



## Steinefni í steinsteypu

Samanburður á niðurstöðum prófana á tveimur steinefnasýnum

---

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar

Nóvember 2021

## Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnanna eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
1800-745/Lokaskýrsla	10	03.11.21	Opin
<b>Heiti skýrslu</b>			
Steinefni í steinsteypu – Samanburður á niðurstöðum prófana á tveimur steypuefnasýnum			
<b>Report Title in English</b>			
Aggregates for Use in Reinforced Concrete – Testing of Two Aggregate Samples			
Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar	
Pétur Pétursson, stoðdeild Vegagerðarinnar	Pétur Pétursson	Pétur Pétursson	
Styrktaraðili		Samvinnuaðilar	
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar		Nýsköpunarmiðstöð Íslands	
<b>Útdráttur</b>			
Þessi greinargerð er skil á verkefninu um prófanir á tveimur steinefnasýnum sem tekin voru og prófuð á NMÍ síðasta vetur. Tilgangur verkefnisins var að prófa tvö dæmigerð steinefnasýni sem notuð höfðu verið nýlega í steinsteypar brýr. Niðurstöður verkefnisins eru settar fram í töflum og á myndum og fjallað um niðurstöðurnar í stuttu máli.			
<b>Abstract in English</b>			
This report describes tests of two aggregate samples that were taken and tested at Innovation Center Iceland (Nýsköpunarmiðstöð Íslands, NMÍ) last winter. The purpose of the project was to test two typical aggregate samples that was used in new concrete bridges. The results of the project are presented in tables and pictures and the results are briefly discussed.			
<b>Lykilorð</b>			
Steinefni, prófanir, steinsteypa.			
Undirskrift verkefnastjóra			Yfirfarið af
			ÓSH

## Efnisyfirlit

Lykilsíða .....	2
1 Inngangur .....	4
2 Niðurstöður prófana.....	5
3 Samantekt .....	9

# 1 Inngangur

---

Hugmyndin að þessu verkefni var til komin til að styrkja enn frekar framsettar kröfur til steinefna í steinsteypu sem settar eru fram í 7. kafla Efnisgæðarits Vegagerðarinnar „Steinsteypa“. Í umsókn til rannsóknasjóðsins kemur eftirfarandi fram: *Verkefnið felst í því að láta gera prófanir á tveimur völdum sýnum af steinefni í steinsteypu. Farið verður eftir kröfukafla um prófanir á steinefnum í steinsteypu í kafla 7 í Efnisgæðaritinu, en hann var fyrst gefinn út í janúar 2018. Í raun er hér verið að byggja undir þær kröfur sem settar eru fram í kaflanum um steypuefni og verða því valin steinefni úr misgóðum námum. Verkefnið mun sjá um að kosta sýnatöku .... af tveimur steypuefnasýnum og flutning að prófunarstofu. Einnig er verkefninu ætlað að standa undir kostnaði við prófanir, úrvinnslu og túlkun niðurstaðna og greinargerð um hæfi sýnanna í mismunandi steypugerðir samkvæmt Efnisgæðaritinu. Lagt verður mat á hvort ástæða geti verið til að endurskoða einhverjar kröfur sem settar eru fram í Efnisgæðaritinu. Enn fremur segir: Markmið verkefnisins er fyrst og fremst að styrkja framsetningu á kröfum sem gerðar eru til steinefna í Efnisgæðaritinu til nota í mismunandi gerðir steinsteypu. Þar sem kafla 7 er nýlegur er mikilvægt að afla frekari gagna um eiginleika steinefna sem notuð eru í steinsteypu vítt og breytt um landið. Í sumum tilfellum hefur skort nokkuð upp á rannsóknir á steinefnum sem notuð eru í steinsteypu, sérstaklega hjá tiltölulega litlum steypustöðvum utan þéttbýlis.*

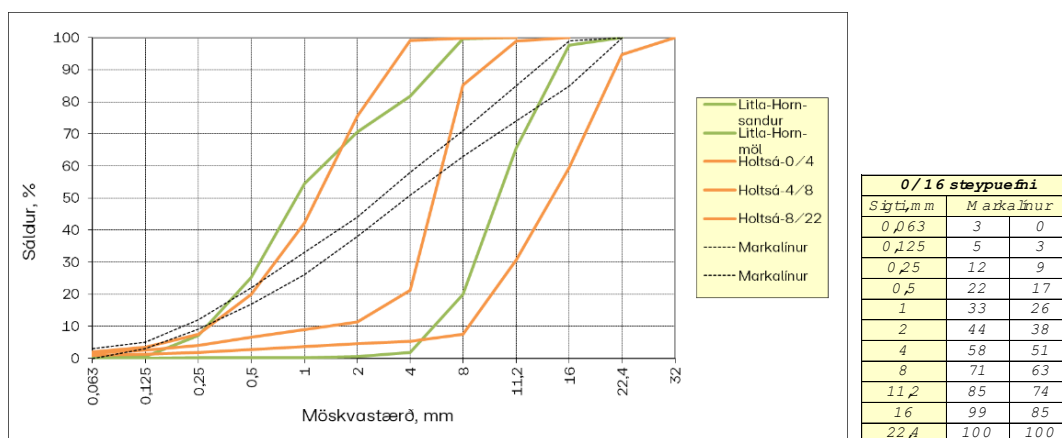
## 2 Niðurstöður prófana

Fyrir valinu urðu steinefni úr námunum Holtsá (Nnr. 22786) og Litla-Horni (Nnr. 20212) og þau prófuð með þeim aðferðum sem tilgreindar eru í Efnisgæðaritinu. Kornadreifing steinefnanna voru mældar á þeim stærðum sem sýni voru tekin af en ekki samsettri kornakúrfu. Tafla 1 sýnir niðurstöðu mælinga á kornadreifingu á völdum sigtum, sem sagt fínefnasigtinu (< 0,063 mm), sandsigtinu (< 4 mm) og svo malarsigtunum (< 8, < 16 og < 22 mm).

**Tafla 1** Kornadreifing steinefnasýna frá Holtsá og Litla-Horni á völdum sigtum

Kornastærðir	Eiginleiki	Holtsá, %	Litla-Horn, %
<b>Sandur 0/4 mm</b>	< 4 mm	99	82
	Fínefni	2,1	0,4
<b>Möl 4/8 mm – 4/16 mm</b>	< 16 mm	100	98
	< 8 mm	85	20
	< 4 mm	21	2
	Fínefni	1,6	0,1
<b>Möl 8/22 mm</b>	< 22 mm	95	X
	< 8 mm	8	X
	Fínefni	0,9	X

Sýni til kornadreifingarmælinga voru tekin af ómeðhöndluðum sýnum, þ.e.a.s. hönnuð kornakúrfa lá ekki fyrir. Mynd 1 sýnir kornadreifingu tveggja misgrófra sýna af sýnum frá Litla-Horni og þriggja sýna frá Holtsá. Inn á myndina eru dregnar markalínur fyrir 0/16 mm steypuefni, skv. Efnisgæðariti Vegagerðarinnar.



**Mynd 1** Kornadreifing ómeðhöndlaðra sand- og malarsýna frá Holtsá og Litla-Horni

Eins og sést á mynd 1 og töflu 1 má segja að um sé að ræða tvö sandsýni, annað frá Holtsá með 99% undir 4 mm og 2,1 % fínefni og hitt frá Litla-Horni með 82% undir 4 mm og 0,4% fínefni.

Malarsýnið frá Litla-Horni liggur að mestu á milli 8 og 16 mm kornastærða, en finna malarsýni Holtsársýnisins liggur að mestu á milli 4 og 8 mm kornastærða, en það grófara á milli 8 og 22 mm kornastærða.

Í töflu 2 er birt niðurstaða berggreininga á sýnum frá námunum tveimur, en þau voru greind í kornastærðinni 8 til 11,2 mm.

**Tafla 2** Niðurstaða berggreiningar á sýnum frá Holtsá og Litla-Horni

Berggreining og gæðaflokkun steinefna í steinsteypu			
Holtsá	Bergbrigði	Niðurstaða, %	Gæða-flokkur
Berggreining	Ferskt, þétt basalt	51	1
	Ferskt, þétt, glerkennt	16	1
	Ferskt, blöðrótt basalt	10	1
	Ummyndað, þétt basalt	1	2
	Basaltgler	18	2
	Mjög blöðrótt, fersk basalt (> 25%)	5	3
Litla-Horn	Bergbrigði	Niðurstaða, %	Gæða-flokkur
Berggreining	Ferskt, þétt basalt	63	1
	Ferskt, blöðrótt basalt	3	2
	Ummyndað, þétt basalt	5	2
	Gler	4	3
	Set	1	3
	Ryólít	12	2
	Granófýr	6	1
	Gabbró	6	1

Samkvæmt þessum greiningum er Holtsá með 77% af 1. flokks efni, 18% af 2. flokks efni og 5% af 3. flokks efni miðað við notkun í gæðasteypu. Útkoman er mun lakari fyrir steinefni til notkunar í bundin slitlög þar sem 3. flokks efni væri í því tilviki 22% og munar þar mest um bergbrigðið basaltgler. Þar með myndi Holtsárefnið flokkast hæft í gæðasteypu, en óhæft í slitlagssteypu. Steinefni frá Litla-Horni flokkast með 66% í 1. flokki, 32% í 2. flokki og 2% í þriðja flokki fyrir steinefni í gæðasteypu. Sem steinefni í bundið slitlag stenst krafa um 80% í 1. gæðaflokki hins vegar ekki hjá Litla-Horni, en er þó mjög nærri því að standast með 75% í 1. flokki og 5% í 3. flokki sem eru efri mörk magns 3. flokks efnis. Þó skal bent á að aðrir eiginleikar en leiðbeinandi berggreining gætu útilokað notkun þessara efna sem steinefni í slitlagssteypu, en að því er vikið hér á eftir.

Í töflu 3 eru birtar niðurstöður prófana á ýmsum eiginleikum steinefna frá Holtsá og Litla-Horni.

Tafla 3 Ýmsar prófanir á eiginleikum steinefna frá Holtsá og Litla-Horni

Stærðarflokkur	Eiginleiki	Holtsá	Litla-Horn	Eining
14/16 mm	Rúmþyngd (apparent)	2,996	2,941	Mg/m <sup>3</sup>
	Rúmþyngd (bulk)	2,835	2,868	Mg/m <sup>3</sup>
	Rúmþyngd (SSD)	2,889	2,893	Mg/m <sup>3</sup>
	Mettivatn	1,9	0,9	%
11,2/14 mm	Rúmþyngd (apparent)	2,985	2,884	Mg/m <sup>3</sup>
	Rúmþyngd (bulk)	2,826	2,805	Mg/m <sup>3</sup>
	Rúmþyngd (SSD)	2,879	2,833	Mg/m <sup>3</sup>
	Mettivatn	1,9	0,9	%
10/14 mm	Los Angeles styrkleiki	15	12	%
11,2/16 mm	Kvarnargildi	5	1	%
8/16 mm	Frostþol í saltlausn	1	0	%
4/8 mm	Kleyfnistuðull	4,4	7,8	%
8/22 mm		6,0	19,1	%
0/8 mm	Klóríðinnihald	0,000	0,003	%
8/16 mm		0,000	0,000	%

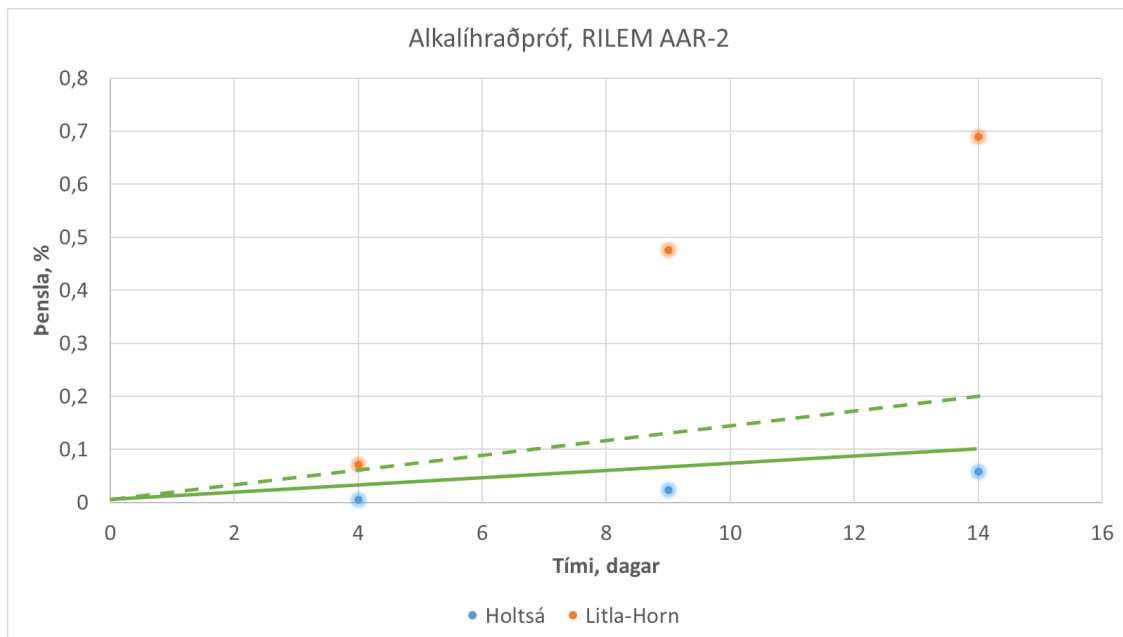
Eins og taflan sýnir eru kornarúmþyngdir þessara tveggja steinefnasýna nokkuð áþekkar og mettvatnsmæling bendir til að steinefni frá Litla-Horni sé þéttara en frá Holtsá, en berggreiningin bendir til þess sama. Ef lítið er til niðurstaðna LA-styrkleikaprófs er ljóst að bæði steinefnin eru sterk miðað við kröfur Efnisgæðaritsins, en gæðasteypa skal samkvæmt því flokkast sem LA<sub>25</sub> og slitlagssteypa sem LA<sub>20</sub>. Bæði steinefnin standast vel þær kröfur.

Varðandi slitþol þessara steinefna með kúlnakvarnaraðferð er, að mati höfundar þessarar greinargerðar, lítið mark takandi á niðurstöðunum. Þannig er háttáð með malarefni sem gjarnan er notað í steinsteypu að valið er að brjóta það helst ekki neitt til að flæðieiginleikarnir séu hámarkaðir. Það veldur því að í kúlnakvarnarprófi á sér stað sáralítið slit, þar sem óbrotin mölin hagar sér í raun eins og kúlurnar sjálfar sem eiga að valda sliti. Því segja þessar slittölur, 5% og 1% lítið sem ekkert um slitþol steinefnanna. Með öðrum orðum má gera ráð fyrir að steinefni sem notuð eru í slitlög skuli uppfylla ákveðið lágmarks-brothlutfall, eins og kveðið er á í Efnisgæðaritinu, en í þessu verkefni var brothlutfallið ekki mælt. Samkvæmt sænskum heimildum (tölvupóstur frá Björn Schouenborg til höfundar frá 19. nóvember 2021, en Björn tók þátt í að útfæra þessa prófunaraðferð sem Evrópustaðal) er ætíð reiknað með að sýni í kúlnakvörn sé brotið, malað efni í stærðarflokki 11,2-16 mm. Prófið hentar því ekki til prófana á óbrotnu malarefni sem slitlagsefni.

Bæði þessi steinefni koma mjög vel út úr frostþolsprófinu, með niðurbrot um og undir 1%, sem sagt lítið sem ekkert niðurbrot, en ítrasta krafa er < 4% niðurbrot (F<sub>ec4</sub>). Kleyfnistuðullinn er einnig mjög hagstæður fyrir bæði efnin í stærðarflokki 4/8 mm, eða á milli 4 og 8% og í stærðarflokki 8/22 mm mælist kleyfnistuðullinn 6% á Holtsárefninu, en 19% á steinefninu frá Litla-Hornsnámu. Það gildi er undir mörkum um lögum gæðasteypu (FI<sub>20</sub>), en yfir mörkum fyrir slitlagssteypu (FI<sub>15</sub>).

Lítið sem ekkert mældist af klóríð í báðum steinefnasýnunum og eru þau því vel innan marka miðað við ákvæði byggingareglugerðar, þar sem kveðið er á að klóríðinnihald skuli vera  $\leq 0,06\%$  miðað við þurrt efni. Ef um er að ræða sjávarfni, gilda stífari kröfur um magn klóríðs og má það ekki vera meira en  $0,036\%$  miðað við þurran sand fyrir járnþenta steypu og  $0,012\%$  fyrir steypu með spenntu bendistáli vegna tæringarhættu. Sýnið frá Litla-Horni er að uppruna sjávarfni, en stenst engu að síður vel kröfur reglugerðarinnar.

Loks er að nefna að steinefnasýnin tvö voru sett í svokallað alkálíhraðpróf, skv. aðferð RILEM AAR-2. Prófið felst í því að mæla þenslu múrstrendinga sem steypdir eru með viðkomandi steinefni og háalkalísementi. Prófið tekur 14 daga og er alkálíþenslan mæld eftir 4, 9 og 14 sólarhringa. Niðurstöður þessara prófana má sjá á mynd 2 hér að neðan.



**Mynd 2** Niðurstöður alkálíhraðprófs á steinefnasýnum frá Holtsá og Litla-Horni

Sú þensla sem er yfir brotalínunni er virk alkálíþensla ( $> 0,2\%$  eftir 14 daga), en það sem er undir heilu línunni telst vera óvirk alkálíþensla ( $< 0,1\%$  eftir 14 daga). Þar með er ljóst að steinefnið frá Litla-Horni mælist umtalsvert alkálívirkt, en steinefnið frá Holtsá mælist ekki alkálívirkt samkvæmt þessari prófunaraðferð.

Að öllu jöfnu er hraðprófið yfirleitt látið duga ef viðkomandi steinefni stenst það próf og er þar með samþykkt. Ef ekki, er seinvirkara próf gert samkvæmt RILEM AAR-3 aðferðinni, en það tekur um það bil eitt ár í framkvæmd.

Efnisgæðaritið kveður á um (í samræmi við reglugerð) að ef steinefni mælist virkt með hraðprófinu skuli annað hvort velja annað steinefni eða prófa það aftur með 12 mánaða prófi með því sementi sem til stendur að nota, sem og kísilyki ef svo ber undir. Í slíku endurteknu prófi gilda önnur viðmið um leyfða þenslu, sem sagt að hún mælist minni en  $0,05\%$  eftir 12 mánuði, en ekki var haldið áfram með steinefnasýni frá Litla-Horni, heldur látið gott heita að sinni.



### 3 Samantekt

---

Í þessu rannsóknaverkefni var ákveðið að gera ekki fleiri prófanir á þeim tveimur steinefnasýnum sem valin voru til prófana, sem sagt Holtsá og Litla-Horni. Ástæðan fyrir vali á þessum tveimur sýnum var fyrst og fremst sú að steinefnin sem um ræðir höfðu nýlega verið notuð í steypu í brýr á Suðausturlandi og var handhægt að fá sýni af þeim.

Það er skemmst frá því að segja að greiningar á kornadreifingu bendi til að einfalt væri að vigta saman út kúrfunum til þess að fá lokakúrfu sem félli innan marka sem sett eru fram í Efnisgæðaritinu. Ekki var fengið sýni með hannaðri lokakúrfu, enda lá það ekki fyrir við sýnatökuna. Þó verður gera ráð fyrir að framleiðandi steypugerðanna tveggja hafi mælt kornadreifingu steinefnanna í steypuna reglulega og í samræmi við kröfur um framleiðslueftirlit.

Berggreining bendir til að sýnið úr Holtsárnámu standist kröfur til gæðasteypu, en ekki slitlagssteypu, þar sem bergbrygðið „basaltgler“ sem er 17% af sýninu fellur í 3. gæðaflokk fyrir slitlagsefni, en annan gæðaflokk fyrir gæðasteypuefni. Sama má segja um steinefni frá Litla-Horni, en þó er berggreining þess efnis mun nær því að standast sem slitlagsefni.

Steinefnasýnin stóðust að mestu flestar kröfur sem gerðar eru til gæðasteypu og reyndar líka slitlagsteypu, þó með þeirri undantekningu að kornalögun Litla-Horns efnisins fór yfir 15% mörkin fyrir slitlagssteypu. Einnig verður að halda því til haga að varasamt er að treysta niðurstöðum úr kúlnakvarnarprófi á steinefnum sem eru lítið sem ekkert brotin og að langmestu leyti alveg núin eins og stálkúlurnar sem veita álagið. Þar að auki gæti hugsanlega einnig verið varasamt að nota óbrotin steinefni í slitlagssteypu, m.a. vegna hættu á lágu hemlunarviðnámi við vissar aðstæður, en til stendur að mæla viðnám á brúargólfum með óbrotnu steinefni eftir næsta sumar.

Loks má aftur nefna alkalívirgni þeirra steinefnasýna sem prófuð voru í þessu verkefni, en annað þeirra stóðst hraðprófið (Holtsá) og hitt féll í því prófi (Litla-Horn). Þó má benda á að eflaust hefði verið hægt að minnka þensluna á múrstendingum með steinefni frá Litla-Horni með notkun á annars konar sementi en notað er í prófinu. Einnig má benda á að reynslan sýnir að steinefni frá Litla-Horni hefur verið notað án vandamála með íblöndun 6-8% kísilryks í sementið.

Það má ef til vill draga þá ályktun af þessu tiltölulega litla rannsóknarverkefni að íslensk steinefni sem mest eru notuð í steinsteypu standist flest kröfur sem gerðar eru til gæðasteypu. Þessi ályktun er byggð á niðurstöðum þessa verkefnis, en líka á töflu 7-2 í kafla 7 í Efnisgæðaritinu. Því ættu framleiðendur og kaupendur steinsteypu, t.d. í brúargerð að vera óhræddir við að fara eftir þeim kröfum sem settar eru fram í kafla 7.5.1 í kafla 7 í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar.