



▶▶▶ Sprengt berg í vegagerð

Handbók fyrir vegagerðarmenn



Útgefandi:	Vegagerðin, mars 2012.
Ritstjórn:	Ásbjörn Jóhannesson, Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Gunnar Bjarnason, Vegagerðin.
Aðrir höfundar:	Hafðís Eygló Jónsdóttir, Vegagerðin. Ingvi Árnason, Vegagerðin.
Umbrot:	Ólafur Angantýsson, Nýsköpunarmiðstöð Íslands.
Prentun:	Prentsmiðjan Oddi.
Mynd á forsíðu:	Rautt millilag í skeringu nálægt Arnardalshamri við Skutulsfjörð; ljósmyndari: Pétur Pétursson, PP ráðgjöf.
Mynd á baksíðu:	Stuðlaberg við Aldeyjarfoss; ljósmyndari: Pétur Pétursson, PP ráðgjöf.
Aðrar myndir:	Dynapac Compaction Equipment (DCE); Erla María Hauksdóttir, Nýsköpunarmiðstöð Íslands (EMH); Gunnar Bjarnason, Vegagerðin (GBJ); Hafðís Eygló Jónsdóttir, Vegagerðin (Haf); Helgi Hauksson, Nýsköpunarmiðstöð Íslands (HH); Hersir Gíslason, Vegagerðin (HG); Höskuldur Búi Jónsson, Vegagerðin (HBJ); Metso Minerals (MM); Náttúrufræðistofnun Íslands (NÍ); Pétur Pétursson, PP ráðgjöf (PP); Rúnar Jónsson, Vegagerðin (RJÓ); Statens vegvesen, Noregi (SV); Superior Technical Bulletin (STB); Viktor A. Ingólfsson, Vegagerðin (VAI); Víglundur Rúnar Pétursson, Vegagerðin (VRP).

© Vegagerðin, 2012

1	Inngangur	4
2	Uppbygging vegar og lagskipting	8
3	Gerð og eiginleikar íslensks bergs	10
4	Vinnsla á sprengdu bergi	12
5	Vinnsla efnis í mismunandi lög vegarins	18
6	Flutningur frá mölunarstað á haugsvæði	20
7	Mokstur, flutningur í vegstæði og útlögn	22
8	Notkun steinefna í mismunandi lög	24
	Fylling	25
	Síulag	28
	Styrktarlag	29
	Burðarlag	30
	Slitlag	33
9	Lokaorð	36
	Heimildir	38

1

Inngangur

Þessum bæklingi er ætlað að leiðbeina um notkun sprengds bergs í vegagerð. Hann er einkum ætlaður eftirlitsmönnum og verkstjórum í vegaframkvæmdum en einnig veghönnuðum. Bæklingurinn fjallar öðru fremur um vinnslu sprengds bergs, hvar og hvernig það kemur helst að notum í veghlotinu, hvað beri að varast og hvernig.

Með orðasambandinu *sprengt berg* er átt við berg sem hefur verið losað með sprengiefni eða með riftönn. Sprengt berg má nota í yfirbyggingu vegarins jafnt sem undirbyggingu, að því tilskildu að það uppfylli kröfur þær sem eru gerðar til efnis í viðkomandi lag.

Erlendis er sprengt berg notað í stórum stíl í vegagerð, m.a. vegna takmarkana sem hafa verið settar á notkun lausra setlaga af umhverfisástæðum. Þróunin er í sömu átt hérlendis af áður nefndri ástæðu, en einnig vegna aukinna krafna til efnisgæða.

Víða um land er skortur á malarefnum sem standast kröfur til burðarlags- og styrktarlagsefnis. Því getur verið hagkvæmt að nýta sprengt berg enda þótt vinnsla þess, sérstaklega losun, sé mun dýrari; 8-10 km mismunur á flutningsvegalengd með efni nægir þó oft til að vega upp mismuninn. Að auki er sprengt berg oft heppilegra vegagerðarefni en laus setlög, m.a. vegna þess að það afvatnar vel og hefur að jafnaði meiri burðargetu en efni úr lausum setlögum.

Efnisval getur haft talsverð áhrif á lagþykktir og þar með flutningskostnað. Til dæmis jafngildir 300 mm styrktarlag úr muldu bergi um 400 mm styrktarlagi úr sandi eða mól

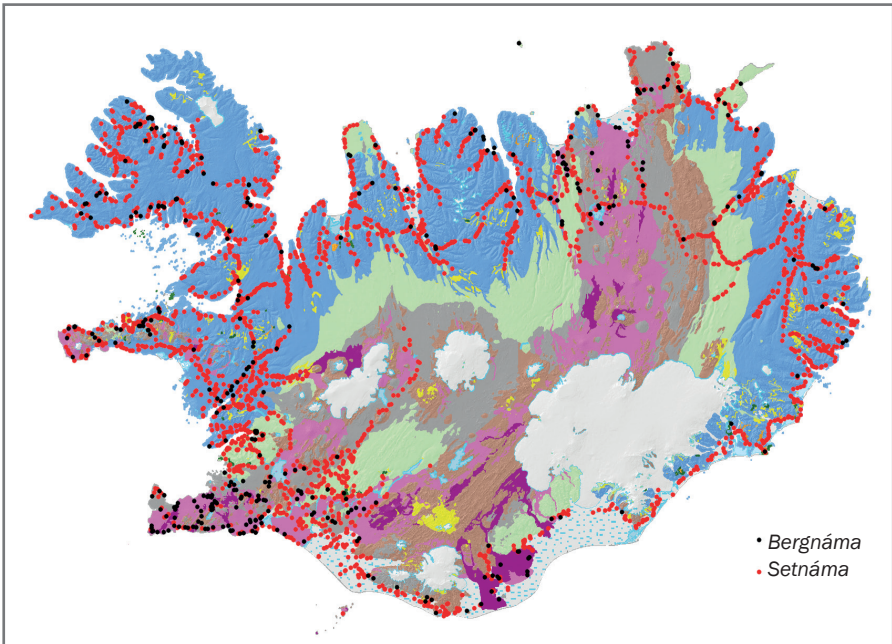


Stakkavíkurnáma við Hlíðarvatn. Hraunfoss sem hefur verið spillt með efnistöku. (GBj).

með dreifðum sáldurferli ($C_u \geq 10$)¹⁾, hvað burðarþol snertir. Munurinn er enn meiri ef sprengt berg er borið saman við sand eða möl með bröttum sáldurferli ($C_u < 10$), þá þarf samsvarandi styrktarlag að vera ríflega 500 mm þykk.

Reynsla af sprengdu bergi í íslenskri vegagerð hefur þó ekki verið hnökralaus. Meginástæðan er mikill breytileiki efnisins, sem oft má rekja til þess að hraunlagastafar eru byggðir upp af hraunlögum og millilögum af mismunandi gerðum og gæðum. Í öðru lagi er sprengt berg vandmeðfarnara en efni úr lausum setlögum. Í þriðja lagi má nefna skort á leiðbeiningum um vinnslu sprengds bergs, meðferð þess og frágang í veghlotinu.

Pegar vegir eru hannaðir er oft mikil áhersla lögð á að hæðarlega vegarins sé valin þannig að jafnvægi fáiast milli efnismagns sem fellur til úr skeringum og efnisþarfur í fyllingar og fláafleyga og í sumum tilfellum einnig í yfirbyggingu vegarins. Þetta fyrirkomulag er nefnt massajafnvægi og er tilgangurinn að nýta efni úr skeringum til fulls í vegagerðina. Í mörgum tilfellum hentar sprengt berg, óunnið eða unnið (þ. e. malað og/eða flokkað) jafn vel eða betur til vegagerðar og efni úr lausum setlögum. En sprengt berg úr skeringum getur verið misjafnt að gæðum og þess vegna er nauðsynlegt að rannsaka efnið á hönnunarstigi ef fyrirhugað er að nota það í burðarlag eða styrktarlag. Ef efnið uppfyllir ekki tilskildar gæðakröfur þarf að gera ráðstafanir í tæka tíð til að tryggja aðgang að efni sem getur komið í staðinn.



Berg- og setnámur á berggrunnskorti. (HG). © Náttúrufræðistofnun Íslands. (NÍ).

Það sem öðru fremur hefur farið úrskeiðis þegar sprengt berg á í hlut er:

1. Sáldurferill utan marka (of gróft efni, skortur á millistærðum í burðarlagsefni).
2. Kleyfið (flögótt) efni.
3. Litlar eða engar rannsóknir á berggæðum á undirbúningsstigi.

Önnur mistök, sem einnig eru þekkt frá efnisnámi úr lausum setlögum, eru:

1. Of þunnt burðarlag, dæmi finnast um raunþykktir allt niður í 30 mm.
2. Of fínefnaríkt efni, einkum í klæðingu og burðarlagi.
3. Eftirliti ábótavant (bæði í framkvæmd og eftirfylgni) þannig að notkun á óhæfu efni uppgötvast ekki fyrr en um seinan.
4. Aðskilnaður í burðarlagi (gróf hreiður innan um fínefnaflekki).

Myndin hér að neðan sýnir dæmi um skemmdir í vegi úr sprengdu bergi um 7 árum eftir að hann var opnaður.

Í þessum bæklingi er tæpt á allmörgum atriðum sem eru líkleg til að bæta árangur í vegagerð úr sprengdu bergi. Þó er kröfum til efnis, frágangs og lagþykktar aðeins gerð óveruleg skil en þessi í stað er vísað til leiðbeiningarrita frá Vegagerðinni; *Efnisrannsóknir og efniskröfur – leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd* og *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn*. Í hinu síðarnefnda er einnig orðalisti sem skýrir ýmis hugtök sem eru notuð í þessum bæklingi.



Skemmdir í slitlagi sem stafa af óhæfu burðarlagi sem unnið var úr sprengdu bergi. (VRP).



Úr grjótnámu, Krísuvíkurheiði við Suðurstrandarveg. (GBj).



Til athugunar

Sprengt berg: Steinefni sem hefur verið losað úr föstu bergi með sprengiefni eða riftönn.

Að öllum líkindum mun sprengt berg gegna vaxandi hlutverki í vegagerð á komandi árum.

Sprengt berg getur reynst mjög vel í vegagerð ef farið er að settum reglum um efniseiginleika, vinnslu og notkun.

⁴⁾ Cu er stærðadreifingarstuðull steinefnis; hlutfallið milli kornastærða sem afmarka 60 % og 10 % sáldur. Því hærrí sem stuðullinn er, því meiri er dreifing efnisins í mismunandi kornastærðir. Einskorna efni hefur lágan stuðul.

2

Uppbygging vegar og lagskipting

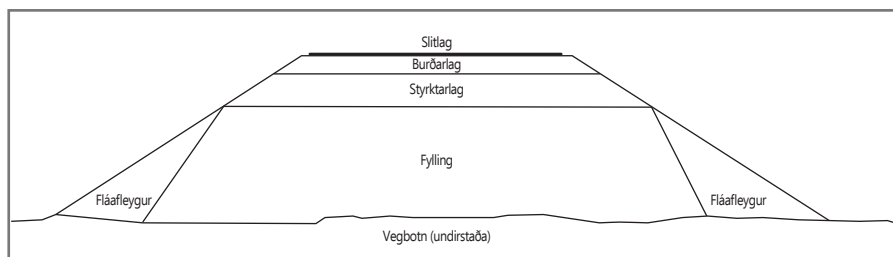
Næsta mynd sýnir lóðrétt þversnið í veghlot. Veghlotinu má skipta í tvo meginhluta, undirbyggingu og yfirbyggingu. Báðir hlutar verða að vera þannig úr garði gerðir að þeir standist álagið frá umferðinni en að öðru leyti eru hlutverk þeirra ólík.

Undirbygging kemur ofan á vegbotninn og er fylling í dældir og slakka í vegstæðinu. Fyllingunni er ætlað að jafna vegstæðið út, mynda ásetu fyrir yfirbygginguna og lyfta henni nægilega hátt yfir grunnvatnsborð eða upp úr snjóalögum. Efni í fyllingar kemur oft úr skeringum í vegstæðinu og sprengt berg (stundum grófmalað eða grófsigt-að) hentar allajafna þrýðilega í þær.

Hlutverk *yfirbyggingarinnar* er annars vegar að dreifa spennum frá umferðinni niður eftir veghlotinu þannig að efnin í neðri hluta þess þoli álagið, og hins vegar að sporna gegn frostlyftingum. Yfirbyggingin er gerð úr nokkrum lögum sem hvert og eitt eru úr frostfríu efni en hafa mismunandi hlutverk.

Neðsta lagið í yfirbyggingunni er styrktarlag. Ofan á styrktarlagið kemur burðarlag og efst er slitlagið. Stundum er nauðsynlegt að skjóta síulagi inn á milli einhverra tveggja laga, ef sáldurferlar þeirra eru mjög mismunandi.

Sprengt og malað eða flokkað berg, bundið eða óbundið, getur verið heppilegt efni í öll lög veghlotsins. Kröfur til steinefnisins fara vaxandi eftir því sem ofar dregur í veginum og hámarksstærð steina fer minnkandi upp eftir veghlotinu. Vinnsla efnisins þ.e. mölun, hörpun og flokkun er því mest í efstu lögnum. Slitlagið getur verið óbundið (malarslitlag) eða bikbundið (klæðing, malbik) og í einstaka tilvikum steyp. Burðarlagið getur verið bikbundið eða sementsbundið en styrktarlag er yfirleitt óbundið.



Þversnið af uppbyggingu veghlots, ýkt hlutföll. (Haf).



Vinnsla bergs í klapparskeringu á Hólmahálsi. (Haf).



Til athugunar

Því ofar sem efnið er í veghlotinu, þeim mun strangari kröfur þarf það að uppfylla og jafnframt þarf að kosta meiru til vinnslunnar.

3

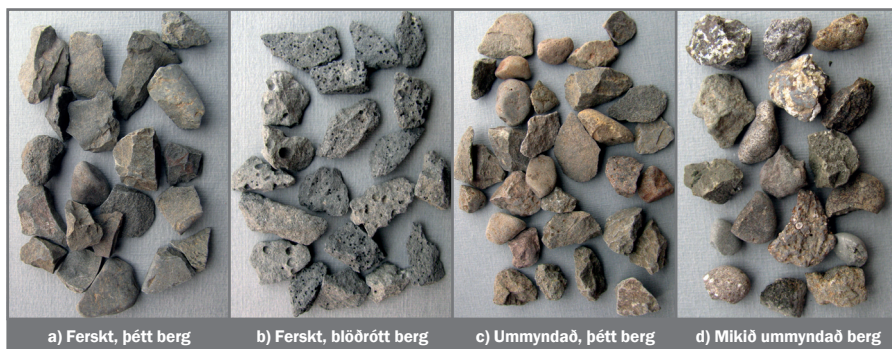
Gerð og eiginleikar íslensks bergs

Langalgengasta bergtegundin hér á landi er basalt, sem skiptist í margar undirgerð-ir. Basalti má einnig skipta í efnisflokkka eftir eiginleikum þess til vegagerðar, sem eru m.a. háðir ummyndun bergsins og gropu (blöðrum) þess en þeir hafa meðal annars áhrif á styrk, veðrunarþol og slitþol bergsins. Meðal efnisflokkka má nefna *mikið ummyndað berg*, *hraunkarga*, *hraun*, *bólstraberg* og *ferskt berg*, sem getur t.d. verið blöðrótt eða þétt.

Grunneiginleikar bergsins, svo sem kristallabygging, gropa og ummyndun ráða miklu um tæknilega eiginleika, svo sem styrk, veðrunarþol og slitþol efnisins. Sem dæmi má nefna að basalt getur ýmist verið lítið eða ekkert ummyndað og með gott veðrunarþol (frostþol) eða mjög ummyndað með lítið veðrunarþol, og allt þar á milli. Á sama hátt getur steinefni verið þétt og með mikinn styrk eða gropið (blöðrótt) og með lítinn styrk.

Hraunlagastaflar eru byggðir upp af hraunlögum og millilögum af mismunandi gerðum og gæðum. Millilög, svo sem setlög og aðliggjandi lakari berglög og einnig sprungufyllingar geta valdið talsverðum erfiðleikum við vinnslu. Slík lög mega í mörgum tilfellum blandast saman við fyllingarefni, en við vinnslu efnis í styrktarlag, burðarlag og slitlag þarf að hreinsa slík lög frá áður en efnið er malað, annaðhvort með undantekt samhliða ámokstri eða með forhörpun áður en efnið fer í gegnum forbrjót.

Efnistökuastaði er afar mikilvægt að velja af kostgæfni og þannig að viðunandi vissa sé fyrir því að efnið standi undir væntingum um gæði. Þetta þarf að gera þegar á hönnunarstigi framkvæmdarinnar því það er dýrt og tímafrekt að leita uppi nýjan efnistökuastað og afla allra tilskilinna leyfa frá viðkomandi aðilum. Reynslan sýnir að



Berggreining getur gefið mikilvægar upplýsingar um notagildi bergs til vegagerðar. (EMH, HH).



Bolafjall við Ísafjarðardjúp. Hraunlagastafi með rauðum millilögum. (PP).

oft er hægt að finna nothæft berg í styrktarlag nálægt vegsvæðinu, og í burðarlag innan hóflegar fjarlægðar frá notkunarstað, þ.e. innan 10-20 km akstursvegalengdar. Hins vegar er nokkuð algengt að klæðingarefni þurfi að sækja um langan veg, allt að 30-50 km.

Það er ekki nóg að bergið í námunni sé hæft til vinnslu heldur er afar mikilvægt að beitt sé heppilegum aðferðum við mölun, haugsetningu og frágang þess í veghlotinu. Um það fjalla kaflarnir hér á eftir.



Til athugunar

Tæknilegir eiginleikar skipta mjög miklu máli fyrir notagildi og endingu steinefnisins. Þar af leiðandi er lykilatriði að velja heppilega efnistökuastaði þegar á hönnunarstigi framkvæmdarinnar.

Suma eiginleika steinefnisins (kornalögun, sáldurferil) má bæta í vinnslunni. Aðrir (styrkur, veðrunarþol) ráðast af grunneiginleikum bergsins.

4

Vinnsla á sprengdu bergi

Þess eru dæmi að misbrestur hafi orðið á því að berg, sem unnið er til vegagerðar, standist kröfur, bæði vegna þess að undirbúningsrannsóknir á efnistökuðum hafa verið ófullnægjandi og líka af því að vinnsluaðferðirnar hafa ekki hentað til að framleiða steinefni í samræmi við kröfur. Hér á við sem oftast að í upphafi skyldi endinn skoða.

Í efstu lög veghlotsins er mikilvægt að velja sterkt og veðrunarþolið berg en minni kröfur eru hins vegar gerðar til bergs sem nota á neðar í veghlotinu. Í neðri lögin, fyllingu og að hluta til styrktarlag, er oft notað sprengt ómalað berg en efni í efri hluta styrktarlags og stundum neðri hluta þess, svo og burðarlag og slitlag þarf að mala.

Vinnsla bergs breytir ekki grunneiginleikum bergsins, en með viðeigandi vinnslustýringu er hins vegar hægt að hafa áhrif á sáldurferil og kornalögun sem eru mikilvægir eiginleikar steinefnis hvað varðar burðarþol þess og þjöppunareiginleika í vegi. Val á búnaði til vinnslu og sömuleiðis verklag hefur veruleg áhrif á árangurinn.

Eftirliti með efnisframleiðslu og útlögn er stundum ábótavant, sem getur orðið til þess að notkun á ónothæfu efni uppgötvast ekki fyrr en um seinan. Einnig hafa stundum verið notaðar vinnsluaðferðir sem duga ekki til að framleiða steinefni í samræmi við kröfur. Aðferðum við haugsetningu, útlögn og þjöppun getur einnig verið áfátt.

Forvinna. Hér er átt við meðhöndlun og mokstur grjóts í vinnslusamstæðuna og gengið út frá því að rannsóknir á efnistökuðum hafi sýnt að bergið sé hæft til fyrirhugaðrar notkunar.



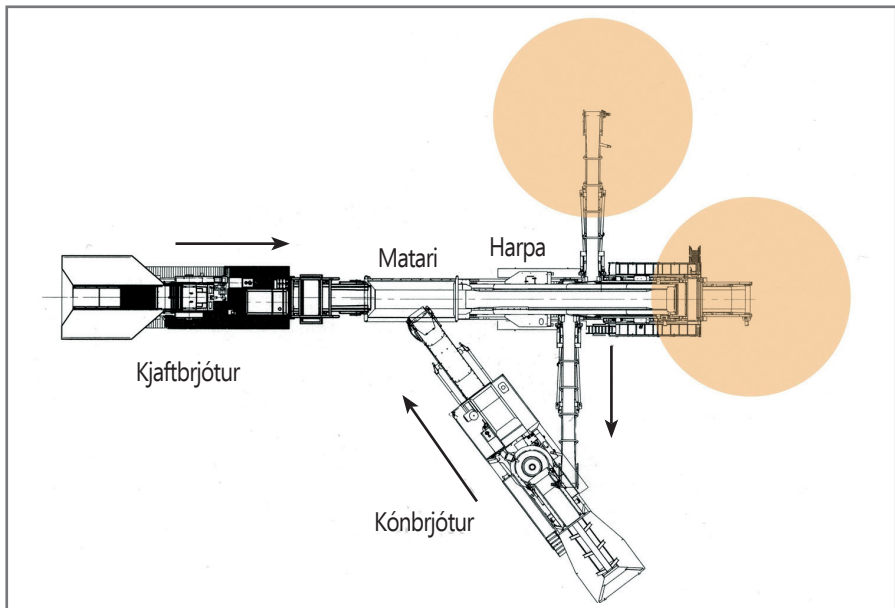
Kjarni úr borun í skeringu á Litlanesi við Kerlingarfjörð. Borkjarnar gefa góðar upplýsingar um efnisgæði í fyrirhugaðri námu. (HBJ).

Ef efnid er einsleitt er ekki þörf á sérstökum aðgerðum öðrum en að tryggja jafnt flæði í vinnslunni sem er mjög mikilvægt fyrir virkni brjóta. Ef efnid er blandað gjalli, leir eða öðrum óæskilegum efnisgerðum, þarf að flokka þær frá. Nokkur dæmi um aðferðir við flokkun efnis:

- Flokkun samhliða mokstri í samstæðuna (draga efnid til með gröfunni og flokka um leið, eða nota sérstakan skóflubúnað sem flokkar).
- Taka fínasta hluta efnisins undan á matara forbrjóts.
- Taka fínasta hluta efnisins undan á hörpu eftir forbrót.

Mikilvægt er að skilja ónothæft efni frá öðru nothæfu áður en það fer inn í aðal vinnsluferilinn. Það sparar oft kostnaðarsamari aðgerðir við að ná því út á seinni stigum. Athugull og vandvirkur gröfumaður sem matar forbrjótinn og flokkar efnid um leið, getur haft afgerandi áhrif á gæði framleiðslunnar. En hann þarf stöðugt að vera á varðbergi og meta hverja skóflufylli áður en hann losar hana. Þetta getur haft afgerandi áhrif á gæði framleiðslunnar.

Mölu. Mölunarsamstæða er sett saman úr nokkrum grunneiningum; matara, brjótum, hörpum og færriböndum til að tengja einingarnar saman. Stundum þarf að skjóta þvottabúnaði inn í samstæðuna. Samstæður eru ýmist fastar eða færarlegar og þær síðarnefndu eru algengari hér á landi. Efnisvinnsla er oftast þrepaskipt og fer brotið fram í nokkrum brotstigum. Tveggja þrepa vinnsla er algeng.

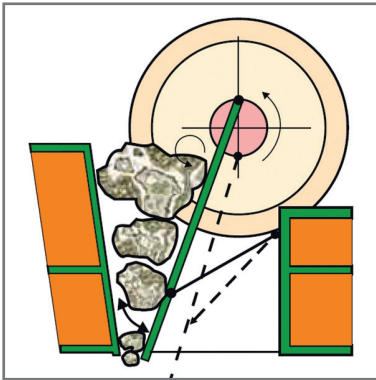


Skýringarmynd af vinnslusamstæðu. Örvanar sýna færslustefnu efnisins. (MM, lítilléga breytt).

Hörpur og brjótar. Val á hörpum skiptir miklu máli; þær þurfa að vera af réttri stærð og gerð og hæfa afköstum brjótanna. Brjóta þarf að velja af kostgæfni; það fer eftir vinnslunni hvers konar brjótar henta best. Eiginleikar þeirra eru mismunandi og þá þarf að velja með tilliti til hráefnisins og hlutverksins sem þeir eiga að gegna í vinnsluferlinu.

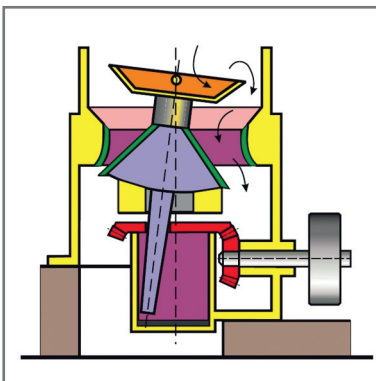
Með vali á brjótum og vinnslustýringu er hægt að stýra kornadreifingu efnisins og bæta kornalögun efnis sem annars myndi fá óæskilega lögun (flögótt eða ílöng korn) vegna berggerðar. Þættir sem hafa áhrif á kornalögun eru auk berggerðar; gerð brjóts, tæknilegir eiginleikar brjótsins þ.e. slaglengd og hraði brjóts, brotstillingar, lögun brotrýmis og einnig brotafl og smækkunarhlutfall brjóts.

Brjóta þarf að mata þannig að þeir séu ávallt fullir af efni, þannig fæst besta kornalögunin.



Skýringarmynd af kjaftrbrjóti. (MM).

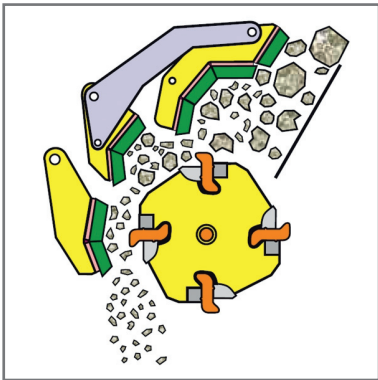
Kjaftrbrjótar (kjálkabrjótar) mylja efnið með því að þrýsta því saman. Þeir eru notaðir fremst í vinnslurásinni, þ.e. sem forbrjótar (á fyrsta brotstigi) til að mala efnið í hæfilegar stærðir til frekari vinnslu. Kjaftrbrjótar eru einnig notaðir til vinnslu á grófum efnum, s.s. í styrktarlag. Stærstu kjaftrbrjótar (hérlandis) ráða við steinastærðir allt að 1,5 m í þvermál en algengustu brjótarnir hér á landi taka steinastærðir á bilinu 0,7-1 m í þvermál.



Skýringarmynd af kónbrjóti. (MM).

Kónbrjótar (keilubrjótar) koma á eftir kjaftrbrjóti í vinnslurásinni. Við vinnslu steinefna í burðarlag og klæðingu til vegagerðar hérlandis er kónbrjótur algengasti eftirbrjóturinn (seinni eða síðasti brjótur).

Kastbrjótar. Tvær aðalgerðir kastbrjóta eru *láréttur hverfibrjótur (HSI)* og *lóðréttur hverfibrjótur (VSI)*. Kastbrjótar bæta kornalögun og auka hlut sands og fínefna í framleiðslunni.

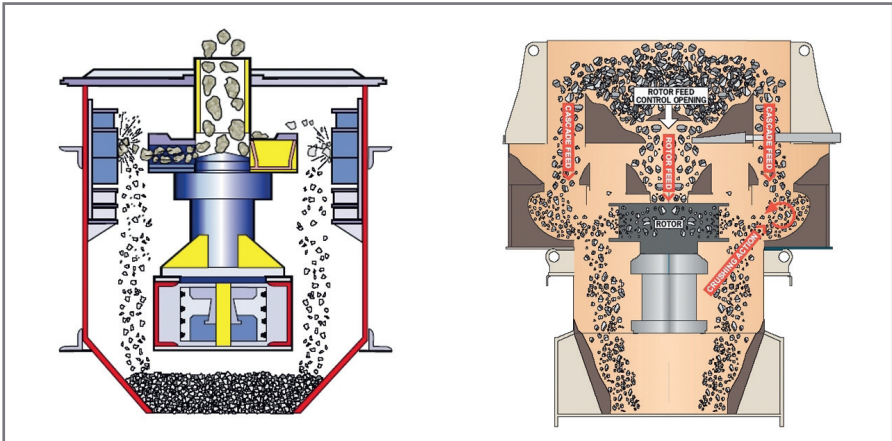


Skýringarmynd af láréttum hverfibrjóti (HSI). (MM).

Láréttir hverfibrjótar (HSI). Slitþol HSI brjóta er minna en annarra brjóta. Þeir vinna vel á mjúku bergi en henta ekki eins vel fyrir sterk berg. Þessir brjótar eru því frekar notaðir fyrir efni sem brotnar auðveldlega og slit verður því ekki óhóflegt. Hér á landi eru HSI brjótar notaðir þar sem þarf að bæta kornalögun og/eða auka hlut fínefna í framleiðslunni, s.s. efnis í malarslitlag og malbik.

Lóðréttir hverfibrjótar (VSI). VSI brjótar eru fyrst og fremst notaðir til að framleiða fingert steinefni, eins og sand, með góða kornalögun, þ.e. teningslögun. Hér á landi eru VSI brjótar mest notaðir við framleiðslu steinefna í malbik og steinsteypu.

Algengast er að nota þessa brjóta sem fínbrjóta/eftirbrjóta t.d. á 3. brotstigi, en það ræður mestu um gæði á lokaafurðinni. Smækkunarhlutfallið er lítið þar sem áherslan er fyrst og fremst lögð á kornalögun. Þessir brjótar eru mjög öflugir til að auka hlut millistærða, þ.e. sands og fínefna og eru þess vegna oft kallaðir „sandframleiðsluvélar“ (*sand-making machines*).



Skýringarmyndir af lóðréttum hverfibrjótum. (VSI).

Til vinstri: Steinn-á-málm. (MM). Til hægri: Steinn-á-stein. (MM).

Vinnsla. Góður árangur er að nokkru leyti kominn undir árangursríku samspili efniseiginleika og vélbúnaðar í vinnslusamstæðunni. Tilraunavinnsla er þess vegna nauðsynleg ef meiriháttar breytingar verða; a) á eiginleikum efnisins í námunni, b) á vélbúnaði, c) eða hvorutveggja.

Það er mikilvægt að mólunarsamstæðan vinni á fullum afköstum þegar sýni eru tekin, því eiginleikar steinefnisins (sérstaklega kornalögun) getur verið breytileg eftir afköstum. Þegar niðurstöður prófana á kornadreifingu og kornalögun liggja fyrir eru gerðar breytingar á vinnsluaðferðinni ef ástæða þykir til.

Efniskröfur eru mismunandi eftir því til hvers á að nota efnið. Val á vélum í mólunarsamstæðu og stilling þeirra getur haft veruleg áhrif á efniseiginleika, einkum kornalögun og sáldurferil.

Við vinnslu á burðarlagsefni úr sprengdu bergi getur reynst erfitt að fá nægilega hátt hlutfall af millistærðum þ.e. sandi og fínmöl og viðunandi kornalögun. Heppileg gerð af síðasta brjóti í samstæðu getur ráðið bót á þessu, en berggerðin skiptir líka máli.

Nokkur atriði sem geta bætt kornalögun:

- Víkka eftirbrjótinn (hér er átt við kónbrjót) og auka hringrás á efninu. Við þetta gengur brjóturinn fyllri sem bætir kornalögun en minnkar afköst.
- Fullmata (kokmata) eftirbrjótinn (hér er átt við kónbrjót). Passa að nóg efni sé í brjótum, þannig að steinarnir brotni við innbyrðis snertingu.
- Stilla slaglengd (ef þess er kostur, minnka slaglengd).



Vinnsla á sprengdu bergi. Náma á Brunahvammshálsi á Vopnafjarðarheiði. (Haf).

- Uppröðun á netum í hörpu.
- Hraði innmötunar.
- Breyta um lögun á keilu.
- Önnur gerð af brjóti.
- Fjölga brotstigum, bæta við kastbrjóti eða kónbrjóti.

Nokkur atriði sem geta bætt kornadreifingu:

- Þrengja eftirbrjótinn (miðað við kónbrjót) og minnka hringrás á efninu. Þetta eykur hlutfall sands og fínmalars. Jafnframt eykur þetta hlutfall fínefna sem getur þurft að bregðast við. Kornalögun getur versnað. Aukin afköst.
- Fullmata (kokmata) eftirbrjótinn (miðað við kónbrjót).
- Stilla slaglengd (ef þess er kostur, auka slaglengd).
- Uppröðun á netum í hörpu.
- Hraði innmötunar.
- Breyta um lögun á keilu.
- Önnur gerð af brjóti.
- Fjölga brotstigum, bæta við kastbrjóti eða kónbrjóti.

Nokkur atriði sem geta minnkað hlutfall fínefna:

- Flokka óæskilegt efni frá um leið og mokað er í matara forbrjóts (draga efnið til og flokka, eða nota sérstakan skóflubúnað sem flokkar).
- Taka fínasta hluta efnisins undan á matara forbrjóts.
- Taka fínasta hluta efnisins út á hörpu eftir forbrot.
- Taka fínefni út eftir annað brotstig.
- Þvo efnið á hörpu með úðurum og/eða í þvottasigli.

Nánari upplýsingar um vinnslu steinefna verða aðgengilegar í skýrslu sem er í smíðum hjá Vegagerðinni og heitir *Leiðbeiningar um vinnslu steinefna*.



Til athugunar

Sá sem matar forbrjótinn getur haft veruleg áhrif á gæði steinefnisins, bæði með því að sjá til þess að forbrjóturinn sé ávallt fullur og með því að skilja lélegt efni frá áður mokað er í forbrjótinn.

Kjaftrjótur eru forbrjótur, notaðir til að smækka gróft efni.

Kónbrjótur smækka efnið á 2. og 3. brotstigi og bæta kornalögun.

Kastbrjóta má nota á þriðja brotstigi til að bæta kornalögun og auka hlutfall sands og fínefna.

5

Vinnsla efnis í mismunandi lög vegarins

Grunnkröfur til fyllingarefnis eru óverulegar og fara kröfur að miklu leyti eftir aðstæðum á byggingarstað, þ.e. landhalla, veghæð og afvötnun. Kröfur til efnis í yfirbyggingunni fara hins vegar vaxandi eftir því sem ofar dregur í veghlotinu.

Fylling. Efni í fyllingar þarf sjaldnast að mala, en steinar yfir tiltekinni stærð eru oft flokkaðir frá.

Styrktarlag. Gerðar eru kröfur til kornadreifingar og berggæða efnis í styrktarlag en ekki sérstakar kröfur um kornalögun. Til framleiðslu á efni í styrktarlag úr sprengdu bergi er oft nægilegt að nota einn brjót sem venjulega er kjaftbrjótur. Kjaftbrjóturinn einn sér gefur takmarkaða möguleika á að hafa stjórn á kornadreifingu og op hans er ílangt þannig að flögótt efni getur reynst grófara en teningslaga efni, þótt hvortveggja fari gegnum sama brjót. Oft er forbrjóturinn látinn duga en náist hæfileg kornadreifing ekki með einum brjóti, t.d. í efni fyrir efri hluta styrktarlags, getur þurft að bæta öðrum brjóti við.

Burðarlag. Við framleiðslu á efni í burðarlag þarf a.m.k. tvö brotstig (tvo brjóta) og viðeigandi hörpur. Fyrri brjóturinn er yfirleitt kjaftbrjótur. Með hliðsjón af gæðum



Innflutt klæðningarefni (Durasplitt) í Tungudal við Ísafjörð. (PP).

hráefnisins getur reynst nauðsynlegt að bæta frekari vinnslubúnaði inn í vinnslurásina, t.d. til að hreinsa, þvo eða flokka óæskileg efni úr framleiðslunni, jafnvel þriðja brjótunum til að bæta kornalögun eða kornadreifingu efnisins.

Klæðingarefni. Við framleiðslu á flokkuðu klæðingarefni eru gerðar talsvert strangar kröfur til berggæða s.s. frostþols, styrkleika og slitþols, svo að sprengda bergið má ekki innihalda aðskotaefni, s.s. lélegar bergtegundir, að neinu marki. Óhreinindi í efninu geta spillt viðloðun. Oftast duga tvö brotstig til að framleiða flokkað klæðingarefni. Mikilvægt er að hafa öfluga hörpu sem ræður vel við að flokka efnið í þrjá flokka, sem oft eru 8/11 mm, 11/16 mm og úrharp þ.e. smærra efni en 8 mm.

Steinefni í malbik. Steinefni í malbik eru nær alltaf flokkuð í minnst tvo (oftast fleiri) flokka. Þau eru síðan blönduð á ný í réttum hlutföllum samhliða framleiðslu malbiksins. Þetta er gert til að hafa góða stjórn á kornadreifingunni. Við framleiðslu á steinefni í malbik eru gerðar strangar kröfur til kornalögunar. Til að uppfylla þær þarf þrjú brotstig. Algengt er að nota lóðréttan hverfibrjót (VSI brjót) sem 3. stigs brjót í vinnslulínu fyrir steinefni í malbik m.a. til að auka hlut sands og fínefnis (mélu).



Til athugunar

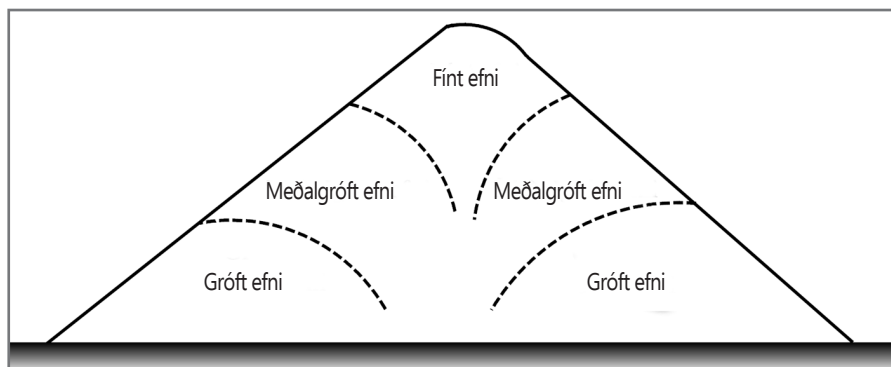
Því ofar í veghlotinu sem efnið verður notað, þeim mun strangari eru efniskröfurnar og vinnslan að sama skapi flóknari.

Eiginleikar steinefnis í veghloti hafa afgerandi áhrif á gæði og endingu vegarins.

Árangursrík vinnsla á steinefni er samspil bergfræðilegra eiginleika þess og vinnsluaðferðar.

Öll meðhöndlun á steinefni ýtir undir aðskilnað í efninu nema því aðeins að það sé einskorna. Flokkað steinefni með þröngt kornastærðarbil, eins og 11/16 mm efni, er ekki líklegt til að aðskiljast. Vandamálið tengist fyrst og fremst meðhöndlun á óflokkuðu efni með breiðu kornastærðabili, eins og til dæmis 0/32 og 0/63 mm.

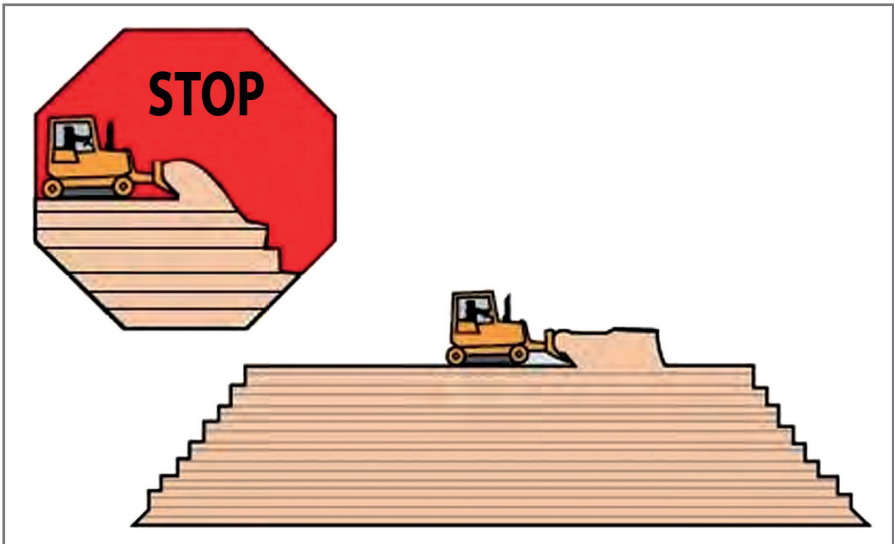
Mikil hætta er á aðskilnaði í keilulaga haugum, sér í lagi þar sem steinefni kastast fram af færibaldi og hrynur niður eftir efniskeilunni sem myndast framan við færibaldið sbr. næstu mynd. Hraðgeng færíbönd hafa tilhneigingu til að kasta grófara efninu lengra frá sér en fínefninu, sem fellur nokkurn veginn lóðrétt niður af færibandinu. Einnig getur hvass vindur feykt finasta hlutanum úr steinefninu. Stundum er til bóta að setja stálplötu framan við færibaldið til að tryggja að efnið falli beint niður og ef vindur er mikill, að byggja skjól fyrir efnið. Gott verklag við mokstur undan bandi er að láta hauginn undir bandinu hvorki stækka né minnka og moka alltaf úr sama stað í haugnum, helst sama skóflufarinu.



Skýringarmynd af aðskilnaði í keilulaga haug undir færibaldi. Horft í stefnu samsíða færibandinu. (PP).

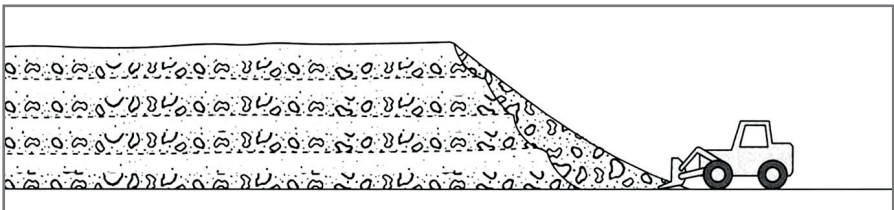
Verklag við haugsetningu skiptir miklu máli fyrir aðskilnað kornastærða. Myndin efst á næstu síðu undirstrikar nauðsyn þess að forðast að ýta efni fram af brúninni þegar haugur er jafnaður að ofan. Að öðrum kosti er hætta á aðskilnaði.

Þegar efni er haugsett þarf að velja lagþykktir í haugnum í samræmi við stærðir til að forðast aðskilnað. Til dæmis er heppilegt að takmarka lagþykktir fyrir burðarlagsefni (0/63 mm) við 2 m. Efninu á að hlaða upp þannig að grófari hluti úr efri lögum hrynji ekki niður eftir haugnum og orsaki þar með aðskilnað. Þegar mokað er úr þykku



Aðvörun: Ekki ýta efni fram af haugbrún, það veldur aðskilnaði. (STB).

haug er heppilegt að moka ofan af honum í lögum; síðri kostur en þó viðunandi, er að moka úr haugfætinum eins og næsta mynd sýnir.



Til að forðast aðskilnað í óflokkuðu efni er mikilvægt að haugsetja það í hæfilega þykkum lögum og hlaða efninu þannig upp að grófari hluti úr efri lögum hrynji ekki niður eftir haugnum og orsaki þar með aðskilnað. (SV).



Til athugunar

Efni sem hrynur niður eftir haug hættir til að aðskiljast eftir kornastærðum.

Aðskilnaður í steinefni getur valdið skemmdum í burðarlagi og slitlagi.

Efnið, komið á bíl, á að vera einsleitt. Við mokstur á bíla er mikilvægt að sá sem mokað efninu hafi vakandi auga með því. Hann þarf að aðgæta hvort efnið hafi aðskilist við haugsetninguna; einnig hvort efni, sem hrynur niður eftir haugnum við moksturinn aðskilist um leið. Búast má við að jaðrar efnishaugans séu grófari en aðrir hlutar hans. Þegar ótvíræð merki sjást um aðskilnað í efnishaug er nauðsynlegt að blanda efninu saman nokkrum sinnum með skóflunni áður en því er mokað á bíl.

Í stöku tilfellum er steinefni flutt á bílpall með færibaldi. Þegar svo stendur á er óheppilegt að bíllinn standi þvert á flutningsstefnu færibandsins, það hefur tilhneigingu til að kasta grófara efninu lengra en því smærra þegar steinefnið fellur niður á bílpallinn og þá lendir grófari hluti þess öðru megin á bílpallinn og þar af leiðandi öðru megin í malardreifara eða vegstæði.

Við útlögn á styrktarlagi, sérstaklega óunnu, er algengast að efninu sé tippað beint af bíl og því jafnað út með ýtu. Heppileg aðferð til að tryggja góða yfirborðsáferð á viðkomandi lagi er að tippa hlassinu ofan á lagið og ýta því „fram af“. Þetta leggur stóra, staka steina neðst í lagið og finni hluta efnisins ofar. Við útlögn á unnu (möluðu) styrktarlagi eru fleiri möguleikar fyrir hendi; þeir sömu og er getið hér að ofan, að



Mokað undan færibaldi jafnharðan. Lítil hættu á aðskilnaði. Skering á Tröllatunguheiði. (Haf).



Aðskilnaður undir færiband. Úr grjótnámu, Krísuvíkurheiði við Suðurstrandarveg. (Haf).

billinn dragi úr hlassinu (þar er þekkt aðferð að nota gafl pallsins til að skammta þykktina) og jafna síðan með veghefli, eða nota malardreifara.

Þegar komið er að útlögn á burðarlagi er í flestum tilvikum gerð krafa um útlögn efnisins með malardreifara. Dreifari tryggir góða og jafna dreifingu efnisins, bæði hvað varðar þykkt, breidd og sléttleika. Auk þess er aðferðin líklega hagkvæm þar sem ekki þarf að jafna efnið sérstaklega (sparar tippvél) fyrir þjöppun og umferð.

Eftir útlögn þarf að gæta þess að efnið spillist ekki af umferð, efnið þarf að leggjast og liggja kyrrt þar til næsta lag er lagt.

8

Notkun steinefna í mismunandi lög

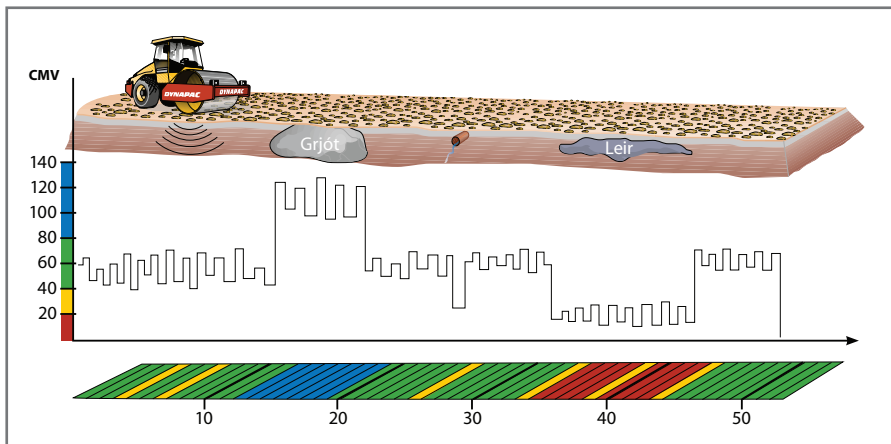
Sprengt berg er ávallt malað í burðarlag og yfirleitt einnig í efri hluta styrktarlags en er oft notað óunnið í neðri hluta styrktarlags og í fyllingu. Leyfilegt hlutfall fínefnis í óbundnu efni minnkar eftir því sem ofar dregur í veghlotinu (að malarslitlagi undan-teknu). Sprengt og malað berg er notað í miklum mæli í bundin slitlög og getur auk þess hentað vel í bland við annað efni í óbundin slitlög. Ennfremur er sprengt berg notað í fyrirhleðslur, grjóthleðslur, rofvarnir, fláa og í nokkrum mæli í steypu.

Eftir að efnið hefur verið lagt út er afar mikilvægt að þjappa það vel og ekki síður að þjöppunin sé jöfn yfir allt þversniðið. Ákvæði um þjöppun eru mismunandi eftir staðsetningu efnisins í veghlotinu.

Ýmsar leiðir eru færar til að ganga úr skugga um að þjöppun sé í samræmi við kröfur. Öruggasta aðferðin er plötupróf en hún er dýr og tafsöm og einungis eru mældir stakir punktar. Annar möguleiki og aðgengilegri er að telja umferðir valtans á hverjum stað og bera saman við kröfur í verklýsingum. Með hjálp GPS tækja ásamt tilheyrandi vöktunarbúnaði í valtanum er orðið auðvelt að fylgjast með fjölda yfirferða. Í nýrri völtum eru einnig þjöppumælur sem er búnaður²⁾ sem mælir mótstöðu lagsins sem verið er að valta og þannig fæst mat á það hversu langt völtunin er komin. Þeir gera



Útlögn burðarlags með malardreifara. Norðausturvegur við Lónsós. (RJÓ).



Skýringarmynd af þjöppunareftirliti með þjöppumæli í valta. Í valtanum má einnig koma fyrir búnaði sem telur fjölda umferða á hverjum stað. (DCE).

líka auðvelt að leita uppi svæði sem þarf að þjappa betur. Þessi síðastnefndi búnaður er enn í þróun en kemst líklega næst því því að jafngilda plötuprófi að áreiðanleika. Samt sem áður er nauðsynlegt að kvarða hann³⁾ af og til með plötuprófi til að tryggja áreiðanlega vitneskju um gæði völtunarinnar.

Fylling

Að jafnaði eru efnisgæði sprengds bergs viðunandi til notkunar í fyllingar en mjög ummyndað eða fínefnaríkt berg getur þó verið óheppilegt við vissar aðstæður.

Efnisgerð og lagþykktir. Í fyllingu úr sprengdu bergi fer D'_{98} ⁴⁾ annars vegar eftir lagþykktinni, hins vegar eftir staðsetningu í fyllingunni. Í fyllingarefni má D'_{98} undir vissum kringumstæðum vera allt að 2/3 af lagþykktinni. Þegar krafist er þjöppunar í þunnum lögum skal minnka D'_{98} í samræmi við lagþykkt þannig að ofanskráð krafa sé uppfyllt.

Í þeim hluta fyllingar sem er nær vegyfirborði en 1500 mm skulu steinar sem eru stærri en hnullungar (500 mm í þvermál) ekki vera nær yfirborði fyllingarinnar en sem nemur 1,5 × þvermál steinanna. Í fyllingu úr sprengdu bergi skal efsti 1 m fyllingarinnar vera úr efni sem er nægilega lekt og yfirborð undirbyggingar á að vera nægilega opið til að vatn safnist ekki fyrir á yfirborði hennar.

Á milli fyllingar úr sprengdu bergi og burðarlags skal koma minnst 0,2 m þykkt styrktarlag til afréttingar sem jafnframt þarf að uppfylla kröfur til síulags ef þörf er á síulagi.

Útlögn. Fyllingarefni úr sprengdu bergi, sem ætlast er til að ná fullum stöðugleika um leið og þjöppun er lokið, skal leggja út og þjappa í 0,5 – 2 m þykkum lögum.

Ef fyllingin er lægri en 6 m og engar sérstakar kröfur gerðar til sigs, má leggja fyllingarefnið í einu lagi frá tipp og ýta því fram af brún hans, allt upp að 0,8 m undir yfirborði fyllingar. Þegar fyllingin er komin í þessa hæð þarf að þjappa hana. Síðan má leggja það sem á vantar (0,8 m) í einu lagi úr efni með $D'_{98} \leq 400$ mm.



Unnið við skeringu (nær) og háa fyllingu úr grjóti (fjær). Norðausturvegur um Fjallahöfn. (VAI).



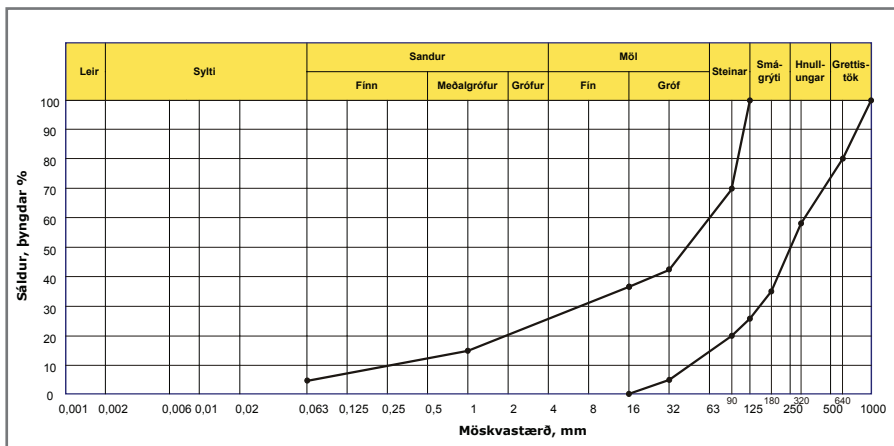
Grjótflutningar á búkollu. Norðausturvegur um Fjallahöfn. (RJÓ).

Ef fyllingin er hærri en 6 m og engar sérstakar kröfur gerðar til sigs er heppilegt að leggja hana í 1-3 m þykkum lögum og þjappa hvert lag í samræmi við kröfur.

Ef nauðsynlegt reynist, skal kíla og þétta yfirborð fyllingarinnar til að uppfylla kröfur um frávik í hæð og eins til að loka meiriháttar holrúmum í yfirborðinu. Efni til kilingar skal standast kröfur til styrktarlags. Í fyllingunni má ekki fyrirfinnast snjó eða ís.

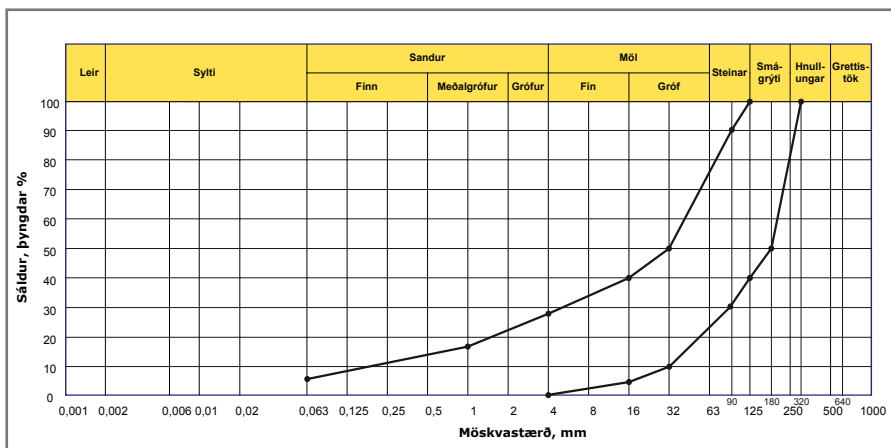
Efniskröfur.

- 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 má nota sprengt og flokk- að berg með efri flokkunarstærð ≤ 640 mm og 20% yfirstærðir⁵⁾ ($G_A 80$). Þykkt slíkrar fyllingar þarf að vera minnst 800 mm. D'_{98} má ekki vera meiri en helmingur lagþykktar. Kröfur til sáldurferils eru sýndar á næstu mynd.



Markalínur fyrir efni í fyllingar úr sprengdu og flokkuðu bergi. Myndin er byggð á sænskum verklýsingum. (HBJ).

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



Markalínur fyrir efni í fyllingar úr sprengdu og möluðu bergi. Myndin er byggð á sænskum verklýsingum. (HBJ).

Síulag

Hlutverk síulags er að:

- varna því að fínefni (einkum úr vegbotni eða fyllingu) smiti í gegnum lagið og valdi skemmdum á næsta lagi fyrir ofan.
- varna því að fingert efni úr efra lagi sáldrist niður í næsta lagi fyrir neðan.

Síulag þarf að:

- vera nægilega gisið til að vatn safnist ekki saman í eða við lagið.
- hafa heppilegan sáldurferil þannig að það blandist ekki efni úr næsta lagi.
- hafa nægilega lagþykkt þannig að kröfur um stæðni séu uppfylltar.

Við aðstæður þar sem reikna má með að hæð grunnvatnsborðs geti verið flóktandi eða vatn geti borið fínefni milli laga getur síulag komið að góðu gagni. Þörf á síulagi má kanna með því að bera sáldurferla samliggjandi laga saman við síukröfur.

Algengast er að síulags sé þörf á milli fyllingar og styrktarlags eða fyllingar og vegbotns. Einnig getur verið þörf á síulagi milli styrktarlags og burðarlags. Styrktarlag úr grófpúkki eða sprengdu bergi getur verið mjög gisið og þá getur verið þörf á málarkenndu síulagi með vel dreifðan sáldurferil ($C_u \geq 10$) ef næsta lagi fyrir neðan er úr mjög smágerðu efni. Lágmarksþykkt á síulagi er 150 mm og D'_{98} á ekki að vera meiri en hálf lagþykktin.

Síulagið þarf að vera nægilega lekt til að flytja vatn, sem kemur upp úr fyllingunni, út í hliðarskurð. Það getur verið úr sandi eða mól en í stað þess má einnig nota þar til gerðan síudúk úr gerviefnum. Stundum er hægt að nota sprengt og malað berg í síulag, en hÉrlendis er algengast að nota sand eða mól.

Styrktarlag

Púkk, grófpúkk og malað, sprengt berg eru allt efnisgerðir með heppilega eiginleika hvað varðar afvötnun, burðarþol og stæðni og henta þess vegna vel í styrktarlag. Sprengt og malað berg og púkk er heppilegt efni í styrktarlag, sérstaklega á svæðum þar sem úrkoma er mikil.

Þegar óflokkað, sprengt berg er notað í styrktarlag getur þurft að auka lagþykktir vegna ákvæða um hlutfall lagþykktar og hámarks steinastærðar. Þá getur reynst hagstæðara að grófmala efnið eða flokka það fremur en að auka lagþykktina, auk þess sem styrktarlagið verður einsleitara. Sprengt, óunnið berg er fremur ódýrt efni í styrktarlag ef flutningsleiðin er stutt, en það þarf að rétta af með mulningi, t.d. 22/125 mm eða 0/90 mm.

Óflokkuðu, sprengdu bergi hættir til aðskilnaðar við uppmokstur, flutning og útlögn. Þá geta myndast hreiður af grófu efni annars vegar og flekkir með miklu fínefni hins vegar í styrktarlaginu. Þetta ber að forðast eins og kostur er með verktilhögun.

Efnisgerð og lagþykktir. Sprengt berg sem er notað í efri hluta styrktarlags skal vera malað eða flokkað, nema því aðeins að það springi nægilega smátt til að uppfylla kröfur um D'_{98} , og sömuleiðis kröfu um hlutfall D'_{98} og lagþykktar. Taflan efst á næstu síðu sýnir algenga stærðaflokka styrktarlagsefnis.



Útlögn styrktarlags. Norðausturvegur um Tjörnes. (RJó).

Óflokkað efni [mm]	Flokkað efni [mm]
0/90	22/90
0/125	22/125
0/180	22/180

Algengir stærðaflokkar efnis í styrktarlag.

Í styrktarlagi úr sprengdu bergi má D'_{98} mest vera 2/3 af lagþykktinni. Fyrir malað eða flokkað efni er æskilegt að miða við efri flokkunarstærð (D) og skal hún ekki vera meiri en helmingur af lagþykktinni. Ef styrktarlag er úr púkki eða grófpúkki má D'_{98} heldur ekki vera meiri en 250 mm. Ef styrktarlaginu er skipt í efri og neðri hluta styrktarlags verður efra lagið að vera minnst 150 mm þykkt. Í efri hluta styrktarlags skal efri flokkunarstærð efnis (D) ekki vera meiri en 150 mm eða ekki meiri en hálf lagþykkt.

Undantekt smærra efnis en 22 mm stuðlar að góðum afvötnunareiginleikum og kemur í veg fyrir vatnsnæmi en getur hins vegar dregið úr burðarþoli og stæðni efnisins.

Útlögn. Áður en útlögn styrktarlags hefst þarf að hreinsa undirlagið, jafna það og þjappa. Verði aðskilnaður í styrktarlaginu meðan á útlögn þess stendur þarf að bæta úr á fullnægjandi hátt, t.d. með djúpheflun.

Þegar styrktarlag er lagt úr sprengdu bergi getur reynst erfitt að uppfylla kröfur um hæðarlegu og sléttleika. Þá getur þurft að rétta styrktarlagið af. Efnið sem notað er til afréttingar þarf að lágmarki að uppfylla kröfur til efri hluta styrktarlags, og til burðarlags ef umferðin er meiri en 1000 ÁDU. Auk þess þurfa síukröfur að vera uppfylltar. Til greina kemur að sameina efri hluta styrktarlagins og neðri hluta burðarlagsins og gera þá úr sama efni en þá þarf það að uppfylla kröfur til neðri hluta burðarlags. Dæmigerðir stærðaflokkar til þessara nota eru 0/63 mm lagt ofan á lag af 0/90 – 0/125 mm eða 22/90 - 22/125 mm efni.

Burðarlag

Sprengt og malað berg í burðarlag hefur ýmsa kosti fram yfir malaða mól. Helstu kostir malaðs bergs eru hátt brothlutfall, hátt burðargildi, góð stæðni og einsleit berggæði. Á hinn bóginn er sprengt og malað berg að ýmsu leyti vandmeðfarnara en mulin mól.

Æskilegt er að í vegum með mikinn umferðarþunga, sem byggðir eru úr möluðu bergi, sé heildarþykkt burðarlags 250 mm, sem er skipt í tvö lög; 150 mm þykkann neðri hluta og 100 mm þykkann efri hluta. Í drögum að skýrslu Vegagerðarinnar *Leiðbeiningar um*

burðarþolshönnun er mælt með að takmarka notkun mulinnar malar við 300 ÁDU, mulins bergs við 1500 ÁDU og kílids þúkkis við 3000 ÁDU í efri hluta burðarlags.

Efnisgerð og lagþykktir. Þegar stærðaflokkur efnis í burðarlag er valinn koma nokkur atriði til álita. Gróft efni hefur líklega meiri burðargetu en smátt að öðrum þáttum óbreyttum, svo sem lagþykkt, kornalögung og efnisgerð. Smátt steinefni er hins vegar auðveldara að leggja út með hefli en gróft efni, einkum í þunnum burðarlögum. Grófu efni hættir fremur við aðskilnaði en smáu og þar með eykst hættan á að útlagt burðarlag þurfi að taka upp og blanda að nýju vegna aðskilnaðar. Mikilvægt er að yfirborð burðarlags undir klæðingu sé þétt yfir allt yfirborðið til að bindiefnið tapist ekki niður í burðarlagið. Fíngert burðarlagsefni (0/22 mm) myndar lokað yfirborð ef tryggt er að ekki verði aðskilnaður kornastærða.

Algengir stærðaflokkar fyrir sprengt og mulið berg í burðarlag eru 0/22 og 0/32 mm fyrir efri hlutann en 0/45 og 0/63 mm fyrir neðri hlutann. Ef nauðsynlegt reynist að fínjafna yfirborð burðarlagsins með veghefli er æskilegt að efri flokkunarstærð sé ekki meiri en 22 mm, m.ö.o. að D'_{98} fari ekki yfir 32 mm. Dæmigerðir stærðaflokkar fyrir þúkk í burðarlag eru 16/45 mm, 22/63 mm og 22/90 mm.

Efri flokkunarstærð burðarlagsefna skal að hámarki vera hálf lagþykktin og æskilegt er að hún sé ekki minni en fjórðungur lagþykktar.

Útlögn. Óbundið burðarlagsefni, sem er blanda af fingerðu og grófu efni, getur verið nokkuð vandmeðfarið. Við útlögn þarf að halda aðskilnaði kornastærða á skefjum eins



Útlögn burðarlags. Norðausturvegur í Pistilfirði. (RJÓ).

og kostur er og þá er til bóta að halda efninu röku; hæfilegur raki er 1-2 prósentu-
stigum undir kjörrika samkvæmt „modified“ Proctorprófi. Burðarlag skal að jafnaði
lagt út með dreifara. Ef aðskilnaður kemur í ljós í útlögðu burðarlagi úr sprengdu og
muldu bergi og lagið er laust við flekki með of miklu finefni, má lagfæra gróf hreiður
með því að strá í þau þunnu lagi af miðlungsgrófum sandi sem síðan er valtaður niður
á milli með titurvalta. Að öðrum kosti þarf að blanda efninu saman og leggja út að
nýju. Einnig er hægt að djúphefla efri hluta burðarlags niður á 70 – 80 mm dýpi til að
blanda efninu vel saman en til að það sé hægt er æskilegt að lagþykktin sé minnst
100 mm.

Púkk má leggja með veghefli eða púkkdreifara. Einskorna púkk getur verið erfitt að
leggja með hefli og erlend reynsla sýnir að útlagning með púkkdreifara getur verið
heppilegur kostur. Hvert lag fyrir sig er þjappað og eftir atvikum kilt.

Frágangur yfirborðs á burðarlagi. Frágangur yfirborðs er líklega sú framkvæmd sem
krefst mestrar reynslu vélamanns. Vélum og búnaði hefur fleygt mikið fram á seinni
árum, sjálfvirk stýring á þverhalla kom fyrst og nú er búnaður oft tengdur GPS merkjum
sem stýra staðsetningu í fleti og hæð. Þessi búnaður léttir vinnuna til muna en gerir
jafnframt miklar kröfur til verkunnáttu vélamanna. Efni sem ekki er meðhöndlað rétt
við frágang yfirborðs getur spillst og orðið ónothæft.



Í Krossanesnámu við Akureyri. (Haf).

Nokkur atriði sem hafa þarf í huga þegar komið er að frágangi yfirborðs á burðarlagi:

- Ef umferð er um veginn þarf að halda efninu röku, annars er hættu á að fínefni tapist úr efninu og það aðskiljist. Efnið þarf með öðrum orðum að liggja kyrrt.
- Lagþykktir þurfa að vera nægilegar til að hægt sé að „taka vel á“ við upprif, þ.e. blöndun efnisins, ef þörf krefur vegna aðskilnaðar kornastærða.
- Til að forðast aðskilnað þarf að vera nægilega mikið af efni fyrir hefiltönninni við upprif og afréttingu.
- Ekki er ráðlegt að „taka lítið á“ því þá eykst hættu á aðskilnaði. Þetta er háð eiginleikum efnisins og gróft efni er almennt vandmeðfarnara en smágert.

Þegar frágangur yfirborðs er kominn á lokastig er ráðlegt að fara síðustu ferðirnar án sjálfvirkrar stjórnunar (nema á þverhalla). Þannig verður yfirborðið sléttast þar sem búnaðurinn svarar þá ekki smávægilegum skekkjum í hæð sem ekki skipta máli.

Slitlag

Sprengt og mulið berg er notað í stórum stíl í bundin slitlög, bæði malbik og klæðingu. Auk þess er það stundum notað í óbundin slitlög þótt mun algengara sé að nota efni úr lausum setlögum í þau.

Efnisgerð og lagþykktir. Efniskröfur eru afar mismunandi eftir því hvort slitlagið er bundið eða óbundið.

Ef slitlagið er bundið er lögð áhersla á að efnið sé slitsterkt, veðrunarþolið og, ef klæðingar eiga í hlut, með góða viðloðunareiginleika. Auk þess eru gerðar strangar kröfur um sáldurferil steinefnisins.

Þar sem bundið slitlag er dýrt miðað við efnismagn er lögð mikil áhersla á gæði steinefnisins og jafnframt að gæðin séu jöfn. Af þessum sökum þarf ávallt að velja efnistökuastaði af kostgæfni og á grundvelli ítarlegra forrannsókna á efnisgæðum.

Við vinnslu á steinefni í bundin slitlög eru yfirleitt notuð tvö brotstig og stundum þrjú. Efni í klæðingar er stundum þvegið til að losna við fínefni sem geta spillt viðloðun. Efni í malbik er oft sigtað í tvo eða þrjá flokka sem síðan er blandað saman á nýjan leik þannig að sáldurferillinn liggja innan tiltölulega þröngra marka. Efni í klæðingar er oft flokkað, þ.e. sigtað í þrönga kornastærðaflokka, 8/11 og 11/16 mm þótt hitt þekkest líka að klæðingar séu gerðar úr óflokkuðu efni, þ.e. breiðum kornastærðaflokkum, þ.á.m. 0/11 eða 0/16 mm.

Í óbundið slitlag er algengast að nota 0/16 eða 0/20 mm efni. Þar er sóst eftir fremur háu fínefnainnihaldi, gjarna ríku af leir til að binda slitlagið.

Útlögn. Óbundið slitlag er heppilegt að leggja með malardreifara og mikilvægt er að valta það til að ná jafnri þjöppun yfir allt þversniðið.



Klæðingarflokkur í Tungudal við Ísafjörð. (PP).

Klæðingar eru lagðar þannig að bindiefninu er sprautað á undirlagið og því næst er steinefninu stráð í bindiefnislagið strax á eftir og síðan valtað ofan í það. Þar sem umferð er lítil er stundum notuð breið kornastærðadreifing, t.d. 0/16 mm (óflokað efni). Ef umferðin er 300 ÁDU eða meiri er mælt með að nota flokkað efni og slitlagið gjarnan lagt í tveim lögum, hið fyrra úr 11/16 mm efni en síðara lagið úr 8/11 mm efni.



Malbikun á Þingvallavegi. (PP).

Malbiksslitlag er lagt út forblandað og heitt með þar til gerðum vélum og valtað ræki-lega, oftast í 40-50 mm þykkt. Lagþykkt malarslitlags getur verið á bilinu 50-100 mm; tvöföld klæðing er á bilinu 20-30 mm. Heildarþykkt malbiks er oft á bilinu 50-100 mm hér á landi. Á mjög umferðarmiklum vegum erlendis getur heildarþykkt malbiks verið 300 mm eða meiri.



Til athugunar

Síulag getur verið nauðsynlegt til að varna því að fínefnaríkt efni úr einu lagi spilli næsta lagi fyrir ofan eða t.d. að fingert efni úr burðarlagi sáldrist niður í undirliggjandi lag.

Í skýrslu Vegagerðarinnar *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn* bls. 53-54 og bls. 75-80 er frekari fróðleikur um síulag og síulagskröfur.

Aðskilnað í burðarlagi er hægt að lagfæra með djúpheflun, en hún er vanda-söm í þunnum lögum.

Nánari upplýsingar um efni í slitlög má finna í kafla 6 í skýrslu Vegagerðarinnar *Efnisrannsóknir og efniskröfur – leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd*.

²⁾ Í enskumælandi löndum gengur þessi aðferð undir nafninu intelligent compaction (skammstafað IC).

³⁾ Kvörðun er æskilegt að endurtaka þegar:

a) Skipt er um efnisgerð, t.d. úr fyllingarefni í styrktarlagsefni.

b) Fjöðrun (burðargeta) undirlagsins breytist.

⁴⁾ Þegar efri flokkunarstærð (D) er notuð sem mælikvarði á grófleika steinefnis er stærð stærstu steina oft táknuð með D_{98} sem þýðir að 98 % steinefnisins myndi smjúga sigti með möskvastærðina 1,4*D.

⁵⁾ Um yfirstærðir, sjá skýrslu Vegagerðarinnar *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla, efniskröfur og útlögn* bls. 48-49.

Enda þótt sprengt berg hafi ekki alltaf reynst sem skyldi í vegagerð hérlendis er enginn vafi á að notkun þess á fullan rétt á sér. Erlendis hefur sprengt og malað berg verið notað til vegagerðar í stórum stíl með góðum árangri, enda er algengt að þar sé efnið tekið úr víðáttumiklum og einsleitum berghleifum. Hér á landi er oft erfiðara um vik því íslenskir hraunlagastaflar eru byggðir upp af hraunlögum og millilögum af mismunandi gerðum og gæðum. Hérlendis er breytileiki efnisins meginvandamálið sem við er að glíma í vegagerð úr sprengdu bergi.

Í þessum bæklingi hafa verið rakin helstu atriði í notkun sprengds bergs í vegagerð, og bent á ýmis atriði sem geta verið vænleg til betri árangurs. Bæklingurinn er saminn upp úr skýrslu Vegagerðarinnar *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla efniskröfur og útlögn*. Þar má finna allmikið ítarefni sem getur komið lesendum þessa bæklinga að gagni. Að auki er væntanleg skýrsla frá Vegagerðinni *Leiðbeiningar um vinnslu steinefna* þar sem fjallað er ítarlega um vinnslu steinefna í máli og myndum.

Vinnuöryggi er ávallt mikilvægt og ekki síst við framleiðslu og útlögn á sprengdu bergi. Við notkun sprengiefna verður að sjálfsögðu að gæta fyllstu varúðar og fara að öllum öryggisfyrirmælum í hvívetna.



a) Stuðlabergsmyndun í námunn

b) Flokkað, sprengt berg

c) Malað og flokkað klæðingarefni

Basalt úr Bláhæðarnámu á Holtavörðuheidi. Stuðlarnir í mynd a) eru 200-300 mm í þvermál. (PP).

Ítarleg fyrirmæli og verklýsingar eru eitt, velheppnuð framkvæmd er annað. Grundvöllur hennar er óslitin keðja velheppnaðra verkþátta frá hönnun til verkloka. Í þessum bæklingi er vakin athygli á nokkrum verkþáttum í notkun sprengds bergs til vegagerðar, sem reynslan hefur sýnt að þurfi sérstakrar aðgæslu við öðrum fremur. Þar mæðir ekki síst á verkstjórunum og starfslíði þeirra.



Til athugunar

Brýnustu úrbætur til að ná góðum árangri í vegagerð úr sprengdu bergi:

1. Velja og vinna efni í hvert lag vegarins í samræmi við kröfur.
2. Fylgja reglum um útlögn og þjöppun.
3. Taka upp skilvirkt eftirlit.

Ásbjörn Jóhannesson, Gunnar Bjarnason, Hafdís Eygló Jónsdóttir, Ingvi Árnason. (2010). *Notkun bergs til vegagerðar – vinnsla efniskröfur og útlögn*. Vegagerðin, Reykjavík. (<http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnis-rannsoknir/>)

Dynapac Compaction Equipment AB. *Dynapac Documentation System*. (http://www.dynapac.com/Global/PDF/Sustainability/3492003301_DCA_S_ENI.pdf)

Metso Minerals. *Barmac VSI Application Handbook*.

Metso Minerals. *Crushing and Screening Handbook*. Third edition, Tampere 2008.

Nohl, J., Domnick, B. (2000). *Stockpile Segregation*. Technical Paper T – 551. Superior Technical Bulletin. (http://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/tecnologia_hormigon/Stockpile%20Segregation.pdf)

Statens vegvesen. (2000). *Håndbok 223. Steinmaterialer til vege-flyplasser-jernbaner*. (http://www.vegvesen.no/_attachment/112481/binary/199922)

Vegagerðin. *Efnisrannsóknir og efniskröfur- leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd*. Vegagerðin, Reykjavík. (<http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnis-rannsoknir/>)

Vägverket. (2005). *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion*. (http://www.trafikverket.se/PageFiles/29996/kapitel_e_obundna_material.pdf)



Bergstál í stuðlabergj í Bláhæðarnámu á Holtavörðuheidi. (PP).

