



# VIRKNI INNERSEAL Í BRÚARSTEYPUM Í SJÁVARFALLA UMHVERFI

LOKASKÝRSLA  
31.01.2024



## Efnisyfirlit

<b>1. Tilgangur og markmið</b>	<b>1</b>
<b>2. Bakgrunnur og forsaga</b>	<b>1</b>
<b>3. Framkvæmd og meðhöndlun sýna</b>	<b>2</b>
<b>4. Prófanir á sýnum</b>	<b>2</b>
4.1 NT-Build 492	2
4.2 Sýni í lausnum	4
4.3 Niðurstöður	7
4.4 Samantekt	8
4.5 Heimildir	8

## 1. Tilgangur og markmið

Tilgangur verkefnisins er að kanna virkni efnisins Innerseal í brúarsteypum í sjávarfallaumhverfi. Hér á landi er steinsteypa í sjávarfallaumhverfi undir miklu álagi frá umhverfinu. Veðráttan getur verið mjög umhleyppingasöm og frost/þíðu-skipti því algeng. Auk þess gengur klóríð inn í steypuna sem veldur hættu á tæringu bendistáls.

Innerseal er efni sem hefur verið markaðsett til þess að bera á og þétta yfirborð steinsteypu og draga úr leiðni (e. permeability) steypunnar. Vatn og klóríð eru helstu áhættuvaldar varandi endingu steinsteypu. Með því að þétta yfirborð steinsteypu er dregið úr vatns- og klóríðleiðni inn í steypu. Þar með er viðhaldsfrí ending viðkomandi mannvirkis aukin margfalt.

Rannsóknarspurningarnar sem leitað er svara við í verkefninu eru:

„Hver eru áhrif Innerseal á brúarsteypu með tilliti til klóríðleiðni?“

„Hvaða áhrif hefur Innerseal á klóríðleiðnistuðul brúarsteypu og hver eru áhrifin í árum á svokallað „time to corrosion“.

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. Bakgrunnur og forsaga

Brúarsteypur í sjávarföllum hafa verið töluvert rannskaðar á á undanförunum árum, má þar nefna brýr eins og Borgarfjarðarbrú, Óseyrarbrú, Dýrafjarðarbrú og Kolgrafafjarðarbrú. Í þessum mannvirkjum var klóríðleiðni mæld og tæringarhætta bendistáls meti, auk annara rannsókna (Gísli Guðmundsson, 2017, 2018, 2019). Auk þessa hefur klóríðleiðni verið mæld og tæringarhætta bendistáls metin í brúargólfi í brúm á þjóðveginum milli Borgarfjarðar og Blönduóss (Gísli Guðmundsson, 2005 og 2006). Vegna þessara rannsókna hefur töluverð þekking byggst upp á klóríðleiðni og tæringarhættu á bendistáli í brúarsteypum.

Niðurstöðurnar sýna að klóríð byggist upp með tíma og tæringarhætta bendistáls skapast. Fyrir Dýrafjarðarbrú og Kolgrafafjarðarbrú var niðurstaðan að tæringarhætta skapast eftir rúmlega 30 ár notkun. Þess ber þó að geta að þótt tæringarhætta hafi skapast í mannvirki, líður óákveðinn tími þangað til að tæring bendistáls verði veruleg og grípa þurfi til viðeigandi ráðstafanna.

Eldri rannsóknir hafa sýnt að mögulegt er að hægja á leiðni klóríðs inn í steypu með því að bera mismunandi efni á yfirborð steypu (Gísli Guðmundsson, 2009, 2010 og 2014). Eitt slíkt efni sem gæti hægt á leiðni klóríðs inn í steypu en hefur ekki verið rannskaða hér á landi er Innerseal. Innerseal er flutt inn af GSR ehf. Ef virkni Innerseal er sú sem framleiðendur halda fram má lengja viðhaldsfrían líftíma viðkomandi mannvirkis verulega. Þannig má draga úr viðhaldskostnaði og óþægindum fyrir vegfarendur sem aka um viðkomandi mannvirki.

### 3. Framkvæmd og meðhöndlun sýna

Upphaflega stóð til að sýnagerð og rannsóknarstofuprófanir yrðu gerðar á rannsóknarstofu Tæknisjóðs. Þar sem höfundur þessarar skýrslu færði sig um set frá Háskólanum í Reykjavík með aðstöðu hjá Tæknisetri til Mannvits voru prófanir framkvæmdar hjá Mannviti. Sýnin voru hins vegar útbúin hjá BM Vallá í Reykjavík. Um var að ræða tvær mismunandi steypublöndur, annars vegar C-35 Vegagerðarsteypa og hins vegar C-25 steypa. C-35 Vegagerðarsteypa var með  $400 \text{ kg/m}^3$  sement blandað kísilyki og v/s-hlutfallið var 0,35. Loftmagnið var 7,3 % og þrýstistyrkurinn var um 51 MPa. C-25 steypa var með  $330 \text{ kg/m}^3$  af flugöskusement (StFA sement) og v/s-hlutfallið var 0,40. Loftmagnið var 8,3 % og þrýstistyrkurinn var um 30,4 MPa. Sýnin sem unnið var með voru bæði 10x20 cm og 15x30 cm sívalningar, voru geymd í nokkrar vikur inn á rannsóknarstofu BM Vallá og svo í um tvær vikur í 98 % RH (rakaklefa).

Sýnin sem voru meðhöndluð með Innerseal voru send til GSR ehf þar sem þau voru meðhöndluð samkvæmt leiðbeiningum frá framleiðanda. Efnið var borið á sagað yfirborð sýnanna.

Sýnin sem voru ómeðhöndluð voru geymd inn í rakaklefa á meðan hin sýnin voru meðhöndluð.

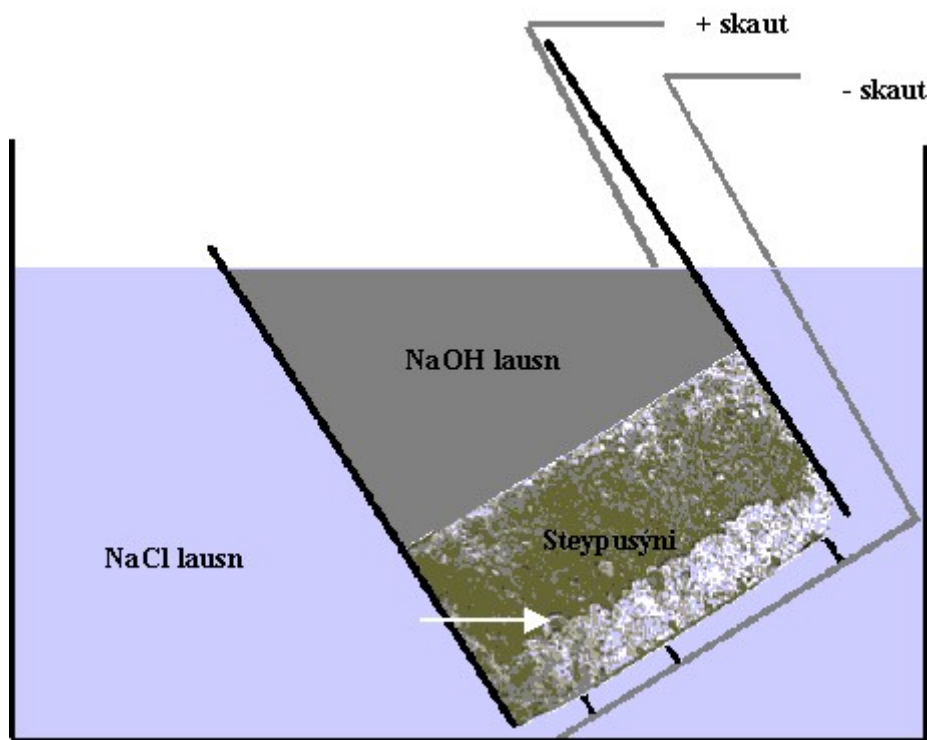
Tilgangur þessa verkefnis var að ákvarða virkni Innerseal á yfirborði steypu gegn leiðni klóríðs inn í steypuna. Klóríðleiðni inn í steypu sem búið var að meðhöndla með Innerseal var borin saman við leiðni klóríðs í sýnum sem voru ekki meðhöndluð með efninu. Tvennskonar prófanir voru gerðar, annars vegar var klóríðleiðnistuðull fundinn samkvæmt NT-Build 492 og hins vegar klóríð látið ganga inn í steypu með því að með því að geyma sýnin í NaCl lausnum og efnagreina styrk klóríðs í sýnunum á mismunandi dýpi.

Lausnirnar sem sýnin sem voru látin standa í voru annars vegar með  $0,035 \text{ kg NaCl/L}$  og hins vegar með  $0,35 \text{ kg NaCl/L}$ . Sjór er með um  $0,035 \text{ kg NaCl/L}$ . Lausnirnar sem voru notaðar í þessari rannsókn eru því annars vegar með sama styrk og sjór og hins vegar með u.þ.b. 10x meiri styrk en sjór með tilliti til styrks NaCl. Markmið með þessari rannsókn er að prófa Innerseal við venjulegar aðstæður, þ.e. í sjó. Þar sem þessi rannsókn stendur aðeins í eitt ár og klóríð gengur tiltölulega hægt inn í steypu var reynt að hraða leiðni klóríðs inn í prófsýnin með því að nota 10x sterkari lausn en sjór.

### 4. Prófanir á sýnum

#### 4.1 NT-Build 492

Leiðnistuðull fyrir klóríð í steypusýnunum var mældur samkvæmt prófunaraðferðinni NT Build 492. Uppsetningin tækisins er sýnd á mynd 1. Í vatnslausn myndar klór mjög jóníska lausn. Þess vegna er styrkur klórs háður spennu umhverfisins. Sem dæmi má nefna að í steinsteypu sogast klórjónir á pósitíft hlaðna fleti eins og t.d. loftbólueggi og binst þar fastar. Með rafstraum er hægt að flytja klór sem klóríðjónir inn í steinsteypu. Út frá niðurstöðunum er hægt að reikna út leiðnistuðul fyrir klór í viðkomandi steypusýni.



**Mynd 1. Uppsetning á NT Build 492 prófun. Á myndinni er einnig sýnt dæmi um niðurstöður úr prófuninni. Spennan á milli skautanna er vanalega á milli 15 til 60 volt og straumurinn er á milli 1 – 10 amp. Örin bendir á klórfrontinn í sýninu sem sýnt er.**

Í þessari prófunun voru prófsýnin 5 cm þykkir sívalningar með 10 cm þvermál. Innerseal var borið á annan enda sýnanna, þeim enda sem klóríð var dregið inn í sýnið. Til viðmiðunar var prófunin framkvæmd á ómeðhöndluðum sýnum.

Niðurstöður úr prófununum eru gefnar í töflu 1. Sýnin voru prófuð þegar þau voru um 90 daga, eitt sýna settið var þó aðeins 62 daga gamalt. Niðurstöðurnar eru á þá vegu að ekki er að sjá að Innerseal hafi áhrif á klóríðleiðni inn í sýnin. Leiðnistuðulinn fyrir C-25 steypuna er nokkuð hærra en fyrir C-35 steypuna.

Þegar NT- Build 492 prófunin er framkvæmd eru sýnin vatnsmettuð áður en að prófunin fer af stað. Mælt var hve mikið vatn hvert sýni tók upp í forprófuninni og eru niðurstöðurnar gefnar í töflu 1 sem  $\text{mg/cm}^2 \cdot 24 \text{ klst}$ . Sama á við um klóríð sem sýnin tóku upp, þyngd þess var mæld sem  $\text{Cl g/klst}$  og mælt hve langt það gekk inn í sýnið, en það er reyndar hluti af prófuninni að mæla hve langt klóríð gengur inn í prófsýnin. Niðurstöður þessara mælinga eru gefnar í töflu 1. Eins og sjá má eru niðurstöðurnar nokkuð breytilegar en ekki er að sjá að sýnin sem voru meðhöndluð með Innerseal séu eitthvað frábrugðin sýnunum sem voru ekki meðhöndluð með Innerseal.

Tafla 1. Niðurstöður úr NT-Build 492 prófunum á sýnum með og án Innerseal. Sérhver mæliniðurstaða byggir á meðaltal þriggja mælinga.

	Aldur, dagar	D, m <sup>2</sup> /sec	log D	Upptaka vatns mg/cm <sup>2</sup> 24 klst	Cl, g/klst	Cl, mm/klst
C-25 án Innerseal	86	7,81E-12	-11,11	4,62	0,08	0,08
C-25 með Innerseal	91	1,04E-11	-10,98	67,81	0,20	0,20
C-35 án Innerseal	93	1,41E-12	-11,85	0,89	0,02	0,02
C-35 með Innerseal	62	1,14E-12	-11,94	2,86	0,02	0,02

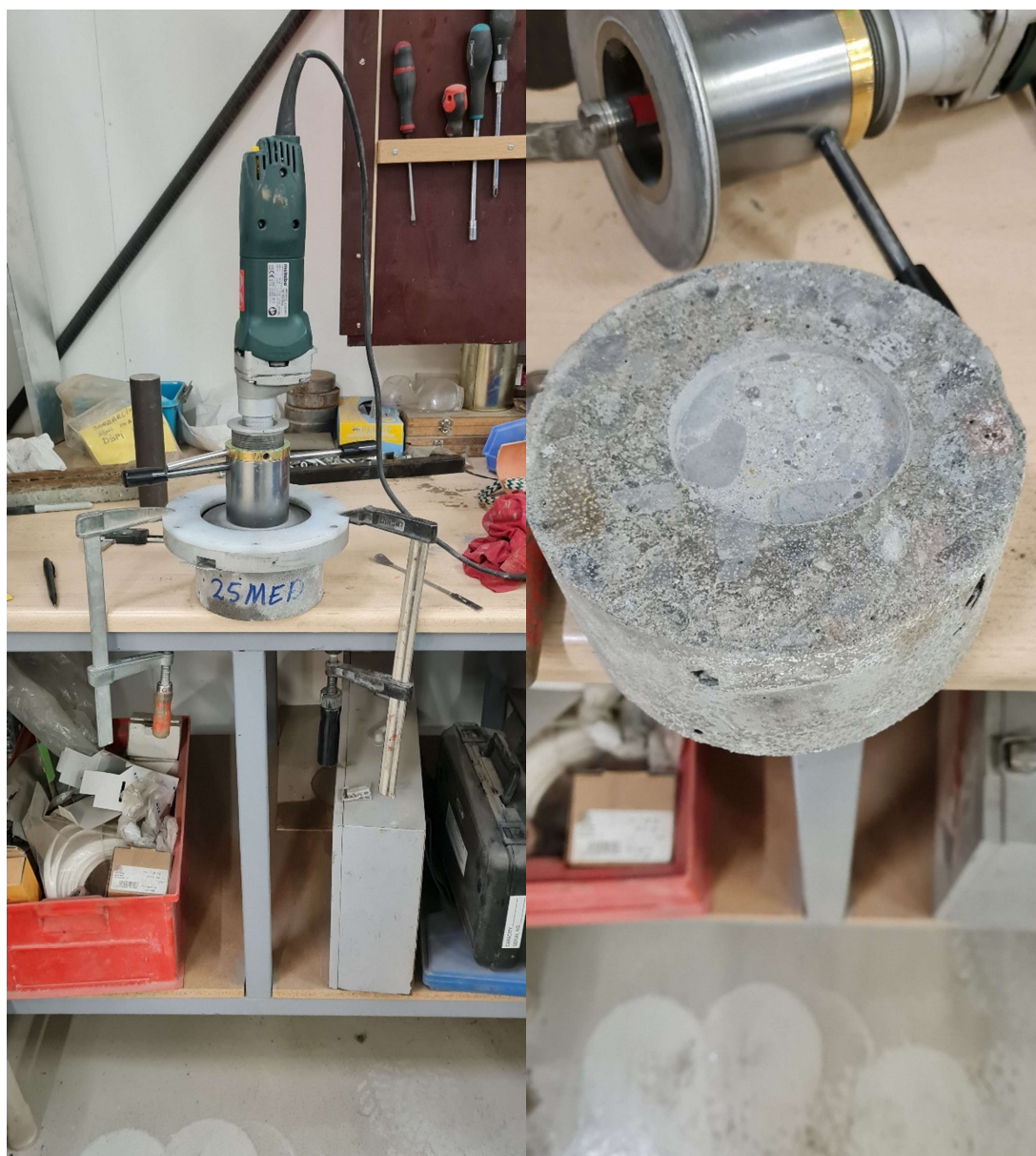
## 4.2 Sýni í lausnum

Sýnin voru söguð niður í um 7,5 cm þykkar sneiðar af 15x30 cm sívalningunum. Eftir meðhöndlun var sýnunum komið fyrir í annars vegar í 0,035 kg NaCl/L lausn og hins vegar í 0,35 kg NaCl/L lausn, sjá mynd 2. Sýnin voru geymd í þessum lausnum í 6 mánuði.



Mynd 1. Sýnum komið fyrir í klóríð 0,035 kg/NaCl lausn.

Sýnin fyrir klóríð greiningarnar voru tekin með svokölluðum. „profile grider“, sjá Mynd 3. Sýnataka gekk þannig fyrir sig að eftir að sýnin (7,5 x 15 cm sneiðar) voru búin að liggja í viðkomandi lausn í tiltekin tíma voru þau möluð niður með demantsbor á völdu dýptarbili. Alls voru 5 til 6 sýni tekin, nokkurn veginn með jöfnu millibili niður á um 6 mm dýpi af sýnunum sem voru þrjú mánuði í báðum lausnunum. Alls voru 6 til 8 sýni tekin nokkurn veginn með jöfnu millibili niður á allt að 20 mm dýpi af sýnunum sem voru sex mánuði í 0,35 kg NaCl/L lausn.



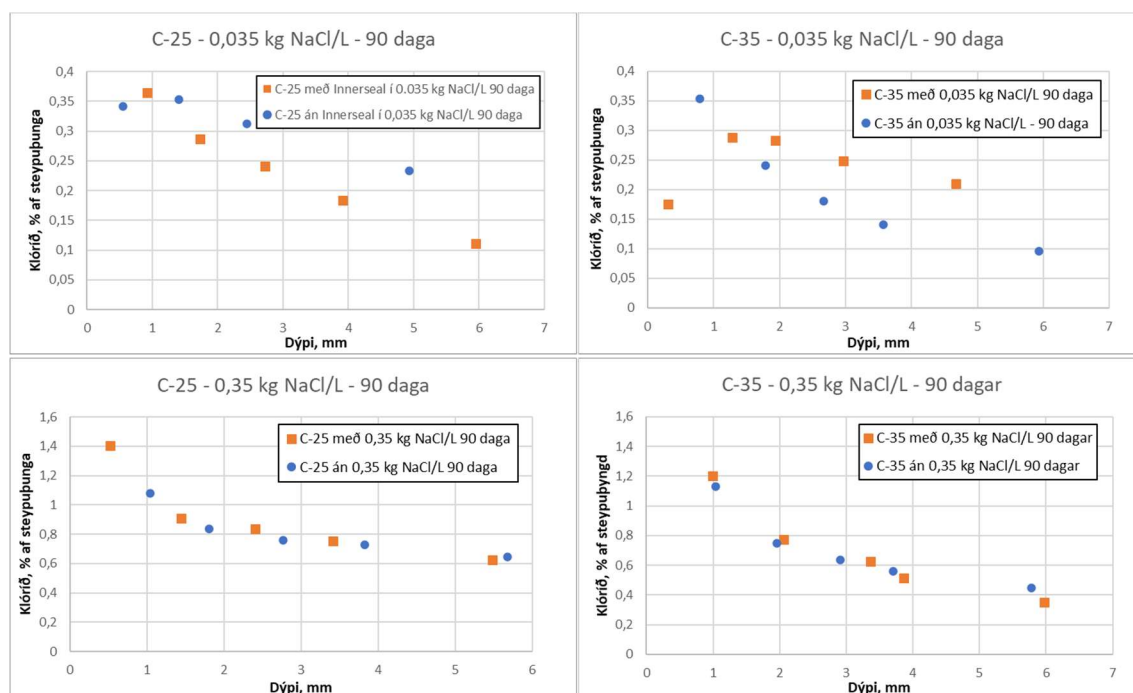
**Mynd 2. Sýnum safnað úr steypu fyrir klóríðgreiningu með s.k. „profile grider“. Á myndinni til vinstri má sjá uppsetningu á sýninu og „profile grinder“ og á myndinni til hægri á sjá ómeðhöndlað yfirborð þar sem búið er að sverfa sýnið niður á um 6 mm dýpi.**

Styrkur klóríðs í sýnunum, sem voru þrjú mánuði í lausnum, var fundinn á dýptarbilinu frá um 0,5 til um 6 mm dýpi. Styrkur klóríðs í sýnunum, sem voru sex mánuði í lausnum, var fundinn á dýptarbilinu frá um 0,1 til um 20 mm dýpi. Styrkur klóríðs var aðeins fundinn í sex mánaða sýnunum sem voru geymd í 0,35 kg NaCl/L lausn.

Niðurstöður klóríðgreininganna í sýnum sem voru þrjú mánuði í lausnum: 0,035 og 0,35 kg NaCl/L lausn eru sýnd á mynd 4. Sýnin voru efnagreind niður á 5 til 6 mm dýpi og voru 4 eða 5 sýni efnagreind af hverri prófsteypu. Fyrir hvert sýni voru tvö sýni efnagreind af einu dýptarbilinu. Eins og sjá má á mynd 3 eru niðurstöðurnar aðeins misvísandi fyrir sýnin sem voru í sjó. C-25 sýnin sem eru með Innerseal voru með aðeins lægra klóríð, meðan C-35

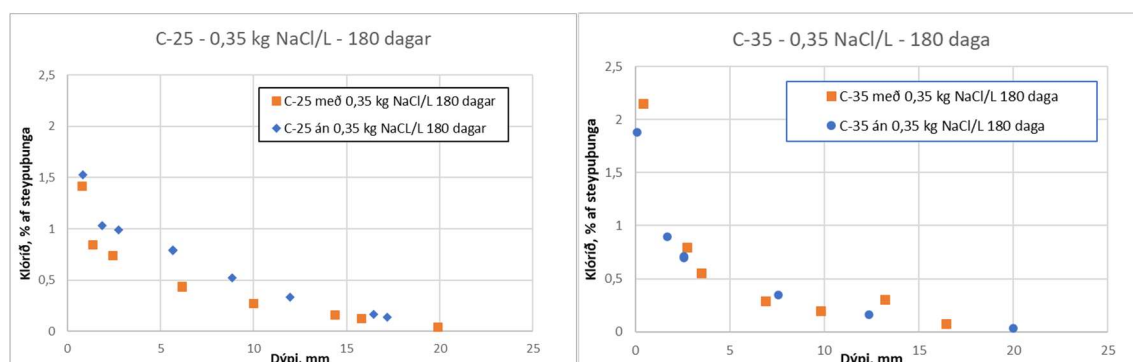


sýnin voru með hærra klóríð. Hins vegar voru sýnin, hvort sem þau voru meðhöndluð eða ómeðhöndluð, og voru geymd í 0,35 kg NaCl/L með mjög svipað klóríð magn.



Mynd 3. Sýni C-25 og C-35 með og án Innerseal eftir að hafa legið í þrjá mánuði í 0,035 og 0,35 kg NaCl/L (ferningur er sýni með Innerseal, hringur án ).

Niðurstöður klóríðgreininganna á sýnum sem voru sex mánuði í 0,35 kg NaCl/kg lausn eru sýnd á mynd 5. Hlutsýni voru tekin með tiltölulega jöfnu bili niður á allt að 20 mm dýpi og voru 6 eða 8 hlutsýni efnagreind af hverju sýni. Fyrir hvert sýni voru tvö hlutsýni efnagreind af einu dýptarbilinu, en fyrir önnur hlutsýni var láti nægja að greina aðeins eitt hlutsýni. Eins og sjá má á mynd 5 eru niðurstöðurnar mjög svipaðar þ.e. að klóríð magnið er svipa í sýnum sem eru með og án Innerseal. Þó er C-25 sýnið með Innerseal með aðeins minna klóríð en C-25 sýnið sem er án Innerseal.



Mynd 4. Sýni C-25 og C-35 með og án Innerseal eftir að hafa legið í sex mánuði í 0,35 kg NaCl/L lausn.

### 4.3 Niðurstöður

Prófanir á C-25 og C-35 steypum sýna að leiðni klóríðs inn í steypu sem var meðhöndluð með Innerseal er svipuð og leiðni klóríðs inn í steypu sem var ekki meðhöndluð með Innerseal. Þessar niðurstöður byggja á ákvörðun á klóríðleiðnistuðli um 90 daga gömlum sýnum og með því að greina styrk klóríðs í sýnum sem voru geymd í 90 og 180 daga í lausnum með 0,035 og 0,35 kg NaCl/L styrk.

Rannsóknarspurningarnar sem settar voru fram í upphafi verks voru:

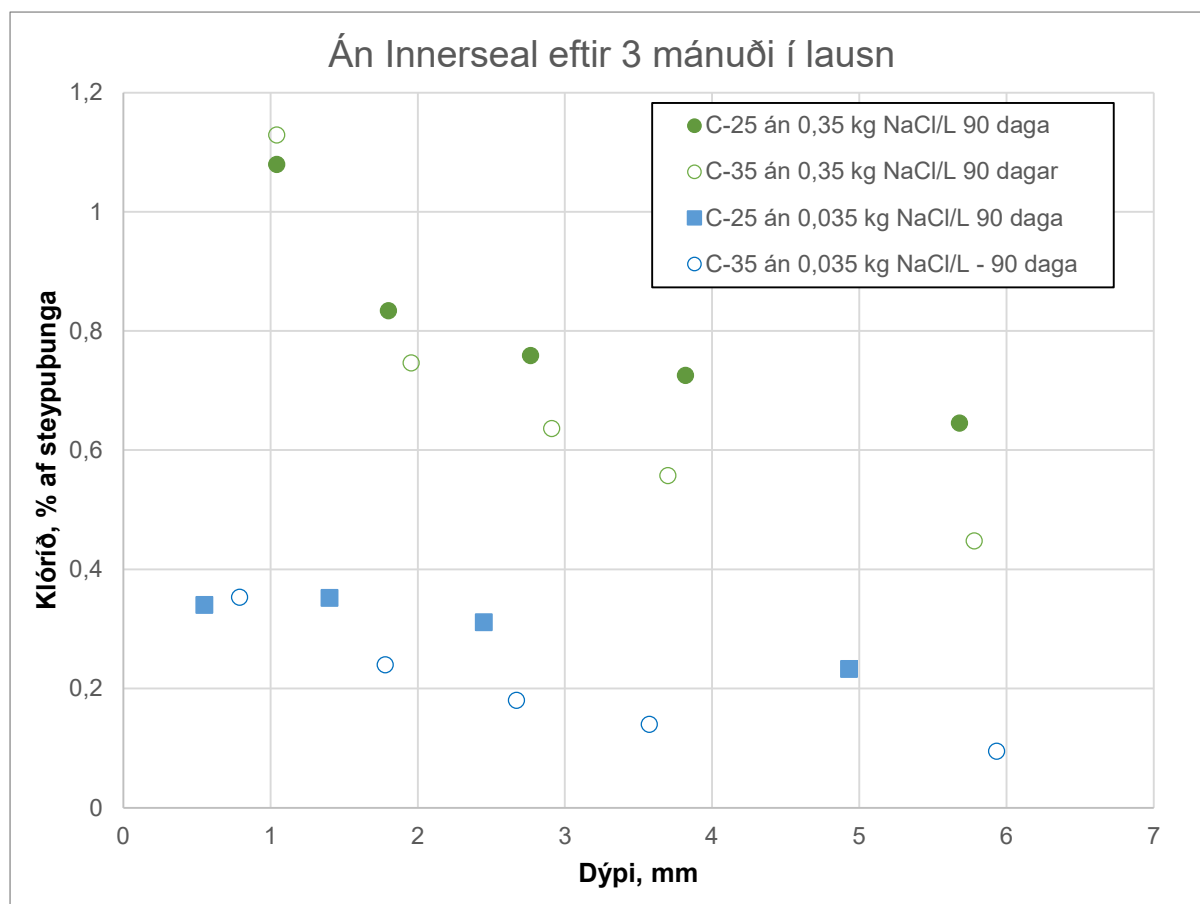
„Hver eru áhrif Innerseal á búarsteypu með tilliti til klóríðleiðni?“

„Hvaða áhrif hefur Innerseal á klóríðleiðnistuðul búarsteypu og hver eru áhrifin í árum á svokallað „time to corrosion“.

Þar sem Innerseal hefur ekki áhrif á klóríðleiðni inn í steypu þá er svarið við fyrri spurningunni það að áhrifin af Innerseal eru engin. Þar af leiðandi hefur Innerseal engin áhrif á klóríðleiðnistuðul og það dregur ekki úr hættu á tæringu bendistáls, þannig að svokallað „time to corrosion“ er óbreytt.

Á mynd 6 má sjá niðurstöður úr prófunum á C-25 og C-35 sýnum sem voru ekki meðhöndluð með Innerseal. Sýnin voru 3 mánuði í 0,035 og 0,35 kg NaCl/lausnum. Eins og sjá má, þá er leiðnin með 0,035 kg NaCl/L töluvert minni en með 0,35 kg NaCl/L. Auk þess sem leiðnin er nokkru meiri inn í C-25 sýnin en C-35 sýnin. Mælingar á klóríðleiðnistuðli á C-25 og C-35 steypunum gefa hærri leiðnistuðul fyrir C-25 steypurnar eins og búast mátti við þar sem sementsmagnið í er minna og v/s-hlutfallið hærra í C-25 steypunum en í C-35 steypunum.

Með því að láta sýnin liggja í 0,35 kg NaCl/L lausn gengur klóríð tiltölulega hratt inn í sýnin miðað við 0,035 kg NaCl/L. Þannig er hægt að hraða leiðni inn í sýnin og fá niðurstöður úr prófunum tiltölulega hratt. Því má segja að með því að láta sýni liggja í 0,35 kg NaCl/L lausn eins og var gert í þessari rannsókn er hægt að fá raunhæfar niðurstöður á klóríðleiðni eftir aðeins 3 mánuði.



Mynd 5. Klóríðleiðni inn í ómeðhöndluð C-25 og C-35 steypusýni eftir þrjú mánuði í 0,035 og 0,35 kg NaCl/L lausnum. Eins og sjá má, þá er leiðnin með 0,035 kg NaCl/L töluvert minni en með 0,35 kg NaCl/L, auk þess sem leiðnin er nokkru meiri inn í C-25 sýnin en C-35 sýnin.

#### 4.4 Samantekt

Niðurstöður prófana sýna að efnið Innerseal hefur ekki mikla virkni gegn leiðni klóríðs inn í steypu. Klóríð gengur jafn hratt inn í sýni sem voru meðhöndluð með Innerseal og sýni sem voru ekki meðhöndluð með Innerseal.

#### 4.5 Heimildir

Gísli Guðmundsson, 2005. Borkjarnar úr brúardekkjum. Hönnun, 7-009-255, 32 bls.

Gísli Guðmundsson, 2006. Eftirspennt brúargólf. Klóríðinnihald í nokkrum steypum búargólfum. Hönnun, HN 2005-090, 7-009-255, 29 bls.

Gísli Guðmundsson, Einar Hafliðason, Rögnvaldur Gunnarsson, 2009. Malbikun á gólf steyptra brúa. Mannvit, MV 2009-009, 7-009-266, 12 bls.

Gísli Guðmundsson, Einar Hafliðason, Rögnvaldur Gunnarsson, 2010. Malbikun á gólf steyptra brúa. Annar áfangi. Mannvit, MV 2010-023, 7-009-266, 12 bls.

---

Gísli Guðmundsson, 2014. Malbikun á gólf steyptra brúa. Þriðji áfangi. Mannvit, MV 2014-023, 7-009-266, 12 bls.

Gísli Guðmundsson, 2017. Steypa í Sjávarfallaumhverfi. Mannvit, MV 2017-015, 63 bls.

Gísli Guðmundsson, 2018. Steypa í Sjávarfallaumhverfi. Mannvit, MV 2019-002, 61 bls.

Gísli Guðmundsson, 2019. Steypa í Sjávarfallaumhverfi. NMÍ, NMÍ 19-03, 31 bls.