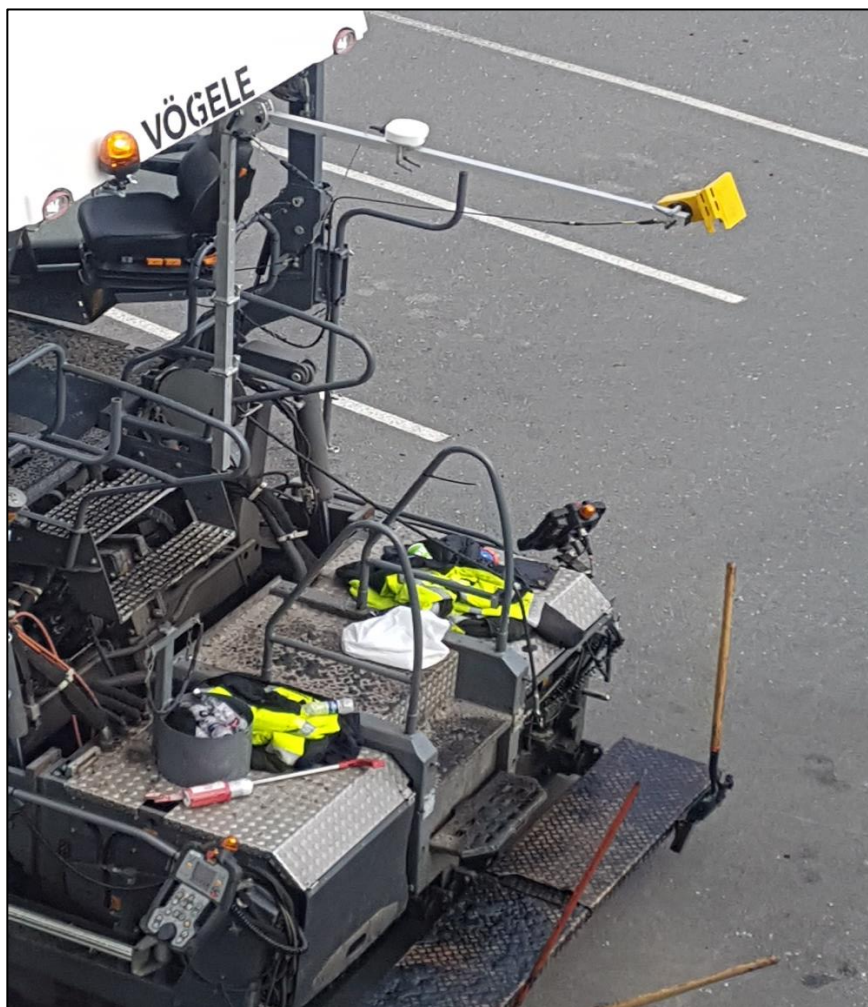




## Slitlög - Malbik 2017

### Áfangaskýrsla X



Pétur Pétursson  
apríl 2018

*Höfundur skýrslunnar ber ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar og ályktanir ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar.*

## INNGANGUR

Í þessari skýrslu er fjallað um niðurstöður malbiksrannsókna ársins 2017, svo og samanburður gerður við fyrri rannsóknir þar sem það á við. Það sem fjallað er um í skýrslunni er staða fjögurra verkþátta, en tveimur fyrrnefndu lauk með úrvinnslu sem birt er í þessari skýrslu, en tveimur síðarnefndu lauk ekki með fullnægjandi hætti:

1. **Breytileiki í framleiðslu og útlögn malbiks.** Á undanförunum árum hafa komið fram staðbundnar skemmdir í tiltölulega nýlegum malbikslögnum. Myndast hafa holur og fleiður í lögnum sem að öðru leyti geta verið í góðu lagi hvað varðar slitþol og viðnám gegn skriði. Það sem valdið getur svona staðbundnum skemmdum er breytileiki í framleiðslu og/eða útlögn malbiksins. Þar koma margir þættir til greina, svo sem breytileiki í kornastærðum (aðskilnaður), bindiefnisinnihaldi, hitastigi og holrýmd, bæði við framleiðslu, útlögn og þjöppun. Tekin var röð sýna af framleiddu malbiki af bílpalli við afgreiðslu, svo og úr skúffu útlagnarvélar við útlögn hjá malbikunarstöðvum Höfða og MHC. Sýnin voru greind á rannsóknastofu með Marshall þjöppun, kornadreifingu steinefnis, bindiefnisinnihaldi, rúmþyngd og holrýmd, bæði hjá framleiðanda malbiksins í hvoru tilfelli og hjá NMÍ til samanburðar.
2. **Átak til að innleiða prófanir á fínefnum (e. filler) í malbik.** Í síðastu áföngum verkefnisins voru hátt í 30 fillersýni frá Höfða og MHC prófuð hvað varðar holrýmd þeirra með Rigden-aðferð (ÍST EN 1097-4) og mæld rúmþyngd þeirra (ÍST EN 1097-7). Einnig var mæld kornadreifing sama fillers með laser aðferð. Sýnin eru ennþá til og í þessum áfanga var yfirborðsflatarmál sýnanna mælt með Blaine aðferð. Þannig fæst enn betra gagnasafn um filler sem notaður er hérlendis. Mælingar á fillersýnum hingað til benda til þess að talsverður breytileiki reynist í rúmþyngd fillersins og því er mikilvægt að kanna hvort taka skuli mið af henni við skömmtun fillers í malbik og jafnvel bikmagns. Metið er hvort ástæða sé til að Vegagerðin geri kröfu um að upplýsingar um eiginleika fillers liggi fyrir hverju sinni hjá malbiksframleiðendum.
3. **Blöndun malbiks í óbundið burðarlagsefni.** Umhverfis- og auðlindaráðuneytið boðaði hagsmunaaðila á fund um malbikskurl í október 2016. Ástæða fundarins var að leita leiða til að nýta malbikskurl sem safnast hefur upp á síðustu árum, en einnig að finna lausnir við að nýta kurlið jafn óðum í framtíðinni. Vg tók að sér að hafa frumkvæði um að leita leiða við nýtingu uppsafnaðs malbikskurls, til dæmis með íblöndun þess í óbundið burðarlagsefni í nýbyggingum. Af ýmsum ástæðum varð ekki af tilraunalögnum, en MHC gerði tilraunir með að blanda malbikskurli í mismiklu mæli í burðarlagsefni og leggja út á plan hjá sér. Þessir kaflar voru prófaðir með tilliti til burðarþols og þjöppunar með plötuprófi og eru helstu niðurstöður þeirra mælinga birtar í þessari skýrslu.

4. **Könnun á notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks.** Víða erlendis er það gert að kröfu að verktakar hafi hitamyndavélar sem staðsettar eru aftast á útlagnavélum. Vegagerðin setti fyrst fram slíka kröfu í útboðslýsingum 2016 og síðan ákvæði um að fá frumgögn í hendur til fekkari úrvinnslu árið 2017. Af ýmsum ástæðum hefur innleiðingin innan Vegagerðarinnar ekki gengið sem skyldi, aðallega vegna þess að erfiðlega hefur gengið að fá hentugt forrit til að vinna úr gögnum. Vegagerðin fékk þó frumgögn af malbikskafla undir Hafnarfjalli sem virðist vera gropinn á færuskilum hér og þar. Þessi skil hafa verið hnitsett. Ástæða er til að halda þessari innleiðingu áfram og jafnframt að kanna á hvaða hátt Vegagerðin getur unnið úr öllum gögnum úr hitamyndavélum sem notaðar eru við malbiksframkvæmdir.

## Efnisyfirlit

INNGANGUR.....	3
1 Fyrri áfangar .....	7
2 Breytileiki í framleiðslu og útlögn malbiks .....	9
2.1 Mæling á bindiefnisinnihaldi.....	10
2.2 Mæling á fínefnainnihaldi .....	13
2.3 Hlutfallið milli fillermagns og bindiefnisinnihalds .....	15
2.4 Mæling á rúmþyngd og holrýmd malbiks .....	17
2.4.1 Rúmþyngdarmælingar.....	17
2.4.2 Holrýmdarmælingar .....	18
2.4.3 Tengsl rúmþyngdar og holrýmdar.....	20
2.5 Mæling á kornadreifingu malbikssýna .....	22
2.5 Umræða .....	24
3 Átak til að innleiða prófanir á filler-eiginleikum í malbik.....	27
3.1 Holrýmd og rúmþyngd fillersýna.....	27
3.2 Kornadreifing fillersýna, lasermælingar .....	29
3.3 Yfirborðsflatarmál mælt með Blaine aðferð .....	33
3.4 Umræða .....	38
4 Blöndun malbikskurls í óbundið burðarlagsefni.....	41
5 Könnun á notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks.....	45
5.1 Almennt.....	45
5.2 Hitamyndir af kafla frá 2017 undir Hafnarfjalli .....	45
5.3 Umræða .....	49
Heimildir og ítarefni: .....	51



## 1 Fyrri áfangar

Verkefnið hefur snúið að rannsóknum á íslensku malbiki í víðum skilningi. Á undanförunum árum hafa komið út skýrslur um rannsóknir á íslensku malbiki sem meðal annars byggðu á prófunum í tækjabúnaði til mælinga á skriði og sliti sem komið var upp á NMÍ 2008 og uppfyllir Evrópustaðla.

Helsti styrktaraðili verkefnisins um malbiksrannsóknir undanfarinna ára er Rannsóknasjóður Vegagerðarinnar, en einnig hefur Reykjavíkurborg, Malbikunarstöðin Höfði og Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas tekið á sig kostnað við einstaka verkþætti á undanförunum árum.

Í gegn um tíðina hafa fjölmargir setið í verkefnishópum um malbiksrannsóknir. Frá Vegagerðinni hafa Birkir Hrafn Jóakimsson, Einar Gíslason, Gunnar Bjarnason og Jón Magnússon verið í verkefnishópi, en auk þeirra hafa Arnþór Óli Arason, Erla María Hauksdóttir, Hafsteinn Hilmarsson og Sigurlaug María Hreinsdóttir hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Halldór Torfason hjá Malbikunarstöðinni Höfða, Sigþór Sigurðsson hjá Malbikunarstöðinni Hlaðbæ-Colas og Theodór Guðfinnsson hjá Reykjavíkurborg verið í verkefnishópum. Pétur Pétursson hefur verið verkefnisstjóri þessa verkefnis frá upphafi.

Þess má geta að í vinnslu er skýrsla þar sem safnað er saman öllum gögnum um rannsóknir á íslensku malbiki síðasta áratug. Þar verður lagt mat á hverju rannsóknirnar hafa skilað í formi efnisgerða, framleiðslu, útlagnar og endingar malbiks. Segja má að þar með verði þessu yfirgripsmikla rannsóknaverkefni skilað inn í einni heild.






## 2 Breytileiki í framleiðslu og útlögn malbiks

Eins og fram kemur í inngangi þótti áhugavert að kanna hvort mikill breytileiki væri í malbikssýnum sem tekin væru á nokkrum stöðum af palli flutningsbíls í malbikunarstöð og svo einnig úr útlangarvél. Tekin voru þrjú sýni við framleiðslu af bílpalli við afgreiðslu, svo og úr skúffu útlagnarvélar við útlögn hjá malbikunarstöðinni Höfða og Hlaðbæ-Colas (MHC). Sýnin voru greind á rannsóknastofu með Marshall þjöppun, kornadreifingu steinefnis, bindiefnisinnihaldi, rúmþyngd og holrýmd, bæði hjá framleiðanda malbiksins og hjá NMÍ til samanburðar. Öll sýnin voru tekin sama daginn og það vill svo til að Höfði var við malbikun á Háteigsvegi í Reykjavík, en MHC var við malbikun á Suðurlandsvegi nálægt Bláfjallaafleggjara í vesturátt þann daginn. Mynd 1 sýnir öll sýnin sem send voru til NMÍ til prófunar, þ.e.a.s. þrjú af palli í stöð og þrjú úr útlagnarvél á hvorum framkvæmdastað, alls 12 sýni. Framleiðendur fengu hvor um sig eigin sex sýni til prófunar, þrjú af palli og þrjú úr vél.



**Mynd 1** Malbikssýni sem send voru til NMÍ til prófana til samanburðar við malbikunarstöðvarnar

Almennar upplýsingar um malbikið sem framleitt var þennan dag og sýni voru tekin af eru eftirfarandi:

Malbikunarstöðin Hladbær-Colas Gullhella 1 221 Hafnarfjörður			
<b>Malbikssýni H17221 - 33983 SL16 Ottersbo - 10.07.2017 - TEST 1-A - Úr stöð</b>			
			Print: 14-07-2017
Product: AB SL 16 70+Ev+3%Sa		Plant No: 97	
Client: Vegagerðin		Place: 8.0.25 Hringvegur	
		Recipe: 33983-Z24	
Analysis No: 20819	Sample date: 10-07-2017	Received: 10-07-2017	Signed: GHG
Sample temp. 160	Time: 15:00	Order No: 600	Plant ref. 97

**Mynd 2** Upplýsingar um malbikið frá MHC sem sýni voru tekin af

<b>RANNSÓKN Á MALBIKI</b>							
Skýrsla:	M17-200	Dagsetning:	10.07.17	Klukkan:	0:00	Frankv. af:	E.Á.
Stöð:	Benninghoven	Verktaki:	Höfði	Verk:	1a stöð		
Kafi:	0	Aðrir í sama	0				
Tegund:	SL11 - 70/100 AC	Gerð:	Y11 Ottersbo	Sýni tekið af:	PP	Uppskrift:	A831
Hráefni	Uppruni	Hráefni	Uppruni	Íblöndunare.			
Perla 16	0	Sandur 0-8	Bjö	Viðloðunare.	Wetfix BE	Leiðrétt.st.	0,1
Perla 11	Ottersbo	Annað st.	0	Trefjar	0	Hiti v.p.	0
Perla 8	0	Bindiefni	70/100	Vax	0	Hiti v. þj.	135
Salli 0-8	Ottersbo	Fræs, %	0	Modifisering	0	Méla/asfalti	1,1
Salli 0-4	0	Annað	0	Annað	0	Max hitast.	550

**Mynd 3** Upplýsingar um malbikið frá Höfða sem sýni voru tekin af

Fjallað er um niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi, fillermagni (< 0,063 mm), filler/bindiefnis hlutfallið, rúmpýngd, holrýmd og kornadreifingu hér á eftir. Loks er lagt mat á dreifingu í mæligildum, bæði á sýnum sem prófuð eru innan prófunarstofa og einnig á milli prófunarstofa.

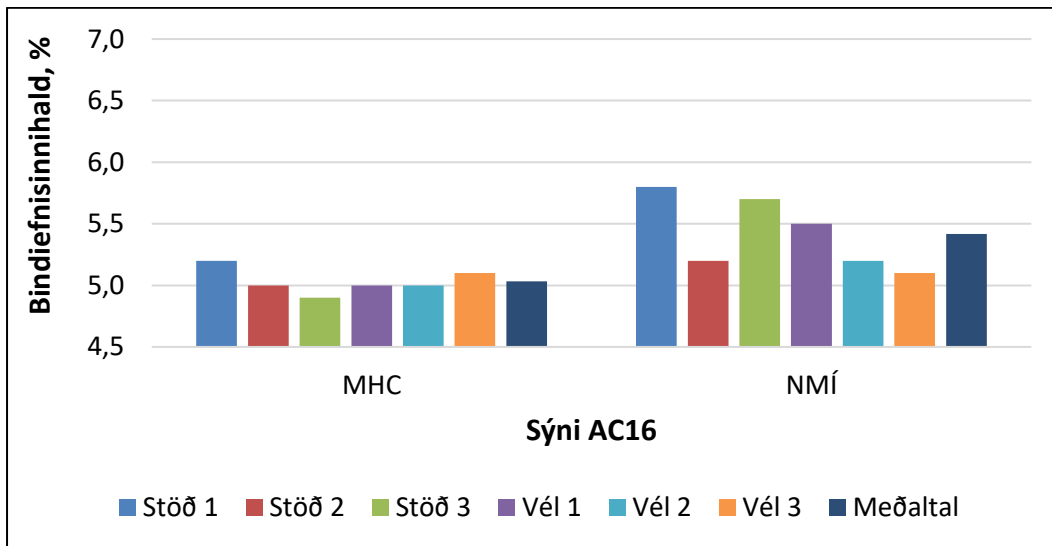
## 2.1 Mæling á bindiefnisinnihaldi

Það skal tekið fram hér að við mælingu á bindiefnisinnihaldi malbiks eru tvær aðferðir algengastar, annars vegar að leysa það upp og skola því burt í skilvindu (reiknað sem hlutfallsleg þýngd af upphaflegu sýni) og hins vegar að brenna það burt við ákveðið hitastig í ofni og reiknað út á sama hátt. NMÍ notar skilvinduáðferðina, en báðar malbikunarstöðvarnar notast við brennsluofna. Tafla 1 sýnir niðurstöður allra mælinga á bindiefnisinnihaldi, svo og meðalgildin.

**Tafla 1** Niðurstöður allra mælinga á bindiefnisinnihaldi og meðalgildin (%)

AC16 70/100 Ottersbo MHC			AC11 70/100 Ottersbo Höfði		
Sýni	MHC	NMÍ	Sýni	Höfði	NMÍ
Stöð 1	5,2	5,8	Stöð 1	6,5	6,2
Stöð 2	5,0	5,2	Stöð 2	6,5	6,3
Stöð 3	4,9	5,7	Stöð 3	6,5	6,1
Vél 1	5,0	5,5	Vél 1	6,6	6,2
Vél 2	5,0	5,2	Vél 2	6,4	6,3
Vél 3	5,1	5,1	Vél 3	6,6	6,3
<b>Meðaltal</b>	<b>5,0</b>	<b>5,4</b>	<b>Meðaltal</b>	<b>6,5</b>	<b>6,2</b>

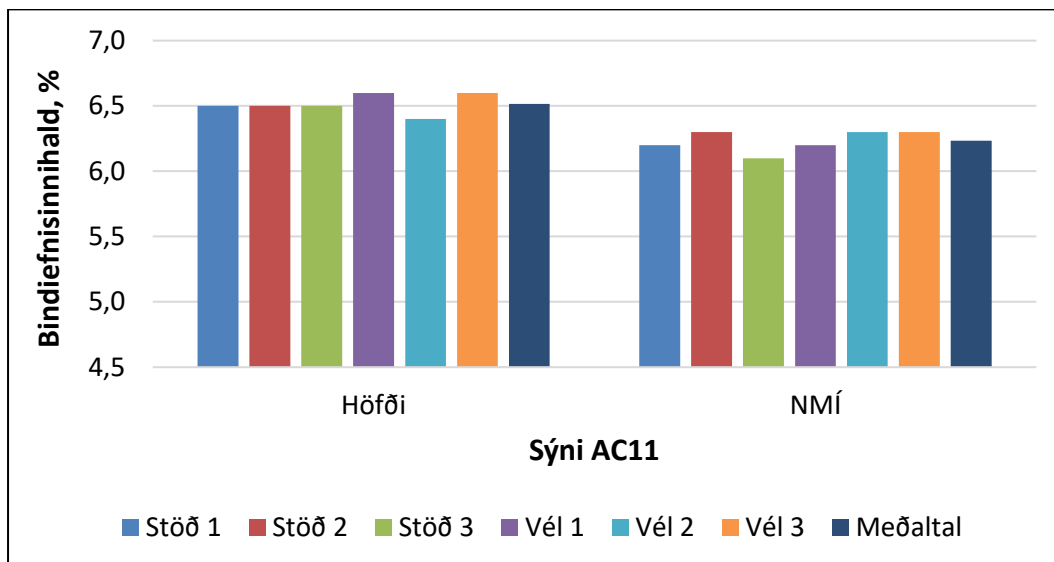
Mynd 4 sýnir niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi malbikssýna hjá MHC og NMÍ, annars vegar 3 gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlangarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.



**Mynd 4** Niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi hjá MHC og NMÍ

Það sést á myndinni að mælingar MHC á bindiefnisinnihaldi eru allar svipaðar, eða frá 4,9% og upp í 5,2%, meðaltalið er 5,0%. Hjá NMÍ mælist bindiefnisinnihald hærra í nær öllum tilfellum en þar er meiri munur á hlutasýnum eða frá 5,1% og upp í 5,8%, meðaltalið er 5,4%. Það virðist sem sagt að brennsluofn MHC gefi heldur lægri gildi fyrir bindiefnisinnihald en skilvinda NMÍ, eða um 0,4% og auk þess minni frávik milli sýna.

Mynd 5 sýnir niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi malbikssýna hjá Höfða og NMÍ, annars vegar 3 gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlangarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.



**Mynd 5** Niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi hjá Höfða og NMÍ

Það sést á myndinni að mælingar Höfða á bindiefnisinnihaldi eru allar svipaðar, eða frá 6,4% og upp í 6,6%, meðaltalið er 6,5%. Hjá NMÍ mælist bindiefnisinnihald lægra í öllum tilfellum og þar er líka lítill munur á hlutasýnum eða frá 6,1% og upp í 6,3%, meðaltalið er 6,2%. Myndin sýnir sem sagt að í þessum samanburði mælir brennsluofn Höfða meira bindiefnisinnihald en NMÍ í öllum tilfellum, eða um 0,3%. Þetta er þveröfugt við það sem mældist í samanburði milli MHC og NMÍ, þar sem NMÍ mældi 0,4% meira bindiefni en framleiðandinn.

Niðurstöður ofangreindra mælinga benda til þess að ekki hafi orðið aðskilnaður á bindiefnisinnihaldi, þar sem yfirleitt er lítill munur á öllum hlutasýnum sem mæld voru innan prófunarstofu. Hins vegar virðist vera einhver kerfisbundinn munur milli prófanastofa framleiðenda annars vegar og NMÍ hins vegar. Það sem vekur athygli er að NMÍ mælir minna bindiefni en framleiðandinn í öðru tilfallinu, en meira bindiefni í hinu tilfallinu. Þó eru engar forsendur til að fullyrða að ein prófanarstofa mæli „rétt“ bindiefnisinnihald. Það er þó freistandi að ætla að skilvindan (sem mælir meira í öðru tilfallinu og minna í hinu) gæti verið nærri lagi þar sem ekki þarf að stilla/kvarða hana sérstaklega með tilliti til þess steinefnis sem er notað, eins og þarf að gera við brennsluofna til að bindiefnisinnihaldið reiknist rétt. Hér er þó ekki verið að mæla með notkun skilvindu í stað brennsluofna, en e.t.v. væri full ástæða til að framleiðendur og NMÍ beri nánar saman bækur sínar til að samræma mæliniðurstöður á bindiefnisinnihaldi.

Bent skal á að í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar er leiðbeinandi tafla nr. 64-3 þar sem mælt er með ákveðnu magni bindiefnis fyrir mismunandi malbiksgerðir. Þar er m.a. mælt með að í AC11 malbiki fari bindiefnið ekki undir 5,8% ( $B_{min}$ ) og í AC16 fari það ekki undir 5,6%. Miðað við þau gildi er mælt bindiefnisinnihald hjá MHC talsvert lágt en mælt gildi NMÍ á sama malbiki nær lagi. Mælt bindiefnisinnihald Höfða er hins vegar talsvert hátt en mælt gildi NMÍ á sama malbiki nær lagi. Það skal tekið fram að þessi leiðbeinandi gildi í Efnisgæðaritinu eru byggð á gömlum hefðum við framleiðslu malbiks og eru því líklega í hærri kantinum. Þar að auki miðast þau við íslensk steinefni sem eru að öllu jöfnu gropnari er erlend, svo sem Ottersbo, sem notað var í báðum malbiksgerðunum.

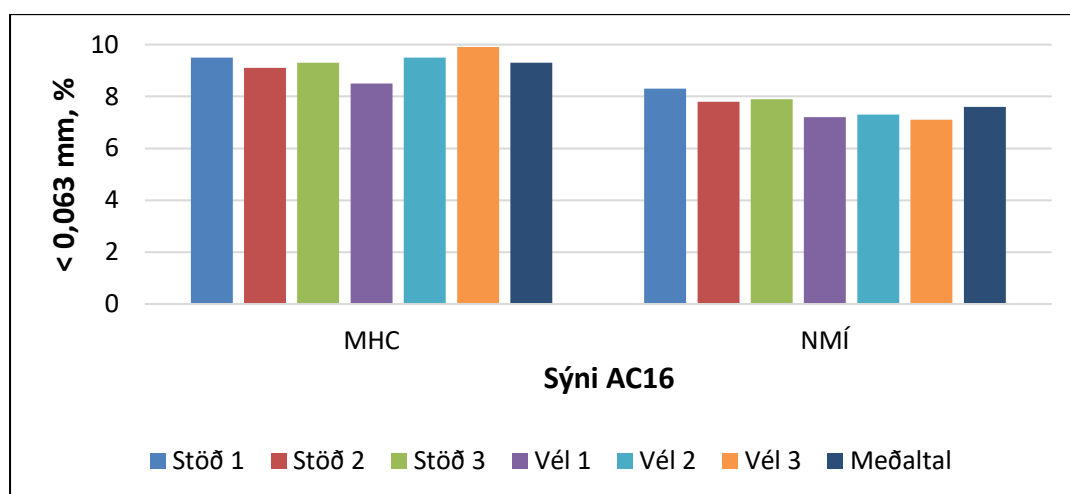
## 2.2 Mæling á fínefnainnihaldi

Mæling á fínefnainnihaldi eða fillermagni er í sjálfu sér hluti af mælingu á kornadreifingu sýnis eftir að bindiefni hefur verið skolað burt í skilvindu eða þá brennt burt í ofni. Þó þykir ástæða til að fjalla sérstaklega um magn fínefna þar sem fillerinn hefur afgerandi áhrif á eiginleika malbiks og samspil fillers og bindiefnis er mikilvægt varðandi eiginleika malbiksins, svo sem stífni, blæðingu o.fl. Tafla 2 sýnir niðurstöður allra mælinga á fillermagni, svo og meðalgildin.

**Tafla 2** Niðurstöður allra mælinga á fillermagni og meðalgildin (%)

AC16 70/100 Ottersbo MHC			AC11 70/100 Ottersbo Höfði		
Sýni	MHC	NMÍ	Sýni	Höfði	NMÍ
Stöð 1	9,5	7,4	Stöð 1	6,9	8,9
Stöð 2	9,1	7,8	Stöð 2	4,8	8,7
Stöð 3	9,3	6,7	Stöð 3	5,9	8,2
Vél 1	8,5	7,2	Vél 1	6,0	8,2
Vél 2	9,5	7,3	Vél 2	5,5	8,4
Vél 3	9,9	7,1	Vél 3	6,5	8,2
<b>Meðaltal</b>	<b>9,3</b>	<b>7,3</b>	<b>Meðaltal</b>	<b>5,9</b>	<b>8,4</b>

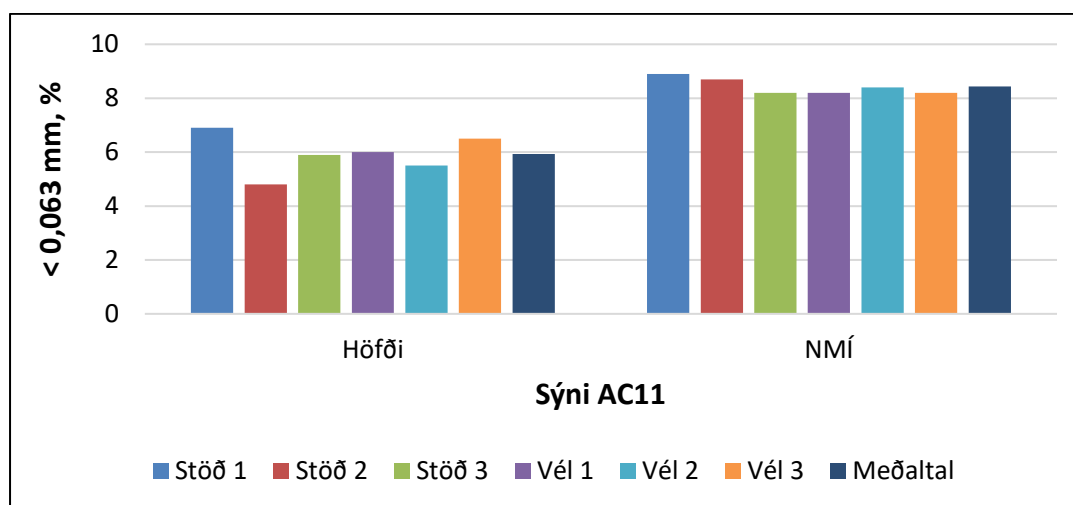
Mynd 6 sýnir niðurstöður mælinga á fínefnamagni malbikssýna hjá MHC og NMÍ, annars vegar 3 gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlangarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.



**Mynd 6** Magn fínefna í malbikssýnum hjá MHC og NMÍ

Það sést glögg á myndinni að MHC mælir í öllum tilfellum meira fillermagn en NMÍ, eða frá 8,5% upp í 9,9%, meðaltalið er 9,3%. NMÍ mælir hins vegar frá 7,1% upp í 8,3%, meðaltalið er 7,6%. Það getur sem sagt munað vel ríflega 1% milli mælinga á hlutasýnum innan prófunarstofu en meðalmunurinn milli prófunarstofa er tæp 1,7%. Þó munar tæpum 3% á hæsta melda gildi MHC og lægst gildi NMÍ. Eins og bent var á í kafla 2.1 mældist bindiefnisinnihald malbiksins lægra hjá MHC en hjá NMÍ, en hins vegar mælist fillermagnið hærra hjá MHC heldur en hjá NMÍ. Ekki er ljóst hvort þarna sé samhengi á milli, þ.e.a.s. að ef bindiefnismagn mælist lágt eru líkur á að fillermagn mælist hátt. Hugsanlega hefur það með sigtunaraðferð að gera, en það er ekki vitað hvort svo sé.

Mynd 7 sýnir niðurstöður mælinga á fínefnamagni malbikssýna hjá Höfða og NMÍ, annars vegar 3 gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlangarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.



**Mynd 7** Magn fínefna í malbikssýnum hjá Höfða og NMÍ

Myndin sýnir að í þessum samanburði eru mælingar á magni fillers lægri hjá Höfða en hjá NMÍ og einnig er meiri munur á hlutasýnum, eða frá 4,8% upp í 6,9%, meðaltalið mælist 5,9%. Hjá NMÍ er lægsta gildið 8,2% (reyndar í þremur tilfellum) og hæsta gildið er 8,9%, meðaltalið mælist 8,4%. Það munar sem sagt liðlega 2% á hæsta og lægsta mælda gildi á fillermagni hjá Höfða, en einungis 0,7% hjá NMÍ. Munurinn á mældu meðaltali milli prófunarstofa er sem sagt 2,5% og munur á lægsta mælda gildi hjá Höfða og hæsta mælda gildi hjá NMÍ er liðlega 4%.

Eins og í tilfelli samanburðar á mælingum MHC og NMÍ er ekki ljóst hvort þarna sé samhengi á milli, þ.e.a.s. að ef bindiefnismagn mælist hátt eru líkur á að fillermagn mælist lágt. Eins og áður sagði er hugsanlegt að það hafi með sigtunaraðferð að gera, en það er ekki vitað hvort svo sé.

Niðurstöður ofangreindra mælinga benda til þess að varla hafi orðið afgerandi aðskilnaður á fillermagni, þar sem munur á öllum hlutasýnum sem mæld voru innan prófunarstofu er líklega nokkurn veginn innan skekkjumarka aðferðarinnar. Mælingar NMÍ á sýnum frá Höfða styðja þetta, þar sem sáralítill munur mælist á hlutasýnum, þótt benda megi á að munur á hlutasýnum hjá prófunarstofu Höfða (um 2%) verði að teljast nokkuð mikill. Hins vegar virðist vera einhver kerfisbundinn munur milli prófanastofa framleiðenda annars vegar og NMÍ hins vegar, reyndar í öfugu hlutfalli við mælingar á bindiefnisinnihaldi. Í báðum tilfellum mælast öll hlutasýni framleiðenda hærrí eða lægri en öll hlutasýni NMÍ.

Bent skal á að í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar eru markalínu kornadreifingar mismunandi malbiksgerða. Myndir 64-7 og 64-8 í ritinu sýna að magn fínefnis < 0,063 mm skuli liggja á bilinu 6 til 10% fyrir bæða AC11 og AC16 malbik. Miðað við þau gildi er mælt fínefnamagn hjá MHC í hærri kantinum, en þó innan marka (rétt undir 10%) en mælt gildi NMÍ á sama malbiki er nær því að vera mitt á milli markalína. Mælt fínefnamagn Höfða er hins vegar talsvert lágt og er meðaltalið reynar aðeins undir neðri mörkum (5,9% í stað 6%) en mælt gildi NMÍ á sama malbiki er nær því að vera mitt á milli markalína.

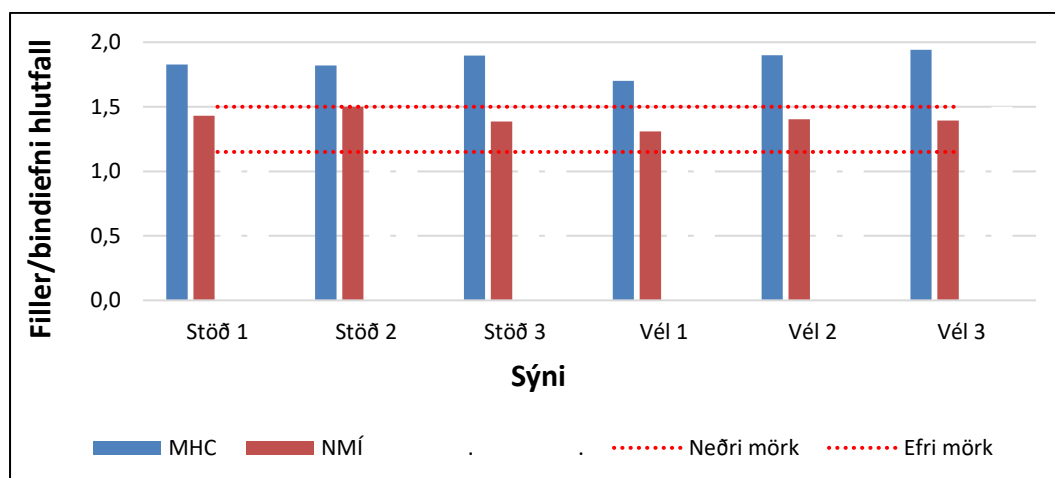
## 2.3 Hlutfallið milli fillermagns og bindiefnisinnihalds

Til að rýna aðeins betur í niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi og magni fínefnis var útreiknað hlutfall milli þessara þátta skoðað. Tafla 3 sýnir hlutfallið eins og það reiknast fyrir öll hlutasýnin, svo og meðaltal hlutfallsins.

**Tafla 3** Hlutfallið milli fillermagns og bindiefnismagns

AC16 70/100 Ottersbo MHC			AC11 70/100 Ottersbo Höfði		
Sýni	MHC	NMÍ		Höfði	NMÍ
Stöð 1	1,8	1,4	Stöð 1	1,1	1,4
Stöð 2	1,8	1,5	Stöð 2	0,7	1,4
Stöð 3	1,9	1,4	Stöð 3	0,9	1,3
Vél 1	1,7	1,3	Vél 1	0,9	1,3
Vél 2	1,9	1,4	Vél 2	0,9	1,3
Vél 3	1,9	1,4	Vél 3	1,0	1,3
<b>Meðaltal</b>	<b>1,8</b>	<b>1,4</b>	<b>Meðaltal</b>	<b>0,9</b>	<b>1,4</b>

Mynd 8 sýnir hlutfallið á hlutasýnum MHC annars vegar og hlutasýnum NMÍ hins vegar. Það skal tekið fram að ekki er samhengi milli súluparanna sem liggja saman (blá og rauð súla) annað en það að merkingar á hlutasýnunum eru þær sömu. Einnig skal bent á það hér að í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar (bls. 6-65) er lagt til að hlutfallið filler/bindiefni liggi á bilinu 1,15 til 1,5, en rauðu punktálinurnar á myndinni sýna þessi mörk.

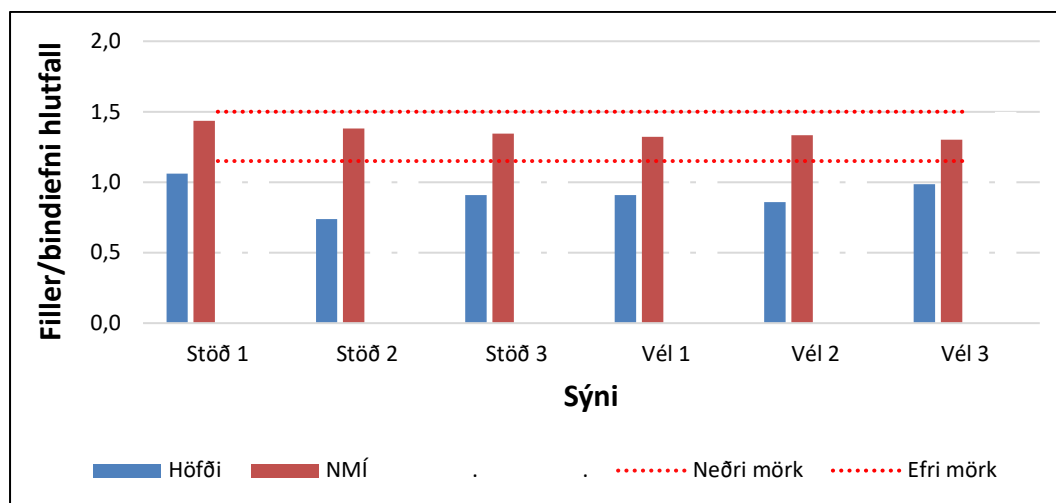


**Mynd 8** Hlutfallið filler/bindiefni á hlutasýnum MHC og NMÍ

Eins og sjá má á myndinni er hlutfallið filler/bindiefni mun hærra hjá prófunarstofu MHC heldur en hjá NMÍ, enda mældist fillermagnið þar við efri mörk markalína, en bindiefnismagnið einungis um 5%. Hlutfallið fellur því utan leiðbeinandi marka Efnisgæðaritsins (meðaltal 1,8), þ.e.a.s. fillermagnið er of hátt miðað við bindiefnismagnið. Hjá NMÍ falla öll gildi innan leiðbeinandi marka (meðaltal 1,4), enda mældist fillermagnið minna og bindiefnismagnið meira þar.

Mynd 9 sýnir hlutfallið á hlutasýnum Höfða annars vegar og hlutasýnum NMÍ hins vegar. Það skal tekið fram að ekki er samhengi milli súluparanna sem liggja saman (blá og rauð súla) annað en

Það að merkingar á hlutasýnunum eru þær sömu. Rauðu punktalínurnar á myndinni sýna leiðbeinandi mörk þessa hlutfalls úr Efnisgæðariti Vegagerðarinnar.



**Mynd 9** Hlutfallið filler/bindiefni á hlutasýnum Höfða og NMÍ

Eins og sjá má á myndinni er hlutfallið filler/bindiefni mun lægra hjá prófunarstofu Höfða heldur en hjá NMÍ, enda mældist fillermagnið þar rétt undir neðri markalínu (meðaltal 5,9%), en bindiefnismagnið talsvert hátt (meðaltal 6,5%). Hlutfallið fellur því utan leiðbeinandi marka Efnisgæðaritsins (meðaltal 0,9), þ.e.a.s. fillermagnið er of lágt miðað við bindiefnismagnið. Hjá NMÍ falla öll gildi innan leiðbeinandi marka (meðaltal 1,4), enda mældist fillermagnið meira og bindiefnismagnið minna þar.

Af framansögðu er ljóst að ef NMÍ hefði verið með framleiðslueftirlit fyrir malbikunarstöðvarnar mætti ætla að í báðum tilfellum hefði litið svo út að hlutfallið milli fínefnamagns og bindiefnismagns væri í fínu lagi og malbiksblandan að því leytnu til eðlilega samsett. Hins vegar hefði þetta hlutfall átt að ýta undir að malbikunarstöðvarnar veltu fyrir sér hvort mælingar þeirra á bindiefnisinnihaldi og fillermagni væru e.t.v. með einhverja kerfisbundna skekkju í mælingum. Að vísu er MHC nokkuð nærri hannaðri malbiksblöndu, skv. CE merkingu á þeirra malbiki, en þar er gefið upp 5,1% bindiefni og 9% fínefni. Sú blanda er þar með yfir viðmiðunarmörkum Efnisgæðaritsins um hlutfallið filler/bindiefni, eða 1,8, en auk þess er bindiefnisinnihaldið undir ráðlögðu lágmarki ( $B_{min}$ ), en það er 5,6% fyrir AC16 malbik. Ekki liggja fyrir sams konar upplýsingar um hannaða malbiksblöndu á heimasíðu Höfða, þ.e.a.s. hannaðan sáldurferil (e. target), en lágmarksbindiefnisinnihald ( $B_{min}$ ) er gefið upp 5,4% fyrir AC11 malbik, en ætti að vera 5,8% samkvæmt leiðbeinandi gildum í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar. Það skal ítrekað að þessi leiðbeinandi gildi í Efnisgæðaritinu eru byggð á gömlum hefðum við framleiðslu malbiks og eru því líklega í hærri kantinum. Þar að auki miðast þau við íslensk steinefni sem eru að öllu jöfnu gropnari er erlend, svo sem Ottersbo, sem notað var í báðum malbiksgerðunum.



## 2.4 Mæling á rúmpyngd og holrýmd malbiks

Í þessari samanburðarrannsókn voru þjappaðir malbikskjarnar með Marshallhamri, skv. ÍST EN 12697-30, til þess að unnt væri að mæla rúmpyngd þjappaðs malbiks og holrýmdina í því.

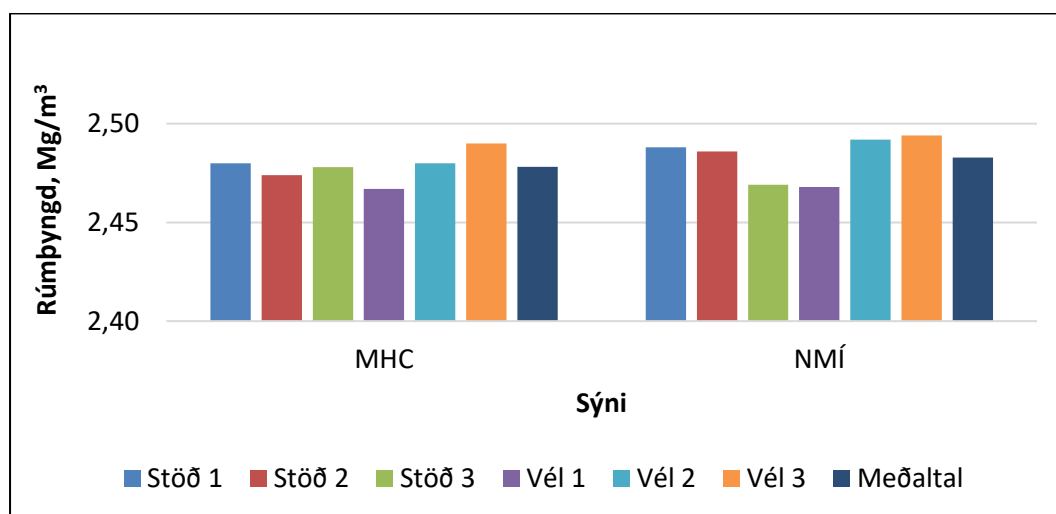
### 2.4.1 Rúmpyngdarmælingar

Tafla 4 sýnir mælda rúmpyngd á öllum sýnunum sem tekin voru í stöð og útlagnarvél, svo og meðaltal mælinga hjá hverri prófunarstofu.

**Tafla 4** Rúmpyngd allra malbikssýna sem tekin voru og meðaltal á prófunarstofu (Mg/m<sup>3</sup>)

AC16 70/100 Ottersbo MHC			AC11 70/100 Ottersbo Höfði		
Sýni	MHC	NMÍ	Sýni	Höfði	NMÍ
Stöð 1	2,480	2,488	Stöð 1	2,501	2,533
Stöð 2	2,474	2,486	Stöð 2	2,498	2,506
Stöð 3	2,478	2,469	Stöð 3	2,485	2,499
Vél 1	2,467	2,468	Vél 1	2,471	2,509
Vél 2	2,480	2,492	Vél 2	2,460	2,508
Vél 3	2,490	2,494	Vél 3	2,468	2,505
<b>Meðaltal</b>	<b>2,478</b>	<b>2,483</b>	<b>Meðaltal</b>	<b>2,481</b>	<b>2,510</b>

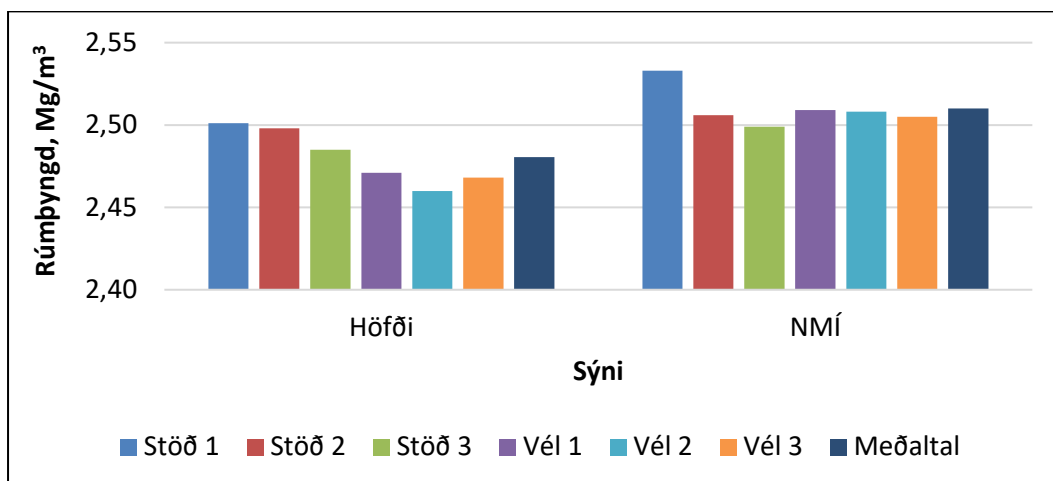
Á mynd 10 má sjá niðurstöður mælinga á rúmpyngd malbikssýna hjá MHC og NMÍ, þrjú gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlangarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.



**Mynd 10** Niðurstöður mælinga á rúmpyngd malbikssýna hjá MHC og NMÍ

Myndin sýnir að mælingar á rúmpyngd malbiks eru á heildina litið nokkuð svipaðar á öllum hlutasýnum og er mesti munur á milli 0,02 og 0,03 Mg/m<sup>3</sup> og meðalgildið er nánast það sama hjá báðum prófunarstofum, eða um 2,48 Mg/m<sup>3</sup>. Það bendir til þess að þjöppunarorka og hitastig við þjöppun hafi verið mjög sambærilegt milli prófunarstofa.

Mynd 11 sýnir niðurstöður mælinga á rúmpyngd malbikssýna hjá Höfða og NMÍ, þrjú gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlangarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.



**Mynd 11** Niðurstöður mælinga á rúmpýngd malbikssýna hjá Höfða og NMÍ

Myndin sýnir að heldur meiri munur er á mældum rúmpýngdargildum milli hlutasýna hjá Höfða en hjá NMÍ eða um 0,04 Mg/m<sup>3</sup>, en meðalgildið er einnig nokkuð lægra hjá Höfða en hjá NMÍ, eða 2,48 Mg/m<sup>3</sup> á móti 2,51 Mg/m<sup>3</sup>. Þó má benda á að rúmpýngdarmæling NMÍ á sýni Stöð 1 er nokkuð hærri en allra hinna sýnanna, en skýringin gæti verið að það var ekki sami rannsóknar- maður sem mældi það sýni af sérstökum ástæðum sem ekki verða raktar hér.

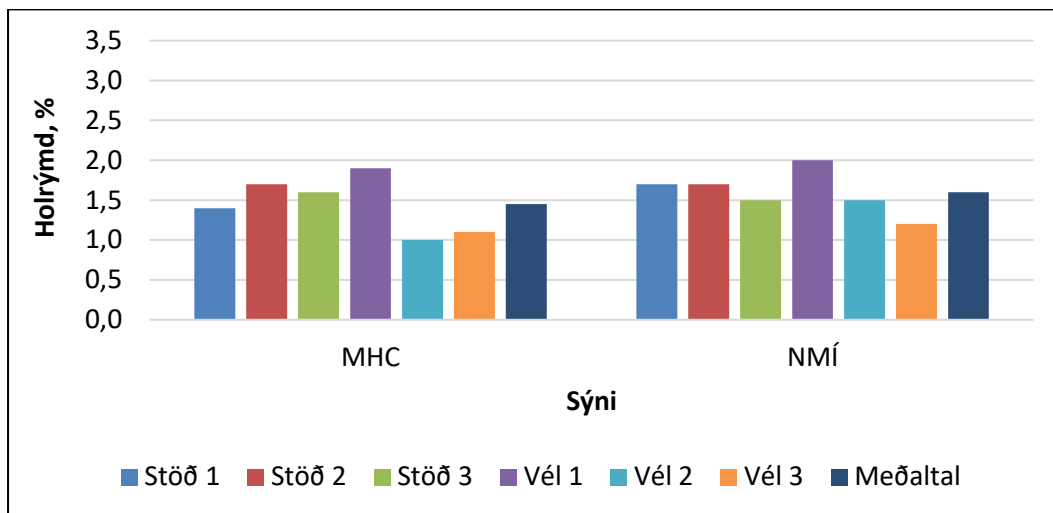
#### 2.4.2 Holrýmdarmælingar

Tafla 5 sýnir mælda holrýmd á öllum sýnunum sem tekin voru í stöð og útlagnarvél, svo og meðaltal mælinga hjá hverri prófunarstofu.

**Tafla 5** Holrýmd sýna sem tekin voru í stöð og útlagnarvél og meðaltal mælinga (%)

AC16 70/100 Ottersbo MHC			AC11 70/100 Ottersbo Höfði		
Sýni	MHC	NMÍ	Sýni	Höfði	NMÍ
Stöð 1	1,4	1,7	Stöð 1	1,1	1,2
Stöð 2	1,7	1,7	Stöð 2	0,4	1,2
Stöð 3	1,6	1,5	Stöð 3	0,7	1,5
Vél 1	1,9	2,0	Vél 1	2,5	1,3
Vél 2	1,0	1,5	Vél 2	3,0	1,3
Vél 3	1,1	1,2	Vél 3	1,7	1,2
<b>Meðaltal</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>Meðaltal</b>	<b>1,6</b>	<b>1,3</b>

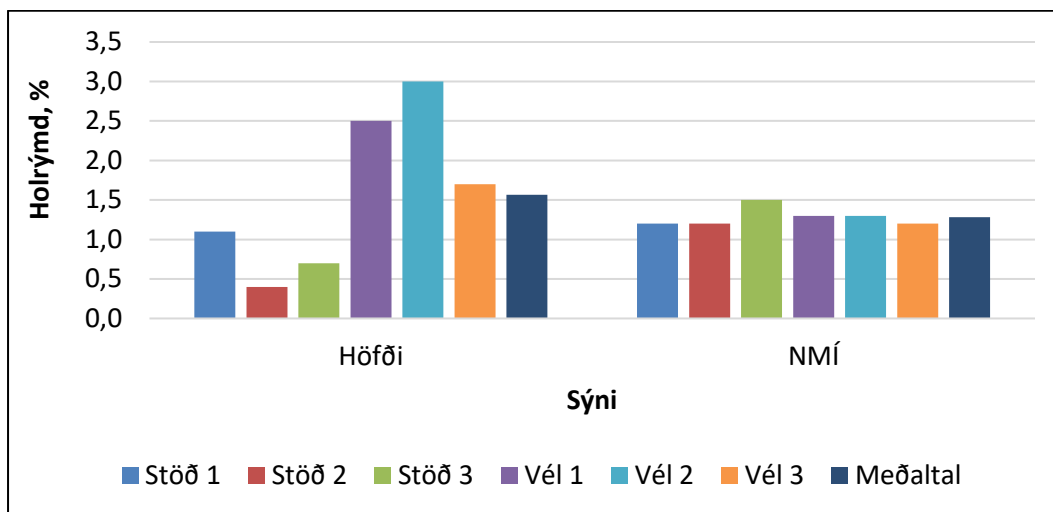
Á mynd 12 má sjá niðurstöður mælinga á holrýmd malbikssýna hjá MHC og NMÍ, þrjú gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlagnarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.



**Mynd 12** Niðurstöður mælinga á holrýmd malbikssýna hjá MHC og NMÍ

Myndin sýnir að holrýmd einstakra kjarna mælist á bilinu frá um 1% upp í 2% hjá báðum prófunarstofunum og meðalholrýmdin er nánast sú sama, 1,5% hjá MHC og 1,6% hjá NMÍ.

Á mynd 13 má sjá niðurstöður mælinga á holrýmd malbikssýna hjá Höfða og NMÍ, þrjú gildi úr stöð og þrjú gildi úr útlangarvél. Bláa súlan lengst til hægri sýnir svo meðalgildi allra sýna sem mæld voru hjá hvorri prófunarstofu.

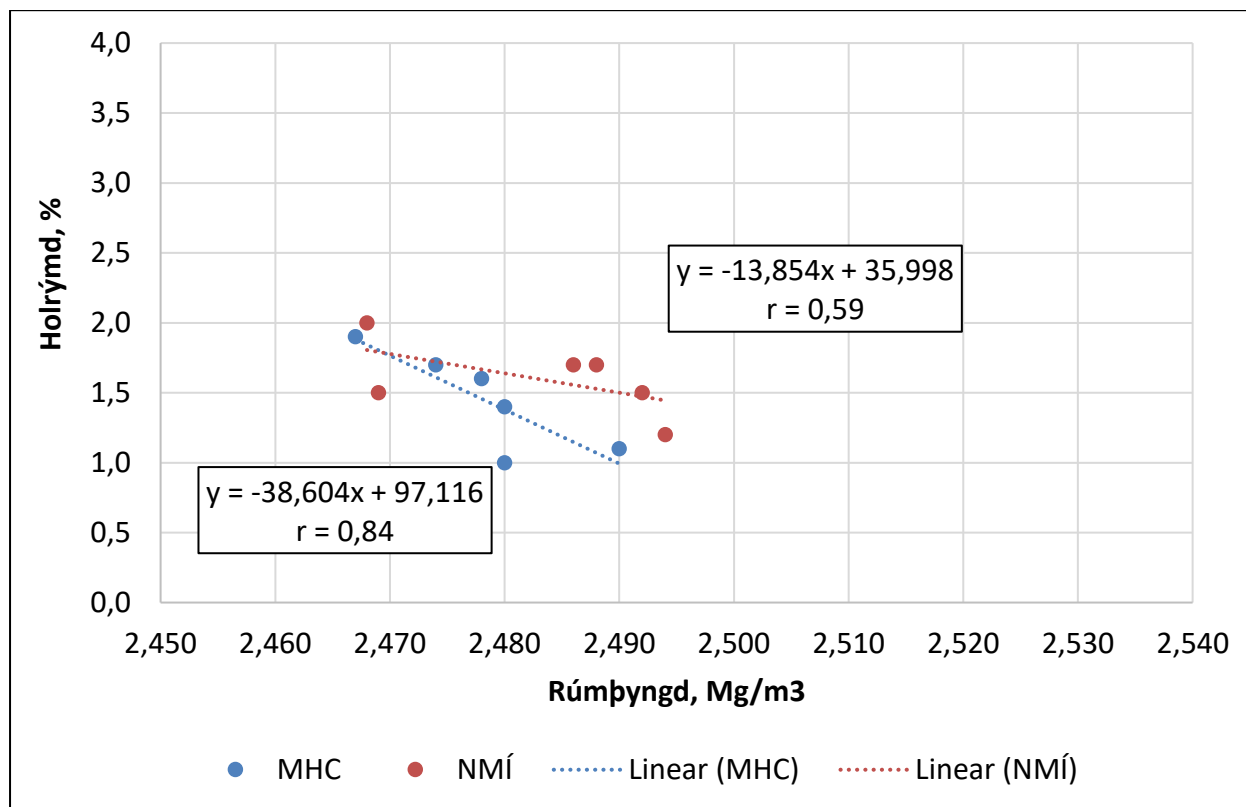


**Mynd 13** Niðurstöður mælinga á holrýmd malbikssýna hjá Höfða og NMÍ

Myndin sýnir að holrýmd í einstökum kjörnum mælist afar mismunandi hjá Höfða, eða allt frá 0,4% og upp í 3,0%, meðaltalið 1,6%. Hjá NMÍ mælist holrýmdin hins vegar svipuð í öllum kjarnasýnunum, eða frá 1,2% upp í 1,5%, meðaltalið 1,3%. Það er athyglisvert að NMÍ mælir bæði rúmþyngd og holrýmd malbiks á nokkuð þröngu bili. Eins og bent var á var rúmþyngdarmæling hjá NMÍ á sýni Stöð 1 nokkuð hærri en á hinum hlutasýnunum. Sú mæling virðist þó ekki hafa áhrif á holrýmdina, einhverra hluta vegna, en ætla má almennt séð að holrýmd minnki með aukinni rúmþyngd að öllu jöfnu.

### 2.4.3 Tengsl rúmþyngdar og holrýmdar

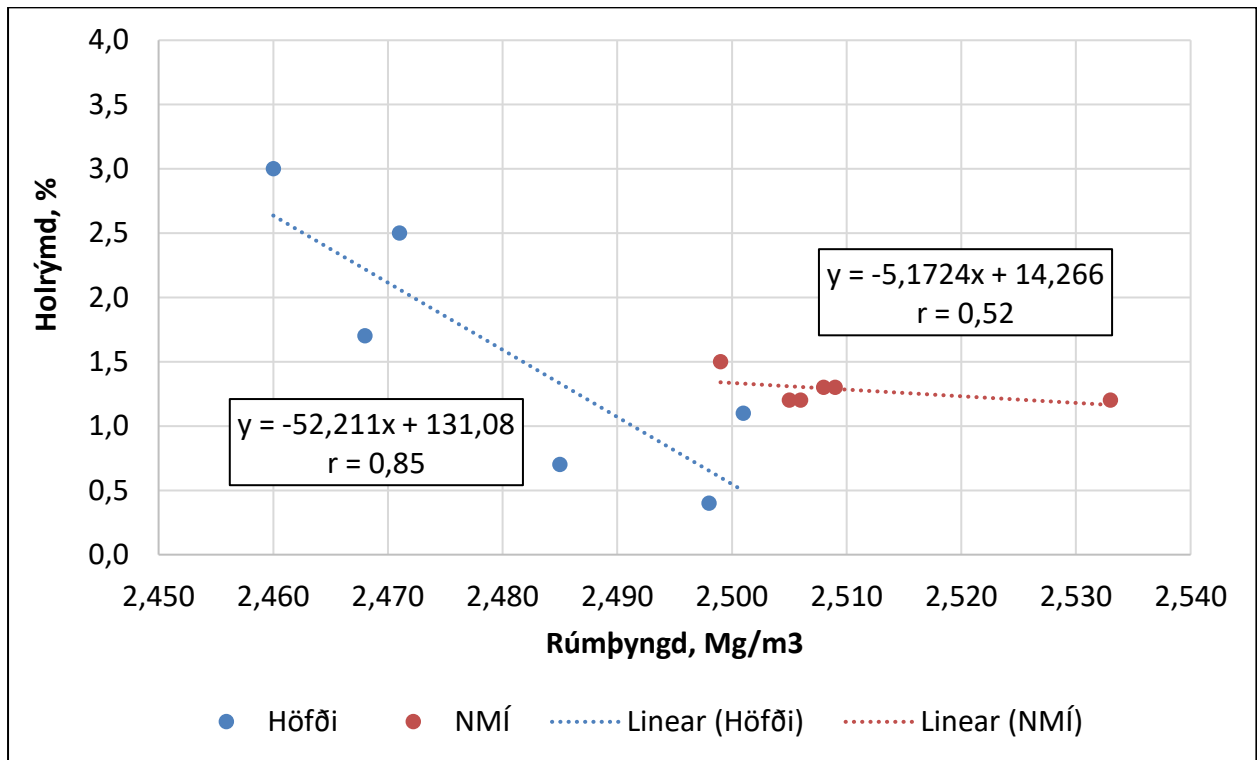
Þegar stakar rúmþyngdar- og holrýmdarmælingar eru bornar saman á sams konar malbiksgerðum má ætla að ákveðin marktæk tengsl séu til staðar, þannig að eftir því sem rúmþyngd kjarna eykst, minnki holrýmdin. Það er byggt á því að það stjórnist að mestu leyti af þjöppunarorkunni hversu mikil rúmþyngdin mælist ef tvö eða fleiri sambærileg sýni eru þjöppuð. Mynd 14 sýnir tengslin á milli hlutasýna sem þjöppuð voru hjá MHC annars vegar og NMÍ hins vegar.



**Mynd 14** Tengslin á milli hlutasýna sem þjöppuð voru hjá MHC og NMÍ

Eins og myndin sýnir eru tengslin milli rúmþyngdar og holrýmdar nokkuð sterk hjá MHC, þótt gildin liggja á tiltölulega þröngu bili í báðum tilfellum. Hjá NMÍ liggja gildin á nokkuð svipuðum slóðum, en tengslin eru ekki jafn sterk, aðallega vegna þess að holrýmdin mælist á heildina séð nokkuð svipuð í hlutasýnunum og aðfallslínan verður því frekar flöt. Mæld rúmþyngdargildi eru svipuð á báðum prófunarstofunum og því má reikna með að þjöppunarorka Marshallhamranna sé svipuð hjá stofunum.

Mynd 15 sýnir tengslin á milli hlutasýna sem þjöppuð voru hjá Höfða annars vegar og NMÍ hins vegar.

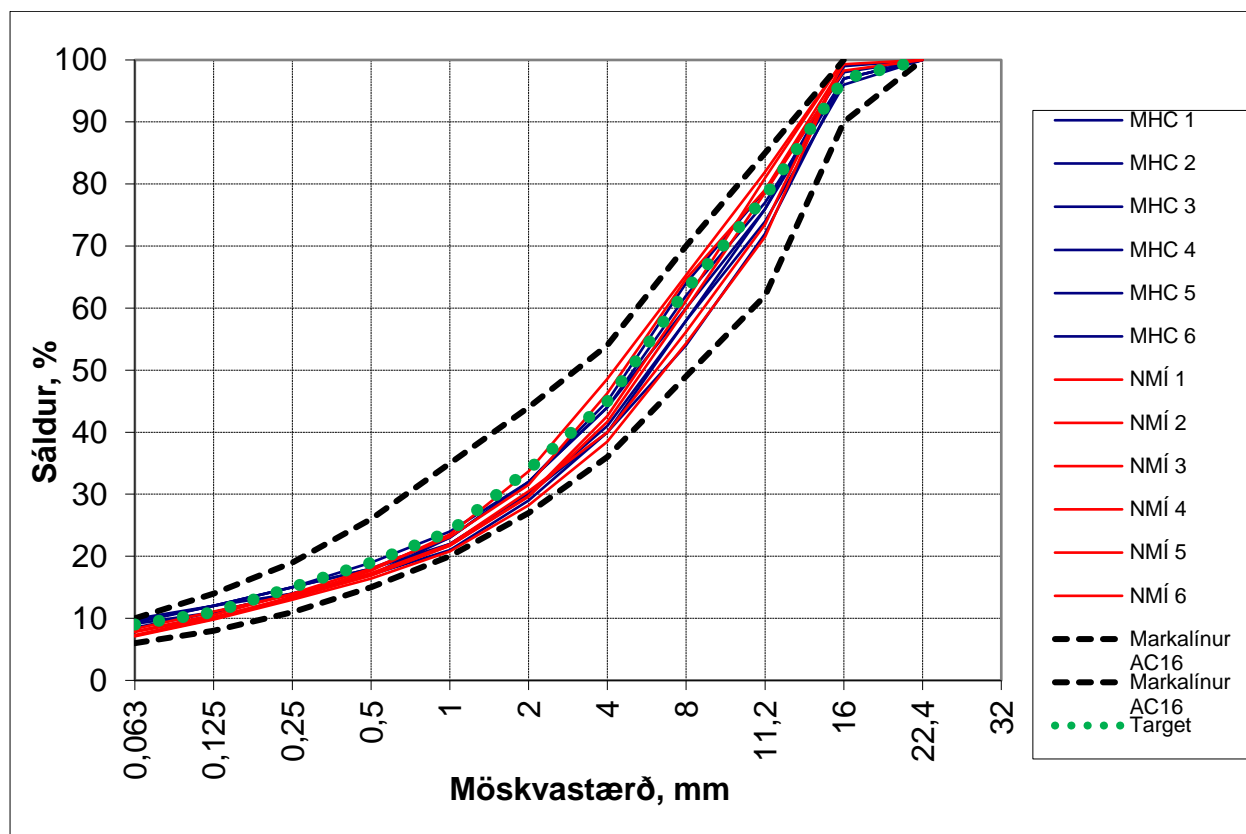


**Mynd 15** Tengslin á milli hlutasýna sem þjöppuð voru hjá Höfða og NMÍ

Eins og myndin sýnir eru tengslin milli rúmþyngdar og holrýmdar nokkuð sterk hjá Höfða og endurspeglar vel að gildin eru á nokkuð víðu sviði, bæði hvað varðar rúmþyngd og holrýmd. Hjá NMÍ liggja rúmþyngdargildin mun hærra en hjá Höfða, en tengsl milli rúmþyngdar og holrýmdar eru frekar veik, þar sem holrýmdin er mjög svipuð í öllum tilfellum og aðfallslínan nánast alveg flöt. Reyndar má benda á að ef ekki væri fyrir háa rúmþyngdargildið á sýni Stöð 1 (sem annar rannsóknarmaður mældi) og fjallað er um hér að ofan, væru öll gildin mjög svipuð hjá NMÍ, bæði hvað varðar rúmþyngd og holrýmd. Segja má að þau rúmþyngdargildi sem Höfði mælir séu frá því að nálgast rúmþyngdargildin sem NMÍ mælir (um 2,50 Mg/m³) en einnig mun lægri gildi (um 2,46 Mg/m³), en þetta endurspeglast líka vel í talsverðum mun í holrýmdarmælingum. Í ljósi þess að rúmþyngdarmælingar MHC og NMÍ eru svipaðar (reyndar lægri í heildina en NMÍ mælir í malbikinu frá Höfða) má ætla að Marshallþjöppunin í tæki Höfða hafi verið nokkuð breytileg í þessu verkefni. Það leiðir aftur til þess að rúmþyngd og holrýmd eru breytileg milli hlutasýna. Þessi skýring á breytileikanum í mælingum Höfða eru í öllu falli líklegri en að breytileiki í malbikinu sjálfu hafi valdið honum. Því gæti verið ástæða hjá Höfða að fara yfir tækjabúnaðinn og kanna nánar endurtekingastuðla.

## 2.5 Mæling á kornadreifingu malbikssýna

Þótt fjallað hafi verið sérstaklega um magn fínefnis (0,063 mm) og mismunandi gildi þar að lútandi milli rannsóknastofa er fróðlegt að skoða líka kornadreifinguna í heild sinni. Mynd 16 sýnir kornadreifingu stakra sýna sem tekin voru úr stöð og útlagnarvél hjá MHC, bæði hjá prófunarstofu MHC (bláar línur) og hjá NMÍ (rauðar línur). Græna punktalínin er sá hannaði sáldurferill (e. target) sem framleiðandi gefur upp á gerðarprófun og vottun fyrir þessa gerð malbiks á heimasíðu sinni og skal vera innan þolmarka við framleiðslueftirlit, sbr. staðal ÍST EN 13108-21, viðauka A.

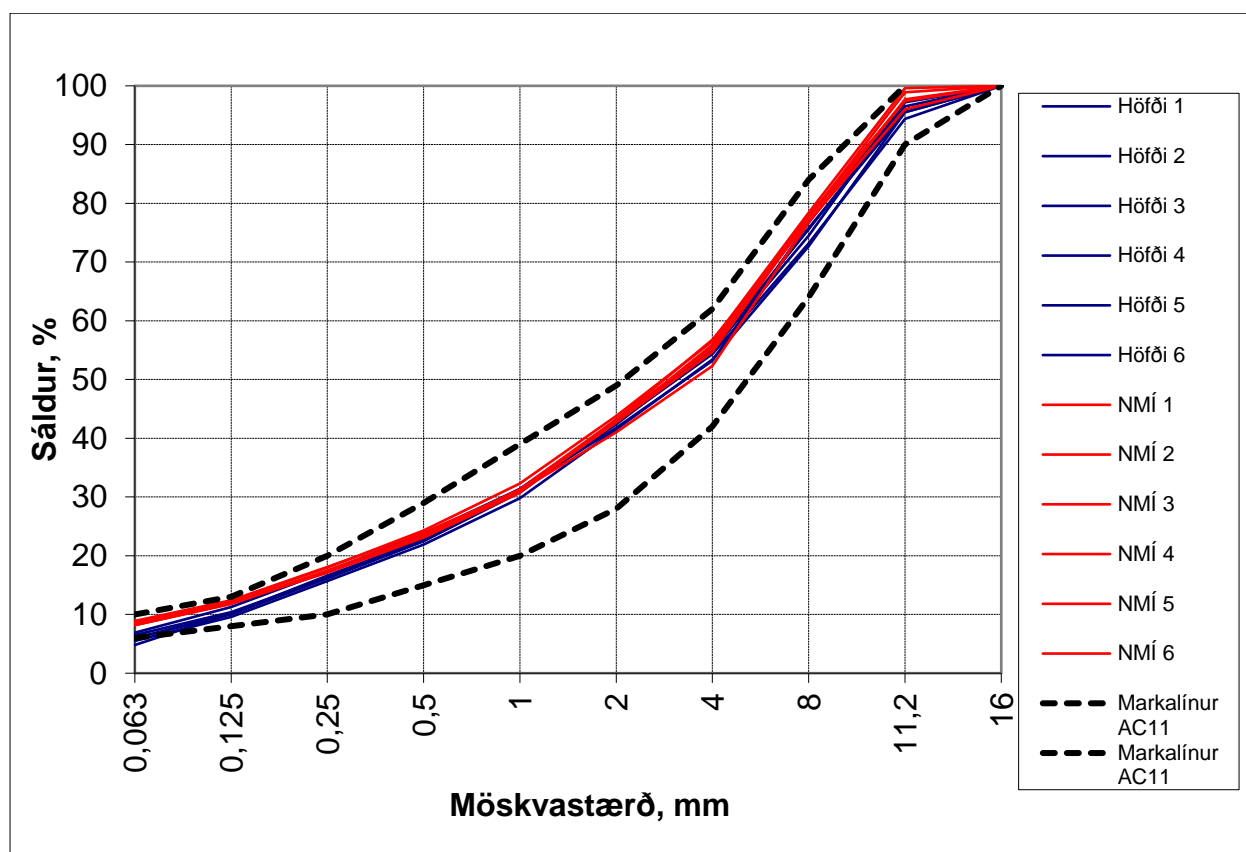


**Mynd 16** Kornadreifingu sýna sem tekin voru úr stöð og útlagnarvél hjá MHC

Það sést á myndinni eins og áður hefur komið fram að fínefnamagn (> 0,063 mm) mælist minna hjá NMÍ en hjá MHC. Allar kornakúrfurnar eru þó innan markalína fyrir AC16 malbik, þótt nokkuð mikill munur sé á kúrfum, sérstaklega á 4, 8 og 11,2 mm sigtum hjá báðum prófunarstofunum. Samkvæmt staðli ÍST EN 13108-21 eru tvenns konar þolmörk við hannaðan sáldurferil skilgreind, annars vegar fyrir stakar mælingar og hins vegar fyrir meðaltal fjörrra mælinga. Prófunarstofa MHC er í öllum tilfellum innan þolmarka hannaðs sáldurferils fyrir stakar mælingar, sbr. töflu 64-20 í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar. Sem dæmi má taka 8 mm sigtið, en skv. gerðarprófun og vottun skulu 63% smjúga það sigti. Hjá prófunarstofu MHC er lægsta gildið sem smýgur 8 mm sigtið 54% en hæsta gildið er 64% og þar með er lægsta gildið við það að detta út fyrir þolmörkin fyrir 8 mm sigtið sem eru  $\pm 9$  fyrir stakar mælingar á AC16 malbiki. Meðaltal þessara sex sýna sem smýgur 8 mm sigtið er 59,3%, eða 3,7% frá hönnuðum ferli, en samkvæmt staðli eru þolmörk meðaltals fjörrra sýna  $\pm 4\%$  og gildið liggur þar með innan þeirra marka.

Ef kornakúrfurnar sem NMÍ mældi eru bornar saman við hannaðan sáldurferil og þolmörkin (63%), má sjá að lægsta gildið sem smýgur 8 mm sigtið er 54% og hæsta gildið er 65% og eru því öll gildi innan þolmarkanna sem eru  $\pm 9$  fyrir stakar mælingar á AC16 malbiki. Meðaltal þessara sex sýna sem smýgur 8 mm sigtið er 60%, eða 3% frá hönnuðum ferli, en samkvæmt staðli eru þolmörk meðaltals fjörra sýna  $\pm 4\%$  og gildið liggur þar með innan þeirra marka.

Mynd 17 sýnir kornadreifingu stakra sýna sem tekin voru úr stöð og útlagnarvél hjá Höfða, bæði hjá prófunarstofu Höfða (bláar línur) og hjá NMÍ (rauðar línur).



**Mynd 17** Kornadreifingu sýna sem tekin voru úr stöð og útlagnarvél hjá Höfða

Myndin sýnir, eins og áður hefur komið fram, að fínefnamagn (> 0,063 mm) mælist umtalsvert minna hjá Höfða en hjá NMÍ. Allar kornakúrfur NMÍ eru innan markalína hvað fínefni varðar fyrir AC11 malbik, en hjá Höfða eru þrjár kúrfur af sex með minna fínefni en markalínurnar í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar kveða á um, eða undir 6% fínefni. Að öðru leyti eru kornakúrfur sem mældar eru á báðum prófunarstofunum afar sambærilegar og er til dæmis lítill munur á kúrfunum á 4, 8 og 11,2 mm sigtum, ólíkt því sem var á sýnum frá MHC. Það er þó lítið meira hægt að fjalla um þessar kúrfur, þar sem ekki lágu fyrir upplýsingar um hannaðan sáldurferil (e. target) á heimasíðu Höfða. Engu að síður má fullyrða að Höfði uppfylli allar kröfur um hannaðan sáldurferil, svo og þolmörk kornadreifingar skv. viðauka A í ÍST EN 13108-21 og fylgistaðal ÍST 75, enda með vottað gæðakerfi eins og MHC.

## 2.5 Umræða

Þessar samanburðarprófanir á malbikssýnum sem tekin voru úr stöð og útlagnarvél hjá Höfða og MHC og prófuð voru annars vegar á prófunarstofu framleiðanda og hjá NMÍ hafi leitt eitt og annað í ljós og má setja fram eftirfarandi punkta hvað það varðar:

- Mælingar MHC á bindiefnisinnihaldi eru allar svipaðar, meðaltalið er 5,0%. Hjá NMÍ mælist bindiefnisinnihald hærra í nær öllum tilfellum, meðaltalið er 5,4%. Brennsluofn MHC mælir því 0,4% lægri gildi fyrir bindiefnisinnihald en skilvinda NMÍ.
- Mælingar Höfða á bindiefnisinnihaldi eru allar svipaðar, meðaltalið er 6,5%. Hjá NMÍ mælist bindiefnisinnihald lægra í öllum tilfellum, meðaltalið er 6,2%. Brennsluofn Höfða mælir því 0,3% hærra gildi fyrir bindiefnisinnihald en skilvinda NMÍ.
- Niðurstöður ofangreindra mælinga benda til þess að ekki hafi orðið aðskilnaður á bindiefnisinnihaldi, þar sem yfirleitt er lítill munur á öllum hlutasýnum sem mæld voru innan prófunarstofu. Hins vegar virðist vera einhver kerfisbundinn munur milli prófanastofa framleiðenda annars vegar og NMÍ hins vegar. Það sem vekur athygli er að NMÍ mælir minna bindiefni en framleiðandinn í öðru tilfallinu, en meira bindiefni í hinu tilfallinu.
- MHC mælir í öllum tilfellum meira fillermagn en NMÍ, meðaltalið er 9,3%, en NMÍ mælir hins vegar meðaltalið er 7,6%. Það vekur athygli að bindiefnisinnihald malbiksins mældist lægra hjá MHC en hjá NMÍ, en hins vegar mælist fillermagnið hærra hjá MHC heldur en hjá NMÍ.
- Mælingar á magni fillers eru lægri hjá Höfða en hjá NMÍ, meðaltalið er 5,9%, en hjá NMÍ er meðaltalið 8,4%. Aftur er það svo að sá aðili sem mældi hærra bindiefnisinnihald (Höfði), mælir minna magn fillers.
- Niðurstöður ofangreindra mælinga benda til þess að ekki hafi orðið aðskilnaður á fínefnainnihaldi, þar sem yfirleitt er lítill munur á öllum hlutasýnum sem mæld voru innan prófunarstofu. Hins vegar virðist vera einhver kerfisbundinn munur milli prófanastofa framleiðenda annars vegar og NMÍ hins vegar. Það sem vekur athygli er að sú prófunarstofa sem mælir minna bindiefni mælir meira magn fillers og öfugt. *Full ástæða er til að framleiðendur og NMÍ beri nánar saman bækur sínar til að samræma mæliniðurstöður á bindiefnisinnihaldi og fillermagni. Helst þyrftu prófunarstofur NMÍ, MHC og Höfði að prófa endurtekið sömu malbiksgerðirnar frá báðum framleiðendum.*
- Hlutfallið filler/bindiefni er mun hærra hjá prófunarstofu MHC heldur en hjá NMÍ. Hjá NMÍ falla öll gildi innan leiðbeinandi marka, en hjá MHC eru öll gildin yfir mörkum. Hjá Höfða snýst þetta við og eru öll gildin undir mörkum, en gildi NMÍ innan leiðbeinandi marka.



- Mælingar á rúmþyngd malbiks eru á heildina litið nokkuð svipaðar á öllum hlutasýnum, bæði hjá MHC og NMÍ og meðaltlasgildið er nánast það sama hjá báðum prófunarstofum. Það bendir til þess að þjöppunarorka og hitastig við þjöppun hafi verið mjög sambærilegt milli prófunarstofa. Rúmþyngdin mælist nokkuð lægri hjá Höfða en hjá NMÍ og auk þess er nokkur munur milli hlutasýna hjá Höfða, sem ekki er raunin hjá NMÍ.
- Holrýmd hlutasýna mælist nokkuð svipuð hjá MHC og NMÍ og liggja öll gildi á milli 1 og 2%, meðaltalið nánast það sama. Sama er að segja um holrýmdarmælingar NMÍ á sýnum frá Höfða (öll gildi milli 1 og 1,5%), en á prófunarstofu Höfða er hins vegar mikill munur á holrýmdarmælingum, eða frá 0,4 upp í 3% holrýmd.
- Almennt má segja að sáldurferlar séu að mestu innan þolmarka sem gefin eru upp í ÍST 75, en það sem vekur athygli eins og fyrr er rakið er að öll mæld gildi fínefna eru lægri hjá NMÍ en hjá MHC, en hærri en mældust hjá Höfða.



### 3 Átak til að innleiða prófanir á filler-eiginleikum í malbik

#### 3.1 Holrýmd og rúmpýngd fillersýna

Eins og fram hefur komið var leitað til tveggja stærstu framleiðenda malbiks á höfuðborgarsvæðinu um að safna fillersýnum við framleiðslu malbiks árið 2015 og var rúmpýngd og holrýmd þeirra sýna mæld hjá NMÍ. Dæmi um fillersýni eru sýnd á mynd 18.

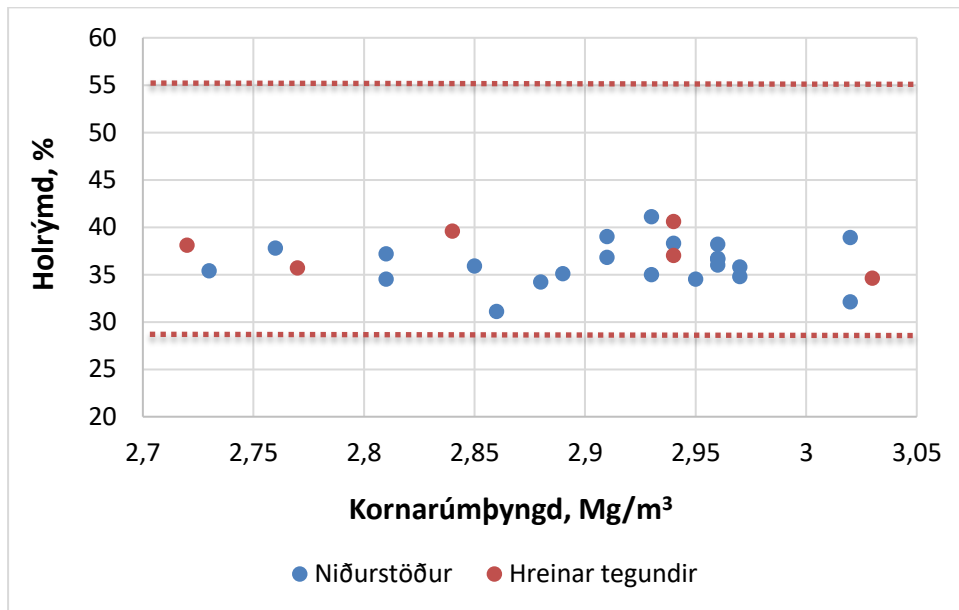


**Mynd 18** Áferð og litur mismunandi fillersýna sýnir að þau eru af mismunandi gerðum

Sýnin sem tekin voru á mismunandi tímum eru allt frá því að vera svört yfir í að vera mjög ljós á litinn og það er ljóst af ásýnd fillersýnanna að þau eru af mismunandi uppruna. Sýnin á myndinni eru frá MHC og má t.d. benda á að sýni merkt nr. 5 er frá Jökulsá og sýni 13 er frá Kleifaheiði, önnur eru tekin úr stöðinni í Hafnarfirði. Á hinn bóginn eru ljósu fillersýnin fengin úr innfluttu steinefni frá Noregi.

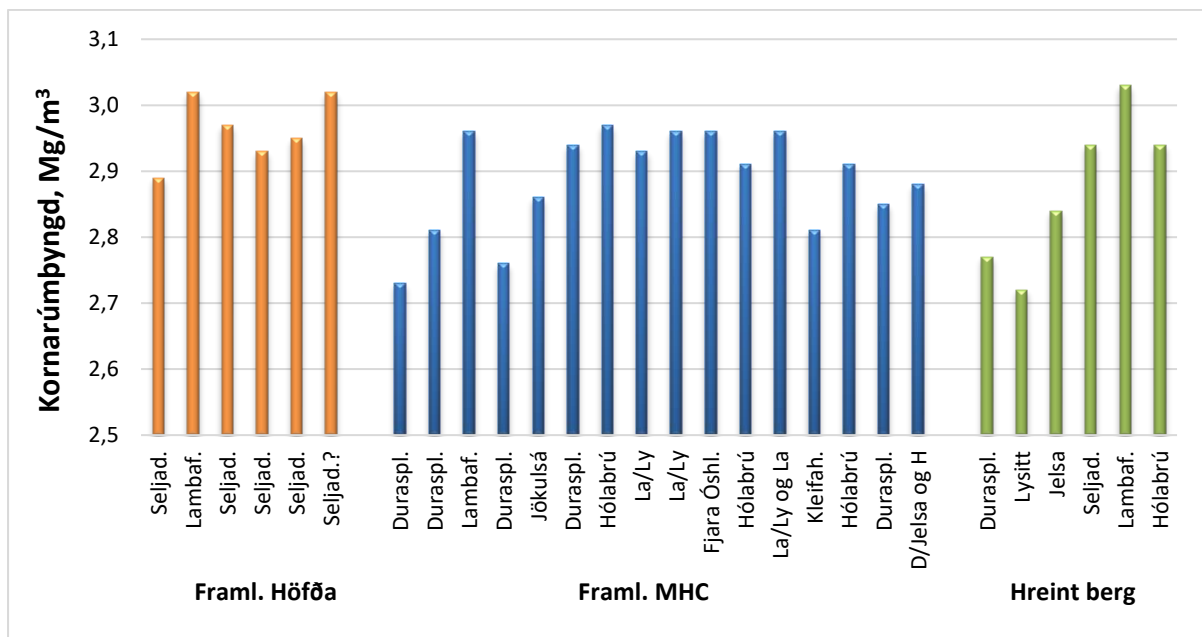
Notast var við prófunaraðferðina ÍST EN 1097-4, sem sagt Rigden aðferð, til að mæla holrýmd fillersýnanna og ÍST EN 1097-7 til að mæla rúmpýngd þeirra, sbr. áfangaskýrslu VIII þessa verkefnis.

Mynd 19 sýnir mæld gildi á kornarúmpýngd og holrýmd fínefna sem algengt er að notuð séu í malbik hér á landi, mestmegnis á höfuðborgarsvæðinu. Það vekur athygli að holrýmdin mælist á nokkuð þröngu bili í öllum sýnunum, en kornarúmpýngdin er talsvert breytileg.



**Mynd 19** Kornarúþyngd og holrýmd fínefna sem algengt er að nota í malbik hér á landi

Eins og sjá má á myndinni gefa holrýmdarmælingarnar gildi sem liggja að mestu á bilinu 30 til 40% holrýmd. Myndin sýnir líka að kornarúþyngd fillersins, eða eðlisþyngd hans, er hins vegar nokkuð breytileg eftir uppruna og liggur á bilinu 2,70 til 3,05 Mg/m³. Til glöggvunar má sjá á mynd 20 mældar kornarúþyngdir fínefnasýna sem tekin voru við framleiðslu malbiks annars vegar og hins vegar á hreinum sýnum þeirra berggerða sem koma við sögu. Hreinu sýnin voru möluð á prófunarstofu NMÍ úr grófari mól. Nöfn fillersýnanna endurspegla hvaða steinefni var verið að nota við framleiðslu malbiksins hverju sinni, en þau geta verið blönduð öðrum gerðum eins og fram hefur komið.



**Mynd 20** Kornarúþyngd sýna sem tekin voru við framleiðslu malbiks og malaðs hreins bergs

Sjá má á myndinni að breytileiki í kornarúþyngd er allnokkur og virðist megin reglan vera sú að lægst er rúþyngdin þegar verið er að framleiða malbik með norskum berggerðum, en hæst

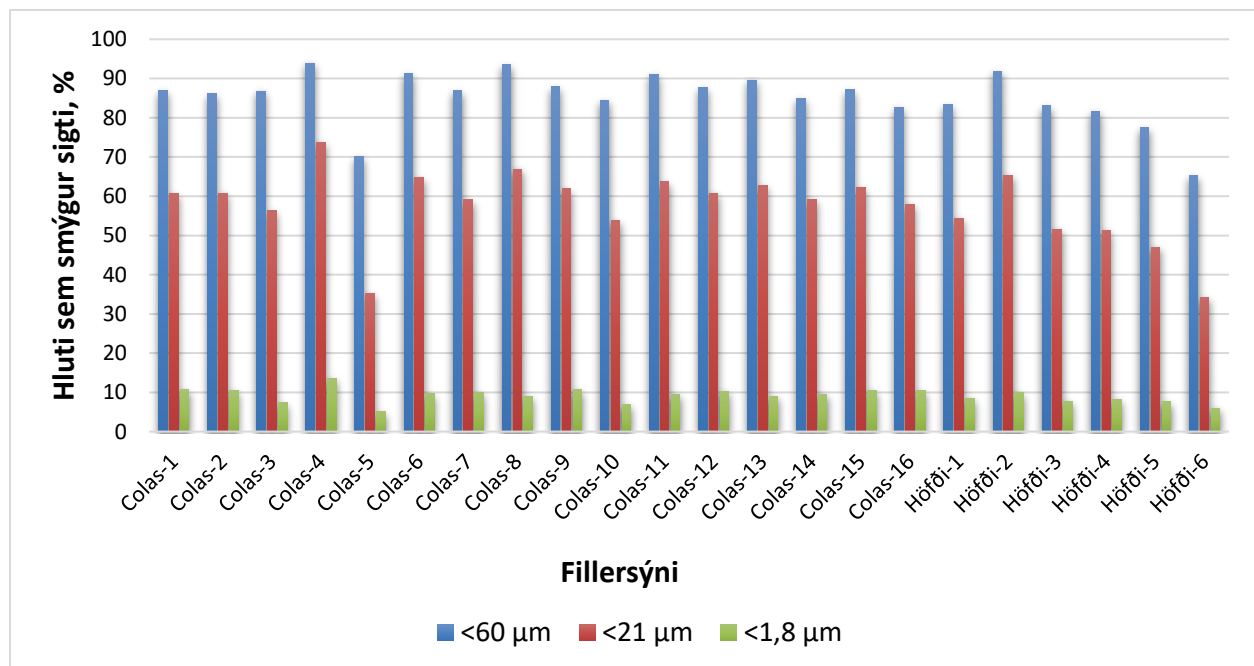
þegar framleitt er malbik með íslensku basalti. Það virðist afdráttarlaust að hreinu berggerðirnar endurspeglu eðlisþyngd þeirra berggerða sem þær eru fengnar úr, sem sagt norska bergið er með gildi milli 2,7 og 2,8 Mg/m<sup>3</sup> og basíska bergið er frá 2,9 og upp fyrir 3,0 Mg/m<sup>3</sup>.

### 3.2 Kornadreifing fillersýna, lasermælingar

Samkvæmt ÍST EN 13043 er filler steinefni í raun skilgreint sem fínefni, en þó með leyfilegum yfirstærðum (sem sagt hluti má vera > 0,063 mm). Filler steinefni skal allt smjúga 2,0 mm sigti, 85-100% skal smjúga 0,125 mm sigti og 70-100 skal smjúga 0,063 mm sigti. Ákveðið var að bæta við mælingum á kornadreifingu fillersýnanna árið 2016 til að kanna breytileika í kornastærðum.

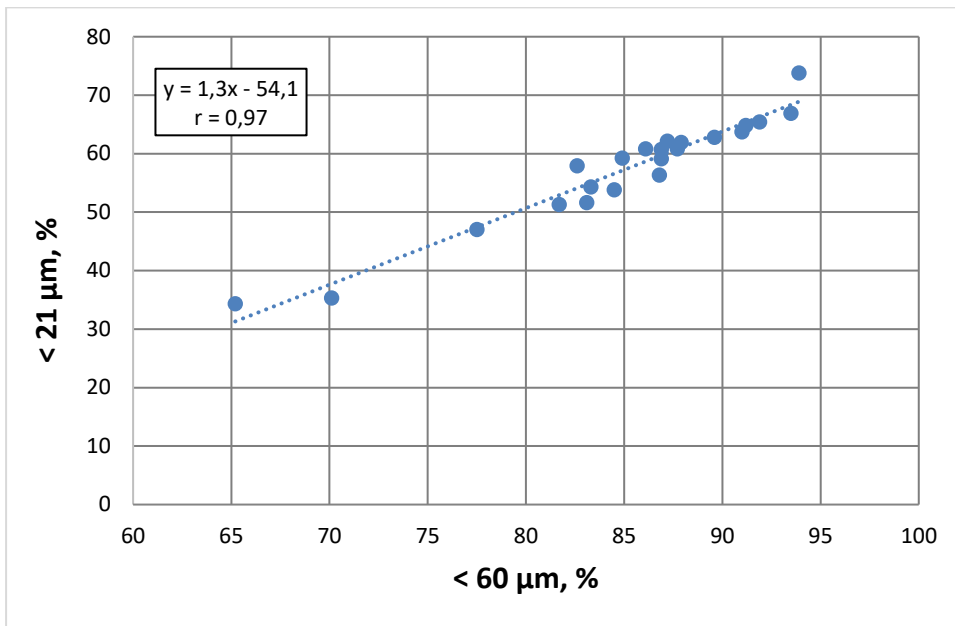
Tafla 6 í kafla 3.4 sýnir niðurstöður lasermælinga 2016 á kornadreifingu sömu fillersýna og mæld voru árið 2015 með tilliti til rúmpýngdar og holrýmdar. Valið var að sýna hér hversu mikill hluti sýnanna er smærri en 60, 21 og 1,8 µm í töflunni, en það eru stærðarflokkar sem eru nærri 0,063 mm fínefnasigtinu, 0,02 mm mörkunum sem gjarnan er miðað við varðandi mat á þjálni efna og 0,002 mm sem eru mörkin á leirstærðum fínefna.

Mynd 21 sýnir magn fillers sem mælist smærri en viðmiðunarstærðirnar 63 µm, 21 µm og 1,8 µm.



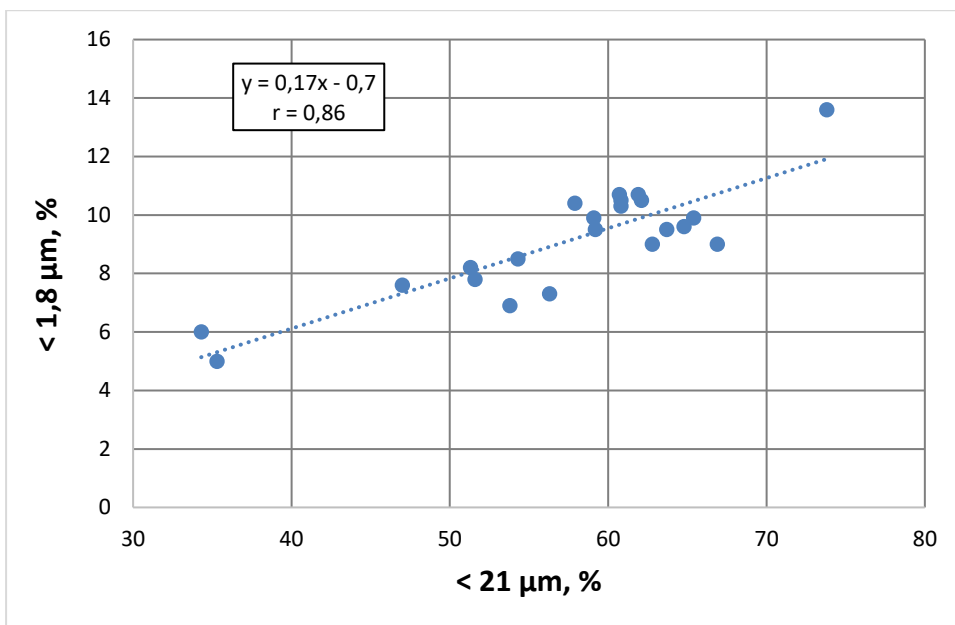
**Mynd 21** Hluti fillers sem er smærri en viðmiðunarstærðirnar 63 µm, 21 µm og 1,8 µm

Það sést á myndinni að allur fillerinn er með eitthvað magn af yfirstærðum, > 0,063 mm (60 µm), en samkvæmt skilgreiningu á *filler* mega allt að 30% vera grófara en 0,063 mm og er sú karfa uppfyllt, þó með einni undantekningu. Sá hluti fillersins sem er finni en 0,02 mm (21 µm) er yfirleitt á bilinu 50 til 70%, en þó með tveimur undantekningum. Mynd 22 sýnir sambandið milli þess hluta sýna sem er smærri en 60 µm og 21 µm.



**Mynd 22** Sambandið milli þess hluta sýna sem er smærri en 60  $\mu\text{m}$  og 21  $\mu\text{m}$

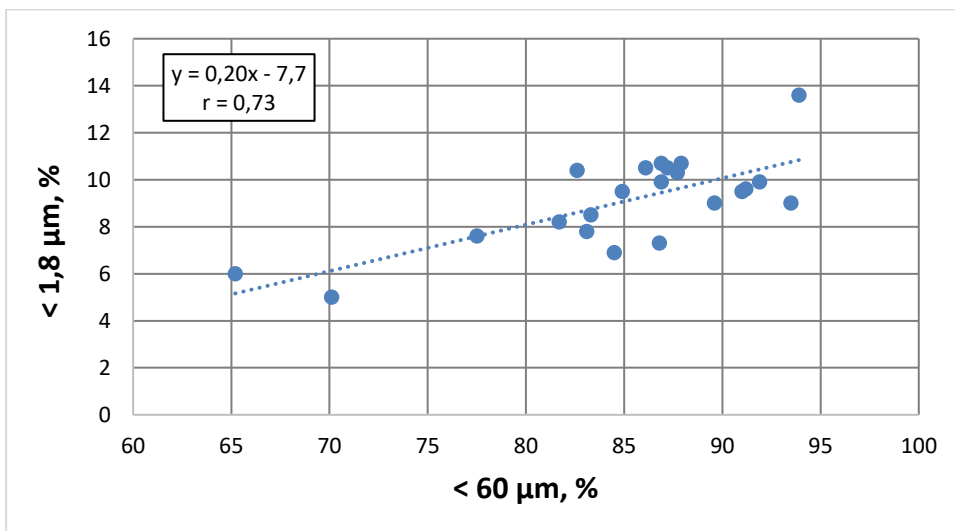
Eins og myndin sýnir er sambandið sterkt og má segja að sigtun á filler á 0,063 mm sigti gefi nokkuð sterka vísbendingu um fínleika fillersins. Mynd 23 sýnir sambandið milli þess hluta sýna sem er smærri en 21  $\mu\text{m}$  og 1,8  $\mu\text{m}$ .



**Mynd 23** Sambandið milli þess hluta sýna sem er smærri en 21  $\mu\text{m}$  og 1,8  $\mu\text{m}$

Sambandið hér er ekki eins sterkt og það sem kemur fram á mynd 22, en þó nokkuð sannfærandi. Fíngerðasta efnið er með yfir 70% fínna en 21  $\mu\text{m}$  og einnig mest fínna en 1,8  $\mu\text{m}$ .

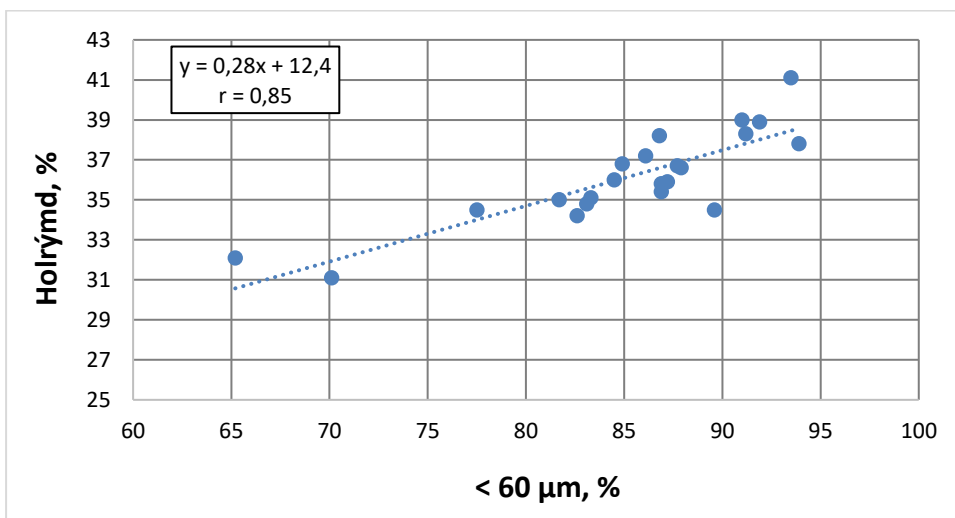
Á mynd 24 er sýndur samanburður á milli þess hluta fillersýna sem er smærri en 60  $\mu\text{m}$  og 1,8  $\mu\text{m}$ .



**Mynd 24** Sambandið milli þess hluta fillersýna sem er smærri en 60 μm og 1,8 μm

Það sést á myndinni að enn er samband milli stærðardreifingar líklega marktækt, en þó ekki eins sterkt og þegar bornar eru saman kornastærðir sem er nær hvor annarri. Í raun má segja að leirmagnnið getur verið nokkuð breytilegt í megninu af fillersýnunum sem mælast með 80 til 95% undir 60 μm, eða u.þ.b. frá 6% og upp í 11% leirstærðir.

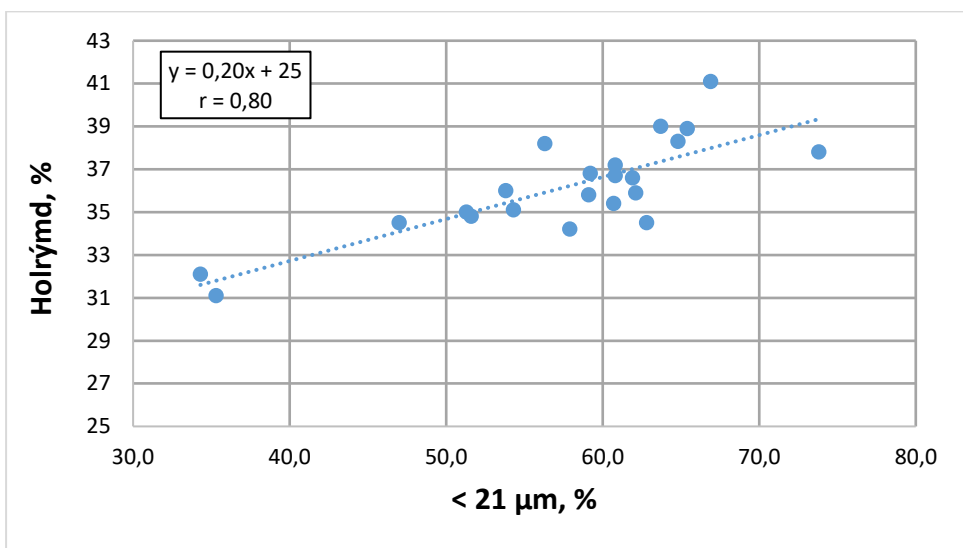
Á mynd 25 er borin saman mæld holrýmd (Rigden aðferð) og hluti þess efnis sem er smærra en 60 μm.



**Mynd 25** Samanburður á mældri holrýmd (Rigden aðferð) og hlut efnis smærra en 60 μm

Myndin sýnir að holrýmd sýnanna eykst nokkuð línulega með auknu magni fínefnis undir 60 μm. Það virðist því vera að ef fillerinn er tiltölulega grófur minnkar holrýmdin í honum. Þannig eru líkur á að kornadreifing fillers í malbiki hafi áhrif á eiginleika þess, þ.e.a.s. á samspil fillers og biks.

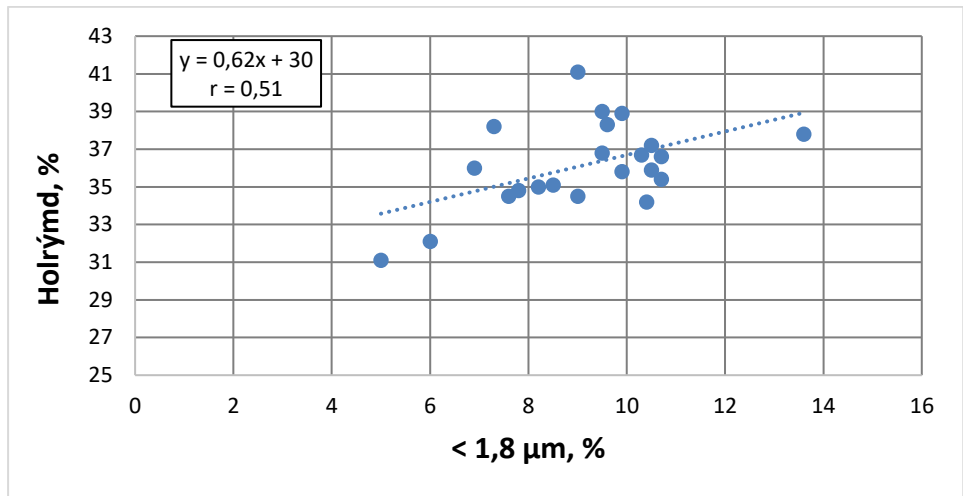
Á mynd 26 er borin saman mæld holrýmd (Rigden aðferð) og hluti þess efnis sem er smærra en 21 μm.



**Mynd 26** Samanburður á mældri holrýmd (Rigden aðferð) og hlut efnis smærra en 21 μm

Myndin sýnir að enn er sterkt samband á milli kornastærðar fillers < 21 μm og holrýmdar hans. Það kemur í sjálfu sér ekki á óvart þar sem mjög sterk tengsl eru á milli magns kornastærða < 60 μm og < 21 μm, en engu að síður athyglisvert.

Mynd 27 sýnir mælda holrýmd (Rigden aðferð) og hluta þess efnis sem er smærra en 1,8 μm.



**Mynd 27** Samanburður á mældri holrýmd (Rigden aðferð) og hlut efnis smærra en 1,8 μm

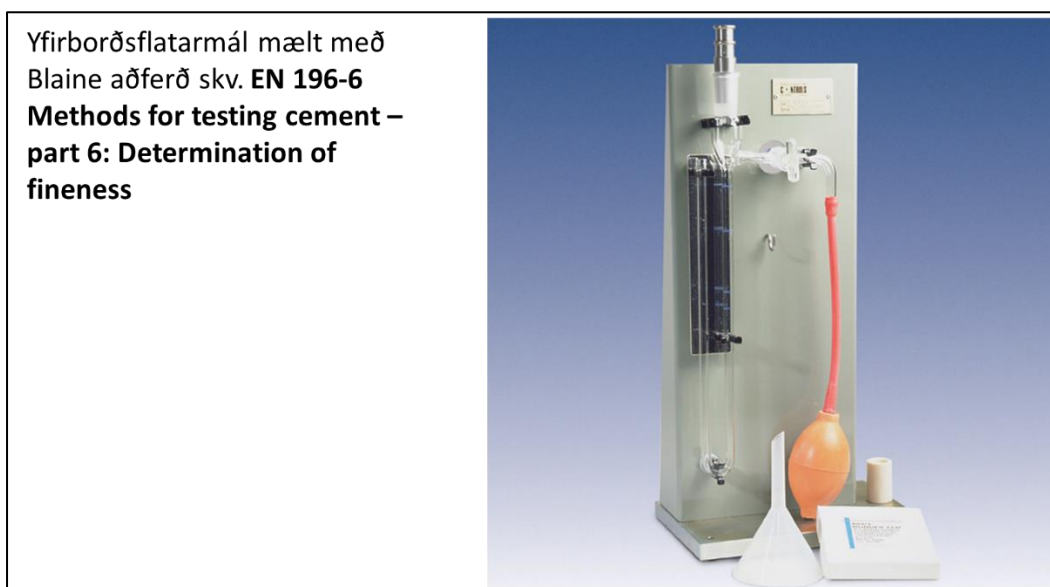
Myndin sýnir að leirinnihald, sem er að mestu á bilinu 6 til 11% af fillernum, hefur mun minni áhrif á holrýmd í þurrum þjöppuðum filler en hluti grófari korna. Að vísu liggur aðfallslínan í sömu átt og sú á mynd 26, en fylgnistuðullinn er lægri, þar sem dreifing gilda er meiri um línuna. Sem dæmi má taka að fillersýnið sem mælist með mesta holrýmd er með einna mest undir 60 μm, en einungis 9% leirkornastærðir. Í sjálfu sér á þessi niðurstaða ekki að koma á óvart þar sem magn leirs í fillersýnunum er á heildina litið ekki mjög breytilegt og leir í frekar litlu magni í fillernum.

Ekki er trúverðugt samband á milli kornadreifingar fillers og rúmpýngdar hans, enda má líta svo á að rúmpýngd fillersins ráðist að mestu af eðlisþyngd steindanna sem hann á uppruna til.



### 3.3 Yfirborðsflatarmál mælt með Blaine aðferð

Þar sem fillersýnin höfðu verið geymd við kjöraðstæður hjá NMÍ var ákveðið að prófa að mæla yfirborðsflatarmál þeirra með svokallaðri Blaine aðferð, en hún er í samræmi við staðal ÍST EN 196-6. Í stuttu máli felst aðferðin í því að þjappa filler í lítið hólf efst á tækinu og taka tímann sem það tekur vatnssúlu að flæða frá merktum byrjunarstað til endastaðar niður glerrör. Vatnssúlan sagnar með sér loft í gegnum fillersýnið og eftir því sem yfirborðsflatarmál sýnisins er meira þeim mun hægar lækkar vatnssúlan. Tíminn er gefinn upp í sekúndum, en samkvæmt staðli á að umreikna þann tíma yfir í yfirborðsflatarmál sýnisins. Mynd 28 sýnir dæmi um útbúnað sem notaður er til að mæla Blaine yfirborðsflatarmál fillersýna.



**Mynd 28** Dæmi um útbúnað sem notaður er til að mæla Blaine yfirborðsflatarmál

Reiknað var með að yfirborðsflatarmál sýnanna sem prófuð voru væri gefið upp vegna þessarar rannsóknar, en sökum þess að stuðull tækisins (e. apparatus constant) var ekki þekktur er hér notast við sekúndurnar sem mældar voru. Ef til vill skiptir það ekki öllu máli þar sem um samanburðarrannsókn er að ræða og reikna má með að útreikningar á tölugildi yfirborðsflatarmáls sé í réttu hlutfalli við tímann sem mældur er. Þó hefði verið fróðlegt að sjá hvort fillersýnin standist þá kröfu sem sett er fram í ÍST EN 13043 að reiknað yfirborðsflatarmál skuli vera innan við  $140 \text{ m}^2/\text{kg}$ , en forsendurnar eru ekki fyrir hendi. Mynd 29 sýnir úrdrátt úr fyrrgreindum staðli og einnig úr prófunarstaðlinum ÍST EN 196-6, þar sem fram kemur hvernig á að reikna út yfirborðsflatarmálið.

## Úr EN 13043:

### 9.5.6 Specific surface area

Specific surface area shall be determined in accordance with EN 196-6 "Blaine method". The producer's declared value shall be not greater than 140 m<sup>2</sup>/kg. Also nitrogen adsorption method (ISO 9277) may be used. The declared range shall be not greater than 5,0 m<sup>2</sup>/g.

### Úr EN 196-6 Methods for testing cement – part 6 Determination of fineness:

The specific surface, S, is given in square centimetres per gram (cm<sup>2</sup>/g) as:

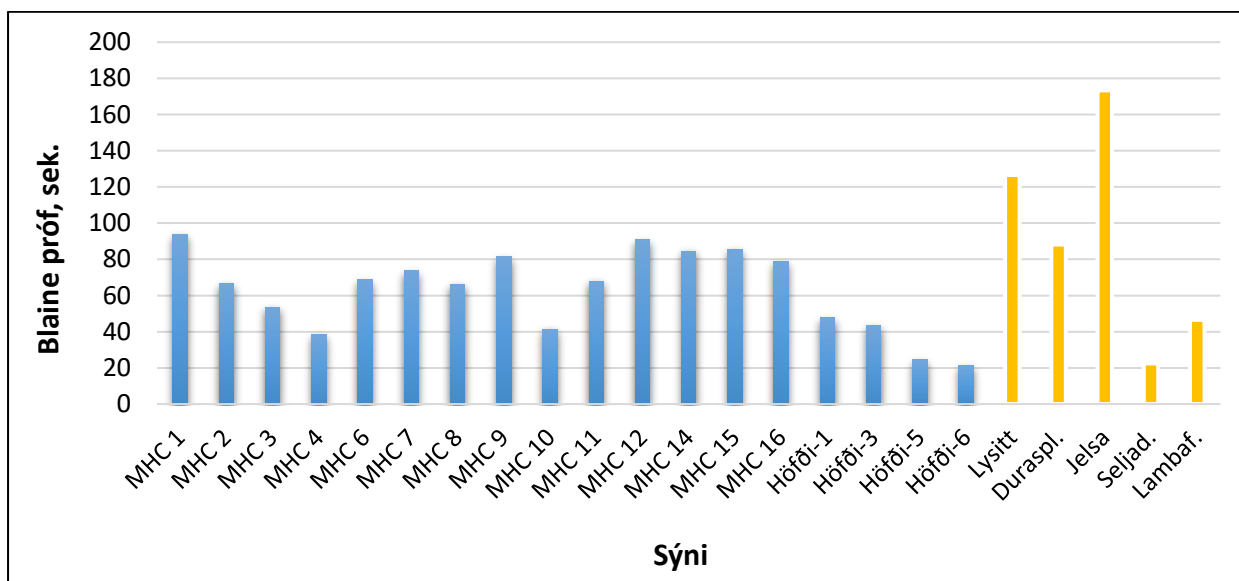
$$S = \frac{K}{\rho} \times \frac{\sqrt{e^3}}{(1-e)} \times \frac{\sqrt{t}}{\sqrt{10x \eta}}$$

where:

- K is the apparatus constant
- e is the porosity of the bed
- t is the measured time in seconds
- $\rho$  is the density of cement in grams per cubic centimetre (g/cm<sup>3</sup>)
- $\eta$  is the viscosity of air at the test temperature in Pascal seconds (Pa\*s)

**Mynd 29** Úrdráttur úr framleiðslustaðli steinefna í malbik og prófunarstaðli Blaine-prófs

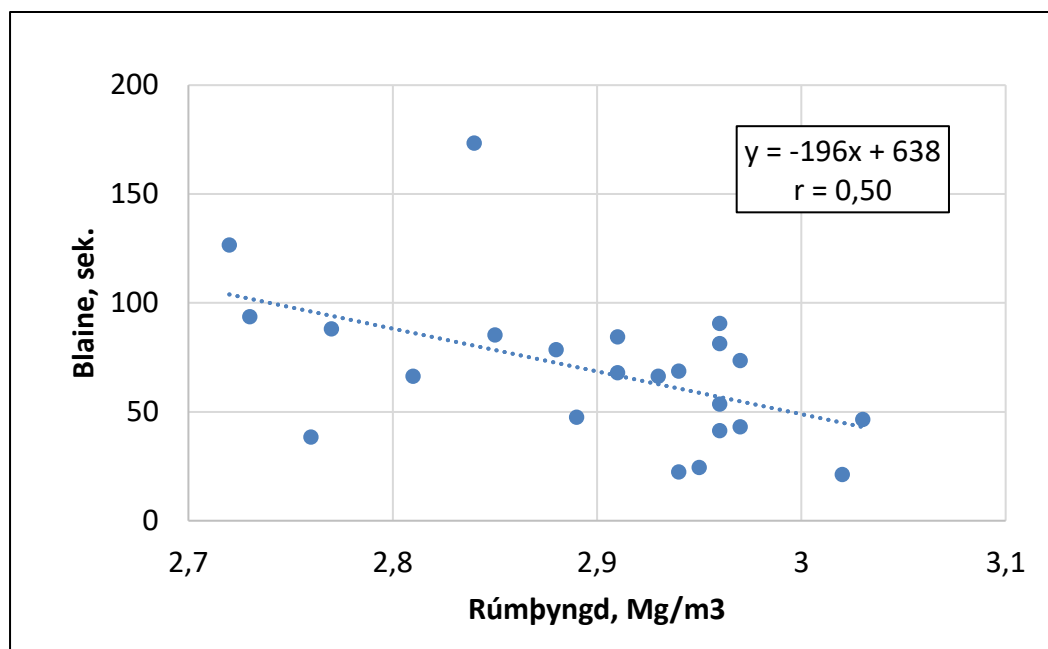
Mynd 30 sýnir niðurstöður mælinga á tíma sem tók loft að fara í gegnum fillersýni til að vatnsúla lækkaði milli kvarða, í sekúndum.



**Mynd 30** Niðurstöður mælinga á tíma í Blaine prófi á filler sýnum og hreinum berggerðum

Það sést á myndinni að talsverður munur er á mældum tíma milli fillersýna, eða frá u.þ.b. 20 sek. upp í tæpar 95 sek. Bent skal á að í þessar mælingar vantar tvö sýni frá MHC og tvö frá Höfða, en þau höfðu einhverra hluta vegna tapast úr sýnasafninu. Til samanburðar voru hreinu berggerðirnar mældar með aðferðinni, en það verður að setja fyrirvara við þær mælingar þar sem sýnin voru möluð í kvörn á rannsóknastofu. Þær endurspeglar því ekki endilega hvert yfirborðsflatarmál þeirra hefði verið ef þau hefðu verið tekin úr stöð. Það er reyndar svo að hreinu, erlendu berggerðirnar virðast hafa mun meira yfirborðsflatarmál en þær hreinu íslensku og Jelsa steinefnið sker sig algerlega úr í því sambandi.

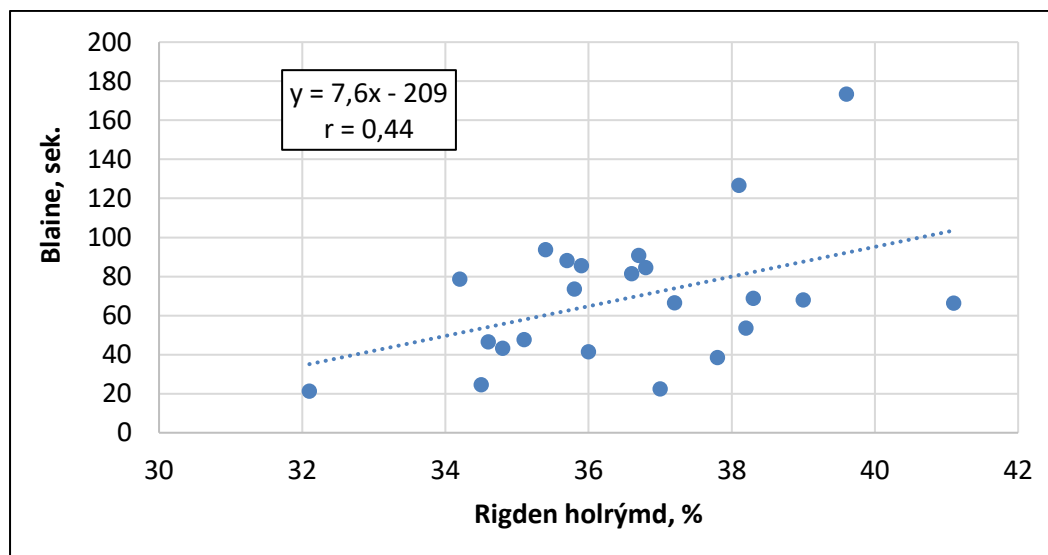
Mynd 31 sýnir tengslin milli Blaine mælingar og rúmþyngdar sömu sýna.



Mynd 31 Tengslin milli Blaine mælingar og rúmþyngdar sömu sýna

Svo virðist sem um tengsl geti verið að ræða, en þau eru ekki mjög sterk. Eftir því sem tíminn í prófinu eykst þá lækkar rúmþyngdin. Það gæti verið í sambandi við það að erlendu sýnin hafa lægri rúmþyngd og gætu auk þess verið með meira yfirborðsflatarmál en þau íslensku. Að minnsta kosti benda gildi á hreinum berggerðum til að svo geti verið.

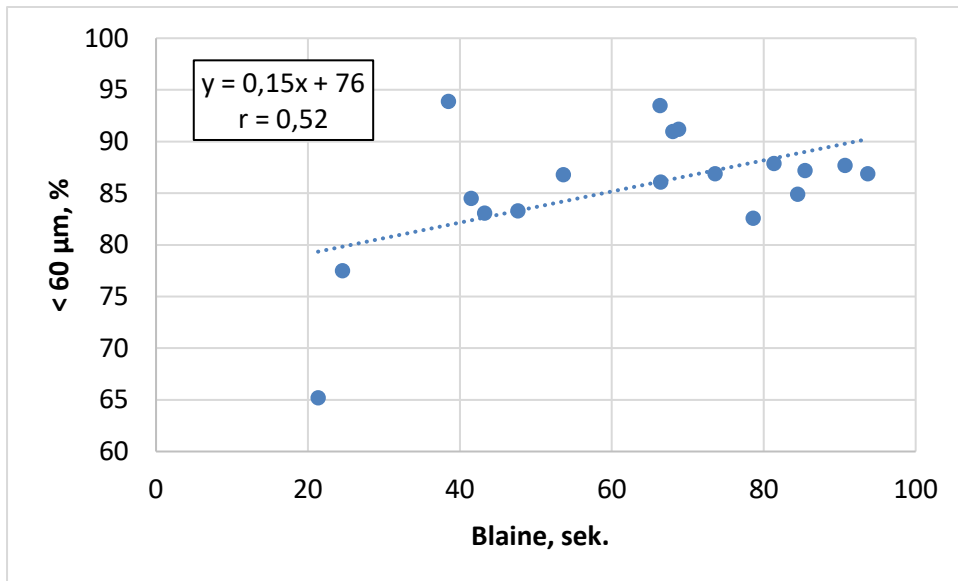
Mynd 32 sýnir tengslin milli Blaine mælingar og Rigden holrýmdar sömu sýna.



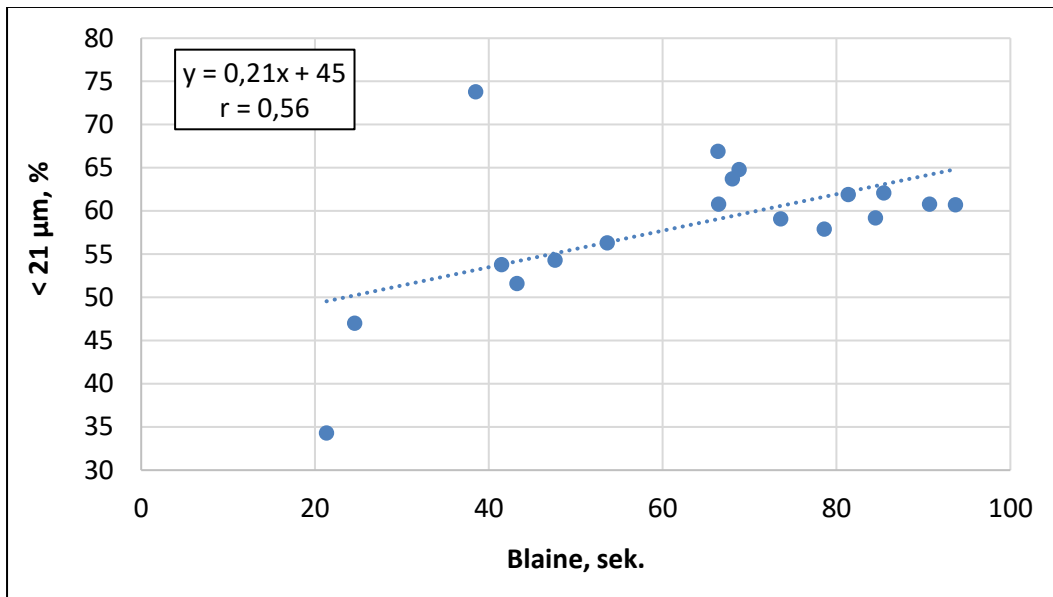
Mynd 32 Tengslin milli Blaine mælingar og Rigden holrýmdar sömu sýna

Myndin sýnir að tengslin milli yfirborðsflatarmáls og holrýmdar eru veik, en þó líklega til staðar á þann hátt að yfirborðsflatarmál eykst með aukinni holrýmd fillersins. Þetta er þó ekki einhlýtt og má segja að tveir punktar lengst til hægri á myndinni togist á um aðfallslínuna.

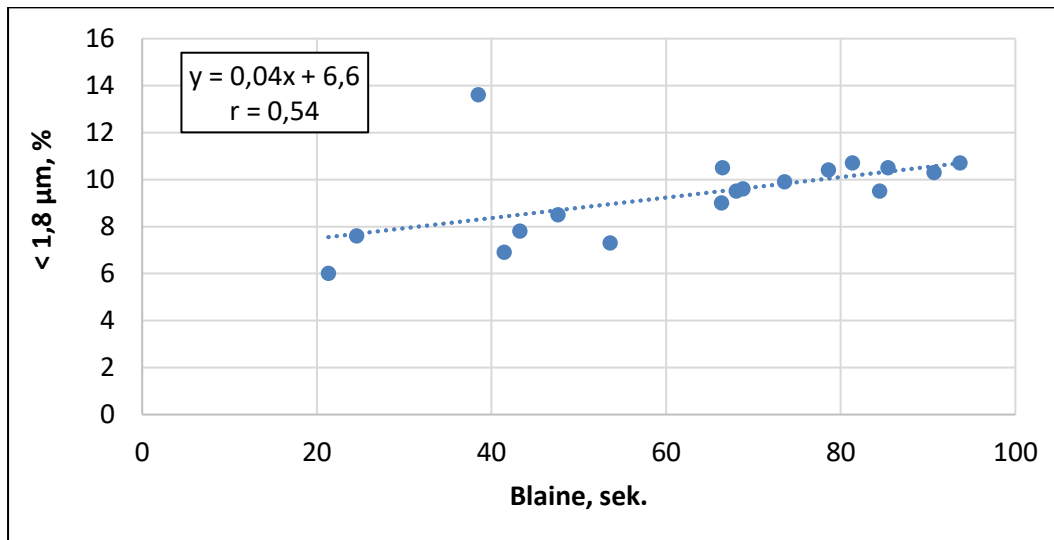
Myndir 33 til 35 sýna tengsl yfirborðsflatarmáls og kornadreifingar skv. lasermælingu.



Mynd 33 Tengsl yfirborðsflatarmáls og magns kornastærðar < 60 μm



Mynd 34 Tengsl yfirborðsflatarmáls og magns kornastærðar < 21 μm



**Mynd 35** Tengsl yfirborðsflatarmáls og magns kornastærðar < 1,8 μm

Segja má að myndirnar þrjár hér að ofan staðfesti að tengsl eru á milli yfirborðsflatarmáls og magns kornastærða undir 60, 21 og 1,8 μm. Eftir því sem fillerinn er fínefnaríkari, þeim mun meira yfirborðsflatarmál hefur hann. Það kemur í sjálfu sér ekki á óvart, þar sem tengsl eru einnig milli magns fínefna og holrýmdar í fillernum. Því má segja að það komi frekar á óvart að ekki fáist sterkari tengsl milli yfirborðsflatarmáls og holrýmdar en raun ber vitni.

### 3.4 Umræða

Í töflu 6 eru teknar saman mælingar sem gerðar hafa verið á fillersýnunum,

**Tafla 6** Mæling á kornadreifingu, rúmpyngd, holrýmd og yfirborðsflatarmáli fillersýna

Filler-sýni	< 60 $\mu\text{m}$ , %	< 21 $\mu\text{m}$ , %	< 1,8 $\mu\text{m}$ , %	Kornarúm- þyngd, $\text{Mg/m}^3$	Rigden holrýmd, %	Blaine 1	Blaine 2	Blaine, sek.
Colas-1	86,9	60,7	10,7	2,73	35,4	92,45	94,90	93,68
Colas-2	86,1	60,8	10,5	2,81	37,2	66,75	66,15	66,45
Colas-3	86,8	56,3	7,3	2,96	38,2	53,35	53,85	53,60
Colas-4	93,9	73,8	13,6	2,76	37,8	38,55	38,45	38,50
Colas-5	70,1	35,3	5,0	2,86	31,1			
Colas-6	91,2	64,8	9,6	2,94	38,3	67,40	70,20	68,80
Colas-7	86,9	59,1	9,9	2,97	35,8	71,85	75,30	73,58
Colas-8	93,5	66,9	9,0	2,93	41,1	65,70	67,00	66,35
Colas-9	87,9	61,9	10,7	2,96	36,6	82,55	80,15	81,35
Colas-10	84,5	53,8	6,9	2,96	36	41,30	41,65	41,48
Colas-11	91,0	63,7	9,5	2,91	39	68,10	67,95	68,03
Colas-12	87,7	60,8	10,3	2,96	36,7	89,10	92,30	90,70
Colas-13	89,6	62,8	9,0	2,81	34,5			
Colas-14	84,9	59,2	9,5	2,91	36,8	84,85	84,10	84,48
Colas-15	87,2	62,1	10,5	2,85	35,9	84,05	86,80	85,43
Colas-16	82,6	57,9	10,4	2,88	34,2	46,80	48,45	47,63
Höfði-1	83,3	54,3	8,5	2,89	35,1	46,80	48,45	47,63
Höfði-2	91,9	65,4	9,9	3,02	38,9			
Höfði-3	83,1	51,6	7,8	2,97	34,8	42,70	43,80	43,25
Höfði-4	81,7	51,3	8,2	2,93	35			
Höfði-5	77,5	47,0	7,6	2,95	34,5	25,20	23,90	24,55
Höfði-6	65,2	34,3	6,0	3,02	32,1	21,00	21,65	21,33
Lysitt				2,72	38,1	128,60	124,60	126,60
Duraspl.				2,77	35,7	90,25	86,15	88,20
Jelsa				2,84	39,6	174,90	171,90	173,40
Seljad.				2,94	37	21,55	23,40	22,48
Hólabrú				2,94	40,6			
Lambaf.				3,03	34,6	47,30	45,85	46,58

Af þeim rannsóknum sem gerðar hafa verið á fillersýnum sem safnað var 2015 má setja eftirfarandi punkta fram:

- Mæld holrýmd (Rigden) í fillersýnum er ekki mjög mismunandi en þó breytileg, en hins vegar er rúmþyngd fillersýna þó nokkuð mismunandi. Breytileiki í rúmþyngd stafar væntanlega að miklu leyti af því að oft er um blöndur berggerða að ræða, bæði íslenskt og erlent steinefni sem hefur mismunandi eðlisþyngd. Þannig er ljóst að þegar filler er vigtaður inn í malbiksblöndur er rúmmálið mismikið, sem hefur þá áhrif á eiginleika malbiksins, þ.e.a.s. á samspil fillers og biks.
- Holrýmd fillersýnanna eykst nokkuð línulega með auknu magni fínefnis undir 60, 21 og 2,1  $\mu\text{m}$ . Það virðist því vera að ef fillerinn er tiltölulega grófur minnkar holrýmdin í honum. Þannig eru líkur á að kornadreifing fillers í malbiki hafi áhrif á eiginleika þess, þ.e.a.s. á samspil fillers og biks.
- Sambandið milli þessa hluta fillersýna sem er smærri en 60  $\mu\text{m}$  og 21  $\mu\text{m}$  er sterkt og má segja að sigtun á filler á 0,063 mm sigti gefi nokkuð sterka vísbendingu um fínleika fillersins.
- *Það er full ástæða til að fylgjast með kornadreifingu fillersins, a.m.k. að fylgjast náið með hluta fillersins sem smýgur 0,063 mm sigti, en það gefur sterka hugmynd um fínleika hans.* E.t.v. getur verið að í flestum tilfellum sé nægilegt að fylgjast með hversu mikið smýgur 0,063 mm sigtið við eftirlit með framleiðslu.
- Talsverður munur er á mældum tíma milli fillersýna í Blaine prófi, en það gefur hugmynd um yfirborðsflatarmál fillersins. Ákveðin tengsl milli yfirborðsflatarmáls og holrýmdar og rúmþyngdar eru til staðar, en þau eru ekki afgerandi sterk.
- Tengsl milli yfirborðsflatarmáls og fínleika fillersins eru nokkuð afgerandi og eykst flatarmálið með fínleika fillersins.
- Segja má að það sé tvennt sem æskilegt er að fylgst verði með að lágmarki varðandi eiginleika fillers úr stöð, en það er rúmþyngd hans og fínleiki. Ef rúmþyngdin er há getur getur verið ráðlegt að auka aðeins við magnið (þyngdina) miðað við filler með lága rúmþyngd. Að sama skapi mætti minnka magnið (þyngdina) aðeins miðað við filler með háa rúmþyngd, þannig að rúmmál fillers sé svipað miðað við hannaða malbiksgerð.

- Heimildir sýna að æskilegt sé að Rigden holrýmd sé tiltölulega há, sjá t.d.

[https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/297432/masteroppgave\\_2015\\_i\\_ngvild%20oedegard.pdf?sequence=1](https://brage.bibsys.no/xmlui/bitstream/handle/11250/297432/masteroppgave_2015_i_ngvild%20oedegard.pdf?sequence=1) og

[https://www.researchgate.net/publication/225893879\\_The\\_structure\\_of\\_mineral\\_fillers\\_and\\_their\\_stiffening\\_properties\\_in\\_filler-bitumen\\_mastics](https://www.researchgate.net/publication/225893879_The_structure_of_mineral_fillers_and_their_stiffening_properties_in_filler-bitumen_mastics) og

<http://docs.trb.org/prp/12-4264.pdf>.

Magn fínefnis (< 0,063 mm) gefur vísbendingu um holrýmd fillers, því fíngræðari filler með litlum yfirstærðum hefur yfirleitt meiri holrýmd en grófari filler. Því er æskilegt að ná stjórn á yfirstærðum og leitast við að lágmarka þær.

Rannsóknir sem gerðar hafa verið á um 30 fillersýnum sem safnað var árið 2015 hjá malbikunarstöðvunum MHC og Höfða hafa skilað ákveðnum niðurstöðum sem vert er að taka til greina. Það sem vekur hvað mesta athygli er að rúmpýngd mismunandi fillergerða er umtalsvert mismunandi og hefur það augljóslega áhrif á rúmmál fillers í malbiksblöndu, þar sem filler er vigtaður inn í blönduna. Það mætti hugsa sér að nálgast frekar rúmmál fillers við íblöndun, t.d. með því að nota leiðréttingarstuðul, t.d. byggðan á því að **deila í 2,85** ef rúmpýngdin er lægri en það tölugildi, en **deila með 2,85** ef rúmpýngdin er hærri.

Að mati skýrsluhöfundar er ennþá ekki höfð nægilega góð stjórn á því hvaða eiginleika sá filler hefur sem fer inn í CE merktar malbiksblöndur héraendis. Víðast hvar í nágrannalöndunum er filler meðhöndlaður eins og hvert annað efni sem fer í malbiksblöndur og ýmsir eiginleikar hans mældir, sbr. framleiðslustaðal ÍST EN 13043 og með þeirri tíðni sem gefin er upp í ÍST EN 16236. Það er full ástæða til að kanna nánar hvaða kröfur er æskilegt að gera til fillerefna. Í því sambandi þyrfti að vera hægt að rekja betur uppruna fillers og eiginleika hans, en einnig að kanna hvort gera á kröfu um viðbættan filler (e. *added filler*) í einhverju magni af heildarfiller.



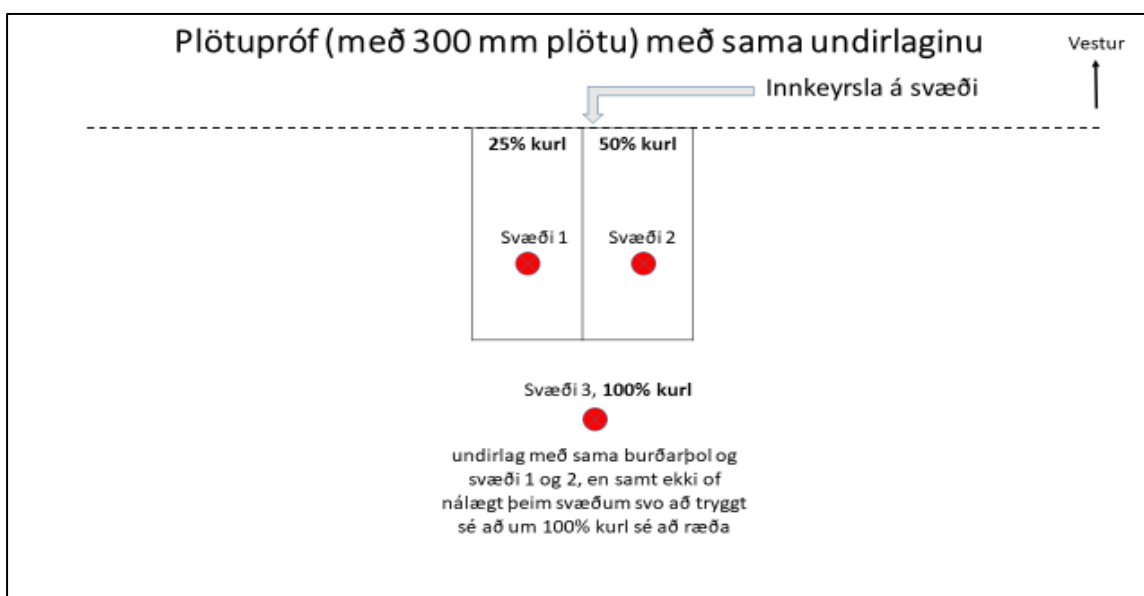
## 4 Blöndun malbikskurli í óbundið burðarlagsefni

Eins og fram kom í inngangi stóð til að Vegagerðin léti blanda óflokkuðu malbikskurli í óbundið burðarlagsefni og leggja út í nýbyggingu vegar. Einnig stóð til að gera prófanir og mælingar á íblöndun með mismiklu kurli sem hluta af þessu rannsóknarverkefni. Af ýmsum ástæðum varð ekki af því, en MHC gerði tilraunir með að blanda malbikskurli í mismiklu mæli í burðarlagsefni og leggja út á plan hjá sér. Þessir kaflar voru prófaðir með tilliti til burðarþols og þjöppunar með plötuprófi sem Mannvit framkvæmdi og eru helstu niðurstöður þeirra mælinga birtar hér á eftir. Mynd 36 sýnir svæði á planinu sem eru með mismikla íblöndun á kurli á sama undirlaginu.



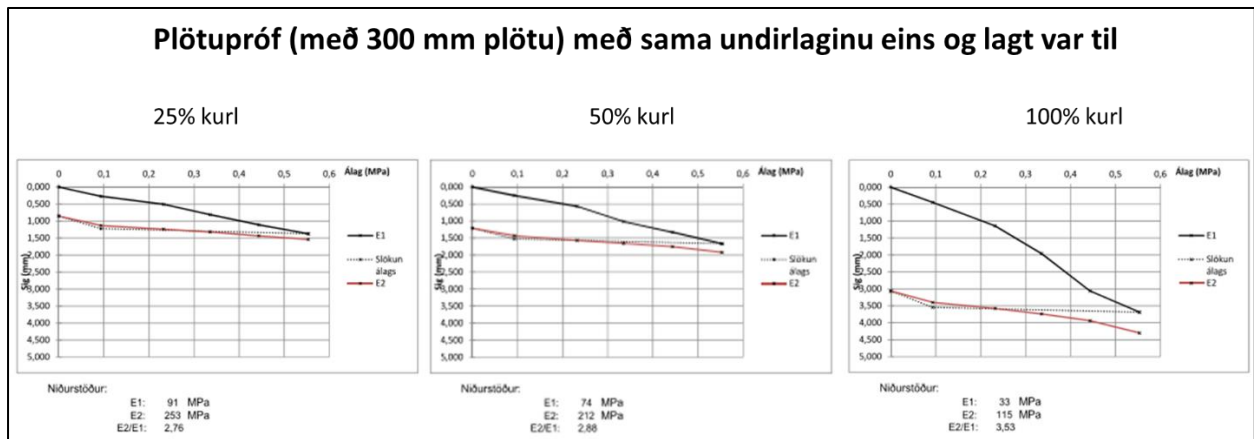
**Mynd 36** Svæði með mismikla íblöndun á kurli á sama undirlaginu sem voru plötuprófuð

Mynd 37 er teikning sem sýnir svæðið sem um ræðir á skematískan hátt.



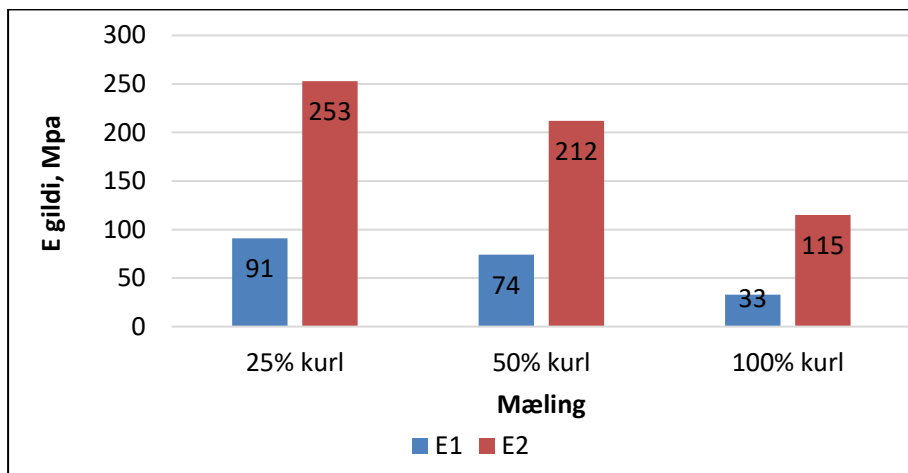
**Mynd 37** Teikning sem sýnir svæðið sem um ræðir á skematískan hátt

Niðurstöður plötuprófana með mismikilli íblöndun malbikskurls eru sýndar á mynd 38.



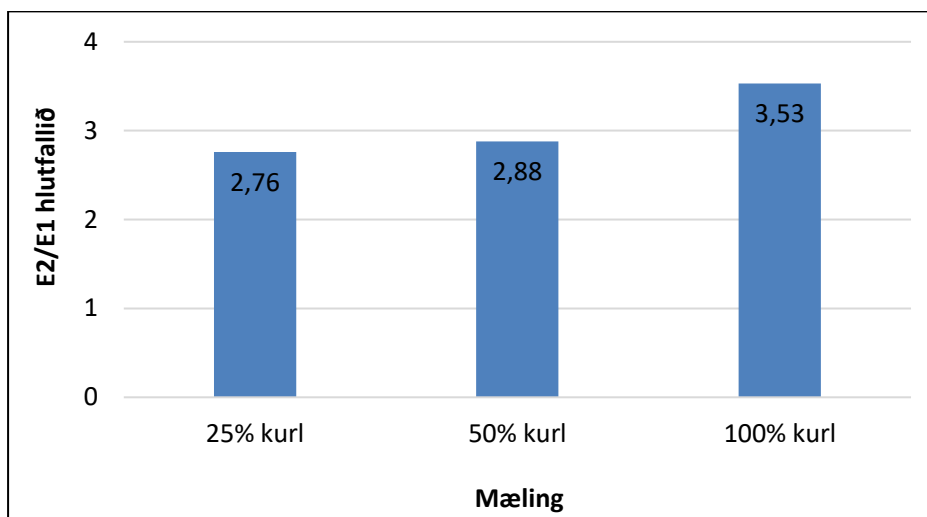
**Mynd 38** Niðurstöður plötuprófana með mismikilli íblöndun malbikskurls

Myndin sýnir (þótt óskýr sé) að 25% íblöndun hefur varla áhrif á burðarþol burðarlagsins, 50% er farið að hafa lítilleg áhrif til hins verra og 100% malbikskurl er með verulega slakt burðarþol. Þetta sést betur á myndum 39 og 40 hér að neðan.



**Mynd 39** Niðurstöður plötuprófa á óbundið burðarlag með mismiklu malbikskurli

Í kafla 5 í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar eru settar fram kröfur varðandi burðarþol og þjöppun, mælt með plötuprófi. Þar segir: *Við athugun á niðurstöðum **plötuprófa** eru annars vegar gerðar kröfur um lágmark fyrir gildi  $E_2$  og hins vegar kröfur um að hlutfallið  $E_2/E_1$  sé ekki of hátt. Fyrri krafan er gerð til að tryggja að nægilegt burðarþol hafi náðst við þjöppunina, en hin síðari til að tryggja að þjöppun sé nægileg. Nauðsynlegt er að hafa báðar þessar kröfur saman, því fyrir getur komið, að hlutfallið sé lágt og þjöppun þannig góð en  $E_2$  sé líka lágt og burðarþolið því ekki nægilegt. Krafan er að niðurstöður plötuprófa skuli ná gildinu  $E_2 \geq 120$  Mpa. Miðað við kröfuna um lágmarksgildi  $E_2$  sé 120 Mpa má segja að bæði 25% kurl og 50% kurl standist burðarþolmælinguna, en 100% kurl ekki. Mynd 40 sýnir hlutfallið  $E_2/E_1$  en það segir til um hversu vel þjöppun hefur tekist, því lægra hlutfall því betri þjöppun.*



**Mynd 40** Hlutfallið  $E_2/E_1$  úr plötuprófi með mismiklu kurli

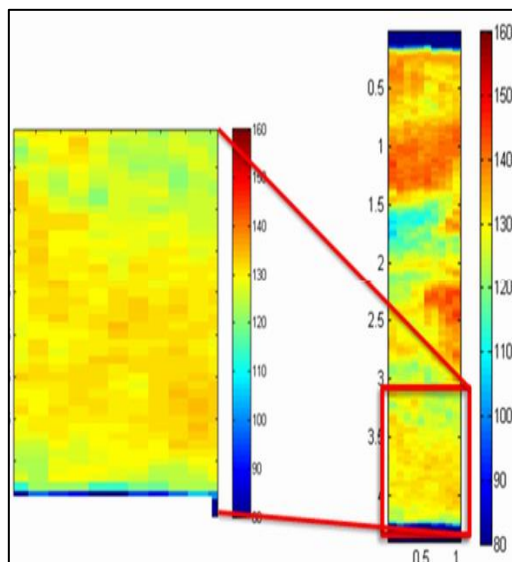
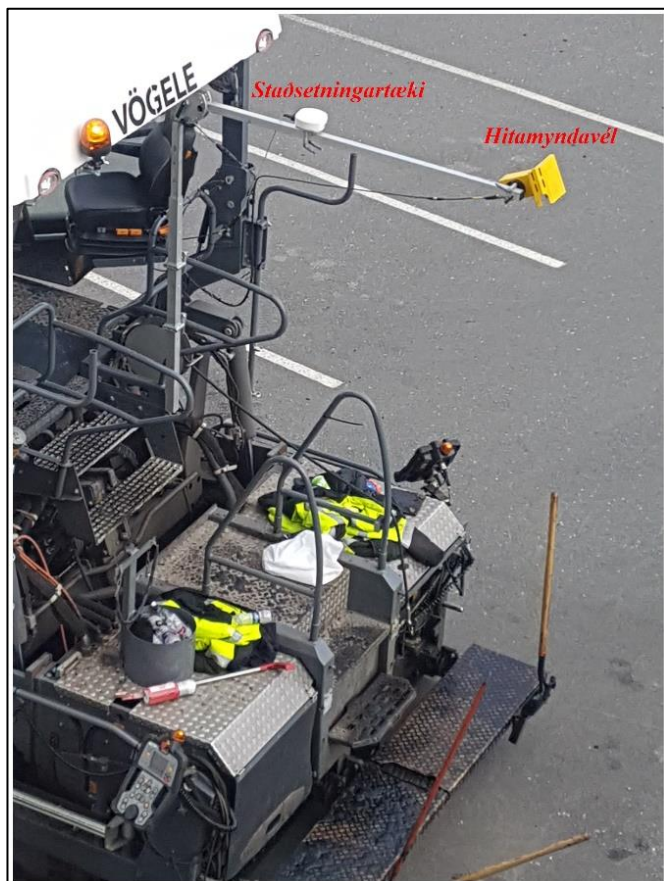
Í Efnisgæðaritinu eru settar fram mismunandi kröfur eftir umferð þungra bíla og er strangasta krafan að hlutfallið skuli vera  $\leq 2,5$  (fyrir  $\text{ÁDU}_p \geq 400$ ) og næst strangasta krafan að hlutfallið skuli vera  $\leq 3,0$  (fyrir  $\text{ÁDU}_p \geq 100$ ). Sýnin með 25% og 50% kurli standast því næst ströngustu þjöppunarkröfuna. Þar sem 50% íblöndun hefur heldur minna burðarþol og auk þess heldur minni þjöppun en 25% íblöndun má ætla að allt að 40% íblöndun á malbikskurli í óbundið burðarlagsefni væri líklegt til að skerða hvorki burðarþol né þjöppun þess svo nokkru nemi.



## 5 Könnun á notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks

### 5.1 Almennt

Vegagerðin setti fyrst fram kröfu um hitamyndavél á útlagnarvél í útboðslýsingum 2016 og síðan ákvæði um að fá frumgögn í hendur til fekari úrvinnslu árið 2017. Mynd 41 sýnir dæmi um uppsetningu hitamyndavélar á útlagnarvél. Undir gulu hlýfinni er hitamyndavélin sjálf og fer hún fram og til baka, u.þ.b. einu sinni á sekúndu og mælir hitann í sniði rétt aftan við brettið. Á gálganum sem myndavélin er á er líka gps staðsetningartæki, þannig að allt sniðið sé rekjanlegt í stað og stund. Til hægri við ljósmyndina er dæmi um útskrift úr svona tækjabúnaði.



**Mynd 41** Hitamyndavél og gps staðsetningartæki á gálga aftan við útlagnarvél MHC

### 5.2 Hitamyndir af kafla frá 2017 undir Hafnarfjalli

Af ýmsum ástæðum hefur innleiðingin innan Vegagerðarinnar ekki gengið sem skyldi, aðallega vegna þess að erfiðlega hefur gengið að fá hentugt forrit til að vinna úr gögnum.

Höfundur þessarar skýrslu átti leið um Vesturland sumarið 2017 og tók eftir því að á nýlögðu malbiki undir Hafnarfjalli á kafla 1-g4 milli stöðva 4168 og 6241 virtist malbikið vera með gropin svæði þvert á hægri akreininni með vissu millibili og vaknaði grunur um að þarna gætu hafa orðið til köld færuskil. Það getur gerst, sérstaklega ef flæði bíla með heitt malbik tefst af einhverjum orsökum, en þá þarf flokkurinn að bíða og á meðan kólnar skúffan, svo og malbikið undir útlagnarvélinni. Fengin voru gögn úr hitamyndavél MHC af þessum kafla og þau borin saman við staðsetningu gropinna svæða, en voru mæld í stöð skv. kerfi Vegagerðarinnar, en einnig hnitsett

samkvæmt gps mælingum. Tafla 7 sýnir staðsetningu þessara svæða sem virtust gropin á 1-g4 með staðsetningu í stöð, hnitum og m frá upphafi kaflans. Það skal tekið fram að þessi stöðvataka fór fram þegar skýrsluhöfundur var á ferðinni á leið í annað verkefni og því var kaflinn ekki genginn til að finna öll gropin svæði heldur stöðvað þar sem augljós merki um það sáust. Af þeim sökum voru ekki öll gropin svæði mæld inn.

**Tafla 7** Svæðin sem virtust gropin í malbiki sem lagt var 2017 undir Hafnarfjalli á 1-g4

Stöð	Hnit	m	Athugasemdir
4168	64°29,954N – 21°56,073V	0	upphaf kaflans
4318	64°30,019N – 21°55,964V	150	
4635	64°30,158N – 21°55,735V	467	
4808	64°30,234N – 21°55,606V	640	
5047	64°30,340N – 21°55,432V	879	
5932	64°30,669N – 21°55,673V	1764	kaldasta svæðið
6055	64°30,690N – 21°55,527V	1887	
6188	64°30,710N – 21°54,367V	2020	og áfram að enda
6241	64°30,720N – 21°54,306V	2073	endir kaflans

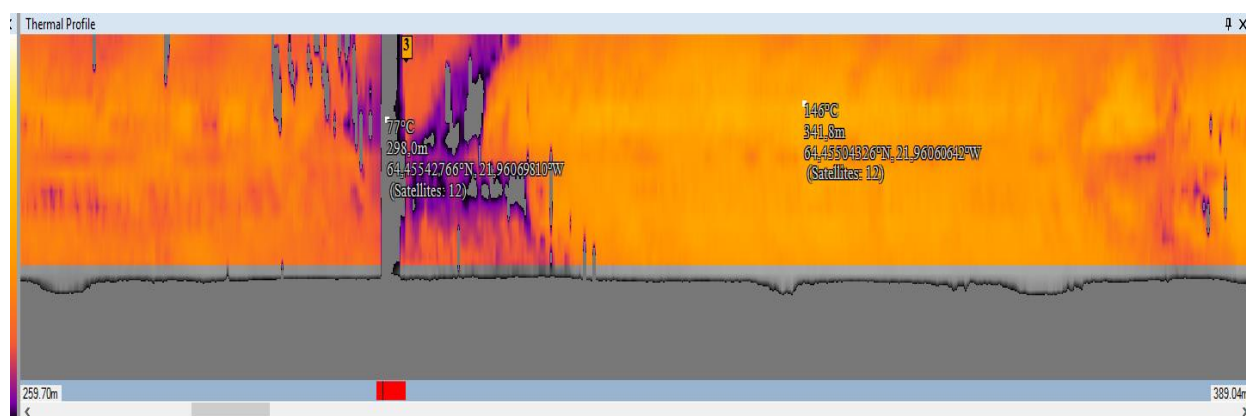
Mynd 42 sýnir þessa gropnu áferð á akreininni vinstra megin á myndinni, en myndin er tekin í suðurátt.



**Mynd 42** Gropin áferð á akreininni vinstra megin á myndinni í stöð 4318 á 1-g4

Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas þáðu beiðni um að fá að bera saman staðsetningu gropinna svæða og myndir úr hitamyndavél útlagnarvélar sem lagði út umræddan kafla. Myndirnar sem hér fylgja á eftir eru fengnar úr gagnasafni MHC og hafa gropin svæði verið merkt inn á myndirnar með upplýsingum um hitastig malbiksins, fjarlægð frá upphafi kaflans, auk hnita, en þau eru ekki

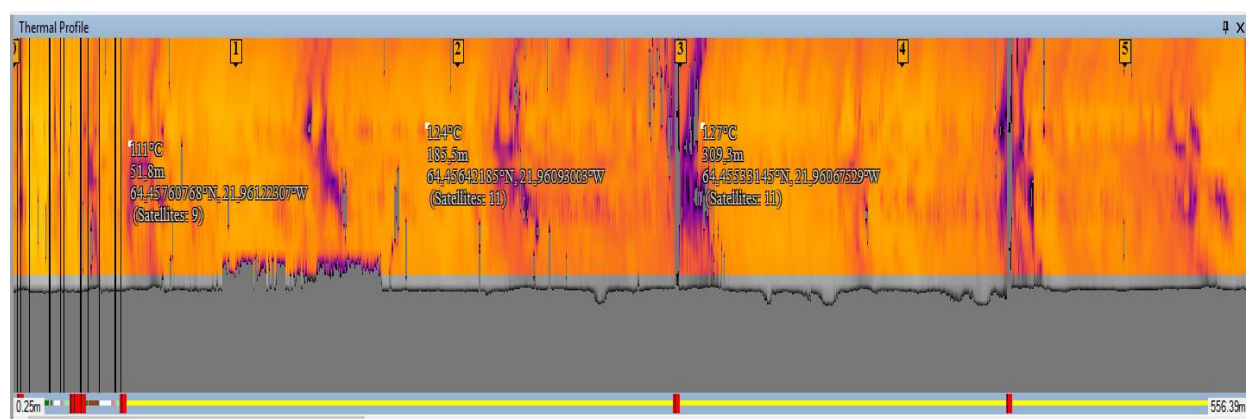
sambærileg við hnitin í töflu 7. Til að glöggva sig á hitasviðinu almennt sýnir mynd 43 um 130 m kafla á veginum þar sem greinilega er um köld skil að ræða, en svo eðlilegt hitastig yfir allt þversniðið hægra megin við skilin.



**Mynd 43** Köld skil og svo eðlilegt hitastig yfir allt þversniðið hægra megin við þau

Eins og sést á myndinni mælist hitastig malbiksins á köldu skilunum lægst um 77°C en þar sem útlögn gengur snuðrulaust fyrir sig er hitastigið um 146°C, sem telst væntanlega í góðu lagi. Þessi köldu skil eru líklega þau umfangsmestu og köldustu á öllum kaflanum og full ástæða til að fylgjast með þeim sérstaklega með tímanum.

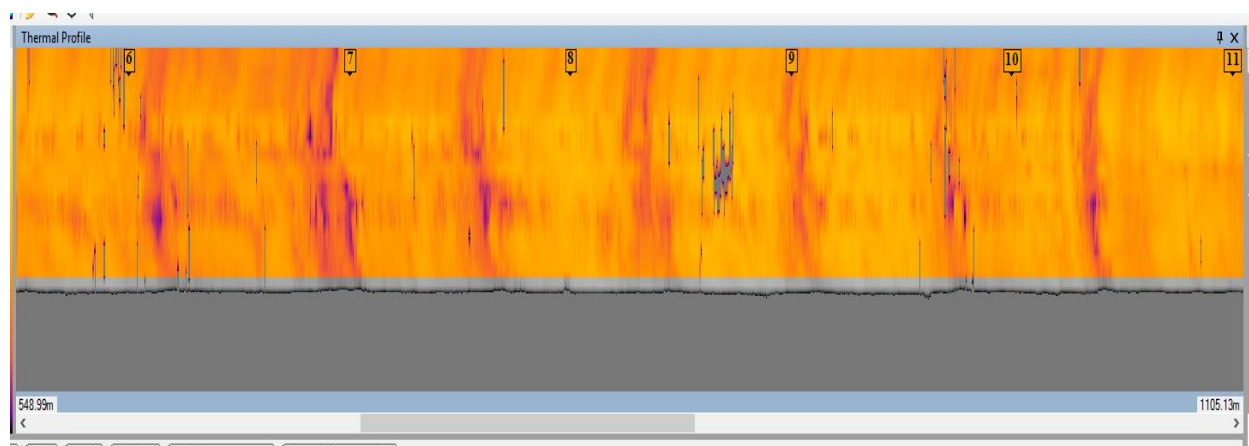
Mynd 44 sýnir um 550 m frá upphafi kaflans í norðri og í áttina til suðurs eins og kaflinn var lagður, sem sagt í öfuga átt miðað við stöðvakerfi Vegagerðarinnar. Kaldi bletturinn sem sýndur er á mynd 43 er fyrir miðri mynd, en þar var einmitt stoppað og hnitsett gropin áferð malbiksins.



**Mynd 44** Fyrstu 550 m malbikskaflans sem lagður var frá norðri til suðurs

Á myndinni sést að í 53 m frá upphafi kaflans (stöð 6188) eru merkt inn köld skil sem greinilega eru til staðar og aftur 186 m frá upphafi, en þar er reyndar ekki að sjá áberandi gropið malbik samkvæmt hitamælingu. Malbikið er þó ekki nema 124°C heitt þarna sem er nokkuð kalt. Næst er merktur inn staður í 309 m frá upphafi (stöð 5932), en það eru einmitt köldu skilin sem sjást á mynd 43. Að vísu hnikast mælingin í stöð um 10 m frá kaldasta hluta skilanna og mælist því ekki eins kaldur og hann er kaldastur, en tilfærslan er væntanlega innan eðlilegra skekkjumarka. Aftur eru greinileg köld skil um það bil 440 m frá upphafi kaflans, en þau voru ekki hnitsett á sínum tíma.

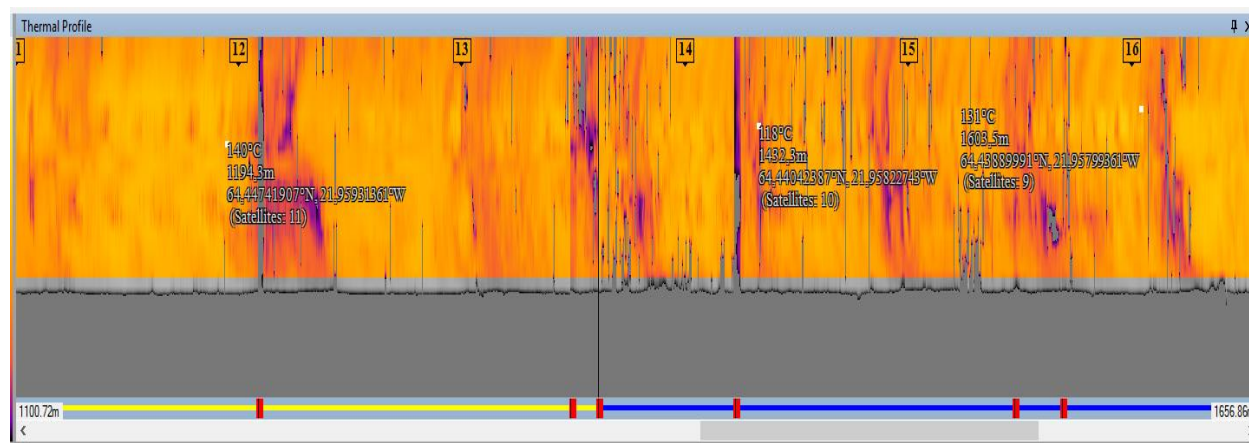
Mynd 45 sýnir 556 m kafla sem nær frá um 550 m frá upphafi kaflans og 1105 m inn á hann.



**Mynd 45** Kafli sem nær frá um 550 m frá upphafi kaflans og 1105 m inn á hann

Eins og myndin sýnir eru greinileg færuskil, líklega á öllum færum á þessum rúmlega hálf km kafla, sem endurspeglast í hitamyndinni. Mynstrið í myndinni er greinilega reglubundið og ef þessum 8 færum er deilt upp í þessa 556 metra lætur nærri að hver færa sé 70 m. Þarna hefur greinilega orðið nokkur kólnun á færuskilum, en ekki það mikil að eftir væri tekið við hnitsetningu að um gropið malbik væri að ræða. Því getur verið að þjöppun hafi tekist nokkuð vel á þessum kafla, en það á væntanlega eftir að koma í ljós síðar meir.

Mynd 46 sýnir 556 m kafla sem nær frá um 1100 m frá upphafi kaflans og 1657 m inn á hann.

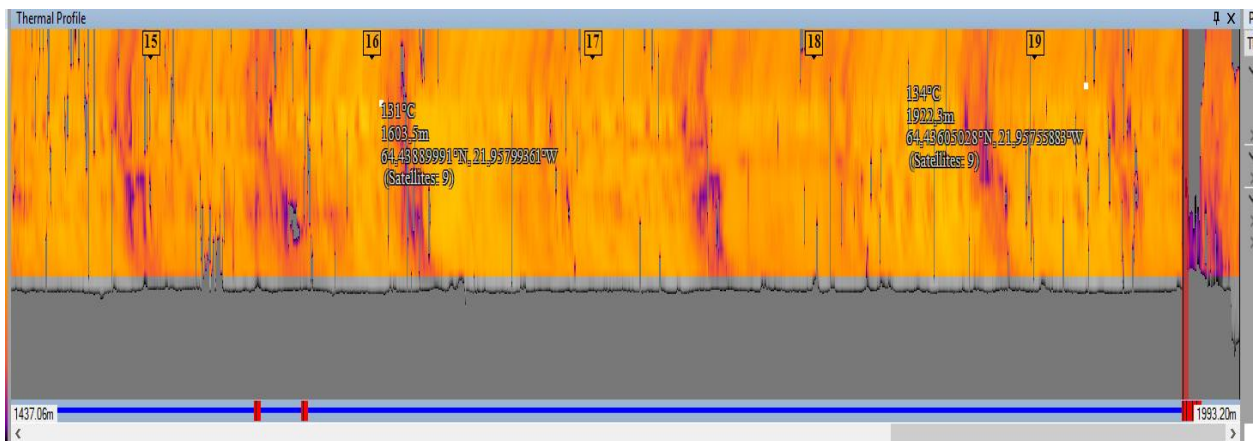


**Mynd 46** Kafli sem nær frá um 1100 m frá upphafi kaflans og 1657 m inn á hann

Myndin sýnir að á þessum kafla lagnarinnar eru köld færuskil meira áberandi en á kaflanum þar á undan (mynd 45). Hnitatakan á þremur stöðum á þessum liðlega hálf km endurspeglar þessi köldu svæði, þótt hún hitti ekki beint á allra köldustu blettina. Hún verður þó að teljast nægilega nálægt til að vera sannfærandi.

Mynd 47 sýnir 556 m kafla sem nær frá um 1437 m frá upphafi kaflans og 1993 m inn á hann, eða nánast að endamörkum kaflans.





**Mynd 47** Kafli sem nær frá um 1437 m frá upphafi kaflans og 1993 m inn á hann

Myndin sýnir að á þessum kafla lagnarinnar eru köld færuskil á nokkrum stöðum. Hnitatakan sem er um 1600 m frá upphafi kaflans endurspeglar greinilega köld færuskil, þótt hún hitti ekki beint á allra köldustu blettina. Hún verður þó að teljast nægilega nálægt til að vera sannfærandi. Hnitatakan í 1922 m frá upphafi kaflans lendir ekki á mjög áberandi köldum skilum, en á þessu svæði virðist nokkuð óregluleg hitadreifing og ekki alveg greinileg færuskil.

### 5.3 Umræða

MHC eiga þakkið skilið fyrir að veita svo greiðlega upplýsingar um niðurstöður hitamælinga á þessum kafla sem nánast fyrir tilviljun var tekið eftir að væri með gropin færuskil og því hnitsettur á nokkrum stöðum þar sem það var áberandi. Samkvæmt munnlegum upplýsingum frá forstjóra fyrirtækisins og öðrum starfsmönnum þess komu upp ýmis vandræði við lögn kaflans, sérstaklega hvað varðar tafir á bílum með heitu malbiki. Af öllum köflum sem myndaðir hafa verið við útlögn er þessi kafli undir Hafnarfjalli með mest áberandi færuskilum og í sumum tilfellum mjög köldum þar að auki.

Hér er að mati skýrsluhöfundar um skólabókardæmi að ræða um það hvernig gögn úr hitamyndavélum geta nýst bæði verkkaupa og verktaka við útlögn malbiks, ekki síst þegar flytja þarf malbikið langa vegu og umferð eða of fáir flutningsbílar geta valdið því að stöðva þarf verkið tímabundið, jafnvel á öllum færuskilum eins og hitamyndirnar hér að ofan bera með sér. Eins og fyrr segir er hér um að ræða útlögn sem er að öllum líkindum undantekning hvað hitadreifingu á færuskilum varðar, en að sögn verktaka snerust flestir þættir á versta veg einmitt á þessari hægri akrein á kafla 1-g4 undir Hafnarfjalli. Þess má geta í lokin að engar vísbendingar um gropin svæði eru sjáanleg á vinstri veghelmingi, en því miður náðust ekki hitamyndir við lögn þeirrar akreinar vegna bilunar í tækjabúnaði.



## Heimildir og ítarefni:

Arnpór Óli Arason 2013: Prófanir á malbiki með endurunnu malbiki. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, skýrsla 13-02. Reykjavík 2013.

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

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

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

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

Efnisrannsóknir og efniskröfur 2018. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Kafli 6: Slitlag. — Vegagerðin, janúar 2018.

Håndbok N200 Vegbygging – Juni 2014. Statens Vegvesen, Noregi.

ÍST EN 1097-4: Test for mechanical and physical properties of aggregates - Part 4: Determination of the voids of dry compacted filler.

ÍST EN 1097-7: Test for mechanical and physical properties of aggregates - Part 7: Determination of the particle density of filler - Pycnometer method.

ÍST EN 196-6: Methods of testing cement - Part 6: Determination of fineness.

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.

ÍST EN 13108-21: Bituminous mixtures – Material specifications – Part 21: Factory production control

Pétur Pétursson 2017: Malbiksrannsóknir 2016 – áfangaskýrsla IX. – PP ráðgjöf. Reykjavík 2017.

Pétur Pétursson 2016: Malbiksrannsóknir 2015 – áfangaskýrsla VIII. – PP ráðgjöf. Reykjavík 2016.

Pétur Pétursson 2015: Malbiksrannsóknir 2014 – áfangaskýrsla VII. – PP ráðgjöf. Reykjavík 2015.

Pétur Pétursson 2014: Malbiksrannsóknir 2013 – áfangaskýrsla VI. – PP ráðgjöf. Reykjavík 2014.

Pétur Pétursson 2013: Malbiksrannsóknir 2012 – áfangaskýrsla V. – PP ráðgjöf. Reykjavík 2013.

Pétur Pétursson 2012: Samanburður á slit- og skriðeiginleikum íslensks malbiks. Áhrif sements í filler á skriðeiginleika malbiks. Áfangaskýrsla IV. — PP ráðgjöf. Reykjavík 2012.