



# Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum

- Stöðuskýrsla áfanga 4 -

Pétur Pétursson  
maí 2015



## ÁGRIP

Í þessum fjórða áfanga verkefnis um rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum fyrir klæðingar voru rannsóknabættirnir nokkrir eins og sjá má hér að neðan:

- i. Kanna efniseiginleika nýrra sýna af klæðingarefnum í steinefnabanka. Flokkuðu klæðingarefnin sem safnað hefur verið í stór fiskiker eru Seljadalur, Hólabrú, Lambafell, Neðri-Mýrar, Grímsá og Skútar. Til stóð að fá einnig sýni af Bláhæðarefni og úr Uppsalanámu, en það hefur frestast enn um sinn.
- ii. Kanna heppilegt hitastig útsprautunar á mismunandi bindiefnisblöndum af hvítspíra og lýsi (etylester úr lýsi). Mæld var hreyfðarseigja á sex blöndum við mismunandi hitastig, sem sagt 2 % lýsi og 3 % spíri, 2 % lýsi og 4 % spíri, 2 % lýsi og 5 % spíri, 3 % lýsi og 2 % spíri, 3 % lýsi og 3 % spír, og 3 % lýsi og 4 % spíri. Til samanburðar var prófað þjálbik með 6,5 % lýsi.
- iii. Prófa viðloðun bindiefnisblandna af hvítspíra og lýsi í mismunandi hlutföllum. Prófuð var viðloðun í sömu blöndum og tilteknar eru í lið ii. með raunblönduprófi.
- iv. Kanna virkni viðloðunarefna með tíma. Nú hefur virkni viðloðunarefnanna Wetfix N, TPH, Impact 8000, Redyset, Wetfix BE og Redycote verið könnuð með hrærsluprófi (raunblönduprófi) með steinefni frá Seljadal og við 130°C.

## Efnisyfirlit

ÁGRIP.....	2
1 INNGANGUR .....	4
2 EFNISEIGINLEIKAR KLÆÐINGAREFNA STEINEFNABANKA.....	6
2.1 Forsaga .....	6
2.2 Niðurstöður prófana.....	6
3 MÆLINGAR Á SEIGJU BLANDNA AF HVÍTSPÍRA OG LÝSI.....	7
4 VIÐLOÐUN BLANDNA AF HVÍTSPÍRA OG LÝSI.....	8
5 VIRKNI VIÐLOÐUNAREFNA MEÐ TÍMA - SAMANBURÐUR .....	8
5.1 Forsaga .....	8
5.2 Niðurstöður prófana.....	9
HEIMILDIR OG ÍTAREFNI.....	10

# 1 INNGANGUR

Á undanförnum 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 diamins. Í fyrstu voru gerðar tilraunir með að nota repjuolíu til mýkingar á biki í klæðingar í stað hvítspíra 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 verið notuð á undanförnum árum. Einnig hafa verið gerðar tilraunir með Impact 8000 viðloðunarefni.

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>1</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 öðrum áfanga þessa verkefnis var áfram haldið með hrærsluprófanir á raunblöndum<sup>2</sup>. Gerð voru endurtekin hrærslupróf á þrenns konar steinefni, fimm sinnum og tveir rannsóknamenn 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 geymsluhitastig, 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.

Segja má að í þriðja áfanga þessa verkefnis hafi ýmsir þræðir verið teknir upp og framvinda rannsókna ákveðin á verkefnisfundum<sup>3</sup>. Til stóð að taka sýni úr tankbílum sem urðu fyrir töfum til að kanna virkni viðloðunarefna í stórum skala með tíma. Þessi verkliður þróaðist yfir í hugmyndir um að fylla asfaltkerru Vegagerðarinnar af þjálbiki með mismunandi viðloðunarefnum og að taka sýni úr hanni með tíma, en ekki varð af því vegna tæknilegra vankannta. Könnuð var virkni mismunandi viðloðunarefna með tíma á sýnum sem útbúin voru á rannsóknastofu. Þá voru gerðar prófanir með raunblönduprófi með mismiklu magni af mýkingarefni. Hjá Fjölveri voru gerðar stungudýptarmælingar á biki eftir upphitun á rannsóknastofu til að kanna hvernig bik harðnaði við endurteknar upphitanir. Einnig voru þar gerðar seigjumælingar á þjálbiki með mismiklu mýkingarefni. Niðurstöður seigjumælinga á

---

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

<sup>2</sup> Pétur Pétursson 2013: Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum – áfangaskýrsla 2. Vegagerðin 2013.

<sup>3</sup> Pétur Pétursson 2014: Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum – áfangaskýrsla 3. Vegagerðin 2014.

sýnum með 4, 5, 6 og 7 % mýkingarefni (etylester úr lýsi) bárust frá Fjölver við nokkur hitastig. Annar verkþáttur þessa áfanga var samanburður á sigtum hjá verktökum, á rannsóknastofum og hjá Vegagerðinni, þar sem útbúin voru 10 hlutasýni af tveimur burðarlagsefnum og dreift á fimm aðila (tvö sýni á hvern) til kornagreiningar. Loks ber að nefna hitamælingar við útlögn klæðinga, en eftirlitsmenn Vegagerðarinnar mældu hita bindiefnis með tíma frá útsprautun og þar til steinefni lagðist í það.

Í verkefnishópi sitja Einar Gíslason (verkefnisstjóri) og Gunnar Bjarnason hjá Vegagerðinni, Erla María Hauksdóttir hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands (Hafsteinn Hilmarsson í forföllum Erlu Maríu) og Pétur Pétursson hjá PP ráðgjöf.

## 2 EFNISEIGINLEIKAR KLÆÐINGAREFNA STEINEFNABANKA

### 2.1 Forsaga

Á undanförunum árum hefur verið bætt nokkuð við steinefnabankann af sýnum í stórum fiskikerjum. Áhersla hefur verið lögð á að safna nú flokkuðum klæðingarefnum, en fyrir voru burðarlagsefni í bankanum. Nú þegar hefur verið safnað efnum úr sex námum, sem sagt Seljadal, Hólabrú, Lambafelli, Neðri Mýrum, Grímsá og Skútum, en til stendur að bæta við efnum frá Bláhæð og Uppsalanámu.

### 2.2 Niðurstöður prófana

Tafla 1 sýnir niðurstöður prófana sem fengist hafa í þessu rannsóknarverkefni, niðurstöður úr rannsóknakerfi Vegagerðarinnar, svo og hvar niðurstöður liggja ekki fyrir.

**Tafla 1** Niðurstöður prófana á flokkuðum klæðingarefnum steinefnabanka.

Klæðingarefni	Kornakúrfa*	< 0,063 mm, %	< d %	> D %	Berggreining**	FI - lögun, %***	Brothlutfall, %	Kúlnakvörn, %	LA próf, %	Frostþol, %	Viðloðun hefðb., %	Viðloðun raun, %
Seljadalur 16925	11/16	2	20	5	0	11,1	100	6,0	11,8	1,3	100	100
Hólabrú 19177	11/16	1,3	14	10	4	5,1		13,8	15,9			
Lambafell 16825	11/16	1,3	19	13	0	1,6 (3,9)	100	5,6	9,6			
Neðri Mýrar 21369	11/16 (8/16)	0,7	34	8	0	11,8	100	4,8	11,7		100	100
Grímsá 18586	11/16	0,9	23	23	22	14,5		16,8	13,7			60-75
Skútar 22511	11/16	1,2	11	7	3	3,4 (1,8)	100	14,9	12,1			100
Bláhæð 15908	11/16	0,6	18	5		(20,9)	100		11,2		100	100
Uppsalanáma 15945	11/16	0,6	6	1		6,7	100	22,9-27,7	14,0		90	30-60

\*flokunarstærð

\*\* % í þriðja flokki

\*\*\*í sviga úr annarri, nýlegri rannsókn

Hluti rannsóknarverkefnis 2014/2015

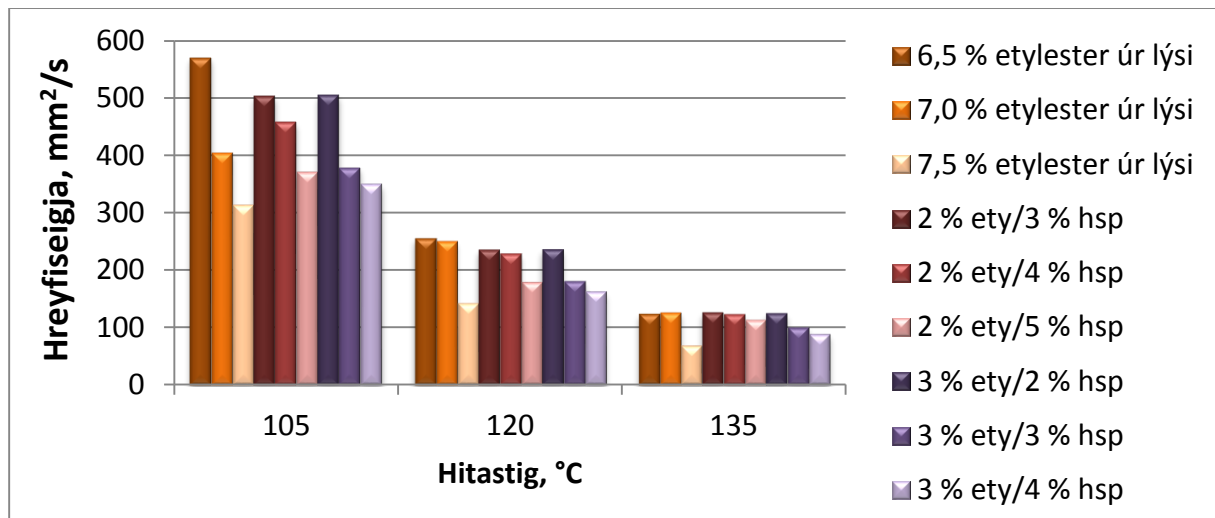
Niðurstöður fengnar úr rannsóknakerfi

Niðurstöður liggja ekki fyrir

Af töflunni má sjá að niðurstöður rannsókna á steinefnum sem framleidd eru til notkunar í klæðingar hafa ekki alltaf skilað sér inn í rannsóknakerfi Vegagerðarinnar. Til dæmis er einungis eitt frostþolspróf fyrirliggjandi í rannsóknakerfinu og fleira vantar, svo sem mælingu á brothlutfalli malarefnis í tveimur tilfellum, tvær berggreiningar, eina kúlnakvörn og svo viðloðunarpróf. Í næsta áfanga þessa verkefnis má gera ráð fyrir að reynt verði að þetta niðurstöður prófana á þeim efnum sem safnað hefur verið hingað til, svo og á þeim efnum sem enn hefur ekki verið safnað í ker.

### 3 MÆLINGAR Á SEIGJU BLANDNA AF ETYLESTER ÚR LÝSI OG HVÍTSPÍRA OG LÝSI

Upp komu hugmyndir um að mæla hreyfðarseigju blandna af etylester úr lýsi og hvítspíra í mismunandi hlutföllum. Mælingarnar voru gerðar hjá Fjölver og eru niðurstöðurnar sýndar á mynd 1. Til viðmiðunar eru bindiefnisblöndur með mikmiklu magni af hreinum etylester úr lýsi, sem sagt þrjár fyrstu súlurnar við hvert hitastig.



**Mynd 1** Hreyfðarseigja blandna af etylester úr lýsi og hvítspíra í mismunandi hlutföllum

Sjá má af þessum niðurstöðum að hvítspíri virðist hafa meiri áhrif til þynningar/mýkingar en etylester úr lýsi. Til dæmis er blandan með 7 % hreinum etylester mun seigari en blöndurnar með samanlagt 7 % etylester og hvítspíra við öll hitastig. Þó er ekki að sjá að mikill munur sé eftir blöndunarhlutfalli hvítspírans (2 til 5 %), heldur fyrst og fremst heildarmagn mýkingu/þynningu við hvert hitastig. Einnig má sjá að blöndurnar þrjár með 2 % etylester (og 3, 4, og 5 % hvítspíra) eru heldur seigari en blöndur með 3 % etylester (og 2, 3 og 4 % hvítspíra) ef eitthvað er. Það má draga þá ályktun að íblöndun hvítspíra í þeim hlutföllum sem prófuð voru er í raun ekki til að lækka seigju svo nokkru nemi og ávinningur af slíkri blöndun hvað það varðar lítil sem enginn.



## 4 VIÐLOÐUN BLANDNA AF HVÍTSPÍRA OG LÝSI

Jafnframt því að prófa hver áhrif blöndunar á hvítspíra í þjálbik með etylester hefði á þjálni var ákveðið að kanna viðloðunareiginleika sömu blandna með raunblönduprófi. Niðurstöður þeirra prófana má sjá í töflu 2.

**Tafla 2** Niðurstöður raunblönduprófana á bindiefnisblöndum með etylester úr lýsi og hvítspíra.

Sýni nr.	Etylester, %	Hvítspíri, %	Samtals, %	Hitastig biks og etylesters við blöndun hvítspíra, °C	Seljadalur, þakning, %	Grímsá, þakning, %
1	2	3	5	110	98	59
2	2	4	6	96	89	55
3	2	5	7	83	86	63
4	3	2	5	89	93	59
5	3	3	6	82	90	63
6	3	4	7	85	98	58
7	6,5	0	6,5	80	99	75

Af töflunni að ráða virðist engin regla vera á því hvaða viðloðunargildi efnin fá með tilliti til blöndunarhlutfalla etylesters og hvítspíra. Þakning á Seljadalsefninu er á bilinu 86 til 99 % og Grímsá fær mat á bilinu 55 til 75 %. Að vísu er mesta þakning steinefna í báðum tilfellum þegar notuð eru 6,5 % af hreinum etylester og reyndar eru það 12 eininga betri niðurstaða í tilfelli Grímsár, en með blöndum. Hvað Seljadalsefnið varðar eru næst bestu þakningagildin 98 %, en það eru blöndur með 3 og 4 % hvítspíra (samtals 5 og 7 % þynning). Það sem kemur einna helst á óvart er að Seljadalsefnið skuli fá þakningu allt niður í 86 %, en það efni hefur oftast mælst nálægt 100 % þakningu. Ef til vill hefur hvítspíri áhrif til að minnka áreiðanleiks prófsins, en þar er átt við að erfitt geti verið að stjórna uppgufun hans með tíma, sem aftur gæti valdið því að allar tímasetningar þyrftu að vera nákvæmari. Að lokum má geta þess að hitastig biks og etylesters þegar hvítspíra er blandað saman við mældist á bilinu 82 til 110°C og ekki er að sjá nein tengsl þess hitastigs og niðurstaðna prófana.

## 5 VIRKNI VIÐLOÐUNAREFNA MEÐ TÍMA - SAMANBURÐUR

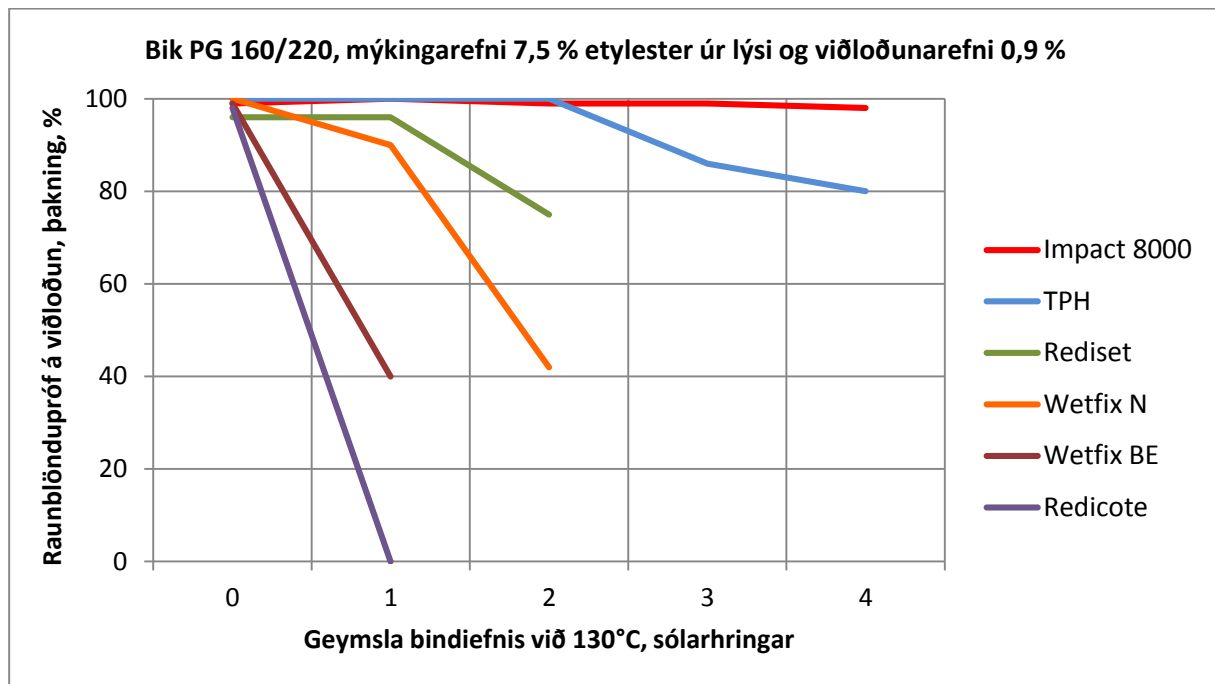
### 5.1 Forsaga

Eins og fjallað hefur verið um í áfangaskýrslum 2 og 3 hefur talsvert verið prófað með raunblönduprófunum hversu vel eða illa hin mismunandi viðloðunarefni sem notuð hafa verið hérlendis hafa enst við geymslu við háan hita. Í öðrum áfanga voru prófuð þrenns konar steinefni (Seljadalur, Hólabrú og Birgisdalsá), með PG 180/220 biki og 7,5 % etylester úr lýsi og oftast með viðloðunarefninu Wetfix N. Í þeim áfanga var einnig prófað að geyma bindiefnisblönduna við mishátt hitastig, allt upp í 150°C. Í ljós kom að þakning féll hratt með geymslu við hátt hitastig og einnig entist virknin lengur ef viðloðun var á annað borð góð. Í

Þriðja áfangi var haldið áfram sambærilegum prófunum, en að þessu sinni með þrenns konar viðloðunarefnum (WetfixN, TPH og Impact 8000) og við 130°C geymsluhitasig. Í ljós kom að Impact 8000 kemur best út af öllum viðloðunarefnum sem prófuð höfðu verið.

## 5.2 Niðurstöður prófana

Í ljósi þeirra niðurstaðna prófana sem komið höfðu í ljós í fyrri áföngum kom upp áhugi á að prófa virkni fleiri gerða viðloðunarefna með tíma. Próf á Impact 8000, TPH og Wetfix N voru endurtekin og auk þess prófuð viðloðunarefni Rediset, Redicote og Wetfix BE, öll frá Akzo Nobel. Niðurstöður þessara prófana eru sýndar á mynd 2.



**Mynd 2** Niðurstöður raunblönduprófa á virkni mismunandi viðloðunarefna með tíma

Ákveðið var að prófa viðloðun eftir allt að fjögurra daga geymslu við 130°C, en hætta prófum á viðkomandi viðloðunarefni þegar viðloðun væri komin undir 80 % þakningu. Í ljós kom að virkni viðloðunarefna með tíma var afar mismunandi, byggt á niðurstöðum raunblönduprófa. Það viðloðunarefni sem verst kom út hafði misst alla virkni við prófun eftir einn sólarhring, en það sem kom best út hélt nánast fullri virkni allt fram á fjórða sólarhring, en þá var prófunum hætt. Önnur viðloðunarefni voru þar á milli. Það eru því sterkar vísendingar um að full ástæða sé til að kanna virkni viðloðunarefna með tíma með raunblönduprófi þegar ný viðloðunarefni standa til boða. Einnig að velja frekar viðloðunarefni sem þola verklegar tafir án þess að missa virkni sína.

## HEIMILDIR OG ÍTAREFNI

Alverk '95 1995: Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð. Vegagerðin

Efnisrannsóknir og efniskröfur. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Kafli 6: Slitlag. – Vegagerðin, janúar 2015.

Efnisrannsóknir og efniskröfur. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Viðauki 4: Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur. – Vegagerðin, janúar 2015.

Efnisrannsóknir og efniskröfur. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Viðauki 1 – Lýsing á prófunaraðferðum. Vegagerðin, janúar 2015.

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

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

Mæligögn um hita bindiefnis við framkvæmd klæðinga frá Jóni Helga Helgasyni og Kristjáni S. Þorkelssyni send höfundu með tölvupósti 27. febrúar 2014.

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

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

Pétur Pétursson 2013: Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum – áfangaskýrsla 2. Vegagerðin 2013.

Pétur Pétursson 2014: Klæðingar, rannsóknir og þróun á prófunaraðferðum – áfangaskýrsla 3. Vegagerðin 2014.