



# Breytt bindiefni í klæðingar

Heimildakönnun og prófanir



Pétur Pétursson  
mars 2013

## Efnisyfirlit

1	INNGANGUR .....	2
2	FORSAGA .....	3
3	HEIMILDAKÖNNUN – SPURNINGALISTI .....	4
4	PRÓFANIR Á RANNSÓKNASTOFU .....	7
4.1	Áhrif íblöndunar fjölliðu í þjálbik á hreyfðarseigju þess .....	7
4.2	Athugun á hæfilegu hitasigi við íblöndun SBS í PG 160/220 bik .....	7
4.3	Togprófanir – áhrif fjölliðu á festu steinefnis í bindiefninu .....	8
5	NIÐURSTÖÐUR .....	15
5.1	Heimildakönnun .....	15
5.2	Togpróf .....	15
	VIÐAUKI I Athugun á hversu vel gengur að blanda SBS fjölliðu í bik af gerðinni PG 160/220 .....	17
	VIÐAUKI II Verklýsingar vegna togprófana á breyttu bindiefni á rannsóknastofu .....	18
	Viðauki III Mælingar á flatarmáli stykkja sem toguð voru upp úr hellum .....	21

Ljósmynd á forsíðu: Arnþór Óli Arason

## 1 INNGANGUR

Flestir vegir landsins sem á annað borð eru bikbundnir eru lagðir klæðingum. Í fyrstu var eingöngu notaður hvítspíri til þynningar á útsprautuðu biki, en hann er ekki umhverfisvænn og getur verið hættulegur vinnuumhverfinu. Löng hefð er hérlendis fyrir þynntu biki en bikþeytur hafa ekki náð fótfestu þrátt fyrir tilraunir til að innleiða þær. Megin ástæða þess hafa verið ótímabærar skemmdir vegna steinaloss. Á síðustu árum hafa umhverfisvænar olíur rutt sér til rúms til mýkingar á bindiefni, fyrst repjuolía og síðar etylester, unnin úr lýsi. Klæðingar með breyttu bindiefni (Polymer Modified Bitumen) hafa ekki verið prófaðar hérlendis, en segja má að full ástæða sé til að fikra sig áfram í þá átt að innleiða slíkar klæðingar. Með aukinni umferð á þjóðvegum landsins, ekki síst þungri umferð, hefur álagið á klæðingar aukist mikið og ótímabærar skemmdir komið fram í auknum mæli, bæði hvað varðar steinlos og blæðingar. Með breyttu bindiefni eru líkur á að klæðingarnar þoli betur aukið umferðarálag og endist betur, hvort heldur er þjálbik eða bikþeytur.

Sótt var um styrk til rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar til að kanna heimildir og gera forprófanir á rannsóknastofu á eiginleikum fjölliðubreytts þjálbiks og bikþeytu í klæðingar, til samanburðar við bindiefni sem hefur ekki fjölliður. Tilgangur verkefnisins er að kanna hvort æskilegt sé að innleiða fjölliður í klæðingar hérlendis ef heimildakönnun og prófanir benda til að með þeim hætti megi gera endingarbetri klæðingar. Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir því helsta sem vannst í þessum fyrsta áfanga verkefnisins.

Í skýrslunni eru birt svör valinna sérfræðinga á Norðurlöndunum við spurningalista, sem ætlað var að varpa ljósi á hvort raunhæft gæti talist að blanda fjölliðum eða öðrum efnum út í bindiefni sem þynnt hefur verið með umhverfisvænum olíum, svo og hvort æskilegt væri að gera tilraunir með fjölliðubættar bikþeytur hérlendis. Notast var við tengslanet NVF Slitlaganefndar til að afla heimilda í formi spurningalista um notkun breyttra bindiefna í klæðingar á Norðurlöndunum, auk þess sem spurt var um ýmsa aðra þætti sem tengjast klæðingum. en verkefnið var upphaflega skilgreint sem „project“ undir þeirri nefnd.

Á rannsóknastofu var prófað að blanda SBS (Styrene Butadiene Styrene) fjölliðum við þjálbik og kanna m.a. hvaða hitastig þarf að vera á bikinu til að íblendið blandist auðveldlega saman við bikið. Einnig var kannað hvaða áhrif íblendið hafa á “festu” steinefnis í bindiefninu með togprófunum.

Ingvi Árnason er verkefnisstjóri, en aðrir í verkefnishópi eru Gunnar Bjarnason, Lars Peter Jensen, Pétur Pétursson og Sigbór Sigurðsson.

## 2 FORSAGA

Það hefur verið stefna Vegagerðarinnar að hverfa frá notkun hvítspíra (wsp) yfir í lífolíur sem eru bæði umhverfisvænar og voru auk þess taldar lausar við blæðingar þegar sú ákvörðun var tekin. Áður höfðu verið gerðar ýmsar tilraunir með annars konar umhverfisvænni klæðingar. Í því sambandi má nefna tilraunir með notkun umhverfisvæns þynningarefnis (Shellsol D60) sem inniheldur mun minna af BTEX eiturefnum en hvítspíri, sbr. skýrslu S-12 úr BUSL samstarfinu frá 1999. Niðurstöður leiddu þó í ljós að ekki varð merkjanlegur munur á klæðingum með hvítspíra og umhverfisvæna efninu (þurfti þó að nota um 1-2% meira af því síðarnefnda). Hins vegar myndaðist mikill bikúði af umhverfisvæna efninu sem fauk á allt nærliggjandi, en þetta olli því að það var nánast ómögulegt að vinna með efnið. Í framhaldinu voru gerðar tilraunir með að nota Shellsol D40, sem er með lægra blossamarki en D60 gerðin. Niðurstaðan var í stuttu máli að efnið var á allan hátt svipað hvítspíra í vinnslu, ekki þurfti meira magn og bikúði eða reykur var sambærilegur sbr. lokaskýrslu verkefnisins, S-22 frá 2001. Lokaorð skýrslunnar eru á þá leið að lagt er til að gerðar verði frekari tilraunir með Shellsol D40 við breytilegar aðstæður og með mismunandi steinefni. Þær tilraunir fóru þó aldrei fram, enda var verð á Shellsol D40 um 15-20% hærri en á hvítspíra á þeim tíma.

Önnur atrenna að hvítspíranotkun sem átt hefur sér stað af og til í formi tilrauna er innleiðing á bikþeytum. Þær eru umhverfisvænar að því leyti að lítið sem ekkert er notað af þynningarefnum í bikblönduna, heldur er það vatn sem gerir hana nægilega fljótandi til að unnt sé að sprauta henni út. Árið 1993 voru lagðir bikþeytukaflar (í Hellistungum og við Akureyri) og aftur voru lagðir kaflar 1994 á Norðurlandi, Vesturlandi og Suðurlandi. Á heildina lítið komu kaflarnir frá 1993 betur út en þeir sem lagðir voru 1994. Við úttektir 1995 var gjarnan minnst á skallabletti hér og þar, svo og blæðingar, ef ekki var þegar búið að leggja yfir þessa árgömlu kafla. Verkefninu lauk með lokaskýrslu, S-3 árið 1997.

Árið 2002 var aftur stofnað til verkefnis um bikþeytur og voru lagðir tilraunakaflar á Akranesveg 2003 og svo fleiri kaflar árlega þar á eftir. Síðustu kaflarnir voru lagðir árið 2006, en á heildina lítið var árangur þessara tilrauna nokkuð misjafn. Algengt var að steinlos ætti sér stað strax á fyrsta vetri, þó í mismiklu magni og reyndar eru enn kaflar sem eru í góðu standi, t.d. kaflar í Hvalfirði sem lagðir voru árið 2006. Í Rb-skýrslu nr. 07-05 frá maí 2007, sem var lokaskýrsla verkefnisins, kemur fram að verkefnishópur hafi ályktað að ráðlegt væri að staldra við og endurskoða stöðuna. Aðal ástæða þess að ákveðið var að hætta þessu verkefni var að þótt kaflar gætu heppnast ágætlega komu upp óútskýrð atvik sem ollu því að ótímabærar skemmdir komu fram á fyrsta vetri. Ekki þótti verjanlegt að taka áhættu á stórfelldum skemmdum, sérstaklega á umferðarmiklum vegum, þar sem steinlos gat orðið hvað mest. Þess má geta að fyrstu kaflar með repjubiki voru einmitt lagðir sama ár og síðustu bikþeytukafllarnir. Það skal tekið fram hér að ekki hefur verið prófað að blanda fjölliðum í bikþeytur héraendis (frekar en aðrar gerðir klæðinga), en svo dæmi sé tekið leggja Svíar um 12 milljón m<sup>2</sup> af klæðingum, nánast allt með fjölliðubreyttri bikþeytu (skv. svörum við spurningalista Slitlaganefndar NVF 2012). Á þessu ári stendur til að gera tilraunir með að

blanda fjölliðum (latex) í bikþeytur og leggja tilraunakafli á Suður- og Vesturlandi (verkefni: Breytt bindiefni í klæðingar, styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar) og verður athyglisvert að fylgjast með hvernig til tekst.

Árið 2006 hófust tilraunir með repjubik, þar sem notuð er repjuolía (jurtaolía) sem mýkingarefni í bikið í stað hvítspíra. Það þótti vænlegri kostur út frá umhverfissjónarmiðum þar sem hvítspíri veldur mengun þegar hann gufar upp. Tilraunirnar lofuðu góðu og því var repjubik notað í vaxandi mæli á árunum frá 2006 til 2010. Á árinu 2010 voru gerðar tilraunir með að nota ný efni sem mýkingarefni, þ.e.a.s. etýlester sem er tær, litlaus og vel fljótandi olía sem unnin er úr fiskiolíu (lýsi). Tilraunir með slíkar klæðingar hafa þótt lofa svo góðu að tekin var ákvörðun um að nota etýlester úr lýsi í enn meira mæli en áður sumarið 2011 og reyndar eingöngu, fyrir utan lítils háttar bygðir af repjuolíu sem til var á tönkum Vegagerðarinnar.

### 3 HEIMILDAKÖNNUN – SPURNINGALISTI

Eins og fram kemur í Inngangi var notast við tengslanet NVF Slitlaganefnd, en verkefnið var upphaflega skilgreint sem „project“ undir þeirri nefnd. Spurningalistinn var útbúinn á vinnufundum verkefnishóps þessa verkefnis, en Lars Peter Jensen sá svo um að fínþússa hann og senda til valinna tengiliða í NVF nefndinni frá hverju landi fyrir sig. Tafla 1 sýnir spurningarnar og svör sem bárust við þeim, nokkuð einfaldað og auk þess snarað yfir á íslensku af höfundi þessarar skýrslu.

**Tafla 1** Stytt, íslenskuð útgáfa af svörum sem bárust frá Norðurlöndunum 2012

	<b>Spurning</b>	<b>Finland</b>	<b>Noregur</b>	<b>Svíþjóð</b>	<b>Danmörk</b>	<b>Ísland</b>
1	<b>Klæðing (m<sup>2</sup>) á ári</b>	630.000m <sup>2</sup> 2012 235.000m <sup>2</sup> 2011	500.000 m <sup>2</sup>	12 mio m <sup>2</sup>	5 – 6 mio m <sup>2</sup>	2.570.000 m <sup>2</sup>
A	<i>Einföld klæðing</i>	100%	100%	99%	85%	100%, Nýir vegir með tveimur lögum
B	<i>Tvöföld klæðing</i>	0	0	0	10%	0
C	<i>Aðrar gerðir</i>	0	0	1%	5%	0
2	<b>Steinastærðir</b>	6/8 og 6/12mm	8/11mm	8/11 og 4/8mm	5/8 og 8/11mm	8/11, 11/16, Í minna mæli 8/16, 4/16 mm
3	<b>Þvegið steinefni</b>	Nei	Nei	Já	Já	Nei
4	<b>Grunngerð biks (PG)</b>	160/220	330/430 með fjölliðum, tilraunir með 160/220 án fjölliða	160/220	160/220	160/220
A	<i>Hlutfall bikþeytu af heild (%)</i>	0%	100%	100%	20%	0%
B	<i>Hlutfall þunnbiks af heild (%)</i>	100%	0	0	70%	0%
C	<i>Hlutfall annarra tegunda (%)</i>	0	0	0	10% t.d. PG 330/430	100% þjálbik með lýsi frá 2012
5	<b>Er notað breytt bindiefni í þunnbik? Þunnbiksgerð Magn</b>	Nei, of lítið magn framleitt til að það borgi sig	Já, breytt bindiefni 100%	Já, „Racked-In“ 8/11mm, lítið magn	Já, um 30% af þunnbiki er með breyttu bindiefni	Nei, tilraunir hefjast 2013

	<b>Spurning</b>	<b>Finnland</b>	<b>Noregur</b>	<b>Svíþjóð</b>	<b>Danmörk</b>	<b>Ísland</b>
6	<b>Gerð breytiefna í bindiefnið</b> Magn, %	Tilraunir með SBS	Latex	SBS og Latex  3-4 %	SBS	SBS í þjálbik og Latex í bikþeytu
7	<b>Ástæða notkunar á breyttu bindiefni</b>			Minni hætta á skemmdum við útlögn, hægt að sópa fyrr og lengri árstími	Umferðarþungi Lengri árstími Broteiginleikar Eiginleikar við útsprautun	Klæðing verður endingarbetri með breyttu bindiefni við erfitt veðurfar
8	<b>Kostnaður vegna notkunar á breyttu bindiefni</b>					
A	<i>Beinn kostnaður</i>			1000 SEK/tonn	1 – 2 DKK/m2	10% dýrara
B	<i>Samanburður á líftíma (LCC)</i>		Óbreyttur		Líftími lengist um a.m.k. 2 ár	
C	<i>Önnur atriði varðandi kostnað</i>		Klæðing of dýr miðað við volg-blandað (warm) þunnt malbik		Breytt bindiefni er mikilvægt í allri samkeppni	
9	<b>Umhverfismál / vinnuumhverfi / viðhorf</b>		Losna við leysiefni úr vinnuumhverfi		Bikþeytur þróast – reiknað með 50% í 2014. Styrelf 103 (breytt bindiefni með flux) ekki gott fyrir vinnuumhverfi	Losna við leysiefni úr vinnuumhverfi, leitað bestu lausnar m.t.t. endingar, umhverfis og vinnuumhverfis
10	<b>Kostir og gallar varðandi meðhöndlun og útlögn</b>		Takmarkaður geymslutími bindiefnis	Betri nýting tækja vegna lengri árstíma	Erfiðara að meðhöndla bikþeytu við handútlögn, þarf meira magn og seigja mikilvæg fyrir árangur	
11	<b>Prófanir sem henta vegna notkunar breyttra bindiefna</b>		Prófun á klæðingu með og án breytts bindiefnis			
A	<i>Prófanir á klæðingu</i>			Vialit plate próf við mismunandi hitastig	Sjónrænt togþráður	Athugun á steintapi og blæðingu
B	<i>Prófanir á bindiefni</i>			Mæling á bindiefni áður en ýrt, soft. point, stungudýpt		Kúla-hringur og stungudýpt
12	<b>Hvernig er fjölliðu bætt í bindiefnið?</b>	Á ekki við	Blandað í eigin bindiefnistank	Blandað í bindiefni áður eða við ýrun		Við framleiðslu
13	<b>Reynsla af stöðugleika við geymslu breyttra bindiefna</b>		Þarf helsta að hræra í við geymslu	Bikþeyta með breyttu bindiefni hefur styttra geymsluþol en með óbreyttu		
14	<b>Aðrar upplýsingar / athugasemdir</b>	Engar	Verktakar búa yfir tækniþekkingu	Engar	Fjölliðubreytt bikþeyta – gott og viðurkennt efni	Engar

Það er eitt og annað sem má lesa úr þessum upplýsingum, þótt í sumum tilfellum hafi ekki fengist svör frá öllum. Það á sérstakleg við um Finnland og Ísland, þar sem lítil sem engin reynsla er af notkun fjölliða í klæðingar. Norðmenn leggja ekki mikið af klæðingu, en þeim

mun meira af þunnum malbiksgerðum, en allar þeirra klæðingar virðast vera bikþeytur með fjölliðubreyttu bindiefni. Mest er lagt út af klæðingum í Svíþjóð og Danmörku og þar er líka mest reynsla af þeim miðað við svör við spurningunum. Svíar virðast nær eingöngu nota fjölliðubreyttar bikþeytur, en Danir nota ennþá um 70 % þunnbik (þar af 30% með fjölliðum), en stefna á að nota 50% bikþeytur árið 2014. Efnin sem notuð eru sem fjölliður eru annað hvort SBS eða Latex, en það síðarnefnda hentar vel í bikþeytur og í báðum löndum eru notuð þvegin steinefni (ólíkt Finnlandi, Noregi og Íslandi). Bæði Svíar og Danir eru jákvæðir gagnvart notkun breyttra bindiefna og nefna nokkrar ástæður notkunar á breyttum bindiefnum, til dæmis þolir meiri umferðarþunga, minni hætta á skemmdum við útlögn, lengri árstími (verklegur), hægt að sópa fyrr og betri broteiginleikar bikþeytu. Gallar sem nefndir eru snúa að takmörkuðum geymslutíma og erfiðara í handútlögn og gæti þurft meira magn í því tilliti vegna meiri seigju í breyttum bindiefnum.

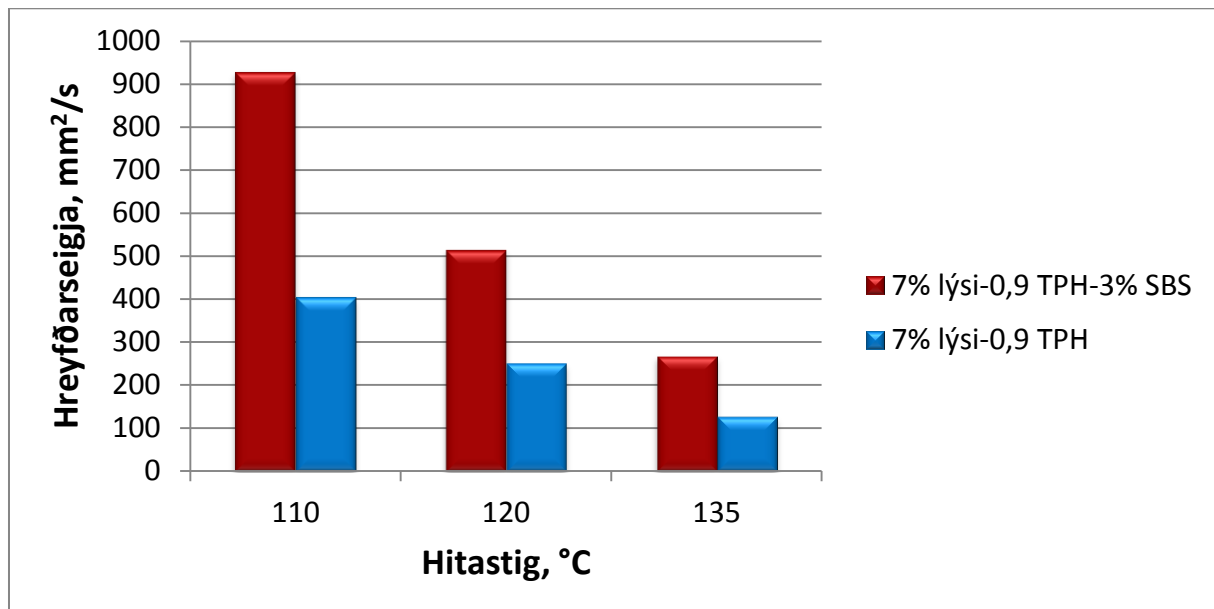
Danir og Svíar virðast hafa góða hugmynd um aukinn kostnað, t.d. nefna Danir 1-2 DKK/m<sup>2</sup>, en á móti kemur að líftími klæðinga með breyttu bindiefni er a.m.k. tveimur árum lengri en án fjölliða að þeirra mati. Svör um umhverfismál snúast um að losna við leysiefni úr vinnuumhverfinu. Varðandi prófanir á klæðingum með breyttum bindiefnum er ekki mikið sem kemur fram, þó nefna Svíar notkun á Vialit Plate prófinu við mismunandi hitastig. Að lokum kemur fram að gæta þarf sérstaklega að geymsluaðstæðum, hræra í og vera meðvitaður um styttra geymsluþol en óbreytt bindiefni. Danir klykkja út með því að nefna að fjölliðubreytt bikþeyta sé gott og viðurkennt efni.

Segja má að það sé fátt í þessari heimildakönnun á Norðurlöndunum sem bendi til annars en að æskilegt sé að þróa fjölliðubreyttar bikþeytur þannig að þær henti héraendis. Þó má benda á að í ljósi þess að bæði Danir og Svíar þvo allt steinefni í klæðingar er ekki útilokað að huga þurfi betur að vinnslu og undirbúningi á steinefnum í klæðingar héraendis, ekki síst í bikþeytur.

## 4 PRÓFANIR Á RANNSÓKNASTOFU

### 4.1 Áhrif íblöndunar fjölliðu í þjálbik á hreyfðarseigju þess

Ákveðið var að láta mæla hreyfðarseigju hefðbundins þjálbiks með 7 % lýsi (etýlester) og 0,9 % TPH viðloðunarefni bera saman við mælda seigju sömu bindiefnisblöndu með 3 % SBS. Mynd 1 sýnir niðurstöður þessara mælinga, en Fjölver sá um mælingarnar.



**Mynd 1** Áhrif íblöndunar 3 % SBS í þjálbik á hreyfðarseigju þess við þrjú hitastig

Það sést á myndinni að íblöndun á SBS í þjálbikið hefur veruleg áhrif á hreyfðarseigju bikbindiefnisins. Það munar nánast helming á seigju við hvert hitastig og þjálbik við 135°C hefur seigju nálægt 100 cSt, eins og þekkt var úr fyrri seigjumælingum. Fjölliðubreytta þjálbikið er hins vegar með seigju um 250 cSt og er því greinilega seigara við hitastig sem er nálægt því sem hefðbundið er við útsprautun við gerð klæðinga. Þetta þarf að hafa í huga þegar ráðist er í tilraunir með fjölliðubreytt þjálbik og kanna séstaklega hvort aukin hreyfðarseigja kalli á hærra hitastig, eða hvort þetta er ekki vandamál við útlögn.

### 4.2 Athugun á hæfilegu hitasigi við íblöndun SBS í PG 160/220 bik

Þessi verkþáttur var settur fyrstur í röðina til að kanna hvort og við hvaða hitastig tækist að blanda 3 % af SBS fjölliðu í bik og bæta síðan 7 % etýlester (lýsi) og 0,9 % viðloðunarefni (TPH) í blönduna. Verkþátturinn var unnin á Nýsköpunarmiðstöð Íslands og er verklýsing og greinargerð frá NMÍ í viðauka 1. Í stuttu máli kemur fram að enn voru SBS flygsur fljótandi í yfirborði biksins eftir 15 mínútna hrærslu við 130°C. Engu að síður var haldið áfram með togprófanir á rannsóknastofu, enda talið að mest allt hafi blandast, auk þess sem hreyfðarseigjumælingar bentu til þess að íblöndunin hefði þrátt fyrir þessar niðurstöður veruleg áhrif á eiginleika bikblöndunnar.



### 4.3 Togprófanir – áhrif fjölliðu á festu steinefnis í bindiefninu

Verklýsing fyrir togprófanir er birt í viðauka II, reyndar í tvennu lagi, annars vegar gerð sýna og hins vegar hin eiginlegu togpróf. Í stuttu máli var ferlið á eftirfarandi hátt:

Fyrst voru góðfúslega fengnar 5 steyptar hellur hjá BM-Vallá, 50 x 50 cm á kant og á fjórar þeirra var límdu blikkantur sem stóð um 1 cm upp fyrir helluflötinn til að bindiefni læki ekki út af hellunni. Þegar kanturinn var kominn á og límið þornað var þjálbiki (7 % etylester (lýsi) og 0,9 % viðloðunarefni (TPH), með og án 3 % SBS fjölliðu. Dreift jafnt á flötinn við 130°C, alls 2,0 l/m<sup>2</sup>, tvær plötur með og tvær án SBS. Síðan var dreift flokkuðu 11/16 mm steinefni frá Seljadal og Hólabrú í hæfilegu magni á hvort hellupar til að mynda einfalt steinefnalag í bindiefninu. Settur var filt-dúkur ofan á steinefni og valtað með sívölum steypuhlunk (ólíkt því sem segir í verklýsingunni). Daginn eftir að sýnin voru útbúin var ætlunin að sópa þau lauslega, en í raun var steinefni enn svo laust í bindiefninu að ákveðið var að sópa ekki, en velta hellunum frekar upp á rönd þannig að alveg laust steinefni félli af. Að þessu loknu stóðu hellurnar tilbúnar til togprófunar í nokkra mánuði. Loks má geta þess að stuttu áður en hin eiginlegu togpróf fóru fram voru hellurnar sagaðar eftir endilöngu til þess að þær pössuðu í togbúnaðinn sem notaður var. Myndasýrpan hér að neðan sýnir hvernig sýnin voru útbúin.



a) Hellur komnar í hús á rannsóknastofu



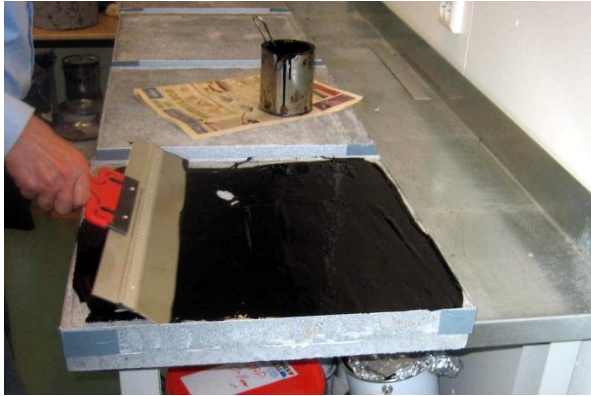
b) Blikkantur límdu á og taulím sett á hornin



c) Nærmynd af yfirborði hellu með kanti



d) Heitu bindiefni hellt á yfirborð hellu



e) Bindiefni dreift á hellu með spaða



f) Steinefni þrýst ofan í með „valta“ (vantar filt)



g) Fjölliðubreytt bindiefni togar vel á móti



h) Hellur sagaðar, tilbúnar í límingu togflatar

**Mynd 2 a) til h)** Gerð sýna á steypum hellum

Eins og fram kom hér að framan voru fjórir tilraunafletir (hellur), 50 x 50 cm á kannt, með klæðingu útbúinni á rannsóknastofu útbúnar á NMÍ:

- a. 11/16 mm Seljadalsefni með 3 % SBS fjölliðu
- b. 11/16 mm Seljadalsefni án SBS fjölliðu
- c. 11/16 mm Hólabrú með 3 % SBS fjölliðu
- d. 11/16 mm Hólabrú án SBS fjölliðu

Þegar búið var að saga hellurnar eftir endilöngu þannig að þær passu í pressuna voru til átta hlutar, hver um sig 50 x 25 cm á kannt. Útbúnir voru stálsívalningar með festingu sem passaði í pressuna, 10 cm í þvermál, og límdir tveir á hvern hluta með epoxy-lími. Þessir



fletur voru sem sagt það sem toga skyldi upp úr bindiefninu með álímdu steinefni og mæla togkraft og álagsferil á sýnum með og án SBS og auk þess með tvenns konar steinefni, öðru með 100 viðloðun úr hrærsluprófi og hinu með eitthvað lakari viðloðunareiginleika.

Til greina hafði komið að saga með kjarnasög meðfram stálsívalningunum til þess að flöturinn sem togað er í væri alltaf jafn stór. Horfið var frá þeirri hugmynd þar sem ljóst þótti að bindiefnið væri of mjúkt og því hætta á að steinefnið raskaðist við sögun. Í staðinn var ákveðið að gera togpróf án sögunar og sjá hvað gerðist. Eftir á voru gerðar átta mælingar á flatarmáli flatarins sem slitnaði upp með stálplötunni, þar með talið steinefni sem hafði límst að hluta við límið en var utan við plötuna, og eru niðurstöður þeirra mælinga í viðauka III, ásamt útskýringum á hvernig mælingar fóru fram. Í ljós kom að uppslitinn flötur mældist að flatarmáli á bilinu 103,3 til 124,7 cm<sup>2</sup>, en flötur sívalnings með 10 cm þvermál er 78,5 cm<sup>2</sup>. Það er því umtalsvert utan með sívalningnum sem slitnar upp, en í fljótu bragði er ekki hægt að sjá að samband sé á milli togspenna og flatarmáls, til þess eru mælingar of fáar. Hins vegar má ætla að mismunandi flatarmál sem slitnar upp við tog hafi áhrif á nákvæmni prófunaraðferðarinnar og að dreifing gilda aukist miðað við að vera alltaf með sama flatarmál.

Myndir 3 a) og b) hér að neðan gefa hugmynd um hvernig togprófin voru framkvæmd.



a) Uppsetning togbúnaðar

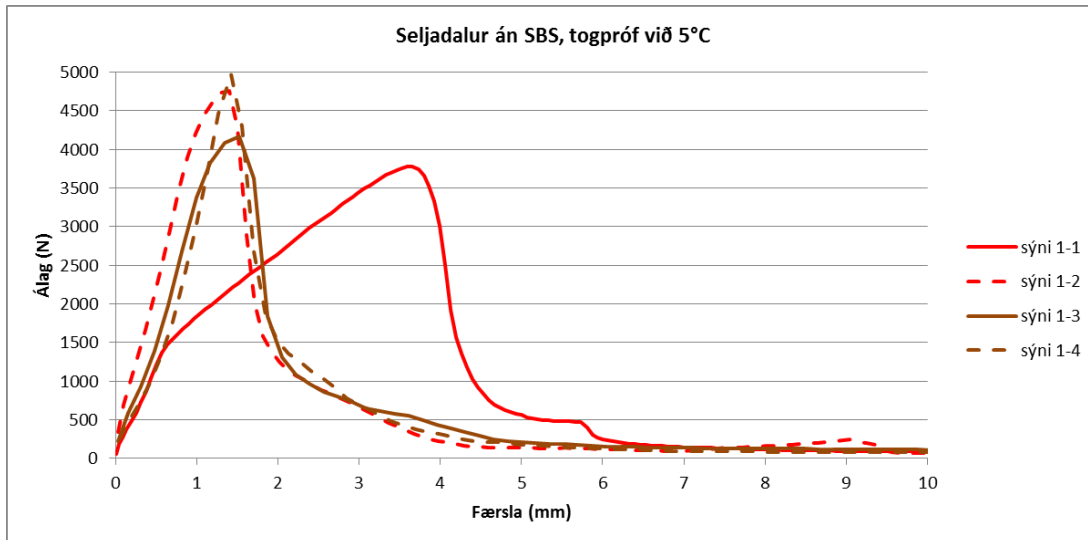


b) Nærmynd af sýni sem togað hefur verið upp

**Mynd 3 a) og b)** Framkvæmd togprófana á klæðingum á steiptum hellum

Eins og verkefnið þróaðist var ákveðið að gera átta togpróf á sýnum á hellum með Seljadalsefni, þ.e.a.s. fjögur með og fjögur án fjölliða. Öll sýnin voru prófuð við sams konar

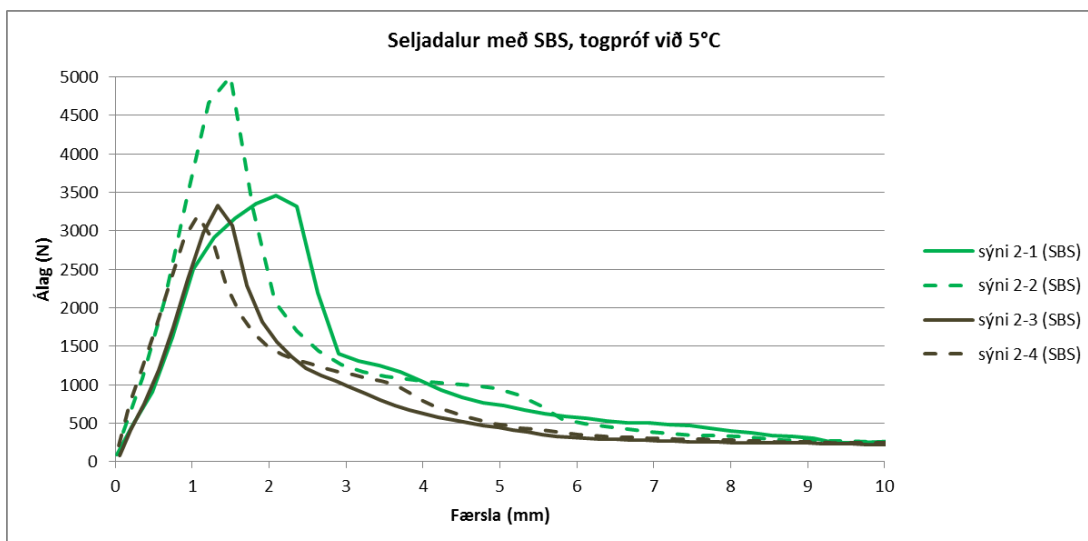
skilyrði, eða við 5°C eftir kælingu í kælikáp. Þetta var gert þar sem dreifing á mæligildum eftir tvö próf með sömu útfærslu var nokkuð mikil og því ákveðið að bæta við tveimur og reyna að komast nær því hvers lags dreifingu mætti reikna með að fá út úr prófinu. Mynd 4 sýnir niðurstöður fjögurra togprófa á sýnum með Seljadalsefni, án SBS við 5°C.



**Mynd 4** Togpróf á sýnum með Seljadalsefni, án SBS við 5°C.

Eins og sést á myndinni eru þrjú próf af fjórum nokkuð sambærileg, þ.e.a.s. mesta álag er milli 4 og 5.000 N og slit á sér stað eftir u.þ.b. 1,5 mm færslu. Það sýni sem sker sig út er það fyrsta sem prófað var í þessu verkefni, en þó er ekki getið um neitt óvenjulegt við þetta togpróf. Álagsferillinn er þó ólíkur hinum þremur og færslan mun meiri áður en slitnar, eða um 4 mm, sem er langmesta færsla sem mælst hefur í þessu verkefni og það út af fyrir sig gerir mælinguna frekar ótrúverðuga.

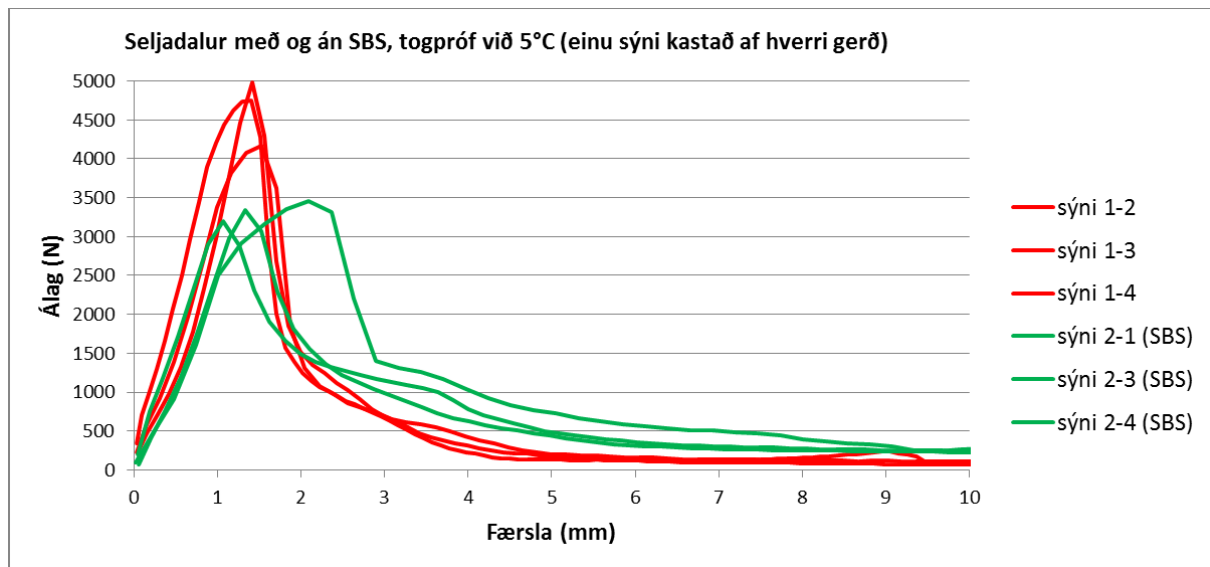
**Mynd 5** sýnir niðurstöður fjögurra togprófa á sýnum með Seljadalsefni, með 3 % SBS við 5°C.



**Mynd 5** Togpróf á sýnum með Seljadalsefni, með 3 % SBS við 5°C.

Myndin sýnir að eitt af fjórum sýnum sem prófuð voru með 3 % SBS fjölliðu hefur talsvert ólíka álagskúrfu en hin þrjú, fer upp í 5.000 N en hin sýnin eru um 3.000 til 3.500 N. Ekki er ljóst hvað veldur því að eitt af fjórum sýnum sker sig úr og líklega ekki mögulegt að finna haldbæra skýringu á því. Að vísu er flatarmál flatarins sem togaðist upp það mesta sem mældist, sjá viðauka III, eða um 124 cm<sup>2</sup>. Hvort það hefur þessi áhrif skal ósagt látið.

Til að einfalda niðurstöðurnar hér að ofan var prófað að draga upp álagsferla þeirra þriggja sýna úr hvorri syrpu sem voru hvað líkastir, en kasta þeim eina sem skar sig úr, sjá mynd 6.

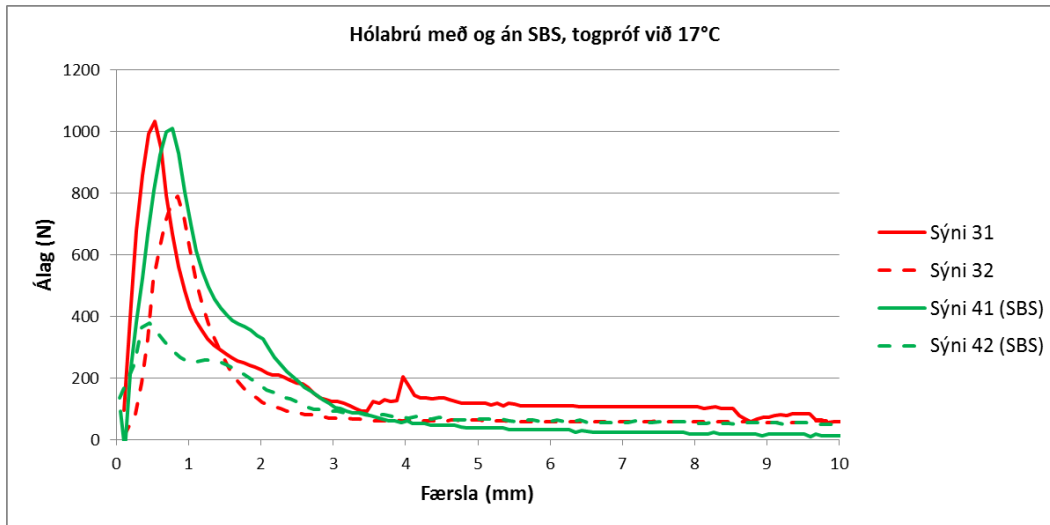


**Mynd 6** Álagsferlar þeirra þriggja sýna úr hvorri syrpu sem voru hvað líkastir

Það vekur athygli að álagið til að slíta fjölliðubreytt bindiefni upp er minna en ef fjölliður eru ekki notaðar við 5°C samkvæmt þessum niðurstöðum. Hinsvegar verður færslan heldur meiri í fjölliðubreyttum sýnum áður en þau slitna alveg frá. Til dæmis er enn allt að 1000 N álag á fjölliðubreyttu sýnunum eftir 4 mm færslu, en vel undir 500 N álag eftir sömu færslu á óbreyttum sýnum. Ekki verður meira lesið úr þessum niðurstöðum hér, enda dreifing niðurstaðna nokkuð mikil, jafnvel þótt þeirri keyrslu sem skar sig mest úr af hvorri gerð hafi verið kastað.

Þegar hér var komið sögu var búið að prófa helming sýnanna, þ.e.a.s. þau sem voru með steinefni úr Seljadal, en eftir voru sýnin með steinefni úr Hólabrú. Til hafði staðið að prófa þau sýni á nákvæmlega sama hátt og sýnin með Seljadalsefninu, en í ljósi niðurstaðna þótti áhugaverðara að skoða togferla við önnur hitastig, frekar en að leggja áherslu á mun á steinefnum. Því var ákveðið að prófa þau sýni sem eftir voru við annars vegar 17°C og hins vegar -5°C og þá einungis tvö hlutasýni með steinefni frá Hólabrú af hvorri bindiefnisgerð. Í ljósi prófana á Seljadalssýnum við 5°C var meðvitað að tekin væri áhætta á að togferlarnir yrðu mjög breytilegir og túlkanir því erfiðar og má segja að sú hafi orðið raunin. Hins vegar fengust áhugaverðar vísbendingar um afar sterk áhrif hitastigs á togkrafta í klæðingum. Fleiri útfærslur var ekki hægt að prófa í þessu verkefni þar sem ekki rúmaðist meira innan fjárveitingar.

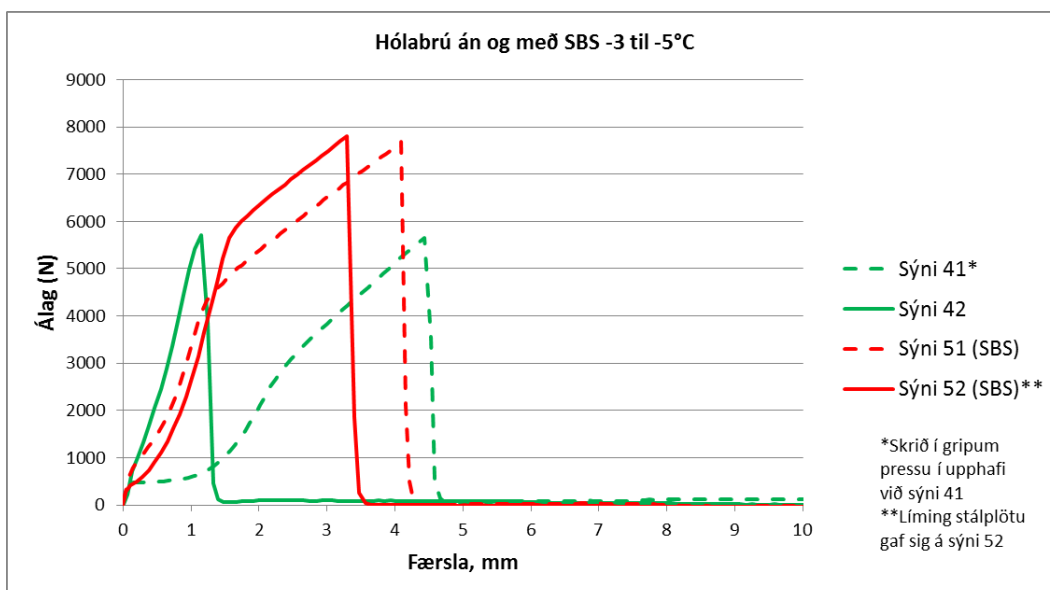
Mynd 7 sýnir niðurstöður togprófana á tveimur hlutasýnum með og án 3 % SBS, þar sem prófað var við 17°C.



**Mynd 7** Niðurstöður togprófana á tveimur hlutasýnum með og án 3 % SBS við 17°C

Það sem blasir við hér er fyrst og fremst hversu lítið álag þarf til að toga steinefnið upp úr bindiefninu, hvort heldur sem það er með eða án SBS fjölliðu, einungis um 1000 N, en var 3-5000 N við 5°C í fyrri áfanga með Seljadal. Einn ferillinn er reyndar mun lægri, undir 400 N og er auk þess ekki með hreinum toppi. Ekki verða gerðar frekari túlkanir á þessum niðurstöðum, en ljóst er að við 17°C þarf ekki mikla krafta til að toga steinefni upp úr bindiefninu, hvort heldur sem það er með eða án SBS fjölliðu.

Að síðustu var prófað að toga tvö hlutasýni með steinefni frá Hólabrú af hvorri bindiefnisgerð upp úr hellunum við -3 til -5°C, sjá mynd 8.



**Mynd 8** Niðurstöður togprófana á tveimur hlutasýnum með og án 3 % SBS við -3 til -5°C

Sjá má á álagsferlunum að í frosti virðist fjölliðubreytta bindiefnið toga mun fastar í steinefnið (ólíkt því sem mældist við +5°C) og fer heildarálagið í tæp 8.000 N og heildarfærsla er allt að 4 mm áður en sýnið slitnar frá. Við þetta hitastig slitnar sýnið mjög ákveðið frá hellunni, ólíkt því sem var við hærri hitastig. Settar eru fram tvær athugasemdir við keyrslur við -5°C; annars vegar að skrið í gripum í pressu hafi átt sér stað þegar sýni 41 var prófað, en það veldur því að álagsferillinn færast til hægri og færslan virðist þá meiri en ætti að vera. Því má ætla að græni punktalínuferillinn ætti að hliðrast til vinstri, a.m.k. um 1 mm eða meira. Hitt sem tekið er fram í athugasemdum er að líming stálplötu hafi gefið sig í sýni 52, en ef það hefði ekki gerst hefði rauða samfellda línán líklega hliðrast til hægri og heildarálag orðið enn meira. Um þessi atriði verður ekki fjölyrt, en þessar athugasemdir, svo og fyrri togþolspróf benda til að lágmarkfjöldi hlutasýna á bak við mæligildi ætti ekki að vera minni en þrjú stykki. Hvað sem því líður má leiða líkur að því að við frost togi fjölliðubreytt bindiefni betur í steinefnið og leyfi auk þess meiri færslu áður en það slitnar úr bindiefninu.

## 5 NIÐURSTÖÐUR

### 5.1 Heimildakönnun

Spurningalisti sem sendur var til valinna tengiliða í NVF Slitlaganefndinni í hverju landi fyrir sig gefur áhugaverðar upplýsingar um notkun klæðinga á Norðurlöndunum, svo og hversu mikið er um notkun á breyttum bindiefnum. Mest er lagt út af klæðingum í Svíþjóð og Danmörku og þar er líka mest þekking og reynsla af notkun þeirra, en athygli vekur að steinefni í klæðingar eru þvegin í þessum löndum ólíkt því sem tíðkast á hinum Norðurlöndunum. Svíar virðast nær eingöngu nota fjölliðubreyttar bikþeytur, en Danir nota ennþá um 70 % þunnbik (þar af 30% með fjölliðum), en stefna á að nota 50% bikþeytur árið 2014. Efnin sem notuð eru sem fjölliður eru annað hvort SBS eða Latex. Segja má að það sé fátt í þessari heimildakönnun á Norðurlöndunum sem bendi til annars en að æskilegt sé að þróa fjölliðubreyttar bikþeytur þannig að þær henti hérlendis. Þó má benda á að í ljósi þess að bæði Danir og Svíar þvo allt steinefni í klæðingar er ekki útilokað að huga þurfi betur að vinnslu og undirbúningi á steinefnum í klæðingar hérlendis, ekki síst í bikþeytur.

### 5.2 Togpróf

Segja má að togpróf, þar sem steinefni er togað upp úr því bindiefni sem ætlað er að nota í klæðingu og mældur kraftur og færsla, líki að einhverju leyti eftir álagi sem klæðing verður fyrir af völdum umferðar. Vel tókst til að útbúa steyptrar hellur, sem sagt að líma á þær hæfilegan blikkkant. Einnig tókst ágætlega að dreifa bindiefninu nokkuð jafnt yfir allt yfirborðið og það virtist ná mjög góðri viðloðun við steyptra flötinn.

Steinefni raðaðist ekki eins og skyldi, þar sem það var of mikið af því til að mynda einfalt, samfellt lag á bindiefnisfletinum. Því voru steinar sem bundust á litlum fleti og aðrir sem bundust ekki neitt. Þróa þyrfti ákvörðun á réttu magni af steinefni, e.t.v. væri best að dreifa steinefni í hæfilegu magni á helluna áður en bindiefni er dreift og taka það svo upp til notkunar eftir að bindiefni er komið á.

Völtun eða þjöppun á steinefni í bindiefni tókst ekki nægjanlega vel, en ein ástæða þess er eflaust að of miklu steinefni hafði verið dreift í bindiefnið. Einnig er yfirborð steyptrar hellu í eðli sínu mjög hart og því er erfitt að ná góðri vætingu vel upp á steinana. Til greina kæmi að prófa tilraunalagnir með klæðingar á mýkra yfirborði, eða að meðhöndla yfirborð steyptra hellnanna á einhvern hátt til að steinefnið fái tækifæri til að sökkva aðeins í undirlagið.

Þar sem ekki var talið ráðlegt að saga meðfram álímdum sívalningi áður en togpróf fór fram var uppslitinn flötur nokkuð misstór og mældist að flatarmáli á bilinu 103,3 til 124,7 cm<sup>2</sup>, en flötur sívalnings með 10 cm þvermál er 78,5 cm<sup>2</sup>. Það er því umtalsvert utan með sívalningnum sem slitnar upp, en í fljótu bragði er ekki hægt að sjá að samband sé á milli togspenna og flatarmáls. Hins vegar má ætla að mismunandi flatarmál sem slitnar upp við tog hafi áhrif á nákvæmni prófunaraðferðarinnar og að dreifing gilda aukist miðað við að vera alltaf með sama flatarmál.



Niðurstöður togprófana á hellum með Seljadalsklæðingu við 5°C, fjögur próf af hvorri gerð bindiefnis, benda til að dreifing geti verið nokkuð mikil í gildum og til einföldunar á túlkun var prófað að bera saman þrjár líkustu kúrfurnar af hvorri gerð. Þá kemur í ljós að meiri kraft þarf til að toga upp fletina með óbreyttu bindiefni en breyttu, en á móti kom að sýni með breyttu bindiefni toguðu lengur á móti við færslu upp á við, áður en slitnaði í sundur.

Prófanir á sýnum við 17°C leiða í ljós að lítið álag þarf til að toga steinefnið upp úr bindiefninu, hvort heldur sem það er með eða án SBS fjölliðu, einungis um 1000 N, en var 3-5000 N við 5°C í fyrri áfanga með Seljadal. Frekari túlkanir eru ekki gerðar á þessum niðurstöðum á þessu stigi.

Þegar togað er upp úr hellunum í vægu frosti virðist fjölliðubreytta bindiefnið toga mun fastar í steinefnið (ólíkt því sem mældist við +5°C). Heildarálagið fer í tæp 8.000 N með breytta bindiefninu og heildarfærsla er allt að 4 mm áður en sýnið slitnar frá, en það geris mjög ákveðið við þetta lága hitastig, ólíkt því sem var við hærri hitastig. Leiða má líkur að því að við frost togi fjölliðubreytt bindiefni betur í steinefnið og leyfi auk þess meiri færslu áður en það slitnar úr bindiefninu.

## VIÐAUKI I Athugun á hversu vel gengur að blanda SBS fjölliðu í bik af gerðinni PG 160/220

**Verklýsing sem PP sendi til NMÍ 30. Maí 2012: Athugun á hversu vel gengur að blanda SBS fjölliðu í bik af gerðinni PG 160/220.**

- a) Setja 200 ml af biki í bikarglas
- b) Hita upp í 130°C
- c) Bæta í 3 % af SBS mjöli
- d) Hræra í þar til SBS hefur bráðnað alveg í bikinu
- e) Bæta í 7 % etylester (lýsi) og 0,9 % viðloðunarefni (TPH)
- f) Skrá ferlið, lýsa hvernig tekst til, skrá í tímaröð o.s.frv.

**Greinargerð dagsett 20. júní 2012 frá Arnþóri Óla Arasyni er svohljóðandi:**

Unnið samkvæmt verklýsingu Péturs Péturssonar. 200 g af biki var hitað í 130°C. Í það var bætt 3% (6,0 g) af SBS mjöli. 1 Hræra átti þar til allt SBS væri uppleyst. Þá átti að bæta við 7% etylester (lýsi) og 0,9% af viðloðunarefninu TPH.

Prófið var gert tvisvar 19. júní sl. Bikarglösin voru fyrst hituð í ofni í um það bil 115°C en síðan á hellu að 130°C þar sem hrært var í bikinu með hitamæli. Í fyrra prófinu var hætt eftir níu og hálfu mínútu og voru þá óbráðin Kraton korn í bikinu. Í því seinna var hætt eftir 15 mínútur og voru enn korn í bikinu.

Eðli málsins samkvæmt er hiti ekki stöðugur við hrærsluna og var yfirleitt á milli 127-131°C í fyrra glasinu, en reynt að hafa hitann heldur hærri í því seinna eða 128-133°C.

Lýsið og viðloðunarefnið höfðu verið sett saman í sérstök glös. Blöndunin við bikið var eðlileg og ekkert óvenjulegt að sjá.

Bikarglösin voru sett í ofn við um 130°C meðan unnið var að frágangi og þau síðan hreinsuð. Þegar fyrra glasið var tekið út voru a.m.k. 40 mínútur frá blöndun og a.m.k. 25 mínútur þegar það seinna var tekið. Enn voru Kraton korn í blöndunni og höfðu flotið upp að nokkru.

Arnþór Óli Arason

## VIÐAUKI II Verklýsingar vegna togprófana á breyttu bindiefni á rannsóknastofu

### Verklýsing sem PP sendi til NMÍ 30. maí 2012: Tilraunafletir með klæðingu með og án SBS, sjá skýringarmynd

- a) Útvega 4 steyptar hellur, t.d. frá BM Vallá, 50x50x6 cm, sjá 1 á skýringarmynd
- b) Þrýstipvo neðri flöt hellnanna til að losna við allt laust ryk
- c) Láta þorna við herbergishita
- d) Líma kannt á hellurnar (t.d. blikk) sem stendur 1 cm upp fyrir flötinn (til að varna því að bindiefni leki út af og tapist), sjá 2 á skýringarmynd
- e) Útbúa nægilegt magn af sæbiki, en á fjórar hellur fara nettó 2 lítrar, sem sagt 1 lítri án SBS (2 hellur) og 1 lítri með SBS (tvær hellur)
- f) Hella 500 ml (jafngildir 2,0 l/m<sup>2</sup>) af 130°C (byggt á lið 1) bindiefni og dreifa jafnt á yfirborð hellunnar, sjá 3 á skýringarmynd
- g) Dreifa strax flokkuðu 11/16 mm steinefni í hæfilegu magni, þannig að það liggja í einföldu, þéttu lagi í bindiefninu, sjá 4 á skýringarmynd. *Ath. Gera þarf prufu fyrir fram á því hvað mikið magn af tilteknu steinefni þarf af til að þekja yfirborðið, en þar getur t.d. kornalögun haft áhrif. Tillaga að steinefni: Seljadalur og Hólabrú, þurrhrist (ópvegið) og flokkað 11/16 mm.*
- h) Legga steypa hellu ofan á klæðinguna og jugga henni svolítið til og frá (ekki mikið) til þess að steinefni þrýstist vel ofan í bikið, sjá 5 á skýringarmynd. *Ath. Mætti láta fargið liggja á sýninu í nokkrar klst. Hér er mikilvægast að nákvæmlega eins sé farið að með alla klæðingarfletina og að tími fargs sé sá sami öllum tilfellum.*
- i) Aflétta fargi og látið standa við herbergishita

- 2. Togpróf úr tilraunaflötonum til að meta áhrif þess að blanda SBS í bindiefnið**  
Þessi liður bíður þess að liðir 1 og 2 klárast og aðferðafræðin við togprófanir (og/eða aðrar aðferðir) verður skoðuð sérstaklega

①

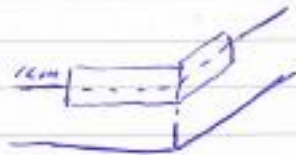


x 4

Bu-Valla

= 4.515 kr

②



lins kant

L.d. blöcke, 1cm uppgräni

③



0,5L, 130°C

venjulegt/SBS bakk

bensolefur

7% Sol baka m/viðl. efni

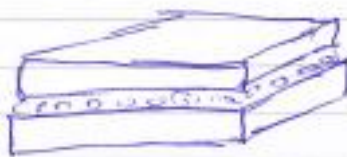
④



skinn efni

(veigta áðan hvar  
þarf mikið til að  
þekja yfi bakkid).

⑤



þjappa

## Verklýsing togprófana á breyttu bindiefni

---

**Fjórir tilraunafletir (hellur), 50 x 50 cm á kannt, með klæðingu útbúinni á rannsóknastofu eru til staðar á NMÍ:**

- e. Seljadalsefni með SBS fjölliðu
- f. Seljadalsefni án SBS fjölliðu
- g. Hólabrú með SBS fjölliðu
- h. Hólabrú án SBS fjölliðu

**Til stendur að gera togprófanir á klæðingunum til að kanna hvaða áhrif það hefur á festu steina í bindiefni að blanda fjölliðu í það.**

- a) Saga þarf hellurnar eftir endilöngu þannig að þær passi í pressuna. Eftir sögun verða þá til átta hlutar, hver um sig 50 x 25 cm á kannt. *Verkþáttur: taka blikk-kant frá og saga fjórar hellur endilangt.*
- b) Líma tvo málm sívalninga, ca. 10 cm í þvermál, á hvern hluta með epoxy-lími (svipað og notað var til að útbúa dorry-platta), samtals átta stykki. Sívalningarnir þurfa að vera þannig útbúnir að hægt sé að toga þá upp úr klæðingunni í pressunni. *Verkþáttur: finna heppilega sívalninga, undirbúa klæðingarfleti þannig að límist vel við steinana og ekki út fyrir sívalninga, útbúa lím og líma.*
- c) Áður en togpróf er framkvæmt skal setja sýni í kælikáp við ca. 5°C í X klst. eða þar til sýnið er orðið kalt í gegn. *Verkþáttur: tilfæra hellur í og úr kælikáp.*
- d) Leitast skal við að framkvæma togprófa á báðum sívalningunum áður en sýnið hitnar að ráði.
- e) Í fyrstu atrennu verður annar hluti hvernar hellu prófaður með því að toga báða sívalningana upp úr honum á sama hátt og dreifing mæligilda og álagsferlar metnir. Sem sagt fjögur sýni með tveimur sívalningum = átta togpróf. *Verkþáttur: Stilla hellur af í pressu og festa niður, stilla pressu og framkvæma próf.*
- f) Hlutasýnin sem eftir sitja verða prófuð á sama hátt, en e.t.v. með öðrum álagsferli. *Verkþáttur: Stilla hellur af í pressu og festa niður, stilla pressu og framkvæma próf.*

**Efniskostnaður:** *gæti verið einfaldast að láta sjóða pinna á miðju sívalninga úr flatjárn í járnsmiðju og ætti ekki að vera mjög dýrt*

## Viðauki III Mælingar á flatarmáli stykkja sem toguð voru upp úr hellum



Verk: 2MR12015

Dags: 2012-12-20

Unnið af: AÓA

### Breytt bindiefni í klæðingar Mat á raunstærð togþolsplatta

**Aths.:** Plattar vegna togþols voru kringlóttrar skífur sem voru 10 cm í þvermál. Þær voru límdar á klæðingasýnin með epoxýlími. Það náði til nokkurrá steina utan plattanna og var togflöturinn því nokkru stærri en kringlóttrar skífurnar. Tilraun var gerð til þess að meta flötinn. Útlínur plattans með steinum voru dregnar á pappír en síðan á karton og að lokum klipptar út. Áður hafði þyngd kartonsins í grömmum á fercentimetra verið fundin. Með vigtun var þá einfalt að reikna út flatarmál klipptu formanna.

#### Reiknað flatarmál platta frá þvermáli

Þvermál cm	Flötur cm <sup>2</sup>
10,0	78,5

#### Reiknuð þyngd kartons á flatareiningu.

Lengd cm	Breidd cm	Flötur cm <sup>2</sup>	Þyngd g	Þyngd g/cm <sup>2</sup>	Þyngd g/m <sup>2</sup>
30,0	54,5	1635,0	56,5	0,0346	346

#### Reiknað flatarmál sýna með kartoni

Platti	Úrklippa g	Reiknaður flötur cm <sup>2</sup>
11	3,68	106,5
12	3,72	107,6
13	3,92	113,4
14	3,63	105,0
21	4,01	116,0
22	4,31	124,7
23	3,57	103,3
24	3,90	112,9
Afskurður	25,77	745,7
Alls	56,51	1635,3