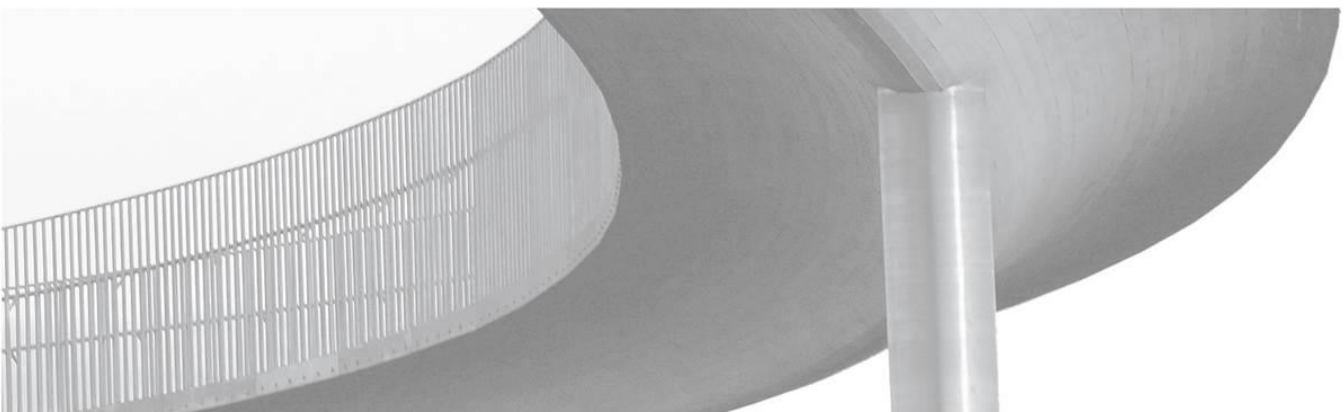


ÁSTAND SPENNIKAPLA Í STEYPTUM BRÚM

Áfangaskýrsla 4 - klórmælingar

31.03.2023



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-160-SKY-004-V01

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

2970-160-SKY-004 /39

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Valur Birgisson

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Baldvin Einarsson

LYKILORÐ

Uppspenntar brýr, Ending á brúm, klórmælingar í steypu

STAÐA SKÝRSLU

- Drög
- Drög til yfirlstrar
- Lokið

DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

TITILL SKÝRSLU

Ástand spennikapla í steypum brúm

VERKHEITI

Ástand spennikapla í steypum brúm

VERKKAUPI

Vegagerðin, Rannsóknarsjóður

HÖFUNDUR

Baldvin Einarsson

ÚTDRÁTTUR

Í skýrslunni eru birtar niðurstöður mælinga á klór í yfirbyggingum fimm brúa á Vesturlandi. Einnig mælingar á steypuhulu á þeim stöðum sem sýni til saltmælinga voru tekin.

Valdar voru brýr sem standa í sjávarumhverfi en einnig brýr fjarri sjó þar sem saltáun er aðallega frá hálkuvörnum vegarins.

Niðurstöður sýna að klór er mikið í brúm sem standa í sjávarumhverfi. Það er heldur minna í brúm fjarri sjó en er samt það hátt að fylgjast þarf grannt með saltflæði í brúnum í framtíðinni.

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDUR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Baldvin Einarsson	29.3.23	Brynja Arnardóttir Guðni Jónsson	30.3.202 3	Baldvin Einarsson	31.3.302 3
	Frumútgáfa					
02	Höfundur útgáfu	29.12.16	Nafn rýnis	30.12.16	Nafn samþykktaraðlila	31.12.16
	Lýsing					
03	Höfundur útgáfu	29.12.16	Nafn rýnis	30.12.16	Nafn samþykktaraðlila	31.12.16
	Lýsing					
04	Höfundur útgáfu	29.12.16	Nafn rýnis	30.12.16	Nafn samþykktaraðlila	31.12.16
	Lýsing					

SAMANTEKT

Í þessari skýrslu, sem er hin fjórða í röðinni í rannsóknarverkefni um ástand spennikapla í steypum brúm, er fjallað um mælingar saltleiðni í steypu og steypuhulu á nokkrum brúm á Vesturlandi.

Fyrstu skýrslurnar fjölluðu um aðferðir við að fylgjast með ástandi spennikapla í brúm og setja upp matslykil, byggðan á breskum reglum, til að meta ástand þeirra eftir þeim gögnum um hönnun, framkvæmd og viðhald sem fyrir hendi eru hverju sinni. Í þriðju skýrslunni voru settar fram tillögur að breyttum verklýsingu fyrir vinnu með spennikapla, uppspennu og grautun, gert sniðmát fyrir uppspenniskýrslu og gátlistar fyrir hönnuði og eftirlitsaðila með uppspenntum mannvirkjum. Loks voru þar settar fram hugleiðingar varðandi verklýsingarnar til umræðu meðal hönnuða og eftirlitsaðila og hverju væri ástæða til að breyta þegar fram líða stundir.

Í þessari skýrslu er sjónum beint að ástandi uppspennta brúa hér á landi. Talið er að klórflæði inn í steypu sé helsta hættu sem að þessum brúm steðjar. Því voru gerðar klórmælingar í steypu á fimm brúm á Vesturlandi. Tvær þeirra, Borgarfjörður og Kolgrafarfjörður, voru valdar því þær standa í sjó og verða því fyrir saltáraun á bitahliðar til viðbótar við áraun á brúargólf. Þrjár brýr voru valdar í verulegri fjarlægð frá sjó, Sanddalsá, Norðurá hjá Sveinatungu og Norðurá hjá Fornahvammi, allar í Norðurárdal. Þar er megináraunin af völdum söltunar á vegyfirborði til hálkuvana á vetrum. Tvær síðasttöldu brýrnar höfðu einnig verið skoðaðar fyrir 17 árum og gáfu því mælingar nú vísbendingu um þróun klórflæðis með tíma. Til viðbótar við mælingar á klóri í steypunni var steypuhula á járn einnig mæld, bæði í brúargólfi og í bitahliðum.

Niðurstöður mælinga á klóri í brúnum og steypuhulu er þær helstar:

- Steypuhula mældist almennt jöfn og samkvæmt teikningum. Almennt er hún 30 mm í bitum en 50-60 í brúargólfum.
- Mikið klór er í bitahliðum á þeim brúm sem standa í sjó, einnig á þeim bitahliðum sem eru í skjóli undir brúnum.
- Lítið klór mældist í bitahliðum á þeim brúm þar sem áhrifa frá sjó gætir lítið eða ekki.
- Mikið klór er í gólfi brúar yfir Kolgrafarfjörð.
- Allnokkuð klór er í brúargólfum í Norðurárdal og fer hratt vaxandi. Þar fer klórmagn að nálgast krítísk gildi fyrir bendistál miðað við mælda steypuhulu.
- Nauðsynlegt er að gera frekari mælingar á þessum brúm og ýmsum fleirum til að fylgjast með klórflæði í steypu.

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.

EFNISYFIRLIT

SAMANTEKT	5
MYNDASKRÁ	8
TÖFLUSKRÁ	8
1 INNGANGUR	12
2 FYRRI RANNSÓKNIR	14
2.1 Rannsóknir á brúm á Íslandi	14
2.2 Rannsóknir á aðferðafræði	15
3 SKIPULAG RANNSÓKNAR	17
3.1 Markmið	17
3.2 Val á brúm	17
4 SÝNATAKA	20
4.1 Almennt	20
4.2 Söfnun á borsvarfi	20
4.3 Greining á klór í steypu	22
4.4 Steypuhula	22
5 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA	23
5.1 Yfirlit yfir sýnatöku	23
5.2 Brú á Borgarfjörð	23
5.3 Brú á Kolgrafarfjörð	25
5.4 Sanddalsá	29
5.5 Norðurá hjá Sveinatungu	32
5.6 Norðurá hjá Fornahvammi	35
6 NÆSTU SKREF	39

MYNDASKRÁ

MYND 1	Niðurstöður úr klórmælingum á Svarthøl brú í Noregi. _____	16
MYND 2	Brýr til skoðunar. _____	19
MYND 3	Sýnataka úr steypu. _____	21
MYND 4	Steypuhula á járn mælt með járnaskanna. _____	22
MYND 5	Brú á Borgarfjörð. _____	24
MYND 6	Sýni tekin úr norðurenda Borgarfjarðarbrúar. _____	24
MYND 7	Steypuhula mæld, ytri hlið til vinstri, innri hlið til hægri. _____	25
MYND 8	Brú yfir Kolgrafarfjörð, hliðarmynd. _____	25
MYND 9	Þversnið í brú við enda. _____	26
MYND 10	Brú yfir Kolgrafarfjörð. _____	26
MYND 11	Vestari endi brúar þar sem borað var í bitahliðar. Einnig var borað í ljósu flekkina yfir vestasta millistöpli. _____	27
MYND 12	Þverjárn í brúardekki skönnuð í hjólfari. _____	27
Mynd 13	Þverjárn í brúardekki skönnuð yfir millistöpli. _____	27
MYND 14	Lykkjur í bitahlið. _____	28
MYND 15	Kolgrafarfjörður, niðurstöður mælinga á klór í steypu. _____	29
MYND 16	Brú á Sanddalsá í Norðurárdal. _____	30
MYND 17	Brúargólf brúar yfir Sanddalsá. _____	30
MYND 18	Hliðarmynd og þversnið af brú á Sanddalsá. _____	30
MYND 19	Sanddalsá, járnaskann og sýnataka úr steypu. _____	31
MYND 20	Sanddalsá, burðarjárn í þverátt brúargólfs skönnuð. _____	31
MYND 21	Norðurá hjá Sveinatungu. _____	32
MYND 22	Vestari stöpull, hægt að standa við borun. Skemmdir í gólfi. _____	33
MYND 23	Norðurá hjá Sveinatungu, burðarjárn í þverátt brúargólfs skönnuð. _____	33
MYND 24	Norðurá hjá Sveinatungu, burðarjárn í bitahlið skönnuð. _____	34
MYND 25	Samanburður á klórmælingu Hönnunar/Mannvits frá 2005 og mælingum Eflu 2022. _____	35
MYND 26	Norðurá hjá Fornahvammi, séð ofanstraums að vestan. _____	36
MYND 27	Norðurá hjá Fornahvammi, séð neðanstraums að austan. _____	36
MYND 28	Norðurá hjá Fornahvammi, horft upp eftir dalnum til norðurs/austurs. _____	37
MYND 29	Samanburður á klórmælingu Hönnunar/Mannvits frá 2005 og mælingum Eflu 2022. _____	38

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1	Yfirlit yfir sýnatöku. _____	23
TAFLA 2	Upplýsingar um steypu í brúarbita á Borgarfjörð. _____	24
TAFLA 3	Niðurstöður klórmælinga í bitahliðum Borgarfjarðarbrúar. _____	25
TAFLA 4	Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu. _____	26
TAFLA 5	Mæling á klór í steypu, Kolgrafarfjörður. _____	28
TAFLA 6	Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu. _____	29
TAFLA 7	Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu. _____	32

TAFLA 8	Norðurá hjá Sveinatungu, mæling á klórmagni í steypu. _____	34
TAFLA 9	Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu. _____	35
TAFLA 10	Norðurá hjá Fornahvammi, mæling á klórmagni í steypu. _____	37

1 INNGANGUR

Árið 2012 sótti Efla um styrk úr Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar til að leggja mat á ástand spennikapla í steyptum brúm. Markmið rannsóknarinnar voru metnaðarfull og fékkst styrkur til að vinna hluta hennar.

Í verkefnalýsingu verkefnisins eru eftirfarandi markmið tiltekin við vinnu verkefnisins:

- 1) Taka saman mögulegar aðferðir við mat á ástandi spennikapla í steyptum brúm.
- 2) Safna saman gögnum frá hönnun og framkvæmd varðandi grautun og uppspennu eftirspenntra brúa.
- 3) Greina brýr sem gætu verið orðnar viðkvæmar gagnvart tæringu.
- 4) Gera drög að leiðbeiningum varðandi framkvæmdaefirlit fyrir eftirspenntar brýr.
- 5) Gera sjónskoðun/prófanir á völdum brúm.

Fyrsta hluta verkefnisins var skilað í skýrslu árið 2015¹. Í henni er gerð tæmandi útekt á mögulegum aðferðum við mat á ástandi spennikapla í steyptum brúm.

Árið 2016 var sótt um styrk til að halda rannsókninni áfram og var áfangaskýrslu 2 skilað árið 2017².

Í þeirri skýrslu voru valdar 12 brýr úr íslenska vegakerfinu sem allar eru uppspenntar og byggðar á 30 ára tímabili frá 1980-2010. Breskur matslykill til að meta ástand uppspennta brúa á líftíma þeirra var kynntur og staðfærður á íslenskar aðstæður og honum beitt til að meta brýrnar 12 sem valdar voru. Stærsti lærdómurinn sem draga má af þeirri vinnu er sú að skortur er á gögnum um brýrnar frá framkvæmdatíma þeirra, hvort sem gögnin eru til og hafa ekki fundist eða hvort þau séu hreinlega ekki til.

Sótt var um þriðja styrkinn fyrir verkefnið árið 2018 til þess að endurskoða verklýsingar Vegagerðarinnar fyrir uppspennu og grautun. Áfangaskýrslu 3 var skilað í mars 2021.³ Í þeirri skýrslu er gert tillaga að nýjum verklýsingum og viðamiklir gátlistar unnir sem taka á hönnun og framkvæmd uppspennu og

¹ Ástand spennikapla í steyptum brúm. Rannsóknarskýrsla fyrir Rannsóknarsjóð Vegagerðarinnar. Efla, nóvember 2015.

² Ástand spennikapla í steyptum brúm. Áfangaskýrslu 2 – Ástandsmat á völdum brúm í íslensku vegakerfi. Efla, desember 2017

³ Ástand spennikapla í steyptum brúm. Áfangaskýrslu 3 – Verklýsingar og gátlistar. Efla, mars 2021.

grautunar. Gátlistarnir voru tilbúnir allnokkru fyrr og voru þeir notaðir við eftirlit á nokkrum eftirspenntum brúm þegar á árinu 2020. Í skýrslunni er einnig að finna almennar athugasemdir um verkþættina og mögulegar breytingar á þeim til framtíðar.

Í þessari skýrslu er markmiðið að skoða valdar brýr í vegakerfinu með tilliti til mögulegrar endingar. Sjónum var beint að þeim brúm þar sem til eru niðurstöður um þéttleika steypunnar í yfirbyggingu brúarinnar. Skoðaðar voru brýr í nálægð við höfuðborgarsvæðið til að minnka ferðakostnað. Ákveðið var að skoða fimm brýr. Tvær brýrnar eru í sjó (Borgarfjörður og Kolgrafarfjörður). Þar var áhersla lögð á að taka sýni úr steypu í bitahliðum sem snúa að sjó og hliðum sem eru í skjóli og salt nær ekki að skolast af. Þrjár brýr eru fjarri sjó á Hringvegi í Norðurárdal í Borgarfirði (40 ára) þar sem salt er notað í hálkuvarnir. Þar var áhersla lögð á að taka sýni úr brúargólfi. Á öllum brúnum var steypuhula á járn mæld.

Þar sem styrkur til verksins var takmarkaður var ákveðið að einfalda sýnatöku til að mæla klór í steypunni en áður hefur verið gert hér á landi. Það var gert með því að bora inn og safna svarfi á mismunandi dýpi í steypunni til greiningar á klór í stað þess að bora kjarna úr steypunni. Greint er frá rannsókn EFLU á brú í Noregi þar sem báðar aðferðir voru notaðar og bornar saman..

Verkefnisstjóri rannsóknar á spennnum brúm er Baldvin Einarsson. Guðni Jónsson, verkfræðingur og sérfræðingur EFLU í steinsteypu, skipulagði og stjórnaði þessari rannsókn. Ólafur Davíð Friðriksson, verkfræðingur, og Brynja Arnardóttir, jarðfræðingur, sáu um sýnatöku úr brúnum. Starfsmenn Vega-gerðarinnar á Vesturlandi lögðu til bíl með merkjakerru þegar unnið var við að taka sýni úr brúargólfum.

2 FYRRI RANNSÓKNIR

2.1 Rannsóknir á brúm á Íslandi

Nokkrar rannsóknir hafa verið gerðar á klórmagni í steypum brúargólfum hér á landi. Ber þar fyrst að nefna rannsókn Hönnunar frá árinu 2005.⁴ Í júní það ár voru boraðir kjarnar úr brúargólfum á 6 eftirspenntum brúm á Vestur- og Norðurlandi. Kjarnarnir voru 50 mm í þvermál og um 50 mm langir. Borað var í eftirfarandi brýr:

- Blanda hjá Blönduósi
- Laxá í Refasveit
- Norðurá við Fornahvamm
- Norðurá við Sveinatungu
- Norðurá hjá Haugum
- Borgarfjörður

Klór var síðan mældur í 1 mm sneiðum á 7-8 stöðum í efstu 20-25 mm af kjörnunum. Steypusvarf var leyst upp í HNO₃ sýru og styrkur fundinn með Volhard títrun í samræmi við NT Build 208.

Niðurstöður sýndu að hámarksstyrkur klórs var á um 5 mm dýpi í steypunni og lá á bilinu 0,2 -0,3% af þyngd nema í Borgarfjarðarbrúnni þar sem styrkurinn var umtalsvert hærri eða 0,5 - 0,6%.

Í skýrslunni er vísað til fyrri mælinga á klór í yfirbyggingum brúa á Korpu og Hólmsá í Reykjavík (Rb skýrsla fyrir vegagerðina, 2003). Þar voru sýni tekin þar sem malbikað hafði verið beint á steyp yfirborð. Þrátt fyrir það reyndist klór í steypunni svipaður og í stærri rannsókninni.

Niðurstöður úr þessum rannsóknum var að vissulega væri klór að ganga inn í steypuna vegna saltburðar til hálkuvarna en það ógnaði ekki bendistáli í brúargólfinu og enn síður spenniköplum enda liggja þeir á allmiklu dýpi í steypuþversniðinu. Gildin fyrir Borgarfjarðarbrúna skáru sig úr en þar var reiknað að klórmagn væri ekki komið undir hættumörk fyrr en á 40 mm dýpi.

⁴ Eftirspennt brúargólf. Klórinnihald í nokkrum steypum brúargólfum. Hönnun, 2006.

Aftur mældi Hönnun/Mannvit klór í brúargólfum sem malbikað hafði verið yfir árið 2008.⁵ Það var mælt í brúm á Þjórsá, Hólmsá og Köldukvísl. Það þótti markverðast að allnokkuð klór mældist í Þjórsárbrúnni þrátt fyrir ungan aldur en minna mældist í Hólmsá og Köldukvísl.

Í framhaldi gerði Hönnun/Mannvit rannsókn fyrir Rannsóknarsjóð Vegagerðarinnar með það að markmiði að finna aðferðir til að hindra klórinnflæði í brúargólf án þess að þurfa að setja dýrt vatnsvarnarlag undir bikið. Það á sérstaklega við þar sem malbikað eða klætt er yfir gólfið.⁶

Mæld var leiðni klórs inn í steypu með mismunandi yfirborðsefni. Prófuð voru sementsbundin viðgerðarefni, monosílan vatnsfæla, bikþeyta og Chevron Industrial Membrane (CIM). Rannsóknin var gerð á rannsóknarstofu og voru sýni geymd í klórlausn í um og yfir 5 ár.

Niðurstöðurnar voru helstar að einungis CIM var virkt í að koma í veg fyrir leiðni klórs inn í steypuna, enda er CIM eina efnið sem er viðurkennt erlendis til þeirra nota á brýr. Niðurstöður fyrir öll hin efnin ollu vonbrigðum.

2.2 Rannsóknir á aðferðafræði

Efla gerði viðamikla rannsókn á Svarthøl brú á Ögðum í Noregi 2014.⁷ Brúin er stálbrú með steypu gólfi. Brúin var með ófullnægjandi hulu á járn og það voru útbreiddar ryðskemmdir og frostskemmdir á yfirbyggingu og stöplum.

Tvær aðferðir voru notaðar til að afla sýna úr steypunni:

- Boraðir voru kjarnar með 50 mm þvermáli og var svarf tekið úr þeim á 1-3 mm, 20-22 mm og 40-42 mm dýpi.
- Boruð var hola með 18 mm þvermáli og borsvarfi safnað. Svarfið var tekið á 2-20 mm og 20-40 mm dýpi í holunni.

Á hverjum stað í brúnni voru báðar aðferðir notaðar; tvær 18 mm holur og einn 50 mm kjarni. Með þessu er mögulegt að bera saman nákvæmni þessara aðferða. Mismunurinn er að sýni úr borkjarna eru tekin á mjög vel skilgreindu dýpi í steypunni, 1-2 mm, og því er mögulegt að draga upp klórdreifinguna inn eftir steypunni með mikilli nákvæmni. Seinni aðferðin er grófari þar sem um er að ræða meðaltal á um 20 mm bili inn eftir steypunni. Báðum aðferðum er ágætlega lýst í handbók norsku vegagerðarinnar (Statens vegvesen).⁸

Aðferðirnar eru hins vegar mjög misdýrar. Í fyrri aðferðinni þarf að taka borkjarna úr brúnni og vinna síðan sýni úr honum á rannsóknarstofu í rennibekk eða með öðrum hætti. Í seinni aðferðinni er sýnið tekið beint úr brúnni með venjulegum steinbor. Til að tryggja að nægilegt svarf fáiast eru gjarnan boraðar tvær eða fleiri holur.

⁵ Minnisblað Mannvits (Gísli Guðmundsson) til Vegagerðarinnar, 2008.

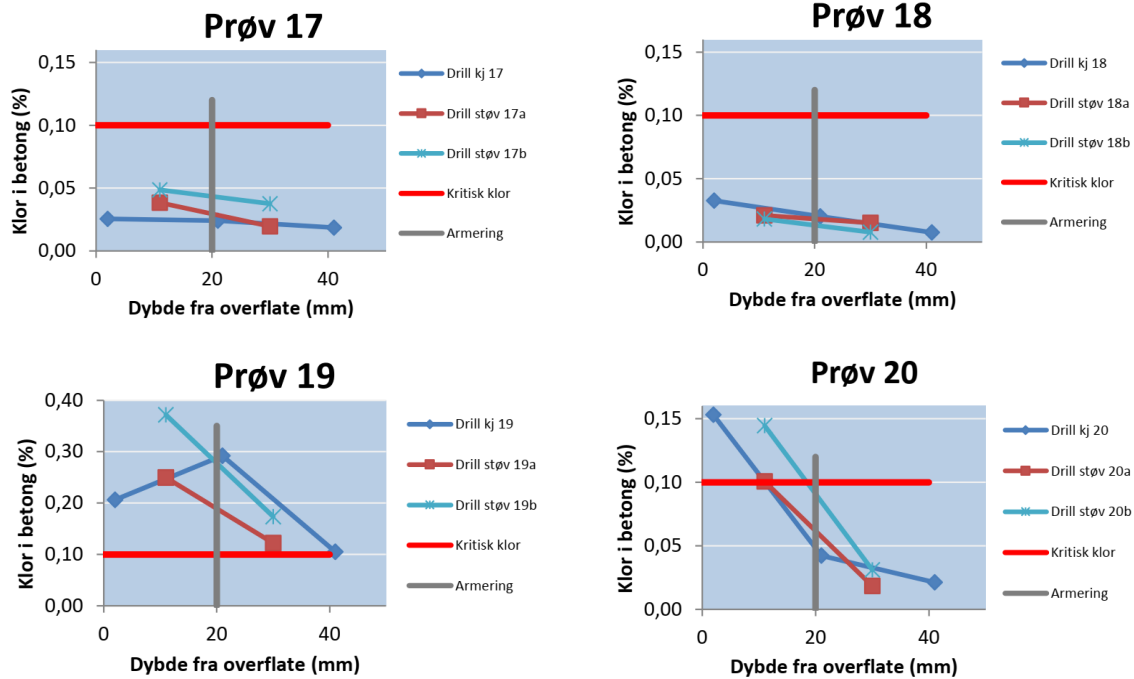
⁶ Malbikun á gólf steyptra brúa. Þriðji áfangi. Mannvit, 2014.

⁷ Ev 18 Aust-Agder fylke. 09-0550 Svarthøl bru – Spesialenspeksjon. Rapport, 23. April 2014. Efla, 2014.

⁸ Feltundersøkelser. Handbok R211. Statens vegvesen, 2021.

Við klórmælingarnar í steypunni eru notaðar aðferðir sem lýst er í íslenskum staðli⁹, sama hvaða aðferð er notuð við sýnatökuna.

Þegar niðurstöður með þessum tveimur aðferðum úr Svarthól brú eru bornar saman má sjá að niðurstöðurnar eru mjög sambærilegar. Breytileikinn milli þeirra þriggja sýna sem tekin voru á hverjum stað í brúnni er ekki meiri en búast má við. Hér að neðan eru dæmi um niðurstöður.



MYND 1 Niðurstöður úr klórmælingum á Svarthól brú í Noregi.

Það var niðurstaða þessarar rannsóknar að einfalda aðferðin gæfi nægilega áreiðanlegar vísbendingar um hættu á tæringu bendistáls í steypunni.

⁹ ÍST EN 14629:2007. Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of chloride content in hardened concrete.

3 SKIPULAG RANNSÓKNAR

3.1 Markmið

Markmiðið með rannsókninni er að athuga klórmagn í steypu á spenntum brúm. Það er álitíð að meginhætta á tæringu á spenniköplum stafi af upptöku steypunnar á klóri frá umhverfinu. Það á sérstaklega við um brýr sem eru nálægt sjó og einnig þær sem eru saltaðar reglulega til hálkuvarna.

3.2 Val á brúm

Í fyrri hlutum þessarar rannsóknar voru valdar 12 eftirspenntar brýr til að skoða. Meginforsenda fyrir því vali var að taka brýr frá mismunandi tímum með það að markmiði að skoða breytingar á hönnun, spennikerfum, vinnubrögðum við uppspennu og grautun og svo upplýsingasöfnun um þau atriði sem hafa mest áhrif á endingu þeirra. Voru brýr byggðar frá 1980 til 2010 valdar.

Brýrnar sem valdar voru í heildarskoðun:

Brú	Byggingarár	Brúarform	Víðkvæmir byggingarhlutar	Ástand mannvirkis	Möguleg sprungumyndun	Umferð (ÁDU)	Vegur undir brú	Söguleg atriði	Stigafjöldi
Önundarfjörður	1980	Biti, samfelld, samverkandi, uppspanna í langgátt	Kaplar staðsettir nálægt efra yfirborði	Vantar upplýsingar	Pversprungur á bita Skásprungur á endabverbitum vegna skerálags	300	Nei	Nálægð við sjó Sérstætt líffræki við botn Önundarfjarðar	12,6
Héraðsvötn	1981	Bitar, samfelld, samverkandi, uppspanna í langgátt	Margir kaplar saman í fáum rörum	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	1200	Nei	Vantar upplýsingar	17,7
Sanddalsá	1983	Bitar, einfalt undirstutt, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	1300	Nei	Vantar upplýsingar	21,3
Sog við Þrastarlund	1983	Bitar, einfalt undirstutt, samverkandi, þverliggjandi samskeyti, uppspanna í langgátt	Samskeyti milli bita Fáir kaplar	Raki í graut	Vantar upplýsingar	2900	Nei	Vandræði við grautun Vandræði við uppspannu	24,8
Breiðdalsá í Breiðdal	1993	Bitar, samfelld, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	180	Nei	Nálægð við sjó	7,1
Vesturós Héraðsvatna	1994	Bitar, samfelld, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	540	Nei	Nálægð við sjó	7,1
Eyvindará	2001	Gegnheil plata, samfelld, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	1300	Nei	Vantar upplýsingar	4,7
Norðfjarðará	2002	Bitar, einfalt undirstutt, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	480	Nei	Vantar upplýsingar	7,1
Norðurá í Heiðarsporði	2002	Bitar, einfalt undirstutt, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	1300	Nei	Vantar upplýsingar	11,8
Kolgrafarfjörður	2004	Bitar, samfelld, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	470	Nei	Nálægð við sjó	3,9
Laxá í Dölum	2009	Bitar, samfelld, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	610	Nei	Vantar upplýsingar	3,9
Jóka í Skriðdal	2010	Bitar, einfalt undirstutt, samverkandi, uppspanna í langgátt	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	Vantar upplýsingar	170	Nei	Vantar upplýsingar	7,1

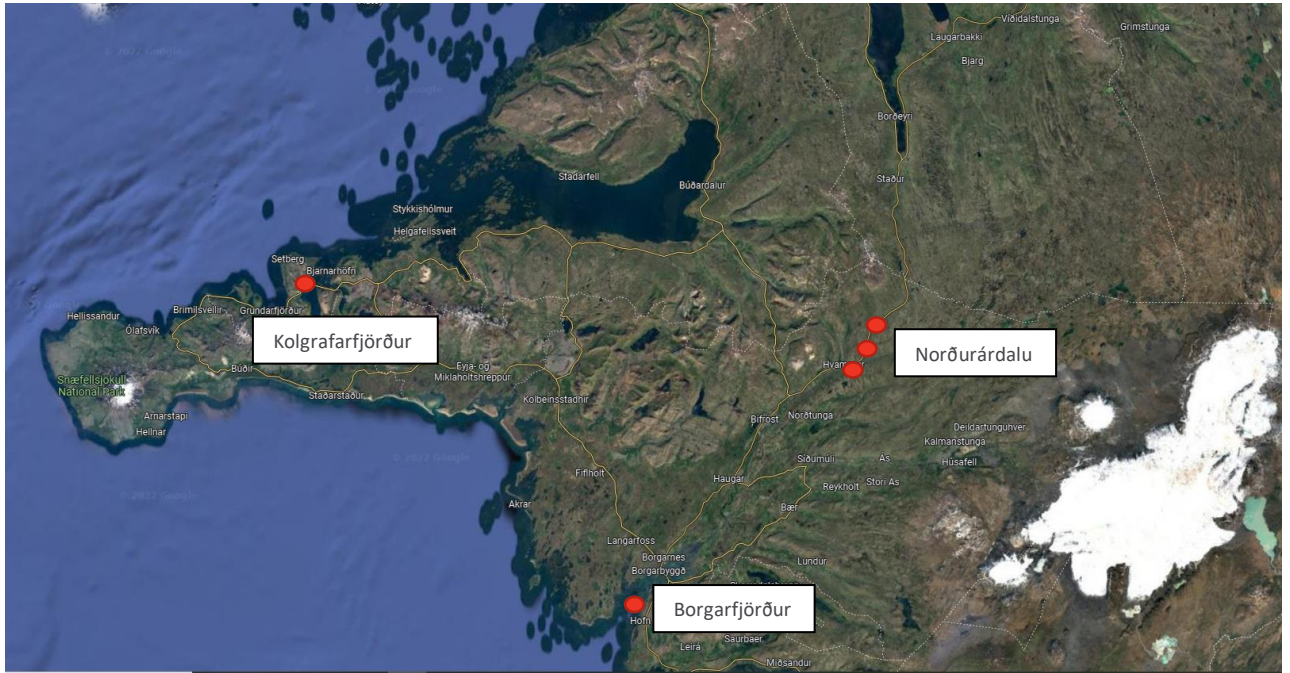
Engin af þessum brúm fellur saman við lista af brúm sem Hönnun/Mannvit skoðaði árið 2005 og mældi klórmagn í brúargólfi. Það var hins vegar talinn kostur að skoða brýr sem hafa verið mældar áður til að fylgjast með breytingum á klórmagni á þeim 17 árum frá því að sú rannsókn var gerð.

Það var talinn kostur að brýrnar væru allar frá sama landsvæði og væru ekki of langt frá höfuðborgarsvæðinu til að minnka kostnað við sýnatöku. Þess vegna var ákveðið að velja brýr á Vesturlandi sem væru vel aðgengilegar.

Ákveðið var að velja brýr þar sem vegur hefur verið saltaður til hálkuvana um árabíl og mæla fyrst og fremst klór í brúargólfi, en einnig skoða líka brýr í eða við sjó og skoða fyrst og fremst klórmagn í brúabítunum.

Til að mæla klór í brúargólfi voru valdar þrjár brýr í Norðurárdal; Sanddalsá, Norðurá hjá Sveinatungu, og Norðurá hjá Fornahvammi. Sanddalsá var valin vagna þess að hún var í upphaflegum lista yfir áhugaverðar brýr frá 1980. Brýrnar yfir Norðurá voru valdar því að klór hafði verið mælt í gólfum þeirra. Allar brýrnar voru byggðar á árunum 1982-3 á Hringveginum á svipuðum slóðum og ættu að vera í svipuðu ástandi. Til að mæla klór í brúarbitum voru valdar tvær brýr sem standa í sjó; brú yfir Borgarfjörð sem var byggð á árunum 1976-1980 og brú yfir Kolgrafarfjörð sem var byggð 2001. Víðtækar steypuskemmdir hafa komið fram á stöplum Borgarfjarðarbrúar og hefur verið steipt kápa utan um alla millistöpla brúarinnar. Einnig hefur brúargólfið verið endurnýjað. Engar mælingar hafa hins vegar verið gerðar á brúarbitunum.

Ákveðið var að taka sýni úr báðum hliðum bita þar sem bitahliðarnar verða fyrir mismunandi áreiti. Ytri hliðarnar verða fyrir miklu saltalagi frá sjógangi og sjávarroki en saltið skolast reglulega af í rigningu, sérstaklega í slagviðri. Innri hliðarnar verða fyrir minna saltalagi þar sem þær eru í skjóli en þar skolast saltið ekki af svo saltárunin er langvarandi. Þessi munur sést mjög greinilega á brúm með stálbitum. Þar endist málning gjarnan mun skemur á innri hlið stálbita en á ytri hlið.



MYND 2 Brýr til skoðunar.

4 SÝNATAKA

4.1 Almennt

Sýnataka úr brúnum í Norðurárdal fór fram 2. Nóvember 2022, 13. desember 2022 úr Kolgrafarfirði en í Borgarfirði ekki fyrr en 10.1.2023.

Brynja Arnardóttir, jarðfræðingur, og Ólafur Davíð Friðriksson, verkfræðingur, sáu um sýnatöku úr brúnum.

Ákveðið var að safna svarfi með borun í stað þess að taka borkjarna úr steypunni. Það er mun ódýrari aðferð til að búa til sýni til mælinga en aðferðin er ekki eins nákvæm og gefur ekki jafnnákvæmar upplýsingar um breytingu á saltmagni með dýpi og hægt er að ná með kjarnaborun. Aðferðin er einnig háð því að veður sé bæði þurr og stillt við sýnatökuna. Olli það með öðru því að sýnatakan dróst fram á vetur.

Við borun í brúargólf var aðstoð fengin frá Vegagerðinni sem kom með skiltabíl til tryggja vinnuöryggi á brúnni á meðan á sýnitöku stóð. Í Norðurárdal kom skiltabíll frá Borgarnesi en í Kolgrafarfirði bíll frá Ólafsvík.

4.2 Söfnun á borsvarfi

Söfnun á borsvarfi var gerð í samræmi við aðferð sem lýst er í handbók norsku Vegagerðarinnar (Statens vegvesen).¹⁰

Áður en borað var í steypuna var svæði án járna fundið með járnaskanna. Steypuhula á almennt að vera 30 mm í bitahliðum en í brúargólfi er reiknað með 30-50 mm steypu slitlagi til viðbótar, en það geta verið áhöld um hversu þykkt það er. Lega þverjárna og langjárna var merkt á yfirborð steypunnar.

Boraðar voru 5 holur með 18 mm bor. Holurnar eru boraðar í hnapp með innan við 100 mm bili þannig að ekki væru stór fylliefnakorn í yfirborði. Staðsetning á holum var almennt nálægt enda á brú, utan

¹⁰ Feltundersøkelser. Handbok R211. Statens vegvesen, 2021.

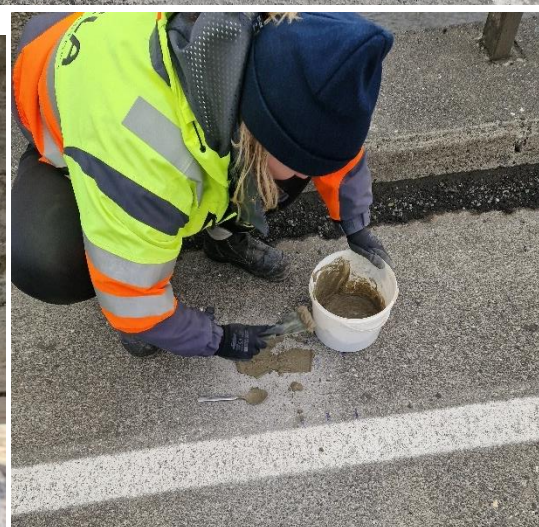
við málaða hliðarlínu en innan við bríkina. Borað var þar sem steypa var heil, ekki þar sem greinilegar skemmdir eða ójöfnur voru í plötunni.

Borað var í þremur áföngum í hverri holu, 10 mm í hverjum, og var svarfi safnað úr öllum 5 holunum eftir hvern áfanga. Svarfi úr holunum var blandað í eitt sýni fyrir hverja dýpt. Áður en borað var áfram í næsta áfanga varholan hreinsuð með því að blása í hana með fingerðu röri þannig að ekkert svarf varð eftir.

Þá var borað í allar holur frá 10 til 20 mm dýpi og svarfi safnað með sama hætti. Aftur var blásið svarf úr holunum. Loks var borað frá 20 til 30 mm dýpi og svarfi safnað.

Aðferðin gefur meðalklórsmagn í hverja 10 mm í steypunni. Þessi aðferð er ekki eins nákvæm og sú aðferð að taka kjarna úr steypunni og fræsa niður. Í þeirri aðferð er hægt að fá klórsmagn á hvern mm í dýpi. Þá var nákvæm mæling á dýpt á borholum í hverjum áfanga ekki gerð. Í Handbók 211 er mælt með því að bora um 20 – 25 mm í hverjum áfanga en varað við því að fara niður fyrir 10 mm. Mælt er með því að hvert sýni vegi um 20 g.

Að sýnatöku lokinni var gert við borgötin með viðgerðarefni.



MYND 3 Sýnataka úr steypu.

4.3 Greining á klór í steypu

Saltmagn í steypu var mælt hjá Kiwa AS í Osló. Þau nota spennutítrun (potensiometric titration) við ákvörðun á klórmagni í samræmi við Evrópustaðal ÍST EN 14629:2007.¹¹ Umreikningur á klórmagni í steypu yfir í klórmagn í sementi miðast við að magn sements í steypu sé 350 kg/m³.

Aðferðin virðist ekki geta mælt meira klór en 0,5% af þyngd steypu. Öll gildi stærri en það eru merkt >0,50 sem gefur >3,4% af þyngd sements.

Niðurstöður úr öllum klórmælingunum er að finna í viðauka A.

4.4 Steypuhula

Steypuhula á járn var mæld með járnaskanna. Notaður var járnaskanni Hilti PS 200 Ferroskan. Hann getur numið staðsetningu járna niður á 100 mm dýpi í steypunni.

Skannað var á svipuðum slóðum og borsýni voru tekin. Í brúardekki er það í hægra ytra hjólfari þar sem reikna má með að hula á járn sé minnst vegna slits á yfirborðinu. Í bitahlið var skannað neðan til á bitanum.

Í brúardekki eru ystu járnin í þverstefnu brúar og í bitahliðum eru lóðréttu járnin yst. Alltaf er skannað þvert á stefnu ystu járna, þ.e. í langátt brúar. Reynt var að skanna um 3 m lengd í brúargólfi en 1-2 m lengd eða eins og mögulegt var undir brú þar sem aðgengi er takmarkað.



MYND 4 Steypuhula á járn mælt með járnaskanna.

¹¹ ÍST EN 14629:2007. Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Determination of chloride content in hardened concrete.

5 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

5.1 Yfirlit yfir sýnatöku

TAFLA 1 Yfirlit yfir sýnatöku.

BRÚ	GÓLF		YTRI BITAHLIÐ		INNRI BITAHLIÐ	
	Bora	Járnaskann	Bora	Járnaskann	Bora	Járnaskann
Borgarfjörður			X	X	X	X
Kolgrafarfjörður	2	2	X	X	X	X
Sanddalsá	X	X				
Norðurá hjá Sveinatungu	X	X	X	X	X	X
Norðurá Fornahvammi	X	X				

Ytri bitahlið er bitahlið sem snýr út á opið haf. Í Norðurárdal er það bitahliðin sem snýr í suður/suðaustur.

Innri bitahlið er innri bitahliðin á sama bita og sýni var tekið úr á ytri hlið.

Í **Kolgrafarfirði** voru tekin 2 sýni úr gólfinu; eitt á venjulegum stað við bríkina en hitt í viðgerðarefni sem notað hefur verið yfir loftunarrörin yfir ásetum millistöpla. Koma fram sem ljósgráir flekkir í brúardekkinu.

5.2 Brú á Borgarfjörð

Brú á Borgarfjörð var byggð árin 1975 til 1980. Yfirbygging brúarinnar er úr forsteyptum bitum, 40 m löngum, með staðsteyptri plötu. Eru fjórir bitar í þversniði brúar, en brúarhöfin eru 13 talsins. Bitarnir voru eftirspennfir. Þeir voru steyptir í skemmu á Seleyri og fluttir út á sinn stað með sérþúnu ökutæki og pramma.

Steypan í bitana var framleidd í sérstakri steypustöð á staðnum. Steypuefnið kom frá Stafholtsey og úr Hafnarmelum. Þar sem bitarnir eru 52 talsins voru þeir steptir yfir alllangt tímabil, þeir síðustu árið 1979.

TAFLA 2 Upplýsingar um steypu í brúarbita á Borgarfjörð.

Steypa í bita	Engar upplýsingar
Steypuflokkur	
Sementsmagn	
Steypuefni	
Steypumagn	
Steypustyrkur, mældur 28 d	
Steypustyrkur, mældur 17 d	
Vatnsþéttleiki við 8 kg/cm ²	

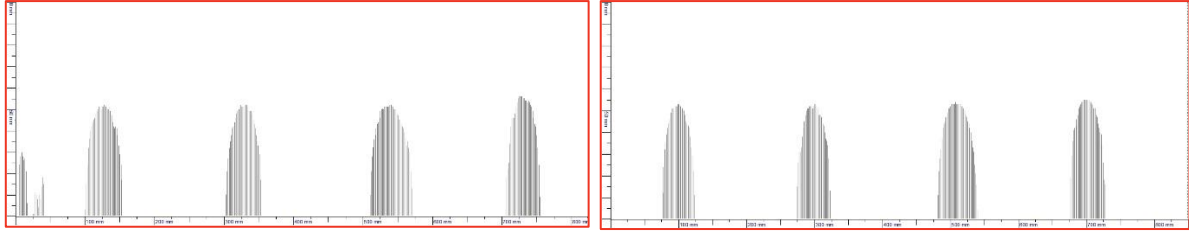
Sýni voru tekin úr brúarenda að norðan einungis úr bitahliðum ysta bita sem snýr á haf út, bæði að utan og innan. Sýnataka fór fram 10. janúar 2023. Sýni voru tekin neðan til úr þykkingu við bitaenda. Steypuhula var mæld á sama svæði.



MYND 5 Brú á Borgarfjörð.



MYND 6 Sýni tekin úr norðurenda Borgarfjarðarbrúar.



MYND 7 Steypuhula mæld, ytri hlið til vinstri, innri hlið til hægri.

Eins og við er að búast er steypuhula mjög jöfn 45 mm og millibil milli járna jafnt eða 200 mm.

TAFLA 3 Niðurstöður klórmælinga í bitahliðum Borgarfjarðarbrúar.

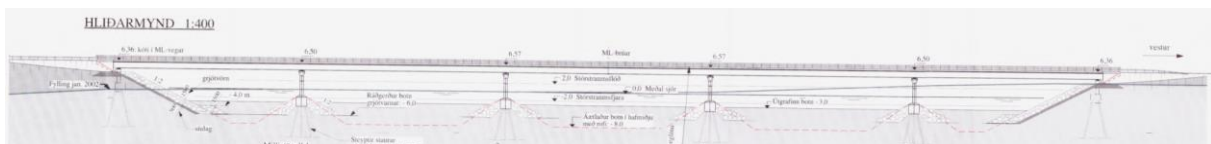
Staðsetning	Dýpi, [mm]	Klór sem % af steypu	Klór sem % af sementi
Ytri bitahlið	0 - 10	0,50	3,4
	10 - 20	0,21	1,4
	20 - 30	0,06	0,4
Innri bitahlið	0 - 10	> 0,50	> 3,4
	10 - 20	> 0,50	> 3,4
	20 - 30	0,39	2,7

Niðurstöðurnar sýna að klórmagn er mikið í burðarbitum Borgarfjarðarbrúar. Þá vekur einnig athygli að það mælist meira klór á innanverðum bita en á þeirri hlið sem snýr út á haf.

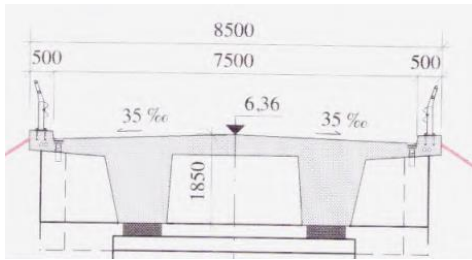
Nauðsynlegt er að gera frekari mælingar á klór í bitunum; í fyrsta lagi til að staðfesta niðurstöðurnar sem hér fengust, í öðru lagi að bora dýpra til að mæla klór við járnagrindina í bitunum og í þriðja lagi til að skoða útbreiðslu vandans.

5.3 Brú á Kolgrafarfjörð

Brú yfir Kolgrafarfjörð var byggð árið 2004 og er 230 m löng í fimm höfum ($2 \times 43 + 3 \times 48 = 230$ m). Brúin er eftirspennt bitabrá og var byggð í tveimur hlutum, fyrri hlutinn (~67%) var steypur 7. desember 2003 og spenntur tíu dögum seinna. Seinni hlutinn var steypur 15. febrúar 2004 og spenntur tíu dögum síðar. Áfangarnir eru spenntir saman. Verktakafyrirtækin Háfell og Eykt reistu brúna.



MYND 8 Brú yfir kolgrafarfjörð, hliðarmynd.



MYND 9 Þversnið í brú við enda.

TAFLA 4 Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu.

Steypa í yfirbyggingu	
Steypuflokkur	C35
Sementsmagn	400 kg/m ³
Steypuefni	Engar frekari upplýsingar
Steypumagn	
Steypustyrkur, mældur 28 d	
Steypustyrkur, mældur 17 d	
Vatnspéttleiki við 8 kg/cm ²	

Sýnataka úr brúnni fór fram 13. desember 2022. Tekin voru sýni úr bitahliðum, bæði að utan (norðan) og inn á milli bita. Tekin voru líka sýni úr brúargólfi við vesturendann út við norðurkantinn og úr ljósleitri steypu yfir ásetum fyrsta millistöpsuls að vestan. Ljósleita steypa er úr viðgerðarefni sem notað var til að fylla í úrtak fyrir útloftunarrör frá skenniköplum. Skönnuð voru lóðrétt járn í bitahlið og járn í brúargólfi í vesturenda.

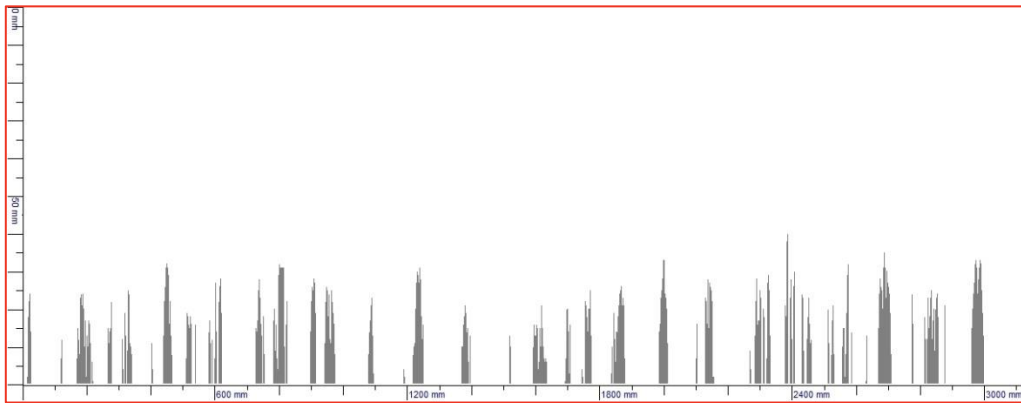


MYND 10 Brú yfir Kolgrafarfjörð.

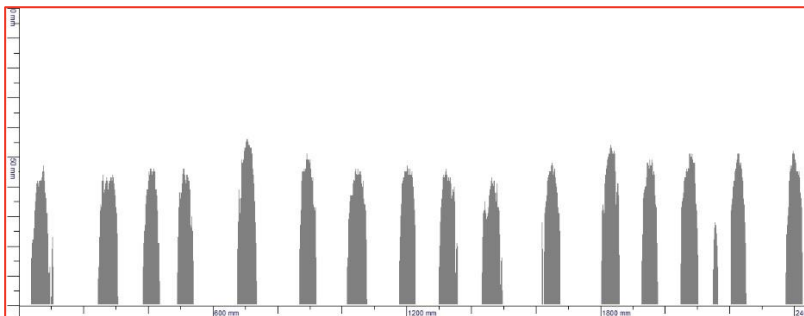


MYND 11 Vestari endi brúar þar sem borað var í bitahliðar. Einnig var borað í ljósu flekkina yfir vestasta millistöpli.

Burðarjárn í þverátt voru skönnuð. Járnalögnin er K16 c150. Þekjulag á járn var skilgreint 50 mm alls staðar, líka í akbraut.

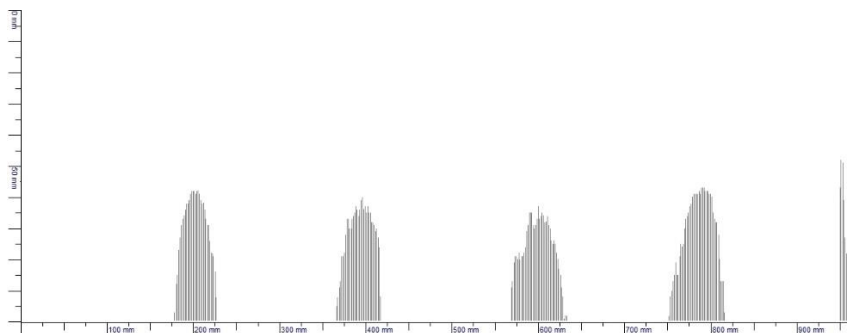


MYND 12 Þverjárn í brúardekki skönnuð í hjólfari.



Mynd 13 Þverjárn í brúardekki skönnuð yfir millistöpli.

Mæld þykkt á steypuhulu í brúargólfi við enda brúar er 60-70 mm. Myndin sýnir að angar af bitalykkjunum sem eru K12 c150 lenda í skönnuðu línunni. Þannig verða 14 járn á hverja 1,2 m af línunni. Seinni myndin sýnir steypuhulu og járn í sniði yfir millistöpli þar sem lykkjurnar eru ekki að trufla mælinguna. Fjöldi járna er hér skv. teikningu. Hér er steypuhulan 45-55 mm og um helmingur járna er innan við 50 mm frá yfirborði. Slit á brúargólfi í hjólförum var ekki mælt.



MYND 14 Lykkjur í bitahlið.

Steypuhula á járn í ytri bitahlið reyndist um 55 mm og það eru 200 mm milli járna eins og tilskilið er.

TAFLA 5 Mæling á klór í steypu, Kolgrafarfjörður.

Staðsetning	Dýpi, [mm]	Klór sem % af steypu	Klór sem % af sementi
Ytri bitahlið	0 – 10	> 0,50	> 3,4
	10 – 20	> 0,50	> 3,4
	20 - 30	0,21	1,4
Innri bitahlið	0 – 10	< 0,01	< 0,07
	10 – 20	> 0,50	> 3,4
	20 - 30	0,18	1,2
Brúargólf við enda	0 – 10	> 0,50	> 3,4
	10 – 20	> 0,50	> 3,4
	20 - 30	0,24	1,6
Brúargólf yfir stöpli	0 – 10	> 0,50	> 3,4
	10 – 20	> 0,50	> 3,4
	20 - 30	> 0,50	> 3,4

Það er mikið klór í ystu 30 mm af steypunni í brúnni yfir Kolgrafarfjörð. Það á bæði við um brúargólfið og bitahliðarnar. Í 30 mm dýpi er mjög líklegt að bendistál tærast miðað við gildin sem mældust. Sérstaka athygli vekja há gildi fyrir viðgerðarefnið sem notað var í að fylla í úrtökin yfir millistöplunum. Þar eru kaplarnir í brúnni nálægt yfirborði brúargólfsins og þar er því mest hætt á tæringu á köplum.

Eins og sést í töflunni og á línuritinu þá er líklega eitthvað bogið við mælingu á einu sýni úr innri bitahlið. Klórmælingin er ekki marktæk fyrir gildi yfir 0,5 þannig að þar er mæligildið sett í það hámark.

Niðurstöðurnar sýna að full ástæða er til að endurtaka mælingar á klór og þá í meira dýpi í steypunni en gert var. Með því móti er hægt að áætla hvenær krítisku klórmagni er náð við bendistálið í yfirbyggingunni.



MYND 15 Kolgrafarfjörður, niðurstöður mælinga á klór í steypu.

5.4 Sanddalsá

Brúin á Sanddalsá í Norðurárdal er 24 m löng bitabrá á Hringvegi (1), byggð árið 1983 af brúarvinnuflokki Vegagerðarinnar.

Yfirbygging brúarinnar var steypd 28.6.1983 með steypu frá steypustöð Loftorku í Borgarnesi. Helstu eiginleikar steypunnar voru samkvæmt steypuskýrslu:

TAFLA 6 Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu.

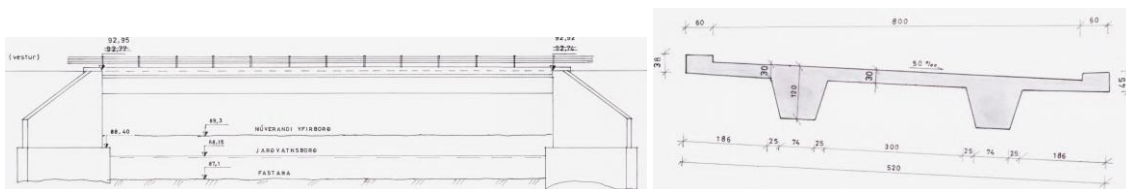
Steypa í yfirbyggingu	
Steypuflokkur	S-350 eða C25-C30
Sementsmagn	375 kg/m ³
Steypuefni	Stafholtsey og Hafnarmelar
Steypumagn	120 m ³
Steypustyrkur, mældur 28 d	42,4 MPa
Steypustyrkur, mældur 17 d	28,7 MPa
Vatnsþéttleiki við 8 kg/cm ²	5 mm



MYND 16 Brú á Sanddalsá í Norðurárdal.



MYND 17 Brúargólf brúar yfir Sanddalsá.



MYND 18 Hliðarmynd og þversnið af brú á Sanddalsá.

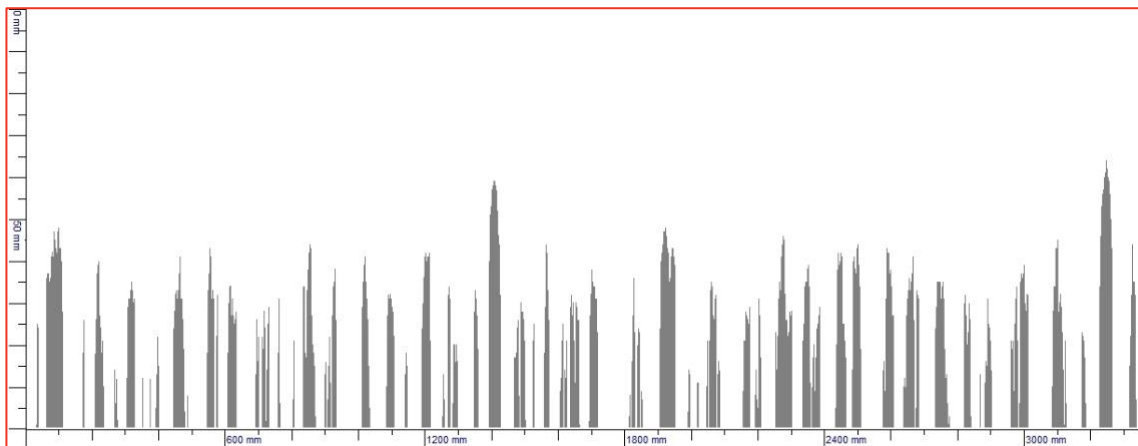
Yfirbygging brúarinnar lítur almennt vel út og eru engar áberandi skemmdir í brúnni.

Brúin á Sanddalsá var mæld 2.11.2022. Tekin voru sýni úr steypunni í brúargólfinu og burðarjárn í þverátt brúar skönnuð með járnaskanna í hjólfari að vestan þar sem sýnin voru tekin.



MYND 19 Sanddalsá, járnaskann og sýnataka úr steypu.

Burðarjárn í þverátt voru skönnuð á rúmlega 3 m kafla í hjólfari. Þverjárnalögnin er K16 c250 og K12 c500, alls 6 járn á metrann. Steypuhula á járn í efri brún plötu er 30 mm og bætt var við 40 mm slitlagi úr steypu. Heildarþykktin átti því að vera 70 mm. Þversniðið allt var stept í einu lagi.



MYND 20 Sanddalsá, burðarjárn í þverátt brúargólfs skönnuð.

Eins og sést á myndinni er steypuhula á járn yfirleitt um og yfir 50 mm, en á tvö af járnunum er það aðeins um 40 mm á þessum þremur metrum. Ekki var lagt mat á slit á brúargólfi við mælinguna.

Aðeins tókst að ná einu sýni til mælinga á klór úr brúargólfi Sanddalsár á 0-10 mm dýpi í steypunni. Önnur sýni misfórast. Ekki voru tekin sýni úr bitahliðum. Niðurstöðurnar eru því ekki mjög áhugaverðar en klórmagn sem hlutfall af steypuþyngd reyndist 0,35% eða 2,4% af sementsþyngd.

Niðurstöðurnar eru sambærilegar við klórmælingarnar í brúnni við Fornahvamm. Þær benda til þess að ástæða sé til að fylgjast grannt með klórmagni í brúargólfinu.

5.5 Norðurá hjá Sveinatungu

Brúin á Norðurá hjá Sveinatungu er 27 m löng bitabrá á Hringvegi (1), byggð árið 1982 af brúarvinnuflokki Vegagerðarinnar.

Yfirbygging brúarinnar var steyp 21.7.1982 með steypu frá steypustöð Loftorku í Borgarnesi. Helstu eiginleikar steypunnar voru samkvæmt steypuskýrslu:

TAFLA 7 Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu.

Steypa í yfirbyggingu	
Steypuflokkur	S-350 eða C25-C30
Sementsmagn	375 kg/m ³
Steypuefni	Hafnarmöl (ekki víst)
Steypumagn	m ³
Steypustyrkur, mældur 28 d	37,5 MPa
Steypustyrkur, mældur 14 d	33,5 MPa
Fjaðurstuðull 28 daga	3,55 x 10 ⁵

Nokkrar steypuskemmdir eru í brúnni. Bríkin að austan er með útfellingum og greinilegt að vatn kemst í gegnum bríkina. Þá er skemmd í brúargólfinu í suðurendanum, sjá mynd. Hefur tjöru verið slett í hluta af skemmdunum.



MYND 21 Norðurá hjá Sveinatungu.

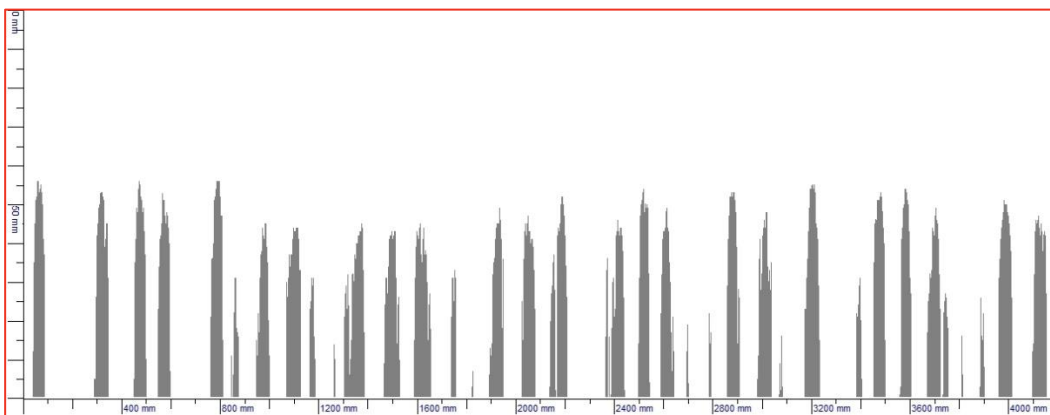


MYND 22 Vestari stöpull, hægt að standa við borun. Skemmdir í gólfi.

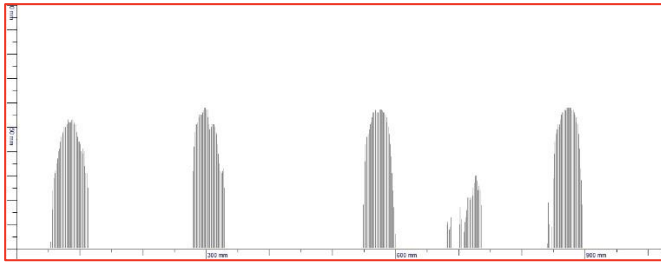
Brúin á Norðurá var mæld 2.11.2022. Tekin voru sýni úr steypunni í brúargólfinu og í bitahliðum í vesturenda. Burðarjárn í þverátt brúar voru skönnuð með járnaskanna í hjólfari að vestan þar sem sýnin voru tekin. Einnig var bitahlið skönnuð þar sem steypusýni voru tekin.

Burðarjárn í þverátt voru skönnuð á 4 m kafla í hjólfari. Þverjárnalögnin er K16 c250 og K12 c500, alls 6 járn á metrann. Þekjulag á járn í efri brún plötu er 30 mm og bætt var við 40 mm slitlagi úr steypu. Heildarþykktin átti því að vera 70 mm. Þversniðið allt var steipt í einu lagi.

Í bitahliðum eru lykkjur K12 c250. Þekjulag í bitum á að vera 30 mm.



MYND 23 Norðurá hjá Sveinatungu, burðarjárn í þverátt brúargólfs skönnuð.



MYND 24 Norðurá hjá Sveinatungu, burðarjárn í bitahlið skönnuð.

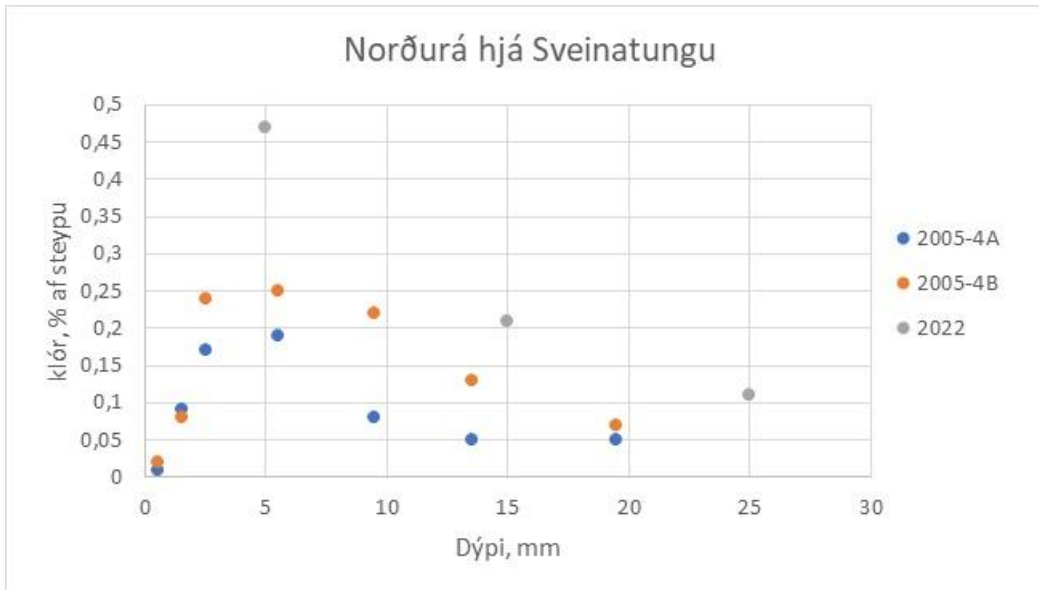
Samkvæmt mælingunni er hula á járn í brúargólfi um 45 mm en um 40 mm í bitahliðinni sem mæld var. Fjöldi járna í sniðunum er eins og sýnt er á teikningum.

TAFLA 8 Norðurá hjá Sveinatungu, mæling á klórmagni í steypu.

Staðsetning	Dýpi, [mm]	Klór sem % af steypu	Klór sem % af sementi
Ytri bitahlið	0 – 10	0,04	0,3
	10 – 20	0,03	0,2
	20 - 30	0,02	0,1
Innri bitahlið	0 – 10	0,04	0,3
	10 – 20	0,03	0,2
	20 - 30	0,02	0,1
Brúargólf við enda	0 – 10	0,47	3,2
	10 – 20	0,21	1,4
	20 - 30	0,11	0,7

Mælingarnar sýna að mjög lítið er af klór í brúarbitunum. Hins vegar er vaxandi klór í brúargólfinu. Þar sést að klór hefur náð krítísku gildi á 20-30 mm dýpi fyrir tæringu á bendistáli. Þá hefur klór tvöfaldast á efstu 20 mm í steypunni frá árinu 2005. Hann nær einnig lengra inn í steypuna en þá mældist.

Þar sem steypuhula var mæld um 45 mm í brúargólfinu virðist ekki langt í að klór nái í hættulegu magni að bendistálinu í gólfinu. Er nauðsynlegt að fylgjast náið með klórflæði í gólfinu á næstu árum. Ekki er ástæða til að óttast um spennikaplana í brúnni þar sem þeir eru á miklu meira dýpi í steypunni eða í 250-300 mm frá yfirborði þar sem styst er.



MYND 25 Samanburður á klórmælingu Hönnunar/Mannvits frá 2005 og mælingum Eflu 2022.

5.6 Norðurá hjá Fornahvammi

Brúin á Norðurá hjá Fornahvammi var byggð árið 1983 af brúarvinnuflokki Vegagerðarinnar. Hún er 21 m löng bitabré með sama sniði og brýrnar á Sanddalsá og Norðurá hjá Sveinatungu.

Yfirbygging brúarinnar var steyp 18.9.1982 með steypu frá steypustöð Loftorku í Borgarnesi. Helstu eiginleikar steypunnar voru samkvæmt steypuskýrslu:

TAFLA 9 Upplýsingar um steypu í yfirbyggingu.

Steypa í yfirbyggingu	
Steypuflokkur	S-350 eða C25- C30
Sementsmagn	375 kg/m ³
Steypuefni	Stafholtsey
Steypumagn	115 m ³
Steypustyrkur, mældur 28 d	45,2 MPa
Steypustyrkur, mældur 14 d	22,7 MPa
Vatnspéttleiki við 8 kg/cm ²	Ekki mælt

Nokkrar steypuskemmdir eru í brúnni. Brikur báðum megin eru með útfellingum og greinilegt að vatn kemst í gegnum brikur. Allmiklar útfellingar eru líka í vængjum stöpla.



MYND 26 Norðurá hjá Fornahvammi, séð ofanstraums að vestan.



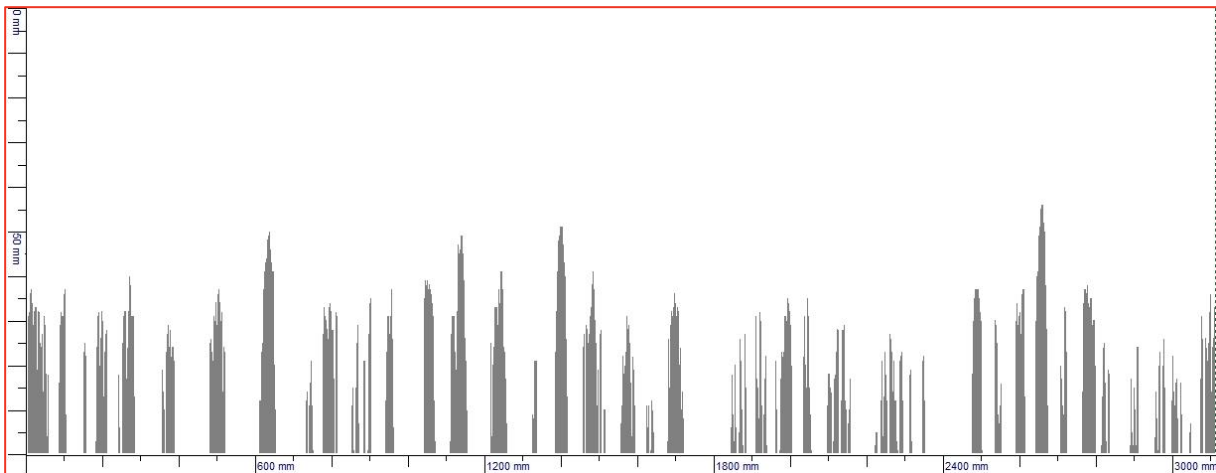
MYND 27 Norðurá hjá Fornahvammi, séð neðanstraums að austan.



MYND 28 Norðurá hjá Fornahvammi, horft upp eftir dalnum til norðurs/austurs.

Brúin á Norðurá hjá Fornahvammi var mæld 2.11.2022. Tekin voru sýni úr steypunni í brúargólfinu en ekki þótti ástæða til að taka sýni úr bitahliðum, enda erfitt um aðkomu. Burðarjárn í þverátt brúar voru skönnuð með járnaskanna í hjólfari að vestan þar sem sýnin voru tekin.

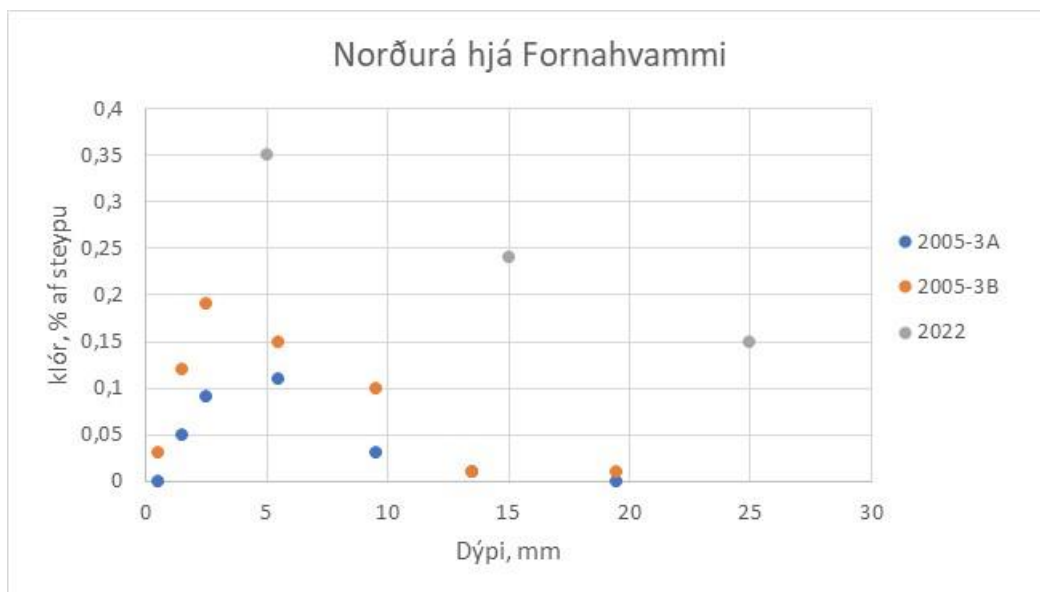
Burðarjárn í þverátt voru skönnuð á rúmlega 3 m kafla í hjólfari. Þverjárnalögnin er K16 c250 og K12 c500, alls 6 járn á metrann. Þekjulag á járn í efri brún plötu er 30 mm og bætt var við 40 mm slitlagi úr steypu. Heildarþykktin átti því að vera 70 mm. Þversniðið allt var steipt í einu lagi.



Steypuhula á þverjárnin í brúarplötunni er á milli 50 og 60 mm en eitt járn hefur aðeins 40 mm steypuhulu.

TAFLA 10 Norðurá hjá Fornahvammi, mæling á klórmagni í steypu.

Staðsetning	Dýpi, [mm]	Klór sem % af steypu	Klór sem % af sementi
Brúargólf við enda	0 – 10	0,35	2,4
	10 – 20	0,24	1,6
	20 - 30	0,15	1,0



MYND 29 Samanburður á klórmælingu Hönnunar/Mannvits frá 2005 og mælingum Eflu 2022.

Mælingarnar sýna mikið klórmagn í brúargólfinu. Það er þó minna í yfirborði en á brúnni við Sveinatungu en er meira þegar neðar dregur í steypuna. Ekki er ljóst hvað veldur þessum mun. Það sést að klór hefur náð krítisku gildi á 20-30 mm dýpi fyrir tæringu á bendistáli. Þá hefur klór meira en tvöfaldast á efstu 20 mm í steypunni frá árinu 2005. Hann nær einnig lengra inn í steypuna en þá mældist.

Þar sem steypuhula var mæld um 50-60 mm í brúargólfinu virðist ekki langt í að klór nái í hættulegu magni að bendistálinu í gólfinu. Er nauðsynlegt að fylgjast náið með klórflæði í gólfinu á næstu árum. Nauðsynlegt er að bora dýpra í steypuna til að sjá hversu djúpt klórflæðið nær. Ekki er ástæða til að óttast um spennikaplana í brúnni þar sem þeir eru á miklu meira dýpi í steypunni.




6 NÆSTU SKREF

Í ljósi niðurstaðna úr þessum hluta rannsóknarverkefnisins er ljóst að auka þarf mælingar á klórflæði inn í steypu í brúm á landinu. Fyrir þær brýr sem mældar voru í þessari rannsókn þá þarf að mæla klórflæðið dýpra eða í 50 – 60 mm. Einnig virðist verulegur breytileiki í niðurstöðum innan mannvirkis þannig að betra er að taka fleiri sýni úr hverri brú.

Brýr í sjó virðast koma sérlega illa út. Er full ástæða til að taka allar slíkar hringinn í kringum landið og mæla klór og skanna steypuhulu á járn. Þessar mælingar er best að gera með einfaldri sýnatöku eins og beitt var í þessu verkefni. Komi eitthvað óvænt í ljós má bæta sýnatökuna með því að taka kjarna úr völdum brúm og fá þannig nákvæmari dreifingu á klórinu.

Loks er ástæða til að rannsaka þau viðmið sem gjarnan er gripið til þegar hætta á tæringu bendistáls sé metin. Þessi mörk eru nokkuð á reiki í fræðunum. Og það er ekki öruggt að sömu viðmið gildi hér á landi og erlendis.

VIÐAUKI A NIÐURSTÖÐUR KLÓRMÆLINGA

Oppdragsgiver Client  RÅDGIVENDE INGENIØRER Lynghåls 4 110 Reykavik		Utførende enhet/lab. Department/laboratory responsible Kiwa AS PB 141 Økern 0580 OSLO	
Rapportnr. Report no. WO000004250			
Tittel Title Determination of chloride content in hardened concrete according to standard NS-EN 14629. Rapid Chloride Determination.			
Dato Date 02.02.2023	Utarbeidet av Prepared by Petter Dyrnes  Test Ing.	Godkjent av Approved by Gry Eian  Dep. Manager	Innleveringsdato for prøve Date of receipt of test object Jan.2023 Prøvetaking utført av Kiwa Sampling by Kiwa -
Revisjonsnr. Revision no. -	Konfig.kont. Config.contr.	Antall sider No. of pages 4	Ant. vedlegg No. of append.
Kopi nr. Copy no.	Akkreditert test (ISO 17025) Accredited test (ISO 17025)	Kundens ref. Client's ref. BRYNJA ARNARDÓTTIR	Bestillingsnr. Order no. Mail 06.12.2022
Fordeling Distribution PDF to client			

Prøveresultater gjelder utelukkende de prøvede objekter. Utdrag av rapporten må ikke gjengis uten skriftlig godkjenning fra Kiwa as.

Test results relate only to the items tested. The report shall not be reproduced except in full, without the written approval of the laboratory.

1. Summary

2. Kiwa As, Inspection East received 31 samples of concrete dust as shown in fig. 1 and 2. Kiwa as was given the task of determine the chloride content in the concrete dust. The results are listed in Table 1.

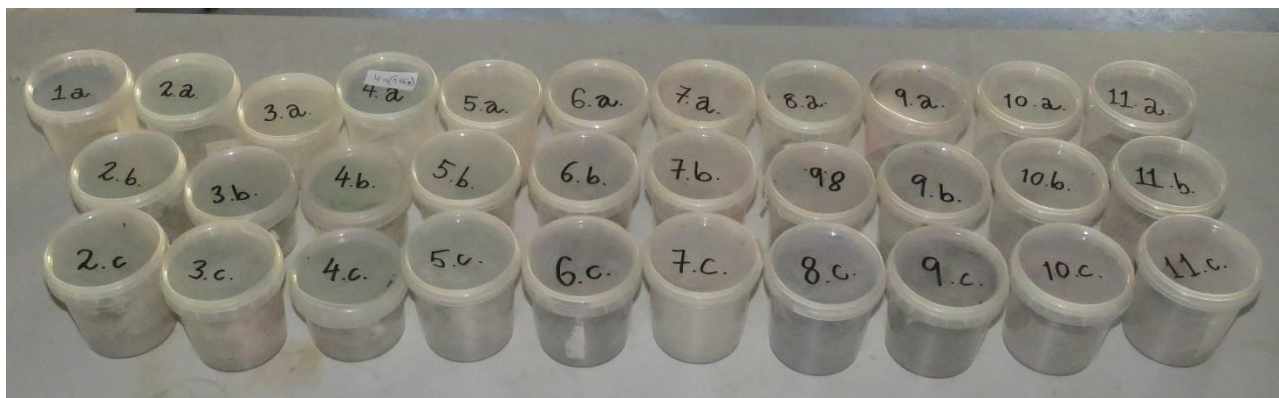


Fig. 1. Received samples of dust.

2. Method of analysis

Determination of chloride content in hardened concrete according to standard NS-EN 14629. Rapid Chloride Determination.

3. Results

2. The results of the analysis are listed in table 1 and critical limit values are listed in table 2 below.

Table 1.

Sample no	Sample marked	Depth [mm]	[mV]	Chloride content in % weight of concrete	Chloride content in % of estimated weight of cement	Chloride content in reference dust in % of weight of concrete	[mV]
1	1a	0 - 10	90	0.35	2.4	0.000	17
2	2a	0 - 10	52	0.04	0.3	0.025	42
3	2b	10 - 20	43	0.03	0.2	0.050	55
4	2c	20 - 30	36	0.02	0.1	0.100	64
5	3a	0 - 10	50	0.04	0.3	0.200	79
6	3b	10 - 20	43	0.03	0.2	0.500	96
7	3c	20 - 30	38	0.02	0.1		
8	4a	0 - 10	95	0.47	3.2		
9	4b	10 - 20	80	0.21	1.4		
10	4c	20 - 30	68	0.11	0.7		
11	5a	0 - 10	90	0.35	2.4		
12	5b	10 - 20	83	0.24	1.6		
13	5c	20 - 30	74	0.15	1.0		
14	6a	0 - 10	118	>0.500	>3.4		
15	6b	10 - 20	102	>0.500	>3.4		
16	6c	20 - 30	83	0.24	1.6		
17	7a	0 - 10	119	>0.500	>3.4		
18	7b	10 - 20	122	>0.500	>3.4		
19	7c	20 - 30	128	>0.500	>3.4		
20	8a	0 - 10	28	<0.010	<0.07		
21	8b	10 - 20	101	>0.500	>3.4		
22	8c	20 - 30	78	0.18	1.2		
23	9a	0 - 10	112	>0.500	>3.4		
24	9b	10 - 20	100	>0.500	>3.4		
25	9c	20 - 30	80	0.21	1.4		
26	10a	0 - 10	110	>0.500	>3.4		
27	10b	10 - 20	104	>0.500	>3.4		
28	10c	20 - 30	92	0.39	2.7		
29	11a	0 - 10	96	0.50	3.4		
30	11b	0 - 20	81	0.21	1.4		
31	11c	20 - 30	63	0.06	0.4		

Calculation of chloride content in % of estimated cement weight is based on the assumption of 350 kg of cement per 2400 kg of concrete.

Table 2. Indicative critical limit values for chloride content according to Byggforsk recommendation 520.034. Chloride content in concrete. Sampling and analysis methods.

Chloride content in % of estimated weight of cement	Probability of corrosion
Below 0.4	Negligible
0.4 – 1.0	Possible
1.0 – 2.0	Very likely
Above 2.0	Certain



DATE	PROJECT NUMBER
19.01.2023	2970-160
SENDER	RECEIVER
Brynja Arnardóttir	Petter Dyrnes (Kiwa AS)

A total of 31 concrete dust samples to be tested for chloride content. Samples taken from five different bridges in Iceland.

TABLE 1 Sample log.

NUMBER OF SAMPLES	SAMPLE ID	BRIDGE INFO
1	1.a.	Sanddalsá 0-1 cm
2	2.a.	Norðurá Sveinatunga I-biti 0-1 cm
3	2.b.	Norðurá Sveinatunga I-biti 1-2 cm
4	2.c.	Norðurá Sveinatunga I-biti 2-3 cm
5	3.a.	Norðurá Sveinatunga Y-biti 0-1 cm
6	3.b.	Norðurá Sveinatunga Y-biti 1-2 cm
7	3.c.	Norðurá Sveinatunga Y-biti 2-3 cm
8	4.a.	Norðurá Sveinatunga 0-1 cm
9	4.b.	Norðurá Sveinatunga 1-2 cm
10	4.c.	Norðurá Sveinatunga 2-3 cm
11	5.a.	Norðurá Fornihvammur 0-1 cm
12	5.b.	Norðurá Fornihvammur 1-2 cm
13	5.c.	Norðurá Fornihvammur 2-3 cm
14	6.a.	Kolgrafarfjörður Brúarendi 0-1 cm
15	6.b.	Kolgrafarfjörður Brúarendi 1-2 cm
16	6.c.	Kolgrafarfjörður Brúarendi 2-3 cm
17	7.a.	Kolgrafarfjörður Miðja vStöpull 0-1 cm
18	7.b.	Kolgrafarfjörður Miðja vStöpull 1-2 cm
19	7.c.	Kolgrafarfjörður Miðja vStöpull 2-3 cm
20	8.a.	Kolgrafarfjörður I-biti 0-1 cm
21	8.b.	Kolgrafarfjörður I-biti 1-2 cm
22	8.c.	Kolgrafarfjörður I-biti 2-3 cm
23	9.a.	Kolgrafarfjörður Y-biti 0-1 cm
24	9.b.	Kolgrafarfjörður Y-biti 1-2 cm
25	9.c.	Kolgrafarfjörður Y-biti 2-3 cm
26	10.a.	Borgarfjarðarbrú I-biti 0-1 cm
27	10.b.	Borgarfjarðarbrú I-biti 1-2 cm
28	10.c.	Borgarfjarðarbrú I-biti 2-3 cm
29	11.a.	Borgarfjarðarbrú Y-biti 0-1 cm
30	11.b.	Borgarfjarðarbrú Y-biti 1-2 cm
31	11.c.	Borgarfjarðarbrú Y-biti 2-3 cm

Fig. 2. List of samples received from EFLA.

Tom side

