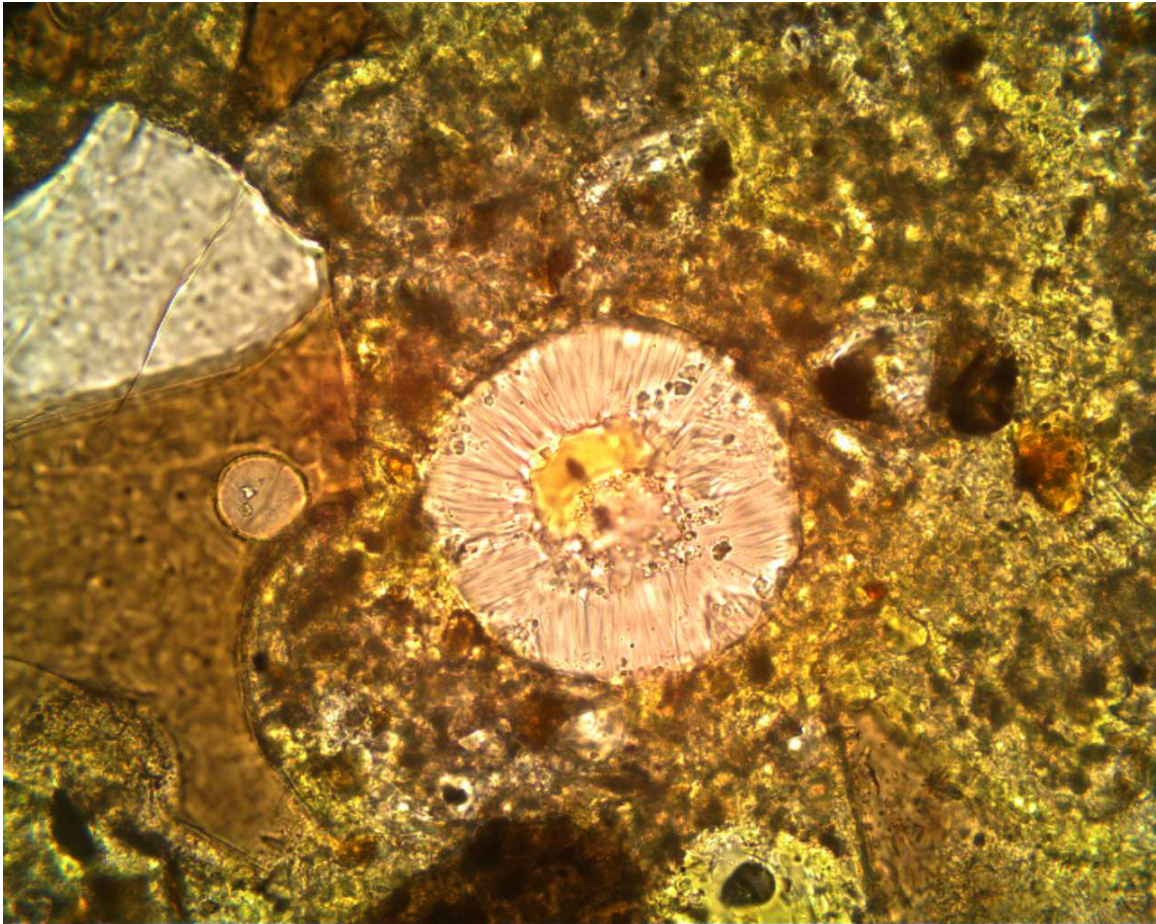


## Virkni XYPEX í íslenskri steinsteypu



REV	DATE	AUTHOR	CHECKED	APPROVED	DESCRIPTION
1	22/09 2005	GG			draft
2	24/11 2005	GG	SvSv		final

<b>Skýrsla nr:</b> HN 2005-081	<b>Útgáfudags.: (mán/ár)</b> 11-2005	<b>Dreifing:</b> Opin x Lokuð
<b>Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill:</b>  <b>Virgni XYPEX í íslenskri steinsteypu</b>		<b>Upplag: 10</b>  <b>Fjöldi síðna: 55</b>
<b>Höfundur/ar:</b>  Gísli Guðmundsson		<b>Verkefnisstjóri:</b> Gísli Guðmundsson  <b>Verknúmer:</b> 7-010-385
<p><b>Útdráttur:</b></p> <p>Helstu niðurstöður þessarar prófunar eru að XYPEX concentrate sé vænlegt til árangurs þegar kemur að viðgerðum á steypu. XYPEX virðist vera mjög virkt við að þetta lekar sprungur og klárlega þéttir efnið einnig yfirborðslag steypu. Við það að þetta yfirborðslag steypu er dregið úr eða komið í veg fyrir allar helstu steypu skemmdir, s.s. frostsKemmdir, alkalívirgni og tæringu bendistáls. Miðað við þessar niðurstöður er XYPEX klárlega góður kostur sem alhliða viðgerðarefni.</p> <p>Niðurstöður úr prófunum með XYPEX admix eru ekki eins augljósar og með XYPEX concentrate, hins vegar virðist efnið þurfa tiltölulega langan tíma til þess að ná upp fullri virgni. Ljóst er að meiri rannsókna er þörf.</p>		
<b>Verkkaupi:</b>  Vegagerðin	<b>Tengiliður verkkaupa:</b>  Hreinn Haraldsson	
<b>Samstarfsaðilar:</b>  Íslenskur Aðall		
<b>Efnisorð:</b>  XYPEX concentrate, XYPEX admix, vatnsleiðni, klórleiðni, ending steinsteypu	<b>ISBN:</b>	
	<b>Undirskrift verkefnisstjóra:</b>	
	<b>Yfirfarið af:</b>	

## Efnisyfirlit

Efnisyfirlit .....	3
Myndaskrá.....	4
Töfluskrá.....	4
Inngangur .....	5
XYPEX concentrate í Breiðbalakvísl og Tungufljóti .....	6
Breiðbalakvísl .....	6
Tungufljót .....	10
Klóríðleiðniþrófanir .....	10
Vatnsleiðniþrófanir .....	14
Smásjárgreining .....	14
Lekaprófanir.....	25
Prófun í rannsóknarstofu.....	25
Vatnstankur Stofnfisks á Reykjanesi .....	33
Prófanir á XYPEX admix .....	35
Ferskvatnstankur Reyðarfirði.....	35
NT Build 492 .....	38
Prófsýni frá BM Vallá og Malarvinnslunni .....	39
NT Build 492 .....	39
NT Build 443 .....	39
Þrýstistyrkur.....	41
Niðurstöður prófana .....	42
Samantekt.....	43
Viðauki I – Vatnsleiðni prófun .....	44
Viðauki II – Grein í Árbók VFÍ/TFÍ 2004 .....	51

## Myndaskrá

Mynd 1. Staðsetning borkjarna í vestari landstöpli .....	7
Mynd 2. Staðsetning borkjarna 11 og 12 í vestari landstöpli. ....	8
Mynd 3. Borkjarni 9 (og einnig kjarni 10) voru boraðir á sprungu. ....	9
Mynd 4. Tveir borkjarnar voru teknir úr Tungnárbrú.....	10
Mynd 5. Uppsetning á NT Build 492 prófun. ....	11
Mynd 6. Útfellingar í holrými í steinsteypu við yfirborð. ....	15
Mynd 7. Úfelling í holrými við yfirborð, hluti af mynd 6 í meiri stækkun. ....	16
Mynd 8. Úfelling í holrými við yfirborð.....	17
Mynd 9. Úfelling í holrými við yfirborð.....	18
Mynd 10. Úfelling í holrými við yfirborð.....	19
Mynd 11. Smásjármynd af yfirborðsprungu í kjarnar 9. ....	20
Mynd 12. Alkalívirkt líparít á um 25 mm dýpi er líparít. ....	21
Mynd 13. Sýni með XYPEX concentrate lagi í yfirborði í steypunni úr Tungná. ....	22
Mynd 14. XYPEXið loðir mjög vel við steypuna.....	23
Mynd 15. Örsprungu sem gengur úr í XYPEX lagið.....	24
Mynd 16. Sýni 2 eftir um 3 sólarhringa var sýnið aðeins yfirborðsblautt. ....	26
Mynd 17. Sýni 3. Töluverður leki var í sýninu.....	27
Mynd 18. Sýni 2 með um 3 mm þykku lagi af XYPEX (down-stream) ....	28
Mynd 19. Sýni 3 með um 3 mm þykku lagi af XYPEX (down-stream) ....	29
Mynd 20. Uppsetning á lektarprófun. ....	30
Mynd 21. Smásjármynd af XYPEX laginu yfir sprungunni.....	31
Mynd 22. Smásjármynd af sprungu í sýni 3. ....	32
Mynd 23. Vatnstankur, sjá má leka í samskeytum milli hurðarops og veggis. ....	33
Mynd 24. Hurðarop á vatnstank eftir meðhöndlun með XYPEX.....	34
Mynd 25. Ferskvatnstankur á Reyðarfirði í byggingu um vorið 2004. ....	36
Mynd 26. Ferskvatnstankur á Reyðarfirði, myndin var tekin 31-3-2005 ....	37
Mynd 27. Leki í ferskvatnstanki í Reyðarfirði, myndin var tekin 31-3-2005.....	38
Mynd 28. Svarf tekið úr steypusýni í rennibekk.....	40
Mynd 29. Niðurstöður úr NT Build 443 prófun. ....	41

## Töfluskrá

Tafla 1. Niðurstöður úr NT Build 492 á sýnum úr Breiðbalakvísl .....	13
Tafla 2. Niðurstöður úr vatnsleiðnimælingu .....	14
Tafla 3. Leki í sýni 3 .....	27
Tafla 4. Niðurstöður úr NT Build 492 – Ferskvatnstankur á Reyðarfirð.....	38
Tafla 5. Niðurstöður úr NT Build 492 – Prófsýni BM Vallá.....	39
Tafla 6. 28 daga þrýstistyrkur með og án XYPEX admix. ....	41
Tafla 7. Samantekt á niðurstöðum prófana á XYPEX.....	43

## **Inngangur**

Viðgerðarefnið XYPEX hefur einstaka virkni miðað við önnur viðgerðarefni sem ætluð eru á steinsteypa fleti. Í stuttu máli þá kristallast efnið í holrými þar sem rakastigið er tiltölulega hátt og þannig þéttist steypan smám saman og á endanum lokar það fyrir leið vatns inn í steypuna, sem leiðir til þess að steypan þornar. Þannig eykst veðrunarþol (frostþol, tæring í bendistáli, alkalívirgni, súlfat skemmdir) steypunnar smám saman.

Engin reynsla er af efninu hér á landi og ekki er að sjá að efnið hafi verið prófað af mikið af hlutlausum rannsóknarstofum í Norður Evrópu, né í Norður Ameríku (svæðum sem við berum okkur við), því er mikilvægt að kanna eiginleika þessa efnis. Mannvirki Vegagerðarinnar bjóða upp á einstakt tækifæri til þess að prófa þetta efni til hlítar.

Mörg viðgerðarefni eru til á markaðnum í dag, ekki er markmið með þessari rannsókn að gera samanburð við önnur efni. Virkni þessa efnis er mjög sérstæð og það er ekkert efni sem hefur sambærilega virkni, þótt árangurinn geti verið sá sami. Slíka samanburðarrannsókn yrði mjög yfirgripsmikil og dýr í framkvæmd, og verður hún að bíða betri tíma.

Verkefnið fjallar um virkni viðgerðarefnisins XYPEX í steiptum mannvirkjum á Íslandi. Efnið hefur einstaka virkni, ekkert annað viðgerðarefni hefur svipaða virkni og XYPEX hefur. XYPEX hefur verið til í rúm 35 ár, en lítið hefur farið fyrir því a.m.k. hér á landi fyrr en nú. Hins vegar notaði Vegagerðin efnið á nokkrar brýr (brúarluta) fyrir um 12 árum síðan (Breiðbalakvísl, Gljúfurá í Borgarfirði, og fleiri). Efnið hefur einnig verið borið á brúarluta (stöpla og/eða bríkur) á síðustu árum. Meðhöndlaða steypa í eldri mannvirkjunum býður því upp á einstakt tækifæri til þess að kanna virkni og endingu XYPEX í mannvirki hér á landi. Markmið með þessari rannsókn er að kanna virkni XYPEX í íslenskri steinsteypu.

## ***XYPEX concentrate í Breiðbalakvísl og Tungufljóti***

Fyrir nokkrum árum notaði Vegagerðin Xypex Concentrate til viðgerðar á nokkrum brúm. Ein þeirra er yfir Breiðbalakvísl austan við Kirkjubæjarklaustur en hún var steypd 1972. Stöplarnir voru meðhöndlaðir með Xypex Concentrate árið 1993 eða fyrir tólf árum. Stöplar brúarinnar yfir Tungufljót (byggt 1966) voru meðhöndlaðir með XYPEX Concentrate árið 2003.

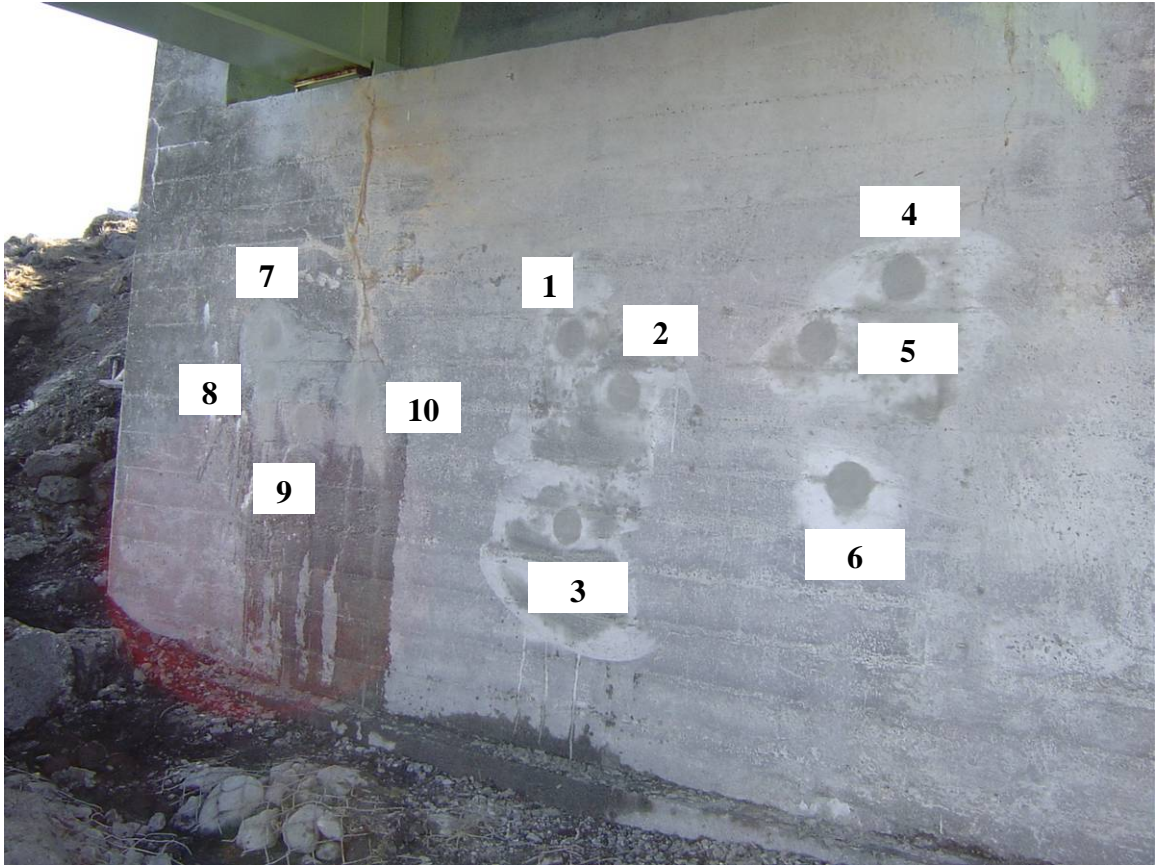
Þann 10-11-2004 og 13-04-2005 voru farnir leiðangrar að brúnum og sýni tekin úr þeim. Í fyrra skiptið voru tekin tiltölulega smá sýni í smásjárskoðun en í seinna skiptið voru kjarnar boraðir úr brúarstöplunum. Sýni úr Breiðbalakvísl voru rannsökuð hjá Hönnun, klórleiðni (klórleiðniþrófun er aðallega notuð til þess að kanna þéttleika steinsteypunnar) og smásjárgreining, einnig var reynt að meta vatnsleiðni í sýnunum. Sýni voru einnig send til frekari rannsóknar í Kanada. Aðeins reyndist unnt að rannsaka sýni úr Tungufljóti í smásjá, steypa reyndist það illa sprungin að kjarnarnir molnuðu niður við borunina.

### **Breiðbalakvísl**

Steypa er s.k. S-250 steypa með áætluðu sementsmagni um  $375 \text{ kg/m}^3$ . Gera má ráð fyrir að 28 daga þrýstistyrkur sé á bilinu frá 25 til 30 Mpa, miðað við 28 daga gömul sýni.

Steypa lítur nokkuð vel út. Nokkrar sprungur sjást í steypunni en líklegar eru þær ekki alvarlegar, sjá smásjárgreiningu á kjarna 9 hér á eftir. XYPEX Concentrate var borið á steypuna fyrir um 12 árum. Ekki er mikið eftir af XYPEXinu í yfirborði steypunnar. Svo virðist að það sé allt meira eða minna veðrað af yfirborðinu. Það er eðlilegt því aðeins er borið tiltölulega þunnt lag á yfirborðið, hinn virki hluti efnisins gegnur inn í steypuna og eftir situr tiltölulega þunnt sementsbundið lag, sem veðrast af með tíma.

Alls voru 12 kjarnar teknir úr vestari landstöplinum, sjá myndir 1 og 2, þar af voru tveir kjarnar teknir á yfirborðssprungum, sjá mynd 3. Ekki reyndist unnt að nota alla kjarnana þar sem bendistál var til staðar í nokkrum kjörnum. Einnig voru tiltölulega stór fylliefnakorn algeng í steypunni, oft svo stór að þau voru tiltölulega stór hluti af þverskurðarflatarmáli sýnanna.



**Mynd 1. Staðsetning borkjarna í vestari landstöpli**





**Mynd 2. Staðsetning borkjarna 11 og 12 í vestari landstöpli.**





**Mynd 3. Borkjarni 9 (og einnig kjarni 10) voru boraðir á sprungu.**

## Tungufljót

Tveir kjarnar voru boraðir úr syðri landstöplinum, sjá mynd 4. Kjarnarnir urðu mjög stuttir. Steypa er mjög léleg, morkin og sprungin. Einnig voru báðir kjarnarni fastir í holunni, það var bindivír í báðum kjörnunum sem olli því að ekki var unnt að ná megninu af kjörnunum úr borholunni.

Þar sem tiltölulega stutt er síðan XYPEX concentrate var borið á yfirborð steypunnar er það enn greinilegt í yfirborði steypunnar eins og sést vel á mynd 4.



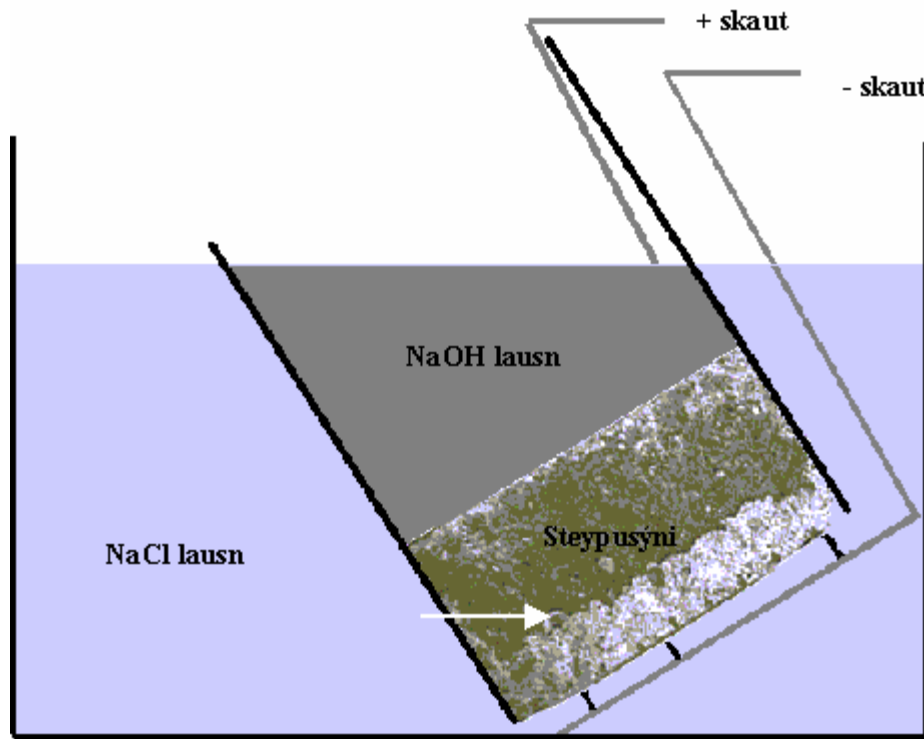
Mynd 4. Tveir borkjarnar voru teknir úr Tungnárbú.

## Klóríðleiðniþrófanir

Leiðni klóríðs inn í steinsteypusýni var mæld með sk. CTH-leiðnitæki<sup>1</sup>. Uppsetning tækisins er sýnd á mynd 5. Í vatnslausn myndar klór mjög jóníska lausn (e. strong ionic solution). Þess vegna er styrkur klórs háður spennu umhverfisins. Sem dæmi má nefna að í steinsteypu sogast klórjónir á póstíft hlaðna fleti eins og t.d. loftbólueggi og bindast þar fastar. Með rafstraum er hægt að flytja klór inn í steinsteypu. Áður nefnt CTH-tæki/aðferð og önnur sambærileg ganga út á að með tiltölulega sterkum rafstraum er hægt

<sup>1</sup> NT Build 492. Rapid Test for determination of chloride diffusivity in concrete

að keyra klór inn í steypu og út frá niðurstöðunum er hægt að reikna út leiðnistuðul fyrir klór í viðkomandi steypusýni.



**Mynd 5. Uppsetning á NT Build 492 prófun.**

Á myndinni er einnig sýnt dæmi um niðurstöður úr prófuninni. Spennan á milli skautanna er 30 volt og straumurinn er á milli 1 – 10 amp. Örin bendir á klórfrontinn í sýninu sem sýnt er. Í því tilviki náði hann um 15,8 mm inn í sýnið eftir um 112,5 tíma prófun. Þetta samsvarar að leiðnistuðullinn sé  $1,52 \cdot 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/sek.

Leiðnistuðullinn er fundinn á eftirfarandi hátt:

$$D_{CTH} = (RT/zFE) * ((X_d - \alpha \sqrt{X_d})/t) \quad (1)$$

þar sem

$$E = (U-2)/L \quad (2)$$

og

$$\alpha = 2 \sqrt{(RT/zFE) * \text{erf}^{-1}(1 - (2C_d/C_0))} \quad (3)$$

Í þessum jöfnum er

$D_{CTH}$  = leiðnistuðull (m<sup>2</sup>/s)

z = hleðsla jóna



$F = \text{Faradayfastinn, } F = 9,648 \cdot 10^4 \text{ (J/Vmol)}$   
 $U = \text{heildarspenna (volt). Í CTH prófuninni er heildarspennan 30 volt}$   
 $R = \text{gasfastinn, } R = 8,314 \text{ (J/Kmol)}$   
 $T = \text{meðalhitastig (K)}$   
 $L = \text{þykkt sýnis (m). Í CTH prófuninni er sýnaþykktin um 50 mm}$   
 $X_d = \text{meðal dýpt klórs inn í sýnið (m)}$   
 $t = \text{lengd mælingar (sekúndur)}$   
 $\text{erf}^{-1} = \text{einn á móti error falli. Í CTH prófuninni er erf}^{-1} = 1,28$   
 $C_d = \text{styrkur klórs við litarbreytinguna (} C_d \approx 0,07 \text{ fyrir venjulega steypu)}$   
 $C_0 = \text{styrkur klórs í vökva}$

Jöfnu 1 er hægt að draga saman á eftirfarandi form:

$$D_{\text{CTH}} = \{[0,0239 \cdot L \cdot (273+T)/(U-2) \cdot t] \cdot [X_d - 0,0238 \cdot \sqrt{L \cdot X_d \cdot (273+T)/(U-2)}]\} \quad (4)$$

þar sem

$D_{\text{CTH}} = \text{leiðnistuðull} \cdot 10^{-12} \text{ (m}^2\text{/s)}$   
 $U = \text{heildarspenna (V)}$   
 $T = \text{meðalhitastig (}^\circ\text{C)}$   
 $L = \text{þykkt sýnis (mm)}$   
 $X_d = \text{meðal dýpt klórs inn í sýnið (mm)}$   
 $t = \text{lengd mælingar (klst)}$

Prófsýni eru sneiðar úr sívalning með 10 cm þvermál og um 5 cm þykkt. Fyrir prófun er sýnið þurrkað í lofttæmi í um 3 tíma og síðan er  $\text{Ca(OH)}_2$ -mettaðri lausn dælt yfir sýnið. Það er látið liggja um 18 tíma í lausninni, einnig undir lofttæmi. Þetta er gert til að tryggja að rakastig sýna sé svipað þegar þau eru prófuð og því hægt að bera niðurstöðurnar saman við mismunandi steypublöndur

Við prófunina er 30 volta spenna sett á sýnið. 30 volt er hæfilega mikil spenna til þess að yfirvega staðbundna spennu í steypunni. Spennan er ekki það mikil að hún hafi mikla hættu í för með sér fyrir rannsóknarmanninn eða valdi hitabreytingum í sýninu. Tímalengd prófunar fer eftir sýninu, þ.e. hve mikinn straum sýnið dregur. Ef sýnið er þétt þá þarf að keyra prófunina nokkuð lengi, allt að um 200 klukkutímum. Ef sýnið er gropið þá getur prófunin tekið mjög stuttan tíma, aðeins nokkra klukkustunda keyrsla getur verið nóg.

Að prófun lokinni er sýnið brotið í tvenn, hornrétt á klórflötinn, samsíða straumstefnunni. Silfurnítratlaun (1N) er úðað yfir brotflötinn. Þar sem styrkur klórs er meiri en 0,07 N myndar silfur efnasamband við klórið ( $\text{AgCl}_2$ ) og fyrir vikið verður það silfurlitað. Þar sem styrkur klór er minni en 0,07 N verður sýnið brúnleitt. Þannig myndast skörp skil í sýninu, sem sýna glögglega hve langt klór náði að ganga inn í sýnið. Á mynd 5 er sýnt eitt dæmi um niðurstöður úr einni prófun. Lengd hverrar prófunar miðast við að þykkt klórlagsins sé helst meiri en 10 mm.

Klórleiðni í kjörnum 2, 3, 4 og 12 var mæld samkvæmt NT Build 492 prófunaraðferðinni. Fyrst var sagað um 1 cm þykk sneið af yfirborði kjarnans og síðan var kjarninn sagaður niður í þrjár sneiðar, hver sneið var um 5 cm þykk. Í prófununum var klór látið ganga inn

Í þá hlið sem snéri að yfirborði. Þar sem XYPEX concentrate var borið á yfirborð sýnisins má búast við að yfirborðið eigi að vera eitthvað þéttara en steypa sem er innar. Með því að saga yfirborðslagið af sérhverjum kjarna er hægt að bera niðurstöðurnar saman þar sem sagað yfirborð er í öllum tilvikum prófað. Hins vegar má segja að það sé ákveðin áhætta fólgin því að saga um 1 cm þykkt yfirborðslagið af kjarnanum, vegna þess að þar er væntanlega mest af XYPEX í steypunni og ekki er fullvíst að XYPEX gangi jafn hratt inn í steypuna. Raki (leki) stjórnar því að mestu hvar XYPEX gegnur inn í steypuna, þannig að þar sem steypa er tiltölulega gropin eða sprungin gengur XYPEX tiltölulega langt inn í steypuna, en þar sem steypa er þétt gegnur XYPEX mun minna inn í steypuna.

Í töflu 1 eru niðurstöður úr NT Build 492 prófunum.

**Tafla 1. Niðurstöður úr NT Build 492 á sýnum úr Breiðbalakvísl**

	<b>próftími (klst.)</b>	<b>Þykkt klórlags (mm)</b>	<b>Klórleiðnistuðull (m<sup>2</sup>/sek.)</b>
<b>Kjarni 2</b>			
yfirborð, 1 - 6 cm	74,98	10,1	1,41*10 <sup>-12</sup>
6 - 11 cm	74,98	12,2	1,73*10 <sup>-12</sup>
11 - 16 cm	74,98	12,0	1,69*10 <sup>-12</sup>
<b>Kjarni 4</b>			
yfirborð, 1 - 6 cm	mæling misfórust vegna bendistáls í sneið		
6 - 11 cm	48,2	21,6	4,82*10 <sup>-12</sup>
11 - 16 cm	48,2	12,0	2,59*10 <sup>-12</sup>
<b>Kjarni 12</b>			
yfirborð, 1 - 6 cm	45,4	8,6	1,88*10 <sup>-12</sup>
6 - 11 cm	45,4	9,8	2,20*10 <sup>-12</sup>
11 - 16 cm	45,4	9,5	2,08*10 <sup>-12</sup>

Eins og sjá má í töflu 1 er klórleiðnistuðullinn hlutfallslega lægstur í 1-6 cm sneiðinni í kjörnum 2 og 12, í 6-11 cm og 11-16 cm sneiðum er klórleiðnistuðullinn aðeins hærri. Miðað við klórleiðnistuðla í kjörnum 2 og 12, þá er klórleiðnin um 15 % minni í yfirborðslaginu en í lögnum tveimur sem eru fjær yfirborði steypunnar. Ekki er óeðlilegt að álíta að minni klórleiðni stafi af því að sýnið er þéttara, sem gæti stafað af því að XYPEX hafi þétt yfirborðslagið (eða: aukið þéttleika yfirborðslagsins).

Klórleiðnina má einnig meta með því að skoða hve langt klór gengur inn í sýnið. Í sýni 2 gekk klór um 10 mm inn í yfirborðslagið (sýni 1-6 cm), en um 12 mm inn í sýnin frá 6-11 cm og 11-16 cm, allt á sömu tímalengdinni (74,98 klst.). Í sýni 12 gekk klór um 8,6 mm inn í yfirborðslagið (sýni 1-6 cm), en öðrum sneiðunum um 9,6 mm, allt á sömu tímalengdinni (45,4 klst.).

Mælingar á kjarna 3 misfórust vegna þess að steypa var tiltölulega illa pökkuð og stór fylliefni voru til staðar í steypunni. Mælingar á sneið 1-6 í kjarna 4 misfórust einnig, vegna þess að bendistál var til staðar í sneiðinni. Bendistál, sem og tiltölulega stór



fylliefnakorn sem náðu í gegnum sneiðarnar höfðu áhrif á mælingar á kjarna 12, en þó tókst að ljúka prófuninni.

## Vatnsleiðniþrófanir

Þrjár kjarnar, nr. 1, 7 og 11 voru sendir til XYPEX í Vancouver í Kanada. Vatnsleiðni var mæld af kanadískri rannsóknarstofu og er skýrsla, ásamt verklýsingu, þeirra birt í heild í viðauka I.

Mælingarnar voru framkvæmdar á svipaðan hátt og NT Build 492 mælingarnar. Kjarnarnir voru sagaðir niður í um 5 cm sneiðar og um 1 cm þykkt lag var sagað af yfirborðinu.

Ekki tókst að framkvæma mælingar á öllum kjörnunum, en í töflu 2 eru gefnar þær niðurstöður sem fengust úr mælingunum. Ljóst er að vatnsleiðnin er minnst efst í sýnunum og hún eykst eftir því sem neðar dregur. Ekki er óeðlilegt að álíta að minni vatnsleiðni stafi af því að sýnið er þéttara í yfirborðinu, sem gæti stafað af því að XYPEX hafi þétt yfirborðslagið (eða: aukið þéttleika yfirborðslagsins). Neðar í sýnunum þar sem XYPEX gætir ekki eru sýnin opnari og vatnsleiðnin meiri.

**Tafla 2. Niðurstöður úr vatnsleiðnimælingu**

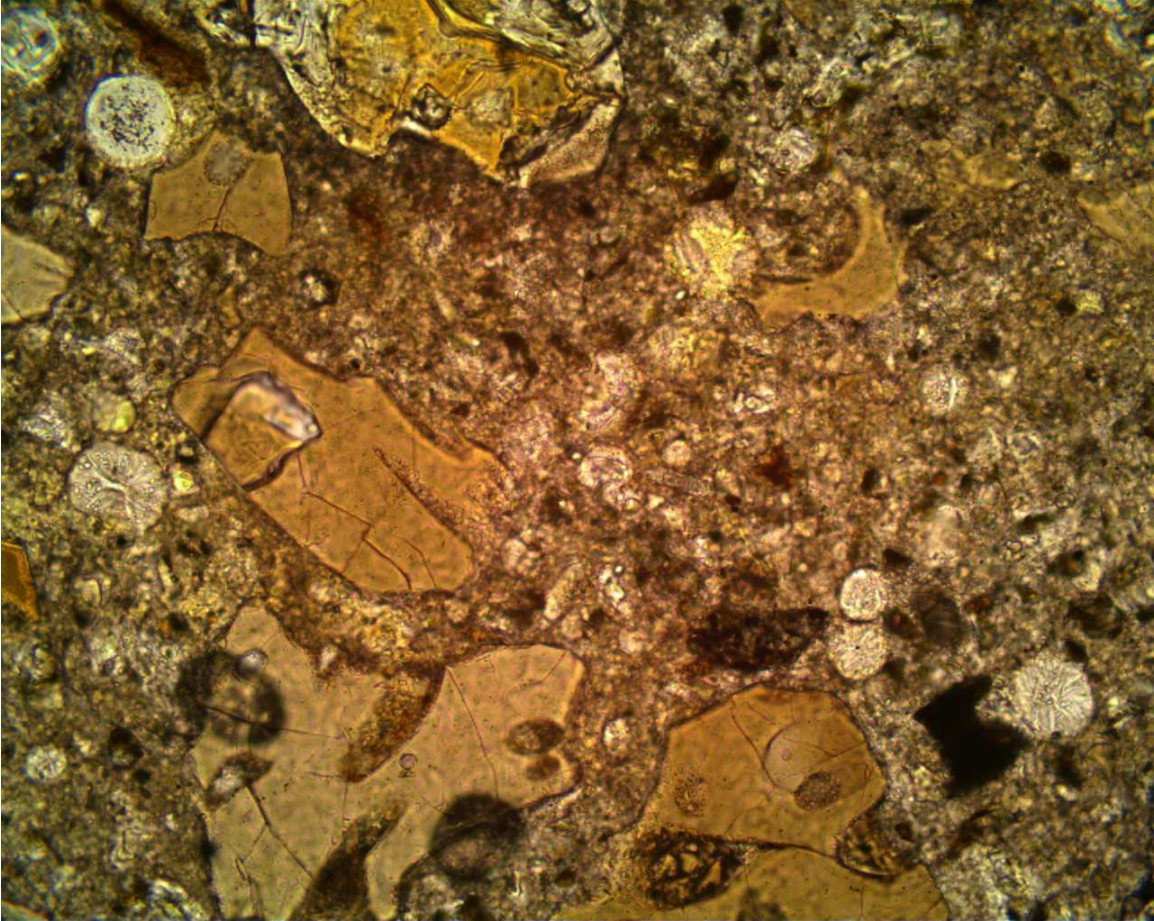
Sýni	Vatnsleiðnistuðull (m/s)
Sýni 1: 1-6 cm	$5,4 \times 10^{-10}$
Sýni 1: 11-16 cm	$1,2 \times 10^{-9}$
Sýni 7: 1-6 cm	n/a
Sýni 11: 1-6 cm	ekkert flæði
Sýni 11: 6-11 cm	$9,4 \times 10^{-11}$
Sýni 11: 11-16 cm	$3,1 \times 10^{-12}$

## Smásjargreining

Þunnsneiðar voru gerðar úr yfirborði kjarna úr Breiðbalakvísl og þær skoðaðar í ljóssmásjá. Hún er með linsum sem stækka allt að 40 sinnum, auk augnstykkis sem stækkar 10. sinnum þannig að alls fæst allt að 400 föld stækkun.

Greinilega má sjá útfellingar í holrými næst yfirborði steypunnar, sjá myndir 6 til 10. Þótt samsetning útfellingana hafi ekki verið rannsökuð er mjög líklegt að um sé að ræða kristöllun af völdum XYPEX efnisins sem borið var á yfirborð steypunnar. Kristöllunin á sér stað í yfirborði steypunnar og virðist ná um 1 cm inn í steypuna. Þess ber þó að geta að með ljóssmásjá er aðeins hægt að greina útfellingar í tiltölulega stóru holrými (> 10 míkron). Útfellingar í míkro strúktúr sementsefju er ill greinanlegur í ljóssmásjá. Útfellingarnar mynda ekki samfellt lag í steypunni og dreifing þeirra virðist ekki vera stjórnuð af neinu sjáanlegu fyrirbæri í steypunni.

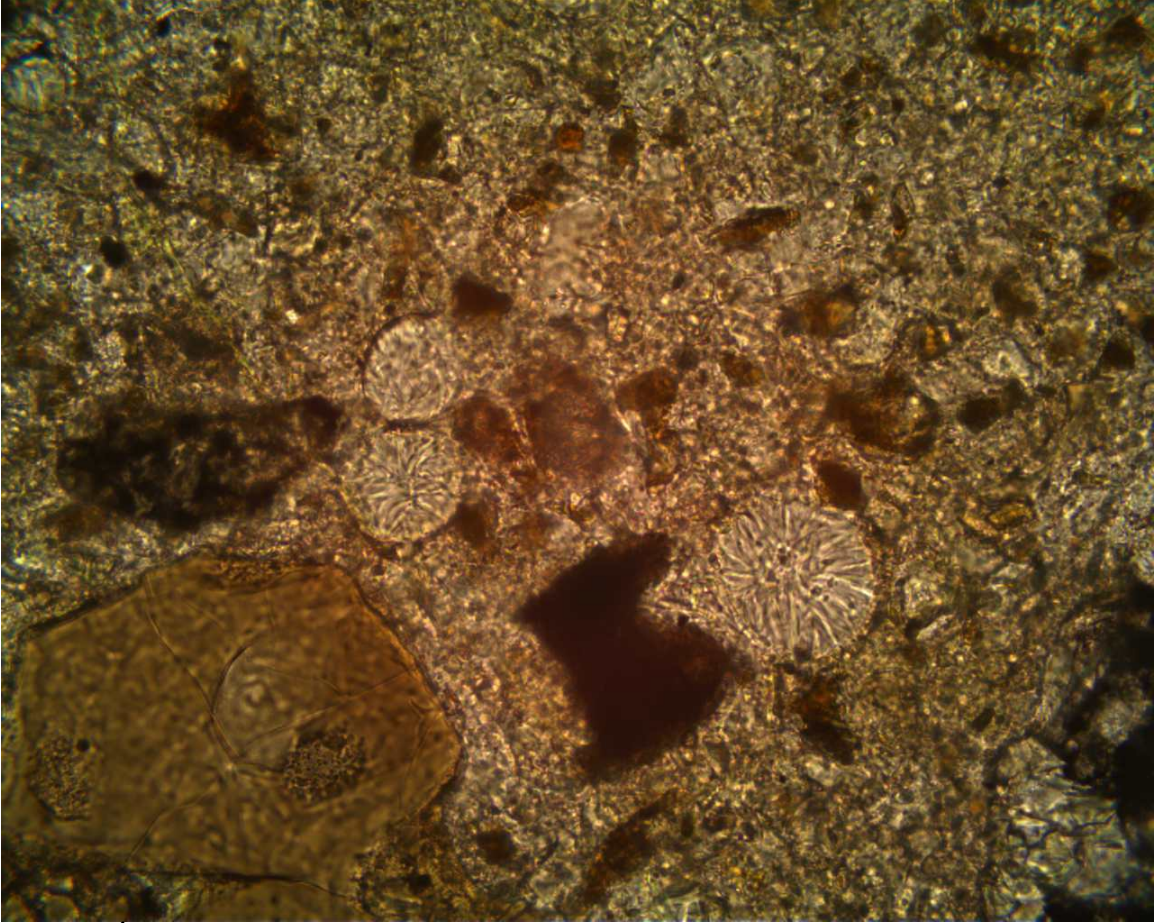
Á mynd 6 má sjá hvítar útfellingar í allmörgum tiltölulega smáum holrýmum, holrýmin eru á stærðarbilinu frá 25 til 60 míkron í þvermál.



**Mynd 6. Útfellingar í holrými í steinsteypu við yfirborð.**  
Holrýmin eru frá 25 til 60 míkron í þvermál.  
Myndin er tekin í 20x stækkun (0,714 x 0,495 mm)

Mynd 7 sýnir hluta af mynd 6 í meiri stækkun.





**Mynd 7. Úfelling í holrými við yfirborð, hluti af mynd 6 í meiri stækkun.**  
Holrýmin eru frá 30 til 45 míkron í þvermál. Myndin er tekin í 40x stækkun (0,347 x 0,247 mm)

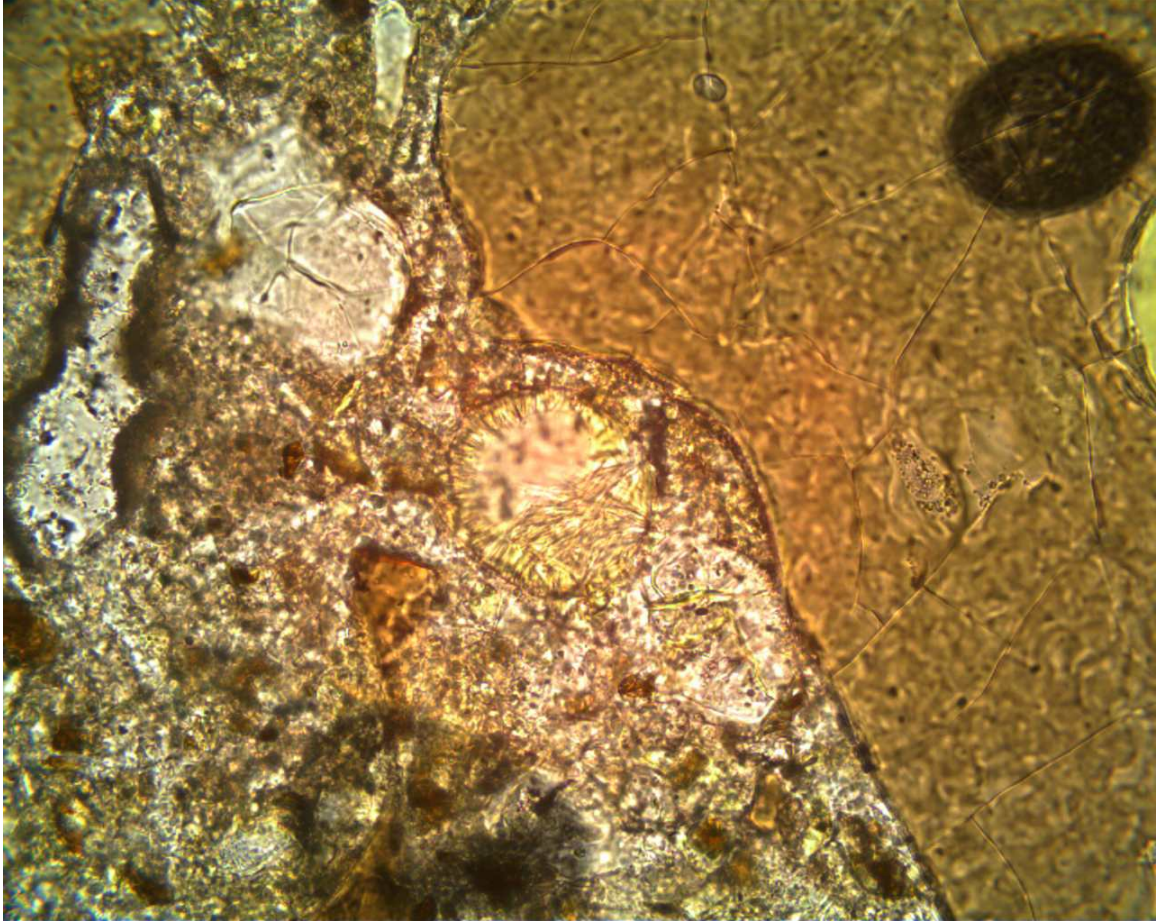


**Mynd 8. Úfelling í holrými við yfirborð.**

Holrýmið fyrir miðri mynd er um 65 míkron í þvermál. Myndin er tekin í 40x stækkun (0,347 x 0,247 mm).

Á mynd 9 má sjá þrjú tiltölulega smá holrými, svo virðist að efra og neðra holrýmið sé fyllt með hlaupkenndu efni, en holrýmið milli hinna tveggja er fyllt með nárlaga efni.





**Mynd 9. Úfelling í holrými við yfirborð.**

Holrýmið fyrir miðri mynd er um 60 míkron í þvermál. Myndin er tekin í 40x stækkun (0,347 x 0,247 mm)

Á mynd 10 má sjá hálfyllt holrými af kristöllum sem taldir eru vera tengdir XYPEXinu, holrýmið er um 110 míkron í þvermál.





**Mynd 10. Úfelling í holrými við yfirborð.**

Holrýmið er um 110 míkron í þvermál. Myndin er tekin í 40x stækkun (0,347 x 0,247 mm)

Kjarni 9, sjá mynd 3 var boraður á sprungu. Þunnsneið var gerð af sprungunni. Á mynd 11 má sjá sprunguna í yfirborði. Engar útfellinga eru sjáanlegar í sprungunni, en sprungan er um 125 míkron á breidd í yfirborði.

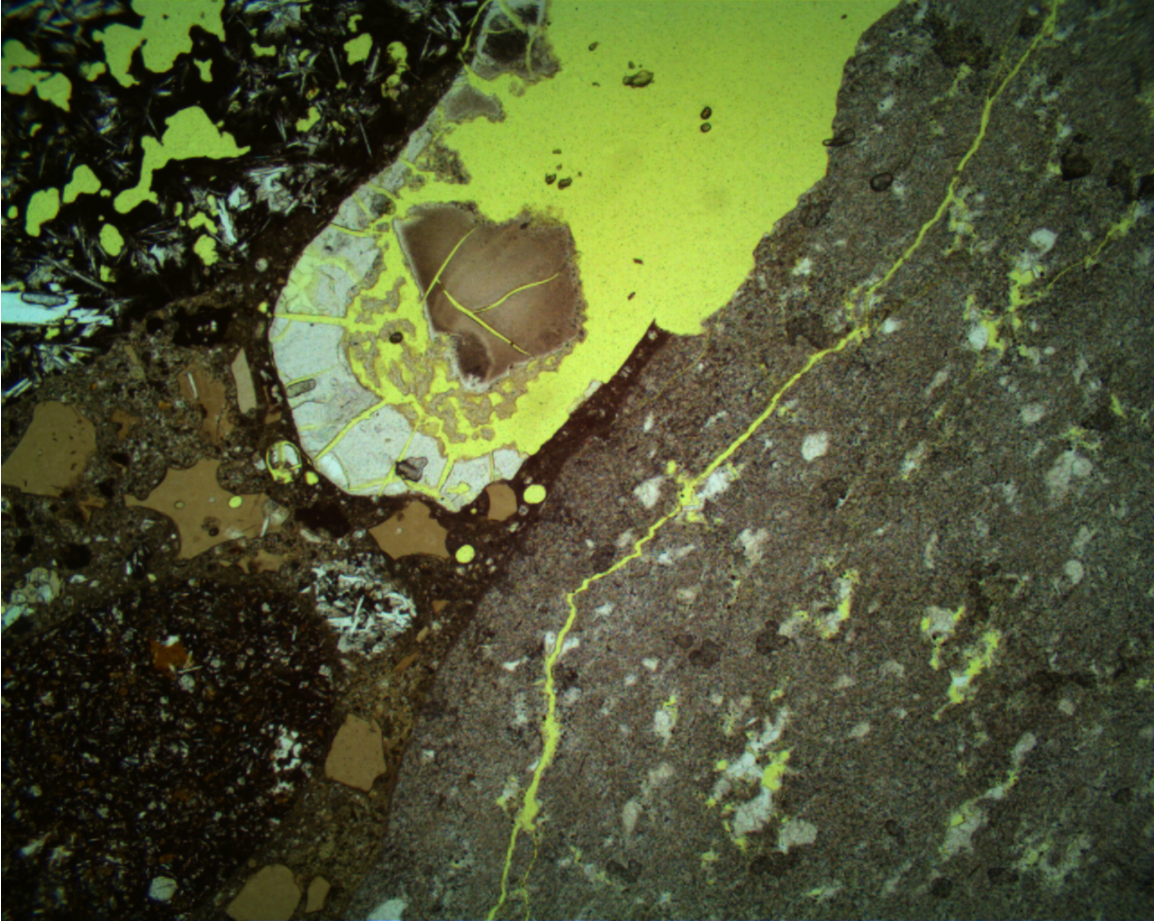


**Mynd 11. Smásjármynd af yfirborðsprungu í kjarnar 9.**

Engar útfellingar eru sjáanlegar í sprungunni, en sprungan er um 125 míkron í yfirborði og sprungan þrengist þegar hún gengur inn í steypuna. Hver rammi er tekinn í 5x stækkun.

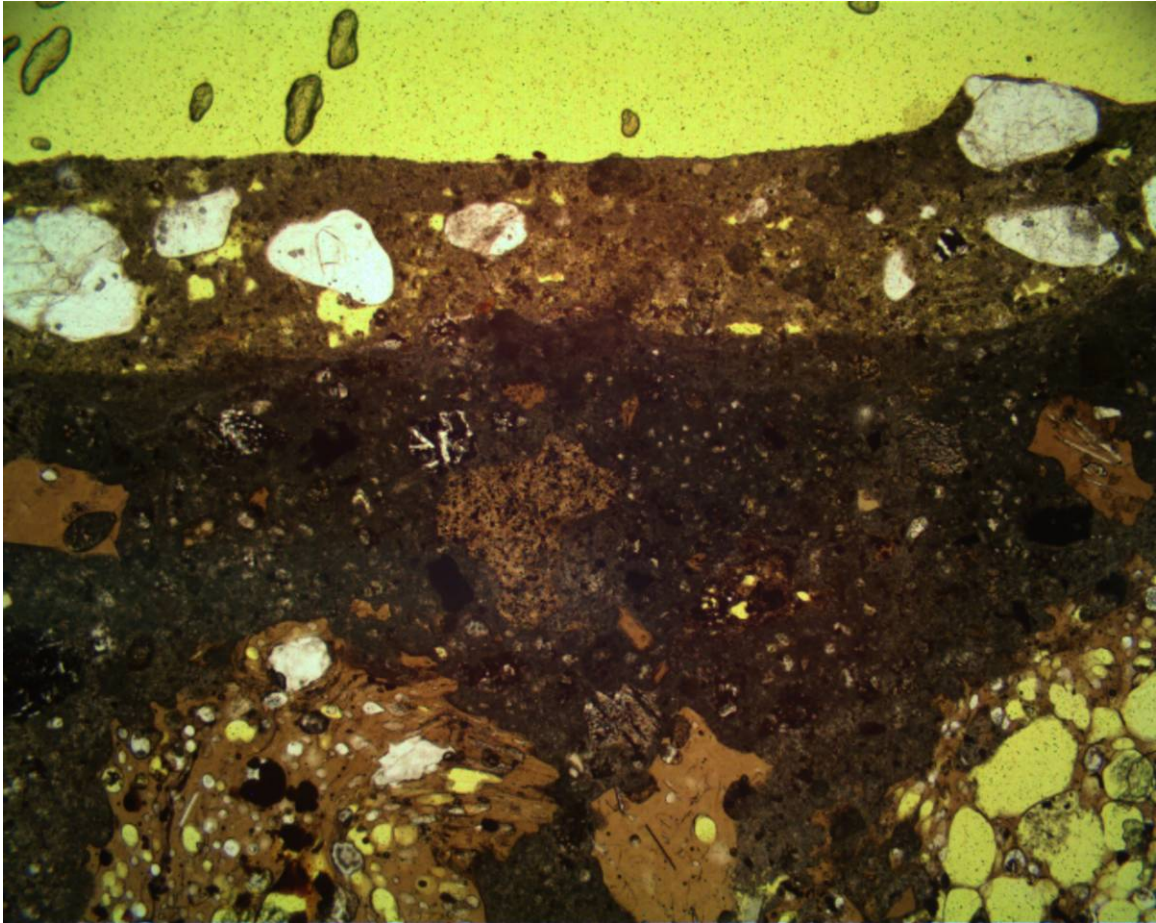
Sprungan er alkalísprunga, en á um 25 mm dýpi er líparít fylliefnakorn sem er alkalívirkt, sjá mynd 12. Í þunnsneiðinni má sjá víða merki um alkalívirknina. Ekki er hægt að fullyrða hvort XYPEX hefur haft einhver áhrif á alkalívirknina í steypunni, ljóst er að sprunga er opin og XYPEX hefur ekki lokað henni og ekkert XYPEX er til staðar í yfirborði steypunnar. Til þess að meta það hvort XYPEX hefur dregið úr alkalívirkninni í steypunni er nauðsynlegt að hafa upplýsingar um ástand steypunnar áður en að XYPEX var borið á steypuna. Hafi sprungan verið til staðar þegar XYPEX var borið á steypuna, er ástæðan fyrir því að XYPEX hefur ekki lokað sprungunni líklega sú að raki kemur ekki út úr sprungunni. Einnig er sá möguleiki fyrir hendi að sprungan hafi víkkað verulega frá því að XYPEXið var borið á steypuna. Ef svo er þá hefur XYPEXið ekki dregið úr alkalívirknina í steypunni.





**Mynd 12. Alkalívirkt líparít á um 25 mm dýpi er líparít.**

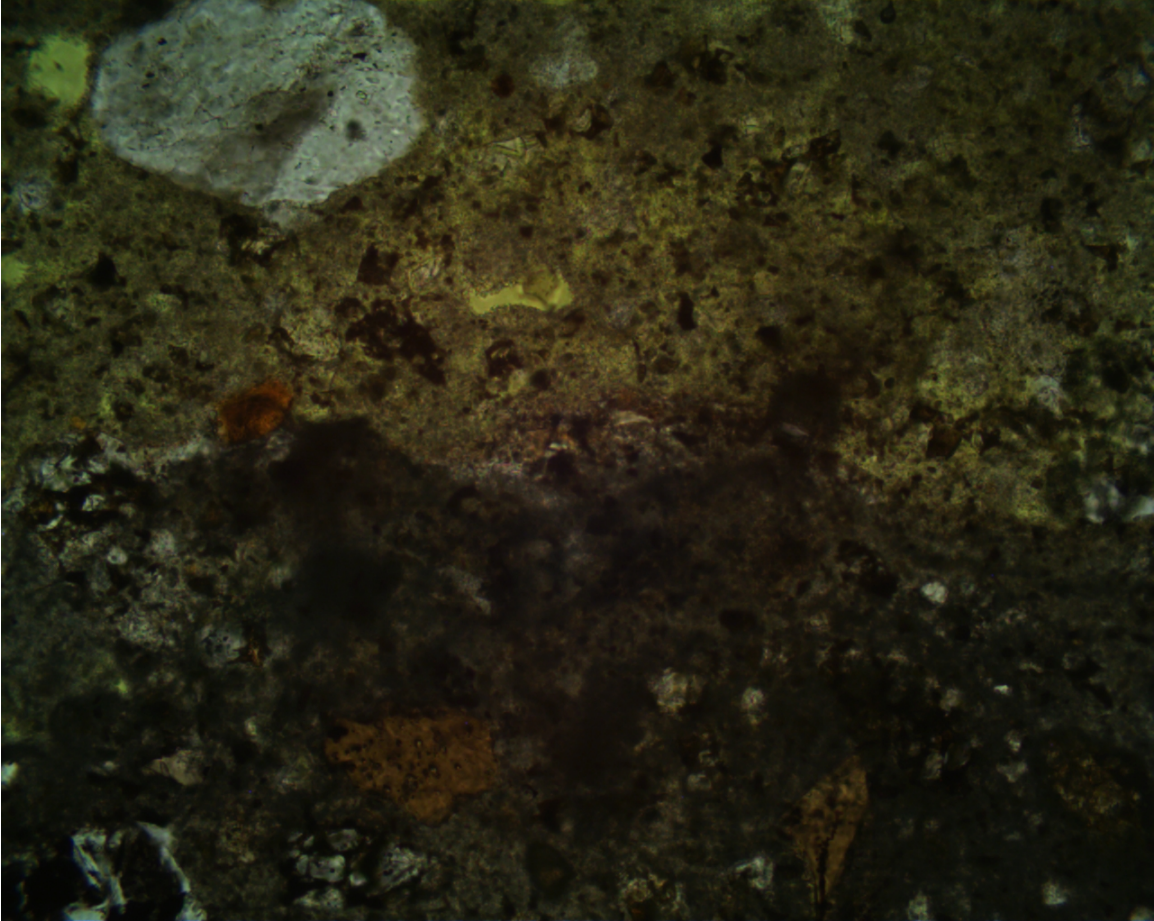
Tiltölulega lítið brot af yfirborði annars kjarnans úr Tungná var skoðað í smásjá. Sjá má greinilega XYPEX lagið í yfirborði steypunnar, sjá mynd 13.



**Mynd 13. Sýni með XYPEX concentrate lagi í yfirborði í steypunni úr Tungná.**  
Myndin er tekin í 5x stækkun..

XYPEXið loðir mjög vel við steypuna, sjá myndir 13 og 14, en ekki er að sjá nein merki um útfellingar í holrýmum eins og fundust í sýni úr Breiðbalakvíslarbrúnni. Hafa ber í huga að XYPEXið hefur aðeins verið á steypunni í um tvö ár.

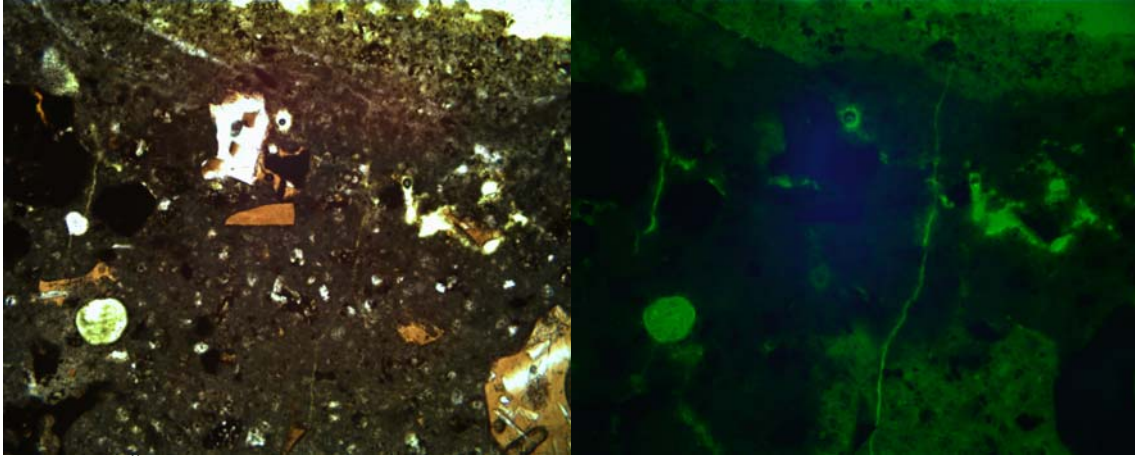




**Mynd 14. XYPEXið loðir mjög vel við steypuna.**  
Myndin er tekin í 20x stækkun..

Í sýninu má sjá örprungu sem gengur úr í XYPEX lagið, sjá mynd 15. Ekki er hægt að greina hvort XYPEX kristallar hafa fallið út í sprungunni, en hins vegar virðist XYPEX loka sprungunni, því sprungan gengur ekki áfram út úr steypunni og í gegnum XYPEX lagið.





**Mynd 15. Örsprungu sem gengur úr í XYPEX lagið.**

Ekki er hægt að greina hvort XYPEX kristallar hafa fallið út í sprungunni, en XYPEX lokar sprungunni. Myndin er tekin í 20x stækkun.

Í öllum þeim sýnum sem voru skoðuð í smásjá, varð ekki vart við útfellingar í tiltölulega stórum loftbólum, þ.e. loftbólum sem eiga að verja steypuna gegn frostþoli. Ekki er óalgegnnt að sjá í frostskekkmdri steypu slíkar útfellingar í holrými. Talið er að þegar tiltölulega stór holrými eru full af útfellingum þá geti þau ekki gengt því hlutverki lengur að verja steypuna fyrir frostskekkmdum.

## **Lekaprófanir**

Markmið með prófununum var að sýna fram á hæfni XYPEX til þess að loka sprungum og gera þær vatnsþéttar.

### **Prófun í rannsóknarstofu**

Aðgerðin fór þannig fram að sýni af harðnaðri steypu var brotið í tvennt, brotin sett saman og vatnsálag sett á aðra hlið sýnisins. Leki í gegnum sprunguna var mældur. Síðan var XYPEX borið á sýnið (down stream) og leki í gegnum sprunguna og XYPEX-lagið var síðan mældur. Samkvæmt upplýsingum frá framleiðanda er betra, þegar á að þetta lekar sprungur, að bera XYPEX á vegginn fyrir neðan strauminn (e. down stream). XYPEX mun síðan elta uppi lekan (rakan), við það falla út kristallar í sprungunni sem þetta sprunguna.

Notuð voru tvö ótilgreind steypusýni úr “venjulegri” steypu, númer 2 og 3. Sýnin voru steiptir sívalningar sem búið var að saga niður í um 5 cm þykkar sneiðar, sýnin voru 10 cm í þvermál. Sneiðarnar voru brotnar í tvennt, brotin sett saman og sýnið síðan setti í gúmihulsu, um 15 cm langa og hulsan þétt með hosuklemmu. Um 1 líter af vatni var settur í gúmihulsuna og síðan var fylgst með leka í gegnum sprunguna á sýninu. Prófunin stóð í þrjá sólarhringa.

Eftir þrjá sólarhringa var sýni númer 2 aðeins með smá leka, ekki mælanlegan en sýnið var þó vel yfirborðsblautt, sjá mynd 14.



**Mynd 16. Sýni 2 eftir um 3 sólarhringa var sýnið aðeins yfirborðsblautt.**  
Sprungan liggur upp-niður efir sýninu miðju, en sprungan sést ekki vel vegna þess að myndi er ekki í fókus.

Sýni númer 3 lak hins vegar töluvert, sjá mynd 15.



**Mynd 17. Sýni 3. Töluverður leki var í sýninu.**  
Sprungan liggur upp-niður eftir miðju sýninu.

Lekinn í sýni var mældur og niðurstöður mælingarinnar eru gefnar í töflu 1. Lekinn í sýninu er nokkuð stöðugur, um 0,01 l/klst.

**Tafla 3. Leki í sýni 3**

tími	klukkustundir	leki, ml	leki, ml/klst
7-6-05 10:28	0	byrjun	
9-6-05 10:40	48,2	540	11,2
10-6-05 11:30	73,0	200	10,1

Þann 10-6-05 11:30 var XYPEX concentrate borið á sýnin, á hliðina lekamegin (down stream). Blandan var 5 (þurrefni) á móti 2 (vatn), samkvæmt uppskrift – varð reyndar nokkuð blaut. Blandan var borin á í einu um 3 mm þykku lagi, sjá myndir 18 og 19.





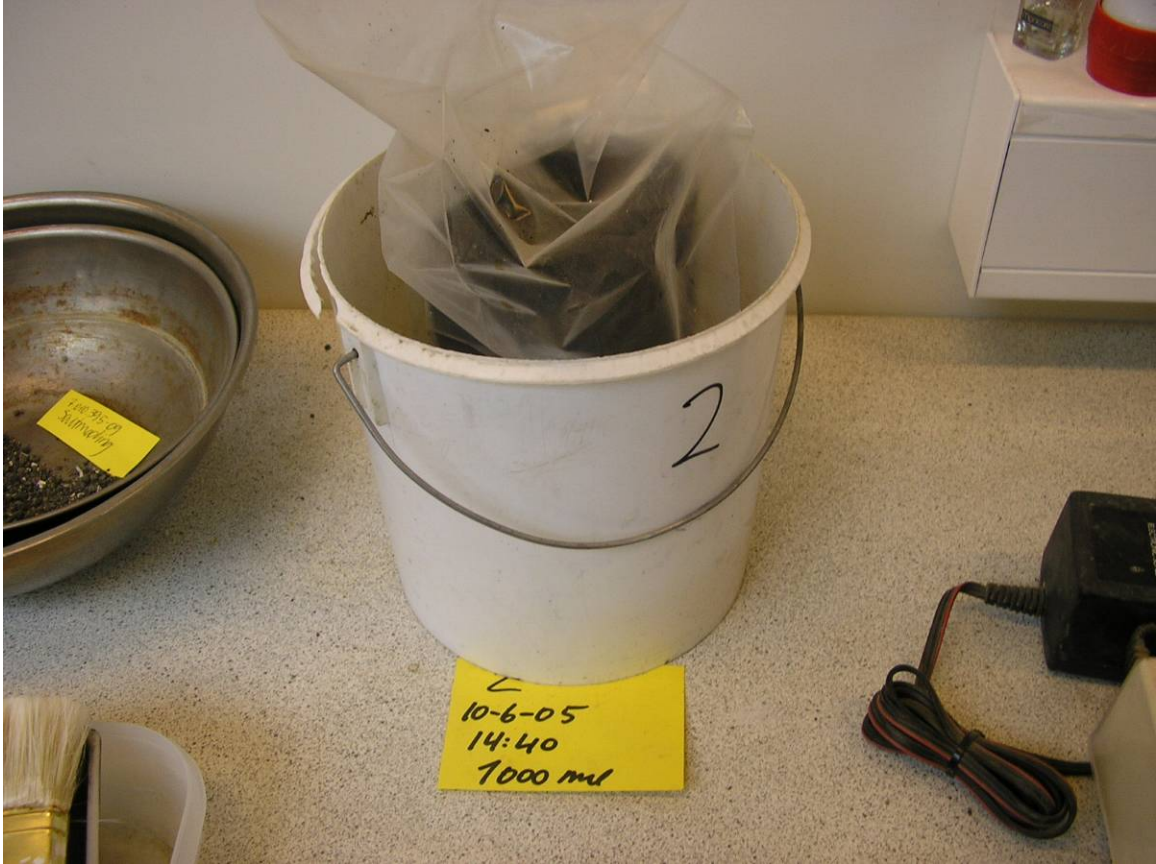
**Mynd 18. Sýni 2 með um 3 mm þykku lagi af XYPEX (down-stream)**





**Mynd 19. Sýni 3 með um 3 mm þykku lagi af XYPEX (down-stream)**

Efnið var látið harðna í 3 tíma, síðan var um 1 líter af vatni settur í hvora hulsu fyrir sig og fylgst reglulega með lekanum, prófanir hófust 10-6-2005. Uppsetning á lekamælingunni er sýnd á mynd 20. U.þ.b. 1 líter að vatni var hafður á sýninu og þess gætt að vatni gufi ekki upp. Vatnið sem lekur í gegnum sýnið er síðan safnað saman í plastfötuna og magn þess mælt reglulega.

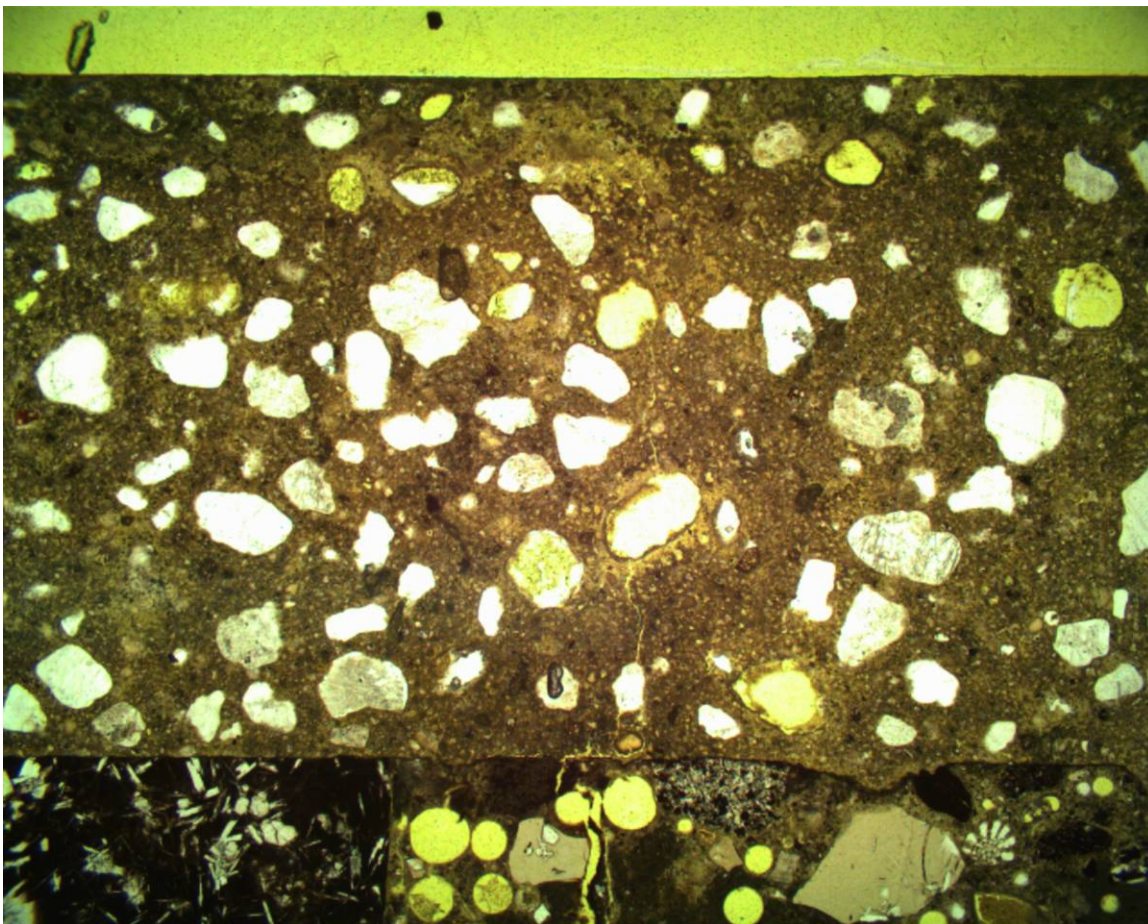


**Mynd 20. Uppsetning á lektarprófun.**

Til að byrja með voru bæði sýnin yfirborðs blaut og einn og einn dropi myndaðist og lak af sýninu. Hins vegar varð lekinn aldrei mælanlegur og fljótlega þornaði XYPEX lagið upp. Vatn var látið standa á sýninu í þrjá mánuði, en prófununum var hætt 30-8-2005.

Sýni 3 var sagað í sundur þvert yfir sprunguna og þunnsneið gerð af sprungunni. Á mynd 21 má sjá smásjármynd af XYPEX laginu og yfirborði steypunnar, einnig má sjá sprunguna í steypunni. Sprungan heldur áfram út úr steypunni og inn í XYPEX-lagið, en hins vegar er sprungan í laginu aðeins hliðruð. Góð viðloðun er milli steypunnar og XYPEX-lagsins.



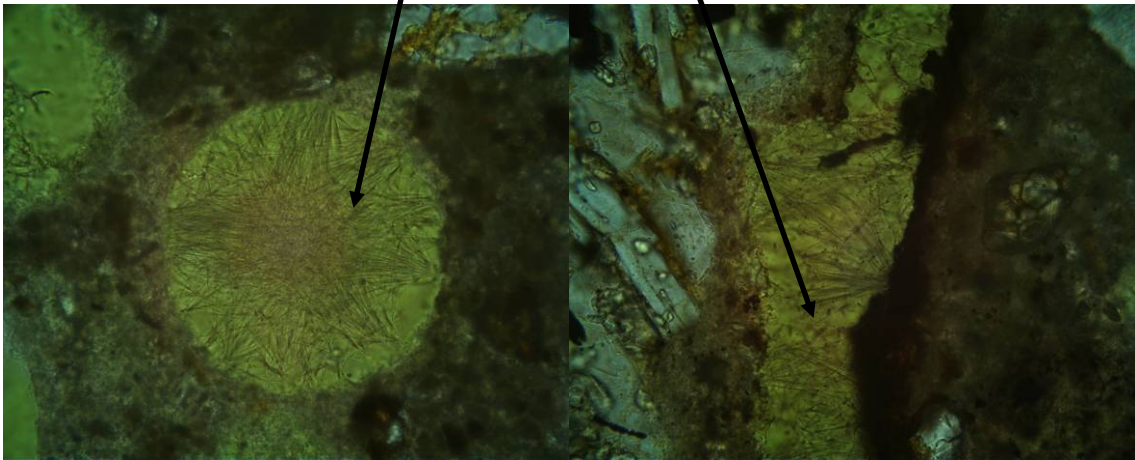
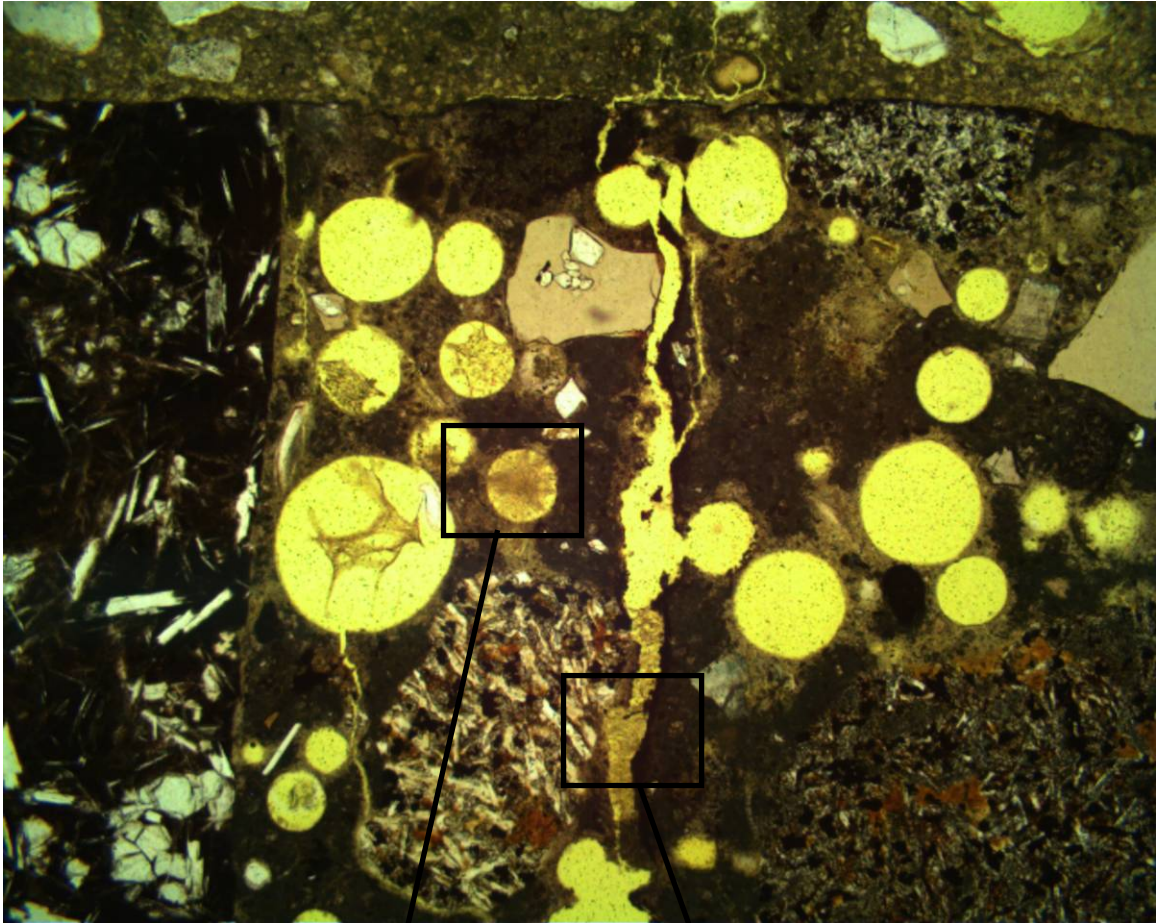


**Mynd 21. Smásjármynd af XYPEX laginu yfir sprungunni.**

Lagið er um 3,1 mm á þykkt. Sjá má yfirborð steypunnar og sprunguna í steypunni. Sprunga heldur áfram inn í XYPEX-lagið, en hún er aðeins hliðruð frá sprungunni í steypunni. Myndin er tekin í 2,5x stækkun..

Sjá má útfellingar í sprungunni og í holrými við sprunguna í yfirborði steypunnar, sjá mynd 22. Slíkar útfellingar fundust ekki annars staðar í sýninu. Útfellingarnar voru ekki efnagreindar, en væntanlega eru útfellingarnar tengdar XYPEX-laginu fyrir ofan. Þegar sprungan lak vatni, þá hvarfaðist vatnið við XYPEX-ið og útfellingar mynduðust í sprungum og holrýmum sem lokuðu sprungunni og þéttu steypuna. Þegar þunnsneiðin var gerð, var XYPEX-lagið orðið um 3 mánaða gamalt. Sprungan þéttist mjög fljótt og því hafa kristallarnir myndast mjög snemma. Þar sem útfellingarnar myndast í sprungunni er hún um 45 míkron.





**Mynd 22. Smásjármynd af sprungu í sýni 3.**

Smásjármynd af steinsteypu, í yfirborði steypunnar er sprungan og XYPEX lagið fyrir ofan. Sjá má að sprungan, sem og nærliggjandi holrými eru fyllt með nálarlaga kristöllum. Efri myndin er tekin í 5 x stækkun en neðri myndirnar eru teknar í 40x stækkun.



## Vatnstankur Stofnfisks á Reykjanesi

Gerð var sérstök rannsókn á getu Xypex undir tiltölulega miklum vatnsþrýstingi í vatnstank í eigu Stofnfisks hf. við Kalmannstjörn á Reykjanesi. Stálplata var sett fyrir hurð og hurðargatið steipt. Á mynd 23 má sjá að ekki hefur náð að þétta hurðargatið og lek myndaðist í samskeytum. Þar sem um saltvatn er að ræða í tanknum má greinilega sjá hvíta saltröndina þar sem lekinn er.



Mynd 23. Vatnstankur, sjá má leka í samskeytum milli hurðarops og veggs.

Höggvin var ca. 4x4 cm rauf í skilin milli viðgerðarinnar og steypunnar. Á þessu stigi lak vatnið út undir nokkrum þrýstingi. Viðgerðarefni (Pach&Plug) var þrýst í raufina og XYPEX Concentrate smurt yfir, einnig var smurt yfir hurðargatið með XYPEX Concentrate. Hálfum mánuði eftir meðhöndlun var úttekt á tanknum og var nú hvergi hægt að sjá nokkurn leka, sjá mynd 22.



**Mynd 24. Hurðarop á vatnstank eftir meðhöndlun með XYPEX.**  
Engan leka er að sjá í samskeytum milli hurðarops og veggjar.

Þegar XYPEX er borið utan á yfir sprunguna þá þéttist sprungan nánast um leið.

### **Prófanir á XYPEX admix**

Steypa með XYPEX admix var prófuð í verkefninu. Um var að ræða “venjulega útisteypu” með um 1,5 % XYPEX admix. Eftirfarandi steypur voru prófaðar:

1. Borkjarnar úr ferskvatnstanki í Reyðarfirði, sýni með og án XYPEX. Sýnin voru prófuð samkvæmt NT Build 492 (Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments).
2. Prófsýni frá BM Vallá. Sýnin voru prófuð samkvæmt NT Build 492 og NT Build 443 (Concrete, hardened: Accelerated chloride penetration).
3. Prófsýni frá Malarvinnslunni á Egilstöðum. Sýnin voru prófuð samkvæmt NT Build 443.

Prófsýnin voru öll un 28 daga gömul þegar þau voru prófuð, en samkvæmt framleiðanda þá má búast við því að það taki nokkurn tíma fyrir XYPEX að virka í steypu. Hins vegar voru borkjarnarnir nokkura mánaða gamlir þegar þeir voru prófaðir.

### **Ferskvatnstankur Reyðarfirði**

Tankurinn var steypur vorið 2004 (Malarvinnslan), sjá mynd 23 og steypa var með XYPEX admix, um 1,5 % af þýngd sements var notað í steypuna. Hlutar af tanknum voru ekki með XYPEX, eins og undirstöður, en steypu uppskriftin var sú sama. Í janúar 2005 voru boraðir kjarnar úr tanknum og þannig fegnust sýni úr samskonar steypu bæði með og án XYPEX.



**Mynd 25. Ferskvatnstankur á Reyðarfirði í byggingu um vorið 2004.**  
Steypan er með 1,5 % XYPEX admix

Þann 31-3-2005 var farið í skoðunarferð að tanknum. Þá var búið að sementskústa tankinn að utan, sjá mynd 24.





**Mynd 26. Ferskvatnstankur á Reyðarfirði, myndin var tekin 31-3-2005**

Sjá má leka í tanknum á nokkrum stöðum, sjá mynd 25.



Mynd 27. Leki í ferskvatnstanki í Reyðarfirði, myndin var tekin 31-3-2005

Tankurinn var skoðaður aftur í nóvember 2005 og þá var enginn leki sjáanlegur utan á tanknum. Því má gera ráð fyrir að það taki nokkurn tíma fyrir XYPEX Admix að byrja að virka.

### NT Build 492

Klórleiðni í borkjörnunum úr tanknum var mæld samkvæmt prófunaraðferðinni NT Build 492 (sjá lýsingu á prófuninni hér að frama). Einnig var reynt að meta vatnsdrægni í steypunni þegar sýnin voru formeðhöndluð fyrir NT Build 492 prófunina. Niðurstöður úr mælingunum eru gefnar í töflu 4.

Tafla 4. Niðurstöður úr NT Build 492 – Ferskvatnstankur á Reyðarfirð

	Formeðhöndlun <sup>2</sup> , vatnsdrægni, g/klst	Formeðhöndlun <sup>2</sup> , vatnsdrægni, g/cm <sup>2</sup>	Klórleiðnistuðull, D, m <sup>2</sup> /sec
Án XYPEX (3)	0,412	0,032	1,08 x 10 <sup>-11</sup>
Með XYPEX (2)	0,292	0,111	1,38 x 10 <sup>-11</sup>

Niðurstöður prófunar eru nokkuð misvísandi, en klórleiðnin er aðeins meiri í sýninu með XYPEX admix. Hins vegar er vatnsdrægnin nokkuð minni í sýninu með XYPEX admix, þ.e.a.s. á tímameiningu (hafa ber í huga að vatnsdrægniþrófunin er ekki stöðluð prófun).

<sup>2</sup> ath. sýnin með XYPEX látin standa mun lengur í vatni og því er heildarvatnsupptakna meiri

Segja má að bæði klórleiðnin og vatnsleiðnin sé mjög há í báðum sýnunum og því kemur það e.t.v. ekki á óvart að tankurinn lekur.

## Prófsýni frá BM Vallá og Malarvinnslunni

Prófsýni frá BM Valla með um 1,5 % XYPEX admix og án XYPEX fengust til prófunar. Um er að ræða “venjulega útisteypu”. Klórleiðni í sýnunum var prófuð samkvæmt NT Build 492 og NT Build 443.

C35/45 steypusýni með um 1,5 % XYPEX admix og án XYPEX frá Malarvinnslunni á Egilsstöðum fengust til prófunar. Sýni E87 er án XYPEX og sýni E88 er með XYPEX. Klórleiðni í sýnunum var prófuð samkvæmt NT Build 443. Þrýstistyrkur sýnanna var einnig mældur.

### NT Build 492

Klórleiðni í prófsýnunum var mæld samkvæmt prófunaraðferðinni NT Build 492 (sjá lýsingu á prófuninni hér að frama). Einnig var reynt að meta vatnsdrægni í steypunni þegar sýnin voru formeðhöndluð fyrir NT Build 492 prófunina. Niðurstöður úr mælingunum eru gefnar í töflu 5.

Tafla 5. Niðurstöður úr NT Build 492 – Prófsýni BM Vallá

	Formeðhöndlun, vatnsdrægni, g/klst	Formeðhöndlun, vatnsdrægni, g/cm <sup>2</sup>	Klórleiðnistuðull , D, m <sup>2</sup> /sec
32 - án XYPEX (3)	0,047	0,063	5,52 x 10 <sup>-12</sup>
33 - með XYPEX (3)	0,041	0,013	6,25 x 10 <sup>-12</sup>

Niðurstöður prófunar eru á svipuðum mótum og borkjarnarnir úr ferskvatnstankinum á Reyðarfirði, n.l. að klórleiðnin er aðeins meiri í sýninu með XYPEX admix og vatnsdrægnin er nokkuð minni í sýninu með XYPEX admix, þ.e.a.s. á tímaeiningu (hafa þer í huga að vatnsdrægniþrófunin er ekki stöðluð prófun). Hins vegar er bæði vatnsdrægni og klórleiðni töluvert lægri en í steypunni úr vatnstanknum.

### NT Build 443

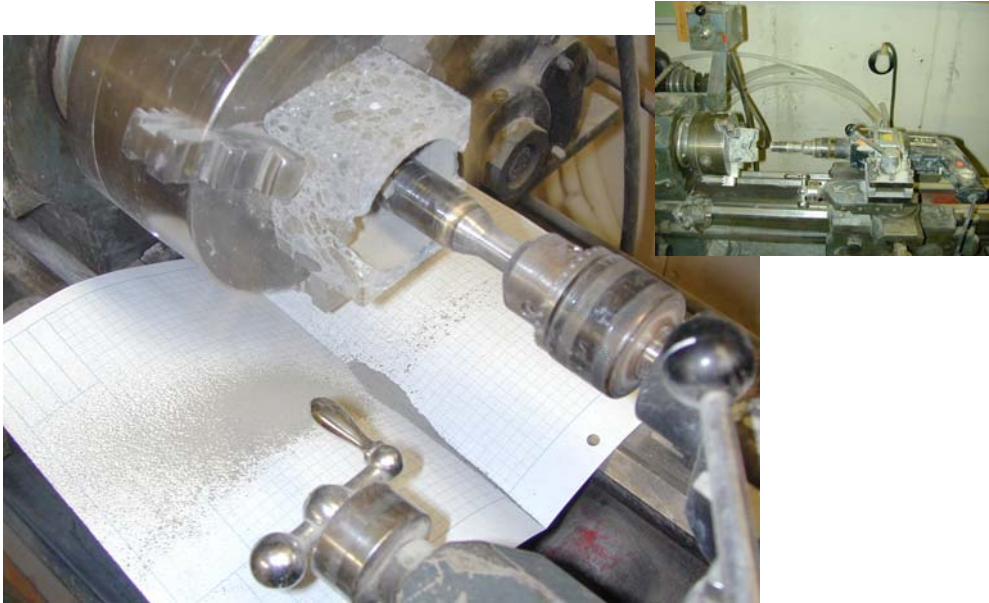
Sýni eru máluð með vatnspéttri málningu á öllum hliðum, nema einni, þeirri sem klór gegnur inn í. Eftir að málningin hefur þornað eru sýnin látin liggja í lausn með 165 g NaCl/líter í 5 vikur. Klór er efnagreint í sýninu af um 7 -8 dýptarbilum.

Klórþvottur í steinsteypusýnum var mælt með að leysa svarf upp í saltþétursýru og títrun samkvæmt NT Build 208. Svarfið var fengið með því að taka þurr sýni, annað hvort kjarnar eða kubbar, og renna þau niður frá yfirborði og niður á það dýptarbil sem áhugi var fyrir að rannsaka. Með því að gera þetta í rennibekk, sbr. mynd 26, er hægt að ná sýnum af mjög þröngu dýptarbili og auka verulega nákvæmni klórgreiningarinnar 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. Borvélín 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. klór 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 dýptarbili.

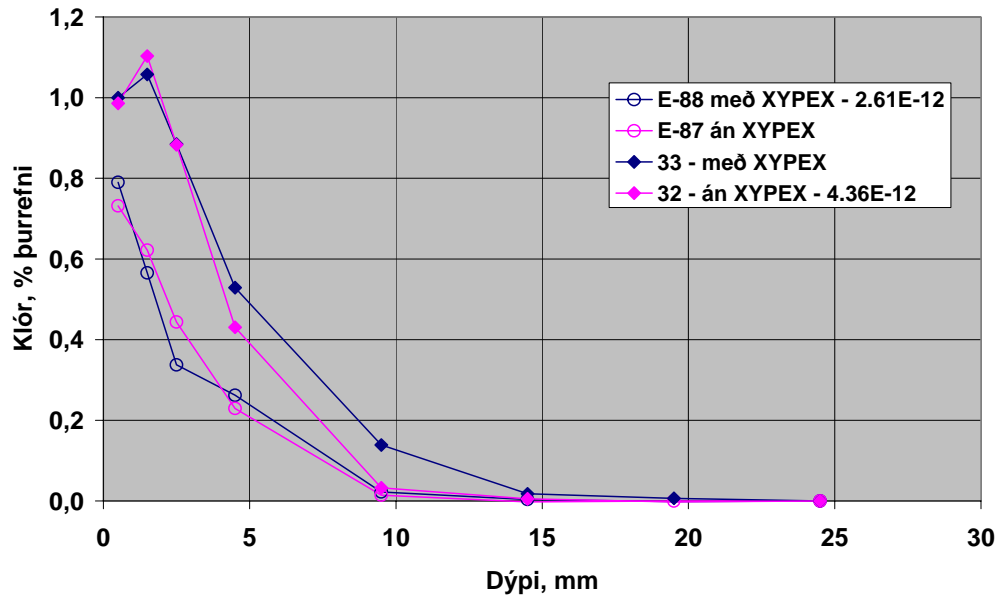


**Mynd 28. Svarf tekið úr steypusýni í rennibekk.**

Verið er að taka svarf á um 30 mm dýpi frá yfirborði. Þvermál holunnar er um 5 cm. Á minni myndinni má sjá uppsetninguna á sýninu og borvélinni. Svarfinu fellur niður á pappírsglað þar sem því er safnað saman.

Niðurstöður úr NT Build 443 prófuninni eru gefnar á mynd 27. Klórleiðnin er nokkuð hærrí í sýnunum frá Malarvinnslunni. Til samanburðar er klórleiðnistuðull fyrir BM Valla sýnin um  $4,4 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , en leiðnistuðullinn fyrir sýnin frá Malarvinnslunni er um  $2,6 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ . Ekki er að sjá að XYPEX hafi mikil áhrif á klórleiðnina, en þó er nokkuð meira klór í sýninu frá BM Vallá með XYPEX admix. Þannig að XYPEX admix virðist ekki hafa áhrif á klórleiðnina til batnaðar, þ.e. það virðist ekki þetta steypuna þannig að það dragi úr klórleiðninni. Þessar niðurstöður er í samræmi við niðurstöður úr NT Build 492 prófununum.

## NT Build 443



Mynd 29. Niðurstöður úr NT Build 443 prófun.

## Þrýstistyrkur

Þrýstistyrkur í sýna frá Malarvinnslunni með og án XYPEX admix var mældur og niðurstöðurnar eru gefnar í töflu 6. Niðurstöðurnar sýna að E88 sýnið, með XYPEX, hefur um 13 % hærra þrýstistyrk en E87 sýnið. Athygli vekur að loftmagnið í sýnunum er það sama, þannig að loftmagnið virðist ekki hafa áhrif á niðurstöðurnar.

Tafla 6. 28 daga þrýstistyrkur með og án XYPEX admix.

	Loft, %	Rúmþynd, kg/m <sup>3</sup>	Þrýstipól, MPa
E87 – án XYPEX (2)	4,6	2519	58,7
E88 – með XYPEX (2)	4,6	2556	66,5

## **Niðurstöður prófana**

Miðað við klórleiðnistuðla í kjörnum úr brúnni yfir Breiðbalakvísl, þá er klórleiðnin með XYPEX um 15 % minni í efsta laginu, en í lögunum tveimur fyrir neðan. Svipaða sögu má segja um vatnsleiðni í kjörnum úr Breiðbalakvísl, vatnsleiðnin er minnst efst í sýnunum og hún eykst eftir því sem neðar dregur í sýnunum. Ekki er óeðlilegt að álíta að minni vatnsleiðni stafi af því að sýnið er þéttara í yfirborðinu, sem stafar af því að XYPEX hefur þétt yfirborðslagið. Neðar í sýnunum þar sem XYPEX gætir ekki eru sýnin opnari og vatnsleiðnin meiri.

Greinilega má sjá útfellingar í holrými í yfirborði steypunnar í Breiðbalakvísl. Þótt samsetning útfellingana hafi ekki verið rannsökuð er mjög líklegt að um sé að ræða kristöllum af völdum XYPEX efnisins sem borði var á yfirborð steypunnar. Kristöllumunin á sér stað í yfirborði steypunnar og virðist ná um 1 cm inn í steypuna. Ekki varð vart við útfellingar í tiltölulega stórum loftbólum, þ.e. loftbólum sem eiga að verja steypuna gegn frostþoli. Ekki er óalgegnu að sjá í frostskekkmdri steypu slíkar útfellingar í holrými. Talið er að þegar tiltölulega stór holrými eru full af útfellingum þá geti þau ekki gengt því hlutverki lengur að verja steypuna fyrir frostskekkmdum. Því er ekki ástæða að óttast að XYPEX muni draga úr frostþoli með því að það fylli loftbólur með útfellingum, þvert á móti. Með því að fylla tiltölulega smásæjar pórur þéttir XYPEX steypuna og dregur úr vatnsleiðninni og þannig dregur XYPEX úr hættu á frostskekkmu í steypu.

Í tiltölulega víðri alkalísprungu í Breiðbalakvísl, um 125 míkron, var engin útfelling sjáanleg í sprungunni, en eðlilega er enginn leki í sprungunni. Hins vegar mynduðust útfellingar í um 45 míkrona víðri sprungu, en nokkur vatnsleki var í sprungunni. Þar sem leki er um sprungur virðist XYPEX vera mjög öflugt við að þétta slíkar sprungur. Þar sem greinilegur leki er til staðar virðist XYPEX virka mjög vel við að þétta sprungur, ef lekinn er minni virðist virkni XYPEX til þess að loka sprungum vera minni. Erfitt er að segja fyrir um hæfni XYPEX til þess að loka alkalívirikum sprungum, út frá þessum niðurstöðum. Í fyrsta lagi er nauðsynlegt að vita í hvaða ástandi steypa var þegar XYPEX var borið á og hvort alkalívirknin hafi aukist/minnkað eftir að XYPEX var borið á hana. Í öðru lagi er óvíst hvort það skipti sköpum um framgang alklaívirknin að loka sprungum, væntanlega er mun áhrifaríkara að þétta steypumassann og draga þannig úr vatnsupptöku og í steypunni í Breiðbalakvísl hefur það klárlega gerst.

Niðurstöður úr prófunum með XYPEX admix eru nokkuð misvísandi, en klórleiðni (NT Build 492) er aðeins meiri í sýnum með XYPEX admix, miðað við ómeðhöndluð sýni. Hins vegar er vatnsdrægnin nokkuð minni í sýnum. Niðurstöður úr klórleiðni (NT Build 443) benda einnig til þess að XYPEX admix hefur áhrif á klórleiðnina til batnaðar, þ.e. það virðist ekki þétta steypuna þannig að það dragi úr klórleiðninni. Þegar tekið er mið af vatnstanki á Reyðarfirði, virðist XYPEX þurfa a.m.k. nokkra mánuði til þess að ná upp fullri virkni, þannig að staðlaðar rannsóknastofuprófanir eru e.t.v. ekki góðar til þess að sýna fram á virkni XYPEX admix.



## Samantekt

Helstu niðurstöður þessarar prófunar eru að XYPEX concentrate sé vænlegt til árangurs þegar kemur að viðgerðum á steypu. XYPEX virðist vera mjög virkt við að þétta lekar sprungur og klárlega þéttir efnið einnig efsta lag steypunnar. Við það að þétta yfirborð steypu er dregið úr eða komið í veg fyrir allar helstu steypu skemmdir, s.s. frostskemmdir, alkálívirgni og tæringu bendistáls. Miðað við þessar niðurstöður er XYPEX klárlega góður kostur sem alhliða viðgerðarefni.

Niðurstöður úr prófunum með XYPEX admix eru ekki eins augljósar og með XYPEX concentrate, hins vegar virðist efnið þurfa tiltölulega langan tíma til þess að ná upp fullri virkni. Ljóst er að meiri rannsóknar er þörf.

Helstu niðurstöður úr rannsókninni eru dregnar saman í töflu 7.

Tafla 7. Samantekt á niðurstöðum prófana á XYPEX

Efni	Aðferð	Prófunarstaður	Aðferð	Áhrif XYPEX
Concentrate	Klórleiðni	Rann.stofa	NT Build 492	Minni klórleiðni með XYPEX
Admix	Klórleiðni	Rann.stofa	NT Build 492	Áhrif óljós
Admix	Klórleiðni	Rann.stofa	NT Build 443	Áhrif óljós
Concentrate	Vatnsleiðni	Rann.stofa	US Army Corp CRD - 48	Minni vatnsleiðni með XYPEX
Admix	Vatnsleiðni/sprunguþétting	Mannvirki	Sjónmat	100 % vatnsþétting
Concentrate	Vatnsleiðni/sprunguþétting	Rann.stofa	Heimagerð	100 % vatnsþétting
Concentrate	Vatnsleiðni/sprunguþétting	Mannvirki	Sjónmat	100 % vatnsþétting

## ***Viðauki I – Vatnsleiðni prófun***



**REPORT DATE** Sept 13, 2005  
**FILE** TR-sept13-05.doc

**PAGE:** 1 of 6

Xypex Chemical Corporation  
 13731 Mayfield Place  
 Richmond, B.C. V6V 2G9

**ATTENTION:** Mr. Vic Barber

**PROJECT:** Long Term Effect of Xypex Concentrate on Bridge Deck Concrete  
**SUBJECT:** Water Permeability Testing

**Background**

The deck of a bridge in Eastern Iceland was coated sometime in the past with Xypex Concentrate. Cores were removed from the structure and sent to Xypex Chemical Corporation's lab in Richmond, B.C by Gisli Guðmundsson of Hönnun hf in conjunction with Jon Orn Kristleifsson of XYPEX Iceland. This report contains the results of water permeability testing of the cores to assess the effect over time of the Xypex Concentrate. The chloride penetration resistance was measured and reported separately by Gisli Guðmundsson using the NT Build 492 procedure.

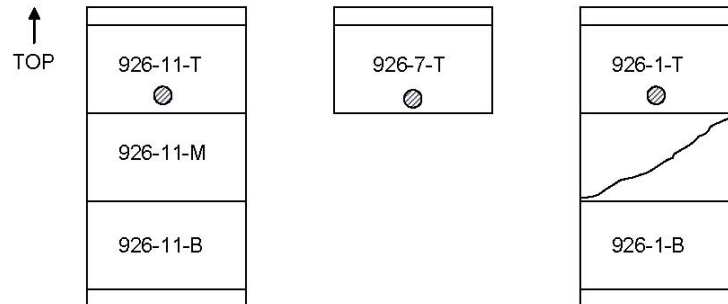
**Procedure**

Three 99 mm diameter concrete core samples were received in June of 2005. The cores were stored in the lab air and then were sawcut to the required lengths using a diamond saw and water on July 29, 2005. The measured length and diameter of the cores are shown in Table 1. The locations of sub-samples are shown in Figure 1. The top approximately 10 mm was cut from the surface to avoid near surface defects and to reflect the procedure completed in the NT Build 492 test. The sample length of 50 mm was the maximum possible for the testing equipment and but was kept to a maximum to reduce the size effect of aggregates. Some reports suggest that aggregate interface effects are limited by using a sample length of 3 times the diameter. Note that the "926" ID is the Xypex lab designation and the numbers 1, 7 and 11 were on the test samples when shipped by Hönnun.

**Table 1: Sub-Sample Dimensions**

	<b>926-1-T</b>	<b>926-1-B</b>	<b>926-7-T</b>	<b>926-11-T</b>	<b>926-11-M</b>	<b>926-11-B</b>
<b>length (mm)</b>	50.5	52.8	55.5	50.5	51.7	54.4
<b>diameter (mm)</b>	98.8	98.7	99.0	98.9	98.9	98.9





**Figure 1: Locations of sawcut samples in core**

Note also that #926-1-B had a large aggregate crossing completely from top to bottom of the 50 mm sub-sample. Some of the cores contained reinforcing steel which is also shown in Figure 1.

The water permeability procedure is a modified version of the US Army Corp CRD-48 test. Essentially, the concrete sample is sealed in a steel annulus, pressurized with water and outflow is measured. The primary modification is a reduced sample size.

Following sawcutting all samples were stored in lab air for approximately 35 days in order to approach mass equilibrium and achieve a similar state of partial saturation. It should be noted that saturation of low permeability concrete is not likely, and steady state flow is considered also unlikely using realistic driving pressures. Therefore the test is run using a transient flow condition that approaches equilibrium. Water is introduced into all specimens at the same age and state of moisture. The time of first water (or dampness) arrival at the downstream side is recorded as is the flow vs time.

The water permeability test apparatus shown in Figure 1. Pressure is delivered using pressurized nitrogen over water (separated by an impermeable bladder). Supply pressure was controlled and measured with pressure gauges and the nitrogen supply regulator. The water supply is de-aired to reduce gas bubble accumulation in the samples.

Pressure was ramped up slowly over a 45 minute period to the test pressure of 0.5 MPa which was held constant through-out the test. The exact pressure regime is not considered important provided that the regime is identical for both Control and treated specimens. Because of the wide range of permeability of concrete, the pressure may need to be adjusted to suit the sample conditions. A very high flow rate will likely alter the concrete pore solution chemistry and physical structure and should be avoided. Too



low pressure will result in a very long test time (or possibly never obtaining flow through the sample).

Each test cell was placed on a stand at a 45° angle. In this manner outflow water can run off the sample and be collected below. Drips of water were carefully directed into a container. The surface of the container was covered with a film of non-volatile oil so that evaporation of the water is minimized. In addition the entire array of test cells was sealed in a polyethylene tent that was kept near 100% relative humidity. This limits evaporation off the downstream surface of the sample before it can fall into the receiving container.

The mass of the container is recorded initially and at intervals and a permeability coefficient is calculated for each interval using the D'Arcy's equation.

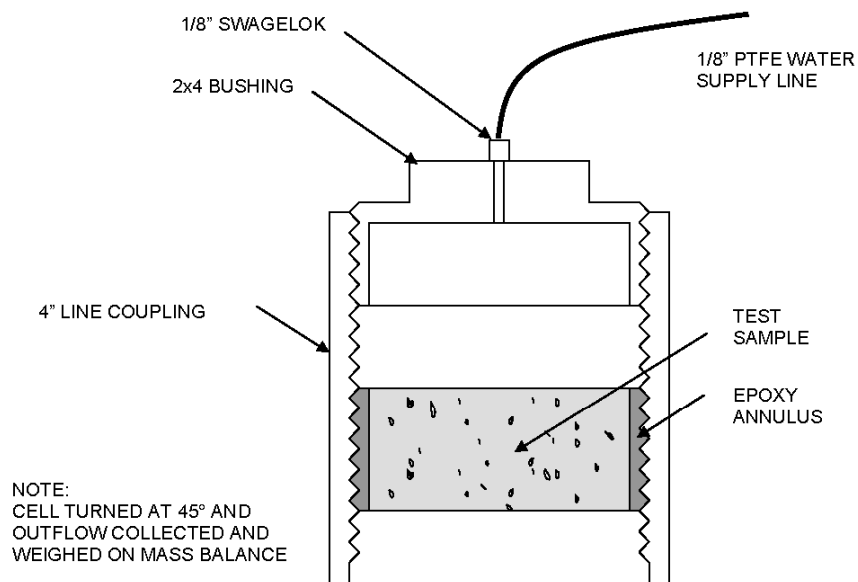







Figure 2: Water Permeability Test Apparatus



### Test Results and Discussion

The time that moisture was first noted on the downstream surface of the samples is shown in Table 2. Also shown is the pattern of water penetration at first arrival of water.

**Table 2: Time of first Water Penetration**

Sample ID	Time of First Water Penetration (min)	Pattern of Water at first Arrival
926-1-T	30	
926-1-B	30	
926-7-T	n/a	n/a
926-11-T	none	
926-11-M	30	
926-11-B	150	

The sample 926-7-T had leak in the test cell at the beginning of the test and no data was collected.

A possible small area of dampness was noticed on 926-11-T but no liquid water was recorded through the sample.

The pattern on 926-1-B was along the interface of the large aggregate which passed through the sample.

The pattern of leakage for most samples remained constant throughout the test, showing that flow was dominated through large capillaries, interfacial zones or microcracks.

The water permeability coefficient was calculated using the D'Arcy equation. Results are shown in Figures 3 and 4.





Figure 3: Eastern Iceland Bridge (Core 926-1)

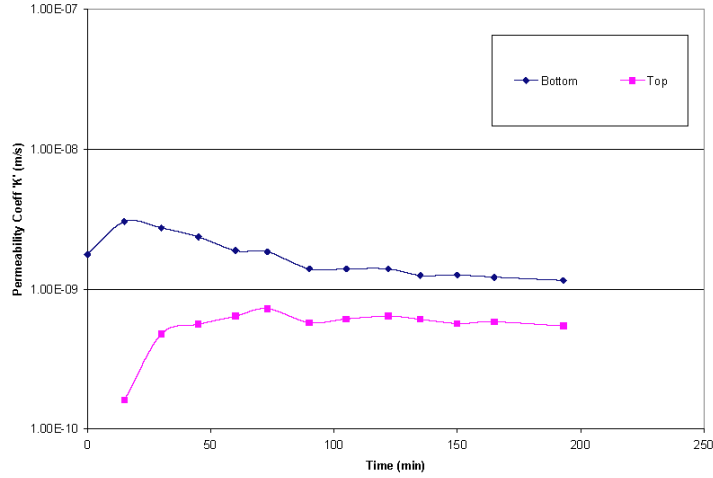
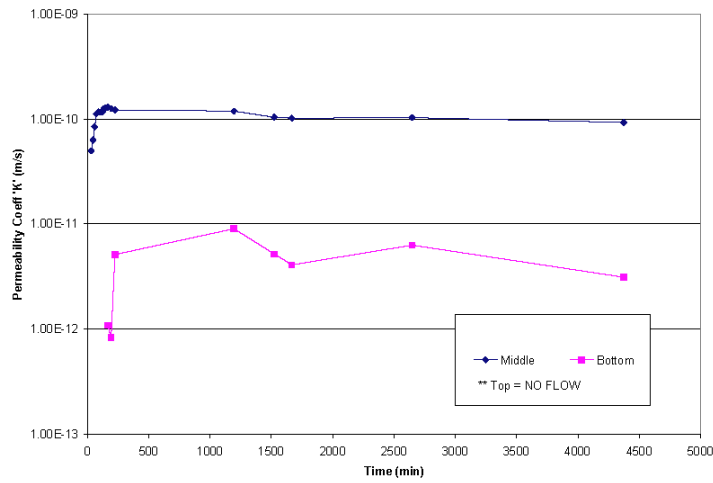


Figure 4: Eastern Iceland Bridge (Core 926-11)





The 926-1 samples were shut off at an early stage as very high flow rates were occurring and flow rate was approximately stable. The remaining samples were continued to 3 days. Final readings of water permeability are shown in Table 3.

**Table 3: Final Recorded Water Permeability Coefficient**

Sample ID	Water Permeability Coefficient (m/s)
926-1-T	$5.4 \times 10^{-10}$
926-1-B	$1.2 \times 10^{-9}$
926-7-T	n/a
926-11-T	no flow
926-11-M	$9.4 \times 10^{-11}$
926-11-B	$3.1 \times 10^{-12}$

Results clearly show that the two sub-samples taken near the surface have a lower water permeability than the samples taken from lower depths within individual cores. One explanation for this is the reduction in permeability near the surface due to the application of Xypex coating.

The results also show that flow is dominant through cracks, transition zones, or very large capillaries. Results are also highly variable, which suggests either variations in the concrete as originally placed or differences in extent of microcracks and transition zone porosity from sample to sample.

Conclusions are complicated by the small sample set, and other factors such as carbonation, which would be expected to reduce surface permeability, and large capillary tracts (from bleeding) and microcracks, which would be expected to be of greater size and extent nearer the surface. Carbonation and Xypex coatings would be expected to make surface layers less permeable, while microcracks and bleed channels would be expected to make surface layers more permeable.

Results, however, provide a positive indication that the Xypex has reduced the surface permeability of the concrete.

per:

**McGrath Engineering Ltd**

Patrick F. McGrath, Ph.D., P.Eng.  
Senior Materials Engineer

***Viðauki II – Grein í Árbók VFÍ/TFÍ 2004***

### **Virgni XYPEX-vatnspéttiefnisins í íslenskri steypu**

Nýlega hóf fyrirtækið Íslenskur aðall ehf. innflutning á XYPEX-péttiefninu frá Kanada.

XYPEX hefur þann eiginleika að eyða óæskilegu vatni í steypu með kristalmyndun. Efnahvörf verða við blöndun XYPEX og vatns og úr verða óuppleysanlegir kristallar sem auka líftíma steypunnar til muna. XYPEX-efnið er til í tveimur útfærslum, annars vegar múrefni á steypa fleti (Concentrate/Moderate) og hins vegar íblöndunarefni í blauta steypu (admix).

Áður en reynt yrði að kynna efnið að einhverju ráði hér á landi var ákveðið að rannsaka virkni þess á íslenska steypu.

Verkfræðistofan Hönnun hf. fékk styrk frá Vegagerðinni til að rannsaka virkni efnisins og var dr. Gísli Guðmundsson í forsvari fyrir þeirri rannsókn.

#### **Brú yfir Breiðbalakvísl**

Fyrir nokkrum árum notaði Vegagerðin XYPEX Concentrate til viðgerðar á brúm. Ein þeirra er brúin yfir Breiðbalakvísl austan við Kirkjubæjarklaustur. Þessi brú var byggð 1972 en var meðhöndluð með XYPEX Concentrate árið 1993 eða fyrir tólf árum.

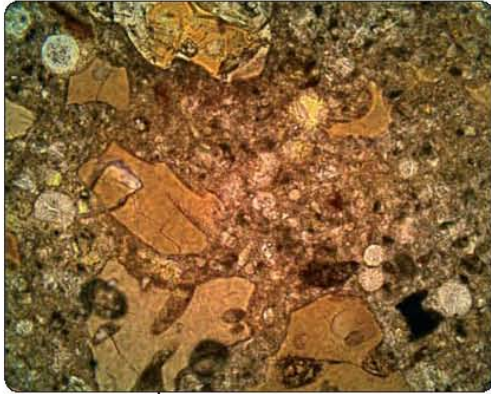
Tekin voru sýni úr brúnni og þau rannsökuð á rannsóknastofu Hönnunar hf. og jafnframt voru send sýni til Kanada á vegum Íslensks aðals ehf. og þau rannsökuð af sérhæfðum XYPEX-sérfræðingum.



Breiðbalakvísl við Kirkjubæjarklaustur.

Þessi brú var byggð árið 1972. Hún var meðhöndluð með XYPEX Concentrate fyrir 10 árum síðan. Glögg má sjá múrhúðina hlémeigin á stólpum, en áveðursmeigin hefur hún máðst af. Það kemur ekki að sök því að húðin er einungis „hýsil“ fyrir XYPEX-kristallana, sem nú eru komnir inn í steypuna.





Breiðabalakvísl við Kirkjubæjarklaustur.  
Smásjármýnd úr steypunni í brúnni yfir Breiðabalakvísl. Myndast hafa hringlaga XYPEX-kristallar í holrýmum þar sem áður var vatn. Stækkun myndar er 20-föld.

Nú hafa niðurstöður rannsókna borist og fer ekki á milli mála að XYPEX-efnið er til staðar (sjá kristalmynd).

Á rannsóknarstofu Hönnunar voru þunnsneiðar teknar og rannsakaðar í ljósmásjá. Á myndunum má greinilega sjá kristalla sem eru á milli 25–65 mikron að stærð. Þess má geta að með ljósmásjá er aðeins hægt að greina útfellingar í tiltölulega stóru holrými (>10 mikron).

Úr kanadísku rannsókninni voru sívalningar sagaðir í þrennt og vatnsdrægni könnuð. Í ljós kom að gríðarlegur munur var á sýnum, sem tekin voru við yfirborðið þar sem áhrifa XYPEX gætti, og þeim sem voru tekin lengra inni í steypuveggnum. Þannig voru yfirborðsýnin nánast algjörlega vatnsheld þrátt fyrir að hafa verið undir miklum vatnsþrýstingi (0,5 MPa). Þess má geta að einn cm var sagaður af yfirborði sýnanna áður en þau voru prófuð.

Sjá heimasíðu Íslensks aðals [www.adall.is](http://www.adall.is) eða heimasíðu XYPEX [www.xypex.is](http://www.xypex.is).

### Tankur við Kalmanstjörn á Reykjanesi

Einnig var gerð sérstök rannsókn á getu XYPEX undir vatnsþrýstingi. Tankur í eigu Stofnfisks hf. við Kalmanstjörn á Reykjanesi var smurður með XYPEX Concentrate. Við skil veggjar og gólfs var höggvin 4 X 4 cm rauf, hún fyllt með Pach&Plug vatnsþéttiefni (inniheldur XYPEX) og XYPEX Concentrate smurt yfir. Stálplata var sett fyrir hurð og steyppt í hurðargatið.



Tankurinn við Kalmanstjörn.



Hér má greinilega sjá leka, hvíta rákin hægra megin á myndinni er salt.



Fjögurra sentimetra djúp og fjögurra sentimetra breið rauf er höggvin þar sem lekinn er og töluvert vatn vætlar út.



XYPEX Patch & plug-þéttiefni er þrýst inn í raufina.



Loks er XYPEX Concentrate smurt yfir allt hurðaropið.

Á mynd má sjá að ekki hefur náð að þétta hurðargatið og lekur í samskeytum. Þar sem um saltvatn er að ræða má greinilega sjá hvíta saltröndina. Höggvin var u.þ.b. 4 x 4 cm. rauf þar sem lekinn var. Á þessu stigi vætlaði vatnið út af þó nokkrum þrýstingi. Pach&Plug var þrýst í raufina og Xypex Concentrate smurt yfir. Einnig var steypan í hurðargatinu þétt með Concentrate. Hálfum mánuði eftir meðhöndlun var gerð úttekt á tankinum og var þá hvergi hægt að sjá leka.

Vatnshæð í tankinum var um fimm metrar og því um töluverðan vatnsþrýsting að ræða.

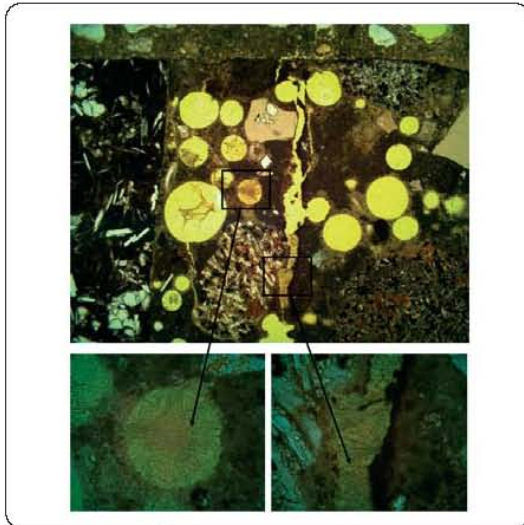
Viðgerðarefnið XYPEX hefur einstaka virkni miðað við önnur viðgerðarefni sem ætluð eru á steinsteypta fleti. Í stuttu máli kristallast efnið í holrými þar sem rakastigið er tiltölulega hátt og þannig þéttist steypan smám saman og á endanum lokar það fyrir leið vatns inn í steypuna, sem leiðir til þess að steypan þornar. Þannig eykst veðrunarþol (frostþol, tæring í bendistáli, alkalivirkni, súlfatskemmdir) steypunnar smám saman.



Þessi mynd er tekin um hálfum mánuði eftir meðhöndlun. XYPEX-efnið hefur náð að þétta og ekki er minnsti vottur um raka.

### Rannsóknartilraunir

Á tilraunastofu Hönnunar hf. voru gerðar tilraunir á tveimur sýnum. Steypt voru sýni og þau brotin í tvennt eftir endilöngu. Brotin voru sett saman og vatnsálag sett á aðra hlið sýnanna. Þetta voru 10 cm breiðir sílindrar sem búið var að sneiða í 5 cm sneiðar. Sýnin voru sett í 15 cm langa gúmmihulsu og þrengt að með klemmum. Um einn lítri af vatni var settur í hulsuna og vatnsborði síðan haldið stöðugu í þrjá sólarhringa. Eftir þann tíma var annað sýnið rakt en hitt lak töluvert eða um 11 ml á klst. XYPEX Concentrate var smurt á yfirborð sýna og látið harðna. Sýnin voru síðan sett í hulsu sem var fyllt af vatni og hliðin, sem var meðhöndluð með XYPEX, látin snúa niður.



Smásjármýnd af sprungu í sýni.

Smásjármýnd af steinsteypu, í yfirborði steypunnar er sprungan og XYPEX lagið fyrir ofan. Sjá má að sprungan, sem og nærliggjandi holrými, eru fyllt með nárlarlega kristöllum. Efri myndin er tekin í fimmfaldri stækkun en neðri myndirnar eru teknar í 40-faldri stækkun.

Til að byrja með voru bæði sýnin yfirborðsblaut og einn og einn dropi myndaðist og lak af sýnunum. Hins vegar var lekinn aldrei mælanlegur og fljótlega þornaði XYPEX-lagið upp.

Eftir þrjá mánuði var prófunum hætt og sýnin rannsökuð. Sýnið sem lak í byrjun var sagað í sundur, þvert við brotsprunguna, og þunn sneið tekin. Á smásjármýndum er greinilega hægt að sjá hvernig vatnið hefur hvarfast við XYPEX-efnið og myndað útfellingar í sprungum og holrýmum og þannig lokað sprungunni og þétt steypuna. Þegar sneiðin var tekin var XYPEX-lagið orðið um þriggja mánaða gamalt. Sprungan hefur því þétt mjög fljótt og kristallarnir hafa myndast mjög snemma.

XYPEX hefur augljós áhrif á vatnsleiðni, bæði í óskemmdri steypu sem og í sprungum. Í óskemmdri steypu minnkar XYPEX-vatnsleiðnin með því að loka smáum þórum. Sprungum er lokað á sama hátt með útfellingum í sprungunum.

Xypex hefur skýr áhrif á endingu steinsteypu, eins og frostþol, alkálívirgni og tæringu bendistáls. Með því að þétta steypuna og draga úr vatnsleiðni inn í steypu er dregið úr hættu á frostskeiðum og alkálívirgni, jafnframt minnkar klórleiðni inn í steypu og því er minni hættu á tæringu bendistáls.

## Niðurstöður

Niðurstöður úr öllum rannsóknum á virkni XYPEX-efnis í íslenskrri steypu benda til að efnið virki og eru í einu og öllu í samræmi við aðrar niðurstöður erlendis frá. Sjá heimasíðu XYPEX, [www.xypex.com](http://www.xypex.com).

### Samantekt á niðurstöðum prófana

Prófun	Áhrif XYPEX
1. Klórleiðni (Nt Build 492)	Minni klórleiðni með XYPEX concentrate
2. Vatnsleiðni – rannsóknarstofa (Kanada)	Minni vatnsleiðni með XYPEX concentrate
3. Sprunguþétting – rannsóknarstofa	100% vatnsþétting
4. Sprunguþétting – mannvirki	100% vatnsþétting