

Slitpolin hástyrkleikasteypa 50 mm lag á brýr – þróun og blöndun – framhald

Skýrsla - áfangi 2, júlí 2022



Dr. Gísli Guðmundsson
Helgi S. Ólafsson
Kjartan B. Kristjánsson
Gylfi Sigurðsson
Dr. Ólafur H. Wallevik

Háskólinn í Reykjavík
Tæknisetur
Vegagerðin

Júlí 2022

Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar styrkti rannsóknarverkefnið:
Slitþolin hástyrkleikasteypa, 50 mm lag á brýr – þróun og blöndun – framhald, áfangi 2.

Höfundar greinargerðarinnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirrar stofnunar sem höfundar starfa hjá.

Efnisyfirlit

Inngangur	1
Steinefni í slitlagssteypur.....	2
Prófanir á steinefni fyrir slitlagssteypur	2
Prófanir á slitlagsprófsteypum	4
Rýrnun og þyngdarbreyting.....	9
Prófanir á prófsteypum frá slitlagssteypu frá Tálknafirði.....	12
Lokaorð – Ályktun.....	14

Inngangur

Í slitþolna hástyrkleikasteypu eru notuð sérvalin steinefni blandað saman við sement, plast- og stáltrefjar ásamt flotefnum. Mikilvægustu þættir í slitlagssteypu eru: Afar lítil rýrnun, þéttleiki, frostþol og mikið slitþol. Þrýstistyrkur er mjög hár (≥ 90 MPa) og er steypan hönnuð sem frostþolin án loftíblöndunnar.

Steypan er sjálfþakandi án þess að vera sjálfútleggjandi og um er að ræða seigjustýrða hátækni framleiðslu.

Með því að velja hástyrkleikasteypu slitlag fram yfir „hefðbundnar“ lausnir fæst:

- Löng ending slitlags lækkar viðhaldskostnað og kostnað vegfaranda
- Dregur úr slyshættu
- Vörn fyrir burðarsteypu, uppennukapla og járnþvingu
- Mun þéttara yfirborð en með venjulegri steypu
- Lokar hugsanlegum sprungum og steypugöllum í yfirborði burðarsteypu
- Mikilvægur liður í 100 ára líftímahönnun
- Yfirborð á brú verður mun sléttara
- Sérstakt steypu slitlag er ekki hluti af burðarvirkinu
- Löng ending slitlags felur í sér umhverfisvæna lausn (Vesturlandsvegur í Kollafirði er t.d. 50 ára í ár)

Viðhaldskostnaður lækkar verulega á brú með sérstöku steypu slitlagi þar sem líftími sérstaka slitlagsins er langur og langur tími líður þar til ráðast þarf í endurnýjun þess.

Hægt er að hanna slitlagsteypu með háum byrjunarstyrk þannig að slitlagið nær mjög fljótt nægilegum styrk til að hægt sé að hleypa umferð á, eða eftir um 3 daga.

Í yfirborði brúa án sérstaks slitlags, geta leynst hættur fyrir umferð vegna ójafna, sem vegfarendur vara sig ekki á, jafnvel hálkublettir í köldu veðri. Undirliggjandi burðarvirki er auk þess ekki varið sérstaklega.

Steinefni frá Harðakambi á Snæfellsnesi og Stokksnesi í Hornafirði hafa verið notuð í slitlagssteypur með góðum árangri. Markmið þessa verkefnis gengur meðal annars út á að finna fleiri sérvalin steinefni á Íslandi sem eru hæf í slitlagssteypu. Til þess að halda kostnaði í lágmarki við fyrirhugaðar slitlagssteypur er æskilegt að nota staðbundin steinefni. Með því næst einnig umhverfislegur ávinningur því flutningavegalengdir styttest og kolefnisspor viðkomandi framkvæmdar lækkar.

Steinefni frá Norðurlandi og Vestfjörðum hafa ekki verið prófuð í fyrri slitlagsrannsóknnum (1, 2, 3). Í þessu verkefni eru meðal annars skoðuð steinefni frá Hálfárdni við Bíldudal, Neðri Mýrum við Þverárfjallsveg, Klifanda og Holtsá í Mýrdal.

Steinefni í slitlagssteypur

Leitað var að steinefni frá Vestfjörðum og Norðvesturlandi með tilliti til notkunar í slitlagsteypur. Leitin að steinefni byggðist á berggreiningu, kúlnakvarnargildum og LA-gildum úr gagnagrunni Vegagerðarinnar (6). Einnig var efni af Suðurlandi skoðað.

Ekkert ákjósanlegt efni fannst í gagnagrunni Vegagerðarinnar af Vestfjörðum og því er ekki um auðugan garð að gresja varðandi slitþolið steinefni frá þeim landshluta. Steinefni frá námu við Hálfán við Bíldudal var valið til nánari skoðunar. Valið byggðist eingöngu á sjónmati efnisins, en Vegagerðin hafði ekki prófað það. Steypustöðin í Bíldudal útvegaði steinefni í prófanir.

Af Norðvesturlandi var rannsakað efni frá Neðri Mýrum við Þverárfjall, og efni frá tveimur námum við Héraðsvötn í Skagafirði, annars vegar Vallanesnámu og hins vegar Vatnsleysunámu. Steypustöð Skagafjarðar útvegaði steinefni í prófanir.

Steinefni af Suðurlandi hafa verið prófuð í fyrri rannsóknum (1,2, 3). Þegar fréttist af tveimur áhugaverðum steinefnánámum af Suðurlandi var ákveðið að prófa efni úr þeim. Þetta eru námur kenndar við Klifanda og við Holtsá. Steypustöðin útvegaði steinefni í prófanir.

Prófanir á steinefni fyrir slitlagssteypur

Bergreining, kúlnakvarnar- og LA-prófanir voru gerðar á steinefnum sem fengust af Vestfjörðum, Norðurvesturlandi og Suðurlandi. Mettivatn var einnig mælt ef um áhugavert steinefni var að ræða. Niðurstöður prófananna eru settar fram í **töflu 1**. Hafa ber í huga að ekki liggja fyrir ákveðin mörk varðandi niðurstöður úr viðkomandi prófunum m.t.t. slitlagssteypu heldur eru niðurstöðurnar notaðar sem mælikvarði á eiginleika viðkomandi efnis.

Varðandi þessar prófanir er miðað við tiltölulega lágt kúlnakvarnargildi eða um 5. Miðað er við að hluti þriðja flokks efnis í bergreiningu sé undir 10 %. Æskilegt er að mettivatn efnis sé undir 2 %.

Slitþolin hástyrkleikasteypa, 50 mm lag á brýr – þróun og blöndun – framhald, áfangi 2

Tafla 1. Niðurstöður prófana á steinefni á NMÍ/Tæknisetri ehf. Númer er úr námskrá Vegagerðarinnar. Niðurstöður úr eldri mælingum á steinefnum frá Harðakambi, Stokknesi og Jökulsá á Dal eru sett fram til viðmiðunar.

	Berggreining m.t.t. slitlaga, %			Kúlnakvarnargildi	LA-gildi	Mettivatn (möl), %
	1. flokkur	2. flokkur	3. flokkur			
Hálf dán (malað efni)	78	19	4	19,8	15,4	
Neðri-Mýrar – 21369 (malað efni)	100			5,2	12,2	1,2
Vallanesnáma – 15991	70	16	14	11,6	18,2	
Vatnsleysunáma – 18156	83	13	4	18,2	16,6	
Klifandi 14-16 mm	53	23	24	Ekki prófað	Ekki prófað	1,8
Klifandi 11,2-14 mm	Ekki prófað	Ekki prófað	Ekki prófað	6,9	15,2	1,9
Holt 14 – 16 mm	65	31	5	Ekki prófað	Ekki prófað	1,3
Holt 11,2 – 14 mm	Ekki prófað	Ekki prófað	Ekki prófað	4,2	14,7	1,7
Harðikambur, 06.08.2014				2,7	19,0	
Harðikambur 01.12.2017	91	6	3	3,0	19,0	2,0
Harðikambur 16.07.2018	63	27	11			1,9
Stokksnes (Horngrýti) 01.12.2017	61	38	1	1,0	11,0	0,9
Stokksnes 26.11.2020	69	20	5	0,5	11,5	1,5
Jökulsá á Dal/Bakki 28.10.2014	85	13	2			
Jökulsá á Dal 13.11.2015				4,8	14,2	

Steinefni frá Hálf dani kemur frekar illa út úr kúlnakvarnarprófi og var það helsta ástæða þess að ekki voru gerðar steypuprófanir á efninu.

Neðri Mýrar efnið er malað efni. Það kemur mjög vel út úr prófunum. Berggreiningin er mjög góð. Niðurstöður úr kúlnakvörn og LA-prófunum eru einnig mjög góðar. Að lokum er mettivatnið mjög lágt. Ákveðið var að gera steypuprófanir á því.

Steinefni frá Vallanesnámu og Vatnsleysunámu komu frekar illa út úr kúlnakvarnarprófi. Ekki var farið í steypuprófanir með þessi steinefni.

Berggreining af Klifandaefninu kemur frekar illa út úr berggreiningu með tiltölulega stóran þriðja flokk, en berggreining af Holtsefninu kemur betur út og er sambærileg öðrum steinefnum sem notuð hafa verið í slitlagssteypur. Bæði Klifandi og Holtsá eru með tiltölulega lágt mettivatn og í sjónmati lítur steinefnið vel út. Ákveðið var að gera steypuprófanir á steinefnum frá þessum tveimur námum.

Sýndar eru niðurstöður á Harðakambsefni frá þremur mælingum yfir fjögurra ára tímabil. Kúlnakvarnargildið er lágt og mettivatnið um og undir 2 %. Hins vegar vekur athygli að skv. einni berggreiningunni er allt að 11 % af þriðja flokks efni.

Myndir 1 – 4, sýna áferð og hrjúfleika steinefna sem voru notuð.



Mynd 1. Steinefni frá Neðri Mýrum



Mynd 2. Steinefni frá Klifanda



Mynd 3. Steinefni frá Holtsá



Mynd 4. Steinefni frá Stokksnesi í Hornafirði til samanburðar

Prófanir á slitlagsprófsteypum

Þrjár prófsteypur voru steypar með steinefnum frá Neðri Mýrum, Klifanda og Holtsá. Steypurnar voru steypar með dönsku hraðsementi. Steypublandan var samkvæmt hefðbundinni uppskrift sem notuð hefur verið í rannsóknir á slitþolnum hástyrkleikasteypum í 50 mm lög. Allur sandurinn í prófblöndunum þremur er frá Klifanda námunni. Það var gert vegna þess að steinefnið frá Neðri Mýrum er mjög hrjúft og prófsteypa með steinefnum eingöngu þaðan reyndist allt of stíf. Til þess að draga úr vægi hrýfis malarinnar var ákveðið að nota náttúrulegan sand.

Klifandasandur var einnig notaður með mól frá Holtsá vegna þess að Holtsársandurinn var mjög einkorna.



Mynd 5. Prófsteypa sem er verið að hræra saman, sem var á þessum tímapunkti frekar seig.

Steypublandan er gefin í **töflu 2**. Auk þess var notað Premia sem sérvirkt flotefni og Dynamon XTend-200 sem flæðivörn (e. flow keeper) og plast- (1,9 %) og stáltrefjar (20 %). Steyptar voru þrjár prófsteypur eins og áður segir, þ.e. Klifandi2, Klif.Mýr1 og Klif.Holt1, sjá **töflu 2**. Heildarmagn semenstbundinna efna (sement+kísilryk) er 595 kg/m³ eins og hefð er fyrir. Þó var í þessu tilfalli lægra magn kísilryks og notað kísilryksmagn eins og í steypu á Botnsá, þ.e. 36 kg/m³.

Æskilegt er að kísilryk innihaldið sé um 45 kg/m³ til að draga úr aðskilnaði og lækka plastískan seigjustuðul.

Tafla 2. Prófblöndur (DK-Rapid Cement)

	Klifandi2	Klif.Mýr1	Klif.Holt1
Sement, kg/m ³	559	559	559
Kísilryk, kg/m ³	36	36	36
Vatn, kg/m ³	160	160	160
Sandur (0-8 mm), kg/m ³	1319	1330	1325
Möl (8-16 mm), kg/m ³	494	465	484

Sigmáls-, sigmálsflæði-, viscometer-, og rheometersmælingar voru gerðar á öllum blöndunum, sjá **myndir 6, 7 og 8**. Stefnt er á að vera með seigjustuðul, H-gildi: 6-8 (a.u.), mælt með Rheometer.



Myndir 6 og 7. Sigmálsflæði steypu, þar sem örlar á aðskilnaði



Mynd 8. Seigjumælirinn - ConTec Viscometer 5.

Til einföldunar eru eingöngu niðurstöður mælinga á sigmáli og sigmálsflæði gefnar í **töflu 3**.

Tafla 3. Prófsteypur frá 17.01.2021 og 18.01.2021. Niðurstöður úr sigmáls- og flæðimælingum sem voru gerðar á ferskum blöndum.

	Sigmál, mm	Sigmálsflæði, mm
Klifandi2	265	645
Klif.Mýr1	255	583
Klif.Holt1	265	645

Mælingar voru gerðar á 2 og 28 daga þrýstistyrk, á beygjutogþoli og fjaðurstuðli. Á **myndum 9, 10, 11, 12 og 13** má sjá mót og vinnu tengdri sýnagerðinni.



Mynd 9. Mótin sem notuð voru fyrir beygjutogþolssýni, ásamt mótum fyrir rýrnunarsýni, fjaðurstuðuls-, frostþols- og þrýstistyrksmælingar.



Mynd 10. Stórir sívalingar fyrir fjaðurstuðul (E-modul), **Mynd 11.** Steypa sett í mót fyrir rýrnunarsýni og litlir sívalingar fyrir þrýstistyrk.



Mynd 12. Steypa sett í mót fyrir beygjutogþolsýni.

Mynd 13. Frostþolskubbar.

Niðurstöður úr mælingum á 2 og 28 daga þrýstistyrk, beygjutogþoli og fjaðurstuðli eru settar fram í **töflu 4**.

Tafla 4. Prófsteypur frá 17.01.2021 og 18.01.2021. Niðurstöður úr mælingum á 2 og 28 daga þrýstistyrk, beygjutogþoli, fjaðurstuðli. 10x20 cm sívalningar og 10x10x40 cm strendingar.

	Þrýstistyrkur 2 daga, MPa	Þrýstistyrkur 28 daga, MPa	Beygjutogþol, MPa	Fjaðurstuðull, GPa
Klifandi2	66,2	97,2	9,5	46,3*
Klif.Mýr1	57,1	90,9	10,1	48,5**
Klif.Holt1	62,0	85,0	8,9	50,7**

* meðaltal þriggja mælinga

** ein mæling

Tveggja daga þrýstistyrkur prófblandanna er á bilinu frá 57 til 66 MPa og 28 daga þrýstistyrkur er á bilinu frá 85 til 97 MPa. Beygjutogþolið liggur á bilinu 9 til 10 MPa. Fjaðurstuðulinn er á bilinu frá 46 til 51 GPa. Hafa ber í huga að aðeins var ein mæling gerð á fjaðurstuðli á sýnum Klif.Mýr1 og Klif.Holt1.

Prall mælingar voru gerðar á öllum blöndunum. Niðurstöður úr þessum mælingum eru í **töflu 5**. Til viðmiðunar er upplýst um niðurstöður úr sambærilegum prófunum með steinefnum frá Harðakambi og Stokksnesi.

Tafla 5. Niðurstöður úr Prall prófum. Prófanir á Klifanda, Neðri Mýrum og Holtsá eru úr þessari rannsókn. Til viðmiðunar eru gefnar niðurstöður úr sambærilegum prófum með steinefnum frá Harðakambi og Stokksnesi. Um meðaltöl er að ræða og er fjöldi hlutsýna gefin í sviga fyrir sérhverja steypublöndu.

	Rúmþyngd, kg/m ³	Prallgildi, mL
Klifandi2 (6)	2525	20,3
Klif.Mýr1 (2)	2347	22,5
Klif.Holt1 (6)	2553	23,3
H (6) (sjá heimild 3)	2513	18,9
SV (5) (sjá heimild 3)	2513	19,3
LH (4) (sjá heimild 2)	2631	17,3

H: Hattardalsá, 2020 (Harðikambur)

SV: Steinavötn, 2020 (Stokksnes)

LH: Litla Horn, 2020 (Stokksnes)

Prall prófanir á steinsteypu eru ekki hefðbundnar prófanir og því eru engin viðmiðunargildi til staðar¹. Prall prófanir hafa verið framkvæmdar í fyrri slitlagssteypu verkefnum og samanburður við fyrri niðurstöður ætti að gefa ágætis hugmynd um slitþol viðkomandi sýnis. Prófanir á slitlagssteypu með Harðakambsefni og Horngrýti gefa Prallgildi frá 17 til 19 mL. Prallgildi fyrir steypur úr þessari rannsókn liggja á bilinu 20 til 23 mL eða nokkru hærrí en eldri mælingar. Gera má ráð fyrir að steinefni sem voru prófuð í þessari rannsókn (Klifandi, Neðri Mýrar, Holt) séu ekki eins slitþolin og Harðakambs- og Stokksnesefnin eru.

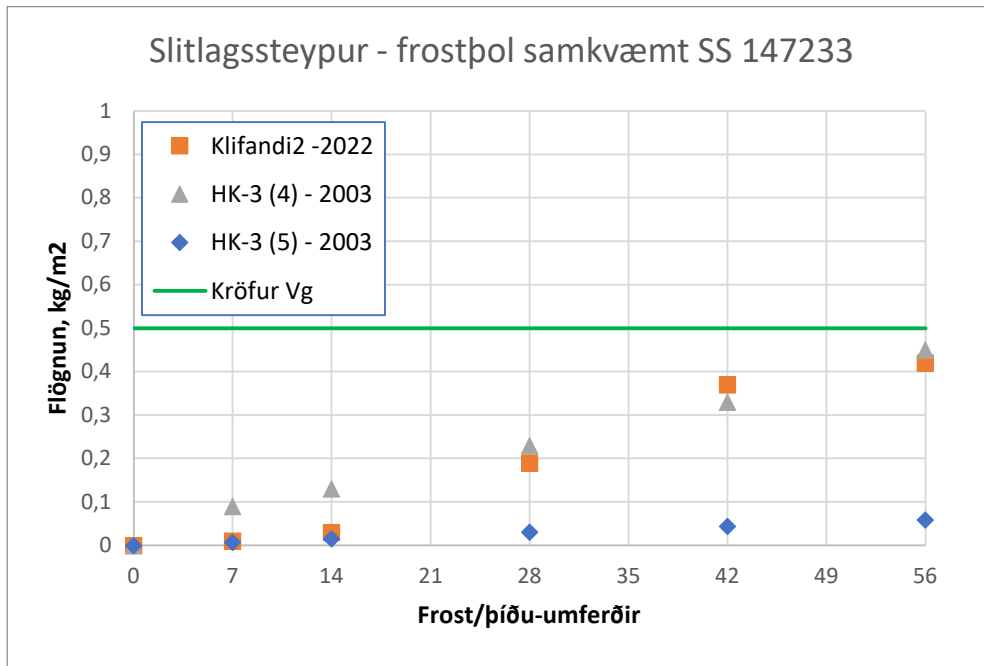
Frostþol prófsteypu Klifandi2 var prófað samkvæmt SS 147233 með 3 % saltlausn. Niðurstöður prófananna eru settar fram í **töflu 6**. Flögnunin eftir 56 frost/þíðu-umferðir er 0,42 kg/m². Þar sem Vegagerðin gerir kröfu um 0,5 kg/m² fyrir brúarsteypu er 0,42 kg/m² flögnun innan þeirra marka, en er engu að síður óvenju há miðað við niðurstöður úr fyrri prófunum og samanber niðurstöður á steypu frá steypustöðinni Bíldudal Tálknafirði, sjá **töflu 12**.

Tafla 6. Niðurstöður úr mælingu á frostþoli steinsteypu Klifandi2, kg/m². Steypa frá 17.01.2022.

	7. umf.	14. umf.	28. umf.	42. umf.	56. umf.
Klifandi2	0,01	0,03	0,19	0,37	0,42

Sambærilegar niðurstöður, þ.e. tiltölulega há flögnun í frostþolinu steypu, hafa sést í eldri rannsóknnum, þótt þær séu ekki algengar. Á **mynd 14** eru sýndar niðurstöður úr sjálfútleggjandi steypu HK-3, sjá heimild 4, ásamt niðurstöðum úr prófunum á Klifanda2. Blönduuppskrift HK-3 er mjög svipuð og Klifandi2 nema að rúmmálshluti sementsefju er u.þ.b. um 55 L meiri per m³ af steypu HK-3. HK-3 var steyppt með Harðakambsefni. Sýni HK-3 voru frostþolsprófuð samkvæmt SS 147233 staðlinum nema að í stað þriggja til fjögurra hlutsýna voru prófuð níu hlutsýni. Á **mynd 14** eru sýnd meðaltal fjögurra hlutsýna (HK-3 (4)) sem voru með meiri flögnun en meðaltal hinna fimm hlutsýnanna (HK-3 (5)).

¹aðferð til að mæla slitþol malbiks gagnvart negldum hjólbörðum, er lýst í IST EN 12697-16. Prall prófanir á steinsteypu eru ekki hefðbundnar prófanir og því eru engin viðmiðunargildi til staðar¹.



Mynd 14. Niðurstöður úr frostþolsprófunum á slitlagssteypu Klifandi2 ásamt niðurstöðum úr sjálfútleggjandi steypu HK-3 frá 2003. Hluti af HK-3 sýnunum eru með tiltölulega háa flögnun eins og Klifandi2 og hluti er með lága flögnun. Kröfur Vegagerðarinnar til brúarsteypu eru sýndar á myndinni.

Ástæða flögnunarinnar í HK-3 (4) var talin vera að Harðakambsefnið er með tiltölulega ávöl steinefni (möl). Fyrir frost/þíðuprófun eru sýni söguð niður í sneiðar. Þegar ávöl fylliefni í malarstærðum eru söguð niður geta orðið eftir í yfirborðinu tiltölulega þunnar sneiðar af steinefnum. Ef þannig korn losna í frost- þíðuprófun þá vegur það mikið í flögnuninni þegar hún er metin og veldur því að flögnunin er ofmetin. Þetta er einnig talin vera skýringin á tiltölulega mikilli flögnun í Klifanda2.

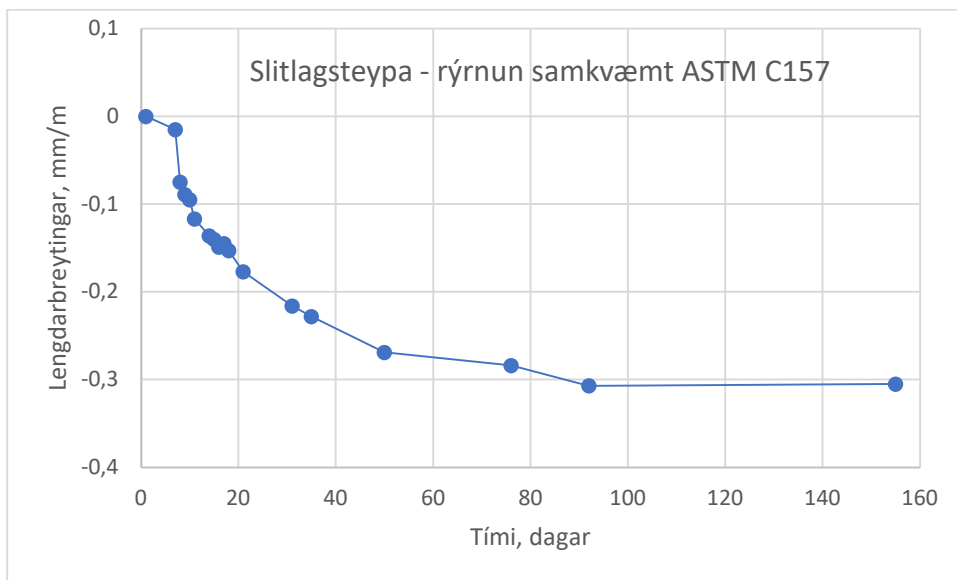
Rýrnun og þyngdarbreyting

Þurrkrýrnun var mæld á sýnum úr prófsteypu Klifandi2. Prófunin var framkvæmd samkvæmt ASTM C157. Niðurstöður prófunarinnar eru settar fram í **töflu 7** og á **myndum 15 og 17**.

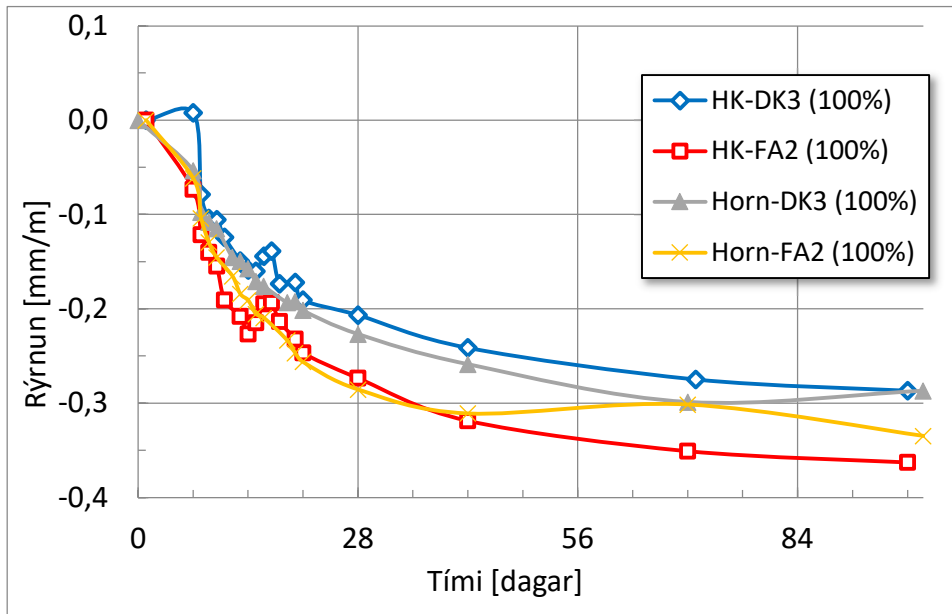
Eðlileg rýrnun hefðbundinnar steypu á Íslandi er á bilinu 0,6 til 0,8 mm/m, jafnvel stundum yfir 1,0 mm/m., miðað við 90 daga prófun, (5, 7). Rýrnun slitlagssteypu Klifandi2 er mjög lítil eða um 0,3 mm/m eftir 90 daga. Samanburður við eldri mælingar á slitlagsteypum, sjá **mynd 16**, sýnir að rýrnun í steypu Klifandi2 er svipuð og í slitlagssteypum með Harðakambs- og Stokksnesefni.

Tafla 7. Niðurstöður úr rýrnunarmælingum á steypublöndu Klifandi2, samkvæmt ASTM C157. Rýrnun og létting er með negatífum gildum. Meðatöl mælinga á þremur hlutsýnum.

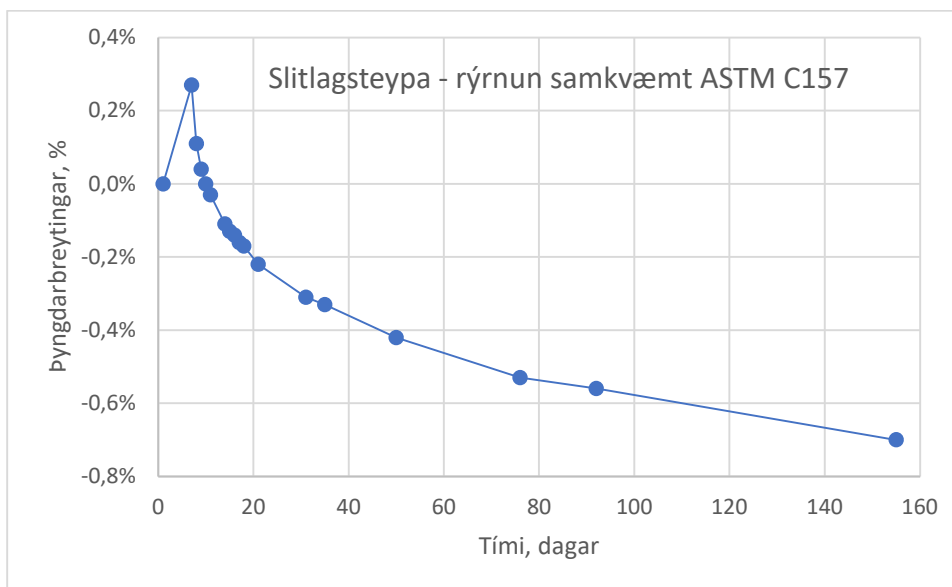
Tími, dagar	Meðaltal mælinga á þremur hlutsýnum	
	Lengdarbr., mm/m	Þyngdarbr., %
1	0,000	0,00%
7	-0,015	0,27%
8	-0,075	0,11%
9	-0,089	0,04%
10	-0,095	0,00%
11	-0,117	-0,03%
14	-0,136	-0,11%
15	-0,140	-0,13%
16	-0,149	-0,14%
17	-0,145	-0,16%
18	-0,153	-0,17%
21	-0,177	-0,22%
31	-0,216	-0,31%
35	-0,228	-0,33%
50	-0,269	-0,42%
76	-0,284	-0,53%
92	-0,307	-0,56%
155	-0,305	-0,70%



Mynd 15. Niðurstöður rýrnunarmælinga á steypusýni, samkvæmt ASTM C157. Eftir að tekið var utan af sýnum og núllmæling framkvæmd voru þau geymd í 100 % raka í 6 daga og svo sett í 50 % raka það sem eftir lifði prófunarinnar. Rýrnun er með neikvæðum formerkjum.



Mynd 16. Niðurstöður frá fyrri rannsókn með Harðakambsefni (HK) og Stokksnesefni (Horn). Frá heimild 3. Rýrnun er með neikvæðum formerkjum.



Mynd 17. Þyngdartap/aukning samkvæmt ASTM C157. Eftir að tekið var utan af sýnum og núllmæling framkvæmd voru þau geymd í 100 % raka í 6 daga og svo sett í 50 % raka það sem eftir lifði prófunarinnar. Létting er með neikvæðum formerkjum.

Prófanir á prófsteypum frá slitlagssteypu frá Tálknafirði.

Í tenglum við slitlagssteypu á brú yfir Botnsá í Tálknafirði, sem var steipt þann 11.08.2021, sjá mynd 18, voru prófsteypur gerðar hjá Tæknisetri.



Mynd 18. Slitlagssteypa lögð á brú yfir Botnsá.

Steypuuppskriftir eru settar fram í **töflu 8**, ásamt uppskrift sem var notuð í fyrsta steypubíl (merkt Bíll 1).

Tafla 8. Prófböndur (DK-Rapid Cement)

	BotnBrú21-1	BotnBrú21-2	Bíll 1
DK-Rapid Cement, kg/m ³	559	559	559
Kísilryk, kg/m ³	36	36	36
Vatn, kg/m ³	155	161	160
Harðikambur (0-8 mm), kg/m ³	1253	1240	1173
Harðikambur (8-16 mm), kg/m ³	559	557	566

Gerðar voru hefðbundnar flotfræðiprófanir á blöndunum. Niðurstöður úr mælingum á sigmáli og sigmálsflæði eru gefnar í **töflu 9**.

Tafla 9. Prófsteypur frá 17.01.2021 og 18.01.2021. Niðurstöður úr sigmáls- og flæðimælingum sem voru gerðar á ferskum blöndum.

	Sigmál, mm	Sigmálsflæði, mm
BotnBrú21-1	270	660
BotnBrú21-2	260	625

Niðurstöður úr mælingum á þrýstistyrk eru gefnar í **töflu 10**.

Tafla 10. Prófsteypur frá því í lok júlí og byrjun ágúst 2021. Niðurstöður úr mælingum á þrýstistyrk.

	Þrýstistyrkur 2 daga, MPa	Þrýstistyrkur 7 daga, MPa	Þrýstistyrkur 35 daga, MPa	Þrýstistyrkur 46 daga, MPa
BotnBrú21-1	74,6	67,2		112,6
BotnBrú21-2	47,3		94,7	

Slitþolin hástyrkleikasteypa, 50 mm lag á brýr – þróun og blöndun – framhald, áfangi 2

Sýni úr steypubílum voru tekin í steypustöðinni í Bíldudal. Sýnin voru prófuð á hefðbundin hátt, þ.e. flotfræði, þrýstistyrkur og frostþol. Steypuuppskriftina má sjá í **töflu 8**. Niðurstöður úr þrýstistyrksmælingum eru gefnar í **töflu 11**. Að lokum eru niðurstöður úr frostþolsprófunum settar fram í **töflu 12**.

Tafla 11. Slitlagssteypa frá Steypustöðinni í Bíldudal frá 11 ágúst 2021. Niðurstöður úr mælingum á 28 daga þrýstistyrk.

	Þrýstistyrkur 28 daga, MPa
Bíll 1	101,1
Bíll 2	98,7
Bíll 4	81,0

Að lokum eru niðurstöður úr frostþolsprófunum gefnar í **töflu 12**. Engin flögnun mældist eftir 56 frost/þíðu umferðir sem var ótrúlegt og því var m.a. farið í 112 f/þ-umferðir með sýnin úr Bíll 4. Flögnun eftir 112 umferðir mælist hverfandi eða $0,02 \text{ kg/m}^2$, því má telja að steypan sé afburðar frostþolin.

Tafla 12. Niðurstöður úr mælingu á frostþoli á slitlagssteypa frá Steypustöðinni í Bíldudal frá 11 ágúst 2021.

	7 umf.	14 umf.	21 umf.	28 umf.	42 umf.	56 umf.	84 umf.	112 umf.
Bíll 1	0	0	0	0	0	0	Ekki mælt	Ekki mælt
Bíll 4	0	0	0	0	0	0	0,01	0,02

Lokaorð – Ályktun

Í þessu verkefni hefur þróun á slitlagssteypum verið haldið áfram. Eiginleikar áður óþekktra steinefna í þessu sambandi af Vestfjörðum og Norðvesturlandi voru kannaðir m.t.t. notkunar í slitlagsteypu. Einnig voru steinefni af Suðurlandi prófuð í slitlagssteypu.

Steinefni frá Neðri Mýrum norðan við Blönduós og Klifanda og Holtsá frá Suðurlandi eru talin hæf til notkunar og henta mjög vel í steipt slitlög á nýjar brýr eða til viðhalds á yfirborði eldri brúa.

Slitlagssteypur með þessum steinefnum hafa mjög svipaða eiginleika og eldri slitlagsteypur með Harðakams- og Stokknesefnum.

Ein niðurstaða rannsóknarinnar er að námum sem í finnast steinefni til slitlagsteypugerðar hefur fjölgað, sem er æskilegt m.t.t. flutningskostnaðar og umhverfisáhrifa.

Við val á þessum efnum var stuðst við niðurstöður úr bergreiningu, kúlnakvarnar- og LA-prófana og mælingu á mettivatni. Hafa ber í huga að ekki liggja fyrir nein ákveðin mörk varðandi niðurstöður úr viðkomandi prófunum m.t.t. slitlagssteypu heldur eru niðurstöðurnar notaðar sem mælikvarði á eiginleika viðkomandi efnis í þessu sambandi. Varðandi þessar prófanir er miðað við tiltölulega lágt kúlnakvarnargildi eða um 5. Miðað er við að hluti þriðja flokks efnis í bergreiningu sé undir 10 %. Æskilegt er að mettivatn efnis sé undir 2 %.

Æskilegt framhald á þessu verkefni ætti að vera að leggja til hvaða prófanir á steinefni henti til þess að meta hæfni steinefnis fyrir slitlagssteypu og hvaða mæligildi/kröfur eigi að styðjast við fyrir hverja prófunaraðferð varðandi notkun viðkomandi efnis. Þar sem að slitlagssteypur hafa náð fótfestu hér á landi er nauðsynlegt að hafa slíkar prófanir og kröfur tilbúnar og vel grundvallaðar.

Annað æskilegt framhald og ekki fékkst styrkur til í ár er að mæla raunslit (hjölför) þar sem slitsterk steinsteypa hefur verið notuð og skoða hvort heppilegur búnaður til mælinga á slitþoli leynist t.d. á Norðurlöndum. Einnig er æskilegt að mæla hrýfi yfirborðs slitlags til að staðfesta kosti þess.

Heimildaskrá

1. Dr. Ólafur H. Wallevik, Björn Hjartarson, Valgeir Ólafur Flosason, Jón Elvar Wallevik, Haraldur Kr. Haraldsson. „Steypt slitlög á brýr og Togþol slitsterkrar hástyrkleikasteypu í slitlagi brúa“. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Desember 2017.
2. Dr. Ólafur H. Wallevik, Björn Hjartarson, Valgeir Ólafur Flosason, Haraldur Kr. Haraldsson. „Steypt 40-50 mm slitlag á brýr“. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Febrúar 2020.
3. Dr. Ólafur H. Wallevik, Helgi S. Ólafsson, Kjartan B. Kristjánsson, Björn Hjartarson, Dr. Gísli Guðmundsson, Gylfi Sigurðsson, Ragnar Sigurðsson. „Slitþolin hástyrkleikasteypa, 50 mm lag á brýr – þróun og blöndun. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Júní 2021.
4. Dr. Gísli Guðmundsson. „Ending sjálfútleggjandi steinsteypu“. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Júlí 2004.
5. Dr. Ólafur H. Wallevik, Eva Lind Ágústsdóttir, Björn Hjartarson, Dr. Jón Elvar Wallevik, Valgeir Ólafur Flosason. „Rýrnun steinsteypu“. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Desember 2017.
6. Vegagerðin, „Námuskrá“, namur.vegagerdin.is
7. Eva Lind Ágústsdóttir, Rýrnun steinsteypu (meistaraverkefni), Tækni- og verkfræðideild, Háskólinn í Reykjavík, 2012. <http://skemman.is/handle/1946/12549>