



# Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum

- áfangaskýrsla 2 -

Pétur Pétursson, apríl 2013

## Efnisyfirlit

INNGANGUR .....	2
1 SAMANTEKT ÚR 1. ÁFANGA .....	3
2 HRÆRSLUPRÓF, ENDURTEKNINGAR.....	7
3 ÁHRIF FROST-ÞÍÐU OG SALTS Á HREYFÐARSEIGJU ÞJÁLBIKS .....	10
4 VIRKNI VIÐLOÐUNAREFNA SEM FALL AF TÍMA.....	13
5 HELSTU NIÐURSTÖÐUR 1. OG 2. ÁFANGA .....	16
HEIMILDASKRÁ .....	17

## INNGANGUR

Á undanförunum árum hafa miklar breytingar átt sér stað hér á landi varðandi gerðir bindiefna í klæðingar með tilkomu nýrra mýkingarefna og viðloðunarefna. Um er að ræða umhverfisvænni efni sem koma í stað þynningarefnisins hvítspíra (e. white spirit), svo og fljótandi viðloðunarefni í stað fasts diamíns. Í fyrstu voru gerðar tilraunir með að nota repjuolíu til mýkingar á biki í klæðingar og síðar bættust við tilraunir með að nota etylester (lýsisafurð) í sama skyni. Auk þess hafa verið innleidd fljótandi viðloðunarefni og hafa viðloðunarefnin TPH, Wetfix N422 og Wetfix N. Þessar breytingar hafa ekki heppnast í öllum tilfellum og hafa komið fram skemmdir á klæðingum í einstökum tilfellum, meðal annars steinlos og flögnun vegna skorts á viðloðun bindiefnis við steinefni. Í öðrum tilfellum hafa sumar af þessum nýju blöndum heppnast ágætlega. Af þeim sökum þótti brýnt að kanna hvort unnt væri að mæla viðloðunareiginleika þessara nýju raunblandna á einhvern hátt. Ákveðið var að líta fyrst til þess að notast við hið vel þekktu hrærslupróf en með ákveðnum nauðsynlegum breytingum. Verklýsingu fyrir hefðbundið hrærslupróf má finna í Viðauka 1 í leiðbeiningum um efnisrannsóknir og efniskröfur<sup>1</sup>. Allar prófanir þessa verkefnis hafa verið gerðar á NMÍ, utan seigju- og stungudýptarmælinga sem gerðar hafa verið hjá Fjölver.

Í fyrsta áfanga þessa verkefnis var gerður fjöldinn allur af hrærsluprófum og í áfangaskýrslu 1 eru birtar niðurstöður raunblönduprófana, svo og hefðbundinna hrærsluprófa, sem gerð höfðu verið frá 2011 og fram á árið 2012<sup>2</sup>. Þar var um að ræða ýmsar útfærslur og raunblöndur, fyrst með steinefni úr Seljadalsnámu sem ætíð hafði komið vel út úr viðloðunarprófum með 100 % þakningu. Síðan voru gerð raunblöndupróf með völdum steinefnum sem höfðu verið lögð út í klæðingar árið 2010 en höfðu brugðist þá um haustið eða veturinn. Einnig var birt verklýsing að raunblönduprófi í áfangaskýrslu 1, eftir nokkra þróunarvinnu á hrærsluprófinu á grundvelli þessa verkefnis.

Í verkefnishópi annars áfanga sitja Gunnar H Guðmundsson hjá Vegagerðinni (verkefnisstjóri), Gunnar Bjarnason hjá Vegagerðinni og Pétur Pétursson hjá PP ráðgjöf.

Þróun á hrærsluprófi með raunblöndum þótti takast vel og var ákveðið hjá Vegagerðinni að senda öll steinefni til nota í klæðingar bæði í venjulegt hrærslupróf með vegolíu, svo og raunblöndu-hrærslupróf með þeim bikbindiefnum (sem sagt biki, mýkingarefnum, þynningarefnum og viðloðunarefnum) sem til stendur að nota hverju sinni. Einnig var ákveðið að kornakúrfa skyldi tekin af öllum klæðingarefnum samhliða hrærsluprófum.

Í þessum áfanga voru gerð endurtekin hrærslupróf á þrenns konar steinefni, fimm sinnum og tveir rannsóknarnamenn mátu þakningu að loknu hverju prófi. Einnig voru könnuð áhrif frost/þíðu og salts á hreyfðarseigju bindiefnis. Þá var kannað hversu lengi virkni viðloðunarefna varði við mismunandi geymsluhastig, svo og mæld stungudýpt biksýna. Margar af þessum rannsóknum má segja að hafi verið spilaðar af fingrum fram, m.a. þegar upp komu grunsemdir um að óvik bindiefni gætu hafa valdið viðloðunarleysi og að stungudýpt (PG) biks væri minni en upp er gefið við afhendingu.

<sup>1</sup> Leiðbeiningar um efnisrannsóknir og efniskröfur 2013: Viðauki 1 – Lýsing á prófunaraðferðum.

<sup>2</sup> Pétur Pétursson 2012: Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum – áfangaskýrsla 1. Vegagerðin 2012.

## 1 SAMANTEKT ÚR 1. ÁFANGA

Í fyrsta áfanga þessa verkefnis var í fyrstu lögð áhersla á að kanna hvaða áhrif mismunandi magn viðloðunarefna hefði á niðurstöður hefðbundinna prófa og raunblönduprófa með mismunandi gerð þynningar- og mýkingarefna. Tafla 1 sýnir endurtekin hrærslupróf á Seljadalsefni, þar sem prófað er með 7,5 % repjuolíu og sæolíu (etylester úr lýsi) og 8,0 % hvítspíra með og án viðloðunarefnanna Wetfix N422 og Wetfix N. Einnig eru birtar niðurstöður einnar prófunar með hefðbundinni vegolíu (sjá \* undir töflu) og amin viðloðunarefni (í föstu formi). Það skal tekið fram að fínefni var ekki sigtað frá í þessum verkþætti og var fínefnamagnið 2,1 %. Í flestum tilfellum mætti ætlað að svona hátt fínefnahlutfall gæti spilt fyrir viðloðun, en það hefur sýnt sig að hið ferska Seljadalsfínefni er ekki skaðlegt hvað viðloðun varðar, þótt önnur fínefni geti verið skaðleg, jafnvel í minna magni en hér er.

**Tafla 1** Endurtekin hrærslupróf með steinefni frá Seljadalsnámu

Heiti námu	Tekið undan?	< 0,063 mm	<4 mm	Gerð þynn- ingarefnis	Magn þynningar- efnis, %	Tegund viðloðunar- efnis	Magn viðl.- efnis, %	Þakning stein- efnis, %
Seljadalur	nei	2,1	3,0	vegolía	75*	Amin	1,0	100
Seljadalur	nei	2,1	3,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	1,0	100
Seljadalur	nei	2,1	3,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,6	100
Seljadalur	nei	2,1	3,0	sæolía	7,5	ekkert	0,0	0
Seljadalur	nei	2,1	3,0	repja	7,5	Wetfix N422	0,8	100
Seljadalur	nei	2,1	3,0	repja	7,5	Wetfix N422	0,4	85
Seljadalur	nei	2,1	3,0	repja	7,5	ekkert	0,0	0
Seljadalur	nei	2,1	3,0	hvítspíri	8	ekkert	0,0	0
Seljadalur	nei	2,1	3,0	hvítspíri	8	Wetfix N422	0,9	90
Seljadalur	nei	2,1	3,0	hvítspíri	8	Wetfix N422	0,5	85
Seljadalur	nei	2,1	3,0	hvítspíri	8	Wetfix N	0,8	90
Seljadalur	nei	2,1	3,0	hvítspíri	8	Wetfix N	0,5	75
Seljadalur	nei	2,1	3,0	hvítspíri	8	Wetfix N	1,9	100

\*Vakin er athygli á því að hér er um að ræða samanlagt magn svartolíu og þynnis til að blanda vegolíu, sem er því 25 % bik (PG80/100), 23 % svartolía og 2 % þynnir (flux), sbr. heimild<sup>3</sup>.

Það kemur greinilega fram í töflunni að magn viðloðunarefnis í bindiefnisblöndunni hefur afgerandi áhrif á viðloðun, að því er virðist mun meiri áhrif en gerð þynningar- eða mýkingarefnis og viðloðunarefni sem notuð voru. Ef viðloðunarefni er sleppt úr bindiefnisblöndunni næst engin viðloðun, bindiefnið fer í köggul og steinefnið er tandurhreint. Ef viðloðunarefnið er 1 % af bindiefninu eða meira næst 100 % viðloðun með Seljadalsefni og í sumum tilfellum þarf minna viðloðunarefni, jafnvel duga 0,6 % af Wetfix

<sup>3</sup> Ásbjörn Jóhannesson 1976: Olíumalarvegir – hönnun, bygging og viðhald. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

N422 með sæolíu. Hins vegar má benda á að 0,8 % af viðloðunarefninu Wetfix N nægir ekki til að ná 100 % viðloðun ef notaður er hvítspíri sem þynningarefni. Ekki verður farið nánar út í samanburð á hvítspíra og öðrum efnum til þynningar eða mýkingar á biki, enda hafa bæði hvítspíri og repjuolía horfið af markaði sem íblöndunarefni í bik héraendis, a.m.k. í bili. Þessi takmarkaði rannsóknabáttur bendir þó til að það magn mýkingarefnis sem notað hefur verið í þjálbik með etylester úr lýsi sé nægjanlegt, svo lengi sem virkni viðloðunarefnisins hefur ekki minnkað vegna geymslu á bindiefnisblöndunni.

Ýmis fleiri áhugaverð tengsl fundust í fyrsta áfanga þessa verkefnis og er vert að fara yfir það helsta hér í töflum og texta. Tafla 2 sýnir niðurstöður raunblönduprófa og hefðbundinna prófa með steinefni frá Bláhæð, annars vegar þar sem efni <4 mm hefur verið tekið undan og hins vegar þar sem fínefnið er ekki tekið frá.

**Tafla 2** Niðurstöður raunblönduprófa og hefðbundinna prófa með steinefni frá Bláhæð

Heiti námu	Tekið undan?	< 0,063 mm	<4 mm	Gerð þynningarefnis	Magn þynningarefnis, %	Tegund viðloðunarefnis	Magn viðl.efnis, %	Þakning á steinefni %
Bláhæð	já	2,7	5,4	sæolía	7,5	TPH	0,9	100
Bláhæð	já	2,7	5,4	vegolía	75	Amin	1,0	100
Bláhæð	já	2,7	5,4	vegolía	75	Amin	1,0	100
Bláhæð	nei	2,7	5,4	sæolía	7,5	TPH	0,9	10
Bláhæð	nei	2,7	5,4	sæolía	7,5	Wetfix N422	1,0	10

Taflan sýnir að með því að hrista sýnið á 4 mm sigti áður en próf fer fram næst 100 % viðloðun, hvort heldur er með þunnbiki eða þjálbiki. Ef ekki er tekið undan og 2,7 % fínefni fara með í prófið næst einungis 10 % viðloðun. Þetta á að vísu eingöngu við um þjálbik þar sem hefðbundið próf með vegolíu var ekki gert á sýni sem tekið hafði verið undan. Samt sem áður er hér nokkuð skýr vísbending um að efni úr Bláhæðarnámu þurfi að vera nokkuð hreint og laust við fínefni til að fá góða viðloðun við bikbindiefnið.

Annað dæmi um margendurtekin próf, bæði hefðbundin og raunblöndupróf eru á steinefni frá Brekkunefi sem var með einungis 0,4 % fínefni og 1,0 % <4 mm, sjá töflu 3.

**Tafla 3** Niðurstöður raunblönduprófa og hefðbundinna prófa með steinefni frá Brekkunefi

Heiti námu	Tekið undan?	< 0,063 mm	<4 mm	Gerð þynn- ingarefnis	Magn þynningar- efnis, %	Tegund viðloðunar- efnis	Magn viðl.efnis, %	Þakning á steinefni %
Brekkunef	nei	0,4	1,0	hvítspíri	8	TPH	0,8	90
Brekkunef	nei	0,4	1,0	vególía	75	Amin	1,1	100
Brekkunef	nei	0,4	1,0	vególía	75	Amin	1,0	100
Brekkunef	nei	0,4	1,0	sæolía	7,5	TPH	0,8	90
Brekkunef	nei	0,4	1,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,8	90
Brekkunef	nei	0,4	1,0	repjuólía	7,5	Wetfix N422	1,2	80
Brekkunef	nei	0,4	1,0	sæolía	7,5	TPH	1,2	80
Brekkunef	nei	0,4	1,0	sæolía	7,5	Amin	1,0	100
Brekkunef	nei	0,4	1,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,8	75
Brekkunef	nei	0,4	1,0	sæolía	7,5	TPH	0,8	100
Brekkunef	nei	0,4	1,0	hvítspíri	8	Wetfix N422	0,9	83
Brekkunef	nei	0,4	1,0	hvítspíri	8	TPH	0,9	83
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,9	99
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,9	99
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,9	99
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,9	99
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	TPH	0,9	100
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	TPH	0,9	100
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	TPH	0,9	99
Brekkunef	já	0,4	1,0	sæolía	7,5	TPH	0,9	99

Taflan sýnir að þegar steinefnið var prófað með fínefnunum gat þakning verið á bilinu 75 til 100 %, en ef fínefni var tekið undan náðist 99 til 100 % þakning í öllum tilfellum. Bent skal á að öll prófin sem gerð voru á hreinu steinefni voru með sæolíu, en ýmist Wetfix N422 eða TPH viðloðunarefni. Sambærileg sýni með fínefni, þ.e.a.s. með sæolíu og Wetfix N422 annars vegar fá niðurstöðuna 75 og 90 % þakningu og hinsvegar með sæolíu og TPH fá niðurstöðuna 80, 90 og 100 % þakningu. Það eru samkvæmt þessu nokkrar líkur á að í þessu tilfelli geti fínefni spilt viðloðun nokkuð, jafnvel þótt magn þess sé ekki meir en um 0,4 %. Þessi niðurstaða ýtir undir þá skoðun að ekki sé nóg að gert með því að setja fram strangar kröfur um leyfilegt magn fínefna í klæðingarefni, heldur að einnig þurfi að prófa viðloðunareiginleikana sérstaklega.

Enn eitt dæmi má taka úr niðurstöðum hrærsluprófa í fyrsta áfanga, en það er steinefni frá Búastöðum, prófað einu sinni óhreint og sex sinnum þar sem tekið er undan á 4 mm sigti, sjá niðurstöður í töflu 4.

**Tafla 4** Niðurstöður hrærsluprófa með steinefni frá Búastöðum

Heiti námu	Tekið undan?	< 0,063 mm	<4 mm	Gerð þynn- ingarefnis	Magn þynningar- efnis, %	Tegund viðloðunar- efnis	Magn viðl.efnis, %	Þakning á steinefni %
Búastaðir	nei	5,8	43,7	sæolía	7,5	TPH	0,90	55
Búastaðir	já	5,8	43,7	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,90	99
Búastaðir	já	5,8	43,7	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,90	83
Búastaðir	já	5,8	43,7	sæolía	7,5	Wetfix N422	0,90	83
Búastaðir	já	5,8	43,7	vegolía	75	Amin	1,00	100
Búastaðir	já	5,8	43,7	vegolía	75	Amin	1,00	100
Búastaðir	já	5,8	43,7	vegolía	75	Amin	1,00	100

Niðurstöður prófana á steinefni frá Búastöðum benda eindregið til að ekki náist viðunandi viðloðun við steinefnið ef ekki er tekið undan, enda magn fínefna 5,8 % og auk þess 43,7 % <4 mm. Einnig má sjá að raunblöndupróf með sæolíu og Wetfix N422 kemur ver út á hreinum sýnum en með hefðbundnu hrærsluprófi, þar sem viðloðunin var 100 %. Í tveimur tilfellum af þremur fellur steinefnið frá Búastöðum sem sagt á raunblönduprófi ef miðað er við sömu kröfur og settar eru í hefðbundnu prófi. Hrærslupróf á steinefni frá Rjúpnaborgum, Vallholti, Veðramótum, Þröskuldum, Núpum og Kleifabúa svo dæmi séu tekin benda öll til þess sama, þ.e.a.s. að frekar náist 100 % viðloðun úr hefðbundnu prófi en raunblönduprófi. Auk þess virðist algengara að TPH komi betur út sem viðloðunarefni en Wetfix n422, sjá áfangaskýrslu 1.

Ekki var talinn vera nægilegur grunnur til að taka ákvörðun um að slaka á kröfum úr raunblönduprófum á grundvelli niðurstaðna fyrsta áfanga, en frekar mælt með að gera endurtekin próf við sömu aðstæður til að nálgast vitneskju um nákvæmni raunblönduprófa. Um það er fjallað í kaflanum hér á eftir.

Ýmislegt fleira má lesa út úr niðurstöðunum hrærsluprófa 1. áfanga, þótt oft sé eingöngu um vísbendingar að ræða, t.d. vegna tiltölulega fárra endurtekninga í mörgum tilfellum og vísast hér með aftur í þá skýrslu<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Pétur Pétursson 2012: Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum – áfangaskýrsla 1. Vegagerðin 2012.

## 2 HRÆRSLUPRÓF, ENDURTEKNINGAR

Endurtektarpróf voru gerð á sýnum úr þremur námum með 5 endurtekningum: Brekkunef nr. 21454, Veðramót nr. 21751 og Hólabrú nr. 19177. Raunblöndurnar sem voru prófaðar voru allar með 7,5 % etylester úr lýsi og 0,9 % af Wetfix N viðloðunarefni. Sýnin voru greind af tveimur greinendum og fengust því 30 mót, sjá töflu 5.

**Tafla 5** Niðurstöður raunblönduprófa á sýnum úr þremur námum með 5 endurtekningum

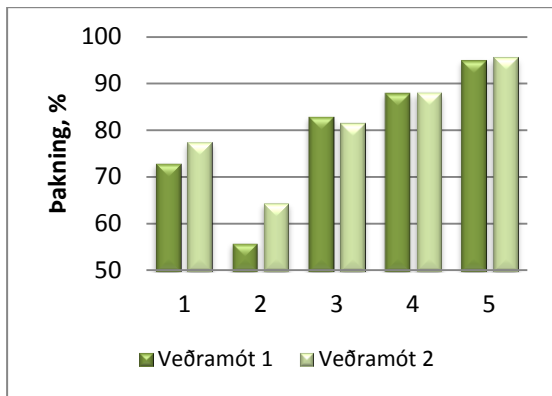
Sýni	Brekunef		Veðramót		Hólabrú	
	Rannsóknamaður		Rannsóknamaður		Rannsóknamaður	
	1	2	1	2	1	2
1	100	95	75	78	98	97
2	100	100	56	65	100	100
3	98	97	83	82	92	90
4	99	100	88	88	100	100
5	99	97	95	96	98	98
<b>Meðaltal</b>	<b>99</b>	<b>97</b>	<b>79</b>	<b>81</b>	<b>97</b>	<b>97</b>

Það sést á töflunni að bæði Brekkunef og Hólabrú fá meðalviðloðun frá 97 til 99 % viðloðun úr raunblönduprófi. Í fjórum tilfellum eru þessi efni metin með 100 % viðloðun, en lægsta mat af þessum tveimur efnum er á sýni 3 af Hólabrú, 90 og 92 %. Það er því líklegt að það sýni hafi í raun skorið sig úr og fengið lökustu þakninguna. Að öðru leyti voru þessi efni metin með þakningu á bilinu frá 95 til 100 %. Veðramótaefnið fær mun lakara þakningarmat en hin tvö og er meðaltalið 79 og 81 % hjá rannsóknamönnum. Það er í sjálfu sér ekki mikill munur á milli manna og er mestur á sýni tvö, 56 og 65 %, en það sýni fær jafnframt lakasta matið, sjá mynd 1 a) til d). Hins vegar er allmikill munur á milli sýna sem prófuð eru, minnst er þakningin um 65 % og mest um 95 %. Sýni 5 af Veðramótum stenst sem sagt 90 % þakningarkröfuna, en sýnin hin falla á þeirri kröfu. Það þarf í sjálfu sér ekki að koma á óvart að þakning úr hrærsluprófi Veðramótaefnis er breytileg milli sýni því vitað hefur verið að ef þakning er á annað borð lítil hefur það lítinn tilgang að velja fyrir sér hvort hún er 50, 60 eða 70 %. Krafan til viðloðunarprófs með hefðbundinni aðferð var sett þannig fram að ef sýnið fékk 90 % þakningu voru líkur á að efnið hefði nægilega viðloðun, en ef þakning var undir 90 % var ekki hægt að fullyrða að viðloðun væri í lagi, en ekki var heldur hægt að útiloka það<sup>56</sup>.

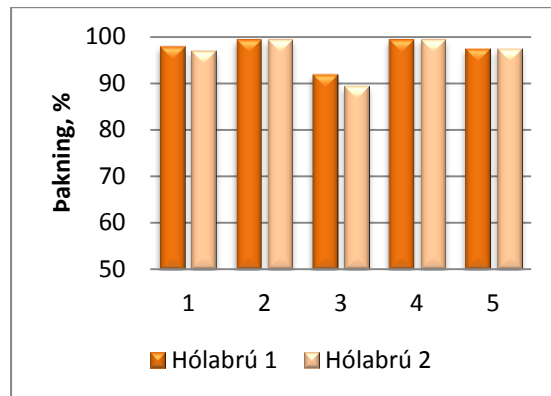
<sup>5</sup> Pétur Pétursson 1994: Steinefni í bundin slitlög – viðloðunarpróf. Steinefnanefnd.

<sup>6</sup> Pétur Pétursson 2000: Viðloðunarpróf á steinefnabanka – lokaskýrsla. BUSL skýrsla nr. E-41

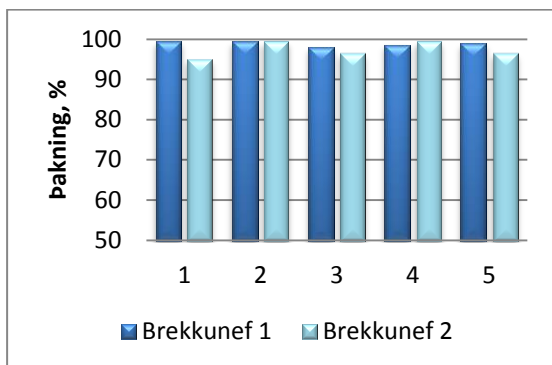




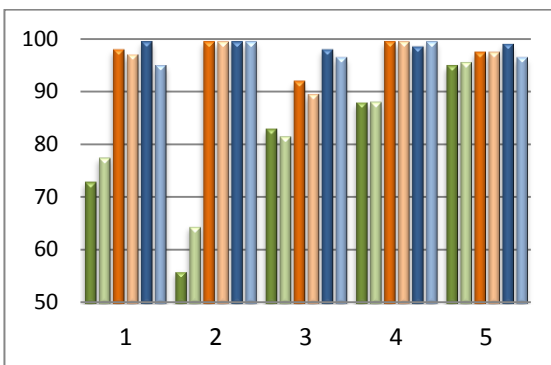
a)



b)



c)



d)

### Mynd 1 a) til d) Þakningarmat á þremur sýnum, fimm endurtekningar

Ásbjörn Jóhannesson var fengin til þess að gefa álit sitt á niðurstöðum endurtekningaprófana, þótt gagnasafnið væri langt í frá nægjanlega umfangsmikið til að tölfræðileg lögmál giltu um niðurstöðurnar. Ekki var farið fram á skriflega skýrslu frá ÁJ, en á fundi með verkefnishópi, sem honum var boðið að sitja, kom fram að hann taldi sýni úr raunblönduprófi þurfa að hafa að lágmarki 95 % viðloðun til að tryggja að 90 % markinu sem notað er í hefðbundnu prófi væri náð, sbr. 2. fundargerð verkefnishóps 2012 frá 14. september 2012. Lengra verður ekki komist í túlkunum á endurtekningastuðlum eða raunhæfum kröfum á grundvelli þess gagnasafns sem unnið var með. Hins vegar benda bæði hræslupróf áfangi 1 og þessar niðurstöður til þess að hægt sé að treyst niðurstöðum hræsluprófs ef þakning er mikil, þakning raunblönduprófa getur verið lakari en úr hefðbundnu prófi og auk þess að þakning er yfirleitt með góðar endurtekningarlíkur ef hún er mikil á annað borð.

Sem nokkurs konar hliðarrannsókn við þennan rannsóknarátt var að útbúa þrjú hlutasýni af steinefni frá Veðramótanámu, með því að splitta úr heildarsýni. Síðan var tekin kornakúrfa af hverju sýni, það berggreint og gert raunblöndupróf á hverju sýni fyrir sig, sjá töflu 6.

**Tafla 6** Áhrif undirstærða og berggæða samkvæmt berggreiningu á viðloðun

	Kornadreifing		Berggreining			Viðloðun
	<0,063 mm, %	<4,0 mm, %	1. flokkur, %	2. flokkur, %	3. flokkur, %	Þakning, %*
Sýni 1	0,8	2,6	37	40	24	68
Sýni 2	0,8	1,7	45	34	21	81
Sýni 3	0,7	2,6	52	21	26	73

*\*Raunblöndupróf: Bik PG 160/220, mýkingarefni 7,5 % lífdísill úr lýsi og viðloðunarefni 0,9 % Wetfix N*

Eins og taflan ber með sér benda niðurstöður þessa afmarkaða rannsóknáttar ekki til að tengsl séu milli þakningar úr raunblönduprófi og kornadreifingar eða berggæða steinefnasýnisins, enda er munurinn á milli sýna ekki mikill og jafnvel vel innan skekkjumarka aðferðanna sem notaðar voru. Þakningarmunurinn er þó greinilegur milli þessara þriggja sýna og styður sú niðurstaða það sem fram kom hér að framan, að ef þakning er ekki góð er líklegt að endurtekningarstuðlar séu háir. Þessi hliðarrannsókn útskýrir sem sagt ekki hvað veldur þessari tilhneigingu.

### 3 ÁHRIF FROST-ÞÍÐU OG SALTS Á HREYFÐARSEIGJU ÞJÁLBIKS

Ákveðið var í verkefnishópi að kanna hvort frost/þíðu sveiflur í söltu vatni hefði áhrif á hreyfðarseigju bindiefnis og var PP falið að skrifa einfalda verklýsingu að þessum verkþætti og er hún eftirfarandi:

1. Útbúa ½ l sýni af sæbiki með PG 160/220 biki, 7,5 % lýsi (etylester) og 0,9 % Wetfix N.
2. Skipta sýninu í tvo helminga.
3. Annar helmingur fer í dós með loki og hinum er dreift á bakka.
4. Hellt er ½ l af 3 % saltlausn yfir sýnið sem dreift var á bakka og síðan sett inn í frost/þíðu skáp
5. Keyrt frostþolspróf skv. hitakúrfu í ÍST EN 1367-6, s.s. 10 sveiflur frá +20°C til -17,5°C.
6. Eftir frost og saltáraun er sýnið skafið úr bakkanum og það sett í dós með loki og merkt.
7. Sýnin, meðhöndlað og ómeðhöndlað, eru send í seigjumælingu hjá Fjölver ehf.

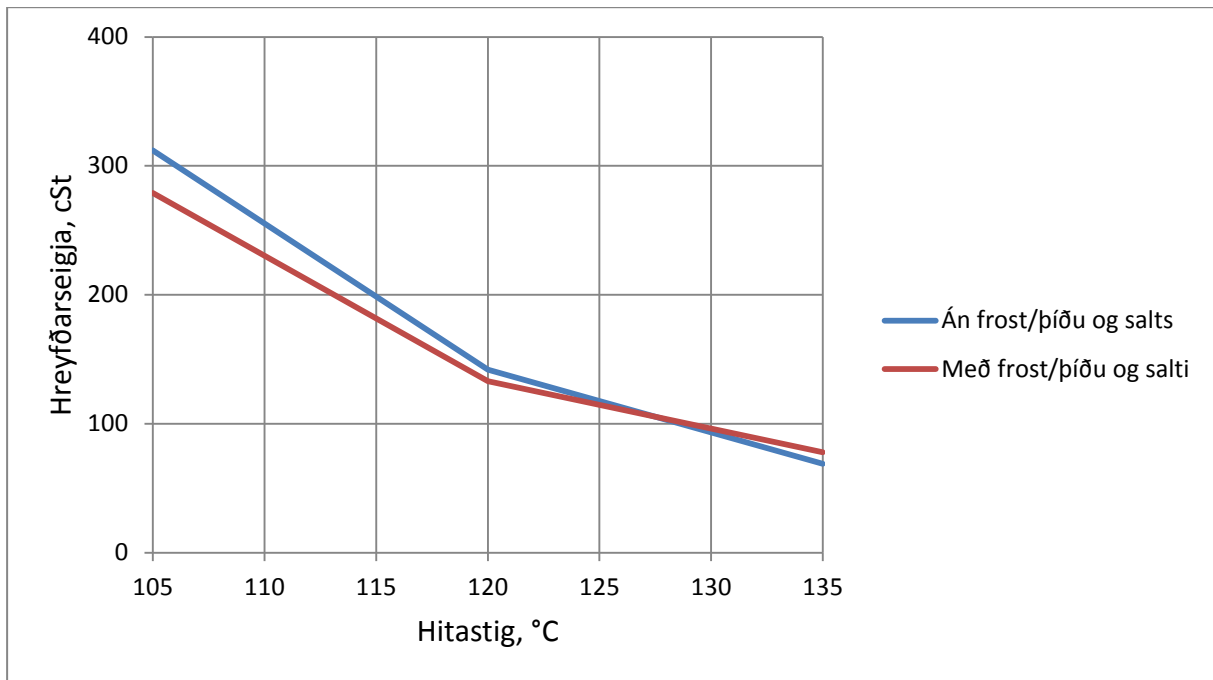
Prófað var samkvæmt verklýsingunni, nema notað var TPH viðloðunarefni í stað Wetfix N. Það var hins vegar ekki aðalatriði hvaða viðloðunarefni væri notað og kemur varla að sök í þessum rannsóknarþætti. Tafla 7 sýnir niðurstöður mælinga á hreyfðarseigju bikbindiefnisins með og án frost/þíðu og saltáraunar.

**Tafla 7** Niðurstöður hreyfðarseigjumælinga á bikbindiefnin með og án frost/þíðu meðhöndlunar í saltvatni

Hitastig	Án frost/þíðu og salts, m <sup>2</sup> /s (cSt)	Með frost/þíðu og salti, m <sup>2</sup> /s (cSt)
105 °C	312	279
120 °C	142	133
135 °C	69	78

Þessar mælingar sýna að hreyfðarseigjan er á bilinu 70-80 cSt við 135°C og er varla um marktækan mun að ræða milli sýna. Æskilegt þykir að hreyfðarseigja við útlögn sé á bilinu 40-100 cSt og uppfylla bæði sýnin þau skilyrði við 135°C.

Það virðist ljóst af þessum tiltölulega afmarkaða rannsóknarþætti að frost/þíðu sveiflur í saltvatni, sem ætlað er að líkja að einhverju leyti eftir álagi sem myndast getur á klæðingar við vissar aðstæður, hafi ekki mælanleg áhrif á hreyfðarseigju bikbindiefnisins, sjá mynd 2 þar sem seigjuferlar sýnanna sem fall af hitastigi við mælingu hafa verið dregnir upp. Þetta er niðurstaða sem takmarkast mjög af litlu umfangi, en fróðlegt hefði getað verið að prófa fleiri þynningarhlutföll á bindiefni, fleiri frost/þíðu sveiflur, einhvers konar þrýstíáhrif til að líkja eftir áhrifum dekkja o.s.frv.



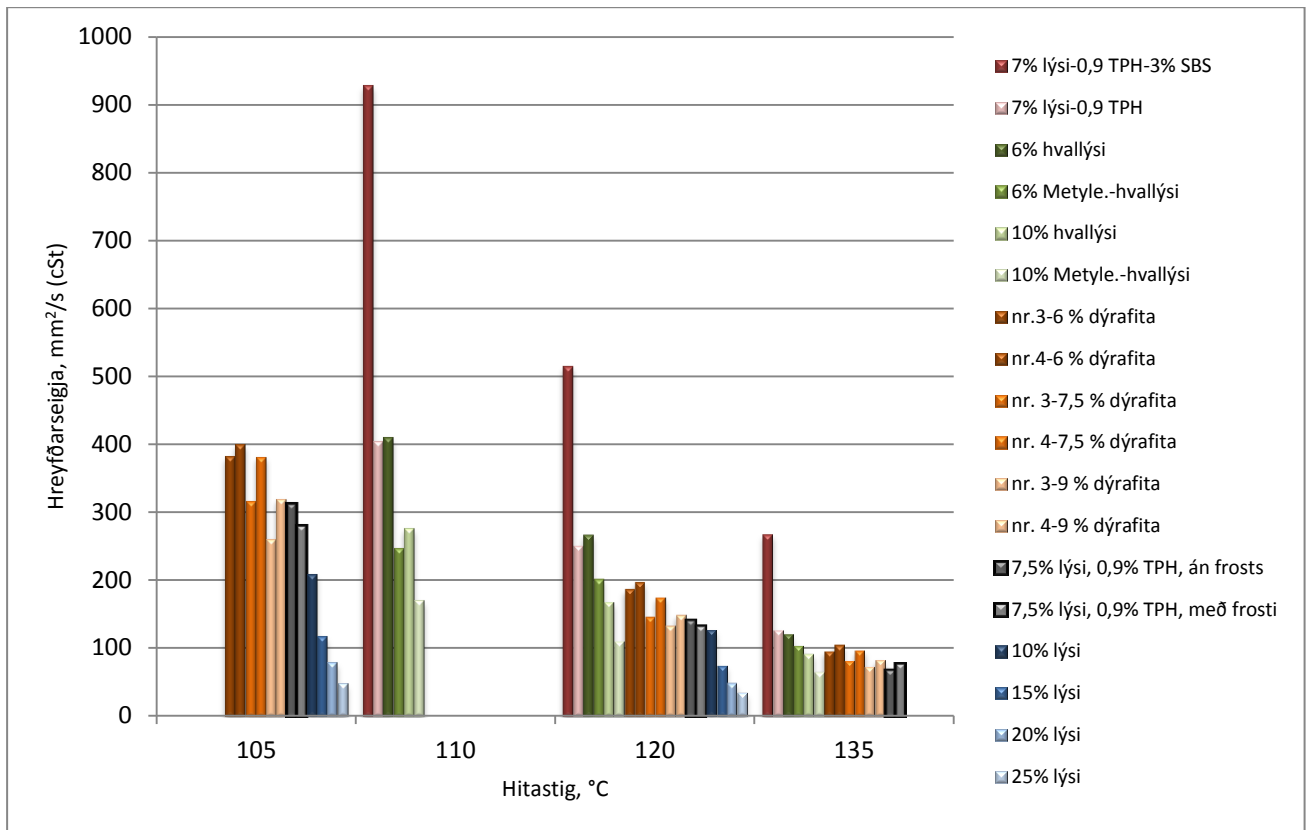
**Mynd 2** Áhrif frost/þíðu og saltáraunar á hreyfðarseigju þjálbiks

Ef niðurstöður þessara prófana eru bornar saman við nokkurt gagnasafn mælinga á hreyfðarseigju mismunandi þjálbiksgerða kemur í ljós að báðar þessar mælingar eru frekar í lægri kantinum miðað við hitastig (gráar súlur), sjá mynd 3. Seigjumælingar eru fengnar úr ýmsum verkefnum sem Rannsóknasjóður Vegagerðarinnar hefur styrkt á undanförunum árum, m.a. úr verkefnum um breytt bindiefni í klæðingar og íslenskar olíur til vegagerðar<sup>789</sup>.

<sup>7</sup> Pétur Pétursson 2013: Breytt bindiefni í klæðingar – heimildakönnun og prófanir. Vegagerðin og PP ráðgjöf.

<sup>8</sup> Gunnar H. Guðmundsson og Sigursteinn Hjartarson 2012: Íslenskar olíur til Vegagerðar. Vegagerðin og SHj ehf.

<sup>9</sup> Gunnar H. Guðmundsson og Sigursteinn Hjartarson 2013: Íslenskar olíur til vegagerðar II. Vegagerðin, SHj ehf, Mannvit, Orkey



**Mynd 3** Samanburðar á hreyfðarseigju nokkurra mismunandi þjálbiksgerða

Bent skal á að hreyfðarseigjan er ekki alltaf prófuð við sömu hitastig og því erfitt að bera niðurstöður saman í öllum tilfellum. Þó má sjá að hreyfðarseigja þjálbiks með 7 % etylester úr lýsi (bleik súla) er heldur meiri en þess þjálbiks með 7,5 % etylester úr lýsi sem hér voru prófuð (gráar súlur), bæði við 120 og 135°C. Það gæti skýrst af 0,5 % meira af mýkingarefni nú. Einnig er áberandi að magn mýkingarefnis hefur mikil áhrif á hreyfðarseigjuna, sbr. bláu súlurnar með etylester úr lýsi. Þjálbik með 6-9 % dýrafitu eru á svipuðu róli og það sem prófað var nú. Loks má geta þess að dökkrauða súlan sem fær alltaf hæst seigjugildi við tiltekin hitastig er ekki sambærileg við hinar súlurnar þar sem um er að ræða þjálbik með SBS fjölliðu sem gerir blönduna mun seigari en aðrar blöndur.

## 4 VIRKNI VIÐLOÐUNAREFNA SEM FALL AF TÍMA

Verkefnishópurinn ákvað að óska eftir prófunum frá NMÍ á virkni viðloðunarefna við mismunandi geymsluhitastig bindiefnisblöndu, mælt með hrærsluprófi með raunblöndu. Fyrst voru prófuð sýni af Seljadalsefni og Hólabrúarefni daglega þar til virkni viðloðunarefnis væri töpuð eftir geymslu bikbindiefnis við 100°C og auk þess Seljadalsefni eftir geymslu við 150°C. Útbúin voru þjálbikssýni með PG 160/220 biki, 7,5 % lýsi (etylester) og 0,9 % Wetfix N. Í framhaldi af þessum prófum var ákveðið að bæta við einu steinefnasýni, Birgisdalsá, og prófa virkni viðloðunarefnisins með þessum þremur steinefnum við geymsluhitasigið 130°C með tíma þar til þakning væri komin niður fyrir 50%, sjá töflu 8 og mynd 4.

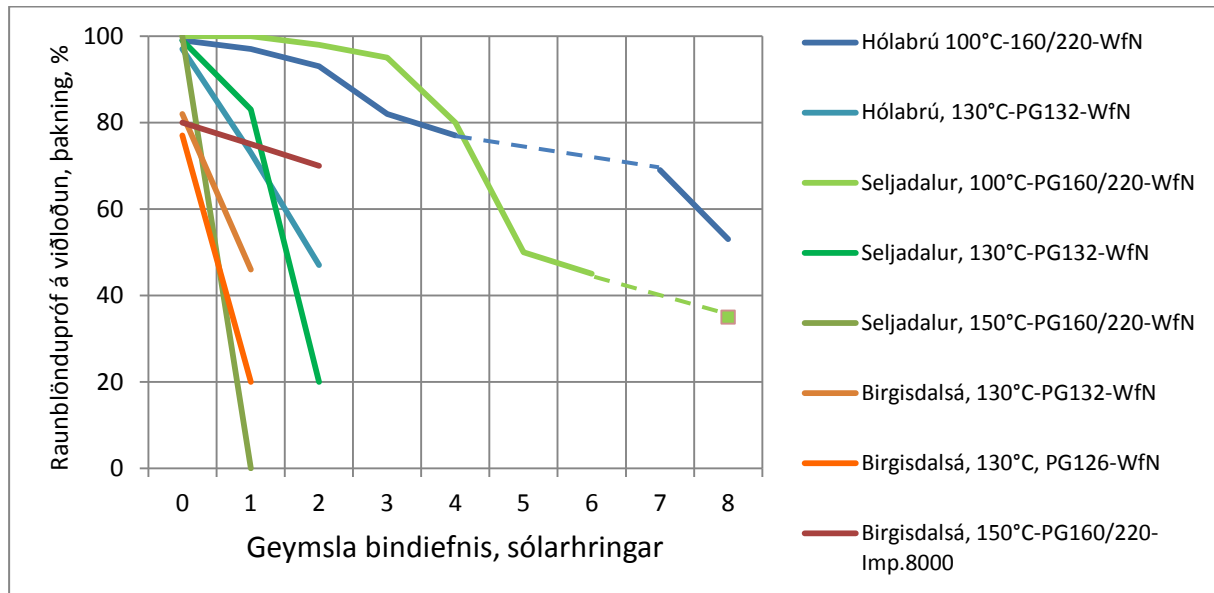
**Tafla 8** Þakning úr hrærsluprófi sem fall af geymslutíma bindiefnis við mismunandi hitastig

Steinefni	Bikgerð**	Viðloðunar- efni	Geymslutími, sólarhringir	Geymslu- hitastig, °C	Þakning, %
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	0	100	99
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	1	100	97
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	2	100	93
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	3	100	82
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	4	90	77
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	5		ekki prófað
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	6		ekki prófað
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	7	100	69
Hólabrú	PG 160/220	Wetfix N	8	97	53
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	0	100	100
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	1	100	100
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	2	100	99
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	3	100	95
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	4	90	80
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	5	103	50
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	6	103	45
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	7		ekki prófað
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	8	97	35
Birgisdalsá	PG 126	Wetfix N	0	130	77
Birgisdalsá	PG 126	Wetfix N	1	130	20
Hólabrú	PG 126	Wetfix N	0	130	98
Seljadalur	PG 126	Wetfix N	2	124	0
Birgisdalsá	PG 132	Wetfix N	0	130	82
Birgisdalsá	PG132	Wetfix N	1	129	46
Hólabrú	PG 132	Wetfix N	0	130	97
Hólabrú	PG 132	Wetfix N	1	124	73
Hólabrú	PG 132	Wetfix N	2	130	47
Seljadalur	PG 132	Wetfix N	0	130	99
Seljadalur	PG 132	Wetfix N	1	126	83
Seljadalur	PG 132	Wetfix N	2	129	20
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	0	150	100
Seljadalur	PG 160/220	Wetfix N	1	147	0
Birgisdalsá	PG 160/220	Imp. 8000	0	150	80
Birgisdalsá	PG 160/220	Imp. 8000	1	150	75
Birgisdalsá	PG 160/220	Imp. 8000	2	150	70

\* þar sem gefin er upp ein tala var hún mæld sérstaklega hjá Fjölver

\*\*7,5 % mýkingarefni (lífdísill úr lýsi), 0,9 % viðloðunarefni

Því skal haldið til haga að mýkingarefnið sem notað var í þessum rannsóknarþætti, sem átti að vera etylester úr lýsi var rauðleitt í stað þess að vera glært. Eftir nokkra eftirgrensulan þótti líklegast að mýkingarefnið værið að hluta blandað repju, sem hafði þá verið leifar í tanki, en ekki var venja að þrifa tanka þegar skipt var um mýkingarefni. Það gæti skýrt litarbreytinguna á mýkingarefninu, en ekki er talið líklegt að það hafi áhrif á endingartíma viðloðunarefnis við geymslu við mismunandi hitastig, sem þessi rannsóknarþáttur snerist um.



**Mynd 4** Virkni viðloðunarefna með geymslutíma við mismunandi hitastig

Eins og sjá má á myndinni hefur hitastig mikil áhrif á virkni viðloðunarefnisins Wetfix N (0,9 %) þegar hún er mæld með raunblönduþrófi. Við 100°C geymsluhitastig minnkar virkinn hægt fyrstu tvo sólarhringana bæði með steinefni frá Hólabrú og Seljadal, en eftir þrjú sólarhringa er þakningin orðin um 80 % með Hólabrú og með Seljadalsefni er þakning svipuð á 4. degi. Ef þjálbikið er geymt við 150°C er virkni viðloðunarefnisins Wetfix N engin samkvæmt raunblönduþrófi með Seljadalsefni eftir einn sólarhring og því var ekki talin ástæða til að prófa virkni viðloðunarefnisins með öðrum steinefnum við þau geymsluskilyrði.

Eins og fyrr greinir var virkni Wetfix N með tíma prófuð með steinefnum frá Hólabrú, Seljadal og Birgisdalsá við 130°C geymsluhitastig. Það sést á mynd 4 að á öðrum sólarhring er þakning allra efnanna komin niður fyrir 50 % og með Birgisdalsá reyndar eftir einn sólarhring. Þetta eru nokkuð sláandi niðurstöður, en hafa ber í huga að í þessari tilraun eru bindiefnisblöndurnar útbúnar á rannsóknastofu, geymsla fer fram í venjulegum ofni (án hringdælingar) og mat á viðloðun fer fram á nokkuð harkalegan hátt, þ.e.a.s. með hræsluþrófi. Ekki hefur verið gerð tilraun til að tengja þennan rannsóknarþátt við það hvernig bikbindiefni eru geymd í raun á tankbílum, sem fall af tíma og hitastigi. Þó má telja nokkuð víst að virkinn fellur við geymslu, svo sem eins og getið er um í innihaldslýsingum viðloðunarefna. Hvort geymslutíminn er mun lengri en vísendingar þessa verkefnis gefa til kynna skal ósagt látið að svo stöddu, en ljóst er að eftir því sem skemmri tími líður frá því

viðloðunarefni er blandað saman við bikbindiefnið, þeim mun minni líkur eru á skemmdum á klæðingum vegna skorts á viðloðun.

Mynd 4 sýnir í raun fleira en fjallað hefur verið um hér að ofan. Þar má nefna athyglisverða prófun sem gerð var fyrir Arnardal með sams konar þjálbiki og notað var í þessu verkefni, en með öðru viðloðunarefni, sem sagt 0,9 % af Impact 8000. Prófað var steinefni frá Birgisdalsá sem hafði í fyrri prófunum fengið um 80 % þakningu með fersku viðloðunarefni, en fallið hratt á fyrsta og öðrum degi geymslu. Með þessu viðloðunarefni helst þakningin hins vegar mun betur með geymslutíma við 150°C en var raunin með Wetfix N við 130°C, við það umfang sem verkþættinum voru sett.

Það má einnig sjá á mynd 4 að stungudýpt biksins sem var notað er gefin upp á mismunandi hátt, annars vegar á hefðbundinn hátt, s.s. PG160/220 og hins vegar sem ein tala (PG126 og 132), en það á sér allsérstaka skýringu. Á ákveðnum tímamarki í prófanaferlinu, þ.e.a.s. eftir prófun á 100°C geymsluhitastigi og áður en 130°C geymsluhitastig var prófað, tók rannsóknamaður eftir því að bikblandan virtist vera seigari en áður og það tók lengri tíma að hita hana upp. Það fékkst svo staðfest hjá Fjölveri að stungudýpt biksins sem notað var í seinni áfanganum var um PG130, sem er talsvert harðara bik en nota átti og reyndar utan marka biks með PG160/220 stungudýpt. Stungudýptarmælingarnar komu á óvart og benda til þess að bik harðni hraðar en menn gerðu sér grein fyrir, líklega bæði við flutning yfir hafið og við geymslu í brigðartönkum malbikunarstöðva. Einnig er hugsanlegt og jafnvel líklegt að bik harðni hraðar í litlum ílátum sem þau eru geymd í á rannsóknastofum, en það hefur ekki fyllilega verið rannsakað enn sem komið er. Eðlilegt hlýtur þó að teljast að Vegagerðin láti prófa stungudýpt biks í hvert sinn sem nýr farmur er keyptur og jafnvel oftast yfir verktímabilið, enda um einfalt og ódýrt próf að ræða. Ekki verður fullyrt frekar um stungudýpt biks sem flutt er til landsins eða hörðun þess við geymslu á brigðartönkum og rannsóknastofum, en full ástæða til að fara betur ofan í saumana á þessum málum.



## 5 HELSTU NIÐURSTÖÐUR 1. OG 2. ÁFANGA

Skýrsla þessi fjallar um nokkra aðskilda rannsóknætti sem fram fóru í fyrsta og öðrum áfanga þessa verkefnis. Rannsóknættirnir voru að mörgu leyti óskyldir og með mismunandi markmiðum, þótt sjónarhornið hafi í öllum tilfellum snúið að því hvernig mætti bæta endingu klæðinga, ekki síst viðloðun steinefnis við bikbindiefnið. Eftirfarandi punktar eru settir fram til að taka saman það sem fram hefur komið í verkefninu, en taka skal skýrt fram að í sumum tilfellum er einungis um vísbendingar að ræða sem byggðar eru á tiltölulega afmörkuðu gagnasafni.

- Skert magn viðloðunarefnis í bindiefnisblöndunni hefur afgerandi áhrif á viðloðun, að því er virðist mun meiri áhrif en gerð þynningar- eða mýkingarefnis og viðloðunarefni sem notuð voru. Ef viðloðunarefni er sleppt úr bindiefnisblöndunni næst engin viðloðun, bindiefnið fer í köggul og steinefnið er tandurhreit.
- Það kom greinilega fram í mörgum tilfellum að með því að hrista hrista frá efni undir 4 mm áður en próf fer fram bætti viðloðun verulega, hvort heldur er með þunnbiki eða þjálbiki. Í sumum tilfellum þurfti mjög lítið af fínefnum að vera til staðar til að spilla viðloðun, jafnvel langt undir 1 %. Þessi niðurstaða ýtir undir þá skoðun að ekki sé nóg að gert með því að setja fram strangar kröfur um leyfilegt magn fínefna í klæðingarefni, heldur að einnig þurfi að prófa viðloðunareiginleikana sérstaklega.
- Líklegt er talið að sýni úr raunblönduprófi þurfi að hafa að lágmarki 95 % viðloðun til að tryggj sé að 90 % markinu sem notað er í hefðbundnu prófi verði náð.
- Frost/þíðu sveiflur í saltvatni, sem ætlað er að líkja að einhverju leyti eftir álagi sem myndast getur á klæðingar við vissar aðstæður, hafði ekki mælanleg áhrif á hreyfðarseigju bikbindiefnisins. Þetta er niðurstaða sem takmarkast mjög af litlu umfangi.
- Virkni Wetfix N með tíma sem prófuð var með steinefnum frá Hólabrú, Seljadal og Birgisdalsá við 130°C geymsluhitastig var einungis tveir sólarhringar þar til þakning efnanna var komin niður fyrir 50 % og með Birgisdalsá reyndar eftir einn sólarhring. Ekki hefur verið gerð tilraun til að tengja þennan rannsóknátt við það hvernig bikbindiefni eru geymd í raun á tankbílum, sem fall af tíma og hitastigi. Ljóst má þó vera að eftir því sem skemmri tími líður frá því viðloðunarefni er blandað saman við bikbindiefnið, þeim mun minni líkur eru á skemmdum á klæðingum vegna skorts á viðloðun.
- Stungudýpt biks sem notað var að hluta í rannsóknættinum um virkni viðloðunarefna með tíma var um PG130, sem er talsvert harðara bik en nota átti og reyndar utan marka biks með PG160/220 stungudýpt. Stungudýptarmælingarnar komu á óvart og benda til þess að bik harðni hraðar en menn gerðu sér grein fyrir, líklega bæði við flutning yfir hafið og við geymslu í brigðartönkum malbikunarstöðva, svo og á rannsóknastofum.

## HEIMILDASKRÁ

Ásbjörn Jóhannesson 1976: Olíumalarvegir – hönnun, bygging og viðhald. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

Gunnar H. Guðmundsson og Sigursteinn Hjartarson 2012: Íslenskar olíur til Vegagerðar. Vegagerðin og SHj ehf.

Gunnar H. Guðmundsson og Sigursteinn Hjartarson 2013: Íslenskar olíur til vegagerðar II. Vegagerðin, SHj ehf, Mannvit, Orkey.

Leiðbeiningar um efnisrannsóknir og efniskröfur 2013: Viðauki 1 – Lýsing á prófunaraðferðum. Vefrit á heimasíðu Vegagerðarinnar.

Pétur Pétursson 1994: Steinefni í bundin slitlög – viðloðunarpróf. Steinefnanefnd.

Pétur Pétursson 2000: Viðloðunarpróf á steinefnabanka – lokaskýrsla. BUSL skýrsla nr. E-41.

Pétur Pétursson 2012: Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum – áfangaskýrsla 1. Vegagerðin 2012.

Pétur Pétursson 2013: Breytt bindiefni í klæðingar – heimildakönnun og prófanir. Vegagerðin og PP ráðgjöf.