

# Lækkun hita við framleiðslu malbiks – Samantekt rannsókna –

Arnþór Óli Arason, Nýsköpunarmiðstöð Íslands  
og  
Halldór Torfason, Malbikunarstöðinni Höfða



<b>Skýrsla</b>	<b>Skýrsla nr:</b> 09-12
	<b>Dreifing</b> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>
<b>Lækkun hita við framleiðslu malbiks</b> Samantekt rannsókna	<b>Dags:</b> desember 2009
	<b>Fjöldi síðna:</b> 39 + 6 viðaukar
<b>Höfundar:</b> Arnþór Óli Arason og Halldór Torfason	<b>Faglega ábyrgir:</b> AÓA, HT og PP
<b>Deild:</b> Steinefna- og vegtæknideild	<b>Rannsóknúmer:</b> 5VR07613
<b>Unnið fyrir:</b> Rannsókn- og þróunarsvið Vegagerðarinnar	
<b>Ágrip:</b> Í fyrsta áfanga var gert Marshallpróf á malbiki úr tveimur tegundum steinefna og við tvö hitastig. Megin niðurstaðan er að unnt sé að framleiða malbik við 110 – 112 °C, bæði með hreinu asfalti og með íblöndunarefnum sem prófuð voru. Þó þarf einkum að huga að sigi og holrýmd. Vísbendingar koma fram um að stöðugleiki (festa) og stífni (festa deilt með sigi) aukist með notkun vax.  Í öðrum áfanga var gert vatnspolspróf og notað við það opin kornakúrfa og eitt bindiefnisinnihald. Einungis var prófað Björgunarefni í þessum áfanga. Niðurstöðurnar benda til þess að vaxið bæti viðloðun samkvæmt þessu prófi. Kleyfnitogþol vatnsmettaðra kjarna hækkar umtalsvert við íblöndun vaxins, einkum við lægra hitastigið.  Í þriðja áfanga voru gerð Trögerpróf á malbiki og bornir saman prófhlutar sem höfðu orðið fyrir frostáraun og ekki. Niðurstöður voru ekki einhlítar, en þó má nefna að sívalningar með vaxi þöndust minna út við vatns- og frostmeðhöndlun en önnur sýni og fengu jafnframt einna lægstu slittölur úr Trögerprófinu.  Í fjórða áfanga verkefnisins voru gerðar tilraunablöndur með repjubiki. Þær voru annars vegar í Marshallpróf og hins vegar í vatnspolspróf. Prófaðar voru blöndur með 5 og 10% repjubiki og þjöppunarhita um 140°C og 115°C. Helstu niðurstöður eru að Marshallfesta lækkar með aukinni repju. Festan er hærri í þeim sívalningum sem voru þjappaðir heitir en þeim kaldari. Kleyfnitogþol þurra og vatnsmettaðra sívalninga lækkar með aukinni repju. Hlutfallslegt kleyfnitogþol vatnsmettaðra af þurrum sívalningum er 91% með 5% repjubiki, en 71% með 10%.  Fimmti áfanginn fólst í hrærsluprófi á viðloðun með Stardope 130P viðloðunarefni til samanburðar við hefðbundið amín. Niðurstaðan er að Stardope 130P virkaði alls ekki með vegoliunni. Slæm útkoma í hefðbundnu hrærsluprófi þarf þó ekki að þýða afdráttarlaust að Stardope 130P dugi ekki með rökum steinefnum í þunnbiksklæðingum.  Sjötti áfangi verkefnisins fólst í prófunum á tveimur viðloðunarefnum, Wetfix AP17 og Stardope 130P til samanburðar við hreint bik, með vatnspolsprófi. Í þessum prófum reyndist lítill sem enginn munur vera á hlutfallsprósentu mettaðra og þurra sívalninga, ITRS, í syrpinum þremur og er hlutfallið hátt eða 97 og 99%.  Í sjöunda áfanga var kannað hvaða upplýsingar snúðþjappa gæti gefið varðandi þjálni malbiks með mismunandi íaukum. Þessi tilraun bendir til þess að snúðþjappa greini ekki á milli þjálni malbiks með þeim íaukum sem prófaðir voru. Hins vegar er holrýmdin lægri við 140 °C þjöppunarhita en við 110-120 °C.	

**3 lykilord: Á íslensku****Á ensku**

Malbik	Asphaltic concrete
Lækkað hitastig	Lowered temperature
Viðloðun, vatnspól, íaukar	Adhesion, water sensitivity, additives

## Efnisyfirlit

1 Inngangur.....	4
1.1 Upphafsfangar.....	4
1.2 Síðari áfangar.....	5
2 Rannsóknir á lághitamalbiki .....	6
3 Marshallsrannsóknir.....	7
3.1 Framkvæmd og próf.....	7
3.2 Niðurstöður Marshallprófs .....	9
3.3 Marshallpróf, umræða .....	11
4 Vatnspolspróf.....	12
4.1 Framkvæmd og próf.....	12
4.2 Niðurstöður vatnspolsprófs .....	13
4.3 Vatnspolspróf, umræða .....	14
5 Frostþolspróf.....	16
5.1 Framkvæmd .....	16
5.2 Niðurstöður .....	17
5.3 Trögerpróf, umræða .....	20
6 Tilraunablöndur með repjubiki gerðar í rannsóknastofu .....	21
6.1 Inngangur .....	21
6.2 Efni, hlutföll og blöndun .....	21
6.3 Marshallpróf.....	22
6.4 Vatnspolspróf.....	25
7 Viðloðun í hræslyprófi með vegolíu og Stardope 130P .....	26
7.1 Inngangur .....	26
7.2 Hræslypróf.....	26
7.3 Niðurstöður .....	27
7.4 Umræður og ályktun.....	28
8 Vatnsnæmi malbiks prófað með nýjum viðloðunarefnum .....	29
8.1 Inngangur .....	29
8.2 Undirbúningur.....	29
8.3 Blöndun og mælingar fyrir próf .....	29
8.4 Niðurstöður .....	31
9 Þjálni malbiks metin í snúðþjöppu .....	32
9.1 Útdráttur.....	32
9.2 Inngangur .....	32
9.3 Malbiksblanda.....	33
9.4 Mæligildi.....	35
9.5 Tölfræði.....	38
9.6 Niðurstaða .....	40
Viðauki 1 Malbiksblöndur í Marshallpróf.....	41
Viðauki 2 Malbiksblöndur í vatnspolspróf.....	45
Viðauki 3 Malbiksblöndur í frostþolspróf.....	49
Viðauki 4 Tilraunablöndur með repjubiki gerðar í rannsóknastofu .....	51
Viðauki 5 Vatnsnæmi malbiks prófað með nýjum efnum .....	56
Viðauki 6 Reiknuð holrýmd og rúmþyngd úr snúðþjöppu.....	60

## 1 Inngangur

### 1.1 Upphafsfangar

Sótt var um styrk í Rannsóknarsjóð Vegagerðarinnar vegna verkefnisins „Lækkun hita við framleiðslu malbiks“ í ársbyrjun 2005. Vegagerðin ákvað að styrkja verkefnið um allt að 1.300.000 kr. af tilraunafé sínu á árinu. Verkefnisstjóri er Sigursteinn Hjartarson, Vegagerðinni, en aðrir í verkefnishópnum eru Haukur Jónsson, Vegagerðinni, Elías Kristjánsson, Kemís ehf og Valur Guðmundsson og Halldór Torfason frá Malbikunarstöðinni HÖFÐA hf.

Í styrkumsókn segir m.a. um tilgang og markmið:

- Tilgangur verkefnisins er að skera úr um vinnanleika og endingu malbiks sem framleitt er við „lágan“ hita með hjálp íblöndunarefna.
- Markmiðið er að draga úr orkunotkun við framleiðslu malbiksins af umhverfisástæðum.
- Í rannsókninni verður hugað að því hvort mögulegt verði að flytja malbik lengri leiðir en hingað til hefur verið hægt vegna kólnunar.

Ennfremur segir í umsókninni:

- Að athuga á rannsóknastofu ... viðloðun, stöðugleika massans, festu og sig og frostþol.
- Fáist niðurstaða í rannsóknastofu sem lofa góðu um framhaldið þarf að leggja tilraunakafla sem verður síðan til skoðunar næstu mánuði og ár eftir útlögn.

Íblöndunarefnin sem um ræðir eru annars vegar zeólítar sem kallast „Aspha-min“ frá fyrirtækinu Eurovia. Þeir innihalda 21% raka og virka þannig að asfaltið „freyðir“ (emulgerar) eða sýður þegar þeir koma út í heita blönduna. Hins vegar er um vax að ræða sem kallast „Sasobit“ frá fyrirtækinu Saso Wax. Magn íblöndunarefnanna í einstaka prófhluta var í samræmi við upplýsingum frá framleiðendum vörunnar.

Á fundi verkefnishópsins þann 11. mars 2005 var ákveðið að kanna óbeint hvort spara mætti asfalt með notkun zeólíta. Jafnframt var ákveðið að nota viðloðunarefni (Wetfix N) með zeólítunum.

Í framhaldi af framangreindu var ákveðið að gera í fyrsta áfanga Marshallpróf á malbiki úr tveimur tegundum steinefna, hreinu Seljadalsefni annars vegar og hreinu Björgunarefni hins vegar, við tvö hitastig.

Í öðrum áfanga var ákveðið að gera viðloðunarpróf, svokallað vatnspolspróf, og nota við það opna kornakúrfu og fast bindiefnismagn. Einungis var prófað Björgunarefni í þessum áfanga.

Í þriðja áfanga var ákveðið að gera Trögerpróf eftir að kjarnarnir hafa orðið fyrir frostpolsáraun.

## 1.2 Síðari áfangar

Vinnu við fyrstu þrjá áfanga verkefnisins lauk í ársbyrjun 2007. Frá þeim tíma hefur verið unnið að rannsóknaverkefnum með reipubiki og þjáltniaukandi viðloðunarefnum. Einnig hafa verið gerð fleiri vatnspólspóf og tilraun til þjálnimælinga í snúðþjöppu, gyrocompact. Þessi verkefni hafa verið misstór og tengjast meginverkefninu misnáið.

Þeir íaukar sem notaðir voru í upphafsþáttum verkefnisins áttu að auka þjáltni malbiks við lágt hitastig framleiðslu og útlagnar. Þeir áttu ekki að breyta eiginleikum biks eftir útlögn nema þá lítið. Þjáltni volgt malbik þýðir að hægt er að flytja það lengra frá malbikunarstöð en ella. Það gæti hentað í strjálbýlu landi. Upp kom sú hugmynd að gera bik þjáltni með reipjuolíu. Við það breytast eiginleikar malbiksins varanlega en reipjumalbik mætti hugsanlega flytja um langan veg. Því voru gerðar nokkrar tilraunir með það.

Rannsóknastofnun byggingariðnaðins (Rb) var lögð niður sumarið 2007 og stofnuð var Nýsköpunarmiðstöð Íslands (NMÍ). Síðari tilraunir hafa verið unnar þar að beiðni Sigurteins Hjartarsonar. Greinargerðir voru skrifaðar eftir hvern rannsóknarátt og hafa þær verið felldar inn í þessa skýrslu með smávægilegum breytingum. Halldór Torfason skrifaði um Marshall- og vatnspólspóf, en Arnþór Óli Arason um aðrar rannsóknir. Auk höfunda vann Pétur Pétursson að lokafrágangi skýrslunnar.

## 2 Rannsóknir á lághitamalbiki

Þegar farið var af stað með þetta verkefni hérlendis var unnið að samsvarandi verkefnum víða um heim. Tilgangurinn var einkum að minnka eldsneytisnotkun við malbiksframleiðslu, minnka umhverfisáhrif og bæta vinnuumhverfi starfsmanna við framleiðslu og útlögn. Einnig var vonast til að minni orkukostnaður skilaði sér í hagkvæmari framleiðslu.

Hér verður ekki skráð yfirlit um rannsóknir á lághitamalbiki erlendis eða núverandi stöðu þeirra, en bent á nokkur rit þar sem frekari upplýsingar er að finna.

Á vegum Norræna vegtæknisambandis, NVF, hefur lengi verið hugað að umhverfismálum almennt og nú einnig lághitamalbiki sérstaklega. Fundur slitlaganefndar NVF sem haldinn var í júní 2009 í Danmörku var einmitt um slitlög sem taka tillit til umhverfisins, „Miljøtilpassede belægninger“. Í ráðstefnuritinu er yfirlit um stöðu mála á Norðurlöndunum.<sup>a</sup>

Evrópusamtök malbiksframleiðenda, EAPA, hafa nýlega gefið út stutt yfirlit um þá tækni sem notuð er við framleiðslu á lághitamalbiki og fengna reynslu. Talið er að vegna margra kosta lághitamalbiks muni notkun þess fara vaxandi.<sup>b</sup>

Um svipað leyti og þetta rannsóknaverkefni fór af stað vann Ólöf Kristjánsdóttir að meistarpófrótsritgerð sinni. Þar fjallar hún um notkun lághitamalbiks í köldu loftslagi.<sup>c</sup> Í ritgerðinni er yfirlit um mismunandi framleiðsluaðferðir almennt og síðan notkun á norðlægum slóðum, þar á meðal á Íslandi.

---

<sup>[a]</sup> Nielsen, E. og Jakobsen, T. (2009): Miljøtilpassede belægninger. Hovedemne på forbundsudvalgs-møde i Sønderborg, DK, d 7. juni – 9. juni 2009. – NVF rapporter. – Þessi skýrsla er aðgengileg á heimasíðu NVF: [www.nvfnorden.org](http://www.nvfnorden.org).

<sup>[b]</sup> EAPA (2009): The Use of Warm Mix Asphalt. EAPA position paper - European Asphalt Pavement Association, June 2009 – Heimasíða: [www.eapa.org](http://www.eapa.org).

<sup>[c]</sup> Kristjansdóttir O. (2006): Warm Mix Asphalt for Cold Weather Paving. M.Sc. ritgerð. University of Washington. WA-RD.

### 3 Marshallsrannsóknir

Í fyrsta áfanga var ákveðið að gera Marshallpróf á malbiki úr tveimur tegundum steinefna, hreinu Seljadalsefni annars vegar og hreinu Björgunarefni hins vegar, við tvö hitastig. Ekki er um hefðbundið Marshallpróf að ræða því asfaltprósentan er alltaf sú sama. Ákveðið var að hafa asfaltprósentu í „lægri kantinum“ og að kornakúrfan yrði innan hefðbundinna kornakúrfumarka fyrir SL 11 (hefðbundið slitlagsmalbik), sjá mynd 3.1.

#### 3.1 Framkvæmd og próf

Hreint Seljadalusefni var blandað í eftirfarandi hlutföllum:

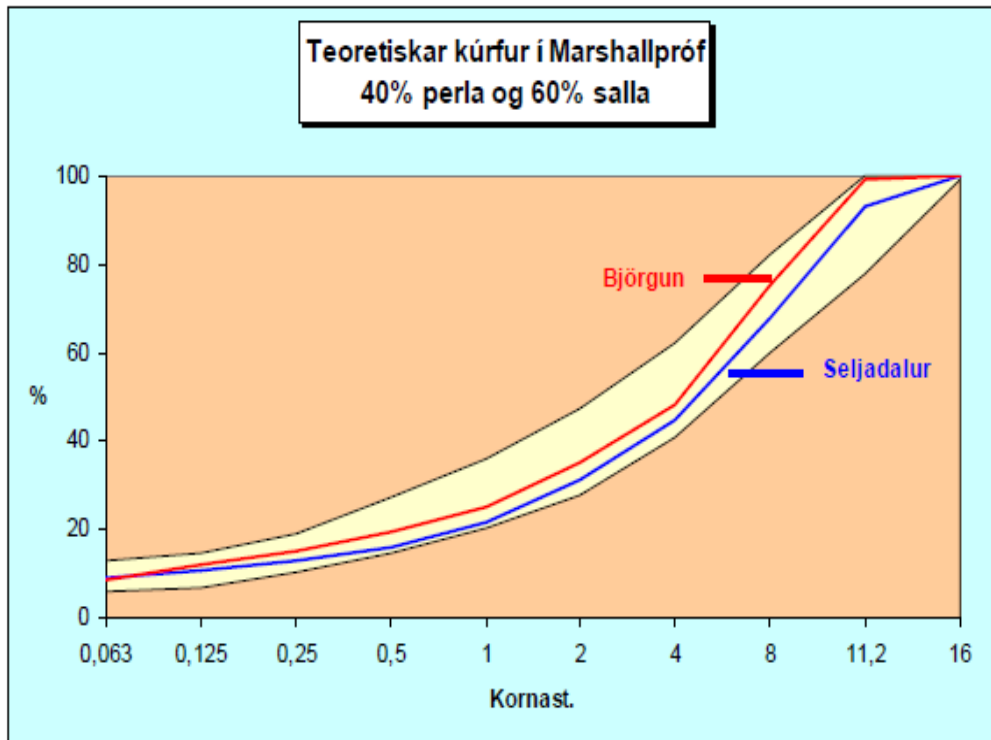
Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt 160/220	5,8%.

Íblöndunarefnum bætt út í eftir forskrift, sjá viðauka 1.  
Fjöldi kjarna var samtals 24.

Hreint Björgunarefni blandað í eftirfarandi hlutföllum:

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt 160/220	6,0%.

Íblöndunarefnum bætt út í eftir forskrift, sjá viðauka 1.  
Fjöldi kjarna var samtals 24.



**Mynd 3.1 Teoretískar kúrfur í Marshallpróf**

Ákveðið var að prófa við tvö þjöppunarhitastig  $\sim 135^{\circ}\text{C}$  og  $\sim 110^{\circ}\text{C}$ . Mæld voru Marshallfesta (stöðugleiki), sig, rúmþyngdir og holrýmd.

Kornakúrfur steinefnanna voru ákvarðaðar með votsigtun. Perlu 8-12 mm og salla 0-8 mm blandað var saman í ofangreindum hlutföllum. Steinefnin þurrkuð og síðan þurrsigtuð og efni minna en 4 mm sett til hliðar, hrært í því og það vætt svo rakinn væri 3 %. Síðan var því skipt niður í splittara í hvern kjarna fyrir sig. Steinefni grófara en 4 mm var sigtað á 8,0, 11,2 og 16,0 mm sigtum. Allt efni sem var stærra en 16 mm var tekið frá og hent, en vigtað nákvæmlega í hvern einstakan kjarna fyrir sig af 11,2; 8,0 og 4,0 mm sigtum. Rakastigið var ávallt hið sama. Steinefnin voru síðan þurrkuð og hituð í blöndunarhitastigið, sjá viðauka 1. Bindiefnið var sömuleiðis hitað í blöndunarhitastig. Allir kjarnarnir síðan handhræðir, einn og einn í einu, á sama hátt við sömu aðstæður, þrír kjarnar fyrir hverja blöndu. Auk þess var handhrært á sama hátt samsvarandi malbik fyrir hverja blöndu, tvö hlutasýni af hverri þeirra, til að mæla teoretíska rúmþyngd. Kjarnarnir voru barðir 2 \* 50 högg annars vegar við 135 – 137  $^{\circ}\text{C}$  og hins vegar við 110 – 112  $^{\circ}\text{C}$ .

Kjörnunum var ýtt úr mótunum við 40 - 45  $^{\circ}\text{C}$  og síðan látnir kólna niður í herbergis-hita. Morguninn eftir var rúmþyngd þeirra mæld og þeir brotnir í Marshallpressunni og festa og sig mælt. Samdægurs var rúmþyngd malbiksins mæld. Fylgt var ÍST EN staðli nr. 12697-34, Bituminous mixtures - Test method for hot mix asphalt - Part 34: Marshall test.



Vel gekk að hræra alla kjarnana og enginn sérstakur munur þar á. Það virtist vera örlítið „þyngra“ að hræra við lægra hitastigið, sem varla kemur á óvart. Þennan mun var ekki unnt að mæla. Þó var vart merkjanlegur munur við hrærsluna á efnunum með zeólítunum hvað þyngsli eða stífleika varðar. Hins vegar urðu þeir kjarnar grábrúnir á yfirborðinu í vatnsbaðinu og smituðu út í vatnið (svitnuðu).

### 3.2 Niðurstöður Marshallprófs

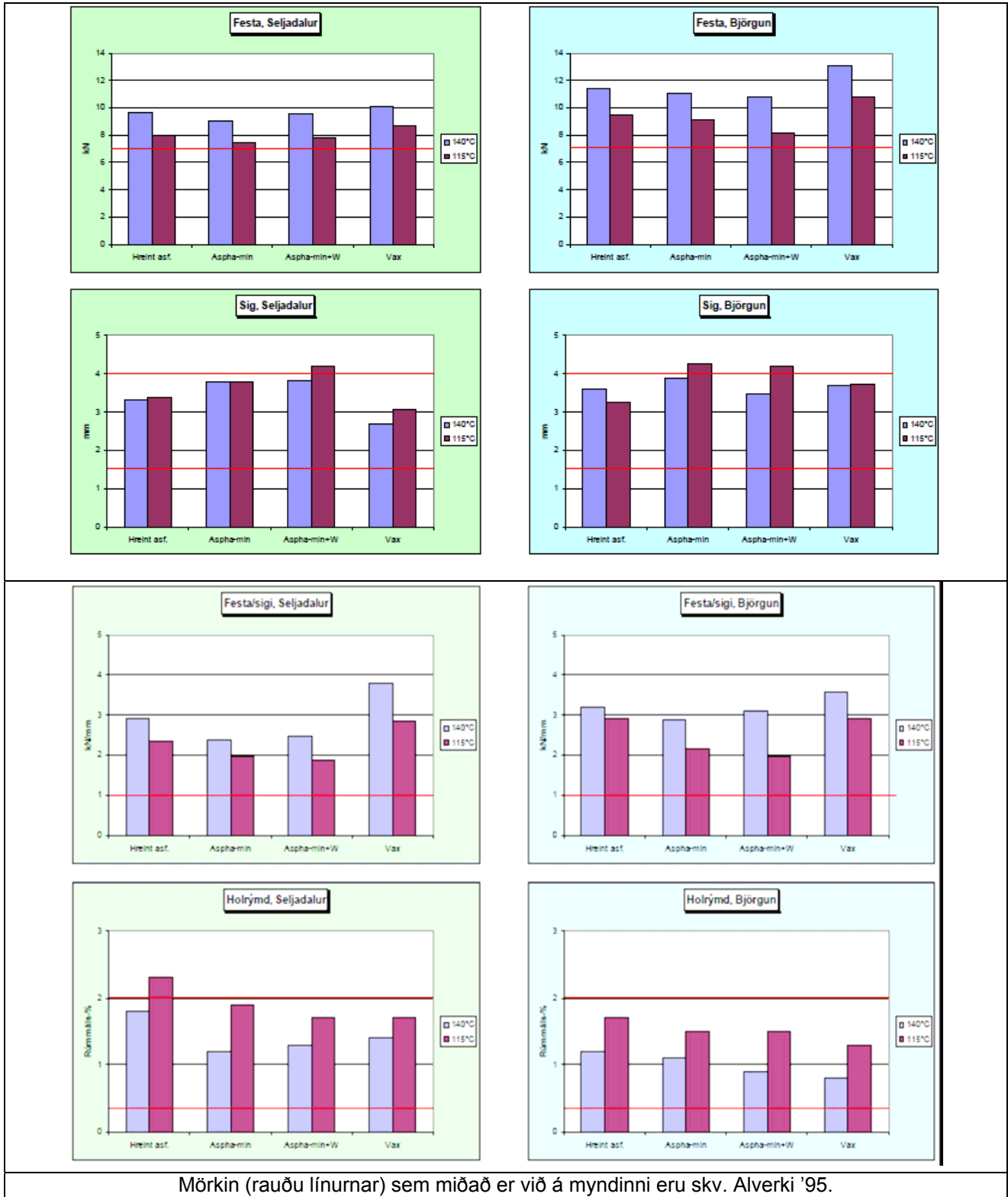
Niðurstöður Marshallprófa eru settar fram í töflum 3.1 og 3.2 og á mynd 3.2.

**Tafla 3.1: Niðurstöður Marshallprófs, steinefni frá Seljadal**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Hiti, °C	Holrýmd, %	Festa, kN	Sig, mm	Festa/sig kN/mm
Steinefni úr Seljadal, asfalt 160/220 5,8 %	Engin	140	1,8	9,65	3,32	2,91
		115	2,3	7,95	3,38	2,35
	Aspha-min, 0,3%	140	1,2	9,01	3,79	2,38
		115	1,9	7,45	3,81	1,96
	Aspha-min + Wetfix N, 0,3%	140	1,3	9,53	3,82	2,49
		115	1,7	7,81	4,19	1,86
	Sasobit vax, 3%	140	1,4	10,12	2,67	3,79
		115	1,7	8,70	3,06	2,84

**Tafla 3.2: Niðurstöður Marshallprófs, steinefni frá Björgun**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Hiti, °C	Holrýmd, %	Festa, kN	Sig, mm	Festa/sig kN/mm
Steinefni úr Björgun asfalt 160/220 6,0 %	Engin	140	1,2	11,43	3,60	2,18
		115	1,7	9,45	3,26	2,90
	Aspha-min, 0,3%	140	1,1	11,09	3,87	2,87
		115	1,5	9,13	4,26	2,14
	Aspha-min + Wetfix N, 0,3%	140	0,9	10,75	3,48	3,09
		115	1,5	8,15	4,19	1,95
	Sasobit vax, 3%	140	0,8	13,09	3,68	3,56
		115	1,3	10,82	3,71	2,92



Mörkin (rauðu línurnar) sem miðað er við á myndinni eru skv. Alverki '95.

Mynd 3.2: Niðurstöður Marshallprófs

### 3.3 Marshallpróf, umræða

Ekki er hægt að bera saman steinefnin tvö á grundvelli þessarar rannsóknar, því kornakúrfur og asfaltprósenta eru ekki eins, auk annarra þátta sem hafa áhrif, enda er það ekki tilgangur rannsóknarinnar. Þá ber að hafa í huga að mælingarnar voru ekki endurteknar og því er eingöngu um stök gildi að ræða í hverju tilfelli. Segja má að megin niðurstaðan gefi til kynna að unnt sé að framleiða malbik við 110 – 112 °C, sem stenst kröfur í Alverk'95, bæði með hreinu asfalti og með íblöndunarefnunum sem prófuð voru. Þó þarf einkum að huga að sigi og holrýmd og að sjálfsögðu þarf að rannsaka nánar blöndunarhlutföll hverju sinni út frá þeim steinefnum sem notuð eru.

Ábendingar komu fram í samtali HT við Tomas Svansson hjá AkzoNobel um að viðloðunarefni hefði ekki verið nægilega mikið með Aspha-min íblöndunarefninu í þessum áfanga. Viðloðunarefnið hefði einungis dugað til að samsvara svokölluðu óvirku (passífu) hlutverki efnisins, en virka (aktífa) hlutann hefði vantað. Hvort það hefur haft áhrif á niðurstöður Marshallprófanna er óljóst.

Örlitlar vísbendingar koma fram um að stöðugleiki (Marshallfesta) og stífni (Marshallfesta deilt með sigi) aukist með notkun vaxins og er það raunar í samræmi við heimildir<sup>a</sup>. Þá er örlítill vísbending um að íblöndunarefnin lækki holrýmdina, þó svo að það sé ekki einhlítt.

Kornakúrfan sem hér var notuð samsvarar hefðbundnum kúrfum í malbiksblöndum hér á landi af gerðinni Y11, samkvæmt Alverk'95, en er í dag gjarnan nefnt SL11 (slitlagsmalbik með flokkunarstærð 11 mm). Hins vegar var um hrein steinefni að ræða og einungis eitt bindiefnisinnihald í hvoru efni. Hefðbundið mun vera að blanda saman steinefnum af mismunandi uppruna hér á landi og með mismunandi bindiefnismagni til að ná fram sem bestum eiginleikum efnisins í víðu samhengi.

---

<sup>[a]</sup> Sjá heimsíðu framleiðanda: [www.sasolwax.com](http://www.sasolwax.com).

## 4 Vatnspolspróf

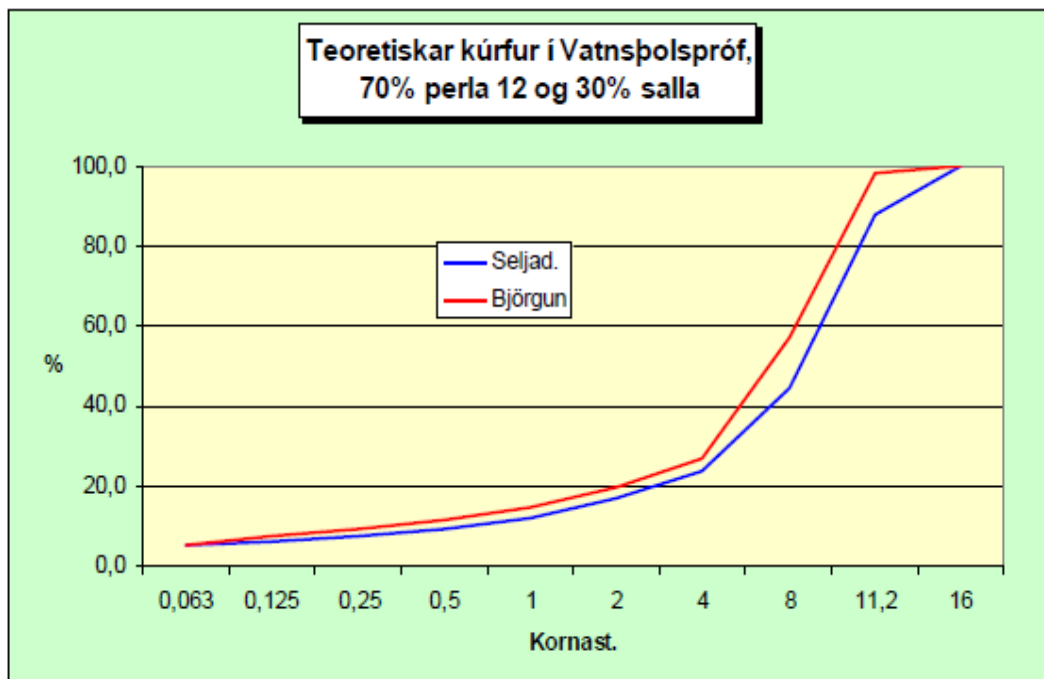
Í öðrum áfanga var ákveðið að gera viðloðunarpróf, svokallað vatnspolspróf, og nota við það opna kornakúrfu og eitt bindiefninnihald. Einungis var prófað Björgunarefni í þessum áfanga.

### 4.1 Framkvæmd og próf

Ákveðið var að prófa eingöngu hreint Björgunarefni í þessum áfanga, blandað í eftirfarandi hlutföllum, sjá mynd 4.1:

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt 160/220	5,0%.

Íblöndunarefnum bætt út í eftir forskrift, sjá viðauka 2. Fjöldi kjarna samtals 80.



**Mynd 4.1 Teoretískar kúrfur í vatnspolspróf**

Prófað var við 2 þjöppunarhitastig  $\sim 135^{\circ}\text{C}$  og  $\sim 110^{\circ}\text{C}$ . Mælt var kleyfnitogþol og vatnspolsgildi fundið út frá því. Einnig var rúmmálsbreyting kjarna mæld.

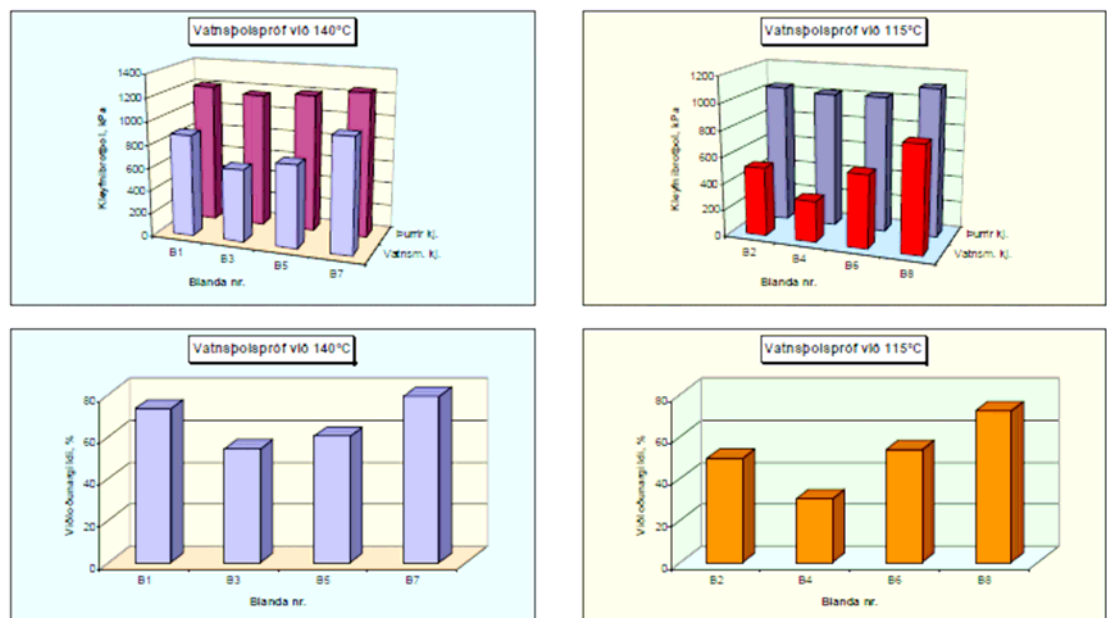
Nákvæmlega sömu aðferð var fylgt við framleiðslu kjarnanna og í áfanga 1, að öðru leyti en því að kornakúrfurnar voru ekki þær sömu. Allt annað var framkvæmt nákvæmlega eins, fram að sjálfu vatnspolsprófinu.

Vatnspolsprófið fór fram á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins (nú Nýsköpunarmiðstöð Íslands). Slembitölur voru notaðar til þess að velja þá sívalninga

sem áttu að prófast þurrir eða vatnsmettaðir. Allir sívalningar voru mældir með skíðmáli til þess að ákveða rúmmál. Vatnsþol sívalninga var prófað í samræmi við staðalinn ÍST EN 12697-12:2003, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens. Próf á kleyfnitogþoli var samræmi við staðalinn ÍST EN 12697-23:2003, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens. Vatnsmettað var við undirþrýsting í 30 mínútur í 20°C vatni. Sívalningarnir voru hafðir í 20°C vatni í 30 mínútur til viðbótar og stærð þeirra síðan mæld. Sívalningarnir voru síðan settir í 30°C vatnsbað í þrjá sólarhringa. Hitinn réðst af því að mjúkt bik var notað í malbikið. Prófunarhitinn á að vera á bilinu 5-25°C og var valið að hafa hann 10°C. Samanburðarsívalningarnir þurru voru prófaðir síðast. Þeir voru geymdir við stofuhita, 19-22°C í u.þ.b. viku frá stærðarmælingu og fram til prófunar.

## 4.2 Niðurstöður vatnsþolsprófs

Niðurstöður vatnsþolsprófa eru settar fram á mynd 4.2 og í töflum 4.1 og 4.2.



Mynd 4.2 Niðurstöður vatnsþolsprófs

**Tafla 4.1: Niðurstöður vatnspolsprófs, Björgun, 140°C**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Hiti, °C	Rúmmáls- aukning, %	Meðal- togþol, þurrir, kPa	Meðal- togþol, vatns mettaðir, kPa	Viðloðun, %
Steinefni frá Björgun asfalt 160/220 5,0 %	Engin	140	0,0	1208	884	73
	Aspha-min	140	0,2	1163	630	54
	Aspha-min + Wetfix N	140	0,1	1196	719	60
	Sasobit vax	140	0,0	1251	991	79
<i>Til skýringar: Aspha-min var 0,3 % af heildarþyngd hræru. Wetfix N var 0,8 % af þyngd asfalts í hræru. Sasobit var 3,0 % af þyngd asfalts í hræru.</i>						

**Tafla 4.2: Niðurstöður vatnspolsprófs, Björgun, 115°C**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Hiti, °C	Rúmmáls- aukning, %	Meðal- togþol, þurrir, kPa	Meðal- togþol, vatns mettaðir, kPa	Viðloðun, %
Steinefni frá Björgun asfalt 160/220 5,0 %	Engin	115	0,3	1043	517	50
	Aspha-min	115	0,2	1015	309	30
	Aspha-min + Wetfix N	115	0,1	1021	549	54
	Sasobit vax	115	0,2	1111	802	72
<i>Til skýringar: Aspha-min var 0,3 % af heildarþyngd hræru. Wetfix N var 0,8 % af þyngd asfalts í hræru. Sasobit var 3,0 % af þyngd asfalts í hræru.</i>						

### 4.3 Vatnspolspróf, umræða

Hér gildir sem í 1. áfanga að hafa ber í huga að mælingarnar voru ekki endurtekna og því er eingöngu um stök gildi að ræða í hverju tilfelli. Niðurstöður koma að öðru leyti ekki á óvart hvað það varðar, að þurr gildi kleyfnitogþols eru jöfn. Þó virðist vaxið hækka togþolið, en Aspha-min án viðloðunarefnis lækka það. Talsverður munur er á kleyfnitogþoli vatnsmettaðra kjarna.

Rúmmálsbreytingar kjarnanna eru sáralitlar.

Niðurstöðurnar benda til þess að vaxið bæti viðloðun samkvæmt þessu prófi. Kleyfnitogþol vatnsmettaðra kjarna hækkar umtalsvert við íblöndun vaxins, einkum við lægra hitastigið, sbr. viðauka 2.

Ljóst er að með Aspha-min íblöndunarefninu verður að nota viðloðunarefni og verður að rannsaka hvert hæfilegt magn er.

Vísbendingar eru um að kleyfnitogþolið með Aspha-min íblöndunarefni sé örlítið lægra heldur en þegar notað er hreint asfalt og/eða vax. Hafa ber í huga að þegar Aspha-mininu er bætt út í blönduna freyðir vatnið sem í zeolítunum er, þ.e. það sýður. Við það fellur hitastigið örlítið óhjákvæmilega og er blandan því örlítið kaldari en

aðrar blöndur í rannsókninni, að öðru óbreyttu. Það kann að hafa áhrif á niðurstöður vatnsþolsprófsins.

Hafa ber í huga að hér var valið að hafa mjög opna kornakúrfu, sem ekki samsvarar hefðbundnum malbiksblöndum hér á landi. Niðurstöðurnar segja ekki til um hvers má vænta í hefðbundnum malbiksblöndum, heldur gefa einungis vísbendingar um mögulegar niðurstöður í opnum malbiksblöndum. Þá var einungis prófað við eitt bindiefnisinnihald.

## 5 Frostþolspróf

Í þriðja áfanga var ákveðið að gera Trögerpróf á malbiki og bera saman prófhluti sem höfðu orðið fyrir frostáraun og ekki.

### 5.1 Framkvæmd

Notað var hreint Björgunarefni í malbikið og var sama uppskrift notuð og í fyrsta áfanga og lýst er í 3. kafla. Íblöndunarefni voru þau sömu og fyrr þ.e.a.s. Aspha-min zeolítar með og án Wetfix N viðlöðunarefnis og Sasobit vax. Að auki var blandað malbik úr hreinu biki. Malbik var þjappað með Marshallhamri við 135 og 115°C og útbúnir þrjár sívalningar af hverri blöndu við hvort hitastig, sjá töflu 5.1 og Viðauka 3.

**Tafla 5.1: Trögerpróf, fjöldi sívalninga af hverri gerð**

Hráefni	Íblöndunarefni	Þjöppunarhití 135°C		Þjöppunarhití 115°C	
		Merki	Fjöldi	Merki	Fjöldi
Björgun asfalt 160/220 6,0 %	Engin	B1	3	B2	3
	Aspha-min	B3	3	B4	3
	Aspha-min + Wetfix N	B5	3	B6	3
	Sasobit vax	B7	3	B8	3

Úr blöndunum voru sem sagt gerðir 24 sívalningar og var hver þeirra liðlega 60 mm hár. Þeir voru sagaðir í tvennt og fengust þannig 48 prófhlutir eða sneiðar. Malbikssívalningarnir voru gerðir á Malbikunarstöðinni Höfða í ársbyrjun 2007, en sögun og próf voru framkvæmd á Nýsköpunarmiðstöð Íslands.

Tilhögun prófsins var þannig að helmingur sneiðanna var geymdur í ferskvatni í viku fyrir próf. Hinn helmingurinn var geymdur jafnlengi í 1% saltlausn við herbergishita og fékk síðan 10 frost-þíðusveiflur, +/-20°C, enn í saltvatnslausn.

Slit malbikssneiðanna var síðan mælt í Trögertæki með þeirri aðferð sem lýst er í skýrslu Þóris Ingasonar frá 1988: Trögertæki – athugun á verklýsingu.<sup>a</sup> Í Trögerprófi er reynt að líkja eftir nagladekkjaáraun. Helstu atriði prófsins er að prófhluturinn er um 100 mm í þvermál og um 30 mm þykkur. Sú skífa er fest á borð sem snýst meðan sérstök loftknúin naglabýssa hamrar á henni. Hitastigi sýnis við próf er haldið við frostmark. Keyrslan er þrískipt. Fyrst er 40 s forkeyrsla, þá tvær 5 mínútna keyrslur en sýnið er kælt á milli. Prófhlutar eru vegnir í lofti og vatni og stærð þeirra mæld með skíðmáli fyrir próf og í hverju þrepi þess. Frá þeim mælingum má reikna rúmmál og rúmpýngdir. Trögergildi er rúmmál slits í cm<sup>3</sup> eftir tvær 5 mínútna umferðir þ.e. þyngdartap deilt með rúmpýngd.

<sup>[a]</sup> Þórir Ingason (1988): Trögertæki – athugun á verklýsingu. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr 88-06.



## 5.2 Niðurstöður

Í töflum 5.2 og 5.3 eru niðurstöður Trögerprófsins og eru Trögergildim meðaltöl þriggja hlutasýna. Í töflum 5.4 til 5.7 eru mælingar á rúmmáli prófhlutanna og breytingar eftir hvert þrep undirbúnings fram að prófi.

**Tafla 5.2: Niðurstöður Trögerprófs, Björgun, 140°C**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Heiti	Hiti, °C	Ferskvatn g	Frost, g	Ferskvatn cm <sup>3</sup>	Frost cm <sup>3</sup>
Björgun, asphalt 160/220 6,0 %	Engin	B1	140	37,3	34,4	14,4	13,3
	Aspha-min	B3	140	36,7	35,9	14,0	13,9
	Aspha-min + Wetfix N	B5	140	37,0	32,5	14,2	12,7
	Sasobit vax	B7	140	34,9	31,8	13,6	12,3

**Tafla 5.3: Niðurstöður Trögerprófs, Björgun, 115°C**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Heiti	Hiti, °C	Ferskvatn g	Frost, g	Ferskvatn cm <sup>3</sup>	Frost cm <sup>3</sup>
Björgun, asphalt 160/220 6,0 %	Engin	B2	115	37,0	39,4	14,2	15,5
	Aspha-min	B4	115	37,6	40,3	14,5	15,8
	Aspha-min + Wetfix N	B6	115	35,5	37,1	13,5	14,4
	Sasobit vax	B8	115	37,5	33,9	14,8	13,6

**Tafla 5.4: Rúmmálsbreyting, ferskvatn, Björgun, 140°C**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Heiti	Hiti, °C	Skíðmál rúmmál cm <sup>3</sup>	Skíðmál rúmmál e. 7 sólarhr. cm <sup>3</sup>	Breyting cm <sup>3</sup>	Breyting %
Björgun, asphalt 160/220 6,0 %	Engin	B1	140	245,8	246,7	0,9	0,4
	Aspha-min	B3	140	245,3	245,9	0,6	0,2
	Aspha-min + Wetfix N	B5	140	248,5	249,4	0,9	0,4
	Sasobit vax	B7	140	241,4	242,1	0,7	0,3

**Tafla 5.5: Rúmmálsbreyting, ferskvatn, Björgun, 115°C**

Hráefni	Íblöndunar-efni	Heiti	Hiti, °C	Skíðmál rúmmál cm <sup>3</sup>	Skíðmál rúmmál e. 7 sólarhr. cm <sup>3</sup>	Breyting cm <sup>3</sup>	Breyting %
Björgun, asphalt 160/220 6,0 %	Engin	B2	115	242,8	241,6	-1,2	-0,5
	Aspha-min	B4	115	247,9	249,0	1,1	0,4
	Aspha-min + Wetfix N	B6	115	247,5	249,9	2,4	1,0
	Sasobit vax	B8	115	248,9	249,5	0,6	0,2

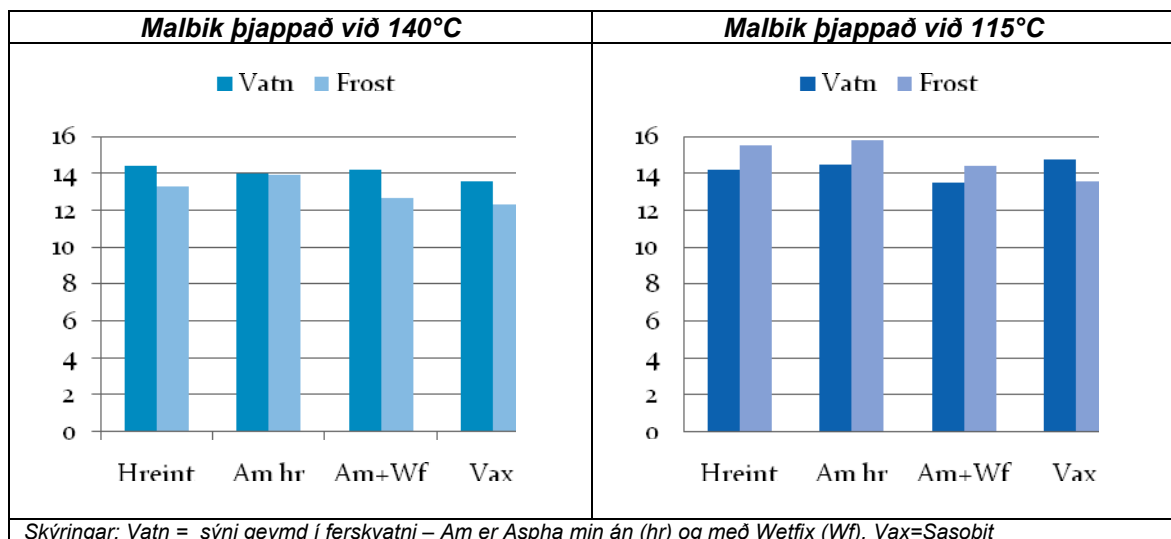
**Tafla 5.6: Rúmmálsbreyting, saltvatn / frost, Björgun, 140°C**

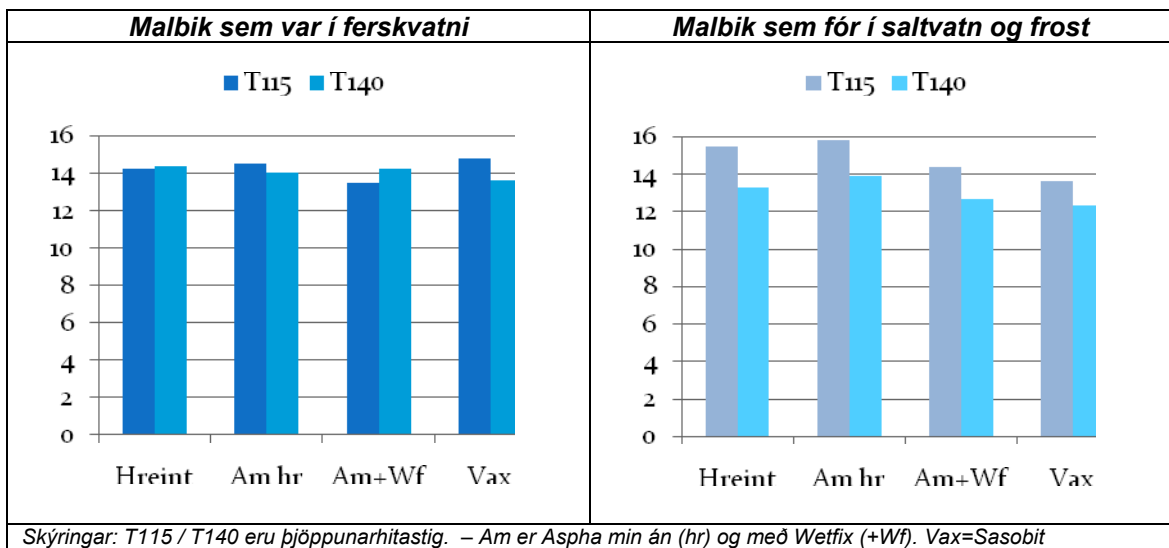
Hráefni	Íblöndunar- efni	Skiðmál rúmmál cm <sup>3</sup>	Skiðmál rúmmál e. 7 sólarhr. cm <sup>3</sup>	Skiðmál rúmmál e. 10 fr/p sveiflur. cm <sup>3</sup>	Breyting e. 7 sólarhr. cm <sup>3</sup>	Breyting e. 7 sólarhr. %	Breyting e. 10 fr/p sveiflur cm <sup>3</sup>	Breyting e. 10 fr/p sveiflur %
Björgun, asfalt 160/220 6,0 %	Engin	242,4	241,9	243,0	-0,5	-0,2	0,6	0,2
	Aspha-min	241,9	241,8	242,5	-0,1	-0,1	0,6	0,2
	Aspha-min + Wetfix N	244,1	243,4	245,5	-0,7	-0,3	1,4	0,6
	Sasobit vax	242,5	241,3	242,3	-1,2	-0,5	-0,2	-0,1

**Tafla 5.7: Rúmmálsbreyting, saltvatn / frost, Björgun, 115°C**

Hráefni	Íblöndunar- efni	Skiðmál rúmmál cm <sup>3</sup>	Skiðmál rúmmál e. 7 sólarhr. cm <sup>3</sup>	Skiðmál rúmmál e. 10 fr/p sveiflur. cm <sup>3</sup>	Breyting e. 7 sólarhr. cm <sup>3</sup>	Breyting e. 7 sólarhr. %	Breyting e. 10 fr/p sveiflur cm <sup>3</sup>	Breyting e. 10 fr/p sveiflur %
Björgun, asfalt 160/220 6,0 %	Engin	249,7	249,9	251,0	0,2	0,1	1,3	0,5
	Aspha-min	251,5	251,6	254,0	0,1	0,1	2,5	1,0
	Aspha-min + Wetfix N	247,8	248,3	249,8	0,5	0,2	2,0	0,8
	Sasobit vax	246,8	246,3	247,2	-0,5	-0,2	0,4	0,2

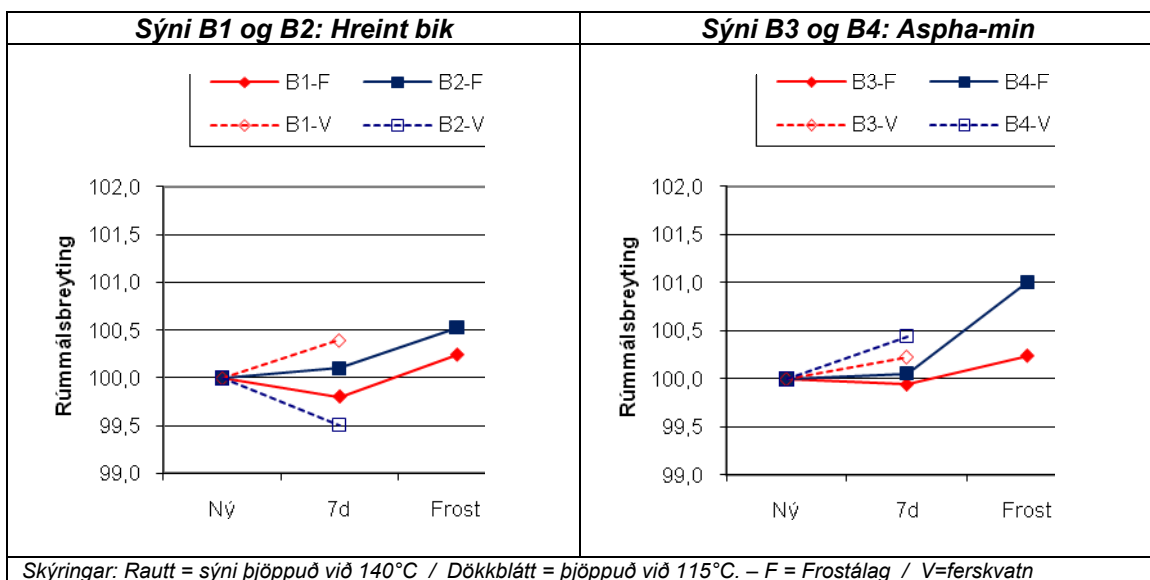
Á myndum 5.1 og 5.2 eru Trögergildin sýnd sem stöplarit. Á fyrri myndinni eru borin saman gildi með og án frostálags á hvoru þjöppunarhitastiginu. Á þeirri síðari eru borin saman Trögergildi malbiks sem þjappað var heitt og volgt eftir hvora meðhöndlunina.

**Mynd 5.1: Trögergildi, cm<sup>3</sup> – Mismunandi þjöppunarhiti**

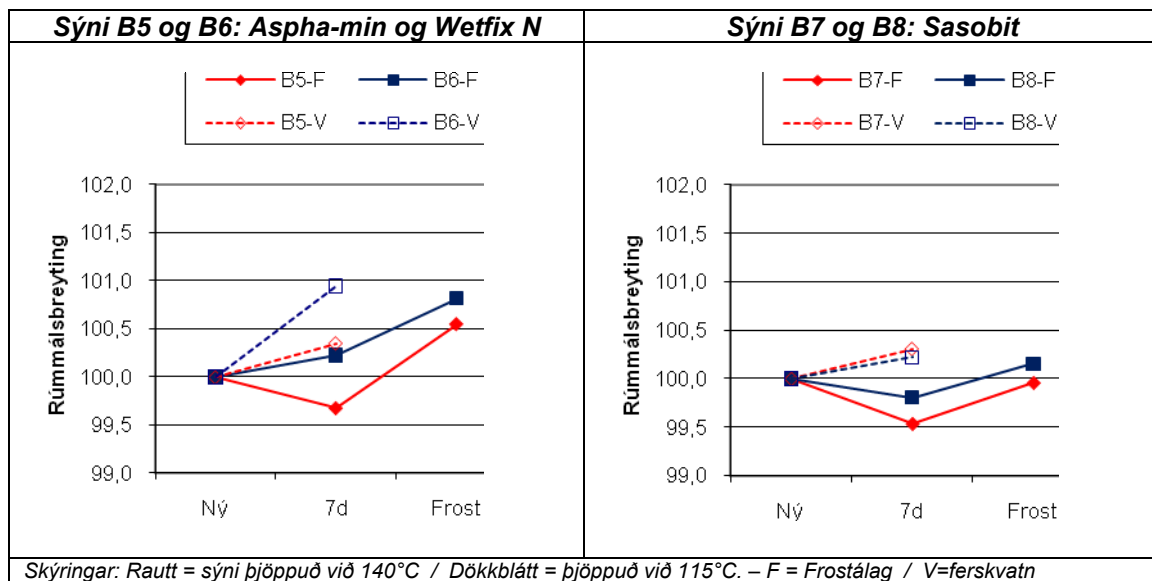


**Mynd 5.2: Trögergildi, cm<sup>3</sup> – Mismunandi meðhöndlun**

Fróðlegt er að skoða rúmmálsbreytingar sem urðu á prófhlutum við meðhöndlun og hafa til hliðsjónar við Trögergildin sem mældust. Á myndum 5.3 a og b eru meðaltalsgildin úr töflum 5.4 til 5.7. Tölurnar hafa verið umreiknaðar þannig að upphafsgildið er sett sem 100. Á myndum sést að rúmmál heitþjappaðra sýna eykst lítillega eftir sjö daga í ferskvatni, en stendur í stað eða minnkar heldur eftir metnun í saltvatni. Rúmmálið eykst heldur eftir frostálag og þá helst í malbikinu með Aspha-min, en síst í því með Sasobik vaxi.



**Mynd 5.3 a: Þensla prófhluta við meðhöndlun**



Mynd 5.3 b: Pensla prófhluta við meðhöndlun

### 5.3 Trögerpróf, umræða

Erfitt er að sjá einfalda mynd af niðurstöðum prófanna og sumt kemur á óvart. Má þar nefna að trögergildi eru heldur lægri í heitþjöppuðum sýnum eftir frostalag en í þeim sem voru í ferskvatni. Í þeim sem þjöppuð voru volg eru trögergildin öllu hærri eftir frostalag nema í Sasobit. Trögergildi allra sýna sem voru aðeins í ferskvatni eru svipuð eða á bilinu 13,5-14,8. Grunnmalbikið er það sama í öllum tilvikum og ræður það líklega slitinu þegar álagið er svona lítið. Í frostalagssýnunum standa heitþjöppuðu sýnin sig betur en þau volgu. Af þeim eru þrjú af fjórum Aspha-min sýnunum ofan meðaltals þ.e.a.s. þau slitna meira. Það mátti búast við því þar sem aðferðin byggist á að mynda vatnsfroðu í bikinu og gæti það aukið áhrif frosts. Bæði frostalagssýnin með Sasobiti eru neðan meðaltals, en þau þöndust lítið út við álagið. Í Töflu 5.8 er trögergildum raðað í hækkandi röð til glöggvunar.

Tafla 5.8: Trögergildum raðað í hækkandi röð

Blanda	Ferskvatn	Blanda	Salt+frost
Am+Wf L	13,5	Vax H	12,3
Vax H	13,6	Am+Wf H	12,7
Am hr H	14,0	Hreint H	13,3
Hreint L	14,2	Vax L	13,6
Am+Wf H	14,2	Am hr H	13,9
Hreint H	14,4	Am+Wf L	14,4
Am hr L	14,5	Hreint L	15,5
Vax L	14,8	Am hr L	15,8

Rauðir reitir eru neðan meðaltals, en grænir ofan

Skýringar: H=140°C; L=115°C - Am er Aspha min án (hr) og með Wetfix (+Wf). Vax=Sasobit

## 6 Tilraunablöndur með repjubiki gerðar í rannsóknastofu

### 6.1 Inngangur

Á fundi verkefnisnefndar vorið 2007 var Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins (nú Nýsköpunarmiðstöð Íslands, NMÍ) falið að gera tilraunablöndur með repjubiki. Þær voru annars vegar malbiksblöndur í Marshallpróf og hins vegar blöndur vegna vatnspolsprófs með kleyfnitogþoli. Prófa átti blöndur með 5 og 10% repjubiki og þjöppunarhita um 140°C og 115°C. Þessar tilraunir tengdust þeim sem gerðar höfðu verið í Malbikunarstöðinni Höfða og greint er frá í 3. og 4. kafla og voru viðbót við þær.

Sívalningar í Marshallpróf voru útbúnir með báðum repjuhluftföllunum sem stefnt var að og voru þjappaðir við hærra og lægra hitastigið. Umfang viðloðunarprófsins var minnkað þannig að sívalningar voru aðeins þjappaðir við 140°C.

### 6.2 Efni, hlutföll og blöndun

Í tilraunablöndurnar voru notuð sömu steinefni og hlutföll og Höfði notaði í sínar blöndur. Steinefnið var Björgunarefni sem sótt var til Höfða í júníbyrjun. Grunnbik var „mjúkt“ eða 160/220 úr sýnisfötu á Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Repjuolían sem var notuð til íblöndunar var sú jóska frá Bjarne Sørensen sem Vegagerðin flutti inn 2006, en til var sýni af henni á rannsóknastofu.

Hlutföll í malbiksblöndunni fyrir Marshallpróf voru 60% af salla 0-8 og 40% af perlu 12. Bindiefni var 6,0%.

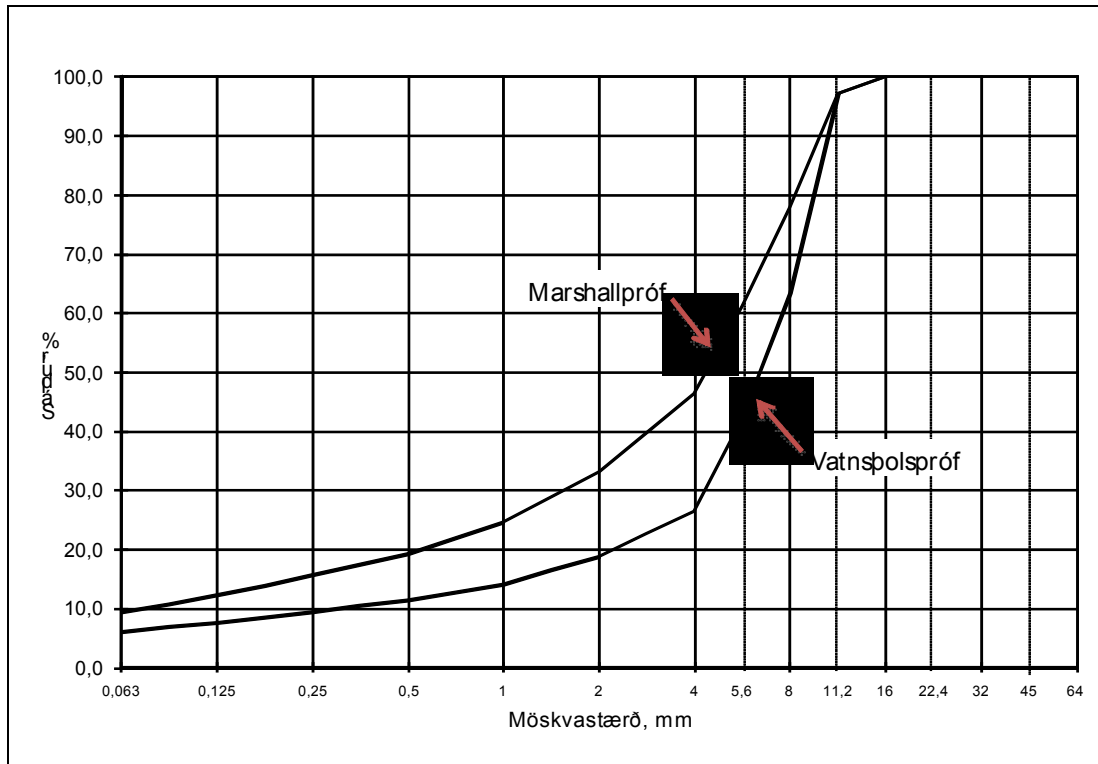
Í sívalningana vegna vatnspolsprófa var notuð blanda af 30% salla og 70% perlu 12. Bindiefni var 5,0%.

Kornadreifing steinefnanna og blandanna er gefin í töflu 6.2.1 og línurit með malbiksblöndunum tveimur er á mynd 6.2.1.

Repjubik var blandað þannig að repjuolía var 5 og 10% af rúmmáli. Gengið var út frá að eðlisþyngd repjuolíu væri 915 kg/m<sup>3</sup> við 20°C og biks 951 kg/m<sup>3</sup> við 150°C.

Tafla 6.2.1 Kornadreifing – Björgunarefni

	<b>Salli</b> <b>0/8</b>	<b>Perla 12</b>	<b>Malbik</b>	
<b>Salli %</b>	100	0	60	30
<b>Perla %</b>	0	100	40	70
<b>mm</b>				
22,4	100,0	100,0	100,0	100,0
16,0	100,0	100,0	100,0	100,0
11,2	99,8	93,3	97,2	97,0
8,0	96,9	49,1	77,8	63,4
4,0	72,8	6,3	46,2	26,3
2,0	52,1	4,5	33,1	18,8
1,0	38,3	3,9	24,5	14,2
0,5	29,8	3,6	19,3	11,5
0,25	23,7	3,4	15,6	9,5
0,125	18,5	3,1	12,3	7,7
0,063	13,8	2,6	9,3	6,0



### Mynd 6.2.1 Reiknuð kornadreifing

Undirbúningur vegna blandna var eins og venjan er á NMÍ. Efnisþörf var áætluð og þurrum steinefnum blandað í reiknuðum hlutföllum. Blandan var síðan sigtuð í stærðarflokkana <2 mm; 2-4 mm; 4-8 mm; 8-11,2 mm og 11,2-16 mm. Þessum flokkum var skipt í sýnadeili niður í reiknað magn í hvern sívalning en hrært var í hvern sívalning fyrir sig.

Steinefnaskálarnar voru hafðar í ofni yfir nótt við um 170°C þegar heitari blöndurnar voru undirbúnar en 150°C við þær kaldari. Bik var haft við 150°C yfir nótt vegna allra blandnanna en repjan var geymd við herbergishita. Repjubikið var útbúið að morgni, hrært vel og sett strax í ofn. Liðu a.m.k. 20 mínútur þar til repjubikið var notað í fyrstu malbiksblönduna. Á hverjum blöndunardegi var malbik blandað í alla sívalninga sem áætlaðir voru en þeir síðan þjappaðir þegar áætluðum þjöppunarhita var náð. Þjappað var með venjulegum Marshalltækjum, 50 högg á hvorn enda sívalnings.

## 6.3 Marshallpróf

Malbiksblöndur vegna Marshallprófa voru fjórar þ.e. með 5 og 10% repjubiki og þjöppunarhita um 115 og 135°C. Fjórir sívalningar voru gerðir af hverri blöndu. Mæld var rúmþyngd þeirra, festa og sig. Rúmþyngd malbiks, teoretisk, var mæld á efni úr tveimur sívalningum af hverri gerð eftir hitun og þurrkun. Mælingar dreifðust nokkuð og var reiknað meðaltal þeirra fjögurra sem voru með sama repjuhutfall og var það notað í útreikningum sem vísað er til í þessum texta. Helstu niðurstöður Marshallprófa eru dregnar saman í töflu 6.3.1. Einnig voru reiknuð ýmis rúmmálshlutföll í sívalningunum frá gefnum og mældum stærðum og eru þær gefnar í töflu 6.3.2. Sundurliðun á þessum gögnum er í viðauka 4.

**Tafla 6.3.1 Niðurstöður prófana á Marshallsívalningum með 5 og 10% repjuolíu**

<i><b>Þáttur</b></i>	<i><b>Eining</b></i>	<i><b>Meiri hiti</b></i>		<i><b>Minni hiti</b></i>	
		<i><b>5%</b></i>	<i><b>10%</b></i>	<i><b>5%</b></i>	<i><b>10%</b></i>
Hiti	°C	134	137	119	115
Rúmmál	cm <sup>3</sup>	510,6	510,8	515,1	509,4
Rúmþyngd	kg/m <sup>3</sup>	2557	2558	2536	2553
Leiðrétt festa	kN	8,25	7,41	7,32	6,29
Sig	mm	3,1	3,2	3,7	2,9
Hlutfallið	festa/sig	2,64	2,37	2,01	2,18

**Tafla 6.3.2 Ýmsar mælingar og útreikningar á Marshallsívalningum með 5 og 10% repjuolíu**

<i><b>Þáttur</b></i>	<i><b>Eining</b></i>	<i><b>Aths.</b></i>	<i><b>Meiri hiti</b></i>		<i><b>Minni hiti</b></i>	
			<i><b>5%</b></i>	<i><b>10%</b></i>	<i><b>5%</b></i>	<i><b>10%</b></i>
Bindiefni	þ%	Vigtað	6,0	6,0	6,0	6,0
Rúmþ. sívalninga	kg/m <sup>3</sup>	Mæld	2557	2558	2536	2553
Rúmþyngd malbiks	kg/m <sup>3</sup>	Mæld	2631	2630	2631	2630
Rúmþyngd repjubiks	kg/m <sup>3</sup>	Gefin	1015	1010	1015	1010
Rúmþyngd steina	kg/m <sup>3</sup>	Reiknuð	2929	2930	2929	2930
Rúmmál repjubiks	rm%	Reiknað	15,1	15,2	15,0	15,2
Rúmmál fylliefna	rm%	Reiknað	82,1	82,1	81,4	81,9
Holrým í steinefni	rm%	Reiknuð	17,9	17,9	18,6	18,1
Holrým í malbiki	rm%	Reiknuð	2,8	2,7	3,6	2,9
Fyllt holrým	%	Reiknuð	84,3	84,7	80,6	83,8

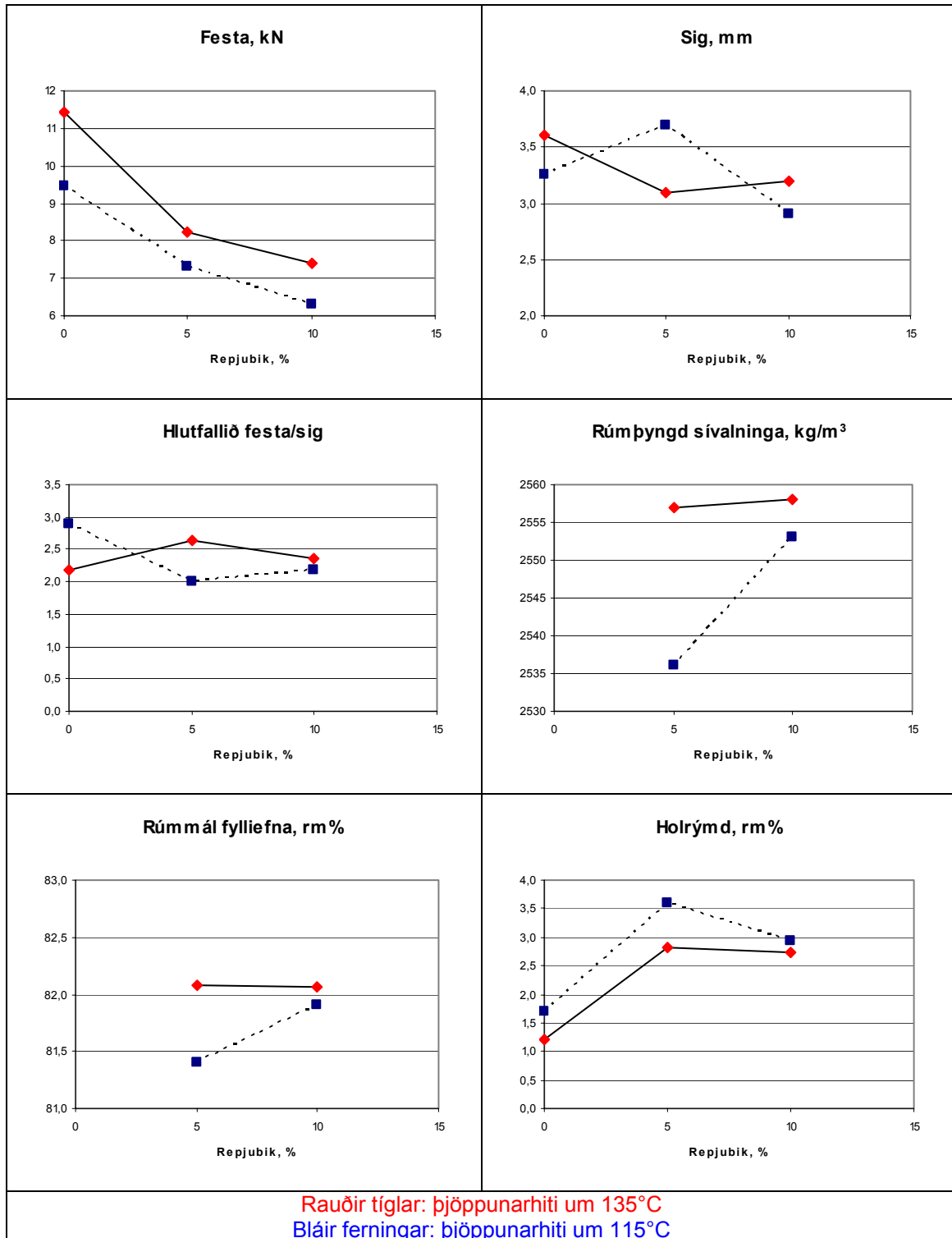
Til frekari glöggvunar eru mæligögnin sýnd á línuritum á mynd 6.3.1. Á nokkur línuritanna hefur verið bætt við niðurstöðum prófana á malbikssívalninga úr hreinu biki, 0% repja, úr tilraunum Malbikunarstöðvarinnar Höfða. (Sbr. 3. kafla). Hafa verður í huga að Marshallpróf eru viðkvæm fyrir ýmsum þáttum. Í þessu tilviki voru sívalningarnir gerðir á tveimur rannsóknastofum af tveimur mönnum. Grunnbikið var ekki það sama þótt stungudýptarflokkunin væri það.

### **Marshallpróf, umræður**

Dreifing mælinga á festu er eins og búast mátti við og lækkar hún með aukinni repju og því mýkra bindiefni. Festa er hærri í þeim sívalningum sem voru þjappaðir heitir en þeim kaldari. Sigmælingar eru nokkuð út og suður og þá líka hlutfallið festa deilt með sigi. Fyrirfram hefði mátt búast við að sig ykist með aukinni repju en svo virðist ekki vera. Betri þökkun steinefna og því meira viðnám milli korna gæti verið hluti skýringa skv. niðurstöðum Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands, en ekki Höfða þar sem holrúm er lítið. Það er svo einnig vafamál hve mikið má leggja upp úr sigmælingunum. Munur hæsta og lægsta meðalgildis er 0,8 mm sem er reyndar um 25% af meðaltali allra mælinga en 0,8% af þvermáli sívalninga.

Samkvæmt mælingum Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands eykst rúmþyngd sívalninga með aukinni repju. Aukningin er lítil í heitara malbikinu en meiri í því kaldara. Það kemur ekki á óvart og má skýra með því að heitt bindiefnið er orðið mjög mjúkt vegna hitans og ræður hann því þjáltninni en í kaldari blöndunni munar um

Þynninguna af olfunni. Þetta sést einnig á línuritinu um rúmmálsprösentu fylliefnis í sívalningunum.



### Mynd 6.3.1 Niðurstöður prófana á Marshallsívalningum

Holrýmd í sívalningum NMÍ lækkar með aukinni repju eins og búast hefði mátt við og er á bilinu 2,7-3,6%. Sívalningar Höfða þjöppuðust betur og var holrúm þeirra 1,2 og 1,7%. Það sýnir líklega aðeins að ekki er einfalt að bera saman malbik handhrætt á tveimur rannsóknastofum og af sitt hvorum rannsóknamanninum.



## 6.4 Vatnspolspróf

Gerðir voru sívalningar úr 5 og 10% repjubiki vegna vatnspolsprófa og voru þeir þjappaðir við um 140°C. Var það gert með Marshallhamri til samræmis við sívalninga Höfða haustið 2005. Tíu sívalningar voru gerðir af hvorri gerð og var þeim skipt í tvö sett með slembitölum. Fimm sívalninganna eru mettaðir vatni með undirþrýstingi til að byrja með en síðar vatnsbaði en hinir fimm eru prófaðir þurrir. Kleyfnitogþol var mælt við 10°C eins og í sívalningum Höfða. Aðferðum við vatnsmettun er lýst í viðauka 2.

Niðurstöður mælinga eru dregnar saman í töflu 6.4.1. Stærð sívalninga var mæld fyrir og eftir vatnsmettun með undirþrýstingi. Þar kemur fram að rúmmálsaukning var lítil eða 0,3 til 0,4%. Í sýnum Höfða mælist þó engin rúmmálsaukning á heitblönduðu malbiki úr hreinu biki. Á mynd 6.4.1. eru línurit af kleyfnitogþoli og viðloðun þar sem sýnum Höfða með hreinu biki hefur verið bætt við mælingar NMÍ. Hafa verður í huga sem fyrr að beinn samanburður milli tveggja rannsóknastofa er ekki einfaldur og margt getur truflað samanburð af þessu tagi.

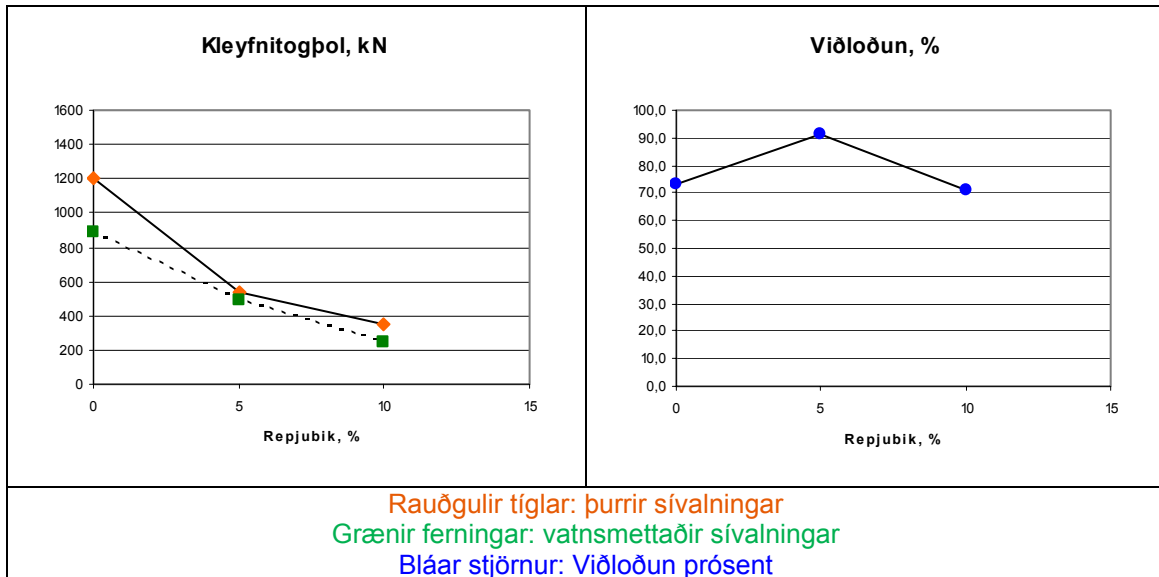
**Tafla 6.4.1 Kleyfnitogþol repjubikssívalninga**

<i>Repju hlutfall %</i>	<i>Meðal-hiti °C</i>	<i>Rúmmáls-aukning %</i>	<i>Meðaltogþol þurra kN</i>	<i>Meðaltogþol vatnsmettaðra kN</i>	<i>Viðloðun %</i>
5	138	0,3	532	485	91
10	137	0,4	352	251	71

### Vatnspolspróf, umræður

Meðalkleyfnitogþol þurra og vatnsmettaðra sívalninga lækkar með aukinni repju eins og við var að búast. Viðloðunin eða hlutfallslegt kleyfnitogþol vatnsmettaðra af þurrum sívalningum er 91% með 5% repjubiki, en 71% með 10%. Í sýnum Höfða frá 2005 var hlutfallið 73% með hreinu biki. Það gæti bent til þess að lágt hlutfall repjubiks eða um 5% bæti viðloðun en hærra hlutfall veiki hana, en vandinn er hér samanburður milli rannsóknastofa.

Forvitnilegt hefði verið að útbúa tvær viðbótarblöndur á NMÍ með hreinu biki og 3% repju, en til þess vannst ekki tími.



Mynd 6.4.1 Niðurstöður vatnþolsprófs, sívalningar þjappaðir við um 140°C

## 7 Viðloðun í hræslyprófi með vegolíu og Stardope 130P

### 7.1 Inngangur

Sumarið og haustið 2008 voru gerð ýmis próf á viðloðunarefninu Stardope 130P frá Starasphalt S.P.A. á Ítalíu. Efni þetta er að sögn ýmsum góðum kostum gætt svo sem að bæta viðloðun bæði í heit- og kaldblönduðu malbiki og það eykur einnig þjálni bindiefnisins. Ein tilraunin með Stardope 130P var að gera hefðbundið hræslypróf með vegolíu.

### 7.2 Hræslypróf

Í venjulegu hræslyprófi er viðloðun vegolíu við steinefni prófuð. Í vegolíuna er sett 1% amín, sams konar og notað er við þunnbiksklæðingar. Aðferðin við hræslypróf er í stuttu máli þannig að þrjú kg þurrkaðs steinefnis 4,75-19 mm er sett í hræivélarskál. Það er vætt með 90 g vatns og síðan er 90 g af 80°C vegolíu bætt úti og vélin látin snúast um stund. Þá eru þrjú lítrar vatns settir í skálina og hræivélin látin ganga í klukkustund. Steinefnið er þá tekið úr skálinni, sett á bakka og þakning þess metin næsta dag.

Skipulag tilraunarinnar með Stardope 130P var þannig að valin voru þrjú steinefni sem höfðu reynst hafa misgóða viðloðun í fyrri prófunum. Ráðlagður skammtur af Stardope 130P í klæðingar er 0,5 – 1,0% og var ákveðið að nota 0,7% í tilrauninni. Einnig var framkvæmt venjulegt hræslypróf með 1% amíni á öllum þremur steinefnunum.

Vegolían sem notuð var í prófið hafði nýlega verið útbúin af Malarvinnslunni hf. á Egilsstöðum.

Steinefnin voru í fyrsta lagi brotið berg úr Seljadalsnámu sem fékkst hjá Malbikunarstöðinni Höfða hf. Það hafði reynst hafa góða viðloðun. Í öðru lagi var efni frá Stóra-Fellsöxl og í þriðja lagi Haukadalsá. Þau tvö síðastnefndu voru úr steinefnabanka frá BUSL verkefnum sem geymdur er á Nýsköpunarmiðstöð. Viðloðun þeirra hafði ekki reynst góð, einkum þess úr Haukadalsá.

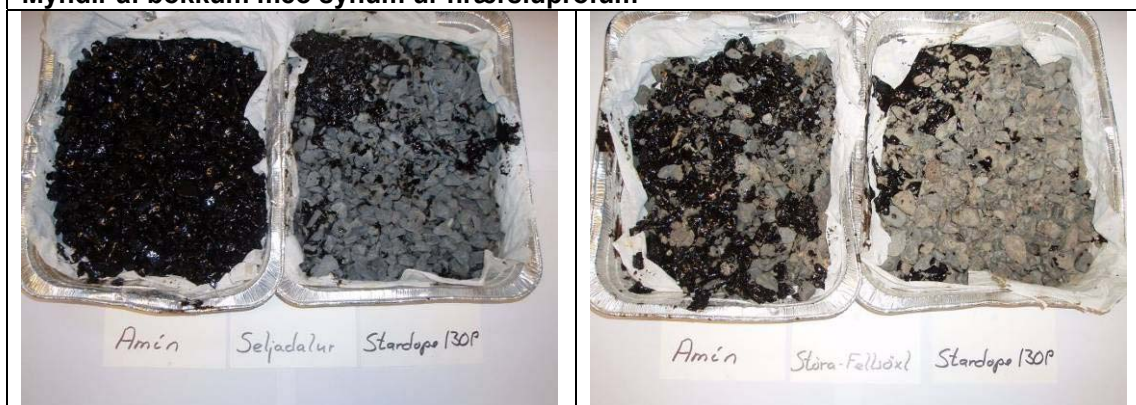
### 7.3 Niðurstöður

Um niðurstöður prófanna er skemmst frá því að segja að Stardope 130P virkaði alls ekki með vegolúnni. Venjulega er þakning steinefna metin niður að 50% en ekki neðar. Reynt var að meta litla þakningu í þessu prófi, en hafa verður í huga að vegolían hverfur ekki þótt hún tolli ekki á steinunum. Olían getur smurst á steinana þegar hrærivélarskálín er losuð og valdið ofmati á þakningu. Þess má geta að fyrir klæðingarefni er krafa um lágmarksþakningu úr þessu prófi 90%.

Í töflunni hér fyrir neðan sést að efnið úr Seljadal var metið með 100% þakningu í venjulegu prófi með amíni en 0% með Stardope 130P. Hin steinefnin tvö reyndust vera með þakningu undir 50% og voru sýnin með Stardope 130P metin heldur lakari en hin. Það kemur reyndar á óvart hversu litla þakningu Stóra-Fellsöxl og Haukadalsá fá með hefðbundnu amíni, en yfirleitt fær efni úr þessum námum þakningu >50%. Ljósmyndir af sýnum á bökkum eftir próf sýna muninn vel.

<b>Hræslupróf með vegolú</b>		
<b>Steinefni</b>	<b>Venjulegt próf: Vegolía og 1% amín þakning %</b>	<b>Vegolía með 0,7% Stardope 130P þakning %</b>
Seljadalur	100	0
Stóra-Fellsöxl	35	5
Haukadalsá	20	10

Myndir af bökkum með sýnum úr hræsluprófum





Á myndunum eru sýni úr venjulegu prófi á bökkunum t.v. en þau með Stardope 130P t.h.

Efri mynd t.v.: Seljadalur

Efri mynd t.h.: Stóra Fellsöxl

Neðri mynd t.v.: Haukadalsá

## 7.4 Umræður og ályktun

Vegolía var áður fyrr notuð í olíumöl sem notuð var sem slitlag, en nú aðeins í litlum mæli til viðgerða. Á rannsóknastofu er vegolían notuð í hrærslupróf eins og þessi. Í klæðingar á vegi er hins vegar nú notað þunnbik sem er heitt stungubik með olíum sem sagt White Spirit eða repjuolíu. Slæm útkoma í hefðbundnu hrærsluprófi þarf því ekki að þýða afdráttarlaust að Stardope 130P dugi ekki með rökum steinefnum í þunnbiksklæðingum.

## 8 Vatnsnæmi malbiks prófað með nýjum viðloðunarefnum

### 8.1 Inngangur

Sumarið 2008 var ákveðið að gera tilraun með tveimur tegundum viðloðunaefna. Annað þeirra var Stardope frá Starasphalt S.P.A. á Ítalíu, en hitt var Wetfix AP17 frá Akzo-Nobel. Gera átti vatnsnæmiþróf samkvæmt ÍST EN 12697-12, en það próf byggist á samanburði kleyfnitogþols þurra og vatnsmettaðra sívalninga.<sup>a</sup>

Sýni af Stardope 130P hafði borist á Nýsköpunarmiðstöð um Vegagerðina frá umboðsmanni. Samkvæmt upplýsingum framleiðanda Stardope 130P mun það bæta viðloðun bæði í heit- og kaldblönduðu malbiki og auka einnig þjálni bindiefnisins. Þegar verkefnið var ákveðið var verið að gera vatnsnæmiþróf á malbiki fyrir Malbikunarstöðina Hlaðbæ-Colas hf. með hreinu biki og blönduðu Wetfix AP17 og innfluttu Durasplitt steinefni. Heppilegt þótti að tengja þessi próf og veitti Jón Smári Sigursteinsson hjá MHC góðfúslega leyfi til þess að niðurstöður þeirra yrðu notaðar í þessu verkefni. Svo fór þó að ekki vannst tími til að vinna sýnin samhliða og frestaðist gerð sívalninganna með Stardope 130P fram á haustið.

### 8.2 Undirbúningur

Í þessu vatnsnæmiþrófi var útbúin malbiksblanda með eðlilegri kornadreifingu 16 mm slitlagsmalbiks. Steinefni var norskt Durasplitt sem Hlaðbæ-Colas lagði til. Bik var mjúkt, 160/220, úr birgðum Nýsköpunarmiðstöðvar og hafði borist þangað haustið 2007. Viðloðunarefni voru tvö sem fyrr segir þ.e.a.s. Wetfix AP17 og Stardope 130P, en einnig var þjöppuð syrpa með hreinu biki.

Í prófunarstaðlinum ÍST EN 12697-12 er miðað við að malbik sé prófað við svipað holrúm og er í útlögðu malbiki. Rannsóknir hafa sýnt að holrúm þarf að vera a.m.k. 4% til þess að vatnsmettun samkvæmt staðli hafi áhrif á mælt hlutfall kleyfnitogþols.<sup>b</sup> Við gerð malbikssívalninga í þessari tilraun var miðað við 6% holrúm en það er mikið í samanburði við venjulegar kröfur til slitlagsmalbiks. Efni var tekið frá í átta sívalninga af hverri blöndu og voru fjórir prófaðir þurrir og fjórir vatnsmettaðir.

### 8.3 Blöndun og mælingar fyrir próf

Malbikið átti að líkjast raunverulegum blöndum og var tekið tillit til þess í bindiefnisnotkun og kornadreifingu. Steinefnablandan var að grunni til blanda af aðsendu Durasplitt í stærðarflokkunum 0-8 mm og 8-16 mm í hlutföllunum 65%:35%. Efnið var sigtað og blandað í hlutföllum sem sýnd eru í töflu 8.3.1 og sáldurferill blöndunnar er teiknaður á mynd 8.3.1. Bik í blöndunum var haft 5,0%. Stefnt var að 6,0% holrýmnd í

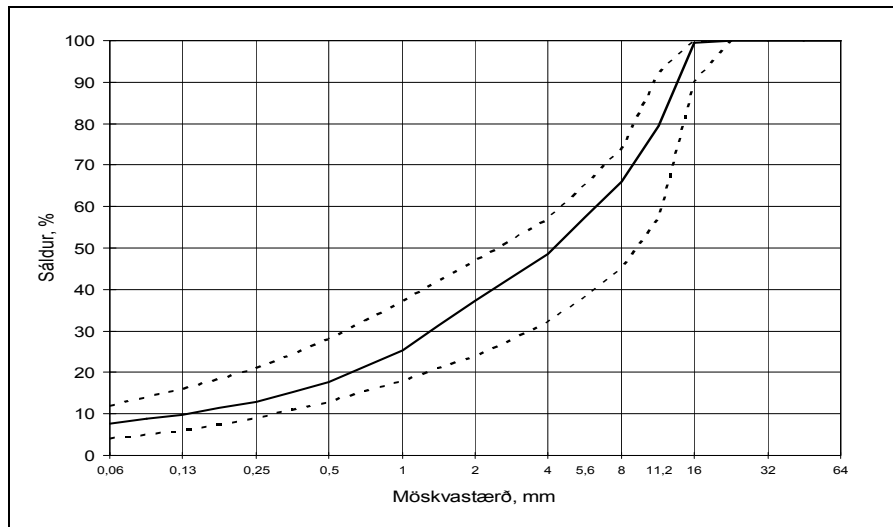
<sup>[a]</sup> ÍST EN 12697-12:2003. Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens.

<sup>[b]</sup> Arnþór Óli Arason (2005): Vatnspól malbiks prófaðs samkvæmt ÍST EN 12697-12. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Keldnaholti.

sýnum, en varð um 5% í raun. Áætluð og reiknuð rúmmálshlutföll eru sýnd í töflu 8.3.2.

**Tafla 8.3.1 Blöndunarhlutföll malbiks**

Stærð	<2 mm	2-4 mm	4-8 mm	8-11,2 mm	11,2-16,0 mm
%	37	11	18	14	20



**Mynd 8.3.1. Kornadreifing tilraunablöndu og markalínur SL16**

**Tafla 8.3.2. Gefnar og reiknaðar stærðir í malbiksblöndum**

Gefnar stærðir		Reiknaðar	Án holrúms		Með 6% holrúmi	
R <sub>p</sub> steina	2770	Steinefni	0,875 m <sup>3</sup>	2424 kg	0,822 m <sup>3</sup>	2278 kg
R <sub>p</sub> biks	1020	Bik	0,125 m <sup>3</sup>	128 kg	0,188 m <sup>3</sup>	120 kg
Bik, þ%	5,0	Loft	0,000 m <sup>3</sup>	0 kg	0,060 m <sup>3</sup>	0 kg
Holrúm, rm%	6,0	Samtals	1,000 m <sup>3</sup>	2551 kg	1,000 m <sup>3</sup>	2398 kg

Blöndun malbiks fór þannig fram í stuttu máli að steinefni var skipt í stærðarflokka með sigtun og efni í hvern sívalning vigtað í gefnum hlutföllum. Steinefni var haft í ofni við um 160°C yfir nótt en bik við um 150°C. Í syrpinum tveimur þar sem notað var viðloðunarefni, var því blandað í bikið að morgni skömmu áður en farið var að hræra malbikið. Eftir hrærslu var malbik temprað að þjöppunarhita um 140°C sem varð 130-150°C í raun. Sívalningarnir átta í hverri syrpu voru þjappaðir að gefinni rúmþyngd í snúðþjöppu, gyratory compactor.

ICT snúðþjappan er tölvutengd og var stillt þannig að hún hætti að þjappa þegar rúmþyngd malbiksins náði 2398 kg/m<sup>3</sup>. Sívalningar voru einnig mældir með skíðmáli þegar a.m.k.sólarhringur var frá því þeir voru teknir úr mótunum. Rúmmál mældist þá heldur minna en í vél og rúmþyngd því meiri eða 2420-2430 kg/m<sup>3</sup>. Holrúm reiknast því 4,5-5,2 % í stað 6,0. Niðurstöður eru dregnar saman í töflu 8.3.3, en frekari sundurliðun er í viðauka 5.

**Tafla 8.3.3 Rúmþyngdir og holrúm**

	<b>Hreint bik</b>	<b>Wetfix AP17 0,25%</b>	<b>Stardope 130P 0,30%</b>
<b>Rúmþyngd malbiks, kg/m<sup>3</sup></b>	2551	2551	2551
<b>Rúmþyngd sívalninga, kg/m<sup>3</sup></b>	2422	2420	393
<b>Holrúm, rm %</b>	<b>5,0</b>	<b>5,1</b>	<b>4,6</b>

Ákveðið var með slembivali hvaða fjórir sívalningar fóru í vatnsmettun og hverja átti að prófa þurra. Vatnsmettun er framkvæmd þannig að sívalningarnir eru hafðir við mikinn undirþrýsting í vatnskeri í 30 mínútur. Rúmmálsaukning var mæld eftir mettnun og reyndist vera 0,0-0,5% sem er vel undir 2% hámarkinu.

Mettuðu sívalningarnir voru hafðir í 30°C vatnsbaði í þrjú sólarhringa. Tíminn er samkvæmt staðli og hitinn er sá sem gefinn er fyrir það bik sem notað var. Þurru sívalningarnir voru geymdir í fimm sólarhringa við herbergishita sem var á bilinu 21-25°C. Síðustu klukkutímuna fyrir próf var vatns- eða umhverfishiti sívalninganna hafður 25°C og var prófhiti því sá sami í vatnsmettuðu og þurru sívalningunum. Samkvæmt staðli á prófhiti að vera á bilinu 5-25°C og er mælt með 25°C .

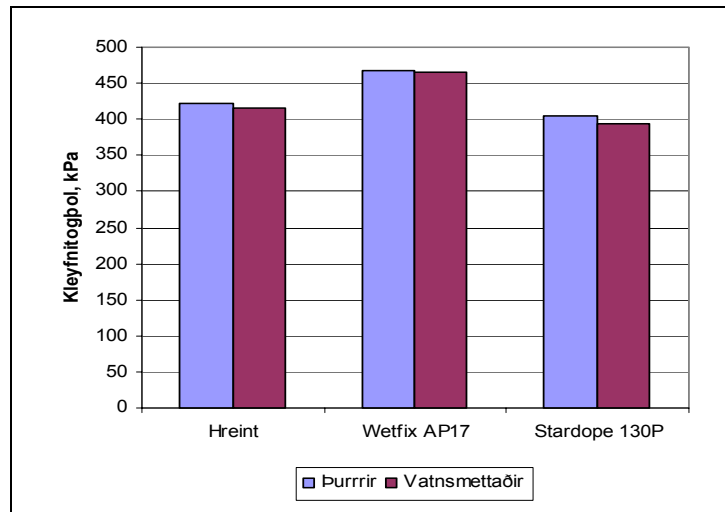
## 8.4 Niðurstöður

Í þessum prófum reyndist lítill sem enginn munur vera á hlutfallsþrósentu mettaðra og þurra sívalninga, ITRS, í syrpanum þremur og er hlutfallið hátt eða 97 og 99%. Syrpan með hreina bikinu sker sig ekki úr eins og sjá má á töflu 8.4.1. Frekari sundurliðun er í viðauka 5.

**Tafla 8.4.1 Vatnsnæmi, ITRS**

	<b>Hreint bik</b>	<b>Wetfix AP17 0,25%</b>	<b>Stardope 130P 0,30%</b>
<b>Þurrir, kPa</b>	422	468	405
<b>Mettaðir, kPa</b>	417	465	393
<b>ITRS %</b>	<b>99</b>	<b>99</b>	<b>97</b>

Þegar litið er á tölugildi fyrir kleyfnitogþolið sést einnig að munur er ekki mikill. (Tafla 8.4.1 og mynd 8.4.1). Blandan með hreina bikinu hefur heldur lægra kleyfnitogþol en sú með Wetfix AP17. Sú með Stardope 130P er með örlítið lægri gildi sem varla er hægt að leggja neitt uppúr. Tvær þær fyrrnefndu voru blandaðar í sama verkferlinu, en sú með Stardope nokkrum mánuðum síðar og er viðbúið að einhver munur geti komið fram vegna þess.



**Mynd 8.4.1. Kleyfnitogþol mettaðra og þurra sívalninga**

Holrúm var lægra en ætlað var eða nálægt 5% í stað 6% en það ætti þó að nægja til að hægt væri að metta sívalningana. Eftir fyrri prófin tvö með hreinu biki og Wetfix AP17 sást að betra hefði verið að stefna að meiri holrýmnd til að ná fram meiri mun. Síðustu blöndurnar með Stardope 130P voru þó hafðar eins og þær fyrri vegna samanburðarins. Hafa verður þó í huga að staðallinn gerir ráð fyrir að rúmþyngd og holrúm samsvari því sem búast megi við í raun.

## 9 Þjálni malbiks metin í snúðþjöppu

### 9.1 Útdráttur

Gerð var tilraun með að þjappa í snúðþjöppu, gyratory compactor, fjórar malbiks-blöndur sem voru eins að öðru leyti en því að í bikið var blandað fjórum mismunandi íaukum.

Malbikið var þjappað bæði við 140 °C og 110-120°C. Ákveðið var að stefna að ákveðinni rúmþyngd og kanna hve marga snúninga þjappan þyrfti til að ná henni. Gert var ráð fyrir að mismunandi þjálni malbiks eftir íblöndunarefnum og hitastigi kæmi fram í fjölda snúninga.

Niðurstaðan var sú að þessi aðferð, eins og hún var framkvæmd, sýndi að ekki var marktækur munur á þjöppunarferlum malbiks með mismunandi íaukum. Munur á þjöppunarferlum fór eftir því hvort malbikið var heitt eða volgt, þó reyndar ekki afgerandi í einu tilviki.

### 9.2 Inngangur

Snemmsumars árið 2008 kynntu BMB kaup ehf. Sigursteini Hjartarsyni viðloðunarefni frá Starasphalt S.P.A. á Ítalíu. Í framhaldi af því sendi innflytjandi sýni af viðloðunarefninu Stardope 130P á Nýsköpunarmiðstöð til ýmissa prófana. Einn af kostum þess er sagður vera að það auki þjálni malbiks. Í framhaldi af þessu hélt



Sigursteinn fundi með starfsmönnum Nýsköpunarmiðstöðvar og var ákveðið að gera tilraunir með þjöppun malbiks í snúðþjöppu. Prófa átti fjögur íblöndunarefni í malbikið en þau voru áður nefnt Stardope 130P, Wetfix BE, Sasobit vax og repjuolía. Stardope 130P og Wetfix BE eru viðloðunarefni í malbik. Sasobit er beinlínis ætlað til að lækka nauðsynlegan malbikshita við útlögn. Repjuolían mýkir bikið og lék forvitni á að prófa hana. Malbik með þessum fjórum íblöndunarefnum átti að þjappa við venjulegan hita eða um 140°C og einnig við 110-120°C. Grunngerð malbiksins átti að vera eins í öllum sýnunum og einnig átti að nota sama bik.

Ástæða þótti til að ætla að í snúðþjöppu kæmi mismunandi þjálni malbiks fram í að mismarga snúninga þyrfti til að þjappa það að ákveðinni rúmpýngd. Það sem studdi þá ályktun voru meðal annars tilraunir Sigurveigar Árnadóttur á Nýsköpunarmiðstöð með ýmsar gerðir fínefnis í malbik, en þar kom fram töluverður munur á þjöppunarferlum (fjölda snúninga) þótt fínefnahlutfallið væri annars eins og í venjulegu malbiki.<sup>a</sup>

### 9.3 Malbiksblanda

Ákveðið var að hafa malbiksblönduna nálægt venjulegu SL11 malbiki bæði í kornadreifingu og bindiefnisluta. Flokkunarstærðin 11 mm var valin frekar en 16 mm vegna þess að blöndun er auðveldari og minni hætta er á aðskilnaði. Steinefni var Seljadalur frá Malbikunarstöðinni Höfða hf. Bik var mjúkt, 160/220, úr birgðum Nýsköpunarmiðstöðvar og hafði komið þangað haustið 2007 frá Höfða.

Bik í blöndunum var haft 6,0%. Við hönnun var stefnt að 1,5% holrúmi í þjöppun en það var fljótlega lækkað niður í um 0,5% í prófum. Áætluð og reiknuð rúmmáls-hlutföll eru sýnd í töflu 9.3.1. Þvermál sívalningsmóta er 100 mm og var stærð blöndu miðuð við að hæð sívalninganna yrði 66 mm sem þýddi að blöndur voru 1325 g.

**Tafla 9.3.1. Gefnar og reiknaðar stærðir í malbiksblöndum**

<i>Gefnar stærðir</i>	<i>Reiknaðar</i>	<i>Án holrúms</i>		<i>Með 1,5% holrúmi</i>		
Rþ steina	2900	Steinefni	0,846 m <sup>3</sup>	2455 kg	0,834 m <sup>3</sup>	2418 kg
Rþ biks	1020	Bik	0,154 m <sup>3</sup>	157 kg	0,151 m <sup>3</sup>	154 kg
Bik, þ%	6,0	Löft	0,000 m <sup>3</sup>	0 kg	0,015 m <sup>3</sup>	0 kg
Holrúm, rm%	1,5	Samtals	1,000 m <sup>3</sup>	2611 kg	1,000 m <sup>3</sup>	2572 kg

Íblöndunarefnin fjögur voru:

- Wetfix BE framleitt af Akzo-Nobel. Það er viðloðnarefni í malbik. Ráðlagður skammtur er 0,2-0,5 % af þunga biks í heitblandað malbik. Í tilrauninni voru notuð 0,3%.
- Stardope 130P frá Starasphalt S.P.A. á Ítalíu. Efnið er í grunninum viðloðunarefni en er sagt geta bætt þjálni malbiks. Ráðlagður skammtur er 0,2-0,3 % af þunga biks. Í tilrauninni voru notuð 0,3%.
- Sasobit frá Sasol Wax í Suður Afríku / Þýskalandi. Efnið er sérstakt vax sem beinlínis er ætlað til þess að auðvelda framleiðslu á lághitamalbiki. Það var notað á fyrri stigum verkefnisins og þá 3% af þunga biks og var sá skammtur einnig notaður í þessar blöndur.

<sup>[a]</sup> Sigurveig Árnadóttir (2008): Effect of filler type on the moisture sensitivity of asphalt. – Erindi vegna „Nordic asphalt technology research competition“ á Via Nordica í Helsinki 2008.

- Repjuolía. Gerðar hafa verið tilraunir hérlendis með repjuolíu í klæðingar í stað White Spirit. Forvitnilegt þótt að prófa blöndun hennar í heitt malbik. Skammtur var ákveðinn 5,5% af þyngd biks.

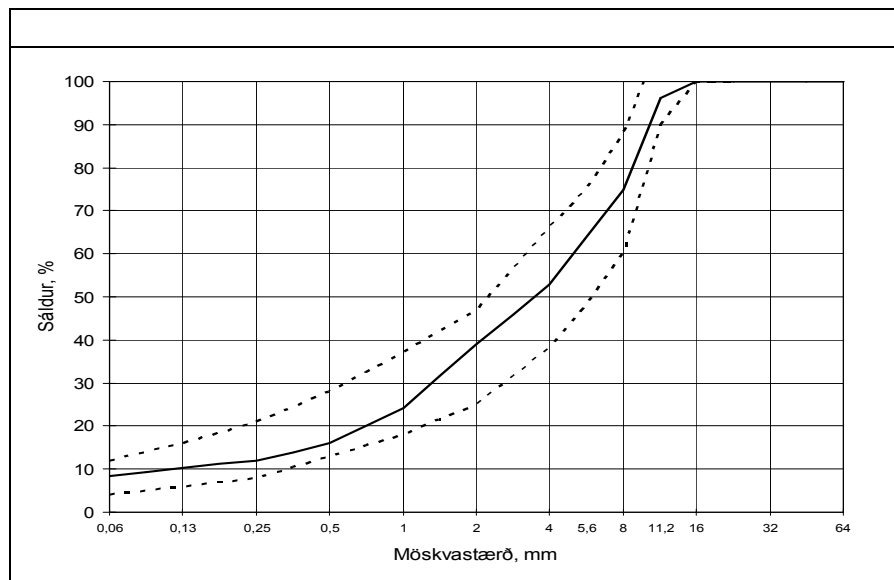
Sýnið af Stardope 130P kom frá BMB kaupum ehf. en hin lagði Malbikunarstöðin Höfði góðfúslega til.<sup>a</sup>

Blöndun malbiks fór þannig fram í stuttu máli, að steinefni var skipt í stærðarflokka með sigtun og efni í hvern sívalning vigtað í þeim hlutföllum sem sýnd eru í töflu 9.3.2. Í tilraunablöndum á Nýsköpunarmiðstöð er einn stærðarflokkurinn venjulega undir 2 mm. Nú var þessum flokki skipt í tvennt við 0,125 mm til þess að tryggja betur að fínefnishlutfall væri jafnt í öllum malbiksblöndunum. Sáldurferill steinefnablöndunnar er teiknaður á mynd 9.3.1.

Steinefni var haft í ofni við um 160°C yfir nótt en bik við um 150°C. Sívalningsmót voru einnig í ofni við 105°C yfir nótt. Í aukununum var bætt í bikið að morgni og blandan látin jafna sig í 30 mínútur eða svo. Í hverri syrpu voru blandaðir átta sívalningar og tók það um klukkutíma. Skálar með malbikinu voru hafðar í ofni við 140°C í tvo klukkutíma og voru þá fjórir sívalningar þjappaðir í snúðþjöppu og tók það um klukkutíma. Hiti í ofni var þá lækkaður í 110-120°C og sýnin fjögur sem eftir voru höfð við þann hita í tvo klukkutíma eða svo fram að þjöppun. Hitastig í sýnum var mælt áður en þau voru þjöppuð.

**Tafla 9.3.2 Blöndunarhlutföll malbiks**

Stærð	<0,125mm	0,125-2 mm	2-4 mm	4-8 mm	8-11,2 mm	11,2-16,0 mm
%	10	29	14	22	22,5	2,5



**Mynd 9.3.1 Kornadreifing tilraunablöndu og markalínur SL11**

<sup>[a]</sup> Upplýsingar um Stardope 130P voru í gögnum frá BMB kaupum. Um Wetfix BE og Sasobit fengust upplýsingar hjá Malbikunarstöðinni Höfða hf. og á heimasíðum framleiðenda á Netinu.

Stillingar á snúðþjöppu voru þær sömu og í venjulegum prófum. Þrýstingur var 600 kPa; hallahorn var 16 mrad eða  $0,92^\circ$  og hraði 30 sn/mín.<sup>a</sup>

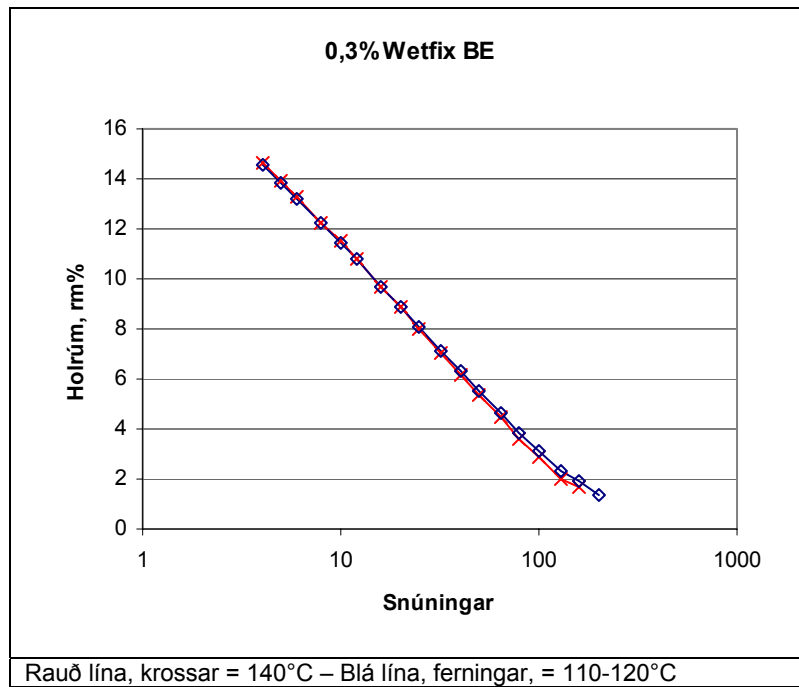
ICT snúðþjappan er tölvutengd og var í fyrstu syrpu, Wetfix BE, stillt þannig að hún hætti að þjappa þegar rúmþyngd malbiksins náði  $2572 \text{ kg/m}^3$  eða um 1,5% holrýmd. Forvitnilegt þótti að sjá þjöppunarferla við minni holrýmd og var rúmþyngd aukin í  $2598 \text{ kg/m}^3$  eða 0,5% holrýmd í blöndum með Stardope 130P og Sasobit, en lækkuð aftur í  $2591 \text{ kg/m}^3$ , um 0,8% holrýmd, í síðustu syrpu með repjuolíu. Við lægri holrýmd smurðist bikefja með endaskífum. Þessar breytingar á lokastillingu þýddi að horfið var frá því að finna hve marga snúninga þyrfti til að ná ákveðinni lokarúmþyngd, en þess í stað horft á mismun rúmþyngda á ýmsum stöðum á þjöppunarferlinum. Einnig mátti þá reikna snúninga við mismunandi holrýmd.

## 9.4. Mæligildi

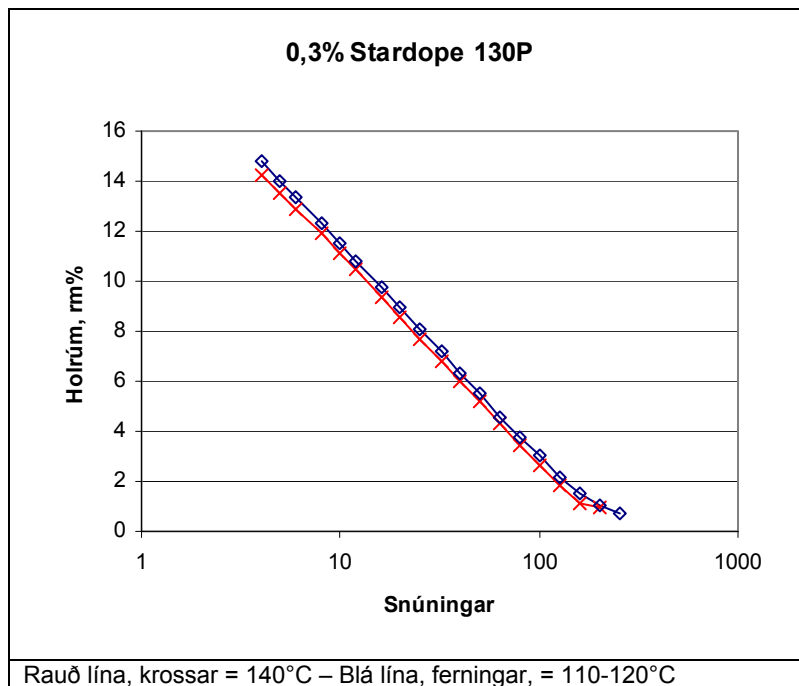
Snúðþjappan gefur reiknaða rúmþyngd við ákveðinn fjölda snúninga. Tafla með þeim gildum er í Viðauka 6, en þar hafa gildin einnig verið reiknuð sem holrýmd miðað við að hámarksrúmþyngd malbiks hafi verið  $2611 \text{ kg/m}^3$ . Á línuritunum hér fyrir aftan hafa gildin fyrir holrýmd verið teiknuð sem fall af snúningafjölda og eru þau skoðuð lauslega í þessum kafla en í kafla 9.5 er lagt tölfræðilegt mat á niðurstöðurnar.

Á myndum 9.4.1-4 eru ferlar fyrir hverja blöndu, heita og volga. Lítil munur kemur fram í blöndunum með Wetfix BE, en í öðrum virðist sem holrúm sé 0,4-0,5% lægra í heitu sýnunum en þeim volgu við ákveðinn fjölda snúninga að 100 eða svo. Við meiri þjöppun nálgast ferlar að sjálfsögðu vegna þess að hámarksrúmþyngd malbiksins er eins þótt hitastigið sé mismunandi.

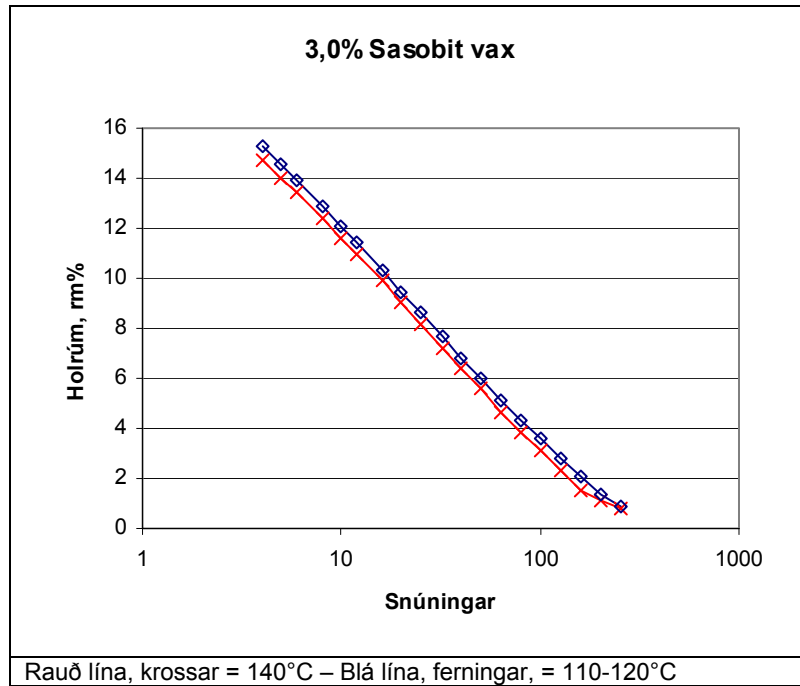
<sup>[a]</sup> ÍST EN 12697-31, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 31: Specimen preparation by gyratory compactor.



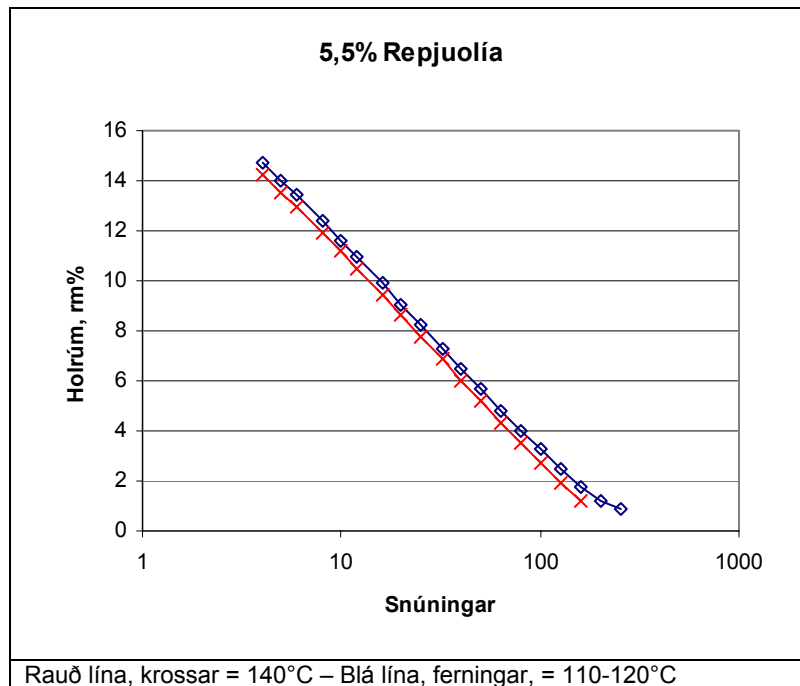
**Mynd 9.4.1 Holrúm og snúningar. Wetfix**



**Mynd 9.4.2 Holrúm og snúningar. Stardope**

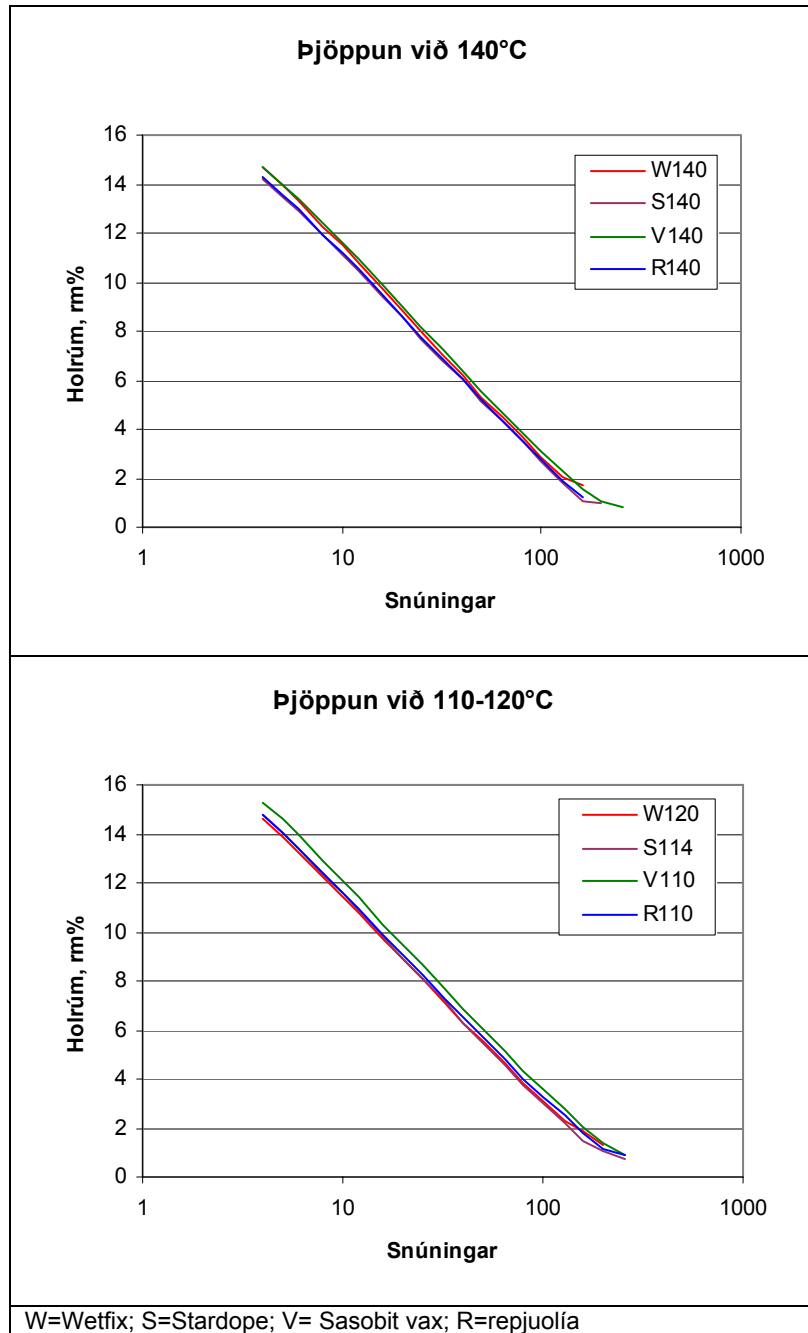


**Mynd 9.4.3 Holrúm og snúningar. Sasobit vax**



**Mynd 9.4.4 Holrúm og snúningar. Repjuolía**

Þegar þjöppunarferlar allra blanda við mismunandi hitastig eru skoðaðir, mynd 9.4.5, sést lítill munur. Af volgu sýnunum gengur hægst að þjappa sýnin með Sasobit samkvæmt meðaltalslínunni en það er ekki í samræmi við reynslu í götu. Ekki er þó rétt að leggja of mikið uppúr þeim mun. Þegar hiti er orðinn svo lítill sem 110-120°C fer hver gráða að skipta máli í þjálni.



Mynd 9.4.5 Holrúm og snúningar. Þjöppun við 140°C og 110-120°C

## 9.5 Tölfræði

Ásbjörn Jóhannesson verkfræðingur á Nýsköpunarmiðstöð Íslands gerði tölfræðilega athugun á þjöppunarmælingunum. Hann valdi þá leið að finna snúningafjöldann sem þarf til að ná ákveðinni holrým (1,5 %; 3,0 % og 6,0 %). Þetta var gert með aðhvarfsgreiningu þar sem holrýmdu er háða breytan en logariþmi af snúningafjölda sú óháða. Þetta samband er nokkurn veginn línulegt fall eins og myndir 9.4.1-9.4.4 sýna, frávikin eru reyndar kerfisbundin, en lítil. (Við 1,5 % holrým er snúningafjöldinn vanmetinn um 5-10 snúninga, nærri lagi við 3,0 % holrým en

ofmetinn um 1-3 snúninga við 6,0 % holrýmd). Ásbjörn gerir ennfremur ráð fyrir að snúningafjöldi sé nothæfur mælikvarði á þjöppunarorku.

Á þennan hátt fékkst nauðsynlegur snúningafjöldi til að ná ákveðinni holrýmd fyrir hverja malbiksgerð. Niðurstöðurnar eru sýndar í eftirfarandi töflu 9.5.1.

**Tafla 9.5.1 Snúningafjöldi og holrýmd**

Íauki	Ástand	1,5%	3,0%	6,0%
Wetfix	Heitt	151	100	44
	Volgt	165	108	47
Stardope	Heitt	147	98	43
	Volgt	156	104	45
Sasobit	Heitt	161	106	46
	Volgt	186	122	53
Repja	Heitt	143	94	41
	Volgt	168	110	48

Taflan sýnir í fyrsta lagi að nauðsynleg þjöppunarorka til að ná tiltekinni holrýmd sé meiri fyrir volgt malbik (110-120 °C) en heitt (140 °C). Í öðru lagi gefur hún til kynna að malbik blandað Sasobit sé frekast á þjöppunarorku þegar malbikið er volgt, þar næst repjuolía, síðan Wetfix en Stardope þurfi minnsta þjöppunarorku. (Ef malbikið er heitt, 140 °C, er röðin Sasobit, Wetfix, Stardope og repjuolía, malbik með fyrstnefnda íaukanum er frekast á þjöppunarorku). Þó verður að hafa fyrirvara á þessum niðurstöðum. Í fyrsta lagi voru malbiksgerðirnar ekki allar þjappaðar við sama hitastig (volgt spannar bilið 110-120 °C). Í öðru lagi er ekki víst að munurinn sé marktækur.

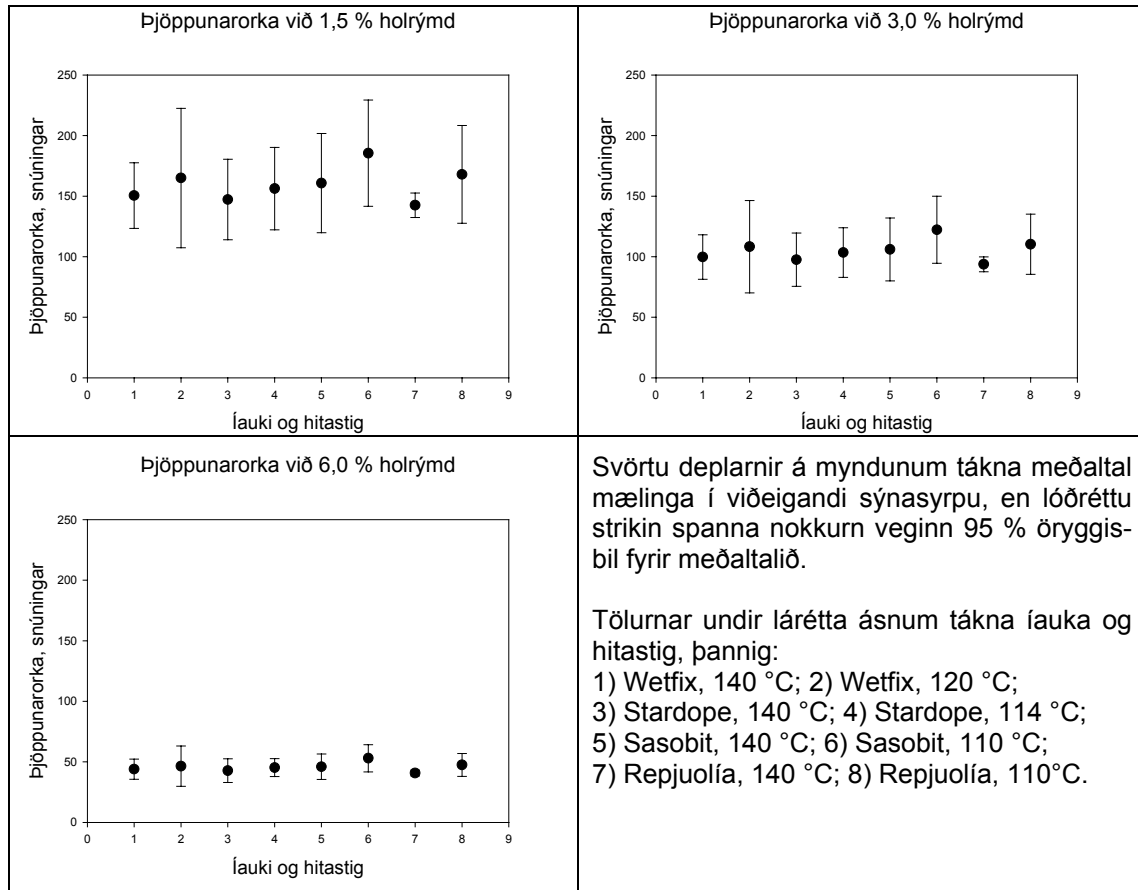
Á mynd 9.5.1 er teiknuð þjöppunarorka við mismunandi holrýmd, hitastig og íauka. Svörtu deplarnir á myndunum tákna meðaltal mælinga í viðeigandi sýna-syrpu, en lóðréttu strikin spanna nokkurn veginn 95 % öryggisbil fyrir meðaltalið.<sup>a</sup>

Línuritinn í mynd 9.5.1 sýna greinilega að dreifing á snúningafjölda (þ. e. þjöppunarorku) fyrir hverja sýnasyrpu (í hverri sýnasyrpu er ein malbiksgerð við eitt hitastig og með einum íauka) er mjög mikil svo að mismunur milli syrpanna drukknar að því er virðist í dreifingunni. Tölfræðileg prófun á mismun í snúningafjölda fyrir sýnasyrpur sem tilheyra sama hitastigsflokki og sama holrýmdarflokki en innihalda mismunandi íauka gefur líka til kynna að mismunurinn sé ekki marktækur, sama hvaða holrýmdarkrafa er gerð eða hvert hvert hitastigið er. Með öðrum orðum er ekki hægt að hafna tilgátu þess efnis að allir íaukarnir hafi sömu áhrif á þjöppunarorkuna<sup>b</sup> eða; tilraunin sýnir ekki á óyggjandi hátt að einhver einn íaukanna sé virkari en hinir til að auðvelda þjöppun við lágt hitastig. Hins vegar verður að hafa í huga að prófunin er ekki sérlega næm á mismun vegna þess hvað mælingarnar í hverri sýnasyrpu eru fáar. Vera má að fleiri mælingar innan hvers sýnasyrpu myndu staðfesta tilhneiginguna sem kemur fram í töflunni, frekast þó við lága holrýmd.

<sup>a</sup> Öryggisbilið er að öllum líkindum ekki fyllilega rétt því það er reiknað á þeirri forsendu að mælingarnar fylgi normaldreifingu, sem engin vísar er fyrir.

<sup>b</sup> Notað var stikalaus próf (Kruskal-Wallis one-way analysis of variance) þar sem engin vísar er fyrir því að mæliniðurstöður innan syrpu fylgi normaldreifingu. Lægsta P-gildið reyndist vera um 0,5 en þyrfti að vera minna en 0,05 til að hægt sé að halda fram að einhver íaukanna að minnsta kosti skeri sig úr hvað áhrif á þjöppunarorkuna snertir.

Mynd 9.5.1 gefur í skyn að við sama snúningafjölda sé holrýmdin meiri í volgu malbiki (110-120 °C) en í heitu (140 °C). Tölfræðilegt próf<sup>a</sup> hafnar tilgátu um að holrýmdin sé sú sama í heitu og volgu malbiki við sama snúningafjölda ef íaukinn er Stardope 130P, Sasobit eða repjuolía. Sama próf gerir hins vegar ekki greinarmun á heitu og volgu malbiki við áðurnefnd skilyrði ef íaukinn er Wetfix BE.



**Mynd 9.5.1 Þjöppunarorka við mismunandi holrýmd, hitastig og íauka**

## 9.6 Niðurstaða

Með þeim fjölda sýna og við þær stillingar sem voru notaðar bendir þessi tilraun til þess að snúðþjappa greini ekki á milli þjálni malbiks með íaukum af gerðinni Wetfix BE, Stardope 130P, Sasobit og repjuolíu svo marktækt sé. Holrýmdin er ótvírætt lægri við 140 °C þjöppunarhita en við 110-120 °C, ef íaukinn er af gerðinni Stardope 130P, Sasobit og repjuolíu, en þetta er vafamál ef íaukinn er Wetfix BE.

<sup>a</sup> Stikalaust próf (sign test) með 5 % marktæktarkröfu.



## **Viðauki 1**

### **Malbiksblöndur í Marshallpróf**

**Seljadalsblöndur:****Liður 1:**

Blöndur S.1 og S.2, hreinn Seljadalur án íblöndunarefna:

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	5,8%

S.1: Steinefni hituð í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. 3 kjarnar hrærðir og barðir 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

S.2: Steinefni hituð í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. 3 kjarnar hrærðir og barðir 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 2:**

Blöndur S.3 og S.4, Seljadalur með zeolítum:

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	5,8%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.

S.3: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

S.4: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 3:**

Blöndur S.5 og S.6, Seljadalur með zeolítum og viðloðunarefni (Wetfix N):

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	5,8%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.
Wetfix N	0,3% af þyngd asfalts.

S.5: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Viðloðunarefni bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

S.6: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Viðloðunarefni bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 4:**

Blöndur S.7 og S.8, Seljadalur með vaxi:

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	5,8%
Sasobit	3% af þyngd asfalts.

S.7: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Vaxinu bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C og gætt að því að vaxið sé bráðið og samlagað asfaltinu. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

S.8: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Vaxinu bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C og gætt að því að vaxið sé bráðið og samlagað asfaltinu. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Björgunarblöndur:****Liður 1:**

Blöndur B.1 og B.2, hreint Björgunarefni án íblöndunarefna:

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	6,0%

B.1: Steinefni hituð í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. 3 kjarnar hrærðir og barðir 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

B.2: Steinefni hituð í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. 3 kjarnar hrærðir og barðir 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 2:**

Blöndur B.3 og B.4, Björgunarefni með zeolítum:

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	6,0%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.

B.3: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

B.4: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 3:**

Blöndur B.5 og B.6, Björgunarefni með zeolítum og viðloðunarefni (Wetfix N):

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	6,0%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.
Wetfix N	0,3% af þyngd asfalts.

B.5: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Viðloðunarefni bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

B.6: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Viðloðunarefni bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar, zeolítunum stráð úti strax á eftir og síðan hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 4:**

Blöndur B.7 og B.8, Björgunarefni með vaxi:

Perla 12	40%
Salli 0-8	60%
Asfalt	6,0%
Sasobit	3% af þyngd asfalts.

B.7: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Vaxinu bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C og gætt að því að vaxið sé bráðið og samlagað asfaltinu. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

B.8: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Vaxinu bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C og gætt að því að vaxið sé bráðið og samlagað asfaltinu. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært og barðir 3 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

## **Viðauki 2**

### **Malbiksblöndur í vatnspolspróf**

**Björgunarblöndur:****Liður 1:**

Blanda B.4, hreint Björgunarefni án íblöndunarefna:

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%

B.4: Steinefni hitað í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. 10 kjarnar hrærðir og barðir 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 2:**

Blanda B.6, Björgunarefni með zeolítum:

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.

B.6 Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært rétt aðeins í blöndunni, zeolítunum stráð úti mjög fljótlega á eftir og síðan hrært og barðir 10 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 3:**

Blanda B.8, Björgunarefni með zeolítum og viðloðunarefni (Wetfix N):

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.
Wetfix N	0,8% af þyngd asfalts.

B.8: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Viðloðunarefni bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært rétt aðeins í blöndunni, zeolítunum stráð úti mjög fljótlega á eftir og síðan hrært og barðir 10 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 4:**

Blanda B.10, Björgunarefni með vaxi:

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%
Sasobit	3% af þyngd asfalts.

B.10: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 147°C og asfalt í 150°C. Vaxinu bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C og gætt að því að vaxið

sé bráðið og samлагаð asfaltinu. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært og barðir 10 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 110-112°C.

**Liður 5:**

Blanda B. 1, hreint Björgunarefni án íblöndunarefna:

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%

B.1: Steinefni hitað í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. 10 kjarnar hrærðir og barðir 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

**Liður 6:**

Blanda B.3, Björgunarefni með zeolítum:

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.

B.3: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært rétt aðeins í blöndunni, zeolítunum stráð úti mjög fljótlega á eftir og síðan hrært og barðir 10 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

**Liður 7:**

Blanda B.5, Björgunarefni með zeolítum og viðloðunarefni (Wetfix N):

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%
Aspha-min	0,3% af heildar þyngd.
Wetfix N	0,8% af þyngd asfalts.

B.5: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Viðloðunarefni bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært rétt aðeins í blöndunni, zeolítunum stráð úti mjög fljótlega á eftir og síðan hrært og barðir 10 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

**Liður 8:**

Blanda B.7, Björgunarefni með vaxi:

Perla 12	70%
Salli 0-8	30%
Asfalt	5,0%
Sasobit	3% af þyngd asfalts.

B.7: Steinefnunum blandað í skálar, hitað upp í hitaskáp í u.þ.b. 177°C og asfalt í 150°C. Vaxinu bætt í asfaltið og það hitað á ný í 150°C og gætt að því að vaxið

sé bráðið og samлагаð asfaltinu. Asfaltinu bætt út í skálarnar og hrært og barðir 10 kjarnar 2 \* 50 högg þannig að þjöppunarhitastig sé 135-137°C.

## Lýsing NMÍ á vatnsþolsprófi

Sýni H05/1017 AÓA, desember 2005 og yfirfarið í ágúst 2009.

Kleyfnitogþol og vatnsnæmi Marshallsívalninga frá Malbikunarstöðinni Höfða hf.

Átta sett tíu sívalninga bárust í nóvember og desember 2005. Hverju setti var raðað á bretti við móttöku og sívalningarnir númeraðir eins og þeir röðuðust. Slembitölur voru síðan notaðar til þess að velja þá sívalninga sem áttu að prófast þurrir eða vatnsmettaðir.

Allir sívalningar voru mældir með skíðmáli til þess að ákveða rúmmál. Hæð hvers var mæld á átta stöðum, en þvermál á fjórum. Sívalningarnir voru einnig vegnir þurrir vegna rúmpýngdar.

Vatnsþol sívalninga var prófað í samræmi við staðalinn ÍST EN 12697-12:2003, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens. Próf á kleyfnitogþoli: ÍST EN 12697-23:2003, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens.

Meðferð vatnsmettuðu sívalninganna var í stuttu máli eftirfarandi: Vatnsmettun við undirþrýsting í 30 mínútur í 20°C vatni. Notað var kranavatn, en samkvæmt staðli ætti að nota eimað vatn nema búið sé að sýna fram á að kranavatn gæfi sömu niðurstöður. Sívalningarnir voru hafðir í 20°C vatni í 30 mínútur til viðbótar og stærð þeirra síðan mæld. Hafri rúmmál aukist um 2% eða meira á að hafna sívalningi en stækkun allra var innan við 0,8%. Sívalningarnir voru síðan settir 30°C vatnsbað í þrjá sólarhringa. Hitinn réðist af því að mjúkt bik var notað í malbikið. Prófunarhitinn á að vera á bilinu 5-25°C og valdi Halldór Torfason 10°C. Hitinn á vatnsbaðinu var því hafður 10°C í tvo klukkutíma fyrir próf. Vegna stærðar tækjabúnaðar á R.b. voru sívalningarnir prófaðir í áföngum, tvö sett, 2\*5, í senn.

Samanburðarsívalningarnir þurru voru prófaðir síðast. Þeir voru geymdir við stofuhita, 19-22°C í fimm til ellefu daga frá móttöku og fram til prófunar. Fyrir próf voru þeir settir í einskonar dósir sem höfðu verið útbúnar úr plaströrafittings vegna fyrri prófa. Dósirnar voru síðan hafðar í 10°C vatnsbaði í 3 1/2 tíma fyrir próf. Taldi ég nauðsynlegt að hafa tímann svo langan þar sem sívalningarnir voru ekki í beinni snertingu við vatnið.



## **Viðauki 3**

### **Malbiksblöndur í frostþolspróf**

## Frostþolspróf

### Fjöldi prófhluta

Í þriðja áfanga var ákveðið að gera Trögerpróf eftir að kjarnarnir höfðu orðið fyrir frost-þíðuárun.

Kornakúrfa sama og í 1. áfanga.

Barið við 115°C. – Merki og efni.

B2 Björgun með hreinu asfalti:	3 kjarnar
B4 Björgun með íblönduðum zeolítum	3 kjarnar
B6 Björgun með íblönduðum zeolítum og amíni	3 kjarnar
B8 Björgun með íblönduðu vaxi	3 kjarnar
Samtals 12 kjarnar.	

Barið við 135°C. – Merki og efni.

B1 Björgun með hreinu asfalti:	3 kjarnar
B3 Björgun með íblönduðum zeolítum	3 kjarnar
B5 Björgun með íblönduðum zeolítum og amíni	3 kjarnar
B7 Björgun með íblönduðu vaxi	3 kjarnar
Samtals 12 kjarnar.	

Alls voru því gerðir 24 kjarnar vegna áfangans.

Sérhver kjarni sagaður í tvennt fyrir prófun. Önnur sneið hvers sívalnings var geymd í ferskvatni en hin fyrst í saltvatni í viku og síðan í frost-þíðuskáp, enn í saltvatni.

## **Viðauki 4**

### **Tilraunablöndur með repjubiki gerðar í rannsóknastofu**



**Malbikssívalningar úr biki með 5 og 10 % repju  
Marshallpróf o.fl.: Rúmmál, rúmpýngdir, festa og sig**

*Marshall sívalningar heitari. Þjöppun við 132-140°C*

	Nr.	Hiti °C	Rúmmál cm <sup>3</sup>	Rúmp. Mg/m <sup>3</sup>	Leiðr. festa kN	Sig mm	Hlutfallið festa/sig
<b>Repja 5%</b>	41	134	509,3	2,559	7,64	3,1	2,46
	42	134	511,7	2,556	8,75	3,2	2,73
	43	136	509,2	2,565	7,78	3,0	2,59
	44	132	512,0	2,548	8,82	3,2	2,76
<b>Meðaltal</b>		<b>134</b>	<b>510,6</b>	<b>2,557</b>	<b>8,25</b>	<b>3,1</b>	<b>2,64</b>
<b>Repja 10%</b>	45	136	507,3	2,560	8,01	3,5	2,29
	46	136	509,6	2,565	7,24	2,7	2,68
	47	136	513,2	2,549	7,60	2,9	2,62
	48	140	513,0	2,556	6,79	3,6	1,89
<b>Meðaltal</b>		<b>137</b>	<b>510,8</b>	<b>2,558</b>	<b>7,41</b>	<b>3,2</b>	<b>2,37</b>

*Marshall sívalningar kaldari. Þjöppun við 115-120°C*

	Nr.	Hiti °C	Rúmmál cm <sup>3</sup>	Rúmp. Mg/m <sup>3</sup>	Leiðr festa kN	Sig mm	Hlutfallið festa/sig
<b>Repja 5%</b>	51	120	513,9	2,544	7,22	3,0	2,41
	52	120	516,4	2,532	7,87	3,8	2,07
	53	120	514,3	2,539	7,12	4,3	1,66
	54	116	515,8	2,531	7,05	3,7	1,91
<b>Meðaltal</b>		<b>119</b>	<b>515,1</b>	<b>2,536</b>	<b>7,32</b>	<b>3,7</b>	<b>2,01</b>
<b>Repja 10%</b>	55	118	512,8	2,543	6,39	3,0	2,13
	56	114	510,6	2,557	6,28	2,5	2,51
	57	114	510,7	2,556	6,12	3,0	2,04
	58	114	503,6	2,557	6,36	3,1	2,05
<b>Meðaltal</b>		<b>115</b>	<b>509,4</b>	<b>2,553</b>	<b>6,29</b>	<b>2,9</b>	<b>2,18</b>

Þáttur	Eining	Aths.	Meiri hiti		Minni hiti	
			Rb 5%	Rb 10%	Rb 5%	Rb 10%
Bindiefni	p%	Vigtað	6,0	6,0	6,0	6,0
Rúmpýngd sívalninga	kg/m <sup>3</sup>	Mæld	2557	2558	2536	2553
Rúmpýngd malbiks	kg/m <sup>3</sup>	Mæld	2633	2624	2628	2636
Rúmpýngd repjubiks	kg/m <sup>3</sup>	Gefin	1015	1010	1015	1010
Rúmpýngd steina	kg/m <sup>3</sup>	Reiknuð	2931	2922	2925	2938
Rúmmál repjubiks	rm%	Reiknað	15,1	15,2	15,0	15,2
Rúmmál fylliefna	rm%	Reiknað	82,0	82,3	81,5	81,7
Rm holr. í steingind	rm%	Reiknað	18,0	17,7	18,5	18,3
Rúmmál hola	rm%	Reiknað	2,9	2,5	3,5	3,2



Nýsköpunarmiðstöð  
Íslands

**Rúmmál og rúmpyngd vegna kleyfnitogþols.  
Malbikssívalningar úr biki með 5 % repju. Heit blöndun.  
Björgunarefni með 5,0 % bindiefni.**

<i>Blanda</i>	<i>Merki</i>	<i>Meðal- hæð mm</i>	<i>Meðal- þvermál mm</i>	<i>Rúm- mál cm<sup>3</sup></i>	<i>Þurr sívaln. g</i>	<i>Rúmp. kg/m<sup>3</sup> g</i>
<b><i>Samanburðarsívalningar, þurrir</i></b>						
	3	64,5	101,3	519,7	1163,3	2238
	4	64,7	101,2	520,5	1171,6	2251
	6	64,5	101,3	520,3	1171,5	2252
	8	63,9	101,2	513,4	1159,5	2258
	10	64,2	101,5	519,8	1157,9	2228
	Meðaltal	64,4	101,3	518,7	1164,8	2245
	St.frávik	0,3	0,1	3,0	6,5	12
<b><i>Sívalningar fyrir vatnsmettun, þurrir</i></b>						
	1	63,9	101,4	516,5	1163,4	2253
	2	63,7	102,0	520,2	1168,3	2246
	5	64,4	101,2	517,4	1167,1	2256
	7	64,2	101,3	517,0	1160,4	2244
	9	64,0	101,3	516,2	1168,8	2264
	Meðaltal	64,0	101,4	517,4	1165,6	2253
	St.frávik	0,2	0,3	1,6	3,6	8
<b><i>Sívalningar eftir vatnsmettun, votir</i></b>						
	Rúmmál má ekki aukast meira en 2%			<b><i>Rúmmálsaukning</i></b>		
				<b><i>cm<sup>3</sup></i></b>	<b><i>rm%</i></b>	
	1	64,1	101,5	517,9	1,5	0,3
	2	63,7	101,9	519,3	-0,9	-0,2
	5	64,4	101,3	518,8	1,5	0,3
	7	64,1	101,3	516,2	-0,9	-0,2
	9	64,2	101,5	519,2	3,0	0,6
	Meðaltal	64,1	101,5	518,3	0,8	0,2
	St.frávik	0,3	0,2	1,3	1,7	0,3



Nýsköpunarmiðstöð  
Íslands

**Rúmmál og rúmpyngd vegna kleyfnitogþols  
Malbikssívalningar úr biki með 10 % repju. Heit blöndun.  
Björgunarefni með 5,0 % bindiefni.**

<i>Blanda</i>	<i>Merki</i>	<i>Meðal- hæð mm</i>	<i>Meðal- þvermál mm</i>	<i>Rúm- mál cm<sup>3</sup></i>	<i>Þurr sívaln. g</i>	<i>Rúmp. kg/m<sup>3</sup> g</i>
<b><i>Samanburðarsívalningar, þurrir</i></b>						
	11	63,7	101,5	514,9	1168,2	2269
	15	64,5	101,2	518,5	1169,4	2255
	16	64,1	101,2	515,3	1161,7	2254
	17	64,3	101,3	517,9	1168,3	2256
	18	64,5	101,2	518,6	1129,4	2178
	Meðaltal	64,2	101,3	517,0	1159,4	2259
	St.frávik	0,3	0,1	1,8	17,0	7
<b><i>Sívalningar fyrir vatnsmettun, þurrir</i></b>						
	12	63,9	101,0	512,5	1162,0	2267
	13	64,0	101,1	512,9	1164,2	2270
	14	63,6	101,3	512,6	1161,6	2266
	19	61,8	101,1	496,0	1131,9	2282
	20	63,5	101,2	510,1	1164,3	2282
	Meðaltal	63,4	101,1	508,8	1156,8	2274
	St.frávik	0,9	0,1	7,3	14,0	8
<b><i>Sívalningar eftir vatnsmettun, votir</i></b>						
	Rúmmál má ekki aukast meira en 2%			<b><i>Rúmmálsaukning</i></b>		
					<b><i>cm<sup>3</sup></i></b>	<b><i>rm%</i></b>
	12	63,8	101,2	512,6	0,1	0,0
	13	64,1	101,1	513,7	0,8	0,2
	14	64,3	101,2	517,4	4,7	0,9
	19	62,1	101,0	497,5	1,5	0,3
	20	63,7	101,4	514,2	4,1	0,8
	Meðaltal	63,6	101,2	511,1	2,2	0,4
	St.frávik	0,9	0,2	7,8	2,0	0,4



## Kleyfnitogþol malbikssívalninga

### Sívalningar úr biki með 5 og 10% repju og Björgunarefni. Heit blöndun.

Vatnsnæmi malbiks skv. ÍST EN 12697-12:2003

Sívalningur	Brotálag kN	Brotlína	Hæð mm	Þvermál mm	ITS, kleyfnitogþol Stakar kPa	Meðal	ITSR
<b>Björgunarefni með biki með 5% repju. Bindefni 5,0%</b>							
<i>Þurrir</i>							
3	5,67	H	64,5	101,3	552		
4	5,47	B	64,7	101,2	532		
6	5,39	H	64,5	101,3	525		
8	6,05	B	63,9	101,2	596		
10	4,68	B	64,2	101,5	457	532	
<i>Vatnsmettaðir</i>							
1	4,99	H	64,1	101,5	489		
2	5,23	A	63,7	101,9	513		
5	4,71	H	64,4	101,3	460		
7	5,40	B	64,1	101,3	530		
9	4,42	H	64,2	101,5	432	485	
							<b>91</b>

<b>Björgunarefni með biki með 10% repju. Bindefni 5,0%</b>							
<i>Þurrir</i>							
11	2,70	A	63,7	101,5	266		
15	3,57	H	64,5	101,2	348		
16	3,96	H	64,1	101,2	389		
17	3,64	A	64,3	101,3	356		
18	4,11	H	64,5	101,2	401	352	
<i>Vatnsmettaðir</i>							
12	2,48	H	63,8	101,2	245		
13	1,70	H	64,1	101,1	167		
14	2,83	A	64,3	101,2	277		
19	2,78	H	62,1	101,0	282		
20	2,89	H	63,7	101,4	285	251	
							<b>71</b>

#### **Aths.:**

Kleyfnitogþol:  $ITS = 2 \cdot P / (\pi \cdot D \cdot H)$

ITS = kleyfnitogþol, GPa (Hér gefið sem kPa =  $1/10^6$  GPa); w=vot/d=þurr

P = mesta brotálag, kN; D = þvermál sýnis, mm; H = hæð sýnis, mm

Togþolshlutfall (Indirect tensile strength ratio):  $ITSR = 100 \cdot ITS_w / ITS_d$

Brotlína í kjarna: Hrein (clear tensile break). - Aflöguð (deformation) - Blönduð (combination)

Votir kjarnar í vatnsbaði við 30°C í um 72 tíma. Allir kjarnar voru prófaðir við 10°C.

## **Viðauki 5**

### **Vatnsnæmi malbiks prófað með nýjum efnum**





### Vatnsnæmi malbiks skv. ÍST EN 12697-12:2003

Malbikssívalningar gerðir á Nýsköpunarmiðstöð  
Malbik: 0-16 mm Durasplitt og hreinu biki 160/220

Steinefni: Durasplitt

Bindiefni: Stungubik 160/220 hreint.

<b>Vatnsnæmi, ITRS</b>						
Sívalningur	Brot-álag	Brot-lína	Hæð	Þvermál	ITS, kleyfnitogþol	
					Stakar	Meðal
<i>Þurrir</i>						
11	4,48	H	65,6	99,7	436	
15	4,05	H	66,0	99,5	392	
16	4,43	B	65,9	99,6	430	
17	4,44	H	66,1	99,6	430	422
<i>Vatnsmettaðir</i>						
12	3,97	H	66,0	99,5	385	
13	3,87	H	65,6	99,6	377	
14	4,45	B	66,0	99,7	431	
19	4,87	B	65,7	99,6	474	417
						<b>99</b>

<b>Stærðir</b>							
Sívalningur	Hæð	Þvermál	Rúmmál	Þurrþyngd	Þurr rúmpyngd	Meðal-rúmp.	Holrúm m.v. 2551
	mm	mm	cm <sup>3</sup>	g	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>
<i>Þurrir</i>							
11	65,6	99,7	511,6	1236,1	2416		
15	66,0	99,5	513,5	1243,1	2421		
16	65,9	99,6	512,7	1243,7	2426		
17	66,1	99,6	514,8	1245,1	2419	<b>2420</b>	<b>5,1</b>
<i>Þeir sem voru vatnsmettaðir</i>							
12	66,0	99,5	512,6	1245,0	2429		
13	65,6	99,6	510,8	1240,0	2428		
14	66,0	99,7	514,9	1246,0	2420		
19	65,7	99,6	512,2	1241,6	2424	<b>2425</b>	<b>4,9</b>
Rúmpyngd malbiks reiknast 2551 kg/m <sup>3</sup>							

#### Aths.

Malbik var handblandað í hvern sívalning sem þjappaður var í snúðþjöppu.

Kleyfnitogþol:  $ITS = 2 \cdot P / (\pi \cdot D \cdot H)$

ITS = kleyfnitogþol, GPa (Hér gefið sem kPa = 1/10<sup>6</sup> GPa); w = vot/d = þurr

P = mesta brotálag, kN; D = þvermál sýnis, mm; H = hæð sýnis, mm

Togþolshlutfall (Indirect tensile strength ratio):  $ITSR = 100 \cdot ITS_w / ITS_d$

Brotlína í kjarna: Hrein (clear tensile break). - Aflöguð (deformation) - Blönduð (combination)

Votir kjarnar í vatnsbaði við 30°C í um 72 tíma. Allir kjarnar voru prófaðir við 25°C.



**Vatnsnæmi malbiks skv. ÍST EN 12697-12:2003**  
**Malbikssívalningar gerðir á Nýsköpunarmiðstöð**  
**Malbik: 0-16 mm Durasplitt með 0,25% Wetfix AP17 í biki 160/220**

**Steinefni: Durasplitt**

**Bindiefni: Stungubik 160/220 með Wetfix AP17, 0,25 þ% bindiefnis.**

<b>Vatnsnæmi, ITRS</b>						
<i>Sívalningur</i>	<i>Brot-álag</i>	<i>Brot-lína</i>	<i>Hæð</i>	<i>Þvermál</i>	<i>ITS, kleyfnitogþol</i>	<i>ITSR</i>
					<i>Stakar</i>	<i>Meðal</i>
<i>Þurrir</i>						
21	4,86	A	65,9	99,5	472	
24	5,30	H	65,9	99,5	514	
25	4,38	H	65,9	99,5	425	
26	4,76	H	66,1	99,6	461	468
<i>Vatnsmettaðir</i>						
22	4,98	H	65,9	99,6	483	
23	5,02	B	66,1	99,8	484	
27	4,89	H	66,1	99,5	473	
28	4,31	B	65,9	99,5	419	465
						<b>99</b>

<b>Stærðir</b>							
<i>Sívalningur</i>	<i>Hæð</i>	<i>Þvermál</i>	<i>Rúmmál</i>	<i>Þurrþyngd</i>	<i>Þurr rúmpyngd</i>	<i>Meðal-rúmp.</i>	<i>Holrúm m.v. 2551</i>
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>g</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>
<i>Þurrir</i>							
21	65,9	99,5	513,0	1239,3	2416		
24	65,9	99,5	512,4	1241,7	2423		
25	65,9	99,5	512,4	1241,2	2422		
26	66,1	99,6	514,5	1243,2	2416	<b>2420</b>	<b>5,2</b>
<i>Þeir sem voru vatnsmettaðir</i>							
22	65,9	99,6	513,2	1242,2	2420		
23	66,1	99,6	515,2	1243,5	2414		
27	66,1	99,5	513,5	1245,4	2426		
28	65,9	99,5	512,4	1241,4	2423	<b>2421</b>	<b>5,1</b>
Rúmpyngd malbiks reiknast 2551 kg/m <sup>3</sup>							

**Aths.**

Malbik var handblandað í hvern sívalning sem þjappaður var í snúðþjöppu.

Kleyfnitogþol:  $ITS = 2 \cdot P / (\pi \cdot D \cdot H)$

ITS = kleyfnitogþol, GPa (Hér gefið sem kPa =  $1/10^6$  GPa);  $w = \text{vot}/d = \text{þurr}$

P = mesta brotálag, kN; D = þvermál sýnis, mm; H = hæð sýnis, mm

Togþolshlutfall (Indirect tensile strength ratio):  $ITSR = 100 \cdot ITS_w / ITS_d$

Brotlína í kjarna: Hrein (clear tensile break). - Aflöguð (deformation) - Blönduð (combination)

Votir kjarnar í vatnsbaði við 30°C í um 72 tíma. Allir kjarnar voru prófaðir við 25°C.



**Vatnsnæmi malbiks skv. ÍST EN 12697-12:2003**  
**Malbikssívalningar gerðir á Nýsköpunarmiðstöð**  
**Malbik: 0-16 mm Durasplitt með 0,3% Stardope 130P í biki 160/220**

**Steinefni: Durasplitt**

**Bindiefni: Stungubik 160/220 með Stardope 130P, 0,3 þ% bindiefnis.**

<b>Vatnsnæmi, ITRS</b>						
<b>Sívalningur</b>	<b>Brotálag</b>	<b>Brotlína</b>	<b>Hæð</b>	<b>Þvermál</b>	<b>ITS, kleyfnitogþol Stakar</b>	<b>ITSR Meðal</b>
<i>Þurrir</i>						
2	4,53	H	65,5	99,5	442	
3	3,73	B	65,6	99,6	364	
6	3,97	B	65,7	99,7	386	
7	4,39	A	65,9	99,5	426	405
<i>Vatnsmettaðir</i>						
1	4,00	H	65,4	99,3	392	
4	3,78	H	65,8	99,6	367	
5	4,45	H	65,4	99,6	435	
8	3,89	H	65,9	99,5	378	393
						<b>97</b>

<b>Stærðir</b>							
<b>Sívalningur</b>	<b>Hæð</b>	<b>Þvermál</b>	<b>Rúmmál</b>	<b>Þurrþyngd</b>	<b>Þurr rúmpyngd</b>	<b>Meðal-rúmp.</b>	<b>Holrúm m.v. 2551</b>
	<i>mm</i>	<i>mm</i>	<i>cm<sup>3</sup></i>	<i>g</i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/m<sup>3</sup></i>	<i>kg/m<sup>3</sup>*</i>
<i>Þurrir</i>							
2	65,5	99,5	509,5	1242,3	2438		
3	65,6	99,6	510,4	1240,9	2431		
6	65,7	99,7	512,6	1242,5	2424		
7	65,9	99,5	512,8	1243,5	2425	<b>2430</b>	<b>4,8</b>
<i>Þeir sem voru vatnsmettaðir</i>							
1	65,4	99,3	506,8	1238,4	2443		
4	65,8	99,6	512,2	1242,6	2426		
5	65,4	99,6	509,2	1245,5	2446		
8	65,9	99,5	512,1	1243,9	2429	<b>2436</b>	<b>4,5</b>

\* Rúmpyngd malbiks reiknast 2551 kg/m<sup>3</sup>

**Aths.**

Malbik var handblandað í hvern sívalning sem þjappaður var í snúðþjöppu.

Kleyfnitogþol:  $ITS = 2 \cdot P / (\pi \cdot D \cdot H)$

ITS = kleyfnitogþol, GPa (Hér gefið sem kPa = 1/10<sup>6</sup> GPa); w = vot/d = þurr

P = mesta brotálag, kN; D = þvermál sýnis, mm; H = hæð sýnis, mm

Togþolshlutfall (Indirect tensile strength ratio):  $ITSR = 100 \cdot ITS_w / ITS_d$

Brotlína í kjarna: Hrein (clear tensile break). - Aflöguð (deformation) - Blönduð (combination)

Votir kjarnar í vatnsbaði við 30°C í um 72 tíma. Allir kjarnar voru prófaðir við 25°C.

## Viðauki 6

### Reiknuð holrýmd og rúmþyngd úr snúðþjöppu

ICT snúðþjappa: Reiknuð rúmpýngd malbiks við þjöppun, kg/m<sup>3</sup>

SL11 Seljadalur - Bik 160/220 með 0,3% Weflix BE

2009-02-03

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 120°C				Heitt, 140°C		Volgt, 120°C		Munur H-V
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	2223	2248	2221	2219	2207	2221	2267	2225	2228	14	2230	26	-2
5	2242	2268	2240	2238	2226	2240	2286	2245	2247	14	2249	26	-2
6	2260	2285	2256	2256	2242	2259	2303	2261	2264	14	2266	26	-2
8	2287	2311	2282	2282	2268	2285	2327	2286	2291	14	2292	25	-1
10	2307	2331	2303	2304	2290	2305	2348	2307	2311	13	2313	25	-1
12	2325	2349	2320	2321	2307	2323	2366	2324	2329	14	2330	25	-1
16	2354	2377	2349	2349	2334	2350	2393	2352	2357	13	2357	25	0
20	2377	2399	2372	2372	2356	2372	2413	2373	2380	13	2379	24	2
25	2399	2420	2394	2396	2379	2394	2434	2396	2402	12	2401	23	2
32	2425	2444	2420	2420	2403	2418	2457	2420	2427	11	2425	23	3
40	2448	2466	2441	2443	2423	2441	2479	2441	2450	11	2446	24	4
50	2472	2488	2463	2464	2446	2461	2499	2462	2472	12	2467	23	5
64	2495	2510	2486	2488	2470	2484	2520	2484	2495	11	2490	21	5
80	2518	2531	2507	2508	2492	2505	2539	2505	2516	11	2510	20	6
100	2539	2550	2527	2527	2510	2525	2558	2525	2536	11	2530	20	6
128	2562	2572	2550	2548	2533	2548		2546	2558	11	2542	8	16
160			2568	2566	2552	2568		2564	2567	1	2561	8	6
200					2570			2582			2576	8	
256													
320													

SL11 Seljadalur - Bik 160/220 með 0,3% Stardope 130P

2009-02-04

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 114°C				Heitt, 140°C (2-4)		Volgt, 114°C		Munur H-V
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	2215	2252	2236	2230	2229	2236	2216	2220	2239	11	2225	9	14
5	2234	2270	2256	2249	2248	2255	2237	2241	2258	11	2245	8	13
6	2251	2285	2271	2266	2263	2272	2253	2257	2274	10	2261	8	13
8	2278	2312	2298	2292	2289	2299	2281	2285	2301	10	2289	8	12
10	2298	2333	2318	2313	2310	2321	2301	2305	2321	10	2309	9	12
12	2318	2349	2336	2329	2328	2339	2320	2325	2338	10	2328	8	10
16	2345	2376	2364	2357	2355	2367	2349	2352	2366	10	2356	8	10
20	2368	2398	2387	2377	2377	2389	2371	2374	2387	11	2378	8	10
25	2390	2420	2410	2399	2399	2413	2394	2396	2410	11	2401	9	9
32	2414	2445	2434	2421	2423	2437	2418	2418	2433	12	2424	9	9
40	2437	2466	2454	2443	2446	2459	2441	2439	2454	12	2446	9	8
50	2459	2488	2475	2464	2468	2481	2463	2459	2476	12	2468	10	8
64	2482	2512	2497	2488	2492	2505	2486	2483	2499	12	2492	10	8
80	2503	2533	2520	2508	2512	2527	2509	2501	2520	13	2512	11	8
100	2525	2554	2541	2529	2533	2548	2527	2520	2541	13	2532	12	9
128	2548	2578	2562	2550	2554	2570	2550	2541	2563	14	2554	12	10
160	2568	2598	2582	2568	2574	2588	2568	2558	2583	15	2572	13	11
200	2586			2586	2590		2586	2574	2586		2583	8	3
256								2592			2592		
320													

SL11 Seljadalur - Bik 160/220 með 3,0% Sasobit

2009-02-05

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 110°C				Heitt, 140°C		Volgt, 110°C		Munur H-V
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	2216	2216	2239	2235	2206	2213	2225	2202	2227	12	2212	10	15
5	2235	2234	2258	2255	2225	2232	2244	2220	2246	13	2230	10	15
6	2252	2249	2273	2270	2241	2250	2261	2238	2261	12	2248	10	14
8	2279	2275	2300	2295	2268	2276	2288	2263	2287	12	2274	11	14
10	2301	2297	2320	2315	2290	2298	2310	2285	2308	11	2296	11	13
12	2318	2314	2338	2331	2307	2315	2328	2302	2325	11	2313	11	12
16	2347	2342	2366	2357	2336	2344	2357	2331	2353	11	2342	11	11
20	2371	2363	2389	2379	2359	2366	2381	2352	2376	11	2365	12	11
25	2393	2385	2412	2399	2381	2388	2401	2374	2397	11	2386	12	11
32	2418	2409	2438	2424	2406	2413	2427	2397	2422	12	2411	13	12
40	2441	2430	2461	2445	2429	2434	2448	2420	2444	13	2433	12	12
50	2463	2451	2483	2464	2450	2455	2470	2441	2465	13	2454	12	11
64	2486	2475	2507	2488	2473	2479	2494	2464	2489	13	2478	13	12
80	2509	2495	2527	2509	2494	2499	2514	2486	2510	13	2498	12	12
100	2529	2514	2548	2529	2514	2518	2533	2505	2530	14	2518	12	13
128	2550	2535	2570	2550	2535	2539	2554	2527	2551	14	2539	11	13
160	2570	2554	2588	2570	2554	2558	2572	2545	2571	14	2557	11	13
200	2588	2572		2588	2572	2576	2590	2562	2583	9	2575	12	8
256		2590			2590	2596		2578	2590		2588	9	2
320								2592			2592		

SL11 Seljadalur - Bindiefni var bik 160/220 : repjuolia = 94,5p% : 5,5 p%

2009-02-06

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 110°C				Heitt, 140°C		Volgt, 110°C		Munur H-V
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	2237	2241	2244	2234	2230	2215	2223	2235	2239	4	2226	9	13
5	2253	2260	2262	2253	2250	2234	2242	2253	2257	5	2245	9	12
6	2270	2276	2278	2268	2265	2250	2257	2270	2273	5	2261	9	13
8	2296	2301	2303	2295	2291	2276	2285	2296	2299	4	2287	9	12
10	2318	2323	2322	2315	2313	2296	2305	2317	2320	4	2308	9	12
12	2336	2339	2339	2333	2331	2314	2323	2335	2337	3	2326	9	11
16	2364	2367	2366	2361	2359	2339	2352	2362	2365	3	2353	10	12
20	2386	2389	2388	2382	2381	2361	2374	2384	2386	3	2375	10	11
25	2410	2410	2408	2403	2403	2381	2398	2405	2408	3	2397	11	11
32	2434	2434	2432	2427	2427	2405	2422	2429	2432	3	2421	11	11
40	2457	2455	2454	2448	2448	2425	2443	2450	2454	4	2442	11	12
50	2479	2475	2475	2470	2470	2445	2464	2472	2475	4	2463	12	12
64	2503	2499	2499	2494	2492	2468	2486	2496	2499	4	2486	12	13
80	2524	2520	2520	2514	2512	2488	2507	2516	2520	4	2506	12	14
100	2543	2541	2539	2533	2533	2509	2525	2535	2539	4	2526	12	14
128	2564	2564	2562	2556	2554	2529	2546	2554	2562	4	2546	12	16
160	2582	2584	2580	2574	2574	2548	2566	2572	2580	4	2565	12	15
200						2568	2584	2590			2581	11	
256						2588					2588		
320													

## ICT snúðþjappa: Reiknuð holrýmd malbiks við þjöppun, rm%, m.v. 2611 kg/m3

SL11 Seljadalur - Bik 160/220 með 0,3% Wetfix BE

2009-02-03

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 120°C				Heitt, 140°C		Volgt, 120°C		Munur H-V
	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	14,86	13,90	14,94	15,01	15,47	14,94	13,18	14,78	14,68	0,52	14,59	0,99	0,09
5	14,13	13,14	14,21	14,29	14,75	14,21	12,45	14,02	13,94	0,54	13,85	0,99	0,09
6	13,44	12,49	13,60	13,60	14,13	13,48	11,80	13,40	13,28	0,53	13,20	0,99	0,08
8	12,41	11,49	12,60	12,60	13,14	12,49	10,88	12,45	12,27	0,53	12,24	0,96	0,04
10	11,64	10,72	11,80	11,76	12,29	11,72	10,07	11,64	11,48	0,51	11,43	0,95	0,05
12	10,95	10,03	11,15	11,11	11,64	11,03	9,38	10,99	10,81	0,52	10,76	0,97	0,05
16	9,84	8,96	10,03	10,03	10,61	10,00	8,35	9,92	9,72	0,51	9,72	0,96	0,00
20	8,96	8,12	9,15	9,15	9,77	9,15	7,58	9,12	8,85	0,49	8,90	0,93	-0,06
25	8,12	7,32	8,31	8,23	8,89	8,31	6,78	8,23	8,00	0,46	8,05	0,90	-0,06
32	7,12	6,40	7,32	7,32	7,97	7,39	5,90	7,32	7,04	0,44	7,14	0,88	-0,11
40	6,24	5,55	6,51	6,43	7,20	6,51	5,06	6,51	6,19	0,44	6,32	0,90	-0,13
50	5,32	4,71	5,67	5,63	6,32	5,74	4,29	5,71	5,33	0,44	5,52	0,86	-0,18
64	4,44	3,87	4,79	4,71	5,40	4,86	3,49	4,86	4,45	0,42	4,65	0,82	-0,20
80	3,56	3,06	3,98	3,94	4,56	4,06	2,76	4,06	3,64	0,43	3,86	0,77	-0,22
100	2,76	2,34	3,22	3,22	3,87	3,29	2,03	3,29	2,88	0,42	3,12	0,78	-0,24
128	1,88	1,49	2,34	2,41	2,99	2,41	2,49	2,49	2,03	0,43	2,63	0,31	-0,60
160			1,65	1,72	2,26	1,65		1,80	1,69	0,05	1,90	0,32	-0,22
200					1,57			1,11			1,34	0,32	
256													
320													

SL11 Seljadalur - Bik 160/220 með 0,3% Stardope 130P

2009-02-04

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 114°C				Heitt, 140°C (2-4)		Volgt, 114°C		Munur H-V
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	15,17	13,75	14,36	14,59	14,63	14,36	15,13	14,98	14,23	0,44	14,77	0,34	-0,54
5	14,44	13,06	13,60	13,86	13,90	13,63	14,32	14,17	13,51	0,41	14,01	0,30	-0,50
6	13,79	12,49	13,02	13,21	13,33	12,98	13,71	13,56	12,91	0,38	13,40	0,32	-0,49
8	12,75	11,45	11,99	12,22	12,33	11,95	12,64	12,49	11,89	0,39	12,35	0,30	-0,47
10	11,99	10,65	11,22	11,41	11,53	11,11	11,87	11,72	11,09	0,40	11,56	0,33	-0,46
12	11,22	10,03	10,53	10,80	10,84	10,42	11,15	10,95	10,46	0,39	10,84	0,31	-0,38
16	10,19	9,00	9,46	9,73	9,80	9,35	10,03	9,92	9,40	0,37	9,78	0,30	-0,38
20	9,31	8,16	8,58	8,96	8,96	8,50	9,19	9,08	8,57	0,40	8,93	0,30	-0,37
25	8,46	7,32	7,70	8,12	8,12	7,58	8,31	8,23	7,71	0,40	8,06	0,33	-0,35
32	7,55	6,36	6,78	7,28	7,20	6,66	7,39	7,39	6,80	0,46	7,16	0,34	-0,36
40	6,66	5,55	6,01	6,43	6,32	5,82	6,51	6,59	6,00	0,44	6,31	0,34	-0,31
50	5,82	4,71	5,21	5,63	5,48	4,98	5,67	5,82	5,18	0,46	5,49	0,37	-0,30
64	4,94	3,79	4,37	4,71	4,56	4,06	4,79	4,90	4,29	0,46	4,58	0,37	-0,29
80	4,14	2,99	3,49	3,94	3,79	3,22	3,91	4,21	3,47	0,48	3,78	0,42	-0,31
100	3,29	2,18	2,68	3,14	2,99	2,41	3,22	3,49	2,67	0,48	3,03	0,46	-0,36
128	2,41	1,26	1,88	2,34	2,18	1,57	2,34	2,68	1,83	0,54	2,19	0,46	-0,37
160	1,65	0,50	1,11	1,65	1,42	0,88	1,65	2,03	1,09	0,57	1,49	0,48	-0,41
200	0,96		0,96	0,96	0,80		0,96	1,42	0,96	0,57	1,06	0,32	-0,10
256								0,73			0,73		
320													

SL11 Seljadalur - Bik 160/220 með 3,0% Sasobit

2009-02-05

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 110°C				Heitt, 140°C		Volgt, 110°C		Munur H-V
	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	15,13	15,13	14,25	14,40	15,51	15,24	14,78	15,66	14,73	0,47	15,30	0,39	-0,57
5	14,40	14,44	13,52	13,63	14,78	14,52	14,06	14,98	14,00	0,49	14,58	0,40	-0,58
6	13,75	13,86	12,95	13,06	14,17	13,83	13,40	14,29	13,40	0,47	13,92	0,40	-0,52
8	12,72	12,87	11,91	12,10	13,14	12,83	12,37	13,33	12,40	0,46	12,92	0,42	-0,52
10	11,87	12,03	11,15	11,34	12,29	11,99	11,53	12,49	11,60	0,42	12,07	0,42	-0,48
12	11,22	11,37	10,46	10,72	11,64	11,34	10,84	11,83	10,94	0,43	11,41	0,43	-0,47
16	10,11	10,30	9,38	9,73	10,53	10,23	9,73	10,72	9,88	0,41	10,30	0,43	-0,42
20	9,19	9,50	8,50	8,89	9,65	9,38	8,81	9,92	9,02	0,43	9,44	0,47	-0,42
25	8,35	8,66	7,62	8,12	8,81	8,54	8,04	9,08	8,19	0,44	8,62	0,44	-0,43
32	7,39	7,74	6,63	7,16	7,85	7,58	7,05	8,20	7,23	0,47	7,67	0,48	-0,44
40	6,51	6,93	5,74	6,36	6,97	6,78	6,24	7,32	6,39	0,49	6,83	0,45	-0,44
50	5,67	6,13	4,90	5,63	6,17	5,97	5,40	6,51	5,58	0,51	6,01	0,46	-0,43
64	4,79	5,21	3,98	4,71	5,29	5,06	4,48	5,63	4,67	0,51	5,11	0,48	-0,44
80	3,91	4,44	3,22	3,91	4,48	4,29	3,72	4,79	3,87	0,50	4,32	0,45	-0,45
100	3,14	3,72	2,41	3,14	3,72	3,56	2,99	4,06	3,10	0,53	3,58	0,45	-0,48
128	2,34	2,91	1,57	2,34	2,91	2,76	2,18	3,22	2,29	0,55	2,77	0,43	-0,48
160	1,57	2,18	0,88	1,57	2,18	2,03	1,49	2,53	1,55	0,53	2,06	0,43	-0,51
200	0,88	1,49		0,88	1,49	1,34	0,80	1,88	1,09	0,35	1,38	0,44	-0,29
256		0,80			0,80	0,57		1,26	0,80		0,88	0,35	-0,08
320								0,73			0,73		

SL11 Seljadalur - Bindiefni var bik 160/220 : repjuolia = 94,5p% : 5,5 p%

2009-02-06

Smsýni	Þjöppun við 140°C				Þjöppun við 110°C				Heitt, 140°C		Volgt, 110°C		Munur H-V
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	Meðaltal	Stfrávik	Meðaltal	Stfrávik	
4	14,32	14,17	14,06	14,44	14,59	15,17	14,86	14,40	14,25	0,17	14,75	0,33	-0,51
5	13,71	13,44	13,37	13,71	13,83	14,44	14,13	13,71	13,56	0,18	14,03	0,33	-0,47
6	13,06	12,83	12,75	13,14	13,25	13,83	13,56	13,06	12,95	0,18	13,42	0,34	-0,48
8	12,06	11,87	11,80	12,10	12,26	12,83	12,49	12,06	11,96	0,15	12,41	0,33	-0,45
10	11,22	11,03	11,07	11,34	11,41	12,06	11,72	11,26	11,16	0,14	11,61	0,36	-0,45
12	10,53	10,42	10,42	10,65	10,72	11,37	11,03	10,57	10,50	0,11	10,92	0,36	-0,42
16	9,46	9,35	9,38	9,57	9,65	10,42	9,92	9,54	9,44	0,10	9,88	0,39	-0,44
20	8,62	8,50	8,54	8,77	8,81	9,57	9,08	8,69	8,61	0,12	9,04	0,39	-0,43
25	7,70	7,70	7,77	7,97	7,97	8,81	8,16	7,89	7,78	0,13	8,21	0,42	-0,42
32	6,78	6,78	6,86	7,05	7,05	7,89	7,24	6,97	6,87	0,13	7,29	0,42	-0,42
40	5,90	5,97	6,01	6,24	6,24	7,12	6,43	6,17	6,03	0,15	6,49	0,44	-0,46
50	5,06	5,21	5,21	5,40	5,40	6,36	5,63	5,32	5,22	0,14	5,68	0,47	-0,46
64	4,14	4,29	4,29	4,48	4,56	5,48	4,79	4,40	4,30	0,14	4,81	0,47	-0,51
80	3,33	3,49	3,49	3,72	3,79	4,71	3,98	3,64	3,50	0,16	4,03	0,47	-0,53
100	2,60	2,68	2,76	2,99	2,99	3,91	3,29	2,91	2,76	0,17	3,27	0,45	-0,52
128	1,80	1,80	1,88	2,11	2,18	3,14	2,49	2,18	1,90	0,14	2,50	0,45	-0,60
160	1,11	1,03	1,19	1,42	1,42	2,41	1,72	1,49	1,19	0,17	1,76	0,45	-0,57
200						1,65	1,03	0,80			1,16	0,44	
256						0,88					0,88		
320													