



MANNVIT

 Vegagerðin

# ÁSTANDSSKOÐUN SPRAUTUSTEYPU Í NOKKRUM ÍSLENSKUM VEGGÖNGUM

ALMANNASKARÐSGÖNG,  
BOLUNGARVÍKURGÖNG,  
BREIÐADALS- OG BOTNSHEIÐARGÖNG,  
FÁSKRÚÐSFJAÐRARGÖNG,  
HÉÐINSFJAÐARGÖNG,  
HVALFJARÐARGÖNG,  
MÚLAGÖNG

RANNSÓKNARSKÝRSLA  
SEPTEMBER 2023

# Efnisyfirlit

<b>1. Samantekt</b> .....	<b>1</b>
<b>2. Inngangur</b> .....	<b>2</b>
2.1 Stutt ágríp af verkefnalýsingu.....	2
2.2 Tilgangur og markmið .....	2
2.3 Bakgrunnur og forsaga .....	2
<b>3. Vettvangskönnun og sýnataka</b> .....	<b>3</b>
<b>4. Rannsóknir</b> .....	<b>5</b>
4.1 Sýnatökustaðir.....	7
4.2 Einásabrotstyrkur og rúmpýngd.....	11
4.2.1 Almannaskarðsgöng.....	12
4.2.2 Bolungarvíkurgöng .....	13
4.2.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng .....	15
4.2.4 Fáskrúðsfjarðargöng .....	17
4.2.5 Héðinsfjarðargöng.....	18
4.2.6 Hvalfjarðargöng.....	20
4.2.7 Múlagöng .....	22
4.3 Kolsýring.....	23
4.3.1 Almannaskarðsgöng.....	24
4.3.2 Bolungarvíkurgöng .....	24
4.3.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng .....	25
4.3.4 Fáskrúðsfjarðargöng .....	25
4.3.5 Héðinsfjarðargöng.....	26
4.3.6 Hvalfjarðargöng.....	26
4.3.7 Múlagöng .....	27
4.4 Þunnsneiðagreining.....	28
4.4.1 Almannaskarðsgöng.....	30
4.4.2 Bolungarvíkurgöng .....	34
4.4.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng .....	38
4.4.4 Fáskrúðsfjarðargöng .....	42
4.4.5 Héðinsfjarðargöng.....	45
4.4.6 Hvalfjarðargöng.....	48
4.4.7 Múlagöng .....	51

<b>5. Niðurstöður.....</b>	<b>55</b>
5.1 Almanskardögöng.....	56
5.2 Bolungarvíkurgöng .....	57
5.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng.....	59
5.4 Fáskrúðsfjarðargöng.....	61
5.5 Héðinsfjarðargöng .....	63
5.6 Hvalfjarðargöng .....	65
5.7 Múlagöng.....	67
<b>6. Niðurstaða .....</b>	<b>68</b>
<b>7. Heimildaskrá.....</b>	<b>69</b>

# 1. Samantekt

Árin 2021 og 2022 fór fram sýnataka á sprautusteypu í sjö veggöngum á Íslandi: Almannaskarðsgöngum, Bolungarvíkurgöngum, Breiðadals- og Botnsheiðargöngum, Fáskrúðsfjarðargöngum, Héðinsfjarðargöngum, Hvalfjarðargöngum og Múlagöngum. Í hverjum göngum voru átta sýnatökustaðir valdir með tilliti til aðstæðna og þykkt sprautusteypu. Í þeim göngum þar sem umferðin var meiri, var ákveðið að taka sýnin í útskotum af öryggisástæðum.

Niðurstöðu athugunar benda til þess að ástand sprautusteypu í íslenskum veggöngum sé almennt nokkuð gott. Í öllum göngunum, sem skoðuð voru, var ekki að sjá að öldrun steypunnar hafi mikil áhrif á eiginleika hennar.

Einásabrotstyrkur mældist í flestum tilfellum yfir eða svipaður og mældist á verktíma ganganna. Af alls 102 sýnum mældust 8 sýni undir mörkum styrkleikaflokks og öll þau sýni brotnuðu um lagmót/sprungu, sem bendir til þess að steypa sjálf er ekki veik heldur frekar misbrestur í vinnu (t.d. vegna þess að yfirborð sprautusteypu sé illa þrifið áður en það er yfirsprautað).

Niðurstöður benda til þess að kolsýring sé ekki mikið vandamál í íslenskum veggöngum. Í þeim göngum sem skoðuð voru mældist engin kolsýring í 20 sýnum af 54. Mesta mældist kolsýring mældist í Héðinsfjarðargöngum, um 15 mm inn frá yfirborði sprautusteypu (hrjúft yfirborð). Kolsýring var einnig metin í þunnsneiðum og í þeim var kolsýring yfirleitt innan við 10 mm næst yfirborði í flestum sýnunum. Mest mældist kolsýring (14-20 mm) í fjórum sýnum í þunnsneiðagreiningu (eitt í Bolungarvíkurgöngum, tvö í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum og eitt í Héðinsfjarðargöngum). Ekki var að sjá neina mælanlega aukningu í kolsýringu í sýnum miðað við fyrri athuganir í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum og Hvalfjarðargöngum.

Við smásjárskoðun var ekki að sjá öldrunarvandamál og að steypa væri að bera vel þá áraun að styrkja veggöng á Íslandi.

Af niðurstöðum þessarar rannsóknar má álykta að þau viðmið um minnstu þykkt sprautusteypu við sæmilegar til góðra jarðgangaaðstæðna, sem notaðar hafa verið síðustu ár við gangagröft á Íslandi, séu fullnægjandi þegar litið er til líftíma.

Því er dregin sú ályktun að ekki sé þörf á að auka minnstu þykkt sprautusteypu í betri berggæðaflokkum 60 mm í 80 mm eins og lagt er til í norska veggangastaðlinum N500 (útgáfa 2022).

## 2. 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 lokaskýrsla, sem sýnir niðurstöður rannsókna úr öllum sjö veggöngum sem skoðuð voru 2021 og 2022 (Almannaskarðs-, Bolungarvíkur-, Breiðadals- og Botnsheiðargöng, Fáskrúðsfjarðar-, Héðinsfjarðar-, Hvalfjarðar- og Múlagöng). Í mars 2022 var gefin út áfangaskýrsla sem sýnir niðurstöður rannsókna á sýnum úr þremur veggöngum (Fáskrúðsfjarðar-, Héðinsfjarðar- og Hvalfjarðargöngum) sem skoðuð voru 2021.

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.

### 2.1 Stutt ágríp af verkefnalýsingu

Verkefnið fól í sér að kanna ástand sprautusteypu í íslenskum veggöngum með tilliti til aldurs, hrörnnunar (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 tilsvareandi rannsóknir, sem gerðar voru árin 2003-2005 (Botns- og Breiðadalsheiðargöng, Hvalfjarðargöng og Múlagöng).

### 2.2 Tilgangur og markmið

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

Markmið rannsóknarinnar er að betrubæta hönnunarforsendur við val á þykkt ásprautaðrar steypu við sæmilegar til góðar jarðgangaaðstæður í nýjum veggöngum. Lagt var upp með að kanna ástand steypu við bæði þurrar og votar aðstæður í göngum og í göngum með mismunandi umferðarpunga (mengun í göngum).

### 2.3 Bakgrunnur og forsaga

Við gangagerð á Íslandi er iðulega stuðst við norskan jarðgangastaðal, handbók N500 Vegtunneler. Í núverandi útgáfu staðalsins 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 konstruksjónar) 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 Dýrafjarðarganga.

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 var því þörf á að kanna hrörnun sprautusteypu í íslenskum veggöngum, þannig að meta mætti 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 lágmarksþykkt sprautusteypu í göngum uppfylli áður nefndar kröfur í tveimur efstu styrkingarflokkum munu 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 CO<sub>2ig</sub> sparist við minni lágmarksþykkt.

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

### 3. Vettvangskönnun og sýnataka

Vettvangsskoðun og sýnataka í Hvalfjarðargöngum fór fram í næturlokun vegna þrifa í Hvalfjarðargöngum dagana 9. og 10. júní 2021, en að degi til í Fáskrúðsfjarðargöngum 21. og 22. júní og Héðinsfjarðargöngum 23. og 24. júní sama ár. Vettvangsskoðun og sýntaka árið 2022 fór fram að degi til í Almannaskarðsgöngum (11. og 12. maí), Bolungarvíkurgöngum (22. og 23. ágúst), Breiðadals- og Botnsheiðargöngum (24. og 25. ágúst) og Múlagöngum (6. og 7. október). 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. Sýnatökustaðir eru utan svæða sem eru vatnslædd, hvort sem það eru ásprautaðar eða ósprautaðar vatnslæðingar.

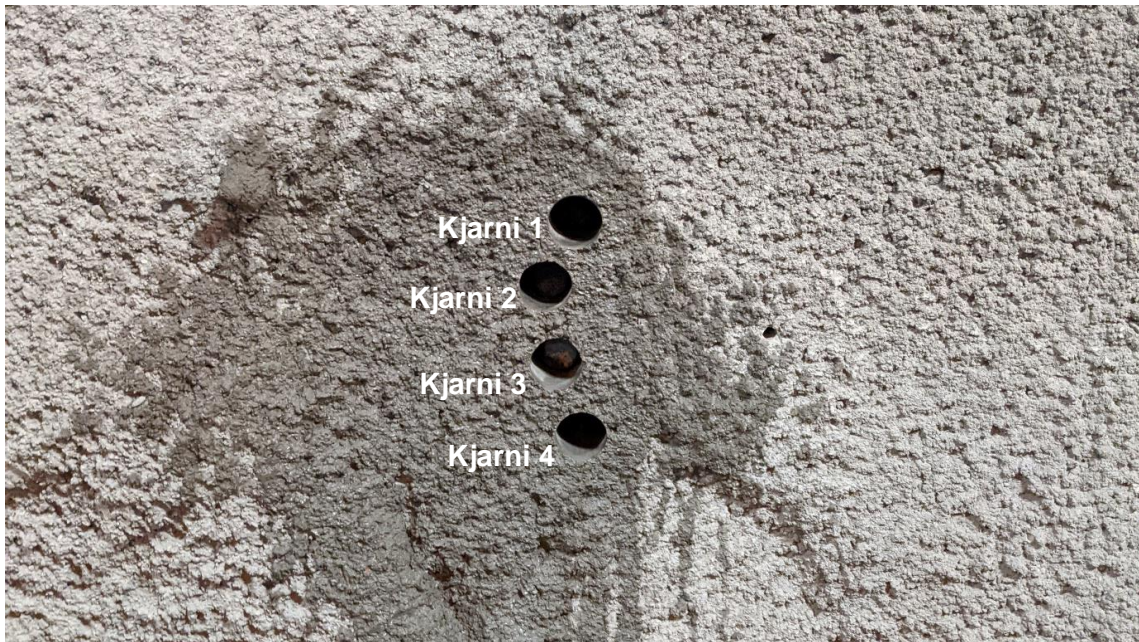
Í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum, Hvalfjarðargöngum og Múlagöngum hafa verið gerðar sambærilegar rannsóknir áður og því voru nokkrir sýnatökustaðir valdir á sama stað og áður hafði verið tekið sýni í ástandsskoðun á árunum 2003 - 2005. Það var gert til þess að bera

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  $\varnothing 55$  mm í Fáskrúðsfjarðar- og Héðinsfjarðargöngum, en  $\varnothing 48$  mm í öllum hinum göngunum. Í Bolungarvíkur-, Héðinsfjarðar- og Múlagöngum 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 sprautusteypuna 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.

## 4. Rannsóknir

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

Byrjað var á því að undirbúa sýni fyrir prófun á einásabrotstyrk. Sýnin voru söguð í hlutfallinu  $l/b=1$ . Yfirborðshryfi sprautusteypunnar var sagað ofan af öllum sýnunum sem voru styrkprófuð. Oftast var aðeins prófað eitt sýni úr hverjum kjarna, en í kjörnunum sem voru það langir að hægt var að gera annað sýni, var útbúið annað sýni fyrir prófun á brotstyrk til þess að kanna hvort mælanlegur sé styrkmunur milli 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 yfirborðshryfi sprautusteypunnar í Héðinsfjarðargöngum var töluvert meira en í hinum göngunum (allt að 40 mm). Einnig var meira vart við loftbólur í sprautusteypunni úr Héðinsfjarðargöngum, en rúmþyngd steypunnar mældist samt sem áður sambærileg í öllum göngunum.

Aldur sprautusteypu er mismunandi milli ganga. Elst eru Múlagöng og yngst eru Bolungarvíkur- og Héðinsfjarðargöng. Frá opnuna allra ganganna eru liðin 12 til 32 ár. Hita- og rakastig er mismunandi á milli ganga, sem getur haft áhrif á öldrun sprautusteypu.

Umferðarpungi er mjög mismunandi milli ganganna, þar sem mesta umferðin er í Hvalfjarðargöngum, ÁDU 7600 árið 2021 (árdagsumferð, meðaltalsumferð yfir allt árið). Minnst er umferðin um Almannaskarðsgöng (ÁDU 520), sjá töflu 1.



**Tafla 1: Framkvæmdartími jarðganga og ÁDU (árdagssumferð, meðaltalssumferð yfir allt árið).**

<b>Göng</b>	<b>Framkvæmdartími</b>	<b>ÁDU</b>	<b>Aldur steypu*</b>
Almannaskarðsgöng	2004-2005	520	17-18
Bolungarvíkurgöng	2008-2010	1.100	12-14
Breiðadals- og Botnsheiðargöng	1991-1995	720	27-31
Fáskrúðsfjarðargöng	2003-2005	780	16-18
Héðinsfjarðargöng	2006-2010	730	11-15
Hvalfjarðargöng	1996-1998	7.600	23-25
Múlagöng	1988-1990	640	32-34

\* Aldur steypu (ár) þegar prófanir fóru fram árin 2021 og 2022.

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

## 4.1 Sýnatökustaðir

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

**Tafla 2: Listi yfir sýnatökustaði í Almannaskarðsgöngum. Þvermál kjarnasýna  $\varnothing 48$  mm. Endar vegskála ganganna eru í stöð 1780 og 3070. Stöðvarnúmer eru hækkandi í átt til Hafnar.**

Stöð (vinstri/hægri)	Fjöldi kjarna (stk)	Þykkt sprautusteypu, meðaltal (mm)	Viðloðun við berg	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
2076 (V)	4	81	76%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
2142 (H)*	4	56	30%	Mest án trefja	Basalt
2158 (V)+	4	72	39%	Mest án trefja	Setberg
2202 (H)	4	38	98%	Stáltrefjar	Basalt
2320 (H)	4	57	55%	Án trefja	Basalt
2450 (V)*	4	48	93%	Án trefja	Basalt
2755 (V)*	4	110	75%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
2978 (H)	4	79	68%	Stáltrefjar	Basalt

\* Sýni tekið í útskoti.

+ Sýni tekið í nýrri steypu sem var sprautað í desember 2021 (þurrsteypa).

**Tafla 3: Listi yfir sýnatökustaði í Bolungarvíkurgöngum. Þvermál kjarnasýna  $\varnothing 48$  mm. Öll sýnin voru tekin í útskotum. Endar vegskála ganganna eru í stöð 14130 og 19550. Stöðvarnúmer eru hækkandi í átt til Bolungarvíkur.**

Stöð (útskot nr.)	Fjöldi kjarna (stk)	Þykkt sprautusteypu, meðaltal (mm)	Viðloðun við berg	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
14578 (1)	4	100	Léleg	Stáltrefjar að hluta	Setberg
15110 (2)	4	50	100%	Stáltrefjar að hluta	Dílabasalt
16100 (4)	4	81	60%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
16587 (5)	4	74	Léleg	Stáltrefjar að hluta	Kargi
17540 (7)	4	75	<10%	Stáltrefjar að hluta	Setberg
18085 (8)	4	127	0%	Stáltrefjar að hluta	
18615 (9)	4	139	35%	Stáltrefjar að hluta	Setberg
19105 (10)	4	99	45%	Stáltrefjar að hluta	Basalt og kargi

Tafla 4: Listi yfir sýnatökustaði í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum. Þvermál kjarnasýna  $\varnothing 48$  mm. Stöðvarnúmer í Tungudalslegg eru stígangi frá gatnamótum og út að vegskála (tvær akreinar). Stöðvarnúmer í Botnslegg eru stígangi frá gatnamótum og út að vegskála (einbreið með útskotum). Stöðvarnúmer í Breiðadalslegg eru stígangi frá vegskála og inn að gatnamótum (einbreið með útskotum).

Stöð (leggur)	Fjöldi kjarna (stk)	Þykkt sprautusteypu, meðaltal (mm)	Viðloðun við berg	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
400 (Tungud.)	4	80	39%	Án trefja	Basalt
1724 (Tungud.)	4	74	100%	Án trefja	Basalt
1467 (Botnsd.)*+	4	84	54%	Án trefja	Basalt
1980 (Botnsd.)*+	4	48	31%	Án trefja	Basalt/kargi
3515 (Botnsd.)*+	4	144	13%	Án trefja	Setberg
8900 (Breiðad.)*	4	60	63%	Án trefja	Basalt
10490 (Breiðad.)*+	4	107	100%	Stáltrefjar að hluta	Kargi/setberg
10960 (Breiðad.)*	4	73	100%	Án trefja	Setberg

\* Sýni tekið í útskoti.

+ Sýni tekin á sama stað og árið 2004.

Tafla 5: 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)	Þykkt sprautusteypu, meðaltal (mm)	Viðloðun við berg	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 6:** Listi yfir sýnatökustaði í Héðinsfjarðargöngum. Öll sýnin voru tekin í útskotum. Þvermál kjarnasýna  $\varnothing 55$  mm. Endar vegskála Siglufjarðarlegg eru í stöð 2300 og 6100, og Ólafsfjarðarlegg eru í stöð 6820 og 13950. Stöðvarnúmer eru hækkandi frá Siglufirði yfir til Ólafsfjarðar.

Stöð (útskot nr.)	Fjöldi kjarna (stk)	Þykkt sprautusteypu, meðaltal (mm)	Viðloðun við berg	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
3470 (2)	4	53	25%	Án trefja	Basalt
3936 (3)	4	134	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

**Tafla 7:** 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)	Þykkt sprautusteypu, meðaltal (mm)	Viðloðun við berg	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 8: Listi yfir sýnatökustaði í Múlagöngum. Þvermál kjarnasýna  $\varnothing 48$  mm. Öll sýnin voru tekin í útskotum. Endar vegskála ganganna eru í stöð 11225 og 14624. Stöðvarnúmer eru hækkandi í átt til Ólafsfjarðar.

Stöð (útskot nr.)	Fjöldi kjarna (stk)	Þykkt sprautusteypu, meðaltal (mm)	Viðloðun við berg	Trefjar	Undirliggjandi bergtegund
11470 (3)	4	42	69%	Án trefja	Kargi
11615 (4)*	4	64	93%	Án trefja	Kargi
11945 (6)	4	86	73%	Stáltrefjar að hluta	Setberg
12415 (9)	4	76	20%	Stáltrefjar	Basalt
12600 (10)	4	42	53%	Án trefja	Basalt
13050 (13)*	4	95	50%	Stáltrefjar að hluta	Basalt
13227 (14)	4	52	75%	Stáltrefjar	Basalt
14343 (21)	4	38	25%	Án trefja	Setberg

\* Sýni tekin í sama útskoti og árið 2003.

## 4.2 Einásabrotstyrkur og rúmpýngd

Í heildina var mældur einásabrotstyrkur og rúmpýngd á 102 sýnum samkvæmt prófunarstöðlum ÍST EN 12390-3 og ÍST EN 12390-7. Mælingar á einásabrotstyrk fóru fram haustið 2021 og 2022.

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 einásabrotstyrksmæling 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 brotstyrkur jafngildi hefðbundnum sívalningsstyrk. En svo dæmi sé tekið, þá í styrkleikaflokknum C30/37 er fremri talan sívalningsstyrkur og sú aftari teningsstyrkur.

Þegar sýni eru tekin úr mannvirki þarf einnig að leiðrétta styrkflokkinn með 0,85. Þannig þarf steypa sem er fyrirskrifuð C30/37 og styrkur prófaður á boruðu sýni að vera með brotstyrk  $30 \text{ MPa} \times 0,85 = 25,5 \text{ MPa}$ .



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.

#### 4.2.1 Almanskardösgöng

Í Almanskardösgöngum voru prófuð 11 sýni og mældist leiðréttur einásabrotstyrkur að meðaltali 56,9 MPa sem er vel yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur  $\geq$  C45 samkvæmt útboðsgögnum. Eitt sýni er undir lágmarkskröfum um brotstyrk, en það sýni brotnaði um lagmót milli sprautusteypulaga. Til að standast kröfur þá þarf leiðréttur brotstyrkur að vera  $45 \text{ MPa} \times 0,85 = 38,25 \text{ MPa}$  að lágmarki. Rúmpýngd steypunnar mælist að meðaltali  $2.372 \text{ kg/m}^3$ . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 9.

**Tafla 9: Niðurstöður prófana á einásabrotstyrk og rúmpýngd á sýnum úr Almanskardösgöngum.**

Stöð	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd ( $\text{kg/m}^3$ )	Athugasemdir
2076	1	56,0	48,7	2.342	
	2	41,0	35,7	2.322	Brotnar um lagmót
2142	1	78,9	68,6	2.379	
	2	71,7	62,4	2.358	
2320	2	77,6	67,5	2.384	
2755	3*	56,2	48,9	2.360	
	3**	73,0	63,5	2.412	
	4*	57,0	49,6	2.361	
	4**	63,4	55,2	2.385	
2978	1	70,9	61,7	2.390	
	2	73,3	63,8	2.403	
Meðaltal:			56,9	2.372	
Lægsta:			35,7	2.322	
Hæsta:			68,6	2.412	

\*Sýni nær yfirborði. \*\*Sýni nær bergi.

Í framkvæmdarskýrslu (Geotek, 2005) stendur eftirfarandi (sjá í heimildaskrá):

Við ásprautun lokastyrkinga og yfirsprautun á vatnslæðingum (skúmmi) var notað íblöndunarefni í sprautusteypunum (Mapecure CCI-2000), sem hindrar ofþornun steypunnar (þukkvári).

## 4.2.2 Bolungarvíkurgöng

Í Bolungarvíkurgöngum voru prófuð 18 sýni og mældist leiðréttur einásabrotstyrkur að meðaltali 50,3 MPa sem er vel yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur C30/37. Ekkert sýnanna mældist með brotstyrk undir lámarks kröfum, þrátt fyrir að nokkur sýni hafi brotnað um lagmót á milli sprautusteypulaga. Til að standast kröfur þá þarf leiðréttur brotstyrkur að vera  $30 \text{ MPa} \times 0,85 = 25,5 \text{ MPa}$  að lágmarki. Rúmþyngd steypunnar mælist að meðaltali  $2.376 \text{ kg/m}^3$ . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 10.

Tafla 10: Niðurstöður prófana á þrýststyrk og rúmþyngd á sýnum úr Bolungarvíkurgöngum.

Stöð (útskot nr)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmþyngd ( $\text{kg/m}^3$ )	Athugasemdir
14578 (1)	1*	52,7	45,8	2.361	
	1**	50,2	43,7	2.379	
	2*	49,5	43,1	2.354	Brotnar um lagmót
	2**	62,1	54,0	2.377	Brotnar um lagmót
16100 (4)	2	58,9	51,2	2.429	
	3	68,6	59,7	2.417	
16587 (5)	1	63,8	55,5	2.384	
	2	50,8	44,2	2.368	
17540 (7)	3	47,3	41,2	2.300	
	4	55,2	48,0	2.282	
18085 (8)	2*	47,8	41,6	2.318	Brotnar um lagmót
	2**	81,6	71,0	2.447	
	3*	41,7	36,3	2.316	Brotnar um lagmót
	3**	83,8	72,9	2.448	
18615 (9)	2	55,6	48,4	2.369	Brotnar um lagmót
	3	50,9	44,3	2.384	Brotnar um lagmót
19105 (10)	3	50,9	44,3	2.402	Brotnar um lagmót
	4	70,2	61,1	2.429	Brotnar um lagmót
Meðaltal:			50,3	2.376	
Lægsta:			36,3	2.282	
Hæsta:			72,9	2.448	

\*Sýni nær yfirborði. \*\*Sýni nær bergi.

Eftirfarandi texti er í framkvæmdarskýrslu eftirlits (Geotek og Efla, 2011):

*Fylliefni í sprautusteypu voru uppdæld sjávarfni úr Álftafirði nema síðasta hluta verksins var sandur fengin frá Skorholti í Melasveit. Sement var hefðbundið Portlandsement frá Sementsverksmiðjunni (CEM II/A-M, 42,5R, um  $490 \text{ kg/m}^3$ ). Hraðari var Meyco SA 167 sem er alkalífrír. Almennu uppfyllti sprautusteypan kröfur verksamnings en nokkuð erfiðlega gekk að uppfylla kröfur um orkugleypni.*





Í töflu 11 eru sýndar niðurstöður prófana á sprautusteypu (meðaltöl) á verktíma ganganna. Samkvæmt því hefur styrkur steypunnar ekkert rýrnað.

**Tafla 11: Helstu niðurstöður prófana frá framkvæmdartíma á sprautaðri steypu í göngum (meðaltöl). Heimild: Framkvæmdarskýrsla (Geotek og Efla, 2011).**

	<b>Sprautusteypa í göngum</b>
Rúmpyngd	2.318 g/cm <sup>3</sup>
Þrýstistyrkur	45,3 MPa
Orkugleypni	702 J
Veðrunarþol ASTM C666	88%
Beygjutogstyrkur	6,7 MPa

### 4.2.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng

Í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum voru prófuð 16 sýni og mældist leiðréttur einásabrotstyrkur að meðaltali 43,0 MPa sem er svipað eða jafnvel hærra en mældist á sprautaðri steypu á framkvæmdartíma. [Hönnun og Geotek. Ástandskönnun sprautusteypu. Skýrsla IV. Vestfjarðargöng, desember 2005].

Rúmþyngd steypunnar mælist að meðaltali 2.292 kg/m<sup>3</sup>. Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 12.

**Tafla 12: Niðurstöður prófana á einásabrotstyrk og rúmþyngd á sýnum úr Breiðadals- og Botnsheiðargöngum.**

Stöð (leggur)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmþyngd (kg/m <sup>3</sup> )	Athugasemdir
400 (Tungud.)	1	56,3	49,0	2.306	
	4	57,7	50,2	2.312	
1724 (Tungud.)	1	52,0	45,2	2.340	
	4	54,9	47,8	2.324	
1467 (Botnsd.)	2	38,3	33,3	2.262	Brotnar um lagmót
	3	38,9	33,8	2.278	Brotnar um lagmót
3515 (Botnsd.)	1*	44,9	39,1	2.269	Brotnar um lagmót
	1**	43,7	38,0	2.287	Brotnar um lagmót
	4*	49,6	43,2	2.275	Brotnar um lagmót
	4**	37,4	32,5	2.254	Brotnar um lagmót
8900 (Breiðad.)	2	47,8	41,6	2.328	Brotnar um lagmót
	3	48,4	42,1	2.319	Brotnar um lagmót
10490 (Breiðad.)	1	54,0	47,0	2.283	Brotnar um lagmót
	3	50,9	44,3	2.262	Brotnar um lagmót
10960 (Breiðad.)	1	49,9	43,4	2.283	Brotnar um lagmót
	3	65,4	56,9	2.282	

Meðaltal: 43,0 2.292

Lægsta: 32,5 2.254

Hæsta: 56,9 2.340

\*Sýni nær yfirborði. \*\*Sýni nær bergi.

Í ástandsskoðunarskýrslu frá 2005 (Geotek og Hönnun, 2005) stendur eftirfarandi um fylliefni í steypuna og blöndun hennar:

	<b>1-Steiniðjan hf.</b>	<b>2-Vesturís sf.</b>	<b>3-Vesturís sf.</b>
Fylliefni 0-12 mm	Úlfsárósar	Rauðamelur	Veðrará
Íslenskt Portlandsement (kg/m <sup>3</sup> )	600	525	525
Sandur (kg/m <sup>3</sup> )	1.265	1.005	1.450
Vatn (l/m <sup>3</sup> )	204	210	210
Þjáliefni, Kemflot35 (kg/m <sup>3</sup> )	3,60	3,60	1,05
Loftblendi, Kemloft19 (kg/m <sup>3</sup> )	0,42	0,26	0,73
Áætlað loft í ferskri steypu (%)	10	12	10-12
v/s tala	0,36	0,40	0,40
Algengt sigmál, cm	10-14	11-14	12-16
Hraðari, Kemquick34 (kg/m <sup>3</sup> )	25-45	25-45	25-45

*Uppskrift 1 var notuð frá upphafi framkvæmda haustið 1991 til loka apríl 1992.*

*Uppskrift 2 var notuð frá lok apríl 1992 fram í miðjan nóvember 1992.*

*Uppskrift 3 var notuð frá miðjum nóvember 1992 til verkloka þ.e. fram í miðjan maí 1995.*

#### 4.2.4 Fáskrúðsfjarðargöng

Í Fáskrúðsfjarðargöngum voru prófuð 14 sýni og mældist leiðréttur einásabrotstyrkur að meðaltali 50,2 MPa sem er vel yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur  $\geq$  C45. Ekkert sýnanna mældist með brotstyrk undir lámarks kröfum, þrátt fyrir að tvö sýni hafi brotnað um lagmót á milli sprautusteypulaga. Til að standast kröfur þá þarf leiðréttur brotstyrkur að vera  $45 \text{ MPa} \times 0,85 = 38,25 \text{ MPa}$  að lágmarki. Rúmþyngd steypunnar mælist að meðaltali  $2.349 \text{ kg/m}^3$ . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 13.

**Tafla 13: Niðurstöður prófana á einásabrotstyrk og rúmþyngd á sýnum úr Fáskrúðsfjarðargöngum.**

Stöð	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmþyngd ( $\text{kg/m}^3$ )	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 framkvæmdarskýrslu (Geotek, 2006) stendur eftirfarandi:

*Fylliefni í sprautusteypu voru að mestu tekin í Oddnýjarhæð á Reyðarfirði en einnig að hluta ofan af Héraði (Jökulsáreyrar í Hróarstungu). Almennt uppfyllti sprautusteypan kröfur verksamnings.*

#### 4.2.5 Héðinsfjarðargöng

Í Héðinsfjarðargöngum voru prófuð 19 sýni og mældist leiðréttur einásabrotstyrkur að meðaltali 40,9 MPa sem er yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur  $\geq$  C40. Þrjú sýni eru undir kröfum um lámærks brotstyrk, öll þessi sýni brotnuðu um lagmót milli sprautusteypulaga. Til að standast kröfur þá þarf leiðréttur brotstyrkur að vera  $40 \text{ MPa} \times 0,85 = 34 \text{ MPa}$  að lágmarki. Rúmþyngd steypunnar mælist að meðaltali  $2.344 \text{ kg/m}^3$ . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 14.

Tafla 14: Niðurstöður prófana á einásabrotstyrk og rúmþyngd á sýnum úr Héðinsfjarðargöngum.

Stöð (útskot nr)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmþyngd ( $\text{kg/m}^3$ )	Athugasemdir
3470 (2)	1	47,0	40,9	2.452	Hærri rúmþyngd vegna þess að hluti af sýninu var berg (ekki með í meðaltalinu).
3936 (3)	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 (4)	1	39,6	34,5	2.268	
	2	42,4	36,9	2.292	
7318 (7)	1	36,6	31,8	2.302	Brotnar um sprungu
	3	40,2	35,0	2.289	
8846 (10)	3	53,2	46,3	2.362	
	4	53,9	46,9	2.327	
9350 (11)	2	46,1	40,1	2.396	Brotnar um lagmót
	4	42,1	36,6	2.393	Brotnar um lagmót
9859 (12)	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 (17)	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.

Í framkvæmdarskýrslu (Geotek, 2011) stendur eftirfarandi:

*Einnig var fylgst með því að þvottur bergflata fyrir ásprautun væri nægilegur og einnig að aðhlúun steypu væri samkvæmt gögnum en svo var ekki á stundum í byrjun verks en eftir að verktaki hóf notkun á þurkvara í steypuna (Meyco TCC 735) bar ekki mikið á því að steypa ofþornaði. Fylliefni í sprautusteypu Siglufjarðarmegin var tekið í Hrollleifsdal í Skagafirði en efni í steypu Ólafsfjarðarmegin var tekið í Hrásarhöfða á Dalvík. Báðar þessar*

steypuefnanámur hafa verið nýttar árum saman. Sement var hefðbundið Portlandsement frá Sementsverksmiðjunni (CEM II/A-M, 42, 5R, um 430-490 kg/m<sup>3</sup>). Hraðari var Meyco SA 162 í fyrri hluta verksins en verktaki skipti yfir í Sika Sigunit L53P í síðari hluta verksins. Báðir hraðarar eru alkalífrír. Almennu uppfyllti sprautusteypa kröfur verksamnings að því frátöldu að erfiðlega gekk að uppfylla kröfur um orkugleypni með 40 kg af trefjum í rúmmetra. Lengst af voru notaðar trefjar frá Sika, CHO 65/35.

Tafla 15: Helstu niðurstöður prófana frá framkvæmdartíma á sprautaðri steypu í göngum (meðaltöl). Heimild: Framkvæmdarskýrsla (Geotek, 2011).

	Sprautusteypa í göngum frá Siglufirði	Sprautusteypa í göngum frá Ólafsfirði
Rúmpyngd	2.320 g/cm <sup>3</sup>	2.382 g/cm <sup>3</sup>
Þrýstistyrkur	31,1 MPa	35,3 MPa
Orkugleypni	710 J	723 J
Veðrunarþol ASTM C666	82%	90%
Beygjutogstyrkur	6,9 MPa	5,6 MPa

#### 4.2.6 Hvalfjarðargöng

Í Hvalfjarðargöngum voru prófuð 14 sýni og mældist leiðréttur einásabrotstyrkur að meðaltali 56,6 MPa sem er vel yfir hönnunarviðmiði, sem var styrkleikaflokkur C45. Ekkert sýnanna mældist með styrk undir lámarks kröfum, þrátt fyrir að eitt sýni hafi brotnað um lagmót á milli sprautusteypulaga. Til að standast kröfur þá þarf leiðréttur styrkur að vera  $45 \text{ MPa} \times 0,85 = 38,25 \text{ MPa}$  að lágmarki. Rúmpýngd steypunnar mælist að meðaltali  $2.324 \text{ kg/m}^3$ . Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 16.

Tafla 16: Niðurstöður prófana á einásabrotstyrk og rúmpýngd á sýnum úr Hvalfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd ( $\text{kg/m}^3$ )	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 ástandsskoðunarskýrslu (Geotek og Hönnun, 2005) stendur eftirfarandi:

#### Fylliefni

Fylliefni í sprautusteypu (sandur og fínmöl) var blandað úr tveimur (þremur) námum. Svokallað Esjubergs- og Þverfellsefni og Björgunarsandur. Esjubergsefnið er náttúrulegur sandur og mól, en Þverfellsefnið er sprengt og malað grjót. Björgunarefnið er dælt efni úr sjó. Í fylliefni fyrir sprautusteypu var hlutfall Esjubergsefnis um 60%, Þverfellsefnis um 15% og Björgunarefnis um 25%.

Norðan megin kom til greina að nota fylliefni sem unnið var í Skorholtsnámu í Melasveit, en horfið var frá því og allt fylliefnið keyrt fyrir Hvalfjörð.

#### Sement

Íslenskt Portlandsement var notað í alla sprautusteypu sem notuð var í göngunum. Portlandsement inniheldur um 7,5% kísilryk frá verksmíðju. Til að ná tilsettum styrk var nóg að

setja 500 kg/m<sup>3</sup>, en til að ná fram þjálli steypu ákvað verktaki að auka magn sements í 525 kg/m<sup>3</sup>.

### Íblöndunarefni

Íblöndunarefni voru Cementsa 92M þjálniefni, um 7 l/m<sup>3</sup>, og Kemquick 34 hraðari, um 13 l/m<sup>3</sup>. Kemquick 34 hraðari er í raun glervatn, en það er natríum og/eða kalíum silíkat.

Loftblendi var ekki notað í sprautusteypu.

### Stáltrefjar

Í trefjabenta steypu voru notaðar Dramix stáltrefjar (Dramix 30/50). Magnið var 50 kg/m<sup>3</sup>. Trefjum var blandað í steypuna í steypustöð.

### Steypumagn

Eins og áður segir hófst steypuásprautun í jarðgöngum í maí/júní 1996. Framvinda í steypuásprautun hélst síðan nokkuð í hendur við jarðgangagerðina. Varanlegum styrkingum með sprautusteypu lauk í janúar/febrúar 1998. Í neðanjarðarvirkjum voru alls notaðir um 12.000 m<sup>3</sup> af sprautusteypu.

### Prófanir á sprautusteypu úr neðanjarðarmannvirkjum

Styrkur var að jafnaði vel yfir fyrirskrifuðum mörkum. Í töflu 17 er samantekt sem sýnir helstu niðurstöður úr samræmisprófunum.

Tafla 17: Helstu niðurstöður prófana á sprautaðri steypu í göngum frá framkvæmdartíma (meðaltöl). Heimild: Ástandsskoðunarskýrsla (Geotek og Hönnun, 2005).

Sýni tekin:	Brotstyrkur, 28 daga (meðalt.+staðalfr.v.)	Rúmþyngd (meðalt.+staðalfr.v.)
Í steypustöð (teningar)	66 ±4,5 MPa	2.365 ±40 kg/m <sup>2</sup>
Í göngum (borkjarnar)	39 ±6 MPa	2.315 ±30 kg/m <sup>2</sup>



#### 4.2.7 Múlagöng

Í Múlagöngum voru prófuð 10 sýni og mældist leiðréttur einásabrotstyrkur að meðaltali 50,2 MPa sem er vel yfir hönnunarviðmiði og svipaður eða jafnvel hærrí en styrkur mældur á verk tíma ganganna. Ekkert sýnanna mældist með brotstyrk undir lármarks kröfum sem eru 35 MPa fyrir steypu með trefjum [Hönnun, Geotek og Rb. Ástandskönnun sprautusteypu. Áfangaskýrsla I (2003). Blönduvirkjun og Ólafsfjarðarmúlagöng, maí 2004]. Rúmpýngd steypunnar mælist að meðaltali 2.334 kg/m<sup>3</sup>. Niðurstöður prófana eru sýndar í töflu 18.

**Tafla 18: Niðurstöður prófana á þrýststyrk og rúmpýngd á sýnum úr Múlagöngum.**

Stöð (útskot nr)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m <sup>3</sup> )	Athugasemdir
11615 (4)	3	63,2	55,0	2.295	
	4	57,3	49,9	2.317	
11945 (6)	2	52,6	45,8	2.349	
	3	48,1	41,8	2.344	
12415 (9)	1	58,3	50,7	2.314	
	2	55,3	48,1	2.331	
13050 (13)	3	65,3	56,8	2.327	
	4	63,5	55,2	2.345	
13227 (14)	2	58,9	51,2	2.353	
	3	54,1	47,1	2.366	
Meðaltal:			50,2	2.334	
Lægsta:			41,8	2.295	
Hæsta:			56,8	2.366	

Í ástandsskoðunarskýrslu koma eftirfarandi upplýsingar fram (Geotek og Hönnun, 2005):

**Tafla 19: Grunnuppskrift sprautusteypu.**

Efni	Magn
Sandur, kg/m <sup>3</sup>	1.450 – 1.580
Vatn, kg/m <sup>3</sup>	175 – 195
Sement, kg/m <sup>3</sup>	600 – 680
Rescon HPS – flotefni, l/m <sup>3</sup>	7
Rescon P – vatnsspari, l/m <sup>3</sup>	3
Rescon Sprut – hraðari, l/m <sup>3</sup>	20 – 50
Stáltrefjar 30/50, kg/m <sup>3</sup>	80

### 4.3 Kolsýring

Í heildina var mæld kolsýring í 54 sýnum samkvæmt prófunarstaðli ÍST EN 14630: 2006. Tilgangurinn var að sjá hversu langt kolsýringin var komin inn í sprautusteypuna frá yfirborðinu sem snýr inn í göngin. Einnig var skoðað hvort kolsýringu væri að finna í steypunni næst bergi eða á lagmótum milli sprautusteypu laga. Í töflunum hér fyrir neðan er dálkurinn sem gefur til kynna hversu langt kolsýringin er komin niður í yfirborð steypunnar. Í athugasemdum kemur fram hvort það sé að finna kolsýringu við lagmót milli sprautusteypulaga eða við berg.



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).

### 4.3.1 Almennaskarðsgöng

Í Almennaskarðsgöngum voru prófuð 6 sýni og mældist kolsýringin allt að 12 mm niður frá yfirborði. Engin kolsýring var í steypu við berg. Í tveimur sýnum (st.2142 og 2755) er örlítil kolsýring á lagmótum milli sprautusteypulaga. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 20.

Tafla 20: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Almennaskarðsgöngum.

Stöð	Sýni númer	Kolsýring frá yfirborði (mm)	Athugasemdir (Kolsýring á lagmótum spr.st. laga eða næst bergi).
2076	4	1-5	
2142	4	1-3	1-2 mm kolsýring á milli sprautusteypulaga.
2158	1	0	Engin kolsýring í nýju steypunni. 1-2 mm kolsýring efst í gömlu steypunni.
2320	3	3-5	Punnt lag af skúmsteypu næst yfirborði þar sem kolsýringin mælist.
2450	4	8-12	8-10 mm lag af skúmsteypu næst yfirborði, kolsýringin nær aðeins niður í steypuna undir.
2755	1	5-8	Punnt lag af skúmsteypu næst yfirborði þar sem kolsýringin mælist. Smá kolsýring í efri lagmótum.

### 4.3.2 Bolungarvíkurgöng

Í Bolungarvíkurgöngum voru prófuð 6 sýni og mældist kolsýringin mest 13 mm niður frá yfirborði. Engin kolsýring var í steypu við berg. Í öllum sýnunum fyrir utan st.14578 er allt að 9 mm kolsýring á lagmótum milli sprautusteypulaga. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 21.

Tafla 21: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Bolungarvíkurgöngum.

Stöð	Sýni númer	Kolsýring frá yfirborði (mm)	Athugasemdir (Kolsýring á lagmótum spr.st. laga eða næst bergi).
14578	3	0	
15110	1	0-1	Meiri kolsýring á lagmótum milli spr.st. laga (7-9 mm).
16587	4	0-1	Kolsýring við efri lagmótin á um 15 mm dýpi (4-7 mm).
17540	2	6-13	Óskýr svörun í kringum neðri lagmótin á um 35 mm dýpi.
18085	1	0-2	Virðist vera smá kolsýring í kringum lagmót á um 25 mm dýpi.
19105	1	<1	Óljós kolsýring á lagmótum á um 25 mm dýpi (2-5 mm).

### 4.3.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng

Í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum voru prófuð 8 sýni og mældist kolsýringin allt að 4 mm niður frá yfirborði. Í tveimur sýnum (st.1980 og 10960) er líklega örlítill kolsýring í steypu við berg, í öðrum sýnum var engin kolsýring við berg. Í tveimur sýnum (st.400 og 3515) er allt að 2 mm kolsýring á lagmótum milli sprautusteypulaga. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 22.

**Tafla 22: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Breiðadals- og Botnsheiðargöngum.**

Stöð (leggur)	Sýni númer	Kolsýring frá yfirborði (mm)	Athugasemdir (Kolsýring á lagmótum spr.st. laga eða næst bergi).
400 (Tungud.)	2	0	Smá kolsýring í efri lagmótunum (0-1 mm).
1724 (Tungud.)	2	0	
1467 (Botnsd.)	1	0-4	Kolsýring í skúmsteypunni.
1980 (Botnsd.)	2	0	Óljós svörun næst bergi (verður ekki eins litað og ofar), gæti verið kolsýring (0-5 mm).
3515 (Botnsd.)	2	0	Líklega kolsýring á lagmótum á 90 mm dýpi (0-2 mm).
8900 (Breiðad.)	1	0	
10490 (Breiðad.)	4	<1	
10960 (Breiðad.)	4	1-2	Næst bergi er óljós svörun sem gæti verið smá kolsýring næst bergi (<1 mm).

### 4.3.4 Fáskrúðsfjarðargöng

Í Fáskrúðsfjarðargöngum voru prófuð 10 sýni og mældist kolsýringin allt að 12 mm niður frá yfirborði. Í tveimur sýnum (st.5975/3 og -/4) er líklega örlítill kolsýring í steypu við berg, í öðrum sýnum var engin kolsýring við berg. Í tveimur sýnum (st.5240 og 8150) er allt að 9 mm kolsýring á lagmótum milli sprautusteypulaga. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 23.

**Tafla 23: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Fáskrúðsfjarðargöngum.**

Stöð	Sýni númer	Kolsýring frá yfirborði (mm)	Athugasemdir (Kolsýring á lagmótum spr.st. laga eða næst bergi).
4538	2	0	
4735	2	0	
	3	0	
5050	3	<1	
5240	1	0-12	Kolsýring mikið í kringum 5 mm næst yfirborði. Líklega u.þ.b. 2 mm kolsýring við lagmót 25 mm frá yfirborði.
5655	3	2-8	Kolsýring mikið í kringum 3-4 mm næst yfirborði.
5975	3	<1	Líklega smá kolsýring í steypu næst bergi (um 1 mm).
	4	0	Líklega smá kolsýring í steypu næst bergi (um 1 mm).
7075	2	5	Kolsýring mikið í kringum 0-2 mm næst yfirborði.
8150	2	0	Kolsýring í kringum lagmót (3-9 mm).

### 4.3.5 Héðinsfjarðargöng

Í Héðinsfjarðargöngum voru prófuð 8 sýni og mældist kolsýringin allt að 15 mm niður frá yfirborði. Engin kolsýring var í steypu við berg. Almenn er yfirborð sprautusteypu mjög hrjúft. Kolsýring er að mælast meiri í göngunum nær Siglufirði (st.3470, 3936 og 4336), en sá hluti Héðinsfjarðarganga er almennt þurrari en göngin nær Ólafsfirði. Bleyta eða mjög hátt rakastig (>90%) draga verulega úr kolsýringu á steypunni. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 24.

Tafla 24: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Héðinsfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Kolsýring frá yfirborði (mm)	Athugasemdir (Kolsýring á lagmótum spr.st. laga eða næst bergi).
3470	4	4-8	
3936	3	8-11	
4336	3	5-15	Kolsýring 20 mm niður með sprungu.
7318	2	6-12	Kolsýring mikið í kringum 8-12 mm næst yfirborði.
8846	2	0-2	Ógreinileg svörun, túlkað sem kolsýring.
9350	3	0	
9859	3	0	
12345	3	0-1	

### 4.3.6 Hvalfjarðargöng

Í Hvalfjarðargöngum voru prófuð 8 sýni og mældist kolsýringin allt að 10 mm niður frá yfirborði. Engin kolsýring var í steypu við berg. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 25.

Tafla 25: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Hvalfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Kolsýring frá yfirborði (mm)	Athugasemdir (Kolsýring á lagmótum spr.st. laga eða næst bergi).
2640	2	10	
2949	3	0	
3595	2	5	
3987	2	0	
4180	3	<1	
4898	3	7-8	
6124	2	0	Líklega örlítill kolsýring niður með sprungu.
6992	3	0-2	Virðist vera kolsýring niður með sprungu (15 mm niður frá yfirborði).

### 4.3.7 Múlagöng

Í Múlagöngum voru prófuð 8 sýni og mældist kolsýringin allt að 5 mm niður frá yfirborði. Í einu sýni (st.14343) er örlítill kolsýring í steypu við berg, í öðrum sýnum var engin kolsýring við berg. Í þremur sýnum (st.12415, 13050 og 13227) er allt að 5 mm kolsýring á lagmótum milli sprautusteypulaga. Niðurstöður prófana má sjá í töflu 26.

**Tafla 26: Niðurstöður mælinga á kolsýringu á sýnum úr Múlagöngum.**

Stöð	Sýni númer	Kolsýring frá yfirborði (mm)	Athugasemdir (Kolsýring á lagmótum spr.st. laga eða næst bergi).
11470	3	0-5	Kolsýring mikið í kringum 2-3 mm næst yfirborði.
11615	2	0-2	
11945	4	0-4	
12415	4	0	Næst yfirborði er um 5 mm þykkt lag af steypu sem er ekki kolsýrt. Efst í laginu undir er 0-2 mm kolsýring.
12600	1	0-1	
13050	2	0	Líklega örlítill kolsýring í lagmótum á um 40 mm dýpi.
13227	1	0	Næst yfirborði er um 5 mm þykkt lag af steypu sem er ekki kolsýrt. Efst í laginu undir er 3-5 mm kolsýring.
14343	2	2-4	Kolsýring í steypu næst bergi (1-2 mm).

#### 4.4 Þunnsneiðagreining

Gerðar voru 44 þunnsneiðar, 6-7 úr hverjum göngum. Þunnsneiðarnar eru 36 x 52 mm að stærð, impregneraðar með flúrljómandi epoxy og um  $\sim 30 \mu\text{m}$  þykkar. Ein þunnsneið er úr hverju sýni sem nær frá yfirborði sýnisins og um 50 mm niður með því. Í fimm 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 27.



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.

Tafla 27: Listi yfir þunnarneiðar.

Göng	Stöð	Sýni númer	Fjöldi þunnarneiða (stk)
Almannaskarðsgöng	2076	4	1
Almannaskarðsgöng	2142	4	1
Almannaskarðsgöng	2158	1	1
Almannaskarðsgöng	2320	3	1
Almannaskarðsgöng	2450	4	1
Almannaskarðsgöng	2755	1	2
Bolungarvíkurgöng	14587	3	1
Bolungarvíkurgöng	15110	1	1
Bolungarvíkurgöng	16587	4	1
Bolungarvíkurgöng	17540	2	1
Bolungarvíkurgöng	18085	1	2
Bolungarvíkurgöng	19105	1	1
Breiðadals- og Botnsheiðargöng	400	2	1
Breiðadals- og Botnsheiðargöng	1724	2	1
Breiðadals- og Botnsheiðargöng	1467	1	1
Breiðadals- og Botnsheiðargöng	1980	2	1
Breiðadals- og Botnsheiðargöng	8900	1	1
Breiðadals- og Botnsheiðargöng	10960	4	1
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
Hvalfjarðargöng	2640	2	1
Hvalfjarðargöng	2949	3	1
Hvalfjarðargöng	4180	3	1
Hvalfjarðargöng	4898	3	1
Hvalfjarðargöng	6124	2	2
Múlagöng	11470	3	1
Múlagöng	11615	2	1
Múlagöng	11945	4	1
Múlagöng	12415	4	1
Múlagöng	13227	1	1
Múlagöng	14343	2	1



#### 4.4.1 Almennaskarðsgöng

##### Stöð 2076

Kolsýring frá yfirborði, nær 2-5 mm inn í þversnið. Steypuskil ca. 30 mm frá yfirborði, smávægileg kolsýring í eldra yfirborði. Nokkrar smásæjar sprungur sýnilegar bæði í venjulegu ljósi (plane polarized light – PPL) og í útfjólubláu ljósi (ultra violet – UV), ná ekki í yfirborð, meirihluti samsíða bergi.

Stærsta sýnilegt korn um 5 mm í þvermál. Mikið af steinefnakornum frá 0,1 – 0,5 mm, mikið af fínsandi en vantar filler undir 0,1 mm. Korn almennt ávöl, mikið glerjuð og þétt.



**Mynd 6:** Kjarnasýni fyrir þunnisneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt). Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

##### Stöð 2142

Kolsýring frá yfirborði, nær 4-8 mm inn í þversnið. Nánast engar sprungur sýnilegar, hvorki PPL né UV, þétt steypa.

Stærsta sýnilegt korn um 3x5 mm að stærð. Mikið af steinefnakornum frá 0,1 – 0,5 mm, mikið af fínsandi en vantar filler undir 0,1 mm. Korn almennt ávöl, mikið glerjuð og þétt.



**Mynd 7:** Kjarnasýni fyrir þunnisneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

### Stöð 2158

Þunnarneið alltof þunn til að skoða af gagni.



Mynd 8: Kjarnasýni fyrir þunnarneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Tvö lög af sprautusteypu, það efra (vinstra megin) er ný steypa frá sem var sprautuð í kringum áramótin 2021 og 2022 (þurrsteypa).

### Stöð 2320

Kolsýring frá yfirborði, nær 2-4 mm inn í þversniðið. Ein sprunga frá yfirborði sem nær ca. 30 mm inn í þversniðið, barmar sprungu kolsýrðir 10-12 mm inn frá yfirborði. Að örðu leiti lítið af sprungum sýnilegar í PPL og UV.

Stærsta sýnilega korn um 6 mm í þvermál. Mikið af steinefnakornum frá 0,1 – 0,5 mm, mikið af finsandi en vantar filler undir 0,1 mm. Korn almennt ávöl, mikið glerjuð og þétt.



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

### Stöð 2450

Kolsýring frá yfirborði, nær 10-20 mm inn í þversnið. Lítið sem ekkert af sprungum sýnilegar í PPL og UV.

Stærsta sýnilega korn um 4x9 mm að stærð. Mikið af steinefnakornum frá 0,1 – 0,5 mm, mikið af fínsandi en vantar filler undir 0,1 mm. Korn almennt ávöl, mikið glerjuð og þétt.



**Mynd 10:** Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt). Tvö lög af sprautusteypu, efra lagið er u.þ.b. 5 mm þykk skúmsteypa.

### Stöð 2755a

Þunnsneiðin nær frá yfirborði sprautusteypu um 50 mm inn.

Kolsýring frá yfirborði, nær 2-4 mm inn í þversnið, þá er holrými 5-10 mm innan við yfirborð og kolsýring innan við holrýmið, allt að 6 mm frá því. Ein ca. 10 mm löng sprunga í miðri sneið, samsíða bergi, nær frá miðju sneiðar og út fyrir sneið. Nokkrar smásæjar sprungur sýnilegar í PPL og UV.

Stærsta sýnilega korn um 4x8 mm að stærð. Mikið af steinefnakornum frá 0,1 – 0,5 mm, mikið af fínsandi en vantar filler undir 0,1 mm. Korn almennt ávöl, mikið glerjuð og þétt.



**Mynd 11:** Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt). Þrjú lög af sprautusteypu, neðst er steypa með trefjum, millilagið er án trefja og yfirlagið er u.þ.b. 10 mm þykk skúmsteypa.

### Stöð 2755b

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

Engin kolsýring sýnileg. Viðloðun steypu við berg um 90%, um 35 mm af steypu í þunnsneið. Stáltrefjar sýnilegar um alla sneið. Nokkrar sprungur um 10-20 mm langarsýnilegar í PPL og nokkrar smásæjar sprungur sýnilegar til viðbótar í UV.

Stærsta sýnilega korn um 4x6 mm að stærð. Mikið af steinefnakornum frá 0,1 – 0,5 mm, mikið af fínsandi en vantar filler undir 0,1 mm. Korn almennt ávöl, mikið glerjuð og þétt.

## 4.4.2 Bolungarvíkurgöng

### Stöð 14587

Lítilsháttar kolsýring á yfirborði, nær allt að 1-2 mm inn í þversniðið. Einhver kolsýring inni í sneið, líklega holrými í kjarna þar sem andrúmsloft nær inn, á allt að 3-4 mm dýpi frá útbrún sneiðar. Engar sýnilegar sprungur í PPL, örlitlar sprungur/skemmdir sýnilegar í UV, mögulega vegna þunnsneiðagerðar.

Steinefni að mestu fínkristölluð. Mikil sementsefja, lítið af fínefnum undir 0,1 mm í steinefni, einhverjar skeljaleifar.



**Mynd 12:** Kjarnasýni fyrir þunnsneiðagerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

### Stöð 15110

Kolsýring frá yfirborði nær 15-20 mm inn í þversnið, mögulega tengt sprungu á yfirborðinu. 1 smásæ sprunga sýnileg í PPL, nær frá yfirborði 3-4 mm inn í þversnið, líklega vegna rýrnunar. Nánast engar fleiri sprungur sjáanlegar í UV.

Stærsta sýnilega korn 5-6 mm í þvermál. Steinefni að mestu fínkristölluð. Mikil sementsefja, lítið af fínefnum undir 0,1 mm í steinefni, einhverjar skeljaleifar.



**Mynd 13:** Kjarnasýni fyrir þunnssneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt). Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

#### Stöð 16587

Kolsýring frá yfirborði, nær 1-4 mm inn í þversnið. Þá er kolsýrt lag inni í sneið á um 15-16 mm dýpi, lagið nær 4-5 mm, gæti verið vegna sprungu eða holrýmis. Nokkrar smásæjar sprungur sýnilegar í PPL, líklega vegna rýrnunar, eitthvað meira af sprungum sýnilegar í UV.

Stærsta sýnilega korn um 10 mm í þvermál. Steinefni að mestu fín- og dulkristölluð. Mikil sementsefja, lítið af fínefnum undir 0,1 mm í steinefni, einhverjar skeljaleifar.



**Mynd 14:** Kjarnasýni fyrir þunnssneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Þrjú lög af sprautusteypu, neðri tvö eru með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

#### Stöð 17540

Kolsýring frá yfirborði, nær 6-8 mm inn í þversnið. Með annarri hlið sneiðar er kolsýring langleiðina að botni þunnssneiðar samhliða sprungu eða holrými. Nokkrar smásæjar sprungur sýnilegar í PPL og lítið meira í UV.

Stærsta sýnilega korn 5-6 mm í þvermál. Steinefni að mestu fínkristölluð. Mikil sementsefja, lítið af fínefnum undir 0,1 mm í steinefni, einhverjar skeljaleifar.



Mynd 15: Kjarnasýni fyrir þunnarneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra. Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

#### Stöð 18085a

Þunnarneiðin nær frá yfirborði sprautusteypu um 50 mm inn.

Kolsýring frá yfirborði, nær 1-3 mm inn í þversnið og ein sprunga með kolsýrðum köntum, kolsýring nær um 10 mm inn í sneið meðfram sprungu. Lítið magn af sprungum sýnilegar í bæði PPL og UV.

Stærsta sýnilega korn 8-10 mm í þvermál. Steinefni að mestu fínkristölluð. Mikil sementsefja, lítið af fínefnum undir 0,1 mm í steinefni, einhverjar skeljaleifar.



Mynd 16: Kjarnasýni fyrir þunnarneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra. Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

### Stöð 18085b

Þunnsneiðin nær frá botni sprautusteypu (berg) um 50 mm inn frá botni/bergi.

Engin kolsýring sýnileg í þunnsneið. Nánast engar sprungur sýnilegar hvorki í PPL né UV.

Stærsta sýnilega korn um 5 mm í þvermál. Steinefni að mestu fínkristölluð. Mikil sementsefja, lítið af fínefnum undir 0,1 mm í steinefni, einhverjar skeljaleifar.

### Stöð 19105

Kolsýring frá yfirborði, nær 1-2 mm inn í þversnið. Um 20 mm lag af yfirsprautun þar sem er sýnilegur munur á efju en steinefni virðast sambærileg. Kolsýring í neðra lagi 3-4 mm inn í þversnið frá upphafi innra lags. Efja efra lags rýrari, þ.e.a.s. minna sementsmagn í efra lagi og líklega önnur sementssamsetning eða – gerð. Nánast engar sprungur sýnilegar, hvorki í PPL eða UV.

Stærsta sýnilega korn 8-11 mm í þvermál. Steinefni að mestu fínkristölluð. Mikil sementsefja, lítið af fínefnum undir 0,1 mm í steinefni, einhverjar skeljaleifar.



Mynd 17: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.



### 4.4.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng

#### Stöð 400 (Tungudalsleggur)

Kolsýring frá yfirborði, nær 4-15 mm inn í þversnið, mest við holrými sem nær væntanlega frá yfirborði. Nokkrar smásæjar sprungur sýnilegar í PPL og UV. Fjögur sýnileg korn (um 0,5 mm í þvermál) þar sem eitthvað niðurbrot viðrist vera að eiga sér stað, lítil eða engin þensla sýnileg samhliða þessu niðurbroti. Niðurbrot gæti verið í kísilryks klumpum.

Stærsta sýnilega korn er um 5x12 mm að stærð. Efjurík blanda, lítið af steinefnum undir 0,5 mm því vöntun á fínefnum. Þónokkuð af kornum yfir 4 mm þvermáli. Steinefni að mestu fínkristölluð, eitthvað af bæði dulkristölluðum og glerjuðum kornum.



Mynd 18: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá brot af undirliggjandi bergi (basalt). Tvö til þrjú lög af sprautusteypu án trefja.

#### Stöð 1724 (Tungudalsleggur)

Sneið þykkari en á að vera, ca 40  $\mu\text{m}$ . Kolsýring frá yfirborði, nær 1-6 mm inn í þversnið. Steypa er tvískipt, yfirsprautunarlag 20-25 mm þykkt. Nokkuð góð viðloðun á milli laga en þó smá slammi á samskeytum. Augljóst að efra lag er önnur steypugerð en neðra lagið, annað sement og annað steinefni. Kolsýring á innra lagi um 2-3 mm. Lítið sem ekkert af sprungum sýnilegar hvorki í PPL né UV.

Stærsta sýnilega korn er um 4x8 mm að stærð. Efjurík blanda, lítið af steinefnum undir 0,5 mm því vöntun á fínefnum. Þónokkuð af kornum yfir 4 mm þvermáli. Steinefni að mestu fínkristölluð, eitthvað af bæði dulkristölluðum og glerjuðum kornum.



**Mynd 19:** Kjarnasýni fyrir þunnssneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt). Tvö lög af sprautusteypu án trefja.

#### Stöð 1467 (Botnsdalsleggur)

Sneið ekki góð. Lítilsháttar kolsýring sýnileg við yfirborð kjarna. Skil í miðri þunnssneið, möguleg skil vegna yfirsprautunar, mikill slammi milli laga, gæti verið vegna þess að eldri steypa var illa þrífín fyrir yfirsprautun. Eitthvað af smásæjum sprungum sýnilegar í UV, þó ekki gott að skoða vegna gæða sneiðar.

Stærsta sýnilega korn um 6 mm í þvermál. Efjurík blanda, lítið af steinefnum undir 0,5 mm því vöntun á fínefnum. Þónokkuð af kornum yfir 4 mm þvermáli. Steinefni að mestu fínkristölluð, eitthvað af bæði dulkristölluðum og glerjuðum kornum.



**Mynd 20:** Kjarnasýni fyrir þunnssneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra. Líklega þrjú lög af sprautusteypu, neðri tvö eru án trefja og yfirlagið er skúmsteypa með plastkúlum.

### Stöð 1980 (Botnsdalsleggur)

Kolsýring frá yfirborði, nær að 2 mm inn í þversnið. Sprunga á um 45 mm dýpi 0,1-0,2 mm breið, útfellingar í sprungubörmum, gætu verið frá framleiðslu sneiðar. Nokkrar sambærilegar sprungur með útfellingar í börmum. Talsvert af smásæjum sprungum sýnilegar bæði í PPL og UV.

Stærsta sýnilega korn um 5x8 mm að stærð. Efjurík blanda, lítið af steinefnum undir 0,5 mm því vöntun á fínefnum. Þónokkuð af kornum yfir 4 mm þvermáli. Steinefni að mestu fínkristölluð, eitthvað af bæði dulkristölluðum og glerjuðum kornum.



**Mynd 21: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt/kargi). Líklega eitt lag af sprautusteypu án trefja.**

### Stöð 8900 (Breiðadalsleggur)

Kolsýring frá yfirborði, nær 1-2 mm inn í þversnið. Þá hefur verið 20 mm lagi verið sprautað yfir og kolsýring frá eldra yfirborði nær 2-5 mm inn í þversnið. Mjög góð viðloðun milli laga. Virðist vera önnur steypugerð í efra lagi, bæði annað steinefni og önnur sementsgerð. Ytra lag virðist vera með loftblendi. Nokkrar smásæjar sprungur í innra lagi sýnilegar bæði í PPL og UV, engar sprungur sýnilegar í yrta lagi.

Stærsta sýnilega korn um 7 mm í þvermál. Efjurík blanda, lítið af steinefnum undir 0,5 mm því vöntun á fínefnum. Þónokkuð af kornum yfir 4 mm þvermáli. Steinefni eru að mestu fínkristölluð, eitthvað af bæði dulkristölluðum og glerjuðum kornum.



**Mynd 22:** Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Tvö lög af sprautusteypu án trefja.

### Stöð 10960 (Breiðadalsleggur)

Kolsýring frá yfirborði, nær 3-15 mm inn í þversnið, þá nokkrir að því virðist kolsýrðir blettir inni í þversniðið. Lítið af sprungum, þó ein frá yfirborði sem nær um 8 mm inn í þversnið. Örfáar smásæjar sprungur sýnilegar í UV.

Stærsta sýnilega korn um 5x9 mm að stærð. Efjurík blanda, lítið af steinefnum undir 0,5 mm því vöntun á fínefnum. Þónokkuð af kornum yfir 4 mm þvermáli. Steinefni að mestu fínkristölluð, eitthvað af bæði dulkristölluðum og glerjuðum kornum.

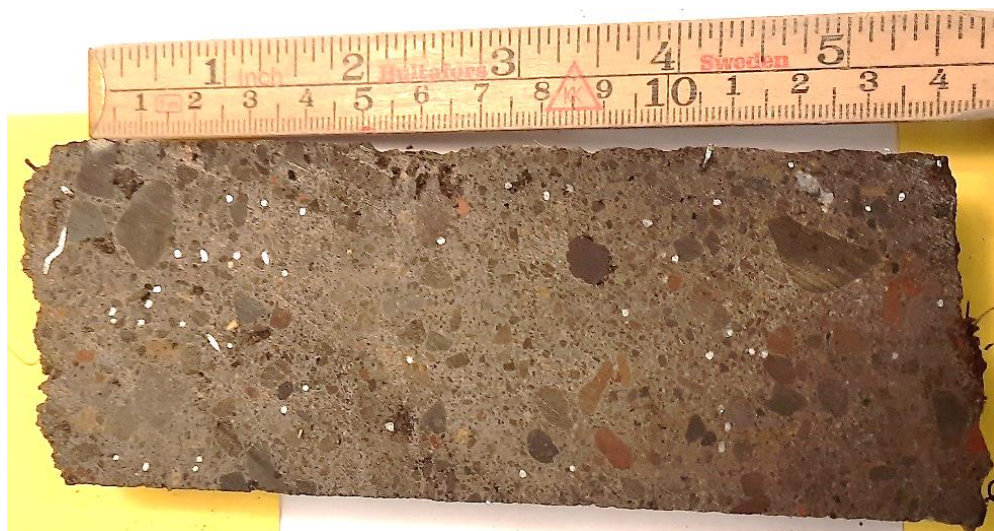


**Mynd 23:** Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (setberg). Líklega eitt lag af sprautusteypu án trefja.

#### 4.4.4 Fáskrúðsfjarðargöng

##### Stöð 4538

Engar stórar sprungur í kjarna. Nokkrar örsprungur 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 24: 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 25: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (kargi).

### Stöð 5655a

Þunnssneiðin nær frá yfirborði sprautusteypu um 50 mm inn.

Engar stórar sprungur í þunnssneið. 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 26: Kjarnasýni fyrir þunnssneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Tvö lög af sprautusteypu, það neðra er með trefjum en yfirlagið er trefjalaust.

### Stöð 5655b

Þunnssneiðin er framhald af þunnssneið 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 þunnssneið 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 27: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

#### Stöð 8150

Talsvert af sýnilegum 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 28: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin.

#### 4.4.5 Héðinsfjarðargöng

Almennt er steinefnið í sprautusteypunni í sýnunum sem voru skoðuð úr Héðinsfjarðargöngum fínefnasnautt, sér í lagi virtist vanta steinefni 0,25 mm og minni. En steypa 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 útbornunar. Kolsýring nær 12-14 mm inn frá yfirborði. Mikið af sementsefju og vöntun á fínefni.



Mynd 29: 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 fínefnum en hlutfall efju og steinefna virðist innan eðlilegra marka.



Mynd 30: 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 míkrótrefjum).



### 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 örprungur sýnilegar, vegna rýrnunar.

### Stöð 9350

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



Mynd 31: 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 fínefnasnauð. 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 32: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Þrjú lög af sprautusteypu, neðri tvö löggin 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 33: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt).

#### 4.4.6 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 34: 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 alkálivirkni.



Mynd 35: 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 framkvæmdatíma m.v. kolsýringu, vegna rýrnunar eða færslu. Eitthvað af smásæjum sprungum í kringum sprunguna sem er gegnumgangandi, líklega einnig frá framkvæmdatíma.



Mynd 36: 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 37: 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 38:** 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.

#### 4.4.7 Múlagöng

##### Stöð 11470

Kolsýring frá yfirborði, nær 2-6 mm inn í þversnið. Ein sprunga frá yfirborði sem nær um 30 mm niður í þversniðið, breiðkar lítillega í átt að yfirborði, að öðru leiti lítið af sprungum sýnilegar bæði í PPL og UV.

Stærsta sýnilega korn um 3 mm í þvermál. Mjög efjurík steypa, mest af steinefnum á stærðinni frá 0,1 – 2 mm, lítið af fínefnum þar fyrir neðan. Steinefni virðist ekki vera sjávarrefni. Steinefnakorn að mestu fínkristölluð, eitthvað af dulkristölluðum kornum.



**Mynd 39: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (kargi). Eitt lag af sprautusteypu án trefja.**

##### Stöð 11615

Engin kolsýring sýnileg í þunnsneið. Berg í botni þunnsneiðar, viðloðun milli bergs og sprautusteypu á um 80% af snertifleti. Örfáar smásæjar sprungur sýnilegar samsíða bergi.

Stærsta sýnilega korn um 3-4 mm í þvermál. Mjög efjurík steypa, mest af steinefnum á stærðinni frá 0,1 – 2 mm, lítið af fínefnum þar fyrir neðan. Steinefni virðist ekki vera sjávarrefni. Steinefnakorn að mestu fínkristölluð, eitthvað af dulkristölluðum kornum.



**Mynd 40:** Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (kargi). Eitt lag af sprautusteypu án trefja.

#### Stöð 11945

Kolsýring frá yfirborði, nær 2-4 mm inn í þversnið. Stáltrefjar í efsta lagi, lag um 15-20 mm yfirsprautun. Nokkrar smásæjar sprungur sýnilegar hornrétt á berg, bæði í PPL og UV.

Stærsta sýnilega korn um 5 mm í þvermál. Mjög efjurík steypa, mest af steinefnum á stærðinni frá 0,1 – 2 mm, lítið af fínefnum þar fyrir neðan. Steinefni virðist ekki vera sjávarefni. Steinefnakorn að mestu fínkristölluð, eitthvað af dulkristölluðum kornum.



**Mynd 41:** Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Líklega eitt lag af sprautusteypu, þar sem neðri hlutinn er án trefja, en trefjar næst yfirborði.

### Stöð 12415

Kolsýring frá yfirborði, frá 0-6 mm inn í þversnið. Eitthvað af smásæjum sprungum sýnilegar í PPL og UV, óregluleg stefna og engar sprungur í gegnum steinefnakorn.

Stærsta sýnilega korn um 5 mm í þvermál. Mjög efjurík steypa, mest af steinefnum á stærðinni frá 0,1 – 2 mm, lítið af fínefnum þar fyrir neðan. Steinefni virðist ekki vera sjávarefni. Steinefnakorn að mestu fínkristölluð, eitthvað af dulkristölluðum kornum.



**Mynd 42: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin. Eitt lag af sprautusteypu með trefjum.**

### Stöð 13227

Kolsýring frá yfirborði, nær 5-6 mm inn í þversnið. Þónokkuð af stáltrefjum í allri þunnsneiðinni, mest í efstu 20 mm. Sprunga eða holrými vegna steypuskila á 40-50 mm dýpi í þunnsneið, gæti mögulega verið vegna þenslu en ekkert sýnilegt niðurbrot í þunnsneið.

Stærsta sýnilega korn um 3 mm í þvermál. Mjög efjurík steypa, mest af steinefnum á stærðinni frá 0,1 – 2 mm, lítið af fínefnum þar fyrir neðan. Steinefni virðist ekki vera sjávarefni. Steinefnakorn að mestu fínkristölluð, eitthvað af dulkristölluðum kornum.





**Mynd 43: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (basalt). Tvö lög af sprautusteypu með trefjum.**

#### Stöð 14343

Sneið ekki góð, mjög þunn að ofanverðu. Kolsýring frá yfirborði, nær 2-4 mm inn í þversnið. Stuttur kjarni, 30-40 mm steypuhula. Þrjár sýnilegar sprungur, hornrétt á berg, ekki gegnum gangandi og engin ummerki um þenslu.

Stærsta sýnilega korn er um 2x5 mm á stærð. Mjög efjurík steypa, mest af steinefnum á stærðinni frá 0,1 – 2 mm, lítið af fínefnum þar fyrir neðan. Steinefni virðist ekki vera sjávarrefni. Steinefnakorn að mestu fínkristölluð, eitthvað af dulkristölluðum kornum.



**Mynd 44: Kjarnasýni fyrir þunnsneiðargerð. Yfirborð sprautusteypu er vinstra megin og hægra megin má sjá undirliggjandi berg (setberg). Eitt lag af sprautusteypu án trefja.**

## 5. Niðurstöður

Miðað við niðurstöður einásastyrksprófa, þá er mældur brotstyrkur í flestum tilfellum að mælast yfir hönnunarviðmiðum. Í heildina mældust 8 sýni, af 102, 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 meiri í Almannaskarðs-, Bolungarvíkur- og Hvalfjarðargöngum, en styrkur efra sýnisins mældist meiri í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum. Í Fáskrúðsfjarðar- og Héðinsfjarðargöngum var styrkurinn að mælast meiri ýmist í efra eða neðra sýninu. Yfirleitt var ástæðan fyrir því að styrkur mældist lægri vegna lagmóta á milli sprautusteypulaga í sýnunum sem veikti þau.

Miðað við mælingar á kolsýringu, þá voru 20 sýni, af 54, 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 flestum sýnunum og var hún yfirleitt innan við 10 mm. Mesta kolsýringin (14-20 mm) mældist í fjórum sýnum í þunnsneiðagreiningu (eitt í Bolungarvíkurgöngum, tvö í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum og eitt í Héðinsfjarðargöngum). Ef sprautusteypa er trefjabent með stáltrefjum er hætt á að trefjar tærast ef steypan er kolsýrð. Í göngunum þar sem trefjar voru í yfirborði voru þær sums staðar tærðar. Tæringin var yfirleitt aðeins bundin yfirborði trefjanna. Ekki var vart við tæringu í trefjum sem voru að öllu hulin steypu. Því er fullljóst að tæring í trefjum er ekki vandamál þar sem ókolsýrð sprautusteypa þekur trefjarnar. Tæring trefja í sprungum var hins vegar ekki athuguð sérstaklega.

Þar sem yfirborð steypunnar er blautt kolsýrist steypa ekki, heldur skolast kalsíum út úr sementsefjunni og myndar gjarnan hvítt kalsít lag á yfirborði steypunnar. Kolsýring getur ekki átt sér stað ef rakastig er undir 40% eða yfir 90%. Þá hefur hitastig áhrif á kolsýringu og því lægra sem hitastigið er þeim mun minni verður kolsýringin.

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

Niðurstöður benda til þess að sú steypa sem var skoðuð og prófuð úr þessum sjö jarðgöngum í þessu rannsóknarverkefni standi sig vel við þær aðstæður sem eru í þessum jarðgöngum.

Þá er brotstyrkur þeirra sýna sem tekin voru að jafnaði mjög hár og uppfyllir hönnunarviðmið (að frátöldum nokkrum gölluðum sýnum).

Við smásjárskoðun var ekki annað að sjá en að steypa 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.

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

## 5.1 Almanskardögung

Þykkt sprautusteypu er á bilinu 48-110 mm (meðaltal fjögurra kjarna á hverjum stað), að meðaltali 68 mm. Yfirleitt er sprautusteypan í tveimur lögum þar sem yfirsprautunarlagið er þynnra. Fyrra sprautusteypulagið er yfirleitt með stálfrefjum og yfirsprautunarlagið án trefja.

Niðurstöður mælinga á einásastyrkprófana sýna að leiðréttur brotstyrkur er vel yfir hönnunarviðmiði og engin merki um að draga sé úr styrk steypunnar. Eitt sýni brotnaði um lagmót, sem skýrir lágan þrýstistyrk í því sýni, en einásabrotsstyrkurinn mældist undir kröfu um lámarks styrk, sem er 38,25 MPa.

Almennt er steypan lítið kolsýrð. Þar sem kolsýringin er mest var hún 12 mm.

Tafla 28: Samantekt á niðurstöðum prófana í Almanskardögungum.

Stöð	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m <sup>3</sup> )	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
2076	1	56,0	48,7	2.342		
	2	41,0	35,7	2.322		Brotnar um lagmót
	4				1-5	
2142	1	78,9	68,6	2.379		
	2	71,7	62,4	2.358		
	4				1-3	
2158	1				0	
2320	2	77,6	67,5	2.384		
	3				3-5	
2450	4				8-12	
2755	1				1	
	3*	56,2	48,9	2.360		
	3**	73,0	63,5	2.412		
	4*	57,0	49,6	2.361		
	4**	63,4	55,2	2.385		
2978	1	70,9	61,7	2.390		
	2	73,3	63,8	2.403		
Meðaltal:			56,9	2.372		
Lægsta:			35,7	2.322		
Hæsta:			68,6	2.412		

\*Sýni nær yfirborði. \*\*Sýni nær bergi.

## 5.2 Bolungarvíkurgöng

Þykkt sprautusteypu er á bilinu 50-139 mm (meðaltal fjögurra kjarna á hverjum stað), að meðaltali 93 mm. Yfirleitt er sprautusteypa í tveimur lögum þar sem yfirsprautunarlagið er þynnra. Fyrri sprautusteypulagið er með stáltrefjum og yfirsprautunarlagið án trefja.

Niðurstöður mælinga á einásabrotstyrk sýna að leiðréttur brotstyrkur er vel yfir hönnunarviðmiði og engin merki um að draga sé úr styrk steypunnar. Átta sýni brotnuðu um lagmót, sem skýrir lágan þrýstistyrk í þeim sýnum. Þrátt fyrir það standast öll sýnin kröfu um lágmarks styrk, sem er 25,5 MPa.

Það má segja að steypa sé lítið kolsýrð, þar sem kolsýringin var mest var hún 13 mm. Væntanlega er höfuðástæðan fyrir frekar lítilli kolsýringu sú að tiltölulega lítill raki er í göngunum og þau köld.

**Tafla 29: Samantekt á niðurstöðum prófana í Bolungarvíkurgöngum.**

Stöð (útskot nr.)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpyngd (kg/m <sup>3</sup> )	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
14578 (1)	1*	52,7	45,8	2.361		
	1**	50,2	43,7	2.379		
	2*	49,5	43,1	2.354		Brotnar um lagmót
	2**	62,1	54,0	2.377		Brotnar um lagmót
	3				0	
15110 (2)	1				0-1	
16100 (4)	2	58,9	51,2	2.429		
	3	68,6	59,7	2.417		
16587 (5)	1	63,8	55,5	2.384		
	2	50,8	44,2	2.368		
	4				0-1	
17540 (7)	2				6-13	
	3	47,3	41,2	2.300		
	4	55,2	48,0	2.282		
18085 (8)	1				0-2	
	2*	47,8	41,6	2.318		Brotnar um lagmót
	2**	81,6	71,0	2.447		
	3*	41,7	36,3	2.316		Brotnar um lagmót
	3**	83,8	72,9	2.448		
18615 (9)	2	55,6	48,4	2.369		Brotnar um lagmót
	3	50,9	44,3	2.384		Brotnar um lagmót
19105 (10)	1				<1	
	3	50,9	44,3	2.402		Brotnar um lagmót
	4	70,2	61,1	2.429		Brotnar um lagmót

 Meðaltal: 50,3    2.376

 Lægsta: 36,3    2.282

 Hæsta: 72,9    2.448

\*Sýni nær yfirborði. \*\*Sýni nær bergi.

### 5.3 Breiðadals- og Botnsheiðargöng

Þykkt sprautusteypu er á bilinu 48-144 mm (meðaltal fjögurra kjarna á hverjum stað), að meðaltali 84 mm. Yfirleitt er sprautusteypan í tveimur lögum þar sem yfirsprautunarlagið er ýmist þykkara eða þynnra. Sprautusteypan er án trefja fyrir utan fyrra sprautusteypulagið í stöð 10490 í Breiðadalsleggnum (við fossinn), sem er með stáltrefjum.

Niðurstöður mælinga á einásabrotsstyrk sýna að leiðréttur brotstyrkur er að meðaltali 43,0 MPa sem er svipað eða jafnvel hærra en mældist á sprautaðri steypu á framkvæmdartíma. [Hönnun og Geotek. Ástandskönnun sprautusteypu. Skýrsla IV. Vestfjarðargöng, desember 2005]. Af 16 sýnum brotnuðu 11 sýni um lagmót, sem skýrir lágan brotstyrk í þeim sýnum.

Það má segja að steypan sé lítið kolsýrð, þar sem kolsýringin var mest var hún 4 mm. Væntanlega er höfuðástæðan fyrir frekar lítilli kolsýringu sú að tiltölulega mikill raki er í göngunum.

Í ástandskönnun árið 2005 var kolsýring að mælast allt að 6 mm í þeim sýnum sem tekin voru. Samkvæmt framkvæmdarskýrslu var einásabrotsstyrkur 36,2 MPa (28 daga styrkur, meðaltal 53 sýna sem voru tekin úr sýnum sem voru sprautuð í kassa inni í göngum á framkvæmdartíma). Í ástandskönnun árið 2005 var rúmpýngd mæld á 13 sýnum, mældist rúmpýngdin á bilinu 2.091 og 2.304 kg/m<sup>3</sup>, að meðaltali 2.240 kg/m<sup>3</sup>.

Tafla 30: Samantekt á niðurstöðum prófana í Botns- og Breiðadalsheiðargöngum.

Stöð (leggur)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmþyngd (kg/m <sup>3</sup> )	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
400 (Tungud.)	1	56,3	49,0	2.306		
	2				0	
	4	57,7	50,2	2.312		
1724 (Tungud.)	1	52,0	45,2	2.340		
	2				0	
	4	54,9	47,8	2.324		
1467 (Botnsd.)	1				0-4	
	2	38,3	33,3	2.262		Brotnar um lagmót
	3	38,9	33,8	2.278		Brotnar um lagmót
1980 (Botnsd.)	2				0	
3515 (Botnsd.)	1*	44,9	39,1	2.269		Brotnar um lagmót
	1**	43,7	38,0	2.287		Brotnar um lagmót
	2				0	
	4*	49,6	43,2	2.275		Brotnar um lagmót
	4**	37,4	32,5	2.254		Brotnar um lagmót
8900 (Breiðad.)	1				0	
	2	47,8	41,6	2.328		Brotnar um lagmót
	3	48,4	42,1	2.319		Brotnar um lagmót
10490 (Breiðad.)	1	54,0	47,0	2.283		Brotnar um lagmót
	3	50,9	44,3	2.262		Brotnar um lagmót
	4				<1	
10960 (Breiðad.)	1	49,9	43,4	2.283		Brotnar um lagmót
	3	65,4	56,9	2.282		
	4				1-2	

Meðaltal: 43,0 2.292

Lægsta: 32,5 2.254

Hæsta: 56,9 2.340

\*Sýni nær yfirborði. \*\*Sýni nær bergi.

## 5.4 Fáskrúðsfjarðargöng

Þykkt sprautusteypu er á bilinu 23-142 mm (meðaltal fjögurra kjarna á hverjum stað), að meðaltali 82 mm. Yfirleitt er sprautusteypa í tveimur lögum. Fyrri sprautusteypulagið er með stáltrefjum og yfirsprautunarlagið í flestum tilfellum án trefja.

Niðurstöður mælinga á einásabrotstyrk sýna að leiðréttur brotstyrkur er vel yfir hönnunarviðmiði og ekkert sem bentir til að draga sé úr styrk steypunnar. Tvö sýni brotnuðu um lagmót, sem skýrir lágan þrýstistyrk í þeim sýnum. Þrátt fyrir það standast bæði sýnin kröfu um lámærks styrk, sem er 38,25 MPa.

Það má segja að steypa sé lítið kolsýrð, þar sem kolsýringin var mest var hún 12 mm. Væntanlega er höfuðástæðan fyrir frekar lítilli kolsýringu sú að tiltölulega mikill raki er í göngunum.



**Tafla 31: Samantekt á niðurstöðum prófana í Fáskrúðsfjarðargöngum.**

Stöð	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m <sup>3</sup> )	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.

## 5.5 Héðinsfjarðargöng

Þykkt sprautusteypu er á bilinu 53-153 mm (meðaltal fjögurra kjarna á hverjum stað), að meðaltali um 100 mm. Yfirleitt er sprautusteypan í tveimur lögum. Fyrra sprautusteypulagið er yfirleitt með stáltrefjum og yfirsprautunarlagið er yfirleitt án trefja.

Niðurstöður mælinga á einásabrotstyrk sýna að leiðréttur brotstyrkur er vel yfir hönnunarviðmiði og því ekkert sem bendir til að draga sé úr styrk steypunnar. Sex sýni brotnuðu um lagmót eða sprungu í sýninu, sem skýrir lágan brotstyrk í þeim sýnum. Þrátt fyrir það standast þrjú af sex sýnum kröfu um lámarksstyrk, sem er 34 MPa.

Það má segja að steypa sé lítið kolsýrð, þar sem kolsýringin var mest var hún 15 mm. Kolsýring er að mælast hærrí í Siglufjarðarleggnum, líklega vegna þess að þau göng eru þurrari. Kolsýring í Ólafsfjarðarleggnum er mjög lítil fyrir utan sýni sem er tekið um 500 m innan við vegskálann í Héðinsfirði, þar sem göngin eru þurrari.

**Tafla 32: Samantekt á niðurstöðum prófana í Héðinsfjarðargöngum.**

Stöð (útskot nr.)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m <sup>3</sup> )	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
3470 (2)	1	47,0	40,9	2.452		Hærri rúmpýngd vegna þess að hluti af sýninu var berg
	4				4-8	
3936 (3)	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 (4)	1	39,6	34,5	2.268		
	2	42,4	36,9	2.292		
	3				5-15	
7318 (7)	1	36,6	31,8	2.302		Brotnar um sprungu
	2				6-12	
	3	40,2	35,0	2.289		
8846 (10)	2				0-2	Ógreinileg svörun
	3	53,2	46,3	2.362		
	4	53,9	46,9	2.327		
9350 (11)	2	46,1	40,1	2.396		Brotnar um lagmót
	3				0	
	4	42,1	36,6	2.393		Brotnar um lagmót
9859 (12)	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 (17)	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.

## 5.6 Hvalfjarðargöng

Þykkt sprautusteypu er á bilinu 31-135 mm (meðaltal fjögurra kjarna á hverjum stað), að meðaltali um 84 mm. Þykkt steypu í stöð 3987 (31 mm) og 4898 (135 mm) sker sig út þar sem steypa er yfirleitt á bilinu 50-100 mm. Yfirleitt er sprautusteypan í tveimur lögum, annars er ásprautunin í einu lagi. Í flestum sýnunum er sprautusteypan án trefja.

Niðurstöður mælinga á einásabrotstyrk sýna að leiðréttur brotstyrkur er vel yfir hönnunarviðmiði og því ekkert sem bendir til að draga sé úr styrk steypunnar. Eitt sýni brotnaði um lagmót, sem skýrir lágan þrýstistyrk í því einstaka sýni. Þrátt fyrir það stenst sýnið kröfu um lágmarks styrk, sem er 38,25 MPa.

Það má segja að steypa sé lítið kolsýrð, þar sem kolsýringin var mest var hún 10 mm.

Í ástandskönnun árið 2005 var kolsýring að mælast allt að 20 mm, yfirleitt <10 mm í þeim sýnum sem tekin voru. Samkvæmt framkvæmdarskýrslu var 28 daga brotstyrkur teninga í steypustöð að meðaltali 66 MPa og 39 MPa fyrir borkjarna úr göngum. Rúmþyngd borkjarna var að meðaltali 2.315 kg/m<sup>3</sup>.

Tafla 33: Samantekt á niðurstöðum prófana í Hvalfjarðargöngum.

Stöð	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m <sup>3</sup> )	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.

## 5.7 Múlagöng

Þykkt sprautusteypu er á bilinu 38-95 mm (meðaltal fjögurra kjarna á hverjum stað), að meðaltali um 60 mm. Yfirleitt er sprautusteypan í einu lagi. Á fjórum sýnatökustöðum af átta er sprautusteypan með stáltrefjum.

Niðurstöður mælinga á einásabrotstyrk sýna að leiðréttur brotstyrkur sé vel yfir hönnunarviðmiði og því virðist sem að ekki sé að draga úr styrk steypunnar. Ekkert sýnanna brotnaði um lagmót.

Það má segja að steypan sé lítið kolsýrð, þar sem kolsýringin var mest var hún 5 mm.

Í ástandskönnun árið 2005 var kolsýring að mælast allt að 25 mm, yfirleitt á bilinu 2-3 mm í þeim sýnum sem tekin voru. Samkvæmt framkvæmdarskýrslu var 28 daga einásabrotstyrkur að mælast á bilinu 28-43 MPa. Í ástandskönnun árið 2005 var rúmpýngd mæld á fimm sýnum, mældist rúmpýngdin á bilinu 2.256 og 2.325 kg/m<sup>3</sup>.

Tafla 34: Samantekt á niðurstöðum prófana í Múlagöngum.

Stöð (útskot nr.)	Sýni númer	Mældur styrkur (MPa)	Leiðréttur styrkur (MPa)	Mæld rúmpýngd (kg/m <sup>3</sup> )	Kolsýring (mm)	Athugasemdir
11470 (3)	3				0-5	
11615 (4)	2				0-2	
	3	63,2	55,0	2.295		
	4	57,3	49,9	2.317		
11945 (6)	2	52,6	45,8	2.349		
	3	48,1	41,8	2.344		
	4				0-4	
12415 (9)	1	58,3	50,7	2.314		
	2	55,3	48,1	2.331		
	4				0	
12600 (10)	1				0-1	
13050 (13)	2				0	
	3	65,3	56,8	2.327		
	4	63,5	55,2	2.345		
13227 (14)	1				0	
	2	58,9	51,2	2.353		
	3	54,1	47,1	2.366		
14343 (21)	2				2-4	

Meðaltal:	50,2	2.334
Lægsta:	41,8	2.295
Hæsta:	56,8	2.366

## 6. Niðurstaða

Miðað við niðurstöður einásastyrksprófa, þá er mældur brotstyrkur í flestum tilfellum yfir eða svipaður og mældist á verk tíma ganganna. Í heildina mældust 8 sýni, af 102, undir mörkum styrkleikaflokks, sem öll brotnuðu um lagmót/sprungu, sem bendir til þess að steypa 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 meiri í Almannaskarðs-, Bolungarvíkur- og Hvalfjarðargöngum, sem styrkur efra sýnisins mældist meiri í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum. Í Fáskrúðsfjarðar- og Héðinsfjarðargöngum var styrkurinn að mælast meiri ýmist í efra eða neðra sýninu. Yfirleitt var ástæðan fyrir því að styrkur mældist lægri vegna lagmóta á milli sprautusteypulaga í sýnunum sem veikti þau.

Miðað við mælingar á kolsýringu, þá voru 20 sýni, af 54, 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 flestum sýnunum og var hún yfirleitt innan við 10 mm. Mesta kolsýringin (14-20 mm) mældist í fjórum sýnum í þunnsneiðagreiningu (eitt í Bolungarvíkurgöngum, tvö í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum og eitt í Héðinsfjarðargöngum). Ef sprautusteypa er trefjabent með stáltrefjum er hætt á að trefjar tærast ef steypa er kolsýrð. Í göngunum þar sem trefjar voru í yfirborði voru þær sums staðar tærðar. Tæringin var yfirleitt aðeins bundin yfirborði trefjanna. Ekki var vart við tæringu í trefjum sem voru að öllu hulin steypu. Því er fullljóst að tæring í trefjum er ekki vandamál þar sem ókolsýrð sprautusteypan þekur trefjarnar. Tæring trefja í sprungum var hins vegar ekki athuguð sérstaklega.

Það virðist sem að kolsýring sé ekki mikið vandamál í þeim veggöngum sem voru skoðuð í verkefninu og ekki er að sjá neina mælanlega aukningu í sýnum miðað við fyrri athuganir í Breiðadals- og Botnsheiðargöngum og Hvalfjarðargöngum. Svo virðist sem að aðstæður í veggöngunum séu almennt á þann máta að kolsýring nái ekki langt inn í steypuna. Ástæða þess er sambland af því að rakastig í göngunum er minna en 40%, meira en 90, eða að steypa er bókstaflega blaut, og í samblandi við að hitastig er ekki nægilega hátt sem allt hefur áhrif á að hægja á eða nánast stöðva kolsýringu steypunnar.

Niðurstöður benda til þess að sú steypa sem var skoðuð og prófuð úr þessum sjö jarðgöngum í þessu rannsóknarverkefni standi sig vel við þær aðstæður sem eru í þessum jarðgöngum.

Þá er brotstyrkur þeirra sýna sem tekin voru að jafnaði mjög hár og uppfyllir hönnunarviðmið (að frátöldum nokkrum gölluðum sýnum).

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

Af niðurstöðum þessarar rannsóknar má álykta að þau viðmið um minnstu þykkt sprautusteypu við sæmilegar til góðra jarðgangaaðstæðna sem notaðar hafa verið síðustu ár við gangagröft á Íslandi séu fullnægjandi þegar litið er til líftíma. Ekki virðist vera þörf á að auka minnstu þykkt sprautusteypu í þessum berggæða flokkum eins og norskar leiðbeiningar segja nú til um, sbr. handbók N500 (Statens vegvesen, 2022).

## 7. Heimildaskrá

- Geotek, 2005. *Göng undir Almannaskarð, framkvæmdarskýrsla*. Unnið fyrir Vegagerðina.
- Geotek, 2006. *Fáskrúðsfjarðargöng, framkvæmdarskýrsla*. Unnið fyrir Vegagerðina.
- Geotek, 2011. *Héðinsfjarðargöng, framkvæmdarskýrsla*. Unnið fyrir Vegagerðina.
- Geotek og Efla, 2011. *Óshlíðargöng, framkvæmdarskýrsla*. Unnið fyrir Vegagerðina.
- Geotek og Hönnun, 2005. *Ástandskönnun sprautusteypu, skýrsla II – Múlagöng (HN 2005-092)*. Unnið fyrir Landsvirkjun og Vegagerðina.
- Geotek og Hönnun, 2005. *Ástandskönnun sprautusteypu, skýrsla III – Hvalfjarðargöng (HN 2005-093)*. Unnið fyrir Landsvirkjun og Vegagerðina.
- Geotek og Hönnun, 2005. *Ástandskönnun sprautusteypu, skýrsla IV – Vestfjarðargöng (HN 2005-094)*. Unnið fyrir Landsvirkjun og Vegagerðina.
- Geotek og Hönnun, 2005. *Ástandskönnun sprautusteypu, samantekt – lokaskýrsla (HN 2005-098)*. Unnið fyrir Landsvirkjun og Vegagerðina.
- Hönnun, Geotek og Rb, 2004. *Ástandskönnun sprautusteypu. Áfangaskýrsla I. Blönduvirkjun og Ólafsfjarðarmúlagöng*. 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 strengt hin 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.
- Statens vegvesen, 2022. *Vegnormal N500 vegtunneler*.