



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands



Samanburður á slit- og skriðeiginleikum íslensks malbiks

Áhrif sements í filler á skriðeiginleika malbiks

Áfangaskýrsla IV

Pétur Pétursson

Skýrsla til rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar, mars 2012

Efnisyfirlit

1. Inngangur.....	3
2. Verkefnið	3
3. Prófunaraðferð og framkvæmd.....	5
4. Niðurstöður	6
5. Umræða.....	11
Heimildir, staðlar og ítarefni:.....	12
VIÐAUKI I – Niðurstöður mælinga	13

1. Inngangur

Á undanförunum árum hafa komið út skýrslur um rannsóknir á íslensku malbiki með nýjum tækjabúnaði sem komið var upp á Nýsköpunarmiðstöð Íslands og uppfyllir nýja Evrópustaðla. Fyrsta skýrslan í þessum flokki hét *Mat á eiginleikum malbiks fyrir íslenskar aðstæður* og kom út árið 2009. Í þessum fyrsta áfanga voru meðal annars gerðar mælingar á skriðeiginleikum sýna af SL malbiki sem tekin voru úr vegi með sögun, svo og samanburður á þeim sýnum og sams konar sýnum sem þjöppuð voru á rannsóknastofu með „roller compactor“. Í öðrum áfanga verkefnisins, sem áfangaskýrsla II frá 2010 fjallar um, var aftur tekið sýni úr vegi, að þessu sinni SMA malbik auk þess sem haldið var áfram að prófa hefðbundnar íslenskar malbiksgerðir. Á þessum tíma hafði Prall- slitþolstækið verið sett upp og voru sýni því bæði prófuð með tilliti til skrið- og sliteiginleika. Þriðja áfangaskýrslan í sama flokki kom út árið 2011 og má segja að í þeim áfanga hafi verið framhald á prófunum á hefðbundnum malbiksblöndum með tilliti til skrið- og sliteiginleika, aðallega á aðsendum sýnum, þjöppuðum á rannsóknastofu.

Samhliða ofangreindum verkefnum kom út skýrsla um svipað leyti um niðurstöður verkefnis sem fjallaði um áhrif bikgerðar á slit- og skriðeiginleika malbiks. Auk þessara skýrslna um rannsóknir á íslensku malbiki kom út skýrsla um áhrif fjölliðubreyttra bikbindiefna á eiginleika malbiks árið 2010 og var hún hluti af námsverkefni við Háskólann í Reykjavík. Einnig má geta þess að Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas hefur lagt út tvo tilraunakafla og mun gefa út skýrslu um prófanir og útlögn þeirra kafla vorið 2012.

Þessi skýrsla fjallar um niðurstöður prófana þar sem megináhersla var lögð á könnun á áhrifum fillerhluta og fillergerðar í malbiki á skriðeiginleika þess. Nýsköpunarmiðstöð Íslands hefur séð um allar prófanir þessa áfanga um skriðeiginleika íslensks malbiks. Reiknað er með að í framhaldinu verði gefin út ítarleg samantekt á því sem gert hefur verið hingað til og mun sú skýrsla væntanlega koma út vorið 2013.

2. Verkefnið

Verkefnið snýr að áframhaldandi rannsóknum á íslensku malbiki í víðum skilningi. Með tilkomu nýrra prófunarstaðla og tækjabúnaðar til malbiksprófana er unnt að mæla ýmsa eiginleika mismunandi malbiksblanda sem nú eru í notkun hérlendis eða þykja vænlegar til notkunar hérlendis, svo sem malbik sem blandað er með fjölliðum og vaxi. Sérstök áhersla hefur verið lögð á að mæla viðnám mismunandi malbiksblendna gegn skriði og sliti og bera saman við kröfuflokka evrópsku framleiðslustaðlanna. Verkefnið er liður í þróun og hönnun íslensks malbiks og munu niðurstöðurnar áfram nýtast við gerð leiðbeininga um malbik fyrir mismunandi umferð og aðstæður. Í verkefnishópi sátu Arnþór Óli Arason, Ásbjörn Jóhannesson og Óskar Örn Jónsson hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Gunnar Bjarnason hjá Vegagerðinni, Halldór Torfason hjá Malbikunarstöðinni Höfða, Sigþór Sigurðsson hjá Malbikunarstöðinni Hlaðbæ-Colas, Theodór Guðfinnsson hjá Reykjavíkurborg og Pétur Pétursson verkefnisstjóri.

Íslenskt slitlagsmalbik (SL) hefur verið með eins lága holrýmd og kostur er til að hindra að vatn nái að síast inn í það, enda var álitnið að ekki væri hætta á að slíkt malbik gæti skriðið til vegna sumarhita svo nokkru næmi við íslenskar aðstæður, án þess að beinar mælingar þar að lútandi hefðu farið fram. Síðar, eða um 1990, var farið að nota steinríkar og slitsterkar malbiksblöndur með trefjum (SMA) og var þá fyrst og fremst notast við erlendar

hönnunaruppskriftir. Slíkt malbik hefur verið notað þar sem umferð er mikil, enda talið hafa mun meiri slitstyrk gagnvart áraun nagladekkja en hefðbundið slitlagsmalbik. Rannsóknir síðustu þriggja ára á skrið- og sliteiginleikum íslensks malbiks hafi leitt í ljós að mælt skrið hefur reynst vera meira en talið hafði verið og mun meira en kröfur nágrannaþjóða leyfa, bæði hvað varðar SL og SMA malbik.

Nauðsynlegt er að nota fínefni í malbik, en það hefur m.a. áhrif á rúmþyngd þess, stöðugleika, styrk og holrýmd. Mikilvægur eiginleiki fínefnis felst í því að það stífir bikið. Gerð þess og magn miðað við bindiefni hefur því mikil áhrif á hversu stíf blandan verður. Stífni malbiks skiptir máli við flutning þess, lagningu og ekki síst vegna álags frá umferð. Á líftíma sínum þarf malbikið síðan að veita nægilegt viðnám gegn varanlegri aflögun (hjólframmyndun) og sliti, en þar ráða stífnieiginleikar þess miklu.

Í þessum fjórða áfanga var steinefnagerð og kornakúrfu yfir 0,063 mm stærðarmörkum haldið eins. Notað var steinefni úr Seljadalsnámu með SL16 kornakúrfu, sjá viðauka I. Malbikið var útbúið og blandað á rannsóknastofu og var bikið af gerðinni PG 160/220 og bikmagnið 5,8 % í öllum tilfellum. Fengið var fillersýni hjá Malbikunarstöðinni Höfða og það notað sem 8 % af því sem smýgur 0,063 mm sigti malbikssýnanna. Einnig var prófað að blanda 3 % sementi í fillerinn, þannig að filler var 5 % í þeim tilfellum. Skriðeiginleikar sýnanna voru síðan prófaðir með hjólfarataekinu (wheel tracking). Það skal tekið fram að gerð fillers getur verið breytileg í malbiki frá einum tíma til annars og ræðst af gerðum þess malbiks sem framleitt er hverju sinni. Uppruni þess fillers sem notast var við í þessu verkefni er að stofninum til úr Björgunarefni, þar sem malbiksframleiðsla á þeim árstíma sem sýnið var tekið er með Björgunarefni. Það skal tekið fram að ekki er vitað hvort aðrar gerðir fillers sem notaðar eru hérlendis hegði sér á annan hátt í malbiki.

Í tengslum við hjólfaraprófin voru gerðar mælingar á kornadreifingu fillers og sements, svo og mælingar á kornarúmþyngd þessara fínefna. Auk þess var holrúm í þjöppuðum filler af mismunandi gerð mælt. Til stóð að kanna áhrif þess að blanda kalki í fillerinn, breyta kornadreifingu grófari hluta steinefnanna, svo og íblöndun mismunandi magns og gerðar bindiefna (biks) á eiginleika malbiks. Af ástæðum, sem getið er um nánar í kafla 4, var þó ákveðið að vinna þá verkþætti ekki á þessu stigi.

Niðurstöður þessa verkefnis eru mikilvægur þáttur í öflun þekkingar og verða notaðar sem innlegg til að setja fram tillögur að breytingum í hönnun íslensks malbiks sem gætu stuðlað að aukinni endingu þess. Mikilvægar upplýsingar fást um breytur sem ástæða væri til að skoða nánar í tilraunaköflum á seinni stigum.

3. Prófunaraðferð og framkvæmd

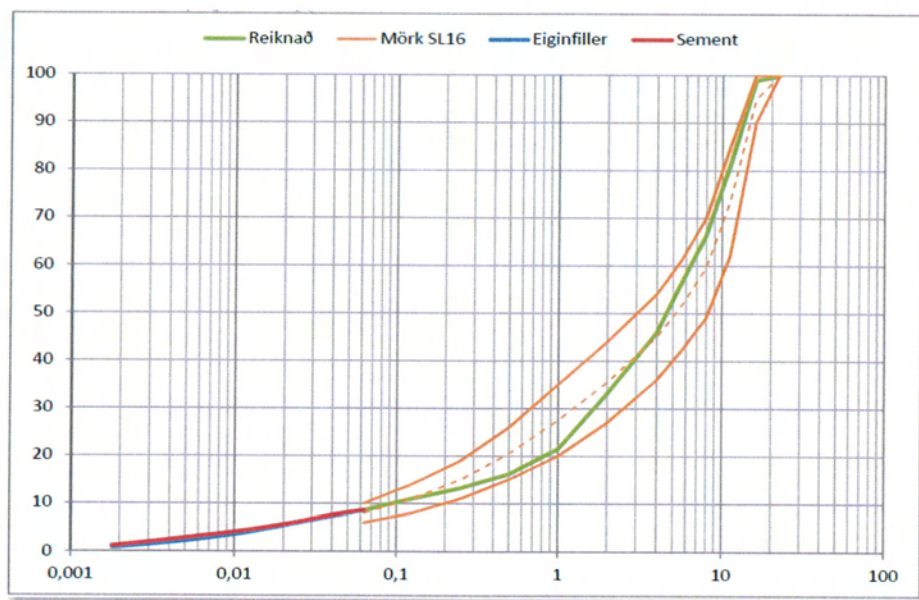
Skriðpróf í hjólfaratæki, eða hjólfarapróf, eru hér gerð samkvæmt staðli ÍST EN 12697-22 *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 22: Wheel tracking*, nánar tiltekið með litlu tæki (aðferð B) í lofti. Prófsýni geta verið heldur tekin úr götu eða þjöppuð á rannsóknastofu. Tæki til þjöppunar á heitum malbikssýnum sem passa í hjólfaratækið er til staðar á Nýsköpunarmiðstöð Íslands og er það í samræmi við staðal ÍST EN 12697-33 *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 33: Specimen prepared by roller compactor*. Þegar malbik er þjappað í þjöppunni er það hitað upp að því hitastigi sem hæfir bikgerðinni, vigtað og sett í mót, gjarnan 300 x 400 mm á kant. Þegar magn er ákvarðað er tekið mið af rúmþyngd malbiksins þannig að það nái ákveðinni þykkt, að teknu tilliti til holrýmdar, að þjöppun lokinni. Þjöppunin felst í því að ávalur stálfótur leggst á sýnið og hnoðar það fram og aftur til að líkja eftir stáltromlu valta. Farið er yfir sýnið alls tíu sinnum með 10 kN álagi á stálfótinn og tekur þjöppun hverrar plötu u.þ.b. 2 mínútur.

Hjólfaraprófið er gert í lokuðum, hitastýrðum skáp. Malbiksplötu er komið fyrir í skápnum og hún látin standa í a.m.k. 4 klst. til að ná prófunarhitastiginu. Í prófinu er gúmmíhjóli sem er 200 mm í þvermál og 50 mm breitt ekið fram og aftur eftir sýninu, alls 10.000 umferðir með 700 N álagi. Hjólið ekur samtals 230 mm í hvora átt á sýninu með hraðanum 26,5 umferðir á mínútu. Mælir skráir reglulega hjólfaradýpt og er einkum stuðst við mæligildin á milli 5.000 og 10.000 umferða. Hafður er stuðningur við hliðar og enda plötunnar meðan á prófun stendur. Samkvæmt prófunarstaðli skal í hverju prófi mæla tvö hlutasýni og gefa upp meðaltal þeirra. Í þessari rannsókn var brugðið frá því og prófuð þrjú hlutasýni í stað tveggja. Hjólfarapróf í þessari rannsókn voru gerð við 45°C, en það er lægsti leyfilegi prófhiti samanber töflu D.1 í viðauka D í staðli um gerðarprófanir á malbiki, ÍST EN 13108-20 *Bituminous mixtures - Material specifications - Part 20: Type Testing*. Að vísu var ein malbiksplata prófuð við lægra hitastig vegna bilunar í tækjabúnaði, en því er haldið til haga sérstaklega og fyrir utan hina eiginlegu rannsókn.

Auk hjólfaraprófsins voru gerðar mælingar á kornadreifingu fillers og sements með laser-aðferð, en einnig mælingar á kornarúmþyngd þessara finefna. Jafnframt því var holrúm í þjöppuðum filler og sementi mælt, skv. ÍST EN 1097-4 *Tests for mechanical properties of aggregates – Part 4: Determination of the voids of dry compacted filler*.

4. Niðurstöður

Eins og fram hefur komið fólst verkefnið í að prófa annars vegar fillers sem fengin var úr malbikunarstöð og var hafður 8 % þyngdar af steinefni og hins vegar 5 % filler með 3 % af íslensku Portlandsementi. Í þessari rannsókn var notast við filler frá Malbikunarstöðinni Höfða og er hann að mestu upprunnin úr Björgunarefni. Grófari hluti samsettu kornakúrfunnar var eins, þ.e.a.s. SL16 með steinefni úr Seljadalsnámu og bindiefnið var eins, PG 160/220, magn bindiefnis var 5,8 % og magn viðloðunarefnisins TPH 0,3 %, sjá viðauka I. Mynd 1 sýnir kornadreifingu steinefna sem notuð voru í þessari rannsókn, en einnig sést á myndinni að kornadreifing fillers og sements er nánast sú sama (mælt með laser-aðferð). Nánar má sjá niðurstöður mælinga á kornastærðum fínefna í viðauka I, en þar kemur m.a. fram að þegar grannt er skoðað er sementið heldur fínkornóttara en fillerinn.



Mynd 1 Kornadreifing steinefna, byggt á sigtun og lasermælingu (fínefnahlutinn)

Kornarúþyngd fillers og sements var mæld og jafnframt var holrúm í þjöppuðum filler og sementi mælt. Fínefni úr hreinu Seljadalsefni var mælt á sama hátt til samanburðar, sjá niðurstöður í töflu 1.

Tafla 1 Niðurstaða mælinga á kornarúþyngd og holrúmi í fínefnum

Fínefnagerð	Kornarúþyngd, Mg/m ³	Holrúm í fínefni, v, %
Filler frá Höfða (Björgun)	2,98	44,8
Portlandsement	3,05	44,4
Fínefni úr Seljadalsefni	3,06	41,8

Það sést á töflu 1 að kornarúþyngdir og holrúm er mjög svipað í öllum tilfellum, en þess má geta að ekki er hefð fyrir því að gera sérstakar mælingar á fínefnahluta malbiksefna hérlendis og því lítið hægt að túlka niðurstöðurnar frekar.

Til stóð að bæta við syrpu með kalki í stað sements og var leitað til sérfræðinga á rannsóknastofu Colas í Danmörku. Eftir fyrirspurnir og svör var horfið frá þeirri hugmynd að kanna áhrif kalks á skriðeiginleika malbiks, þar sem það er tæplega valkostur hér á landi

vegna verðs og vinnuumhverfissjónarmiða (óþrifalegt). Í stað þess var ákveðið að útbúa og prófa þrjár plötur af hvorri gerð í stað tveggja platna, sbr. prófunarstaðal. Tafla 2 sýnir helstu niðurstöður prófana í hjólfaraprófi fyrir þrjár plötur með 8 % filler, þrjár plötur með 5 % filler og 3 % sementi og einni plötu með 8 % filler (F2), þar sem prófhitastig var of lágt.

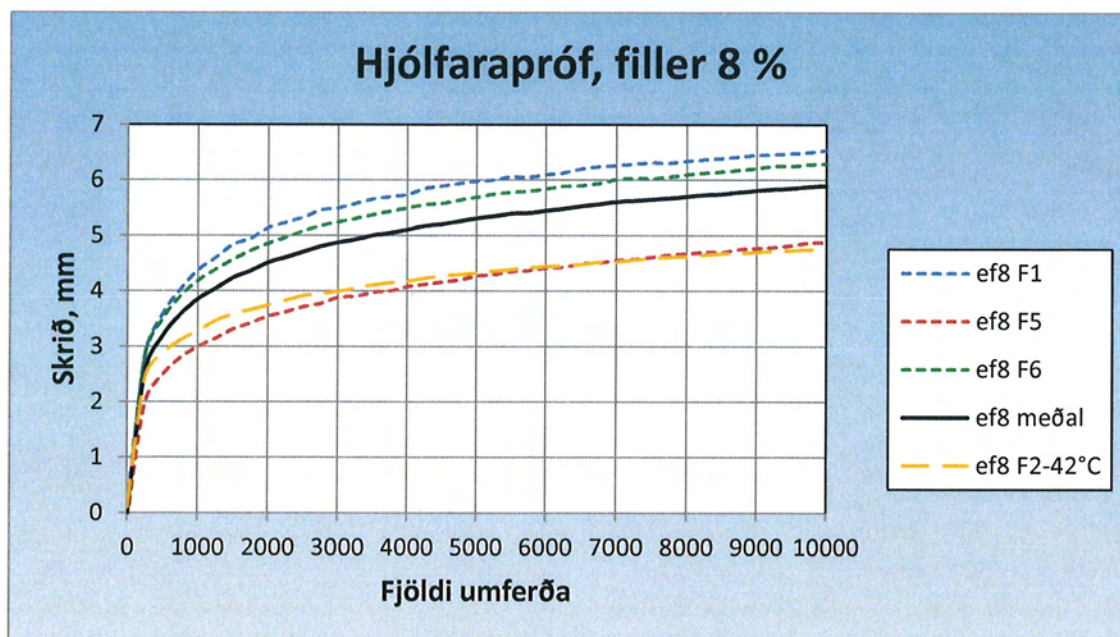
Tafla 2 Helstu niðurstöður prófana í hjólfaraprófi

Hjólfarapróf skv. ÍST EN 12697-22	filler, 8 %				filler 5 %, sement 3 %				*
	F1	F5	F6	Meðaltal	F3	F4	F7	Meðaltal	F2
Sig eftir 5.000 umferðir, mm	6,0	4,4	5,6	5,3	5,8	5,0	5,4	5,4	4,2
Sig eftir 10.000 umferðir, mm (RD _{AIR})	6,5	5,0	6,2	5,9	6,3	5,6	6,3	6,0	4,7
Sig pr. 1.000 umf. síðustu 5.000 umf. (WTS _{AIR})	0,11	0,12	0,12	0,12	0,10	0,11	0,19	0,13	0,09
Heildarsig, % af malbiksþykkt (PRD _{AIR})	12,9	9,9	12,2	11,7	12,4	10,9	12,4	11,9	9,2

* Plata F2 var of köld við prófun (42°C)

Mynd 2 sýnir niðurstöður hjólfaraprófana á þremur plötum, F1, F5 og F6 með 8 % filler og meðaltal þeirra. Auk þess er sýnd mæling á plötu F2, en hún var gerð við of lágt hitastig, eða 42°C og er því ekki tekin með í meðaltalinu. Mælingin er höfð með hér til að halda henni til haga, en einnig til samanburðar við mælingu á plötu F5 sem fær mun minna sig en samanburðarplöturnar tvær. Það er því ekki að sjá að hitastig eða aðrir prófunarþættir hafi verið breytilegir svo nokkru nemi, þó ekki sé hægt að útiloka að einhver óþekktur breytileiki hafi verið til staðar sem skýri að miðplatan fær heldur minna sig en hinar tvær. Miðað við þá vitneskju sem liggur fyrir verður því að gera ráð fyrir að munur milli keyrslna geti verið umtalsverður, eða eins og í þessu tilfelli allt að 15 % frá meðaltali þriggja keyrslna.

Benda má á að í 1. áfanga malbiksrannsókna var prófuð syrpa af fimm sambærilegum sýnum og fengu þau gildi á bilinu 7,99 til 8,85 mm sem er minna frávik en hér kemur fram. Gagnamagn gefur þó ekki tilefni til frekari tölfræðilegra túlkana á þessu stigi.



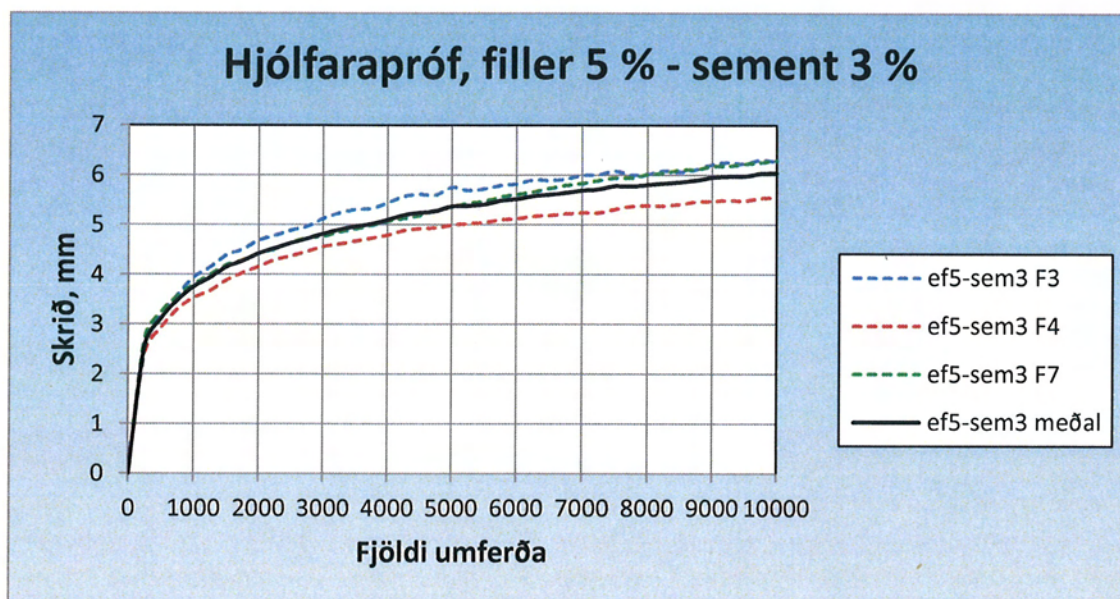
Mynd 2 Niðurstöður hjólfaraprófa á malbiki með 8 % filler.

Það sést á myndinni að plata F1 og F6 fá svipuð gildi, eða heildarhjólför 6,2 og 6,5 mm. Plata F5 er fær talsvert lægra heildargildi, eða 5,0 mm, sem er svipað gildi og platan sem prófuð var við of lágt hitastig fékk, sem sagt F2 með heildarhjólför 4,7 mm. Samkvæmt hitamælingum sem gerðar voru fyrir og eftir próf á sýnishlutunum var þó ekki að sjá að um væri að ræða að hitastig hafi fallið frá því sem stefnt var að nema í þessu eina tilfalli, sjá töflu 3.

Tafla 3 Niðurstöður hitamælinga sem gerðar voru fyrir og eftir próf á sýnishlutum.

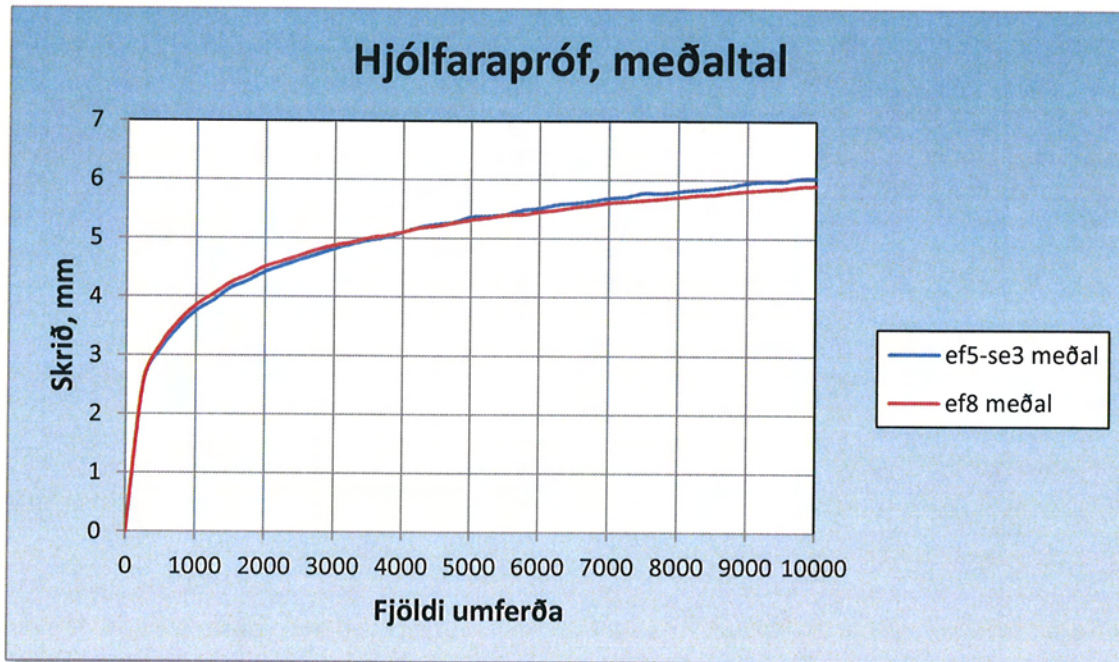
Verk 5VR11002				
AÓA 2012-02-24				
Hjólfarapróf				
Um hitamælingar með lausum stafrænum hitamæli				
Mælingar fyrir upphaf prófa og að þeim loknum.				
<i>Plata</i>	<i>Dags 2012</i>	<i>Fyrir próf °C</i>	<i>Eftir próf °C</i>	<i>Aths.</i>
F1	3.1.	45,2	(-)	
F2	4.1.	(-)	(-)	
F3	5.1.	42,0	(-)	Hætt við próf
F3	11.1.	45,0	45,0	
F4	18.2.	44,9	(-)	
F5	1.2.	45,2	45,2	
F6	7.2.	44,8	45,7	
F7	8.2.	45,0	45,2	

Mynd 3 sýnir niðurstöður hjólfaraprófana á þremur plötum, F3, F4 og F7 með 5 % filler og 3 % sementi og meðaltal þeirra.



Mynd 3 Niðurstöður hjólfaraprófana á þremur plötum, F3, F4 og F7 með 5 % filler og 3 % sementi.

Það sést á myndinni að plata F3 og F7 fá báðar sama gildið, eða heildarhjólför 6,3 mm. Plata F4 er fær heldur lægra heildargildi, eða 5,6 mm. Eins og áður er ekki vitað til að hitastig eða aðrir prófunarþættir hafi verið breytilegir svo nokkru nemi, þó ekki sé hægt að útiloka að einhver óþekkt ólíkindi hafi verið til staðar sem skýri að miðplatan fær heldur minna sig en hinar tvær. Mynd 4 sýnir meðaltal hjólfaraprófa (3 plötur í hvoru tilfelli) á malbiki með 8 % filler annars vegar og 5 % filler og 3 % sementi hins vegar.



Mynd 4 Meðaltal hjólfaraprófa með 8 % filler og 5 % filler og 3 % sement.

Það er ljóst af mynd 4 að íblöndun á 3 % af íslensku Portlandsementi á móti 5 % fillers virðist ekki hafa marktæk áhrif á skriðeiginleika malbiksins. Kornadreifing fillersins og sementsins (<0,063 mm) er mjög svipuð, þótt sementið sé ívið fínkornóttara. Einnig má benda á að bæði kornarúmþyngd og holrúm í fillernum og sementinu eru mjög sambærileg, samanber niðurstöður mælinga, sjá viðauka I. Einnig er rétt að benda á að reiknuð rúmþyngd og holrúm allra malbiksplatanna er svipað, sjá töflu 4.

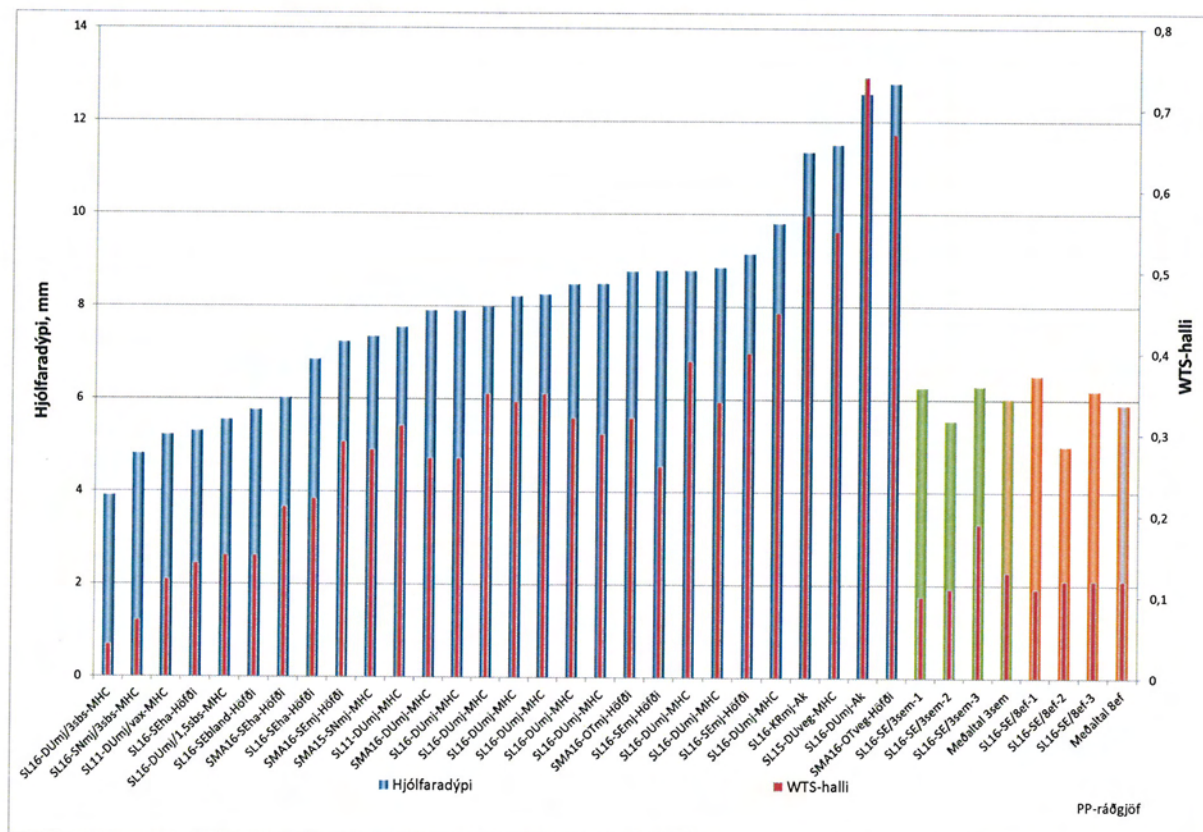
Tafla 4 Reiknuð rúmþyngd og holrúm allra malbiksplatanna

Hjólfaraprófskv. ÍST EN 12697-22	filler, 8 %				filler 5 %, sement 3 %				*
	F1	F5	F6	Meðaltal	F3	F4	F7	Meðaltal	
Rúmþyngd-Vigtun og mæling með rennimáli	2595	2591	2593	2593	2588	2595	2597	2593	2592
Holrúm-Vigtun og mæling með rennimáli	3,1	3,3	3,2	3,2	3,4	3,1	3,0	3,2	3,2
Rúmþyngd-Mæld í lofti og vatni	2620	2620	2623	2621	2621	2622	2625	2623	2630
Holrúm-Mælt í lofti og vatni	2,2	2,2	2,1	2,1	2,1	2,1	2,0	2,1	1,8

* Plata F2 var of köld við prófun (42°C)

Eins og tafla 4 sýnir eru allar mælingar á rúmþyngdum og holrúmi nánast eins fyrir allar prófaðar plötur, hvort heldur með 8 % filler eða 5 % filler og 3 % sementi. Reyndar virðist holrúm sýna í þessum áfanga vera með því lægsta sem tekist hefur að þjappa.

Mynd 5 sýnir meðalhjólfaradýpt íslensks malbiks eins og það hefur mælst á undanförunum árum í hjólfarataeki Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands (bláar súlur). Bent skal á að flestar bláu súlurnar eru fyrir malbik sem blandað var í stöð, en þjappað í malbikspjöppu NMÍ, en einnig eru stöku súlur fyrir malbik sem útbúið var að öllu leyti á rannsóknastofu (t.d. SL16-DUmj/3SBS-MHC og SL16-DUmj/1,5SBS-MHC) og tvær sýna gildi malbiks sem tekið var úr götu (SL16-DUveg-MHC og SMA16-OTveg-Höfði).



5. Umræða

Tekið skal fram að allar tólkanir á niðurstöðum í þessari skýrslu eru byggðar á tiltölulega fáum mælingum. Þó má segja að niðurstöður hafi í megin dráttum gefið til kynna að íblöndun sements í stað hluta fillers hafi ekki áhrif á skriðeiginleika malbiksins. Ekki er þó útilokað að sement geti haft áhrif á aðra eiginleika malbiks, svo sem viðloðunarhæfni biks og steinefna, samanber eftirfarandi tilvitnun í minnisblað frá Lars Ladehoff og Lars Peter Jensen hjá Colas Danmark:

"I Colas Danmark A/S anvendes cement som klæbeaktiv filler i slidlag, som skal opfylde Vejdirektoratets Almindelige Arbejdsbeskrivelse (AAB) for Varmblandet asfalt:

2.1.3 Additiver

I slidlagsmaterialer skal bindemidlets vedhæftning forbedres ved tilsætning af klæbeforbedrer. Dog undtages slidlagsmaterialer, hvori det anvendte tilslagsmaterialer er elektroovns slagge. Der kan anvendes klæbeaktiv filler, f.eks. cement, i en mængde, der udgør ca. 1,5 vægtprocent af den samlede mineralmængde, eller en anden klæbeforbedrer med tilsvarende virkning eftervist ved parallel forsøg på de anvendte råvarer i henhold til DS/EN 12697-11.

Der anvendes som regel 1,5% vægt i recepten".

Samkvæmt ofangreindu getur 1,5 % sements í filler komið í stað íblöndunar á viðloðunarefni í malbik. Því væri æskilegt að kanna áhrif sements á viðloðunareiginleika íslensks malbiks, en það var ekki hluti af þessu rannsóknaverkefni. Sama á líklega við varðandi íblöndun kalks samkvæmt upplýsingum frá rannsóknastofu Colas í Danmörku.

Á árinu 2012 stendur til að teknar verði saman niðurstöður allra malbiksraðsóknna síðustu ára, sem flestar hafa verið styrktar af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar. Í þeirri vinnu verður farið betur ofan í saumana á ýmsum þáttum sem geta haft áhrif á niðurstöður skrið- og slitmælinga á malbiki með því að gera ítarlegri tölfræðilegar kannanir en hingað til.

Heimildir, staðlar og ítarefni:

Arnþór Óli Arason og Pétur Pétursson 2009: Mat á eiginleikum malbiks fyrir íslenskar aðstæður. Áfangaskýrsla I. — Nýsköpunarmiðstöð Íslands, skýrsla 09-05. Reykjavík 2009.

Arnþór Óli Arason og Pétur Pétursson 2010: Mat á eiginleikum malbiks fyrir íslenskar aðstæður. Áfangaskýrsla II. — Nýsköpunarmiðstöð Íslands, skýrsla 10-02. Reykjavík 2010.

Arnþór Óli Arason og Pétur Pétursson 2011: Áhrif bikgerðar (PG) á slit- og skriðeiginleika malbiks. — Nýsköpunarmiðstöð Íslands, skýrsla 11-01. Reykjavík 2011.

Arnþór Óli Arason og Pétur Pétursson 2011: Mat á eiginleikum malbiks fyrir íslenskar aðstæður. Áfangaskýrsla III. — Nýsköpunarmiðstöð Íslands, skýrsla 11-02. Reykjavík 2011.

Ásgeir Rúnar Harðarson 2010: Áhrif fjölliðubreyttra bikbindiefna á eiginleika malbiks. Rannís – Nýsköpunarsjóður námsmanna. Reykjavík 2010.

Efnisrannsóknir og efniskröfur. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Kafli 6: Slitlag. – Vegagerðin, janúar 2012.

Håndbok 018 Vegbygging – Januar 2011. Statens Vegvesen.

ÍST EN 1097-4: Tests for mechanical properties of aggregates – Part 4: Determination of the voids of dry compacted filler.

ÍST EN 12697-22: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 22: Wheel tracking.

ÍST EN 12697-33: Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 33: Specimen prepared by roller compactor.

ÍST EN 13108-20: Bituminous mixtures – Material specifications – Part 20: Type testing.

VIÐAUKI I - Niðurstöður mælinga

Blöndur vegna verkefnis um filler í malbiki Seljadalur SL16

Steinefni, bindiefni

Steinefni >63 mm var Seljadalsefni frá Malbikunarstöðinni Höfða hf.
Fínefni (< 63 mm) var eiginfiller frá Höfða og Portlandsement frá
Sementsverksmiðjunni.
Hlutföll annað hvort 8% eiginfiller; eða 5% eiginfiller og 3% sement.
Bik var „mjúkt“ eða 160/200.

Steinefni í eina hræru á rannsóknastofu

	%	Ein hræra	
		stök	upps.
>16,0 mm	0,5	37	37
11,2-16,0 mm	18	1.339	1.376
8,0-11,2 mm	15	1.116	2.492
4,0-8,0 mm	20	1.488	3.979
2,0-4,0 mm	13,5	1.004	4.983
0,063-2,0 mm	25	1.860	6.843
<0,063 mm	8,0	595	7.438
Samtals	100	7.438	

Hrært í hálfá plötu í senn		Heil, g	Hálf, g
Bik	5,8 %	916,0	458,0
Steinefni	94,2 %	14877	7438
	100 %	15793	7896

Viðloðunarefni var TPH

Bik	1000 g
0,3% TPH	3,0 g

Hrærsla í Hobart vél

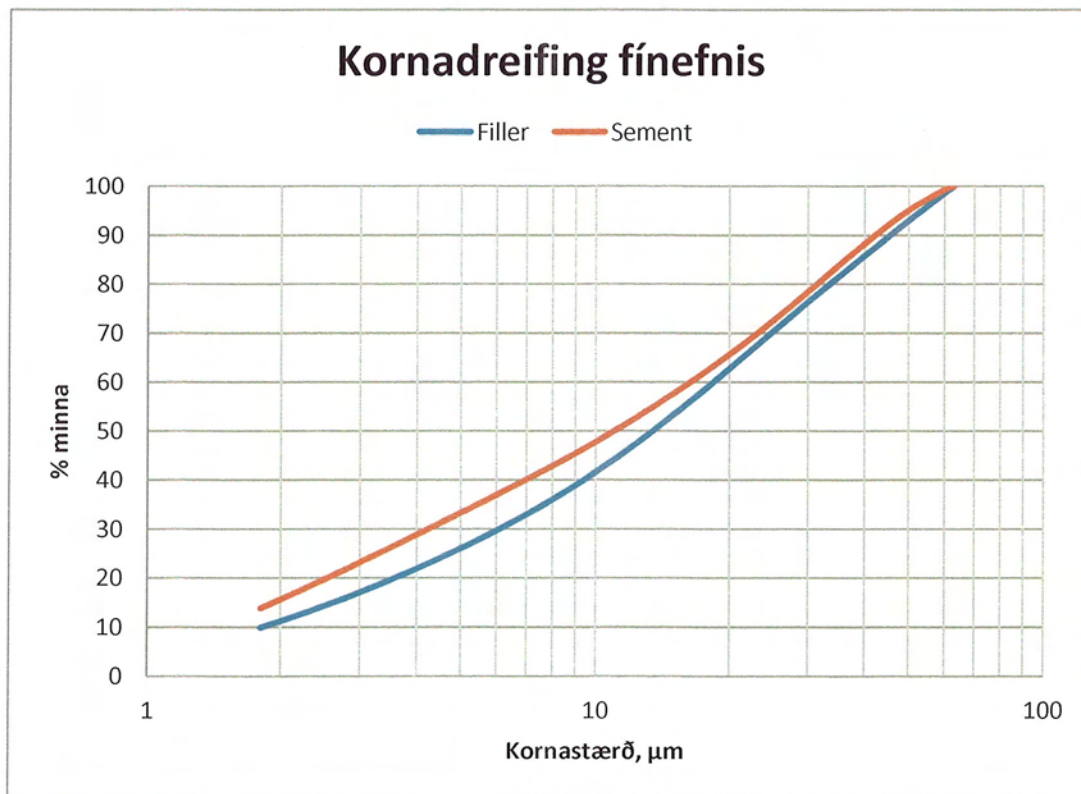
	s	Hraði	
Purrblanda	90	1	
Með biki	60	2	Skafið svo
Með biki aftur	60	2	Skafið að lokum.

Steinefni voru hituð í um 160°C yfir nótt og bik í 150°C. malbik var blandað að morgni og þjappað við um 150°C 4-5 tímum eftir blöndun.

Kornadreifing fínefnis Reiknuð dreifing undir 63 μm

Aths.: Kornadreifing undir 125 μm var mæld í ljörvatæki. Sýnahlutinn undir 63 μm var notaður í malbiksblöndur.

μm	63	60	50	42	36	30	25	21	18
Filler	100,0	98,6	93,0	87,4	82,4	76,3	70,3	64,4	59,3
Sement	100,0	99,3	95,1	89,9	84,8	78,5	72,5	67,1	62,7
μm	15	12	10	8,6	7,4	6,2	5,2	4,4	3,6
Filler	53,4	46,7	41,6	37,8	34,2	30,4	26,8	23,6	20,1
Sement	57,8	52,1	47,8	44,5	41,3	37,7	34,1	30,8	26,8
μm	3,0	2,6	2,2	1,8					
Filler	17,1	14,9	12,5	9,9					
Sement	23,2	20,5	17,4	13,9					





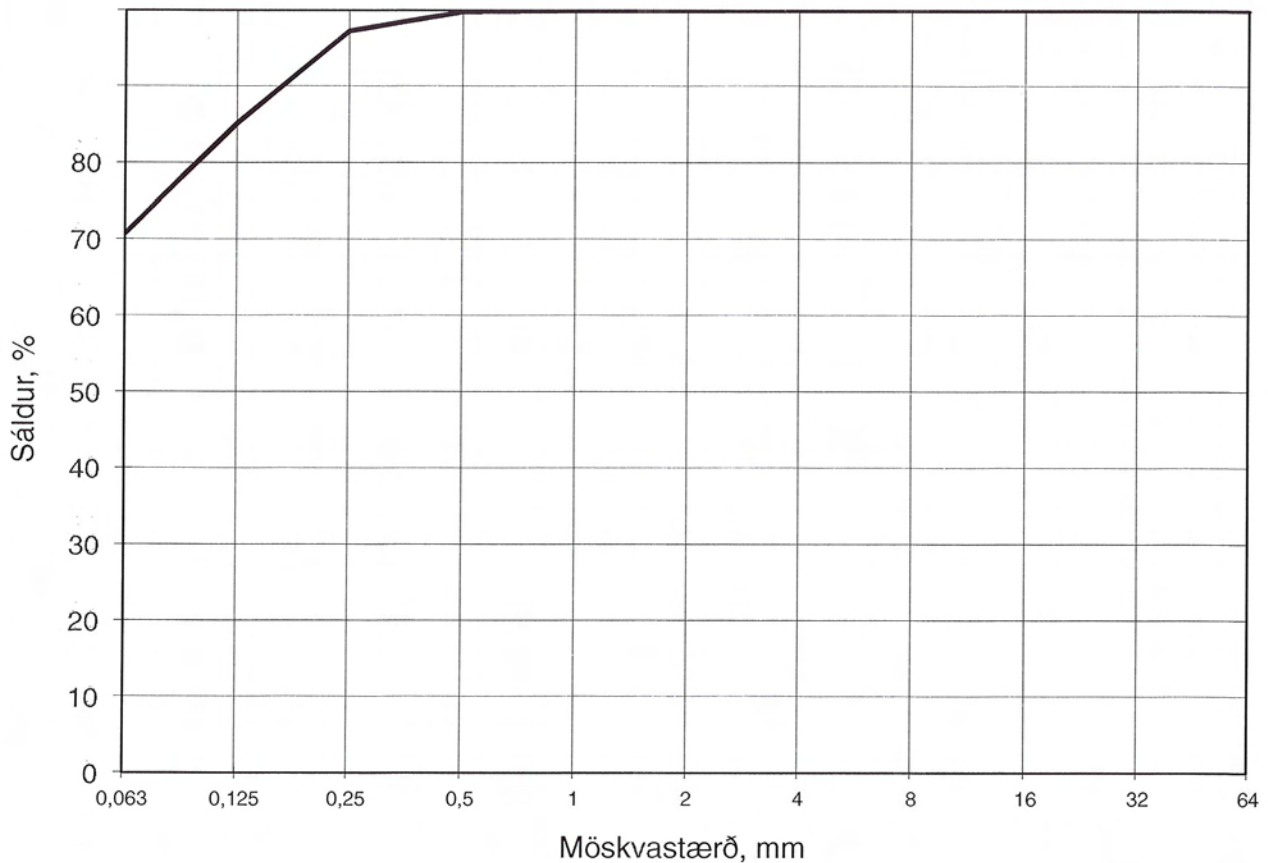
Rannsókn á kornadreifingu (skv. IST EN 933-1)

Fyrir: Malbiksverkefni					Náma: Malbikunastöðin Höfði									
Vegna:					Sendandi:									
Heildarþungi sigtaðs sýnis (g):			Heildarþungi (<16mm) (g):			Merking sýnis: Filler úr Höfða 22.11.2011								
Bakki (tara), (g):		Frátekið+bakki (g):		Purrt +bakki (g):		Votsigt. + bakki (g):		Húmus, gr.:		Slamm, %:		Raki, %		
76,7		390,0		389,0		178,7						0,3		
Möskv. Pyngd (g)	64	32	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	botn
	0	0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,7	8,5	46,2	91,4	102,2
Sáldur, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,8	97,3	85,2	70,7	

Athugasemdir:

Votsigtað

$D_{10} = \text{xxx}$ mm $D_{30} = \text{xxx}$ mm $D_{60} = \text{xxx}$ mm $C_u = \text{xxx}$ $C_c = \text{xxx}$





Rannsókn á kornadreifingu (skv. IST EN 933-1)

Fyrir: **Malbiksverkefni** Náma: **Steypudeild**

Vegna: Sendandi:

Heildarþungi sigtaðs sýnis (g): Heildarþungi (<16mm) (g): Merking sýnis: **Íslenskt Portland sement**

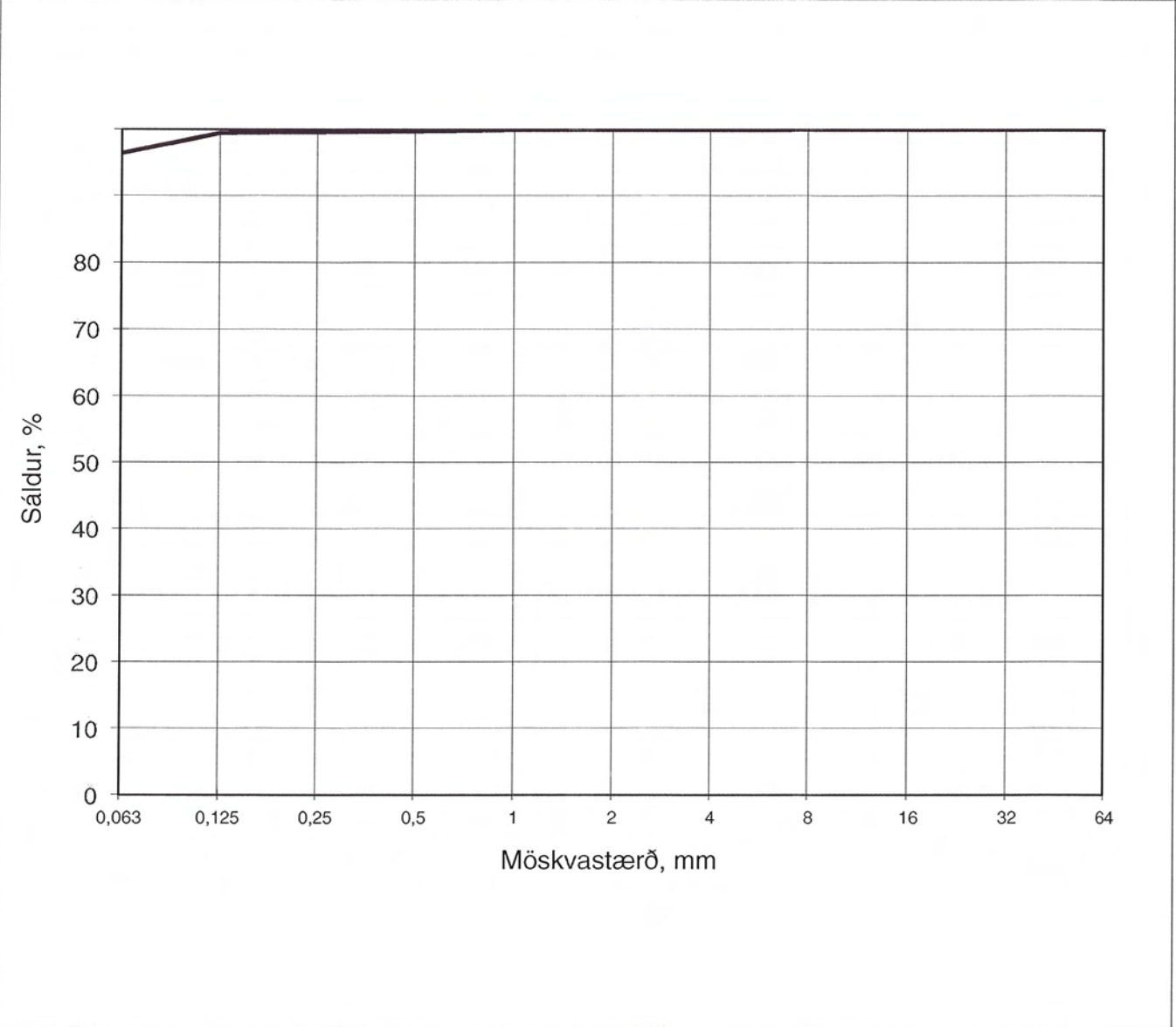
Bakki (tara), (g):	Frátekið+bakki (g):	Purrt +bakki (g):	Votsigt. + bakki (g):	Húmus, gr.:	Slamm, %:	Raki, %
0,0	143,9	143,9	143,9			0,0

Möskv. Pyngd (g)	64	32	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125	0,063	botn
	0	0	0	0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,4	0,6	0,8	5,2	144,4

Sáldur, %	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,9	99,9	99,7	99,6	99,4	96,4	
-----------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	--

Athugasemdir: **Purrsigtað - Ópurrað**

$D_{10} = xxx$ mm $D_{30} = xxx$ mm $D_{60} = xxx$ mm $C_u = xxx$ $C_c = xxx$





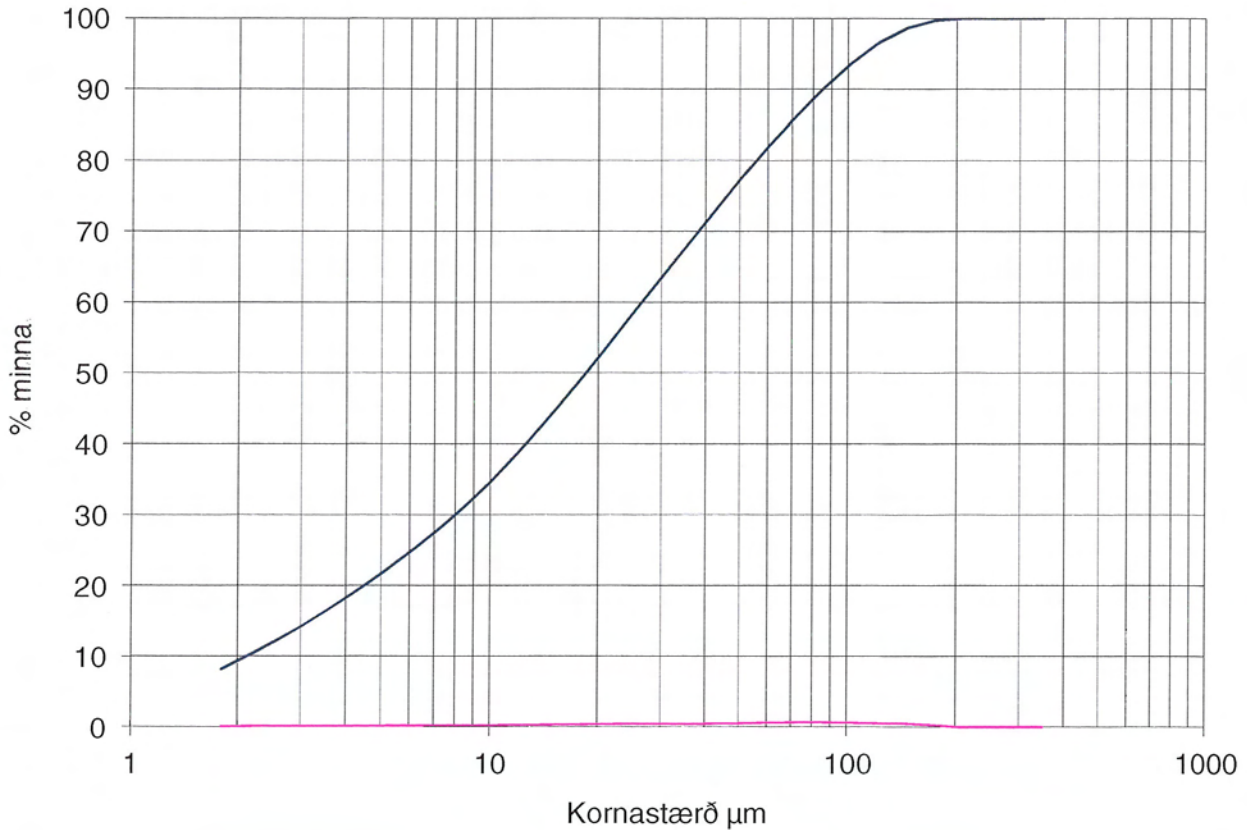
Mæling á kornadreifingu með ljörva

Fyrir:	PP ráðgjöf	Efni:	Eiginfiller
Tengiliður:	Pétur Pétursson	Tökustaður:	Malbikunarstöðin Höfði hf.
Verkbeiðandi:		Vinnumerki NMI:	
Athugasemdir:			

Mæliaðferð
Sympatec HELOS / RODOS þurrmæling á sýnishlutanum undir 125 µm

Upplýsingar frá mælingum:
Efni: Steinefni u. 125µm - Merking: 5VR11002 Filler
Niðurstöður eru meðaltal fjögurra hlutamælinga.

µm	350	294	246	206	174	146	122	102	86	72	60	%	d10	d16
%	100,0	100,0	100,0	100,0	99,7	98,7	96,6	93,6	90,2	86,3	81,9	µm	2,1	3,4
Stfrv. %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	+/-	0,0	0,0
µm	50	42	36	30	25	21	18	15	12	10	8,6	%	d50	d84
%	77,2	72,6	68,4	63,4	58,4	53,5	49,2	44,4	38,8	34,6	31,4	µm	18,6	65,8
Stfrv. %	0,6	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4	0,3	0,3	0,2	0,2	+/-	0,3	1,9
µm	7,4	6,2	5,2	4,4	3,6	3	2,6	2,2	1,8			%	d90	d99
%	28,4	25,2	22,3	19,6	16,7	14,2	12,4	10,4	8,2	> Blá lína		µm	85,5	153,1
Stfrv. %	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	> Fjólublá lína		+/-	3,0	10,1





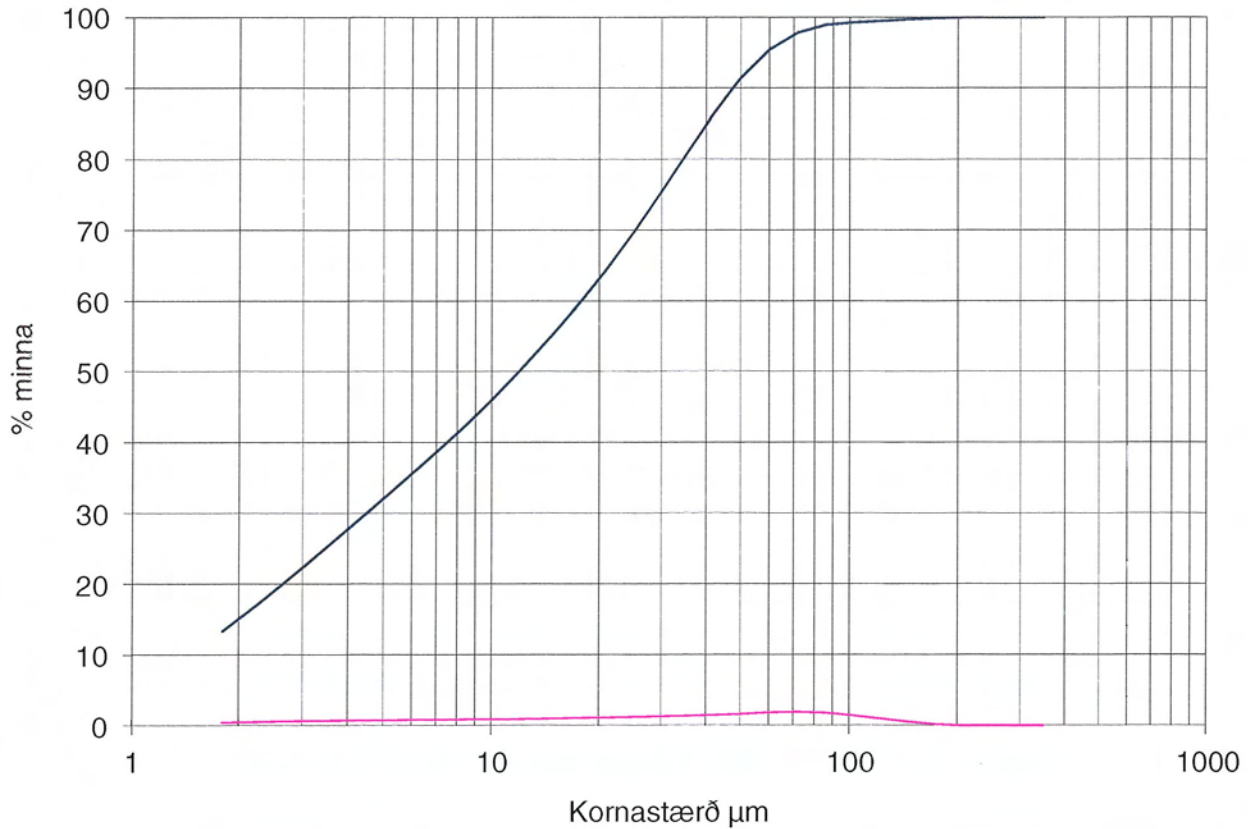
Mæling á kornadreifingu með ljörva

Fyrir: PP ráðgjöf	Efni: Íslenskt Portlandsement
Tengiliður: Pétur Pétursson	Tökustaður: Steypudeild Nýsköpunarmiðstöðvar
Verkbeiðandi:	Vinnumerki NMI:
Athugasemdir:	

Mæliaðferð
Sympatec HELOS / RODOS þurrmæling á sýnishlutanum undir 125 µm

Upplýsingar frá mælingum:
Efni: Steinefni u. 125µm - Merking: 5VR11002 Sement
Niðurstöður eru meðaltal fjögurra hlutamælinga.

µm	350	294	246	206	174	146	122	102	86	72	60	%	d10	d16
%	100,0	100,0	100,0	100,0	99,9	99,7	99,5	99,3	98,9	97,9	95,4	µm	1,5	2,1
Stfrv. %	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,5	1,0	1,5	1,8	1,9	1,9	+/-	0,0	0,1
µm	50	42	36	30	25	21	18	15	12	10	8,6	%	d50	d84
%	91,4	86,4	81,4	75,4	69,6	64,5	60,2	55,5	50,1	46,0	42,7	µm	12,0	39,1
Stfrv. %	1,6	1,5	1,4	1,3	1,2	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	0,9	+/-	0,5	1,8
µm	7,4	6,2	5,2	4,4	3,6	3	2,6	2,2	1,8			%	d90	d99
%	39,7	36,2	32,8	29,6	25,7	22,3	19,7	16,7	13,3	> Blá lína		µm	48,1	93,1
Stfrv. %	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,5	> Fjólublá lína		+/-	3,2	37,5



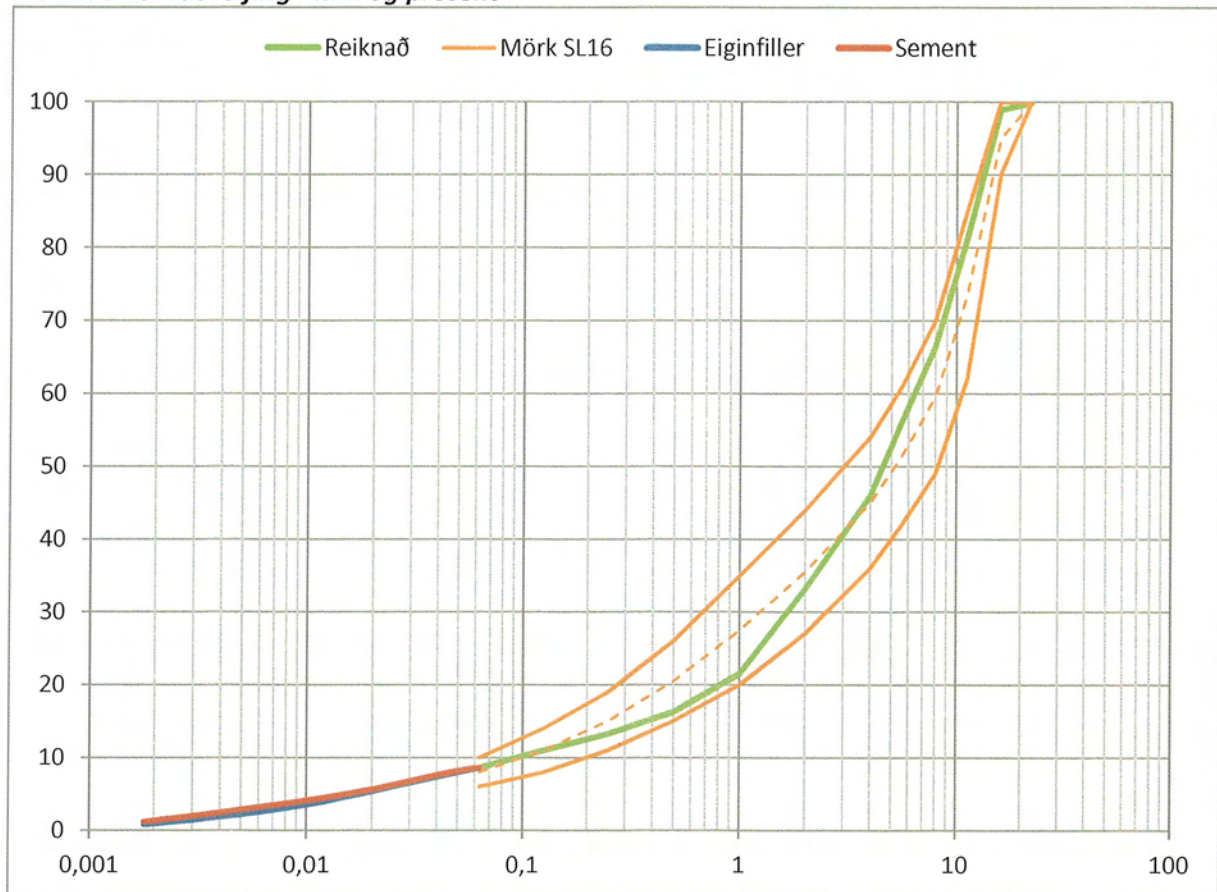


Reiknuð kornadreifing í malbiksblöndum

Malbik: SL16 Seljadalur

	Mælt	Mælt	Mælt	Gefið	Gefið	Gefið	Gefið	Reiknað
mm	<0,063	0,063-2	2,0-4,0	4,0-8,0	8,0-11,2	11,2-16	16-22	Heild
<i>Hlf. í bl.</i>	0,08	0,25	0,135	0,2	0,15	0,18	0,005	1,00
22,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
16	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	99,5
11,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	81,5
8	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	66,5
4	100,0	100,0	96,0	0,0	0,0	0,0	0,0	46,0
2	100,0	99,8	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	33,1
1	100,0	53,8	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	21,5
0,5	100,0	33,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	16,3
0,25	100,0	21,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3
0,125	100,0	12,1	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	11,1
0,063	100,0	2,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	8,6

Reiknuð kornadreifing - mm og prósent



Holrúm í þjöppuðu fínefni

Mælingar eru byggaðar á staðlinum EN 1097-4 (1999), Tests for mechanical properties of aggregates. - Part 4: Determination of the voids of dry compacted filler.

Mælingar voru gerðar á fínefninu undir 63 μm eins og notað var í malbiksblöndur, en í staðlinum er miðað við 125 μm .

Innri stærðir móts

Þvermál, mm: 25,45 Þverskurðarflatarmál, mm^2 : 508,70

Mæl.	Þjappað efni	Massi	Rúmmál	Rúmp	Korna- rúmp.	Holrúm í fínefni
	Hæð h, mm	m_2 , g	mm^3	Mg/m^3	Mg/m^3	v, %

Eiginfiller frá Malbikunarstöðinni Höfða hf. (<63 μm)

1	12,4	10,20	6307,93	1,62	2,98	45,7
2	12,1	10,22	6155,32	1,66	2,98	44,3
3	12,2	10,30	6206,19	1,66	2,98	44,3
Meðaltal				1,65		44,8

Portlandsement frá Sementsverksmiðjunni (<63 μm)

1	11,9	10,23	6053,58	1,69	3,05	44,6
2	11,9	10,31	6053,58	1,70	3,05	44,2
3	12,2	10,49	6206,19	1,69	3,05	44,6
Meðaltal				1,69		44,4

Fínefni í Seljadalsefni frá Malbikunarstöðinni Höfða hf. (<63 μm)

1	11,3	10,20	5748,36	1,77	3,06	42,0
2	11,9	10,72	6053,58	1,77	3,06	42,1
3	11,5	10,50	5850,10	1,79	3,06	41,3
Meðaltal				1,78		41,8

Mælingar á kornarúmpýngd gerðar á Nýsköpunarmiðstöð

	Sýni	Flaska +vatn	Fl.+va. +sýni	Vatni rutt	vatni rutt	Korna- rúmp.
	g	g	g	g	cm^3	Mg/m^3
Eiginfiller	87,1	431,9	489,8	29,2	29,3	2,98
Seljadalur	85,9	431,5	489,4	28,0	28,1	3,06

Kornarúmpýngd Portlandsements er skv. upplýsingablaði Sementsverksmiðjunnar. Mælingar voru gerðar á hreinu Seljadalsefni til samanburðar.

Tilraunastofublöndur SL16 Seljadalur
Plötur úr hjólfaraprófum: Rúmpýngd mæld í lofti og vatni

Plata var fyrst söguð þvert um miðju. Prófhloti A er sá helmingur sem var innar í þjöppu í upphafi. B er sá ytri. Prófhloti B var sagaður langs m.v. upphaflega plötu með 10 cm millibili. Hluti D er sá hluti sem var undir hjólfari í prófi.

Sögun platna

	A	B
A		E
		D
		C

Hluti	Í vatni g	Yþp. g	Bakki g	Þurrt+ bakki, g	Þurrt g	Rúmmál cm ³	Rúmp. g/cm ³	Holrúm rm%
-------	--------------	-----------	------------	--------------------	------------	---------------------------	----------------------------	---------------

Plata F1 - SL16 Seljadalur með 8% eiginfiller <63mm frá Malbikunarstöðinni Höfða hf.

Mesta rúmp. malbiks (teor.), mæld	2,678 Mg/m ³		
Vatnshiti	23°C	Rúmp.	0,9976 Mg/m ³

C	1595,4	2572,4	369,7	2937,1	2567,4	979,4	2,622	2,1
D	1441,3	2324,2	341,3	2662,1	2320,8	885,0	2,622	2,1
E	1566,8	2530,1	351,9	2876,9	2525,0	965,6	2,615	2,4
						Meðaltal	2,620	2,2

Plata F2 - SL16 Seljadalur með 8% eiginfiller <63mm frá Malbikunarstöðinni Höfða hf.

Mesta rúmp. malbiks (teor.), mæld	2,678 Mg/cm ³		
Vatnshiti	23°C	Rúmp.	0,9976 Mg/m ³

C	1551,5	2497,1	341,3	2833,4	2492,1	947,9	2,629	1,8
D	1526,1	2454,7	354,2	2804,5	2450,3	930,8	2,632	1,7
E	1557,7	2507,9	336,4	2839,1	2502,7	952,5	2,628	1,9
						Meðaltal	2,630	1,8

Plata F3 - SL16 Seljadalur með 3% sementi og 5% eiginfiller <63mm frá Höfða hf.

Mesta rúmp. malbiks (teor.), gefin	2,678 Mg/m ³		
Vatnshiti	23°C	Rúmp.	0,9976 Mg/m ³

C	1527,9	2467,3	336,6	2797,9	2461,3	941,7	2,614	2,4
D	1360,4	2192,0	354,1	2541,9	2187,8	833,6	2,625	2,0
E	1646,6	2654,0	352,2	3001,5	2649,3	1009,8	2,624	2,0
						Meðaltal	2,621	2,1

Plata F4 - SL16 Seljadalur með 3% sementi og 5% eiginfiller <63mm frá Höfða hf.

Mesta rúmp. malbiks (teor.), gefin	2,678 Mg/m ³		
Vatnshiti	23°C	Rúmp.	0,9976 Mg/m ³

C	1555,2	2505,6	340,9	2842,3	2501,4	952,7	2,626	2,0
D	1535,6	2474,9	341,3	2811,7	2470,4	941,6	2,624	2,0
E	1492,4	2407,9	369,2	2771,4	2402,2	917,7	2,618	2,3
						Meðaltal	2,622	2,1



Tilraunastofublöndur SL16 Seljadalur

Plötur úr hjólfaraprófum: Rúmpyngd mæld í lofti og vatni

Plata var fyrst söguð þvert um miðju. Prófhloti A er sá helmingur sem var innar í þjöppu í upphafi. B er sá ytri. Prófhloti B var sagaður langs m.v. upphaflega plötu með 10 cm millibili. Hluti D er sá hluti sem var undir hjólfari í prófi.

Sögun platna

	A	B
A		E
		D
		C

Hluti	Í vatni g	Ybp. g	Bakki g	þurrt+ bakki, g	þurrt g	Rúmmál cm ³	Rúmp. g/cm ³	Holrúm rm%
-------	--------------	-----------	------------	--------------------	------------	---------------------------	----------------------------	---------------

Plata F5 - SL16 Seljadalur með 8% eiginfiller <63mm frá Malbikunarstöðinni Höfða hf.

Mesta rúmp. malbiks (teor.), mæld		2,678 Mg/m ³						
Vatnshiti		23°C	Rúmp. 0,9976 Mg/m ³					
C	1565,8	2521,3	341,3	2858,0	2516,7	957,8	2,628	1,9
D	1539,0	2481,4	352,3	2829,4	2477,1	944,7	2,622	2,1
E	1508,4	2438,8	336,8	2770,5	2433,7	932,6	2,609	2,6
Meðaltal							2,620	2,2

Plata F6 - SL16 Seljadalur með 8% eiginfiller <63mm frá Malbikunarstöðinni Höfða hf.

Mesta rúmp. malbiks (teor.), mæld		2,678 Mg/cm ³						
Vatnshiti		23°C	Rúmp. 0,9976 Mg/m ³					
C	1535,1	2477,4	336,9	2809,9	2473,0	944,6	2,618	2,2
D	1628,6	2622,1	351,5	2969,7	2618,2	995,9	2,629	1,8
E	1554,0	2505,7	340,8	2842,6	2501,8	954,0	2,622	2,1
Meðaltal							2,623	2,0

Plata F7 - SL16 Seljadalur með 3% sementi og 5% eiginfiller <63mm frá Höfða hf.

Mesta rúmp. malbiks (teor.), gefin		2,678 Mg/m ³						
Vatnshiti		23°C	Rúmp. 0,9976 Mg/m ³					
C	1573,6	2538,2	336,5	2870,9	2534,4	966,9	2,621	2,1
D	1531,1	2465,0	352,3	2813,6	2461,3	936,1	2,629	1,8
E	1623,2	2616,8	341,2	2953,9	2612,7	996,0	2,623	2,0
Meðaltal							2,625	2,0



Hjólfarapróf skv. ÍST EN 12697-22:2003 Aðferð B í lofti - Hiti 45°C

Sýni: SL16 Seljadalur með eiginfiller frá Höfða hf. 8% < 63 µm
Blandað á rannsóknastofu og mælt frá desember 2011 til febrúar 2012.

Aths.:

Malbik Mælingar á Nýsköpunarmiðstöð 9. janúar 2012.

Bik	ρ%	5,8	Vigtað
Rúmpyngd malbiks, (teoretisk)	kg/m ³	2678	Mæld
Rúmpyngd biks	kg/m ³	1020	Gefin
Rúmpyngd steina	kg/m ³	2976	Reiknuð

Þjöppuð plata Vigtun og mælingar m. rennimáli.

B*L plötu er um 300*400 mm

		F1	F5	F6	Meðaltal
Pyngd plötu	kg	15,720	15,730	15,720	
Meðalþykkt	mm	50,5	50,6	50,6	50,6
Rúmmál plötu	cm ³	6057	6072	6063	
Reiknuð rúmpyngd	kg/m ³	2595	2591	2593	2593
Reiknað holrúm	rm%	3,1	3,3	3,2	3,2

Rúmpyngd mæld í lofti og vatni á hluta sýnis eftir próf.

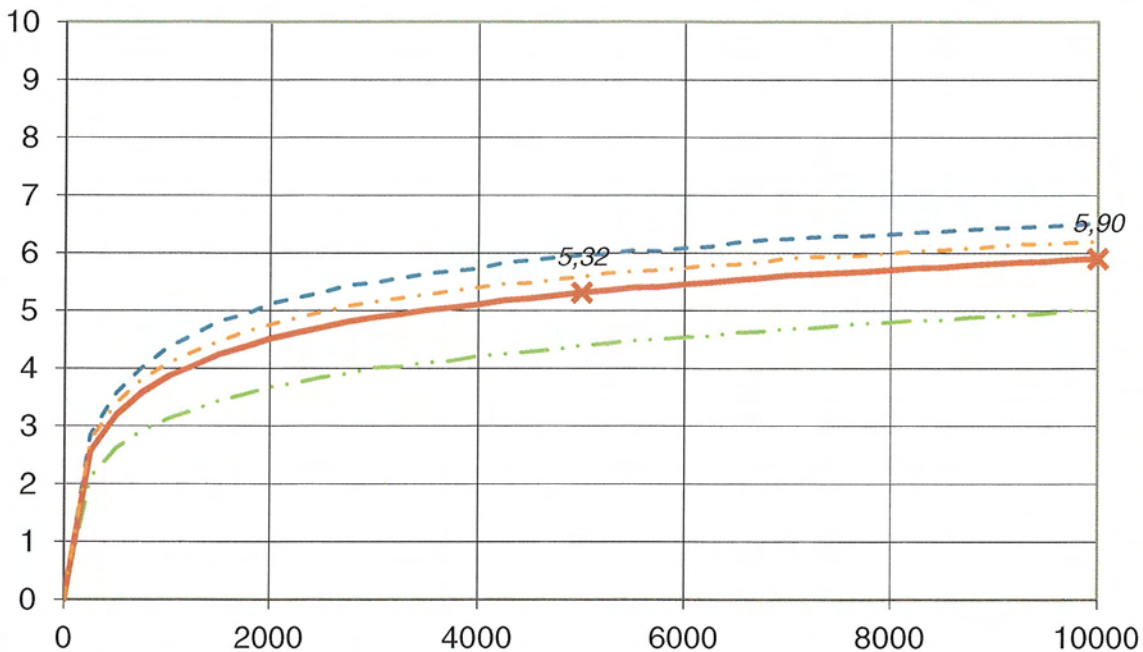
Reiknuð rúmpyngd	kg/m ³	2620	2620	2623	2621
Reiknað holrúm	rm%	2,2	2,2	2,1	2,1

Hjólfarapróf við 45°C

Upphaf sett á 0

	F1	F5	F6	Meðaltal
Sig við 5000 umferðir, mm	5,96	4,40	5,59	5,32
Sig við 10 000 umferðir, mm (RD _{AIR})	6,52	5,00	6,19	5,90
Sig 0-10000 umf., % af malbiksþykkt (PRD _{AIR})	12,9	9,9	12,2	11,7
mm á 1000 umf síðustu 5000 umf. (WTS _{AIR})	0,112	0,120	0,120	0,117

Sig í mm og umferðir





Hjólfarapróf skv. ÍST EN 12697-22:2003 Aðferð B í lofti - Hiti 45°C

Sýni: SL16 Seljadalur með 3% sementi og 5% eiginfiller frá Höfða í hlutanum < 63 µm
Blandað á rannsóknastofu og mælt frá desember 2011 til febrúar 2012.

Aths.:

Malbik Mælingar á Nýsköpunarmiðstöð 9. janúar 2012 á malbiki með 8% eiginfiller.

Þik	þ%	5,8	Vigtað
Rúmpyngd malbiks, (teoretisk)	kg/m ³	2678	Mæld
Rúmpyngd biks	kg/m ³	1020	Gefin
Rúmpyngd steina	kg/m ³	2976	Reiknuð

Þjöppuð plata Vigtun og mælingar m. rennimáli.

		F3	F4	F7	Meðaltal
B*L plötu er um 300*400 mm					
Þyngd plötu	kg	15,730	15,720	15,730	
Meðalþykkt	mm	50,6	50,7	50,7	50,7
Rúmmál plötu	cm ³	6078	6058	6058	
Reiknuð rúmpyngd	kg/m ³	2588	2595	2597	2593
Reiknað holrúm	rm%	3,4	3,1	3,0	3,2

Rúmpyngd mæld í lofti og vatni á hluta sýnis eftir próf.

Reiknuð rúmpyngd	kg/m ³	2621	2622	2625	2623
Reiknað holrúm	rm%	2,1	2,1	2,0	2,1

Hjólfarapróf við 45°C

Upphaf sett á 0

	F3	F4	F7	Meðaltal
Þig við 5000 umferðir, mm	5,75	4,99	5,36	5,37
Þig við 10 000 umferðir, mm (RD _{AIR})	6,26	5,55	6,29	6,03
Þig 0-10000 umf., % af malbiksþykkt (PRD _{AIR})	12,4	10,9	12,4	11,9
mm á 1000 umf síðustu 5000 umf. (WTS _{AIR})	0,102	0,112	0,186	0,133

Þig í mm og umferðir

