



MANNVIT



EFNI TIL INNÞÉTTINGAR SPRUNGNA Í SLITLAGI BRÚA

LOKASKÝRSLA

SKJALANÚMER:						
NÚGILDANDI ÚTGÁFA: 04						
ÚTGÁFA	DAGS. ÚTG	ÚTGÁFUSTAÐA	HÖFUNDUR	RÝNIR	SAMÞYKKT	VERKKAUPI
1.04	17.01.2017	IFA	GG			Já
1.03	13.01.2017	IFA	GG	Sv.Sv.	Já	Já
1.02	09.01.2017	IFA	GG	Sv.Sv.	Já	Já
1.01	29.12.2016	IFA	GG	N/A	N/A	N/A

EFNI TIL INNPÉTTINGAR SPRUNGNA Í SLITLAGI BRÚA
SKJALANÚMÉR:
ÚTGÁFUNÚMÉR:



Titilblað

Skjalaheiti:	Skýrslu númer: MV-2017-001	Útgáfudagur: 13.01.2017	Útgáfunúmer:
--------------	-------------------------------	----------------------------	--------------

Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Efni til Innpéttingar Sprungna í Slitlagi Brúa	Upplag: Stafræn skýrsla
	Fjöldi síðna: 22

Höfundur/ar: Gísli Guðmundsson	Verkefnisstjóri (undirskrift): 
	Yfirfarið (undirskrift): 

Verkkaupi: Vegagerðin	Tengiliður verkkaupa: Gylfi Sigurðsson
Samstarfsaðilar: Gylfi Sigurðsson, Aron Bjarnason	

Útdráttur: Markmið verkefnisins var að kanna hvort þéttiefnin Radcon formula #7 og Maleki LL100 þétti yfirborðsprungur í steinsteypu með flugöskusementi. Bæði efnin eru í vökvaformi og fljótvirk. Til samanburðar var stuðst við mælingar á ómeðhöndlaðri steinsteypu og steypu meðhöndlaðri með Xypex Concentrate, sem er sementsbundið þéttiefni. Einnig var virkni efnanna borin sama við virkni efnanna í steypu með Venjulegu Portlandsementi. Þegar efnin voru prófuð á steypu með flugösku, þá minnkaði lekinn nokkuð miðað við ómeðhöndlað sýni. Því er helsta niðurstaða verkefnisins að virkni Radcon formula #7 og Maleki LL100 þéttiefna er nokkur í steinsteypu með flugöskusementi. Virkni efnanna tveggja var engin í steypu án flugösku. Í samanburði við Xypex Concentrate þá er virkni Radcon formula #7 og Maleki LL100 þéttiefna ekki eins mikil. Á próftímabili verkefnisins, sem var allt að um 67 dagar, tókst engu efnanna þriggja að koma alveg í veg fyrir sprunguleka. Þótt þéttiefnin Radcon formula #7 og Maleki LL100 dragi úr leka í sprungum verður það að teljast ólíklegt að þessi efni gagnist Vegagerðinni við þetta víðar sprungur í yfirborði steyptra brúargólfa. Til þess þurfa efnin að koma alveg í veg fyrir sprunguleka. Efnisorð: Radcon formula #7, Maleki LL100, Xypex Concentrate, sprunguþéttiefni.
--

Dreifing:

- Opín öllum starfsmönnum
(Rafræn í bóksafni)
- Lokuð
(Engin dreifing nema með leyfi
verkkaupa)

Efnisyfirlit

1. Inngangur	1
2. Prófanir.....	2
3. Steypublöndur	3
4. Niðurstöður prófana	3
4.1 Steypublanda HÓ-A-4 – Viðmiðunarblanda.	4
4.2 Steypublanda HÓ-FA-01	9
4.3 Sýni HÓ-FA-30-3.....	16
4.4 Samantekt niðurstaðna	20
5. Samantekt	21

Töfluskrá

Tafla 1: Meðaltalsleki (mL/min) í ómeðhöndluðum og meðhöndluðum sýnum.....	21
--	----

Myndaskrá

Mynd 1. Uppsetning á lekaprófun t.v. og sprungið steypusýni í hulsu t.h.	3
Mynd 2. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, ómeðhöndluð sýni.	5
Mynd 3. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7.	6
Mynd 4. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, sýni meðhöndluð með Maleki LL100.....	7
Mynd 5. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, sýni meðhöndluð með XYPEX Concentrate.	8
Mynd 6. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, ómeðhöndluð sýni.	10
Mynd 7. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7.	11
Mynd 8. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7.	12
Mynd 9. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Maleki LL100.....	13
Mynd 10. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Maleki LL100.....	14
Mynd 11. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með XYPEX Concentrate.	15
Mynd 12. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Xypex Concentrate.....	16
Mynd 13. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, ómeðhöndluð sýni.	17
Mynd 14. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7.	18
Mynd 15. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, sýni meðhöndluð með Maleki LL100.....	19
Mynd 16. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, sýni meðhöndluð með XYPEX Concentrate.	20

1. Inngangur

Venja Vegagerðarinnar hefur verið, að hafa ekki vatnsvarnarlag í yfirborði steyptra brúa úti á landi. Vatnsvarnarlag samanstendur af malbiki og tveggja þátta þéttiefni eða tjörupappa. Í þessum tilvikum er yfirborðið eða slitlagið efsti hluti burðarvirkisins. Í tilvikum þar sem yfirborðsskemmdir hafa komið fram, eins og t.d. slit, hefur þurft að vatnsbrjóta efsta lagið, slitlagið, í burt og endursteypa það með sérhannaðri steypu. Þetta er dæmi um framkvæmd, þar sem erfitt er að hafa stjórn á öllum aðstæðum, nýtt lag sem á eftir að rýrna er steyp ofan á flöt, sem er langt kominn í rýrnunarferlinu. Sprungur hafa þannig komið fram í nýjum ásteypulögum í t.d. Borgarfjarðar- og Sogsbrúm. Steypa sem er fyrirskrifuð í íslenskar brýr er almenn þétt, en við sprungumyndun ræðst það af vídd og dýpt sprungnanna hvort vatn gengur inn í steypuna að járnbandingu eða kapalörum. Vatnið ber með sér salt, af sjávar uppruna og/eða vegsalt þar sem vegir eru saltaðir. Þegar styrkur klóríðjóna við bendistál er yfir hættumörkum m.t.t. tæringar, skapast tæringarhætta. Með hliðsjón af endingu mannvirkjanna er mikilvægt að koma í veg fyrir að tærandi efni, eins og t.d. klóríðjónir, komist að járnabendingunni.

Þegar brýrnar voru hannaðar var hvorki gert ráð fyrir viðbótarlagi af völdum vatnsvarnarlags og asfalts né áhrifum þess á aðra þætti, svo sem bríkurhæðir og hæðarlegu brúanna almennt. Það þarf því að leita annarra leiða til þess að þetta of víðar sprungur í yfirborði steyptra brúargólfa. Sílan hefur verið notað um árabíl hér á landi, en virkni þess er ekki nægjanleg í lítt hallandi flötum eins og hér um ræðir.

Efnið Xypex Concentrate hefur verið notað til að þetta sprungur í lóðréttum flötum, en þar sem það skilur í byrjun (einhverjar vikur) eftir sig slíkjú í yfirborðinu er a.m.k. vafasamt að nota það á fleti sem umferð á eftir að fara um (slettist á bíla, minna viðnám). Efnið Radcon fomula #7 er hins vegar ætlað m.a. á yfirborð brúa skv. upplýsingum framleiðanda, en það myndar hlaup inni í sprungunum og hverfur af yfirborðinu eftir um 6 tíma skv. upplýsingum framleiðanda. Maleki LL100 er einnig efni sem ætlað er að þetta yfirborð sprunginnar steypu og varna leiðni vatns og annarra efna eins og sjávar inn í steypu. Maleki LL100 er tveggja þátta glært silan sem þornar af yfirborði eftir 6 tíma, miðað við upplýsingar frá framleiðanda.

Vegagerðinni er hins vegar ekki stætt á að nota ný efni nema að undangengnum rannsóknnum, sem staðfesta að það henti sementsgerðum sem algengt er að nota hér á landi, þ.m.t. flugöskublönduð sementi og þar með íslenskri steypu og íslenskum aðstæðum að öðru leyti. Reikna má með að notkun flugöskusements færist í vöxt hér á landi vegna umhverfissjónarmiða.

Tilgangurinn með verkefninu var að rannsaka hvort Radcon formula #7 og/eða Maleki LL100 henti til þess að innþétta sprungur í steypu með sementsgerðum, sem algengt er að nota hér á landi þ.á.m. flugöskublandað sement. Vegagerðin gerir auk þess kröfu um að sement sé kísilrykblandað og í dag er algengt að miða við 6 % kísilryk. Í þessu verkefni var notað um 4 % kísilryk.

Virkni Radcon formula #7 og Maleki LL100 var borin saman við virkni Xypex Concentrate sem og ómeðhöndluð sýni. Í þessu sambandi þá er þess að geta að lítil reynsla er af efnunum Radcon formula #7 og Maleki LL100, en veruleg reynsla er af XYPEX Concentrate.

Markmið Vegagerðarinnar er að hafa tiltækt efni, með nægjanlega virkni, nothæft á lárétta og lítt hallandi fleti, sem unnt er að grípa til, þegar sprunguvídd verður meiri en ráðgert var eða lagt upp með í upphafi.

Verkefnið er styrkt af Rannsóknarsjóði Vegagerðarinnar. Niðurstöður þessarar skýrslu ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar.

2. Prófanir

Lekaprófun um sprungur

Tilgangurinn með prófununum var að sýna fram á virkni Radcon formula #7, Maleki LL100 og XYPEX concentrate til að þétta lekar sprungur í steinsteypu. Ekki tókst að finna hentugar staðlaðar prófanir til þess og því var stuðst við sérhannaða prófunaraðferð til þess að mæla vatnsleka í gegnum sprungur í steypu. Þessi prófunaraðferð er hönnuð af höfundi þessarar skýrslu og henni hefur áður verið beitt við sambærilegar rannsóknir, sjá Gísli Guðmundsson, 2007¹.

Prófunaraðferð

Prófunin gengur í megin dráttum út á að mæla leka í gegnum sprungu í prófhlut úr steinsteypu. Prófunin var framkvæmd þannig að steypusívalningur með 10 cm þvermál er sagaður niður í 5 cm þykkar sneiðar. Þrjár sneiðar voru prófaðar fyrir hvert þéttiefni og hverja steypublöndu. Þannig var reynt að gera rannsóknina marktæka. Hver sneið var klofin í tvennt þvert á endafletina (sbr. kleifnitogstyrksprófun). Reynt var að kljúfa hverja sneið þannig að helmingarnir yrðu jafn stórir. Brotin voru síðan sett saman, komið fyrir í gúmmihulsu og hert að með hosuklemmu. Gúmmihulsan var höfð það löng að um 800 mL af vatni rúmuðust í henni ofan við sneiðina, miðað við að steypusneiðin væri neðst í hulsunni. Stálteinn var rekinn í gegnum topp hulsunnar og hún látin hanga við efri brún fötu þannig að steypusneiðin snerti aldrei vatnsborð í fötunni, sjá Mynd 1. Á myndinni t.h. má sjá hvar búið er að koma fyrir steypusneið í gúmmihulsu, ef vel er að gáð má sjá sprungu þvert yfir sneiðina. Sprunguflöturinn í hverju sýni er um 10 cm á lengd og um 5 cm á breidd eða um 50 cm að flatarmáli.

Ekki var gerð tilraun til þess að mæla sprunguvídd í sneiðunum en reynt var að stjórna sprunguvíddinni með því að stjórna leka í gegnum sprungurnar. Hosuklemman, sem hélt utan um hulsuna, var hert eða losuð og þannig var hægt stýra lekanum í gegnum sýnin og í sumum tilfellum var sandkorn sett inn í sprunguna til þess að hún héldist gleið og vatn næði að leka í gegn.

Lekinn var mældur þannig að rúmmál vatnsins í hverri hulsu var mælt reglulega og vatni bætt í að upphaflegu rúmmáli. Vandamál við þess aðferð er að ef lekinn er mikill þá minnkar vatnshæðin og þar með þrýstingurinn ofan á steypusneiðinni hratt, auk þess sem hætta er þá á að sneiðin standi þurr í einhvern tíma (eins og t.d. yfir helgi). Ekki var gerð tilraun til þess að halda jöfnu vatnsmagni í hulsunum, heldur var það látið sveiflast eftir því hve lekinn var mikill. Vatni var bætt á sýnin á 24 til 48 tíma fresti. Vatnshæðin í hverri hulsu var mest um 10 cm, sem samsvarar um 0,01 bar vatnsþrýstingi og sveiflur í vatnshæð því innan eðlilegra loftþrýstingsbreytinga. Þar af leiðandi þótti ekki ástæða til þess að halda vatnshæðinni í hulsunum stöðugri.

¹ Gísli Guðmundsson, 2007. Prófanir á steypu með vatnspéttiefninu XYPEX, lokaskýrsla. VGKHönnun, VH 2007-132, 89 bls.



Mynd 1. Uppsetning á lekaprófun t.v. og sprungið steypusýni í hulsu t.h.

3. Steypublöndur

Í þessari rannsókn voru útbúnar þrjár blöndur, allar með fylliefni frá Hólabrú í Hvalfirði. Blönduhlutföllin voru þau sömu, dæmigerð brúarsteypa með v/s-hlutfall 0,4, um 400 kg/m^3 af bindiefni og loftinnihald 6% (áreitissflokkur XF4). Viðmiðunarsteypa (HÓ-A-4) var steyppt með norsku Anlegg sementi, með 4% viðbættu kísilryki. Síðan voru steyptar tvær steypur með flugösku sementi, annars vegar með Standard FA (með 20% flugösku) og 4% viðbættu kísilryki (HÓ-FA-01) og hins vegar Anlegg sement með 30% af viðbættir flugösku og 4% af viðbættu kísilryki (HÓ-FA-30-3). Sementstegundirnar tvær, flugaskan og kísilrykið eru frá Norcem AS.

4. Niðurstöður prófana

Prófanirnar skiptust í tvo hluta, annars vegar í prófanir þar sem leki í gegnum ómeðhöndlað sýni er mældur og hins vegar í prófanir þar sem búið er að meðhöndla sýni með viðkomandi efni. Fyrir hvert efni voru þrjú sýni prófuð. Til viðmiðunar eru annars vegar sá hluti hvernar prófunar þar sem ekki var búið að bera efnin á og hins vegar voru ómeðhöndluð sýni prófuð yfir allan próftímann.

Lekamælingar voru framkvæmdar á tvo mismunandi máta. Fyrir sýni HÓ-FA-01, var lekanum í gegnum sprunguna ekki stjórnað með utan að komandi ráðum. Í byrjun prófs var lekinn í gegnum sýnin stilltur mjög gróflega þannig að hann væri svipaður í öllum sýnunum. Síðan þróaðist lekinn á sinn veg, eins og kemur fram á Mynd 6 til Mynd 11. Ómeðhöndluð sýni voru prófuð í um 70 tíma og síðan eftir að efni voru borin á sýnin, voru þau prófuð í um 350 tíma til viðbótar. Fyrir sýni HÓ-FA-30-3 og HÓ-A-4 var reynt að stjórna lekanum eftir því sem leið á prófunina á ómeðhöndluðum sýnum, vanalega til að auka lekan. Hins vegar eftir að viðkomandi þéttiefni höfðu verið borin á, var lekanum ekki breytt. Próftími fyrir sýni HÓ-FA-30-3 og HÓ-A-4 var um 760 klst á ómeðhöndluðum sýnum og um 870 tímar á meðhöndluðum sýnum. Heildarleki í gegnum sýnin HÓ-FA-30-3 og HÓ-A-4 er gróflega áætlað um 10 L fyrir sérhvert prófsýni eða um 30 L fyrir hvert prófað efni á hvorri steypublöndu fyrir sig. Prófananiðurstöður á sýnum HÓ-FA-30-3 og HÓ-A-4 er sýndur á Mynd 2 til Mynd 5 og á Mynd 13 til Mynd 16. Á myndunum er sýnt með rauðum kassa, þegar reynt var að auka lekan í gegnum viðkomandi sýni.

Eins og komið hefur fram voru prófaðar þrjár tegundir af þéttiefnum, þ.e. Radcon formula #7, Maleki LL100 og Xypex Concentrate. Radcon formula #7 og Maleki LL100 eru í vökvaformi, en Xypex Concentrate er sementsbundið efni. Efnin voru borin á yfirborð sýnanna samkvæmt leiðbeiningum frá framleiðendum. Maleki LL100 er tveggja þátta efni, þar sem grunnefni er borið á steypuyfirborðið og síðan var efnið borið á steypuna. Radcon formula #7 og Maleki LL100 voru borin á þá hlið sem snéri

upp að vatnsborðinu, en Xypex Concentrate var borin á neðri hlið sýnisin, þess er var í lofti. Virkni Xypex Concentrate er þannig að virka efnið í því vex ((fellur út) í lekum sprungum og vinnur sig að uppruna lekans.

Það virðist vera sannmerkt með flestum sýnanna að lekinn í gegnum ómeðhöndluð sýni minnkar með tíma. Einskonar sjálfþétting (e: autogeneous healing) á sér stað. Af þessum sökum reyndist erfitt að prófa sýni með tiltölulega mikinn leka (> 0,2 mL/min) og ná stöðugum leka. Þessi tilhneiging hefur áhrif túlkun á virkni viðkomandi efnis.

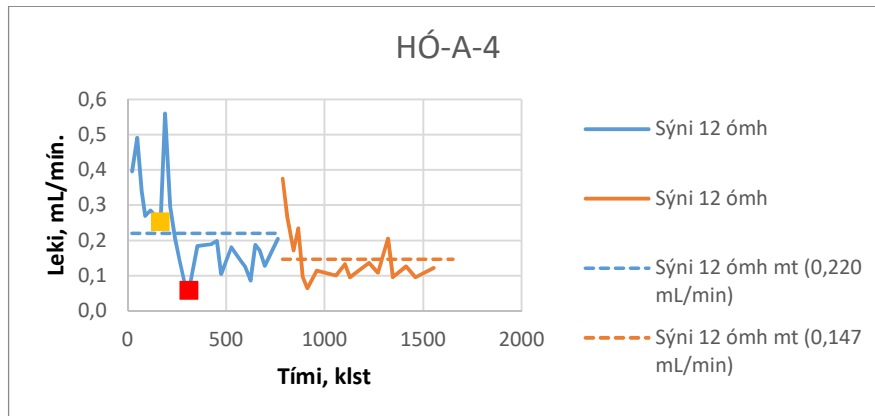
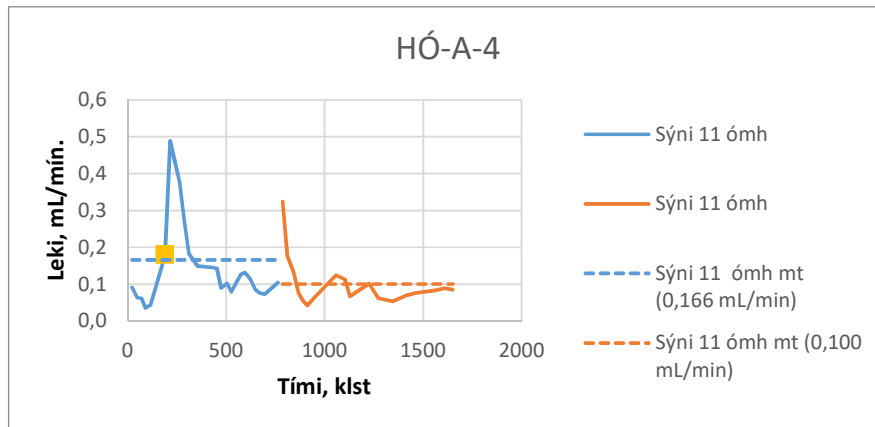
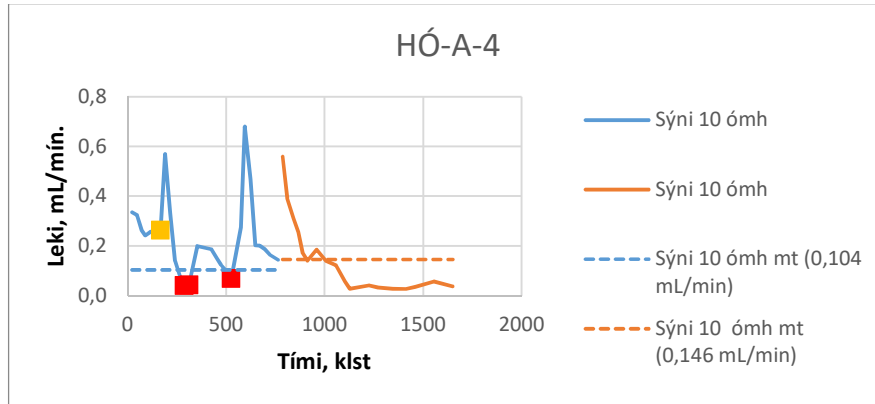
Niðurstöður prófanna eru gefnar á meðfylgjandi myndum. Sé þess óskað er hægt að fá tölulegar niðurstöðurnar hjá höfundu þessarar skýrslu.

4.1 Steypublanda HÓ-A-4 – Viðmiðunarblanda.

Viðmiðunarblandan, þ.e. steypa án flugösku var prófuð í sprunguleka þar sem sprungan og yfirborð steypunnar var þétt með mismunandi yfirborðsefnum. Niðurstöður úr prófununum eru sýndar á Mynd 2 til Mynd 5.

Ómeðhöndluð sýni

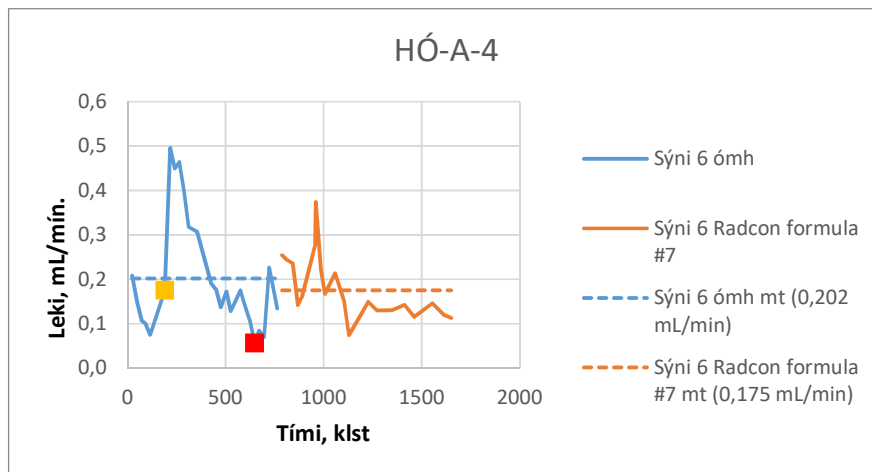
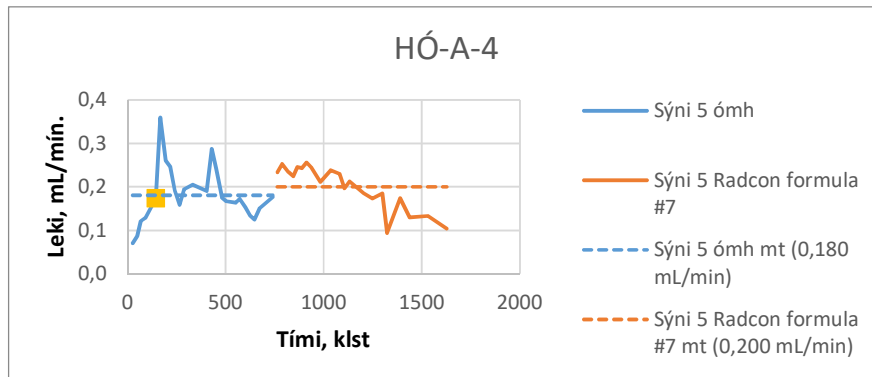
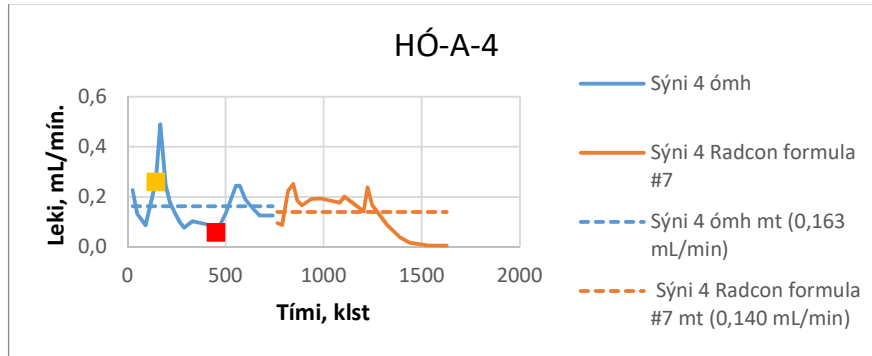
Á Mynd 2 eru sýndar niðurstöður úr prófun á ómeðhöndluðu sýni. Eins og sjá má sveiflast lekinn fyrri hluta prófsins (blái ferillinn), en á þeim hluta prófsins var verið að stilla lekann af. Í seinni hluta prófsins (applesínuguli ferillinn) var lekanum ekki breytt. Einhverra hluta vegna jókst lekinn í byrjun seinni hluta prófsins í sýnunum þremur. Að meðaltali er lekinn í seinni hluta prófsins minni en lekinn í fyrri hluta þess, þó er breytingin ekki mikil. Svo virðist sem að lekinn sé orðinn nokkuð stöðugur a.m.k. síðustu 500 tíma (21 dagur) prófsins.



Mynd 2. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, ómeðhöndluð sýni. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka einnig í ómeðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga. Gulur kassi sýnir þegar þétt var meðfram hulsu og sýnis með þéttiefni. Rauður kassi sýnir þegar reynt var að auka lekann í gegnum sýnið.

Radcon formula #7

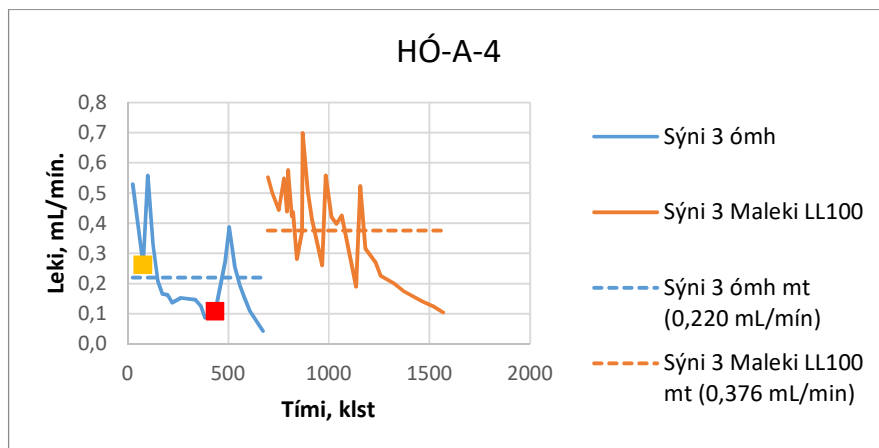
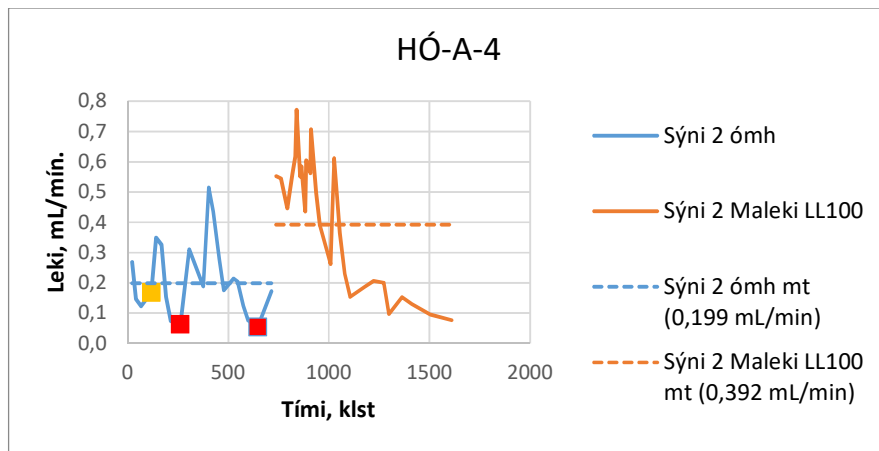
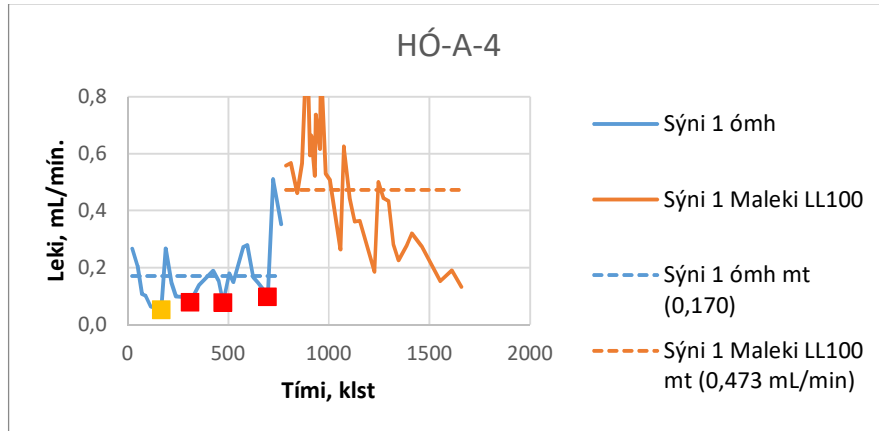
Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Radcon formula #7 eru sýnar á Mynd 3. Eins og sjá má breytist meðaltalslekkinn ekki mikið fyrir og eftir meðhöndlun með Radcon formula #7, þó fer lekinn minnkandi í öllum sýnunum eftir að efni hefur verið borið á.



Mynd 3. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga. Gulur kassi sýnir þegar þétt var meðfram hulsu og sýnis með þéttiefni. Rauður kassi sýnir þegar reynt var að auka lekann í gegnum sýnið.

Maleki LL100

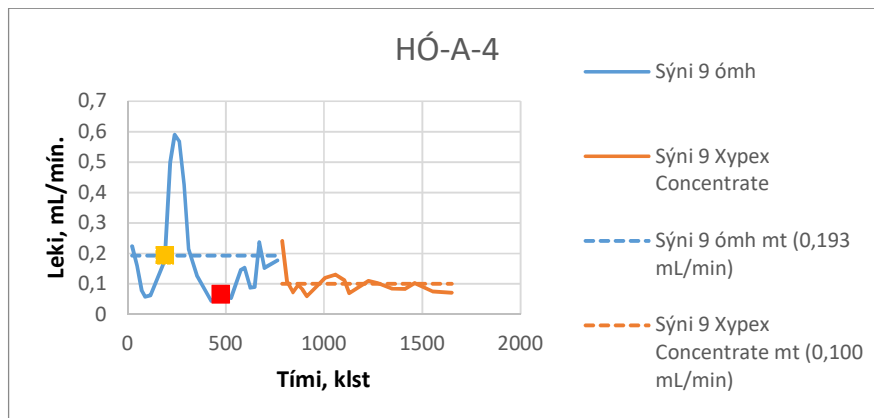
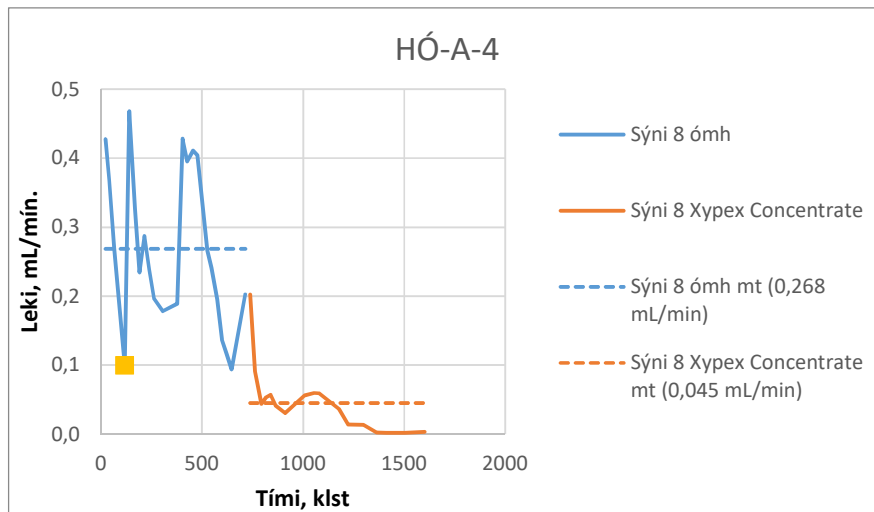
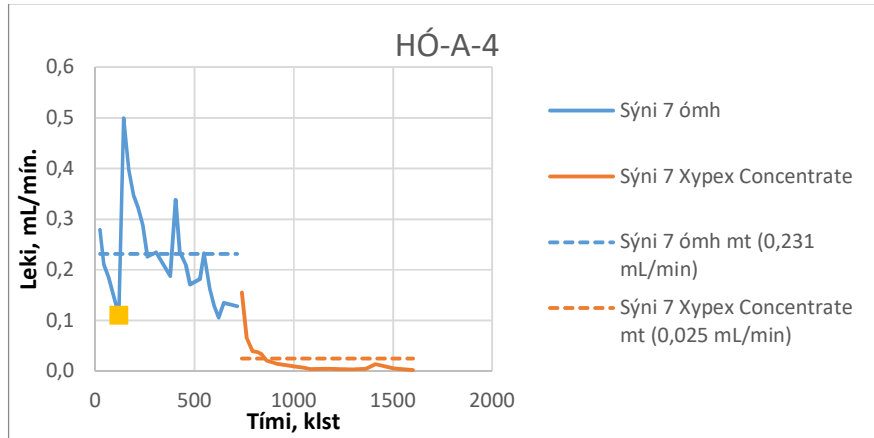
Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Maleki LL100 eru sýnar á Mynd 4. Eins og sjá má eykst lekinn verulega eftir meðhöndlun með Maleki LL100. Ástæða fyrir því er óljós. Hins vegar minnkar lekinn alltaf eftir að búið er að bera efnið á, þótt meðaltalslekinn sé hærrí í meðhöndluðum en í ómeðhöndluðum sýnum



Mynd 4. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, sýni meðhöndluð með Maleki LL100. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga. Gulur kassi sýnir þegar þétt var meðfram hulsu og sýnis með þéttiefni. Rauður kassi sýnir þegar reynt var að auka lekann í gegnum sýnið.

Xypex Concetrate

Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Xypex Concetrate eru sýndar á Mynd 5. Eins og sjá má þá minnkar meðaltalslekinn verulega eftir meðhöndlun með Xypex Concetrate.



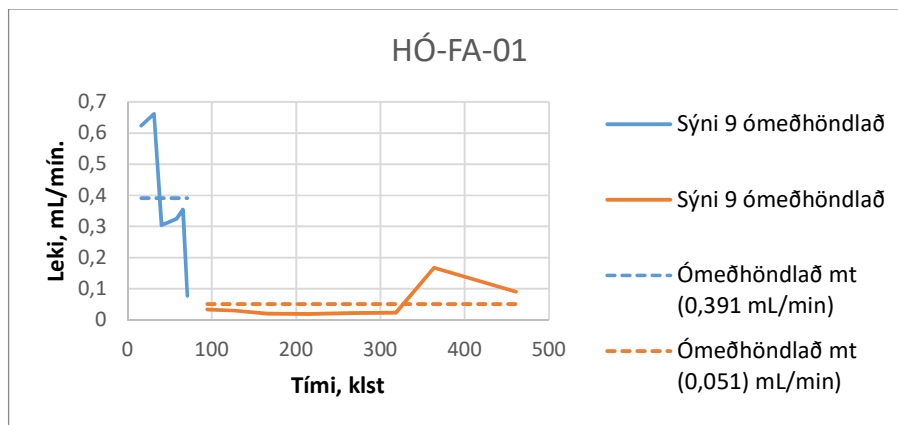
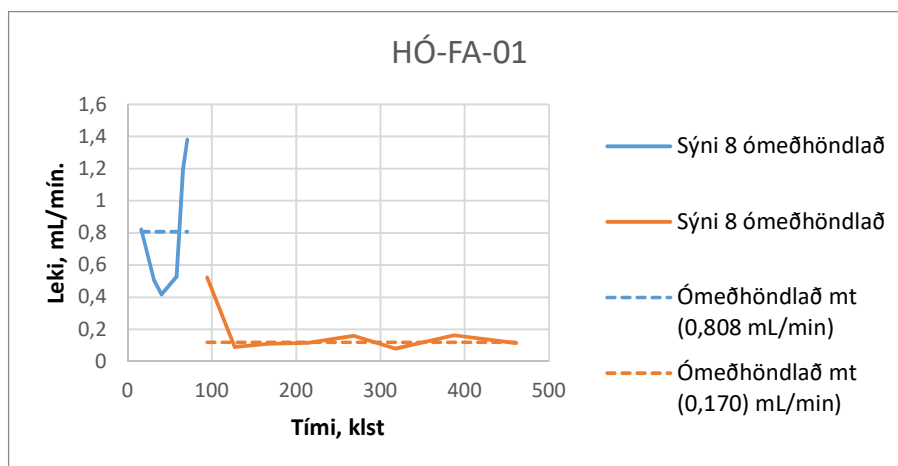
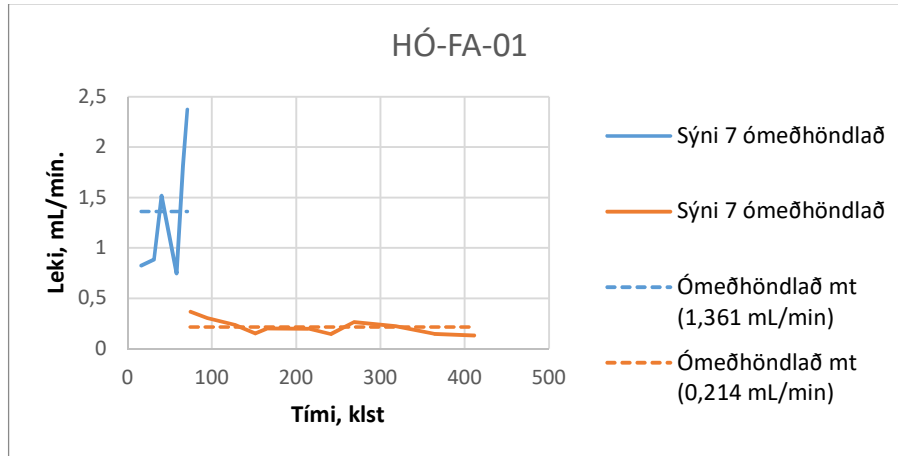
Mynd 5. Lekamæling á steypublöndu HÓ-A-4, sýni meðhöndluð með XYPEX Concentrate. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga. Gulur kassi sýnir þegar þétt var meðfram hulsu og sýnis með þéttiefni. Rauður kassi sýnir þegar reynt var að auka lekann í gegnum sýnið.

4.2 Steypublanda HÓ-FA-01

Steypublanda HÓ-FA-01, stept með flugöskusementi og íblönduðu kísilyki, var prófuð í sprunguleka prófuninni þar sem sprungan og yfirborð steypunnar var þétt með mismunandi yfirborðsefnum. Niðurstöður úr prófununum eru sýndar á Mynd 6 til Mynd 11.

Ómeðhöndluð sýni

Á Mynd 6 eru sýnar niðurstöður úr prófun á ómeðhöndluðu sýni. Eins og sjá má er lekinn í fyrri hluta prófsins mjög hár, meðaltalslekinn er á milli 0,4 til 1,4 mL/min. Þessi stærðargráða af leka er mun meiri en lekinn í steypublöndum HÓ-A-4 og HÓ-FA-30-3. Lekinn á seinni hluta tímabilsins er hins vegar mun lægri, eða frá 0,05 til 0,022 mL/min. Lekinn í gegnum sýnin á seinni hluta tímabilsins er nokkuð stöðugur og lekinn minnar ekki að ráði.

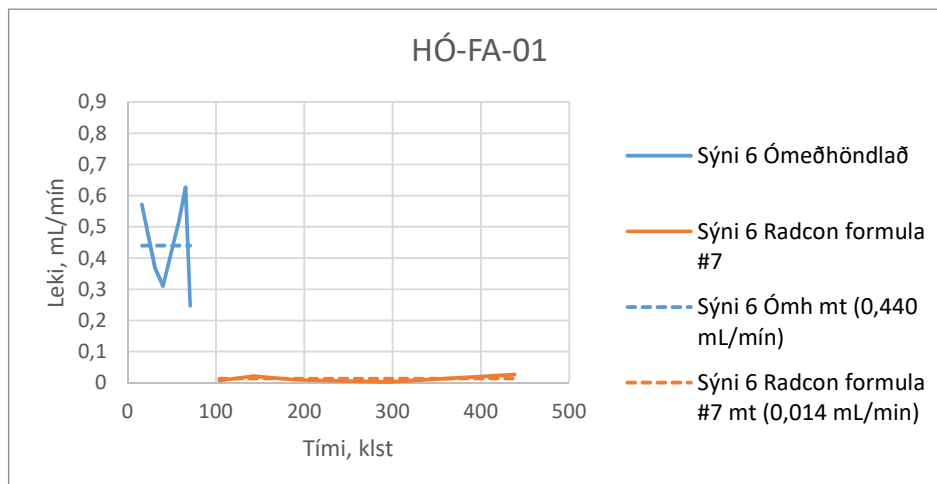
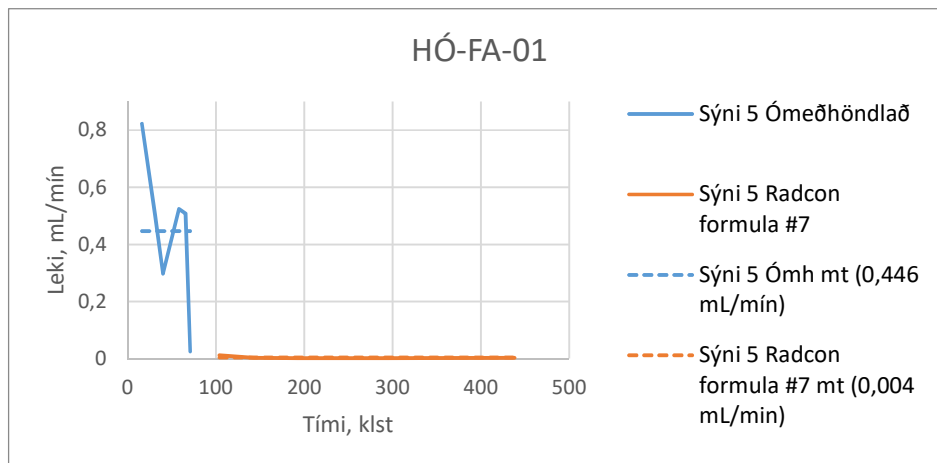
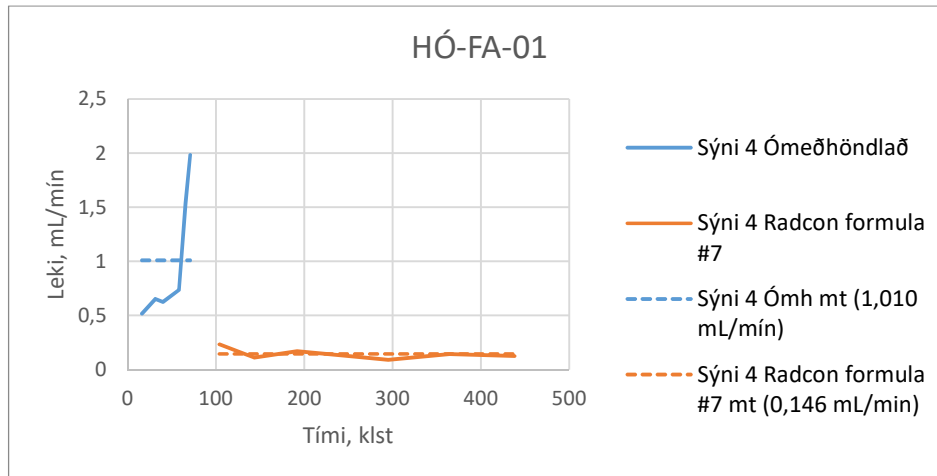


Mynd 6. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, ómeðhöndluð sýni. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir einnig leka í ómeðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga.

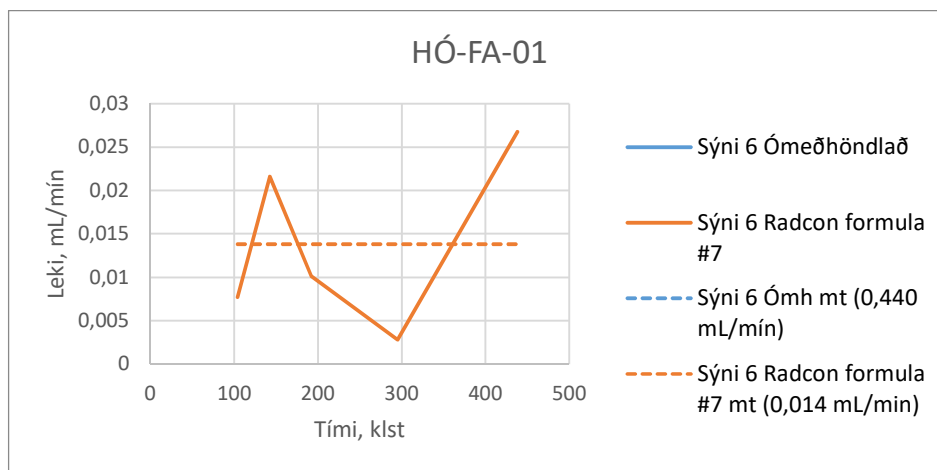
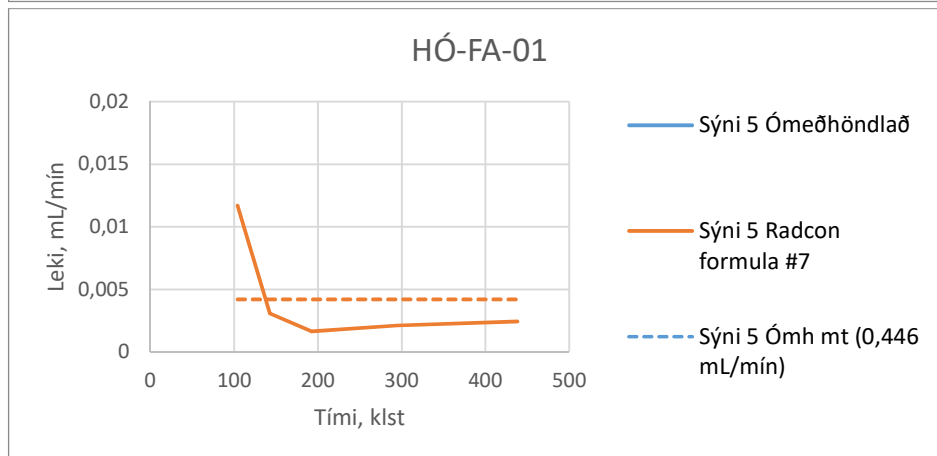
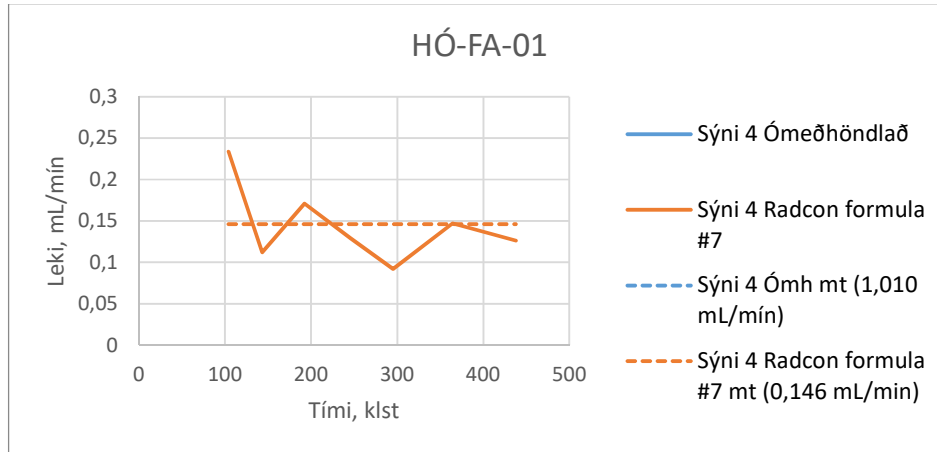
Radcon formula #7

Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Radcon formula #7 eru sýnar á Mynd 7 og á Mynd 8 (í smærri skala). Eins og sjá má breytist lekin verulega samfara meðhöndluninni, en það er svipað og gerist í ómeðhöndluðu sýni, sjá Mynd 6 og hefur því ekkert með þéttiefnið að gera. Eftir meðhöndlunina með Radcon formula #7 minnkar lekin mjög mikið, en hann er nokkuð stöðugur og

breytist lítið með tíma, sjá Mynd 8. Miðað við viðmiðunarsýnin (Mynd 6) þá er lekinn mun minni eftir meðhöndlunina með Radcon formula #7.



Mynd 7. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga.

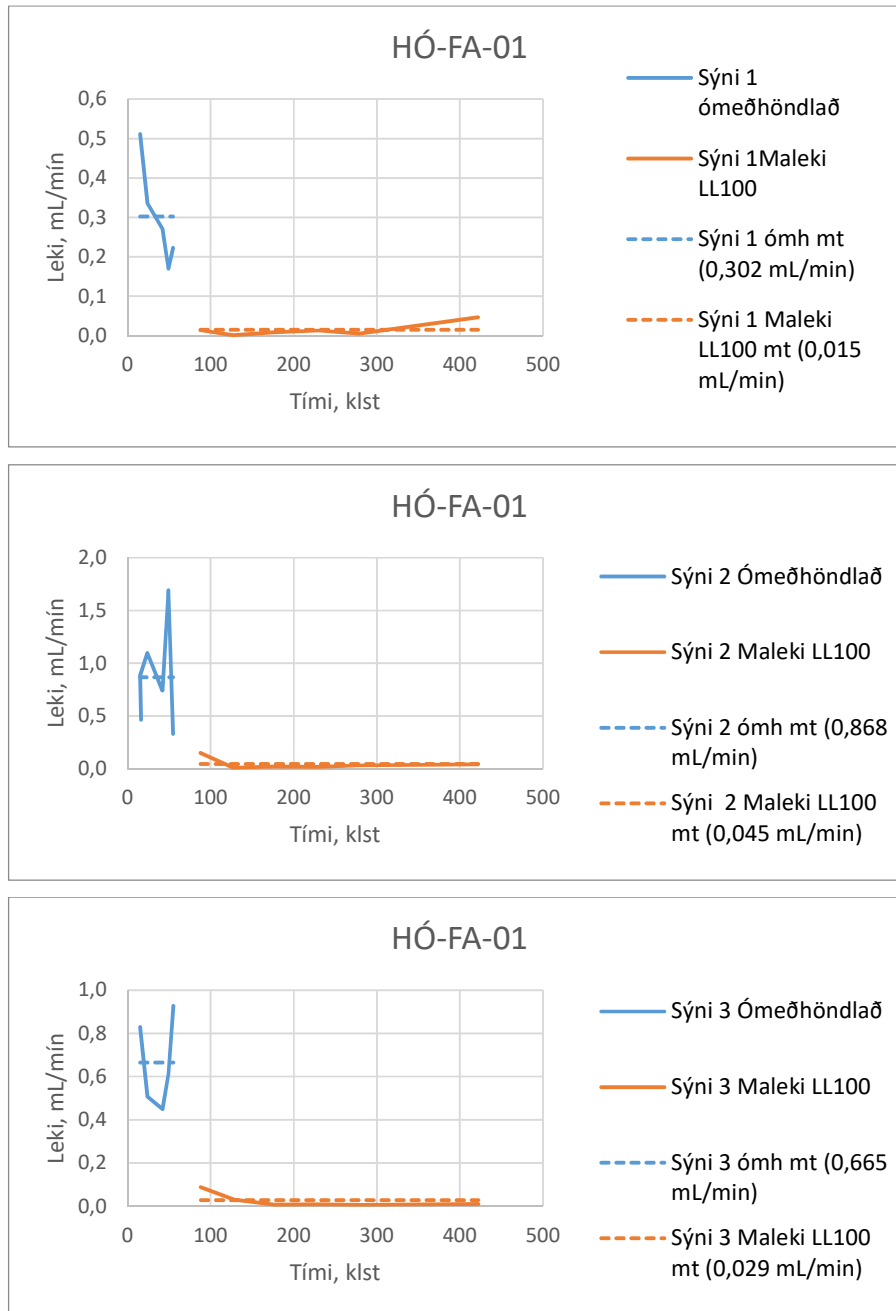


Mynd 8. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga.

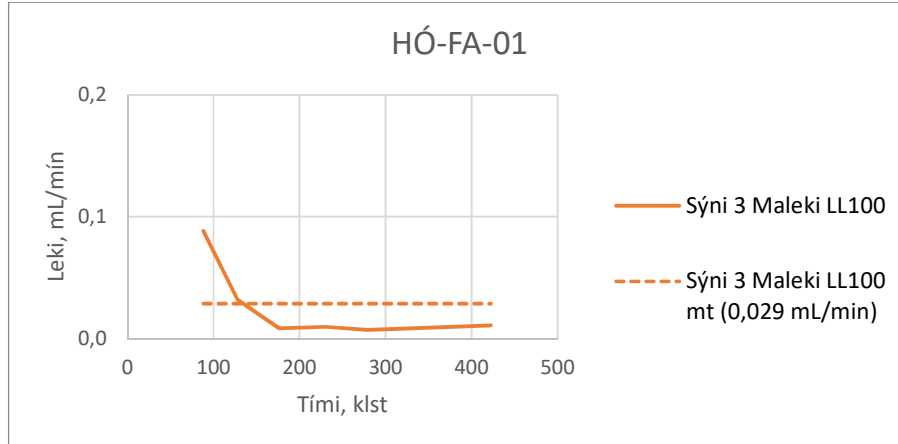
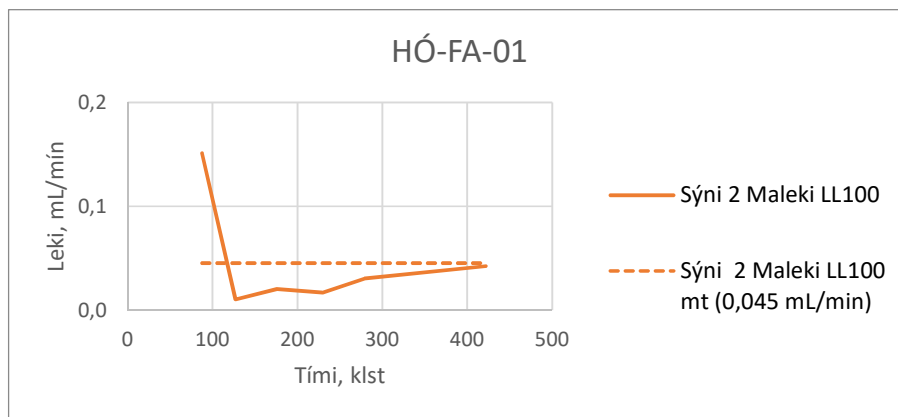
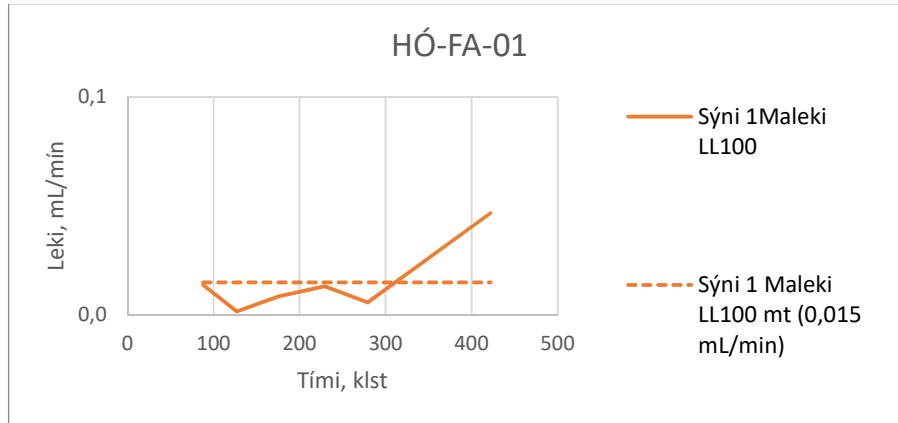
Maleki LL100

Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Maleki LL100 eru sýnar á Mynd 9 og á Mynd 10. Eins og sjá má breytist lekinn verulega samfara meðhöndluninni, en það er svipað og gerist í ómeðhöndluðu sýni, sjá Mynd 6 og hefur því ekkert með þéttiefnið að gera. Eftir meðhöndlunina með Maleki LL100 minnkar lekinn mjög mikið, en hann er nokkuð stöðugur og breytist lítið með tíma, lekinn

jafnvel eykst aðeins með tíma, sjá Mynd 10. Miðað við viðmiðunarsýnin (Mynd 6) þá er lekinn mun minni efir meðhöndlunina með Maleki LL100.



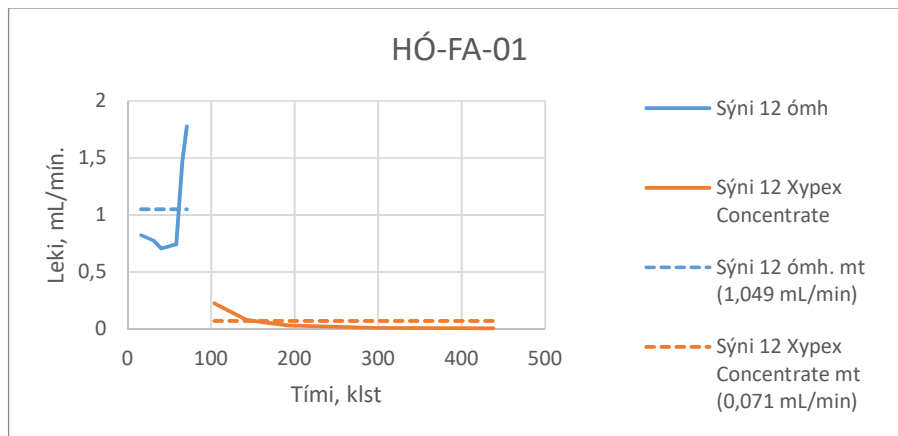
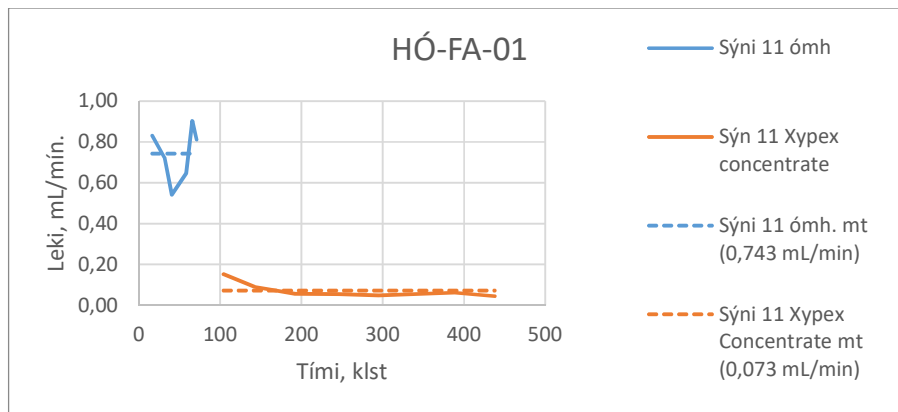
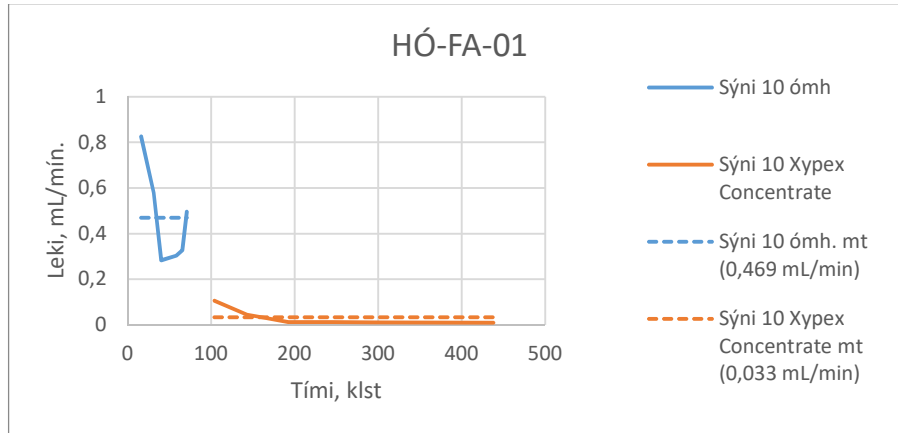
Mynd 9. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Maleki LL100. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga.



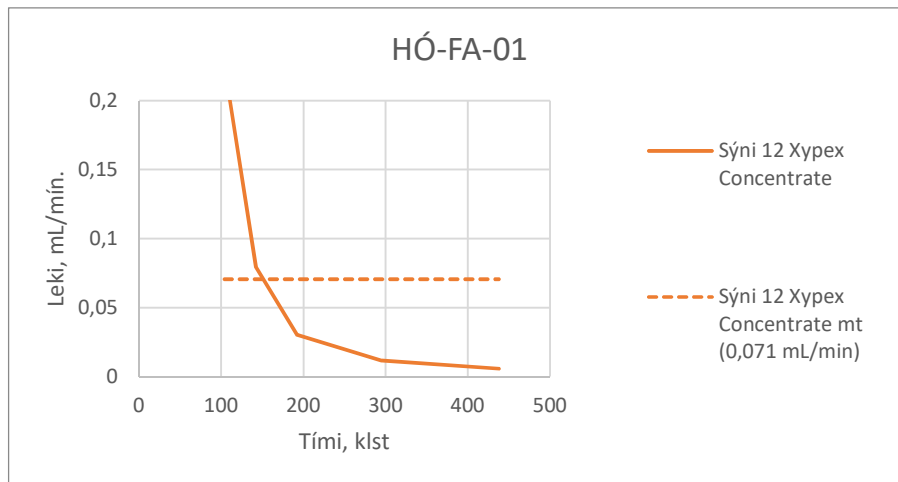
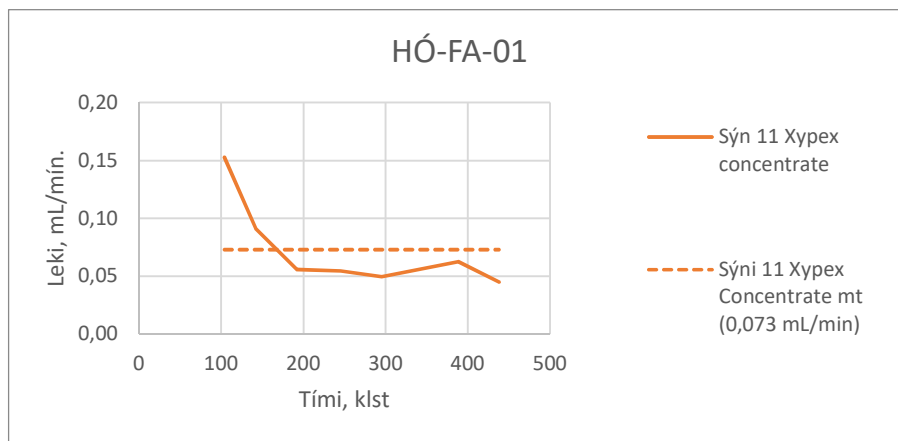
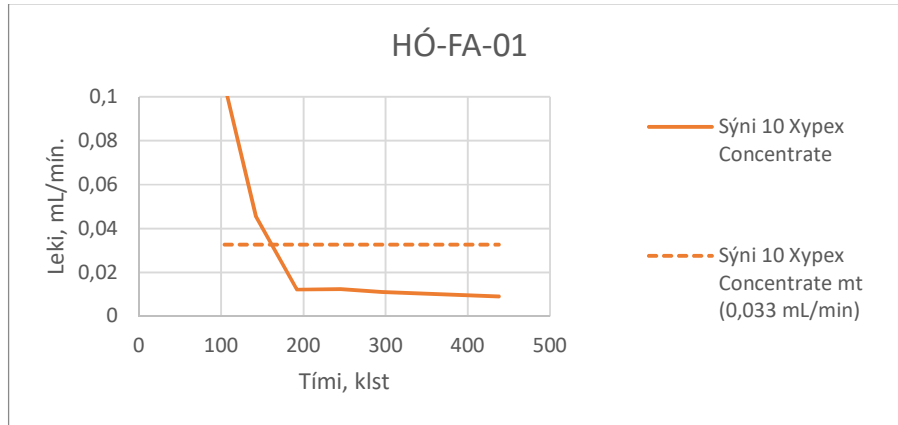
Mynd 10. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Maleki LL100. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga.

Xypex Concetrate

Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Xypex Concetrate eru sýndar á Mynd 11 og á Mynd 12. Eins og sjá má þá minnkar meðaltalslekinn verulega eftir meðhöndlun með Xypex Concetrate, en það er svipað og gerist í ómeðhöndluðu sýni, sjá Mynd 6 og hefur því ekkert með þéttiefnið að gera. Hins vegar minnkar lekinn stöðugt í sýnun eftir meðhöndlunina sem bendir til þess að efnið sé smám saman að þétta sýnin, sjá Mynd 12.



Mynd 11. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með XYPEX Concentrate. Blái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðu sýnum og appelsinguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga.



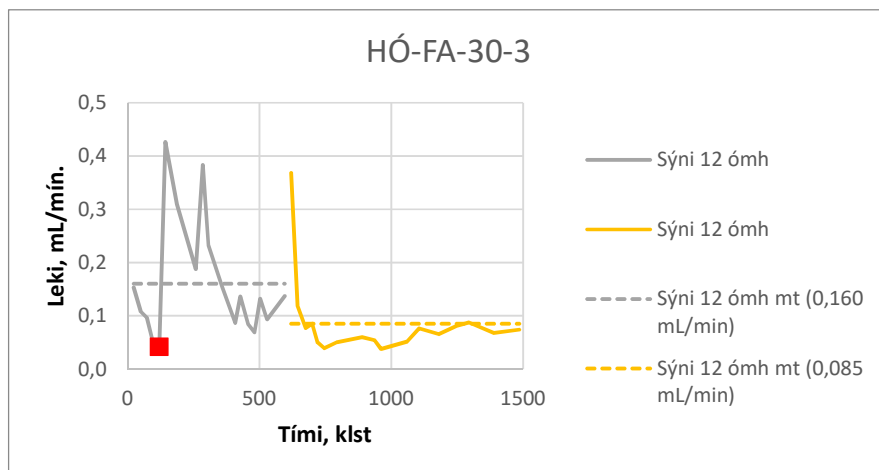
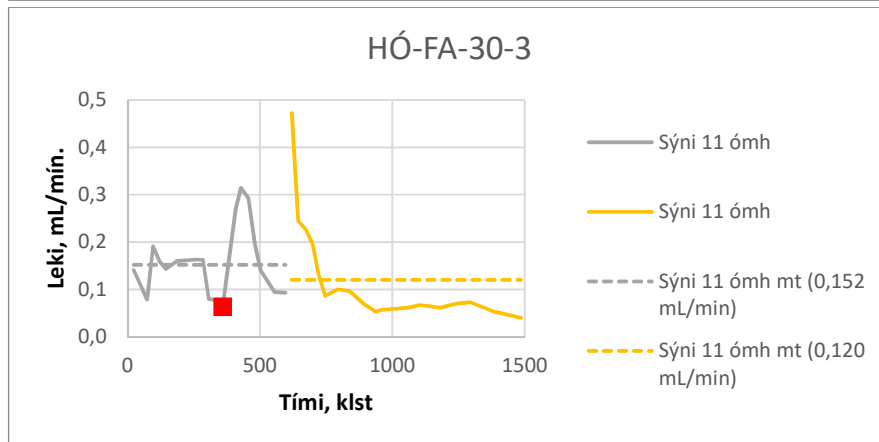
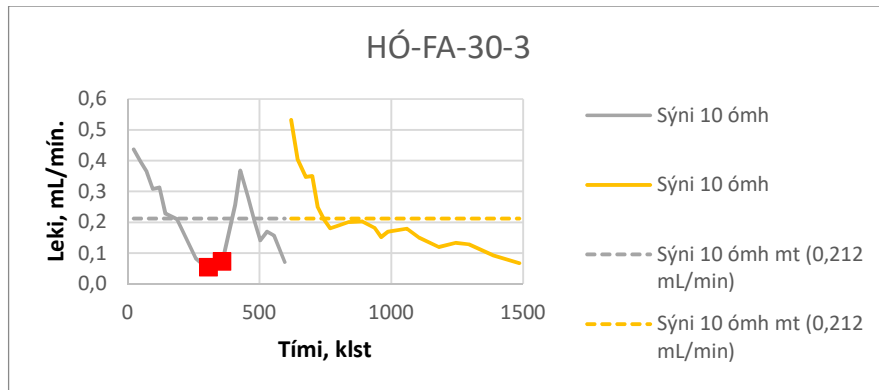
Mynd 12. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-01, sýni meðhöndluð með Xypex Concentrate

4.3 Sýni HÓ-FA-30-3

Steypublöndu HÓ-FA-03-3 sem var steyppt með 30 % íblandaðri flugösku og 4 % íblönduðu kísilyki, var prófuð í sprunguleka prófuninni þar sem sprunga í yfirborði var þétt með mismunandi yfirborðsefnum. Niðurstöður úr prófununum eru sýndar á Mynd 13 til Mynd 16.

Ómeðhöndluð sýni

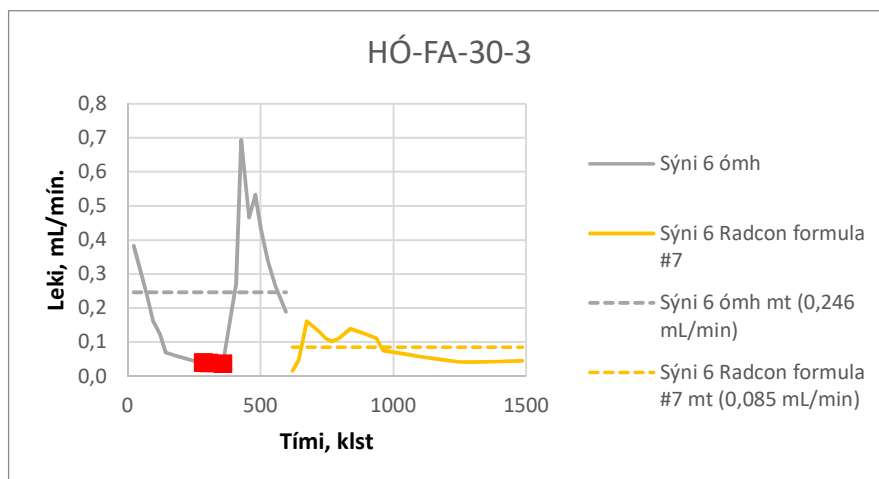
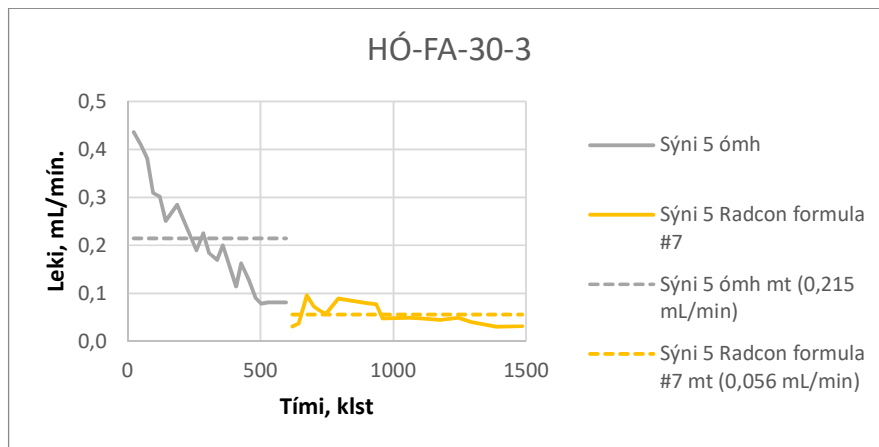
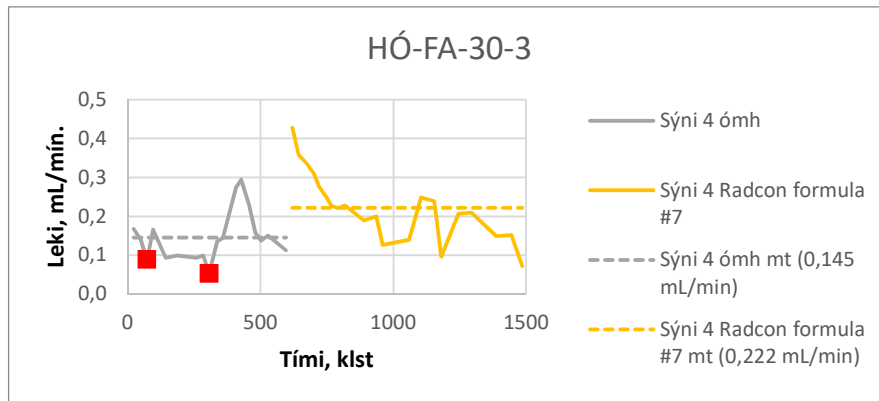
Á Mynd 13 eru sýnar niðurstöður úr prófun á ómeðhöndluðu sýni. Eins og sjá má er lekinn í fyrri hluta prófsins um 0,15 til 0,2 mL/min. Lekinn sveiflast verulega og viðist hafa tilhneigingu til þess að minnka með tíma. Í byrjun seinni hluta prófsins eykst lekinn verulega, en minnkar hratt og verður nokkuð stöðugur, sérstaklega í sýni 12. Breyting í leka milli þessara tveggja prófhluta er ekki sérlega mikill.



Mynd 13. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, ómeðhöndluð sýni. Grái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir einnig leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga. Rauður kassi sýnir þegar reynt var að auka lekann í gegnum sýnið.

Radcon formula #7

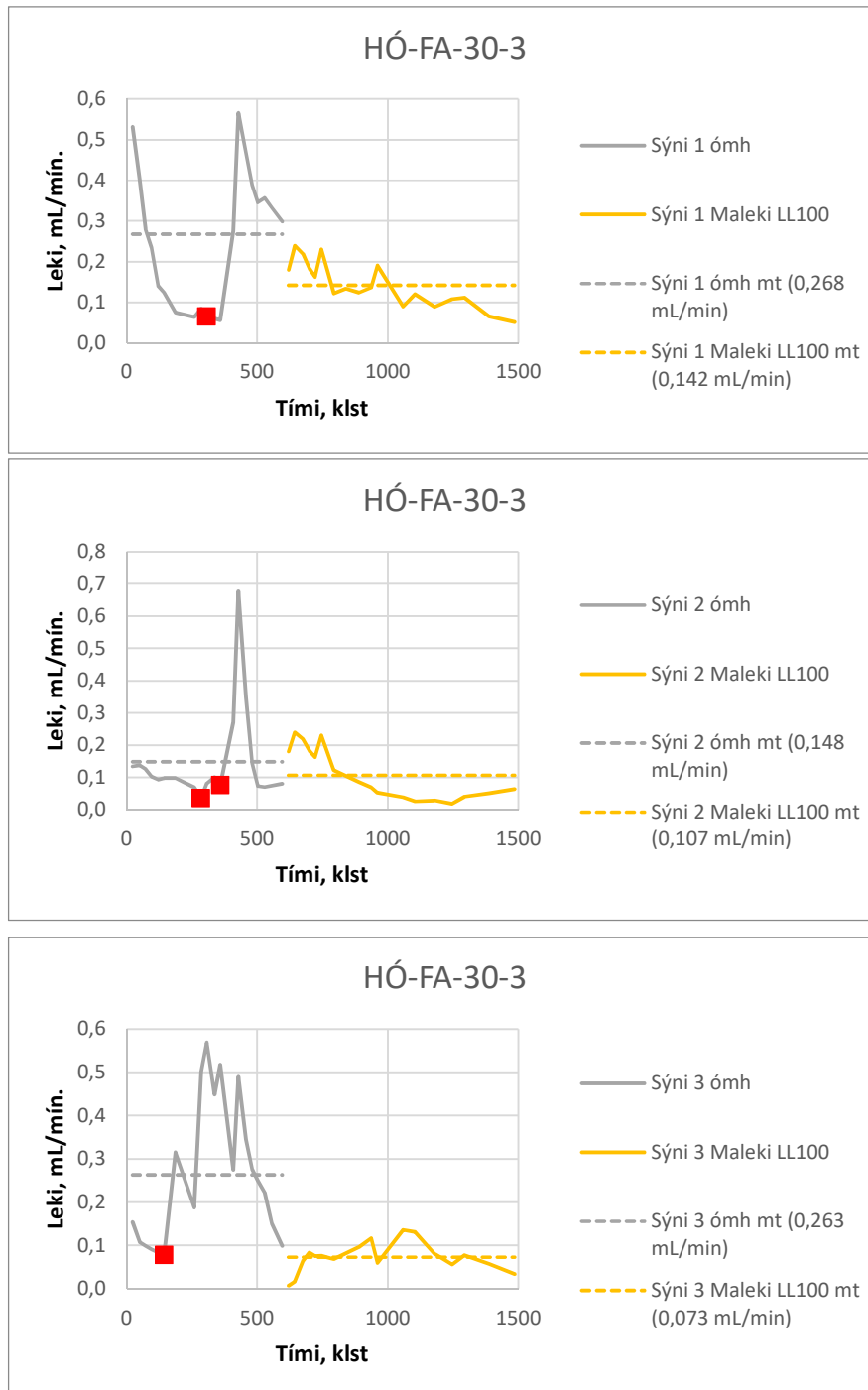
Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Radcon formula #7 eru sýnar á Mynd 14. Eftir meðhöndlunina með Radcon formula #7 minnkar lekinn í sýnum 5 og 6, eykst í sýni 4.



Mynd 14. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, sýni meðhöndluð með Radcon formula #7. Grái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga. Rauður kassi sýnir þegar reynt var að auka lekann í gegnum sýnið.

Maleki LL100

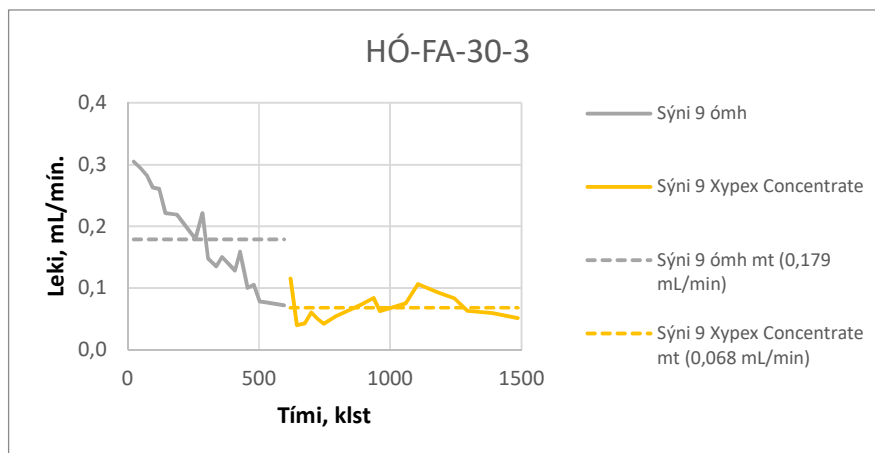
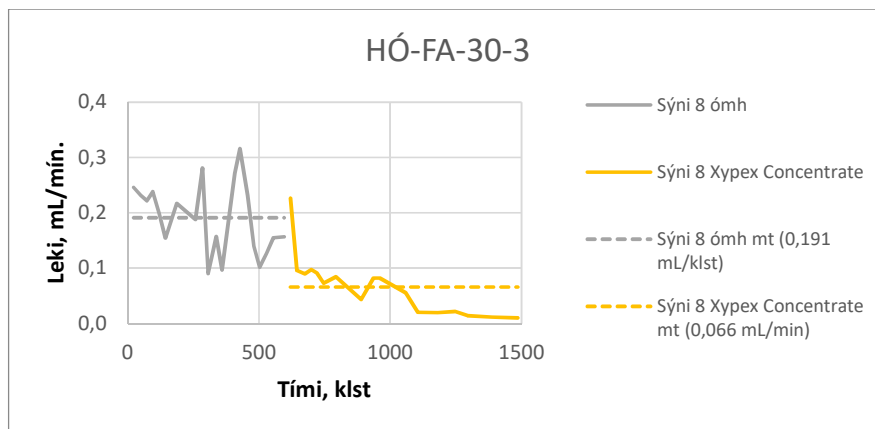
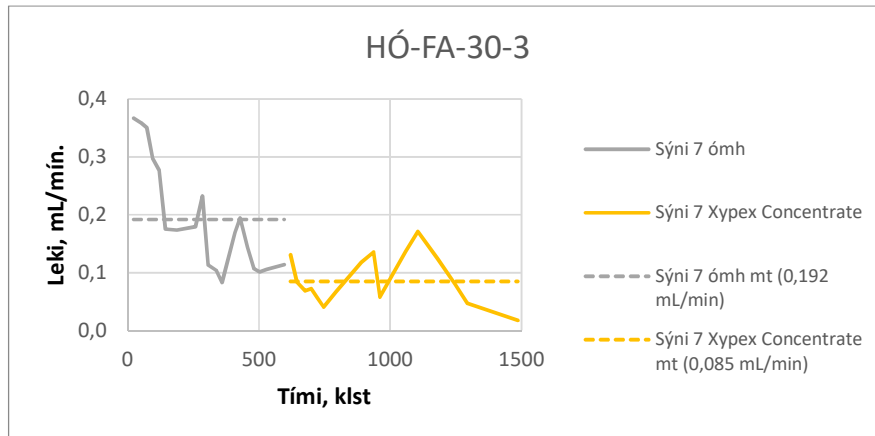
Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Maleki LL100 eru sýnar á Mynd 15. Eftir meðhöndlunina með Maleki LL100 minnkar lekinn.



Mynd 15. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, sýni meðhöndluð með Maleki LL100. Grái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga. Rauður kassi sýnir þegar reynt var að auka lekann í gegnum sýnið.

Xypex Concetrate

Niðurstöður af prófunum á sýnum meðhöndluð með Xypex Concetrate eru sýndar á Mynd 16. Eins og sjá má þá minnkar meðaltalsleikinn eftir meðhöndlun með Xypex Concetrate.



Mynd 16. Lekamæling á steypublöndu HÓ-FA-30-3, sýni meðhöndluð með XYPEX Concetrate. Grái ferillinn sýnir leka í ómeðhöndluðum sýnum og appelsínguli liturinn sýnir leka í meðhöndluðum sýnum. Mt stendur fyrir meðaltal mælinga.

4.4 Samantekt niðurstaðna

Í töflu 1 eru niðurstöður mælinga á sprunguleka dregnar saman fyrir steypublöndurnar þrjár.

Viðmiðunarblandan HÓ-A-4 er með um 0,16 mL/min að meðaltali á fyrri hluta prófunarinnar og um 0,13 mL/min leka að meðaltali á seinni hluta prófunarinnar. Þegar sýni af steypublöndu HÓ-A-4 er meðhöndluð með Radcon formula #7 eða Maleki LL100 þéttiefni minnkar lekinn lítið í sýnunum með Radcon formula #7 og eykst veruleg í sýninu með Maleki LL100. Því má segja að þessi tvö efni hafi ekki mikla virkni í a.m.k. þessari tegund af steinsteypu. Hins vegar minnkar lekinn nokkuð í sýnunum sem Xypex Concentrate var borið á.

Steypublanda HÓ-FA-01 sker sig nokkuð úr miðað við hinar tvær steypublöndurnar fyrir þær sakir að leki í ómeðhöndluðum sýnum, þ.e. sýnum á fyrri hluta próftímabilsins, er mjög hár, en síðan minnkar hann mjög mikið eftir að þéttiefnin voru borin á. Ástæða þessa mikla leka er ekki ljós, þó var framkvæmd sprungulekaprófunarinnar aðeins frábrugðin framkvæmd prófunarinnar á hinum tveimur sýnunum. Ekki var reynt að stjórna lekanum í sýni HÓ-FA-01 á fyrri hluta prófunarinnar, heldur var hann stilltur í upphafi og síðan var ekki átt við hann meira, meðan stöðugt var verið að stjórna lekanum í sýnum HÓ-A-4 og HÓ-FA-30-3. Af þessum sökum minnkar lekinn mikið við meðhöndlunina, í ómeðhöndlaða sýninu verður lekinn um 17 % af upphaflega lekanum. Síðan minnkar lekinn enn frekar við meðhöndlun með öllum þéttiefnunum. Í prósentum talið þá minnkar lekinn verulega við meðhöndlun með þéttiefnunum, en þó er eðlilegt að miða lekanum við 0,145 mL/min eða 17 %. Þrátt fyrir það virðast öll efni þrjú hafa ágætis virkni í þessari steypublöndu.

Steypublandan HÓ-FA-30-3, ómeðhöndluð, er með um 0,18 mL/min að meðaltali á fyrri hluta prófunarinnar og um 0,14 mL/min leka að meðaltali á seinni hluta prófunarinnar. Þegar steypublandan er meðhöndluð með Radcon formula #7 eða Maleki LL100 þéttiefni minnkar lekinn um helming. Þegar steypublandan er meðhöndluð með Xypex Concentrate minnkar lekinn meira en hjá sýnunum sem voru meðhöndluð með Radcon formula #7 og/eða Maleki.

Á prófunartímabilinu sem stóð í um 350 tíma fyrir sýni HÓ-FA-01 og um 900 tímar fyrir sýni HÓ-A-4 og HÓ-FA-30-3, dró mismikið úr lekanum eins og að ofan segir, en þó kom ekki til þess að lekinn stoppaði alveg.

Tafla 1: Meðaltalsleki (mL/min) í ómeðhöndluðum og meðhöndluðum sýnum. Prósentumerkið sýnir hvort lekinn hafi aukist (>100) eða minnkað (<100) miðað við ómeðhöndlað sýni.

	Ómeðhöndlað			Radcon Formula #7			Maleki LL100			Xypex Concentrate		
	Ómeðh.	meðh.	%	Ómeðh.	meðh.	%	Ómeðh.	meðh.	%	Ómeðh.	meðh.	%
HÓ-A-4	0,163	0,131	80	0,182	0,172	94	0,196	0,414	211	0,231	0,057	25
HÓ-FA-01	0,853	0,145	17	0,632	0,055	9	0,612	0,030	5	0,754	0,059	8
HÓ-FA-30-3	0,175	0,139	80	0,202	0,121	60	0,226	0,107	47	0,187	0,073	39

5. Samantekt

Tilgangurinn með verkefninu var að kanna hvort þéttiefnin Radcon formula #7 og Maleki LL100 þétti yfirborðsprungur í steinsteypu gerðri úr Venjulegu Portlandsementi eins og almennt er notað í brýr Vegagerðarinnar í dag sem og í steinsteypu gerðri úr flugöskusementi. Til samanburðar var stuðst við mælingar á ómeðhöndlaðri steinsteypu og steypu meðhöndlaðri með Xypex Concentrate. Lekni í sprungum var mældur í steypusýnum úr þremur mismunandi sements-bindiefnum: Norsku Anleggsementi; norsku flugöskusementi með 20 % flugösku og norsku Anleggsementi með 30 % flugösku. Að auki var 4 % kísilryk í öllum steypublöndunum.

Í ómeðhöndluðum sýnum er algengt að lekinn minnki með tíma – sjálfþétting sprungna. Af þessum sökum reyndist erfitt að prófa sýni með tiltölulega mikinn leka (> 0,2 mL/min). Einnig sveiflaðist lekinn verulega og erfitt reyndist að ná stöðugum leka. Ástæða fyrir þessari hegðun er ekki ljós. Þó má vera ljóst að þessar breytingar stafa ekki að utanaðkomandi þáttum, eins og t.d. breytingu í lofthita eða uppgufun. Þessi tilhneiging hefur áhrif á túlkun á virkni viðkomandi þéttiefna. Í þessu sambandi má benda á að fyrir steypublöndu HÓ-FA-01, þá var upphafsleki í hjá ómeðhöndluðum sýnum mjög mikill, en lekinn minnkaði hratt með tíma. Lekar sprungur í steinsteypu geta þéttst af völdum svo kallaðrar

sjálfþéttingar innan nokkurra daga, ef sprungurnar eru ekki of víðar. Sprunguvíddin er þá miðuð við u.þ.b. 0,25 mm. Þetta gæti verið að gerast á fyrra stiginu, þegar gripið er til aðgerða til þess að stilla lekann. Einnig er hugsanlegt að virknin haldi áfram eftir að búið er að bera efnin á.

Þegar búið var að bera þéttiefnin á HÓ-FA-01 sýnin minnkaði lekinn mjög mikið, verulegur hluti þessarar minnkunar stafar af óskilgreindri minnkun lekans og aðeins lítill hluti lekaminnkunarinnar stafar af virkni þéttiefnanna.

Þegar þéttiefnin höfðu verið borin á sýnin, gat lekinn aukist verulega í sýnunum, s.b.r. sýni HÓ-A-4 eftir að Maleki LL100 var borið á, sjá Mynd 4. Lekinn jókst einnig í ómeðhöndluðu sýni HÓ-FA-30-3, sjá Mynd 13. Ástæða fyrir þessari aukningu er ekki ljós.

Þrátt fyrir ofangreindar takmarkanir þá er ljóst að virkni Radcon formula #7 og Maleki LL100 þéttiefna er nokkur í steinsteypu með flugöskusementi. Þegar efnin voru prófuð á steypu með flugösku, þá minnkaði lekinn miðuð við ómeðhöndlað sýni en einnig miðuð við steypusýni án flugösku. Þess ber þó að geta að virkni efnanna tveggja var engin í sýnum úr steypu án flugösku, þ.e. þeim steypum sem Vegagerðin notar í dag.

Í samanburði við Xypex Concentrate þá er virkni Radcon formula #7 og Maleki LL100 þéttiefna ekki eins mikil.

Engu efnanna þriggja tókst að fyrirbyggja leka um sprungur, þótt prófunartíminn hafi orðið allt að 900 tímar (37 dagar). Nokkuð dró þó úr lekanum í lok prófunartímabilsins hjá flestum sýnanna. Sem dæmi má nefna að fyrir Xypex Concentrate var lekinn orðinn um 0,03 mL/min að meðaltali í lok prófunarinnar á sýni HÓ-FA-30-3, en það er minna en einn dropi (0,05 mL) á mínútu úr um 10 cm langri sprungu. Lekinn hafði þá minnkað úr um 0,1 mL/min eða tveimur dropum á mínútu úr um 10 cm langri sprungu.

Þótt þéttiefnin Radcon formula #7 og Maleki LL100 dragi úr leka í sprungum verður það að teljast ólíklegt að þessi efni gagnist Vegagerðinni við þetta víðar sprungur í yfirborði steyptra brúargólfa. Til þess þurfa efnin að koma alveg í veg fyrir sprunguleka.