

## Eftirspennt Brúargólf

### Klóríðinnihald í nokkrum steypum brúargólfum



Útg.	Dags.	Höf.	Rýnir	Samþykkur	Lýsing
3	11/01 2006	GG		EH	Lokaskýrsla II
2	21/12 2005	GG	SvSv		Lokaskýrsla I
1	15/12 2005	GG			Uppkast 1



<b>Skýrsla nr:</b> HN 2005-090	<b>Útgáfudags.: (mán/ár)</b> 1-2006	<b>Dreifing:</b> Opin x Lokuð
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b> <b>EFTIRSPENNT BRÚARGÓLF</b> <b>Klóríðinnihald í nokkrum steypnum brúargólfum</b>		<b>Upplag: 10</b>
		<b>Fjöldi síðna: 29</b>
<b>Höfundur/ar:</b> Dr. Gísli Guðmundsson		<b>Verkefnisstjóri: Gísli Guðmundsson</b>
		<b>Verknúmer: 7-009-255</b>
<b>Útdráttur:</b> <p>Klórprófilar voru gerðir úr borkjómum úr eftirfarandi brúargólfum: Blöndubrú, Laxá í Refasveit, Norður á við Fornahvamm, Norðurá við Sveinatungu, Norðurá hjá Haugum og Borgarfjarðarbrú. Öll mannvirkin eru eftirspennt. Klórmagnið var misjafnt í steypunum, mest þar sem mest notkun er á salti til afisingar. Mest klór mældist í Borgarfjarðarbrú og sker hún sig nokkuð úr. Auk þess sem að tiltölulega mikið klór hefur gegnið inn í steypuna er klórmagnið í yfirborði búrarinna nokkuð hátt.</p> <p>Brýrnar á Norðurá, við Sveinatungu og Fornahvamm eru álika gamlar og eru við svipaðar veðurfararslegar aðstæður. Steypublandan er einnig væntanlega mjög svipuð í brúnum. Þrátt fyrir það er nokkur munur á klórmagni í steypunni. Klórmagnið er töluvert meira í brúnni á Sveinatungu, mun meira en aldursmunurinn getur skýrt út. Ekki er ljóst hvort borið er meira salt að meðaltali á brúna við Sveinatungu, en brúna við Fornahvamm.</p> <p>Blöndubrú er elsta mannvirkið, 42 ára gömul, þrátt fyrir það er ekki sérlega mikið klór í steypunni. Þótt tiltölulega lítið klór sé í Blöndubrú, er klórprófillinn nokkuð flatur, sem veldur því að klórmagnið á nokkru dýpi er hlutfallslega hátt í steypunni. Þjónustustigið á Blöndubrú var aukið fyrir um 4 til 5 árum síðan, þá jókst saltnotkunin verulega.</p> <p>Steypan í brúnum yfir Laxá í Refasveit og Norðurá hjá Haugum er á svipuðum aldri og er að mörgu leiti við svipaðar aðstæður, þ.e. á vegum með tiltölulega lítilli umferð. Væntanlega er saltað minnst á þessum brúm, af þeim 6 brúm sem skoðaðar voru í þessi verkefni. Klórmagnið í þessum brúm er mjög svipað.</p> <p>Þótt styrkur klóríðs sé við og yfir hættumörkum m.t.t. tæringarhættu í efstu 10 til 30 mm í hverju mannvirki sem skoðað var, þá er tiltölulega lítil hættu á tæringu í spenniköplunum vegna þess að spennikaplarnir liggja mun dýpra í steypunni. Í Borgarfjarðarbrú, þar sem klóríðstyrkurinn er lang hæstur, benda módel reikingar til þess að á um 40 mm dýpi sé klóríðið komið undir hættumörk. Hins vegar eru spennikaplarnir á um 40 cm dýpi í Borgarfjarðarbrú, þar sem þeir eru næst yfirborði og því eru þeir vel varðir hvað varðar tæringu sem klóríð stuðlar að.</p> <p>Upplausnin "Non-destructive" mælitæki er ekki nógu mikil til þess að meta ástand steypunnar umhverfis kapalrörið. Þess vegna er ekki mögulegt að nota niðurstöðurnar til að segja til um hvort tæring eigi sér stað eða ekki í spenniköplunum í brúnni.</p>		
<b>Verkkaupi:</b> Vegagerðin	<b>Tengiliður verkkaupa:</b> Einar Hafliðason	
<b>Samstarfsaðilar:</b> Vegagerðin		
<b>Efnisorð:</b> Steyp brúargólf Klórmagn Tæring	<b>ISBN:</b>	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>  <b>Yfirfarið af:</b>

Efnisyfirlit	
Myndaskrá.....	3
Töfluskra.....	4
Inngangur.....	5
Klóríð í steinsteypu.....	5
Klóríðgreining.....	6
Niðurstöður mælinga.....	7
Blöndubru.....	7
Laxa í Refasveit við Syðra Hól.....	8
Norðurá við Fornahvamm.....	10
Norðurá við Sveinatungu.....	11
Norðurá hjá Haugum.....	13
Borgarfjarðarbru.....	14
NonDestructiveTesting – Blanda.....	16
Umfjöllun.....	17
Samanburður við önnur samgöngumannvirki.....	23
Tæringarhætta.....	25
Samantekt.....	26
Viðauki I – Niðurstöður úr klóríðgreiningum.....	27
Laxa í Refasveit.....	27
Blöndubru.....	27
Norðurá við Fornahvamm.....	28
Norðurá við Sveinatungu.....	28
Norðurá hjá Haugum.....	29
Borgarfjarðarbru.....	29

## Myndaskrá

Mynd 1. Svarf tekið úr steypusýni í rennibekk.....	6
Mynd 2. Borstæði á Blöndubru.....	7
Mynd 3. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Blöndubru.....	8
Mynd 4. Borstaður á brúnni yfir Laxa í Refasveit við Syðra Hól.....	9
Mynd 5. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Laxa í Refasveit.....	9
Mynd 6. Borstaður á Norðurá við Fornahvamm, norðanmeginn.....	10
Mynd 7. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Norðurá hjá Fornahvammi.....	11
Mynd 8. Borstaður á Norðurá við Sveinatungu, sunnanmeginn.....	12
Mynd 9. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Norðurá hjá Sveinatungu.....	12
Mynd 10. Borstaður á Norðurá hjá Haugum.....	13
Mynd 11. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Norðurá hjá Haugum.....	14
Mynd 12. Borstaður á Borgarfjarðarbru.....	15
Mynd 13. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Borgarfjarðarbru.....	16
Mynd 14. Niðurstöður úr UPE-mælingum á miðri Blöndubru.....	17
Mynd 15. Klóríðleiðni í Borgarfjarðarbru og leiðnistuðull.....	19
Mynd 16. Meðalgildi fyrir Sveinatungu (23 ára gömul) og Fornahvamm.....	20
Mynd 17. Klóríðleiðni í Borgarfjarðarbru og leiðnistuðull.....	21
Mynd 18. Klóríðmagn í Blöndubru.....	22
Mynd 19. Klóríðmagnið í brúnum yfir Laxa í Refasveit og Norðurá hjá Haugum.....	23
Mynd 20. Klóríðprófill úr Borgarfjarðarbru borinn saman við klóríðprófil úr Vesturlandsvegi.....	24



Mynd 21. Klóríð í steypu brúargólfi úr Korpubrú og Hólmásrbrú í Reykjavík undir malbiki. ....25

### **Töfluskrá**

Tafla 1. Áætlað yfirborðsgildi klóríðs ( $C_{sa}$ ) í steypu ..... 18

Tafla 2. Hámarks klóríðmagn í steypu.....25

## Inngangur

Þann 06-06-2005 var farinn leiðangur á vegum Verkfræðistofu Hönnunar og borkjarnar voru boraðir úr eftirfarandi brúargólfum: Blöndubrú, Laxá í Refasveit, Norður á við Fornahvamm, Norðurá við Sveinatungu, Norðurá hjá Haugum og Borgarfjarðarbrú. Tveir kjarnar voru teknir á hverjum stað, kjarnarnir voru 5 cm í þvermál og um 5 cm á dýpt. Kjarnarnir voru staðsettir þar sem mest steypuhula var yfir spenniköplunum. Þeir voru allir teknir utan við megin hjólför á brúnum. Gert var við holurnar með hraðharðnandi viðgerðarefni frá BM Vallá.

## Klóríð í steinsteypu

Þegar klóríðjónir ganga inn í steypu, byggist klóríð upp í steypunni þannig að styrkur klóríðs er mestur við yfirborið og styrkurinn minnkar inn í steypuna. Ef styrkurinn við bendistál eða spennivíra fer yfir ákveðið gildi þá er hætt á að tæring eigi sér stað. Höfuðástæða fyrir leiðni á efni er efnastigull. Einna algengast er að lýsa leiðni á klóríðs inn í steypu með því að nota annað lögmál Ficks<sup>1</sup>:

$$\partial C/\partial t = \partial/\partial x (D_{(x,t)} \partial C/\partial x) \quad (1)$$

þar sem

$C = C(x,t)$  er klóríðprófill, styrkur klóríðs sem fall af dýpi miðað við ákveðin aldur  
 $D_{(x,t)}$  = leiðnistuðull fyrir klóríð

Með því að skoða leiðni fyrir ákveðin aldur er hægt að leysa annað lögmál Ficks á eftirfarandi hátt<sup>2</sup>:

$$C(x,t) = C_i + (C_{sa} - C_i) \operatorname{erfc}(x/(\sqrt{4(t-t_{ex})D_o}) \quad (2)$$

þar sem

$C_i$  = upphafsstyrkur klóríðs í steypu

$C_{sa}$  = styrkur klóríðs í yfirborði

$x$  = dýpi

$t$  = aldur steypu

$t_{ex}$  = aldur steypu þegar hún komst fyrst í snertingu við klóríð

Annað lögmál Ficks var notað í þessari rannsókn til þess að spá fyrir um það hvernig klóríð muni byggjast upp í mismunandi mannvirkum. Þar sem mannvirkin sem unnið var með í þessari rannsókn eru ekki í samfeldu klóríðbaði (salt er aðeins borið á veturna og í mismiklu magni) þá er að villandi að nota leiðnistuðla úr þessari rannsókn til að bera saman við niðurstöður úr öðrum mannvirkjum.

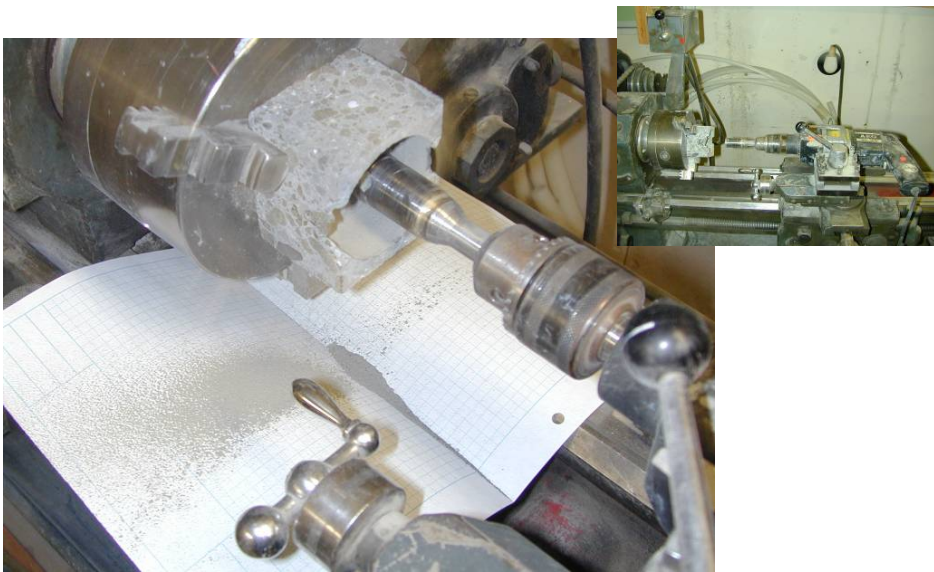
<sup>1</sup> Collepardi, M et al (1972) Penetration of chloride ions into cement paste and concrete. American Ceramic Society, 55

<sup>2</sup> Poulsen E (1996) Estimation of Chloride Ingress into Concrete and Prediction of Service Lifetime with Reference to Marine RC Structures. Í, ritstj. Sandberg P.; Durability of Concrete in Saline Environment, 113-126

## Klóríðgreining

Klóríðmagn í steinsteypusýnum var mælt með að leysa svarf upp í saltpéturssýru og títrun samkvæmt NT Build 208. Svarfið var fengið með því að taka þurr sýni, annað hvort kjarna eða kubba, og renna þau niður frá yfirborði og niður á það dýptarbíl sem áhugi var fyrir að rannsaka. Með því að gera þetta í rennibekk, sbr. mynd 1, er hægt að ná sýnum af mjög þröngu dýptarbíli og auka verulega nákvæmni klóríðgreiningarinnar umfram hefðbundna aðferð með sögun. Sýnin eru rennd niður með því að koma borvél með demantskjarna (hér um 1,5 cm í þvermál) fyrir í rennibekk. Borvélin er látin snúast á móti snúningi rennibekksins, jafnframt því sem hún gengur inn í sýnið.

Þegar sýni eru söguð þarf síðan að mala sýnin niður, en með þessari aðferð er þessum tveimur liðum slegið saman og sparast þar með verulegur tími. Auk þess ef sögun á að vera nákvæm, þarf að saga sýnin með þunnu sagarblaði, en það kallar á vatnskælingu, en með vatnskælingu má búast við að ýmis efni, eins og t.d. klóríð skolist út úr sýnunum. Þegar sýnin eru rennd niður er ekki nauðsynlegt að kæla sýnin með vatni. Með því að renna sýnin er auðveldlega hægt að taka sýni á 1 mm dýptarbíli.



**Mynd 1. Svarf tekið úr steypusýni í rennibekk.**  
Svarf tekið úr steypusýni fyrir klóríðgreiningu. Þvermál holunnar er um 5 cm. Á minni myndinni má sjá uppsetninguna á sýninu og borvélinni. Svarfið fellur niður á pappírsglað þar sem því er safnað saman.

Efnagreiningar á klóríð í steypu voru framkvæmdar þannig að um 0,4 til 0,8 g af steypu (svarf) var leyst upp í  $\text{HNO}_3$  sýru. Styrkur klóríðs í lausninni var fundinn með Volhard títrun, þar sem endapunktur títrunarinnar var fundinn með litarbreytingu á lausninni.

## Niðurstöður mælinga

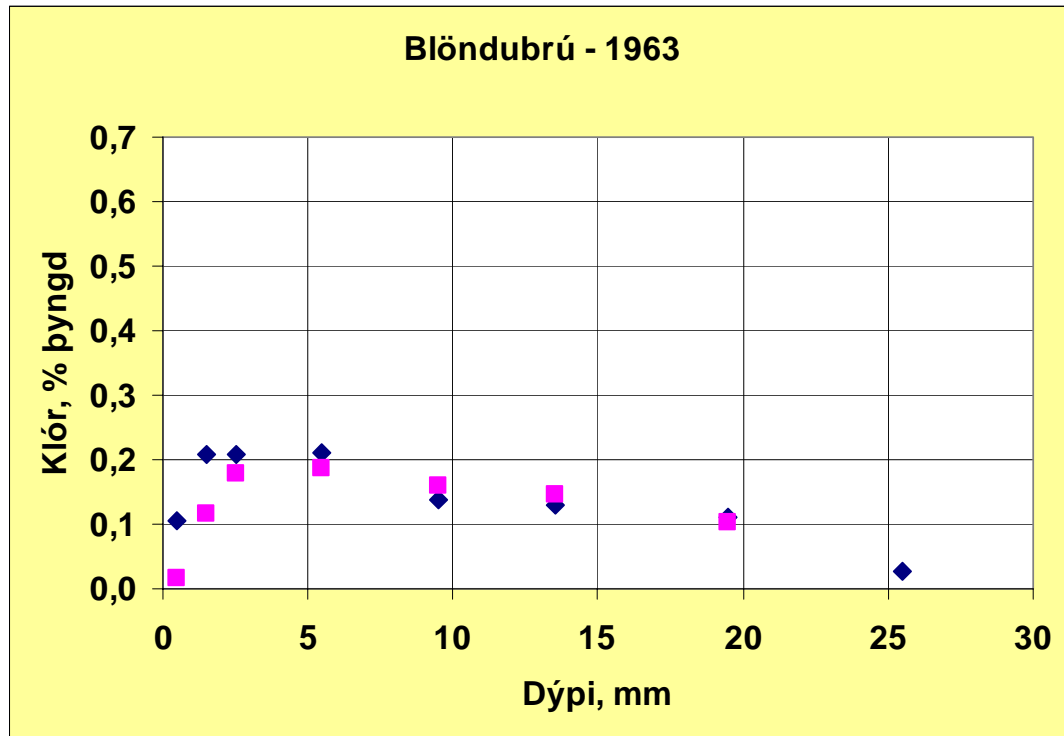
### Blöndubrú

Tveir kjarnar voru teknir vestanmegin fyrir miðri brú, sjá mynd 2.



Mynd 2. Borstæði á Blöndubrú

Niðurstöður úr klóríðgreining á kjörnunum er gefin í mynd 3 og í viðauka I.



Mynd 3. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Blöndubrú

### Laxá í Refasveit við Syðra Hól

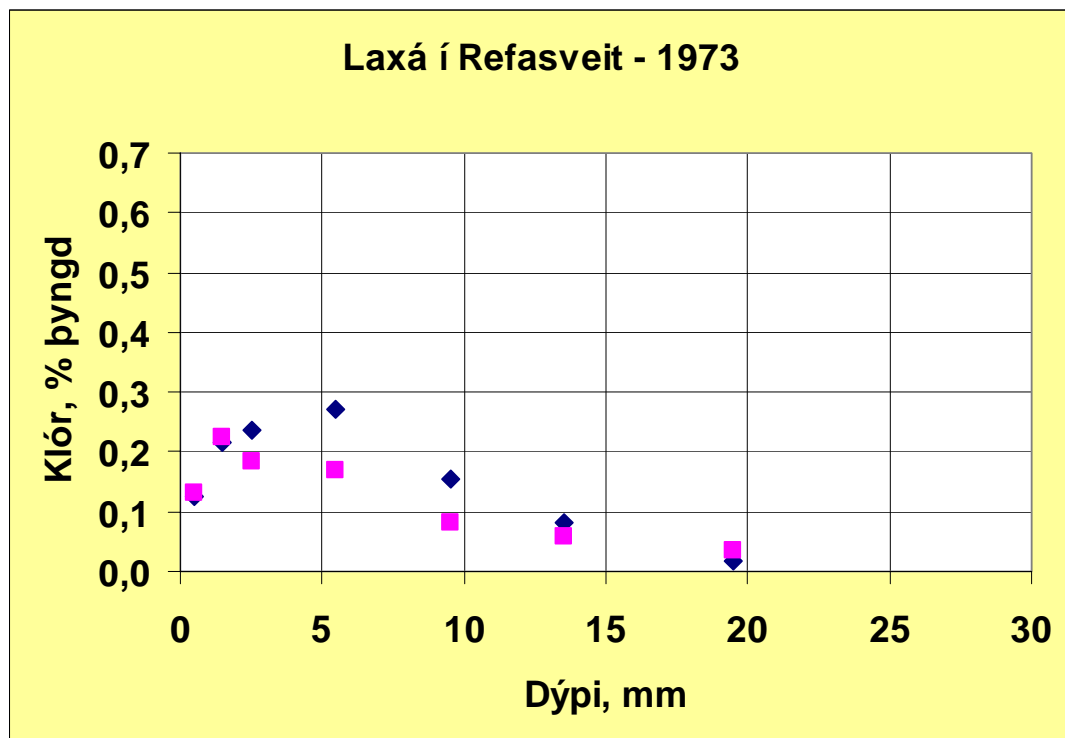
Tveir borkjarnar voru teknir vestanmegin við suðurenda brúarinnar, sunnan við þenslurauf, sjá mynd 4.





Mynd 4. Borstaður á brúnni yfir Laxá í Refasveit við Syðra Hól

Niðurstöður úr klóríðgreiningunum eru gefnar í mynd 5 og í viðauka I.



Mynd 5. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Laxá í Refasveit

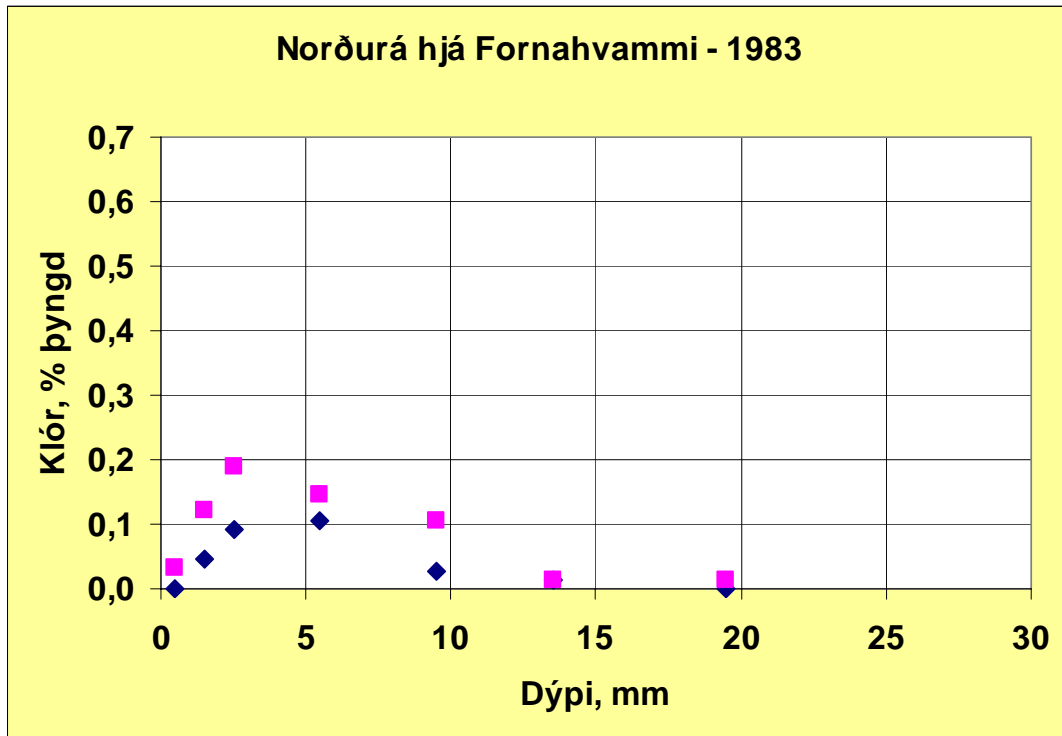
## Norðurá við Fornahvamm

Tveir borkjarnar norðanmegin á brúnni við austurenda, sjá mynd 6.



Mynd 6. Borstaður á Norðurá við Fornahvamm, norðanmeginn

Niðurstöður úr klóríðgreiningunum eru gefnar í mynd 7 og í viðauka I.



Mynd 7. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Norðurá hjá Fornahvammi

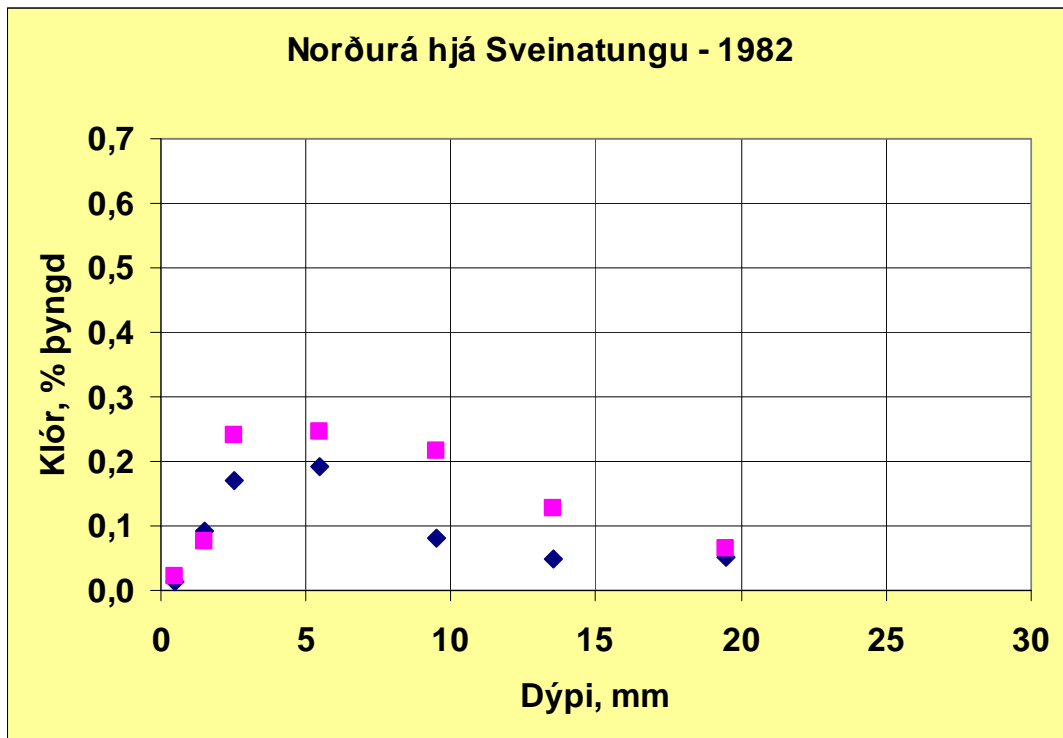
### Norðurá við Sveinatungu

Tveir borkjarnar sunnanmegin við vesturenda brúarinnar, sjá mynd 8.



Mynd 8. Borstaður á Norðurá við Sveinatungu, sunnanmeginn

Niðurstöður úr klóríðgreiningunum eru gefnar í mynd 9 og í viðauka I.



Mynd 9. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Norðurá hjá Sveinatungu

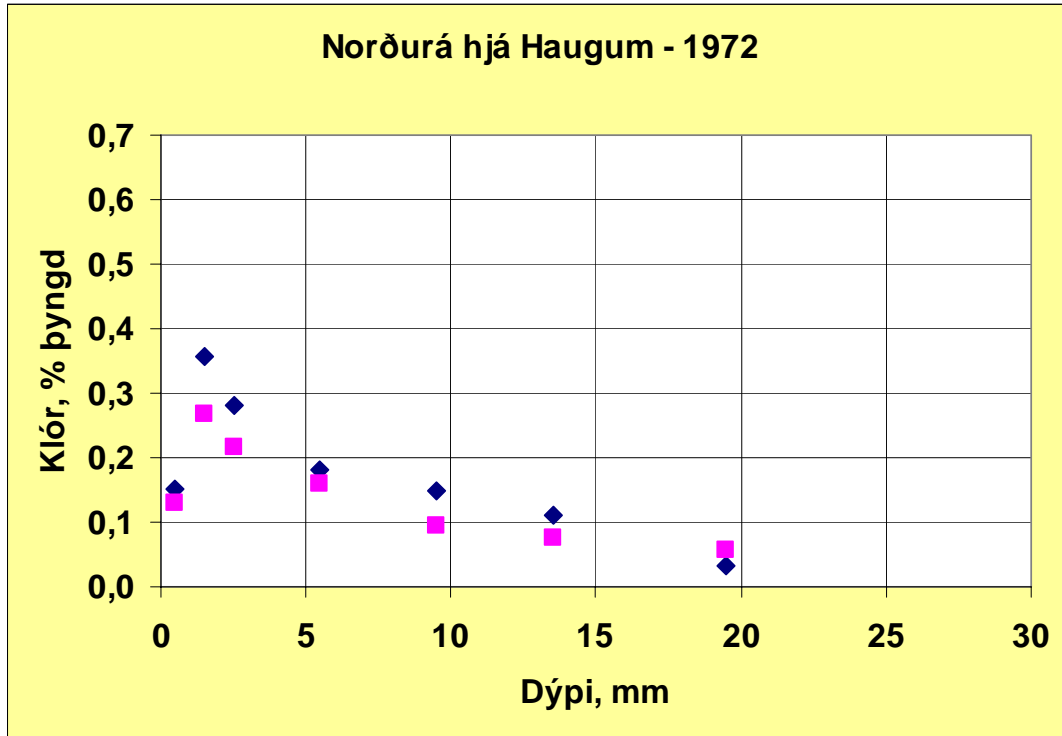
## Norðurá hjá Haugum

Tveir kjarnar voru teknir austanmeginn úr brúnni við suðurenda, sjá mynd 10.



Mynd 10. Borstaður á Norðurá hjá Haugum

Niðurstöður úr klóríðgreiningunum eru gefnar í mynd 11 og í viðauka I.



Mynd 11. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Norðurá hjá Haugum

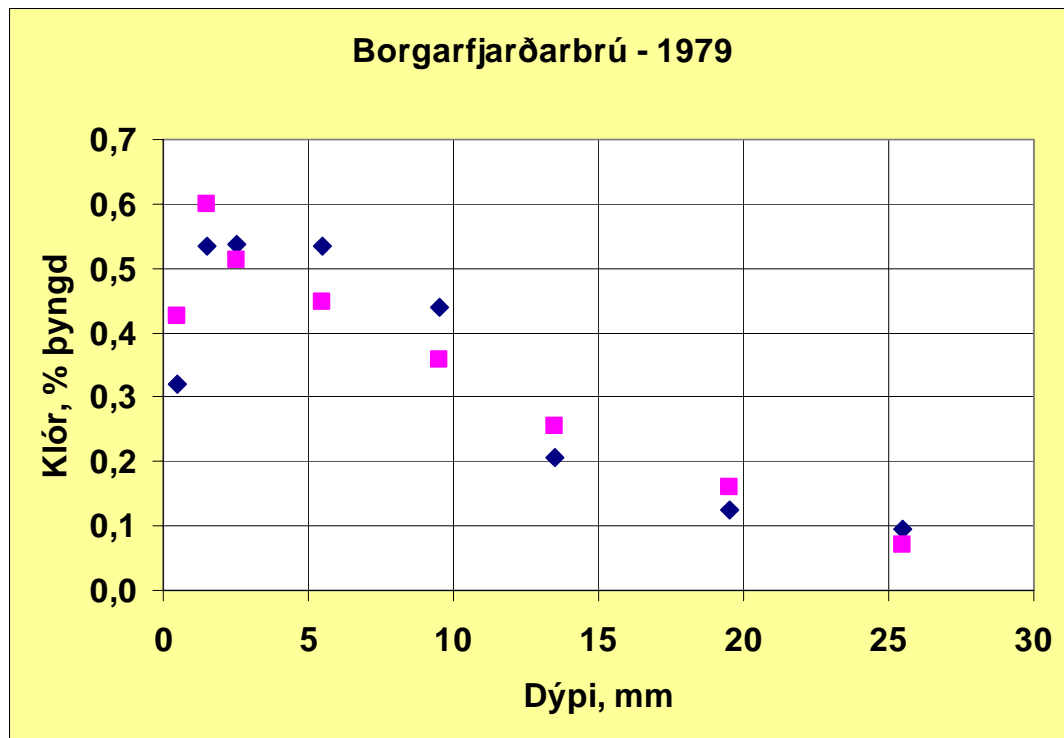
### Borgarfjarðarbrú

Tveir borkjarnar voru teknir á miðri brú, yfir stöpli 6 (gegnst eldri loggerna kassanum), vestanmegin, sjá mynd 12.



Mynd 12. Borstaður á Borgarfjarðarbrú.

Niðurstöður úr klóríðgreiningunum eru gefnar í mynd 13 og í viðauka I.



Mynd 13. Niðurstöður úr klóríðgreiningu í Borgarfjarðarbrú

### NonDestructiveTesting – Blanda

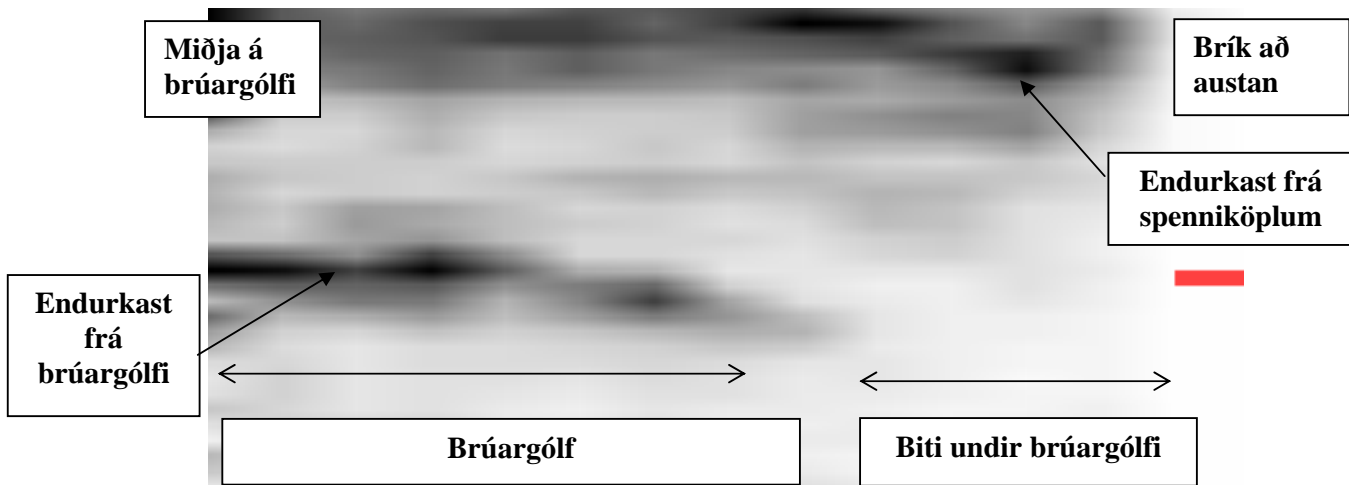
Ef tæring á sér stað í spenniköplum í brúargólfinu má gera ráð fyrir að það valdi þenslu í steypunni umhverfis og geti leitt til sprungumyndunar. NDT-tæki eru mjög hentug til þess að finna sprungur í steypu. NDT-tæki var notað til þess að meta ástand í steypunni umhverfis kapalrörin.

Gólfíð í Blöndubrú var m.a. skannað yfir syðri brúarstöplinum, þar sem kaplarnir eru næst yfirborði. Aðeins var skannað var yfir eystri akgreinina á brúnni og eru niðurstöður úr einu skanni sýndar á mynd 14.

Af öllum mælingunum sem voru framkvæmdar var hægt að staðsetja kapalrörin í steypunni, ekki var hægt að segja til um hvort skemmdir eiga sér stað í steypunni umhverfis kapalrörin, sjá mynd 14. Með NDT-tækinu er hægt að sjá í gegnum brúargólfíð og kemur endurkast frá brúargólfinu vel fram á mynd 14. Þegar skannað er yfir bitann undir brúargólfinu, þá sér NDT-tækið ekki í gegnum steypumassann og því kemur endurkast frá neðra borði bitans ekki fram í mælingunni. Hins vegar má sjá a.m.k. endurkast frá tveimur kapalrörum, sem liggja mun ofar í bitanum.

Upplausnin í tækinu ekki nógu mikil til þess að meta ástand steypunnar umhverfis kapalrörið. Þess vegna er ekki mögulegt að segja nokkuð um ástand á spenniköplunum í brúnni.





Mynd 14. Niðurstöður úr UPE-mælingum á Blöndubrú yfir syðri brúarstöplinum. Endurkastið frá brúargólfinu vantar þar sem spennikaplarnir eru. Á myndinni má sjá a.m.k. tvo spennikapla. Mælt var þvert yfir eystri akgreininna með 10 cm bili milli punkta. Stilling: 70 kHz og 2650 m/s.

## Umfjöllun

Sammerkt er með öllum klóríðprófilunum að yfirborðsgildi klóríðs í steypunni er tiltölulega lágt, klóríðmagnið eykst hratt uns hámarki er náð á litlu dýpi, síðan fer klóríðmagnið minnkandi. Ástæða fyrir þessu er ekki full ljós. Talið er að þegar yfirborð steypu verður fyrir rakasveiflum, gangi klóríð út úr steypunni þegar ferskt vatn berst yfir steypuna og skoli klóríðnum út úr steypunni. Fyrir vegi eða brýr þá gengur klóríð inn í steypuna á tímabilinu þegar salt er borið á vegina/brýrnar. Utan þess tímabils getur klóríð gengið út úr steypunni ef umhverfis aðstæður eru slíkar. Sýnt hefur verið fram á að klóríð gegnur tiltölulega hratt út úr steypu sem er í stöðugri bleytu.<sup>3</sup> Þessi skýring er þó ekki alveg örugg þar sem tiltölulega lágt yfirborðsgildi finnst einnig í sýnum sem eru geymd á kafi í klóríðlausn, þar sem þó er stöðugt framboð á klóríð og engin útskolun hefur átt sér stað.<sup>4</sup> Áætlað yfirborðsgildi af klóríð í brúnum miða við enga "útskolun" við yfirborð er gefið í töflu 1. Til þess að geta reiknað út leiðnistuðul samkvæmt öðru lögmáli Fick er nauðsynlegt að vita yfirborðsgildi af klóríð í steypunni ( $C_{sa}$ ).

<sup>3</sup> Gudmundsson, G., Antonsdóttir, V., (2002) Chloride diffusion in and out of concrete made with different type binder. RILEM-workshop in Madrid 2002

<sup>4</sup> Niðurstöður úr rannsókum vegna kápusteypu í Borgarfjarðarbrú

**Tafla 1. Áætlað yfirborðsgildi klóríðs ( $C_{sa}$ ) í steypu**

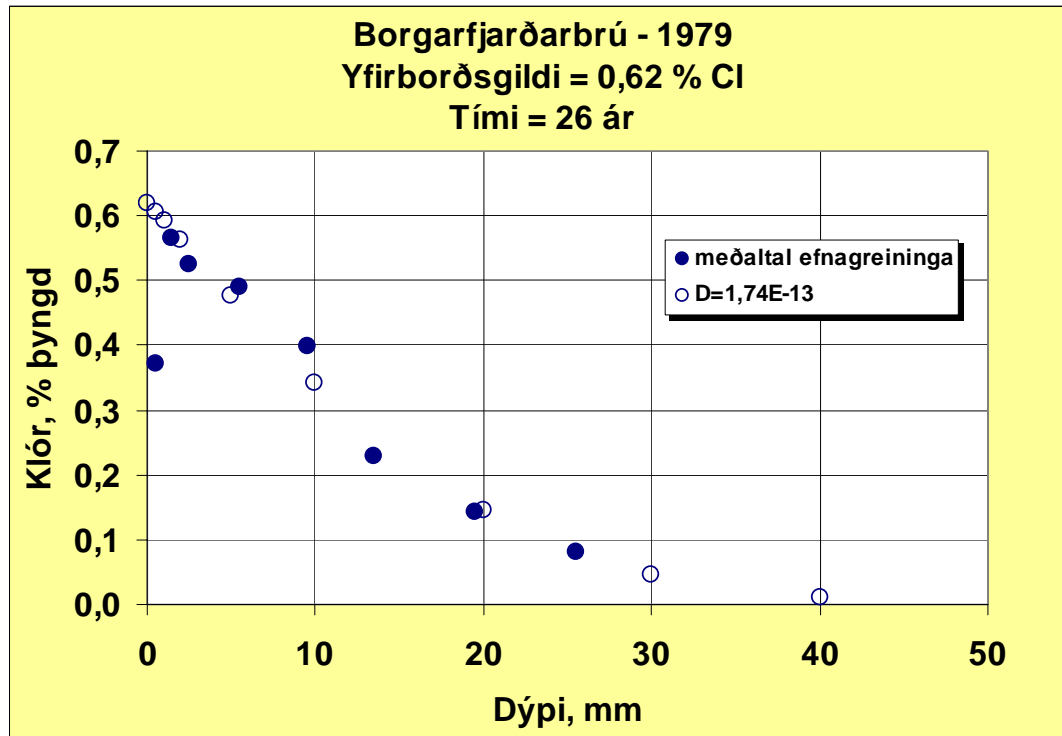
<b>Mannvirki</b>	<b>Ci, % af þyngd</b>
Laxá í Refasveit	0,3*
Blöndubrú	0,28
Norðurá við Fornahvamm	0,25*
Norðurá við Sveinatungu	0,3*
Norðurá hjá Haugum	0,3*
Borgarfjarðarbrú	0,62

\* gildi ákvarðað með sjónmati

Nákvæmar upplýsingar um söltun á einstökum brúm liggur ekki fyrir og ómögulegt er að nálgast þær. Samkvæmt upplýsingum frá Vegagerðinni í Borgarnesi þá er saltað mun meira á vegkaflann sem liggur yfir Borgarfjarðarbrú (frá Hvalfjarðargöngum að Borgarnesi), en vegkaflann þar sem brýrnar á Norðurá eru (frá Borgarnesi í Hrutafjörð). Sama er að segja um Blöndubrú og brúna yfir Laxá í Refasveit, að meira er saltað á Blöndubrú en á brúna yfir Laxá í Refasveit. Væntanlega er einnig tiltölulega lítið saltað á brúna á Norðurá hjá Haugum.

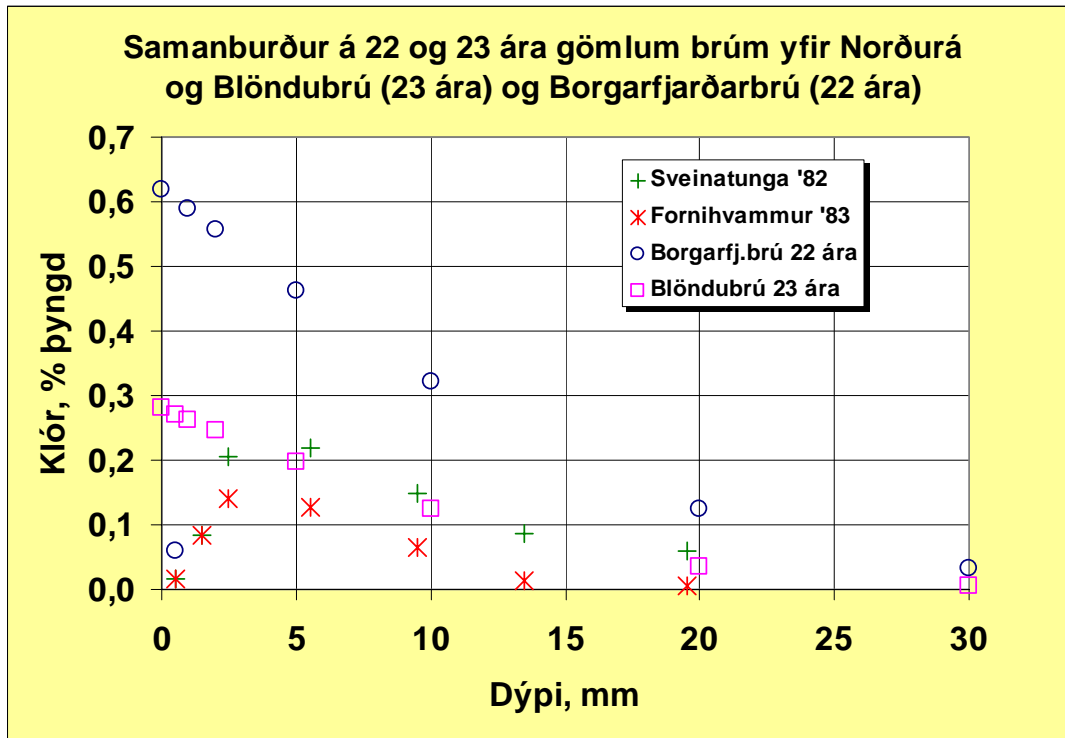
Af öllum brúnum sem voru skoðaðar, sker Borgarfjarðarbrú sig nokkuð úr. Í henni er mest klóríð, bæði hefur tiltölulega mikið klóríð gegnið inn í steypuna, en einnig er klóríðmagnið í yfirborði brúarinnar nokkuð hátt. Að sjálfsögðu eru þessir tveir þætti tengdir hvor öðrum. Ástæða fyrir þessu mikla klóríðmagni er að sjálfsögðu mikið salt sem borið er á brúnna, en einnig er brúin staðsett við sjávarsíðuna, þannig að sjávarselta getur borist inn á brúnna þegar þannig viðrar. Leiðnistuðull fyrir klóríð var fundin fyrir steypuna í Borgarfjarðarbrú með því að nota annað lögmál Ficks (sbr. kafla hér að framan). Í útreikningunum var reiknað með að brúni væri 26 ára gömul og að yfirborðsgildi klóríðs í steypunni væri 0,62 %. Leiðnistuðullinn sem passar best við mælingarnar er  $1,74 \times 10^{-13} \text{ m}^2/\text{s}$ , sjá mynd 15. Fyrir um 10 árum síðan var klóríð mælt í stöplum brúarinnar (18 ára gamlir) og reyndist leiðnistuðulinn vera á milli  $1 \times 10^{-11}$  til  $1 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .<sup>5</sup> Ekki er óeðlilegt að gera ráð fyrir að minna klóríð (og þar af leiðandi lægri leiðnistuðull) sé í brúargólfinu vegna þess að framboð á klóríð er töluvert minna en í stöplunum, vegna þess að einungis er saltað að vetri til, en stöplarnir standa í sjó (ísaltur sjór).

<sup>5</sup> Gudmundsson, Gísli (1995) Deterioration of concrete bridge piers. Í: Mechanisms of Chemical Degradation of Cement-based Systems, ritstj. Scrivener, KL og Young, JF, 201-208



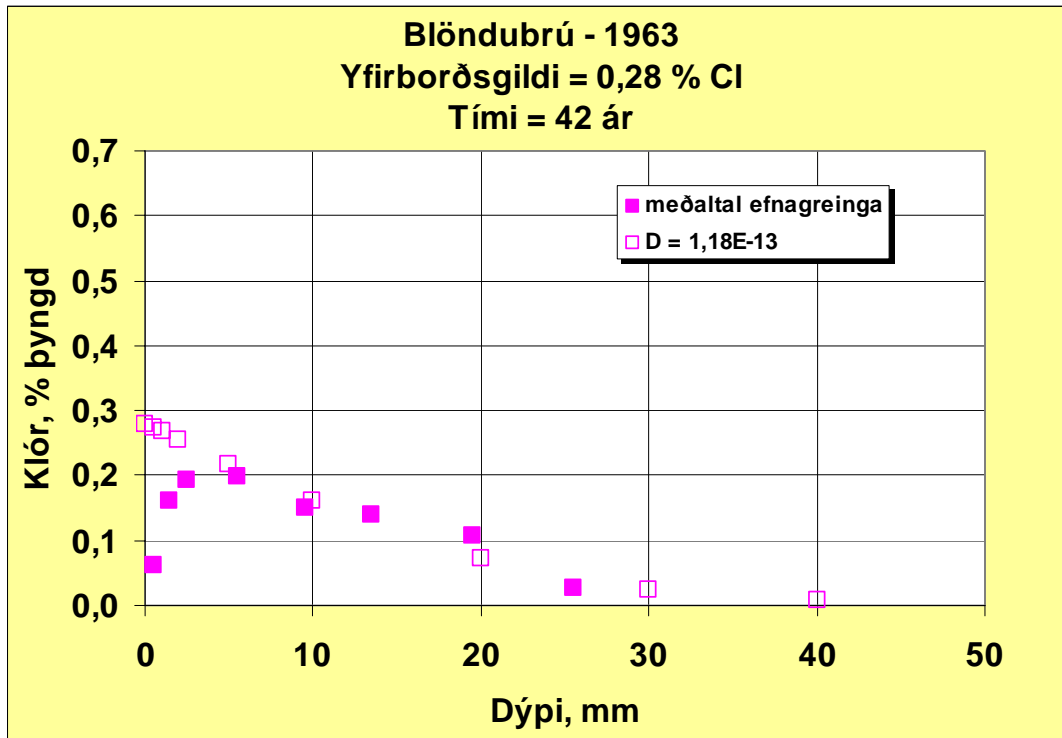
Mynd 15. Klóríðleiðni í Borgarfjarðarbrú og leiðnistuðull.

Brýrnar á Norðurá, við Sveinatungu og Fornahvamma eru álíka gamlar, aðeins eins árs aldursmunur er á þeim og þær eru við svipaðar veðurfarslegar aðstæður og eru á sama veginum. Steypublandan er væntanlega einnig mjög svipuð í brúnum. Þrátt fyrir það er nokkur munur á klóríðmagni í steypunni, sjá mynd 16. Klóríðmagnið er töluvert meira í brúnni á Sveinatungu, mun meira en aldursmunurinn getur skýrt út. Þess ber þó að geta að dreifing í niðurstöðum er nokkuð mikil. Ekki er vitað hvort borið er meira salt að meðaltali á brúna við Sveinatungu en brúna við Fornahvamm. Þegar niðurstöður fyrir Borgarfjarðarbrú eru endurreiknaðar fyrir 22 ár og bornar saman við þessar tvær brýr, kemur í ljós að módelið fyrir Borgarfjarðarbrú passar engan vegin fyrir þessar brýr, sjá mynd 16. Þar sem meira magn af salti er notað á Borgarfjarðarbrú en brýrnar við Fornahvamm og Sveinatungu, auk þess sem Borgarfjarðarbrú er við sjávarsíðuna, kemur ekki á óvart að töluvert meira klóríð er í Borgarfjarðarbrú. Hins vegar þegar módelreikningar fyrir Blöndubrú eru skoðaðir kemur í ljós að nokkuð gott samræmi er á milli Blöndubrúar og brúarinnar við Sveinatungu.



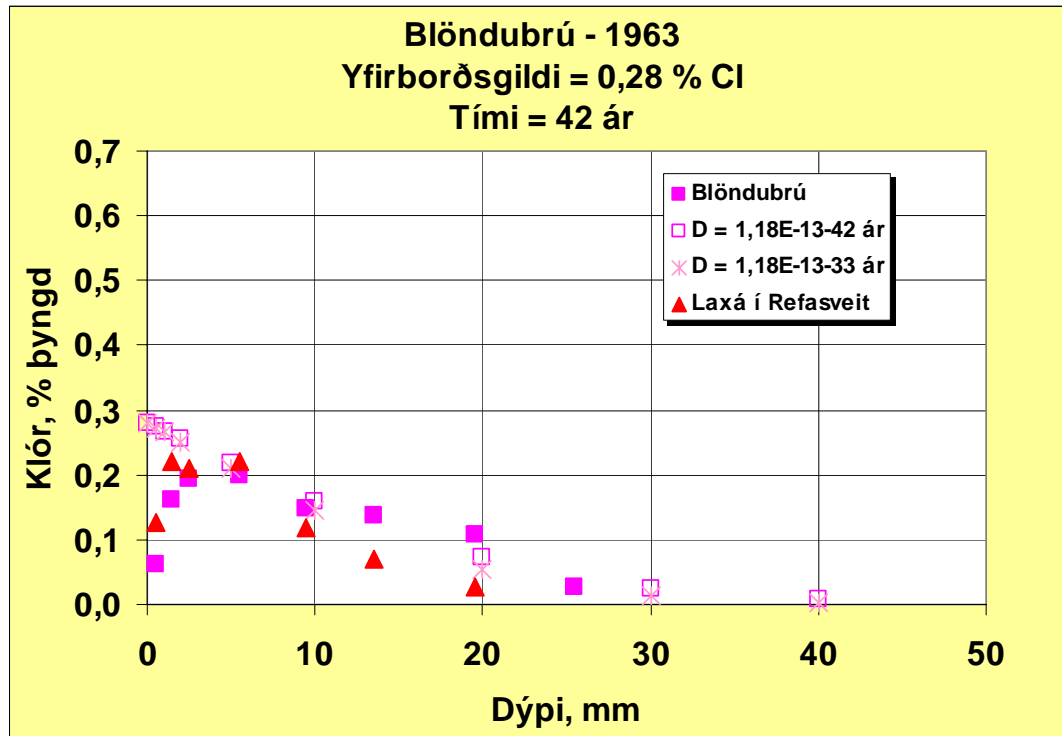
**Mynd 16. Meðalgildi fyrir Sveinatungu (23 ára gömul) og Fornahvamm (22 ára gömul), ásamt reiknuðum ferlum fyrir Borgarfjarðarbrú (22 ára) og Blöndubrú (23 ára).**

Þótt Blöndubrú sé 42 ára gömul, er ekki sérlega mikið klóríð í steypunni, sjá mynd 17, og því er leiðnistuðillinn fyrir steypuna tiltölulega lágur. Þótt tiltölulega lítið klóríð sé í Blöndubrú, er klóríðprófillinn nokkuð flatur, sem veldur því að klóríðmagnið á um 20 mm dýpi er hlutfallslega hátt í steypunni. Samkvæmt upplýsingum frá Vegagerðinni þá er meira salt borið á Blöndubrú en brúnna yfir Laxá í Refasveit. Í heild hefur ekki verið borið mikið salt á brúnna yfir Blöndu (sem og brúna yfir Laxá í Refasveit). Þjónustustigið á Blöndubrú var aukið fyrir um 4 til 5 árum síðan, þá jókst saltnotkunin verulega.



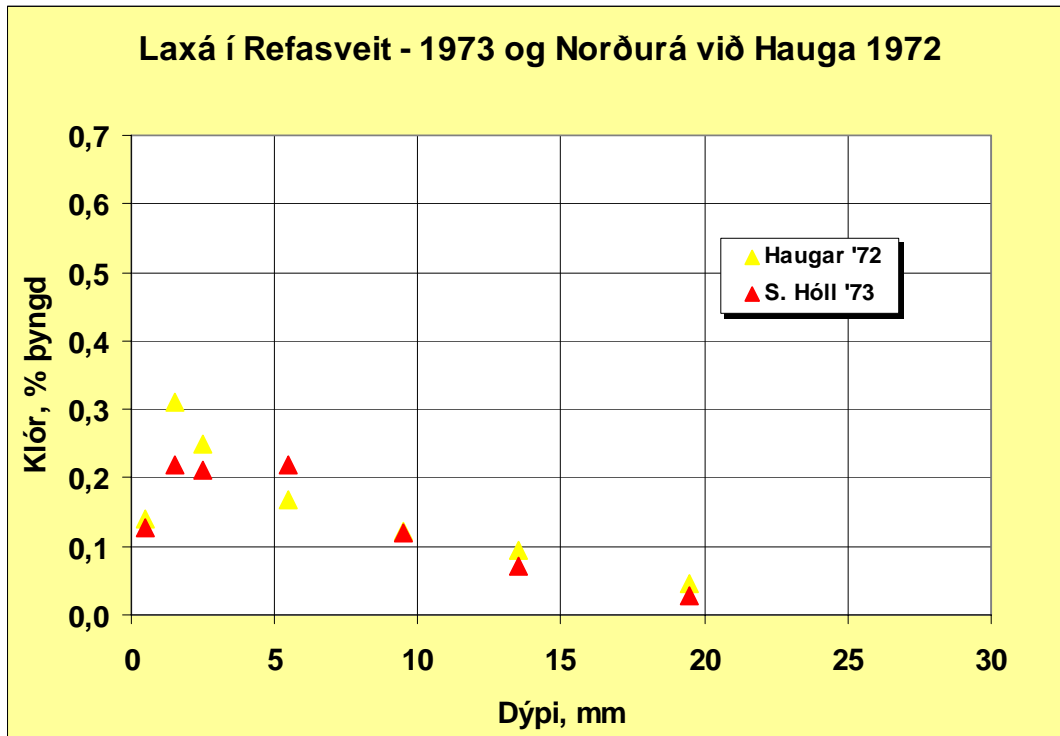
Mynd 17. Klóríðleiðni í Borgarfjarðarbrú og leiðnistuðull.

Á mynd 18 eru klóríðmagn í Blöndubrú borið saman við klóríðmagnið í brúnni yfir Laxá í Refasveit. Töluvert minna klóríð er í steypunni í brúnni yfir Laxá í Refasveit og mólreikningar fyrir Blöndubrú passa ekki fyrir brúna á Laxá í Refasveit.



**Mynd 18. Klóríðmagn í Blöndubrú**  
 borið saman við klóríðmagnið í brúnni yfir Laxá í Refasveit. Módelreikningar fyrir Blöndubrú sýndir fyrir 33 ár og 42 ár.

Steypan í brúnum yfir Laxá í Refasveit og Norðurá hjá Haugum er af svipuðum aldri og er að mörgu leiti staðsett við svipaðar aðstæður, þ.e. á vegum með tiltölulega lítilli umferð. Væntanlega er saltað minnst á þessum brúm, af þeim 6 brúm sem skoðaðar voru í þessi verkefni. Eins og sést á mynd 19 er klóríðmagnið í þessum brúm mjög svipað.

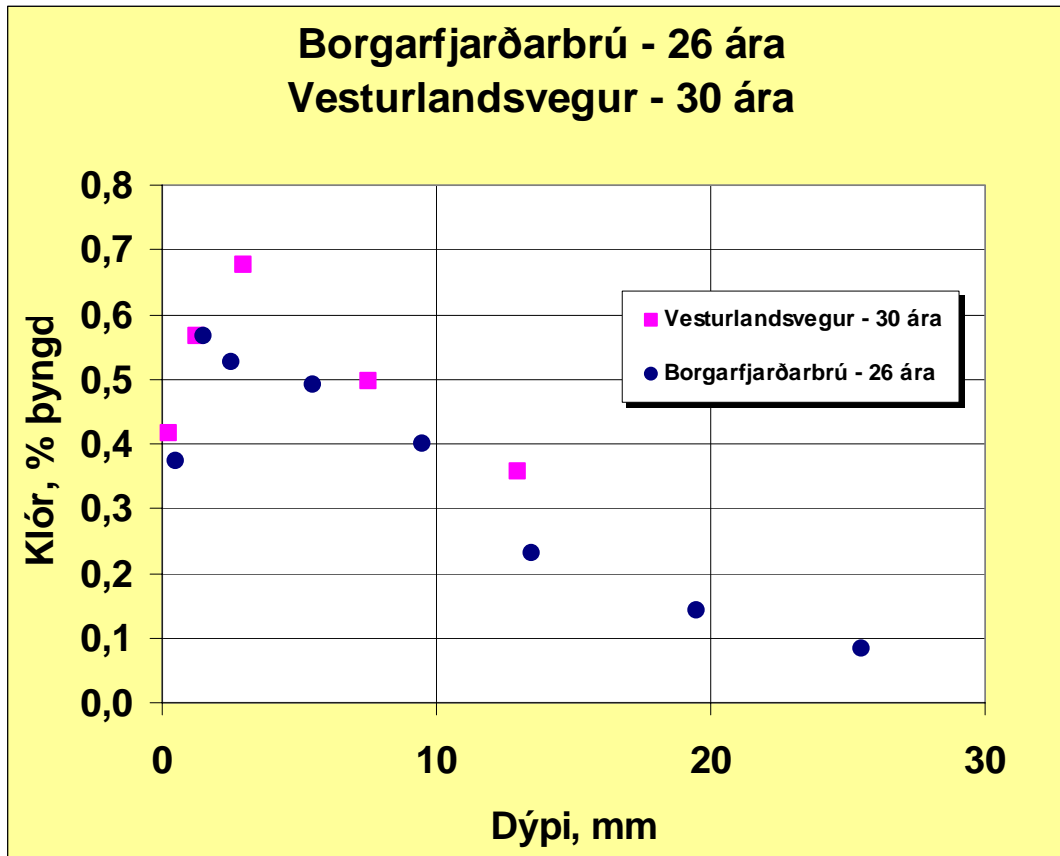


Mynd 19. Klóríðmagnið í brúnum yfir Laxá í Refasveit og Norðurá hjá Haugum

### Samanburður við önnur samgöngumannvirki

Árið 2002 var klóríð greint í steypu úr Vesturlandsveginum og eru niðurstöðurnar gefnar á mynd 20<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> EU-project Conlife.



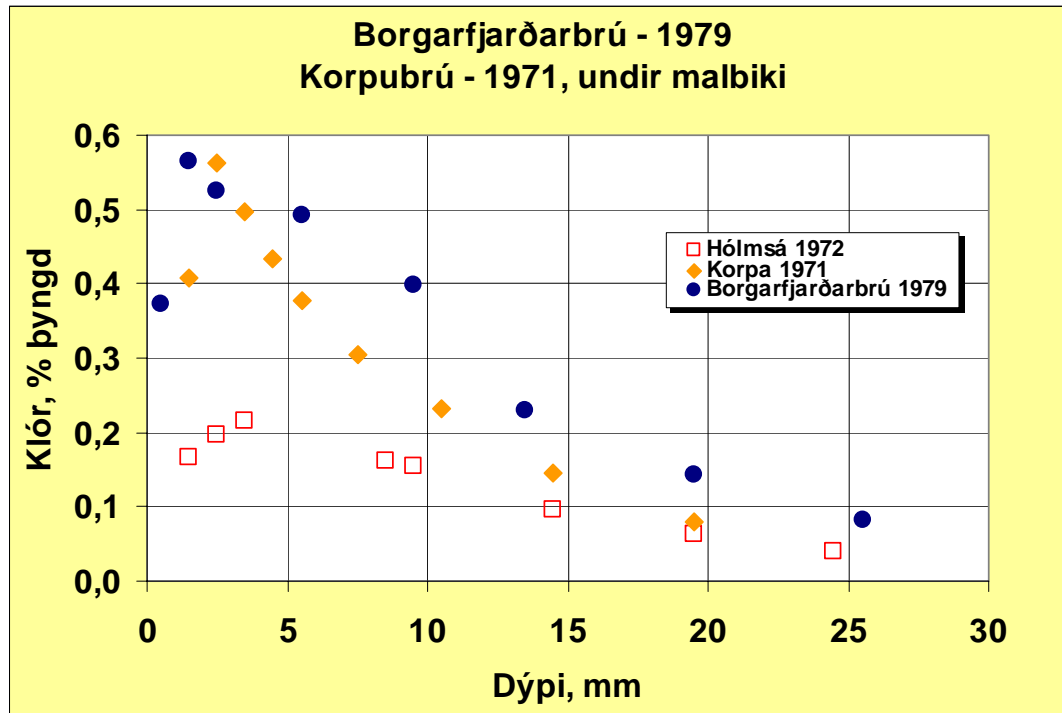
Mynd 20. Klóríðprófill úr Borgarfjarðarbrú borinn saman við klóríðprófil úr Vesturlandsvegi.

Þegar sýni voru tekin úr veginum var steypa um 30 ára gömul. Því miður var klóríðmagnið aðeins greint í efri hluta steypunnar í Vesturlandsvegi þannig að samanburður við niðurstöður úr Borgarfjarðarbrú er ekki mjög áreiðanlegur. Fyrir efri hluta steypunnar í Borgarfjarðarbrú eru niðurstöður úr greiningunni mjög svipaðar og í Vesturlandsvegi, ívið meira klóríð er í steypunni í Vesturlandsvegi.

Fyrir nokkrum árum var klóríð efnagreint í steypu brúargólfi úr Korpubrú og Hólmásrbrú í Reykjavík<sup>7</sup>. Brúargólfið í báðum brúnum var malbikað ofan á steypuna, niðurstöður úr klóríðgreiningunni eru gefnar á mynd 21, ásamt niðurstöðum úr Borgarfjarðarbrú.

<sup>7</sup> Gísli Guðmundsson (2003) Efnagreiningar á klóríð í steinsteypu, Rb-skýrsla til Vegagerðarinnar





Mynd 21. Klóríð í steypu brúargólfi úr Korpubrú og Hólmsárbrú í Reykjavík undir malbiki.

Þrátt fyrir að malbikað sé yfir steypuna í báðum brúnum er klóríðmagnið í steypunni í svipuðum styrk og fannst í þessari rannsókn. Gera má þó ráð fyrir að borið hafi verið mest af salti á Korpubrú og töluvert meira en á aðrar brýr sem voru skoðaðar í þessari rannsókn. Ef svo er þá veitir malbikið einhverja vörn gegn leiðni klóríðs inn í steypu.

### Tæringarhætta

Þegar miðað er við klóríðmagn í steypu m.t.t. tæringarhættu á stáli eru gerðar töluvert meiri kröfur til steypu sem inniheldur spennstál en þeirrar sem aðeins inniheldur slakbent stál, sbr. ÍST EN 206-1:2000, sjá töflu 2.

Tafla 2. Hámarks klóríðmagn í steypu

Steypa	Cl, % af þyngd sements	Cl, % af þyngd steypu (þurrefnis)*
Óbent	1,0	0,16
Slakbent	0,20 – 0,40	0,03 – 0,06
Með spennu bendistáli	0,10 – 0,20	0,015 – 0,03

\* % af þyngd sements margfaldað með 370 kg sementi per m<sup>3</sup> og deilt með 2350 kg/m<sup>3</sup>

Gildin í töflu 2 eiga við styrk klóríðjóna í steypunni umhverfis bendistál eða spennikapla. Segja má þótt styrkur klóríðs sé við og yfir hættumörkum m.t.t. tæringarhættu í efstu 10 til 30 mm í hverju mannvirki sem skoðað var, þá er tiltölulega lítil hættu á tæringu í spenniköplunum vegna þess að spennikaplarnir liggja mun dýpra í steypunni. Í Borgarfjarðarbrú, þar sem klóríðstyrkurinn er lang hæstur, benda mólereinkingar til þess að á um 40 mm dýpi sé klóríðið komið undir hættumörk. Hins



vegar eru spennikaplarnir á um 40 cm dýpi í Borgarfjarðarbrú, þar sem þeir eru næst yfirborði og því eru þeir vel varðir hvað varðar tæringu sem klóríð stuðlar að.

### **Samantekt**

Klóríðprófilar voru gerðir úr borkjörnum úr eftirfarandi brúargólfum: Blöndubrú, Laxá í Refasveit, Norður á við Fornahvamm, Norðurá við Sveinatungu, Norðurá hjá Haugum og Borgarfjarðarbrú. Öll mannvirkin eru eftirspennt. Klóríðmagnið var misjafnt í steypunum, mest þar sem mest notkun er á salti til afsingar.

Mest klóríð mældist í Borgarfjarðarbrú og sker hún sig nokkuð úr. Auk þess sem að tiltölulega mikið klóríð hefur gegnið inn í steypuna, en einnig er klóríðmagnið í yfirborði brúargólfsins nokkuð hátt.

Brýrnar á Norðurá, við Sveinatungu og Fornahvam eru álíka gamlar og eru við svipaðar veðurfarslegar aðstæður. Steypublandan er einnig væntanlega mjög svipuð í brúnum. Þrátt fyrir það er nokkur munur á klóríðmagni í steypunni. Klóríðmagnið er töluvert meira í brúnni á Sveinatungu, mun meira en aldursmunurinn getur skýrt út. Ekki er ljóst hvort borið er meira salt að meðaltali á brúna við Sveinatungu en brúna við Fornahvamm.

Blöndubrú er elsta mannvirkið, 42 ára gömul, þrátt fyrir það er ekki sérlega mikið klóríð í steypunni. Þótt tiltölulega lítið klóríð sé í Blöndubrú, er klóríðprófillinn nokkuð flatur, sem veldur því að klóríðmagnið á nokkru dýpi er hlutfallslega hátt í steypunni. Þjónustustigið á Blöndurbrú var aukið fyrir um 4 til 5 árum síðan, þá jókst saltnotkunin verulega. Væntanlega skýrir það tiltölulega lágt klóríðmagn í Blöndubrú, megnið af klóríðinu stafar frá því þegar þjónustustigið á brúnni var aukið.

Steypan í brúnum yfir Laxá í Refasveit og Norðurá hjá Haugum er á svipuðum aldri og er að mörgu leiti við svipaðar aðstæður, þ.e. á vegum með tiltölulega lítilli umferð. Væntanlega er saltað minnst á þessum brúm af þeim 6 brúm sem skoðaðar voru í þessu verkefni. Klóríðmagnið í þessum brúm er mjög svipað.

Þótt styrkur klóríðs sé við og yfir hættumörkum m.t.t. tæringarhættu í efstu 10 til 30 mm í hverju mannvirki sem skoðað var, þá er tiltölulega lítil hætta á tæringu í spenniköplunum vegna þess að spennikaplarnir liggja mun dýpra í steypunni. Í Borgarfjarðarbrú, þar sem klóríðstyrkurinn er lang hæstur, benda módel reikingar til þess að á um 40 mm dýpi sé klóríðið komið undir hættumörk. Hins vegar eru spennikaplarnir á um 40 cm dýpi í Borgarfjarðarbrú, þar sem þeir eru næst yfirborði og því eru þeir vel varðir hvað varðar tæringu sem klóríð stuðlar að.

Upplausnin “Non-destructive” mælitæki er ekki nógu mikil til þess að meta ástand steypunnar umhverfis kapalrörið. Þess vegna er ekki mögulegt að nota niðurstöðurnar til að segja til um hvort tæring eigi sér stað eða ekki í spenniköplunum í brúnni.

## Viðauki I – Niðurstöður úr klóríðgreiningum

### Laxá í Refasveit

	Dýptarbil, mm	Meðal dýpi, mm	Klóríð, % þungi af þurrefni
1A	0-1	0,50	0,12
	1-2	1,50	0,22
	2-3	2,50	0,24
	5-6	5,50	0,27
	9-10	9,50	0,16
	13-14	13,50	0,08
	19-20	19,50	0,02

1B	0-1	0,50	0,13
	1-2	1,50	0,22
	2-3	2,50	0,18
	5-6	5,50	0,17
	9-10	9,50	0,08
	13-14	13,50	0,06
	19-20	19,50	0,04

### Blöndubrú

	Dýptarbil, mm	Meðal dýpi, mm	Klóríð, % þungi af þurrefni
2A	0-1	0,50	0,11
	1-2	1,50	0,21
	2-3	2,50	0,21
	5-6	5,50	0,21
	9-10	9,50	0,14
	13-14	13,50	0,13
	19-20	19,50	0,11
	25-26	25,50	0,03

2B	0-1	0,50	0,02
	1-2	1,50	0,12
	2-3	2,50	0,18
	5-6	5,50	0,19
	9-10	9,50	0,16
	13-14	13,50	0,15
	19-20	19,50	0,10

### Norðurá við Fornahvamm

	Dýptarbil, mm	Meðal dýpi, mm	Klóríð, % þungi af þurrefni
3A	0-1	0,50	0,00
	1-2	1,50	0,05
	2-3	2,50	0,09
	5-6	5,50	0,11
	9-10	9,50	0,03
	13-14	13,50	0,01
	19-20	19,50	0,00

3B	0-1	0,50	0,03
	1-2	1,50	0,12
	2-3	2,50	0,19
	5-6	5,50	0,15
	9-10	9,50	0,10
	13-14	13,50	0,01
	19-20	19,50	0,01

### Norðurá við Sveinatungu

	Dýptarbil, mm	Meðal dýpi, mm	Klóríð, % þungi af þurrefni
4A	0-1	0,50	0,01
	1-2	1,50	0,09
	2-3	2,50	0,17
	5-6	5,50	0,19
	9-10	9,50	0,08
	13-14	13,50	0,05
	19-20	19,50	0,05

4B	0-1	0,50	0,02
	1-2	1,50	0,08
	2-3	2,50	0,24
	5-6	5,50	0,25
	9-10	9,50	0,22
	13-14	13,50	0,13
	19-20	19,50	0,07

### Norðurá hjá Haugum

	Dýptarbil, mm	Meðal dýpi, mm	Klóríð, % þungi af þurrefni
5A	0-1	0,50	0,15
	1-2	1,50	0,36
	2-3	2,50	0,28
	5-6	5,50	0,18
	9-10	9,50	0,15
	13-14	13,50	0,11
	19-20	19,50	0,03

5B	0-1	0,50	0,13
	1-2	1,50	0,27
	2-3	2,50	0,22
	5-6	5,50	0,16
	9-10	9,50	0,10
	13-14	13,50	0,08
	19-20	19,50	0,06

### Borgarfjarðarbrú

	Dýptarbil, mm	Meðal dýpi, mm	Klóríð, % þungi af þurrefni
6A	0-1	0,50	0,32
	1-2	1,50	0,53
	2-3	2,50	0,54
	5-6	5,50	0,53
	9-10	9,50	0,44
	13-14	13,50	0,21
	19-20	19,50	0,13
	25-26	25,50	0,09

6B	0-1	0,50	0,42
	1-2	1,50	0,60
	2-3	2,50	0,51
	5-6	5,50	0,45
	9-10	9,50	0,36
	13-14	13,50	0,25
	19-20	19,50	0,16
	25-26	25,50	0,07