



MANNVIT



Vegagerðin

ÁSTANDSSKOÐUN SPRAUTUSTEYPU Í ÍSLENSKUM VEGGÖNGUM

HVALFJARÐARGÖNG, FÁSKRÚÐSFJARÐARGÖNG OG
HÉDINSFJARÐARGÖNG

RANNSÓKNARSKÝRSLA,
ÁFANGASKÝRSLA

MARS 2022

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
1.1 Stutt ágríp af verkefnalýsingu	1
1.2 Tilgangur og markmið	1
1.3 Bakgrunnur og forsaga	1
2. Vettvangskönnun og sýnataka	2
3. Rannsóknir	4
3.1 Þrýstistyrkur og rúmpyngd	6
3.2 Kolsýring	9
3.3 Þunnsneiðagreining	12
3.3.1 Hvalfjarðargöng	14
3.3.2 Fáskrúðsfjarðargöng	17
3.3.3 Héðinsfjarðargöng	20
4. Samantekt og helstu niðurstöður	23
5. Heimildaskrá	27

1. Inngangur

Rannsóknarverkefni þetta er styrkt af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar. Heiti verkefnisins er *Ástandsskoðun sprautusteypu í jarðgöngum með tilliti til þykktar og væntanlegs líftíma*. Í umsókn er tekið fram að fyrirhugað sé að skoða ástand sprautusteypu í 7 veggöngum, sem dreift yrði á tveggja ára tímabil.

Þessi skýrsla er áfangaskýrsla sem sýnir niðurstöður rannsókna á sýnum úr þremur veggöngum (Fáskrúðsfjarðar-, Héðinsfjarðar- og Hvalfjarðargöngum) sem skoðuð voru 2021. Fyrirhugað er að halda verkefninu áfram árið 2022 og kanna ástand sprautusteypu í Múlagöngum, Bolungarvíkurgöngum, Botns- og Breiðadalsgöngum og göngum undir Almannaskarð.

Rannsókn var unnin af skýrsluhöfundum sem eru: Benedikt Óskar Steingrímsson, Guðbjartur Jón Einarsson og Matthías Loftsson hjá Mannvit og Freyr Pálsson hjá Vegagerðinni.

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

1.1 Stutt ágríp af verkefnalýsingu

Verkefnið felur í sér að kanna ástand sprautusteypu í íslenskum veggöngum með tilliti til aldurs, hrörmunar (öldrunar) og þykktar. Sýnatökustaðir voru valdir út frá jarðfræðilegum aðstæðum í göngum og áætlaðri þykkt sprautusteypunnar á hverjum stað. Einnig var skoðað hvar sýni hafa voru tekin áður og metið sérstaklega hvort æskilegt sé að taka sýni á ný á sömu slóðum til samanburðar við tilsvarendi rannsóknir, sem gerðar voru árin 2003-2005 (Hvalfjarðargöng).

1.2 Tilgangur og markmið

Tilgangur verkefnisins er að ástandskanna hrörnun eða "öldrun" sprautusteypu við aðstæður í íslenskum göngum og með því að reyna að áætla líftíma sprautusteypunnar miðað við þykkt áspraútaðs lags.

Markmið rannsóknarinnar er að betrubæta hönnunarforsendur við val á þykkt áspraútaðrar steypu við sæmilegar til góðar jarðgangaaðstæður í nýjum veggöngum. Kannað verður við bæði þurrar og votar aðstæður og í göngum með mismunandi umferðarpunga (mengun í göngum).

1.3 Bakgrunnur og forsaga

Við gangagerð á Íslandi er iðulega stuðst við norskan jarðgangastaðal, handbók N500 Vegtunneler. Í N500 er kveðið á um að við góðar jarðfræðilegar aðstæður skuli þykkt sprautusteypu til bergstyrkinga vera minnst 80 mm. Kröfurnar hafa verið auknar frá fyrri útgáfu staðalsins frá 2006 sem kváðu þá um 60 mm þykkt. Kröfurnar voru auknar vegna kröfu um lengri líftíma sprautusteypu í jarðgöngum og 100 ára líftíma bergstyrkinga (Varige konstruksjónir) og þær eru tilkomnar vegna rannsókna á sprautusteypu í norskum jarðgöngum, þar sem jarðfræðilegar aðstæður eru aðrar en á Íslandi.

Leiðbeiningar Vegagerðarinnar frá 2009 „Kortlagning á jarðfræði og styrkingum í jarðgöngum“ kveður á um 60-100 mm þykktarviðmið í þekju og 40-60 mm í veggjum í styrkingarflokkum 1

og 2. Þetta hefur verið viðmiðið í flestum veggöngum eftir Hvalfjarðargöng, nema þessu var breytt í minnst 60 mm í veggjum og minnst 80 mm í lofti fyrir Dýrafjarðargöng.

Jarðfræðilegar aðstæður á Íslandi eru um margt ólíkar þeim sem þekkjast í Noregi. Hér á landi er berggrunnurinn frekar "basískur" en í Noregi eru það helst "súr" berglög sem skapa vandamál fyrir líftíma sprautusteypu í göngum yfir sjávarmáli og selta í neðansjávangöngum. Einnig er jarðvatnið hér á landi basískara en norska grunnvatnið. Steypa er í eðli sínu "basísk" og sýrustig hennar því nær því sem er að finna í umhverfi íslenskra aðstæðna.

Það er því þörf á að kanna hrörnun sprautusteypu í íslenskum veggöngum, þannig að meta megi væntanlegan líftíma ásprautaðrar steypu hér á landi. Þar með fást betri forsendur fyrir hönnunarviðmiðum fyrir þykkt ásprautaðrar steypu við sæmilegar til góðar jarðfræðilegar aðstæður, en um 70 til 90% af heildarlengd vegganga undanfarinna ára hafa lent í þeim gangaflokki.

Von er um að niðurstöður verkefnisins gefi til kynna að 60 mm þykk sprautusteypa geti verið nóg fyrir íslensk göng í sæmilegu til góðu bergi og að sú þykkt uppfylli þær kröfur til líftíma bergstyrkinga sem settar eru (100 ár).

Næstu jarðgöng á jarðgangaáætlun eru Fjarðarheiðargöng, sem einnig verða þau lengstu sem gerð hafa verið hingað til á Íslandi, eða um 13,3 km. Ef hægt verður að sýna fram á að minni lágmarkspykkt sprautusteypu í göngum uppfylli áður nefndar kröfur í tveimur efstu styrkingarflokkum munu af því getað sparast töluverðir fjármunir (gróft áætlað 200-250 millj. kr), ásamt því að kolefnisspor ganganna við byggingu mun minnka samsvarandi með minni steypunotkun. Gróft áætlað má gera ráð fyrir að milli 750-850 tonn CO₂ sparist við minni lágmarkspykkt.

Rannsóknin mun einnig hafa áhrif á önnur komandi jarðgöng og svo á viðhald/endurnýjun eldri jarðganga.

2. Vettvangskönnun og sýnataka

Vettvangsskoðun og sýnataka í Hvalfjarðargöngum fór fram í næturlokun vegna þrifa í Hvalfjarðargöngum dagana 9. og 10. júní, en að degi til í Fáskrúðsfjarðargöngum 21. og 22. júní og Héðinsfjarðargöngum 23. og 24. júní 2021. Vettvangskönnun og sýnataka var framkvæmd af Benedikt Ó. Steingrímssyni og Guðbjarti J. Einarssyni (Mannvit), með aðstoð Freys Pálssonar (Vegagerðin).

Sýnatökustaðirnir í göngunum voru valdir út frá aðstæðum í göngunum, áætlaðri þykkt sprautusteypu skv. kortlagningu frá framkvæmdartíma, trefjainnihaldi og jarðfræðilegum aðstæðum.

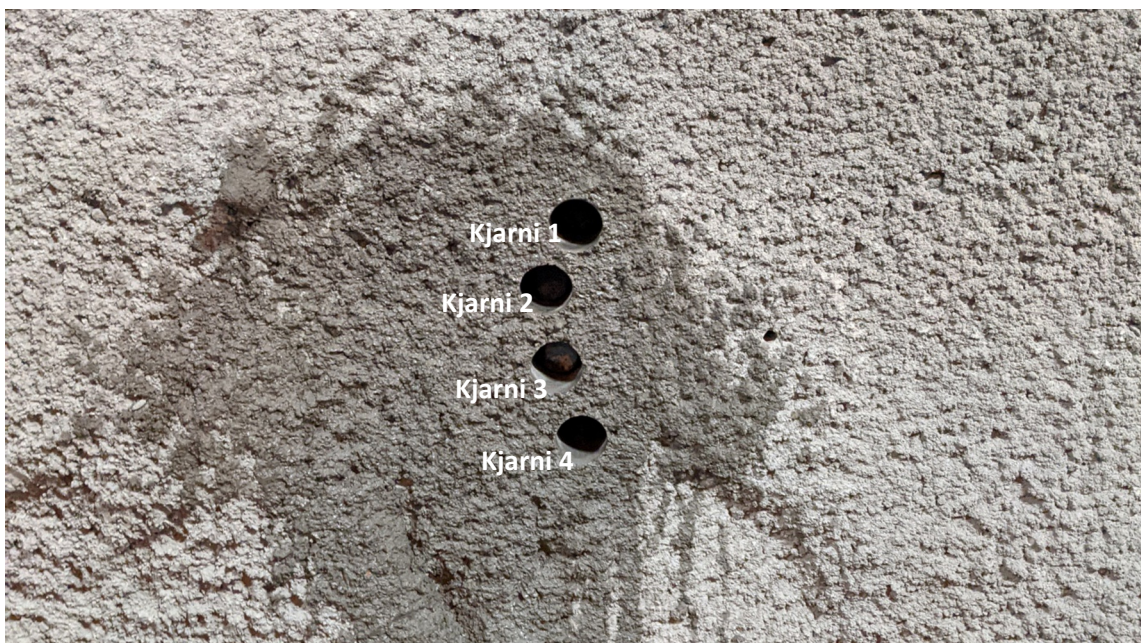
Í Hvalfjarðargöngum hafa verið gerðar sambærilegar rannsóknir áður og því voru tveir sýnatökustaðir valdir á sama stað og áður hafði verið tekið sýni (stöð 2640 og 4898) í ástandsskoðun árið 2004. Það var gert til þess að bera saman niðurstöðurnar þá og nú. Lagt var upp með það að velja sýnatökustaðina á þeim stöðum þar sem þykkt sprautusteypu var að lámarki 60 mm og helst með trefjum.

Í hverjum göngum voru valdir átta sýnatökustaðir og á hverjum stað voru boraðir fjórir kjarnar. Kjarnasýnin eru $\varnothing 48$ mm í Hvalfjarðargöngum, en $\varnothing 55$ mm í Fáskrúðsfjarðar- og Héðinsfjarðargöngum. Í Héðinsfjarðargöngum voru allir sýnatökustaðirnir staðsettir í útskotum vegna umferðarpunga í göngunum. Sýnatökustaðirnir voru yfirleitt í um 1 m hæð yfir vegi, annað hvort í hægri eða vinstri vegg. Borað var í gegnum sprautusteypu þar sem það var

hægt, en á fáeinum stöðum náðist ekki að bora í gegnum steypuna þrátt fyrir 20 cm langan kjarnabor. Hverjum kjarna var komið fyrir í merktum plastpoka og lokað tryggilega til þess að viðhalda rakastigi sýnisins. Að sýnatöku lokinni var sýnunum komið í geymslu inni í rakaklefa.



Mynd 1: Unnið við sýnatöku í stöð 8150 (útskot I) í Fáskrúðsfjarðargöngum.



Mynd 2: Hefðbundið fyrirkomulag sýnatöku.

3. Rannsóknir

Öllum kjörnum var lýst, þeir myndaðir og mældir áður en valin voru sýni í frekari rannsóknir á þrýstistyrk steypunnar, kolsýringu og fyrir þunnsneiðargerð.

Byrjað var á því að undirbúa sýni fyrir prófun á einásabrotstyrk. Sýnin voru söguð í hlutfallinu $l/b=1$. Yfirborðshrýfi sprautusteyppunnar er sagað ofan af öllum sýnunum sem voru styrkprófuð. Oftast var aðeins prófað eitt sýni úr hverjum kjarna, en í kjörnunum, sem voru lengri en 130 mm, var útbúið annað sýni fyrir prófun á brotstyrk til þess að kanna hvort mælanlegur sé styrkmunur mill sýna sem eru nær yfirborði og sýna sem eru fjær yfirborði (nær bergi).

Í kjölfarið voru sýni undirbúin fyrir mælingar á kolsýringu og þunnsneiðargerð. Þeir kjarnar sem voru valdir til mælinga á kolsýringu voru sagaðir í tvennt eftir endilöngum kjarnanum. Annar helmingurinn var notaður til að mæla kolsýringu og í flestum tilfellum var hinn helmingurinn notaður fyrir þunnsneiðargerð.

Við sjónskoðun á sýnunum var greinilegt að yfirborðshrýfi sprautusteyppunnar í Héðinsfjarðargöngum var töluvert meira en í hinum göngunum (allt að 40 mm). Einnig var meira vart við loftbólur í sprautusteyppunni úr Héðinsfjarðargöngum, en rúmþyngd steypunnar mældist samt sem áður sambærileg í öllum göngunum.

Aldur sprautusteypu er mismunandi milli ganga. Elst eru Hvalfjarðargöng, framkvæmdartími þeirra var frá 1996 til 1998. Því næst eru Fáskrúðsfjarðargöng, gerð 2003-2005. Yngst eru Héðinsfjarðargöng, gerð 2006-2010. Hita- og rakastig er líka mismunandi á milli ganga sem getur haft áhrif á öldrun sprautusteypu.

Umferðarþungi er mjög mismunandi milli ganganna, þar sem mesta umferðin er í Hvalfjarðargöngum, ÁDU 6500 (árdagsumferð, meðaltalsumferð yfir allt árið). Því næst kemur Fáskrúðsfjarðargöng með ÁDU 670 og Héðinsfjarðargöng með ÁDU 620.

Styrkprófanir og mælingar á kolsýringu voru gerðar af Benedikt Ó. Steingrímssyni á rannsóknarstofu Mannvits. Þunnsneiðagerð var gerð hjá Háskóla Íslands en Guðbjartur J. Einarsson sá um þunnsneiðargreiningu.

Eftirfarandi töflur sýna hvar sýni voru tekin í hverjum göngum, fjölda sýna, lengd kjarna og upplýsingar um viðloðun steypu við undirliggjandi berg, berggerð og hvort sýni innihaldi trefjar.

Tafla 1: Listi yfir sýnatökustaði í Hvalfjarðargöngum. Þvermál kjarnasýna $\varnothing 48$ mm. Endar vegskála ganganna eru í stöð 1600 og 7370. Stöðvarnúmer eru hækkandi frá suðri til norðurs.

Stöð	Fjöldi kjarna (stk)	Meðaltalslengd (mm)	Bergviðloðun	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
2640*	4	90	100%	Stáltrefjar	Basalt
2949	4	52	100%	Án trefja	Basalt
3595	4	96	Sæmileg	Án trefja	Basalt
3987	3	31	Góð	Án trefja	Basalt
4180	4	91	Góð	Án trefja	
4898*	4	135	25%	Stáltrefjar	
6124	4	90	30%	Stáltrefjar að hluta	
6992	4	75	65%	Án trefja	

* Sýni tekin á sama stað og árið 2004.

Tafla 2: Listi yfir sýnatökustaði í Fáskrúðsfjarðargöngum. Þvermál kjarnasýna $\varnothing 55$ mm. Endar vegskála ganganna eru í stöð 3800 og 9700. Stöðvarnúmer eru hækkandi frá Reyðarfirði til Fáskrúðsfjarðar.

Stöð	Fjöldi kjarna (stk)	Meðaltals-lengd (mm)	Bergviðloðun	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
4538	4	139	14%	Stáltrefjar	Rautt setberg
4735	4	38	95%	Stáltrefjar	Basalt
5050	4	56	25%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
5240	4	138	38%	Stáltrefjar að hluta	Kargi
5655	4	142	0%	Stáltrefjar að hluta	
5975	4	23	94%	Stáltrefjar	Kargaríkt basalt
7075	4	56	30%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
8150	4	68	0%	Stáltrefjar að hluta	

Tafla 3: Listi yfir sýnatökustaði í Héðinsfjarðargöngum. Öll sýnin voru tekin í útskotum. Þvermál kjarnasýna $\varnothing 55$ mm. Endar vegskála Siglufjarðarleggsins eru í stöð 2300 og 6100, og Ólafsfjarðarleggsins eru í stöð 6820 og 13950. Stöðvarnúmer eru hækkandi frá Siglufirði yfir til Ólafsfjarðar.

Stöð (útskot nr.)	Fjöldi kjarna (stk)	Meðaltals-lengd (mm)	Bergviðloðun	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
3470 (2)	4	53	25%	Án trefja	Basalt
3936 (3)	4	116	0%	Stáltrefjar	
4336 (4)	4	83	10%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
7318 (7)	4	104	60%	Án trefja	Dílabasalt
8846 (10)	4	87	100%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
9350 (11)	4	96	80%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
9859 (12)	4	153	0%	Stáltrefjar	Basalt
12345 (17)	4	110	70%	Án trefja	Basalt

3.1 Þrýstistyrkur og rúmpýngd

Í heildina var mældur einásabrotstyrkur og rúmpýngd á 47 sýnum samkvæmt prófunarstöðlum ÍST EN 12390-3 og ÍST EN 12390-7. Mælingar á einásabrotstyrk fóru fram haustið 2021.

Samkvæmt NB publication nr. 7 og ÍST EN 13791 þá þarf að umreikna mældan þrýstistyrk. Annars vegar er það vegna stærðarhlutfalla í prófuðum sýnum, en hefðbundin þrýstistyrksmæling er framkvæmd á sívalningum sem eru $H/D = 2,0$ (H =hæð, D =þvermál). Þegar hlutfallið er minna þá þarf að beita leiðréttingarstuðli á niðurstöðuna. Öll sýni sem voru prófuð í þessari rannsókn höfðu hlutfallið $H/D = 1,0$ og því þarf að margfalda mældan þrýstistyrk með 0,87 til þess að umreiknaður þrýstistyrkur jafngildi hefðbundnum sívalningsstyrk. En svo dæmi sé tekið, þá í styrkleikaflokknum C30/37 er fremri talan sívalningsstyrkur og sú aftari teningsstyrkur.

Hins vegar, þegar sýni eru tekin úr mannvirki þarf að leiðrétta styrkflokkinn með 0,85. Þannig þarf steypa sem er fyrirskrifuð C30/37 og sívalningsstyrkur prófaður að vera með þrýstistyrk $30 \text{ MPa} \times 0,85 = 25,5 \text{ MPa}$.

Í Hvalfjarðargöngum voru prófuð 14 sýni og mældist leiðréttur þrýstistyrkur að meðaltali 56,6 MPa sem er vel yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur C45/55. Til að standast kröfur þá þarf leiðréttur þrýstistyrkur að vera $45 \text{ MPa} \times 0,85 = 38,25 \text{ MPa}$ að lágmarki. Rúmpýngd steypunnar mælist að meðaltali 2.324 kg/m^3 . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 4.

Tafla 4: Niðurstöður prófana á þrýstistyrk og rúmpýngd á sýnum úr Hvalfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur þrýstistyrkur (MPa)	Leiðréttur þrýstistyrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m^3)	Athugasemdir
2640	1	63,4	55,2	2.347	
	3	70,0	60,9	2.356	
2949	1	63,4	55,2	2.341	
3595	3	60,5	52,6	2.328	
	4	55,7	48,5	2.325	Brotnar um lagmót
4180	1	67,6	58,8	2.340	
	2	70,7	61,5	2.339	
4898	2*	59,4	51,7	2.326	
	2**	67,2	58,5	2.318	
	4*	62,5	54,4	2.330	
	4**	68,7	59,8	2.307	
6124	3	70,0	60,9	2.299	
6992	1	62,3	54,2	2.290	
	4	68,9	59,9	2.296	

Meðaltal:	56,6	2.324
Lægsta:	48,5	2.290
Hæsta:	61,5	2.356

*Sýni nær yfirborði. **Sýni nær bergi.

Í Fáskrúðsfjarðargöngum voru prófuð 14 sýni og leiðréttur þrýstistyrkur að meðaltali 50,2 MPa sem er vel yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur C45/55. Til að standast kröfur þá

þarf leiðréttur þrýstistyrkur að vera $45 \text{ MPa} \times 0,85 = 38,25 \text{ MPa}$ að lágmarki. Rúmþyngd steypunnar mælist að meðaltali 2.349 kg/m^3 . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 5.

Tafla 5: Niðurstöður prófana á þrýstistyrk og rúmþyngd á sýnum úr Fáskrúðsfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur þrýstistyrkur (MPa)	Leiðréttur þrýstistyrkur (MPa)	Mæld rúmþyngd (kg/m^3)	Athugasemdir
4538	3*	58,9	51,2	2.370	
	3**	53,9	46,9	2.304	
	4*	61,3	53,3	2.371	
	4**	47,9	41,7	2.318	
5050	1	61,7	53,7	2.367	
	2	47,1	41,0	2.340	Brotnar um lagmót
5240	2	52,5	45,7	2.325	
	3	53,3	46,4	2.359	Brotnar um lagmót
5655	1*	61,4	53,4	2.365	
	1**	71,7	62,4	2.372	
	2*	58,0	50,5	2.365	
	2**	69,9	60,8	2.350	
8150	1	51,1	44,5	2.338	
	3	59,8	52,0	2.343	
Meðaltal:			50,2	2.349	
Lægsta:			41,0	2.304	
Hæsta:			62,4	2.372	

*Sýni nær yfirborði. **Sýni nær bergi.

Í Héðinsfjarðargöngum voru prófuð 19 sýni og leiðréttur þrýstistyrkur að meðaltali 40,9 MPa sem er yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur C40/50. Til að standast kröfur þá þarf leiðréttur þrýstistyrkur að vera $40 \text{ MPa} \times 0,85 = 34 \text{ MPa}$ að lágmarki. Rúmþyngd steypunnar mælist að meðaltali 2.344 kg/m^3 . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 6.

Tafla 6: Niðurstöður prófana á þrýstistyrk og rúmþyngd á sýnum úr Héðinsfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur þrýstistyrkur (MPa)	Leiðréttur þrýstistyrkur (MPa)	Mæld rúmþyngd (kg/m^3)	Athugasemdir
3470	1	47,0	40,9	2.452	Meiri rúmþyngd vegna þess að hluti af sýninu var berg (ekki með í meðaltalinu)
3936	1*	45,2	39,3	2.338	
	1**	48,2	41,9	2.336	
	2*	44,9	39,1	2.326	
	2**	34,2	29,8	2.322	Brotnar um lagmót
4336	1	39,6	34,5	2.268	
	2	42,4	36,9	2.292	
7318	1	36,6	31,8	2.302	Brotnar um sprungu
	3	40,2	35,0	2.289	
8846	3	53,2	46,3	2.362	
	4	53,9	46,9	2.327	
9350	2	46,1	40,1	2.396	Brotnar um lagmót
	4	42,1	36,6	2.393	Brotnar um lagmót
9859	1*	60,8	52,9	2.374	
	1**	36,9	32,1	2.390	Brotnar um lagmót
	2*	60,2	52,4	2.368	
	2**	58,6	51,0	2.396	Brotnar um lagmót
12345	1	50,8	44,2	2.344	
	2	51,3	44,6	2.360	

Meðaltal:	40,9	2.344
Lægsta:	29,8	2.268
Hæsta:	52,9	2.396

*Sýni nær yfirborði. **Sýni nær bergi.



Mynd 3: Dæmi um vinnslu sýna fyrir prófun á einásabrotstyrk á sýni í stöð 4336 í Héðinsfjarðargöngum, sýni nr.1. Til vinstri er óunnið kjarnasýni, í miðjunni er búið að saga það í $l/b=1$ og slípa endana og til hægri er sýnið eftir brot.

3.2 Kolsýring

Í heildina var mæld kolsýring í 26 sýnum samkvæmt prófunarstaðli ÍST EN 14630: 2006.

Í Hvalfjarðargöngum voru prófuð 8 sýni og mældist kolsýringin allt að 10 mm. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 7.

Tafla 7: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Hvalfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Kolsýring (mm)
2640	2	10
2949	3	0
3595	2	5
3987	2	0
4180	3	<1
4898	3	7-8
6124	2	0
6992	3	0-2

Í Fáskrúðsfjarðargöngum voru prófuð 10 sýni og mældist kolsýringin allt að 12 mm. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 8.

Tafla 8: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Fáskrúðsfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
4538	2	0	
4735	2	0	
	3	0	
5050	3	<1	
5240	1	0-12	Kolsýring mikið í kringum 5 mm
5655	3	2-8	Kolsýring mikið í kringum 3-4 mm
5975	3	<1	
	4	0	
7075	2	5	
8150	2	0	

Í Héðinsfjarðargöngum voru prófuð 8 sýni og mældist kolsýringin allt að 15 mm. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 9.

Tafla 9: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Héðinsfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
3470	4	4-8	
3936	3	8-11	
4336	3	5-15	
7318	2	6-12	
8846	2	0-2	Ógreinileg svörun
9350	3	0	
9859	3	0	
12345	3	0-1	



Mynd 4: Dæmi um vinnslu sýna fyrir mælingu á kolsýringu á sýni úr stöð 4898 í Hvalfjarðargöngum, sýni nr.3. Til vinstri er búið að saga kjarnasýnið eftir endilöngu og til hægri þá er búið að úða lausn á sýnið, ólitaða yfirborðið er kolsýrt (næst yfirborði sprautusteypunnar).

3.3 Þunnsneiðagreining

Gerðar voru 18 þunnsneiðar, 6 úr hverjum göngum. Þunnsneiðarnar eru 36 x 52 mm að stærð, impregneraðar með flúrljómandi epoxy og um ~30 µm þykkar. Ein þunnsneið er úr hverju sýni sem nær frá yfirborði sýnisins og um 50 mm niður með því. Í þremur sýnum voru gerðar tvær þunnsneiðar úr sama sýninu, þar sem seinni þunnsneiðin var gerð í framhaldi af þeirri fyrri. Listi yfir þunnsneiðar og staðsetningar þeirra eru gefnar í töflu 10.

Tafla 10: Listi yfir þunnsneiðar.

Göng	Stöð	Sýni númer	Fjöldi þunnsneiða (stk)
Hvalfjarðargöng	2640	2	1
Hvalfjarðargöng	2949	3	1
Hvalfjarðargöng	4180	3	1
Hvalfjarðargöng	4898	3	1
Hvalfjarðargöng	6124	2	2
Fáskrúðsfjarðargöng	4538	2	1
Fáskrúðsfjarðargöng	5240	1	1
Fáskrúðsfjarðargöng	5655	3	2
Fáskrúðsfjarðargöng	7075	2	1
Fáskrúðsfjarðargöng	8150	2	1
Héðinsfjarðargöng	4336	3	1
Héðinsfjarðargöng	8846	2	2
Héðinsfjarðargöng	9350	3	1
Héðinsfjarðargöng	9859	3	1
Héðinsfjarðargöng	12345	3	1



Mynd 5: Skýringarmynd af því hvar þunnsneiðarnar voru teknar úr sýnunum. Til vinstri er sýnt hvar þunnsneiðin var tekin þar sem er ein þunnsneið í sýni. Til hægri sýnt hvar þunnsneiðar voru teknar þar sem gerðar voru tvær þunnsneiðar úr sama sýninu.

3.3.1 Hvalfjarðargöng

Stöð 2640

Góð viðloðun er við berg. Lítil sem engin ummyndun efju við berg. Smávægileg ummerki um óhreinindi á yfirborði bergs, sýnilegt ca. 1 mm út frá bergi, mögulega vegna ásprautunar eða ónægs þvottar.



Mynd 6: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt).

Stöð 2949

Smávægileg kolsýring á yfirborði, nær allt að 5-7 mm inn í þversniðið. Ein yfirborðssprungu með kolsýringu eftir hliðum sprungu, sprungu frá framkvæmdartíma. Einhverjar smásæjar sprungur sýnilegar inni í þversniði. Engin ummerki um þenslur vegna alkalívirgni.



Mynd 7: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt).

Stöð 4180

Kolsýring á yfirborði, nær 5-7 mm inn í þversniðið. Ein stór gegnumgangandi sprunga, 2-4 mm breið frá yfirborði og niður í þversniðið og gegnum sneiðina. Kolsýring í veggjum sprungu 3-4 mm þvert á sprunguna. Sprunga líklega frá framkvæmdartíma m.v. kolsýringu, vegna rýrnunar eða færslu. Eitthvað af smásæjum sprungum í kringum sprunguna sem er gegnumgangandi, líklega einnig frá framkvæmdatíma.



Mynd 8: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

Stöð 4898

Kolsýring í yfirborði allt að 10-12 mm inn í þversnið, þó einstaka kolsýrðir blettir innar í þversniði, 1-2 mm í þvermál. Engin sprunga langs eftir kjarna. Gott ástand utan kolsýringar.



Mynd 9: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

Stöð 6124a

Þunnsneiðin nær frá yfirborði sprautusteypu um 50 mm inn.

Ein yfirborðssprungu sem nær frá yfirborði um 15 mm inn í þversnið, líklega gömul sprungu þar sem efjan er kolsýrð út frá sprungu inn í þversnið. Engin ummerki um þenslu í kringum sprungu. Líklega vegna rýrnunar á framkvæmdartíma eða snemma á líftíma. Kolsýring nær 3-6 mm frá yfirborði inn í þversnið.



Mynd 10: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Nálægt hægri enda má sjá skil á milli sprautusteypulaga.

Stöð 6124b

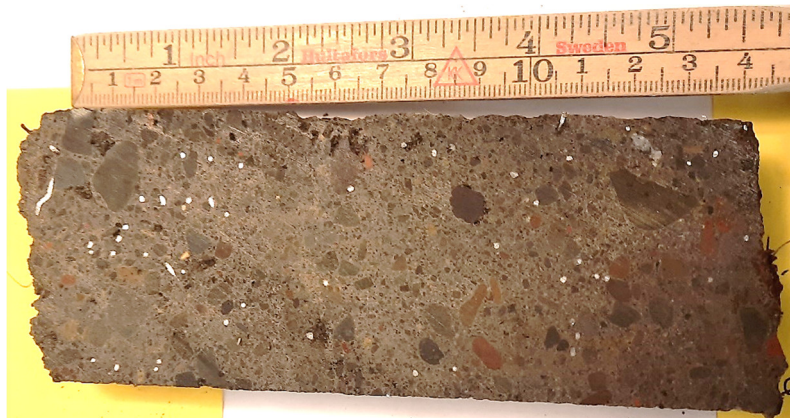
Þunnsneiðin er framhald af þunnsneið 6124a og er þverskurður sprautusteypu sem spannar dýptarbil á milli ~50 til 90 mm frá yfirborði sprautusteypu.

Ekkert berg sýnilegt við enda þunnsneiðar. Stór sprungu, 1-4 mm víð, nær gegnum þunnsneiðina langleiðina að enda sem snýr að bergi en endar 10-12 mm frá bergi. Hliðar sprungu talsvert kolsýrðar, gefur til kynna að sprungan sé frá yfirborði kjarna, líklega frá framkvæmdartíma eða snemma á líftíma. Sprungan er að mestu í efju, ekki í gegnum steinefnakorn nema að litlu leyti, útlit sprungu möguleg vísbending um einhverja þenslu. Engar vísbendingar um niðurbrot í botni kjarna.

3.3.2 Fáskrúðsfjarðargöng

Stöð 4538

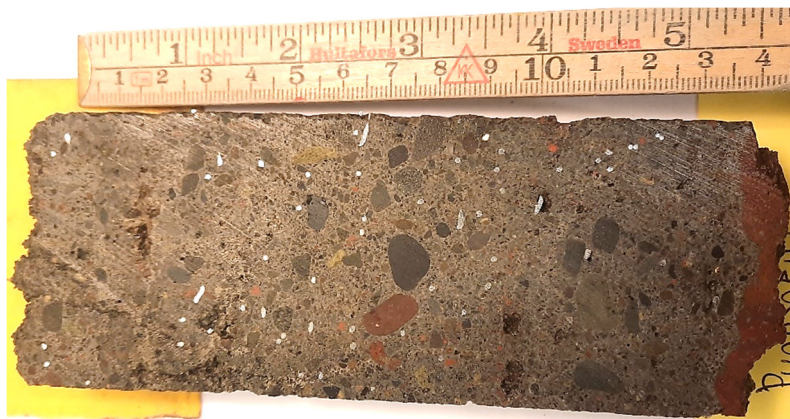
Engar stórar sprungur í kjarna. Nokkrar örprungur sýnilegar, líklega vegna rýrnunar. Kolsýring nær 3-4 mm inn í þversnið, þó eru sýnilegir blettir af kolsýringu allt að 20 mm inn í þversniðið, líklega vegna opins yfirborðs og sprungna sem eru ekki innan þunnsneiðar. Steinefni almennt nokkuð opin.



Mynd 11: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

Stöð 5240

Ein stór gegnumgangandi sprunga. Kolsýring um 10-12 mm inn frá yfirborði. Holrými í steypu um 30 mm frá yfirborði, vegna sprautunar á framkvæmdartíma. Kolsýring sýnileg í kringum holrýmið. Einhver ummerki um smávægilegar þenslur í kringum sprungu, en ástæða sprungu er líklega rýrnun eða færslur.



Mynd 12: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (kargi).

Stöð 5655a

Þunnsneiðin nær frá yfirborði sprautusteypu um 50 mm inn.

Engar stórar sprungur í þunnsneið. Nokkrar litlar sprungur í efju inni í sneiðinni, lengst um 3 mm, virðast vera vegna rýrnunar frekar en þenslu. Kolsýring allt að 8-10 mm inn í þversniðið, einstaka kolsýrðir blettir þar fyrir innan. Eitthvað um holrými kringum steinefnakorn, mögulega loft sem kom með við ásprautun.



Mynd 13: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

Stöð 5655b

Þunnsneiðin er framhald af þunnsneið 5655a og er þverskurður sprautusteypu sem spannar dýptarbil á milli ~50 til 100 mm frá yfirborði sprautusteypu.

Engin gegnumgangandi sprunga, nokkrar innri sprungur líkt og í fremri hluta kjarnans. Engin sýnileg kolsýring.

Stöð 7075

Ein sprunga frá yfirborði, gengur 4-5 cm inn í þversnið, nær ekki í botn á þunnsneið en gæti náð lengra inn í þversnið m.v. kolsýringu, allt að 1 mm víð. Kolsýring frá yfirborði allt að 8-10 mm inn í þversnið. Kolsýring í veggjum sprungu alla leið eftir sneiðinni og lengra en sprunga nær. Einhverjar smásæjar sprungur í efju, líklega vegna rýrnunar.



Mynd 14: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

Stöð 8150

Talsvert af sýnilegun stáltrefjum með góða viðloðun og blöndun. Ein sprunga frá yfirborði um 40 mm niður í þversnið, sprunguvídd minni en 0,5 mm. Sprungan nær ekki í gengun nein steinefnakorn. Kolsýring 4-6 mm frá yfirborði og kolsýring nær niður með sprungu um 25 mm af lengd sprungu.



Mynd 15: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

3.3.3 Héðinsfjarðargöng

Almennt er steinefnið í sprautusteypunni í sýnunum sem voru skoðuð úr Héðinsfjarðargöngum finefnasnautt, sér í lagi virtist vanta steinefni 0,250 mm og minni. En steypan í heild virðist góð og standa sig vel.

Stöð 4336

Engar stórar sprungur sýnilegar, nokkrar minni sprungur styttri en 1 mm og mjög grannar, aðallega í yfirborði, líklega vegna hraðar útpornunar. Kolsýring nær 12-14 mm inn frá yfirborði. Mikið af sementsefju og vöntun á finefni.



Mynd 16: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

Stöð 8846a

Þunnsneiðin nær frá yfirborði sprautusteypu um 50 mm inn.

Engar stórar sprungur sýnilegar. Kolsýring nær 1-2 mm inn frá yfirborði og engir blettir af kolsýringu sýnilegir innan við það. Nokkrar plasttrefjar sýnilegar, góð viðloðun við efju og ná í gegnum alla þunnsneiðina. Nánast engar smásæjar sprungur. Vöntun á finefnum en hlutfall efju og steinefna virðist innan eðlilegra marka.



Mynd 17: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt) uppi í hægra horninu. Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með stáltrefjum en yfirlagið er að mestu trefjalaust (vottar fyrir mikkrotrefjum).

Stöð 8846b

Þunnsneiðin er framhald af þunnsneið 8846a og er þverskurður sprautusteypu sem spannar dýptarbil á milli ~50 til 100 mm frá yfirborði sprautusteypu.

Engin stór sýnileg sprunga. Engar trefjar sýnilegar. Nánast engin kolsýring sýnileg, einn 1x1 mm blettur. Einstaka örsprungur sýnilegar, vegna rýrnunar.

Stöð 9350

Engin stór sprunga. Steinefni finefnasnauð. Kolsýring nær 1-2 mm inn frá yfirborði, á einum stað nær kolsýring 6-7 mm inn í þunnsneiðina.



Mynd 18: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt). Tvö lög af sprautusteypu (skil sjáanleg í miðju sýninu), það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

Stöð 9859

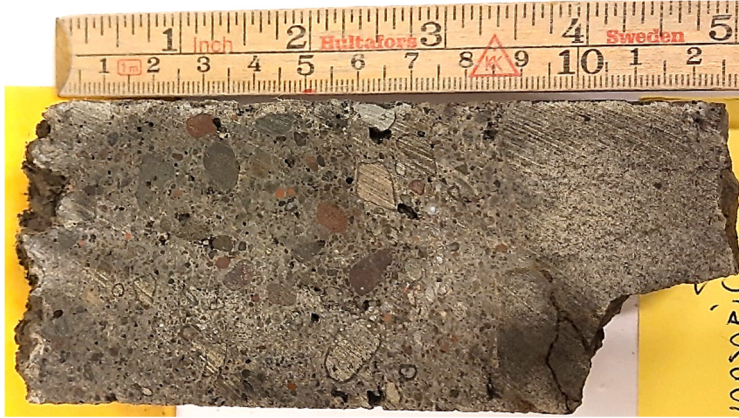
Engin stór sýnileg sprunga. Steypan er finefnasnauð. Plasttrefjar frá yfirborði og um 40 mm inn í þversnið. Kolsýring allt að 10-12 mm niður í þversnið. Yfirborð ójafnt. 2 nettar sprungur frá yfirborði og ná um 2 mm inn í þversnið.



Mynd 19: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Þrjú lög af sprautusteypu, neðri tvö lögin eru með trefjum og efsta lagið er skúmsteypa (með míkrotrefjum).

Stöð 12345

Engar sýnilegar sprungur, hvorki stórar né smásæjar. Steypan er fínefnasnauð. Kolsýring nær 1-2 mm inn frá yfirborði.



Mynd 20: Kjarnasýni fyrir punnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt).

4. Samantekt og helstu niðurstöður

Miðað við niðurstöður einásastyrksprófa, þá er mældur brotstyrkur í flestum tilfellum að mælast yfir hönnunarviðmiðum. Í Héðinsfjarðargöngum mældust 3 sýni, af 19, undir mörkum styrkleikaflokks, sem öll brotnuðu um lagmót/sprungu, sem bendir til þess að steypan sjálf er ekki veik heldur frekar handvömm í sprautun (t.d. vegna þess að yfirborð sprautusteypu sé illa þrifið áður en það er yfirsprautað). Þar sem að tvö sýni voru þrýstiprófuð úr saman kjarnanum, þá mældist styrkur neðra sýnisins almennt meiri heldur en á því sem var nær yfirborði sprautusteypunnar. Á nokkrum stöðum mældist styrkur neðra sýnisins lægra en þess sem er nær yfirborði, ástæðan fyrir því er sú að í neðra sýninu voru lagmót milli sprautusteypulaga sem veikti þau.

Miðað við mælingar á kolsýringu, þá voru 10 sýni sem gáfu tilkynna enga kolsýringu. Mesta kolsýringin mældist í sýni úr stöð 4336 í Héðinsfjarðargöngum, um 15 mm inn frá yfirborði sprautusteypu. Kolsýring var einnig metin í þunnsneiðum og í þeim var greinilega kolsýring næst yfirborði í öllum sýnunum og var hún yfirleitt innan við 10 mm. Mesta kolsýringin mældist í sýni úr stöð 4336 í Héðinsfjarðargöngum, um 14 mm inn frá yfirborði sprautusteypu.

Fyrstu niðurstöður benda til þess að sú steypa sem var skoðuð og prófuð úr þessum þremur jarðgöngum í þessum fyrri áfanga þessa rannsóknarverkefnis standi sig vel við þær aðstæður sem eru í þessum jarðgöngum.

Ekkert bendir til þess að kolsýring sé til vandræða og ekki er að sjá neina mælanlega aukningu í sýnum frá Hvalfjarðargöngum miðað við fyrri athuganir.

Þá er þrýstistyrkur þeirra sýna sem tekin voru að jafnaði mjög hár og uppfyllir hönnunarviðmið (að frátöldum nokkrum gölluðum sýnum), en í seinni hluta verkefnisins verður þrýstistyrkur á árunum 2021 og 2022 borinn saman við þrýstistyrk á byggingartíma og verður áhugavert að sjá hvernig styrkþróun hefur verið á líftíma mannvirkjanna, því oft er mjög mikið sement í sprautusteypu þannig að þrýstistyrkur er mun hærri en hannaður styrkur.

Við smásjárskoðun var ekki annað að sjá en að steypan væri að bera vel þá áraun að styrkja veggöng á Íslandi.

Almennt er ástand sprautusteypunnar nokkuð gott í öllum göngunum sem skoðuð voru og ekki að sjá að öldrun steypunnar hafi mikil áhrif á eiginleika hennar.

Fyrir liggur að rannsaka ástand sprautusteypu í fleiri göngum á árinu 2022 sem gerð verður grein fyrir í lokaskýrslu.

Fróðlegt væri að gera sambærilegar prófanir á sprautusteypu í göngunum að nokkrum árum liðnum til þess að sjá samanburð á brotstyrk og kolsýringu.

Tafla 11: Samantekt á niðurstöðum prófana í Hvalfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur þrýstistyrkur (MPa)	Leiðréttur þrýstistyrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m ³)	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
2640	1	63,4	55,2	2.347		
	2				10	
	3	70,0	60,9	2.356		
2949	1	63,4	55,2	2.341		
	3				0	
3595	2				5	
	3	60,5	52,6	2.328		
	4	55,7	48,5	2.325		Brotnar um lagmót
3987	2				0	
4180	1	67,6	58,8	2.340		
	2	70,7	61,5	2.339		
	3				<1	
4898	2*	59,4	51,7	2.326		
	2**	67,2	58,5	2.318		
	3				7-8	
	4*	62,5	54,4	2.330		
	4**	68,7	59,8	2.307		
6124	2				0	
	3	70,0	60,9	2.299		
6992	1	62,3	54,2	2.290		
	3				0-2	
	4	68,9	59,9	2.296		

Meðaltal:	56,6	2.324
Lægsta:	48,5	2.290
Hæsta:	61,5	2.356

*Sýni nær yfirborði. **Sýni nær bergi.

Tafla 12: Samantekt á niðurstöðum prófana í Fáskrúðsfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur þrýstistyrkur (MPa)	Leiðréttur þrýstistyrkur (MPa)	Mæld rúmpyngd (kg/m ³)	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
4538	2				0	
	3*	58,9	51,2	2.370		
	3**	53,9	46,9	2.304		
	4*	61,3	53,3	2.371		
	4**	47,9	41,7	2.318		
4735	2				0	
	3				0	
5050	1	61,7	53,7	2.367		
	2	47,1	41,0	2.340		Brotnar um lagmót
	3				<1	
5240	1				0-12	Kolsýring mikið í kringum 5 mm
	2	52,5	45,7	2.325		
	3	53,3	46,4	2.359		Brotnar um lagmót
5655	1*	61,4	53,4	2.365		
	1**	71,7	62,4	2.372		
	2*	58,0	50,5	2.365		
	2**	69,9	60,8	2.350		
	3				2-8	Kolsýring mikið í kringum 3-4 mm
5975	3				<1	
	4				0	
7075	2				5	
8150	1	51,1	44,5	2.338		
	2				0	
	3	59,8	52,0	2.343		

Meðaltal: 50,2 2.349

Lægsta: 41,0 2.304

Hæsta: 62,4 2.372

*Sýni nær yfirborði. **Sýni nær bergi.

Tafla 13: Samantekt á niðurstöðum prófana í Héðinsfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur þrýstistyrkur (MPa)	Leiðréttur þrýstistyrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m ³)	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
3470	1	47,0	40,9	2.452		Meiri rúmpýngd vegna þess að hluti af sýninu var berg
	4				4-8	
3936	1*	45,2	39,3	2.338		
	1**	48,2	41,9	2.336		
	2*	44,9	39,1	2.326		
	2**	34,2	29,8	2.322		Brotnar um lagmót
	3				8-11	
4336	1	39,6	34,5	2.268		
	2	42,4	36,9	2.292		
	3				5-15	
7318	1	36,6	31,8	2.302		Brotnar um sprungu
	2				6-12	
	3	40,2	35,0	2.289		
8846	2				0-2	Ógreinileg svörun
	3	53,2	46,3	2.362		
	4	53,9	46,9	2.327		
9350	2	46,1	40,1	2.396		Brotnar um lagmót
	3				0	
	4	42,1	36,6	2.393		Brotnar um lagmót
9859	1*	60,8	52,9	2.374		
	1**	36,9	32,1	2.390		Brotnar um lagmót
	2*	60,2	52,4	2.368		
	2**	58,6	51,0	2.396		Brotnar um lagmót
	3				0	
12345	1	50,8	44,2	2.344		
	2	51,3	44,6	2.360		
	3				0-1	

Meðaltal: 40,9 2.344

Lægsta: 29,8 2.268

Hæsta: 52,9 2.396

*Sýni nær yfirborði. **Sýni nær bergi.

5. Heimildaskrá

Geotek og Hönnun, 2005. *Ástandskönnun sprautusteypu, samantekt – lokaskýrsla (HN 2005-098)*. Unnið fyrir Landsvirkjun og Vegagerðina.

Geotek og Hönnun, 2005. *Ástandskönnun sprautusteypu, skýrsla III – Hvalfjarðargöng (HN 2005-093)*. Unnið fyrir Landsvirkjun og Vegagerðina.

ÍST EN 12390-3: *Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens*. Staðlaráð Íslands, 2019.

ÍST EN 12390-7: *Testing hardened concrete – Part 7: Density of hardened concrete*. Staðlaráð Íslands, 2019.

ÍST EN 13791: *Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components*. Staðlaráð Íslands, 2019.

ÍST EN 14630: *Products and systems for the protection and repair of concrete structures*. Staðlaráð Íslands, 2006.

Publikasjon nr.7: Sprøytebetong til bergsikring. Norsk Betongforening, 2011.