sem nál með staðlaða lögun og þyngd markar í stífbik við tiltekið hitastig á tilteknum tíma
Stungudýpt er óbeinn mælikvarði á seigju biks við eitt tiltekið hitastig og er notað til flokkunar á stífbiki. Stungudýptin er tilgreint í tíundu hlutum úr mm.

styrkingaráætlun
áætlun um, hvað skuli gert til að tryggja öryggi jarðganga jafnóðum og þau eru grafin
Styrkingaraðgerð er ákveðin með hliðsjón af jarðtæknilegum aðstæðum.

styrkingarvinna
vinna við styrkingar í jarðgöngum og skæringum
Sjá treysting, stoðun og *grautun*.

styrktarlag
neðsta lag í *yfirbyggingu veghlots*, næst undir burðarlagi og ofan á *fyllingu*
Stöku sinnum er *síulag* eða *frostvarnarlag* milli styrktarlags og *yfirborðs undirbyggingar*. Laginu er stundum skipt í tvennt, efri og neðri hluta styrktarlags. Áður kallað neðra burðarlag.

styrkur
hæfileiki (stein)efnis eða *veghlots* til að standast hvers konar krafta, sem á það kunna að verka, án þess að bregðast hlutverki sínu, svo sem með því að molna niður eða færast úr stað

stæðni
stöðugleiki mannvirkis gagnvart formbreytingum vegna eiginþyngdar og notálags
Hæfileiki efnis til að standast skúfspennur (skerspennur), hvort heldur frá kyrrstæðu eða sveiflukenndu álagi.

stærðadreifingarstuðull (Cu stuðull)
hlutfallið milli kornastærða, sem afmarka 60 % og 10 % *sáldur*

stærðaflokkun d/D
önnur af tveim algengum aðferðum til að tákna stærðaspönn *steinefnis* og sú sem *Evrópustaðlar* mæla fyrir um að sé notuð. Hana má tilgreina sem d/D þar sem d táknar *neðri flokkunarstærð* og D *efri flokkunarstærð* steinefnisins, hvorutveggja í mm. Um leið eru gefnir möguleikar á *yfirstærðum* og *undirstærðum* innan vissra marka, með öðrum orðum má tiltekinn hluti efnisins smjúga sigti með möskvastærðina d og sömuleiðis má tiltekinn hluti efnisins sitja á sigti með möskvastærðina D.
Sjá einnig *stærðaflokkun d-D*.

stærðaflokkun d-D
önnur af tveim algengum aðferðum til að tákna stærðaspönn *steinefnis*. Hér á landi hefur verið algengt að gera ráð fyrir að þessi ritháttur tákni að d sé möskvastærð í sigti sem smæsta efnið í flokknum situr á en D tákni möskvastærð í sigti sem allt efnið smýgur; með öðrum orðum leyfi þessi ritháttur engar *yfirstærðir* eða *undirstærðir*. Dæmi um slíka framsetningu er *steinefni* í *klæðingar*, til dæmis er *stærðaflokkurinn* 11-16 mm nánast hreinsigtaður á þessum sigtum. Þess ber þó að geta að í *Alverki* ´95 er þessi ritháttur notaður en þar er þó einnig gert ráð fyrir yfir- og undirstærðum.
Sjá einnig *stærðaflokkun d/D*.

stærðaflokkur
sigtað *steinefni*, tilgreint með efri og *neðri flokkunarstærð*
Dæmi: 0/32 mm (d/D).

stærstu steinar
stærstu steina má skilgreina þannig að til sé sigti (ímyndað eða raunverulegt) með slíkri möskvastærð að þeir smjúgi með naumindum í gegnum það, þá finnast engir steinar í sýninu sem ekki myndu smjúga í gegnum þetta sama sigti. Þegar *efri flokkunarstærð* (D) er notuð sem mælikvarði á grófleika efnisins er stærð stærstu steina oft táknuð með D'98 sem þýðir að 98 % *steinefnisins* myndi smjúga sigti með möskvastærðina D.
Sjá *efri stærðarmörk*.

stöðugleiki bergs
mælikvarði fyrir líkur á að stærri eða minni stykki losni úr bergi
Einnig nefnt traustleiki bergs.

stöðuvatnsrof
rof af völdum straums eða öldugangs í stöðuvatni eða uppistöðulóni

stöðuvatnsset
set, sem myndast á botni stöðuvatns
Að uppruna getur setið verið efnahvarfaset, lífkynja *set* og bergmolsset.

sumarviðhald
hvers konar viðhald á vegum til að tryggja að vegurinn haldi tilætluðu þjónustustigi
Viðhald sem einungis er hægt að sinna að sumarlagi.

súrt berg
berg sem inniheldur meira en 66 % kísilsýru (SiO_2) miðað við þyngd

svangi
staðbundin sigdæld í vegyfirborði

svarðlag
frjósamt, efsta lag jarðvegs ásamt gróðursverði
Lagið er frjósamasta jarðefnið og í því er mikið af rótum plantna, fræjum, örverum og smádýrum.

svifaur
aur, sem sekkur seint til botns í vatni vegna smæðar efniskornanna eða iðustreymis í vatninu

svifaursruni
magn af svifauri, sem berst á tímaeiningu gegnum þversnið í farvegi straumvatns

svörfun
aflrænt slit og niðurbrot bergs og annarra jarðefna, sem eiga sér stað af völdum vinda, vatnsstraums eða íss á hreyfingu, einkum þegar bergmol berst með

syltarkorn
að því er stærð varðar, eru syltarkorn millistig milli sandkorna og leiragna og verða til við *veðrun* og svörfun bergs
Syltarkorn eru á stærðabilinu 0,002-0,063 mm. Þau eru á mörkum þess að vera sýnileg berum augum, en ef sylti er núið milli fingurgóma eða hún tekin í munn, finnst fyrir kornum.

syltarsteinn
setberg (molaberg) úr sylti að mestu leyti

sylti
bergmol, sem í eru syltarkorn að miklu leyti, en lítið af *leir*- eða sandögnum
Sylti (kvk) er millistig milli sands og leirs, að því er *kornastærð* varðar, en hefur aðra eiginleika. Verði vot sylti fyrir hristingi, gefur hún vatn frá sér. Hún getur sogið það aftur í sig undir þrýstingi og þenst þá út.
Sjá einnig syltarkorn.

sýnataka
brottnám hæfilega stórs hluta af efni (t.d. *steinefni* eða malbiki) til rannsóknar
Oftast til prófunar á rannsóknastofu, í þeim tilgangi að afla nauðsynlegra upplýsinga um eiginleika efnisins.

sýni
lítill hluti eða skammtur af ótilgreindu efni, t.d. *steinefni*, sem sýnir eðli þess og eiginleika

söndun
athöfnin að dreifa sandi
Oft er dreift allt að 8 mm *steinefni*.

tengivegur
þjóðvegur sem tengir héraðs- og landsveg við stofnveg

teningslaga
í laginu eins og hlutur sem líkist að meira eða minna leyti sexflötungi með allar hliðar jafnstórar

tindavalti
valti með tindum

tippa
losa hlass af lausu efni af flutningatæki

tippur
staður þar sem *steinefni* er losað af flutningatæki
Á tipp getur myndast *haugur*, annað hvort til tímabundinnar geymslu , til síðari frágangs í vegi, eða varanlegrar geymslu.

titurhnallur
hnallur, til að þjappa *jarðefni*, sem getur titrað

titurmatari
vélknúinn matari

titurplata
plötulaga þjöppunartæki, sem er látið titra

titurvalti
valti með svighjóli (hjámiðjuhjóli) á tromlu sem orsakar titring á tromlunni

tíðni
1. fjöldi aðgerða á tíma- eða magneiningu [*eftirlit* í vegagerð]
2. fjöldi af lotum, sveiflum eða öðrum fyrirbærum á tímaeiningu
1. Í vegagerð t.d. fjöldi efnisrannsókna m.v. framleitt magn steinefnis.
2. Mælieining: hertz [Hz].

tjara
kolvetnað bindiefni sem verður til við þurreimingu á kolum, viði eða svipuðum efnum
Tjara er ekki sama efni og bik, enda af ólíkum uppruna.
Tjara var áður notuð til vegagerðar sem bindiefni í stað biks, en ekki lengur, þar sem hún er talin krabbameinsvaldandi.
”kolvetnað bindiefni” á að vera þýðing á ”hydrocarbon binder”

togsprunga
bergsprunga er nefnd togsprunga, ef sprunguveggirnir hafa færst sundur, hvort sem sprungan hefur síðar fyllst af jarðefnum eða ekki

treysting
bæting á burðargetu jarðefnis [vegagerð]
Dæmi: Bik- og sementsfestun.

túff
Sjá *móberg*.

tvívalti
valti með tveimur tromlum

umframefni
efnismagn úr vegskæringum, sem er umfram það magn, sem þarf í veghlot

ummyndað berg
berg sem hefur orðið fyrir *ummyndun*
Sjá *ummyndun*.

ummyndun
það að *storkuberg* eða *setberg* breytist að nokkru leyti að gerð og efnasamsetningu tiltölulega grunnt í jörðu, einkum vegna áhrifa frá jarðhita

umsjónarmaður
sérstakur fulltrúi verkkaupa sem hefur umsjón með verki fyrir hans hönd
Sjá ÍST 30.

undanskolun
vatn streymir í gegnum undirstöðu mannvirkis eða undir hana og ber í burtu efni
T.d. gegnum *vegbotn* eða undir sökkul.

undantekt
það að sigta *steinefni* á einu sigti í þeim tilgangi að skilja frá efni af ákveðinni stærð eða smærra
Sáldrið er ýmist tekið til annarra nota eða *haugsett*. Andstæða við *hörpun*.

undirbygging
vegbotn ásamt vegfyllingu
Sjá *vegbotn* og vegfyllingu.

undirbygging úr sprengdu bergi
fylling sem eingöngu er gerð úr sprengdu *bergi*

undirstærðir
kornastærðir í *steinefni* sem eru smærri en *neðri flokkunarstærð* (d)

undirverktaki
sá sem með samningi við aðalverktaka tekur að sér, sem verktaki, að vinna hluta af verki sem samningur aðalverktaka og verkkaupa tekur til

unnið efni
efni úr *bergi*, mulið í til þess gerðum *brjótum*, stundum þvegið og stærðarflokkað

uppblástur
vindrof á jarðvegi, sem gróður getur þrifist í

uppleyst framburðarefni
efni, sem straumvatn ber fram og eru uppleyst í vatninu
Sjá efnahvarfaveðrun og efnahvarfarof.

urðarrani
jökulurð, sem liggur langsum eftir skriðjökli og verður til, ef tveir jöklar renna saman, hvor úr sínum dal, eða ef skriðjökull klofnar á jökulskeri og kemur saman á ný neðan við það
Þá sameinast jaðarurðir jökulstraumanna og mynda urðarrana niður eftir jöklinum. Orðið rönd er einnig notað um urðarrana.

úrkast
ráðstöfun sem gripið er til gagnvart frábrigðavöru til að koma í veg fyrir að hún verði notuð eins og upphaflega var fyrirhugað
Dæmi: Endurvinnsla, förgun.
Sjá ÍST EN ISO 9000.

úrkoma
vatn, sem fellur til jarðar í fljótandi eða föstu formi úr lofthjúpi jarðar

úrköstur
1 svæði utan vegstæðis, þar sem ónothæfu efni og yfirmagni er komið fyrir
2 staður fyrir ónothæft efni eða afgangsefni
Úrköstur er *tippur* með ónothæfu efni.

úrrennsli
það að efni skolast úr vegi þegar vatn rennur yfir hann

úrtaksprófa
framkvæmd úrtaksprófs

útboð
það að verkkaupi leitar skriflegra, bindandi tilboða í framkvæmd verks frá fleiri en einum aðila samkvæmt sömu upplýsingum og innan sama frests

útboðsgögn
gögn sem gera bjóðanda kleift að gera bindandi tilboð í verk

útboðslýsing
útboðsgögn að undanskildum uppdráttum

útkulnuð eldstöð
eldstöð, þar sem engin gosvirkni hefur verið langan tíma og aðstæður benda ekki til, að breyting verði þar á

útlagnarvél
vél sem gengur á beltum og/eða hjólum og leggur malbiksefni í fyrirfram ákveðinni lagþykkt
Einnig nefnd malbikunarvél.

útlínuhola
Sjá formhola.

útlínusprenging
sprenging til að losa *berg* innan ytri marka í þversniði
Markmiðið er að lágmarka snyrtingu á gangaveggjunum.

útlögn
verknaður sem felst í að koma *steinefni*, bundnu eða óbundnu, fyrir á tilteknum stað í vegi

útrænn
lýsingarorð um landmótunaröfl, sem eiga uppruna á yfirborði jarðskorpunnar eða ofan hennar, t.d. *veðrun* eða rof
Sbr. innrænn.

úttekt
kerfisbundið, óháð og skjalfest ferli er miðar að því að afla úttektargagna og meta þau hlutlægt í því skyni að ákvarða að hve miklu leyti úttektarviðmið séu uppfyllt
Úttekt felst í því að athuga hvort kröfur séu uppfylltar.
Úttektum má skipta í innri og ytri úttektir eftir því hvort úttekt er gerð til eigin nota fyrirtækisins (innri úttekt) eða í þágu utanaðkomandi aðila (ytri úttekt).
Sjá ÍST EN ISO 9000.
Sjá einnig verklokaúttekt.

úttektarmæling
mælingar sem notaðar eru við úttektargerð, þ.e. þegar verkhlutar eru gerðir upp, bæði hvað varðar gæði og magn

valti
vélknúið eða dregið tæki með einni eða fleiri tromlum eða röð af gúmmíhjólum til að þjappa *steinefni* (bundið eða óbundið) eða *jarðveg*

varnargarður
garður úr *jarðefni* til varnar gegn flóðum eða hruni
Dæmi varnargarðar við brýr, sjóvarnargarðar og ofanflóðagarðar.
Sjá *rofvörn*, sjóvörn og grjótvörn.

vatnshlot
hlot úr vatni
Afmörkuð heild af vatni.

vatnshverf bindiefni
bindiefni sem harðna eftir snertingu við vatn
Dæmi: Sement, kalk, flugaska, kísill.

vatnsvörn
aðgerð, til að beina vatnsleka í jarðgöngum frá akbraut

vá
tvísýnt ástand eða viðburður, sem tjón getur hlotist af
Dæmi: náttúruvá, styrjöld, farsótt.

válíkindi
líkur á því, að vá á ákveðnum stað og tímabili verði meiri en tiltekið gildi
Mælikvarði á líkindi er tala frá 0 til 1 eða frá 0% til 100%.

veðrun
breyting á lit og gerð bergs og annarra jarðefna ásamt tæringu og molnun, sem fer fram á staðnum, þar sem jarðefnið er
Jarðefni veðrast vegna útrænna áhrifa, svo sem frá ljósi, hitabrigðum, lofti, vatni, efnahvörfum, gróðri o.fl. Veðrun er fyrsta stigið í aftekt jarðefna. Sjá efnahvarfaveðrun og aflræn veðrun.

veðrunarþol
hæfileiki (stein)efnis til að standast áhrif veðurs t.d. úrkomu og vinda og einnig aðskotaefna t.d. salts án þess að eiginleikar þess skerðist

vegarsviti
það, að vatn þrýstist upp í gegnum *slitlag* vegar

vegbotn
undirstaða vegar úr upprunalegum jarðefnum með eða án styrkingar
Sjá *jarðbyrði*.

vegbreidd
heildarbreidd vegar, á milli vegbrúna

vegbrún
skurðlína á milli vegaxlar og fláa

vegflái
hallandi hliðarflötur veghlots, með mótuðu jarðvegsyfirborði, frá vegarbrún að *jarðbyrði* eða skurðbotni
Flái er táknaður með hlutfallinu milli lóðrétts og lárétts ofanvarps.
Sjá flái, fyllingarflái og skurðflái.

vegflokkun
skipun vega í flokka
Hér er átt við flokkun samkvæmt vegalögum, stjórnsýsluflokkun.

vegflokkur
mengi vega, sem gegna sama hlutverki

vegfylling
lag í *undirbygging*u *veghlots*, neðsta lag í vegi ofan á *vegbotni*
Vegfylling hvílir á vegbotni og er undirstaða fyrir efri lög vegarins (*yfirbyggingu*), *styrktarlag*, *burðarlag* og *slitlag*.

veghefill
tæki á hjólum með stálblaði og ýmsum búnaði til að jafna yfirborð úr steinefnum
Heflun felst í því að velta *steinefni* á undan sér og til hliðar

veghelgi
svæði, sem helgað er vegi
Samkvæmt afmörkun í skipulagi, lögum eða kaupsamningi.
Sjá *veghelgislína*.

veghelgislína
lína, sem afmarkar veghelgina
Sjá *veghelgi*.

veghlot
öll uppbygging vegar, efnisheild frá vegbotni til slitlags

veghönnunarregla
viðmið Vegagerðarinnar um rúmhönnun
Sjá rúmlega.

vegkafli
mislangir en ákveðnir hlutar vegar
Dæmi: skilgreindir kaflar í vegaskrá.

vegkleprun
merking á vegyfirborði; kleprar úr litsteypu koma í stað málningar
Þykkt klepra er jafnan 0,5–4 mm. Áður nefnt vegmössun. Sjá vegmerking.

vegmálun
það að mála á yfirborð vega leiðbeiningar fyrir umferðina

vegmerking
það, að koma fyrir umferðarskiltum og yfirborðsmerkingum
Sjá umferðarskilti og yfirborðsmerking.

vegolía
þjálbik, gert úr stífbiki og þungri brennsluolíu (svartolíu) ásamt lítilræði af þynni
Notuð sem bindiefni í olíumöl. Flokkuð eftir seigju við 60° C.

vegrás
opinn v-laga skurður meðfram vegi
Ætluð til þess að taka við yfirborðsvatni.

vegræma
safnheiti fyrir rönd við hlið akbrautar, sem stundum er akfærhliðræma, kantræma, neyðarræma, miðræma og öryggisræma.
Sjá vegöxl.

vegskurður
opinn vatnsfarvegur við hlið vegar
Ætlaður til að leiða burt grunnvatn og ofanvatn. Þversnið vegskurðar er venjulega trapisulaga.

vegvirki
vegur og allt sem honum tilheyrir

vegöxl
ræma, við útbrún akbrautar/göngu- og hjólastígs
Ræman er til öryggis umferð á akbrautinni. Stundum notuð til neyðaraksturs. Sjá *vegræma*.

veiðivatn
á eða stöðuvatn þar sem fiskur þrífst

verk
mannvirkjagerð, hverrar tegundar sem er, hvort sem er verkstæðisvinna, nýsmíði, viðhald, viðgerðir eða endurbætur
Sjá ÍST 30.

verkáætlun
áætlun um framvindu verks sem að lágmarki inniheldur tímasetningar og samhengi verkþátta þess en getur einnig innihaldið áætlun um aðföng og greiðsluflæði

verkfundur
reglubundinn fundur verkkaupa og verktaka um framkvæmd verks

verkgæðamappa
safn skriflegra upplýsinga aflað samkvæmt fyrirmælum í gæðastýringu verks, um verkgæði
Einnig notað orðið gæðamappa.

verkgæði
huglægt eða hlutlægt mat á því að hve miklu leyti framkvæmd verks er í samræmi við *fyrirmæli*, svo sem verklýsingu eða útboðsskilmála

verkkaupaeftirlit
eftirlit, sem að jafnaði kemur til viðbótar framkvæmdaeftirliti
Oftast lítið að umfangi eða takmarkað við ákveðinn verkhluta. Stundum viðhaft til að skera úr ágreiningi verkaupa og verktaka um gæði eða áður en verk er afhent verkkaupa.

verkkaupi
sá sem lætur vinna verk, með eða án undangengins tilboðs
Sjá ÍST 30.

verklagsregla
tiltekin aðferð til að framkvæma starfsemi eða ferli
Sjá ÍST EN ISO 9000.

verklokaúttekt
þegar verki í heild sinni eða að hluta er lokið og tekið út af samningsaðilum

verklýsing
samheiti yfir almenna verklýsingu og sérverklýsingu
Sjá útboðsgögn og útboðslýsingu.

verkmat
eftirlit að verki loknu
Verkmat getur verið af þrennum toga:
1 Úttekt á verki til að sannreyna gæði.
2 Prófanir til að leysa úr ágreiningi.
3 Gagnasöfnun um endingu.

verksamningur
skjalfest samkomulag verkkaupa og verktaka um framkvæmd verks

verktaki
sá sem með verksamningi tekur að sér að vinna verk
Sjá ÍST 30.

verktygi
búnaður, byggingar og önnur aðstaða, sem er nauðsynleg til að framkvæma verk
Verktygi eru fjarlægð að verki loknu.

verkþáttaáætlun
áætlun, sem sýnir hve langur tími er ætlaður fyrir hina ýmsu verkþætti, tækjaþörf og mannafla og tímasetning þeirra
Ítarleg áætlun gerð í framhaldi af verkáætlun.

verkþáttarýni
sameiginleg yfirferð eftirlits, verktaka og oftast hönnuða á sérverklýsingu
Sjá rýnifund.

verkþáttur
einstakur afmarkaður hluti framkvæmdar
Dæmi: a) uppsteypa sökkla, b) stöpla og c) yfirbyggingar brúar.

viðgerð
lagfæring á skemmdu mannvirki

viðloðun
vegagerð; mælikvarði á það hversu vel bindiefni loðir við *steinefni* undir nánar tilteknum kringumstæðum

viðloðunarefni
íblendi fyrir bikbindiefni sem bætir loðun þess við *steinefni*
Sum viðloðunarefni eru gerð úr löngum kolvetnakeðjum. Annar endi þeirra er fitusækinn og tengist bindiefninu auðveldlega, á hinum endanum er amínhópur sem tengist yfirborði steinefnisins við hagstæð skilyrði.
Dæmi um viðloðunarefni af þessu tagi eru ýmis tvívirk amin (diamin), TPH, Wetfix N og Impact 8000. Ýmis önnur efni hafa jákvæð áhrif á viðloðun.

vikur
gjóska úr frauðkenndum, mjög gropnum glerkenndum molum, sem falla harðstorknir til jarðar
Getur flotið á vatni.

vindrof
rof, sem vindur veldur með því að feykja burt bergmoli og öðrum jarðefnum

vinnsla steinefnis
öll vinna við framleiðslu *steinefnis* frá því að það hefur verið losað í námu og þar til það er tilbúið til notkunar
Vinnsla felst í *mölun*, sigtun og þvotti.

vinnsluhorn
lárétt horn milli stöðu við fyllingu og tæmingu gröfuskóflu

vinnslusamstæða
röð samtengdra véla, hver um sig með tiltekið hlutverk í þrepaskiptu framleiðsluferli
Dæmi: Vélbúnaður sem breytir sprengdu grjóti (sprengirúst) í flokkaðar stærðir steinefna, með hörpun, *mölun* og sigtun.

vinnslutækni
verklag við vinnslu *steinefna*, sem er nauðsynlegt til að ná tilsettum efnisgæðum

vinnubúðasvæði
afmarkað svæði fyrir vinnubúðir

vinnuhroð
fjarlæging lausra steina og bergs, sem hætta er á að hryndu annars niður, á meðan unnið er í jarðgöngum
Vinnuhroði er ætlað að tryggja öryggi starfsmanna meðan á gerð jarðgangna stendur.
Sjá hroð og lokahroð.

vinnuumferð
umferð vinnubíla, námubíla og vinnuvéla á ófullgerðum vegi meðan á byggingu hans stendur

vinnuvarnir
treysting jarðganga til bráðabirgða til að tryggja öryggi starfsmanna, einkum fyrir grjóthruni
Sjá vinnuhroð.

virk áreyri
eyri í eða við á eins og hún rennur hverju sinni

virk eldstöð
eldstöð, sem er að gjósa eða aðstæður benda til, að muni gjósa

völtun
athöfnin að þjappa
Sjá *þjöppun*.

völtunarskýrsla
skráning á niðurstöðum völtunarmælinga
Dæmi um völtunarmælingar: a) talning yfirferða, b) mótstöðumælingar í völtum, c) geislamælingar, d) plötupróf

völuberg
setberg (molaberg) úr *möl* og fíngerðara efni milli steinanna, sem tíðast eru ávalir af núningi

yfirborð undirbyggingar
yfirborð *fyllingar* eða *skæringar* eftir atvikum; áseta fyrir *yfirbyggingu* vegarins

yfirborðsáferð steinefnis
Hrjúfleiki yfirborðs *steinefna* getur skipt máli varðandi eiginleika þess til mannvirkjagerðar.

yfirborðsvatn
allt vatn, snjór og ís, sem liggur eða rennur á föstu yfirborði jarðar

yfirbygging
sá hluti *veghlotsins* sem er fyrir ofan *yfirborð undirbyggingar*

yfirhæð
þegar ætluðu sigi á vegi er bætt við hannaða veghæð, er mismunurinn kallaður yfirhæð

yfirstjórnandi
sérstakur fulltrúi verktaka sem hefur umsjón með verki fyrir hans hönd

yfirstærðir
kornastærðir í *steinefni* sem eru stærri en *efri flokkunarstærð* (D)

ýfi
óregluleg vik vegyfirborðs frá hönnuðum fleti og með bylgjulengdir á bilinu 0,5-50 m.
Ýfi hefur sterk áhrif á akstursþægindi og slit á bílum. Í samanburðarskyni eru mælingar á ýfi stundum vegnar með bylgjulengdum þess og bylgjulengdir sem hafa mest áhrif á akstursþægindi vega þyngst. Ófullkominn mælikvarði á ýfi er bil undir réttskeið en yfirleitt eru notuð sérsmíðuð mælitæki sem geta mælt á venjulegum umferðarhraða. Ýfi er oft tilgreint í mm/m (IRI).
Sjá einnig *hrýfi.*

ýruefni
yfirborðsvirk efni sem gera kleift að mynda fleyti úr tveim vökvum (þeyta þá saman) sem annars blandast ekki, eða stuðla að stöðugleika fleytisins
Virkni ýruefna byggist á rafhleðslum sem þau mynda á yfirborði dreifðarþáttarins og varna því að agnir í honum renni saman.
Sápa er ýruefni sem allir þekkja. Ýruefni í bikþeytur eru gerð úr söltum af fitusýrum og hafa margs konar áhrif eftir gerð.

ýta
flutningur efnis með jarðýtu eða sambærilegu tæki

þanbolti
bergbolti með þanhólki á innri enda, sem unnt er að þenja út í *berg* til festingar

þanhólkur
sérstakur hólkur á þanbolta, sem mögulegt er að þenja út í *berg* umhverfis boltann og festa hann með því

þáardýpi
dýpi frá yfirborði vegar niður að frosnu efni

þáarskemmd
skemmd á vegi vegna skertrar burðargetu á þáartíma

þáartími
sá tími þegar freri er að fara úr jörðu
T.d. þegar freri er að fara úr veghloti.

þenslubrot
brot í steyptu slitlagi með lyftingu brotbrúna, vegna hitaþenslu slitlagsins

þenslurauf
rauf í steinsteypu, sem leyfir bæði þenslu og samdrátt steypunnar, vegna t.d. hitastigsbreytinga

þjappmælir (þjöppumælir)
búnaður í völtum sem mælir og skráir bakslag valta frá jarðefnum sem verið er að þjappa
Notaður til að fylgjast með *þjöppun* og staðsetja bletti sem þarf að þjappa betur.

þjálbik
bik, blandað mýki, til að minnka seigju þess
Mýkir í þjálbik getur verið af ýmsu tagi, en algengast er að nota eimi úr jarðolíu (svartolíu, gasolíu), jurtaolíu (repjuolíu) eða lýsisafurðir (estar, lífdísill). Þjálbik getur líka verið leif frá ófullkominni eimingu á jarðolíu.
Þjálbik heldur *þjálni* sinni lítið breyttri árum saman, því að mýkirinn gufar seint eða ekki upp. Þjálbik er flokkað eftir seigju við 60 °C.

þjálki
vökvi sem er blandað í bindiefni til að minnka seigju þess
Dæmi: *Mýkir*, þynnir.
Íblendi af þessu tagi eru t.d. þynnir, rokgjarnt efni sem er blandað í bik til að minnka seigju þess um stundarsakir, *mýkir* sem minnkar seigju biks til langframa og ýmis konar efnasambönd (stundum kölluð flotefni) sem er blandað í steypu, til að gera hana meðfærilegri í niðurlögn.

þjálni
1 lýsing á eiginleikum *fínefna* við mismunandi *rakastig*
Þjál *fínefni* eru óæskileg í *burðarlagi* og *styrktarlagi* en bæta hinsvegar eiginleika malarslitlagsefna.
2 lýsing á flæðieiginleikum steinsteypu

þjálnimark
lægsta rakagildi sem efni getur haft án þess að molna í sundur við hnoðun

þjálnistuðull (Plasticity Index)
mismunur á *flæðimarki* og *þjálnimarki* efnis
Mælikvarði á sambandið milli *samloðunar* fínefna og *rakastigs* þeirra.

þjóðlenda
landsvæði utan eignarlanda sem er þjóðareign
: Land í eigu ríkisins, þótt einstaklingar eða lögaðilar kunni að eiga þar takmörkuð réttindi, t.d. til nýtingar beitar eða fisks í vötnum. Forsætisráðherra fer með forræði þjóðlendna fyrir hönd þjóðarinnar, samanber 3. gr. laga um þjóðlendur og ákvörðun marka eignarlanda nr. 58/1998. Þar kemur fram að enginn megi hafa afnot af þjóðlendu fyrir sjálfan sig, þar með talið að reisa þar mannvirki, gera jarðrask, nýta hlunnindi nema að fengnu leyfi.

þjöppun
hvers konar aðgerðir sem miða að því að minnka holrými í *steinefni*, bundnu eða óbundnu, og auka *burðarþol* þess.
: Í vegagerð eru oftast notaðir *valtar* í þessum tilgangi, stöku sinnum farg.

þjöppunareftirlit
eftirlit með *þjöppun* jarðefna
: Yfirleitt er rúmþyngd efnisins í laginu notuð sem grunnmælikvarði á þjöppunina. Í verklýsingu er oft tilgreind ein aðferð (af mörgum mögulegum) til að mæla þjöppunina. Þjöppunareftirlit er jafnframt nokkurskonar *eftirlit* með styrkleika viðkomandi lags þar sem hann er háður *þjöppun*.
: Dæmi um eftirlitsaðferðir: Talning yfirferða valta, plötupróf, þjöppumælir í völtum, sandkeilupróf, geislamæling.

þjöppunarmæling (þjappmæling)
það að mæla *þjöppun* með tækni sem gerir kleift að ákvarða hversu langt *þjöppun* er gengin eða hvort hún hefur borið viðhlítandi árangur
: Margar aðferðir standa til boða, ýmist á rannsóknastofu eða á framkvæmdastað t.d. *plötupróf*, *þjappmælir*, *rúmþyngdarmæling* og geislamæling.

þjöppunartæki
tækjabúnaður til að þjappa *jarðefni*
: Til dæmis valtar og hnallar

þolvik
leyfilegt vik frá því sem mælt er fyrir um
: Leyft gildi er á bilinu a ± △ þar sem a er fyrirskipað gildi og △ er *þolvik*.

þungatakmarkanir
takmarkanir á öxulþunga ökutækja
: M.a. á þáartíma, meðan freri er að fara úr veghloti.

þunnbik
bik, blandað þynni til að minnka seigju þess
: Algengir þynnar eru steinolía og *hvítspíri* (white spirit). Þunnbik harðnar með tímanum, hratt í fyrstu, vegna þess að þynnirinn gufar upp.

þursaberg
setberg (molaberg) úr *möl* og fíngerðara efni milli steinanna, sem að jafnaði eru brúnóttir

þverfærsla misgengis
lárétt partfærsla misgengisfærslu þvert á strikstefnu misgengisflatarins

þvergengi
þvergengi er sniðgengi í hjáreksbelti með strikstefnu, sem er samsíða beltinu

þvergöng
jarðgöng þvert á aðalgöng

þverskurður
skurður, sem sprengdur er niður í botn jarðganga og þvert á þau, til þess að tengja aukaskurð við aðalskurð þeirra
: Sjá aukaskurður og aðalskurður.

þversnið
skurðmynd þvert á byggingarhluta

þversnið vegar
skurðmynd fullfrágengins vegar og jarðbyrðis
Mörk útlínanna eru jarðvegsyfirborð við fláafót eða ysta punkt skæringar.

þversniðsmæling
mæling á hæð jarðbyrðis eða vegar í sniði þvert á veglínu

þvottabretti
reglubundnar, bárulaga ójöfnur í yfirborði [vegagerð]
Algengt í sandríku vegyfirborði. Myndast fyrir áhrif ökutækja og stafar af ófullnægjandi bindingi milli efniskorna í slitlaginu.

þvottasnigill
skrúfulagaður færibúnaður, sem flytur *jarðefni* í vatni með því að snúast um sjálfan sig
Þvottasnigill er notaður til að þvo fínkorna efni úr grófara *jarðefni*.

þvottur steinefnis
það að skola *steinefni* með vatni á einhverju þrepi í vinnslunni
Oftast gert til að losna við *fínefni* sem loða við steinefnið.

þynningarefni
Sjá þynnir.

þynnir
rokgjarn vökvi sem dregur úr seigju bikbindiefnis, notaður til framleiðslu á þunnbiki
Yfirleitt eimi úr jarðolíu. Hlutverk þynnis er að minnka seigju biks tímabundið.
Dæmi um þynni eru *hvítspíri* og steinolía.

þyrilstraumur
misþyngdarstraumur í sjó eða stöðuvatni, sem stafar af gruggi, er kemur í vatnið
Straumurinn getur hafist við það, að laus eðja, sem sest hefur að, t.d. undan ármynni, skríður af stað undan þunga sínum, þyrlast upp og gruggar vatnið. Þyrilstraumur getur legið út eftir landgrunni og niður kringdarhlíð. Hann getur náð miklum hraða.

ökufleyting
skortur á veggripi, sem getur átt sér stað við of mikinn ökuhraða, sé akbrautin mjög blaut
Ökutæki fleytist vegna þess að vatnsfleygur myndast milli hjóls og akbrautar, sem veldur þrýstingi upp á við, sem er meiri en þungaþrýstingur (hjólsins) ökutækisins.

ölduvörn
þekja eða hleðsla úr grjóti til varnar gegn rofi af völdum öldugangs
Til dæmis grjóthleðsla á vegfláa í fjöru- eða vatnsborði. Ein gerð rofvarnar.
Sjá *rofvörn*, *brimvörn*

örblanda
svifblanda með efnisögnum sem eru milli 1 nm og 100 nm að stærð
Örblanda er gerð úr tveimur blönduþáttum, burðarþætti og dreifðarþætti, sem hvor um sig er einsleitur.
Stærðamörkin 1 nm og 100 nm eru ekki algild.

örfoka
lýsingarorð um land, þar sem allur *jarðvegur*, sem gróður hefur þrifist í, er fokinn burt

öryggisráðstöfun
ráðstöfun ætluð til að koma í veg fyrir slys á fólki og tjón á búnaði

öxl
Sjá vegöxl og hliðræma.

öxulþungatakmarkanir
afturköllun á annars gildandi leyfi til að aka farartækjum með hámarksþunga á öxli um tiltekinn veg eða vegarkafla. Gildir venjulega aðeins um stuttan tíma.

öxulþungi
þungi sem hvílir á einum öxli ökutæ



Efnisgæðaritið – Viðauki 8: Ýtarefni um malbik

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	**Fjöldi síðna**	**Dagsetning**	**Dreifing**
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	66	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 8: Ýtarefni um malbik			

Höfundur/ar	**Verkefnastjóri**	**Tengiliður Vegagerðarinnar**
Ásbjörn Jóhannesson Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson
Styrktaraðili		**Samvinnuaðilar**
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar		

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	**Yfirfarið af**
	BHJ

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur

Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik (janúar 2023)
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Viðauki 8: Ýtarefni um malbik

Frá ritstjórn Efnisgæðaritsins:

Í þessum viðauka er birtur ýmis fróðleikur um malbik sem tekinn var saman á árunum **2006-2007** þegar unnið var að kaflanum um malbik í kafla 6 um slitlög í Efnisgæðaritinu. Uppistaðan eru minnisblöð sem samin voru af Ásbirni Jóhannessyni verkfræðingi á Nýsköpunarmiðstöð Íslands og var efni malbikskaflans að hluta til unnið upp úr minnisblöðunum. Minnisblöðin gera viðfangsefninu mun ýtarlegri skil en ástæða þótti til að gera í kaflanum um malbik og því þótti rétt að birta þau að hluta til í þessum viðauka. Yfirgripsmiklar rannsóknir hafa verið framkvæmdar bæði hér á landi og erlendis frá því minnisblöðin voru skrifuð. Auk þess voru gefnir út Evrópustaðlar 2008, sem meðal annars kölluðu á nýjar prófunaraðferðir sem nú hafa verið innleiddar hérlendis, svo sem hjólfarpróf og Prall slitþolspróf. Einnig voru í sérstökum Evrópustöðlum settar fram kröfur um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit sem framleiðendum ber að uppfylla. Því hafa umtalsverðar breytingar verið gerðar á malbikskaflanum til samræmis við niðurstöður rannsóknanna og staðla. Í endurskoðun á Efnisgæðaritinu í heild sinni um áramótin 2020/2021 ákvað ritnefndin að fara yfir þennan viðauka og gera breytingar á einstökum köflum eftir þörfum. Í ljósi þeirra rannsókna, prófana og staðla sem hafa með tímanum skilað sér inn í kafla 6, en stangast á við eitt og annað í þessum viðauka, sem var mikilvægt barn síns tíma. Þessi viðauki er því að megninu til látinn halda sér, enda ýmsan fróðleik að finna sem stenst fyllilega tímans tönn. Þess ber að geta að þessi viðauki var ekki endurskoðaður efnislega við heildarendurskoðun ritsins í heild um áramótin 2021/2022, heldur eingöngu færður yfir í nýtt sniðmát Vegagerðarinnar. Hann fær að standa óbreyttur við endurskoðun nú, 2022/2023 með sömu athugasemdum og settar voru fram við endurskoðun hans 2020/2021.

Efnisyfirlit

Lykilsíða **2**
1 FRÓÐLEIKUR UM BIKBINDIEFNI TIL VEGAGERÐAR **6**
1.1 Inngangur 6
1.2 Helstu gerðir bindiefna 7
1.3 Hitastig við geymslu og dælingu 8
1.4 Varúðarráðstafanir 9
1.5 Flokkunarkerfi fyrir bikbindiefni 9
1.6 Notagildi og eiginleikar 10
1.7 Prófanir á bindiefnum 11
1.8 Breytt bindiefni 14
2 VAL Á BINDIEFNI, HART EÐA MJÚKT? **16**
3 ÁHRIF BINDIEFNISINNIHALDS Á EIGINLEIKA MALBIKS **19**
4 TILLAGA AÐ MÖRKUM FYRIR BINDIEFNISINNIHALD **21**
5 SÁLDURFERLAR OG MARKALÍNUR FYRIR MALBIK **24**
6 UM SKRIÐ Í ÍSLENSKU MALBIKI **27**
6.1 Inngangur 27
6.2 Mælingar á skriði í rannsóknastofu 27
6.3 Mælingar á skriði í vegi 29
6.4 Aðrar vísbendingar með og á móti skriði 29
6.5 Merki um skrið í Reykjavík eftir sumarið 2007 30
6.6 Er íslenskum slitlögum hætt við skriði? 30
6.7 Ráðstafanir til að minnka skrið 30
6.8 Ályktanir 31
ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR VIÐ KAFLA 6 Í JANÚAR 2021 31
7 FRÓÐLEIKUR UM FESTU OG SIG **34**
8 HOLRÝMD Í BURÐARLAGSMALBIKI **38**
9 FRÓÐLEIKUR UM HOLRÝMD OG ÞJÖPPUNARHLUTFALL **41**
10 ÞJÖPPUNARKRÖFUR FYRIR MALBIK **45**
11 HOLRÝMD Í STEINEFNI OG FYLLT HOLRÝMD **47**
12 FRÓÐLEIKUR UM VIÐLOÐUN OG VIÐLOÐUNARPRÓF **49**
13 FRÓÐLEIKUR UM RÚLLUFLÖSKURPRÓF **52**
14 VATNSNÆMI MALBIKS **55**
15 UM ÁHRIF SALTS Á ÞREYTUÞOL MALBIKS **57**
16 HEMLUNARVIÐNÁM **60**
17 BINDIEFNISSLIKJA Á SLITLÖGUM OG ÁHRIF HENNAR Á HEMLUNARVIÐNÁM **63**
18 FÁEIN ORÐ UM EFTIRLIT **65**

1 FRÓÐLEIKUR UM BIKBINDIEFNI TIL VEGAGERÐAR

1.1 Inngangur

Uppruni og samsetning. Öll bikbindiefni sem nú eru notuð hérlendis eru unnin úr jarðolíu (e. *crude oil*), en hún er að stofni til lífrænar leifar sem hafa ummyndast djúpt í jörðu á afar löngum tíma við skilyrði, sem fyrst og fremst eru mikill þrýstingur og hitastreymi frá iðrum jarðar. Áður fyrr var einnig notuð tjara (e. *tar*)[1] en það er annað efni, unnið úr steinkolum. Hún er talin geta valdið krabbameini og notkun hennar hérlendis var hætt fyrir mörgum áratugum.

Jarðolía hentar misvel til framleiðslu á biki eftir því hvaðan hún er; eiginleikar biks (e. *bitumen*) og gæði fara að nokkru leyti eftir uppruna jarðolíunnar. Hérlendis eru fyrst og fremst notuð bindiefni sem eru unnin úr jarðolíu frá Suður-Ameríku (Venesúela) eða Mið-Austurlöndum. BBik er aukaafurð í olíuiðnaðinum, í stórum dráttum er bik það sem eftir verður af jarðolíunni þegar búið er að eima úr henni hráefni í rokgjarnari og verðmætari vörur, svo sem ýmsar gastegundir, bensín, steinolíu, dísilolíu og smurolíu.

Uppistaðan í biki er kolefni (82-88%), vetni (8-11%), brennisteinn (0-6%) og auk þess lítilræði af öðrum frumefnum. Samsetningin er breytileg eftir uppruna og getur líka tekið breytingum í framleiðsluferlinu og sömuleiðis á notkunartíma biksins, m.a. fyrir áhrif sólarljóss og súrefnis í andrúmsloftinu.

Bik og ýmsar afurðir þess eru ekki aðeins notaðar í vegagerð, heldur einnig til fjölmargra annarra hluta, þ.á.m. í landbúnaði, byggingarframkvæmdum, í vatnsvörnum ýmiskonar, iðnaði og íþróttamannvirkjum.

Í þessum pistli er fjallað stuttlega um bikbindiefni sem eru notuð í vegagerð hérlendis, þ.e. bik, þjálbik, þunnbik, froðubik og breytt bindiefni.

Hráefni og framleiðsla. Bikbindiefni, sem eru notuð í vegagerð, eru nánast eingöngu framleidd með eimingu á jarðolíu. Þá er jarðolían hituð upp í 300-350°C svo hún verður að blöndu af gufu og vökva, síðan er hún leidd inn í svokallaðan eimingarturn. Þar skilst jarðolían sundur í eimingarhluta eftir suðumarki, léttustu hlutarnir svo sem gastegundir og brennsluolíur setjast ofan til í turninum en eimingarleifin verður eftir á botninum. Eimingarleifin, sem er blanda af biki og þungum olíum, er svo eimuð á nýjan leik. Þá fæst m.a. hið eiginlega bik og eiginleikum þess má stýra að nokkru marki með aðstæðum við eimingunа, svo sem hitastigi og þrýstingi. Bik má síðan blanda aftur

[1] *Bindiefnið í íslensku malbiki er stundum kallað tjara, en það er ekki réttnefni, réttara er að nota orðið bik. Svipaður nafnaruglingur er þekktur erlendis. Orðið bik getur líka valdið misskilningi, því orðið malbik (blanda af biki og steinefni) er oft stytt í bik í daglegu tali.*

Enska orðið „asphalt“ hefur mismunandi merkingu eftir því hvar það er notað. Í Evrópu er „asphalt“ notað um blöndu af bikbindiefni (sem þar er kallað „bitumen“) og steinefni, en í Norður-Ameríku merkir „asphalt“ bik, unnið úr jarðolíu.

með mismunandi eimingarhlutum eða öðrum efnum til að framleiða ýmsar aðrar gerðir bindiefna; þungum olíum til að fá þjálbik (e. fluxed bitumen), rokgjörnum þynni til að framleiða þunnbik (e. cutback), eða þeyta saman við vatn til að framleiða bikþeytu (e. emulsion).

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021
Þessi kafli fær að halda sér að langmestu leyti.

1.2 Helstu gerðir bindiefna

Bik. Af biki (líka kallað stungubik) eru til allmargar gerðir sem eru flokkaðar eftir stífni þeirra, nánar tiltekið stungudýpt (e. *Paving grade, PG*). Sem stendur eru eingöngu notaðir tveir flokkar hérlendis, bik með stungudýpt 160/220 og bik með stungudýpt 70/100 sem er stífara. Til tals hefur komið að taka tvo aðra flokka í notkun, 50/70 og 100/150. Bik er notað í malbik sem er algengasta slitlagsgerðin í þéttbýli og sem hráefni í þjálbik, þunnbik og bikþeytur. Bik má blanda úr tveim mismunandi stífum gerðum til að fá millistig.

Þunnbik. Það er blanda af biki, 70/100 eða 160/220 og þynni sem getur verið af ýmsum gerðum. Hérlendis var þunnbik oftast nær gert úr biki af gerðinni 160/220 með 8-11% hvítspíra (e. *white spirit*) sem þynni og eingöngu notað í klæðingar. Notkun á þunnbiki er að mestu aflögð hérlendis, nema í kaldri veðráttu (á haustin) í sumum tilfellum.

Þjálbik. Það er bik sem oftast er þynnt með lífolíum hérlendis, nánar tiltekið ethylester sem unnið er út fiskiolíu (lýsi). Hérlendis hefur þjálbik verið notað í klæðingar í síauknum mæli or er algengasta bindiefnið í klæðingar nú. Bestur árangur hefur náðst með 6,5% af lífolíu á móti 93,5% af biki, með stungudýpt PG 160/220.

Bikþeyta. Hún er blanda af biki, oftast PG 160/220, og vatni, ásamt yruefnum (e. *emulgators*) sem gera kleift að blanda þessu tvennu saman. Tilgangurinn er að þynna bindiefnið án þess að hita það mikið eða blanda það með mengandi efnum. Hlutföllum bindiefnis og vatns má breyta innan vissra marka og sömuleiðis má breyta eiginleikum bikþeytunnar með íaukum, svo sem þynni af einhverju tagi, gerð yruefnanna og fjölliðum. Með þessu móti má búa til óteljandi gerðir af bikþeytum og haga eiginleikum þeirra eftir aðstæðum þar sem á að nota þær hverju sinni. Bikþeyta er þeirrar náttúru að þegar hún blandast steinefnum brotnar hún, sem sagt þá hlaupa bikdroparnir saman en vatnið skilst frá og gufar upp eða rennur í burtu eftir aðstæðum.

Öll bikþeyta sem er notuð hérlendis er blönduð innanlands og henni má í stórum dráttum skipta í fjóra flokka.

Til festunar og í kaldblandað malbik. Þessi bikþeyta inniheldur um 60% bik og er notuð til að festa burðarlög samhliða fræsun, í kaldblandað malbik sem er notað til breikka slitlög út á axlir, til viðgerða á slitlagsköntum og til að rétta af slitlög sem hafa aflagast einhverra hluta vegna.

Bindiefni í Ralumac (sem er blanda af bikþeytu og fremur fíngerðu steinefni). Um 60% þessarar bikþeytu er bik og í henni er einnig lítið eitt af þynni (um 1%). Ralumac

er notað í grunnar afréttingar undir nýtt slitlag, í þunnar yfirlagnir á axlir og talsvert í viðhald á flugbrautum.

Límefni. Þessi bikþeyta er notuð til límingar milli malbikslaga og bikinnihaldið er um 50%.

Bikþeyta í klæðingar. Bikþeyta hefur verið notuð í klæðingar á undanförnum árum til yfirlagnar á eldri klæðingar, reyndar í mismiklu magni milli ára. Hlutfall biks í þessari bikþeytu er um 69%.

Froðubik er ekki sérstakur flokkur bikbindiefna heldur bik eða þjálbik sem er hitað upp í 160°C eða meira og blandað með vatni rétt áður en því er blandað saman við steinefni. Við það freyðir bindiefnið svo að rúmmál þess eykst 15- til 20-falt í stutta stund, og á meðan er auðvelt að blanda því saman við steinefnið. Hérlendis var froðubik fyrst og fremst notað til festunar á burðarlögum, en notkun þess var hætt, að minnsta kosti tímabundið fyrir allmörgum árum.

Breytt bindiefni. Það eru hefðbundin bindiefni að stofni til en saman við þau er blandað íaukum sem breyta eiginleikum þeirra, oft þannig að þau þola þunga umferð og langvinna sumarhita betur en ella. Þeim eru gerð nánari skil í sérstökum kafla.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, nema dregið er úr umfjöllun um þunnbik (þar sem notkun þess er nú hverfandi), en aukið við hlut þjálbiks (sem lang algengasta bindiefnið í dag í klæðingar).

1.3 Hitastig við geymslu og dælingu

Bindiefni eru sum afar seigfljótandi við stofuhita en mýkjast ávallt með hækkandi hitastigi. Hins vegar er óheppilegt að hita þau meira en nauðsyn krefur, bæði vegna hættu á íkveikju og sömuleiðis geta þau skemmst ef hitastigið er hátt, sér í lagi við langvarandi upphitun og í snertingu við andrúmsloft. Meginreglan er sú að bindiefni skuli geyma og meðhöndla við lægsta hitastig sem samrýmist árangursríkri notkun, svo ekki sé hætta á sjálfkveikju (e. *auto ignition*) eða skemmdum.

Þegar bik er geymt óhreyft í tönkum langtímum saman, er rétt að lækka hitastigið niður í sem svarar 20-25°C yfir mýktarmarki biksins (sem er mismunandi eftir gerð þess).

Bikþeytur eru að jafnaði geymdar við 10-85°C eftir gerð þeirra, hvatar (e. *rapid*) bikþeytur við hærra hitastig en tregar (e. *slow*). Þær mega ekki frjósa (þá er hætta á að þær hlaupi) og hærra hitastig en 85°C er óheppilegt vegna uppgufunar vatns og seigjuaukningar sem þá fylgir í kjölfarið. Hitunarfleti (spírala o.þ.h.) má mest hita í 96°C.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, nema að tafla 1, sem fjallaði um leiðbeinandi hitastig fyrir meðhöndlun bikbindiefna, er tekin út, þar sem flokkunarkerfi fyrir þjálbik og þunnbik er ekki notað, né útskýrt frekar hér. Auk þess er hitastigi malbiks gerð skil í viðkomandi framleiðslustöðlum malbiks.

1.4 Varúðarráðstafanir

Ef varúðarreglum um meðferð bindiefna er fylgt, stafar lítil eða engin hætta af þeim, en vanræksla getur orðið afdrifarík. Mörg bindiefni eru hituð í meira en 100°C við notkun, svo af þeim getur hlotist gufusprenging ef þau komast í snertingu við vatn. Snerting við heitt bindiefni getur valdið brunasárum, eins þótt hitastigið sé langt undir 100°C. Í gufum frá bindiefnum geta verið eiturefni sem geta valdið heilsuspjöllum við innöndun, svo sem brennisteinsvetni (H_2S). Sama er að segja um gufur frá ýmis konar íaukum; sem dæmi má nefna þynni í þunnbiki,ýruefni (emulgators) og viðloðunarefni. Í sumum tilfellum eru hættuleg efni notuð við rannsóknir á bindiefnum eða malbiki. Styrkur krabbameinsvaldandi efna er mjög lágur í bindiefnum úr biki og þau eru ekki talin krabbameinsvaldandi ef settum varúðarreglum er fylgt.

Við vinnu með heitt bindiefni þarf að nota tilheyrandi hlífðarföt, sér í lagi hitaþolna hanska með líningum sem falla þétt að ermum svo að bindiefni renni ekki ofan í þá fyrir slysni, hlífðargleraugu, andlitshlífar og samfesting.

Ef heitt bik slettist á hörund á að kæla staðinn með rennandi vatni í minnst 10 mínútur, en alls ekki reyna að ná bikinu af nema það sé laust, og leita læknis sem fyrst. Þegar bikið er orðið kalt gerir það engan frekari skaða og virkar sem dauðhreinsaðar umbúðir þar til það losnar sjálfkrafa af, venjulega eftir fáeina daga.

Þynnir í þunnbiki getur verið mjög eld- og sprengifimur og þess vegna þarf að fara mjög varlega með opinn eld þar sem unnið er með heitt þunnbik. Vatn er ekki heppilegt til að slökkva eld í biki- eða þunnbiki, duft eða froða er heppilegri.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að langmestu leyti.

1.5 Flokkunarkerfi fyrir bikbindiefni

Upplýsingar um flokkunarkerfin sem hér er lýst eru ýmist sótt í staðla (ÍST-EN) eða frumvörp að stöðlum (prEN). Flokkunarkerfi þessara staðla fyrir þunnbik og bikþeytur eru mikið breytt frá flokkunarkerfunum sem hafa tíðkast fram til þessa.

Bik er auðkennt með stungudýpt og er flokkað eftir henni. Stungudýpt segir til um hversu djúpt nál af tiltekinni gerð sekkur í sýni af biki undir tilteknum kringumstæðum. Því minni sem stungudýptin er þeim mun stífara (harðara) er bikið. Ein eining á stungudýptarmælikvarðanum er 1⁄10 úr mm. Dæmi; PG 160⁄220 táknar bik með stungudýpt á bilinu 16-22 mm.

Þunnbik⁄þjálbik er auðkennt með sex stafa kerfi. Í fyrstu tveim sætunum eru Fm eða Fv (eftir því hvort bikið er þynnt (F) með þynni úr jarðolíu (m) eða lífolíu (v). Í þriðja sætinu er tölustafur á bilinu 2-9 og hann segir til um seigju þunnbiksins. Í fjórða og fimmta sæti eru bókstafir, B í því fyrra sem táknar bik, P í því síðara ef bindiefnið er breytt (e. *modified*). Í sjötta sæti er tölustafur. Ef þynnirinn er unninn úr jarðolíu er tölustafurinn á bilinu 2-6 og segir hversu mikið af þynninum gufar upp við 225°C. Ef mýkingarefnið er lífolía er tölustafurinn á bilinu 2-7 og vísar til mýktarmarks eimingarleifarinnar (eftir eimingu við 360°C). Dæmi; Fv 5 B 6 táknar þjálbik (F) mýktu með lífolíu (v) með miðlungs seigju (5), gert úr biki (B) og 60% hans gufa upp við eimingu við 360°C.

Bikþeyta er auðkennd með sjö stafa kerfi. Í fyrsta sætinu er bókstafur sem sýnir hleðslu bikþeytunnar, C táknar jákvætt hlaðna bikþeytu (e. *cationic*). Í öðru og þriðja sæti er tala sem sýnir hversu mikill hluti (í %) af bikþeytunni er virkt bindiefni (69% er algengt). Í fjórða sæti (og næstu tveim sætum ef þörf krefur) eru bókstafir, einn eða fleiri. Í fjórða sætinu er B, sem táknar bik. Ef bikið er breytt (með fjölliðum) kemur bókstafurinn P þar á eftir, og síðan bókstafurinn F (annar hvor eða báðir eftir atvikum) ef meira en 2% af bikþeytunni er þynnir. Í fimmta, sjötta eða sjöunda sæti (eftir því hversu mörg sæti hafa verið notuð áður) er tala á bilinu 1-7 sem lýsir brothraða bikþeytunnar. Dæmi; C69 BF 3 er jákvætt hlaðin bikþeyta (C) sem er að 69 hundraðshlutum úr biki, blönduð þynni sem vegur meira en 2% af þyngd bikþeytunnar (F) og hefur brothraða samkvæmt 3. flokki.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, þó eru lítilsháttar breytingar gerðar á orðavali í samræmi við hefðir nú.

1.6 Notagildi og eiginleikar

Bik. Sem stendur eru aðeins tvær gerðir biks notaðar hérlendis, PG 70/100 og PG 160/220, í daglegu tali kallaðar hart og mjúkt bik. Fyrrnefnda gerðin er stífari (harðari) en sú síðarnefnda. Malbik með PG 70/100 sem bindiefni er fyrst og fremst notað þar sem umferð er mikil og þung (stofnbrautir á höfuðborgarsvæðinu) á hafnarbakka og á stæði fyrir þungavöru og gáma vegna þess að það skríður síður í miklum hita en malbik með mýkra bindiefni. PG 160/220 er notað þar sem umferð er minni og léttari og sem uppistaða í þunnbik, þjálbik og bikþeytur. Að öðru leyti hefur malbik með mjúku bindiefni ýmsa kosti fram yfir malbik með hörðu bindiefni, hið fyrrnefnda er hægt að leggja í kaldara veðri, sömuleiðis gerir það minni kröfur til undirbyggingar vegna þess að það lagar sig fremur að missigi án þess að rifna heldur en malbik með hörðu bindiefni, sem er stökkara, einkum í kuldum. Bik er að langmestu leyti notað í malbik, sem er blandað í malbikunarstöð, flutt heitt (kringum 160°C) á bílum á útlagnarstað þar sem það er lagt út í hæfilegri þykkt í þar til gerðum vélum og síðan valtað. Malbik kólnar nægilega hratt til að hægt sé að aka á því fáeinum klukkustundum eftir að það er lagt.

Þjálbik/þunnbik. Þjálbik/þunnbik má blanda á fjölmarga vegu en hérlendis eru mestmegnis notaðar blöndur af PG 160/220 biki og lífolíu (ethylester úr lýsi) í klæðingar sem kallaðar eru þjálbik. Áður fyrr var bik þynnt með hvítspíra nær eingöngu notað í klæðingar, svokallað þunnbik, en nú er það einungis notað í undantekningartilfellum í köldu veðri.

Klæðingar úr þjálbiki eru gerðar með því að sprauta u.þ.b. 135-140°C heitu þjálbiki á veginn í þunnu lagi og strá steinefni ofan í það strax á eftir. Þjálbikið kólnar mjög hratt og þess vegna er hægt að aka á klæðingum nánast strax og þær hafa verið lagðar og valtaðar.

Klæðingum úr þjálbiki og þunnbiki hættir við að blæða í heitu veðri og einnig ef rignir í þær nýlagðar og umferð er mikil. Af þessari ástæðu eru þær nær eingöngu notaðar utan þéttbýlis, þótt dæmi séu um viðunandi reynslu af þeim á húsagötum.

Bikþeyta. Bikþeyta er blanda af vatni og örsmáum bikdropum sem eru alsettir rafhleðslum. Rafhleðslurnar meina bikdropunum að sameinast, því þær hrinda hver annarri frá sér. Þegar bikþeyta blandast steinefni afhlaðast bikdroparnir að meira eða minna leyti fyrir áhrif rafhleðslna á yfirborði steinefnisins. Við það dragast bikdroparnir hver að öðrum en vatnið í bikþeytunni skilst frá, bikþeytan brotnar og þekur steinefnið með bindiefnishimnu. Hversu hratt þetta gerist má stýra með samsetningu bikþeytunnar, en brotin bikþeyta nær mjög fljótt endanlegri stífni.

Vegna vatnsins þolir bikþeyta hvorki frost né hærra hitastig en 90°C fyrr en hún hefur brotnað. Þar eð bikþeyta er vatnsleysanleg getur hún skolast af steinefninu í mikilli úrkomu ef hún nær ekki að brotna áður. Þunn bikþeyta sem brotnar treglega getur líka runnið af steinefninu að einhverju leyti áður en hún brotnar og kemur þá ekki að fullu gagni.

Hérlendis eru notaðar fjórar gerðir af bikþeytu, allar jákvætt hlaðnar (e. *cationic*). Ein er notuð í kaldblandað malbik, önnur til límingar þegar nýtt slitlag er lagt ofan á gamalt, sú þriðja í Ralumac sem er þunn klæðing úr smágerðu steinefni og sú fjórða í klæðingar úr hefðbundnu steinefni. Ralumac hefur lítið slitþol gagnvart negldum hjólbörðum, vegna þess hve smágert steinefnið er. Fyrr á árum höfðu klæðingar með bikþeytum heppnast misjafnlega hérlendis, hugsanlega vegna þess að íslensk steinefni voru oft rykug, en það getur komið í veg fyrir að bikþeytan nái að væta yfirborð steinefnisins undir rykinu.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, nema bent er á að nú til dags er þjálbik mest notað og þunnbik í undantekningartilvikum þegar líða fer að hausti.

1.7 Prófanir á bindiefnum

Bik, sem er uppistaðan í bikbindiefnum, er mjög flókið efni sem auk þess hefur mismunandi eiginleika eftir því hvaðan jarðolían sem bikið er unnið úr er upprunnin. Þar við bætist að með blöndun með öðrum efnum, bæði skyldum efnum úr jarðolíu og öðrum óskyldum (lífolíu, íaukum) má framleiða nánast óteljandi gerðir bindiefna með afar fjölbreytilegum eiginleikum. Af þessari ástæðu er nauðsynlegt að flokka bikbindiefni eftir eiginleikum þeirra svo að notendur geti valið úr þeim í samræmi við fyrirhugaða notkun. Í þessu skyni eru bindiefni prófuð á ýmsa vegu með stöðluðum aðferðum og flokkuð í samræmi við niðurstöðurnar.

Hér er bik keypt erlendis frá í skipsförmum og þeim fylgir vottorð um gerð og eiginleika farmsins. Þjálbik, þunnbik og bikþeytur eru á hinn bóginn nær eingöngu blandaðar innanlands. Prófanir á bindiefnum eru nauðsynlegar, svo að vissa sé fyrir því að framleiðslan henti til fyrirhugaðrar notkunar.

Hér á eftir er tæpt á nokkrum prófunaraðferðum sem eru mikilvægar fyrir bindiefni. Enn fremur er drepið á upplýsingar sem þær gefa um eiginleika bindiefnanna. Upptalningin er langt í frá tæmandi.

Prófanir á biki. Þessi kafli um prófanir á biki er að hluta til byggður á ÍST EN 12591: Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Eiginleikar jarðbiks til nota í slitlög (e. *Bitumen and bituminous binders - Specifications for paving grade bitumens*).

Stungudýpt mælir hversu djúpt nál af tiltekinni gerð sekkur í sýni af bindiefni undir tilteknum kringumstæðum og er mælikvarði á stífni þess. Mælieiningin er 1⁄10 mm.

og minnkar með vaxandi stífni bindiefnisins, en hún er meðal annars tengd líkum á skriði í malbiki. Prófunarstaðall: ÍST EN 1426 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of needle penetration*).

Mýktarmark mælir svörun bindiefnis við hækkandi hitastigi. Með hækkandi hitastigi breytist bik úr þykkfljótandi efni í þunnfljótandi en hefur ekki skilgreint bræðslumark og mýktarmark er eins konar staðgengill fyrir bræðslumarkið. Prófið felst í að koma stálkúlu fyrir á sneið af bindiefni sem er fest á jöðrunum í upphengdan ramma og hvorutveggja er komið fyrir í vökva sem er hitaður upp. Með hækkandi hitastigi myndar kúlan dæld í sneiðina og teygir smám saman á henni svo að hún verður að poka. Þegar hann hefur náð tiltekinni dýpt er hitastig vökvans mælt (í°C) og er nefnt mýktarmark. Það kemur m.a. að notum til að meta hættu á skriði í malbiki í hitum. Prófunarstaðall: ÍST EN 1427 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of softening point - Ring and Ball method*).

Seigja. Hún er mælikvarði á rennslistregðu bindiefnisins og er mæld við tvö hitastig, 60°C, prófunarstaðall ÍST EN 12596 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary*) og við 135°C,prófunarstaðall ÍST EN 12595 (e. Bitumen and bituminous binders - Determination of kinematic viscosity). Þessar tvær mælingar eru notaðar til að finna hvernig seigja bindiefnisins breytist með hitastigi, m.a. til að ákveða hversu mikið þurfi að hita bindiefnið til að dæla því, blanda saman við steinefni eða hversu heitt malbik þarf að vera til að hægt sé að þjappa (valta) það.

Brotmark. Þessari prófun er ætlað að kanna hegðun bindiefnisins við mjög lágt hitastig. Þunnu lagi af bindiefni er roðið á stálþynnu og hún beygð lítillega og rétt til skiptis og jafnframt er hitastigið umhverfis hana lækkað hægt og bítandi. Hitastigið, þegar bindiefnislagið er orðið svo stökkt að það rifnar, nefnist brotmark og er mælikvarði á lægsta notkunarhitastig bindiefnisins, til dæmis í malbiki sem á að þola hörð og langvarandi frost. Prófunarstaðall: ÍST EN 12593 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of the Fraass breaking point*).

Leysanleiki. Þetta próf sýnir hversu mikið af bindiefninu leysist ekki upp í toluen[2]; er með öðrum orðum fast efni sem ekki nýtist sem bindiefni. Prófunarstaðall: ÍST EN 12592 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of solubility*).

Blossamark. Prófið mælir hitastig bindiefnisins þegar gufa frá því er nægileg til að opinn eldur kveikir í henni og er mælikvarði á það hversu mikið má hita bindiefnið án þess að hætta sé á íkveikju. Þetta hitastig hækkar eftir því sem stungudýptin lækkar. Prófunarstaðall: ÍST EN ISO 2592 (e. *Petroleum and related products - Determination of flash and fire points - Cleveland open cup method*).

Þyngdartap við upphitun. Þyngdartapið gefur til kynna hvort bikið sé blandað rokgjörnum efnum. Prófunin felst í að vikta sýni með tiltekinni þyngd fyrir og eftir upphitun við tilteknar aðstæður. Að upphitun lokinni má nota sýnið til frekari rannsókna. Niðurstöður prófana á sýni eftir upphitun (svo sem stungudýpt, mýktarmark og brotmark) eru að sumu leyti raunhæfari mælikvarði á eiginleika bindiefnisins eftir blöndun saman við steinefni í malbikunarstöð. Prófunarstaðall: ÍST

[2] Toluen (C_7H_8) er eitt af uppistöðuefnunum í bensíni, litlaus vökvi, sem meðal annars er notaður í stórum stíl í efnaiðnaði og til að leysa upp eða þynna önnur efni.

EN 12607-1 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of the resistance to hardening under influence of heat and air - Part 1: RTFOT method*).

Prófanir á þjálbiki og þunnbiki. Þessi kafli er að hluta til byggður á ÍST EN 15322: Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Flokkunarkerfi til nota við tilgreiningu á þunnbiki og þjálbiki (e. *Bitumen and bituminous binders - Framework for specifying cut-back and fluxed bituminous binders*) sem er um kröfur til þunnbiks.

Seigja. Hún er mælikvarði á rennslistregðu þjálbiks eða þunnbiks og er mæld við mismunandi hitastig, 25-60°C, eftir því hvaða seigjuflokkur á í hlut. Mælingin felst í því að láta tiltekið magn renna í gegnum op með tiltekinni lögun og mæla tímann (í sekúndum) sem það tekur. Seigjan skiptir m.a. máli fyrir val á þjálbiki eða þunnbiki í klæðingar, ef hún er lítil er viss hætta á að bikið renni af steinunum sem það á að binda saman og komi þannig að takmörkuðu gagni. Seigjan má heldur ekki vera of mikil því þá er hætt við að steinefnið sökkvi ekki nægilega í bindiefnislagið áður en það kólnar um of. *Leysanleiki.* Þetta próf sýnir hversu mikið af þunnbikinu leysist ekki upp í toluen; er með öðrum orðum fast efni sem ekki nýtist sem bindiefni. *Blossamark.* Prófið mælir hitastig bindiefnisins þegar gufa frá því er orðin nægileg til að opinn eldur kveikir í henni og er mælikvarði á það hversu mikið má hita bindiefnið án þess að hætta sé á íkveikju. *Stigeiming.* Hún gefur upplýsingar um það hversu rokgjarn þynnirinn í bindiefninu er, þ.e. hversu hratt þunnbikið storknar. Sýni af bindiefninu er hitað í þrepum (í 190°C, 225°C, 260°C, 315°C og að lokum í 360°C) og mælt hversu mikið af þynni hefur gufað upp við hvert þrep. Eimingarleifin (það sem eftir verður þegar sýnið hefur verið hitað í 360°C) er í sumum tilfellum prófuð frekar til að afla upplýsinga um eiginleika bindiefnisins eftir að þynnirinn hefur gufað upp. Í sumum tilfellum er eimingarleifin undirbúin frekar fyrir prófun, t.d. með festun (e. *stabilization*) eða öldrun (e. *ageing*) eða hvorutveggja. Meðal prófana á eimingarleif má nefna stungudýpt, mýktarmark og seigju. Ef þunnbikið tilheyrir breyttum bindiefnum koma aðrar prófunaraðferðir til álita.

Prófanir á bikþeytum. Þessi kafli er að mestu byggður á ÍST EN 13808: Jarðbik og jarðbiksbindiefni - Grunnur til nota við skilgreiningar á jákvætt hlöðnum jarðbiksblöndum (e. *Bitumen and bituminous binders - Framework for specifying cationic bitumen emulsions*) og stöðlum sem þar er vísað til.

Seigja. Hún er mælikvarði á rennslistregðu bikþeytunnar (óhlaupinnar) og er ýmist mæld við 40°C eða 50°C, eftir því hvaða flokkur á í hlut. Mælingin felst í því að láta tiltekið magn af bikþeytu renna í gegnum op með tiltekinni lögun (sem er breytileg eftir flokkum) og mæla tímann sem það tekur. Seigjan skiptir m.a. máli fyrir val á bikþeytu í klæðingar; ef hún er lítil er viss hætta á að bikþeytan renni af steinunum sem hún á að binda saman, áður en hún hleypur og komi þannig að takmörkuðu gagni. Sömuleiðis skiptir seigjan máli þegar bikþeytu er dreift með úðadreifara (e. *spray bar*), t. d. þegar hún er notuð til límingar. *Eimingarleif.* Prófið er gert til að mæla hlutfall virks bindiefnis í bikþeytunni (sem oftast er á bilinu 40-70%).

Brotstuðull. Þetta gildi (e. *breaking value*) er mælt með því að blanda bikþeytuna með mélu. Út í tiltekið magn af bikþeytu er blandað vissri tegund af mélu með jöfnum hraða þar til bikþeytan hefur brotnað að fullu. Mélumagnið sem hlutfall af bikþeytumagninu er mælikvarði á það hversu hratt bikþeytan brotnar eftir að henni hefur verið dreift eða blandað saman við steinefni. Þessi eiginleiki skiptir miklu máli

fyrir notkun bikþeytunnar; ef bikþeyta brotnar treglega tekur að sama skapi langan tíma áður en hægt er að hleypa umferð á slitlag úr bikþeytu, t.d. klæðingu. Ef bikþeytan brotnar of hratt getur farið svo að ekki náist að blanda bikþeytu og steinefni nægilega vel saman áður en hún hleypur og þá getur farið svo að hvorutveggja sé ónýtt.

Sigtileif. Prófið gefur vísbendingar um ástand bikþeytu eftir geymslu í tiltekinn tíma. Þá er kannað hvort bikdroparnir í henni séu óeðlilega stórir, sem gefur til kynna að hún sé byrjuð að brotna umfram það sem eðlilegt getur talist. Prófið gefur einnig vísbendingar um gæði bikþeytunnar án tillits til geymsluþols; ef hún stenst ekki prófið getur það bent til mistaka í framleiðsluferlinu.

Geymsluþol bikþeytu er prófað með því að láta sýni standa óhreyft í mæliglasi í tiltekinn tíma, oft einn eða fimm sólarhringa. Sýnið er síðan síað á tveim sigtum, annað með 0,500 mm og hitt með 0,160 mm möskvastærð. Magn bikþeytu sem verður eftir á sigtunum, sem hlutfall af magninu sem hellt er á sigtin, er mælikvarði á gæði bikþeytunnar.

Prófanir á froðubiki. Froðubik sem slíkt er ekki hægt að prófa vegna þess að það er ekki í freyðandi ástandi nema mjög stutta stund. Bikið, sem er uppistaða í froðubikinu, er hins vegar prófað á hefðbundinn hátt.

Prófanir á breyttum bindiefnum. Við prófanir á breyttum bindiefnum eru að hluta til notaðar hefðbundnar prófunaraðferðir, en einnig prófunaraðferðir sem hafa verið þróaðar sérstaklega fyrir þau. Þar sem breytt bindiefni eru tiltölulega lítið notuð hérlendis, eru þeim ekki gerð skil hér.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, nema að tilvísanir í prófunarstaðla er sleppt að hluta til, enda gætu þeir hafa tekið ýmsum breytingum frá því að þessi kafli var skrifaður.

1.8 Breytt bindiefni

Aflfræðilegum eiginleikum bikbindiefna má breyta á ýmsa vegu með því að blanda þau með tilteknum íaukum (e. *additives*) sem eru lífræn efnasambönd. Þau geta verið margs konar en algengust eru gúmmíkenndir íaukar (e. *elastomers*), hitameyrir íaukar (e. *thermoplastics*) og íaukar sem eru bæði hitameyrir og gúmmíkenndir (e. *thermoplastic elastomers*). Þessir íaukar samlagast bindiefninu fullkomlega og mynda eins konar þrívítt net sem takmarkar hreyfanleika sameindanna í bindefninu. Þeim er blandað í bindiefnið í fremur litlu magni (3-10%) og tilgangurinn er að auka þol slitlagsins gagnvart veðurfari, einkum langvarandi sumarhitum og miklum kuldum, og þungri umferð. Með þessu móti verður bindiefnið þjálla við lágt hitastig heldur en óbreytt bindiefni en um leið stífara við hátt hitastig. Þreytuþol slitlagsins eykst og því er síður hætt við að springa í frostum. Sum breytt bindiefni hafa betri viðloðun við steinefni en óbreytt bindiefni.

Breytt bindiefni eru dýrari en hefðbundin bindiefni. Þau eru talsvert notuð erlendis, einkum á stöðum þar sem aðstæður, einkum umferð eða veðurfar, gera miklar kröfur til slitlagsins og notkun þeirra fer vaxandi.

Algengustu flokkar íauka, sem eru notaðir til að breyta bindiefnum og áhrif þeirra eru:

Gúmmíkenndir íaukar. Þessi efni eru gúmmí að stofni til, ýmist í formi dufts eða þeytu (e. *latex*) sem er blandað í bindiefnið. Þau auka sveigjanleika malbiks og vinna gegn skriði, en bráðna ekki og geta skemmst við mjög hátt hitastig. Blöndun þeirra í bindiefni getur verið erfiðleikum bundin.

Hitameyrir íaukar. Í þessum flokki eru polyetylen (PE), polypropylen (PP) og sumar gerðir etylenvinylacetats (EVA). Þau bráðna án þess að skemmast og storkna aftur þegar hitastigið lækkar. Hitameyrir íaukar draga fyrst og fremst úr líkum á skriði en hafa lítil áhrif á sveigjanleika malbiksins og þreytuþol.

Hitameyrir og gúmmíkenndir íaukar. Þeir sameina eiginleika fyrrnefndu flokkanna eins og nafnið bendir til, bráðna við hátt hitastig en halda fjaðrandi eiginleikum sínum við lágt hitastig. Sum þessara efna eru talin auka slitþol malbiks gagnvart negldum hjólbörðum. Í þessum flokki eru sumar gerðir etylenvinylacetats (EVA), styren-butadien-styren (SBS) og styren-butadien-rubber (SBR).

Að lokum er rétt að taka fram að eiginleikum bindiefna má breyta á ýmsa vegu þótt ekki sé með eiginlegum íaukum eða efnasamböndum sem beinlínis er ætlað að breyta aflfræðilegum eiginleikum þeirra. Eitt dæmi eru viðloðunarefni ýmis konar sem oft er blandað í bindiefni, en það telst ekki til breyttra bindiefna, þótt viðloðunareiginleikar þess breytist. Annað dæmi er tvær gerðir biks (með mismunandi stífni) sem er blandað saman til að fá bindiefni með stífni sem liggur á milli hinna tveggja. Þjálbik og þunnbik má gera á marga vegu með vali á bikgerð og eins magni og gerð þjálniefnis eða þynnis. Bikþeytur má gera á ótal vegu, og sníða þær eftir aðstæðum þar sem á að nota þær, svo sem með vali á biki og ýruefnum, hlutfalli vatns og biks og framleiðsluaðferð.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti.

HEIMILDIR

Hilliges, F. (ritstjóri). 1995. *FAS Asfaltbok.* Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige. Stockholm.

Hunter, R. N. (ritstjóri). 1994. *Bituminous mixtures in road construction.* Thomas Telford, London.

ÍST EN 13808. *Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Grunnur til nota við skilgreiningar á jákvætt hlöðnum jarðbiksblöndum.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

ÍST EN 12591. *Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Eiginleikar jarðbiks til nota í slitlög.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Shell Bitumen. 1990. *The Shell Bitumen Handbook.* Shell Bitumen U.K. Chertsey.

Statens vegvesen. 2005. *ASFALT 2005 – materialer og utførelse.* Håndbok 246. Oslo.

The Asphalt Institute. 1979. *A Basic Asphalt Emulsion Manual.* Manual Series No 19 (MS-19). Maryland.

Wallace, Hugh A., Martin, J. Rogers. 1967. *Asphalt Pavement Engineering.* McGraw-Hill Book Company, New York.

2 VAL Á BINDIEFNI, HART EÐA MJÚKT?

Hérlendis hefur tíðkast að nota tvær bindiefnisgerðir, hart (stungudýpt PG 70/100) og mjúkt (stungudýpt PG 160/220). Fyrri gerðin er einkum notuð í malbik þar sem umferð er mikil og þung og hefur notkun þeirrar gerðar aukist með árunum með aukinni þungaumferð, t.d. á stofnvegum. Annars staðar er síðarnefnda bindiefnisgerðin notuð og einnig sem uppistaða í þunnbik fyrir klæðingar. Til tals hefur komið að tilgreina tvær aðrar bindiefnisgerðir í verklýsingum Vegagerðarinnar, mjög hart bindiefni (50/70) og millistig (100/150). Þessi pistill fjallar um kosti og galla sem slíkar breytingar myndu hafa í för með sér.

→ Eftir því sem bindiefni er harðara (stungudýpt bindiefnisins er minni) minnka líkur á skriði í malbiki í miklum hitum. Jafnframt aukast líkur á sprungum í malbikinu í miklu frosti. Val á bindiefni þarf þess vegna að taka mið af líklegu hámarks- og lágmarkshitastigi í malbikinu.

Líkan Superpave [Asphalt Institute 2003, bls. 53] til að reikna út hitastig í slitlagi með hliðsjón af hnattstöðu og veðurfari gefur til kynna að í Reykjavík séu innan við 2% líkur á að hitastig í slitlagi fari niður fyrir -14°C eða upp fyrir 30°C [Ásbjörn Jóhannesson 2005, bls. 26]. Samsvarandi tölur fyrir Egilsstaði eru -21°C og 34°C. Þessar líkur eru miðaðar við eins árs tímabil. Rétt er að taka fram að Norðmenn hafa efasemdir um að reikniaðferð Superpave eigi við þar í landi og hafa sett fram reiknilíkan sem þeir telja réttara; taka þó fram að það sé ekki byggt á traustum grunni. Ef reiknilíkan Norðmanna er notað, hækka tölur fyrir hámarkshita í malbiki um 10°C eða þar um bil.

Tvö íslensk sýni, annað af PG 70/100 og hitt af PG 160/220 biki, voru prófuð með aðferðum Superpave til að meta hvaða hitastig í slitlagi þau þola [Tayebali 2004]. Niðurstaðan varð sú að harðara bindiefnið (PG 70/100) hentar við aðstæður þar sem hitastig í slitlagi fer ekki niður fyrir -26°C og ekki upp fyrir 66°C. Samsvarandi tölur fyrir mýkra bindiefnið (160/220) eru -30°C og 58°C.

Af þessum athugunum sýnist mega ályktа að báðar bindiefnisgerðirnar uppfylli kröfur Superpave með tilliti til veðurfars og séu meira að segja langt fyrir innan mörkin. Harðara bindiefnið þolir minnst 12°C meira frost en búast má við í slitlagi í Reykjavík. Og hvað hámarkshitastig í Reykjavík snertir er talsvert borð fyrir báru, jafnvel þótt norska reiknilíkanið sé lagt til grundvallar (minnst 18°C) og mýkra bindiefnið notað. Þó verður að hafa í huga að einungis tvö sýni verið prófuð með aðferðum Superpave og seigjueiginleikar bindiefnisins geta breyst þótt stungudýptin sé óbreytt [Asphalt Institute, bls. 14].

→ Enda þótt ofanskráðar bindiefnisgerðir (PG 70/100 og PG 180/220) henti vel fyrir íslenskt veðurfar er ekki þar með sagt að skrið sé útilokað. Það verður að teljast ólíklegt að skrið byrji og hætti við ákveðin hitastigsmörk; líklegara er að skrið megi teljast óverulegt upp að hitastigsmarkinu sem reiknilíkan Superpave

(eða Norðmanna) tiltekur. Þá vaknar spurningin; hversu mikið minnkar skrið við að nota PG 50/70 í stað PG 70/100 eða PG 100/150 í stað PG 180/220 biks?

Ef stífni (e. stiffness) tveggja eða fleiri bindiefnisgerða er þekkt er hægt að spá um hlutfallslegt skrið í malbiki sem er gert úr þessum bindiefnum, að því tilskildu að malbiksblöndurnar séu eins að öðru leyti [Shell, bls. 105]. Ef stífnin er ekki þekkt má í staðinn nota seigju (e. viscosity) bindiefnisins eða PI (e. penetration index). Ef þessari samanburðaraðferð er beitt á bikgerðirnar PG 50/70, 70/100, 100/150 og 160/220 og gert ráð fyrir að hitastig í slitlagi sé 30°C kemur í ljós að skrið minnkar um nálega:

- 15% ef 100/150 er notað í stað 160/220
- 30% ef 70/100 er notað í stað 160/220
- 35% ef 50/70 er notað í stað 70/100

Sams konar útreikningar sýna að hlutfallslegur ávinningur af harðara bindiefni minnkar eftir því sem hitastigið eykst. Svo dæmi sé tekið minnkar skrið aðeins um 20% ef hitastig í slitlagi er 60°C og 70/100 er notað í stað 160/220.

→ Stungudýpt bindiefnis ein sér er ekki sérlega heppilegur stiki til að spá um skrið [Shell, bls. 107], fylgni milli stungudýptar og festu í Marshallprófi er lítil, sömuleiðis milli stungudýptar og hjólfaraprófs (e. wheel tracking test), enda nægir stungudýpt ekki til að lýsa eiginleikum bindiefnis nema að takmörkuðu leyti.Tvö bindiefni geta sýnt ólíka hegðun við sama hitastig, þótt þau tilheyri sama stungudýptarflokki [Asphalt Institute, bls. 13]. Mýkingarmark (e. softening point) sýnist á hinn bóginn vera nothæfur stiki til að spá um skrið [Shell, bls. 107], en fylgni festu í Marshallprófi og í hjólfaraprófi við mýkingarmark er sterk. Þó verður að taka fram sambandið, sem vísað er til í ofangreindri heimild, takmarkast við mýkingarmark á bilinu 45-65°C (ívið hærra en mýkingarmark í bindiefni sem tíðkast að nota hérlendis). Í sænskri heimild [Hilliges, bls. 149] er ráðlagt að velja bindiefnið þannig að mýkingarmark þess sé álíka hátt og hæsta hitastig sem vænta má í slitlaginu. Mýkingarmark PG 70/100 biks er í kringum 45°C og mýkingarmark PG 160/220 biks í kringum 35°C. Báðar bindiefnisgerðirnar ættu því að vera nægilega stífar fyrir íslenskt veðurfar, ef miðað er við aðferðir Superpave til að reikna hámarkshitastig í slitlagi. Sé hins vegar miðað við reiknilíkan Norðmanna er PG 160/220 bik tæplega nógu stíft.

→ Í undantekningartilfellum getur verið þörf á að nota mjög hart bindiefni, t.d. í malbik á hafnarsvæði, á geymsluplön fyrir gáma og aðra þungavöru, á stæði fyrir þunga bíla og hugsanlega í stórum vöruskemmum.

→ Harðara bindiefni gerir kröfur til hærra hitastigs við blöndun, útlögn og völtun. Sem dæmi má nefna að hitastig malbiks við blöndun og útlögn þarf að hækka um 10°C ef skipt er úr PG160/220 biki í PG 70/100 bik eða úr PG 70/100 biki í PG 50/70 bik. Malbik kólnar hratt í úrkomu og vindi, því hraðar sem hitamismunur malbiks og umhverfis er meiri og malbik sem hefur kólnað um of áður en það er fullþjappað er líklegra en ella til að skemmast. Þess vegna er áhættusamara að leggja malbik úr hörðu bindiefni en mjúku, sérstaklega snemma að vori eða seint að hausti, vegna hættu á ótímabærum skemmdum, ef tilskilinni þjöppun er ekki náð. Við þessar aðstæður þarf að gæta vel að því að hitastig malbiksins sé nægilega hátt.

→ Einnig er rétt að minna á að eiginleikar malbiks eru ekkert síður undir samsetningu þess komnir en stungudýpt bindiefnisins.

→ Í klæðingar hefur tíðkast að nota PG 160/220 bik blandað lífolíu, þynni eða vatni (bikþeytu). Harðara bindiefni myndi sennilega draga úr blæðingum. Á hinn bóginn er það líklegt til að auka hættu á sprungum í klæðingunum ef undirbyggingin er á hreyfingu, t.d. vegna frostlyftinga eða sigs. Burðarþol klæðingarinnar myndi heldur ekki aukast sem neinu nemur vegna þess hve klæðingarslitlög eru þunn.

Sé bindiefni valið á grundvelli mýkingarmarks, er PG 160/220 bik nægilega stíft fyrir íslenskar aðstæður svo fremi reiknireglur Superpave fyrir hámarkshitastig í slitlagi séu réttar og þungaumferð að sumri til er ekki mikil. Ef bindiefni er valið á forsendum mýkingarmarks og norska reiknilíkaninu er beitt (sem áætlar hámarkshitastig í slitlagi um 10°C hærra en reiknilíkan Superpave) er PG 160/220 bik þó í mýksta lagi. Hins vegar verður ekki séð af ofanskráðu að þörf sé á harðara bindiefni í malbik en PG 70/100 bik nema í undantekningartilfellum, svo sem eins og á hafnarsvæðum, í vörugeymslum eða á stæðum fyrir gáma eða þunga bíla. Hvað klæðingar snertir er hugsanlega hægt að draga eitthvað úr blæðingum með því að nota harðara bindiefni sem uppistöðu, en hart bindiefni gerir meiri kröfur til undirbyggingar en mjúkt.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti. Þó er dregið úr þeirri fullyrðingu (sem byggð er á Superpave aðferðinni) að PG 160/220 bik sé nægilega stíft til að skríða ekki við íslenskar aðstæður, þar sem prófanir í hjólfaraprófi sýna, auk sjónmats á vegum að svo geti verið, sérstaklega þar sem mikil þungaumferð fer um.

HEIMILDIR

Asphalt Institute. 2003. *Superpave. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing.* Superpave Series No. 1 (SP-1). Third Edition, Revised 2003. Asphalt Institute, Lexington.

Ásbjörn Jóhannesson. 2005. *Superpave.* Unnið fyrir Rannsókna- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 05-04. Reykjavík.

Hilliges, F. (redaktör). 1995. *FAS Asfaltbok.* Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige. Stockholm.

Shell. 1990. *The Shell Bitumen Handbook.* Shell Bitumen U.K. Chertsey.

Tayebali, Akhtarhusein A., Huang, Y. 2004. *Performance Grading of Bitumen B-180 and B-85 Used in Iceland.* Final Report. Department of Civil Engineering, North Carolina State University. Raleigh.

3 ÁHRIF BINDIEFNISINNIHALDS Á EIGINLEIKA MALBIKS

Bein áhrif bindiefnisinnihalds á malbiksblönduna eru:

- Þykkari bindiefnishúð á steinefnakornum með auknu bindiefnisinnihaldi.
- Hluti fylltrar holrýmdar eykst með auknu bindiefnisinnihaldi.

Óbeint hefur bindiefnisinnihaldið margvísleg áhrif á eiginleika malbiksins. Nokkur þeirra, tekin upp úr skýrslu frá norræna vegtæknisambandinu [NVF 33, 1985], eru rakin hér á eftir (blaðsíðutöl í svigum).

- Hátt bindiefnisinnihald minnkar áhrifin af jákvæðum eiginleikum steinefnisins á mótstöðu gegn skriði (15).
- Hæfilegt bindiefnismagn er fall af eiginleikum steinefnis (sáldurferli, lögun, gropu) og pökkun. Eitt og sér er bindiefnisinnihald lélegur mælikvarði á líkur á skriði (17).
- Þegar hefðbundnum hönnunaraðferðum er beitt, er lágmarksholrýmd eða hámarksrúmþyngd að jafnaði heppilegasti mælikvarðinn á hæfilegt bindiefnisinnihald (18).
- Nágrannalöndin nota ýmist leiðbeinandi gildi fyrir bindiefnisinnihald eða takmörkunarramma (23).
- Hérlendis tíðkaðist lengi að nota hátt bindiefnisinnihald, enda umferð mun minni og þung ökutæki léttari en nú er. Því hafa til dæmis mörk holrýmdar í hönnuðu stífmalbiki verið hækkuð frá því sem áður var.
- Aukið bindiefnisinnihald eykur að jafnaði endingu (34). Þreytuþol eykst með háu bindiefnisinnihaldi (35). Þó getur aukið bindiefnisinnihald aukið hættu á skriði verulega að sumri til, sérstaklega þar umferð er mikil og þung.
- Of þunnar bindiefnishimmnur geta valdið viðloðunarskemmdum (53). Líklega á þetta enn frekar við þar sem salt er notað til hálkuvarna, það er hugsanlegt að saltblandað vatn smjúgi betur en hreint vatn vegna lægri seigju. Um leið er rétt að hafa í huga að bindiefnishimnan er að jafnaði mjög þunn, 9-25 µm (þessar þykktir eru teknar upp úr annarri heimild, NVF-33, 1984, bls. 18).

Meiri hætta er á bindiefnisslikju á nýlögðu malbiki ef bindiefnisinnihaldið er hátt, en hún getur haft áhrif á hemlunarvegalengd og þar með aukið slysahættu. Það verður að teljast líklegt að þarna sé samband á milli, enda finnast dæmi í heimildum um lækkandi viðnámsstuðul með hækkandi bindiefnisinnihaldi [Slyngstad 1972 bls. 7]. Í Finnlandi [NVF-33 2004. bls. 15] eru dæmi um slys á nýlögðu malbiki í rigningu, en í sömu heimild er tekið fram að slys hafi ekki verið rakin til lágs hemlunarviðnáms á gömlum slitlögum. Þetta gæti verið vísbending um að bílstjórar ofmeti hemlunarviðnám á nýlögðu slitlagi (með bindiefnisslikju á yfirborðinu).

Croney [1991, bls. 526] gerir hemlunarviðnámi talsverð skil. Slys vegna of lítils hemlunarviðnáms verða fyrst og fremst á blautum slitlögum (ef frá eru taldir hálir vegir vegna íss). Ef hraðinn er 50 km/klst eða meiri skiptir grófa áferðin, þ.e. hinar sýnilegu ójöfnur (e. *macrotexture*), mestu fyrir hemlunarviðnámið, annars gerð steinefnisins (e.

microtexture). Hann tekur eitt dæmi af rannsókn, gerðri á fjórða áratug síðustu aldar, sem sýndi að hemlunarviðnám á tiltekinni slitlagsgerð jókst verulega þegar bindiefnisfilman var farin af (viðnámsstuðullinn, SFC, jókst úr 0,3 í 0,7). Þessi breyting tók hins vegar langan tíma, fimm ár, enda var umferðin lítil. Í þessu tilfelli er ekki ólíklegt að steinefnið sjálft hafi pólerast með tímanun og orðið hált af þeim völdum.

Íslenskar mælingar á viðnámsstuðulum á nokkrum götum í Reykjavík með mikilli umferð [Ásbjörn Ólafsson, 2001] gefa til kynna að hemlunarviðnám á nýlögðu slitlagi aukist lítillega (um 0,1) á tímabilinu október-desember. Á stöku stað og stuttum köflum er aukningin þó miklu meiri (um 0,3; í einu tilfelli um 0,5) sem getur bent til að þar hafi verið feitir blettir vegna of mikils bindiefnis. Í þessum mælingum er viðnámsstuðullinn þó hvergi minni en 0,4.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti. Þó er aðeins dregið úr með að nota eins mikið bindiefni og mögulegt sé, þar sem það eykur hættu á skriði í malbiki og getur minnkað hemlunarviðnám.

HEIMILDIR

Ásbjörn Ólafsson. Excel-skrár yfir niðurstöður mælinga á viðnámsstuðli í september, október og desember 2001. Óbirt heimild.

Croney, D. and P. Croney. 1991. *The Design and Performance of Road Pavements.* Second edition. McGraw-Hill Book Company. London.

Jacobson, T. 2000. *Utredning av beläggningsskader på Island (Reykjavik).* VTI notat 60-2000. Väg- och transportforskningsinstitutet. Linköping.

NVF-33. 1984. *Massasammansättningens och packningsgradens inverkan på hållbarheten hos asfaltbetong.* Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar.

NVF-33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag.* Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar. Rapport nr 5: 1985.

NVF-33. 2004. *Asfaltbelegningers overflateegenskaper - Friksjon.* Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar. Bráðabirgðaútgáfa.

Slyngstad, T. 1972. *Friksjon.* Internt notat for særkurset. Institutt for veg- og jernbanebygging, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Högskole.

4 TILLAGA AÐ MÖRKUM FYRIR BINDIEFNISINNIHALD

Mörk í verklýsingum fyrir bindiefnisinnihald í malbiki þjóna líklega takmörkuðum tilgangi, ef verklýsingarnar gera á annað borð ráð fyrir að malbikið sé hannað eftir Marshallaðferðinni eða öðrum svipuðum aðferðum. Öðru máli gegnir ef hönnunarþættinum er sleppt, eins og stundum gerist og bindiefnisinnihald er ákvarðað út frá leiðbeinandi gildi með hinum og þessum leiðréttingum. En sé Marshallprófið notað til að hanna malbik er markmið þess meðal annars að ákvarða bindiefnisinnihald malbiksblöndunnar og þá er takmörkunum á bindiefnisinnihaldi ofaukið í verklýsingum, nema þá helst sem vísbending um líklegt bindiefnisinnihald.

Taflan hér á eftir sýnir útdrátt úr norskum [Statens vegvesen 2005], sænskum [Vägverket 2005] og finnskum verklýsingum [PANK 2000] um viðmiðunartölur fyrir bindiefnisinnihald í malbiki og mörk fyrir bindiefnisinnihald ef einhver slík eru sett. Hér er miðað við að bikið sé af gerðinni PG 160⁄220 (Svíar auka bindiefnisinnihaldið um 0,4% eða þar um bil af þyngd blöndu ef bik af gerðini PG 70⁄100 er notað í stað PG 160⁄220). Auk þess er taflan ýmist miðuð við að rúmþyngd steinefnis (Mg⁄m^3) sé 2,65 (Noregur), 2,66 (Svíþjóð) eða 2,70 (Finnland).

Tafla 1.
Viðmiðunartölur (eldri tölur) fyrir bindiefnisinnihald í norsku, sænsku og finnsku malbiki ásamt hámarks- og lágmarks innihaldi af bindiefni þar sem það á við.

	Noregur		Svíþjóð[1]		Finnland	
Slitlag	**Tillaga, %**	**Mörk, %**	**Tillaga, %**	**Mörk, %**	**VFB[2], %**	**Mörk, %**
YFL 8	6,2	-	6,3	6,0-6,6	80-90 (85)	5,4-6,4
YFL 11	5,9	-	6,2	5,9-6,5	80-90 (85)	5,2-6,2
YFL 16	5,6	-	6,0	5,7-6,3	80-90 (85)	5,0-6,0
SMA 8	6,7	-	6,5	5,9-7,4	80-90 (85)	7,0-8,0
SMA 11	6,3	-	6,2	5,7-7,2	80-90 (85)	6,5-7,5
SMA 16	6,0	-	6,1	5,5-7,0	80-90 (85)	6,0-7,0
BNL 11	5,6	-	5,2	4,7-5,7	-	-
BNL 16	5,4	-	5,0	4,5-5,5	-	-
BRL 16	4,5	-	4,8	4,5-5,5	-	-
BRL 22	4,5	-	4,5	4,2-5,2	80-90 (85)	4,2-5,2
BRL 32	4,5	-	4,0	3,7-4,7	80-90 (85)	3,8-4,8

[1] Þessi gildi eru mismunandi eftir stungudýpt bindiefnisins, hér eru tekin gildin fyrir 160/220.
[2] VFB (bikfyllt holrýmd) er hönnunarforsenda í finnskum verklýsingum, viðmiðunargildi í sviga.

Sennilega er rúmþyngd íslenskra steinefna (blöndu) sem notuð eru á höfuðborgarsvæðinu í grennd við 2,85 Mg/m^3. Af því leiðir að bindiefnisinnihaldið í töflunni þarf að lækka um það bil með hlutfallinu 2,66/2,85 eða 0,93 af þessari ástæðu einni til að bindiefnisinnihaldið sé sambærilegt við það sem gerist í Noregi, Svíþjóð og Finnlandi. Þetta svarar um það bil til 0,4 prósentustiga í bindiefnisinnihaldi. Á hinn bóginn eru íslensk steinefni meira eða minna gropin og hluti bindiefnisins fer í að fylla gropur í steinefninu, þ.e.a.s. ef notuð eru íslensk, gropin steinefni en ekki innflutt, þétt steinefni. Lauslega áætlað má gera ráð fyrir að þyngd bindiefnis sem til þess þurfi sé að lágmarki 0,5% og að hámarki 1,5% af þyngd blöndunnar. Í undantekningartilfellum er viðbótarþörfin líklega enn meiri, eins og til dæmis í malbiki úr Rauðamels- eða Stapafellsefni [NVF-33 1986, bls. 39]. Tafla 2 sýnir tillögur að viðmiðunartölum fyrir bindiefnisinnihald í íslensku malbiki, svo og há- og lágmarki þess.

Tafla 2.
Tillögur að viðmiðunartölum fyrir bindiefnisinnihald í íslensku malbiki, svo og há- og lágmarki þess, sbr. töflu 64-3 í kafla 6 í Efnisgæðaritinu frá 2019.

Slitlag	Tillaga, %	Mörk, %
AC 8	6,1	5,8-6,4
AC 11	5,7	5,5-6,0
AC 16	5,5	5,3-5,8
SMA 8	6,8	6,-7,7
SMA 11	6,4	5,9-7,4
SMA 16	6,2	5,7-7,2
BRL 16	4,8	4,6-5,6
BRL 22	4,6	4,2-5,3

Tafla 2 er tillaga að viðmiðunargildum fyrir bindiefnisinnihald í íslensku malbiki, og er byggð á sænsku verklýsingunum og forsendunum hér að framan.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti. Þó eru gildi um bindiefnisinnihald í íslensku malbiki samræmd með tilliti til töflu 64-3 í Efnisgæðaritinu. Í nýustu útgáfum Efnisgæðaritsins hefur tillaga að bindiefnisinnihaldi lækkað umtalsvert fyrir stífmalbik (AC) í þeirri viðleitni að kröfur um lágmarksholrýmd, sem hefur verið hækkuð, sé innan marka.

HEIMILDIR

NVF-33. 1986. *Bruk av porost steinmateriale til asfaltdekker.* Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000.* Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging.* Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

5 SÁLDURFERLAR OG MARKALÍNUR FYRIR MALBIK

Rétt er að taka strax fram að sáldurferill er ekki stiki í venjulegum skilningi; til að svo væri yrði að vera hægt að lýsa sáldurferli með einni tölu eða tveim, en sáldurferlar í malbiki eru alltof fjölbreyttir til þess. Á hinn bóginn hefur sáldurferillinn afgerandi áhrif á eiginleika malbiksins og af þeirri ástæðu er fjallað um hann sem stika.

Sáldurferlar í malbiki geta verið mjög mismunandi, en þegar sáldurferill hefur verið ákveðinn fyrir tiltekna blöndu er kappkostað að hann breytist sem allra minnst meðan á framleiðslu malbiksins stendur. Ástæðan er sú að breyting á sáldurferlinum, að öðrum stikum óbreyttum, hefur talsverð áhrif á eiginleika malbiksins og sjaldnast til bóta ef malbikið hefur verið hannað fyrir ákveðnar aðstæður. Svo dæmi sé tekið; ef sáldurferill reynist grófari en blöndunarforskrift malbiksins gerir ráð fyrir, má búast við að holrýmdin aukist, en við það eykst hætta á vatnsskemmdum, minnkandi slitþoli og ótímabærri öldrun malbiksins. Af þessum sökum er leyfilegum vikum frá tilgreindum sáldurferli settar þröngar skorður í framleiðslu malbiks.

Í verklýsingum fyrir malbik er sáldurferillinn alltaf sýndur sem þyngdarhluti sýnisins, sem smýgur tiltekið sigti (sáldur), sem fall af möskvastærð sigtisins. Venjulega er möskvastærðin sýnd (í mm) á lárétta ásnum í lograkvarða, en sáldur sýnisins á lóðrétta ásnum (í %). Sumsstaðar erlendis hefur tíðkast að kvarðinn á lárétta ásnum sé í réttu hlutfalli við möskvastærðina (í mm) í veldinu 0,45. Síðarnefnda aðferðin hefur einn kost; ef dregin er bein lína frá upphafspunkti línuritsins (úr horninu neðst til vinstri) að stærstu kornastærð sýnisins við 100% sáldur, þá táknar þessi lína þéttasta mögulega sáldurferil sýnis með þessa hámarkskornastærð. Hönnunaraðferð Superpave byggir val sitt á sáldurferli fyrir malbik á þessari framsetningu.

Þrír eiginleikar sáldurferils öðrum fremur eru mikilvægir fyrir eiginleika malbiksins. Það eru hlutfall mélu (< 0,063 mm) af steinefninu, efri flokkunarstærð þess og lögun sáldurferilsins á milli þessara tveggja punkta á honum.

Méluinnihaldi í malbiki er oftast valið á bilinu 6-13% af þyngd steinefnisins. Meginhlutverk mélunnar er að auka festu malbiksins, því þegar hún blandast bindiefninu gerir hún það seigara, og vinnur þannig gegn skriði. Ef hlutfall mélu og bindiefnis verður mjög hátt er hins vegar hætta á að malbikið verði óþjált og erfitt í útlögn [Frostman 1984, bls. 18] og við það hækkar holrýmdin. Af þessari ástæðu m.a. eru stundum settar takmarkanir á hlutfall mélu og bindiefnis í verklýsingum.

Rannsóknir gefa til kynna að slitþol malbiks aukist með efri flokkunarstærð, þó ekki undantekningarlaust [Frostman 1978, bls. 53; Jacobson 1998, bls. 4, Transportforskningsdelegationen 1975, bls. 63]. Hemlunarviðnám fer að öðru jöfnu vaxandi með hámarks kornastærð, einkum á vegum þar sem negldir hjólbarðar eru notaðir á vetrum og umferðarhraði er mikill. Ástæðan er sú að yfirborð slitlagsins verður grófara með stækkandi hámarkskornastærð og vatn sem verður á milli

hjólbarða og slitlags á greiðari leið burt en ella [Hunter 1994, bls. 62]. Á hinn bóginn eru slitlög með lítilli efri flokkunarstærð að öðru jöfnu hljóðlátari en þau sem eru úr grófara steinefni. Eftir því sem efri flokkunarstærð stækkar er meiri hætta á aðskilnaði í malbikinu, sem kemur fram í grófum blettum sem hættir til að trosna og verða að holum með tímanum.

Lögun såldurferilsins (milli punktanna sem ákvarða hámarks kornastærð annars vegar og méluinnihald hins vegar) hefur veruleg áhrif á eiginleika malbiksins. Tiltölulega þéttur såldurferill (eins og stífmalbik AC hefur) hefur margvísleg jákvæð áhrif á eiginleika malbiksins. Festan er að jafnaði mikil að því gefnu að bindiefnisinnihaldið sé hæfilegt. Malbik með þéttum såldurferli er að öðru jöfnu þjált í útlögn og völtun. Holrýmdin er tiltölulega lág sem dregur úr líkum á ótímabærri hörðnun bindiefnis. Á hinn bóginn getur såldurferillinn orðið of þéttur, þannig að ekki verði nægilegt rúm fyrir bindiefnið og þá gerist annað af tvennu, óskert bindiefnisinnihald spyrnir steinefnagrindinni sundur sem eykur hættu á skriði, eða hitt að slitlagið verður of magurt vegna þess að bindiefnisinnihaldið er haft of lítið. Í þessu efni sem oftar þarf að sigla milli skers og báru þegar þéttleiki såldurferilsins er ákveðinn.

Stundum er såldurferillinn af ásettu ráði hafður verulega frábrugðinn þéttasta såldurferli. Dæmi um þetta er svokallað drenmalbik, sem þó hefur einungis verið lagt í tilraunaskyni hérlendis. Såldurferill drenmalbiks er hafður mjög opinn þannig að vatn geti seytlað gegnum malbikið og út til hliðanna og standi ekki uppi í hjólförum. Holrýmd í slíku malbiki er gjarna höfð 15-20%. Annað dæmi er steinríkt malbik SMA sem talsvert hefur verið notað hérlendis á undanförnum árum; þar er hluti grófs steinefnis aukinn til muna á kostnað grófs sands, þannig að såldurferillinn verður tiltölulega flatur á bilinu 1-5 mm á såldurferlinum, en mélu- og bindiefnisinnihaldið er haft hátt til að fylla að hluta upp í holrúmið sem myndast.

Markalínur EN-staðlanna fyrir malbik [ÍST EN 13108-1 og ÍST EN 13108-5] eru tiltölulega rúmar og leyfa margskonar såldurferla og fræðilega séð getur hannaður såldurferill fylgt annarri hvorri markalínunni. Samt sem áður ætti alltaf að vera keppikefli malbikshönnuða að såldurferillinn liggi sem næst mitt á milli markalínanna, ef því verður við komið, þá verður árangurinn bestur. Jafnframt ber að forðast að såldurferillinn slangri á milli þeirra.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti. Þó má bæta því við hér að við endurskoðun markalína fyrir stífmalbik um áramótin 2021/2022 var þeim breytt nokkuð til að opna fyrir aukinni holrýmd í þeirri malbiksgerð.

HEIMILDIR

Evensen, R. 1970. *Bituminøse vegdekker. Internt notat for grunnkurset 1970.* Institutt for veg- og jernbanebygging. Norges tekniske høgskole, Trondheim.

Frostman, P. (projektledare). 1978. *Slitageundersökningar asfaltbetong.* Samarbetet Neste –Nynäs.

Frostman, P., Simonsson, B. 1984. *Massasammansättningens och packningsgradens inverkan på hållbarheten hos asfaltbetong.* Rapport till förbundsutskottsmöte i Stockholm 2 och 3 juni 1984. NVF Utskott 33 Asfaltbeläggningar.

Hunter, Robert N. (editor). 1994. *Bituminous Mixtures in Road Construction.* Thomas Telford, London.

ÍST EN 13108-1. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 1: Malbik.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

ÍST EN 13108-5. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 5: Steinríkt malbik (SMA).* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Jacobson T., Wågberg, L-G. 1998. *Development of prediction model for pavement wear, wear profile and annual cost.* VTI notat 76A-1998. Swedish National Road and Transport Research Institute. Linköping.

Transportforskningsdelegationen. 1975. *Dubbdäck.* Transportforskningsdelegationen 1975:4. Stockholm.

6 UM SKRIÐ Í ÍSLENSKU MALBIKI

6.1 Inngangur

Hjólför eru langalgengasta orsök endurnýjunar á slitlögum hérlendis. Hjólför í malbiki myndast af þrem ástæðum; sliti, sigi og skriði.

Hérlendis á slit ótvírætt mestan þátt í hjólfaramyndun. Það stafar nánast eingöngu af notkun negldra hjólbarða og stendur að öðru jöfnu í öfugu hlutfalli við slitþol steinefnisins í malbikinu.

Sig getur stafað af lélegri undirbyggingu, hún lætur smám saman undan og malbikið fylgir á eftir. Ef sigið er mikið og bundið við hjólförin myndast stundum sprungur til hliðar við hjólförin og samsíða þeim. Önnur orsök sigs er lóðrétt samþjöppun í malbikinu sem orsakast af ónógri þjöppun þess strax eftir útlögn. Hjólför af þessari ástæðu eru mjög grunn, í mesta lagi 2-3 mm í 50 mm þykku slitlagi, og koma fram á fyrsta sumri eftir útlögn.

Skrið þekkist á því að malbikið skríður til í lárétta stefnu, mestan part þvert á umferðarstefnuna og myndar þá hryggi til hliðar við kröpp hjólför. Malbikið getur líka skriðið til í umferðarstefnuna, einkum þar sem þungir bíla hemla og taka af stað, t.d. við umferðarljós. Skrið getur átt verulegan þátt í hjólfaramyndun en er talið stafa frá umferð þungra bíla á heitum dögum að sumarlagi að langmestu leyti [Wiman 2000].

Í þessum pistli verða talin fram rök með og á móti því að skrið sé marktækur þáttur í hjólfaramyndun í íslensku malbiki, hvaða úrbætur komi til greina ef svo er, ásamt líklegum fylgifiskum þeirra.

6.2 Mælingar á skriði í rannsóknastofu

Við Háskóla Íslands [Elísabet S. Urbancic 1998] voru m.a. gerðar skriðprófanir á fimm sýnum af íslensku malbiki 1997. Malbikið var stífmalbik AC16, tekið af bíl og þjappað í Marshallhamri. Steinefnið var að mestu frá Seljadal, stungudýpt biksins var 89 mm/10, festan 11 kN, sig 5,7 mm og holrýmd 1,1%. Mælingarnar voru gerðar við 40°C. Meðaltal skriðs (eftir 3.600 álagspúlsa) í þessum fimm Marshallkjörnum var 12.600 με (staðalfrávik meðaltalsins 2.000 με). Skriðhraðinn var að meðaltali 0,90 με/álagspúls (staðalfrávik meðaltalsins 0,14 με/álagspúls). Elísabet telur niðurstöðurnar sýna að malbikið hafi svipaða eiginleika og erlendar malbiksgerðir hvað skrið snertir; hefur þó fyrirvara á niðurstöðunum þar eð sum sýnin höfðu áður verið notuð til annarra prófana.

Þessum rannsóknum við Háskóla Íslands var haldið áfram 1998 [Bergþóra Kristinsdóttir 1999]. Þá var sömuleiðis mælt skrið á Marshallkjörnum gerðum úr malbiki af gerðinni AC16 með PG 180/220 biki frá Malbikunarstöðinni Höfða. Kjarnarnir voru 100 mm í þvermál, þjappaðir í þrem flokkum, einn flokkur með 2 x 35 höggum, annar með 2 x 50 höggum og sá þriðji með 2 x 75 höggum. Þrátt fyrir mismunandi þjöppun reyndust Marshalleiginleikarnir svipaðir í öllum flokkunum, holrýmdin 1,0-1,1%, festan á bilinu 11-13 kN og sigið á bilinu 3,2-4,1 mm. Mælingar voru gerðar við 40°C. Skriðið var minnst í kjörnunum með 35 högga þjöppun, 10.900

με, en álíka í hinum flokkunum tveim, um 14.500 με. Skriðhraðinn var mjög svipaður í öllum flokkunum, kringum 0,5 με/álagspúls. Staðalfrávik meðaltalanna er 800-1.400 με fyrir skrið en um 0,1 με/álagspúls fyrir skriðhraða.

Brynhildur Magnúsdóttir mældi skrið á allmörgum borkjörnum sem teknir voru úr þrem köflum sem höfðu verið endurlagðir (e. repave) með steinríku malbiki (SMA) og einum kafla með venjulegu SMA malbiki á gamalt malbik. Endurlögðu kaflarnir voru á Reykjanesbraut, SMA16, holrýmd 0,6%; á Kringlumýrarbraut, SMA16, holrýmd 1,4% og á Hafnarfjarðarvegi, SMA16, holrýmd 3,3%. Kaflinn með hefðbundinni yfirlögn var á Sæbraut, SMA16, holrýmd 1,7%. Borkjarnarnir voru 150 mm þvermál og voru prófaðir samkvæmt sænskri verklýsingu [FAS, án ártals]. Úr hverjum kafla voru prófaðir sjö borkjarnar. Mælingarnar voru gerðar við Háskóla Íslands og í skýrslu um prófanirnar [Sigurður Erlingsson 2001] kemur fram að skriðið var á bilinu 25.000 til 65.000 με og skriðhraðinn á bilinu 2,3 til 7,7 με/álagspúls. Niðurstöðurnar metur Sigurður svo að malbikið á Sæbraut (hefðbundið yfirlag) þoli allt að 1.800 þunga bíla á dag pr. akrein, malbikið á Kringlumýrarbraut og á Reykjanesbraut allt að 900 þunga bíla á dag pr. akrein en malbikið á Hafnarfjarðarvegi minna en 450 þunga bíla á dag pr. akrein. Sigurður tekur fram í skýrslu sinni að niðurstöðurnar verði að skoða m.t.t. þess að prófanirnar séu ekki mjög margar.

Í áðurnefndri skýrslu Sigurðar Erlingssonar er stutt yfirlit yfir nokkrar aðrar mælingar á skriði sem hafa verið gerðar við Háskóla Íslands. Í töflu 1 er þeim skipt í tvennt, malbik með biki af gerðinni PG70/100) og PG 160/220. Taflan sýnir að skriðið er heldur minna í sýnum á malbiki með bindiefni af gerðinni PG70/100 en munurinn er ekki marktækur.

Tafla 1.
Niðurstöður skriðprófana á nokkrum malbiksgerðum.

Bindiefnisgerð	**PG 70/100**		**PG 160/220**	
Malbiksgerð	**Skrið** [με]	**Skriðhraði** [με/**púls**]	**Skrið** [με]	**Skriðhraði** [με/**púls**]
A1/ **PG 70/100**	52000	8,31		
A2/ **PG 70/100**	25400	2,66		
A2/ **PG 160/220**			41600	3,13
B1/ **PG 160/220**	33900	2,90		
B4/ **PG 160/220**			48400	6,19
B5/ **PG 160/220**			50500	3,37
B11/ **PG 70/100**	39600	2,63		
S11/ **PG 160/220**			35800	2,66
Meðaltal	*37725*	*4,12*	*44075*	*3,84*

Til samanburðar við gildin í töflu 1 má taka kröfur um skriðþol í stífmalbiki AC úr sænskum viðhaldsverklýsingum [Vägverket 2000, bls. 9]. Ef umferð þungra bíla[3] er minni en ≈500 bílar/akrein/dag eru engar kröfur gerðar til skriðþols. Sé hún undir

[3] Bíll er í þessu samhengi skilgreindur sem þungur ef verg þyngd hans er meiri en 3500 kg.

≈2000 bílar/akrein/dag má skriðið mest vera 30.000 με en fyrir ≈4000 bílar/akrein/dag eða meira er hámarkið 15.000 με.

Niðurstöður skriðmælinganna sem eru tíundaðar hér á undan gefa til kynna mjög breytilegt skriðþol fyrir íslenskt malbik, allt frá því að vera mjög mikið (< 15.000 με) niður í mjög lítið (> 40.000 με). Á hinn bóginn er ólíklegt að þung umferð fari yfir 500 bíla/akrein/dag nema þá á nokkrum vegarköflum á höfuðborgarsvæðinu.

6.3 Mælingar á skriði í vegi

Steinefnanefnd lét á sínum tíma mæla aukningu í hjólfaradýpt á einu sumri í fimm tilraunaköflum á Sæbraut [Ásbjörn Jóhannesson 1998, Ásbjörn Jóhannesson 2000]. Allar malbiksgerðirnar voru AC16 en úr mismunandi steinefni; Björgunarefni, holrýmd 0,6%, festa 11 kN, sig 7,4 mm; Esjubergsefni, holrýmd 0,6%, festa 10 kN, sig 7,2 mm; Leirvogstunguefni (Leirvogsá), holrýmd 0,0%, festa 11 kN, sig 8,2 mm; Seljadalsefni, holrýmd 0,6%, festa 10 kN, sig 6,2 mm og Snasaefni, holrýmd 0,9%, festa 10 kN, sig 6,8 mm, allt skv. rannsóknum á malbiki frá stöð. Holrýmd í borkjörnum var um það bil einu og hálfu prósenti meiri en holrýmd í malbiki frá stöð sem var mæld í Marshallprófi.

Hjólfaradýpt á þessum köflum var mæld í tvígang sumarið 1991 (ári eftir útlögn) og aftur sumarið 1992. Þá kom í ljós að hjólförin dýpkuðu marktækt milli mælinga sumarið 1991 (um 0,7-1,8 mm). Þessi dýpkun var á bilinu 15-35% af aukningu í hjólfaradýpt á sömu stöðum milli sumranna 1991 og 1992 (á einum stað mældist hjólfaraaukningin yfir sumarið meiri en milli sumra, sem fær ekki staðist).

Nokkru seinna lét Steinefnanefnd mæla aukningu í hjólfaradýpt á einu sumri í þrem tilraunaköflum í Reykjavík [Ásbjörn Jóhannesson 1998]. Slitlagið á þessum köflum var steinríkt malbik SMA, holrýmd 0,0%, festa 7 kN, sig 5,3 mm; AC16, holrýmd 0,1%, festa 10 kN, sig 4,3 mm og AC12, holrýmd 1,3%, festa 9 kN, sig 3,9 mm, allt skv. rannsóknum á malbiki frá stöð. Holrýmd í borkjörnum var aðeins mæld á einum stað, í AC16 og reyndist vera 1,0%.

Niðurstöður mælinga á hjólfaradýpt á þessum köflum benda eindregið til að skrið hafi átt sér stað. Sumarið 1997 jukust hjólförin um 0,6 - 1,0 mm, mest í SMA, minnst í AC16. Hlutur skriðs í hjólfaramyndun var áætlað 10-15% út frá sliti á samskonar slitlagsgerðum, en þessar tölur eru ónákvæmar.

6.4 Aðrar vísbendingar með og á móti skriði

Vísbendingar um skrið má fá með því að skoða hjólför [Wiman 2000]. Ef vinstra hjólfarið er staðbundið, en það hægra dreifðara er líklegt að hjólförin megi bæði rekja til slits og skriðs. Ástæðan er sú að bílar sækja í að aka í sama hjólfari vinstra megin, en þar sem þungir bílar eru breiðari en léttir (og yfirleitt ekki á negldum hjólbörðum) falla áhrifin af sliti og skriði ekki saman í hægra hjólfari. Séu bæði hjólför álíka breið og álíka kröpp er líklegt að þau stafi af sliti, sérstaklega ef bilið á milli þeirra er í samræmi við bil á milli hjóla á fólksbílum. Wiman telur ennfremur að nánast allt skrið megi rekja til þungra bíla.

För eftir tvö hjól hlið við hlið í sama hjólfari eru merki um skrið. Hjólfarið lítur þá út eins og mót af tvöföldum afturhjólum á þungaflutningabíl. Stundum má sjá að malbikið hefur pressast upp í hrygg milli hjólanna. Ef malbik hefur ýtst eða dregist til í aksturssteFnuna er það sömuleiðis merki um skrið; þetta sést frekast þar sem þungir bílar stansa á ljósastýrðum gatnamótum.

6.5 Merki um skrið í Reykjavík eftir sumarið 2007

Júlímánuður 2007 var óvenju hlýr, þurr, lygn og sólríkur í Reykjavík, þótt engin veðurmet væru slegin. Þessi skilyrði ýta undir skrið í malbiki, þar sem yfirborð malbiks getur hitnað langt umfram lofthita þegar sól er hátt á lofti. Í þessum mánuði mældist hæsta hitastig á yfirborði malbiks hartnær 40°C á tveim veðurstöðvum Vegagerðarinnar í nágrenni Reykjavíkur (Sandskeið og Reykjanesbraut) og 33°C á einum stað innanbæjar (Garðabær) á sama tímabili. Hitastig 20 mm undir yfirborði slitlags (viðmiðunardýpt SHRP fyrir hitastig í slitlagi) má reikna út frá yfirborðshita samkvæmt formúlu sem er tilgreind í skýringum við forrit frá Strategic Highway Research Program [SHRP 1995] sem var gert til að spá um hitastig í malbiki við ýmsar aðstæður. Ef þessi formúla er lögð til grundvallar kemur í ljós að hitastig 20 mm undir yfirborði slitlagsins hefur að líkindum komist í 37°C á Sandskeiði og á Reykjanesbraut, en í 31°C í Garðabæ í júlí 2007.

Þessar mælingar sýna að hitastig í slitlagi getur orðið talsvert hærra en spá sú sem líkan Superpave gerir út frá hnattstöðu og veðurfari, sem er 30°C fyrir Reykjavík [Ásbjörn Jóhannesson 2005, bls. 26]. Engu að síður er þetta hitastig miklu lægra en svo að hætta sé á skriði vegna bindiefnisgerðanna sem eru notaðar hér, þ.e.a.s. samkvæmt ákveðnum forsendum og útreikningum byggðum á Superpave. Prófanir (reyndar aðeins á tveim sýnum) gáfu til kynna að hart bindiefni (70/100) muni þola allt að 66°C í slitlagi og mjúkt (160/220) allt að 58°C (sama heimild bls. 26).

Samt sem áður má sjá merki um skrið á gatnamótum í Reykjavík sem líklega hefur orðið á áðurnefndu tímabili. Þau eru mest áberandi við ljósastýrð gatnamót á miklum umferðargötum, og sjást best framan við ljósin, þar sem bílar stansa og taka af stað. Einkennin eru óreglulegar ójöfnur, líkt og malbikið hafi ekist til í umferðarstefnuna. Á milli gatnamóta eru þessi ummerki ekki eins áberandi.

6.6 Er íslenskum slitlögum hætt við skriði?

Samkvæmt rannsóknum á skriði í íslensku malbiki á undanförnum árum er talið að skrið geti verið á bilinu 25-35% af heildarhjólfaramyndun þar sem umferð er mikil og þung.

6.7 Ráðstafanir til að minnka skrið

Fyrst af öllu þarf að gera mælingar til að ganga úr skugga um hvort skrið á sér stað í íslenskum slitlögum og, ef svo er, hvort það er svo mikið að það skipti máli fyrir endingu þeirra. Í þessu sambandi þarf einnig að hafa í huga að ráðstafanir sem eiga að draga úr skriði geta haft aðra fylgifiska sem eru neikvæðir fyrir endingu malbiksins.

Aukin holrýmd í malbiki dregur úr líkum á skriði, þó aðeins upp að vissu marki. Hérlendis hefur tíðkast að halda holrýmd niðri eins og kostur er, en þó innan marka sem gefin eru upp í Efnisgæðaritinu. Lág holrýmd getur aukið hættu á skriði, en hversu mikið er óvíst.

Hart bindiefni dregur einnig úr líkum á skriði, því harðara sem bindiefnið er, þeim mun meiri sumarhita þolir malbikið án þess að skríða. Hérlendis var yfirleitt notað fremur mjúkt bik (PG 160/220) í malbik á árum áður, en notkun á harðara biki (PG 70/100) hefur aukist mikið þar sem umferð er mikil og þung til að sporna gegn skriði. Breytt bindiefni (e. modified bitumen) hefur svipuð áhrif eins og að nota harðara bindiefni.

Kornalögun og yfirborðsáferð steinefnis hefur áhrif á skrið. „Angularity“ er jákvæður eiginleiki. Hátt brothlutfall (hlutfall brotflata af heildaryfirborði steinefnis) dregur úr líkum á skriði; núið efni hefur öfug áhrif.

Ef umferð er mikil og þung er heppilegra að sáldurferill malbiksins sé nær neðri hönnunarmörkum en þeim efri, því gróft steinefni hefur að öðru jöfnu meiri mótstöðu gegn skriði en fíngert.

Hátt hlutfall mélu dregur úr líkum á skriði, því malbikið verður stífara með auknu méluinnihaldi. Háu méluinnihaldi eru þó settar skorður, oft með því að tiltaka hámarkshlutfall mélu og bindiefnis. Annars er hætta á að malbikið þjappist illa og þoli síður hreyfingar í undirbyggingu án þess að springa (verði stökkt).

Líkur á skriði og/eða eftirþjöppun eru taldar minnka með aukinni þjöppun, að öðru óbreyttu.

Malbik með of miklu bindiefni hættir til að skríða. Á hinn bóginn hættir malbiki með of litlu bindiefni til að skemmast af völdum vatns og veðurs, svo þarna þarf að fara bil beggja. Reyndur ráðgjafi, Charles Foster, orðar ráðleggingu sína þannig: „...put in all the asphalt the traffic will bear but not too much“ [Foster 1985, bls. 305].

Festa í Marshallprófi er talin vera mælikvarði á það sem kallað er styrkleiki malbiksins, sem væntanlega má túlka sem mótstöðu gegn skriði og sig í sama prófi er tengt við hættu á skriði [White 1985, bls. 278-279]. Í handbók um hönnun malbiks með Marshallaðferðinni er lögð áhersla á að uppfylla kröfur um festu og sig [Asphalt Institute 1989, bls. 146] nema því aðeins að tryggt sé að frávikin séu saklaus. Þetta bendir til að skriði megi halda í skefjum með því að uppfylla viðhlítandi kröfur um festu og sig. Um gildi Marshallsprófs til að meta líkur á skriði er þó ágreiningur og hefur lengi verið og aðrar hönnunaraðferðir (m.a. Superpave) hafa verið teknar í notkun í sumum löndum.

6.8 Ályktanir

Af þeim upplýsingum sem liggja fyrir er engan veginn á hreinu hvort og hversu mikið skrið er í íslensku malbiki, þótt líkur bendi miklu fremur til að það sé lítið en mikið. Til að komast að hinu sanna þarf kerfisbundnar mælingar á skriði, líklega um nokkurra ára skeið. Þá fyrst er tímabært að meta hvort einhverjar gagnráðstafanir eru nauðsynlegar og hverjar henti best. Óraunhæfar kröfur um lágt sig eða hækkaða holrýmd til að draga úr skriði geta haft eftirköst sem koma niður á endingu malbiksins, sérstaklega í slitlögum, og verði kröfunum breytt frá því sem nú er, verður að gæta þess að fórna ekki minni hagsmunum fyrir meiri.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR VIÐ KAFLA 6 Í JANÚAR 2021

Ritstjórn Efnisgæðaritsins vill taka fram að allt það sem sett er fram í kafla 6, þó með lítilsháttar breytingum nú, er í fullu gildi. Hins vegar má benda á að síðan þessi skrif voru sett fram hafa farið fram ýtarlegar rannsóknir og prófanir á skriðeiginleikum malbiks sem notað er hérlendis, meðal annars í hjólfaratæki (e. *wheel tracking test*), skv. ÍST EN 12697-22. Það tæki kom til landsins árið 2007 og hefur verið markvisst notað til rannsókna og þjónustu við malbiksframleiðendur allar götur síðan. Flestar rannsóknir í hjólfaratækinu hafa verið styrktar af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar og má því finna skýrslur um þær á vef Vegagerðarinnar. Um svipað leiti var fengið Prall tæki til landsins til að mæla slit af völdum nagladekkja og má finna niðurstöður þeirra mælinga í sömu skýrslum og vísað er til hér að ofan. Einnig má benda á að frá því að

kafli 6 var skrifaður hefur umferð aukist verulega, ekki síst umferð þungra bíla, en það á einnig við um vetrarumferð og aukna nagladekkjanotkun með auknum fjölda ferðamanna. Því má ætla að hjólfaramyndun sé enn að verulegu leyti slit af völdum nagladekkja, en þar sem umferð er mikil og þung er áætlað að hjólför af völdum skriðs að sumarlagi geti verið að á bilinu fjórðungur til þriðjungur af heildarhjólförum í malbiki. Reyndar bendir sænskt spálíkan til þess að deigar formbreytingar (skrið) geti verið allt að 40% hjólfaramyndunar. Það þarf þó ætíð að hafa í huga að malbiksgerðin, verklag við lagningu og þjöppun, ytri aðstæður, svo og umferðarsamsetningin hefur afgerandi áhrif á hjólfaramyndun í malbiki hverju sinni. Vegagerðin hefur á undanförnum árum notað hart bik (PG 70⁄100) og innflutt, slitsterkt steinefni til að verjast hjólfaramyndun, bæði af völdum skriðs og slits.

HEIMILDIR

Asphalt Institute. 1989. *The Asphalt Handbook.* Manual Series No. 4 (MS-4). 1989 Edition, Asphalt Institute, Lexington.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson, Valur Guðmundsson. 1998. *Hjólfaramyndun í malbiki að sumarlagi – lokaskýrsla.* BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-5, Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson, Valur Guðmundsson. 2000. *Tilraunakaflar Steinefnanefndar á Sæbraut – lokaskýrsla.* BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-15, Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson. 2005. *Superpave.* Unnið fyrir Rannsókna- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 05-04. Reykjavík.

Bergþóra Kristinsdóttir. 1999. *Íslenskt malbik – ákvörðun aflfræðilegra eiginleika.* Meistaraverkefni. Umhverfis- og byggingaverkfræðiskor. Verkfræðideild Háskóla Íslands, Reykjavík.

Elísabet S. Urbancic. 1998. *Aflfræðilegir eiginleikar íslensks slitlags – ákvörðun í tilraunastofu. MS – verkefni.* Háskóli Íslands, verkfræðideild, Reykjavík.

FAS. Án ártals. *Asfaltbeläggning och –massa. Bestämning av deformationsresistens med dynamisk kryptest.* FAS Metod 468-00. Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige, Stockholm.

Foster, Charles R. 1985. *The Strength of Asphalt Pavements.* Asphalt Paving Technology 1985. Proceedings. The Association of Asphalt Paving Technologists, Minneapolis.

SHRP. 1995. *SHRP Superpave Binder Selection Program: SHRPBIND, Version 2.1.* Developed for Federal Highway Administration, Pavement Performance Division, Virginia, USA.

Sigurður Erlingsson. 2001. *Skoðun á hegðun slitlaga, lagfærðum með „Repave“ aðferð.* Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, Reykjavík.

Tayebali, Akhtarhusein A., Huang, Y. 2004. *Performance Grading of Bitumen B-180 and B-85 Used in Iceland.* Final Report. Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh.

Vägverket. 2000. *Vägunderhåll 2000.* Kapitel 6 Bitumenbundna lager. VV Publ 2000:72. Vägverket, Borlänge.

White, Thomas D. 1985. *Marshall Procedures for Design and Quality Control of Asphalt Mixtures.* Asphalt Paving Technology 1985. Proceedings. The Association of Asphalt Paving Technologists, Minneapolis.

Wiman, Leif G. 2000. Upplýsingar í tölvupósti frá Þóri Ingasyni, fengnar hjá Leif G. Wiman, Väg och transportforskningsinstitutet, Linköping. Tölvupóstur dagsettur 2. febrúar 2000.

7 FRÓÐLEIKUR UM FESTU OG SIG

Mælingar á festu og sigi eru hluti af einni af mörgum hönnunaraðferðum fyrir malbik, Marshallaðferðinni. Festan er mælikvarði á nokkurs konar brotþol malbikssívalnings, sem liggur á hliðinni í sívalningslaga móti sem er opið til endanna en skorið sundur á hliðunum. Sigið er mælikvarði á aflögun malbikssívalningsins þegar álagið nær hámarki í brotþolsprófinu. Aðferðin var þróuð um 1940 og er af mörgum talin úrelt, en er samt sem áður algengasta aðferðin til að ákvarða heppilega samsetningu malbiks, meðal annars vegna þess að með tímanum hefur safnast upp geysimikil reynsla af notkun hennar. Hún er fremur einföld, fljótleg og tiltölulega ódýr og hana er hægt að nota á öllum ferlinum, frá hönnun til eftirlits með framkvæmd. Aðferðin er fyrst og fremst ætluð fyrir heitblandað malbik með hámarks kornastærð 25 mm og tiltölulega þéttan sáldurferil. Síðastnefnda ákvæðið gerir að álitamáli hvort Marshallaðferðin er heppileg til að hanna steinríkt malbik, SMA.

Megintilgangurinn með hönnun eftir Marshallaðferðinni er að ákvarða hæfilegt bindiefnismagn í malbiksblöndu, meðal annars með tilliti til skriðeiginleika og holrýmdar. Á síðari árum hefur „Superpave“-aðferðin veitt henni nokkra samkeppni, en nánast eingöngu vestanhafs.

Tilgangurinn með mælingum á festu og sigi í Marshallprófi er að meta mótstöðu malbiksins gegn skriði [Asphalt Institute 1983, bls. 75] en aðferðin hefur sætt mikilli gagnrýni. Meðal annars er þjöppunin ólík því sem gerist við útlögn, Marshallþjöppunin er eingöngu lóðrétt höggálag en þjöppun með valta er sambland af lóðréttu höggálagi og hnoði. Að þessu leyti er snúðþjöppun raunhæfari (e. *gyratory compaction*). Í annan stað er sjálf prófunin óraunhæf; bæði er prófunarhitastigið (60°C) hærra en gerist í slitlagi í norrænum löndum og álagið í prófuninni er ekkert líkt því sem gerist í slitlagi undir umferð [NVF-33 1985, bls. 18-19]. Aðrar aðferðir til að meta hættu á skriði eru raunhæfari svo sem hjólfarapróf (e. *wheel tracking test*), sigpróf (e. *creep test*) og sveiflandi ein- eða þríásapróf svo nokkrar séu nefndar.

Kröfur um lágmarks festu eru gerðar til að takmarka líkur á skriði. Þar með er ekki sagt að mjög há festa sé eftirsóknarverð, hún getur komið niður á endingu malbiksins [Asphalt Institute 1983, bls. 77]. Sveigjanleiki slitlagsins og sig í Marshallprófi eru talin fylgjast að og minna sig en tveir mm er talið óheppilegt, þá verði slitlagið fremur stíft og stökkt og líklegt til að springa. Á hinn bóginn er talið óheppilegt að sig fari yfir 4,5 mm, en það er oft fylgifiskur lágrar festu [Krebs 1971, bls. 399]. Malbik með óeðlilega hárri festu og lágu sigi samtímis er talið óheppilegt á veikburða undirbyggingu vegna skorts á sveigjanleika og hættu á sprungum [Sargious 1975, bls. 218]. Um 1970 lögðu hollenskir vísindamenn til að stífni[4] (hlutfallið milli festu og sigs) yrði notað sem

[4] Það kann að vera álitamál hvort stífni er rétta orðið í þessu sambandi. Norskar verklýsingar nota orðið „stivhet“ fyrir hlutfall festu og sigs en EN-staðlarnir nota „stiffness“ fyrir niðurstöður einásaprófs með sveiflandi álagi.

mælikvarði á mótstöðu gegn skriði [Foster 1985, bls. 315]. Þetta hlutfall hefur víða verið tekið upp í kröfur.

Tafla 1.
Marshallkröfur í eldri norskum verklýsingum. Ab svarar til AC og Ag svarar til BRL.

Malbiksgerð	Festa kN	Sig mm	Stífni kN/mm
Ab, ÁDU < 5000	>4,0	1,5-4,6	>1,10
Ab, ÁDU > 5000	>5,5	1,5-4,0	>2,15
SMA, ÁDU < 15000	>4,5	1,5-4,6	>1,60
SMA, ÁDU > 15000	>6,0	1,5-4,0	>2,30
Ag, efra burðarlag	>3,0	-	-
Ag, neðra burðarlag	>2,0	-	-

Í norskum verklýsingum [Statens vegvesen 2005, bls. 218 og 283-284] eru gerðar kröfur til festu, sigs og stífni. Kröfurnar eru mismunandi eftir umferð, sjá töflu 1, og eru miðaðar við 75 högga þjöppun í Marshallprófi (venjulegra er að miða við 50 högg).

Í sænskum verklýsingum [Vägverket 2005, bls. 13-19] eru ekki gerðar kröfur til festu eða sigs (þar er Marshallaðferðin eingöngu notuð sem hjálpartæki við ákvörðun á holrýmdareiginleikum malbiksins). Kröfur um skriðmótstöðu er aðeins gerðar til bindilags og þá er einásapróf með sveifluálagi notað til að meta hana [Vägverket 2005, bls. 12].

Finnskar verklýsingar [PANK 2000] gera ekki ráð fyrir mælingum á festu og sigi. Þess í stað er mótstaða gegn skriði metin með hjólfaraprófi (e. *wheel tracking test*) eða skriðprófi (e. *repeated load creep test*).

Í Efnisgæðaritinu eru settar fram leiðbeinandi hönnunarkröfur um festu, sig og stífni eftir þjöppun í Marshallprófi með 50 höggum, sjá úrdrátt úr töflu 64-15 í töflu 2 hér að neðan. Hér er sem sagt ekki um eiginlegar kröfur að ræða, heldur einungis leiðbeiningar fyrir framleiðendur malbiks, ef þeir vilja á annað borð notast við Marshallprófið. Í staðinn hafa verið teknar upp kröfur við gerðarprófanir á mismunandi malbiksforskriftum og þar sem umferð er mikil skal í þeim prófunum gera hjólfarapróf, Prall slitþolspróf og vatnsnæmipróf, auk hefðbundinna holrýmdar- og rúmþyngdamælinga.

Tafla 2.
Kröfur til festu, sigs og stífni malbiks í Efnisgæðaritinu.

Malbiksgerð	Festa kN	Sig mm	Festa/sig kN/mm
Stífmalbik (AC) og steinríkt malbik (SMA)	≥ 5,0	1,5-5,0	>1,0
Burðarlagsmalbik	≥ 3,5	1,0-5,0	-

Í staðli fyrir hefðbundið stífmalbik (e. *asphalt concrete*) [ÍST EN 13108-1] er ákvæði um festu, sig og stífni. Ákvæðið tekur þó því aðeins gildi að malbikið sé ætlað á flugbrautir. Samsvarandi staðall fyrir steinríkt malbik, SMA [ÍST EN 13108-5] hefur engin ákvæði um festu, sig og stífni. Hins vegar eru ákvæði í báðum stöðlum um prófun á mótstöðu gegn skriði með hjólfaraprófi (e. *wheel tracking test*) [ÍST EN 13108-1 og ÍST EN 13108-5].

Því hefur verið haldið fram að skrið í malbiki sé ekki til teljandi vandræða á Norðurlöndunum, nema undir sérstökum kringumstæðum svo sem á akreinum strætisvagna eða annarsstaðar þar sem umferð þungra bíla er mikil. Á hinn bóginn sé líklegt að hönnunin standi stundum tæpt (a.m.k. í Finnlandi) þannig að lítilsháttar breytingar í bindiefnisinnihaldi eða sáldurferli geti leitt til skriðs sem nemi þriðjungi eða jafnvel helmingi af hjólfaramynduninni í heild. Sömuleiðis geti hluti skriðs af hjólfaramyndun verið margfalt meiri á hlýju og sólríku sumri en í venjulegu veðurfari [NVF-33 1985, bls. 19].

Kröfur norsku verklýsinganna til stífni eru vægar meðan umferðin er undir 5000 ÁDU og sennilega auðvelt að uppfylla þær. Öðru máli gegnir þegar umferðin er meiri en 5000 ÁDU, sér í lagi ef steinríkt malbik (SMA) á í hlut. Í þessum tilvikum er verulegum erfiðleikum bundið að uppfylla norsku kröfurnar vegna þess að sigið er hærra hérlendis en tíðkast í Noregi.

Slitlaganefnd samdi á sínum tíma tillögur að kröfum fyrir festu og sig sem eru sýndar í töflu 3 [Ásbjörn Jóhannesson 2000]. Þær eru miðaðar við 50 högga þjöppun á hvorn enda malbikssýna. Nefndin lagði ekki fram tillögur að kröfum um stífni. Rétt er að benda á að krafa um 7,0 kN festu í burðarlagi sýnist vera ríflega til tekin, en hún er sótt í danskar verklýsingar [Vejdirektoratet – Vejregelutvalget 1994, bls. 7 og 13] fyrir burðarlög í vegum með mikla eða þunga umferð.

Tafla 3.
Tillögur Slitlaganefndar að kröfum fyrir festu og sig í nokkrum malbiksgerðum.

Malbiksgerð	Festa kN	Sig mm
SL 8	≥ 4,0	1,5-5,5
SL 11	≥ 4,0	1,5-5,5
SL 16	≥ 4,0	1,5-5,5
SMA 8	≥ 5,0	1,5-5,5
SMA 11	≥ 5,0	1,5-5,5
SMA 16	≥ 5,0	1,5-5,5
BNL 11	≥ 3,5	1,0-5,0
BNL 16	≥ 3,5	1,0-5,0
BRL 16	≥ 3,5	1,0-5,0
BRL 22	≥ 3,5	1,0-5,0

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Það skal ítrekað hér að í Efnisgæðaritinu eru settar fram leiðbeinandi hönnunarkröfur um holrýmd, festu, sig og stífni eftir þjöppun í Marshallprófi með 50

höggum, sjá töflu 64-15 í kafla 6. Hér er sem sagt ekki um eiginlegar kröfur að ræða, heldur einungis leiðbeiningar fyrir framleiðendur malbiks, ef þeir vilja á annað borð notast við Marshallprófið. Í staðinn hafa verið teknar upp kröfur við gerðarprófanir á mismunandi malbiksforskriftum og þar sem umferð er mikil skal í þeim prófunum gera hjólfarapróf, Prall slitþolspróf og vatnsnæmipróf, auk hefðbundinna mælinga á sáldurferli, bindiefnismagni, holrýmdar- og rúmþyngdamælinga. Þessum 7. kafla í þessum viðauka hefur verið breytt í samræmi við það og má benda á að tafla 3 hér að framan er í raun söguleg og líklega einnig norskar kröfur um festu og sig sem koma fyrir framar í kaflanum, sem sagt í töflu 1. Þá má benda á að tafla 4 um tillögur að kröfum til festu, sigs og stífni malbiksgerða hefur verið felld út, þar sem hún stangast á við töflu 64-15 í Efnisgæðaritinu.

HEIMILDIR

Alverk '95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð.* Vegagerðin. Reykjavík.

Asphalt Institute. 1983. *Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements.* The Asphalt Institute Manual Series No. 22. Maryland.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. 2000. *Endurskoðun á markalínum fyrir malbik – lokaskýrsla.* BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-16. Reykjavík.

Foster, Charles F. 1985. *The Strength of Asphalt Pavements* (discussion). Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists. Ann Arbor.

ÍST EN 13108-1. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 1: Malbik.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

ÍST EN 13108-5. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 5: Steinríkt malbik (SMA).* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Krebs, Robert D., Richard D. Walker. 1971. *Highway Materials.* McGraw-Hill Book Company. New York.

NVF-33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag.* Nordisk Vegteknisk Förbund. Utvalg 33 Asfaltbelegninger. Rapport nr. 5.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000.* Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Sargious, M. 1975. *Pavements and Surfacings for Highways and Airports.* Applied Science Publishers Ltd. London.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging.* Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

Vejdirektoratet – Vejregelutvalget. 1994. *Vejregler. Udbuds- og anlægsforskrifter. Varmblandet asfalt.* Almindelig arbeidsbeskrivelse (AAB).

8 HOLRÝMD Í BURÐARLAGSMALBIKI

Meginhugmyndin á bak við tillögurnar í skýrslu Slitlaganefndar [Ásbjörn Jóhannesson o. fl.] var að gera ekki meiri kröfur til sáldurferils malbiks en nauðsynlegt væri, en leggja áherslu á aðra eiginleika til að tryggja nauðsynleg gæði. Á þessari forsendu voru mörk fyrir sáldurferla valin þannig að leyfðir sáldurferlar samkvæmt Alverk '95 svo og norskum og sænskum verklýsingum, rúmuðust innan markanna, þeim stillt upp til bráðabirgða á þeirri forsendu að fyrst vægar kröfur gætu gengið erlendis, þá væri líklegt að þær gætu gengið hér líka. Síðan var reynt að meta hvort þetta væri raunhæf afstaða og mörkin þrengd aftur ef gild ástæða var fyrir hendi. Tillögur að öðrum kröfum, þar á meðal um holrýmd, voru gerðar með tilliti til íslenskar reynslu.

Þegar kröfur eru settar um holrýmd í burðarlagi þarf að hafa í huga að:

- Það getur verið varhugavert að leyfa mjög mikla holrýmd í smágerðu burðarlagsmalbiki vegna þess að þá getur malbikið þjappast saman undir umferð og orsakað hjólför (sig) í slitlaginu. Hvar á að setja mörkin er álitamál, en líkast til gerist þetta ekki að neinu ráði meðan holrýmdin er undir 10%.
- Það er fremur ólíklegt að hitastigssveiflur verði miklar í burðarlagsmalbiki (sem liggur 10 cm eða meira undir yfirborði). Ef til vill eru til mælingar á þessu (á Grensásvegi) eða reiknilíkön sem meta þetta. Alténd er minni hætta á skriði í burðarlagi vegna sumarhita en í lögunum fyrir ofan. Sömuleiðis má gera ráð fyrir að mismunur milli landa í hitafari (og veðurfari) hafi minni áhrif á hönnun burðarlags en efri lög í veghlotinu. Á þessari forsendu hefur það nokkuð til síns máls að fara ekki niður fyrir lágmarksholrýmd í erlendum verklýsingum, en það sýnist heldur ekki ástæða til að gera strangari kröfur.
- Álagið er væntanlega farið að dreifast verulega þegar komið er niður í bikbundið burðarlag (þá er gert ráð fyrir bindilagi og slitlagi fyrir ofan).
- Hérlendis hefur ekki tíðkast að gera kröfur um sérstakt bikbundið burðarlag (auk bindilags og slitlags) nema þar sem umferð er mikil eða þung. Þar af leiðandi sýnist rökrétt að miða kröfur til bikbundins burðarlags við mikla eða þunga umferð.
- Mikil holrýmd (> 10%) í burðarlagi hefur eina jákvæða hlið; það er minni hætta á að vatn, sem af einhverri ástæðu kemst niður í gegnum slit- og bindilag, safnist fyrir í eða ofan við burðarlagið. Sennilega er þó lítil hætta á þessu ef allt er með felldu. Svo má líta á þetta frá öðru sjónarmiði; er æskilegt að hafa burðarlagsmalbikið þétt til að varna vatni að komast neðan frá inn í burðarlag og bindilag? Sennilega á þetta sjónarmið alveg jafn mikinn rétt á sér eins og hitt, því slitlagið er (eða á að vera) þétt.
- Lág holrýmd hefur jákvæð áhrif á þreytuþol malbiks. Ef fyllt holrýmd er meiri en 50% eru áhrifin þó óveruleg [NVF 33, bls. 35].
- Ef burðarlagsmalbik er notað sem bráðabirgðaslitlag (veturinn eftir útlögn) er rétt að halda holrýmdinni niðri.

Með hliðsjón af þessum punktum og töflu 1 hér á eftir sýnist ekki skipta ýkja miklu máli hvaða kröfur eru gerðar til holrýmdar í burðarlagi. Í norsku verklýsingunum [Statens vegvesen, bls. 218] er lágmark holrýmdar í burðarlagsmalbiki sett 2%, og verður að teljast líklegt að lágmarkið sé valið nægilega hátt til að útiloka skrið. Norsku verklýsingarnar leyfa 8% hönnunarholrýmd í efra burðarlagsmalbiki sem sennilega er nokkuð mikið, ekki síst ef þjöppunarkrafan er aðeins 95%, og helsta ástæðan er möguleiki á sigi (sem er þó léttvæg, því áhrifin frá siginu hverfa með fyrstu yfirlögn). Á hinn bóginn leyfa norsku verklýsingarnar allt að 12% hönnunarholrýmd í neðra burðarlagsmalbiki. Með hliðsjón af sænsku verklýsingunum [Vägverket, bls. 4] er þó líklega til bóta að breyta holrýmdarkröfunum frá því sem tilgreint er í S-16 þannig að þær verði:

- Fyrir BRL 16: 2,0-6,0% (2,0-4,0 sem bráðabirgðaslitlag).
- Fyrir BRL 22: 2,0-6,0% (2,0-4,0 sem bráðabirgðaslitlag).

Þá ætti holrýmd í útlögðu burðarlagi í hæsta lagi að fara í 11%, miðað við 95% þjöppunarhlutfall. Hvað kröfur um holrýmd í bráðabirgðaslitlagi varðar er tæpast ástæða til að hrófla við þeim, hætta á skemmdum á einum vetri er líkast til óveruleg þótt holrýmdin sé 4% (6% í útlögðu malbiki, miðað við 98% þjöppunarhlutfall en það verður að tiltaka í kafla um holrýmd í útlögðu malbiki).

Tafla 1.
Hönnunarkröfur til holrýmdar í malbiki, (Marshallholrýmd), takmarkaðar við PG 160/220 bik, teknar úr nokkrum heimildum.

Verklýsing	BUSL S-16		ATB VÄG 2005		Vegbygging 2005			
					Neðra burðarlag		Efra burðarlag	
Burðarlagsgerð	**Minnst**	**Mest**	**Minnst**	**Mest**	**Minnst**	**Mest**	**Minnst**	**Mest**
AG 16			4,0	6,0				
AG 22*			3,0	9,0				
AG 32*			3,0	9,0				
BRL 16	2,0	8,0						
BRL 22	2,0	8,0						
BRL 32	-	-						
AG (<11,2 mm)**					2	14	-	-
AG (>11,2 mm)**					2	12	2	8

*Miðast við sýni úr tilraunakafla í byrjun verks. Taflan sýnir gildi á einstökum sýnum, en meðaltal 5 sýna skal vera á bilinu 3-7%.
** Marshallþjöppun skal vera 2 x 75 högg.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli er látinn halda sér að mestu leyti, nema þar sem vitnað er í Alverk ´95, sem er orðið úrelt. Leiðbeinandi hönnunargildi fyrir holrýmd burðarlagsmalbiks í töflu 64-15 í Efnisgæðaritinu eru 2,0 til 6,0% eins og lagt er til hér að framan fyrir BRL 16 og BRL 22 (þó ekki í töflu 1).

HEIMILDIR

Alverk ’95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð.* Vegagerðin. Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. 2000. *Endurskoðun á markalínum fyrir malbik – lokaskýrsla.* BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-16.

NVF 33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag.* Nordisk vegteknisk forbund. Utvalg 33 – Asfaltbelegninger. Rapport nr. 5, 1985.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018 Vegbygging.* Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

9 FRÓÐLEIKUR UM HOLRÝMD OG ÞJÖPPUNARHLUTFALL

Algengustu aðferðir til að tilgreina þjöppun eru [Hunter, bls. 210, í lauslegri endursögn]:

- Samanburður á rúmþyngd borkjarna, teknum úr slitlagi og rúmþyngd sýna sem eru þjöppuð samkvæmt staðli, svo sem Marshallkjarna, þ.e. rúmþyngd í slitlagi í % af rúmþyngd Marshallkjarna (þjöppunarhlutfall[5]).
- Samanburður á rúmþyngd borkjarna, teknum úr slitlagi, og eðlisþyngd[6] sama malbiks (þetta er hefðbundna aðferðin hérlendis, tilgreinir rúmmálshluta lofts í borkjarnanum í %).
- Samanburður á rúmþyngd borkjarna, teknum úr slitlagi, og höfnunar-rúmþyngd[7] sem er ákveðin á rannsóknastofu.

Önnur heimild [Brown, næsta blaðsíða framan við bls. 1] nefnir eina aðferð til viðbótar:

- Hlutfall af þjöppun í tilraunakafla[8].

Þjöppun skiptir ótvírætt miklu máli fyrir endingu malbiks og því til stuðnings má draga fram fjöldann allan af rannsóknaniðurstöðum. Hunter (bls. 219) segir til dæmis að þjöppunin þurfi sérstakrar aðgæslu við, annars sé hætta á verulega skertri endingu. Brown (bls. 1) telur holrýmd í malbiki að öllum líkindum vera mikilvægasta einstaka eiginleika malbiks með tilliti til skila[9]. Hann vitnar í ýmsar heimildir og kemst að þeirri niðurstöðu að holrýmd eigi að vera á bilinu 3-8% (þriggja prósenta krafan er miðuð við holrýmd eftir að viðbótarþjöppun frá umferð er um garð gengin). Ekki undir 3% því þá sé hætta á skriði[10] og ekki yfir 8% því þá verði slitlagið lekt, vatn og loft (súrefni andrúmsloftsins gerir bindiefnið stökkt) geti þá valdið skemmdum á slitlaginu. Frostman (bls. 44) vitnar í þýska rannsókn sem ályktar að malbik sé þétt ef holrýmdin er undir 3%, svo til þétt (praktiskt taget tät) ef holrýmdin er 3-5%, óverulega lekt (ringa genomsläpplig) ef holrýmdin er 5-8% en lekt ef holrýmdin er meiri.

Hultqvist (bls. 5) kemst svo að orði: „I en tungt trafikerad asfaltbeläggning anses risken för plastisk deformation öka om hålrumshalten är < 2%...". Í þessu sambandi má taka fram að Svíar hafa lækkað Marshallholrýmd í algengum slitlögum. Í sænskum verklýsingum, ATB VÄG 2005 [Vägverket 2005, bls. 14 og 18] er leyfð

[5] *Þjöppunarhlutfall;* á ensku: *percent of laboratory density.*
[6] *Eðlisþyngd;* notað hér sem þýðing á ensku: *theoritical density.*
[7] *Höfnunarrúmþyngd;* á ensku: *percentage refusal density,* stundum táknað PRD.
[8] *Þjöppun í tilraunakafla;* notað hér sem þýðing á ensku: *percent of control strip.*
[9] *Skil;* á ensku: *performance.*
[10] *Skrið;* á ensku: *deformation.*

holrýmd 1,5-3,5% í hefðbundnu 11 og 16 mm stífmalbiki (AC) og 2,0-3,5% í 11 og 16 mm steinríku malbiki (SMA), en í eldri verklýsingum, VÄG 94 [Vägverket 1994, bls. 43-51], sem tók gildi 1994, eru holrýmdarkröfur fyrir sömu malbiksgerðir 2,4-4,4% (stífmalbik), 2,9-4,9% (SMA 11) og 2,4-4,4% (SMA 16) svo holrýmdin virðist hafa verið lækkuð um 1% eða þar um bil. Í borkjörnum má holrýmd vera á bilinu 1,5-5,5% í yfirlagsmalbiki og SMA [Vägverket 2005, bls. 13-19]. Áðurnefndar kröfur gilda fyrir malbik með PG 160⁄220 bik. Allt þetta bendir til þess að Svíar telji mikilvægt að halda holrýmd niðri, ekki síst í ljósi þess að sumarhitar eru meiri þar en hér og hætta á skriði að sama skapi meiri. Því má bæta við að þjöppunarkrafa, sem var í VÄG 94 hefur verið tekin út í ATB VÄG 2005.

Ekki hefur verið kannað hvort einhverjar svipaðar breytingar á holrýmd hafa verið gerðar í Noregi.

Því má heldur ekki gleyma að eiginleikar steinefnisins svo sem brothlutfall og lögun skipta máli fyrir líkur á skriði, sömuleiðis hlutfall mélu (filler) í steinefninu og bindiefnis í malbikinu. Þess vegna er ekki rétt að einblína á holrýmd þegar hætta á skriði er metin. EN-staðlarnir gera líka ráð fyrir að skriðeiginleikar malbiksins séu prófaðir.

Áherslu á þjöppun má túlka þannig að það sé ekki nóg að holrýmdin sé lítil, það þurfi einnig að tryggja að malbikið sé pressað eins vel saman (hátt þjöppunarhlutfall) og hægt er með góðu móti (án þess þó að holrýmdin verði of lítil, það má fyrirbyggja með sáldurferli malbiksins). Að öðrum kosti verði malbikið laust í sér sem býður upp á sig og skrið. Hátt þjöppunarhlutfall eykur stífni malbiksins [Frostman bls. 57] en þá er að vísu meiri hætta á að það springi á lélegri undirbyggingu. Á þessari forsendu getur skipt máli að tiltaka þjöppunarhlutfall (ekki bara holrýmd) í útlögðu malbiki, þótt líklegt sé að negldir hjólbarðar muni hafa meiri áhrif á endingu þess en stífnin.

Í skýrslu um Superpave [Ásbjörn Jóhannesson, bls. 27] er ályktað að bindiefni það sem mest er notað hérlendis (PG 160⁄220) henti ágætlega fyrir íslenskar aðstæður og þoli allt að 58°C en hitafar hérlendis geri aðeins kröfu um 34°C (46°C við verstu aðstæður). Það gæti því verið mögulegt að lækka neðri mörk holrýmdar á þessari forsendu, en sem stendur er ekki ljóst hvort svo er, né heldur hvernig hentugast væri að meta það.

Vafalítið er mikilvægt að missa ekki sjónar á sérstöðu okkar hvað veðurfar varðar. Við búum við örar frost-þíðusveiflur, blautar götur langtímum saman að vetrarlagi og gropin steinefni. Vísast má færa rök að því að þessar aðstæður reyni mikið á malbikið; lág holrýmd og þykk bindiefnishimna á steinefnunum sé hvort tveggja æskilegt undir þessum kringumstæðum til að koma í veg fyrir skemmdir. Hátt bindiefnisinnihald vinnur líka gegn sprungum í malbiki þar sem undirbyggingin er ekki upp á það besta, malbikið lagar sig þá frekar að hreyfingum í henni. Sömuleiðis er vafasamt að malbik með holrýmd yfir 4-5% sé nægilega þétt fyrir íslenskar aðstæður, en afgerandi dæmi því til stuðnings eru ekki tiltæk. Þó hefur líka verið sýnt fram á að vatn fer með tímanum gegnum bindiefni sem hefur verið roðið í þunnu lagi á glerplötur, svo það er heldur ekki þétt [Fromm bls. 217]. Rannsóknir hafa líka sýnt [NVF 33, bls. 55] að saltblandað vatn smýgur gegnum bindiefnishimnuna.

Halldór Torfason hjá Malbikunarstöðinni Höfða telur að lauslega áætlað liggi holrýmd í útlögðu malbiki um 1% ofan við Marshallholrýmd. Hann telur þó að 1% mismunur (99% þjöppun) sé naumt skammtað. Hann staðfesti að Torbjörn Jakobson

hafi komið hingað fyrir nokkrum árum, skoðað götur og gert skýrslu þar um. Hann hafi ekki sett út á hátt bindiefnisinnihald hérlendis.

Halldór gat þess einnig að hátt bindiefnisinnihald hefði verið kært vegna banaslyss sem varð á Kringlumýrarbraut fyrir nokkrum árum. Hátt bindiefnisinnihald hefur tilhneigingu til að mynda feita bletti, sérstaklega í steinríku malbiki (SMA).

Reynsla undanfarinna ára bendir til sveiflukenndrar endingar á malbiki á götum Reykjavíkur. Hún gæti stafað af breytingum á holrýmd eða bindiefnisinnihaldi. Þegar skriðs verður vart er reynt að bæta úr því með hærri holrýmd og þegar skemmdir aukast vegna hárrar holrýmdar er bindiefnisinnihaldið aukið á nýjan leik. Sé það hins vegar rétt að skrið sé 10-15% af hjólfaramynduninni er það farið að skipta máli í endingu, það svarar um það bil til þess að hún minnki um eitt ár. Vandinn er að finna út hversu langt niður má fara með holrýmdina án þess að það komi verulega að sök og svarið er vandfundið.

Enn ein hugdetta; er líklegt til árangurs að nota harðara bindiefni og meira af því, vinna þannig samtímis gegn skriði og skemmdum? Gallinn á þessu er sá að þunnum lögnum úr hörðu malbiki hættir við að krossspringa (e. chicken wire cracking) ef þær liggja á lélegri undirbyggingu.

Að síðustu fáein orð um sambandið milli holrýmdar í útlögðu malbiki og þjöppunarhlutfalls:

→ Ef áskilið þjöppunarhlutfall (e. percentage reference density) er miðað við eðlisþyngd rúmþyngd og gefið upp sem p% má finna holrýmdina sem 100-p. *Dæmi:* Ef áskilin þjöppun er 98% verður holrýmdin 2%.

→ Ef áskilið þjöppunarhlutfall (e. percentage reference density) er miðað við þjöppun á rannsóknastofu (t.d. Marshallþjöppun) og gefið upp sem p% má finna holrýmdina sem 100-p*q/100 þar sem q er hlutfallsleg þjöppun í Marshallprófi í %. Ef p og q eru hvorutveggja > 95% má með góðri nálgun finna holrýmd í útlögðu malbiki sem (100-p)+(100-q)=200-p-q.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli er látinn halda sér að mestöllu leyti.

HEIMILDIR

Ásbjörn Jóhannesson. 2005. *Superpave.* Skýrsla nr. 05-04. Unnið fyrir Rannsókna- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

Brown, E. R. 1990. *Density of Asphalt Concrete – How Much is Needed.* NCAT Report No. 90-3. http://ntl.bts.gov/lib/3000/3800/3898/rep90-3.pdf

Fromm, H. J. 1974. *The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces.* Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 43. Ann Arbor.

Frostman, P. og B. Simonsson. 1984. *Massasammansättningens och packningsgradens inverkan på hällbarheten hos asfaltbetong.* Rapport till förbundsutskottsmötet i Stockholm 2 och 3 juni 1984. NVF Utskott 33 Asfaltbeläggningar.

Hultqvist, Bengt-Åke. 1993. *Asfaltbeläggningars deformationsegenskaper – Kunskapsöversikt.* VTI notat nr. V 205 Väg- och Trafikinstitutet.

Hunter, Robert N. (editor). 1994. *Bituminous mixtures in road construction.* Thomas Telford, London.

NVF 33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag.* Nordisk vegteknisk forbund. Utvalg 33 – Asfaltbelegninger. Rapport nr. 5 1985.

Vägverket. 1994. *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner VÄG 94. 6. Bitumenbundna lager.* VV Publ 1994:26. Borlänge.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

10 ÞJÖPPUNARKRÖFUR FYRIR MALBIK

Hér kemur tvennt til greina:

- Tiltaka þjöppunarhlutfall, þ.e. rúmþyngd borkjarna úr útlögðu malbiki í % af Marshallrúmþyngd.
- Tiltaka holrýmd í útlögðu malbiki.

Fyrrgreinda aðferðin hefur einn augljósan kost. Hún gefur til kynna hversu mikið malbikið (sem þarf ekki endilega að vera nákvæmlega eins og hönnunin segir fyrir um) hefur verið þjappað miðað við þá þjöppun sem hönnunin gerði ráð fyrir að malbikið fengi. Ókosturinn er sá að þessi aðferð er dýr, auk holrýmdarmælinga á borkjarnanum þarf að hita malbikið upp og þjappa það í Marshallhamri til samanburðar ef vel á að vera. Ef malbikslagið er þunnt getur jafnvel þurft nokkra kjarna til að fá nóg efni í samanburðinn. Annar möguleiki er að miða við Marshallrúmþyngd úr hönnunarprófinu. Það er vafasamari aðferð, því útlagða blandan gæti verið eitthvað öðruvísi en hönnunarblandan og það gæti gefið ranga mynd af þjöppuninni og um þessa aðferð gæti orðið ágreiningur.

Síðarnefnda aðferðin er einfaldari og ódýrari. Gallinn á henni er sá að hún tryggir ekki að malbikið sé vel þjappað, aðeins að holrýmdin sé innan marka. Það er hugsanlegt að lág holrýmd náist með tiltölulega lítilli þjöppun, malbikið getur þess vegna verið laust í sér eftir þjöppun, ef svo má segja, þótt það sé ef til vill langsótt áhyggjuefni.

Í Efnisgæðaritinu er gerð krafa um að ≥ 96% rúmþyngd af rúmþyngd fenginni með mælingu strax eftir völtun með geislamæli eða rafsegulbylgjum. Auk þess er gerð krafa um að holrýmd stífmalbiks (AC) sé á bilinu 1,5-4,5%, steinríks malbiks (SMA) á bilinu 1,5-4,5% og burðarlagsmalbiks á bilinu 2,0-7,0%.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli er talsvert mikið skorinn niður nú. Ástæða þess er að talsvert var vísað í Alverk ´95 varðandi íslenskar kröfur um þjöppun og holrýmd og tiltölulega gamlar heimildir um það sama á Norðurlöndunum. Það skal ítrekað hér að gerð er krafa um að ≥ 96% rúmþyngd af rúmþyngd fenginni með Marshallprófi af sömu uppskrift sé náð. Auk þess er gerð krafa um að holrýmd stífmalbiks (AC) sé á bilinu 1,5-3,5%, steinríks malbiks (SMA) á bilinu 2,0-4,0% og burðarlagsmalbiks á bilinu 2,0-6,0%. Það að fjalla um gamlar og að mestu leyti úreltar kröfur um rúmþyngd og holrýmd malbiks gæti ruglað lesandann í ríminu og því ekki talið til bóta að hafa það með. Hins vegar má benda á að öllum heimildum sem vísað er í er haldið óbreyttum í heimildalista hvers kafla í öllum þessum viðauka.

HEIMILDIR

Alverk ’95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð.* Vegagerðin. Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. 2000. *Endurskoðun á markalínum fyrir malbik – lokaskýrsla.* BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-16.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000.* Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018 Vegbygging.* Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

11 HOLRÝMD Í STEINEFNI OG FYLLT HOLRÝMD

Með *holrýmd í steinefni* er átt við þann hluta af rúmmáli þjappaðrar malbiksblöndu sem steinefnið fyllir ekki, með öðrum orðum er hún sá rúmmálshluti malbiksblöndunnar sem er bindiefni og loft. Holrýmd í steinefni breytist með hámarkskornastærð blöndunnar, þjöppun malbiksins og að nokkru leyti bindiefnisinnihaldi og öðrum stikum, svo sem lögun steinefnis.

Annað nátengt hugtak er *fyllt holrýmd*. Með fylltri holrýmd er átt við þann hluta af holrýmd í steinefni sem er fylltur með bindiefni. Það sem eftir stendur er þá holrýmd í malbiki, sem í daglegu tali er stytt í *holrýmd*.

Ef sáldurferillinn er einskorna eða sérstaklega óheppilegur í lögun getur holrýmd í steinefni farið allt upp í 30%. Ef méluinnihaldið er fram úr hófi hátt í annars grófum sáldurferli, getur holrýmd í steinefni á hinn bóginn farið niður fyrir 10%. Hæfileg holrýmd í steinefni er alla jafna á bilinu 14-20%, 15-18% er algengt í AC 16 stífmalbiki. Að jafnaði er reynt að halda holrýmd í steinefni eins lágri og kostur er, þó þannig að þar verði rúm fyrir nægilegt bindiefni og lágmarks holrýmd [Wallace 1967, bls. 67]. Þreytuþol malbiks eykst að jafnaði með lækkandi holrýmd í steinefni, sömuleiðis mótstaðan gegn skriði [Hilliges 1995, bls. 176]. Í verklýsingum eru að jafnaði ekki gerðar kröfur til holrýmdar í steinefni, heldur tilgreind leiðbeinandi gildi. Norskar og sænskar verklýsingar [Statens vegvesen 2005, Vägverket 2005] hafa til dæmis engin ákvæði um holrýmd í steinefni. Í finnskum verklýsingum [PANK 2000, bls. 62] eru hins vegar tilgreind leiðbeinandi mörk, 13-17% í stífmalbiki (AC) og 16-20% í steinríku malbiki (SMA). Í amerískum leiðbeiningabæklingi [Asphalt Institute 1984, bls. 32] er varað við því að holrýmd í steinefni fari niður fyrir ákveðið lágmark, sem er fall af efri flokkunarstærð malbiksins. Fyrir malbik með efri flokkunarstærð 16 mm er þetta lágmark 13-14%.

Holrýmd í steinefni þarf að fylla að mestu með bindiefni, þó ekki að fullu, því þá er hætta á að bindiefnið pressist upp á yfirborðið í hitum, slitlagið verði hált og skríði undir þungri umferð. Á hinn bóginn þarf að fylla nægilega mikið af holrýmdinni í steinefninu með bindiefni til að slitlagið verði vatnsþétt, með öðrum orðum; svo að holrýmd í malbiki verði hæfileg.

Heppileg fyllt holrýmd er oft á bilinu 75-85%; fyrir sumar slitlagsgerðir eru efri mörkin stundum höfð hærri [Hilliges 1995, bls. 176]. Norskar verklýsingar [Statens vegvesen 2005, bls. 283-284] gera kröfu um að fyllt holrýmd í slitlagi (þjöppun 2 x 75 högg í Marshallprófi) sé á bilinu 75-90% ef umferðin er undir 5000 ÁDU, annars 70-85%. Í burðarlagi á fyllt holrýmd að vera ≥ 45% (sama heimild bls. 218). Finnskar verklýsingar [PANK 2000, bls. 62) hafa leiðbeinandi gildi fyrir fyllta holrýmd; 80-90% fyrir slitlag og bindilag en 70-80% fyrir burðarlag. Keppikeflið er að fyllt holrýmd sé

mitt á milli markanna. Sænskar verklýsingar [Vägverket 2005] hafa engin ákvæði um fyllta holrýmd.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi stutti kafli fær að halda sér að langmestu leyti. Þó skal bent á í þessu sambandi að í Efnisgæðaritinu í kafla 64.5.3 í Kröfur til efnismassa – Leiðbeinandi hönnunarkröfur segir: "Kröfur um gerðarprófanir gera ráð fyrir að eiginleikum mismunandi malbiksgerða sé lýst yfir á ákveðinn hátt (e. *Declaration of Performance, DoP*). Íslenskur fylgistaðall um framleiðslu malbiks, ÍST 75, kveður meðal annars á um hvaða prófanir skuli gera vegna gerðarprófana. Fyrir malbik sem ætlað er til nota þar sem umferð er lítil nægir að lýsa yfir kornakúrfu, bindiefnisinnihaldi, holrýmd, bikfylltri holrýmd og hitastigi við blöndun. Ef malbiksgerð er ætluð til nota þar sem heildarumferð mikil, eða > 8000 ÁDU eða þar sem þungaumferð er ≥ 400 $ÁDU_þ$ (miðað við heildarumferð á vegi eða götu), og einnig þar sem er sambærilegt álag á malbikinu, t.d. á flugvöllum, flughlöðum, hafnarsvæðum, biðstöðvum strætisvagna og öðrum vinnusvæðum þungra farartækja, skal auk þess lýsa yfir skrið-, slit- og vatnsnæmi-eiginleikum. Gerðarprófanir hverrar malbiksgerðar sem framleidd er á markað skal gera í upphafi og síðan á fimm ára fresti að lágmarki. Ef gerð malbiks er breytt á afgerandi hátt (þannig að farið er út fyrir þolvik) skal meðhöndla malbiksblönduna sem nýja gerð malbiks sem þarf þá að gerðarprófa sem slíka".

HEIMILDIR

Asphalt Institute. 1984. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types.* Manual Series No. 2 (MS-2). May 1984 edition. Maryland.

Hilliges, F. (redaktör). 1995. *FAS Asfaltbok.* Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige. Stockholm.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000.* Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging.* Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel F Bitumenbundna lager.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

Wallace, Hugh A., Martin, J. Rogers. 1967. *Asphalt Pavement Engineering.* McGraw-Hill Book Company, New York.

12 FRÓÐLEIKUR UM VIÐLOÐUN OG VIÐLOÐUNARPRÓF

Ef tvö efni komast í nána snertingu hvort við annað eiga þau til að festast eða límast saman. Þessi eiginleiki er kallaður viðloðun. Því haldbetri sem festingin er þeim mun betri er viðloðunin sögð vera [Rannsóknir á viðloðunarefnum, 1966, bls. 2].

Viðloðun í bikbundnum slitlögum má skilgreina sem styrkleika bindingsins milli bindiefnis og steinefnis. Mæling á þessum styrkleika er hins vegar verulegum erfiðleikum bundin og í staðinn er notast við óbeina mælingu, þar sem blöndum af steinefni og bindiefni er raðað eftir svörun þeirra við ákveðinni áraun undir tilteknum kringumstæðum.

Þegar bikbindiefni kemst í snertingu við þurrt og hreint steinefni er viðloðunin undantekningarlítið góð. Öðru máli gegnir ef yfirborð steinefnisins er rakt, þá er viðloðunin venjulega slæm. Orsökin er sú að í flestum tilfellum er viðloðun vatns og steinefnis sterkari en viðloðun bindiefnis og steinefnis. Af þessu má draga tvær mikilvægar ályktanir:

- Ef steinn er þakinn vatni loðir venjulegt bindiefni (þ.e. án viðloðunarhvata) illa eða alls ekki við hann.
- Þótt steinninn sé þegar þakinn bindiefni getur vatn samt sem áður hrakið bindiefnið af honum ef vatnið kemst í gegnum bindiefnishimnuna (t.d. ef hún rifnar) og að yfirborði steinsins.

Viðloðun bindiefnis og steinefnis er háð ýmsum eiginleikum beggja efnisþátta. Þessir eru helstir:

- *Kísilsýruinnihald steinefnis.* Að líkindum hafa bergtegundir með hátt kísilssýruinnihald (> 60%) að jafnaði lakari viðloðun en lágt. Sem þumalfingursreglu má nota að ljós steinefni (granít, kvarsít, díorit) hafa yfirleitt lakari viðloðun en dökk (basalt).
- *Gropa.* Stundum er erfitt að þurrka gropin steinefni fullkomlega. Ef ekki tekst að þurrka allt vatn úr gropunum, getur vatnið í þeim þrengt sér milli bindiefnishimnunnar og steinsins og rifið hana frá. Ef steinefnið er hins vegar fullþurrt, þrengir bindiefnið sér inn í gropurnar og þá fæst betri viðloðun (stærri snertiflötur) en í gropulausu efni.
- *Kornalögun og yfirborðsáferð.* Á hvössum brúnum steinefnisins er bindiefnishimnan þunn. Þar er hætt við að himnan rifni, vatn komist undir hana og byrji að flysja bindiefnishimnuna frá. Sama máli gegnir um steinefni í yfirborði slitlagsins, þar rofnar bindiefnishimnan af völdum negldra hjólbarða.
- *Hreinleiki.* Ef steinefnið er óhreint (fínefnasmurt) getur viðloðun brugðist jafnvel þótt það sé fullkomlega þurrt, vegna þess að óhreinindin varna bindiefninu að komast í fulla snertingu við steinefnið. Þá getur verið til bóta að þvo steinefnið. Veðrunarhúð á steinefninu getur haft samskonar áhrif.
- *Seigja bindiefnis.* Því þynnra sem bindiefnið er, þeim mun auðveldara á það með að væta steinefnið og smjúga inn í gropur. Að sama skapi er auðveldara

fyrir vatn að flysja bindiefnishimnuna af, ef það kemst á milli steins og bindiefnis.

- *Efnafræðilegir eiginleikar.* Talið er að sýrustig bindiefnis hafi áhrif á viðloðun þess við steinefni.
- *Íaukar.* Viðloðunarefni, íaukar sem stundum er blandað í bindiefni geta bætt viðloðun til muna.

Viðloðun getur verið tvenns konar:

- *Treg (e. passive) viðloðun.* Að jafnaði límist bindiefni við þurran stein, þótt það nái engri festingu við hann rakan. Þetta er kölluð treg viðloðun. Þessi gerð af viðloðun er algengust í malbiki.
- *Áleitin (e. active) viðloðun.* Ef dropi af bindiefni, sem snertir rakan stein, skríður út yfir steininn þannig að snertiflöturinn stækkar er viðloðunin kölluð áleitin. Þetta er merki um að viðloðun bindiefnisins við steininn sé meiri en viðloðun vatns við hann. Þegar viðloðunarefnum er blandað í bindiefni breytist viðloðunin oft úr tregri viðloðun í áleitna.

Viðloðunarefni, geta bætt viðloðun til muna, einkum ef bindiefni með litla seigju eiga í hlut. Ef viðloðun verður að vera áleitin, eins og þegar þunnfljótandi bindiefni (svo sem bikþeytu) er blandað í rakt eða hálfþurrkað steinefni verður steinefnið að vera hreint og lítt eða ekki veðrað. Viðloðunarefni eru talin halda virkni sinni svo árum skiptir, a.m.k. þegar malbik á í hlut.

Algengust þeirra viðloðunarefna sem nú eru notuð eru fituamin. Það eru kolvetnakeðjur með aminhóp á öðrum endanum. Sá endi er hlaðinn og binst auðveldlega hleðslum á yfirborði steinefnisins. Hinn endinn er fitusækinn og tengist þess vegna bindiefninu. Þessi virkni getur verið svo öflug að viðloðunin verði áleitin, eins og berlega kemur í ljós þegar viðloðun er prófuð í svokölluðu hrærsluprófi.

Viðloðun getur skipt miklu máli fyrir endingu slitlags og þess vegna hafa verið reyndar ótal aðferðir til að prófa viðloðunareiginleika steinefna og áhrif vatns á malbik. Þessar prófunaraðferðir hafa allar sætt gagnrýni en eru þó, sumar hverjar að minnsta kosti, taldar gefa sterkar vísbendingar um viðloðunareiginleika. Prófunaraðferðunum má skipta í tvo flokka:

- Prófun á viðloðunareiginleikum steinefna. Þá er bindiefni blandað saman við steina, raka eða þurra, og mælt á einhvern hátt hversu vel bindiefnið loðir við þá. Af þeim sem hafa verið notuð hérlendis eru hrærslupróf á viðloðun og rúlluflöskupróf algengust.

  Hrærslupróf á viðloðun prófar áleitna viðloðun. Þá er þunnu bindiefni, blönduðu viðloðunarefni, hrært saman við blautt steinefni í stærðaflokknum 4-16 mm í fáeinar mínútur í þar til gerðri hrærivél. Síðan er vatni hellt yfir og hrært í klukkustund. Að því búnu er þakningin metin [Ásbjörn Jóhannesson 1977, bls. 31]. Þetta próf hefur reynst vel til að meta viðloðunareiginleika steinefna, sem á að nota í klæðingar.

  Rúlluflöskupróf [ÍST EN 12697-11] mælir trega viðloðun. Þurrum steinum í stærðaflokkum á bilinu 5,6-11,2 mm er blandað saman við bik (með eða án viðloðunarefnis). Að því loknu eru steinarnir, einn og einn, tíndir upp í 500 ml glerflöskur þar til 150 g eru komin í hverja af þrem flöskum, og þær síðan fylltar að mestu með vatni. Þá eru flöskurnar lagðar á hliðina í vél sem veltir þeim í sífellu. Eftir 6 klst og aftur eftir 24 klst (prófið má einnig framlengja í 48 og 72

klst) eru steinarnir skoðaðir og þakning þeirra metin. Þetta próf hefur verið notað lítið eitt hérlendis en árangurinn orkar tvímælis, nákvæmnin er ekki sérlega mikil. Í kafla 6 í Efnisgæðaritinu er gerð sú krafa að steinefni í malbiki skuli hafa a.m.k. 25% þakningu úr rúlluflöskuprófi eftir hrærslu í 48 klst.

→ Prófun á malbiki. Styrkleiki sýna (borkjarna, Marshallkjarna eða svipaðra sívalninga) af malbiki er borinn saman við styrkleika samskonar sýna sem hafa sætt áraun frá vatni við tiltekið hitastig. Í undantekningartilfellum er bætt við nokkrum frost-þíðusveiflum. Próf af þessu tagi eru kölluð vatnsnæmipróf og algengasta prófið hérlendis af þessu tagi er kleyfnipróf á viðloðun.

Kleyfnipróf á viðloðun [ÍST EN 12697-23] mælir trega viðloðun og byggist á styrkleikasamanburði sýna sem annars vegar hafa legið í vatni í 3 sólarhringa við 40°C og hinsvegar sýna sem eru prófuð þurr. Síðan er kleyfniþol (indirect tensile strength) beggja sýnahópa prófað og hlutfallið tekið sem mælikvarði á vatnsnæmi malbiksins. Þetta próf hefur verið notað hérlendis sem gerðarpróf á malbiki ef umferð er mikil (ásamt hjólfaraprófi og slitþolsprófi) og niðurstöðurnar hafa verið í viðunandi samræmi við reynslu.

Í ljósi þess að aðstæður hérlendis (margar frost-þíðu sveiflur, blaut slitlög vegna úrkomu og hálkueyðingar) gera miklar kröfur til viðloðunar bindiefnis við steinefni og þol slitlaga gagnvart áraun frá vatni, er æskilegt að prófa viðloðunareiginleika slitlaga á einhvern hátt. Þótt viðloðunarpróf séu frumstæð, eru þau samt sem áður líkleg til að geta raðað slitlagsgerðum með hliðsjón af viðloðunareiginleikum og gefið vísbendingu um endingu.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að langmestu leyti.

HEIMILDIR

Ásbjörn Jóhannesson. 1977. *Viðloðun í olíumöl og malbiki.* Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

ÍST EN 12697-11. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

ÍST EN 12697-23. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Rannsóknir á viðloðunarefnum. 1966. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

13 FRÓÐLEIKUR UM RÚLLUFLÖSKURPRÓF

Árið 1986 voru gerðar viðloðunarprófanir á nokkrum efnum með rúlluflöskuprófi [Nordisk Vegteknisk Forbund 1986, bls. 27-29]. Steinefnið var í stærðaflokknum 9,5-11,2 mm og þrír rannsóknamenn mátu þakninguna. Það var úr ýmsum námum, íslenskum (ÍS), færeyskum (FÆ), norskum (N) og sænskum (SE). Bindiefnið var bik með stungudýpt um 150 mm/10. Um viðloðunarefni er ekkert tekið fram, né heldur hvort það var notað. Niðurstöður eftir 48 klst. prófun eru sýndar í töflu 1. Í sömu töflu eru einnig sýndar niðurstöður kleyfniþolsprófs á vatnsnæmi malbiks úr sömu steinefnum.

Tafla 1.
Niðurstöður rúlluflöskuprófs og kleyfniþolsprófs á viðloðun á nokkrum malbiksefnum með biki með stungudýpt 150 mm/10. Meðaltal þakningar í rúlluflöskuprófi var metin af þrem mönnum eftir prófun í 48 klst.

Steinefni	**Þakning** [%]	**Kleyfniþol** [%]	**Reynsla**
Hundsarabotnur (FÆ)	22	76	Góð
Lambareiði (FÆ)	7	26	Slæm
Porkeri (FÆ)	45	92	Góð
Björgun (IS)	3	50	Miðlungs
Selás (IS)	9	74	Góð
Snasi (IS)	33	98	Góð
Stapafell (IS)	7	66	Miðlungs
Vatnsskarð (IS)	5	65	Lítið slitþol
Skyggestein (N)	40	58	Lítið slitþol
Steinshögda (N)	26	75	Góð
Granít (SE)	19	71	Óvíst
Kvarsít (SE)	13	68	Óvíst

Taflan gefur í skyn að samhengið milli kleyfniþols og þakningar eftir 48 klst prófun sé ótraust, sömuleiðis er samhengið milli þakningar og reynslu ekki sannfærandi.

Árið 1987 gerði Steinefnanefnd rannsóknir á rúlluflöskuprófi, þar sem steinefni úr sextán námum, langflestum íslenskum, voru prófuð [Steinefnanefnd 1994, bls. 9-10]. Steinefnið var í stærðaflokknum 5,6-8,0 mm, bindiefnið var vegolía, blönduð 1% af Diamin HBG. Þrjú sýni voru prófuð af hverju steinefni og þrír menn mátu þakninguna á hverju sýni. Prófununum var hagað þannig að fyrst var fyrsta sýni (ein flaska) af hverju steinefni prófað og þakningin metin af öllum matsmönnunum þremur, síðan næsta sýni á sama hátt og að lokum hið þriðja. Í hverri prófun var þakningin metin eftir eina, þrjár, sjö, 24 og 48 klst. Niðurstöðurnar eftir 48 klst prófun eru sýndar í töflu 2, tölur um þakningu eru hækkaðar eða lækkaðar í næsta heila margfeldi af 5.

Á grundvelli þessara prófana var ályktað að munur á þakningarmati einstakra manna væri mikill og þakning steinefna í prófinu væri ekki í samræmi við reynslu af þeim í vegi né heldur niðurstöður annarra prófana. Á þessum forsendum ákvað Steinefnanefnd að gera ekki frekari rannsóknir á rúlluflöskuprófinu.

Niðurstöðurnar úr þessari athugun voru notaðar til að meta nákvæmni rúlluflöskuprófsins. Staðalfrávik (endurtekinna) mælinga er á bilinu 0-23, oftast þó á bilinu 2-7. Frávikshlutfall (staðalfrávik sem hlutfall af mældu gildi) er á bilinu 0-100%. Mat rannsóknamanna á þakningu er marktækt mismunandi, og hefur meiri áhrif á niðurstöðurnar en steinefnið. Sömuleiðis er marktækur munur á milli prófunarumferðanna þriggja. Rétt er að taka fram að þessar samanburðarprófanir þurfa ekki að vera gildar fyrir prófanir á steinefnum í malbik, þar sem vegolía var notuð við prófanirnar.

Tafla 2.
Niðurstöður rúlluflöskuprófs á viðloðun á nokkrum malbiksefnum með vegolíu blandaðri viðloðunarefni. Meðaltal þakningar á þrem sýnum, metin af þrem mönnum eftir prófun í 48 klst.

Steinefni	**Þakning, %, metin af matsmanni nr:**		
	1	**2**	**3**
Bakkaá	25	35	30
Björgun	5	10	5
Esjuberg	10	20	10
Granít	5	20	20
Grjóteyrarhæðir	15	20	20
Haukadalsá	5	20	5
Hvalfjarðareyri	10	25	10
Korpúlfsstaðir	5	10	5
Kvarsít	25	35	10
Melar	10	25	10
Núpar	5	15	5
Snasi	30	40	30
Stardalur	25	35	20
Stóra-Fellsöxl	10	30	10
Stóra-Laxá	20	25	15
Vatnsskarð	5	10	5

Gerð voru rúlluflöskupróf vorið 2007 á viðloðun fjögurra steinefna (Durasplitt, Harðikambur, Hólabrú og Seljadalur) við mjúkt bik, með og án viðloðunarefnis (0,3% Wetfix I), fyrst og fremst til að kanna nákvæmni prófsins [Arnþór Ó. Arason, 2007]. Tveir rannsóknamenn mátu þakningu að prófun lokinni, óháð hvor öðrum. Lausleg athugun á niðurstöðunum sýnir lítinn (5 prósentustiga) en marktækan mismun á mati þeirra. Viðloðunarprófin voru ekki endurtekin, en samanburður á niðurstöðum hlutsýna (sem eru þrjú í hverri prófun) gefa til kynna að staðalfrávik þakningar á hlutsýnum sé að meðaltali rúm fjögur prósentustig og að ólíklegt sé að mismunur endurtekinna viðloðunarprófa með þessum hætti fari yfir 10 prósentustig, ef annarhvor áðurnefndra rannsóknarmanna prófar.

Í lokin má geta staðals um prófanir á viðloðun í rúlluflöskuprófi [ÍST EN 12697-11]. Þar segir að óformlegar athuganir á rúlluflöskuprófi sýni að „repeatability“ (endurtekningarnákvæmni prófsins innan sömu rannsóknastofu) sé 20% og „reproducibility“ (endurtekningarnákvæmni prófsins milli rannsóknastofa) sé 30%. Með öðrum orðum er ekki ástæða til að rengja niðurstöður tveggja prófana samkvæmt staðlinum á sams konar sýnum sem sami maður prófar á sömu stofu með sama tækjabúnaði, meðan mismunur þessara tveggja prófana fer ekki yfir 20%. Á hliðstæðan hátt er ekki ástæða til að rengja niðurstöður tveggja prófana á samskonar sýnum sem sinn hvor maðurinn prófar, hvor á sinni rannsóknastofu, hvor með sínum tækjabúnaði, meðan mismunur þessara tveggja prófana fer ekki yfir 30%.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að langmestu leyti.

HEIMILDIR

Alverk ´95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega og brúargerð.* Vegagerðin, Reykjavík.

Arnþór Ó. Arason. 2007. *Rúlluflöskupróf skv. ÍST EN 12697-11.* Óbirt minnisblöð frá prófunum á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

ÍST EN 12697-11:2005. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Nordisk Vegteknisk Forbund. 1986. *Bruk av poröst steinmateriale til asfaltdekker.* Utvalg 33- Asfaltbelegninger. Rapport nr. 10, 1986. Reykjavík.

Steinefnanefnd. 1994. *Steinefni í bundin slitlög.* Viðloðunarpróf. Reykjavík.

14 VATNSNÆMI MALBIKS

Vatnsnæmi er einn þeirra mælikvarða sem notaður er til að meta viðloðun milli bindiefnis og steinefnis í malbiki. Prófun á vatnsnæmi byggist í stórum dráttum á því að bera styrkleika (þrýstiþol, kleyfniþol, þreytuþol) malbikssýna, sem hafa legið í vatni tiltekinn tíma, með eða án frost-þíðu áraunar, saman við styrkleika samskonar malbikssýna sem hafa verið geymd jafnlengi þurr. Fjölmargar aðferðir hafa verið reyndar til að mæla vatnsnæmi en þær eru allar annmörkum háðar og yfirleitt hefur ekki tekist að sýna fram á sterkt samband milli prófunarniðurstöðu og endingar [Nordisk Industrifond 2004, bls. 60-69]. Sú aðferð sem hefur reynst einna best er kleyfnipróf og hún hefur verið notuð hérlendis, meðal annars við gerðarprófanir malbiks þar sem umferð er mikil. Kostur við þessa aðferð er að hana má nota jafnt á Marshallkjarna sem borkjarna úr slitlagi.

Vatnsnæmi er að líkindum tengt endingu malbiks og sennilega er þörf á að mæla það á einn eða annan hátt. Rökin með eru þau að slitlög hérlendis eru oft blaut langtímum saman á veturna og frost-þíðusveiflur margar. Auk þess er efni í malbik stundum tekið úr sjó, og tilraunir hafa sýnt að malbikskjarnar úr saltblönduðu steinefni, sem hafa legið lengi í vatni, bila miklu fyrr undir sveiflandi álagi en malbikskjarnar úr samskonar steinefni en saltlausu. Ennfremur er talið að kísilsýruríkt steinefni (sem er dæmigert fyrir innflutt steinefni) hafi að jafnaði lakari viðloðun en basísk steinefni (svo sem íslenskt basalt). Vegna notkunar negldra hjólbarða rofnar bindiefnishúðin á steinum í yfirborði slitlagsins strax á fyrsta vetri og þar getur vatn komist á milli bindiefnis og steins og rofið bindinginn þar á milli. Mótrökin eru hins vegar þau að holrýmd er af ásettu ráði haldið mjög lágri í íslensku malbiki, svo það má með nokkrum sanni kallast vatnsþétt, og ætti þess vegna ekki að verða fyrir skemmdum af vatni, nema þá á yfirborðinu. Einnig hefur tíðkast á síðari árum að setja ætíð viðloðunarefni í bindiefnið, sem styrkir tengslin milli bindiefnis og steinefnis. Að sögn heldur viðloðunarefnið virkni sinni árum saman [Jacobson 2000, bls. 22].

Sænskar verklýsingar [Vägverket 2005, bls. 22-23] gera kröfu um að vatnsnæmi sé prófað minnst einu sinni á ári á steinefni úr hverri námu í notkun. Sýnið má vera borkjarnar eða Marshallkjarnar úr viðkomandi malbiki. Auk þess eru gerðar kröfur um vatnsnæmipróf á útlögðu malbiki, ef magnið er meira en 2000 tonn. Fyrir hver byrjuð 8000 tonn í útlögn skal prófa eitt borkjarnasýni. Prófunaraðferðin er kleyfnipróf á viðloðun (sjá ÍST EN 12697-12). Kröfurnar eru mismunandi eftir malbiksgerðum, fyrir slitlag þarf hlutfallið að vera > 70%, fyrir bindilag > 75%, en fyrir afréttingarlag og burðarlag > 60%.

Norskar verklýsingar [Statens vegvesen 2005] hafa engar kröfur til vatnsnæmi.

Samkvæmt finnskum verklýsingunum [PANK 2000 bls. 61] er ekki skylt að mæla vatnsnæmi malbiks nema þess sé talin þörf. Vatnsnæmi er mælt með kleyfniprófi á viðloðun samkvæmt nánari fyrirmælum. Krafan fyrir hefðbundið stífmalbik (AC) er að hlutfallið sé ≥ 80% en ≥ 60% fyrir drenmalbik.

Í Efnisgæðaritinu er krafa um vatnsnæmipróf vegna gerðarprófana á malbiksgerðum, kleyfnipróf á viðloðun [ÍST EN 12697-12], en nákvæmninni er samkvæmt áðurnefndum staðli er að ekki er ástæða til að rengja niðurstöður nema mismunur tveggja mælinga sé meiri en 15%.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, nema umfjöllun um Alverk ´95 er tekin út og bent á að gerð er krafa um vatnsnæmi malbiks í Efnisgæðaritinu.

HEIMILDIR

Alverk ´95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega og brúargerð.* Vegagerðin, Reykjavík.

Aurstad, J. (verkefnisstjóri). 2004. *Beständighet hos asfaltbeläggningar. State-of-the-art.* Faglig sluttrapport – forprosjekt. Nordisk Industrifond.

ÍST EN 12697-12. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.* Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Jacobson, T. 2000. *Utredning av beläggningsskader på Island (Reykjavik).* VTI notat 60-2000. Väg- och transportforskningsinstitutet. Linköping.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000.* Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

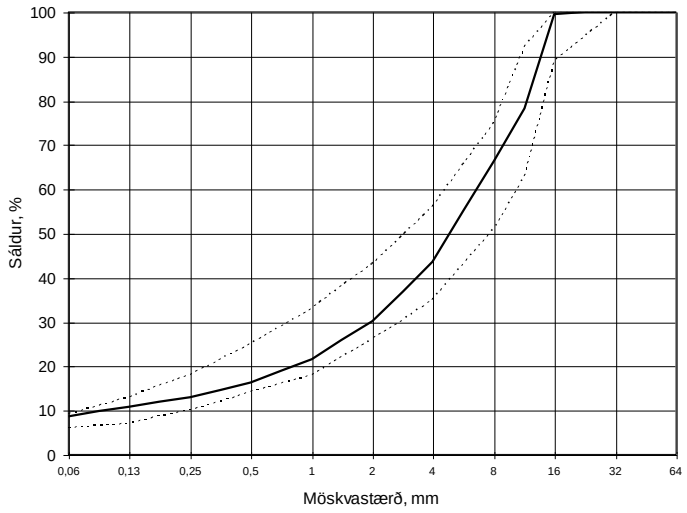
Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging.* Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel F Bitumenbundna lager.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

15 UM ÁHRIF SALTS Á ÞREYTUÞOL MALBIKS

Árið 2006 hófust rannsóknir á áhrifum salts á þreytuþol malbiks á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. Þær voru fjármagnaðar af Rannsókna- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar og markmiðið var meðal annars að kanna hvort salt í malbiksefnum (teknum úr sjó eða úr flæðarmáli) sé líklegt til að skerða endingu malbiks undir sveiflandi álagi eins og gerist undir umferð. Í fyrsta áfanga voru gerðar nokkrar mælingar til að kanna hvort salt í steinefninu hefði áhrif á þol malbiks í einása sveifluprófi eftir mismunandi langa geymslu í vatni.

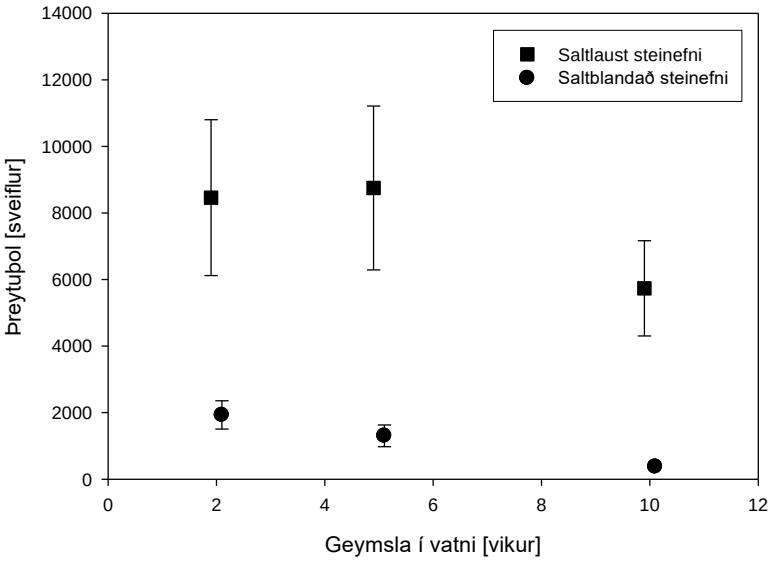
Gerðir voru 32 malbikssívalningar, helmingur þeirra úr hreinu steinefni og hinn helmingurinn úr saltblönduðu steinefni, 10 cm í þvermál og 10 cm háir. Malbikið í þá var blandað úr steinefni frá Seljadal frá Malbikunarstöðinni Höfða og mjúku biki (PG 160⁄220), án viðloðunarefnis. Sáldurferillinn var í samræmi við kröfur til stífmalbiks, AC16 í verklýsingum Vegagerðarinnar og er sýndur á mynd 1 ásamt markalínum fyrir AC16. Þyngdarhlutfall bindiefnis af blöndu var 5,8%, holrýmdin 5,9-6,4% og henni var stýrt með snúðþjöppu (e. gyratory compactor). Steinefni í helming sívalninganna var látið liggja í 3% vatnslausn af matarsalti, NaCl, í sjö sólarhringa og síðan þurrkað áður en malbikið var blandað. Með stoð í lauslegum útreikningum má ætla að 0,8 g salts séu í hverjum sívalningi, eða 0,4‰ af þyngd steinefnis. Hinn helmingur sívalninganna var saltlaus.



Mynd 1.
Sáldurferill steinefnis í malbikssívalningum (heildregin lína) ásamt markalínum fyrir AC16 (punktalínur).

Sívalningunum var skipt í syrpur þannig að í hverri syrpu voru fjórir sívalningar með saltblönduðu steinefni og aðrir fjórir saltlausir. Sívalningarnir voru valdir í syrpurnar með hjálp slembitalna. Hver syrpa var látin standa í vatni við stofuhita í tvær, fimm eða tíu vikur, án lofttæmingar. Að því búnu voru sívalningarnir prófaðir.

Prófunaraðferðin er mjög einfölduð útgáfa af sænskri prófunaraðferð [Höbeda 1999, bls. 29]. Þegar sívalningur hafði verið í vatnsbaði tilsettan tíma var honum komið fyrir í þríásatæki undir sveiflandi álagi, án hefðbundins hliðarstuðnings en á kafi í vatni. Hitastigi vatnsins var ekki stýrt meðan á prófun stóð en var um 20°C. Þrýstingur á yfirborð vatnsins (selluþrýstingur) var hafður 100 kPa. Grunnálag á endafleti sívalninganna var sömuleiðis haft 100 kPa. Síðan var lagt 600 kPa sveiflandi álag (e. haversine) á endafletina með tíðnina 3 Hz. Mesta aflögun var takmörkuð við 15 mm og hámarksfjöldi sveifla við 100.000. Streita var mæld sem fall af sveiflufjölda.



Mynd 2.
Þreytuþol malbikssívalninga úr hreinu og saltblönduðu steinefni í prófun undir sveiflandi álagi eftir geymslu í vatni í mismunandi langan tíma. Grönn strik sýna 95% öryggisbil fyrir meðaltal mælinga á hverri malbiksgerð.

Niðurstöðurnar prófananna gefa eftirfarandi til kynna:

- Ef steinefnið er saltlaust er þreytuþolið áþekkt hvort sem malbikið er geymt í vatni í tvær, fimm eða tíu vikur.
- Þreytuþol malbiks úr saltlausu steinefni er um það bil fjórfalt til tífalt á við þreytuþol malbiks úr steinefni sem inniheldur um 0,4‰ salts af þyngd steinefnis, eftir geymslu í vatni í tvær, fimm eða tíu vikur. Margfeldið hækkar eftir því sem malbikið er geymt lengur í vatni, m.ö.o. eykst mismunurinn á þreytuþoli malbiks úr saltblönduðu steinefni og saltlausu eftir því sem geymslutími malbiksins í vatni eykst.
- Þreytuþol malbiks úr saltblönduðu steinefni virðist minnka í réttu hlutfalli við geymslutíma í vatni, sjá mynd 2. Dreifing niðurstaðna úr prófunum á samskonar sýnum er mikil og óvíst að munurinn á þreytuþoli sýna úr saltblönduðu steinefni eftir tvær vikur annars vegar og fimm vikur hinsvegar sé marktækur. Hins vegar er samsvarandi mismunur eftir geymslu í vatni í fimm vikur annars vegar og tíu vikur hinsvegar ótvírætt marktækur.

Þess má geta að forprófanir (á samskonar malbikssívalningum og niðurstöðurnar hér á undan byggjast á) sýndu engan mun á þreytuþoli malbiks úr hreinu og saltblönduðu

steinefni, ef sívalningarnir höfðu ekki legið í vatni. Þetta bendir til að skert þreytuþol í malbikssýnum sem þessum *komi því aðeins fram að steinefnið sé saltblandað og að sýnin hafi legið í vatni.*

Í byggingarreglugerð er krafa um að innihald af NaCl í þurrum sandi sem nota á í járnbenta steypu sé ekki meira en 0,6 g/kg og 0,2 g/kg (g/kg samsvarar ‰ af þyngd) ef sandinn á að nota í strengjasteypu. Í þessu ljósi er athyglisvert að 0,4‰ saltinnihald skuli hafa jafn afdráttarlaus áhrif á þreytuþol malbiks og ofangreindar niðurstöður gefa til kynna.

Ofangreindar niðurstöður niðurstöður vekja vonir um að hægt sé að stýra viðloðun milli steinefnis og bindiefnis að vissu marki með því að blanda ákveðnu magni af salti í steinefnið og setja malbikið síðan í vatn, reyndar aðeins til að skerða viðloðun milli steinefnis og bindiefnis. Reynist þetta rétt gæti það hugsanlega komið að notum við rannsóknir á viðloðunareiginleikum í malbiki.

Þótt framangreindar niðurstöður sýni ótvíræðan mismun á þreytuþoli, er ekki þar með sagt að þreytuþol malbiks í slitlagi skerðist, þótt steinefnið innihaldi salt og slitlagið sé blautt langtímum saman eins og hér gerist oft. Í fyrsta lagi er holrýmd í útlögðu malbiki að jafnaði langtum lægri en í malbikssýnunum í þessari rannsókn, jafnvel svo að malbikið megi teljast vatnsþétt. Í öðru lagi fær malbik í götu oft tækifæri til að þorna af og til sem getur hugsanlega haft jákvæð áhrif á þreytuþolið. Í þriðja lagi getur skipt verulegu máli hvort saltið er fyrir í steinefninu áður en bindiefninu er blandað saman við, eða hvort það kemur utan frá með yfirborðsvatni sem síast inn í malbikið (til dæmis frá hálkueyðingu). Á hinn bóginn er sennilegt að frost-þíðu sveiflur, sem að jafnaði skipta tugum á höfuðborgarsvæðinu á hverjum vetri, flýti fyrir áhrifum salts á þreytuþol malbiksins.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, nema umfjöllun um Alverk ´95 er tekin út. Bent skal á að markalínur fyrir AC16 malbik sem sýndar eru á mynd 1 eru ekki þær sömu og eru í Efnisgæðaritinu.

HEIMILDIR

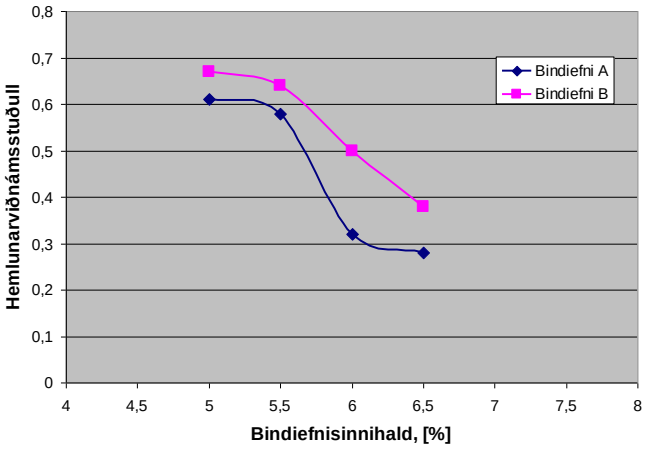
Alverk ´95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega og brúargerð.* Vegagerðin, Reykjavík.

Höbeda, P., Jerzy Chytla. 1999. *Undersökning av beständigheten hos AG 16 enligt ny metod och effect av vidhäftningsbefrämjande tillsatser.* VTI notat 54-1999. Väg och transportforskningsinstitutet, Linköping.

16 HEMLUNARVIÐNÁM

Hemlunarviðnám er mikilvægur eiginleiki slitlags. En það getur tæpast talist stiki í malbikshönnun, vegna þess að hönnunin ræður litlu um hemlunarviðnámið, ef hún fylgir settum reglum á annað borð. Þó má nefna tvö atriði sem beint eða óbeint hafa einhver áhrif á hemlunarviðnám.

Bindiefnisinnihald. Ef bindiefnisinnihald er of hátt miðað við holrýmd í steinefni (þ.e. ef holrýmd í malbiki er of lítil) getur farið svo að bindiefnið pressist upp úr slitlaginu, til dæmis í sumarhitum eða meðan á útlögn stendur og þá geta myndast feitir blettir með lágt hemlunarviðnám á yfirborði slitlagsins. Lágt bindiefnisinnihald er talið stuðla að betra hemlunarviðnámi og sé það of hátt er talið að umfram bindiefni muni fyrr eða síðar koma upp á yfirborðið [Edwards 1983, bls. 1 og 6].



Mynd 1.
Dæmi um áhrif bindiefnisinnihalds og bindiefnisgerðar á hemlunarviðnám. Hemlunarviðnám mælt á blautu slitlagi við 50 km/klst.

Mynd 1 sýnir að tiltölulega lítil breyting (0,5%) í bindiefnisinnihaldi getur undir vissum kringumstæðum nægt til að breyta viðunandi hemlunarviðnámi í ófullnægjandi hemlunarviðnám [Slyngstad 1972, bls. 7].

Yfirborðseiginleikar steinefna. Sum steinefni hafa tilhneigingu til að fágast (e. polish) undir umferð einkum þau sem eru slitþolin. Þá getur hemlunarviðnámi orðið áfátt vegna lítils núningsviðnáms milli hjólbarða og steinanna í yfirborði slitlagsins. Þetta á þó aðeins við ef slitlagið er blautt; hemlunarviðnám á þurru (og hreinu) malbiki er undir venjulegum kringumstæðum talið nægilegt [Highways Agency 2007, bls. 3/1]. Negldir hjólbarðar vinna gegn fágun steinefnisins.

> Ef umferðarhraðinn er lítill hefur fágunin afgerandi áhrif á hemlunarviðnámið. Sé yfirborð slitlagsins nægilega grófgert til að veita burtu vatni, sem verður á milli hjólbarða og slitlags, og steinefnið hrjúft, helst hemlunarviðnámið mikið til óbreytt með auknum hraða. Ef yfirborð vegarins er tiltölulega slétt og hraðinn mikill, getur myndast vatnspúði milli hjólbarða og slitlags. Þá er hætta á að bíll á miklum hraða fljóti upp og skiptir þá litlu máli hvort steinefnið er hrjúft eða fágað.
>
> Hemlunarviðnámsins vegna er æskilegt að steinefni í malbik hafi góða mótstöðu gegn fágun og að hlutfall salla og mulnings upp að 11 eða 16 mm sé hátt. Mjög gróft steinefni sem fágast er óheppilegt, því þá geta myndast fágaðir kollar í yfirborði malbiksins með lágt hemlunarviðnám [Slyngstad 1972, bls. 5-7].

Í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar er gerð sú krafa frá og með þessari útgáfu 2022/2023 að hemlunarviðnám eigi ætíð að mæla á malbiki og að viðnámið skuli vera > 0,55.

Í norskum verklýsingum [Statens vegvesen 2005, bls. 272] er gerð krafa um að hemlunarviðnám, mælt á blautu slitlagi á hraðanum 60 km/klst, skuli minnst vera 0,4. Auk þess er gerð krafa um að viðnámsstuðullinn skuli (á auðum vegi) vera hærri en 0,5 ef leyfður umferðarhraði er meiri en 80 km/klst. Kröfurnar eru ekki tengdar hönnun á malbiki.

Í sænskum verklýsingum eru engar kröfur um hemlunarviðnám tengdar hönnun á malbiki. Þar eru hins vegar skilakröfur [Vägverket 2005, bls. 8] og samkvæmt þeim skal meðaltal viðnámsstuðuls á hverjum mældum 20 m kafla á auðu slitlagi vera minnst 0,5.

Í finnskum verklýsingum [PANK 2000, bls. 67] eru gerðar kröfur til hemlunarviðnáms á nýju slitlagi sem skal mælt innan tveggja vikna frá útlögn. Kröfur um hemlunarviðnám sem Vegagerðin setur fram í Efnisgæðaritinu nú er minnst 0,55. Í áðurgreindri heimild er ekkert tekið fram um aðstæður þegar mælingin er gerð, en í uppkasti að skýrslu frá Norræna vegtæknisambandinu [NVF 2004] er tekið fram að mælingar á hemlunarviðnámi skuli gerðar á hraðanum 60 km/klst og á blautu slitlagi. Kröfurnar eru heldur ekki tengdar hönnun á malbiki.

Meðan negldir hjólbarðar eru notaðir jafn mikið og nú er er ósennilegt að hemlunarviðnám sé of lítið, nema á tímabilinu frá því að slitlagið er lagt og þar til nagladekkin hafa hreinsað bindiefnisslikju og feita bletti af yfirborðinu. Þó er rétt að taka fram að í Noregi hefur mælst fágun á slitlögum yfir sumartímann sem nemur um 0,2 einingum í hemlunarviðnámi [Horvli 2006, bls. 16]. En fari svo að verulega dragi úr notkun negldra hjólbarða, getur hemlunarviðnám breyst til hins verra á íslenskum slitlögum.

Íslenskar, Finnskar, norskar og sænskar kröfur til hemlunarviðnáms eru áþekkar hvað viðnámsstuðulinn snertir. Sænsku kröfurnar taka að auki fram að hemlunarviðnám skuli að meðaltali ná lágmarksgildi fyrir hverja 20 m. Það sýnist vera skynsamlegt, enda er 20 m flugháll blettur sennilega alveg nægilega langur til að missa stjórn á bíl.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti, nema umfjöllun um Alverk ´95 er tekin út og einnig að ekki séu gerðar kröfur í verklýsingum Vegagerðarinnar. Þær eru settar fram í Efnisgæðaritinu og eru settar inn í textann hér að ofan.

HEIMILDIR

Alverk ´95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega og brúargerð.* Vegagerðin, Reykjavík.

Edwards, John M. 1983. *Design of Bitumen–Aggregate Mixtures.* Residential Course in Flexible Pavements and Bituminous Materials, Lecture H. University of Newcastle upon Tyne, Department of Civil Engineering, Division of Transport Engineering.

Highways Agency. 2007. *Design Manual for Roads and Bridges.* Surfacing Materials for New and Maintenance Construction. Volume 7, Section 5. http://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/vol7/section5/hd3606.pdf

Horvli, I., E. Værnes. 2006. SIV – *Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker. Oppsummeringsrapport.* SINTEF Byggforsk AS. Veg- og jernbaneteknikk. Trondheim.

NVF. 2004. *Asfaltbelegningers overflateegenskaper – Friksjon.* Nordisk Vegteknisk Forbund. Den Norske Avdeling Utvalg 33 Asfaltbelegninger. (Uppkast að óútgefinni skýrslu, án blaðsíðutals).

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000.* Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Slyngstad, T. 1972. *Friksjon.* Internt notat for særkurset. Institutt for veg- og jernbanebygging. Norges tekniske høgskole, Trondheim.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging.* Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel A Gemensamma förutsättningar.* VV Publ 2005:112. Borlänge.

17 BINDIEFNISSLIKJA Á SLITLÖGUM OG ÁHRIF HENNAR Á HEMLUNARVIÐNÁM

Á nýlögðu malbiki er oft slikja af bindiefni á yfirborðinu, sem getur minnkað hemlunarviðnám til muna þegar slitlagið er blautt. Þetta á einkum við um efjurík (efja: blanda af bindiefni og mélu) slitlög, svo sem steinríkt malbik (SMA), sér í lagi ef bindiefnisinnihaldið er hátt og holrýmdin lág, þá pressast efjan upp á yfirborð slitlagsins þegar það er valtað. Þar til naglar hafa skrapað slikjuna af er viss slysahætta af henni, ekki síst úti á þjóðvegum þar sem umferðarhraði er mikill.

Sú spurning hefur komið upp hvað það taki langan tíma að skrapa bindiefnishimnuna burtu. Sumir telja að svarið fari eftir umferð, naglanotkun og hvenær ársins slitlagið var lagt, svo eitthvað sé nefnt. Aðrir álita að naglarnir skipti ekki meginmáli, hjólbarðarnir, þótt ónegldir séu, kroppi bindiefnisslikjuna fljótlega af.

Reynslan bendir til þess að bindiefnishimnan sé farin af í hjólförum á fjölförnum götum í Reykjavík (til dæmis Miklubraut og Kringlumýrarbraut) kringum mánaðamótin nóvember-desember. Setjum svo að umferð á hverri akrein á þessum götum sé 10.000 ÁDU. Gerum enn fremur ráð fyrir að naglanotkun vaxi úr engri í fyrstu viku nóvember í 40% í fyrstu viku desember, sé orðin 50% um miðjan desember og verði ekki meiri. Ef þessar forsendur eru réttar þarf um 60.000 bíla á nöglum til að skrapa bindiefnishimnuna af hjólförum á hverri akrein.

Úti á þjóðvegum er umferðin miklu minni og þar tekur lengri tíma að hreinsa bindiefnishimnuna af. Tökum Reykjanesbrautina með fjórar akreinar vestan við Straumsvík sem dæmi. Þar er umferðin um 10.000 ÁDU, þ.e.a.s. um 2500 ÁDU á akrein. Á veginum austur fyrir fjall er umferðin um 8000 ÁDU á tveim akreinum, þ.e.a.s. um 4000 ÁDU á akrein.

Miðað við framangreindar forsendur ætti bindiefnishimnan að vera horfin í hjólförum um mánaðamótin nóvember-desember á Hringbrautinni, upp úr miðjum desember á veginum austur fyrir fjall og um það bil viku af janúar á Reykjanesbrautinni, svo dæmi séu tekin.

Síðan þarf að svara spurningunni hvað bindiefnisslikja í hjólförum hefur mikil áhrif á hemlunarviðnám. Snöggsoðin heimildakönnun bar heldur lítinn árangur. Í ágripi af fyrirlestri um hemlunarviðnám [Slyngstad 1972, bls. 7] er birt tafla (frumheimild er ekki tilgreind) sem dæmi um áhrif bindiefnisinnihalds á hemlunarviðnám. Hún sýnir að viðnámsstuðull breytist úr 0,6-0,7 í 0,3-0,4 þegar bindiefnisinnihald eykst úr 5,0% í 6,5%. Í skýrslu frá nefnd 33 í Norræna vegtæknisambandinu [NVF 1981, bls. 27] er sagt að áhrif fínhrýfis (microtextur) á hemlunarviðnám geti horfið ef bindiefni á slitlagsyfirborðinu er of mikið og jafnvel áhrif grófhrýfis (macrotextur) að einhverju leyti, og þetta geti haft alvarlegar afleiðingar, að minnsta kosti í bleytu. Á sama stað er nefnt að of mikið bindiefnisinnihald samfara lágri holrýmd geti haft þessi áhrif. Þar er einnig minnst á hálku að vetrarlagi sem sé síst minna vandamál.

Í sænskri skýrslu [VTI 2001, bls. 30] er sýnt á mynd hvernig hlutfallsleg slysaáhætta vex með minnkandi hemlunarviðnámi, hún breytist mjög lítið meðan viðnámsstuðullinn (mældur með pendúl) er yfir 0,5 en áhættan eykst mjög hratt þar fyrir neðan. Heimildakönnunin leiddi ekkert í ljós um samband viðnámsstuðuls og holrýmdar né heldur um viðnámsstuðul á slitlagi með bindiefnisslikju. Um síðarnefnda atriðið er hægur vandi að afla upplýsinga, þar sem Vegagerðin á tæki til að mæla viðnámsstuðul á slitlögum.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti. Dæmi um umferðarmagn á völdum vegum eru látin halda sér, þótt það hafi aukist með árunum, en einnig er vegurinn austur fyrir fjall að mestu komin með þrjár akreinar.

HEIMILDIR

NVF. 1981. *Beläggningars funktionstid och funktionsegenskaper.* Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar. Rapport nr 2: 1982.

Slyngstad, T. 1972. *Friksjon.* Internt notat for særkurset. Institutt for veg- og jernbanebygging, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Högskole.

Wallman, C-G., H. Åström. 2001. *Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. A literature review.* VTI meddelande 911A. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping.

18 FÁEIN ORÐ UM EFTIRLIT

Í þessu minnisblaði er tæpt á hugmyndum um malbikseftirlit (við framleiðslu og útlögn). Þær eru alls ekki fastmótaðar og eru settar fram til umræðu í þeirri von að þær geti, að lokinni gagnrýni og endurskoðun, orðið grundvöllur að ákvæðum um sama efni í Efnisgæðaritinu. Það má vel vera að hér séu flóknir hlutir einfaldaðir um of, en úr því má auðveldlega bæta ef nauðsyn krefur. Meginboðskapurinn er á þann veg að betra sé að stilla kröfum um prófanatíðni í hóf og fylgja þeim eftir án undanbragða, heldur en að íþyngja verktakanum með kröfum um prófanatíðni umfram það sem nauðsynlegt er og getur talist sanngjarnt frá sjónarmiði beggja. Hið síðarnefnda býður heim hættu á að tíðnikröfurnar verði að meira eða minna leyti hundsaðar þegar fram í sækir. Í Efnisgæðaritinu eru settar fram kröfur um framleiðslueftirlit við framleiðslu hverrar malbiksgerðar og eru þær í samræmi við staðal ÍST EN 13108-21 um framleiðslueftirlit (e. *Factory Production Control*).

- Hér er ekki talið skipta neinu máli hvaðan prófananiðurstöður eru komnar, svo lengi sem verkkaupinn treystir þeim. Að þeirri forsendu gefinni er engin ástæða til að verkkaupinn (eða fulltrúi hans, eftirlitsmaður) taki og rannsaki sams konar sýni og verktakinn er þegar búinn að gera, enda er framleiðsla stærri framleiðenda vottuð og CE merkt nú til dags.

- Gert er ráð fyrir að verktakinn sé algerlega frjáls að því hvað hann tekur mörg sýni af hráefnum sínum eða framleiðslu sinni, nema hvað hann þarf auðvitað að uppfylla lágmarkskröfur staðla þegar um CE-merkta vöru að ræða.

- Þar af leiðandi virðist liggja beint við að verkkaupi geri tvennskonar kröfur til prófanatíðni, annars vegar ef framleiðslan er CE-merkt, hins vegar ef hún er það ekki.

- Ef framleiðsla er CE-merkt og malbikið gerðarprófað skv. ÍST EN 13108-20 (e. Type Testing) ætti verktaki ekki að þurfa að taka og prófa sýni umfram það sem CE-merkingin krefst. Þó getur verkkaupi tekið sýni aukalega af framleiðslunni ef honum sýnist svo, en þá verður að teljast sanngjarnt að hann geri það á eigin kostnað.

- Með rökstuðningi í framangreindum atriðum sýnist réttmætt að verkkaupi eigi aðeins að tiltaka hvaða tíðnikröfur hann setur til prófana sem taka til einstakra framleiðsluþátta. Síðan gangi eftirlitsmaðurinn eftir niðurstöðum hjá verktakanum, en bæti við eigin sýnum til að uppfylla tíðnikröfuna, ef tíðni verktakasýna nægir ekki. Ef eftirlitsmaðurinn telur fleiri sýni nauðsynleg en tíðnikröfur kveða á um, þá sér hann um að þau séu tekin og rannsökuð á kostnað verkkaupa. Ef framleiðslan stenst ekki kröfur er réttmætt að verktakinn greiði kostnað við umframsýni, enda kemur þá væntanlega til kasta frádráttarkvæða hvort sem er.

→ Þetta fyrirkomulag mun að öllum líkindum hvetja verktaka til að hafa gott eftirlit með eigin framleiðslu, sem jafnframt sparar verkkaupa fé og fyrirhöfn, þar sem hann þarf þá aðeins að taka sýni með lágmarkstíðni.

ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR Í JANÚAR 2021

Þessi kafli fær að halda sér að mestu leyti. Þó er sett inn umfjöllun um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit skv. Evrópustöðlum eins og nú tíðkast, a.m.k. hjá stærri framleiðendum. Þegar svo er ætti ekki að þurfa að efast um eiginleika malbiksblöndunnar, enda eru stöð og framleiðsla tekin út af tilnefndum, óháðum aðila (e. Notified Body). Engu að síður geta gerst mistök við framleiðslu og eftirlit með útlögðu malbiki því ætíð nauðsynlegt.



Efnisgæðaritið – Viðauki 9: Samanburður á eiginleikum steinefna of kröfum

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Janúar 2023

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	26	1.1.23	Opin
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 9: Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum			

Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson

Styrktaraðili	Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar	

Lykilorð
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.

Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	BHJ

Efnisgæðaritið

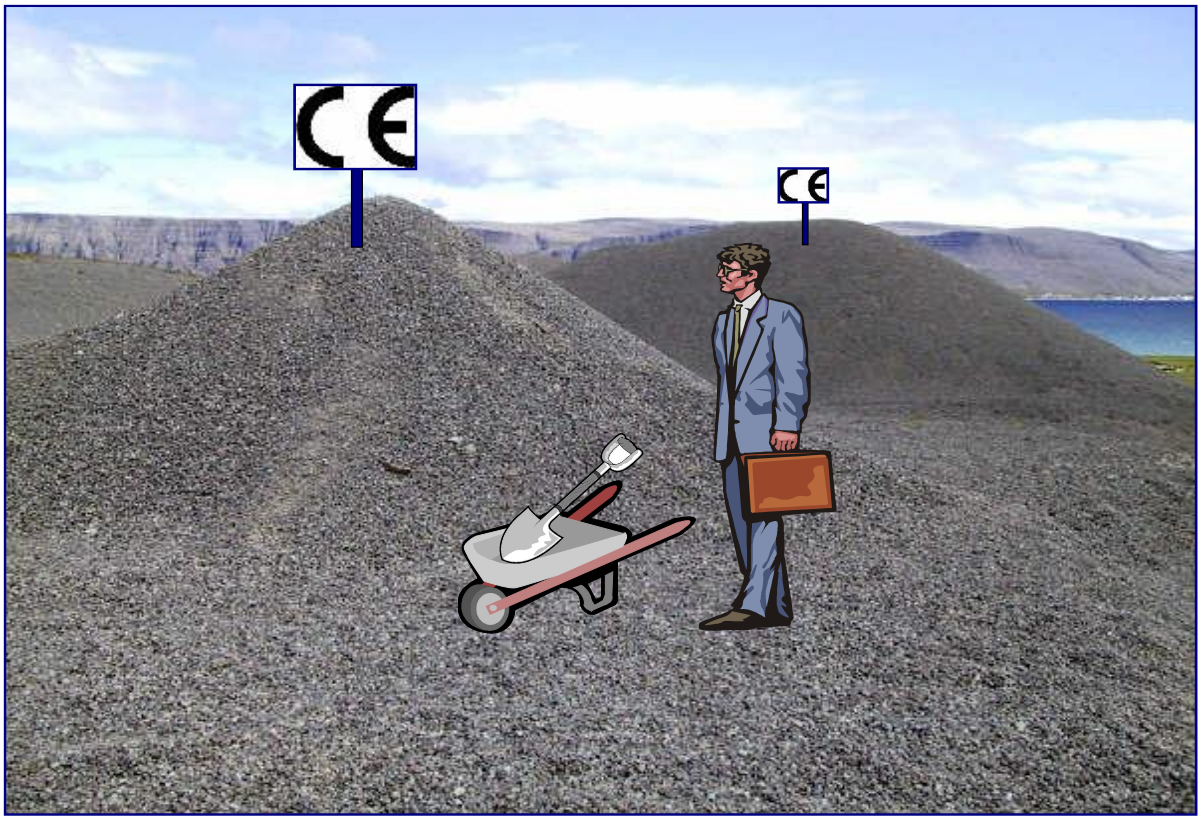
Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur
Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum (janúar 2023)
Viðauki 10	Berggreining og gæðaflokkun

Viðauki 9

Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

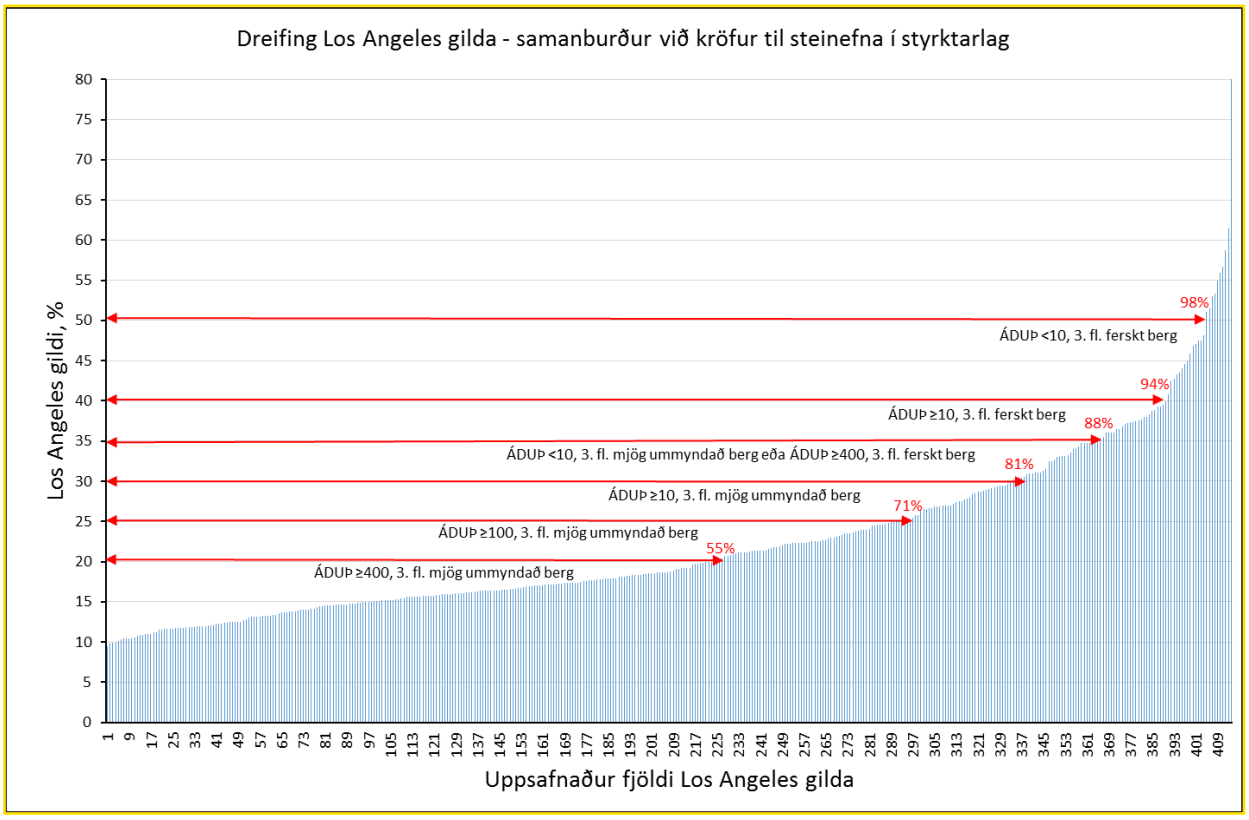


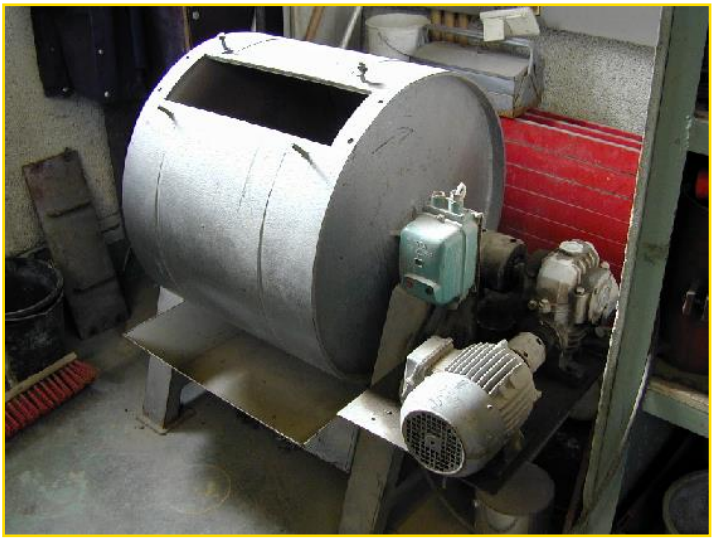
Í þessum viðauka eru bornar saman niðurstöður prófana á steinefnum og þær köfur sem Vegagerðin gerir til steinefna í vegagerð. Niðurstöður prófana eru sóttar í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar en þar er að finna allar niðurstöður prófana á rannsóknarstofu Vegagerðarinnar en auk þess allar niðurstöður þjónustuprófana sem gerðar hafa verið á Nýsköpunarmiðstöð Íslands, áður Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, frá árinu 1990.

Niðurstöður rannsókna eru birtar sem súlurit, nema brothlutfall sem er birt sem punktasafn. Kröfur sem settar eru fram í þessu leiðbeiningariti fyrir öll lög í yfirbyggingu vegarins með tilliti til álags eru síðan merktar inn sem línur og þannig bornar saman við rannsóknarniðurstöðurnar. Kröfurnar sem fjallað er um í viðaukanum eru fyrir berggæði þ.e. styrkleika (Los Angeles), slitþol (kúlnakvörn) og veðrunarþol (frostþol) og einnig ásýnd bergs þ.e. kornalögun (kleyfnistuðull, FI) og brothlutfall. Birtar eru myndir fyrir kröfur fyrir öll lög yfirbyggingar nema malarslitlag þ.e. styrktarlag, burðarlag og slitlag (klæðingu og malbik). Kröfurnar miðast við meðalumferð ársins á dag (ÁDU) fyrir slitlögin en meðalumferð þungra bíla á dag ($ÁDU_Þ$) fyrir burðarlag og styrktarlag. Fjöldi bíla miðast við tveggja akreina veg og þungir bílar teljast vera bílar með heildarþyngd > 3,5 tonn.

Á myndunum er sýnt hversu hátt hlutfall rannsóknarniðurstaðna sem skráðar hafa verið í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast hverja kröfu fyrir sig. Mikilvægt er að hafa í huga að um er að ræða niðurstöður allra rannsókna í kerfinu með viðkomandi rannsóknaraðferð en ekki hóps rannsókna sem gerðar hafa verið á steinefni til tiltekinna nota.

Á hverri síðu er birt ljósmynd af þeim búnaði sem notaður er í viðkomandi rannsókn. Ýtarleg lýsing á prófunaraðferðum er í viðauka 1.





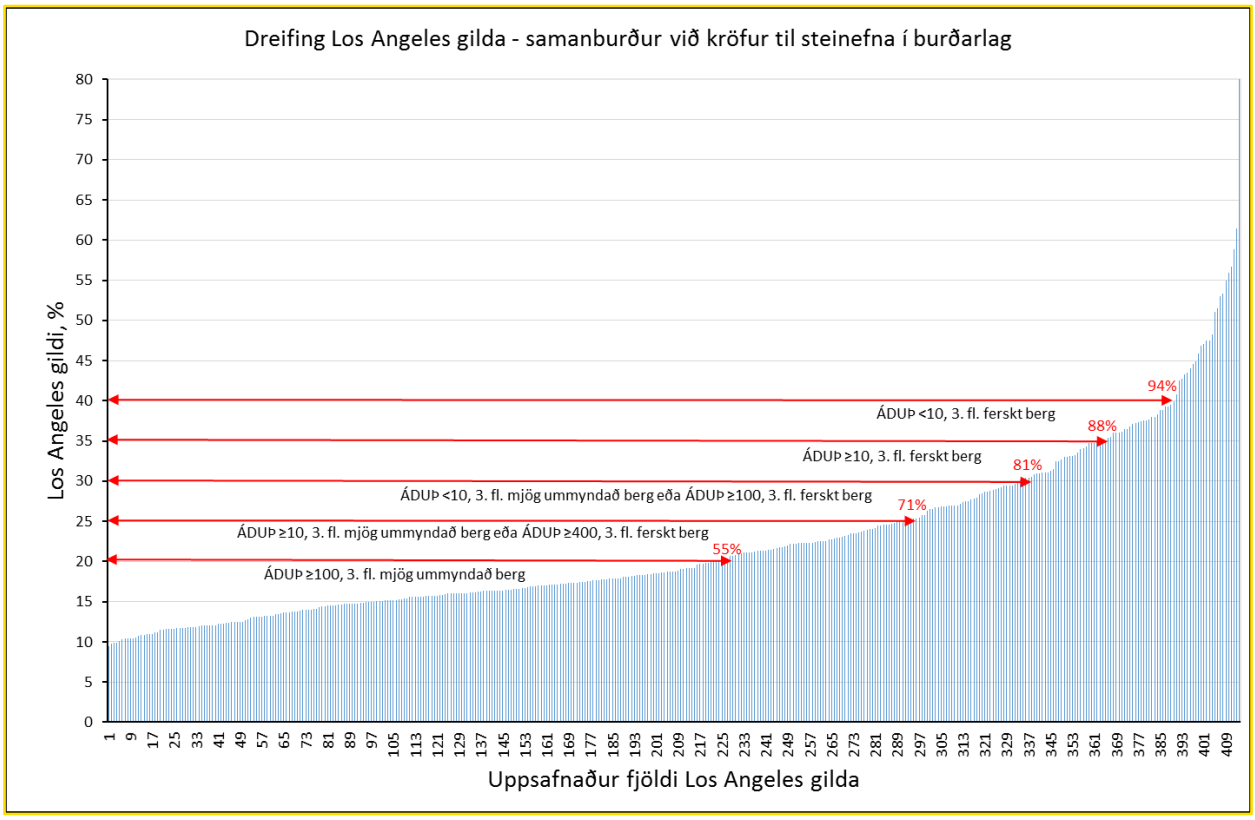
Á ljósmyndinni er tromla sem er notuð í Los Angeles prófi (LA próf) til að mæla styrkleika steinefna.

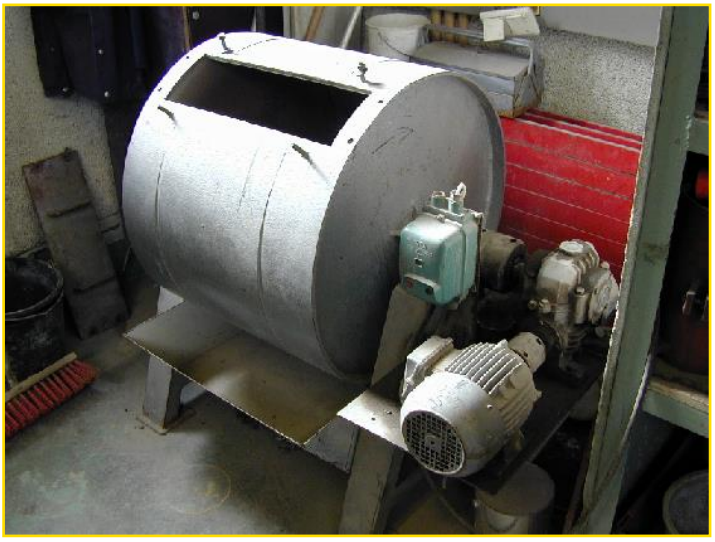
Súluritið sýnir niðurstöður Los Angeles mælinga og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í styrktarlag.

Kröfurnar er mismiklar eftir því hversu mikil umferð þungra ökutækja (ÁDUÞ) fer um veginn og einnig eftir því hvort steinefnið sem flokkað er í 3. flokk í berggreiningu er að mestu ferskt berg eða mjög ummyndað.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er Los Angeles gildið þ.e. hlutfall þess efnis sem brotnar smærra en en 1,6 mm í Los Angeles prófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla styrk flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 10,0 til 14,0 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan LA_{35} fyrir steinefni í styrktarlag fyrir $ÁDU_Þ < 10$ ef 3. flokks steinefnið er mjög ummyndað eða fyrir $ÁDU_Þ \geq 400$ ef 3. flokks steinefnið er ferskt. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með LA prófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 88% allra gilda LA_{35} kröfuna.





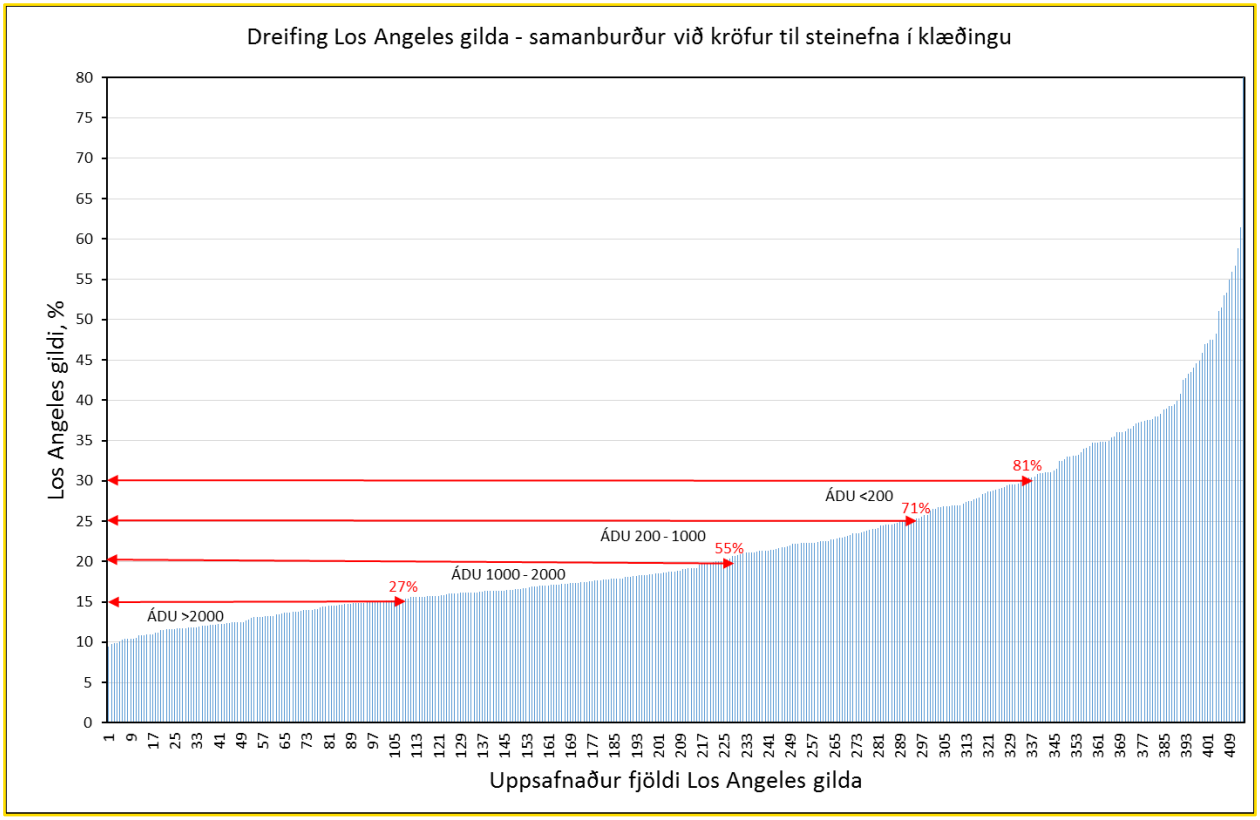
Á ljósmyndinni er tromla sem er notuð í Los Angeles prófi (LA próf) til að mæla styrkleika steinefna.

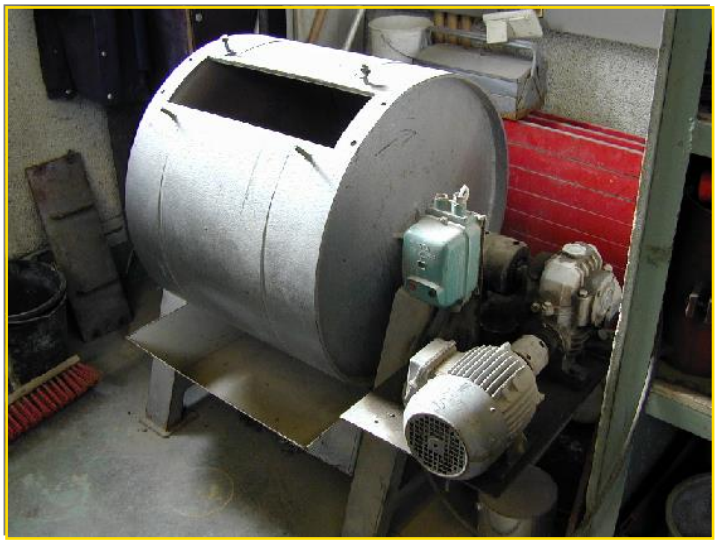
Súluritið sýnir niðurstöður Los Angeles mælinga og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í burðarlag.

Kröfurnar er mismiklar eftir því hversu mikil umferð þungra ökutækja ($ÁDU_Þ$) fer um veginn og einnig eftir því hvort steinefnið sem flokkað er í 3. flokk í berggreiningu er að mestu ferskt berg eða mjög ummyndað.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er Los Angeles gildið þ.e. hlutfall þess efnis sem brotnar smærra en en 1,6 mm í Los Angeles prófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla styrk flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 10,0 til 14,0 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan LA_{25} fyrir steinefni í burðarlag fyrir $ÁDU_Þ \geq 10$ ef 3. flokks steinefnið er mjög ummyndað eða fyrir $ÁDU_Þ \geq 400$ ef 3. flokks steinefnið er ferskt. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með LA prófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 71% allra gilda LA_{25} kröfuna.





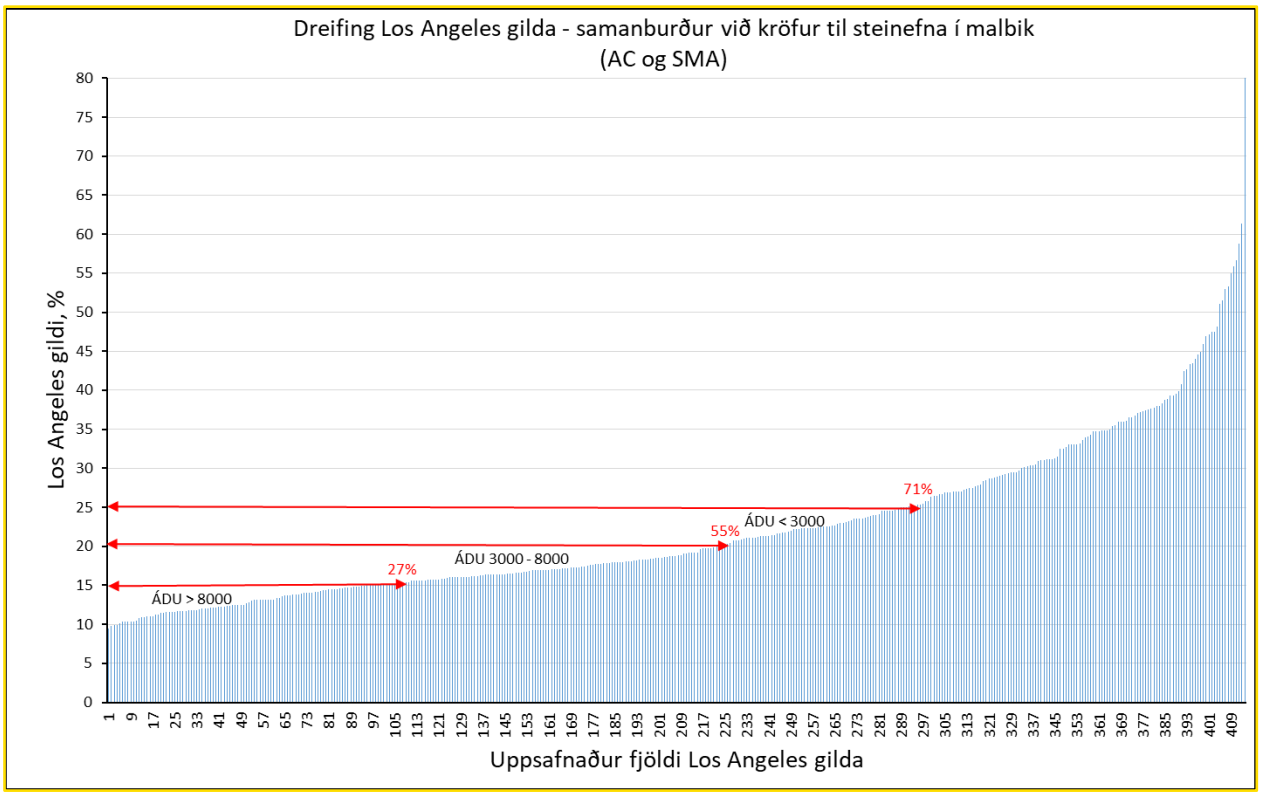
Á ljósmyndinni er tromla sem er notuð í Los Angeles prófi (LA próf) til að mæla styrkleika steinefna.

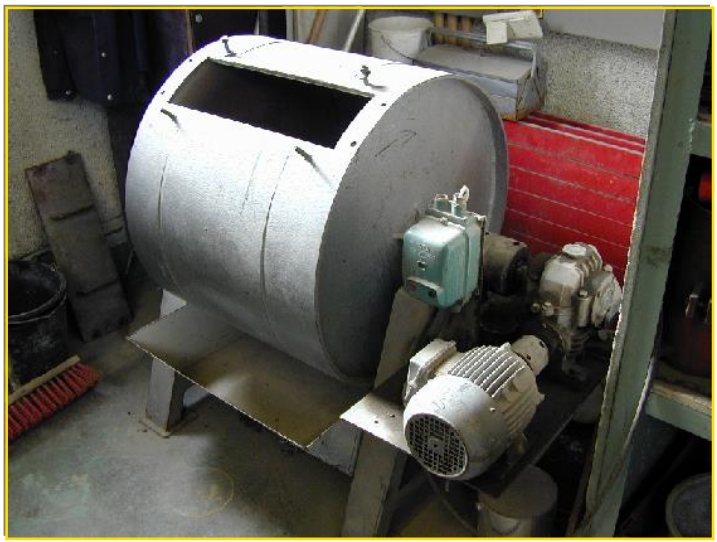
Súluritið sýnir niðurstöður Los Angeles mælinga og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í klæðingu.

Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er Los Angeles gildið þ.e. hlutfall þess efnis sem brotnar smærra en en 1,6 mm í Los Angeles prófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla styrk flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 10,0 til 14,0 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan LA_{20} fyrir steinefni í klæðingu ef meðalárdagsumferðin (ÁDU) er á bilinu 1000 – 2000 bílar á dag. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með LA prófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 55% allra gilda LA_{20} kröfuna. Eins og bent er á í inngangi þessa viðauka hefur einungis hluti mælinga í gagnasafninu verið gerður á steinefni sem ætlað er til nota í klæðingu.





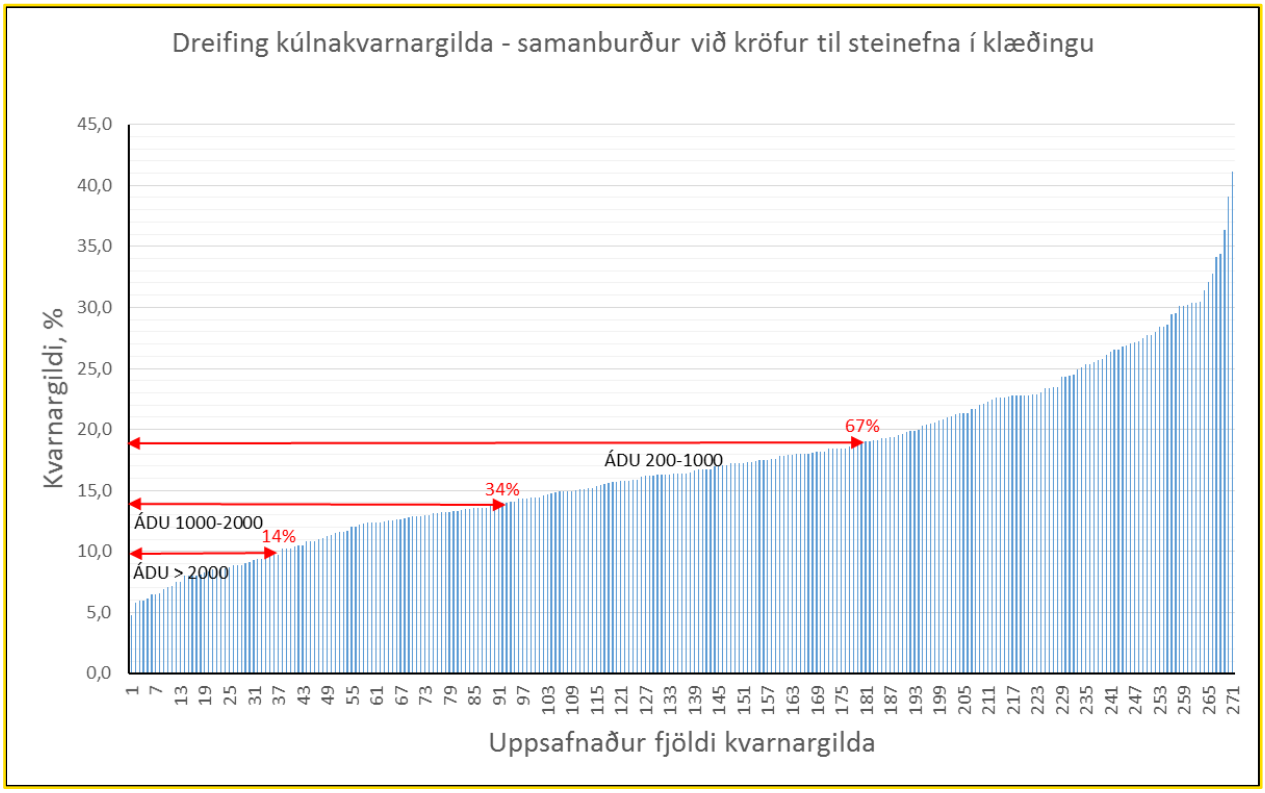
Á ljósmyndinni er tromla sem er notuð í Los Angeles prófi (LA próf) til að mæla styrkleika steinefna.

Súluritið sýnir niðurstöður Los Angeles mælinga og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í malbik. Kröfurnar eru fyrir stífmalbik (AC) og steinríkt malbik (SMA).

Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er Los Angeles gildið þ.e. hlutfall þess efnis sem brotnar smærra en en 1,6 mm í Los Angeles prófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla styrk flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 10,0 til 14,0 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan LA_{15} fyrir steinefni í malbik ef meðalárdagsumferðin (ÁDU) er > 8000 bílar á dag. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með LA prófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 27% allra gilda LA_{15} kröfuna. Einungis lítill hluti mælinga í gagnasafninu hafa hinsvegar verið gerðar á steinefni sem ætlað er til nota í malbik.





Á ljósmyndinni er Kúlnakvörn sem notuð er til að mæla slitþol steinefna.

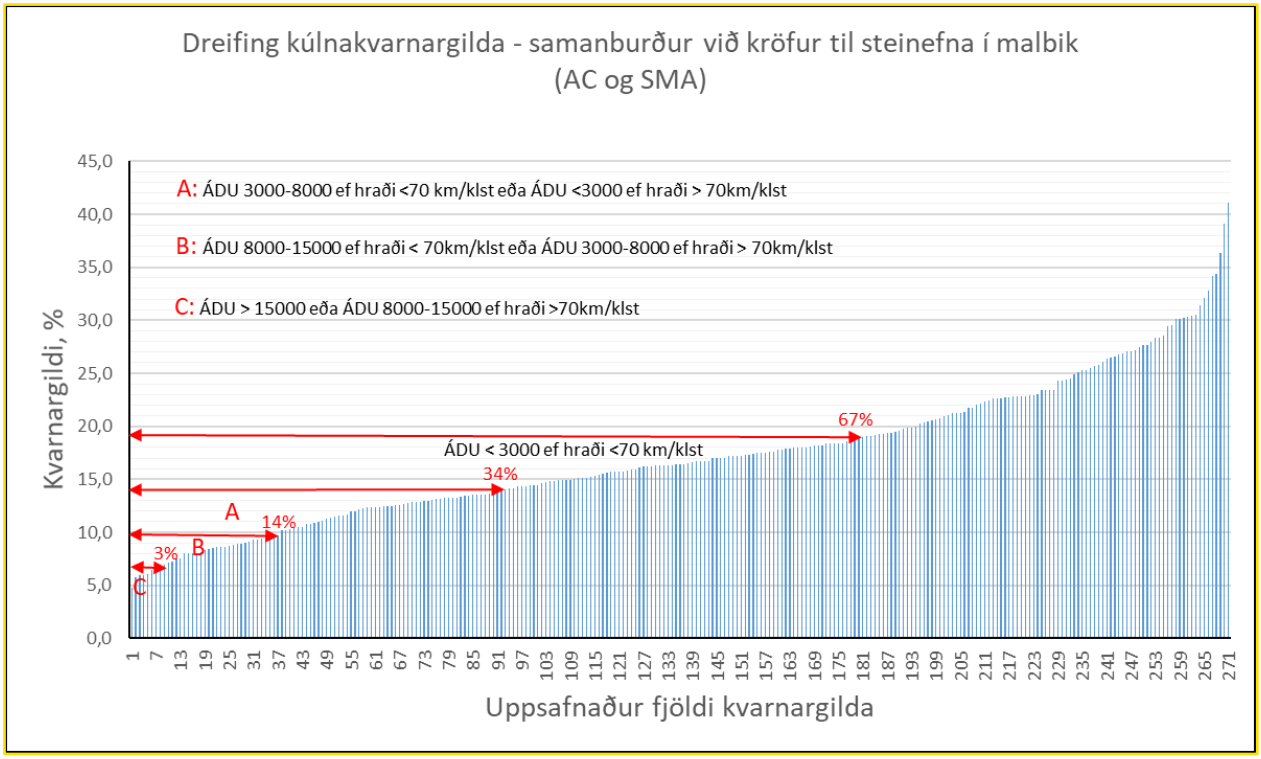
Súluritið sýnir niðurstöður mælinga með Kúlnakvörn og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í klæðingu.

Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er kúlnakvarnargildið þ.e. hlutfall þess efnis sem molnar smærra en en 2,0 mm í kúlnakvarnarprófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla slitþol flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 11,2 til 16,0 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan A_N19 fyrir steinefni í klæðingu ef meðalárdagsumferðin (ÁDU) er á bilinu 200 – 1000 bílar á dag.

Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með kúlnakvarnarprófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 67% allra gilda A_N19 kröfuna. Kúlnakvarnarprófið er hannað til að mæla slitstyrk steinefna gagnvart áraun nagladekkja. Aðferðin hefur mest verið notuð til að prófa steinefni í klæðingu og er því stór hluti gagnasafnsins niðurstöður prófana á steinefnum í klæðingu.





Á ljósmyndinni er Kúlnakvörn sem notuð er til að mæla slitþol steinefna.

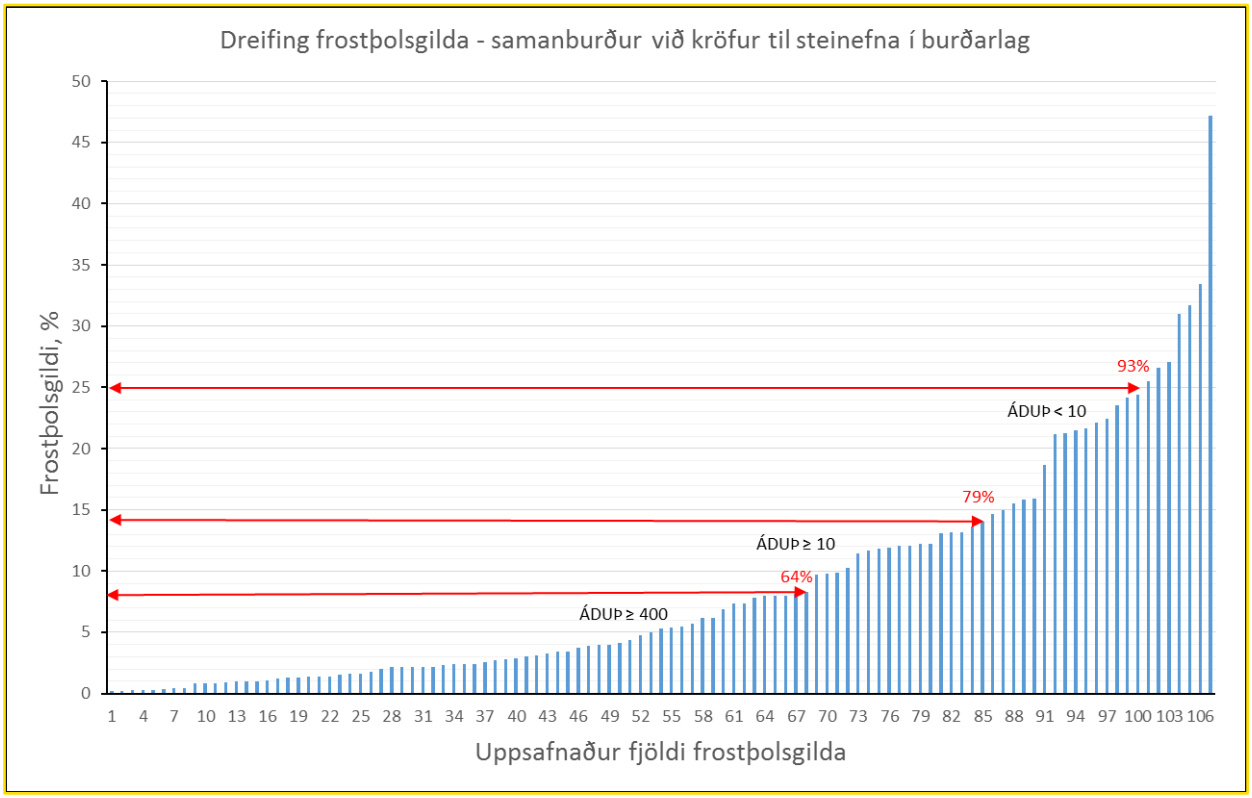
Súluritið sýnir niðurstöður mælinga með Kúlnakvörn og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í malbik. Kröfurnar eru fyrir stífmalbik (AC) og steinríkt malbik (SMA). Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið. Kröfurnar eru einnig mismiklar eftir því hvort umferðarhraði er meiri eða minni en 70km/klst.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er kúlnakvarnargildið þ.e. hlutfall þess efnis sem molnar smærra en en 2,0 mm í kúlnakvarnarprófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla slitþol flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 11,2 til 16,0 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan A_N14 fyrir steinefni í malbik ef meðalárdagsumferðin (ÁDU) er á bilinu 3000 –

8000 bílar á dag og ef hraði er < 70km/klst. Sama krafa gildir einnig ef ÁDU < 3000 ef hraði er meiri en 70 km/klst (sjá skýringar á A, B og C á súluritinu).

Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með kúlnakvarnarprófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 34% allra gilda A_N14 kröfuna. Kúlnakvarnarprófið er hannað til að mæla slitstyrk steinefna gagnvart áraun nagladekkja. Aðferðin hefur mest verið notuð til að prófa steinefni í klæðingu og er því stór hluti gagnasafnsins niðurstöður prófana á steinefnum í klæðingu.



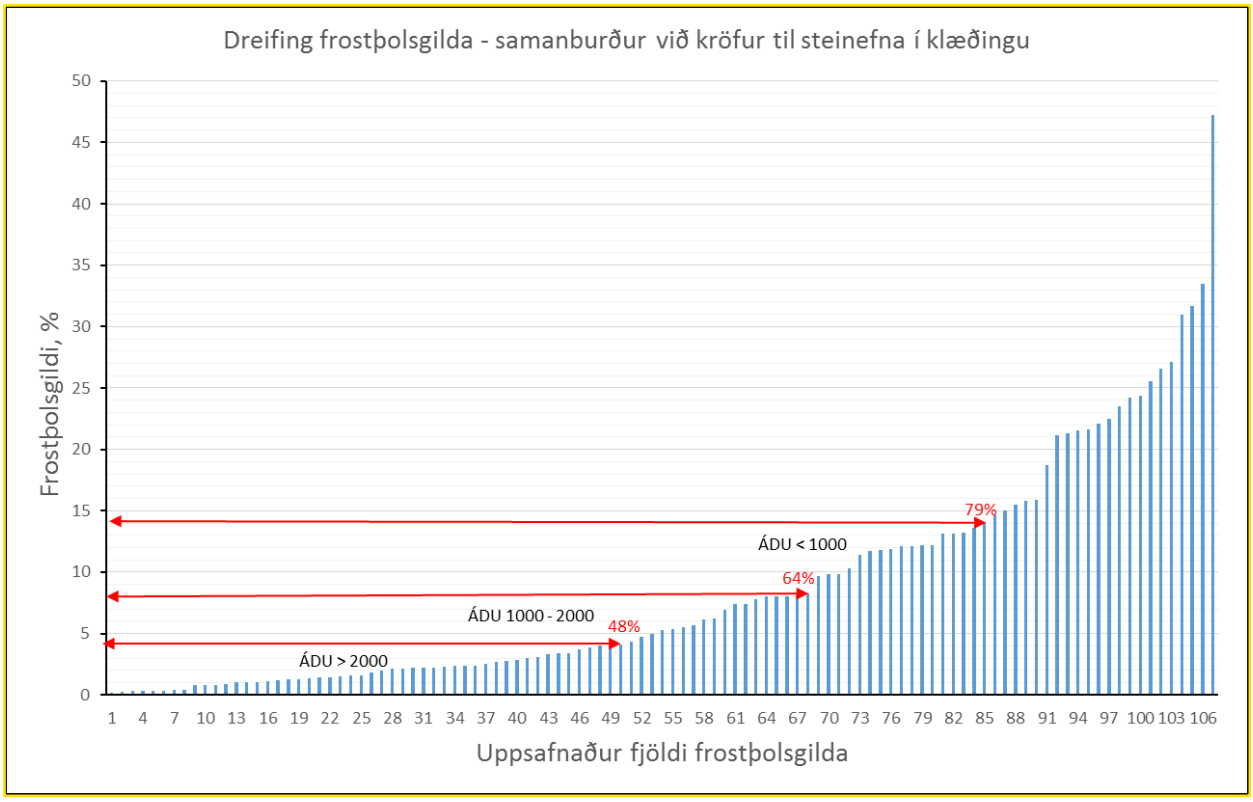


Á ljósmyndinni er frost/þíðu skápur með sýnadósum. Sýnið er blandað 1 % saltblöndu (NaCl). Sýni verða fyrir 10 frost/þíðu sveiflum, +20/-17,5°C og þannig er mælt frostþol steinefnisins.

Súluritið sýnir niðurstöður frostþolsmælinga og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í burðarlag.
Kröfurnar er mismiklar eftir því hversu mikil umferð þungra ökutækja ($ÁDU_Þ$) fer um veginn.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er frostþolsgildið þ.e. hlutfall þess efnis sem brotnar smærra en en 4 mm í frostþolsprófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla frostþol flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 8 til 16 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan $F_{EC}14$ fyrir steinefni í burðarlag fyrir $ÁDU_{Þ} \geq 10$ Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með frostþolsprófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 79% allra gilda $F_{EC}14$ kröfuna.





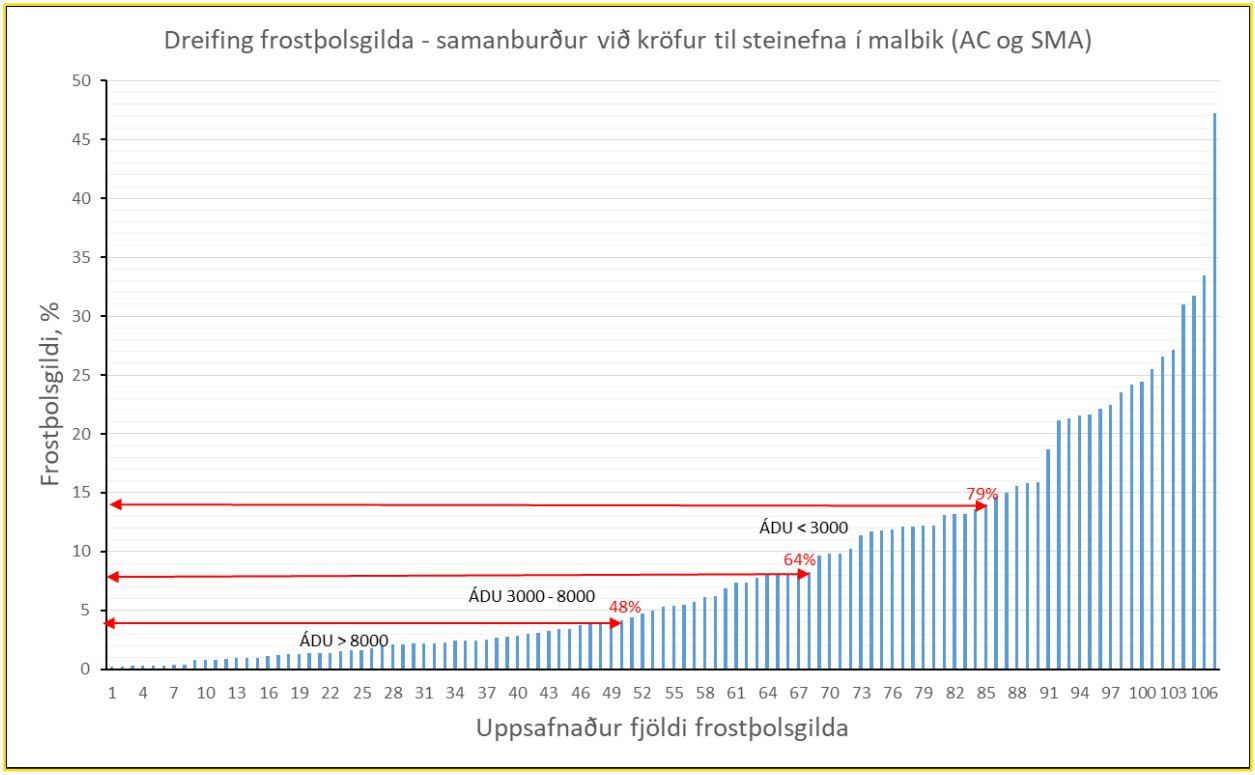
Á ljósmyndinni er frost/þíðu skápur með sýnadósum. Sýnið er blandað 1 % saltblöndu (NaCl). Sýni verða fyrir 10 frost/þíðu sveiflum, +20/-17,5°C og þannig er mælt frostþol steinefnisins.

Súluritið sýnir niðurstöður frostþolsmælinga og er ein súla fyrir hverja mælingu.

Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í klæðingu.
Kröfurnar er mismiklar eftir því hversu mikil umferð (ÁDU) fer um veginn.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er frostþolsgildið þ.e. hlutfall þess efnis sem brotnar smærra en en 4 mm í frostþolsprófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla frostþol flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 8 til 16 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan $F_{EC}8$ fyrir steinefni í klæðingu fyrir ÁDU 1000 – 2000. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana með frostþolsprófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 64% allra gilda $F_{EC}8$ kröfuna.





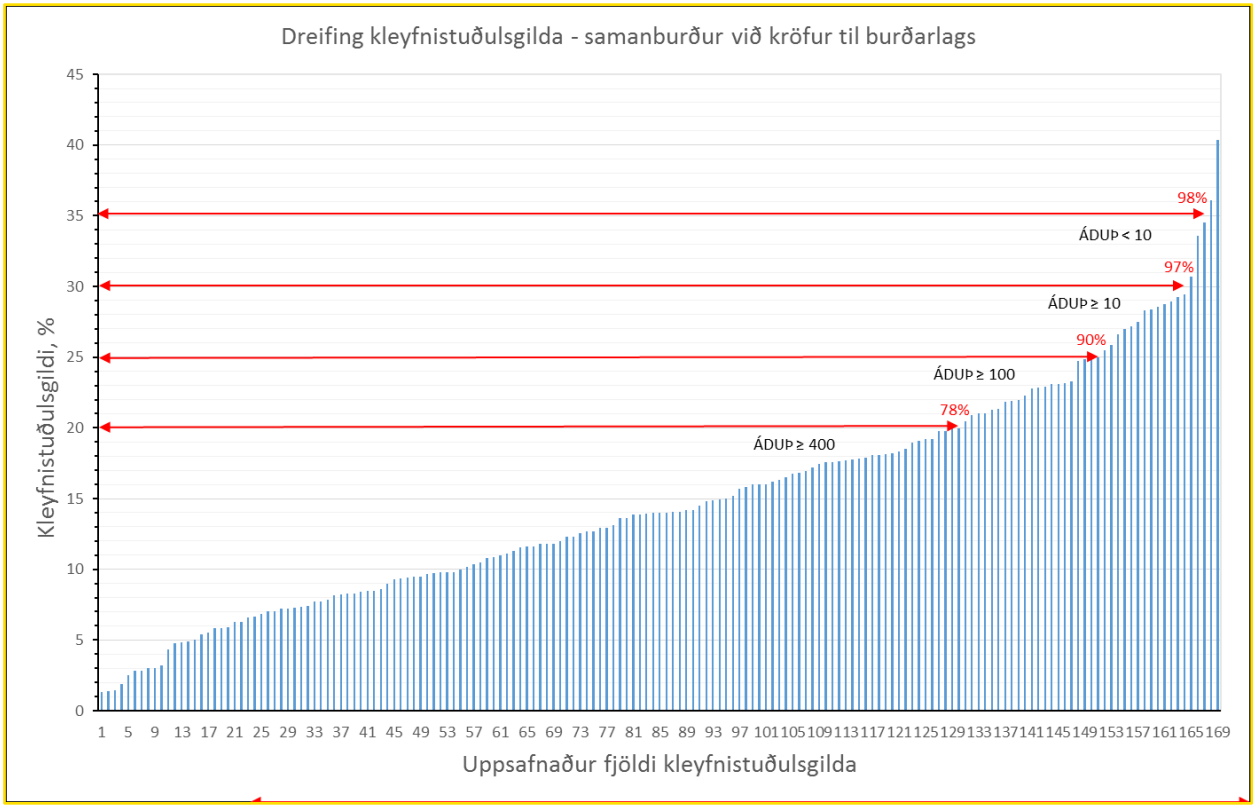
Á ljósmyndinni er frost/þíðu skápur með sýnadósum. Sýnið er blandað 1 % saltblöndu (NaCl). Sýni verða fyrir 10 frost/þíðu sveiflum, +20/-17,5°C og þannig er mælt frostþol steinefnisins.

Súluritið sýnir niðurstöður frostþolsmælinga og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í malbik. Kröfurnar eru fyrir stífmalbik (AC) og steinríkt malbik (SMA).
Kröfurnar er mismiklar eftir því hversu mikil umferð (ÁDU) fer um veginn.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er frostþolsgildið þ.e. hlutfall þess efnis sem brotnar smærra en en 4 mm í frostþolsprófinu. Prófunaraðferðin er notuð til að mæla frostþol flokkaðs steinefnis og er kornastærðin 8 til 16 mm notuð í prófið.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan $F_{EC}4$ fyrir steinefni í malbik fyrir ÁDU >8000. Rauðu hlutfallstölurnar sýna

hversu hátt hlutfall allra prófana með frostþolsprófi, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 64% allra gilda $F_{EC}8$ kröfuna.





Á ljósmyndinni er stafsigti til mælingar á kleyfnistuðli.

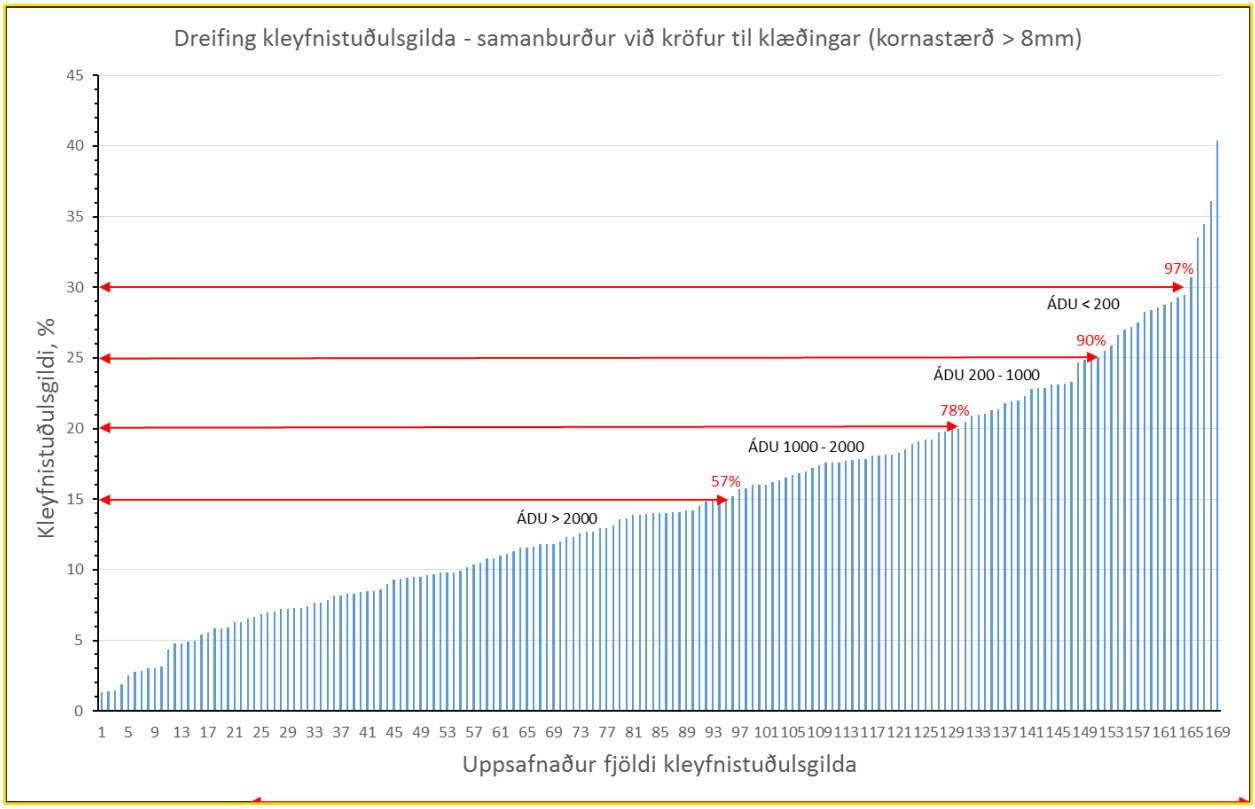
Súluritið sýnir niðurstöður mælinga á Kleyfnistuðli (FI) og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í burðarlag.

Kröfurnar er mismiklar eftir því hversu mikil umferð þungra ökutækja ($ÁDU_Þ$) fer um veginn, því meiri umferð, því lægri kleyfnistuðull.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er kleyfnistuðulsgildið þ.e. vegið meðaltal þyngdarhluta sýnis sem smýgur gegnum hvert stafsigti. Kornalögunarmælingin felst í því að reikna út þyngdarhluta þess efnis af

heildarsýninu sem smýgur tiltekið stafsigti á hverju kornastærðarbili (sjá lýsingu á prófunaraðferð í Viðauka 1).

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan FI_{25} fyrir steinefni í burðarlag fyrir $ÁDU_Þ \geq 100$. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana á kleyfnistuðli, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 90% allra gilda FI_{25} kröfuna.





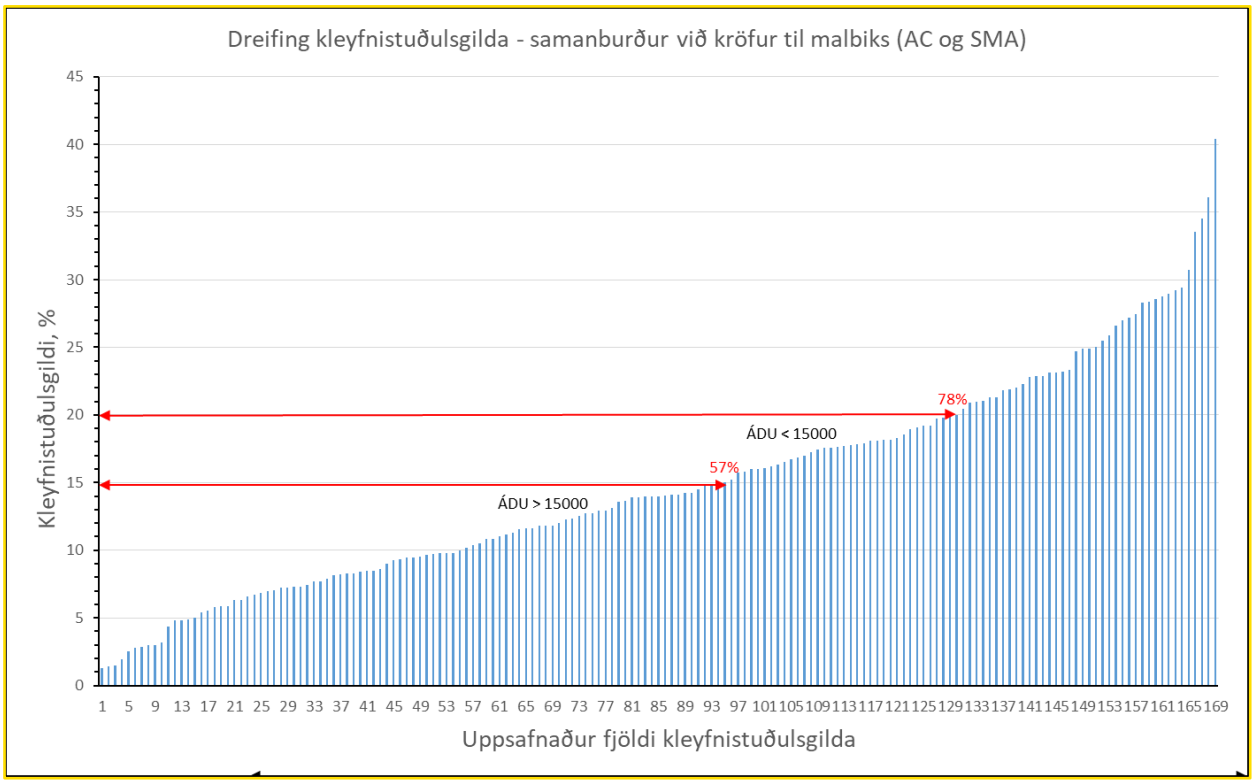
Á ljósmyndinni er stafsigti til mælingar á kleyfnistuðli.

Súluritið sýnir niðurstöður mælinga á Kleyfnistuðli (FI) og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í klæðingu.
Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið. Kröfurnar

miðast við mælingu á kornalögun kornastærða > 8 mm en heldur minni kröfur eru gerðar fyrir smærri kornastærðir.

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er kleyfnistuðulsgildið þ.e. vegið
meðaltal þyngdarhluta sýnis sem smýgur gegnum hvert stafsigti.
Kornalögunarmælingin felst í því að reikna út þyngdarhluta þess efnis af heildarsýninu sem smýgur tiltekið stafsigti á hverju kornastærðarbili (sjá lýsingu á prófunaraðferð í Viðauka 1).

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan FI_{20} fyrir steinefni í klæðingu fyrir ÁDU á bilinu 1000 – 2000 bíla umferð. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana á kleyfnistuðli, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 78% allra gilda FI_{20} kröfuna.



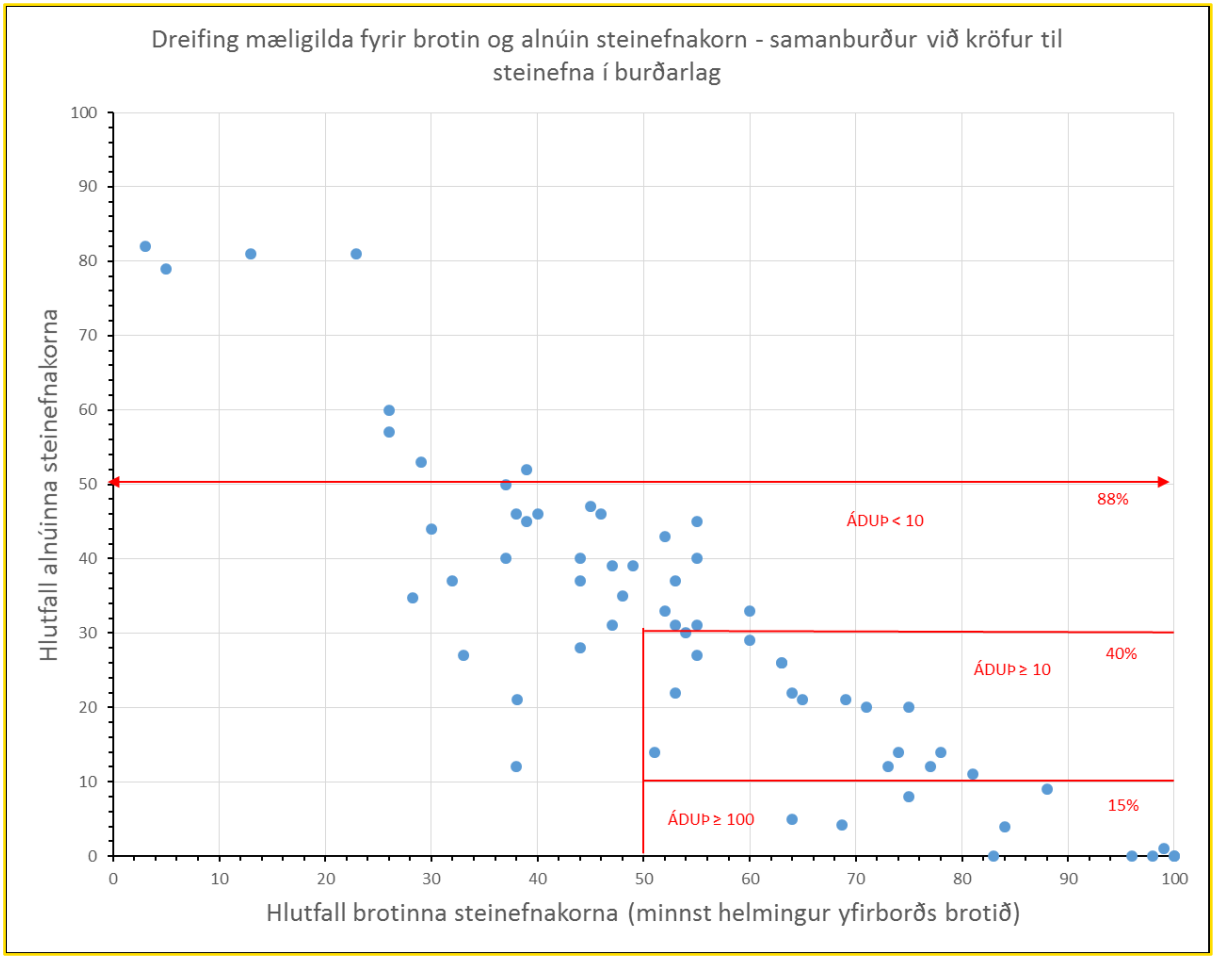


Á ljósmyndinni er stafsigti til mælingar á kleyfnistuðli.

Súluritið sýnir niðurstöður mælinga á Kleyfnistuðli (FI) og er ein súla fyrir hverja mælingu. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í malbik.
Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið. Kröfurnar gilda fyrir stífmalbik (AC) og steinríkt malbik (SMA).

Á x-ás er uppsafnaður heildarfjöldi mælinga en á y-ás er kleyfnistuðulsgildið þ.e. vegið meðaltal þyngdarhluta sýnis sem smýgur gegnum hvert stafsigti. Kornalögunarmælingin felst í því að reikna út þyngdarhluta þess efnis af heildarsýninu sem smýgur tiltekið stafsigti á hverju kornastærðarbili (sjá lýsingu á prófunaraðferð í Viðauka 1).

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan FI_{15} fyrir steinefni í malbik fyrir ÁDU > 15000. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana á kleyfnistuðli, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 78% allra gilda FI_{20} kröfuna.





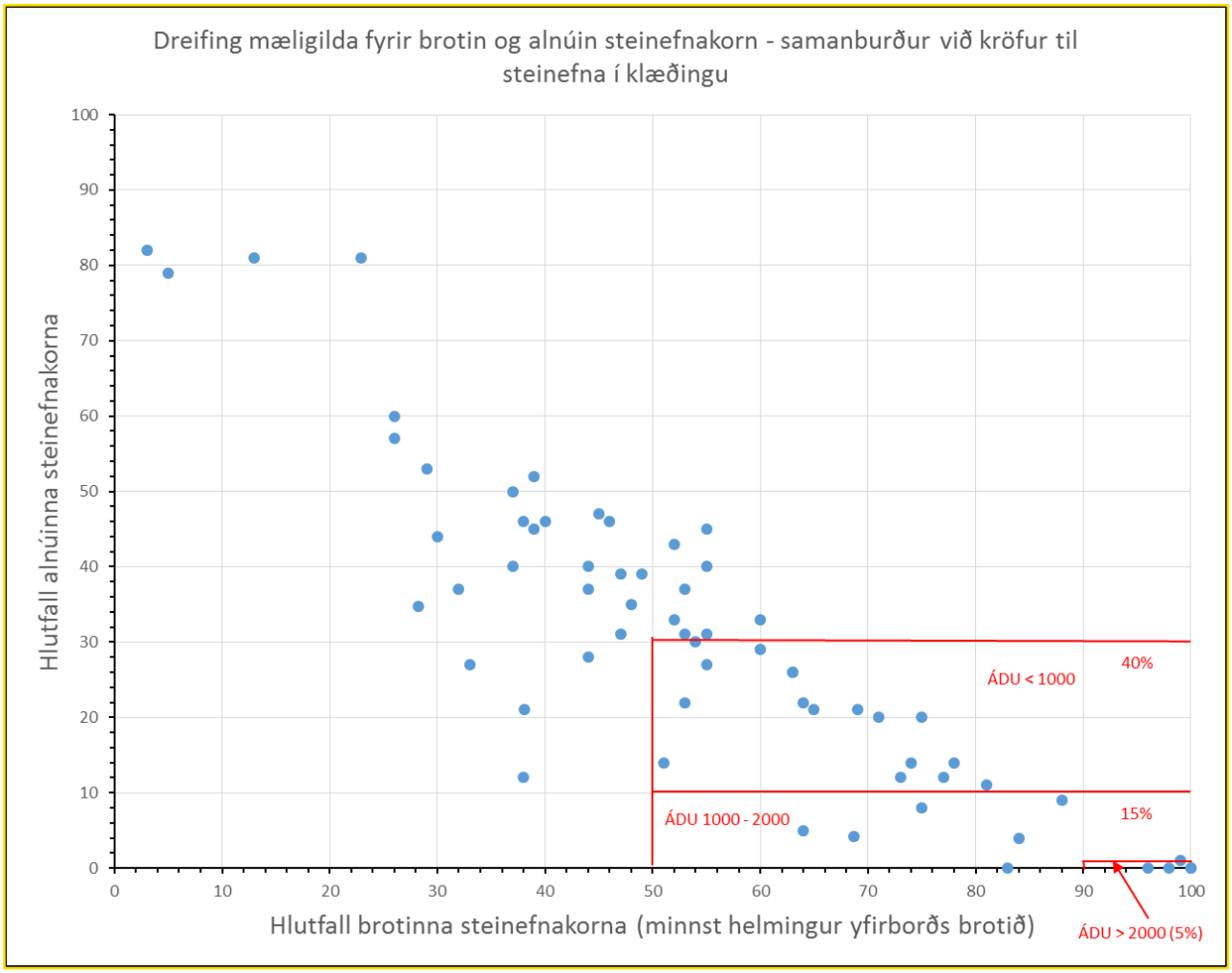
Ljósmyndin sýnir núin og óbrotin korn vinstra megin og brotin hægra megin

Punktasafnið sýnir niðurstöður mælinga á hlutfalli alnúinna (y-ás) og brotinna (x-ás) steinaefnakorna í hverju sýni. Gerðar eru kröfur um tiltekið lágmark brotinna korna og hámark alnúinna korna og niðurstaðan gefin upp sem $C_{X/Y}$.

Kröfurnar er mismiklar eftir því hversu mikil umferð þungra ökutækja ($ÁDU_Þ$) fer um veginn.
Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í burðarlag.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan $C_{50/30}$ fyrir steinefni í burðarlag fyrir $ÁDU_Þ \geq 10$. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana á brothlutfalli, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. 40% allra mælinga $C_{50/30}$ kröfuna.

Samkvæmt evrópustaðli ÍST EN 13242 er mæling á brothlutfalli einungis ætluð til mælinga á möluðu seti. Punktasafnið er að langmestu leyti af setefnum en örfáar mælingar á möluðu bergi hafa þó slæðst með og eru þau sýni að sjálfsögðu með nánast 100% hlutfall brotinna korna.



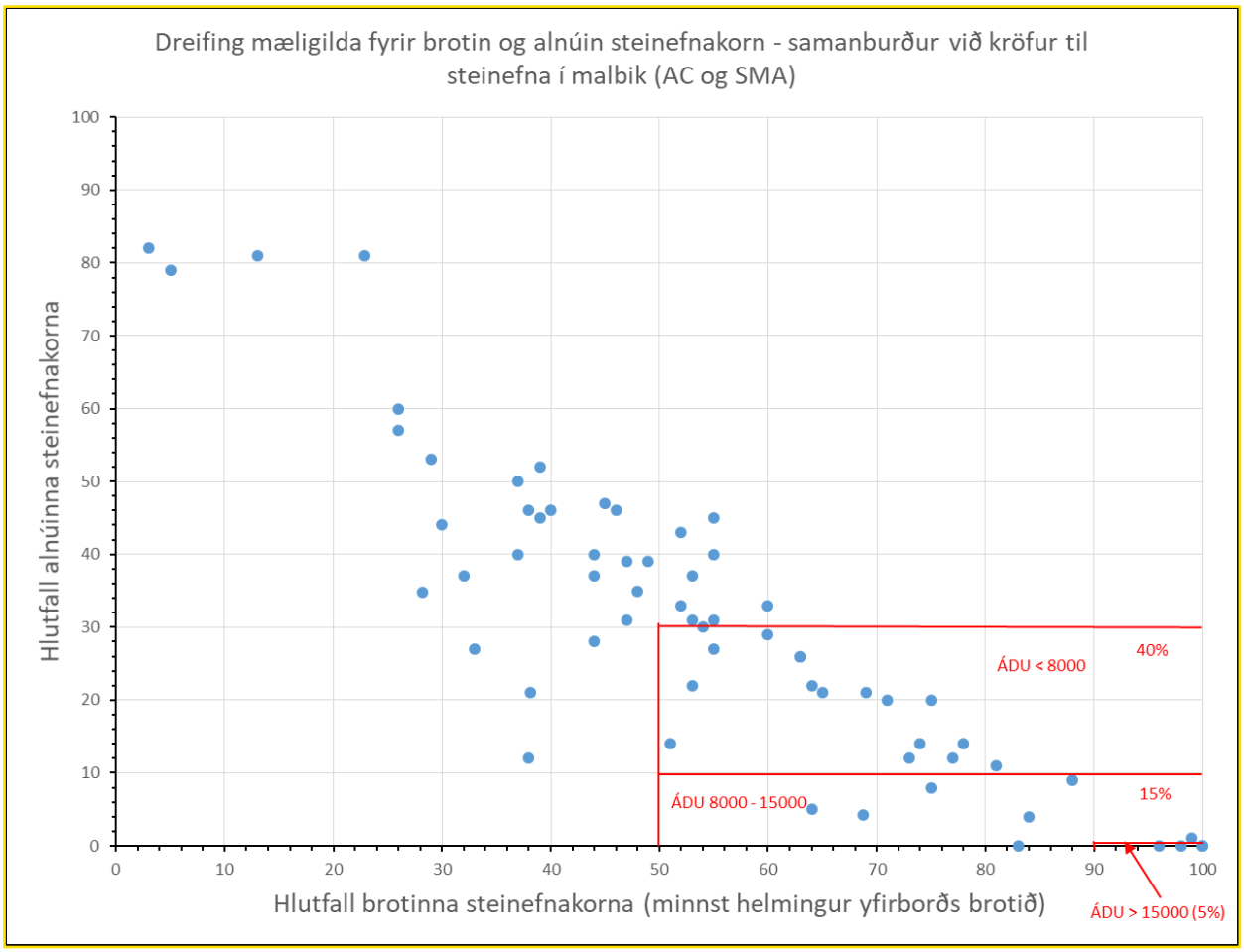


Ljósmyndin sýnir núin og óbrotin korn vinstra megin og brotin hægra megin

Punktasafnið sýnir niðurstöður mælinga á hlutfalli alnúinna (y-ás) og brotinna (x-ás) steinaefnakorna í hverju sýni. Gerðar eru kröfur um tiltekið lágmark brotinna korna og hámark alnúinna korna og niðurstaðan gefin upp sem $C_{X/Y}$. Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið.

Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í klæðingu.

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan $C_{50/10}$ fyrir steinefni í klæðingu fyrir ÁDU á bilinu 1000 - 2000. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana á brothlutfalli, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. einungis 15% allra mælinga $C_{50/10}$ kröfuna. Eins og áður sagði er punktasafnið nær eingöngu mælingar á seti en steinefni í klæðingu eru að miklu leyti möluð úr sprengdu bergi.





Ljósmyndin sýnir núin og óbrotin korn vinstra megin og brotin hægra megin

Punktasafnið sýnir niðurstöður mælinga á hlutfalli alnúinna (y-ás) og brotinna (x-ás) steinaefnakorna í hverju sýni. Gerðar eru kröfur um tiltekið lágmark brotinna korna og hámark alnúinna korna og niðurstaðan gefin upp sem $C_{X/Y}$.

Kröfurnar eru mismiklar eftir því hver meðalárdagsumferðin (ÁDU) er um veginn þ.e. meðalumferð allra ökutækja á dag yfir allt árið. Dregnar eru inn rauðar línur sem sýna kröfur til steinefna í stífmalbik (AC) og steinríkt malbik (SMA).

Textinn undir hverri rauðri línu lýsir nánar hverjum kröfuflokki. Þannig gildir t.d. krafan $C_{90/1}$ fyrir steinefni í klæðingu fyrir ÁDU > 15000. Rauðu hlutfallstölurnar sýna hversu hátt hlutfall allra prófana á brothlutfalli, sem eru í rannsóknarkerfi Vegagerðarinnar standast viðkomandi kröfu. Þannig standast t.d. einungis 5% allra mælinga $C_{90/1}$ kröfuna. Malað set stenst yfirleitt ekki þessa kröfu og skal því nota malað berg í AC og SMA malbik fyrir svo mikla umferð.