



MANNVIT

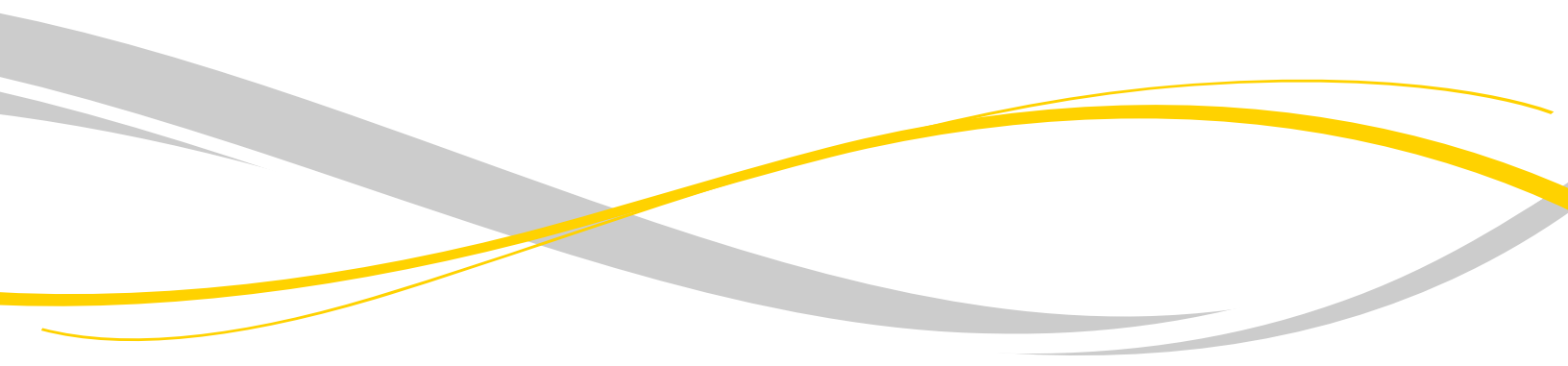
Er hættu á tæringu bendistáls í bílahúsum/kjöllurum?

Íbúðalánasjóður

Lokaskýrsla

Dr. Gísli Guðmundsson og Haraldur Hallsteinsson

2011-10-28





MANNVIT

Grensásvegur 1
108 Reykjavík
Sími: 422 3000
Fax: 422 3001
@: mannvit@mannvit.is
www.mannvit.is

Mannvit Verkfræðistofa

TITILBLAÐ

Skýrsla nr: MV 2011-047	Útgáfunr.: 1	Útgáfudags.: 28.10.2011	Verknúmer: 7-9-291
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Er hætta á tæringu bendistáls í bílahúsum/kjöllurum?			Upplag: 10
			Fjöldi síðna: 14
Höfundur/ar: Gísli Guðmundsson og Haraldur Hallsteinsson			Verkefnisstjóri (undirskr.): <i>Gísli Guðmundsson</i>
			Yfirfarið (undirskr.): <i>Steinþór Steinþórsson</i>
Verkkaupi: Íbúðalánasjóður		Tengiliður verkkaupa: Helga Arngrímsdóttir	
Samstarfsaðilar:			
Útdráttur: Klóríð byggist tiltölulega hratt upp í steiptum gólfum í bílahúsum á Höfuðborgarsvæðinu. Niðurstöður úr þessari rannsókn benda til þess að eftir um 20 ára notkun hefur skapast tæringarhætta í bendistáli í slíkum mannvirkjum og vísbendingar eru um að tæringarhætta geti skapast mun fyrr. Í þessu mati er miðað við að steypuhulan sé almennt 35 mm þykk, ef hún er minni er ástandið mun alvarlegra. Með því að viðhalda þéttu málningalagi á yfirborði virðist vera hægt að draga verulega úr klóríðleiðni inn í steypu og þannig er hægt á tiltölulega einfaldan og ódýran hátt að draga úr ótímabærum kostnaði og þar með að lengja líftíma mannvirkisins.			
Efnisorð: Bílahús, steinsteypa, vegsölt, klóríð, leiðni, bendistál, tæringarhætta			

Dreifing:
 Opin öllum starfsmönnum
(Rafræn í bókasafni)

 Lokuð
(Engin dreifing nema með leyfi verkkaupa.)

Breytingasaga:

1	28-10-2011	Lokaskýrsla	GG	SvSv
Útgáfunr	Dags.	Breyting	Höf.	Yfirfarið

Efnisyfirlit

Inngangur	1
Niðurstöður rannsóknar	4
<i>Bílahús 1</i>	5
<i>Bílahús 2</i>	5
<i>Bílahús 3</i>	6
<i>Bílahús 4</i>	7
<i>Bílahús 5</i>	8
<i>Bílahús 6</i>	9
Ummræða	10
Samantekt	14
Heimildir	14

Myndaskrá

<i>Mynd 1. Dæmi um mælt klóríðmagn í brúargólfi.</i>	2
<i>Mynd 2. Forgangsröðun í söltun gatna í Reykjavík árið 2005 til 2006..</i>	4
<i>Mynd 3. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 1.</i>	5
<i>Mynd 4. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 2.</i>	6
<i>Mynd 5. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 3.</i>	7
<i>Mynd 6. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 4.</i>	8
<i>Mynd 7. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 5.</i>	9
<i>Mynd 8. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 6.</i>	10
<i>Mynd 9. Styrkur klóríðs í sýnum sem tekin eru næst innkeyrslu í viðkomandi mannvirki.....</i>	11
<i>Mynd 10. Klóríðmagn í 2, 5, 10 og 20 ára bílahúsum.</i>	12
<i>Mynd 11. Klóríðmagn í um 10 og 20 ára bílahúsum.</i>	13

Töfluskrá

<i>Tafla 1. Styrkur klóríðs í steypu, ásamt áhættumagni gagnvart tæringu.....</i>	3
---	---

Inngangur

Um miðja síðustu öld var byrjað að nota bendijárn í steinsteypu. Tilgangurinn var og er enn að auka togþol steypunnar. Í dag er venjulegt stál (carbon steel) vanalega notað sem bendistál í steinsteypu. Undir venjulegum kringumstæðum endist járnþent steypa mjög lengi. pH-gildi óskemmdrar steinsteypu er um 12,5 til 13,6. Við þær aðstæður veitir steypan bendijárninu fullkómna vörn gegn tæringu. Alkalímálmur í steypunni sem valda þessu háa pH-gildi, geta undir vissum aðstæðum orðið óstöðugir og myndað efnasambönd við t.d. CO₂. Við það lækkar pH-gildi steypunnar tæringarhætta á bendistáli skapast. Það er síðan háð ýmsum þáttum (bærð eiginleikum steypunnar og ytri aðstæðum, eins og t.d. rakastigi og hitastigi) hve hratt þetta ferli á sér stað og hve ört klóríð berst inn í steypuna að bendijárninu.

Klóríð hefur áhrif á tæringu bendijárns í steypu. Klóríð brýtur niður hina alkalísku vörn steypunnar. Klóríð getur borist inn í steypuna eftir nokkrum leiðum. Klóríð er notað í ýmis efni við steypu gerð, eins og t.d. hörðunar hraðara (t.d. CaCl₂). Það getur einnig borist inn í steypu með fylliefnum, t.d. ef um er að ræða óskolað sjávarefni. Þannig getur klóríð borist inn í steypu með ýmsum hráfefnum, sem notuð eru við gerð hennar, en algengast er þó að klóríð berist inn í steypu frá umhverfinu, t.d. ef mannvirkíð er við sjó, eða með vegsöltum.

Þegar klóríðjónir ganga inn í steypu, byggist klóríð upp í steypunni þannig að styrkur klóríðs er mestur við yfirborðið og styrkurinn minnkar inn í steypuna. Höfuðástæða fyrir leiðni á efni er efnastigull. Einna algengast er að lýsa leiðni klóríðs inn í steypu með því að nota annað lögmál Ficks (Collepardi, 1972):

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

þar sem

$C = C(x,t)$ er styrkur klóríðs á dýpinu x við tíman t

$D_{(x,t)}$ = leiðnistuðull fyrir klór

Með því að skoða leiðni klóríðs fyrir steypu af ákveðnum aldri er hægt að leysa Ficks lögmál á eftirfarandi hátt (Poulsen, 1996):

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

þar sem

C_i = upphafsstyrkur klóríðs í steypu

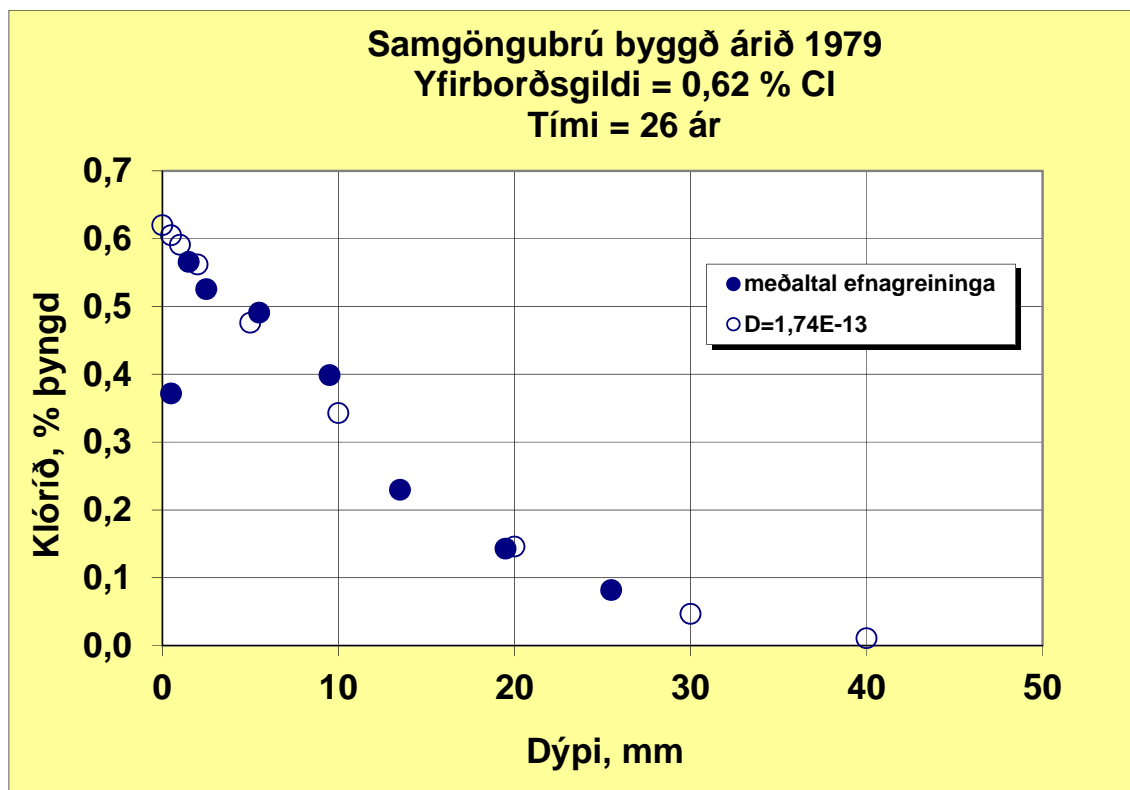
C_{sa} = styrkur klóríðs í yfirborði

x = dýpi

t = aldur steypu

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

Á Mynd 1 má sjá algengt dæmi um niðurstöður efnagreininga og útreiknaðan klóríðprófíl samkvæmt öðru lögmáli Ficks. Eins og sjá má er mældur yfirborðsstyrkur klóríðs tiltölulega lágur, síðan eykst styrkurinn, en minnkar svo með dýpi inn í steypuna.



Mynd 1. Dæmi um mælt klóríðmagn í brúargólfi og útreiknuð gildi samkvæmt öðru lögmáli Ficks, frá Gísli Guðmundssyni, 2005.

Hættumörk fyrir tæringu bendistáls af völdum klóríðs í steypu eru vanalega skilgreind sem hæsta klóríðmagn í þóruvatni í steypu sem veldur ekki tæringu. Vanalega er miðað við styrk klóríðs sem % af sementsmagni í steypu, en einnig er algengt að miðað er við % af steypuþunga, þar sem ekki liggur alltaf fyrir hvert sementsmagnið er. Þegar styrkur klóríðs er kominn yfir hættumörk, getur tæring stáls hafist. Tæring heldur síðan áfram, verð ekki gripið í taumana, með mismiklum hraða allt eftir aðstæðum. Ekki er auðvelt að skilgreina hættumörk, þar sem þau eru háð svo mörgum þáttum. Í töflu 1 er gefin upp styrkur klóríðs í ókolsýrðri steypu og samsvarandi hætta á tæringu, frá Patterson (1996). Þess ber þó að geta að þótt mismunandi sementstegundir hafa mismunandi leiðnistuðul fyrir klóríð, aðallega háð notkun á íaukum eins og t.d. kísilryki, þá virðast hættumörkin ekki endilega vera háð sementstegundinni. Sambandið milli sementstegundar og hættumarka fyrir tæringu af völdum klóríðs virðist vera mjög flókið.

Tafla 1. Styrkur klóríðs í steypu, ásamt áhættumagni gagnvart tæringu, frá Petterson (1996).

Styrkur klóríðs sem % af sementsþunga	Styrkur klóríðs sem % af steypuþunga*	Hætta á tæringu
<0,4	0,05	Mjög lítil
0,4 – 1,0	0,05 – 0,12	Möguleg
1,0 – 2,0	0,12 – 0,24	Sennileg
>2,0	>0,24	Mjög mikil

*miðað við 300 kg/m³ af sementi

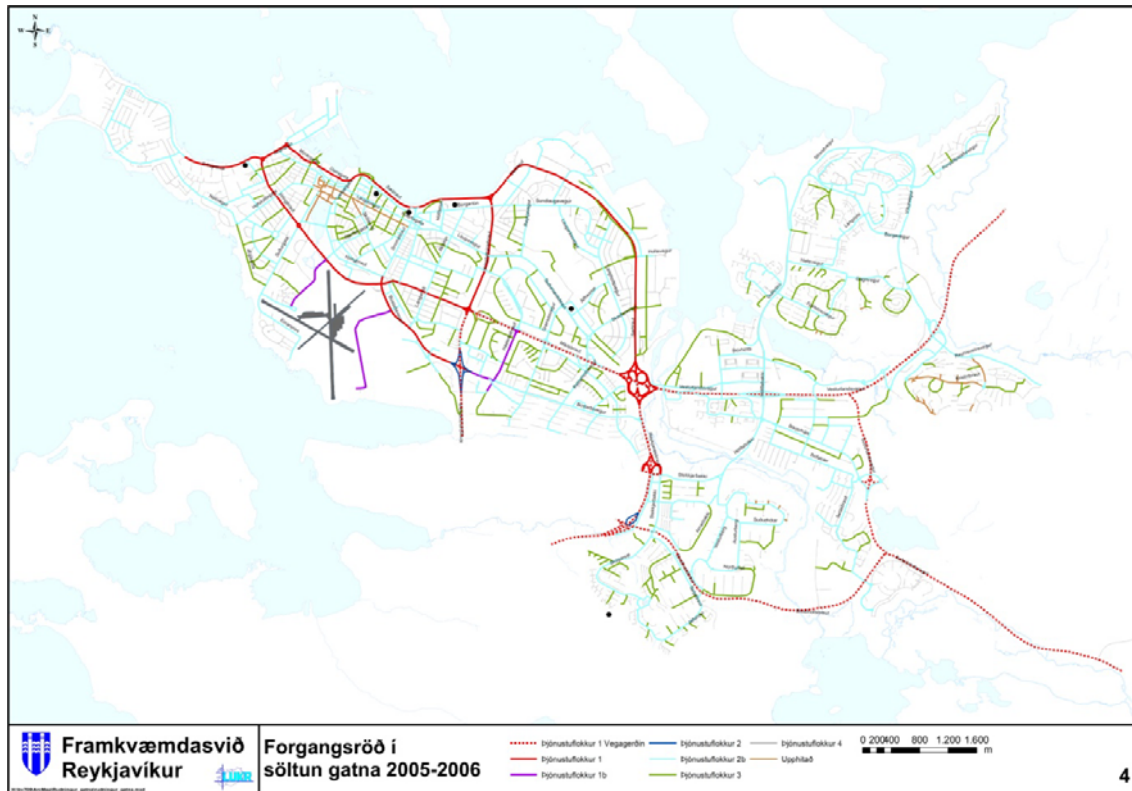
Steypuhula yfir bendijárni virkar sem vörn gegn því að klóríð (eða kolsýring) komist að bendijárninu og því þykkari sem steypuhulan er, því lengri tíma tekur það fyrir utanaðkomandi efni eins og klóríð að komast að bendistálinu.

Jafnframt hefur þykk steypuhula jákvæð áhrif á þætti eins og hitastig og raka í steypunni (míkróklímat), þ.e.hún skapar meiri stöðugleika í steypunni við bendijárnið. Mun minni hætta er á tæringu í steypu með stöðugu ástandi.

V/s-hlutfall steypu hefur áhrif á eiginleika steypu m.t.t. tæringarhættu. Steypa með lágt v/s-hlutfall er mun þéttari í sér en steypa með hátt v/s-hlutfall og því er leiðni klóríðs í steypu mun minni í steypu með lágt v/s-hlutfall. Auk þess sem steypa með tiltölulega lágt v/s-hlutfall hefur mun meiri stöðugleika, þ.e. minni sveiflur í t.d. rakastigi eins og Tuutti (1993) benti á.

Tæring bendistáls er alvarlegt vandamál í steinsteiptum mannvirkjum í dag. Vandamálið er vel þekkt hér á landi, t.d. í Rb-verkefni: "Ástand mannvirkja og viðhaldsþörf" var gerð ástandskönnun á 214 húsum í Reykjavík á tíðni skemmda vegna ryðgunar í járni og viðgerðarkostnaðurinn metinn. Öll hús fyrir 1929 voru tekin saman, síðan hvert 10 ára tímabil til 1989 og að lokum hús sem byggð voru eftir 1990 (Björn Marteinnsson og Benedikt Jónsson, 1997). Tíðni ryðskemmda í yfirborði steypu reyndist nokkuð algeng. Einnig er tæring bendistáls í bílahúsum vel þekkt vandamál, eins og t.d. í Hamraborginni í Kópavogi (Ríkhartur Kristjánsson og Ólafur Hjálmarsson) og í bílastæðinu í Kolaportinu í Reykjavík (Gísli Guðmundsson ofl., 2001).

Á undanförunum áratugum hefur tíðkast að byggja bílakjallara/hús undir og við fjölbýlishús og skrifstofubyggingar. Lítið sem ekkert er vítað um ástand þessara mannvirkja. Markmið og gagnsemi þessa verkefnis er að kanna tæringarhættu bendistáls í slíkum mannvirkjum, út frá klóríðmengun. Með því að gera úttekt á ástandi m.t.t. tæringar fást mikilvægar upplýsingar fyrir eigendur bílahúsa varðandi kostnað við viðhald og fyrirbyggjandi aðgerðir til þessa að draga úr skemmdum og minnka viðhald. Í þessari rannsókn voru sýni tekin úr 6 mannvirkjum sem eru staðsett víðsvegar í Reykjavík og Kópavogi, sjá Mynd 2. Fjögur þessara mannvirkja eru staðsett nálægt samgönguæðum sem eru í mestri forgangsröðun gagnvart söltun og tvö sem eru staðsett þar sem þjónustustigið er lægra.



Mynd 2. Forgangsröðun í söltun gatna í Reykjavík árið 2005 til 2006. Svartir punktar sýna staðsetningu þeirra mannvirkja sem sýni voru tekin úr í þessari rannsókn.

Niðurstöður rannsókna

Sýni voru tekin úr innanhús hluta mannvirkjanna og aðeins úr aksturhluta gólfs, en ekki úr bílastæðum. Sýnin voru boruð með kjarnabor með um 5 cm þvermál. Kjarnarnir voru um 5 cm á lengd, en þó var aldrei borað í gegnum járnalögn. A.m.k. tveir kjarnar voru boraðir á hverjum stað. Á meðan borun stóð var borkrónan kæld með vatni. Þegar búið var að bora í sérhvert gólf, var gert við með viðurkenndu viðgerðarefni og málað yfir, þar sem þess var þörf.

Klóríðmagn í steinsteypusýnum var mælt með því að leysa svarf upp í saltpéturssýru (HNO_3) við 100 °C og lausnin síðan títruð með spennutítrun, þar sem títrað var með 0,1 M AgNO_3 lausn. Svarfið var fengið með því að taka kjarnana, og renna þá niður frá yfirborði og niður á það dýptarbil sem áhugi var fyrir að rannsaka. Með því að gera þetta í rennibekk, er hægt að ná sýnum af um 1 mm dýptarbili. 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. Sýni voru tekin á eftirfarandi dýptarbilum: 0-1, 1-2, 2-3, 4-5, 7-8, 10-11, 14-15 og 19-20 mm dýpi frá yfirborði.

Gengið var út frá því að styrkur klóríðs í ferskri steypu væri enginn, þ.e. C_i í jöfnu (2) væri núll og allt klóríð væri aðkomið.

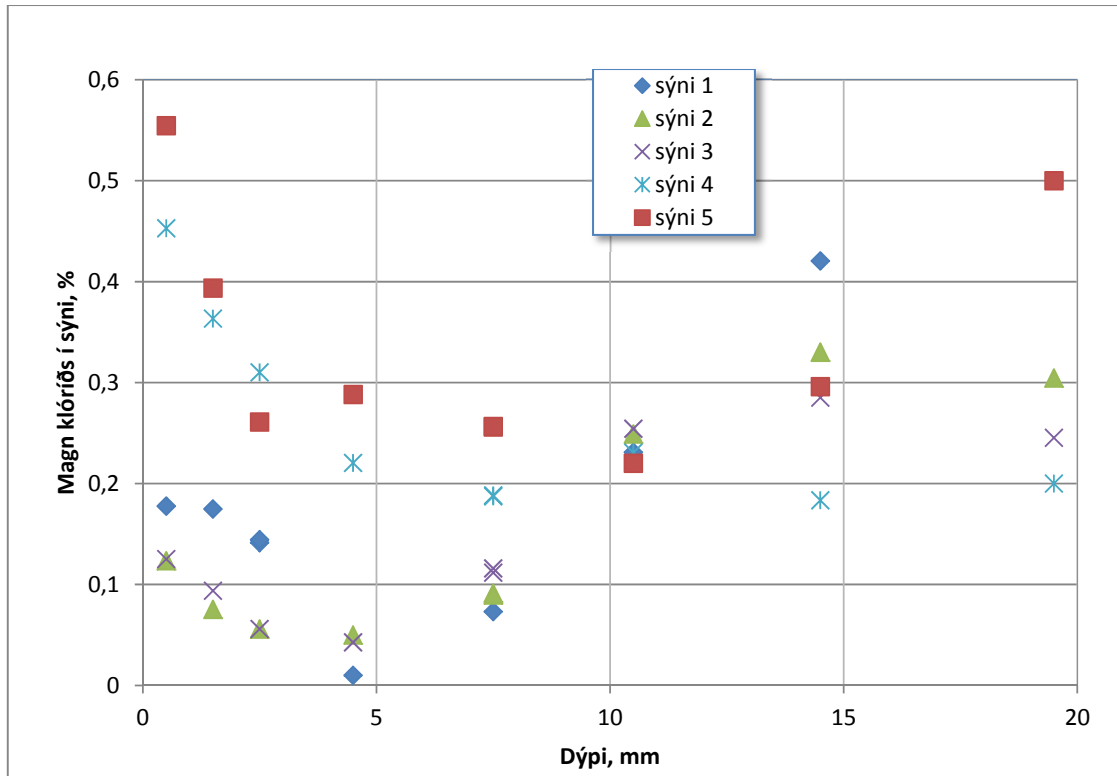
Vanalega var látið næga að gera hverja greiningu einu sinni, að því undanskildu að alltaf var ein greining í hverju sýni endurtekin. Alls voru gerðar 226 klóríðgreiningar í rannsókninni á 25 sýnum.

Sýni voru tekin úr 6 bílahúsum í lok maí 2011. Staðsetning bílahúsanna er ekki gefinn upp í þessari skýrslu umfram staðsetingu á Mynd 1.

Bílahús 1.

Bílahús á einni hæð, alls 54 bílastæði. Tekið í notkun árið 2000 og hefur því verið í notkun í um 11 ár. Glattað yfirborð og ómálað.

Alls voru tekin 5 sýni (hvert sýni er tveir kjarnar). Öll sýnin voru tekin úr miðri akgrein, 1. sýnið við innkeyrsluopið og hin sýnin voru tekin innar húsinu. Niðurstöður úr klóríðgreiningunni eru sýndar á Mynd 3.



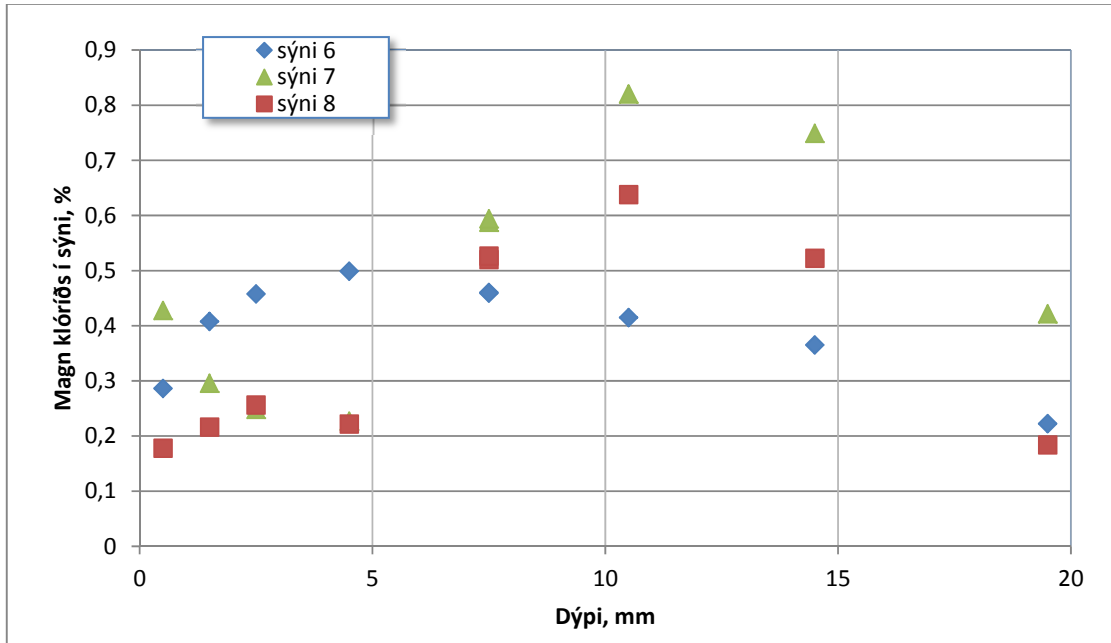
Mynd 3. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 1.

Niðurstöður úr klóríðgreiningunum eru mjög misjafnar og erfitt er að sjá að staðsetning í mannvirkinu hafi áhrif á styrk klóríðs í sýnunum. Klóríðstyrkurinn í yfirborðinu er mis hár í sýnunum, hann er mestur í sýnum 4 og 5 en verulega lægri í sýnum 1, 2 og 3. Síðan lækkar styrkurinn með vaxand dýpi í öllum sýnunum en á um 5 til 10 mm dýpi fer styrkurinn að aukast og eykst í öllum sýnunum niður á 14,5 mm dýpi. Á 19 mm dýpi hefur styrkurinn aukist enn í sýnum 4 og 5 en lækkað í sýnum 2 og 3. Á 19,5 mm dýpi er klóríðstyrkurinn frá 0,2 til 0,5 % af þurrefni. Nauðsynlegt hefði verið að greina styrk klóríðs á meira dýpi en gert var.

Bílahús 2.

Bílaskýi. Skýlið hefur verið í notkun síðan í október 2000, eða í um 11 ár. Mikið notað. Glattað yfirborð, ómálað.

Alls voru tekin 3 sýni (hvert sýni er tveir kjarnar) úr gólfplötu skýlisins. Öll sýnin voru tekin úr miðri akgrein, 1. sýnið (sýni 6) var tekið við innkeyrsluopið, 2. sýnið (sýni 7) var tekið um 28 m frá innkeyrsluopinu og 3. sýnið (8) um 61 m frá innkeyrsluopinu. Niðurstöður úr klóríðgreiningunni eru sýndar á Mynd 4.



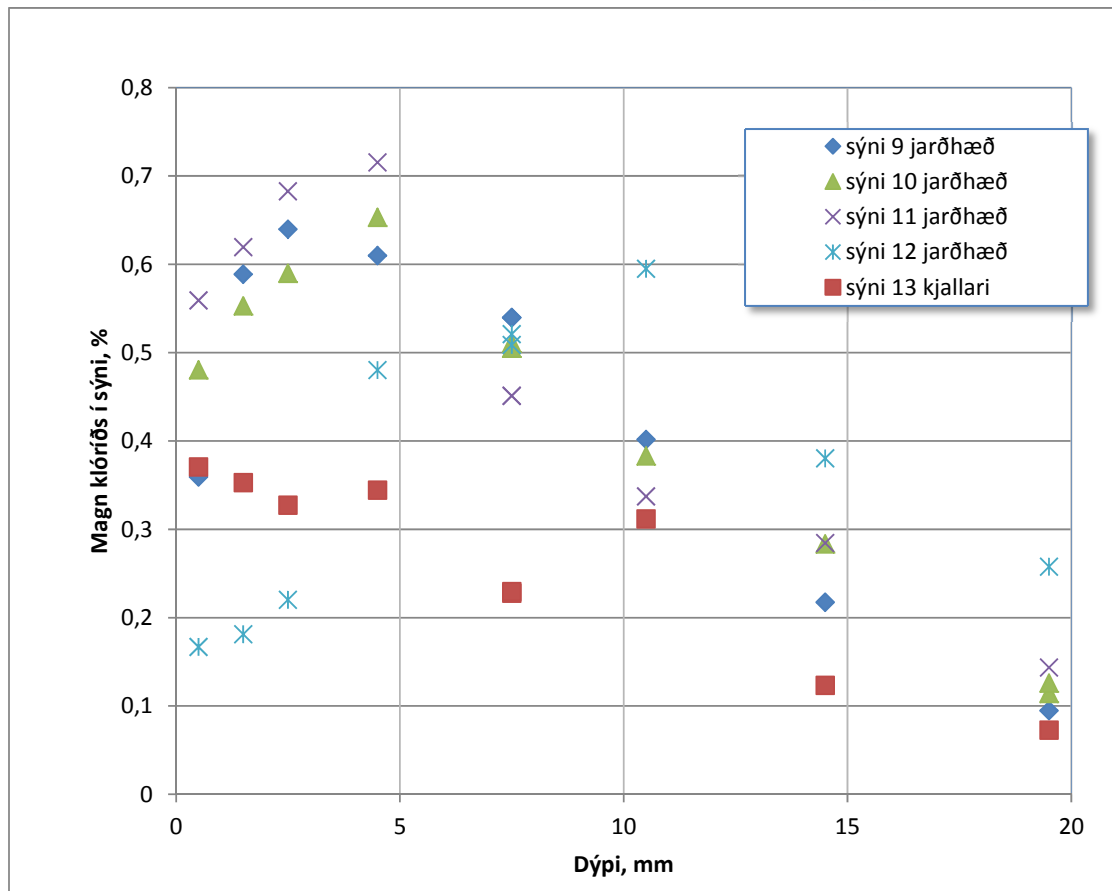
Mynd 4. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahús 2.

Styrkur klóríðs er nokkuð svipaður í öllum sýnunum, en er nokkuð misjafn, sérstaklega í sýni 7. Klóríðstyrkurinn eykst með auknu dýpi niður á um 5 til 10 mm dýpi og eftir það fer styrkurinn minnkandi. Á 19,5 mm dýpi er klóríðstyrkurinn milli 0,2 til 0,4 % af þurrsteypuþunga.

Bílahús 3.

Bílahús á tveimur hæðum. Húsið hefur verið í notkun í um 5 ár. Mikið notað. Glattað yfirborð, ómálað.

Eitt sýni (sýni 13) (tveir kjarnar) var tekið úr gólfplötu á kjallarahæðinni nálægt inn/út keyrslurömpum og 4 sýni (tveir kjarnar hvert sýni) voru tekin úr gólfplötu á jarðhæðinni. Sýni nr. 9 er við innkeyrsluna, sýni 10 og 11 eru við sitthvorn rampann og sýni 12 er tekið við innkeyrsluna. Niðurstöður úr klóríðgreiningunni eru sýndar á Mynd 5.



Mynd 5. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahús 3.

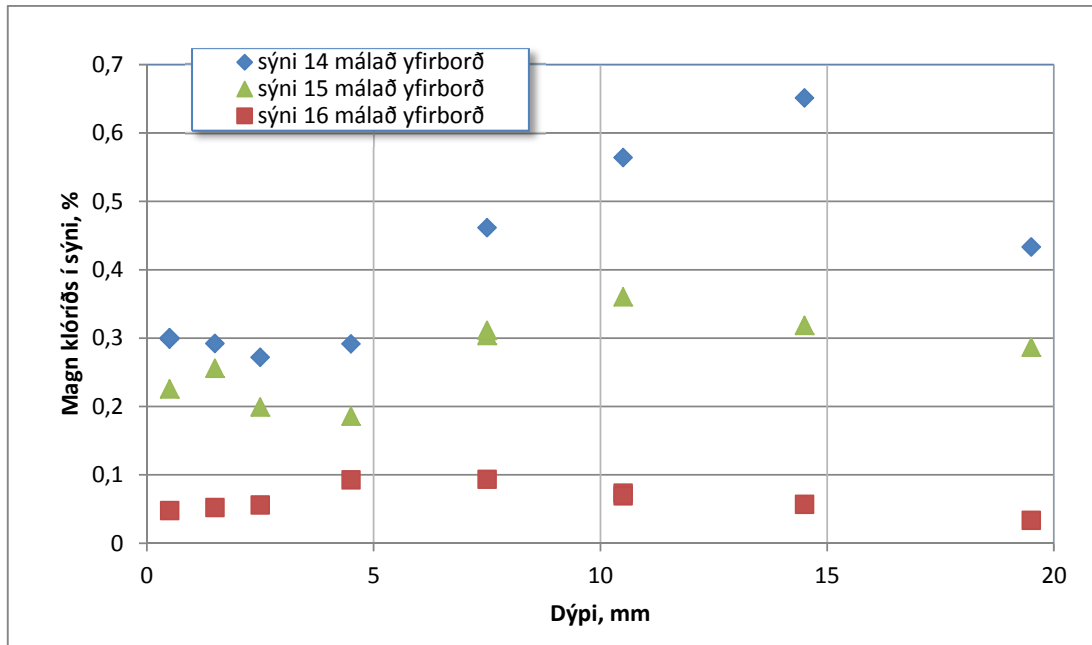
Klóríðstyrkurinn er nokkuð svipaður í sýnunum af jarðhæðinni, ef undan er skilið sýni nr. 12. Klóríð styrkurinn eykst frá yfirborði niður á um 5 mm dýpi, hvar hann byrjar að lækka með vaxandi dýpi. Á 19,5 mm dýpi er klóríðstyrkurinn frá um 0,1 % til um 0,15 % af þurrsteypuþunga nema í sýni nr. 12 þar sem klóríðstyrkurinn er um 0,25 %. Klóríðstyrkur í sýni nr. 5 minnkar frá um 0,4 % niður í um 0,07 % á um 19,5 mm dýpi.

Sýni 13, sem er af kjallarahæðinni er með um 0,4 % klóríð við yfirborð og síðan minnkar styrkur þess nokkuð stöðugt niður á um 19,5 mm dýpi. Í bílahúsi 3 er styrkur klóríðs læstur í sýni 13 og stafar það væntalega af því að bílastæðin á kjallarahæðin eru minna notuð en bílastæðin á efri hæðin eða að klóríðið hefur hreinsast af bílunum á leiðinni niður á kjallarahæðina. Töluvert ósamræmi gæti á milli greininga af 4,5 og 10,5 mm dýpi og hinna 6 greininga sem gerðar voru á sýni 13.

Bílahús 4.

Bílahús á einni hæð, alls 18 bílastæði. Bílahúsið hefur verið í notkun í um 20 ár. Glattað yfirborð og málað.

Alls voru tekin 3 sýni (hvert sýni er tveir kjarnar). Öll sýnin voru tekin við miðlínu akstursbrauta, 1. sýnið (sýni 14) við innkeyrsluopið og hin sýnin (sýni 15 og 16) voru tekin innar í húsinu. Niðurstöður úr klóríðgreiningunni eru sýndar á Mynd 6.



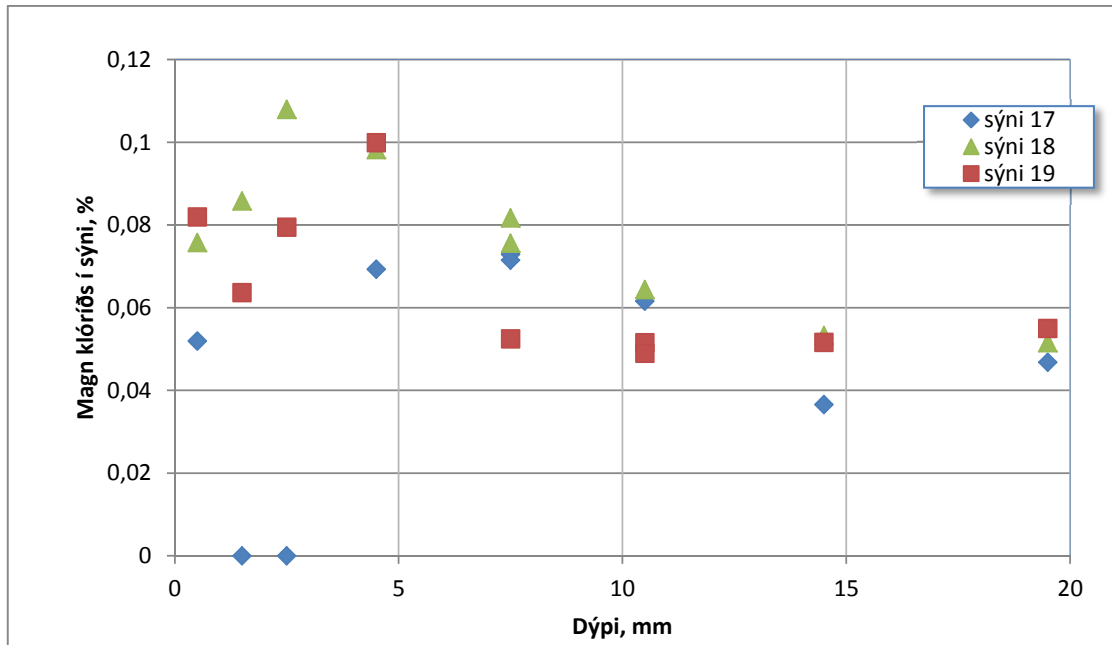
Mynd 6. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 4.

Gólfíð í bílahúsinu er málað, og hefur verið það alla tíð. Ljóst er að málningin hefur veruleg áhrif á klóríðstyrkinn í steypunni. Við innkeyrsluna (sýni 14) þar sem umferðin er mest og væntalega mest slit á málningunni er klóríðstyrkurinn mestur og athygli vekur að hann fer vaxandi allt niður á um 15 mm dýpi en fer þá minnkandi og er 0,43 % á 19,5 mm dýpi. Í sýnum 15 og 16 er klóríðstyrkurinn töluvert minni en í sýni 14, sérstaklega í sýni 16 þar sem styrkurinn er mjög lágur, en í sýni 15 er klóríðstyrkurinn um 0,29 % á 19,5 mm dýpi.

Bílahús 5.

Bílahús á einni hæð. Hefur verið í notkun í tvö ár. Glattað yfirborð og ómálað.

Sameiginlegt bílahús fyrir nokkrar íbúðablokkir. Tiltölulega stórt bílahús, en aðeins afmarkaður hluti hefur verið í notkun, þar sem aðeins fimm íbúðir hafa notað bílahúsið. Alls voru tekin 3 sýni (hvert sýni er tveir kjarnar) úr gólfinu, öll á miðjum akvegi. Sýni 17 var tekið á móts við 1. stæðið, næst innkeyrslu, sýni 18 á móts við 3. stæðið og sýni 19 á móts við 5. stæðið talið inn í húsið frá innkeyrslu eða um 13 m frá innkeyrsluopinu. Niðurstöður úr klóríðgreiningunni eru sýndar á Mynd 7. Tvær greiningar af efri hluta í sýni 17 hafa, á einhvern hátt, misfarist



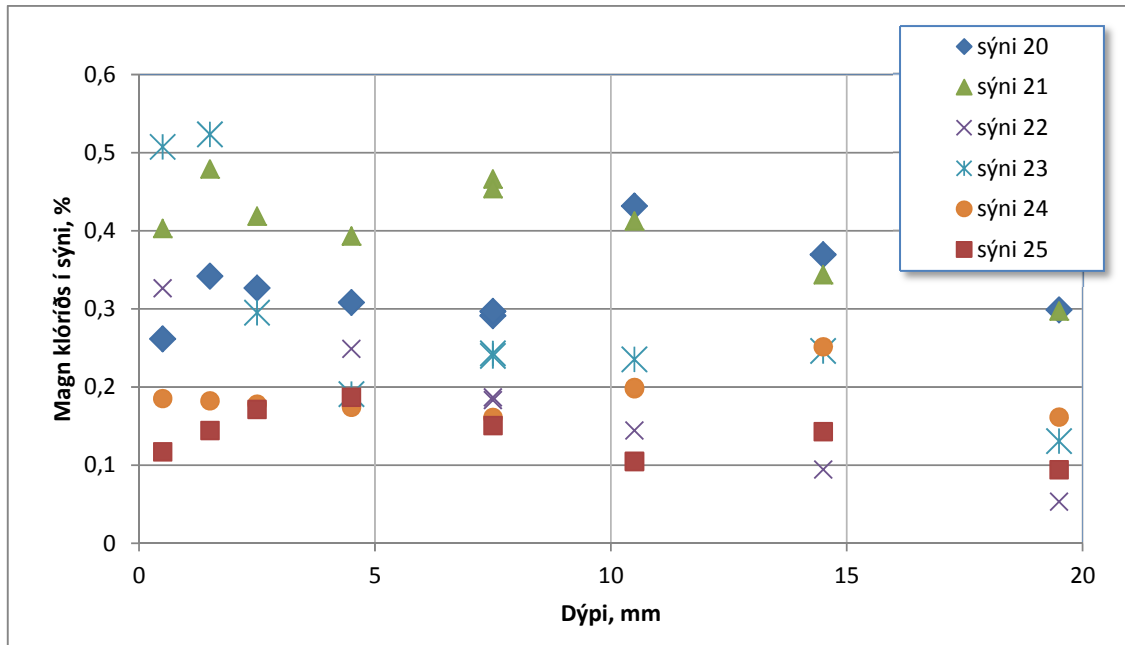
Mynd 7. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 5.

Styrkur klóríðs er mjög svipaður í öllum sýnunum og ekki að sjá að staðsetning í húsinu hafi áhrif á klóríðmagnið í steypunni. Sökum þess hve húsið er lítið notað og hefur verið stuttan tíma í notkun er klóríðstyrkurinn í steypunni mjög lágur og af þeim sökum hefur ekki myndast tæringarhætta á bendistáli í mannvirkinu.

Bílahús 6.

Bílahús á einni hæð, alls er 61 merkt stæði í húsinu. Bílahúsið var byggt árið 1990 og hefur verið í notkun í um 20 ár. Glattað yfirborð, ómálað. Engin flögnun er sjáanleg í steypunni, en steypa er verulega sprungin.

Alls voru tekin 6 sýni (hvert sýni er tveir kjarnar). Öll sýnin voru tekin við miðlínu akstursbrauta, 1. sýnið (sýni 20) við aðal innkeyrsluopið og hin sýnin (21 til 25) voru tekin innar í húsinu, sýni nr. 24 og 25 eru fjærst aðal innkeyrslunni. Niðurstöður úr klóríðgreiningunni eru sýndar á Mynd 8.



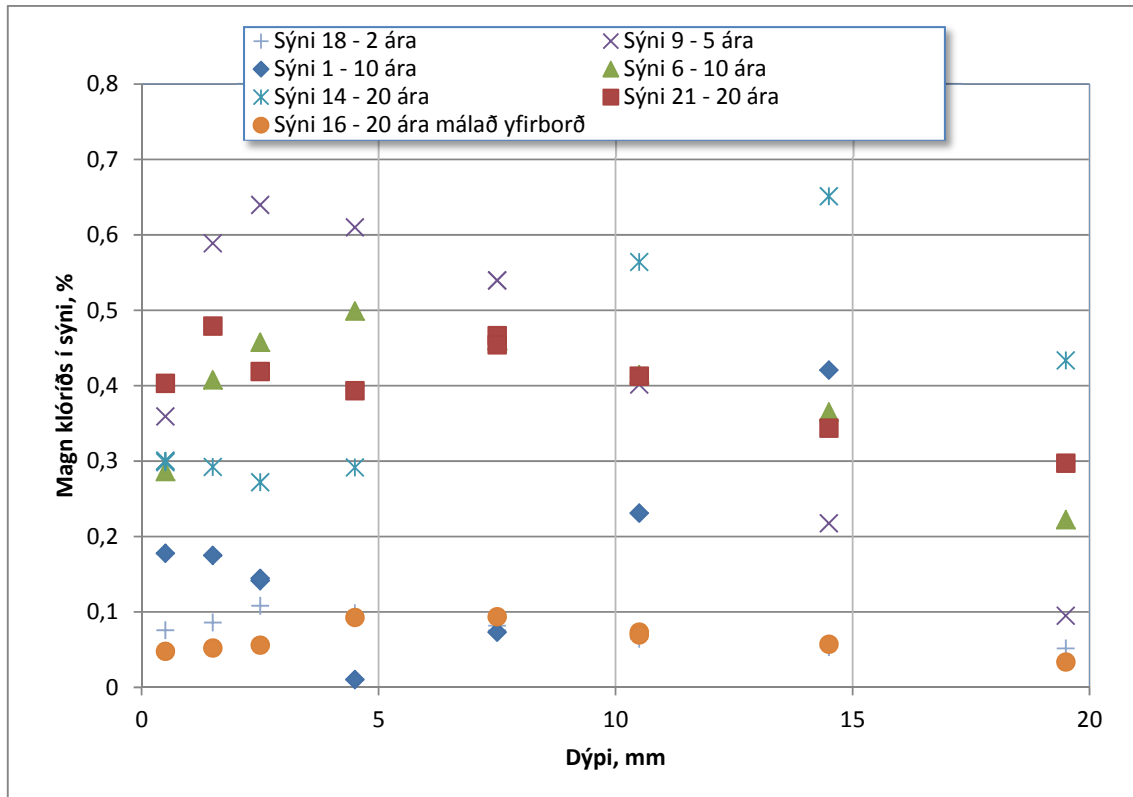
Mynd 8. Niðurstöður úr klóríðgreiningu á sýnum úr bílahúsi 6.

Klóríðstyrkurinn er hæstur í sýnum 20 og 21 sem eru næst aðal innkeyrslunni og verulega lægri í sýnunum sem eru fjær aðal innkeyrslunni.

Ummræða

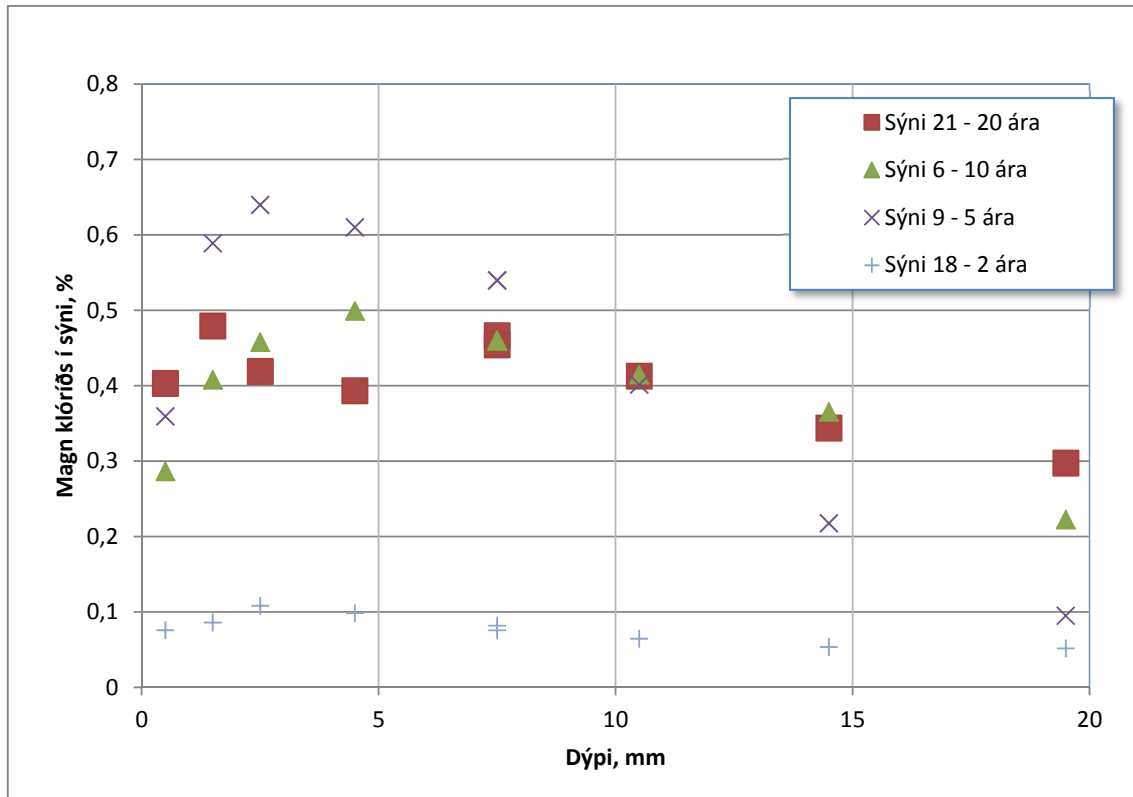
Markmið með verkefninu var að meta tæringarhættu í tiltölulega litlum bílahúsum út frá vegsöltum sem ganga inn í steypu og brjóta niður náttúrulega tæringarvörn steypunnar. Til þess að tæringarhætta út frá klóríðmengun skapist í mannvirki þarf klóríðstyrkurinn að vera meiri en um 0,1 % af steypuþyngd á því dýpi sem bendistálið liggur, sjá töflu 1. Það sem hefur áhrif á hve hratt og hve mikið klóríð safnast fyrir í steiptum einingum bílahúsa er notkun hússins, en bílar bera með sér saltið inn í húsin; staðsetning í bílahúsi; aldur hússins; staðsetning með tilliti til aðalumferðaeða (framboð á vegsalti); gerð og eiginleikar steypu, viðhald hússins og verðurfar.

Á Mynd 9 er sýndur styrkur klóríðs í öllum þeim mannvirkum sem voru rannsökuð. Sýnin voru tekin sem næst innkeyrslu, þar sem búast má við mestum klóríðstyrk. Á Mynd 9 má sjá að á 19,5 mm dýpi er styrkurinn hæstur í elstu steypunni, þ.e. bílahús 4 (sýni 14) og bílahúsi 6 (sýni 21) en þau eru um 20 ára gömu, þar sem hann er frá 0,2 til 0,43 % af steypuþunga. Styrkurinn er næst hæstur í 10 ára steypunni (bílahúsi 2) og svo í 5 ára steypunni (bílahúsi 3) og lægstur er hann í 2 ára steypunni (bílahús 5). Klóríðstyrkurinn í bílahúsi 1 sem er úr 10 ára gamallt var aðeins greint niður á 14,5 mm dýpi er mjög breytilegur, en á 14,5 mm dýpi er styrkurinn um 0,42 % af steypuþyngd. Á 14,5 mm dýpi er styrkur í bílahúsi 2 (10 ára) og bílahúsi 6 (20 ára) svipaður styrknum í sýni 1.



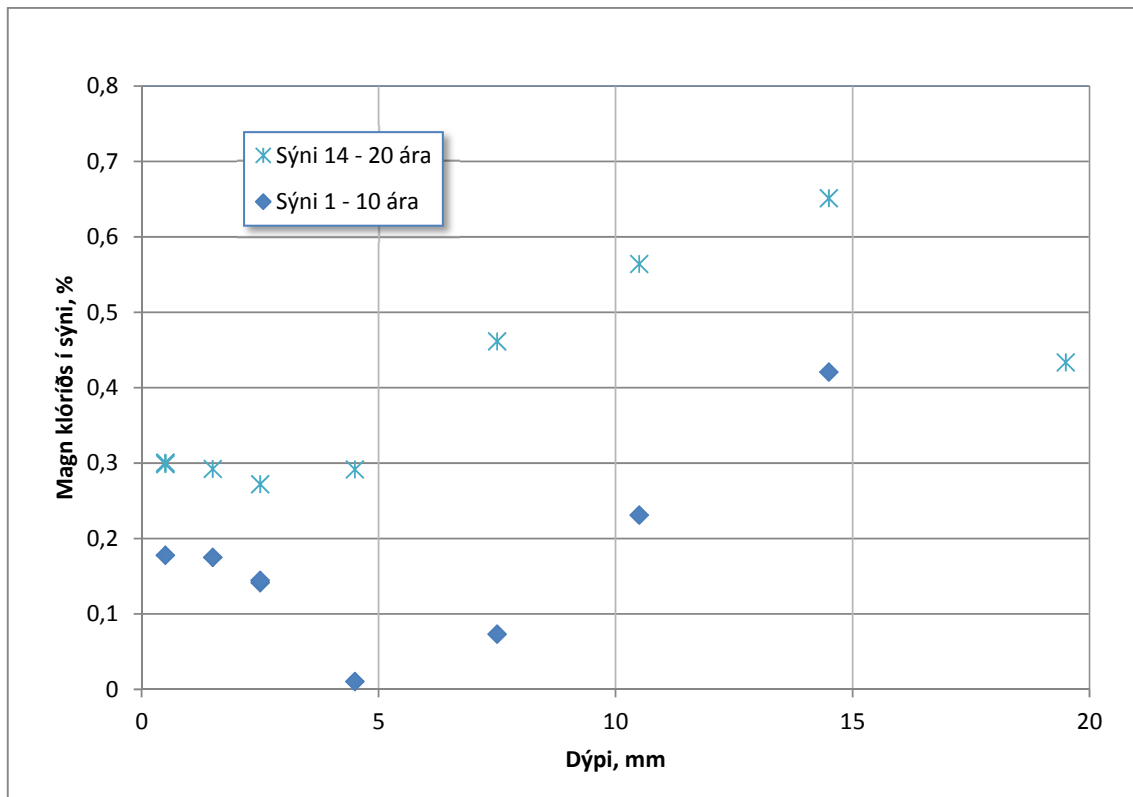
Mynd 9. Styrkur klóríðs í sýnum sem tekin eru næst innkeyrslu í viðkomandi mannvirki. Sýni 16 er tekið innarlega úr bílahúsi, fjarri innkeyrslu.

Á Mynd 10 má sjá klóríðstyrkinn í um 2, 5, 10 og 20 ára bílahúsum. Notkunin er mest og svipuð í 5 og 10 ára húsum, minni í 20 ára og langminnst í 2 ára húsinu. Húsin eru öll staðsett við umferðaeðar með háu þjónustustigi gagnvart söltun, nema 5 ára mannvirkið sem er staðsett við götu með lægra þjónustustig.



Mynd 10. Klóríðmagn í 2, 5, 10 og 20 ára bílahúsum.

Á Mynd 11 má sjá klóríðleiðni, sem mældan klóríðstyrk, í 10 og 20 ára bílahúsum. Um er að ræða tiltölulega lítil mannvirki, engu að síður hefur verulegt magn af klóríð byggst upp í steypunni. Leiðniferlarnir eru frábrugðnir leiðniferlunum á Mynd 10 þannig að styrkurinn minnkar inn í sýnin frá yfirborði niður á um 2,5 til 4,5 mm dýpi, þar sem hann byrjar að aukast niður á um 14,5 mm dýpi þar sem styrkurinn fer aftur lækkandi. Klóríðstyrkurinn í 10 ára sýninu var aðeins efnagreindur niður á 14,5 mm dýpi.



Mynd 11. Klóríðmagn í um 10 og 20 ára bílahúsum.

Klóríðprófilarnir á Mynd 10 og Mynd 11 svipa ekki mikið til hins dæmigerða klóríðprófils í steypu sbr. Mynd 1. Vegna þess hve óreglulegir klóríðprófilarnir eru, er ekki með nægilegu öryggi unnt að ákvarða klóríðleiðnistuðul með öðru lögmáli Ficks fyrir viðkomandi steypu. Þar af leiðandi er erfitt að spá fyrir um hvernig klóríðstyrkurinn eða klóríðprófill steypunnar breytist með tímanum, og því er erfitt að segja til um hvort og hvenær tæringarhætta muni skapast í viðkomandi steypu. Til þess að gera það þarf að greina klóríðstyrkinn á meira dýpi í þessum sýnum og síðan þarf að fylgjast með því hvernig klóríðstyrkurinn byggist upp í mannvirkjunum með tíma. Ástæða fyrir augljósu fráviki frá hinum dæmigerða klóríðprófil er ekki ljós og einnig er ekki ljóst hvaða áhrif frávikið hefur á uppsöfnun klóríðs í steypu. Hins vegar eru frávik frá dæmigerðum klóríðprófil steypu vel þekkt þar sem styrkur klóríðs eykst frá yfirborði inn í steypuna, klóríðstyrkurinn nær hámarki og minnkar síðan með auknu dýpi. Minnkunin frá hámarkinu inn í steypuna fylgir vanalega öðru lögmáli Ficks (Gudmundsson and Antonisdottir, 2003).

Miðað við niðurstöður úr klóríðgreiningum, sjá Mynd 9, má búast við að tæringarhætta hafi skapast a.m.k í bílahúsi því sem sýni 20 og 21 voru tekin úr (eftir 20 ára notkun), þ.e. að klóríðstyrkurinn er líklega meiri en 0,1 % á 35 mm dýpi, en það er algeng þykkt á steypuhulu í dag. Þetta á þó ekki við allan gólfötinn, heldur aðeins umhverfis innkeyrsluna. Á Mynd 8 má sjá að klóríðstyrkurinn í sýnum 22 til 25, sem eru innarlega í mannvirkjun og nokkuð frá innkeyrslunni, er tölvvert lægri en í sýnum 20 og 21, en þau er nálægt innkeyrslunni. Erfiðara er að spá fyrir um tæringarhættu í öðrum mannvirkjum, ítarlegri efnagreininga er þörf. Þó er ljóst að verulegt magn af klóríð hefur byggst upp í bílahúsunum, sem mun valda tæringarvandamálum með tilheyrandi viðhaldskostnaði.

Væntanleg er hægt að yfirfæra þessar niðurstöður á önnur bílahús á Höfuðborgarsvæðinu. Með því að koma í veg fyrir eða draga úr því að klóríð gangi inn í steypu er hægt að koma í veg fyrir verulegan viðhaldskostnað. Einfaldar fyrirbyggjandi aðferðir eins og að viðhalda góðri málningarþekju á yfirborði steypu dregur að líkum verulega úr klóríðupptöku steypu, sjá Mynd 6, sýni 16, en í sýni 16 hefur mjög lítið klóríð gengið inn í steypuna, en steypan er með málað yfirborð.

Samantekt

Klóríð byggist tiltölulega hratt upp í steiptum gólfum í bílahúsum á Höfuðborgarsvæðinu. Niðurstöður úr þessari rannsókn benda til þess að eftir um 20 ára notkun hafi skapast tæringarhætta í bendistáli í slíkum mannvirkjum og vísbendingar eru um að tæringarhætta geti skapast mun fyrr. Í þessu mati er miðað við að steypuhula á bendistáli sé almennt um 35 mm, ef hún er minni er ástandið mun alvarlegra.

Með því að viðhalda þéttu málningalagi á yfirborði virðist vera hægt að draga verulega úr klóríðupptöku steypu og þannig er hægt á tiltölulega einfaldan og ódýran hátt að draga úr ótímabærum kostnaði og þar með lengja líftíma mannvirkisins.

Heimildir

Björn Marteinsson og Benedikt Jónsson (1997). Ástand mannvirkja og viðhaldsþörf. Aðgengi fyrir alla, handbók um umhverfi og byggingar. Skýrsla Rb nr. 97-14.

Collepari, M. et al., (1972). Penetration of chloride ions into cement paste and concrete. American Ceramic Society, 55 bls.

Gísli Guðmundsson, (2005). Eftirspennt brúargólf. Klóríðinnihald í nokkrum steiptum brúargólfum. HN2005-090.

Gísli Guðmundsson, Ríkhartur Kristjánsson, Flosi Ólafsson, Jón Möller, Stefán Haraldsson (2001). Varnir gegn tæringu bendistáls (2001). Skýrsla Rb nr. 01-05.

Gudmundsson, G., Antonsdottir, V., (2003) Chloride diffusion in and out of concrete made with different type binder. RILEM-workshop in Madrid 2002.

Pettersson, K., (1996) Chloride threshold values in reinforced concrete. In: eds.:Sandberg, P., Durability of concrete in saline environment, Cementa AB, 95-105.

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.

Ríkhartur Kristjánsson og Ólafur Hjálmarsson. Klórmengun í bílageymsluhúsum, skýrsla unnin fyrir Borgarverkfræðing árið 1995.

Tuutti, K., (1993) Corrosion of reinforcement in concrete (á sænsku), Proc. Sem. Durability of marine concrete structures. Danish concrete institute, Aalborg Portland, Cementa, Denmark - Sweden, 85-101.