



## Beygjutogstyrkur bita með basaltrefjabundinni steinsteypu. Samantektarskýrsla

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar  
Mars 2024



## Lykilsíða

Höfundur skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundur starfar hjá.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
Nr. 1800-985/Samantektarskýrsla	132	30.3.2024	Opin
<b>Heiti skýrslu</b>			
Beygjutogstyrkur bita með basalttrefjabundinni steinsteypu.			

Report Title in English
Bending tensile strength of beams with basaltfiber reinforced concrete

Höfundur	Verkefnastjóri/ar	Tengiliður Vegagerðarinnar
Birgir Leó Ólafsson	Birgir Leó Ólafsson Guðbjartur Jón Einarsson Eyþór Rafn Þórhallson	Ólafur Sveinn Haraldsson

Styrktaraðilar	Samvinnuaðilar
Rannsóknasjóður Vegagerðarinnar BM Vallá Mannvit verkfræðistofa	Háskólinn í Reykjavík BM Vallá Mannvit verkfræðistofa

**Útdráttur**

Í þessari rannsókn var skoðaður beygjutogstyrkur trefjastyrktra steyptra bita með því að bæta fyrirfram ákveðnu hlutfalli af basalttrefjum í steypublöndurnar. Tvær gerðir af staðlaðri C30/37: XC1-S2-8/16 og C50/60 XC1-S4-0/8 steinsteypu voru notaðar í þessari rannsókn með stærð steinefna 8/16mm og hin með steinefna stærð takmörkuð við 0/8mm. Í rannsókninni voru einnig notaðar tvær mismunandi gerðir af basalttrefjum: annarsvegar Reforcetech minibar sem er stíf basaltstöng með þvermál 0,72 mm og lengd 50 mm og hinsvegar Basaltex BCS17-25.4-KV1 er 30 mm að lengd með flatt þversnið 0,017 × 4 mm. Prófunaraðferðin sem notuð var í rannsókninni mælir beygjutogstyrk trefjabentrar steinsteypu. Prófunaraðferðin sem notuð var í rannsókninni mælir beygjutogstyrk trefjabentrar steinsteypu.

**Abstract**

This report presents a study on the bending tensile strength of fiber-reinforced concrete beams. The study involved adding an optimal percentage of basalt fibers to two types of standard concrete, namely C30/37: XC1-S2-8/16, and C50/60XC1-S4-0/8. The maximum aggregate size for each type of concrete was limited to 16 mm and 8 mm, respectively. Two kinds of basalt fibers were used in the study: Reforcetech minibar, which is a stiff basalt fiber with a diameter of 0.72 mm and a length of 50 mm, and Basaltex BCS17-25.4-KV1, which is 30 mm in length with a flat cross-section of 0.017 x 4 mm. The study used a testing method that measures the flexural efficiency of the strength parameters extracted from fiber-reinforced concrete.

**Lykilorð**

Steinsteypa, basalttrefjar, beygjuþol, togstyrkur, sement, steinefni

**Undirskrift verkefnastjóra**

**Yfirfarið af**

ÓSH

# Efnisyfirlit

<b>Samantektarskýrsla .....</b>	<b>1</b>
<b>Lykilsíða .....</b>	<b>2</b>
<b>Efnisyfirlit .....</b>	<b>4</b>
<b>1 Inngangur.....</b>	<b>6</b>
1.1 Formáli. 6	
1.2 Markmið og tilgáta. ....	7
1.3 Aðferðafræðin. ....	9
1.3.1 Rannsóknin. ....	9
1.3.2 Beygjutogpróf (sveigjustyrkur). ....	9
1.3.3 Skilgreiningar í steypuframléiðslu. ....	10
<b>2 Fræðilegur bakgrunnur.....</b>	<b>24</b>
2.1 Saga steinsteypunnar. ....	24
2.1.1 Söguleg þróun sements og steinsteypu.....	24
2.1.2 Steinsteypa á Íslandi.....	26
2.1.3 Steinsteypurannsóknir á Íslandi. ....	30
2.2 Basalt. 32	
2.2.1 Sögulegt ágríp.....	32
2.2.2 Jarðfræðileg ágríp.....	32
2.3 Trefjar í steypu.....	34
2.3.1 Sögulegt ágríp.....	34
2.3.2 Framleiðsla basalttrefja. ....	36
2.4 Steinefni í steinsteypu. ....	38
2.4.1 Ágríp. 38	
<b>3 Efni og aðferðir.....</b>	<b>39</b>
Rannsóknin. 39	
3.1.1 Um trefjarnar.....	42
3.1.2 Myndir frá framkvæmd og rannsókn.....	44
<b>4 Niðurstöður.....</b>	<b>51</b>
Beygjutogstyrkur C30/37:SC1 trefjasteypu. ....	51
4.1.1 Útreikningar og jöfnur. ....	51
4.1.2 Reforcetech Minibars 12kg/m <sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu. ....	55
4.1.3 Reforcetech Minibars 12kg/m <sup>3</sup> í C50/60XC1-S4-0/8 steypu. ....	60
4.1.4 Samanburður á Reforcetech Minibars í C50/60XC1-S4-0/8 steypu og C30/37:XC1-S2-8/16 steypu með skammtastærð trefja 12kg/m <sup>3</sup> . ....	64
4.1.5 Reforcetech Minibars 16kg/m <sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu. ....	65
4.1.6 Samanburður á Reforcetech Minibars í C30/37:XC1-S2-8/16 steypu með skammtastærð trefja 12kg/m <sup>3</sup> og 16kg/m <sup>3</sup> .....	71
4.1.7 Basaltttx BCS17-25.4-KV1 12kg/m <sup>3</sup> í C30/37:XC1-S2-8/16 steypu. ....	72
4.1.8 Basaltttx BCS17-25.4-KV1 12kg/m <sup>3</sup> í C50/60XC1-S4-0/8 steypu. ....	77
4.1.9 Samanburður á Basaltttx BCS17-25.4-KV1 12kg/m <sup>3</sup> í C30/37:XC1-S2-8/16 og C50/60XC1-S4-0/8 steypu. 82	
<b>5 Mat á niðurstöðum .....</b>	<b>83</b>
Samantekt. 83	
Hver eru áhrif mismunandi trefjagerða á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ?.....	83

Hver eru áhrif mismunandi skammtastærða basalttrefja á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ? ..... 86

Hver eru áhrif tveggja ólíkra steypublandna á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ? 89

Niðurstöður 92

**6 Heimildaskrá ..... 94**

Heimildaskrá 94

**7 Viðaukar ..... 100**

Viðauki A 101

Ritrýnd og útgefin grein höfundar *“Flexural performance of chopped Basalt fiber Reinforced Concrete Beams”* ..... 101

Viðauki B 110

7.1.1 Tilvísanir..... 132

# 1 Inngangur.

## 1.1 Formáli.

Rannsókn þessi er hluti lokaverkefnis meistaranáms Birgis Leó Ólafssonar við Byggingarverkfræði við Háskólann í Reykjavík. Ritgerðin fjallar um áhrif mismunandi gerða basalttrefja í tveimur ólíkum steypublöndum á beygjutogstyrks eiginleika steypunnar. Samfara ritgerðinni skrifaði skrifaði höfundur vísindagrein sem fjallar í styttra máli um rannsóknina sem þetta verkefni fjallar um, þ.e.a.s. Beygjutogstyrkur basalttrefjabundinnar steinsteypu. Greinin var kynnt á MATBUD'2023 vísinda, og tækniráðstefnunni sem haldin var í lok apríl í Krakow í Póllandi. Greinin hefur verið birt opinberlega á prenti í bókinni "10th MATBUD'2023 Scientific-Technical Conference" (2)

Áhugi minn á steinsteypu hefur verið fyrir hendi alveg frá því ég fór að vinna við húsasmíðar að loknum grunnskóla. Eftir að ég lauk sveinsprófi frá Húsasmíðabraut Fjölbautaskólans á Selfossi vann ég í allmörg ár við uppsteypu húsa víða um land og öðlaðist við það allgóða þekkingu á framleiðslu og niðurlögn steypu við ýmsar aðstæður. Þróun steinsteypu hefur alla tíð síðan verið mér hugleikið viðfangsefni og það var því afar ánægjulegt þegar mér bauðst tækifæri til að taka þátt í stækkun Búrfellsvirkjunar á árunum 2016 til og með 2018 með nokkrum af fremstu steinsteypusérfræðingum landsins. Vinnan í Búrfelli þessi ár, verkefni og áskoranirnar sem þau innifólu reyndist mér dýrmæt reynsla sem kynnti enn frekar undir áhuga mínum á þróun steinsteypu á Íslandi.

Hugmyndin að því að fjalla um basalttrefjar í steinsteypu kviknaði árið 2017 þegar ég var að vinna við stækkun Búrfellsvirkjunar eins og áður segir. Í upphafi þess verks var mikið unnið með plasttrefjar í sprautusteypu. Eins og þekkt er, þá hefur framleiðsla plasts verulega neikvæð áhrif á umhverfið. Framleiðslan og notkun plasts stuðlar að loftslagsbreytingar sökum mikillar notkunar á jarðefnaeldsneyti og beinnar mengunar út í umhverfið þar sem það er notað (3). Af þeim sökum var ákveðið að banna notkun plasttrefja í verkinu en nota þess í stað stáltrefjar, þar sem þær trefjar eru taldar hafa minni mengunaráhrif á umhverfið en plasttrefjar. Í umræðunni sem spannst í kjölfar ákvörðunar á verkstað um að banna notkun plasttrefja þá var nefnt að ein lausnin gæti falist í notkun basalttrefja. Þar sem stáltrefjar og framleiðsla þeirra hefur einnig neikvæð umhverfisáhrif þá gætu basalttrefjar verið lykillinn að lausninni. Þrátt fyrir að niðurstaða þeirrar umræðu hafi verið

sú að nota stáltrefjar í sprautusteypu Búrfellsvirkjunar 2, þá var áhugi minn á málefningu og möguleikum á framhaldsnámi á þessu sviði, vakinn.

## 1.2 Markmið og tilgáta.

Hefðbundin steinsteypa er það byggingarefni sem mest er notað við byggingarframkvæmdir í heiminum. Samfara aukinni þekkingu á steinsteypunni, kostum hennar og göllum, hefur verið sýnt fram á með rannsóknum að með íblöndun og íaukum í steypuna er hægt að bæta úr þeim efniseiginleikum sem hafa helst dregið úr því að steinsteypa hefur ekki alltaf hentað sem byggingarefni í mannvirki. Er þá aðallega verið að vísa til hversu lítið togþol og litla svignun steypan þolir miðað við önnur byggingarefni. (1) (4) (5) (6)

Notkun trefja, þá helst stál,- og plasttrefja, er þekkt lausn til íblöndunar, og til þess fallin að bæta eiginleika steinsteypu hvað varðar togþol og flotorku en notkun stál,- og plasttrefja hafa neikvæð áhrif á umhverfið og náttúruna. Sökum mikillar orkunotkunar við framleiðslu er notað jarðefnaeldsneyti og rafmagn framleitt með óumhverfisvænum, svo sem í kjarn- og kolaorkuverum.

Aðrar trefjagerðir, til dæmis basalttrefjar, hafa sýnt að aukinn styrkur trefjanna hefur bein áhrif á eiginleika steypunnar, umfram aðrar trefjar. Framleiðsla basalttrefja er einnig álitin umhverfisvænni framleiðsla heilt yfir lítið, með umtalsvert minni mengandi umhverfisáhrif á byggingarstað en aðrar trefjar, sérstaklega plasttrefjar.

Í þessu verkefni er horft til íblöndunar basalttrefja í tvær gerðir steypublandna og áhrifa þeirra á eiginleika steinsteypunnar.

Markmið verkefnisins er að bera saman áhrif mismunandi kornastærða í steypu í tvennskonar gerðum af trefjum með tilliti til beygjutogstyrks. Gerð er samanburðarrannsókn á beygjutogstyrk steyptra bita með rannsóknaraðferð sem byggð er á ÍST EN 14488-3:2006 og skýrslu frá ACI(American Concrete Institute), ACI 544.4R-18 sem er stöðluð rannsóknaraðferð fyrir beygjutogstyrk trefjastyrktrar steinsteypu (biti með fjögurra punkta álagi). Þessi prófunaraðferð mælir sveigjuþol trefjabentrar steinsteypu sem fæst með því að mæla einfalt studdann bita undir fjögurra punkta álagi, sjá nánar í kafla 1.3.2. (7) (8)

Tilgátan er sú að með breytilegri kornastærð steinefnis, mismunandi tegundum basalttrefja og breytilegu sementsmagni, megi útvíkka notagildi basalttrefjabundinnar steinsteypu þannig að hún geti skoðast sem öruggur, raunhæfur, umhverfisvænn og hagkvæmur kostur við aðrar gerðir trefjasteypu.

Í verkefninu verður leitast við að svara eftirfarandi spurningum:

- **Hver eru áhrif mismunandi trefjagerða á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ?**
- **Hver eru áhrif skammtastærða basalttrefja á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ?**
- **Hver eru áhrif tveggja ólíkra steypublandna með mismunandi miklu sementsmagni á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ?**



### 1.3 Aðferðafræðin.

#### 1.3.1 Rannsóknin.

Tilgangur tilraunarinnar fólst í því að bera saman tvær tegundir af basalttrefjum sem framleiddar voru af tveimur framleiðendum í tveimur ólíkum gerðum af steypublöndu. Skammtagildin fyrir basalttrefjarnar voru þau sömu 12 og 16 kg á hvern rúmmetra af steypu og kornastærð steinefna var 0/8 annarsvegar og 8/16 hinsvegar. Rannsóknaraðferðin var byggð á ÍST EN 14488-3:2006. „*Testing sprayed concrete—Part 3: Flexural strengths (first peak, ultimate and residual) of fiber reinforced beam specimens*“. Sjá nánar í kafla 3.1.

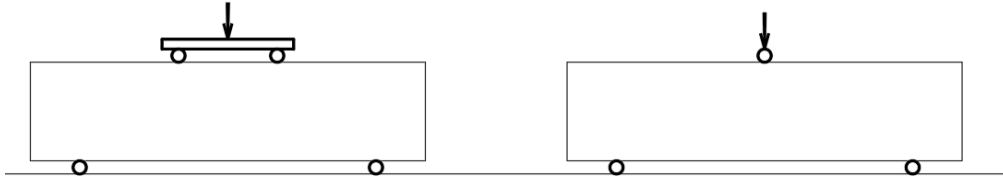
Steypublöndurnar sem notaðar voru í rannsóknunum flokkast sem C30/37:XC1-8/16 með kornastærð 8/16mm og 350 kg/m<sup>3</sup> af sementi og C50/60XC1-S4-0/8 með kornastærð 0/8mm og 550 kg/m<sup>3</sup> af sementi. (9)

#### 1.3.2 Beygjutogpróf (sveigjustyrkur).

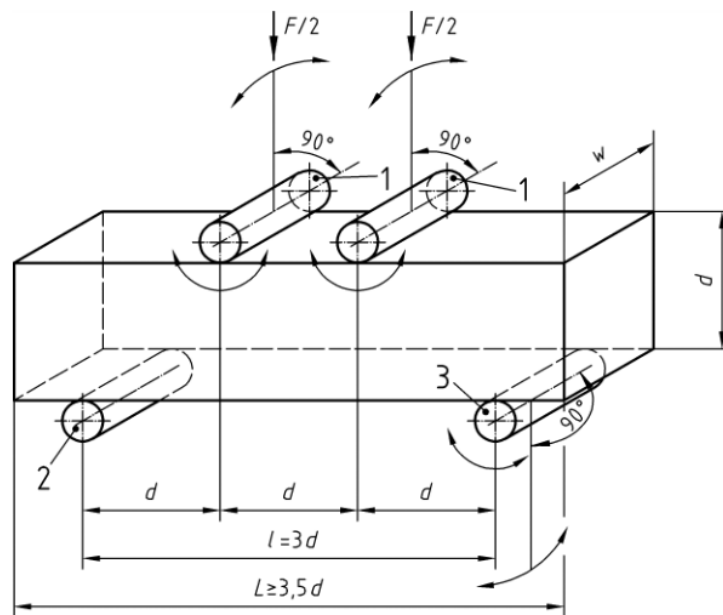
Tilgangur tilraunarinnar var að kanna beygjutogstyrk basalttrefjastyrktrar steinsteypu með því að gera samanburð tveggja steypublandna með tveimur mismunandi kornastærðum og tveimur gerðum af basalttrefjum. Í verkefninu voru notaðar niðurstöður tveggja rannsókna, annarsvegar rannsókn höfundar á hefðbundinni C30/37:XC1 með 8/16mm kornastærð og tveimur mismunandi trefjagerðum í skammtastærð 12 kg/m<sup>3</sup> og 16 kg/m<sup>3</sup> og hinsvegar rannsókn Jóhanns Inga Jónssonar sem prófaði samskonar basalttrefjar en í C50/60XC1-S4-0/8 steypu með kornastærð 0/8mm og skammtagildi 12 kg/m<sup>3</sup>. Rannsókn Jóhanns Inga var hluti lokaverkefnis hans til B.Sc í byggingartæknifræði við Háskólann í Reykjavík. (10)

Við framkvæmd prófsins var stuðst við ÍST EN 14488-3:2006 og skýrslu frá ACI(American Concrete Institute), ACI 544.4R-18 sem lýsir aðferð s.k.v. ASTM C1609/C1609M og miðar þessi prófunaraðferð að því að framkalla vægisbrot í bitunum (tog í þversniðinu) sem leiðir af sér að hægt er að mæla beygjutogstyrk steypubitanna. Gert var fjögurra punkta álagspróf eins og því er lýst í staðlinum, en þessi aðferð gefur nákvæma mynd þegar litið er til áhrifa trefjana við að dreifa togálaginu sem myndast í þversniðinu, og tryggir að um vægisbrot sé að ræða í stað skerbrots. Í staðlinum er einnig í boði að taka samskonar próf en með þremur álagspunktum, þ.e.a.s. kraftinum F er beitt á miðjan bita í stað þess að deila honum í tvennt, sjá mynd 1 og 2. Munurinn á þessum tveimur útfærslum prófanna er að í 3ja punkta beygjuprófinu er álagssvæðið minna samanborið við svæðið sem boðið er upp á í 4-punkta álagsbeygjuprófinu. Fyrir vikið er dreifing hámarksálags jafnari og breiðari í 4-punkta beygjuprófinu samanborið við 3-punkta beygjuprófið.

Prófið lýsir álagsferli í hlutfalli við niðurbeygju og hegðun eftir að vægisbrot hefur átt sér stað. Sérstaklega er verið að skoða hegðun eftir brot á sýni (e. post-peak behaviour analysis), þar sem trefjar auka seiglu (e. toughness) steypunnar. (11) (12) (13) (4)



**Mynd 1. Einföld skýringarmynd sem sýnir mun á fjögurra punkta og þriggja punkta álagsprófi.**



**Mynd 2. Skýringarmynd fyrir fjögurra punkta beygjupróf s.k.v. ÍST EN 14488-3:2006.**

### 1.3.3 Skilgreiningar í steypuframléiðslu.

Hlutfeni steinsteypu eru steinefni, sement, vatn, íblendi og íaukar. Hefð hefur verið fyrir því hér á landi undangengna áratugi að nota orðið fylliefni um steinefni sem ætlað er til nota í steinsteypu. Sú málvenja hefur verið að breytast og í þessari ritgerð er notað orðið steinefni, sem þýðingu á orðinu „aggregate“, sbr. staðal ÍST EN 12620.

### 1.3.3.1 Steinsteypa.

Steinsteypa er byggingarefni gert úr blöndu af sandi og mól sem bundið er saman með sementsefju sem er blanda af sementi og vatni. Þegar sement og vatn blandast saman fara af stað efnahvörf á milli kalks (CaO) úr sementinu og vatns  $H_2O$ ;  $Ca_3SiO_5 + H_2O \rightarrow (CaO) \cdot (SiO_2) \cdot (H_2O)(gel) + Ca(OH)_2$  sem verða til þess að steypan harðnar. Við þessi efnahvörf myndast umframvatn sem svo myndar holrými í sementsefjunni og veikir hana. Þess vegna er svo mikilvægt að nota ekki meira vatn en nauðsyn krefur þegar verið er að blanda steypu. Hinsvegar þarf einnig að hafa í huga að þjálni steypunnar er mikilvægt þegar kemur að vinnanleika hennar og að með góðu móti sé hægt að koma steypunni fyrir í mótunum og að hún leggjist jafnt og án erfiðleika. Blöndunarhlutfall fyrir hefðbundna steypu fer eftir því hvaða styrkleika verið er að leitast eftir við framleiðslu en til almennrar viðmiðunar er hefðbundin steypublanda 1 hluti sementi á móti 6 hlutum steinefnis og vatnssementstölu v/s, að hámarki 0,65. (14) (15)

Sá eiginleiki sem mest er verið að sækjast eftir í steinsteypu er hár þrýstistyrkur. Hár þrýstistyrkur er forsenda þess að hægt sé að ná nægilegu burðarþoli í mannvirkjum til lengri tíma og er steinsteypa því heppilegt byggingarefni þegar horft er til þess. Sé hinsvegar horft til veikleika steypunnar þá er það fyrst og fremst togstyrkur steypunnar sem þarf sífellt að hafa í huga við hönnun og útfærslu í burðarþolshönnun steyptra mannvirkja. Lágt togþol steinsteypunnar eykur hættu á sprungum í steypu sem verða til vegna innri spennu sem myndast í steypunni. Nokkrar ástæður geta orsakað innri spennu til dæmis hitabreytingar og munar á kjarnhita og yfirborðshita steypunnar. Það er þessvegna mikilvægt að hafa í huga að aðhlúun steypunnar sé eins góð og kostur er þar sem á fyrsta aldurs skeiði steypunnar eru allir efniseiginleikar háðir steypuhita og tíma. Hafi aðhlúun verið ábótavant á þroskatíma hennar geldur steypan þess til frambúðar og skemmdir koma fram fyrir en ella.

Framleiðsla steypu er oftast hefðbundin að því leyti að farið er eftir hefðbundnum aðferðum við steypublöndun og blönduhlutfall hlutferna eru í hefðbundnum skömmtum. Sérsteypur eru sérhannaðar steypur sem eru búnar til fyrir ákveðna notkun eða til að uppfylla ákveðna kröfur sem venjuleg steypa getur ekki uppfyllt. Sérsteypur eru yfirleitt hannaðar fyrir sértækt umhverfi eða styrkkröfur sem hefðbundin steinsteypa mundi ekki ná án þess að eiga það á hættu að efniseiginleikar steypunnar uppfylli ekki kröfum sem gerðar hafa verið til efnising og þarf að uppfylla. Dæmi um slíkar kröfur eru til dæmis lágt hitastig, vatnsgegndræpi eða yfirborðstyrks. Til eru margar gerðir steypublandna hver með sína einstöku eiginleika og notkunarmöguleika. Í slíkum steypum hafa ýmsir eiginleikar steypunnar verið bættir í þeim tilgangi að uppfylla kröfur sem hefðbundin steinsteypa nær ekki að uppfylla.

### 1.3.3.2 Sérsteypur.

#### Sjálfútleggjandi steinsteypa.

Sjálfútleggjandi steinsteypa er ein tegund af steinsteypu sem flokkast sem sérsteypa. Kostir sjálfútleggjandi steinsteypu eru flæðieiginleikar sem ekki þekkjast í hefðbundinni steypu. Þessu eiginleikum er náð með mjög flæðanlegri efju með lágri flotskersspennu en á sama tíma nógu háum seigjustuðli til þess að styðja við steinefnin í steypunni. Með því móti er hægt að koma í veg fyrir aðskilnað í steypunni. Sökum hættu á aðskilnaði í steypunni má ekki titra sjálfútleggjandi steinsteypu við niðurlögn. Slíkt getur aukið hættu á aðskilnaði í blöndunni, sem lýsir sér í því að steypan tapar einsleitni sinni og steinefnin í blöndunni sökkva til botns í mótunum en önnur efni svo sem vatn og sement fljóta upp í efri hluta mótanna og í yfirborð steypunnar. Aðskilnaður í sjálfútleggjandi steypu getur verið breytilegur eða allt frá litilli yfirborðsblæðingu sementsefjunnar og yfir í fullkominn aðskilnað sementsefju og steinefna í steypunni. Sé um að ræða mikinn aðskilnað í steinsteypu þá þýðir það að steypan er í raun ónýtt. Mikilvægi samblöndunar efna í sjálfútleggjandi steypu er afar mikil en það er það sem gerir hana að því sem hún er. Sementsefja ein og sér er ekki til margra hluta nytssamleg né heldur steinefnin í þessi samhengi. Það er flókið og erfitt að mæla aðskilnað í steypu og í raun er eina nothæfa aðferin sú að meta aðskilnaðinn sjónrænt og byggja á reynslu og þekkingu þeirra aðila sem sjá um niðurlögn sjálfútleggjandi steinsteypu. Með öðrum orðum, ekki eru til neinar nothæfar vísindalegar aðferðir til þess að meta aðskilnað í ferski sjálfútleggjandi steinsteypu heldur eru þær aðferðir sem notaðar eru í dag byggðar á reynslu. (16)

#### Hástyrkleikasteypa.

Önnur tegund sérsteypu er svokölluð hástyrkleikasteypa en eins og nafnið gefur til kynna þá er þessi steypa með háan þrýstistyrk og mikinn yfirborðstyrk. Þessi tegund steypu hefur, eins og áður segir háan þrýstistyrk og er ekki óalgegnst að sjá tölur um og yfir 90Mpa og jafnvel allt upp í 100Mpa. Hástyrkleikasteypa þykir áhugaverður kostur sem slitlagssteypa á vegamannvirki (brúargólf og enda hafa rannsóknir gefið mjög lofandi niðurstöður hvað varðar endingu (rýrnun), sléttleika, lítillar flögnunar vegna frost/þýðu áhrifa og betra viðnám gegn umhverfisþáttum og tæringu ýmisskonar en hefðbundin steinsteypa. (17)

#### Trefjastyrkt steinsteypa.

Þessi tegund steypu inniheldur trefjar, eins og stál, plast og aðrar gerðir svo sem basalt, sem hjálpa til við að auka togstyrk hennar og koma í veg fyrir sprungur. Ítarlega er fjallað um trefjar í steinsteypu í kafla 2.2.

### Léttsteypa.

Þessi tegund steypu er gerð með léttum fyllingarefnum, svo sem vikri, sem gerir hana tilvalda til notkunar þar sem þyngd er vandamál í hönnun burðarvirkis viðkomandi mannvirkisins. Á Íslandi hefur framleiðsla vikurs til nota sem steinefni til steypugerðar verið við lýði allt frá 1928 þegar framleiðsla víkurhellna hófst í Axarfirði en við þá framleiðslu var notaður vikur úr Öskju, svokallaður Öskjuvikur, sem þar var hægt að nálgast á einfaldan máta. Á Suðurlandi hófst framleiðsla víkurhellna og hleðslusteina úr vikri ári 1937 þegar Vikurfélagið h.f. var sett á laggirnar. Mikið var byggt af vikurhlöðnum húsum um miðja síðustu öld en gæði steinanna og byggingaraðferðirnar reyndust ekki fullnægjandi og stóðust steinarnir ekki íslenska veðurfarið. Þessi byggingaraðferð lagðist af á sjötta áratug síðustu aldar sökum fábreytni og þekkingarleysis á efnisfræði vikursteypunnar. Staða léttsteypunnar í dag er önnur, þekking hefur aukist á efninu og hægt er að kaupa léttsteypu til sértækra nota.

(18) (1)

### Gegndræp steypa.

Þessi tegund steypu er hönnuð til að leyfa vatni að flæða í gegnum sig, sem gerir hana tilvalin til notkunar á bílastæðum, gangstéttum og öðrum svæðum þar sem lektar er krafist vegna yfirborðsvatns eða bakþrýstings jarðvatns.

### Hnoðsteypa.

Hnoðsteypa er afar þurr og sementsrýr steypa, gerð með því að blanda þurrefni steypunnar við minna vatn en notað er í hefðbundinni steypu og síðan er steypan lögð út með vélum og þjöppuð með völturum. Hægt er að nýta steinefni með lágum gæðum við gerð hnoðsteypu með þeim hætti að kröfum er fullnægt á hagkvæman hátt. Sem dæmi um hvar slíkar sérsteypur eru notaðar þá má nefna að við gerð Kárahnjúkastíflu var táveggur stíflunnar steypdur úr hnoðsteypu, þar sem steinefnin voru fengin úr lónstæðinu. Þrátt fyrir að langoftast sé notkun hnoðsteypu bundin við

stórar framkvæmdir eins og stíflumannvirki og vegagerð þá þekkist það einnig að slík steypa sé notuð í gólfleti vörúsa, flughlöð/flugvelli og annarra stórra bygginga. (19)

### Sprautusteypa.

Sprautusteypa er hönnuð til bergstyrkingar í göngum og skurðum í bergi þar sem hætta er á hruni eða loka þarf sprungum í bergi. Notkun sprautusteypu er afar flókin vinna þar sem mikillar samþættingar er krafist á milli þeirra sem að gerð og útlögn steypunnar koma. Oft er vinna við sprautusteypu einnig unnin við afar erfiðar aðstæður og því mikilvægt að hönnun blöndunar sé rétt og tæki og tól rétt stillt og henti vinnunni sem fyrir þau eru lögð. Nokkrar lykilforsendur þurfa að liggja fyrir svo að ásættanlegum árangri sé náð við notkun sprautusteypu. Í samsetning blöndunnar þurfa eftirfarandi eiginleikar steypunnar að nást fersku, harðnandi og hörðnuðu ástandi:

- Næg viðloðun við undirlagið
- Eins lítið frákast og unnt er
- Fullnægjandi vatnspéttleika
- Lágmarks rýrnun
- Nægur þrýstistyrk
- Næg seigla.

Til er tvennskona aðferð við útlögn sprautusteypu. Annarsvegar er það svokölluð þurraaðferð, sem oftast er einungis notuð í minni verk og í viðgerðarverkefnum. Með þessari aðferð er steypublöndunni þrýst þurri fram í stút sprautunnar þar sem blöndun vatns og íblöndunarefna fer fram. Hin aðferðin er kölluð blautaaðferð en þar er steypan blönduð í steypustöð og flutt á verkstað tilbúin til sprautunar. Steypuhraðara er bætt út í við stút sprautunnar þegar þessi aðferð er notuð. (20)

### Efni til steypugerðar.

#### Steinefni.

Þegar rætt er um steinefni í steypu þá er verið að vísa í sand og mól af mismunandi kornastærðum og gerð. Krafa er á að steinefni sem nota skal í steypuframléiðslu þurfa að vera án lífrænna óhreininda þar sem slíkt gæti hindrað eðlilega hörðnun steypunnar og gert hana

frostnæma. Steinefni skulu vera úr sterku bergi og hafa kornastærðardreifingu sem hentar fyrir steinsteypu. Rétt blöndun steinefna í framleiðslustöð getur haft mikil áhrif á styrk og vinnanleika steypunnar og að sama skapi getur röng blanda haft afdrifarík áhrif til hins verra á viðkomandi mannvirki. Í flestum tilfellum þarf að blanda saman ólíkum steinefnastærðum til að ná fram rétttri kornastærð í viðkomandi steypuframleiðslu. (21) Berggerð steinefnis er greind og tengdir eiginleikar metnir, s.s. hversu þétt eða blöðrótt bergið er og hvort efnið er ferskt eða hefur ummyndast að einhverju leyti. Þétt, ferskt eða lítt ummyndað basalt er almennt talin æskileg samsetning. Þeir eiginleikar sem steinefni þurfa 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)
- Þjálmi
- Kornalögun (FI próf)
- Styrkur (LA próf)
- Frostþol (1% saltlausn)
- Alkalívirgni
- Klórinnihald

Undanfarin ár hafa verið gerðar áhugaverðar rannsóknir víða um heim á notkun endurunninnar steinsteypu sem steinefni í ferska steypu. Flestar rannsóknarniðurstöður benda til þess að ýmsir vankantar séu á notkun slíkra steinefna, svo sem minni þrýstistyrkur og einnig er viðlöðunarstyrkur endurunninna steinefna ekki fullnægjandi. Sömuleiðs hefur verið sýnt fram á að vinnanleiki steypunnar minnkar og vatnsþörf eykst eftir því sem innihald endurunninnar steinsteypu sem steinefni eykst. Þrátt fyrir þessar niðurstöður er unnið stöðugt að þróun slíkrar steypu þar sem krafan um endurvinnslu og lægra kolefnisspor steypu er vaxandi. Nánar er fjallað um steinefni í kafla 2.4. (22) (23)

#### **Vatn.**

Íblöndun vatns við sement og steinefni er trúlega sá hluti steypuframleiðslunnar sem er mikilvægastur þegar kemur að því að samtvinnna vinnanleika steypunnar, styrk og endingu. Íslenskt vatn er talið heppilegt til íblöndunar þar sem hreinleiki þess hefur verið talinn góður. Vatn í samræmi við ÍST EN 1008 er talið hæft til notkunar í steypugerð. Óheppilegt þykir að nota sjó sem blöndunarvatn þar sem salt hraðar efnahvarfinu í steypunni, og minnkar langtímastyrk hennar ásamt því að auka tæringarhættu bendistáls. Í sumum tilfellum er vatn notað til að hlúa að steypu plötum fyrstu dagana eftir að hún hefur verið lögð niður til að viðhalda raka steypunnar á meðan hörðunarferlið er í gangi. Mikilvægt er að viðhalda raka í steypu á hörðunarferlinu til að hindra m.a. útpornun en verði útpornun steypunnar of hröð má gera ráð fyrir sprungumyndun út frá plastískri rýrnun.

### **Mettivatn.**

Mettivatn mælir hversu mikið vatn efnið sagnar í sig og er m.a. notað til að meta hversu mikið vatn þarf í steypublöndur.

### **Sement.**

Algengasta tegund sements í heiminum er kallað Portlandssement, sjá einnig kafla 2.1.1. Efninu er lýst þannig að það er fín malað bindiefni sem hvarfast þegar það blandast vatni og harðnar í kjölfarið. Hjá Sementsverksmiðjunni á Akranesi, sem framleiddi sement á árabílinu 1958-2012, var skeljasandur af botni Faxaflóa notaður sem kalkgjafinn í framleiðsluferlinu. Líparít, sem er kísílrík bergtegund og myndar annan aðalefnispátt sements, var unnið úr námu í Hvalfjarðarbotni. Íslenska sementið innihélt hátt magn af alkali (NaO<sub>2</sub>-jafngildi um 1,5%) og steinefni úr Hvalfirði var alkalívirkt þ.e.a.s. myndast gat hlaup við efnahvörf með háu alkalímagni og því gat fylgt mikil spenna í steypunni sem leitt gat til sprungumyndunar. Segja má að hinar svonefndu alkalískemmdir hafi hafist með þessari blöndu efna. Talsvert sjávarsalt (NaCl) fylgdi jafnframt Hvalfjarðarefninu en það jók bæði hættu á alkálí- og frostskekkjum (24) (6). Sement sem notað er til mannvirkjagerðar á Íslandi fellur undir ÍST EN 197-1. Sement sem samræmist ÍST EN 197-1 (Sement - Hluti 1: Samsetning, eiginleikar og samræmiskröfur fyrir venjulegt sement) telst almennt nothæft í steinsteypu. Þessi staðall, ásamt ÍST EN 12620:2002+A1:2008 eru samhæfðir staðlar og skal því bæði sement og steinefni samkvæmt stöðlunum vera CE merkt. Sama má segja um önnur hlutefni steypunnar, þ.e. íauka og íblend. Staðallinn ÍST EN 13670 "Framkvæmdir við steipt 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, m.a. prófunarstaðlar og staðlar sem fjalla um sprautusteypu. Algengt er að notaðir séu íaukar til að hafa áhrif á eiginleika sements, svo sem kísilryk og svifaska.

### Íblendiefni.

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. Íblendiefnum er yfirleitt blandað í steinsteypu til að hafa áhrif á hegðun hennar og eiginleika hvort sem er í fersku eða hörðnuðu ástandi. Má þar nefna vatnsspara, flotefni, ofurflotefni (e. superplasticisers), loftblendi, rýrnunarvara og þykkingarefni svo eitthvað sé nefnt. Ef fleiri en eitt íblendiefni eru notuð saman í steypublöndu þarf að rannsaka sérstaklega áhrif þeirra hvort á annað.

### Flotefni (vatnssparar).

Sérvirk efni til að auka þjálni og vinnanleika steinsteypu tímabundið án þess að hækka vatnssementstöluna að neinu ráði.

### Loftblendi.

Sérvirk efni sem mynda örsmáar loftbólur í steypunni meðan hún er hrærð. Við það eykst loft í steypunni og loftkerfi myndast. 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. Fjarlægðarstuðull, þ.e.a.s. meðalfjarlægð á milli loftbóla er mældur í slípuðum borkjörnum í smásjá. Ef þessum þætti er ábótavant er hætt við að steypan springi og molni niður við endurteknar frost/þíðu sveiflur. (21)  
(6)

### Íaukar.

Til viðbótar við fyrrnefnd efni til steypugerðar, sement, vatn og steinefni, eru oft svokölluðum íaukum bætt í steinsteypuna. Tilgangur íauka er tvíþættur; til að bæta efniseiginleika

og endingu steypunnar og til að minnka kolefnisspor hennar. Íaukarnir eru þá yfirleitt notaðir til að minnka megi magn sements í steypublöndunni. Íaukar eru yfirleitt úrgangsafurðir sem falla til við framleiðslu annarra efna. Helstu íaukar eru til dæmis kísilryk sem fellur til við framleiðslu á kísilmálm, svifaska (e. fly ash) sem verður til við brennslu kola og stálslegg (e. steel slag), úrgangur við framleiðslu á stáli. Aðrir íaukar eru möluð, fíngerð steinefni, oft nefnt méla og eru t.d. úr basalti, kalksteini og kvasi. Allir áður nefndir íaukar hvarfast við kalsíumhydroxíð sem verður til við hvörfun vatns og sements. (1) (21)

### Eiginleikar og orðskýringar.

#### Prófanir.

Að þekkja efniseiginleika steinefnis er eitt af lykilatriðum þess að vel takist til við mannvirkjagerð og eru prófanir gerðar með reglubundnum hætti til að fylgjast með þeim og breytingum sem kunna að verða. Allar efnisprófanir eru gerðar samkvæmt alþjóðlega stöðluðum aðferðum með til þess gerðum rannsóknartækjum.

#### Sigmál.

Sigmál er niðurstaða úr sigmálsprófi sem er prófunaraðferð til að mæla þjálni og vinnanleika steypu. Sigmálskeila sem er 30 cm há er fyllt af steinsteypu í þremur lögum og stálteini stungið 25 sinnum í hvert lag, keilan er því næst dregin upp og sig steinsteypukeilunnar mælt, með því fæst mælt sigmál steypunnar.

#### Seigla.

Sveigjanleiki byggingar, sem geta átt von á að fá á sig jarðskjálftaálag, er ein af grundvallarforsendum hönnunar. Slíkur eiginleiki bygginga að taka upp orku sem í daglegu tali er nefnt seigla (e. ductility) er dýrmætur og hefur jákvæð áhrif á öryggi bygginga.. Seigla er skilgreind sem hlutfall milli heildarformbreytingar á ákveðnum tíma og formbreytingar við brotmörk.



**Mynd 3. Sigmálsmæling á trefjasteypu.**



**Mynd 4. Sigmálsflæði mælt.**

#### **Sigmálsflæði.**

Sjálfútleggjandi steinsteypa flæðir mun meira en hefðbundin steypa og er þjálni hennar annaðhvort mæld með sigmáli eða seigjumæli. Með sigmálsmælingu á sjálfútleggjandi steinsteypu er þvermál sigmálskeilunnar mælt eftir að keilunni er lyft upp og þegar steypan er hætt að flæða.

#### **Steypustyrkur.**

Styrkur harðnaðrar steypu. Steypustyrkur miðast í langflestum tilfellum við 28 daga aldur steypunnar og er gefinn upp í mælieiningunni MPa. Steypa sem á að hafa 30 MPa styrk flokkast í styrkleikaflokkinn C30/37 þar sem talan 30 stendur fyrir styrkleika mældum á sívalningslaga steypusýnum í MPa en sú mæliaðferð hefur einkum tíðkast héraendis undanfarna áratugi. Talan 37 stendur fyrir styrkartölu ef styrkleikinn er mældur á teningslaga steypusýnum (kubbum) eins og víða er gert erlendis.

#### **Loft í steypu.**

Loftmagn í steypu samanstendur af loftbólum sem verða að vera af hæfilegri stærð og jafndreifðar í steypunni. Loftkerfi er metið út frá loftmagni steypunnar sem mælt er með loftmæli, fjarlægðarstuðli loftbóla sem segir til um meðalfjarlægð milli loftbóla og yfirborð loftbóla sem segir til um stærð þeirra. Loftkerfi er rannsakað með því að skoða slípað steypusýni í smásjá. Loft í steypu gerir hana frostþolna sem skýrist af því að þegar vatn frýs eykst rúmmál þess um 9%. Ef vatnsmettuð steypa frýs hefur ekkert rými fyrir vatnið til að þenjast út verður steypan fyrir miklum innri þrýstingi. Við síendurtekin frostþíðuskripti byrjar steypan að springa og eyðileggst að lokum.

Þegar vatn frýs í loftblendinni steypu með góðu loftkerfi hefur vatnið tækifæri til að þenjast út í loftrýmið í steypunni án þess að steypan verði fyrir innri þrýstingi af þessum sökum. Hafa þarf í huga að með auknu loftmagni í steypu lækkar styrkur steypunnar á móti. Loft í steypu hefur yfirleitt jákvæð áhrif á þjálni hennar sökum aukins rúmmáls efju. (25)

#### Fasaskilasvæði.

Fasaskilasvæði í steinsteypu vísar til þunnis lags á milli sementsefju og steinefnanna í fullharðnaðri steypu. Þættir eins og vatns/sement hlutfallið, þurrkunaraðstæður og fleira getur allt haft áhrif á fasaskiptasvæðin í steypunni. Skilningur á fasaskilunum er mjög mikilvægur þáttur í hönnun steinsteypu þar sem þau eru álitin veikasti hluti steypunnar.

#### Rýrnun.

Rúmmálsminnkun steinsteypu eftir niðurlögn sem á sér stað ef vatn gufar upp úr steypunni fljótlega eftir niðurlögn. Við það myndast sprungur í steypunni. Rýrnun er skipt í fimm aðalflokka:

1. Plastíska rýrnun (e. plastic shrinkage): Sú rýrnun sem á sér stað í steypunni strax að niðurlögn lokinni, áður en hörðnun hefst.
2. Þurrkrýrnun (e. drying shrinkage): Sú rýrnun sem á sér stað í steypunni vegna uppgufunar vatns á hörðunarskeiði hennar.
3. Hvörfunarrýrnun (chemical shrinkage): Sú rýrnun sem á sér stað í steypunni vegna hvörfunar vatns og sements.
4. Útþornunarrýrnun (e. autogenous shrinkage): Sú rýrnun sem á sér stað þegar vatn minnkar í þórum steypunnar við hvörfun vatns og sements.
5. Koltvísýringsrýrnun (e. carbonation shrinkage): Sú rýrnun sem verður í steypunni þegar koltvísýringur úr andrúmsloftinu hvarfast við steypuna.

#### Skrið.

Mælikvarði á varanlega formbreytingu harðnaðrar steinsteypu undir álagi yfir ákveðinn tíma.

#### Fjaðurstuðull.

Mælikvarði á hversu mikið steypa svignar undir álagi. Fjaðurstuðull íslenskrar steinsteypu er talin liggja á bilin 60-115% af gildum sem miðað er við í ÍST EN 1992-1-1:2004.

#### **Styrkleif.**

Er þýðing á Residual strength og er sá styrkur í bitanum eftir að brot hefur farið fram en aflögun bitans er ekki mikil og hann heldur formi sínu.

#### **Sáldurferill.**

Sáldurferill, líka kallað kornakúrfa, er samsett úr tveimur eða fleiri stærðarflokkum steinefna, en algengt er að um sé að ræða tvo eða þrjú flokka, fínt, gróft og gróft, flokkað efni. Allmargir stærðarflokkar steinefna til framleiðslu steinsteypu eru framleiddir hjá steypustöðvum í dag. Kornakúrfan sem nota á er fengin með skömmtun á steinefnum úr þeim stærðarflokkum sem óskað er eftir, í réttum hlutföllum. Sandgerð og hlutfall sands eru mikilvægur hluti steypunnar og hafa mikið að segja um þjálni steypunnar og þar með hversu dælanleg steypublandan er.

#### **Kornarúþyngd.**

Mælir þyngd efnis án holrýmis. Hún getur haft áhrif þegar burðarþol steypu er reiknað.

#### **Kornalögun.**

Almennt er æskilegt að hafa korn sem eru því sem næst teningslaga en það fer þó eftir notkun. Kornalögun hefur t.d. áhrif á flæðieiginleika ferskrar steypu og hvernig efnið þakast í vegagerð.

#### **Frostþol.**

Mælt er hversu vel viðkomandi efni þolir endurteknar frostþíðusveiflur. Það er notað fyrir bæði steypu og vegagerð. Lítið niðurbrot þýðir endingarbetra efni.

### **Alkalívirgni.**

Ákveðin steinefni geta leyst upp og þanist í steypu. Rannsóknir hafa sýnt að það er hægt að vega upp á móti þessari þenslu með réttri sementstegund. Prófanir á rannsóknarstofu meta bæði þenslu steinefnis og sjálfrar steypublöndunnar (hæfnispróf).

### **Los Angeles próf.**

LA er styrkleikapróf sem mælir niðurbrot við endurtekið álag. Það er einkum notað vegna vegagerðar. Í stuttu mál þá fer prófunin þannig fram að þurru sýninu er velt í tromlu ásamt stálkúlum. Lág tala þýðir sterkara efni.

## 2 Fræðilegur bakgrunnur.

### 2.1 Saga steinsteypunnar.

#### 2.1.1 Söguleg þróun sements og steinsteypu.

Almennt er álitnið að skilgreining hugtaksins sements sé afar forn. Vitað er að notkun á sementslíku efni hófst mörg þúsund árum fyrir Krists burð. Forn efni sem líktust sementi, var búið til með því að mylja og brenna gifs eða kalkstein. Þegar sandi og vatni var bætt í þetta sement varð það að steypuhræru, sem var gifslíkt efni sem notað var til að festa steina hvorn við annan. Í þúsundir ára voru þessi efni endurbætt og sameinuð öðrum efnum og að lokum þróaðist blandan í það sem við þekkjum í dag sem steinsteypa. Allt frá pýramíðunum miklu í Giza til snjallskynjara í steypu til að nema steypuhitastig og þroskaferli steypunnar, sjálfviðgerandi steypu (self healing concrete), umhverfisvæna steinsteypun, endurunna steinsteypu og fleir í þeim dúr, þá má fullyrða að þróun steinsteypunnar sé langt í frá lokið.

Heimildir um tímalínu þróunnar sements og steinsteypu ber að miklu leyti saman og hefur verið stillt svona upp:

##### 2.1.1.1 6500 f.Kr. – Sýrland og Jordanía.

Elstu heimildir af steypum mannvirkjum eru frá 6500 fyrir Krist af Nabataea kaupmönnum í héruðum Sýrlands og Jórdaníu. Þeir bjuggu til eldstæði úr sementi og sú tækni þeirra leiddi til þess að farið var að nota efnið í gólf mannvirkja og vatnsbrunnna svo eitthvað sé nefnt.

##### 2.1.1.2 3000 f.Kr. - Egyptaland og Kína.

Egyptar notuðu leðjublandaðan hálm til að binda þurrkaða múrsteina. Þeir notuðu einnig gifsmúr og kalkmúr í pýramíðana. Í Pýramíðunum miklu í Giza er talið hafa verið notuð um 500.000 tonn af steinsteypu. Að sama skapi er talið að samskonar sement hafi einnig verið notað til að byggja Kínamúrinn um svipað leyti með sambærilegum aðferðum.

##### 2.1.1.3 600 f.Kr. – Róm.

Þótt Rómverjar til forna hafi ekki verið þeir fyrstu til að búa til steinsteypu er oft vísað til þess að Rómverjar hafi verið fyrstu steypuverkfræðingarnir þar sem á tímum Rómaveldis varð mjög mikil þróun í framleiðslu sements og steinsteypu. Um 200 f.Kr., tókst Rómverjum að innleiða notkun



steinsteypu í flestar þær byggingar sem byggðar voru á þeirra vegum. Þeir notuðu blöndu af eldfjallaösku, kalki og sjó til að mynda blönduna. Þeir pökkuðu síðan blöndunni í tréform og eftir hörðnun, stöfluðu þeir kubbunum eins og múrsteini í vegg. Til marks um hversu góðir Rómverjar voru í að hanna og þróa steinsteypu þá standa enn, yfir tvö þúsund ára gömul rómversk steinsteypumannvirki.

#### **2.1.1.4 476 e.Kr. - Fall Rómaveldis.**

Við fall Rómaveldis urðu tímamót í þróun steinsteyputækni. Ýmis vitneskja tapaðist og þróun steypunnar varð lítil sem engin. Eftir fallið glataðist til dæmis tæknin til að búa til pozzolan sement og það var ekki fyrr en árið 1414 að handrit fundust sem lýsa framleiðslunni. Sá fundur vakti aftur áhuga á að þróa og vinna steinsteypu til húsagerðar.

#### **2.1.1.5 1793 John Smeaton.**

Þrátt fyrir að hafa ekki verið þekktastur fyrir að þróa og hanna sement, heldur fyrir að vera brautryðjandi í notkun steypujárns í vatns- og vindmyllubúnaði, þá var það John Smeaton sem fann upp nýja aðferð við framleiðslu sements. Það var um 1793 sem tæknin tók stórt stökk fram á við þegar John Smeaton uppgötvaði aðferð til að nota kalk fyrir sement. Hann notaði kalkstein sem innihélt leir sem var brenndur þar til hann breyttist í klinker sem síðan var malaður í duft. Hann notaði þetta efni við sögulega endurbyggingu Eddystone-vitans í Cornwall á Englandi.

#### **2.1.1.6 1824 Joseph Aspdin.**

Árið 1824 er talið að Joseph Aspdin hafi fundið upp Portlandsement með því að brenna fín malaða krít og leir þar til koltvísýringurinn var fjarlægður úr efninu. Aspdin nefndi sementið eftir efniúr námu á eyjunni Portland á Englandi. Þegar það var fyrst framleitt og notað var það kallað Portlandsement vegna þess að litur sementsins þótti minna á lit byggingarsteins frá eyjunni. John Aspdin fékk fyrsta einkaleyfið fyrir Portlandsement það sama ár.

#### **2.1.1.7 1800-1900.**

Á 19.öld var steinsteypa aðallega notuð í iðnaðarbyggingar. Fyrsta útbreidda notkun Portlandsementi í húsbyggingum var á Englandi og í Frakklandi á árunum 1850 til 1880. Stór hluti aukinnar útbreiðslu á notkun steinsteypu á þessum tíma var Francois Coignet. Coignet þessi þróaði leið til að koma í veg fyrir að veggir húsa spryngju og brotnuðu niður undan álagi með því að bæta stálstöngum í steypuna og auka þannig þrýstistyrk steypunnar. (26) (27) (28) (29)

### 2.1.2 Steinsteypa á Íslandi.

Á árunum 1847-48 var sement notað í múrhúðun dómkirkjunnar í Reykjavík við stækkun hennar. Er það talið í fyrsta sinn sem sement er notað hér á landi. Ekki er vitað til að sement hafi verið notað aftur fyrr árið 1871 eða þegar Hegningarhúsið Skólavörðustíg 9 var hlaðið og múrað.



**Mynd 5. Dómkirkjan í Reykjavík 2023.**

**Ljósm. Kristín Lilja Birgisdóttir.**



**Mynd 6. Hegningarhúsið við Skólavörðustíg.**

**Ljósm. Kristín Lilja Birgisdóttir.**



**Mynd 7. Garðar á Akranesi (30).**

Húsið Garðar á Akranesi sem byggt var á árunum 1876-82 er álitíð vera fyrsta húsið, sem reist var úr steinsteiptum steinum á Íslandi en gaflar þess eru steiptir í mót úr borðum.

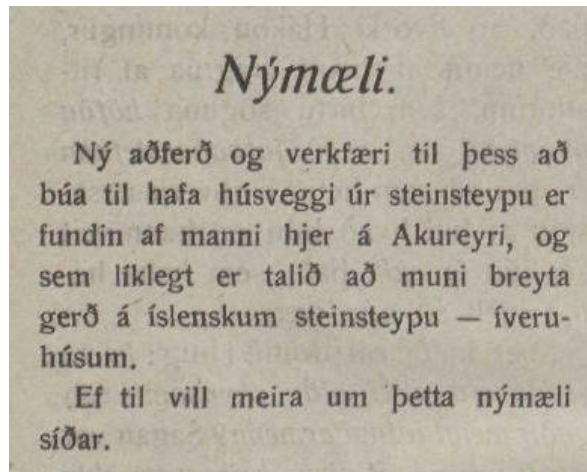


**Mynd 8. Sveinatunga í Borgarfirði (31).**

Árið 1895 er á Íslandi byggt fyrsta húsið þar sem eingöngu voru notuð steypumót, en það var í Sveinatungu í Borgarfirði. Bæði þessi hús standa á hlöðnum kjöllum. Byggingarmeistari beggja húsanna var Sigurður Hansson steinsmiður.

Eftir að byrjað var að nota sement hér á landi fóru að birtast greinar í tímaritum um möguleika steinsteypu til húsagerðar bæði með því að hlaða þau úr steinsteiptum steinum og steypa vegg í mót.

Undir lok nítjándu aldar og í upphafi þeirrar tuttugustu voru því bæði byggð hús úr steinsteypusteinum og hús þar sem veggir voru steptir í mót. Í byggingarreglugerð frá 1903 eru steinsteypuhús sögð jafngóð steinhúsum og eftir Miðbæjarbrunann í Reykjavík árið 1915, var byggingu timburhúsa settar svo miklar skorður í viðauka við byggingarsamþykkt að illfært var að byggja úr öðru byggingarefni en steinsteypu. Með því má segja að þar með hafi öld steinsteypunnar hafi runnið upp hér á Íslandi.



**Mynd 9. Nýmæli í Dagblaðinu á Akureyri 30.jan. 1915.**

### 2.1.3 Steinsteypurannsóknir á Íslandi.

Nútímatækni hefur gert okkur kleyft að rannsaka betur hegðun og viðbrögð steinsteypu við ýmiskonar álagi og/eða áreiti og hafa þær rannsóknir leitt okkur fram veginn í þróun á steinsteypu í þá átt að hún fái staðist íslenskar veðurfarsaðstæður. Árdagar steinsteypurannsókna á Íslandi má segja að hafi verið um eða uppúr seinni heimstyrjöldinni. Ungur verkfræðingur að nafni Haraldur Ásgeirsson, þá nýkominn frá námi í University of Illinois í Bandaríkjunum vakti athygli ráðamanna hér á landi á að bæta þyrfti úr rannsóknum á íslensku steinefnum til steypugerðar. Einnig hafði Haraldur mikinn áhuga á framleiðslu á íslensku sementi. Við heimkomu seint á árinu 1945, leitaði Haraldur með hugmyndir sínar til Nýbyggingarráðs, sem þá var nokkurs konar nefnd ákvarðana og eftirfylgni sem síðan leiddi málið áfram til atvinnumálaráðherra þess tíma Áka Jakobssonar. Í framhaldi var tillaga Haraldar um áframhaldandi rannsóknir á framleiðslu á íslensku sementi, en Haraldur hafði lagt stund á slíkar rannsóknir með námi í Bandaríkjunum, samþykkt. Á þessum tíma var starfandi deild atvinnumála við Háskóla Íslands sem hét Atvinnudeild Háskólans og var Haraldur ráðinn til starfa þangað. Í upphafi voru tæki og aðstæður til rannsókna af skornum skammti en Haraldur tókst engu að síður að gera fullnægjandi rannsóknir á steinsteypu, sem enn í dag, eru í fullu gildi. Með tilkomu Marshall-aðstoðarinnar árið 1952 varð stórt stökk í rannsóknarsögu Íslendinga, Haraldur sótti um stuðning til kaupa á fullkomnari rannsóknartækjum en áður höfðu þekkt hér á landi. Haraldur var ætíð ötull talsmaður aukinna rannsókna hér á landi og því sannarlega frumkvöðull á þessu sviði. Hann, til að mynda, vakti athygli á alkalívánni sem framleiðsla og notkun á íslensku sements gæti valdið. Í framhaldi af ábendingu Haraldar skipaði lðnaðarráðuneytið nefnd sem skildi fjalla um alkalívirkni í íslensku sementi. Nefndin hlaut nafnið *“Nefnd til að varast þenslu og þar af leiðandi grotnu steinsteypu”*. Árið 1967 varð þessi nefnd að *“Steinsteypunefnd”* sem hefur í gegnum tíðina verið öflug í störfum sínum á sviði steypurannsókna." Rannsóknastofnun

byggingariðnaðins (Rb) var stofnuð árið 1965. Rb byggði á starfi Atvinnudeildar Háskólans með Harald þar í farabroddi. Tilgangur með stofnun Rb var að stuðla að auknum rannsóknum í byggingariðnaði. Í upphafi beindust steypurannsóknir mest að alkalivirkni steinefna á Íslandi og nýtingu kísilryks og annarra possolana (ffinefna unnin úr íslensku bergi) í steinsteypu. Umtalsverðar breytingar áttu sér stað í steypuiðnaði á Íslandi á þessum árum. Annars vegar hóf Sementsverksmiðja Ríkisins (SR) starfsemi árið 1958 á Akranesi og íslenskt sement kom á markað og hins vegar var farið að nýta sjávarefni úr Hvalfirði sem steinefni í steinsteypu. Eins og áður segir stóð Rb fyrir rannsóknum á áhrifum kísilryks og annarra possolana sem sýndu fram á að kísilryk jók styrk sements og dró úr alkálíáhrifum í íslenskri steinsteypu. Árið 1979, að undangengnum rannsóknum Rb, var farið að blanda 5 % kísilryki frá Járnblendiverksmiðjunni á Grundartanga í íslenskt sement. Sú ákvörðun olli staumhvörfum í íslenskri sementsframleiðslu þar sem við þá blöndun jókst styrkur sementsins og alkálískemmdir, sem áður höfðu verið alvarlegt vandamál, voru úr sögunni í íslenskri steinsteypu. Af öðrum rannsóknum við Rb sem leiddu til mikilla endurbóta má nefna rannsóknir á áhrifum íblandaðs lofts á veðrunarþol steypu. Þar hefur verið sýnt fram á að heildarmagn lofts í steypunni er ekki það sem eykur veðrunarþol steypunnar heldur er loftkerfið og dreifing loftbóla þar mikilvægasti þátturinn.

Rb stóð einnig fyrir rannsóknum á áhrifum vatnsfæla (monosilan og siloxan) á rakadrægni steinsteypu og leka í fíngerðum sprungum. (1) (32) (24)

Helstu rannsóknir á steinsteypu sem stundaðar hafa verið á Íslandi eru þessar

- Loftinnihald
- Sigmál
- Varmamyndun
- Þrýstistyrkur
- Kleyfnitogstyrkur
- Beygjutogstyrkur
- Fjaðurstuðull
- Frostþol, loftinnihald og dreifing lofts
- Þurrkrýrnun
- Vatnsdrægni, rúmpýngd og vatnspéttleiki
- Klóríðinnihald steypu og klórleiðni
- Brotorka og trefjainnihald sprautusteypu

## 2.2 Basalt.

### 2.2.1 Sögulegt ágríp.

Hvaðan orðið basalt er upprunnið er vísindafólk ekki sammála um. Kenningin sem flestir samþykkja er sú að orðið "basalt" sé dregið úr síðlatneska orðinu basaltes, sem var álitin röng stafsetning á latneska orðinu basanítum "mjög harður steinn" sem var fluttur inn úr forngrísku βασανίτης (basanítar), og úr βάσανος (basanos, "snertisteinn"). Aðrar kenningar eru líka uppi um að nútíma heitið basalt sem lýsir tiltekinni samsetningu bergs úr hrauni, sé upprunnið frá notkun þess af Georgius Agricola árið 1546 í verki sínu De Natura Fossilium. Agricola beitti „basalti“ á svarta eldfjallabergið undir Stolpen-kastala biskupsins af Meissen og taldi að það væri það sama og „basaniten“ sem Plinius eldri lýsti árið 77 í Naturalis Historiae. (33)

### 2.2.2 Jarðfræðileg ágríp.

Basalt er langalgengasta bergtegund á yfirborði jarðar en basalt er talið nema um 90 af hundraði alls bergs á jörðinni. Bæði á tunglinu og Mars er basalt að finna í miklu mæli. Ísland er ekki undanskilið í því tilliti að vera basaltríkt enda er Ísland þekkt fyrir víðfeðm hraunsvæði sem þekkja stóran hluta landsins. Bráðið basalhraun hefur lága seigju vegna tiltölulega lágs kísilinnihalds (á milli 45% og 52%), sem leiðir til hraunflæðis sem getur dreift sér yfir stór svæði áður en það kólnar og storknar. Rennandi hraun eru í þykkum lögum sem geta þakið hundruð þúsunda ferkílómetra og eru umfangsmest allra eldfjallamyndana. Sjá mynd 10.



Tafla 1. Efnasamsetning basalts.

Efnasamsetning basalts	%
SiO <sub>2</sub>	~45-52
Na <sub>2</sub> O	~3
MgO	~4
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~18-20
SO <sub>3</sub>	~0.1
K <sub>2</sub> O	~0.6
CaO	~12-13
TiO <sub>2</sub>	~1-2
MnO	~0.25-0.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	~12-14



Mynd 10. Rauðleita kvikan byrjuð að storkna og myndar þá basalt.

### Íslenskt basalhraun.

#### Ljómynd Ragnar Axelsson.

Við bráðnun möttulefnanna myndast kvika, sjá mynd 10. Við storknun kvikunnar myndast svo basalt. Hægt er að skilgreina efnasamsetningu efnisins með (kísill (kísiloxíð SiO<sub>2</sub>) = 45-52%), og sömuleiðis með samsetningu steinda sinna, plagíóklas (labrador) og pýroxen (ágít). Þar fyrir utan eru í basalti aðrar steindir í minna mæli og fer eftir efnasamsetningu bergsins hverjar og í hve miklum mæli, til dæmis ólívín (hátt MgO), magnetít (hátt FeO), ilmenít (hátt TiO<sub>2</sub>) og svo framvegis.

Þegar basaltísk bráð storknar fer það eftir aðstæðum hvaða bergtegund myndast; grófkristallað gabbró myndast við hæga kristöllum djúpt í jörðu, fínkornótt grágrýti (dólerít) í grunnstæðum innkotum eða þykkum hraunum, dulkornótt basalt í hraunum á yfirborði og basaltgler (túff) við hraðkólnun í vatni.

Íslenska orðið á basalti er blágrýti. (34) (35)

## 2.3 Trefjar í steypu.

### 2.3.1 Sögulegt ágríp.

Að nota trefjar til að auka styrk í steypugerðum efnum er hugmynd sem er talin er meira en 4500 ára gömul. Sýnt hefur verið fram á að fornar siðmenningar til dæmis í Egyptalandi, Mesópótamíu og trúlega víðar notuðu strátrefjar í sólþurrkaða leirsteina til að búa til efni með aukinni beygjupoli og styrk. Strátrefjar hafa verið notaðar í byggingum á margvíslegan hátt í gegnum söguna en notkun þeirra er trúlega að mestu úr sögunni. Eftir að Joseph Aspdin kom fram með Portland sementið árið 1824 og steinsteypuframleiðsla jókst var reynt að nota trefjar til að hindra sprungumyndanir í steypu. Þess tíma verkfræðingar þurftu, eins og enn í dag, að sigrast á helstu annmörkum steypu, sem voru lágur styrkur í togátt og stökkleiki. Franskur verkfræðingur, Joseph Lambot (36) að nafni, kom fram árið 1847 með þá hugmynd að bæta samfelldum trefjum í steypuna í formi víra eða vírneta. Þetta leiddi til þróunar á bendijárni og járnbenntri steinsteypu eins og við þekkjum hana í dag. Notkun stálsstanga í togálagssvæði steypunnar hjálpuðu mikið við að sigrast á vandamálinu varðandi lágan togstyrk steypu. Þróun trefjastyrktar steinsteypu var mjög hæð fram eftir tuttugustu öldinni. Fram að því voru nokkrar hugmyndir sem lýstu grunnhugmyndinni um að nota trefjar til styrkingar í steypublöndur en enginn áhugi á að nota hugmyndirnar þar sem aðra og meira rannsaðar lausnir voru til og þóttu hagkvæmari. Raunverulegur tilgangur þess að blanda trefjum í steypuna var sá að þróa samvirkt efni með auknum styrkleika, bæði þrýsti- og togþoli. Með því að greina niðurstöður fyrstu rannsókna á þessu sviði má sjá að hvorki þrýstistyrkur né togstyrkur jókst að neinu ráði. Það reyndist því vísindamönnum erfitt að sýna fram á ávinninginn af því að nota trefjastyrkta steypu. Síðar, við nútímaþróun trefjabundinnar steypu seint á áttunda áratugnum og snemma á níunda áratugnum, þegar prófunarbúnaður og greiningaraðferðir urðu meginlegar en ekki eigindlegar, var hugmyndin um orkuupptöku (eða brotseigju) kynnt. Þessi hugmynd gerði það að verkum að hægt var að mæla hversu seigt efni er. Helsti ávinningurinn af trefjabundinni steypu reyndist vera hæfileikinn þess til að gleypa meiri orku en hefðbundinn steypa. Jafnvel núna, 40 árum síðar eftir að rannsóknir á þessu sviði hófust, er enn litið á mikla brotseigju sem helsta ávinninginn af trefjabundinni steypu. Það er ekki lengur ómögulegt að búa til efni sem byggir á sementi sem hefur mikla

togþolseiginleika, mikla orkuupptöku og er einsleitt og jafntrópskt (næstum eins og steypujárn). Rannsóknir á sviði trefjabundinnar steypu eru í sífellndri þróun sem ýtir okkur áfram til sköpunar hágæða trefjabundinnar steinsteypu, sem hefur marga frábæra eiginleika í samanburði við önnur sementsblönduð efni. (37) (38) (39)

### Trefjar.

Gerðar úr stáli, plasti, gleri eða basalti í þeim tilgangi að auka togstyrk og þar með auka eiginleika steinsteypu til að svigna án þess að um brot verði að ræða. Trefjar eru einnig notaðar í steinsteypu í vissum tilfellum 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 trefjagerðirnar sem notaðar hafa verið í steinsteypu fram til þessa eru stál og plasttrefjar en sökum umhverfisáhrifa og kostnaðar hafa aðrar gerðir trefja verið að ryðja sér til rúms undanfarna tvo áratugi. Almennt má einkenna trefjar sem notaðar eru til að styrkja steypu sem ósamfelldar, stakar trefjar með lengd minni en 50 mm og þvermál ekki meira en 5mm.

Helstu trefjar aðrar en basalt sem notaðar eru í steinsteypu eru (40):

- Stáldrefjar
- Glertrefjar
- Koltrefjar.
- Pólýprópýlen trefjar.

### Basalldrefjar.

Upphafsmáður og frumkvöðull á framleiðslu er talin hafa verið Paul Dhé. Hann var fæddur árið 1890 eða þar um bil í Frakklandi Hann var verkfræðingur sem dvaldist í Évry-Petit-Bourg á Frakklandi og rannsakaði, þróaði og framleiddi basalldrefjar á fyrri hluta tuttugustu aldar. Hann þróaði vinnsluferli trefjanna þannig að hann gat kynnt hugmyndir um að pressa trefjar úr basalti sem hann svo í framhaldi fékk bandarískt einkaleyfi árið 1923.

Framleiðsluaðferð Dhé var mjög afkastamikil að talið er og leiddi til þess að basalttrefjar urðu, þar sem það var talið tæknilega mögulegt, aðgengilegar fyrir almenna notkun í byggingum þess tíma.

Um 1960 fóru Bandaríkin og Sovétríkin að rannsaka notkun basalttrefja í framleiðslu hernaðargagna. Árið 1970 kynntu glerframleiðendur í Bandaríkjunum áform um að gera glertrefjar vinsælli en basalttrefjar sem hefur þá átt trúlega að vera einhversskonar andsvar Bandaríkjanna við basalttrefjarannsóknunum Sovétmanna í Úkraínu.

Í Austur Evrópu voru allar rannsóknir sem sneru að notkun basalttrefja í steinsteypu þjóðnýttar af sovéska varnarmálaráðuneytinu. Þannig var það allt fram að upplausn Sovétríkjanna árið 1991, þegar rannsóknarniðurstöður Sovétríkjanna voru birtar og þá fyrst var hægt að kynna þær rannsóknir almenningi. Nú á dögum fer framleiðsla basalttrefja að langmestu leyti fram í Úkraínu, Rússlandi og Kína.

### 2.3.2 Framleiðsla basalttrefja.

Basalt einkennist af miklu viðnámi gegn ætandi umhverfi, mikið tæringarþol, og tapar ekki eiginleikum sínum með tímanum. Það hefur verið sýnt fram á að basalttrefjar erfa alla þessa eiginleika. (13) (12) (41)

Eins og fram hefur komið þá fjallar þetta verkefni um basalttrefjar í steinsteypu en slíkar trefjar hafa verið að ryðja sér til rúms undanfarin áratug sem góður valkostur við aðrar trefjagerðir sem þykja óumhverfisvænar og dýrar í framleiðslu. Í samanburði við stáltrefjar þá eru basalttrefjar þrisvar sinnum léttari og rúmlega tvisvar sinnum sterkari gagnvart togáraun. Aðrir helstu kostir umfram aðrar trefjar eru þeir að basalttrefjar tærast ekki og hafa hátt þol gagnvart alkalívirgni. Basalttrefjar eru einnig taldar umhverfisvænni en aðrar trefjar þar sem þær eru unnar úr náttúrulegu efni og efnisvinnslan því einfaldari en á öðrum trefjagerðum. Aðrir umhverfisvænnir eiginleikar basalttrefja eru að við frákast í vinnslu sprautusteypu hafa trefjarnar minni mengandi áhrif á dýralíf, ár og vötn og ekki er álitin vera sjónmengun sökum lítills litamunar við náttúrulegt basalt. Einnig má minnst á endurvinnslu eiginleika basalttrefjabundinnar steinsteypu þar sem slíka steypu er einfalt að endurvinna sem steinefni í ferska steypu án nokkurra vandkvæða eða hreinsunar. (12) (42) (43) (41)

Til að framleiða basalttrefjar eru unnið (brotið í hæfilegar stærðir) basalt hitað upp í 1500 °C eða þar til efnið bráðnar. Síðan er bráðinni pressað í gegnum þrönga ventla eða stúta úr hitaþolnu efni. Við það verður til örþunnur þráður úr basalti. Tæknin er sambærileg þeirri sem notuð er við framleiðslu glertrefja, að því undanskildu að basalt er notað í stað kísils.

**Yfirlit yfir helstu ferla í framleiðslu basalttrefja:**

- Hráefnið unnið í hæfilega kornastærð og efnisgæði rannsökuð.
- Unnið basaltið er síðan brætt með því að setja í ofn og það hitað í um það bil 1.500 gráður á Celsíus.
- Bráðinni er pressað í gegnum þrönga stúta (bushings) meðan á pressunarferlinu stendur. Þegar trefjarnar koma út úr stútunum verða þær fyrir úða af lofti eða vatni í þeim tilgangi að kæla þær niður.
- Þegar trefjarnar hafa verið búnar til eru þær húðaðar með límfefni, oftast epoxy eða pólývínýlaset en það lím er þekktara undir nafninu PVAc og er vatnsuppleysanlegt. Þessi límfefni eru til að bæta samloðun trefjanna fram að notkun. Þetta skref er þekkt sem "sizing" á ensku sem gæti útlagst sem lengdarkvörðun á íslensku.
- Skurður: Eftir mælingar eru trefjarnar skornar í þá lengd sem óskað er eftir og þeim pakkað til afhendingar. (44)

## 2.4 Steinefni í steinsteypu.

### 2.4.1 Ágrip.

Hérlendis er basalt mest notaða berggerðin sem steinefni í steinsteypu. 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. Íslenska steinefnið er nokkuð gropið samanborið við önnur steinefni sem notuð eru annarsstaðar í heiminum. Sem dæmi má nefna að vatn er algengt u.þ.b. 0,5% þyngdarhlutfall í algengu steinefni erlendis, en hér á landi er það sé á bilinu 2 til 6% í íslenska steinefninu. Svo mikill raki í steinefninu hefur áhrif á eiginleika steypunnar, svo sem styrk, rýrnun, vatnsþörf, vinnanleika o.fl. Einnig getur mikill raki í steinefnunum haft áhrif á slitþol í t.d. brúargólfum. Erlend steinefni, granít þá helst, hafa verið flutt hingað til lands í sértæka steypu en það er ekki algengt. Í þeim tilfellum er þá um að ræða steinefni til notkunar í slitþolna steypu. Annað algengt gosberg á Íslandi, líparít, hefur verið notað í sérblandað sement hér á landi en árið 1974 samþykkti Landsvirkjun sérsement með íblöndun 25% líparíts til notkunar í Sigölduvirkjun sem þá var í byggingu. Skoðun á þessu mannvirki eftir 30 ára notkun hefur sýnt að steypan þar er í góðu ásigkomulagi. Sigöldusement var svo notað í önnur virkjanamannvirki framan af eða þar til ný sementstegund var þróuð í Blönduvirkjun upp úr 1980. Íslenska sementið var þá blandað með 10% kísilyki og 25% líparíti og var það sement nefnt Blöndusement. Almennt þykir það of mikil áhætta að nota líparít sem steinefni í steypu þar sem líparít er ríkt af kísilsýru og er því mjög alkalívirkt. (45) (5) (32)

Algengast er að sækja steinefni úr setnámum hér á landi, t.d. úr fjöru, árfarvegum, gömlum sjávarbökkum eða efni unnið af sjávarbotni. Þó er hægt að nota steinefni í steypu sem unnið er úr brotnu bergi og það færast í vöxt að nota brotið efni í nágrannalöndunum vegna skorts á náttúrulegu steinefni. Náttúrulegt steinefni er yfirleitt ódýrari kostur og hentar vel til steypugerðar þar sem það hefur yfirleitt núíð og slétt yfirborð og þar með betri vinnanleika (þjált) en sprengt (rippað) og malað steinefni, sem er kantað og hrjúft eftir hefðbundna vinnslu. Með því að bæta efnisvinnslu í námu má bæta kornalögunina, slæva kanta og auka sandhlutfallið. Einnig má bæta náttúrulegum sandi við í steinefnaframleiðslu úr möluðu bergi. Íslensk steinefni falla undir ÍST EN 12620:2002+A1:2008. (21) (46)

### 3 Efni og aðferðir.

#### Rannsóknin.

Tilgangur tilraunarinnar fólst í því að bera saman tvær tegundir af basalttrefjum sem framleiddar voru af tveimur mismunandi framleiðendum í tveimur ólíkum gerðum af steypublöndu.

Skammtagildin fyrir basalttrefjarnar voru þau sömu 12 og 16 kg á hvern rúmmetra af steypu og kornastærð steinefna var 0/8 annarsvegar og 8/16 hinsvegar.

Einnig voru skoðuð áhrif aukins trefjamagns í 8-16mm steypu þar sem bornar voru saman niðurstöður rannsókna miðað við 12 kg/m<sup>3</sup> annarsvegar og 16 kg/m<sup>3</sup> hinsvegar.

Rannsóknaraðferðin var byggð á ÍST EN 14488-3:2006 „*Testing sprayed concrete—Part 3: Flexural strengths (first peak, ultimate and residual) of fiber reinforced beam specimens*”.

Trefjarnar sem notaðar voru í þessari rannsókn voru af tveimur mismunandi gerðum, annars vegar stífar trefjar frá Reforcetech og hinsvegar mýkri trefjar framleiddar af Basalttex. Tafla 3 sýnir einkenni hvorrar tegundar.

Steypublöndurnar í rannsókninni voru framleiddar af BM Vallá og sbr ÍST EN 206:2013, XC1, með hámarkskornastærð 0/8mm og 8/16mm.

Sementið sem notað var uppfyllti forskriftir NS-EN 197-1:2011 fyrir Portlandsement CEM I 52.5 N og steinefni í steypunni uppfylltu kröfur ÍST EN 12620:2002+A1:2008. Sjá töflu 2.

**Tafla 2. Yfirlit yfir steypublöndur.**

	C30/37:XC1-S2-8/16	C50/60:XC1-S4-0/8
Sement	Portlandsement CEM I 52.5 N	Portlandsement CEM I 52.5 N
Sementsmagn kg/m <sup>3</sup>	350	500
v/s max	0,44	0,38
Umhverfisflokkur	XC1	XC1

<b>Sigmálsflokkur</b>	S3	S4
<b>Styrkflokkur</b>	C30/37	C50/60
<b>Minnsta/mesta kornastærð</b>	8/16	0/8

Ýtarlegri blöndunarhlutföll steypunnar í þessu verkefni má sjá í viðauka.

Við ákvörðun magns trefja var stuðst við eftirfarandi jöfnu og einnig

$$C_f = \frac{mf \times 1000}{V_d}$$

**Jafna 1 Jafna til að reikna trefjamagn fyrir sýnatökur. (8)**

$C_f$  er magn trefja í  $kg/m^3$

$$C_{f1} = 12kg/m^3$$

$$C_{f2} = 16kg/m^3$$

$m_f$  er þyngd trefja í sýninu í grömmum

$V_d$  er stærð sýnis í  $m^3$

**Tafla 3. Trefjamagn í hvert sýni mv  $12kg/m^3$ .**

$C_{f1} (kg/m^3)$	$m_{f1}$	$V_{d1}$
<b>12</b>	162	0,014



**Tafla 4. Trefjamagn í hvert sýni mv 16kg/m<sup>3</sup>.**

<b>C<sub>f2</sub> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>m<sub>f2</sub></b>	<b>V<sub>d2</sub></b>
<b>16</b>	216	0,014

Starfsmenn BM Vallá sáu alfarið um að útbúa steypublöndurnar útfrá hönnun höfundar og leiðbeinenda.

Við brot á steypusýnum var notuð Tinius Olsen pressa, í eigu Mannvits verkfræðistofu, og er hún tölvustýrð með hugbúnaði frá Horizon. Pressan uppfyllir kröfur kafla 4.2 and 4.3 í ÍST EN 12390-4:2019 Testing hardened concrete - Part 4: Compressive strength - Specification for testing machines.



**Mynd 11. Tinius Olsen press á rannsóknarstofu Mannvits.**

### **3.1.1 Um trefjarnar.**

Reforcetech trefjarnar sem notaðar voru eru stífar basalttrefjastangir. Þvermál þeirra er 0,72 mm og lengd 50 mm. Basaltþræðirnir hafa verið snúnir saman og blandaðir með Vinylester plastefni og þar af leiðandi er það snúið(undið) yfirborð sem veldur betri tengingu við steinsteypuna og eykur styrk gagnvart útdrætti. Við íblöndun þessara trefja í steypuna breytist vinnanleiki steypunnar lítið sem ekkert og auðvelt var að koma henni í mótin. Nánari tæknilýsingu ásamt öryggisblaði má finna í viðauka B.



**Mynd 12. Reforcetech Minibar (mynd frá framleiðanda).**



**Mynd 13. Reforcetech minibar stöngin er stíf basalttrefjastöng.**

Basaltex er hin gerð basalttrefjanna sem notaðar voru í rannsókninni. Þær eru mjúkar viðkomu, samsettar úr örfínum þráðum í knippi sem eru örlítið stíft en mýkjast þegar þau eru meðhöndluð og brotin í sundur. Þessar trefjar eru um 30 mm að lengd með flatt þversnið. Við íblöndun þessara trefja í steypuna varð steypan illvinnanleg og má lýsa því þannig að trefjarnar hafi hreinlega þurrkað steypuna upp og þurfti að auka umtalsvert við flotefnið í steypunni svo hægt væri að vinna hana í mótin. Nánari tæknilýsingu ásamt öryggisblað má finna í viðauka.



**Mynd 14. Basalttex BCS17-25.4-KV1 (mynd frá framleiðanda).**



**Mynd 15. Basalttex BCS17-25.4-KV1, samsett úr örfínum þráðum í knippum.**

### 3.1.2 Myndir frá framkvæmd og rannsókn.



**Mynd 16. Skömmtun trefja í steypu.**



**Mynd 17. Sigmálsmæling.**



**Mynd 18. Íblöndun trefja í hræruna.**



**Mynd 19. Steypan komin í mótin á víbraborði BM Vallá.**



**Mynd 20. Flutningur á sýnum á rannsóknarstofu..**



**Mynd 21. Sýnin komin í geymslu á rannsóknarstofu Mannvits.**



**Mynd 22. Sýni í broti.**



**Mynd 23. Sýni í broti.**



**Mynd 24. Sýni í broti.**





**Mynd 25. Sýni eftir brot.**



**Mynd 26. Tækjabúnaður rannsóknar.**



**Mynd 27. Sýni eftir brot.**



**Mynd 28. Reforcetech Minibars sýni eftir brot.**

## 4 Niðurstöður.

### Beygjutogstyrkur C30/37:SC1 trefjasteypu.

Eins og áður segir er hér um að ræða samanburðarrannsókn á beygjutogstyrk steyptra bita með rannsóknaraðferð sem byggð er á ÍST EN 14488-3:2006 og skýrslu frá ACI (American Concrete Institute), ACI 544.4R-18 sem er stöðluð rannsóknaraðferð fyrir beygjutogstyrk trefjastyrktrar steinsteypu (biti með fjögurra punkta álagi). Þessi prófunaraðferð mælir sveigjuþol trefjabentrar steinsteypu sem fæst með því að mæla einfalt studdann bita undir álagi.

Gert var svokallað fjögurra punkta álagspróf eins og því er lýst í staðlinum, en þessi aðferð gefur nákvæma mynd þegar litið er til áhrifa trefjanna við að dreifa togálaginu sem myndast í þversniðinu, og tryggir að um vægisbrot sé að ræða í stað skerbrots. Í staðlinum er einnig í boði að taka samskonar próf en með þremur álagspunktum, þ.e.a.s. kraftinum  $F$  er beitt á miðjan bita í stað þess að deila honum í tvennt. Munurinn á þessum tveimur útfærslum prófanna er að í þriggja punkta álagsbeygjuþrófinu er álagssvæðið minna samanborið við svæðið sem boðið er upp á í fjögurra punkta álagsbeygjuþrófinu. Fyrir vikið er dreifing álags jafnari og breiðari í fjögurra punkta beygjuþrófinu samanborið við þriggja punkta beygjuþrófið. Prófið lýsir álagsferli í hlutfalli við niðurbeygju og hegðun eftir að vægisbrot hefur átt sér stað. Sérstaklega er verið að skoða hegðun eftir brot á sýni (e. post-peak behaviour analysis), þar sem ástæðan fyrir því að nota trefjar í steypu er að auka seiglu (e. ductility) steypunnar. Sýnataka og prófanir voru gerð s.k.v. ÍST EN 14488-3:2006 og voru sýnin geymd í 100% raka frá því sýnin voru steipt og þar til prófanirnar fóru fram. Niðurstöður prófana sýndu gott samræmi álagsbrota og styrkleifar innan hvers sýnamengis eins og sjá má á gröfum í köflum hér aftar.

#### 4.1.1 Útreikningar og jöfnur.

Eftir hverja prófun skrifaði Horizon hugbúnaðurinn á rannsóknarstofu Mannvits, CVS skrá sem sýndi álagið, álagshraða, tíma og hreyfingu bitans frá upphafi prófunar frá báðum skynjurum. Úr hverri gagnaskrá var dregið út línurit til sjónrænnar niðurstöðu og samanburðar.

Meðaltal færslu var reiknað út með því að nota tvo tilfærsluskynjara á pressunni, þar sem  $d_1$  er álestur á tilfærslunema 1 og  $d_2$  er álestur á tilfærslunema 2.  $D_{10}$  og  $d_{20}$  eru settar tilfærslur í upphafi prófunar, þ.e.a.s. núllpunktur.

Útreikningur á heildarfærslu er s.k.v. jöfnu 1.

$$d_{tot} = \frac{((d_1 - d_{10}) + (d_2 - d_{20}))}{2}$$

**Jafna 2. Heildarmeðalfærsla bita undan álagi frá núllpunkti.**

Force (N)	Position (mm)	Position Rate (mm)	Time (min)	Displacement 1 (mm) d1	Displacement 2 (mm) d2	Dtot
252	0.00253	-73.5	0.351	-0.001	-0.0019	0
37000	0.963	1.37	2.03	0.0756	0.085	0.08175
37300	0.966	1.36	2.04	0.077	0.0868	0.08335
37600	0.969	1.25	2.04	0.0784	0.0886	0.08495
37900	0.973	1.35	2.04	0.0799	0.0908	0.0868
38200	0.977	1.43	2.04	0.0814	0.0927	0.0885
38400	0.98	1.49	2.05	0.0838	0.0958	0.09125
38400	0.984	1.43	2.05	0.0882	0.102	0.09655
37900	0.988	1.42	2.05	0.0965	0.114	0.1067
35400	0.994	1.82	2.05	0.124	0.152	0.13945
32200	1	2.54	2.06	0.159	0.202	0.18195
31100	1.01	2.33	2.06	0.176	0.226	0.20245
30600	1.01	1.64	2.06	0.185	0.239	0.21345

**Tafla 5 Dæmi um útskrift gagna eftir hverja prófun þar sem  $d_{tot}$  hefur verið reiknað út s.k.v. jöfnu 2.**Útreikningur beygjustryks ( $f_r$ ) er s.k.v. jöfnu 3

$$f_r = \frac{P \times l}{(w \times d^2)}$$

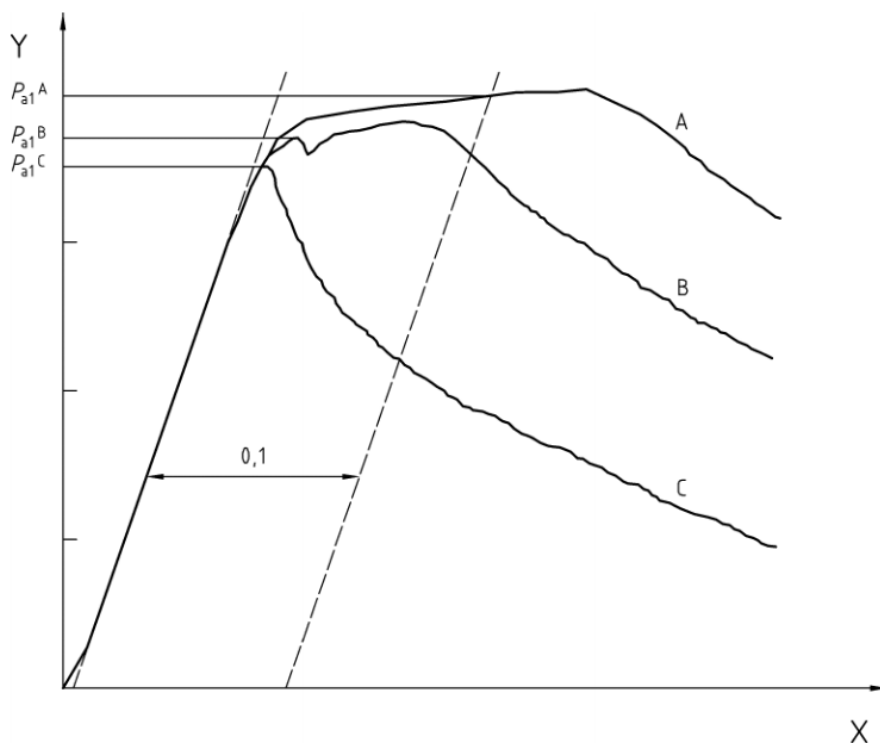
### Jafna 3. Beygjutogstyrks basalttrefjabundinnar steypu.

Þar sem :

- P er álagið ( $P_{fp}$  eða  $P_{ult}$ ) skilgreint í newtonum, sjá mynd 29.
- l er span bitans yfir undirstöður (450 mm)
- w er breidd bita næst brotsvæðinu (150 mm)
- d er þykkt bita næst brotsvæðinu (150 mm)

Eins og áður hefur komið fram keyrði hugbúnaðurinn sjálfkrafa þar til færsla bitans var 5 mm. ÍST EN 14488-3: 2006 gerir ráð fyrir breytilegum hraða álagsprófsins samkvæmt eftirfarandi:

1. fyrst 5 mm/mín upp í 250 N,
2. 0,25 mm/mín þar til niðurbeygja bitans var komin í 0,5 mm
3. Eftir það, 1 mm/mín til enda og niðurbeygjan náði 5 mm.



**Mynd 29. Aðferðafræði við að skilgreina álag Pfp.**

S.k.v. ÍST EN 14488-3:2006, grein 7.2 *Residual flexural strengths* skulu styrkleifar reiknaðar út frá lágmarksálagi á niðurbeygjufurli á milli 0,5 mm og 1 mm, 2 mm og 4 mm (sem samsvarar lítilli, eðlilegri og mikilli aflögun samanber flokkum D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> og D<sub>3</sub> sem skilgreindir eru í ÍST EN 14487-1).

- Styrkleif ( $f_{r1}$ ) skal reiknuð út frá lágmarksálagi ( $P_{r1}$ ) sem er skráð á milli 0,5 mm og 1,0 mm niðurbeygju bitans.
- Styrkleif ( $f_{r2}$ ) skal reiknuð út frá lágmarksálagi ( $P_{r2}$ ) sem er skráð á milli 0,5 mm og 2,0 mm niðurbeygju bitans.
- Styrkleif ( $f_{r4}$ ) skal reiknuð út frá lágmarksálagi ( $P_{r4}$ ) á milli 0,5 mm og 4,0 mm niðurbeygju bitans.

Hver styrkleif skal reiknuð út sem jafngildi togstyrks með því að nota jöfnu 3.

Í þessu verkefni var beygjubrotstyrkur skilgreindur sem  $f_{ult}$  út frá hámarksálagi  $P_{ult}$  (peak load)

#### 4.1.2 Reforcetech Minibars 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu.

Prófun á þessari gerð bita með þessu trefjamagni RFT gekk upp að því leyti að vikmörk brots útfrá álagi var sambærilegt í öllum sýnum. Frávik í broti frá mesta og minnsta álagi,  $P_{ult}$ , reyndist vera um 4%. Öll sýnin sýndu með greinilegum hætti hvernig trefjarnar tóku við togálaginu eftir brot og héldu í kringum 50% styrk í bitanum í allt að tveggja mm færslu (niðurbeygju) bitans.



**Mynd 30. Biti með Reforcetech Minibars 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu.**

4.1.2.1 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 1.

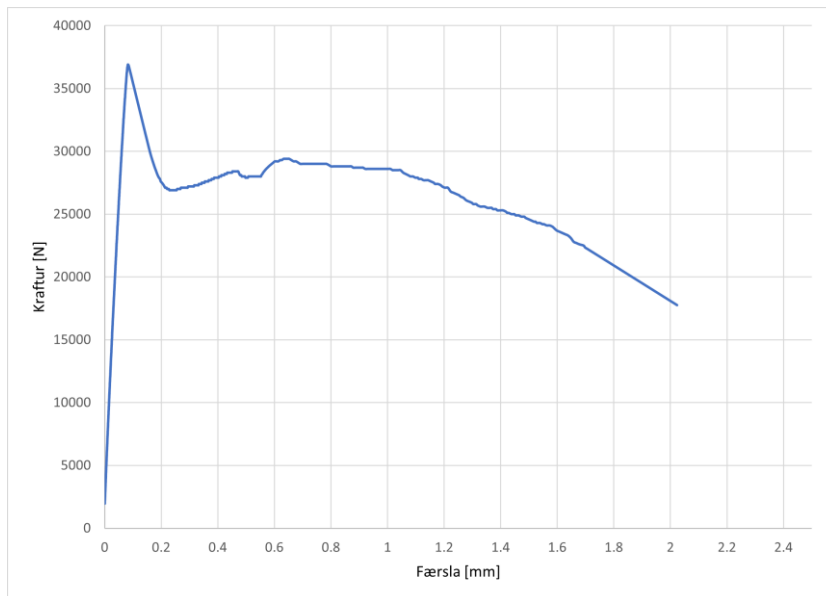
Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

Tafla 6. RFT 8/16\_12 Beygjutogstyrkur sýni 1.

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
36900	4,92 N/mm <sup>2</sup>

Tafla 7. RFT 8/16\_12 Styrkleif í sýni 1.

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_1$	0.5-1	27900	450	150	150	3.72 N/mm <sup>2</sup>
$fr_2$	0.5-2	17763	450	150	150	2.37 N/mm <sup>2</sup>
$fr_4$	0.5-4	-	-	-	-	-



Mynd 31. RFT 8/16\_12 sýni 1.



4.1.2.2 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 2.

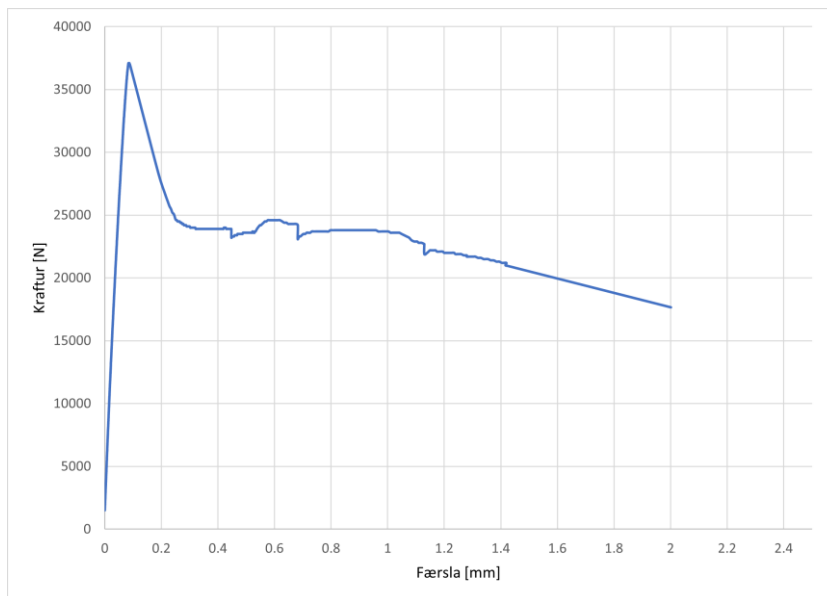
Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

Tafla 8. RFT 8/16\_12 Beygjutogstyrkur sýni 2.

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
37100	4,95 N/mm <sup>2</sup>

Tafla 9. RFT 8/16\_12 Styrkleif í sýni 2.

Styrkleif ( $f_r$ )	mm	P (N)	l	w	d	
$f_{r1}$	0.5-1	23100	450	150	150	3.08 N/mm <sup>2</sup>
$f_{r2}$	0.5-2	17661	450	150	150	2.35 N/mm <sup>2</sup>
$f_{r4}$	0.5-4	-	-	-	-	-



Mynd 32. RFT 8/16\_12 sýni 2.

4.1.2.3 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 3.

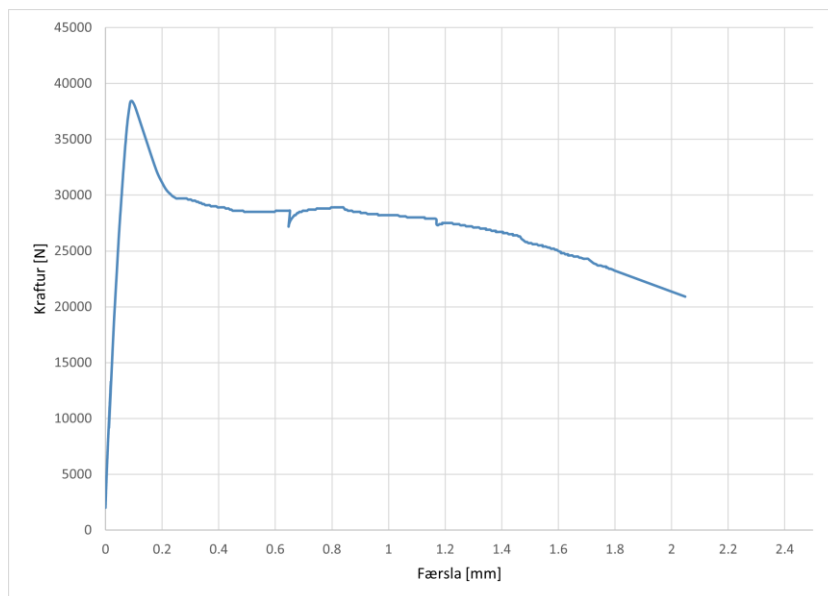
Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

Tafla 10. RFT 8/16\_12 Beygjutogstyrkur sýni 3.

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
38400	5,12 N/mm <sup>2</sup>

Tafla 11. RFT 8/16\_12 Styrkleif í sýni 3.

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_1$	0.5-1	27200	450	150	150	3.63 N/mm <sup>2</sup>
$fr_2$	0.5-2	17661	450	150	150	2.79 N/mm <sup>2</sup>
$fr_4$	0.5-4	-	-	-	-	-



Mynd 33 RFT 8/16\_12 sýni 3

**4.1.2.4 Samanburður á beygjutogstyrk og styrkleif.**

Meðaltal beygjutogstyrks og styrkleifar fyrir þetta sýni fyrir var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

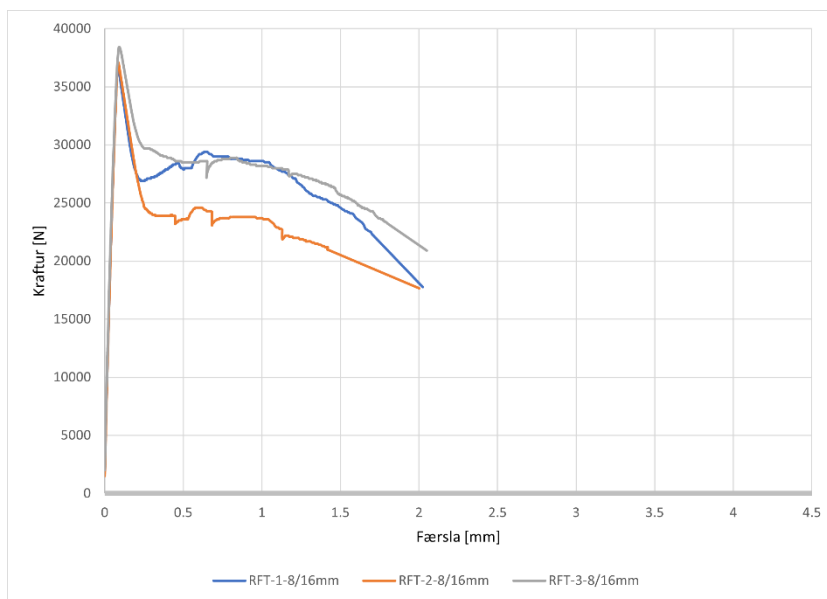
**Tafla 12 RFT 8/16\_12 Meðaltal beygjutogstyrks allra sýna.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
37467	5,00 N/mm <sup>2</sup>

**Tafla 13 RFT 8/16\_12 Meðaltal styrkleifa allra sýna.**

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_1$	0.5-1	26067	450	150	150	3,48 N/mm <sup>2</sup>
$fr_2$	0.5-2	18779	450	150	150	2,50 N/mm <sup>2</sup>
$fr_4$	0.5-4	-	-	-	-	-

Að meðaltali var styrkleifin 50% af beygjutogstyrk bitans eftir 2ja mm niðurbeygju,  $f_{ult} = 5,00\text{N/mm}^2$   
 ->  $f_{r2} = 2,50\text{N/mm}^2$



**Mynd 34. RFT 8/16\_12 Samanburður á beygjutogstyrk þriggja sýna.**

#### 4.1.3 Reforcetech Minibars 12kg/m<sup>3</sup> í C50/60XC1-S4-0/8 steypu.

Prófun á þessari gerð bita með þessu trefjamagni RFT var gerð af Jóhanni Inga og er hluti af B.Sc verkefni hans. Vikmörk brots útfra álagi var sambærilegt í öllum sýnum. Frávik í broti frá mesta og minnsta álagi,  $P_{ult}$ , reyndist vera um 12%. Í öllum tilfellum var um vægisbrot að ræða. Þessi tilraun sýnir með mjög áberandi hætti virkni trefjanna í þversniðinu og hvernig styrkleifin í bitunum fer aldrei undir 15% af beygjutogstyrk bitans.

**4.1.3.1 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 1.**

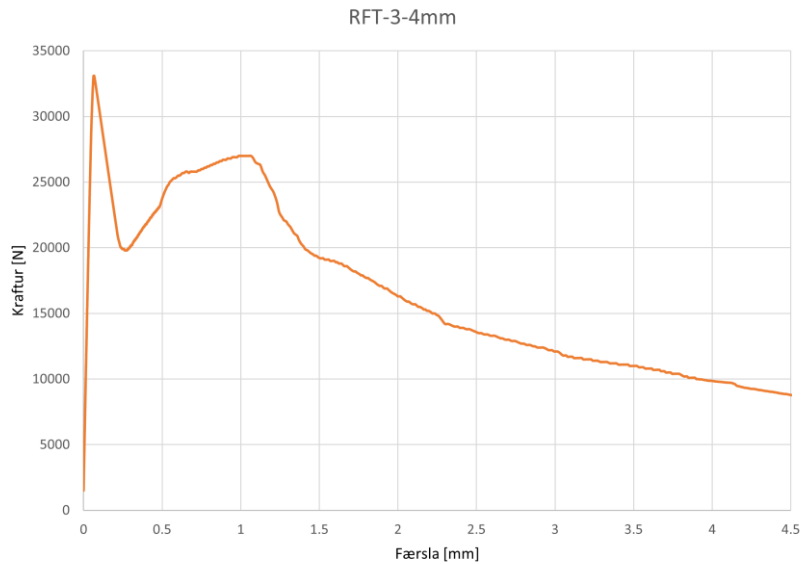
Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

**Tafla 14. RFT 0/8\_12 Beygjutogstyrkur í sýni 1.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
<b>37000</b>	<b>4,93 N/mm<sup>2</sup></b>

**Tafla 15. RFT 0/8\_12 Styrkleif í sýni 1.**

Styrkleif ( $f_r$ )	mm	P (N)	l	w	d	
$f_{r1}$	0.5-1	23900	450	150	150	<b>3.19</b> N/mm <sup>2</sup>
$f_{r2}$	0.5-2	16500	450	150	150	<b>2.20</b> N/mm <sup>2</sup>
$f_{r4}$	0.5-4	7090	450	150	150	<b>0.95</b> N/mm <sup>2</sup>



**Mynd 35. RFT 0/8\_12 sýni 1.**

**4.1.3.2 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 2.**

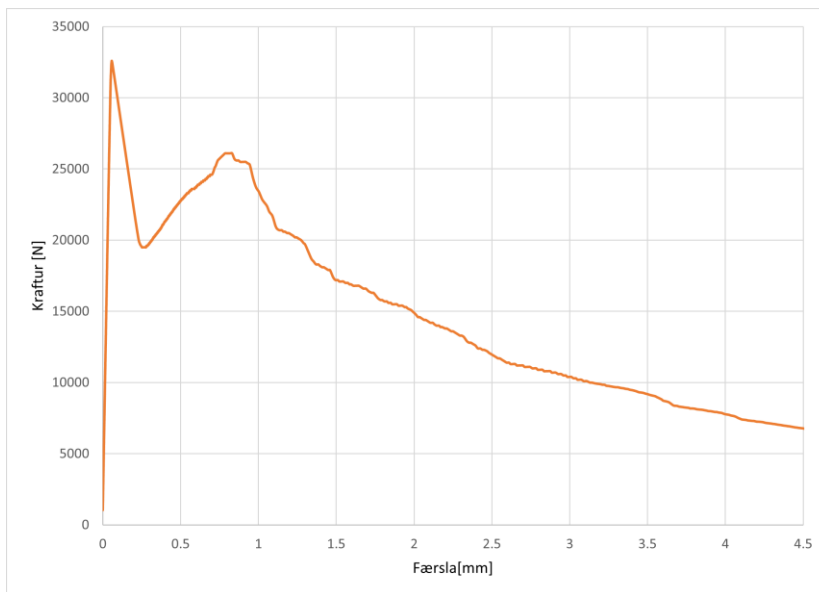
Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

**Tafla 16. RFT 0/8\_12 Beygjutogstyrkur í sýni 2.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
32600	4,35 N/mm <sup>2</sup>

**Tafla 17. RFT 0/8\_12 Styrkleif í sýni 2**

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_1$	0.5-1	22800	450	150	150	3.63 N/mm <sup>2</sup>
$fr_2$	0.5-2	14800	450	150	150	2.79 N/mm <sup>2</sup>
$fr_4$	0.5-4	7760	450	150	150	1,03 N/mm <sup>2</sup>



**Mynd 36. RFT 0/8\_12 sýni 2.**

**4.1.3.3 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 3.**

Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

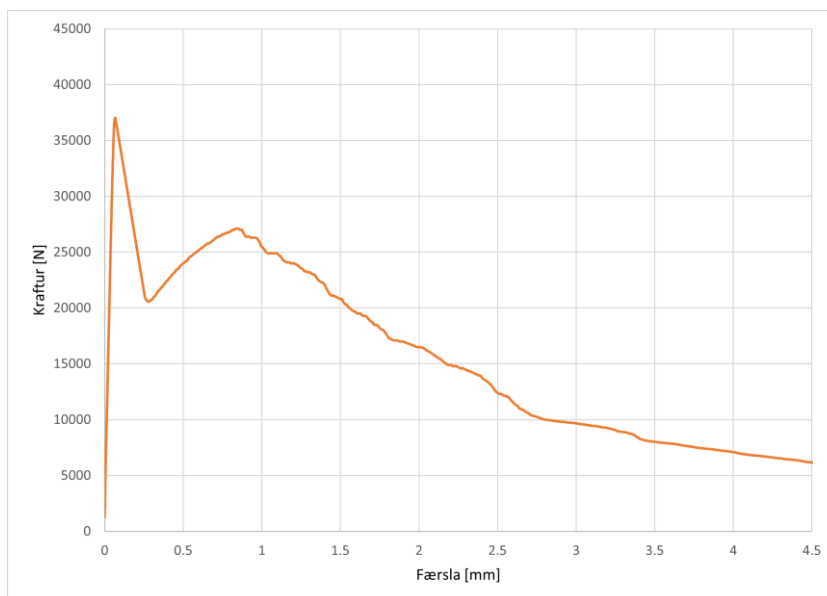
**Tafla 18. RFT 0/8\_12 Beygjutogstyrkur í sýni 3.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
---------------	-----------

**33100      4,41 N/mm<sup>2</sup>**

**Tafla 19. RFT 0/8\_12 Styrkleif í sýni 3.**

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
<i>fr1</i>	0.5-1	23700	450	150	150	<b>3.63</b> N/mm <sup>2</sup>
<i>fr2</i>	0.5-2	16300	450	150	150	<b>2.79</b> N/mm <sup>2</sup>
<i>fr4</i>	0.5-4	9850	450	150	150	<b>1,31</b> N/mm <sup>2</sup>



**Mynd 37. RFT 0/8\_12 sýni 3.**

**4.1.3.4 Samanburður á beygjutogstyrk og styrkleif.**

Meðaltal beygjutogstyrks og styrkleifar fyrir þetta sýni fyrir var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

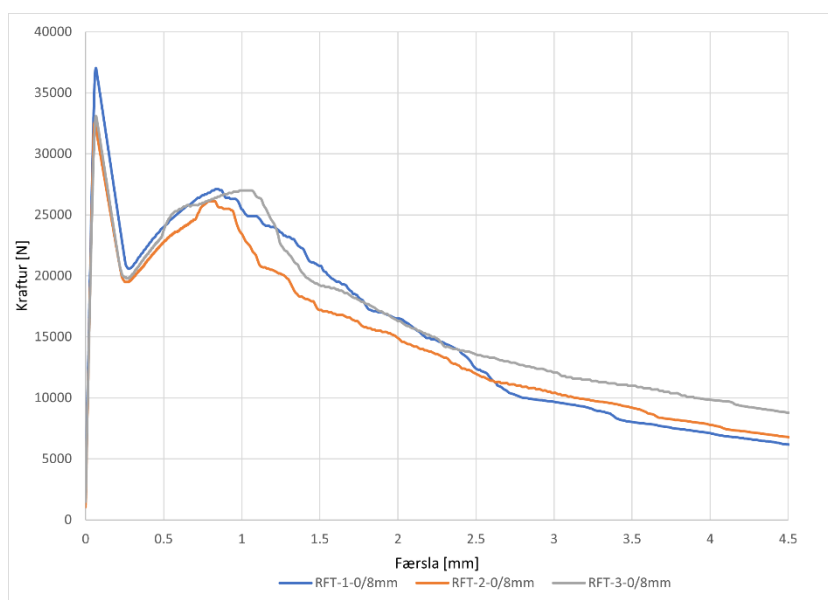
**Tafla 20. RFT 8/16\_12 Meðaltal Beygjutogstyrks allra sýna.**

<b>P<sub>ult</sub> (N)</b>	<b>f<sub>ult</sub></b>
<b>34233</b>	<b>4,56 N/mm<sup>2</sup></b>

Ef borin er saman meðaltal styrkleifar við 2mm niðurbeygju sá sést að hún er 47 % af beygjutogstyrk bitans,  $f_{ult}=4,56\text{N/mm}^2 \rightarrow f_{r2} = 2,12\text{N/mm}^2$

**Tafla 21. 0/8\_12 Meðaltal styrkleifa allra sýna.**

Styrkleif ( $f_r$ )	mm	P (N)	l	w	d	
$f_{r1}$	0.5-1	23467	450	150	150	<b>3,13</b> N/mm <sup>2</sup>
$f_{r2}$	0.5-2	15867	450	150	150	<b>2,12</b> N/mm <sup>2</sup>
$f_{r4}$	0.5-4	8233	450	150	150	<b>1,10</b> N/mm <sup>2</sup>



**Mynd 38. RFT 0/8\_12 Samanburður á beygjutogstyrk þriggja sýna.**

**4.1.4 Samanburður á Reforcetech Minibars í C50/60XC1-S4-0/8 steypu og C30/37:XC1-S2-8/16 steypu með skammtastærð trefja 12kg/m<sup>3</sup>.**

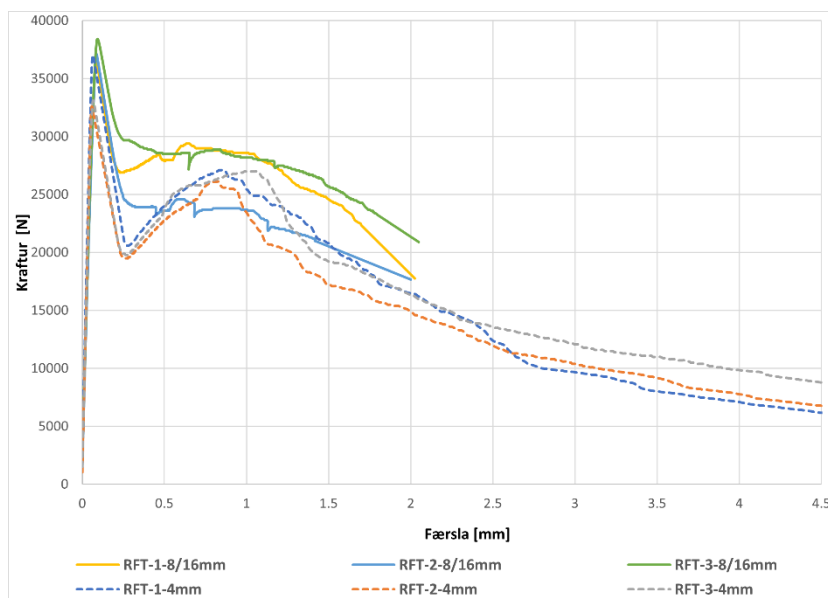
Gerður var samanburður á RFT trefjum í tvennskonar steypublöndum. Borin var saman meðalstyrkleif  $f_{r1}$  og  $f_{r2}$ .

**Tafla 22. Samanburður á styrkleif með RFT trefjum í tveimur steypublöndum.**

RFT í C30/37:XC1-S2-8/16	RFT í C50/60XC1-S4-0/8	Mismunur %
--------------------------	------------------------	------------



$f_{r1,av}$ ( $N/mm^2$ )	3,48	2,50	39
$f_{r1,av}$ ( $N/mm^2$ )	3,13	2,12	48
$f_{r4,av}$ ( $N/mm^2$ )	-	1,1	
$f_{ult,av}$	5,0	4,56	9



**Mynd 39. Samanburður á RFT allra sýna í 0/8mm og 8/16mm kornastærð steypu.**

**4.1.5 Reforcetech Minibars 16kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu.**

Í þessari tilteknu prófun á þessari gerð bita með trefjamagni RFT 16kg/m<sup>3</sup>, voru vikmörk brots útfra álagi mismunandi á milli sýna. Frávik frá mesta og minnsta álagi,  $P_{ult}$ , reyndist vera um 35% milli tveggja sýna. Styrkleifin fylgdi frávik í beygjutogstyrk þar sem  $f_{r2}$  í sýni 1 var lægri en í  $f_{r2}$  í sýni 3,  $2.37N/mm^2 \rightarrow 3.23 N/mm^2$ .



**Mynd 40 Biti með Reforcetech Minibars  $16\text{kg}/\text{m}^3$  í C30/37:XC1-8/16 steypu**

4.1.5.1 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 1.

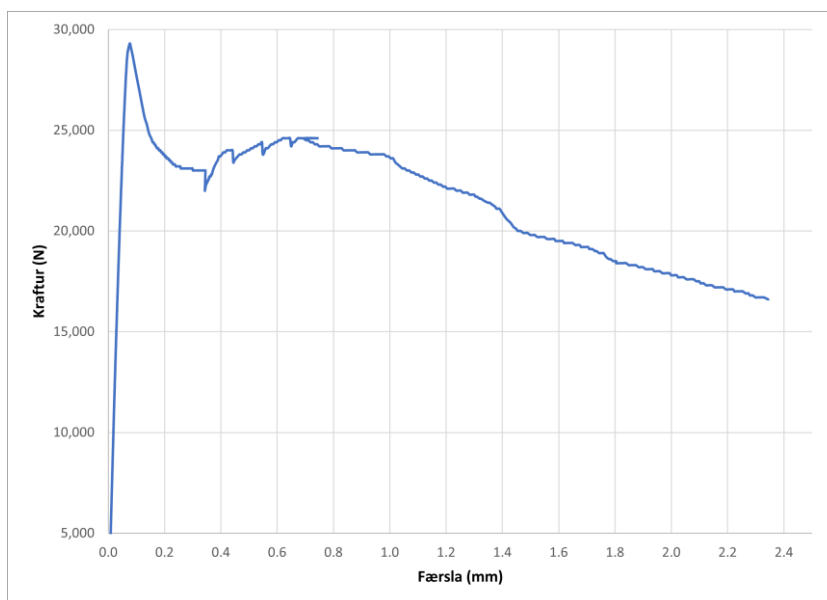
Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

Tafla 23. RFT 8/16\_16 Beygjutogstyrkur í sýni 1.

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
29300	3,91 N/mm <sup>2</sup>

Tafla 24 RFT 8/16\_16\_12 Styrkleif í sýni 1

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_1$	0.5-1	23600	450	150	150	3.15 N/mm <sup>2</sup>
$fr_2$	0.5-2	17800	450	150	150	2.37 N/mm <sup>2</sup>
$fr_4$	0.5-4	-	-	-	-	-



Mynd 41. RFT 8/16\_16 sýni 1.

4.1.5.2 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 2.

Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

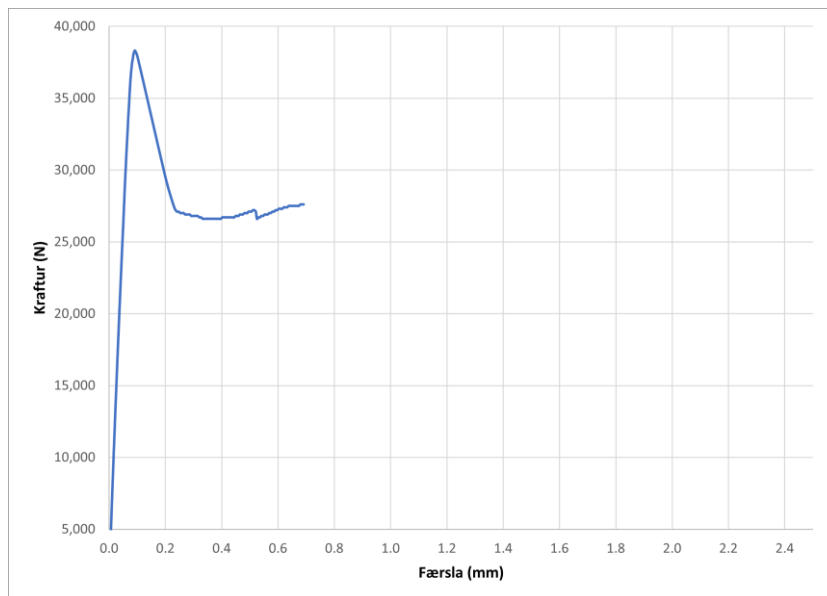
Ekki reyndir unnt að reikna styrkleif fyrir þetta tiltekna sýni.

**Tafla 25. RFT 8/16\_16 Beygjutogstyrkur í sýni 2.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
38300	5,11 N/mm <sup>2</sup>

**Tafla 26. RFT 8/16\_16\_12 Styrkleif í sýni 2.**

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_1$	0.5-1	-	450	150	150	- N/mm <sup>2</sup>
$fr_2$	0.5-2	-	450	150	150	- N/mm <sup>2</sup>
$fr_4$	0.5-4	-	450	450	150	-



**Mynd 42. RFT 8/16\_16 sýni 2.**

#### 4.1.5.3 Beygjutogstyrkur og styrkleif í sýni 3.

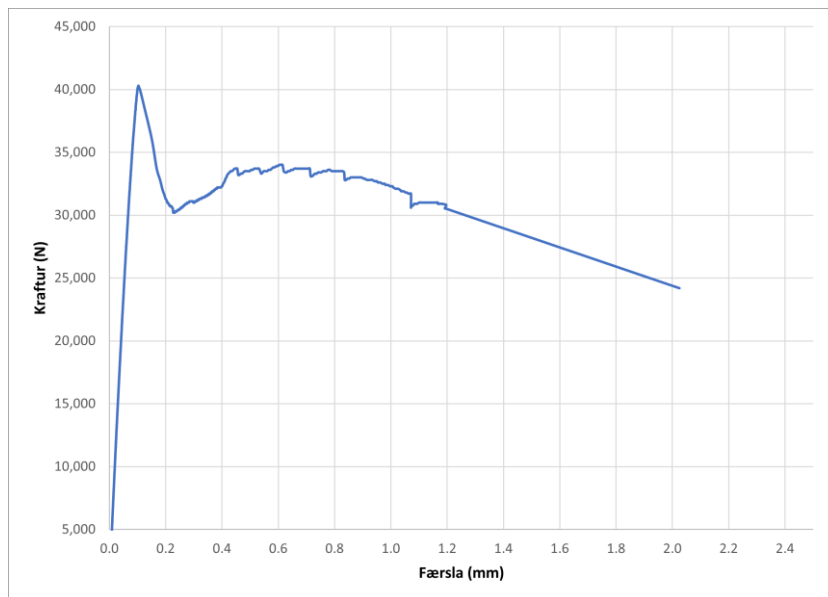
Beygjutogstyrkur og styrkleifar fyrir þetta sýni var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

**Tafla 27. RFT 8/16\_16 Beygjutogstyrkur í sýni 3.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
40300	5,31 N/mm <sup>2</sup>

**Tafla 28. RFT 8/16\_16\_12 Styrkleif í sýni 3.**

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_1$	0.5-1	32300	450	150	150	4.31 N/mm <sup>2</sup>
$fr_2$	0.5-2	24200	450	150	150	3.23 N/mm <sup>2</sup>
$fr_4$	0.5-4	-	-	-	-	-



**Mynd 43. RFT 8/16\_16 sýni 3.**

**4.1.5.4 Samanburður á beygjustyrk og styrkleif.**

Meðaltal beygjutogstyrks ( $P_{ult-av}$ ) og styrkleifar  $fr_{#av}$  fyrir þetta sýni fyrir var reiknað s.k.v. jöfnu 3.

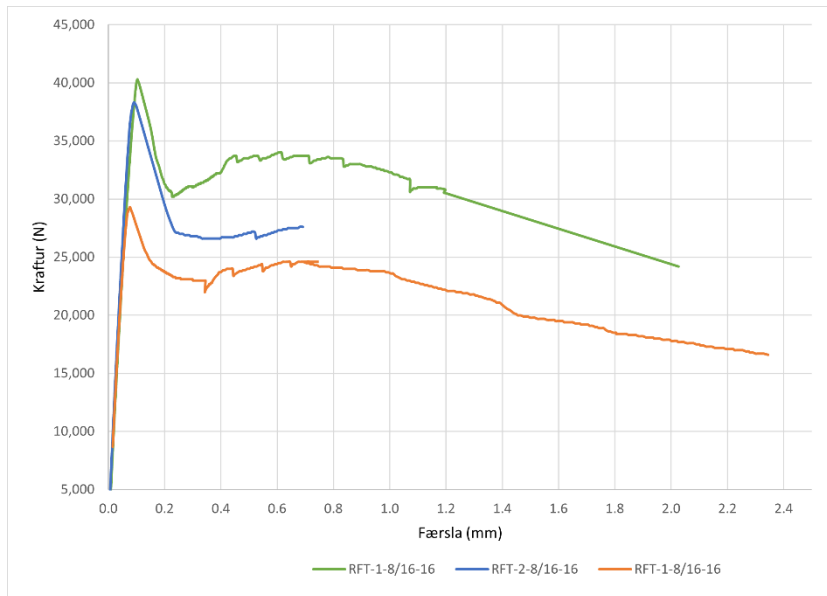
**Tafla 29. RFT 8/16\_12 Meðaltal beygjutogstyrks sýna 1 og 3.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
35967	4,80 N/mm <sup>2</sup>

Ef borin er saman meðaltal styrkleifar við 2mm niðurbeygju sést að hún er 71% af beygjutogstyrk bitans,  $f_{ult}=4,80\text{N/mm}^2 \rightarrow f_{r2} = 2,80\text{N/mm}^2$ .

**Tafla 30. 8/16\_16 Meðaltal styrkleifa sýna 1 og 3.**

Styrkleif (fr)	mm	P (N)	l	w	d	
$fr_{1av}$	0.5-1	27950	450	150	150	3.73 N/mm <sup>2</sup>
$fr_{2av}$	0.5-2	21000	450	150	150	2.80 N/mm <sup>2</sup>



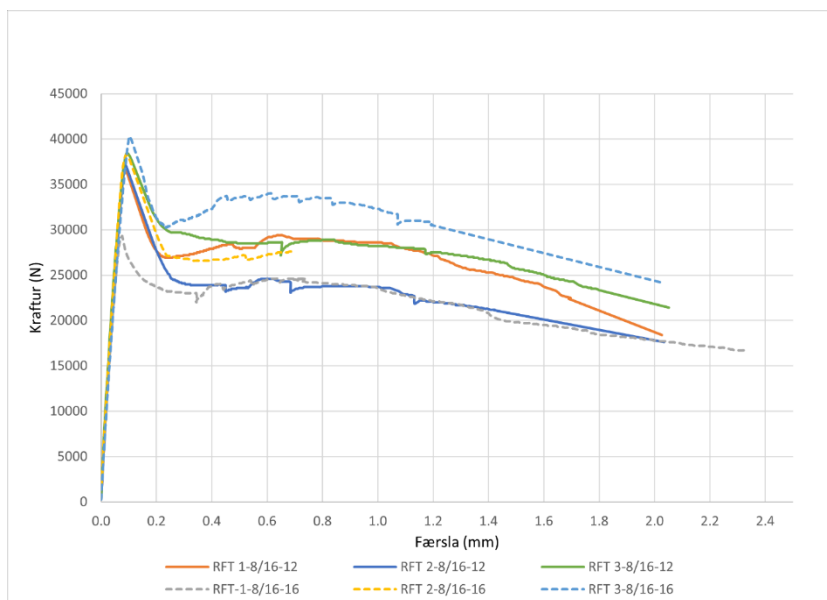
**Mynd 44. RFT 8/16\_16 Samanburður á beygjutogstyrk þriggja sýna.**

**4.1.6 Samanburður á Reforcetech Minibars í C30/37:XC1-S2-8/16 steypu með skammtastærð trefja 12kg/m<sup>3</sup> og 16kg/m<sup>3</sup>.**

Gerður var samanburður á RFT trefjum í tvennskonar steypublöndum. Borin var saman meðalstyrkleif  $f_{r1}$  og  $f_{r2}$ .

**Tafla 31. Samanburður á RFT í tveimur skammtastærðum.**

	RFT í C30/37:XC1-S2-8/16 12 kg/m <sup>3</sup>	RFT í C30/37:XC1-S2-8/16 16 kg/m <sup>3</sup>	Mismunur %
$f_{r1,av}$ (N/mm <sup>2</sup> )	3,48	3.73	7
$f_{r1,av}$ (N/mm <sup>2</sup> )	2,50	2.80	12
$f_{r4,av}$ (N/mm <sup>2</sup> )	-	-	
$f_{ult,av}$	5,0	4,8	-4



**Mynd 45. RFT 8/16 Samanburður á beygjutogstyrk allra sýna með mismiklu trefjamagni.**

**4.1.7 Basalttex BCS17-25.4-KV1 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-S2-8/16 steypu.**

Í kaflanum er gerð grein fyrir niðurstöðum prófana á Basalttex BCS17-25.4-KV1 í skammtastærð 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-S2-8/16 steypu. Ekki reyndist unnt að reikna styrkleifar í neinu tilviki þar sem öll sýnin með þessari trefjagerð brotnuðu í tvennt áður en færsla náði 0,5mm. Einungis er því gerð grein fyrir beygjutogstyrk  $f_{ult}$  og hámarksálagi,  $P_{ult}$ , í hverju sýni fyrir sig og niðurstöður bornar saman í lokin.



**Mynd 46. Lýsandi mynd af bita með Basalttex BCS17-25.4-KV1 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-S2-8/16 steypu eftir brot.**

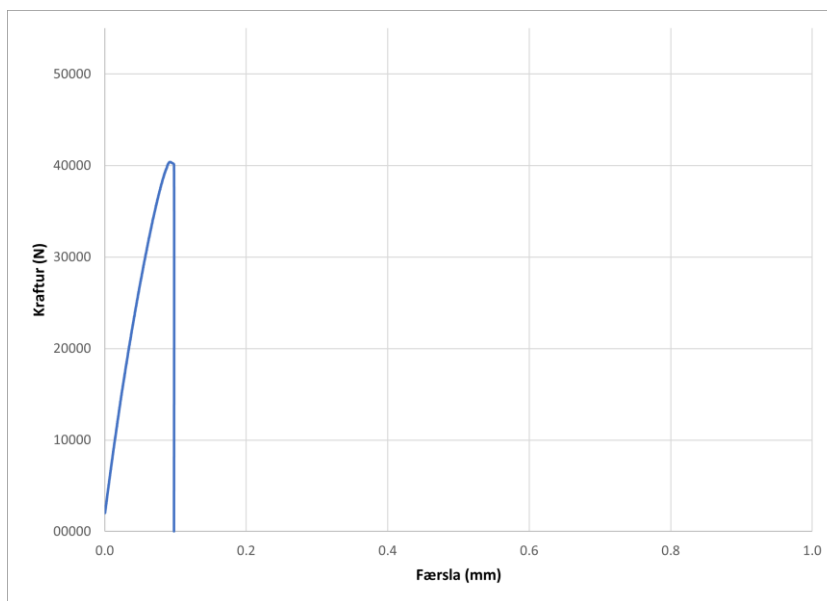


**4.1.7.1 Beygjutogstyrkur í sýni 1.**

Hámarksálag á þetta sýni fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

**Tafla 32. Hámarksálag fyrir brot BT 8/16\_12 sýni 1.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
40400	5.39 N/mm <sup>2</sup>



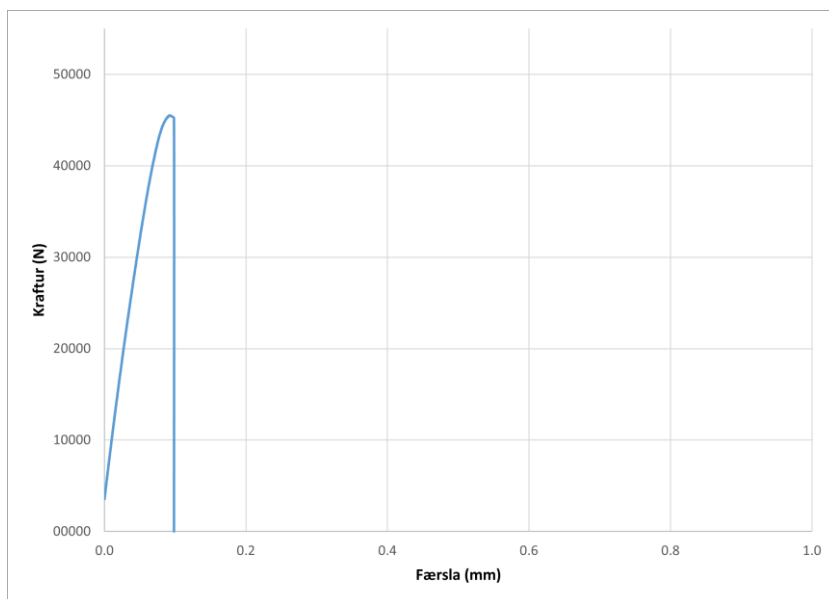
**Mynd 47. BT 8/16\_12 sýni 1.**

### 4.1.7.2 Beygjutogstyrkur í sýni 2

Hámarksálag á þetta sýni fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

**Tafla 33. Hámarksálag fyrir brot BT 8/16\_12 sýni 2.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
45500	6,07 N/mm <sup>2</sup>



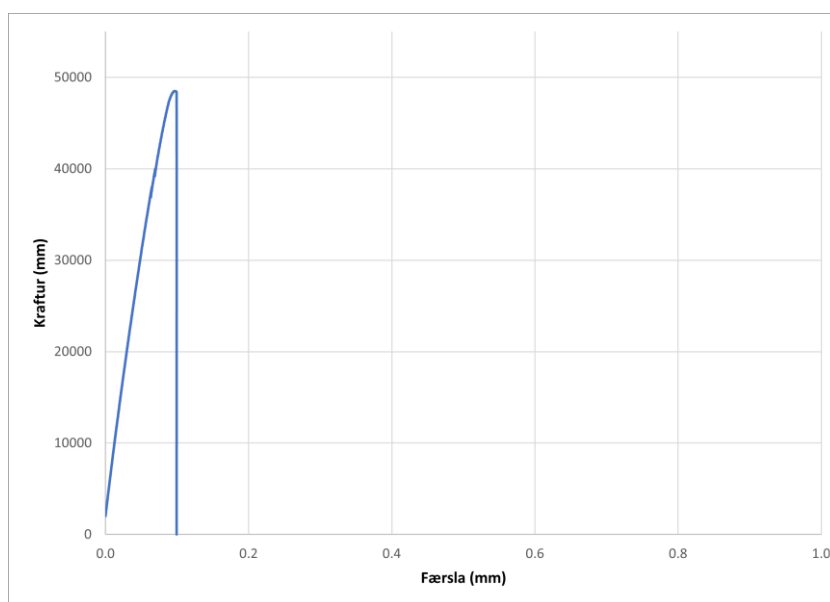
**Mynd 48. BT 8/16\_12 sýni 2.**

#### 4.1.7.3 Beygjutogstyrkur í sýni 3

Hámarksálag á þetta sýni fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

**Tafla 34. Hámarksálag fyrir brot BT 8/16\_12 sýni 3.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
48500	6,47 N/mm <sup>2</sup>



**Mynd 49. BT 8/16\_12 sýni 3.**

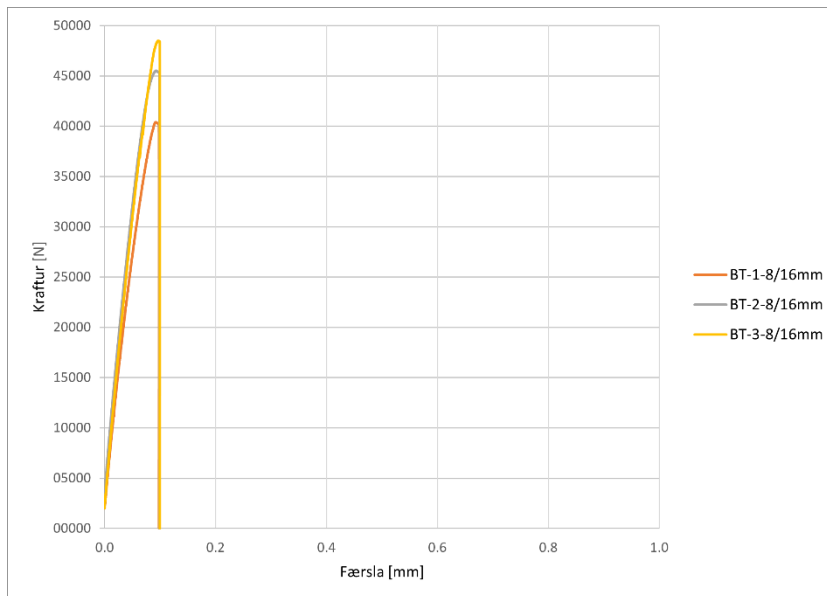
**4.1.7.4 Samanburður á beygjutogstyrk í öllum sýnum.**

Hámarksálag fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

**Tafla 35. Samanburður á hámarksálagi ( $P_{ult}$ ) fyrir brot BT 8/16\_12.**

	$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$	
$P_{ult,1}$ (N)	40400	5,39	N/mm <sup>2</sup>
$P_{ult,2}$ (N)	45500	6,07	N/mm <sup>2</sup>
$P_{ult,3}$ (N)	48500	6,47	N/mm <sup>2</sup>
$P_{ult,av}$ (N)	44800	5,97	N/mm <sup>2</sup>

Í beinum samanburði sést að munur á milli mesta 6,47N/mm<sup>2</sup> og minnsta beygjutogstyrks 5.39N/mm<sup>2</sup> er 20%.



**Mynd 50. BT 8/16\_12 Samanburður allra sýna.**

#### 4.1.8 Basalttex BCS17-25.4-KV1 12kg/m<sup>3</sup> í C50/60XC1-S4-0/8 steypu.

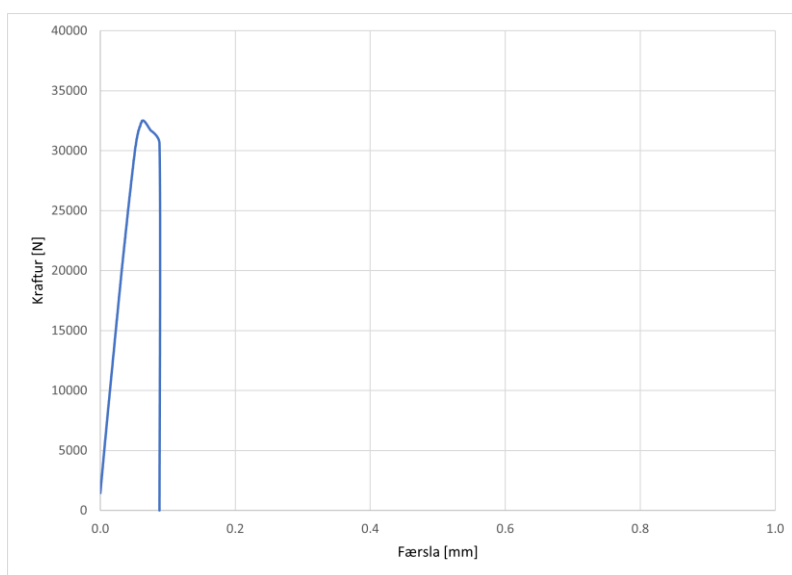
Í kaflanum er gerð grein fyrir niðurstöðum prófana á Basalttex BCS17-25.4-KV1 í skammtastærð 12kg/m<sup>3</sup> í C50/60XC1-S4-0/8 steypu. Sama vandamál reyndist vera um að ræða hér, ekki reyndist unnt að reikna styrkleifar í neinu tilviki þar sem öll sýnin brotnuðu í tvennt áður en færsla náði 0,5mm. Einungis er því gerð grein fyrir beygjutogstyrk  $f_{ult}$  og og hámarksálagi,  $P_{ult}$ , í hverju sýni fyrir sig og niðurstöður bornar saman í lokin.

4.1.8.1 Beygjutogstyrkur í sýni 1.

Beygjutogstyrkur fyrir þetta sýni fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

Tafla 36. Hámarksálag fyrir brot BT 0/8\_12 sýni 1.

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
32500	4,33 N/mm <sup>2</sup>



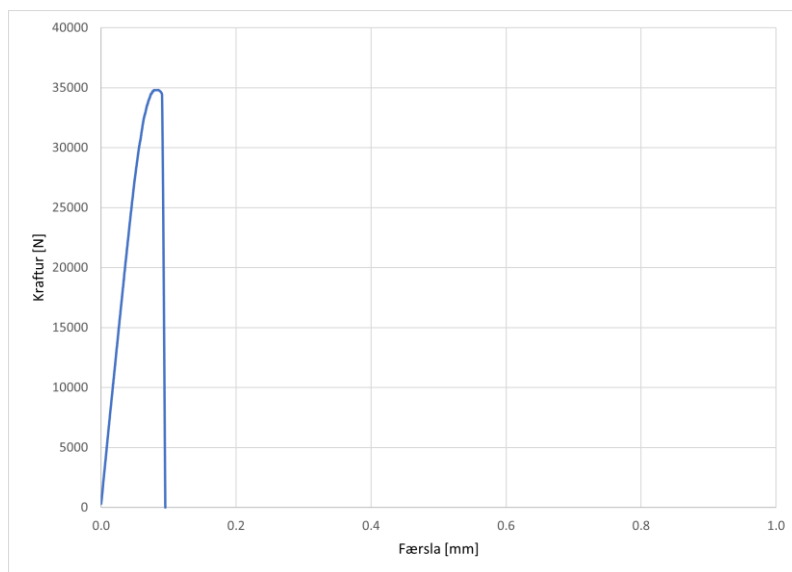
Mynd 51 BT 0/8\_12 sýni 1.

**4.1.8.2 Beygjutogstyrkur í sýni 2.**

Beygjutogstyrkur fyrir þetta sýni fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

**Tafla 37. Hámarksálag fyrir brot BT 0/8\_12 sýni 2.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
34800	4,67 N/mm <sup>2</sup>

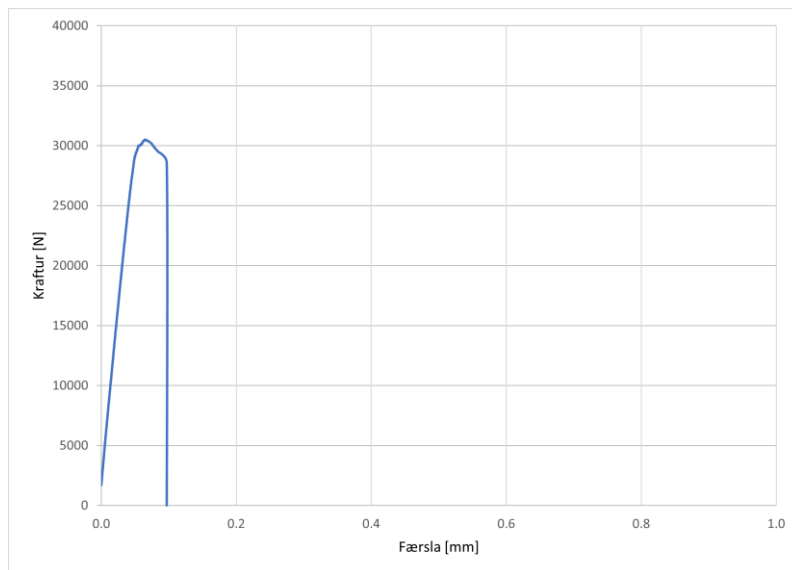
**Mynd 52 BT 0/8\_12 sýni 2.**

**4.1.8.3 Beygjutogstyrkur í sýni 3.**

Beygjutogstyrkur fyrir þetta sýni fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

**Tafla 38. Hámarksálag fyrir brot BT 0/8\_12 sýni 3.**

$P_{ult}$ (N)	$f_{ult}$
30500	4,07 N/mm <sup>2</sup>

**Mynd 53. BT 0/8\_12 sýni 3.**

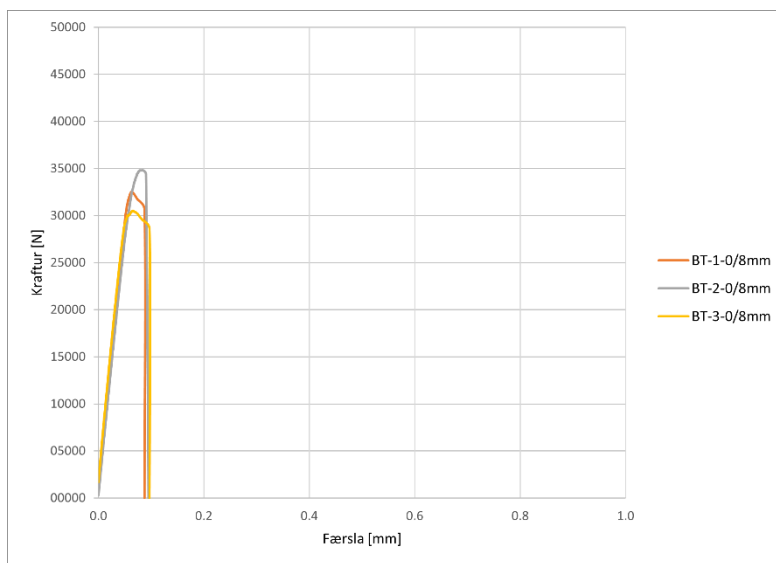


**4.1.8.4 Samanburður á beygjutogstyrk í öllum sýnum.**

Beygjutogstyrkur fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu.

**Tafla 39. Samanburður á hámarksálagi ( $P_{ult}$ ) fyrir brot BT 0/8\_12.**

f <sub>ult</sub>			
$P_{ult,1}$ (N)	32500	4,33	N/mm <sup>2</sup>
$P_{ult,2}$ (N)	34800	4,67	N/mm <sup>2</sup>
$P_{ult,3}$ (N)	30500	4,07	N/mm <sup>2</sup>
$P_{ult,av}$ (N)	32600	4,35	N/mm <sup>2</sup>



**Mynd 54. BT 0/8\_12 Samanburður allra sýna.**

**4.1.9 Samanburður á Basalttex BCS17-25.4-KV1 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-S2-8/16 og C50/60XC1-S4-0/8 steypu.**

Ef bornar eru saman töflur 35 og 39 kemur bersýnilega í ljós að umtalsverður munur er á hvað varðar beygjutogstyrk. Álykta má sem svo að sementsmagn hafi minni áhrif á beygjutogstyrk en kornastærð steypunnar.

**Tafla 40. Samanburður á beygjutogstyrk Basalttex BCS17-25.4-KV1.**

	C30/37:XC1-S2-8/16		C50/60XC1-S4-0/8			
		$f_{ult}$		$f_{ult}$		Mism.%
$P_{ult,1}$ (N)	40400	5,39	32500	4,33	N/mm <sup>2</sup>	24
$P_{ult,2}$ (N)	45500	6,07	34800	4,67	N/mm <sup>2</sup>	30
$P_{ult,3}$ (N)	48500	6,47	30500	4,07	N/mm <sup>2</sup>	59
$P_{ult,av}$ (N)	44800	5,97	32600	4,35	N/mm <sup>2</sup>	37

## 5 Mat á niðurstöðum

---

Eins og segir í upphafi ritgerðarinnar þá verður leitast við að svara eftirfarandi spurningum:

- Hver eru áhrif mismunandi trefjagerða á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu.
- Hver eru áhrif skammtastærða basalttrefja á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu.
- Hver eru áhrif mismunandi kornastærða steinefna á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu.

### Samantekt.

#### Hver eru áhrif mismunandi trefjagerða á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ?

Til umfjöllunar eru kafli 4.1.2 “Reforcetech Minibars  $12\text{kg}/\text{m}^3$  í C30/37:XC1-8/16 steypu” og kafli 4.1.7 “Basalttex BCS17-25.4-KV1  $12\text{kg}/\text{m}^3$  í C30/37XC1-8/16 steypu”.

Eins og kemur fram í kafla 3.1 eru trefjarnar sem notaðar voru í rannsókninni tvennskonar. Annarsvegar er um að ræða Reforcetech Minibar sem er stíf basalttrefjastöng. Þvermál hennar er 0,72 mm og lengd 50 mm. Basaltþræðirnir eru snúnir saman og blandaðir með vinylester plastefni og þar af leiðandi er það snúið (undið) yfirborð sem veldur betri bindingu við steinsteypuna og eykur styrk gagnvart útdrátt. Hins vegar eru trefjar frá Basaltex sem notaðar eru í rannsókninni. Þær eru mjúkar viðkomu, samsettar úr örfínnum þráðum í knippi sem eru örlítið stíft en mýkist þegar þau eru meðhöndluð og brotin í sundur. Þessar trefjar eru um 30 mm að lengd með flatt þversnið. Efniseiginleikar beggja trefjagerðanna eru taldir upp í töflu 3. Í rannsóknina var notuð C30/37:SC1-8/16 steypa. Í kaflanum er gerð grein fyrir og ályktað um niðurstöður prófana á Basalttex BCS17-25.4-KV1 og Reforcetech Minibars, skammtastærð  $12\text{kg}/\text{m}^3$  í C30/37XC1-8/16 steypu. Ekki reyndist unnt að reikna styrkleifar í neinu tilviki fyrir Basalttex BCS17-25.4-KV1 þar sem öll sýnin brotnuðu í tvennt áður en færsla náði 0,5mm. Einungis er því gerð grein fyrir

beygjutogstyrk  $f_{ult}$  og hámarksálagi,  $P_{ult}$ , í hverju sýni fyrir sig. Í tilvikum Reforcetech Minibars þá reyndist sú tilraun gefa skýrari mynd af því hvernig trefjarnar juku í reynd beygjutogstyrk steypunnar. Frávik frá mesta og minnsta álagi,  $P_{ult}$ , reyndist vera um 4%.

**5.1.1.1 Mat á niðurstöðu um áhrif mismunandi trefjagerða á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu.**

Í tölulegum samanburði er ljóst að ekki er hægt að bera Basalttex BCS17-25.4-KV1 við Reforcetech Minibars varðandi styrkleif eftir brot þar sem bitar með fyrrnefndu trefjunum brotnuðu í tvo hluta við hámarksálag,  $P_{ult}$  og því ekki unnt að reikna styrkleifar þeirra bita. Í bitum með RFT trefjum var unnt að reikna styrkleifar að einhverju leyti. Áhugavert er að sjá hversu mikinn styrk bitinn hefur eftir “brot” við  $P_{ult}$ , eða um tæp 70% við eins millimeters færslu bita og 50% styrk við tveggja millimeters færslu bitans.

**Tafla 41. 8/16\_12 Samanburður styrkleifa og hámarksbeygjuþols.**

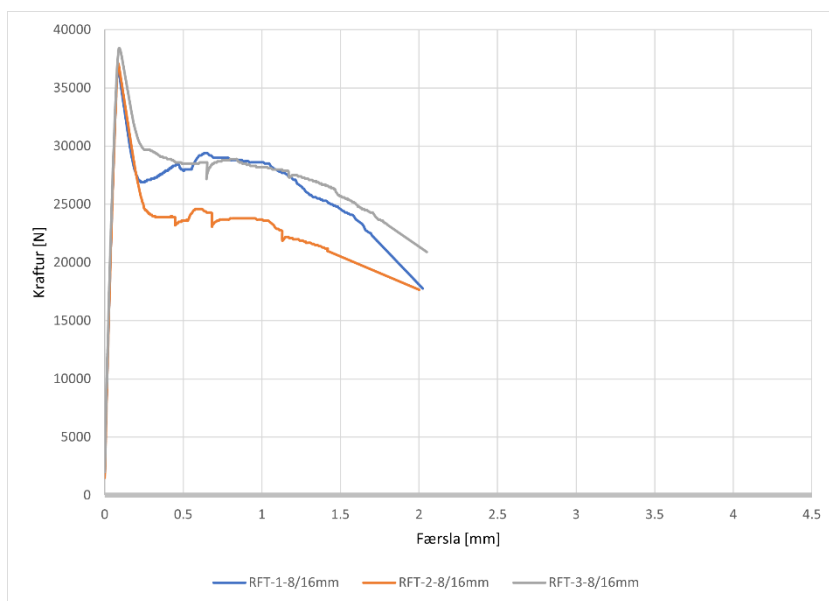
Styrkleif (fr)		Hlutf. %		
$fr_1$	0.5-1	<b>3,48</b>	N/mm <sup>2</sup>	<b>70</b>
$fr_2$	0.5-2	<b>2,50</b>	N/mm <sup>2</sup>	<b>50</b>
$fr_4$	0.5-4	-		<b>N/A</b>
$fr_{ult}$		<b>5,0</b>	N/mm <sup>2</sup>	<b>100</b>

Það er hinsvegar greinilegt að Basalttex BCS17-25.4-KV1 trefjarnar hafa töluverða yfirburði hvað varðar beygjutogstyrk, öll sýnin sem innihéldu þessar trefjar eru allmikið yfir gildum Reforcetech Minibars trefjanna og munar allt að 21% á hæsta og lægsta gildi fyrir beygjutogstyrk milli trefjagerða, Reforcetech Minibars í óhag. Sjá töflu 42.

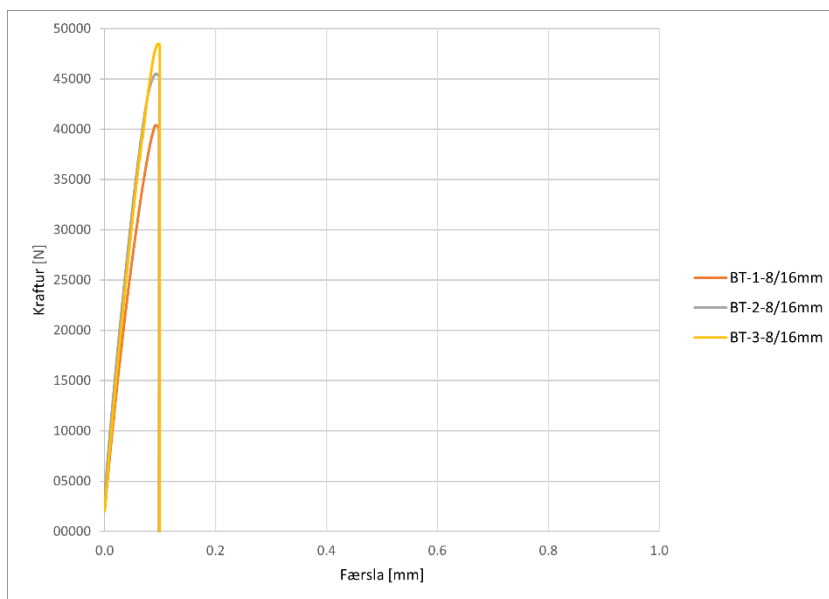
**Tafla 42. Samanburður beygjutogstyrks,  $f_{ult}$ , beggja trefjagerða við hámarksálag ( $P_{ult}$ ).**

Basalttex BCS17-25.4-KV1		Reforcetech Minibars		
$P_{ult}$ , (N)	$f_{ult}$ N/mm <sup>2</sup>	$P_{ult}$ , (N)	$f_{ult}$ N/mm <sup>2</sup>	Hlutf. %

1	40400	5.39	36900	4,92	91
2	45500	6,07	37100	4,95	81,5
3	48500	6,47	38400	5,12	79



**Mynd 55. RFT 8/16\_12 í C30/37:SC1-8/16.**



**Mynd 56. BT 8/16\_12 í C30/37:SC1-8/16.**

Af myndum 55 og 56 má draga fram þá ályktun að lengd trefja hafi verulega áhrif á beygjutogstyrk þar sem lengri trefjar hafa meiri styrkleif en styttri trefjar. Styttri trefja halda hinsvegar 9-21% lengur en lengri trefjar. Í ljósi þess sem niðurstöður þessara tilrauna hafa leitt í ljós má áætla að Basalttex BCS17-25.4-KV1 henti ekki til íblöndunar í steinsteypu til að auka beygjutogstyrk hennar.

**Hver eru áhrif mismunandi skammtastærða basalttrefja á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu ?**

Til umfjöllunar eru kafli 4.1.2 "*Reforcetech Minibars 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu*" og kafli 4.1.5 "*Reforcetech Minibars 16kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu*" og undirkafla.

Í kaflanum er gerð grein fyrir og ályktað um niðurstöður prófana á Reforcetech Minibars, skammtastærð 12 kg/m<sup>3</sup> og 16 kg/m<sup>3</sup> í C30/37XC1-8/16 steypu.

Um er að ræða Reforcetech Minibar sem er stíf basalttrefjastöng. Þvermál hennar er 0,72 mm og lengd 50 mm. Basaltþræðirnir eru snúnir saman og blandaðir með vinylester plastefni og þar af leiðandi er það snúið (undið) yfirborð sem veldur betri tengingu við steinsteypuna og eykur styrk gagnvart útdrátt. Efniseiginleikar trefjanna eru taldar upp í töflu 3 og í viðauka B.

### 5.1.1.2 Mat á niðurstöðu um áhrif mismunndi skammtastærða basalttrefja á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu.

Í samanburði þessara tilrauna er ljóst að skammtastærðir trefja í steypuna virðast hafa minni áhrif en ætla mætti, því þegar bornar eru saman styrkleifar allra sýnanna þá er munurinn í raun umtalsvert minni en amk höfundur hafði getið sér til um. Þó er það þannig að niðurstaðan er jákvæð (hærri gildi) fyrir sýnin þar sem notaðar voru 16 kg/m<sup>3</sup> af trefjum á móti 12 kg/m<sup>3</sup> þegar litið er til styrkleifa en hinsvegar er  $f_{ult}$  gildið lítillega lægra fyrir 16 kg/m<sup>3</sup> sýnin en þar er trúlega um að ræða eðlilega skekkju í prófununum úr því önnur gildi eru öll hærri fyrir 16 kg/m<sup>3</sup> sýnin.

**Tafla 43. Samanburður styrkleifa og beygjutogstyrks miðað við tvennskonar skammtastærðir.**

Styrkleif (fr)	12 kg/m <sup>3</sup>	16 kg/m <sup>3</sup>
	N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>
$f_{r1}$	3,48	3.73
$f_{r2}$	2,50	2.80
$f_{r4}$	-	1,10
$f_{ult}$	5,0	4,8

**Tafla 44. Samanburður beygjutogstyrks,  $f_{ult}$ , við hámarksálag ( $P_{ult}$ ).**

Reforcetech Minibars 12kg/m <sup>3</sup>		Reforcetech Minibars 16kg/m <sup>3</sup>		Hlutf. %	
	$P_{ult}$ , (N)	$f_{ult}$ N/mm <sup>2</sup>	$P_{ult}$ , (N)		$f_{ult}$ N/mm <sup>2</sup>
1	36900	4,92	29300	3,91	79
2	37100	4,95	38300	5,11	103
3	38400	5,12	40300	5,31	104

Í ljósi þess sem niðurstöður þessara tilrauna hafa leitt í ljós má áætla að aukið magn trefja í steypu hafi ekki þau áhrif sem ætla mætti. Þrátt fyrir að bætt hafi verið við 25% meira af trefjum (12->16 kg/m<sup>3</sup>) þá sýna gildin ekki þá aukningu með greinilegum hætti.

Af þessu má álykta að breytilegar skammtastærðir trefja hafi minni áhrif en lengd og sverleiki þeirra.



**Hver eru áhrif tveggja ólíkra steypublandna á beygjutogstyrk  
basalttrefjabundinnar steinsteypu ?**

Til umfjöllunar er um að ræða kafla 4.1.2 “*Reforcetech Minibars 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37:XC1-8/16 steypu*” og kafla 4.1.3 “*Reforcetech Minibars 12kg/m<sup>3</sup> í C50/60XC1-S4-0/8 steypu*” og undirkafla.

Einnig er fjallað um kafla 4.1.7 “*Basalttex BCS17-25.4-KV1 12kg/m<sup>3</sup> í C30/37XC1-8/16 steypu*” og kafla 4.1.8 “*Basalttex BCS17-25.4-KV1 12kg/m<sup>3</sup> í C50/60XC1-S4-0/8 steypu*” ásamt undirköflum

Í kaflanum er gerð grein fyrir og ályktað um niðurstöðum prófana á *Reforcetech Minibars* í C30/37:XC1-S2-8/16 steypu og *Basalttex BCS17-25.4-KV1* í C50/60XC1-S4-0/8 steypu. Skammtastærð í báðum tilfellum er 12kg/m<sup>3</sup>

### 5.1.1.3 Mat á niðurstöðu um áhrif tveggja ólíkra steypublandna á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu með Reforcetech Minibars trefjum.

Í samanburði þessara tilrauna er ljóst að ólíkar steypublöndur með ólíkum kornastærðum steinefna og mismiklu sementi, hafa ekki þau áhrif að beygjutogstyrk steypunnar aukist með auknu sementsmagni, heldur virðist kornastærð steinefna hafa meiri áhrif á beygjutogstyrk steypunnar. Sé litið til töflu 45 þá sést að steypan með 8/16 steinefninu gefur hærra gildi á styrkleifna en 0/8 steypan, sem inniheldur þó umtalsvert meira sement eða  $500\text{kg/m}^3$  á móti  $350\text{kg/m}^3$ .

**Tafla 45. Samanburður á styrkleif milli ólíkra steypublandna.**

Styrkleif (fr)	C30/37:XC1-S2-8/16	C50/60XC1-S4-0/8
$f_{r1}$	3,48	3,13
$f_{r2}$	2,50	2,12
$f_{r4}$	-	1,10

Hvað varðar beygjutogstyrk beggja gerðanna þá hefur grófari steypan með 8/16 steinefninu vinninginn í samanburði við 0/8 steypunna þó munurinn sé ekki mikill þar á milli. Sjá töflu 46.

**Tafla 46. Samanburður á  $P_{ult\ av}$  og  $f_{ult}$  milli tveggja ólíkra steypublandna.**

	$P_{ult\ av}$ (N)	$f_{ult\ av}$ N/mm <sup>2</sup>
C30/37:XC1-S2-8/16	37467	5,00
C50/60XC1-S4-0/8	34233	4,56

**5.1.1.4 Mat á niðurstöðu um áhrif tveggja ólíkra steypublandna á beygjutogstyrk basalttrefjabundinnar steinsteypu með Basalttex BCS17-25.4-KV1 trefjum.**

Ekki reyndist unnt að reikna styrkleifar í neinu tilviki fyrir Basalttex BCS17-25.4-KV1 þar sem öll sýnin brotnuðu í tvennt áður en færsla náði 0,5mm. Einungis er því gerð grein fyrir beygjutogstyrk  $f_{ult}$  og hámarksálagi,  $P_{ult}$ , í hverju sýni fyrir sig.

Hámarksálag fyrir brot var reiknað s.k.v. jöfnu 3, sjá töflu 47.

**Tafla 47. Samanburður á hámarksálagi ( $P_{ult}$ ) fyrir brot.**

BT í C50/60XC1-S4-0/8				BT í C30/37:XC1-S2-8/16			
	(N)		N/mm <sup>2</sup>		(N)		N/mm <sup>2</sup>
$P_{ult,1}$	3250	$f_{ult 1}$	4,33	$P_{ult,1}$	40400	$f_{ult 1}$	5.39
	0						
$P_{ult,2}$	3480	$f_{ult 2}$	4,67	$P_{ult,2}$	45500	$f_{ult 2}$	6,07
	0						
$P_{ult,3}$	3050	$f_{ult 3}$	4,07	$P_{ult,3}$	48500	$f_{ult 3}$	6,47
	0						
$P_{ult,av}$	3260	$f_{ult av}$	4,35	$P_{ult,av}$	44800	$f_{ult av}$	5,97
	0						

### Niðurstöður

Geta trefjanna, sem notaðar voru í rannsóknina, til að bæta beygjutogstyrks eiginleika steypunnar í verkefninu voru umtalsvert mismunandi. Hér á eftir eru er stutt samantekt á kostum og göllum hvorrar trefjategundar fyrir sig og samanburður.

#### Basalttex BCS17-25.4-KV1

Basalttex BCS17-25.4-KV1 trefjarnar gáfu ekki góðar niðurstöður þegar kom að beygjutogstyrk og styrkleif þar sem styrkleifin var engin, en hinsvegar er hámarkstogstyrkur bita með þessari gerð trefja meiri en með Reforcetech Minibars trefjunum.

Einnig verður að hafa í huga að þessi gerð trefja hafði mikil og neikvæð áhrif á vinnanleika steypunnar en eins og fram kemur hér frammar í verkefninu þá virtist vera að vinnanleikinn minnkaði hratt, þ.e.a.s. steypan hætti nánast að flæða þegar trefjunum var blandað saman við steypublönduna. Mögulega mætti koma í veg fyrir að þetta gerist með því að leggja trefjarnar í bleyti áður en þeim er blandað við steypuna.

Basalttex BCS17-25.4-KV1 trefjarnar bæta ekki við þá eiginleika steypunnar sem ætlast er til af trefjum í steypu, aukið sveigjutogþol bitans samfara blöndun þessara trefja er ekki fyrir hendi þar sem þessi gerð er notuð. [47] [48]

#### Reforcetech Minibars

Reforcetech Minibars trefjarnar sem notaðar voru í rannsókninni gáfu betri niðurstöður heilt yfir séð. Það ber þó að hafa í huga að rannsóknin telst ekki fullnægjandi þar sem ekki náðist að keyra prófin nægilega langt til að hægt væri að reikna öll þrjú stig styrkleifanna. Þrátt fyrir þann ágalla þá er ljóst að þessi trefjagerð gerir það sem til er ætlast þegar trefjum er blandað í steypu, þ.e.a.s. bætir við beygjutogstyrks eiginleika í steypunni. Þessi trefjagerð hafði lítil áhrif á vinnanleika steypunnar við niðurlögn. Áhugavert er að sjá að kornastærð steypunnar virðist hafa meiri áhrif á styrkleifar sýnanna í tilfelli þessara trefja en styrkur (sementsmagn) steypunnar, en líkleg ástæða þess er sú að skeytilengd trefjanna er meiri en í trefjunum sem voru til samanburðar. Rannsóknarniðurstöður sambærilegra tilrauna styðja niðurstöður þessara rannsókna að þessu leyti. (47) (48)

Samantekið má segja að rannsóknin á beygjutogstyrk á þessum trefjagerðum í mismunandi steypuböndum gefi nokkuð afgerandi niðurstöður. Tilgangur íblöndunar trefja í steypu er meðal annars til að auka sveigjutogþol steinsteypunnar en í þessari rannsókn kemur í ljós að það er einungis önnur trefjagerðin sem gerir það. Það sem veur athygli er að aukið sementsmagn í steypublöndunum virðist ekki bæta beygjutogstyrk í steypu en hinsvegar eru áhrif kornastærðar steinefna umtalsverð þar sem 8/16mm kornastærð gefa betri niðurstöður en 0/8mm.

### **Framhaldsrannsóknir**

Verulega áhugavert væri að rannsaka enn frekar þessar gerðir trefja, mögulega í öðrum stærðum og með öðrum kornastærðum. Markmið þeirra tilrauna væri að leiða okkur í þá átt að minnka sementsmagn í sprautusteypu en láta steinefnin og trefjarnar bæta við þá eiginleika steypunnar sem minnka við minna sementsmagn. Slík rannsókn gæti nýst fjölmörgum aðilum í sinni baráttu við lækkun kolefnisspors í sínum rekstri.

Einnig væri áhugavert að skoða betur endurvinnslueiginleika basalttrefjabundinnar steinsteypu sem steinefni í ferska steypublöndu. Að sýna fram á að steypa geti verið margnota efni væri stórt skref í átt að sjálfbærri þróun í steinsteypuframleiðslu.

## 6 Heimildaskrá

---

### Heimildaskrá

- Haraldur Ásgeirsson - Elísabet Haraldsdóttir, Ragnheiður Haraldsdóttir, Ásgeir Haraldsson, Einar Kristján Haraldsson.** *Haraldur Ásgeirsson - Glampar af gengnum vegi.* Reykjavík : Elísabet, Ragnheiður, Ásgeir, Einar Kristján Haraldarbörn., 2020.
- 10th MATBUD'2023 Scientific-Technical Conference. Katarzyna Mróz, Tomasz Tracz, Tomasz Zdeb, Izabela Hager.** Krakow : s.n., 2023. 10th MATBUD'2023 Scientific-Technical Conference.
- auðlindaráðuneytið, Umhverfis- og Úr viðjum plastsins - Aðgerðaráætlun í plasmálefnum.** Reykjavík : Umhverfis- og auðlindaráðuneytið, 2020.
- Flexural Performance of Chopped Basalt Fiber Reinforced Concrete Beams. B. L. Olafsson, G. J. Einarsson, E. R. Thorhallsson.** Cracow, Poland : s.n., 2023. 10th MATBUD'2023 Scientific-Technical Conference.
- Guðmundsson, Dr. Guðmundur.** *Alkalívirgni steinsteypu. Saga alkalíranssóknna á Íslandi.* Reykjavík : Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins Steinsteypunefnd, 2007.
- Pétursson, Birgir.** *Standard FA sement á Íslandi - Sement með flugösku sem aðaláuka, áhrif hennar og aðrir þættir.* Reykjavík : Háskóli Íslands, 2017.
- 544, ACI Committee.** *Guide to Design with Fiber-Reinforced concrete.* Farmington Hills : American Concrete Institute, 2018.
- 104, CEN/TC.** *Testing sprayed concrete - Part 3: Flexural strengths (first peak, ultimate and residual) of fibre reinforced beam specimens.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2006.
- Íslands, Staðfestur af Staðlaráði.** *Steinsteypa – Tæknilýsing, eiginleikar, framleiðsla og*

*samræmi*. Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2013.

10. **Jónsson, Jóhann Ingi**. *Áhrif mismunandi basalttreffa á beygjutogþol sprautusteypu og samanburður við þekktar lausnir, stáltreffjar og plastreffjar*. Reykjavík : Háskólinn í Reykjavík, Iðn og tæknifræðideild., 2020.

11. **Einarsson, Guðbjartur Jón**. *Um notkun treffa í burðarkerfi veðrunarkápu forsteypra útveggjaeining*. Reykjavík : Háskólinn í Reykjavík, Tækni- og verkfræðideild, 2005.

12. *Use of basalt fibers for concrete structures*., **Cory High, Hatem M. Seliem, Adel El-Safty, Sami H. Rizkalla**. 0950-0618, s.l. :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950061815301653>, 2015, Construction and Building Materials, Vol. 96, pp. 37-46.

13. *Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete*. **Chaohua Jiang, Ke Fan, Fei Wu, Da Chen**. 0261-3069, 2014, Materials & Design, Vol. 58, pp. 187-193.

14. **Steven H. Kosmatka, Michelle L. Wilson**. *Design and Control of Concrete Mixtures. The guide to applications, methods, and materials FIFTEENTH EDITION*. Skokie, Illinois : PCA Portland cement association, 2011.

15. **byggingariðnaðarins, Rannsóknarstofnun**. *Steinsteyp - Gerð og eiginleikar*. Reykjavík : Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, 2006.

16. **Wallevik, DR. Jón E**. *Stöðuleiki og seigjustýring steinsteypu* . Reykjavík : Nýsköpunarmiðstöð Íslands, 2012.

17. **Wallevik, Dr. Ólafur H, et al**. *Slitþolin hástyrkleikasteypa - 50 mm lag á brýr – þróun og blöndun*. Reykjavík : Nýsköpunarmiðstöð Íslands, 2021.

18. **Ásgeirsson, Haraldur**. *Léttsteypur úr vikri*. Reykjavík : Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, 1984.

19. **Jónsson, Birgir**. *Stíflur úr þjappaðri þurrsteypu (hnoðsteypu) (RCC-DAMS), Roller Compacted Concreta Dams*). Reykjavík : Orkustofnun, 1993.

20. **Iversen, Karsten**. *Hraðarar í sprautusteypu*. Reykjavík : Mannvit verkfræðistofa,

2009.

21. **Pétur Pétursson, Gunnar Bjarnason.** Efnisgæðaritið - Efnisrannsóknir og efniskröfur - Kaffli 7: Steinsteypa. *Efnisgæðarit Vegagerðarinnar*. Reykjavík : Vegagerðin, 2022, p. 50.

22. **Syed Minhaj Saleem Kazmi, Muhammad Junaid Munir, Yu-Fei Wu.** Recycled aggregate concrete: mechanical and durability performance. *Handbook of Sustainable Concrete and Industrial Waste Management*. s.l. : Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering, 2022, pp. 211-217.

23. **Ali Nazari, Jay G. Sanjayan.** *Handbook of low carbon concrete*. Hawthorn : Butterworth-Heinemann, 2017.

24. **Sigurðsson, Gunnar H.** sement.is. [Online] Sementsverksmiðjan. [Cited: 5 1, 2023.] <https://www.sement.is/sagan>.

25. **Andrússon, Kristján.** *Frostþol ungrar steypu*. Reykjavík : Háskóli Íslands. Verkfræði- og náttúruvísindasvið - Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, 2015.

26. **Per Jahren, Tongbo Sui.** Worldscientific. [Online] 6 6, 2016. [Cited: 04 30, 2023.] [https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9789813145740\\_0001](https://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9789813145740_0001).

27. **Gibson, Dan.** nabataea.net. [Online] 2023. [Cited: 04 15, 2023.] <https://nabataea.net/explore/history/cement/>.

28. **Nick Gromicko, Kenton Shepard.** <https://www.nachi.org/>. [Online] The International Association of Certified Home Inspectors – InterNACHI, 09 2011. [Cited: 04 10, 2023.] <https://www.nachi.org/history-of-concrete.htm>.

29. **Fernando Pacheco-Torgal, Robert Melchers, Xianming Shi, Nele de Belie, Kim Van Tittelboom, Andres Saez Perez.** *Eco-efficient Repair and Rehabilitation of Concrete Infrastructures*. s.l. : Woodhead Publishing, 2017.

30. **Hafsteinsson, Guðmundur L.** Garðar á Akranesi. [Online] 5 12, 2014. [Cited: 5 1, 2023.] <http://visindavefur.is/svar.php?id=66972>.

31. **Bergsveinsdóttir, Guðrún.** *Sveinatunga í Norðurárdal*. Héraðsskjalasafni Borgarfjarðar, s.l. : 2019.



32. Ólafsson, Hákon. Steinsteypa og rannsóknir á Íslandi. *Sigmál.* 10 1, 2021, pp. 8-10.
33. <https://en.wikipedia.org>. [Online]  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Natural\\_History\\_\(Pliny\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_History_(Pliny)).
34. *The IUGS systematics of igneous rocks*. Le Bas, M.J., & Streckeisen, A. 1991, *Journal of the Geological Society*, Vol. 148, pp. 825 - 833.
35. *The origin of the term 'basalt'*. Olaf Tietz, Joerg Büchner. 4, 2018, *Journal of Geosciences*, Vol. 63, pp. 295-298.
36. contributors, Wikipedia. Joseph-Louis Lambot. [Online] Wikipedia, The Free Encyclopedia, 11 17, 2021. [Cited: 05 01, 2023.]  
[https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Joseph-Louis\\_Lambot&oldid=1055787129](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Joseph-Louis_Lambot&oldid=1055787129).
37. *Fiber Reinforcement for Concrete*. Naaman, Antoine E. 3, 1985, *Concrete International journal*, Vol. 7, pp. 21-25.
38. *State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*. 544, ACI Committee. 11, 1973, *Journal Proceedings*, Vol. 70, pp. 729-744.
39. *Fiber-reinforced concrete: an overview after 30 years of development*. Zollo, Ronald F. 2, 1997, *Cement and Concrete Composites*, Vol. 19, pp. 102-122.
40. Fiber reinforced concrete - Types, properties and advantages of fiber reinforced concrete. [Online] The construction encyclopedia. [Cited: 05 01, 2023.]  
<https://theconstructor.org/concrete/fiber-reinforced-concrete/150/>.
41. *Basalt Fibers as New Material for Reinforcement and Confinement of Concrete*. Thorhallsson, Eythor Rafn, Jónas Thór Snaebjornsson. 2016, *Solid State Phenomena.*, Vol. 249, pp. 79-84.
42. *Properties of eco-friendly basalt fibre reinforced concrete designed by Taguchi method*. Li Gao, Adeyemi Adesina, Sreekanta Das. 0950-0618, 2021, *Construction and Building Materials*, Vol. 302.
43. *High alkali-resistant basalt fiber for reinforcing concrete*. Ya.V. Lipatov, S.I.

- Gutnikov, M.S. Manylov, E.S. Zhukovskaya, B.I. Lazoryak. 0261-3069, 2015, *Materials & Design*, Vol. 73, pp. 60-66.
44. *Continuous basalt fibers: production aspects and simulation of forming processes. I. State of the art in continuous basalt fiber technologies.* Ivanitskii, S.G. Gorbachev, G. F. 3, 2011, *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 50, pp. 3-9.
45. *Rannsóknir á alkalívirgni íslenskra steypufylliefna.* Guðmundsson, Guðmundur. 1974, Tímarit VFÍ, pp. 54-59.
46. 154, CEN/TC. *Fylliefni í steinsteypu.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2008.
47. *The Effects of Fiber Length and Volume on Material Properties and Crack Resistance of Basalt Fiber Reinforced Concrete (BFRC).* Wang, Xinzhong. He, Jun. Li, Chuanxi. Xin, Haohui. 2019, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2019, p. 17.
48. *Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete.* Chaohua Jiang, Ke Fan, Fei Wu, Da Chen., 0261-3069, 2014, *Materials & Design*, Vol. 58, pp. 187-193.
49. 250, CEN/TC. ÍST EN 1992-1-1:2004. Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2005.
50. *Materials*, American Society of Testing and. *ASTM C1609 / C1609M.* s.l. : American Society of Testing and Materials, 2006.
51. 51, CEN/TC. *Sement - Hluti 1: Samsetning, eiginleikar og samræmiskröfur fyrir venjulegt sement.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2011.
52. 104, CEN/TC. *Testing hardened concrete - Part 4: Compressive strength - Specification for testing machines.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2019.
53. —. *Testing concrete in structures - Part 1: Cored specimens - Taking, examining and testing in compression.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2019.
54. —. *Sprayed concrete - Part 1: Definitions, specifications and conformity.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2022.
55. —. *Sprayed concrete - Part 2: Execution.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2006.

56. —. *Testing sprayed concrete - Sampling fresh and hardened concrete.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2005.
57. —. *Testing sprayed concrete - Part 2: Compressive strength of young sprayed concrete.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2006.
58. —. *Testing sprayed concrete - Part 4: Bond strength of cores by direct tension.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2008.
59. —. *Testing sprayed concrete - Part 5: Determination of energy absorption capacity of fibre reinforced slab specimens.* 2006 : Staðlaráð Íslands, 2006.
60. —. *Testing sprayed concrete - Part 6: Thickness of concrete on a substrate.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2006.
61. —. *Testing sprayed concrete - Part 7: Fibre content of fibre reinforced concrete.* Reykjavík : Staðlaráð Íslands, 2006.
62. *Preliminary Study of Melting Basalt Rock As A.*

## 7 Viðaukar


---

Viðauki A

Ritrýnd og útgefin grein höfundar *“Flexural performance of chopped Basalt fiber Reinforced Concrete Beams”*

Proceeding Paper

# Flexural Performance of Chopped Basalt Fiber Reinforced Concrete Beams <sup>†</sup>

Birgir Leo Olafsson <sup>1</sup>, Guðbjartur Jon Einarsson <sup>2</sup> and Eythor Rafn Thorhallsson <sup>3,\*</sup> <sup>1</sup> The Icelandic Road and Coastal Administration (IRCA), IS-210 Gardabaer, Iceland<sup>2</sup> Landsvirkjun, IS-103 Reykjavík, Iceland<sup>3</sup> Department of Applied Engineering, Reykjavík University, IS-102 Reykjavík, Iceland

\* Correspondence: eythor@ru.is; Tel.: +354-5996200

<sup>†</sup> Presented at the 10th MATBUD'2023 Scientific-Technical Conference "Building Materials Engineering and Innovative Sustainable Materials", Cracow, Poland, 19–21 April 2023.

**Abstract:** This article discusses the flexural strength of fiber reinforced concrete beams made by adding an optimal percentage of basalt fibers to the concrete mix. Two types of standard C30/37: XC1 concrete were used in this study, one with the aggregate size limit 19 mm and the other with the aggregate size of max. 4 mm. The basalt fibers used are two different types: Reforcetech minibar is a stiff basalt fiber, and its diameter is 0.72 mm and length 50 mm; Basaltex BCS17-25.4-KV1 is 30 mm in length with a flat cross-section of 0.017 × 4 mm. The test method measures the flexural efficiency of the strength parameters extracted from fiber reinforced concrete. The conclusion of this study is that the scale, quantity and type of basalt fibers have an impact on how the concrete acts under load. All types of fiber show promising results.

**Keywords:** concrete; basalt fibers; flexural behavior; tensile strength; cement



**Citation:** Olafsson, B.L.; Einarsson, G.J.; Thorhallsson, E.R. Flexural Performance of Chopped Basalt Fiber Reinforced Concrete Beams. *Mater. Proc.* **2023**, *13*, 29. <https://doi.org/10.3390/materproc2023013029>

Academic Editors: Katarzyna Mróz, Tomasz Tracz, Tomasz Zdeb and Izabela Hager

Published: 16 February 2023



**Copyright:** © 2023 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

## 1. Introduction

The objective of this study was to investigate the effect of two types of basalt fibers in two different types of concrete mixes. The types of concrete that were used were of standard C30/37: XC1, containing aggregate size limits of maximum 19 and 4 mm. The basalt fibers used are Reforcetech minibar, which is a stiff basalt fiber of diameter 0.72 mm and length 50 mm, and Basaltex BCS17-25.4-KV1, which is 30 mm in length with a flat cross-section of 0.017 × 4 mm. The cement met the specifications of NS-EN 197-1:2011 for Portland cement CEM I 52.5 N.

### 1.1. Fibers in Concrete

While ordinary concrete is the world's most frequently used building material, its damaging structural qualities, such as brittle strain failure, must be improved. It has been established that adding fibers to the concrete mix improves the aforementioned properties by increasing the material's strength and decreasing brittleness.

The notion of reinforcing fibers is not a recent concept. Fibers have been used since ancient times as reinforcement; for example, horsehair has been used traditionally in mortar, and straw in mudbricks.

Asbestos fibers were used in buildings in the 1900s. Some of the topics of concern were the development of composite materials starting in the 1950s and fiber-reinforced concrete. When the health hazards related to asbestos were discovered, concrete and other products were required to remove the substance. In the 1960s, steel, glass (GFR) and synthetic fibers (e.g., polypropylene) were used in concrete. Research on new concrete structures, made of fiber-reinforced concrete, continues today [1–3].

### 1.2. Basalt Fibers

Paul Dhé made the first attempts at basalt fiber production in the United States in 1923 and was later granted the US patent of 1.462.446. Scientists in the United States, Europe and the Soviet Union continued to develop these attempts in aerospace and military applications during the Second World War. Basalt fibers have been used since their declassification in 1995 in a broader range of civil applications.

Basalt fiber (BF) manufacturing technology is a single-stage process: melting, homogenization of basalt and extraction of fibers. Basalt is heated just once. BF is further refined into “cold processing” materials, with low energy costs [4].

BFs consist of one component, crushed basalt, from a carefully chosen source of a quarry. Basalt of high acidity (over 46% silica) and low iron element is considered suitable for fiber production. Basalt is an inert and naturally occurring material found around the world. Basalt products are environmentally friendly and not dangerous. Unlike other composites, such as glass fiber, no materials are substantially applied during manufacturing; the basalt is simply washed and then melted. The production of basalt fibers includes melting of the crushed and washed basalt rock at about 1.500 °C. The molten rock is extruded by small nozzles when the desired temperature is reached to create continuous basalt fiber filaments [5,6].

High strength and high modulus with excellent shock resistance are the main features of basalt fibers; they are a low-cost alternative to carbon fibers and can replace them in some applications. Basalt fiber reinforced concrete (BFRC) research has largely focused on fundamental mechanical properties: compressive, split tensile and flexural strength. In the case of BF, the research shows, in general, that the addition of fibers is beneficial up to approximately 0.3–0.5 percent by volume and detrimental thereafter [6]. A new basalt concrete reinforcement product, called minibars (MB), has recently been developed. The minibars are basically a scaled-down version of basalt fiber reinforced polymer rebar. In contrast to steel (SF) and fiberglass fibers, basalt is not affected by corrosion or acids. Basalt fibers even possess high corrosion and chemical durability to corrosive media such as salts, acid and alkali solutions. Basalt fibers have better mechanical properties than glass fibers in most cases, but in a few cases are somewhat worse than silica fibers. Due to high costs compared to other fibers, silica fibers are rarely used for concrete reinforcement. Basalt fibers are characterized by a high tensile strength from approximately 1700 MPa to 4800 MPa. The tensile strength of the basalt fibers (4800 MPa) is higher than that of the steel fibers [7].

## 2. Materials and Methods

### 2.1. The Study

The layout of the experiment consisted of the use of two types of basalt fibers manufactured by two different manufacturers, with the dose values for basalt fibers of 12 kg per cubic meter of concrete. The research method was based on “EN 14488-3 Testing sprayed concrete—Part 3: Flexural strengths (first peak, ultimate and residual) of fibre reinforced beam specimens”.

The BFs used in this study were of two different kinds, one of stiff minibars and one of a soft fiber type. Table 1 shows the characteristics of each type.

**Table 1.** Technical characteristics of the basalt used in the study.

Material Properties	Reforcetech Minibars	Basalttex BCS17-25.4-KV1
Diameter (mm)	0.72	0.017 × 4
Length (mm)	50	25
Density (kg/m <sup>3</sup> )	2100	2670
Melting point (°C)	1450	1450
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	900	1350
Young's modulus (N/mm <sup>2</sup> )	44,000	88,000

The Reforcetech bar is a stiff basalt fiber used in this study. Its diameter is 0.72 mm and length 50 mm, and the length factor 70. Basalt strands have been twisted together and mixed with Vinylester resin and, as a result, it has a coarse surface causing better bonding with concrete to prevent extraction. See Figure 1.

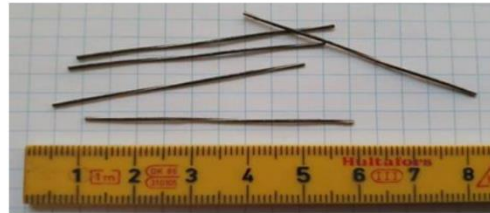


Figure 1. The Reforcetech bars.

Basaltex is the other type of basalt fiber used in the study. It is soft, composed of microfine strands of bundles that are slightly stiff but soften when treated and broken apart. It is about 30 mm in length with a flat cross-section already joined together in a bundle. See Figure 2.



Figure 2. The Basaltex fibers.

Reference is made to ÍST EN 14488-3:2006 and the ACI study (American Concrete Institute), ACI 544.4R-18, which defines the ASTM C1609 M, for the results of the tensile ductility test. The key data and processes for the project were extracted from a four-point bend resistance test. The explanation for why a four-point test was used instead of a three-point test is that it gives a more accurate result when considering the effect of the fiber on the distribution of the load. The bending tensile strength shows a bending strain. In particular, the maximum post-peak load behavior shall be investigated.

## 2.2. The Test

The samples of max. grain 4mm concrete were 14 days old when tested, but the max. grain 19 mm concrete was 28 days old when the test took place. Even though compression strength tests indicated a full strength of the 14-day samples, the difference in age of the samples should be taken into account in direct comparison. The numbers of the samples are shown in Table 2.

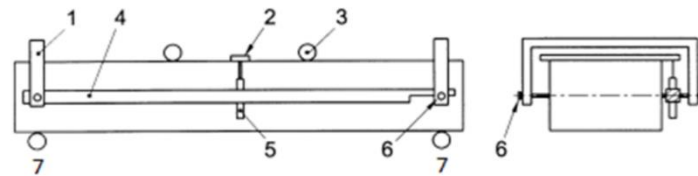
Table 2. Samples.

Type	b × h × l [mm]	kg/m <sup>3</sup>	Max Aggregate Size 19 mm	Max Aggregate Size 4 mm
Reforcetech Minibars	150 × 150 × 600	12	3	3
Basaltex BCS17-25.4-KV1	150 × 150 × 600	12	3	3

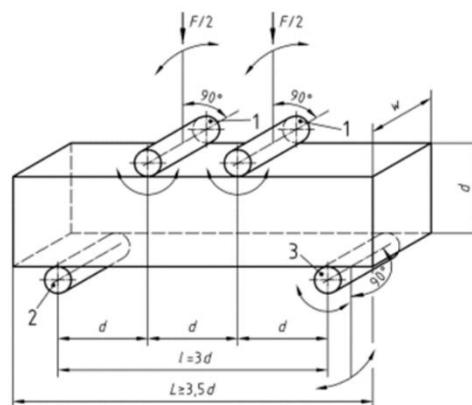


### 2.3. Equipment and Tools

The Tinius Olsen press that was used is computer-controlled with software from Horizon. The measurement frame includes two movement sensors on each side of the beam fastened on the frame, in accordance with ÍST EN 14488-3: 2006. See Figures 3 and 4.



**Figure 3.** The measuring frame. 1. The steel frame; 2.. Movement sensors on each side. Independent of the load; 3. Load points; 4. The steel frame; 5. Movement sensors for the beam; 6. Free swing bolts; 7. Supports.



**Figure 4.** The set-up according to the IST EN 14488-3: 2006.

### 2.4. Installation and Implementation

Installation and implementation were in accordance with the standard IST EN 14488-3: 2006 and Guidance from ACI no. 544.4R-18. Beams were all constructed in the same form,  $150 \times 150 \times 600$  mm. Deviations were  $\pm 5$  mm in length. Hardly any deviation was found in the height or width. In Figure 5 is a profile as shown in the IST EN 14488-3: 2006,  $d = 150$  mm,  $w = 150$  mm,  $L = 600$  mm.



**Figure 5.** The actual setup.

### 2.5. The Procedure

The procedure of the experiment was as follows:

1. Beams measured and marked for easier installation in the press;
2. Beams placed in the press together with the measuring frame and sensors;
3. Transmission sensors and loads zeroed in the application;
4. Execution. The computer program created a log file that automatically ran until entry, and the load source was 5 mm. Variable speed is included in the entry standard 14488-3: 2006. Firstly 5 mm/min up to 250 N then 0.25 mm/min until the post came in 1mm. Thereafter, 1 mm/min to end when the load source shift reached 5mm;
5. When the execution was completed, the location of the first crack in the beams was measured and logged;
6. Removal of the beam, the crack located and the beam opened up to view the fiber distribution.

The cracking occurred in all cases from the bottom of the beam and upward, between the load points (rolls). From that, it is easy to recognize that this was a moment of failure in all cases. From that, the conclusion can be made that all tests are valid.

The Basalttex fibers were difficult to see in the fractured concrete but the Reforcetech fibers were more noticeable. Shown in Figure 6.



Figure 6. Reforcetech fibers are visible in the fracture but Basalttex fibers are less visible.

### 3. Results

After each execution, a cvs log file was created. It showed the load, the movement of the beam from the beginning of the test, movement speed, time and the two movement sensors. From each datafile, a graph was extracted for a visual comparison. The calculations were as follows Formula (1): The total average displacement was calculated using the two displacement sensors on the press, where  $d1$  is the reading on displacement sensor 1 and  $d2$  is the reading on displacement sensor 2. The  $d1_0$  and  $d2_0$  are the set displacements at the beginning of the test.

$$d_{tot} = \frac{((d1 - d2_0) + (d2 - d2_0))}{2} \quad (1)$$

Each flexural strength was calculated as an equivalent elastic tensile strength: flexural strength in MPa =  $P \times l / (w \times d^2)$  where:

- $P$  is the load ( $P_{fp}$  or  $P_{ult}$ ) defined in newtons, see Figure 7;
- $l$  is the span (600 mm);
- $w$  is the average beam width at the fracture plane (nominally 150 mm);
- $d$  is the average beam depth at the fracture plane (nominally 150 mm).

As previously stated, the log file automatically ran until the entry of the load source was 5 mm. The entry standard 14488-3: 2006 includes variable speed. Firstly 5 mm/min up to 250 N, then 0.25 mm/min until the post was 1mm long. After that, 1 mm/min until the load sourceshift reached 5mm.

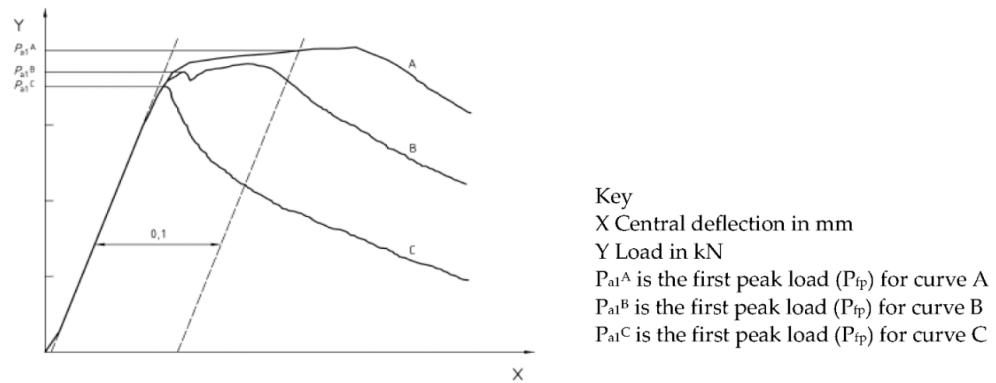


Figure 7. Methodology of defining the load  $P_{fp}$  from IST EN 14488-3: 2006.

#### 4. Conclusions

The BCS 17-25.4-KV1 generally has an interesting result. The negative part would be that it is porous and appears to soak up most of the water in the solution, so that the mix’s workability is steadily decreasing. Additionally, in the bending tensile test, the impact of fiber varied significantly with the size of the aggregates in the concrete mix. The question raised here is whether the BCS distribution in the mixing process depends on when it is added to the mix, and furthermore, before applying to the blend, whether it would saturate the fibers in water, assist the process of even delivery and have less effect on the mix’s water content. In all cases, the post-failure behavior is apparent. However, on the positive side of the BCS, it is important to see how the elongation persists in the 19 mm grain concrete with considerable force, whereas the 4 mm grain concrete is more brittle, fractures, and disintegrates directly after break. The peak load value of BCS in the 19 mm grain size combination is considerably higher than in any other sample type in this study.

The behavior of the RFT Reforcetech minibars after the first peak (failure point) is different from the BCS. The BCSs have a somewhat more definitive curve than the RFT fibers, and a quicker post failure force drop down. The RFT result shows that concrete containing RFT fibers has more strength than other fiber-mixed concrete, as shown in Figures 8 and 9. In RFT, the distribution is better than in BCS and the RFTs show similar results regardless of the mix’s grain size. It can be concluded that RFT significantly increases the workability of concrete mixes.

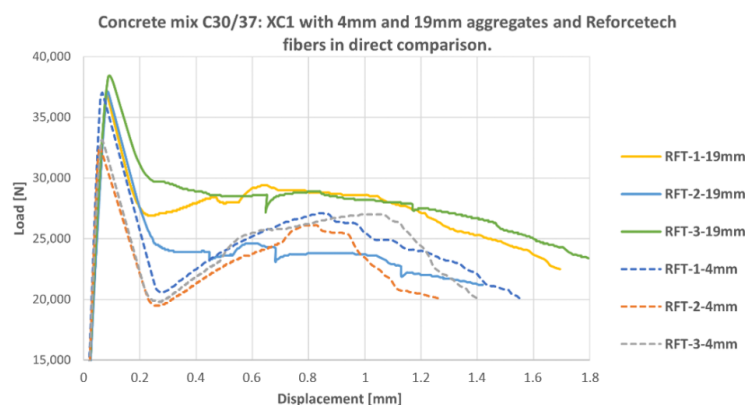
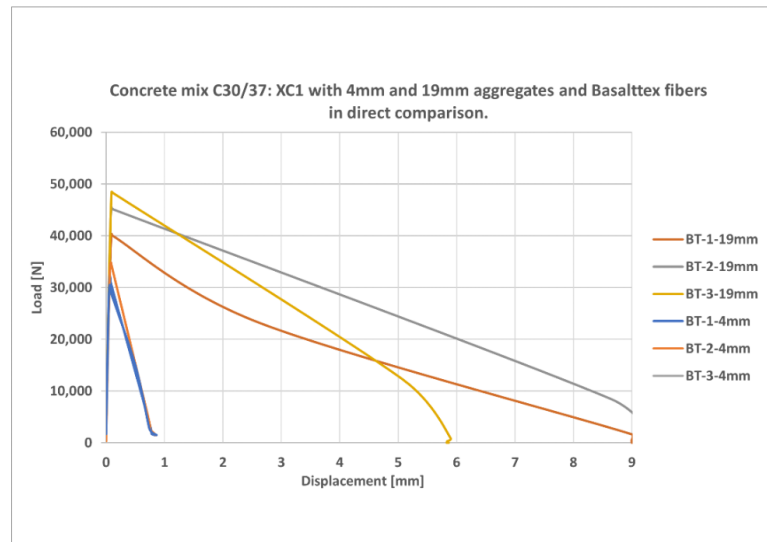


Figure 8. Reforcetech fibers load curves.



**Figure 9.** Basalttex fibers load curves.

The conclusion of this study is that the scale, quantity and type of basalt fibers have an impact on the outcome of how the concrete acts under load. The study also demonstrates how varying aggregate sizes affect how the beams behave under load. The study also demonstrates how varying aggregate sizes affect how the beams behave under load. All types of fiber show promising results, and a further analysis on variable quantities and fiber sizes would be worthwhile.

**Author Contributions:** Conceptualization and methodology, all authors; software, B.L.O.; validation, B.L.O. and G.J.E.; formal analysis, B.L.O.; investigation, B.L.O. and G.J.E.; resources, B.L.O. and G.J.E.; data curation, B.L.O.; writing—original draft preparation, B.L.O. and G.J.E.; writing—review and editing, all authors.; visualization, B.L.O.; supervision, G.J.E. and E.R.T. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

**Funding:** This research received no external funding.

**Informed Consent Statement:** Not applicable.

**Data Availability Statement:** All data are stored by authors.

**Acknowledgments:** The publication cost of this paper was covered with funds from the Polish National Agency for Academic Exchange (NAWA): “MATBUD’2023—Developing international scientific cooperation in the field of building materials engineering” BPI/WTP/2021/1/00002, MATBUD’2023.

**Conflicts of Interest:** The authors declare no conflict of interest.

## References

1. Johannesson, B.; Sigfusson, T.I.; Franzson, H.; Erlendsson, Ö.; Harðarson, B.S.; Thorhallsson, E.R.; Vehmas, T. *GREENBAS: Sustainable Fibres from Basalt Mining*; Nordisk Ministerråd: København K, Denmark, 2017; ISBN 978-92-893-4809-6. [[CrossRef](#)]
2. Thorhallsson, E.; Zhelyazov, T.; Gunnarsson, A.; Snaebjornsson, J.T. Concrete beams reinforced with prestressed basalt bars. In Proceedings of the Fib Symposium, Copenhagen, Denmark, 18–20 May 2015; Concrete-Innovation and Design: Copenhagen, Denmark, 2015; pp. 277–278.
3. Thorhallsson, E.R.; Gudmundsson, S.H. Test of prestressed basalt FRP concrete beams with and without external stirrups. In Proceedings of the Fib Symposium Engineering a Concrete Future: Technology, Modelling & Construction, Tel Aviv, Israel, 22–24 April 2013; Dancygier, A.V., Ed.; Israeli Association of Construction and Infrastructure Engineers (IACIE) and Faculty of Civil and Environmental Engineering, Technion-Israel Institute of Technology: Tel Aviv, Israel, 2013; pp. 393–396.

4. Thorhallsson, E.R.; Snaebjornsson, J.T. Basalt Fibers as New Material for Reinforcement and Confinement of Concrete. *Solid State Phenom.* **2016**, *249*, 79–84. [[CrossRef](#)]
5. Thohallsson, E.R.; Konradsson, A. Renovation of Concrete Columns by Wrapping Basalt Fiber Sheets. *IABSE Symp. Rep.* **2013**, *99*, 903–910. [[CrossRef](#)]
6. Nováková, I.; Thorhallsson, E.R.; Wallevik, O.I. Influence of environmentally friendly basalt fibers on early-age strength of sprayed concrete. In Proceedings of the Fib Symposium 2019: Concrete Innovations in Materials, Design and Structures, Krakow, Poland, 27–29 May 2019; ISSN 2617-4820.
7. Thorhallsson, E.R.; Erlendsson, J.Ó. Continuous Basalt Fiber as Reinforcement Material in Polyester Resin. In Proceedings of the 2nd International Conference on Mechanics of Composites, Porto, Portugal, 11–14 July 2016.

**Disclaimer/Publisher's Note:** The statements, opinions and data contained in all publications are solely those of the individual author(s) and contributor(s) and not of MDPI and/or the editor(s). MDPI and/or the editor(s) disclaim responsibility for any injury to people or property resulting from any ideas, methods, instructions or products referred to in the content.



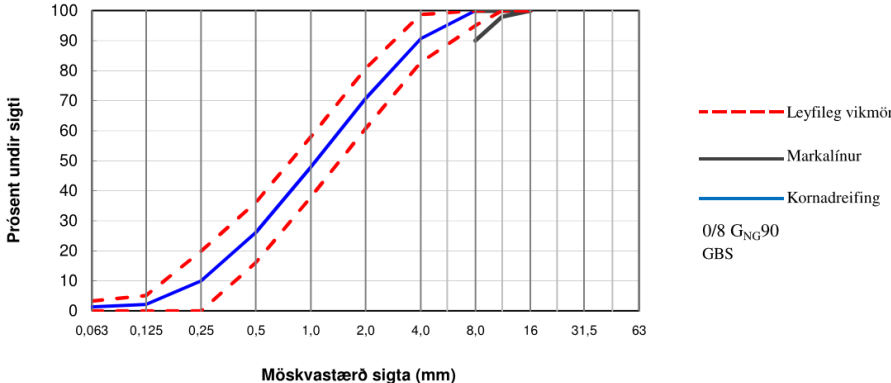
Viðauki B

Batch Weights Report													
Customer: 4185		Construction Site: 2.48		Delivered: 1,00 m <sup>3</sup>		Date: 23.10.2019		12560					
BM Valla ehf		Tíraun		Plant: 1		Truck: 25		YY					
		Stöð 1		AM 7 FHC		Driver: 137		sótt					
		Bildshöfði 7											
		132 Reykjavík											
Recipe Number	Recipe Code	Recipe	Strength Class	Strength Development	Consistency	Max. Grain	W/B max.: Processability	Time	Norm	Concrete Category	Chloride Class	Density Class	Moisture Class
521	521	Spranusteypa 550 kg ranífar F Jóhann	medium	medium	S4	8	0.38	6,00 h	EN 206-1	Beton nach ZTV-Ing			
Class of Exposition													
Properties													
Cement:													
500 kg/m <sup>3</sup> Anlegg													
Additive													
4.00 kg/m <sup>3</sup> G1Sky													
1.20 kg/m <sup>3</sup> Þjálfiefti													
Time	m <sup>3</sup>	Skorholtem%	Anlegg	Vatn	G1Sky	Þjálfiefti	CO2	Moisture	man. water. adj.				
Rec.: 1.00	1520kg	500kg	190kg	4.00kg	1.20kg	122.lkg							
Pred.: 1.00	1520kg	500kg	116kg*	4.00kg	1.20kg	122.lkg							
13-50	1.00	<1650kg>	7,4	<3,95kg>	<1,25kg>	122.lkg							
Act.: 1.00	1650kg	7,4	500kg	117kg	3,95kg	122.lkg							
Req.: 1.00	1641kg	500kg	116kg	4.00kg	1.20kg	122.lkg							
Diff:	9kg	0kg	1kg	-0.05kg	0.05kg								
Dev.:	0,5%	0,0%	0,9%	-1,3%	4,2%								
Density:	2.60	3.05	1.00	1.20	1.18								
Silo/Pump:	3	2	2	4	2								
*): with correction of moisture													
Water													
Total Quantity:	239 kg	Dosed:	117 kg	Moisture:	122 kg	man. water. adj.:	-48 kg	water adj. (order):	0 kg/m <sup>3</sup>	W/B req.:	0.38	W/B act.:	0.48
Binding factor of additive													
	0.00	Concrete density:	2.272 kg/m <sup>3</sup>	Test Age:	28 d								

Tafla 48 Blöndunarseðill fyrir 0/8mm hámarksornastærðarsteypu

Batch Weights Report		4332	Delivered	1,50 m <sup>3</sup>	Date	07.05.2019			
Customer:	4041	Construction Site:	44	Plant:	1	Truck:	83		
Bm valla		sott		Stöð 1			AM 7 FHC		
				Bíldshófi 7		Driver:	133		
				132 Reykjavík			Lukasz		
Recipe Number	142	Recipe Code	142	Recipe	142	Recipe	142		
				C30					
				mm m 2,4 kg					
Strength Class	C30	Strength Development	very slow	Consistency	S3	Max. Grain	16		
						W/B max.:	0.44		
						Processability Time	6,00 h		
						Norm	EN 206-1		
						Concrete Category	Beton nach ZTV-Ing		
						Chloride Clas			
						Density Clas			
						Moisture Clas			
Class of Exposition	Properties		Additive		Status		Operator		
					finished		Dadi		
Cement:	350 kg/m <sup>3</sup> Anlegg				Admixture:				
					1.70 kg/m <sup>3</sup> Þjálmsífi				
					0.30 kg/m <sup>3</sup> Loffblend				
Time m <sup>3</sup>	Björgunarm. %	Kaúsm. m. %	Perh. m %	Anlegg- sandur	Vatn	Þjálmsífi	Loffblend		
Rec.: 1.00	870kg	100kg	810kg	350kg	182kg	1.70kg	0.30kg		
Prod.: 1.50	870kg	100kg	810kg	350kg	129kg*	1.70kg	0.30kg		
10.06	<1430kg>	8.8	<1210kg>	1.0	<195kg>	<2.50kg>	<0.50kg>		
Act.: 1.50	1430kg	8.8	200kg	5.0	195kg	2.50kg	0.50kg		
Req.: 1.50	1431kg	158kg	1227kg	525kg	194kg	2.55kg	0.45kg		
Diff.: -1kg	42kg	-17kg	-1kg	-1kg	1kg	-0.05kg	0.05kg		
Dev.: -0.1 %	2.6 %	-1.4 %	-0.2 %	0.3 %	0.3 %	-2.0 %	11.1 %		
Density:	2.60	2.88	2.88	3.05	1.00	1.18	1.00		
Silo Pump	3	2	1	2	2	2	1		
*): with correction of moisture									
Water:	Total Quantity:	343 kg	Dosed:	195 kg	Moisture:	148 kg	man. water. adj.:	-68 kg	
Binding factor of additive:	0.00	Concrete density:	2.375 kg/m <sup>3</sup>	Test Age:	28 d	water adj. (order):	0 kg/m <sup>3</sup>	W/B req.:	0.52
								W/B act.:	0.65


Tafla 49 Blöndunarseðill fyrir 8-16mm hámarksornastærðarsteypu

 <b>0086</b>																			
 <b>Björgun ehf. - Sævarhöfða 33 - 110 Reykjavík</b>  <b>08</b>  <b>0086-CPD-543220</b>																			
<b>ÍST EN 12620</b>  <b>Fylliefni í steinsteypu</b>																			
<b>Vöruheiti</b> Náma <b>Kornastærð</b> <b>Kornastærðardreifing</b> <b>Kornarúmþyngd</b> <b>Hreinleiki</b> Magn fínafna Gæði fínafna <b>Efnafræðilegir eiginleikar</b> Vatnsleysanlegt klóríð Lífrænt innihald Sýrueleysanlegt sulfat Heildar brennisteinn <b>Mettívatn</b> <b>Alkalívirkni</b>	<b>Grófur Björgunarsandur</b> Kollafjörður / Hvalfjörður d/D 0/8 G <sub>NG</sub> G <sub>NG</sub> 90 2,70 Mg/m <sup>3</sup>  $f_3$ Ekki skaðleg, sbr. viðauka D d)  0,03% Lítaust AS <sub>0,2</sub> 0,3 3,7% Óvirkt skv. Byggingarreglugerð grein 8.3.3  <b>Dæmigerð gildi Lýsing (berggerð - ummyndunarstig)</b> 21% Basalt-ferskt/lítt ummyndað 12% Basalt-nokkuð ummyndað 6% Basalt-mjög ummyndað 40% Basaltgler < 1% Dfabas, ummyndað 2% Líparít 2% Setberg < 1% Holufylling 16% Skeljabrot																		
<b>Kornastærðardreifing steypuefnis</b>																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Möskvastærð sigta (mm)</th> <th>0,063</th> <th>0,125</th> <th>0,250</th> <th>0,500</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>4</th> <th>8,0</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><b>Dæmigerður ferill</b></td> <td>1</td> <td>2</td> <td>10</td> <td>26</td> <td>48</td> <td>71</td> <td>91</td> <td>100</td> </tr> </tbody> </table>		Möskvastærð sigta (mm)	0,063	0,125	0,250	0,500	1	2	4	8,0	<b>Dæmigerður ferill</b>	1	2	10	26	48	71	91	100
Möskvastærð sigta (mm)	0,063	0,125	0,250	0,500	1	2	4	8,0											
<b>Dæmigerður ferill</b>	1	2	10	26	48	71	91	100											
																			
Pær upplýsingar sem koma fram í skjali þessu eru skv. bestu vitund framleiðanda. Framleiðandi áskilur sér rétt til breytinga án fyrirvara. Öll töluleg gildi eru leiðbeinandi og dæmigerð fyrir efnið.																			


Útg: 31. mars 2014



Mynd 57 "Grófur Björgunarsandur" Staðfesting á steinefnavottun.



0086



**Björgun ehf. - Sævarhöfða 33 - 110 Reykjavík**

08

0086-CPD-543220

**ÍST EN 12620**

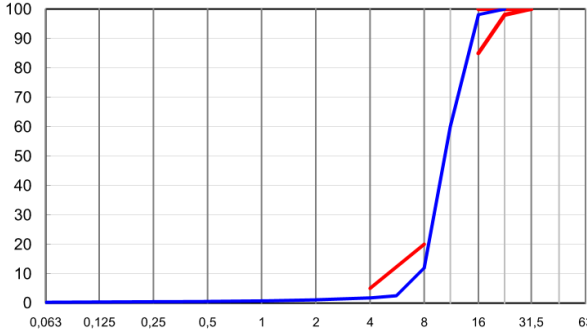
**Fylliefni í steinsteypu**

<b>Vöruheiti</b>		<b>Perlumöl 8/16 mm</b>
Náma		Kollafjörður
<b>Kornastærð</b>	d/D	8/16
<b>Kornastærðardreifing</b>	G <sub>C</sub>	G <sub>C</sub> 85/20
<b>Kornarúmpyngd</b>		2,80 Mg/m <sup>3</sup>
<b>Hreinleiki</b>		
Magn finefna		f <sub>1,5</sub>
Gæði finefna		Ekki skaðleg, sbr. viðauka D d)
<b>Kleyfnistuðull</b>	FI	FI <sub>1,5</sub>
<b>Shape index</b>	SI	Ekki skilgreint
<b>Skeljainnihald</b>	SC	SC <sub>10</sub>
<b>Efnafræðilegir eiginleikar</b>		
Vatnsleysanlegt klóríð		0,10%
Sýruleysanlegt súlfat		AS <sub>0,2</sub>
Heildar brennisteinn		0,4%
<b>Mettivatn</b>		3,0%
<b>Frostþol í 1% NaCL</b>	F	F <sub>EC6</sub>
<b>Alkalívirgni</b>		Óvirkt skv. Byggingarreglugerð grein 8.3.3
	<b>Dæmigerð gildi</b>	<b>Lýsing (berggerð - ummyndunarstig)</b>
	40%	Basalt-ferski/lítt ummyndað
	10%	Basalt-nokkuð ummyndað
	4%	Basalt-mjög ummyndað
	40%	Basaltgler
	< 1%	Díabas, ummyndað
	< 2%	Líparit
	< 1%	Setberg
	10%	Skeljabrot

**Kornastærðardreifing steypuefnis**

Möskvastærð sigta (mm)	0,063	0,125	0,250	0,500	1	2	4	5,6	8	11	16	22,4
<b>Dæmigerður ferill</b>	0,3	0,3	0,4	1	1	1	2	2	12	60	98	100

Prósent undir sigti



— Markalínur

— Kornadreifing

G<sub>C</sub>85/20

Perlumöl 8/16 mm

Möskvastærð sigta (mm)

Þær upplýsingar sem koma fram í skjali þessu eru skv. bestu vitund framleiðanda.

Framleiðandi áskilur sér rétt til breytinga án fyrirvara. Öll töluleg gildi eru leiðbeinandi og dæmigerð fyrir efnið.

Mynd 58 "Perlumöl 8/16 mm" Staðfesting á steinefnavottun.



IAV  
Höfðabakka 9  
110 Reykjavík



0086

ÍST EN 12620

09

Fylliefni í steinsteypu

0086 - CPD - 546980

Vöruheiti **ME 12 - SANDUR** **ME 12 - SANDUR**  
Náma **Stapafell**

Stærðar- og lögunartengdir eiginleikar

Kornastærð	d/D	0/8
Kornastærðardreifing	G <sub>NG</sub>	90
Fínefnainnihald	f	10
Gæði finefna		Ekki skaðleg - sbr. viðauka D d)

Efniseiginleikar

Kornarúþyngd		2,75 Mg/m <sup>3</sup>
Mettivatn		3,6%
Rúþyngd (bulk density)		1,67 Mg/m <sup>3</sup>
Rúmmálsstöðugleiki	WS	< 0,050%
Alkalívirgni		Óvirkt skv. Byggingarreglugerð lið 131.3 (b)

Efnaræðilegir eiginleikar

Vatnsleysanlegt klóríð	C	0,0%
Lífrænt innihald		Ljósari en viðmiðunarlitur
Sýruleysanlegt súlföt	AS	0,2
Heildar-súlfúr	S	< 1 %

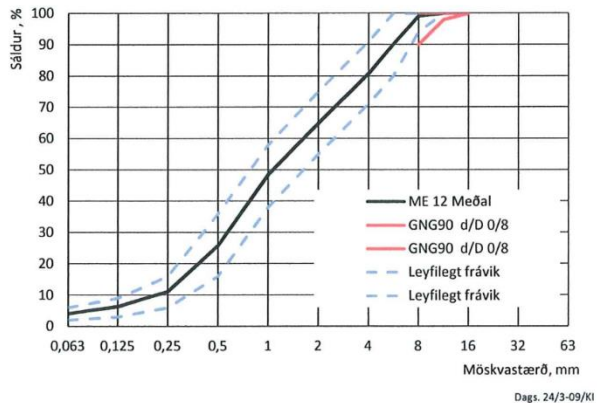
Efnislýsing, %

- 50 Basalt - ferskt - þétt (öllum þéttu kornin eru að einhverju leyti blöðrótt)
- 2 Basalt - ferskt - þétt, að hluta glerjað
- 34 Basalt - ferskt - blöðrótt
- 3 Basalt - ferskt - blöðrótt, að hluta glerjað
- 1 Basalt - lítillega ummyndað, þétt
- 2 Setberg
- 1 Basaltgler - ferskt - þétt
- 1 Basaltgler - ferskt - blöðrótt
- 7 Basaltgjall og -vikur




Kornadreifing

Einkinandi kornadreifing:

Möskvastærð, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11	16	22
Sáldur, %	4,0	6	11	26	48	65	81	90	99	100	100	100



## Mynd 59 "Sandfellssandur" Staðfesting á steinefnavottun.

  Númer vottunaraðila																													
ÍST EN 12620:2002 Steinefni í steypu																													
Framleiðandi	BM Vallá ehf, Bíldshöfða 7, 110 Reykjavík																												
Náma	Skorholt																												
Vöruheiti	Skorholtssandur																												
Kornastærð d/D	0/8																												
Kornastærðardreifing	G <sub>NG</sub> 90																												
Kornarúmpyngd	2.82 g/cm <sup>3</sup>																												
Hreinleiki																													
Magn fínafna	F <sub>4</sub>																												
Gæði fínafna	Ekki skaðleg																												
Skeljainnihald	Landefni – á ekki við																												
Efnafræðilegir eiginleikar																													
Vatnsleysanlegt klóríð	0% (landefni)																												
Lífrænt innihald	Hreint																												
Sýruleyanlegt súlfat	0,0069% (w/w) SO <sub>3</sub>																												
Heildar brennisteinn	0,0078% (w/w) S																												
Mettivatn	2,7%																												
Alkalívirgna -ASTM C227 Rilem AAR3	0,0- 0,04% (Anlegg) – óvirkt skv. Byggingarreglugerð <0 %																												
Berggreining, dæmigerð gildi	<table border="1"> <thead> <tr> <th>%</th> <th>Lýsing</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>55,1</td><td>Basalt, ferskt og lítilliga ummyndað, þétt</td></tr> <tr><td>1,9</td><td>Basalt, ferskt og lítilliga ummyndað, blöðrótt</td></tr> <tr><td>15,7</td><td>Basalt, ummyndað, þétt</td></tr> <tr><td>1,4</td><td>Basalt, ummyndað, blöðrótt</td></tr> <tr><td>3,2</td><td>Basalt, mikið ummyndað</td></tr> <tr><td>0,5</td><td>Gjall</td></tr> <tr><td>1,9</td><td>Andesít, ferskt, þétt</td></tr> <tr><td>5,6</td><td>Líparít</td></tr> <tr><td>7,4</td><td>Óflokkuð korn</td></tr> <tr><td>2,3</td><td>Díabas, mikið, ummyndað</td></tr> <tr><td>1,4</td><td>Holufyllingar</td></tr> <tr><td>3,2</td><td>Setberg</td></tr> <tr><td>0,9</td><td>Basaltgler</td></tr> </tbody> </table>	%	Lýsing	55,1	Basalt, ferskt og lítilliga ummyndað, þétt	1,9	Basalt, ferskt og lítilliga ummyndað, blöðrótt	15,7	Basalt, ummyndað, þétt	1,4	Basalt, ummyndað, blöðrótt	3,2	Basalt, mikið ummyndað	0,5	Gjall	1,9	Andesít, ferskt, þétt	5,6	Líparít	7,4	Óflokkuð korn	2,3	Díabas, mikið, ummyndað	1,4	Holufyllingar	3,2	Setberg	0,9	Basaltgler
%	Lýsing																												
55,1	Basalt, ferskt og lítilliga ummyndað, þétt																												
1,9	Basalt, ferskt og lítilliga ummyndað, blöðrótt																												
15,7	Basalt, ummyndað, þétt																												
1,4	Basalt, ummyndað, blöðrótt																												
3,2	Basalt, mikið ummyndað																												
0,5	Gjall																												
1,9	Andesít, ferskt, þétt																												
5,6	Líparít																												
7,4	Óflokkuð korn																												
2,3	Díabas, mikið, ummyndað																												
1,4	Holufyllingar																												
3,2	Setberg																												
0,9	Basaltgler																												
Kornastærð																													
Dagsetning	0,063 0,125 0,25 0,5 1 2 4 8 9,5 12,5 16 19 31,5																												
10.11.2009	0,337 1,012 1,18 21,3 38,7 61,6 82,0 96,6 99,8 100,0 100,0 100,0 100																												
																													

## Mynd 60 "Skorholtssandur" Staðfesting á steinefnavottun.

PRODUKTDATABLAD

# ANLEGGSEMENT

## CEM I 52,5 N

Sist revidert desember 2018

Sementen tilfredsstillir kravene i NS-EN 197-1:2011 til Portlandsement CEM I 52,5 N.

Egenskap		Deklarerte data	Krav ifølge NS-EN 197-1:2011
Finhet (Blaine m <sup>2</sup> /kg)		415	
Spesifikk vekt (kg/dm <sup>3</sup> )		3,14	
Volumbestandighet (mm)		1	≤ 10
Begynnende størkning (min)		120	≥ 45
Trykkfasthet (MPa)	1 døgn	21	
	2 døgn	33	≥ 20
	7 døgn	49	
	28 døgn	63	≥ 52,5
Sulfat (% SO <sub>3</sub> )		≤ 4,0	≤ 4,0
Klorid (% Cl <sup>-</sup> )		≤ 0,07	≤ 0,10
Vannløselig krom (ppm Cr <sup>6+</sup> )		≤ 2	≤ 2 <sup>1</sup>
Alkalier (% Na <sub>2</sub> O <sub>ekv</sub> )		0,6	
Klinker (%)		96	95-100
Sekundære bestanddeler (%)		4	0-5

1. I henhold til EU forordning REACH Vedlegg XVII punkt 47 krom VI-forbindelser.

**NORCEM**  
HEIDELBERGCEMENT Group

Norcem AS, Postboks 142, Lilleaker, 0216 Oslo  
Tlf. 22 87 84 00 firmapost@norcem.no www.norcem.no

## Mynd 61 Sement CEM I52,5 Efnisupplýsingar

## PRODUCT DATA SHEET

**MiniBars™**

## HIGH PERFORMANCE COMPOSITE MACROFIBER FOR CONCRETE REINFORCEMENT

**DESCRIPTION**

**MiniBars™** solution is a high-performance composite macrofibre, based on an alkali-resistant glass fibre or basalt and engineered to provide high post-cracking strength to concrete while at the same time increasing toughness, impact, and fatigue resistance of concrete. MiniBars™ macrofibre can be used as secondary and/or as primary reinforcement. MiniBars™ fibre disperses quickly and evenly throughout the concrete matrix, due to their specific gravity being similar to concrete. This promotes uniform performance throughout the concrete mass.

**BENEFITS**

- Improves post-cracking mechanical properties of hardened.
- Concrete Fast and uniform dispersion during mixing.
- Does not affect concrete pumpability when following recommended practices.
- Allows for high dosages with minimum effect on processability. (mix dependent)
- Does not corrode.
- No additional water demands.
- Easy to handle.

**APPLICATIONS**

MiniBars™ solution has been specifically designed to reduce or replace secondary and/or primary steel reinforcement in many structural applications requiring flexural tensile and post-crack performance (wall panels, pipes, water tanks, tunnel segments, marine structures, raft foundations, etc.)

**HOW TO USE**

MiniBars™ fibres can be added to the wet mix at the batching plant or into the concrete truck at site. For optimum dispersion and performance, it is recommended to add the fibre gradually.

Dosage rates are dependent on the application and desired performance levels.

**PACKAGING AND STORAGE**

MiniBars™ fibres in the 43mm length are packed in 10 kg (22 lbs) cardboard boxes. MiniBars™ solution should be stored away from heat and moisture in their original packaging.

Optimum conditions are temperatures between 10°C (50°F) and 35°C (95°F) and relative humidity between 25% and 65%.

**QUALITY STANDARDS – CERTIFICATION**

MiniBars™ fibres are manufactured under a quality Management System approved to ISO 9001.

Basalt MiniBars ETA-20/0599, Cem-Fil MiniBars™ ETA19/0246. Ref Environmental ReforceTech Product Declaration (EPD) available.

## Mynd 62 Reforcetech Minibars Tækniblað



# MINIBARS™

## HIGH PERFORMANCE COMPOSITE MACROFIBER

### TECHNICAL CHARACTERISTICS

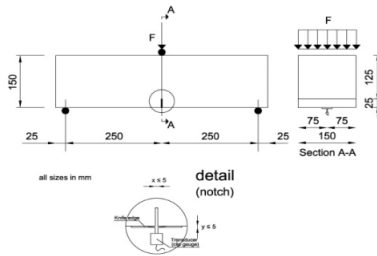
Material	Fiber Length	Fiber Diameter	Specific Gravity	Modulus of Elasticity	Tensile Strength
Alkali-resistant glass+ thermoset resin	43 +/-2 mm* 1.7 +/- 0.08 in.	0.70 mm 0.03 in.	2.0 ± 0.1	42 GPa 6,091,585 psi	> 1000 MPa / 145,038 psi

\* Shorter or longer fibers are available on request

### MECHANICAL PERFORMANCE

The fundamental mechanical performance of fiber reinforced concrete can be obtained from a three-point bending test performed on a prismatic beam of 150x150x550mm (6x6x22in.) including a notch at mid-span (EN 14651). The displacement-controlled testing system introduces a specific deflection or CMOD (Crack Mouth Opening Displacement) rate, and records load and displacement up to a CMOD limit of 3.5 mm (0.14 in). The fiber reinforced concrete performance is evaluated by means of residual flexural strength values at 0.5, 1.5, 2.5, and 3.5mm (0.02, 0.06, 0.10, and 0.14in.) of CMOD, namely  $f_{R1}$ ,  $f_{R2}$ ,  $f_{R3}$  and  $f_{R4}$ , respectively.

According to the fib Model Code 2010, the constitutive law of the material in tension is defined by means of the tensile stresses  $f_{Tts}$  and  $f_{Ttu}$ , calculated from  $f_{R1}$  and  $f_{R3}$  for service and ultimate limit state, respectively.

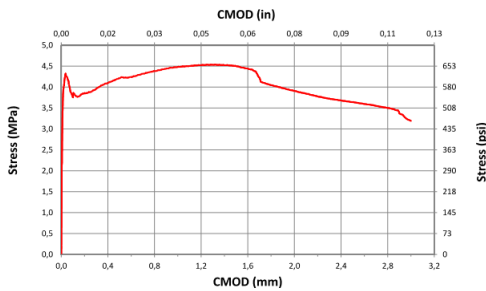


The sketch shows the basic configuration of the test.

The following curve shows a typical Load-CMOD response of a C30/37 concrete (4400 psi) reinforced with 10 kg/m<sup>3</sup> (17 lbs/yd<sup>3</sup>) of MiniBars™. The table presents the mean values of residual strength.

#### Concrete Description :

EN206-1 C30/37 XC3/XC4 Dmax20 S4 CL 1.00, Slump=22 cm  
ACI 211| 4400 PSI Concrete, C1/F1 exposure class, 8 1/2" max. aggregate, 8 3/4" slump




Mean flexural performance (prism 100x100x400mm   4x4x16 in)	MPa (mean)	psi (mean)
$f_c$ (100 mm / 4 in cube)	46.9	6800
$f_L$	4.35	631
$f_{R1}$	3.67	532
$f_{R2}$	3.99	579
$f_{R3}$	3.61	524
$f_{R4}$	3.12	453
$ARS = (f_{R1} + f_{R2} + f_{R3} + f_{R4}) / 4$	3.60	520

Note: using a 100x100x400mm (4x4x16 in),  $f_{R1}$ ,  $f_{R2}$ ,  $f_{R3}$ , and  $f_{R4}$ , are calculated at 0.4, 1.2, 2.0, and 2.8mm of CMOD, respectively


ReforceTech AS  
Luftveien 4  
NO-3440 Røyken  
Norway  
+47 66 76 77 80  
www.Reforcetech.com

This information and data contained herein is offered solely as a guide in the selection of reinforcement. The information contained in this publication is based on actual laboratory data and field test experience. We believe this information to be reliable, but do not guarantee its applicability to the user's process or assume any responsibility or liability arising out of its use or performance. The user agrees to be responsible for thoroughly testing any application to determine its suitability before committing to production. It is important for the user to determine the properties of its own commercial compounds when using this or any other reinforcement. Because of numerous factors affecting results, we make no warranty of any kind, express or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose. Statements in this publication shall not be construed as representations or warranties or as inducements to infringe any patent or violate any law, safety code or insurance regulation. ReforceTech reserves the right to modify this document without prior notice. All Rights Reserved. Pub number: 10021900. MiniBars™ product sheet\_ww\_02-2017\_Rev0\_EN. May 2021

## Mynd 63 Reforcetech Minibars Tækniblað



Reforcetech in collaboration with



### MiniBars™ - A non corroding macro mineral fiber for rock support

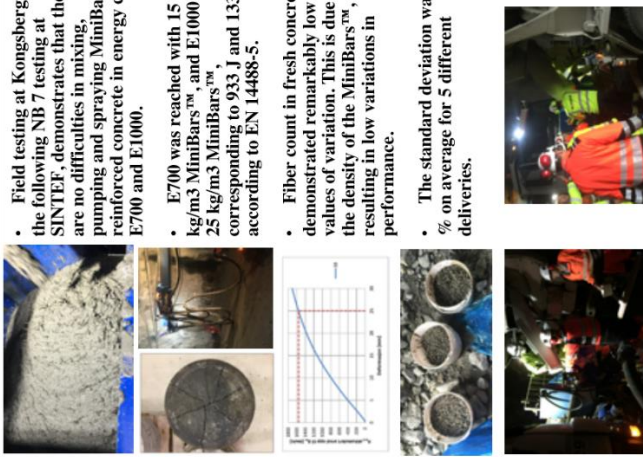
Sindre Sandbakk  
Norconsult AS / Dr Techn. Olav Olsen AS,  
Trondheim, Norway

Leonard Miller  
ReforceTech AS  
Røyken, Norway

Per Cato Standal  
ReforceTech AS  
Røyken, Norway

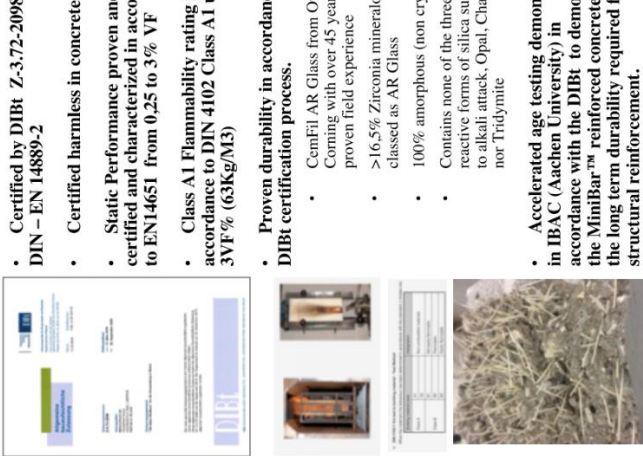
### Proven Shotcrete Performance

- Field testing at Kongsberg, and the following NB 7 testing at SINTEF, demonstrates that there are no difficulties in mixing, pumping and spraying MiniBar™ reinforced concrete in energy class E700 and E1000.
- E700 was reached with 15 kg/m<sup>3</sup> MiniBars™, and E1000 with 25 kg/m<sup>3</sup> MiniBars™, corresponding to 933 J and 1333 J according to EN 14488-5.
- Fiber count in fresh concrete demonstrated remarkably low values of variation. This is due to the density of the MiniBars™, resulting in low variations in performance.
- The standard deviation was 5 % on average for 5 different deliveries.



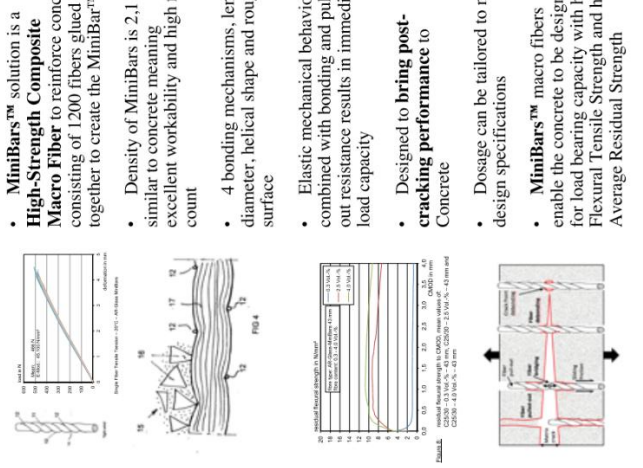
### Proven Durability in Concrete

- Certified by DIBt Z.3.72-2098 to DIN – EN 14889-2
- Certified harmless in concrete
- Static Performance proven and certified and characterized in accordance to EN14651 from 0.25 to 3% VF
- Class A1 Flammability rating in accordance to DIN 4102 Class A1 up to 3VF% (63Kg/M3)
- Proven durability in accordance with DIBt certification process.
  - CemFil AR Glass from Owens Corning with over 45 years proven field experience
  - >16.5% Zirconia mineralogy to be classed as AR Glass
  - 100% amorphous (non crystalline)
  - Contains none of the three known reactive forms of silica susceptible to alkali attack. Opal, Chalcedony nor Tridymite
- Accelerated age testing demonstrated in IBAC (Aachen University) in accordance with the DIBt to demonstrate the MiniBar™ reinforced concrete has the long term durability required for structural reinforcement.



### How a MiniBar™ Works

- MiniBars™ solution is a High-Strength Composite Macro Fiber to reinforce concrete consisting of 1200 fibers glued together to create the MiniBar™
- Density of MiniBars is 2,1 similar to concrete meaning excellent workability and high fiber count
- 4 bonding mechanisms, length, diameter, helical shape and rough surface
- Elastic mechanical behavior combined with bonding and pull out resistance results in immediate load capacity
- Designed to bring post-cracking performance to Concrete
- Dosage can be tailored to meet design specifications
- MiniBars™ macro fibers enable the concrete to be designed for load bearing capacity with high Flexural Tensile Strength and high Average Residual Strength





## Mynd 64 Upplýsingablað fyrir RFT Minibars

Basalt chopped strand  
Technical Data Sheet


## KV13 Chopped strand series

**Chopped strand nomenclature***Example:* BCS 13-1/4"-KV13

BCS- basalt chopped strand

13 - monofilament diameter [ $\mu\text{m}$ ]

1/4" – cut length [inches]

KV13 – type of sizing

**Processing**

KV13 is a hydrophobic sizing. It is recommended for different technologies of concrete/cement reinforcement.

**Product description**

Property	Description
Type of fiber	Basalt
Monofilament diameter [ $\mu\text{m}$ ]	13-21
Cut length [inches]	$\frac{1}{4}$ , $\frac{1}{2}$ , $\frac{5}{8}$ , 1, $1\frac{1}{4}$ , 2, $3\frac{1}{2}$
Type of sizing	Silane
Sizing content (% wt)	$\geq 0.4$
Resin compatibility	Concrete, cement
Moisture content (% wt)	$< 0.1$

**Mynd 65 B Basalttex BCS17-25.4-KV1 Tækniblað**



## Basalt chopped strand Technical Data Sheet

### Applications

Construction market: for concrete/cement reinforcement

### Packaging information

Type of bag	Amount of fiber, kg
PE bag	20
Big bag	500-600

Up to 30 PE bags or 1 big bag are loaded in a big cardboard box on a 120 x 80 cm pallet.

### Mynd 66 B Basalttex BCS17-25.4-KV1 Tækniblað



**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017



## **0. Introduction**

Continuous basalt fiber products sold under Basfiber® trademark are articles under EU regulation (REACH&CLP) and US regulation (TSCA) and therefore neither MSDS nor SDS is legally required. We decided to provide our customers with SDS for assuring the safe handling and use of Basfiber® products. This SDS was compiled in accordance with GHS.

## **1. Product and company identification**

### **1.1 Product identifier:**

**Product name:** Continuous basalt fiber products

**Trademark:** Basfiber®

**Product description:** Article

**Other means of identification:**

**Product Family: Product Name:**

Roving: Basalt Continuous Fiber (BCF), High-performance basalt continuous fiber (HBCF), spray-up roving, assembled roving, direct roving

Chopped Strand: Basalt chopped strand (BCS), dry chopped strand, wet chopped strand;

Twisted Yarn: Basalt Twisted Yarn (BTY),

Fabrics: TBK, TBR, Woven Fabric, Basalt stitch-bonded fabric (BNPP), unidirectional fabric (UD), biaxial fabric (BI).

Needle-punched mats (BIM)

### **1.2 Relevant identified uses of the article and uses advised against:**

**Relevant identified uses:** Industrial applications.

**Uses advised against:** no data.

### **1.3 Details of the supplier of the safety data sheet:**

#### **Manufacturer:**

Kamenny Vek LLC, P.O. Box 370, 141980

Dubna, Moscow region, Russia

Phone: +7-49621-23370 (Operator)

Facsimile: +7-49621-25051

#### **Supplier:**

Basalt materials LLC, 28 V Tverskaya str. 141980

Dubna, Moscow region, Russia

Phone: +7-49621-23370 (Operator)

Facsimile: +7-49621-25051

E-mail address of competent person responsible for the SDS: shlikova@basfiber.com

### **1.4 Emergency telephone number:**

From 9 to 18 o'clock week-days:

Phone: +7-49621-23370 (Operator)

Facsimile: +7-49621-25051

After 18 o'clock week-days and 24h

week-end: Phone: +7-49621-23370 (On-duty gate guard)

## **Mynd 67 Basalttex BCS17-25.4-KV1 öryggisblað**



**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
 Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017

## **2. Hazards identification:**

### **2.1 Classification of the article**

Continuous basalt fiber products are articles. Therefore they are not classified using GHS criteria, or by OSHA or EU legislation.

### **2.2 Label elements**

Continuous basalt fiber products are articles. Therefore pictograms are not applied for our product labels.

### **2.3 Other hazards**

#### **Precautionary statement:**

- Increased mechanical stress of the basalt products may generate dust and airborne fibers, which may cause discomfort. At skin contact, skin irritations are possible.

## **3. Composition/information on ingredients**

Substance/mixture: Article

<b>Product/ingredient name</b>	<b>Content, Wt. %</b>	<b>CAS No.</b>
Basalt Continuous filament	>99	65997-17-3
Organic sizing	<1	Not available.

Basalt fiber may be considered as a specific type of glass fiber with particular composition of oxides, thus CAS number for basalt fiber is the same as for glass fiber: 65997-17-3 (Fiber glass wool, GLASS fibre; GLASS WOOL; LIME GLASS; fiberglass; fibreglass; GLASS BEADS; GLASS BALLS; Glass Fiber; GLASS POWDER).

The sizings are multicomponent chemical systems. They don't pose any hazards and risks for workers because under normal conditions they release only minute or trace amounts of hazardous chemical that don't exceed the limits of allowable concentration. However it's recommended to take all possible safety measures, specified in Section 8.2

## **4. First-Aid Measures**

### **4.1 Description of first aid measures**

**General notes:** Providing instructions for use are complied with, there is no need for First-Aid. Please note the information disclosed in points 7 and 8.

**Inhalation:** Normally not applicable. If necessary, take persons out in the open that they get some fresh air.

**Skin contact:** Normally not applicable. If necessary, remove mechanically.

**Eye contact:** Normally not applicable. If necessary, rinse with water for several minutes.

**Ingestion:** Normally not applicable. If necessary, wash mouth with water.



**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017

**4.2 Most important symptoms and effects, both acute and delayed**

Dusts from continuous basalt fiber products may cause temporary mechanical irritation.

**4.3. Indication of any immediate medical attention and special treatment needed**

Seek medical attention if irritation persists.

**5. Firefighting measures**

Basalt fiber is non-flammable and non-combustible.

**5.1 Extinguishing media:**

**Suitable extinguishing media:** Any of extinguishing agents, including water, carbon dioxide gas, foam, dry chemicals and powder are effective. Select an extinguishing agent depending on surrounding fire and circumstances (source of fire, etc.).

**Unsuitable extinguishing media:** None known

**5.2 Special hazards arising from the substance or mixture**

**Hazardous combustion products:**

Basalt fiber will not burn, but smoking of the product may occur at approximately 200 - 260 °C due to decomposition of sizing. Sizings may decompose in a fire situation and release carbon monoxide, carbon dioxide, water and minute amounts of partial sizing decomposition products.

**5.3 Advice for firefighting:**

Fiberglass itself will not support combustion, but in a sustained fire, proper protection against products of combustion from the fuel and sizing must be worn. In addition all normal precautions for fire-fighters should be observed.

**6. Accidental release measures**

**6.1 Personal precautions, protective equipment and emergency procedures:**

If necessary, wear a safety mask, safety gloves and safety goggles.

**6.2 Environmental precautions:**

Basalt is generally considered to be an inert solid waste. In case of release no special environmental precautions required.

**6.3 Methods and material for containment and cleaning up:**

Absorb by mechanical means and dispose of according to Section 13. Avoid development of dust.

**6.4 Reference to other sections:**

For appropriate PPE see Section 8.

For waste disposal information see Section 13.

**7. Handling and storage**



**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017



**7.1 Precautions for safe handling:**

Increased mechanical stress of the basalt fiber may generate dust and airborne fibers, which may cause discomfort. Availability of a local suction is advised. The general hygiene rules and measures applying for the handling of chemicals must be employed.

See also section 8.

**7.2 Conditions for safe storage, including any incompatibilities:**

Storage at room temperature and dryly. Protect against humidity. Storage rooms must be well ventilated. Do not store product in passage ways and staircases; also do always store it in original packing which should be intact.

**7.3 Specific end use(s)**

**Recommendations:** Not available.

---

**8. Exposure controls/personal protection**

**8.1 Control parameters**

The fibers processed in our products are uniform and are not subject to EC Guideline 97/69/EC. Furthermore, our products are not considered carcinogenic according to EC Guideline 1999/45/EC and TRGS 220 (Germany). The basalt fibers processed in our products are produced according to a defined process and have a nominal diameter of 10 - 22 micron.

Manmade mineral fibers categorized in appendix 7 HazMat Ordinance or TRGS 521 are subject to a TRK value of 250,000 fibers/m<sup>3</sup> according to TRGS 900.

**8.2 Exposure controls**

**Appropriate engineering controls**

No special ventilation requirements. Good general ventilation should be sufficient to control worker exposure to airborne contaminants. Availability of a local suction is advised.

**Personal Protective Equipment (PPE)**

**Respiratory protection:** At elevated airborne fiber and dust levels, we recommend to use a respiratory equipment (dust mask with fine filter according to EN 143), Filter P1 (EN 141).

**Eye protection:** In case of airborne fibers and dust, we recommend to wear safety glasses (EN 166).



**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
 Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017



- Hand protection:** We recommend safety gloves to avoid possible skin irritation (leather or cotton gloves).
- Body protection:** Long-sleeved safety clothing as well as normal personnel protective equipment (e.g. safety boots EN 344).

**General protection and hygiene:**

Before breaks and after the end of the work day, wash hands thoroughly. In case of sensitive skin, apply a rich, protective hand lotion/cream. To protect against skin irritation, avoid wearing tight-fitting garments.

**9. Physical and chemical properties**

**9.1 Information on basic physical and chemical properties**

**Appearance**

<b>Shape/State of aggregation:</b>	solid	<b>Color:</b>	dark-olive	<b>Odor:</b>	inodorous
<b>pH-Value</b> (2g in 100 ml of water, 20 °C):			N/A(DIN 54276)		
<b>Boiling point/boiling range:</b>			N/A		
<b>Melting point/melting range:</b>			approx. 1050 °C (softening point of basalt)		
<b>Flash point:</b>			N/A		
<b>Flammability:</b>			The products are non-combustible.		
<b>Ignition temperature:</b>			N/A		
<b>Self-ignition:</b>			N/A		
<b>Danger of explosion:</b>			N/A		
<b>Explosion limits lower:</b>			N/A	<b>upper:</b>	N/A
<b>Fire promoting properties:</b> of the European Community.			Cannot be applied according to the laws		
<b>Vapor pressure:</b>			N/A		
<b>Density</b> , expressed as bulk density (20 °C):			2.67 g/cm <sup>3</sup> (raw basalt)		
<b>Solubility in water:</b>			Insoluble		
<b>Solubility in fat:</b>			Insoluble		
<b>Distribution coefficient n-Octanol/water:</b>			N/A		

**9.2 Other:**

No additional information.

**Mynd 71 Basalttex BCS17-25.4-KV1 öryggisblað**





**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
 Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017

## **10. Stability and reactivity**

### **10.1. Reactivity**

No specific test data related to reactivity available for this product or its ingredients.

### **10.2. Chemical stability**

The product is stable.

### **10.3. Possibility of hazardous reactions**

Under normal conditions of storage and use, hazardous reactions will not occur.

### **10.4. Conditions to avoid**

When exposed to high temperatures may produce decomposition products (Section 5). Refer to protective measures listed in sections 7 and 8.

### **10.5. Incompatible materials**

None known.

### **10.6. Hazardous decomposition products**

See Section 5.

## **11. Toxicology data**

### **11.1 Information on toxicological effects**

<b>Acute toxicity, e.g. LD50:</b>	no data available
<b>Specific symptoms of animal tests:</b>	no data available
<b>Primary irritant/caustic action:</b>	no data available
<b>Sensitization:</b>	no data available
<b>Effects after repeated or prolonged exposure:</b> (sub-acute to chronic toxicity)	no data available
<b>Carcinogenic risks:</b>	no, 97/69/EC
<b>Genotype and reproduction risks:</b>	no data available
<b>Other:</b>	See item 8.2

## **12. Ecological information**

<b>12.1 Toxicity:</b>	no data available
<b>12.2 Persistence and degradability:</b>	no data available
<b>12.3 Bioaccumulative potential:</b>	no data available
<b>12.4 Mobility in soil:</b>	no data available
<b>12.5 Results of PBT and vPvB assessment:</b>	no data available
<b>12.6 Other adverse effects:</b> critical hazards.	No known significant effects or

## **Mynd 72 Basalttex BCS17-25.4-KV1 öryggisblað**



**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017



### **13. Disposal considerations**

#### **13.1 Waste treatment methods:**

##### **Disposal Instructions:**

Disposal of waste material according to Local, State, Federal, and Provincial Environmental Regulations

##### **Hazardous waste:**

Within the present knowledge of the supplier, this product is not regarded as hazardous waste, as defined by EU Directive 91/689/EEC.

##### **Packaging**

##### **Methods of disposal:**

The generation of waste should be avoided or minimized wherever possible. Waste packaging should be recycled. Incineration or landfill only be considered when recycling is not feasible.

---

### **14. Transport (national/international)**

- 14.1 UN number:** None.
- 14.2 UN proper shipping name:** Not regulated.
- 14.3 Transport hazard class(es):** None.
- 14.4 Packing group:** -
- 14.5 Environmental hazards:** No.
- 14.6 Special precautions for user:** Not available.
- 14.7 Transport in bulk according to Annex II of MARPOL73/78 and the IBC Code:** Not available.

---

### **15. Regulatory information**

#### **15.1 Safety, health and environmental regulations/legislation specific for the substance or mixture**

##### **Substances of very high concern (From Candidate List)**

Basfiber® products don't contain SVHC's with a weight percentage of > 0.1%

#### **15.2 Chemical safety assessment:**

No Chemical Safety Assessment has been carried out.



**Safety Data Sheet - Continuous basalt fiber products**  
*Compiled in accordance with GHS*  
Date of issue/Date of revision: 30 September 2015 / 25 October 2017

#### **16. Other**

**Further information:**

N/A = not applicable

---

**Disclaimer:**

*Data quoted in this Safety Data Sheet relate exclusively to the basalt product described and not to a combination of this product with any other kind of substance, a different preparation, or a different material resp. process. The data describes issues relevant to safety according to the best of our knowledge as it is to date and are intended to protect human beings and the environment. They do not represent quality characteristics nor may they be construed as a release of responsibility when handling basalt products nor from compliance with existing legal regulations and obligations. The data address wholesalers and are not intended for private users.*

### **Mynd 74 Basalttex BCS17-25.4-KV1 öryggisblað**

### 7.1.1 Tilvísanir

Vísað er í eftirfarandi staðla og leiðbeiningar í verkefninu.

ÍST EN 1992-1-1:2004. (49)

ASTM C1609/C1609M (50)

ACI, ACI 544.4R-18 (7)

ÍST EN 206:2013 (9)

ÍS EN 197-1:2011 (51)

ÍST EN 12390-4:2019 (52)

ÍST EN 12504-1:2021 (53)

ÍST EN 12620 (46)

ÍST EN 14487-1:2005 (54)

ÍST EN 14487-2:2006 (55)

ÍST EN 14488-1:2005 (56)

ÍST EN 14488-2:2006 (57)

ÍST EN 14488-3:2006 (8)

ÍST EN 14488-4:2005 (58)

ÍST EN 14488-5:2006 (59)

ÍST EN 14488-6:2006 (60)

ÍST EN 14488-7:2006 (61)