

Slitlög – Malbiksrannsóknir

Prófböndur með mismunandi gerðum mélu

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Júlí 2022

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.

Númer skýrslu / gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Dreifing
1325VG-1800/579/01	22 + 6 í viðauka	Júlí 2022	Opin
Heiti skýrslu			
Malbiksrannsóknir – prófblöndur með mismunandi gerðum mélu			
Report Title in English			

Höfundur / ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar
Pétur Pétursson, stoðdeild Vegagerðarinnar	Birkir Hrafn Jóakimsson	Pétur Pétursson
Styrktaraðili		Samvinnuaðilar
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar		

Útdráttur

Í þessari skýrslu eru settar fram niðurstöður Marshall prófblandna á sex mismunandi mélusýnum af þeim 22 sem safnað hafði verið úr malbikunarstöðvum Höfða og Colas sumarið 2015. Ýmsum rannsóknum á mélusýnunum hefur verið gerð skil í áfangaskýrslum um malbiksrannsóknir, frá 2016 til 2018. Þegar niðurstöður ýmissa mælinga á mélusýnunum lágu fyrir, svo sem rúmpýngd þeirra, holrýmd, fínleika og yfirborðsflatarmáls hafði gengið nokkuð mikið á magn sýnanna sem safnað hafði verið á sýnum tíma. Þó voru 6 sýni enn nægilega stór til að hægt væri að útbúa sýni í Marshallpróf og var ákveðið að gera það. Í þessari skýrslu eru rífaðar upp fyrri niðurstöður prófana og svo niðurstöður úr prófblöndunum.

Abstract in English

Lykilorð

Prófblöndur, méla

Undirskrift verkefnastjóra

Yfirfarið af

Efnisyfirlit

Lykilsíða	2
1 Inngangur.....	4
2 Niðurstöður fyrri prófana - samantekt	6
2.1 Almennt um mélusýnin.....	6
2.2 Kornadreifing mélu, Rígden holrýmd, rúmpýngd og yfirborðsflatarmál.....	7
3 Niðurstöður Marshallprófana – samanburður við fyrri prófanir	15
4 Umræða.....	20
Heimildir.....	22
Viðauki 1 Niðurstöður mælinga á prófböndunum.....	23

1 Inngangur

Rannsóknaverkefnið Slitlög – Malbik hefur staðið yfir frá árinu 2008, en fyrsta skýrsla verkefnisins kom út um vorið 2009. Alls voru gefnar út 11 áfangaskýrslur á árabílinu 2009 til 2019 og síðan samantektar-skýrsla um verkefnið í heild sinni í mars 2020. Í fyrstu var lögð áhersla á að hanna nýjar malbiksgerðir með prófunum í nýju hjólfaratæki og Prall slitþolstæki á Nýsköpunarmiðstöð Íslands, en ljóst var að finna þurfti slitþolið malbik sem auk þess hafði aukið viðnám gegn skriði undan sífellt þyngri umferð á sumrin. Fjallað var um fyrsta rannsóknarpátturinn sem sneri að mélu (e. filler) sérstaklega í áfangaskýrslu 4 sem kom út 2012, en skýrslan bar heitið „Samanburður á slit- og skriðeiginleikum íslensks malbiks – áhrif sements í mélu á skriðeiginleika malbiks“. Þessi rannsókn var smá í sniðum og fólst í því að kanna hvort 3% íblöndun sements í hefðbundna mélu hefði áhrif á skriðeiginleika malbiksins. Ekki fékkst marktækur munur á skriði malbiks með 8% mélu og malbiks með 5% mélu og 3% sement.

Í áfangaskýrslu 5 sem kom út 2012 var áfram kannað hvaða áhrif mismikið magn af bindiefni og mélu hefði á skriðeiginleika malbiks. Í ljós kom að hlutfall bindiefnis og fínefnis hafa mikil áhrif á hjólfaramyndun, sýnið með hæsta hlutfall bindiefnis (6,5%) mældist með mesta hjólfaradýpt (RD), eða 9,6 mm og sýnið með mest af fínefni (10%) kom næst á eftir með 6,4 mm hjólfaramyndun. Sýnið með 8% fínefni og 4,5% bindiefni kom best út úr hjólfaraprófinu með 4,4 mm hjólför. Þó má ljóst vera, t.d. út frá Marshall-prófi, að bindiefnismagnið er of lítið til að ná nægilegri þjöppun og malbikið laust í sér. Segja má að sýnið með 8% mélu og 5,5% biki hafi haft bestu eiginleikana af þeim gerðum sem blandaðar voru, með hjólfaradýpt (RD) 4,8 mm.

Í áfangaskýrslu 8 sem kom út árið 2016 eru birtar fyrstu niðurstöður prófana á 22 mélusýnum sem tekin höfðu verið hjá malbikunarstöðvum Höfða og Colas sumarið 2015. Skýrslan sem hér er sett fram byggir að hluta á niðurstöðum mælinga (holrýmnd og rúmþyngd mélusýnanna) þess áfanga, svo og niðurstöðum mælinga sem birtar eru í áfangaskýrslu 9 (lasermæling á grófleika mélusýnanna). Aftur voru gerðar mælingar á mélusýnunum (mæling á yfirborðsflatarmáli) sem birtar voru í áfangaskýrslu 10 sem kom út árið 2018.

Í framhaldi af þeim mælingum sem lágu fyrir af mélusýnunum var ákveðið að velja sex sýni af mélu (sem var enn til nægilegt magn til kjarnagerðar) og útbúa prófblöndur af þeim, allar með alveg eins malbiki. Mélusýnin voru með mismikla kornarúmþyngd (hér eftir kallað rúmþyngd mélu) og misjafnlega fíngerð og því áhugavert að kanna hvort þeir þættir hefðu marktæk áhrif á eiginleika malbiks mælt með Marshall-aðferð. Af ýmsum ástæðum tafðist gerð prófsýna og niðurstöður lágu ekki fyrir fyrir en á þessu ári. Í þessari skýrslu eru rifjaðar upp helstu niðurstöðu prófana á mélusýnunum í gegn um árin og bornir saman eiginleikar sýnanna og niðurstaðna úr prófblöndunum. Því miður var nægilegt magn sýna eingöngu af 6 af

22 mélusýnum og rannsókn á prófböndum því með minnsta móti til að geta túlkað niðurstöðurnar á marktækan hátt. Æskilegt hefði verið að hafa fleiri gerðir af mélu til að móða úr, þannig að tölfræðin gæti talist marktæk. Þó svo sé í rauninni ekki, má túlka niðurstöður þessa verkefnis almennt séð og leiða vissar líkur á því hvort gerð og fínleiki mélu gæti haft áhrif á Marshalleiginleika prófböndanna.

2 Niðurstöður fyrri prófana - samantekt

2.1 Almennt um mélusýnin

Eins og fram kom í inngangi voru gerðar prófböndur í Marshallpróf þar sem eina breytan var gerð mélu, sem vigtuð var sama þyngd af inn í allar böndurnar. Mélusýnin sem eru með **rauðu letri** í töflu 1 hér að neðan voru notuð í prófböndurnar, sem fjallað er nánar um í kafla 3 hér á eftir. Í þessum kafla 2 er rakið hvaða prófanir höfðu áður verið gerðar á mélusýnunum 22 sem safnað var árið 2015, en niðurstöðurnar voru birtar í þremur áfangaskýrslum eins og fram kemur í inngangi þessarar skýrslu.

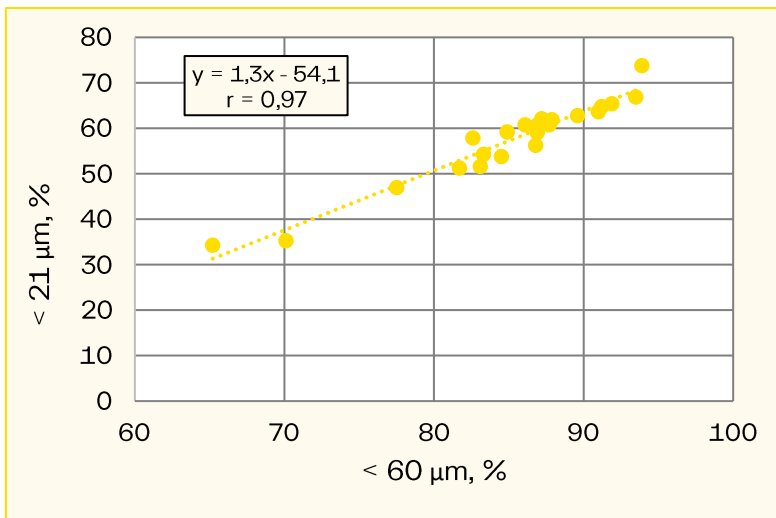
Tafla 1:

Mæling á kornadreifingu, rúmpyngd, holrýmd og yfirborðsflatarmáli mélusýna

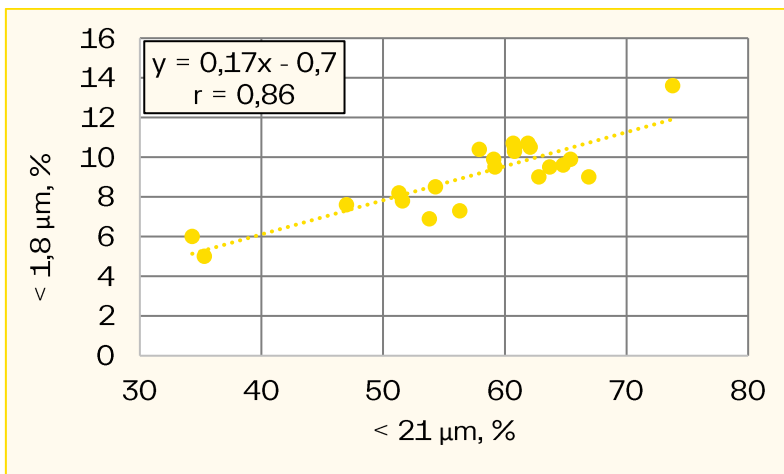
Dags- sýnatöku	Merking sýnis	< 60 µm	< 21 µm	< 1,8 µm	Rúm- þyngd, Mg/m ³	Rigden holrýmd, %	Blaine flatarmál, sek
13.5.2015	Colas-1	86,9	60,7	10,7	2,73	35,4	93,7
29.5.2015	Colas-2	86,1	60,8	10,5	2,81	37,2	66,5
6.6.2015	Colas-3	86,8	56,3	7,3	2,96	38,2	53,6
25.6.2015	Colas-4	93,9	73,8	13,6	2,76	37,8	38,5
25.6.2015	Colas-5	70,1	35,3	5,0	2,86	31,1	-
6.7.2015	Colas-6	91,2	64,8	9,6	2,94	38,3	68,8
13.7.2015	Colas-7	86,9	59,1	9,9	2,97	35,8	73,6
23.7.2015	Colas-8	93,5	66,9	9,0	2,93	41,1	66,4
11.8.2015	Colas-9	87,9	61,9	10,7	2,96	36,6	81,4
29.7.2015	Colas-10	84,5	53,8	6,9	2,96	36,0	41,5
25.8.2015	Colas-11	91,0	63,7	9,5	2,91	39,0	68,0
16.9.2015	Colas-12	87,7	60,8	10,3	2,96	36,7	90,7
17.9.2015	Colas-13	89,6	62,8	9,0	2,81	34,5	-
1.10.2015	Colas-14	84,9	59,2	9,5	2,91	36,8	84,5
27.10.2015	Colas-15	87,2	62,1	10,5	2,85	35,9	85,4
25.11.2015	Colas-16	82,6	57,9	10,4	2,88	34,2	78,6
29.5.2015	Höfði-1	83,3	54,3	8,5	2,89	35,1	47,6
5.6.2015	Höfði-2	91,9	65,4	9,9	3,02	38,9	-
12.6.2015	Höfði-3	83,1	51,6	7,8	2,97	34,8	43,3
19.6.2015	Höfði-4	81,7	51,3	8,2	2,93	35	-
29.6.2015	Höfði-5	77,5	47,0	7,6	2,95	34,5	23,7
16.7.2015	Höfði-6	65,2	34,3	6,0	3,02	32,1	21,3

2.2 Kornadreifing mélu, Rigden holrýmd, rúmpyngd og yfirborðsflatarmál

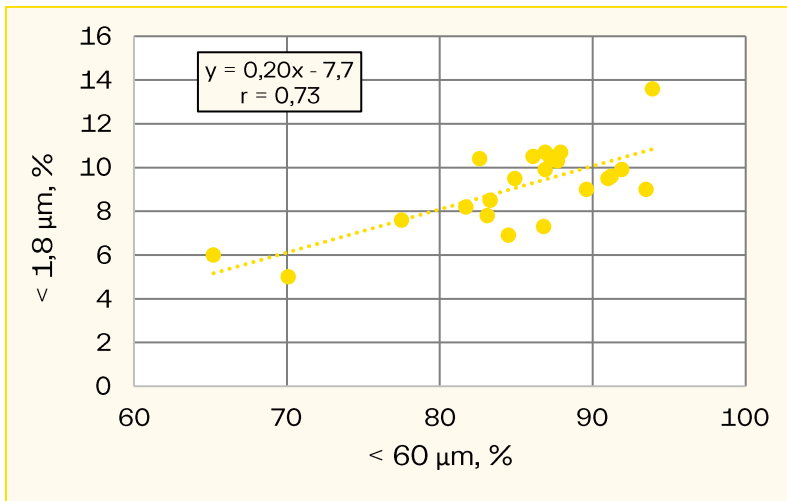
Til upprifjunar má setja fram nokkrar myndir úr fyrri áföngum þessa verkefnis, þar sem greinileg tengsl komu fram milli ákveðinna mælanlegra þátta. Mynd 1 a) til c) sýnir til dæmis sterka fylgni milli kornastærða mélu (mælt með laseraðferð, sbr. kafla 1.2.2 í viðauka 1 í Efnisgæðaritinu), þ.e.a.s. ef mikið er af mélu < 60 µm er einnig tiltölulega mikið af mélu sem er < 21 µm og < 1,8 µm. Þetta kemur í sjálfu sér ekki á óvart, en sýnir engu að síður að fínefnasigtið (0,063 mm) gefur upplýsingar um magn mélu sem er enn finni, auk þess að gefa til kynna hversu hátt hlutfall er yfir fínefnamarkinu og flokkast þá sem sandur.



Mynd 1 a) Tengsl kornastærða < 60 µm og < 21 µm



Mynd 1 b) Tengsl kornastærða < 21 µm og < 1,8 µm



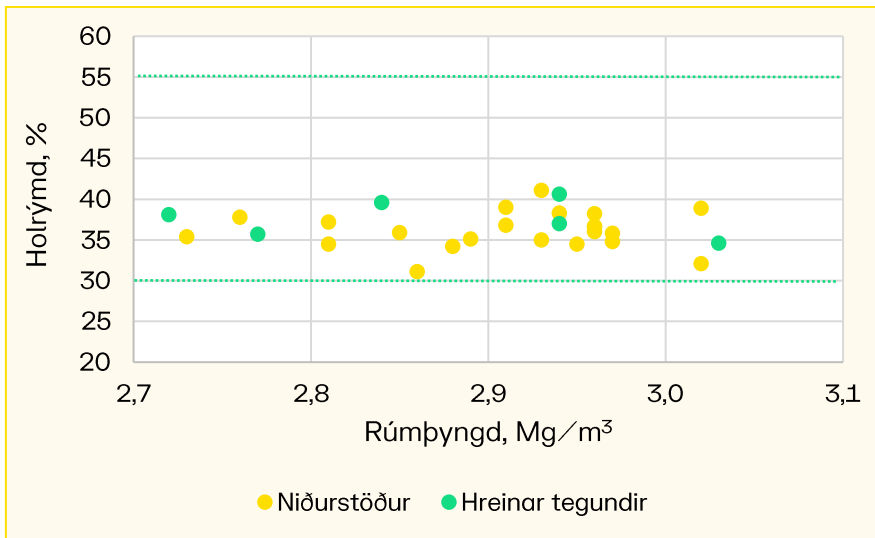
Mynd 1 c) Tengsl kornastærða < 60 μm og < 1,8 μm

Mynd 1 a) til c)

Kornadreifing 22 mélusýna mæld með laseraðferð

Eins og myndirnar sýna er sterk fylgni milli kornastærða mélu eins og við mátti búast. Út frá þessum niðurstöðum má álykta sem svo að eftir því sem minna hluti mélu smýgur 0,063 mm sigtið (skilgreint sem fínefnasigtið), þeim mun minna er af fíngerðum ögnum í silt- og leirstærðum. Það er því eðlilegt að kanna hvort og þá hvaða áhrif fínleiki mélu sem vigtuð er inn í malbiksblöndur hefur á eiginleika þeirra. Hingað til hafa ekki verið gerðar kröfur um sérstakar prófanir á mélu sem safnast í filterhús malbikunarstöðva við þurrkun steinefnis í malbik og hefur sú méla oftast verið vigtuð inn í malbikið án sérstakra athugana á henni. Það er þó ljóst að af einhverjum ástæðum er grófleiki mélu sem safnast fyrir á þennan hátt umtalsvert breytilegur. Benda má á að í stöku tilfellum geta allt að 30 til 35 % mélu verið yfir fínefnasigtinu og að sá hluti mélu sem er í rauninni fínsandur, nýtist ekki sem skildi í samspili fínefnis og biks.

Eins og fram hefur komið höfðu verið mæld holrýmd (Ridgen) og rúmþyngd mélusýnanna (sbr. kafla 1.4.3 og 1.4.4 í viðauka 1 í Efnisgæðaritinu) og niðurstöður birtar í áfangaskýrslu 8 frá 2016. Mynd 2 sýnir niðurstöður mælinganna, en einnig niðurstöður mælinga á 6 hreinum tegundum mélu, þ.e.a.s. þremur íslenskum tegundum og þremur erlendum. Þessar bergtegundir voru malaðar niður á rannsóknastofu og eru því ekki fyllilega sambærilegar við mélusýni sem safnast við framleiðslu malbiks.

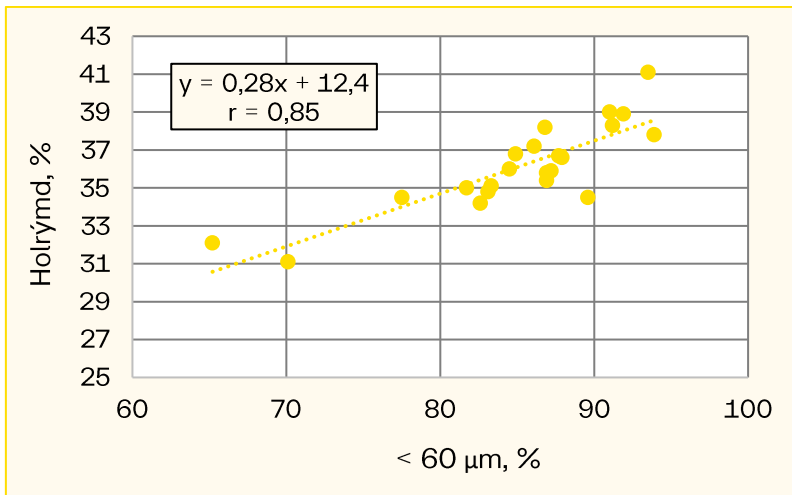


Mynd 2

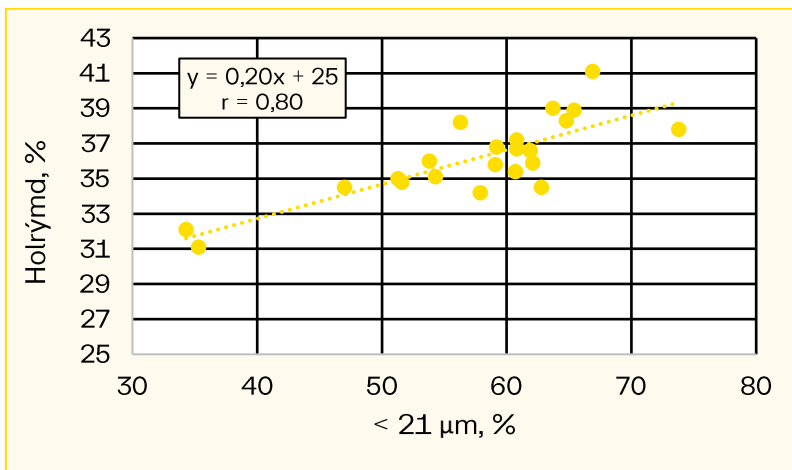
Holrýmd og rúmþyngd 22 mélusýna og 6 hreinna berggerða

Í túlkun á þessum niðurstöðum, sem skilað hafa sér inn í Efnisgæðaritið (þó ekki sem kröfur enn sem komið er) kemur eftirfarandi fram: „Eins og sést á myndinni liggja holrýmdarmælingarnar að mestu leyti milli 35 og 40%, en kornarúmþyngdin liggur á bilinu 2,72 til 3,03 Mg/m³. Dreifingin er nokkuð jöfn á mæligildum kornarúmþyngdar og hverfist um gildið 2,9 Mg/m³, þar sem íslensku hreinu tegundirnar eru yfir og erlendu hreinu tegundirnar eru undir. Það er ljóst að ef kornarúmþyngd mélu er tiltölulega lág verður rúmmál mélu meiri en ef kornarúmþyngd hennar er há, þegar vigtað er inn við framleiðlu malbiks. Þannig tekur méla með rúmþyngd 2,8 g/cm³ um 5% meira pláss en méla með rúmþyngdina 2,9 g/cm³. Á sama hátt er méla með rúmþyngdina 3,0 g/cm³ um 5% rýrari en méla með rúmþyngdina 2,9 g/cm³. Mesti munur á rúmþyngd mélu sem notuð er héraðs samkvæmt þessari rannsókn er um 10% og því er mikilvægt að taka tillit til kornarúmþyngdar þegar méla er veginn inn í malbiksblöndu.“

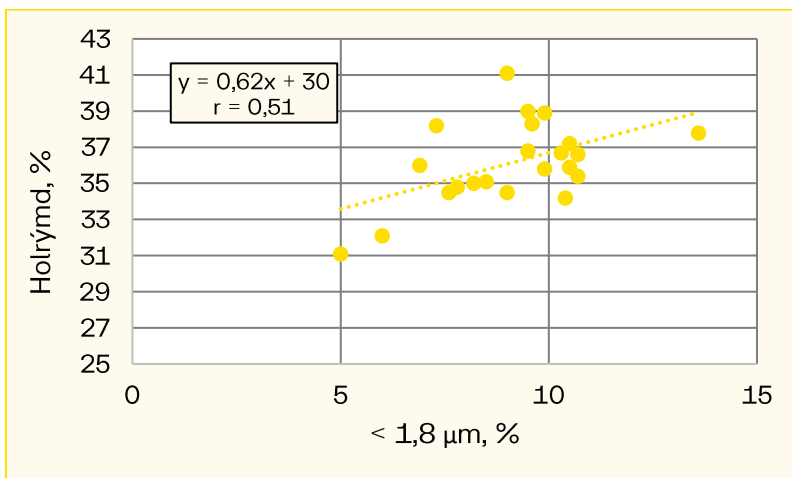
Það kom í ljós að sannfærandi tengsl eru á milli fínleika mélu og holrýmdar hennar, mældri með Rigden aðferð, jafnvel þótt mæld holrýmd sýnanna væri á nokkuð þröngu bili. Segja má að rúmþyngdin endurspegli einungis uppruna mélu. Þ.e.a.s. berggerðir sem hún rekur uppruna til, en þó komu í ljós tengsl leirmagns og rúmþyngdar eins og vikið er að síðar. Myndir 3 a), b) og c) sýna tengsl mældrar holrýmdar mélu og fínleika hennar.



Mynd 3 a) Tengsl kornastærða < 60 μm og Rigden holrýmdar mélu



Mynd 3 b) Tengsl kornastærða < 21 μm og Rigden holrýmdar mélu



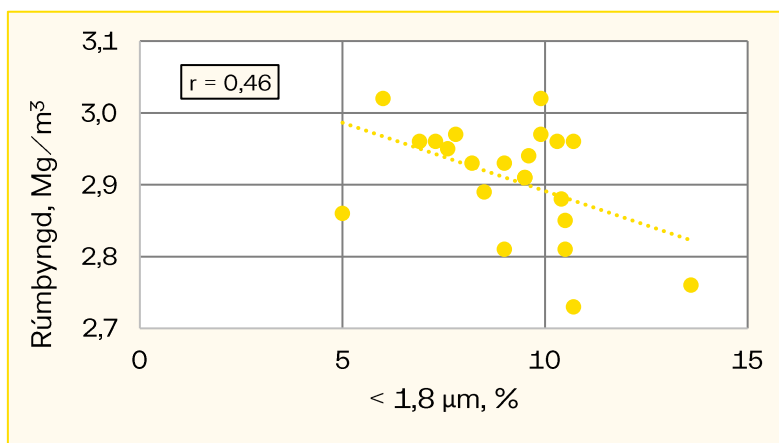
Mynd 3 c) Tengsl kornastærða < 1,8 μm og Rigden holrýmdar mélu

Mynd 3 a) til c)

Tengsl kornastærða og Rigden holrýmdar mélu

Segja má að tengslin séu vel marktæk, þótt þau minnki með minnkandi kornastærð, en á móti kemur að leirstærðirnar ($< 1,8 \mu\text{m}$) eru orðnar í frekar litlum mæli tölulega séð. Það er sem sagt svo að eftir því sem fínleiki málunnar er meiri, þeim mun meiri mælist holrýmd hennar. Það hefði mátt ætla að tengslin væru þveröfug, en í kafla 3 um prófbloendur hér á eftir koma fram vísbendingar um að holrýmd kjarnanna minnki með auknu yfirborðsflatarmáli mélu, þegar bindiefnismagnið er fasti.

Loks má skoða tengsl fínleika mélu og rúmpýngdar hennar. Í raun var ekki augljóst fyrir fram að tengsl væru marktæk á milli þessara þátta, þar sem ætla mætti að fínleiki mélu sé að einhverju leyti mest háður vinnsluaðferðum (mölun og hörpun) bergsins sem mélan fellur til úr og rúmpýngdin viðkomandi berggerð. Einnig má benda á að ekki eru tengsl á milli rúmpýngdar mélu og holrýmdar hennar (Rigden). Þó koma fram ákveðin og að því er viðist marktæk tengsl milli rúmpýngdar mélu og magns leirstærða hennar, sjá mynd 4 hér að neðan.

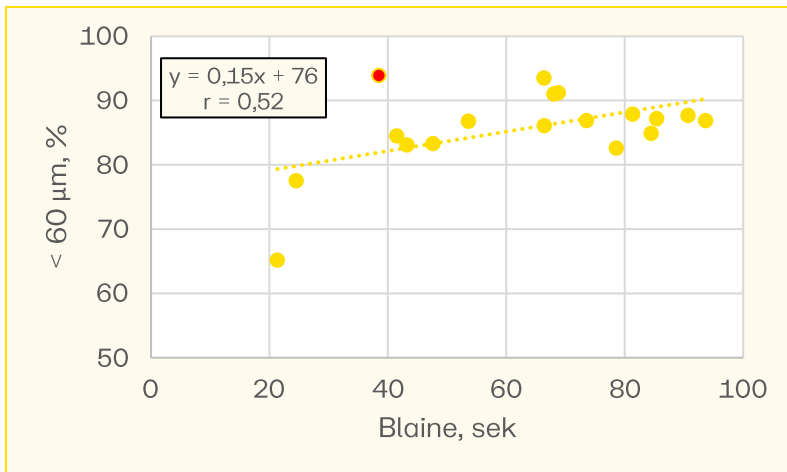


Mynd 4

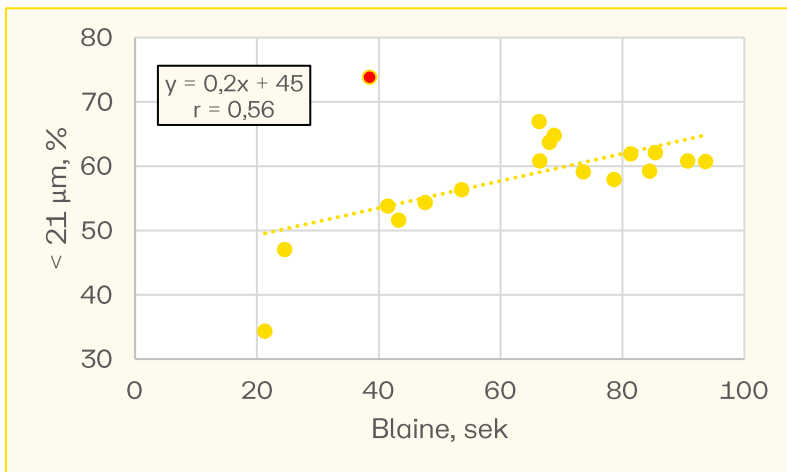
Tengsl leirstærða mélu og rúmpýngdar hennar

Eins og sjá má er nokkur dreifing um aðhvarfslínuna, en fylgnistuðullinn $r=0,46$ er engu að síður tölfræðilega marktækur með 95% líkum. Hugsanlega er um hreina tilviljun að ræða eða þá að framleiðsluferli innfluttu (léttu) steinefnanna valdi herra hlutfalli leirstærða en innlendu (þungu) steinefnanna. Það er þó einungis getgáta sem taka ber með fyrirvara.

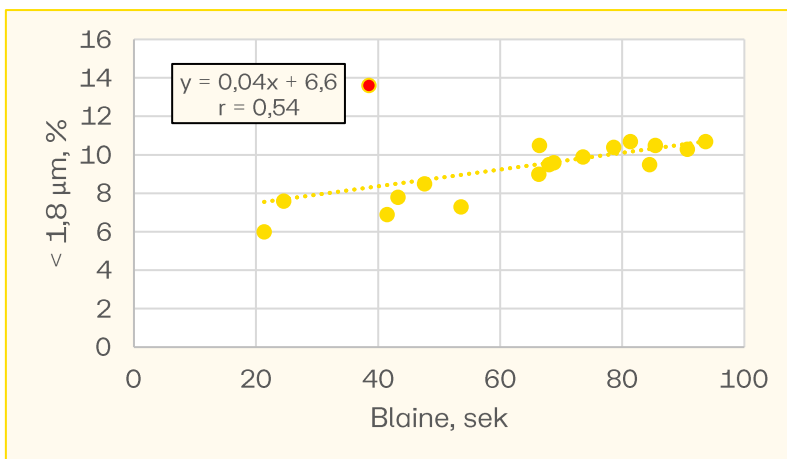
Í lok fyrri prófana á málusýnunum 22 var ákveðið að mæla yfirborðsflatarmál sýnanna með svokallaðri Blaine aðferð, en sú aðferð hefur verið notuð héraðs stöku sinnum til mælinga á sementi. Segja má að rykið hafi verið dustað af tækjabúnaði og að tæknimaður hjá NMÍ sem framkvæmdi mælingarnar var ekki vanur þessu prófi. Engu að síður voru niðurstöður að mestu sannfærandi, þótt eiginlegir útreikningar, sem sagt flatarmál á þýngdareiningu (cm^2/g), hafi vafist nokkuð fyrir tæknimanni. Hér er því notast við einunguna sekúndur, en það er í raun tímíni sem það tekur loft að fara í gegn um sýnið sem er það sem mælt er. Það má því með góðri sannfæringu sýna að nokkuð góð tengsl eru á milli fínleika mélu og yfirborðsflatarmáls hennar, sjá myndir 5 a), b) og c).



Mynd 5 a) Tengsl kornastærða < 60 μm og yfirborðsflatarmáls



Mynd 5 b) Tengsl kornastærða < 21 μm og yfirborðsflatarmáls



Mynd 5 c) Tengsl kornastærða < 1,8 μm og yfirborðsflatarmáls

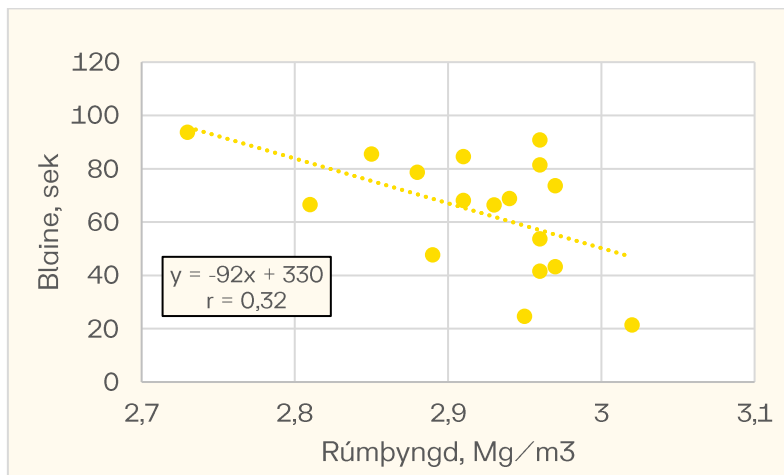
Mynd 5 a) til c)

Tengsl kornastærða og Blaine yfirborðsflatarmáls

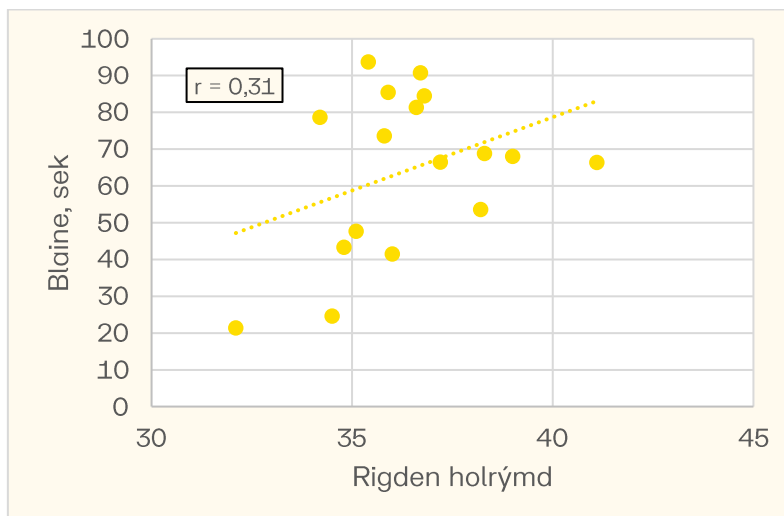
Þótt fylgnistuðullinn, r , sé ekki ýkja hár, eða frá 0,52 til 0,56, er þó nokkuð augljóst að tengsl eru nokkur milli finleika málunnar og yfirborðsflatarmáls hennar. Í raun má segja að sú niðurstaða, þótt hún komi varla á óvart, bendir enn frekar til þess að

fínleiki mélu hefur áhrif á eiginleika hennar í malbiksblöndunni sjálfri. Það kemur þó á óvart að mæling á yfirborðsflatarmáli fingerðasta mælusýnisins (rauður punktur, sýni Colas 4) mælist lægri en gera hefði mátt ráð fyrir. Sú mæling á yfirborðsflatarmálinu hefur umtalsverð áhrif á fylgnistuðulinn til lækkunar. Til dæmis væri stuðullinn $r = 0,90$ án hans á mynd 5 c).

Ekki er úr vegi að skoða hvort tengsl finnist milli yfirborðsflatarmáls mélu og rúmþyngdar hennar og holrýmdar, sjá mynd 6 a) og b).



Mynd 6 a) Tengsl yfirborðsflatarmáls og rúmþyngdar mélu



Mynd 6 b) Tengsl yfirborðsflatarmáls og holrýmdar mélu

Mynd 6 a) og b)

Tengsl rúmþyngdar og holrýmdar mélu og Blaine yfirborðsflatarmáls hennar

Það sést á myndum 6 a) og b) að allmikil dreifing er í staðsetningum punktana og fylgnistuðullinn er einungis rúmlega 0,3 sem er ekki marktæk fylgni með 95% líkum. Þó má telja að einhver fylgni geti verið, annars vegar milli rúmþyngdar mélu og yfirborðsflatarmál hennar, þar sem léttari gerðir hafa meira yfirborðsflatarmál en þau þyngri. Minna má á að mynd 5 hér að ofan sýnir rétt svo marktæka fylgni milli yfirborðsflatarmáls og rúmþyngdar mélu, hvort sem það er tilviljun eða ekki. Þar sem hér er komið út á hála braut verður ekki fjallað nánar um þessi tengsl yfirborðsflatarmáls og rúmþyngdar mélu.







Mynd 6 b) sýnir einnig allmikla dreifingu punkta um aðfallslínu og eru tengsl yfirborðsflatarmáls og holrýmdar mélu ekki marktæk með sannfærandi líkum. Það kemur frekar á óvart þar sem tengsl annars vegar fínleika mélu og yfirborðsflatarmáls hennar eru sannfærandi og hins vegar tengsl fínleika mélu og holrýmdar hennar. Aðfallslínan stefnir þó í þá átt að holrýmd mélu eykst með auknu yfirborðsflatarmáli hennar. Það hefði mátt ætla að holrýmd mélu (Rigden) ætti frekar að minnka en aukast eftir því sem fínleiki málunnar og yfirborðsflatarmál aukast. Það er þó ekki raunin samkvæmt ofangreindum mælingum á þessum eiginleikum á hreinum málusýnum. Bent skal á að þessu er þveröfugt farið þegar borin er saman yfirborðsflatarmál mélu og holrýmd Marshall kjarna úr prófböndum, eins og fjallað er um í næsta kafla. Þar kom hins vegar engin fylgni fram milli Rigden holrýmdar mélu og holrýmdar Marshall kjarna.

Ekki verða rifjaðar upp fleiri niðurstöður prófana og mælinga á fyrri stigum þessa verkefnis um malbiksprófanir í víðu samhengi í gegn um árin, en vísað til fyrri áfangaskýrslna þar að lútandi sem nefndar eru í inngangi þessarar skýrslu.

3 Niðurstöður Marshallprófana – samanburður við fyrri prófanir

Eins og fram hefur komið voru flest mélusýnin upp urin eftir fyrri prófanir á þeim, en þó var nægilegt magn eftir af 6 mélusýnum til að útbúa kjarna í Marshallpróf, sem sagt sex prófbloendur. Það gefur augaleið að með svo fá sýni í höndunum mátti gera ráð fyrir að allar túlkanir yrðu vandasamar og í flestum tilfellum með lága fylgnistuðla. Engu að síður þótti áhugavert að kanna hvort ákveðnar vísbendingar kæmu fram um áhrif eiginleika mélu kæmu fram með prófunum á þessum malbiksblöndum. Niðurstöður prófana á malbiksblöndunum eru birtar í viðauka 1.

Mynd 7 sýnir mélusýnin sem nægilegt magn var til af, ásamt upplýsingum um rúmpyngd og hluta sem er minni en 63 µm.

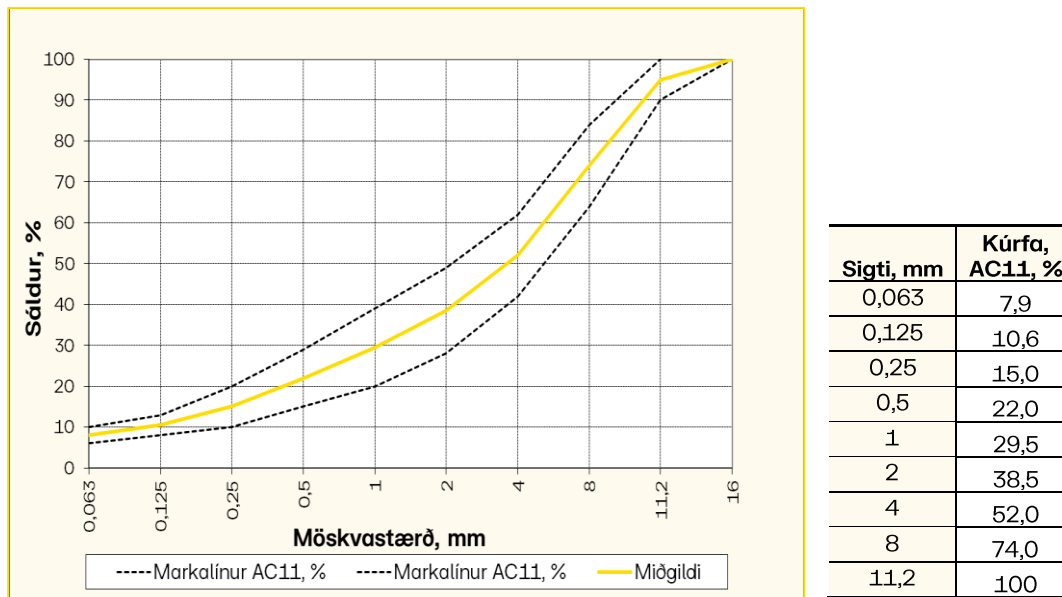
<p>Colas-4</p> <p>Mg/m³: 2,76 < 63 µm: 93,9%</p> 	<p>Colas-9</p> <p>Mg/m³: 2,96 < 63 µm: 87,9%</p> 	<p>Colas-10</p> <p>Mg/m³: 2,96 < 63 µm: 84,5%</p> 
<p>Colas-12</p> <p>Mg/m³: 2,96 < 63 µm: 87,7%</p> 	<p>Höfði-1</p> <p>Mg/m³: 2,89 < 63 µm: 83,3%</p> 	<p>Höfði-5</p> <p>Mg/m³: 2,95 < 63 µm: 77,5%</p> 

Mynd 7

Ljósmyndir og grunnupplýsingar um mélugerðirnar í prófbloendur

Mynd 7 sýnir að sýni Colas 4 er með afgerandi mest af fínefnum og er auk þess með lægstu rúmpyngdina af þessum sex sýnum. Hin sýnin fimm eru að mestu með svipaða eiginleika, en sýni Höfði 5 er þó afgerandi grófgerðast með tæp 23% yfir fínefnamarkinu.

Sett var fram tillaga um malbiksblönduna sjálfa, sem sagt kornadreifingu hennar bikhlutfall og magn mélu sem vigtuð var inn í blönduna. Ákveðið var að bikinnihald yrði 6% í öllum tilfellum og mélumagnið 7,9% af þunga steinefnis, en grunnsteinefnið var valið frá Hyllestad með kornarúmpyngdina 2,64 Mg/m³. Kornadreifing skyldi einnig vera sú sama í öllum malbiksgerðunum, sbr. mynd 8 hér að neðan. Á þennan hátt var reynt að hafa einu breytuna milli malbiksgerðanna sex mélugerðina sjálfa, sem innifól mismundandi efnisgerð, rúmpyngd og finleika hennar.



Mynd 8

Kornadreifing malbiks sem melugerðirnar fóru í sem prófböndur

Eins og sjá má á myndinni var kornakúrfan valin sem miðgildi þeirra markalína sem voru í gildi í Efnisgæðaritinu á þeim tíma, en þess má geta að í nýjustu útgáfu þess rits sem kom út um áramótin 2021/2022 hefur markalínum AC11 malbiks verið breytt.

Tafla 2 sýnir annars vegar niðurstöður prófana á melusýnunum, sem fjallað var um í kafla 2 hér að framan, og hins vegar niðurstöður Marshallprófana á sex af þessum melusýnum.

Tafla 2:

Niðurstöður mælinga á melusýnum og Marshall prófböndum með þeim

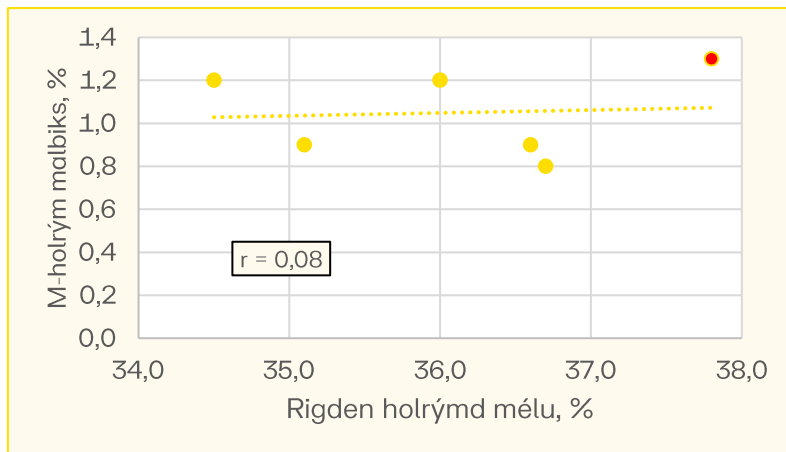
Mélusýnin sem notuð voru í prófböndur – niðurstöður							Marshall prófböndur – niðurstöður					
Filler-sýni	<60 µm	<21 µm	<1,8 µm	Kornarúm-þyngd, Mg/m³	Rigden holrýmd, %	Blaine yfirb. flm.	Bik, %	Rúm-þyngd, kg/m³	Hol-rýmd, %	Festa, kN	Sig, mm	Festa/sig
Höfði-1	83,3	54,3	8,5	2,89	35,1	47,63	6,0	2421	0,9	9,6	4,6	2,1
Höfði-5	77,5	47,0	7,6	2,95	34,5	24,55	6,0	2413	1,2	8,6	4,2	2,0
MHC 4	93,9	73,8	13,6	2,76	37,8	38,50	6,0	2412	1,3	9,6	4,1	2,4
MHC 9	87,9	61,9	10,7	2,96	36,6	81,35	6,0	2420	0,9	9,1	4,2	2,1
MHC 10	84,5	53,8	6,9	2,96	36,0	41,48	6,0	2413	1,2	8,5	5,4	1,6
MHC 12	87,7	60,8	10,3	2,96	36,7	90,70	6,0	2422	0,8	8,7	4,9	1,8

Áður en lengra er haldið er vert að ítreka að einungis sex af þeim 22 melusýnum sem safnað var á sínum tíma voru nægilega stór til að unnt væri að útbúa úr þeim kjarnasýni til Marshallmælinga. Auðvitað kom til álita að láta gott heita og skilja við melurannsóknirnar eftir prófanir á melunni einni og sér, enda ýmsar áhugaverðar niðurstöður sem komið höfðu fram. Hins vegar var líka freistandi að renna blint í sjóinn og kanna hvað Marshall prófanir á sex sýnum gætu gefið til kynni um áhrif eiginleika mélu á malbiksblönduna sjálfa. Með öðrum orðum; að kanna hvort einhverjar vísbendingar fengjust um það hvort mismunandi melugerðir með

mismunandi rúmþyngdir, holrýmd, fínleika og yfirborðsflatarmál hefðu hugsanlega áhrif á eiginleika malbiksins.

Hér að neðan eru birt nokkur línurit með fylgnistuðlum til að sýna líkindi á því að Marshall holrýmd, rúmþyngd, festa og sig ráðist að einhverju leyti af eiginleikum mólunnar. Ekkert skal fullyrt um trúverðugleika fylgni milli þátta, en fylgnistuðullinn ($r = \text{correlation coefficient}$) segir til um hvort meta megi fylgnina sem marktæka með 95% líkum. Það er mjög háð fjölda punkta hversu hár fylgnistuðullinn þarf að vera til að teljast marktækur með 95% líkum. Til dæmis þyrfti fylgnistuðullinn, r , að vera $> 0,88$ fyrir 5 punkta, $> 0,63$ fyrir 10 punkta og $> 0,51$ fyrir 15 punkta. Fyrir 6 punkta lætur því nærri að fylgnistuðullinn þyrfti að vera $> 0,8$ til að fylgnin teldist marktæk með 95% líkum. Punkturinn fyrir sýnið Colas 4 er hafður rauður til aðgreiningar frá hinum mólusýnunum, þar sem hann er afgerandi ólíkur hvað varðar rúmþyngd og Rigden holrýmd.

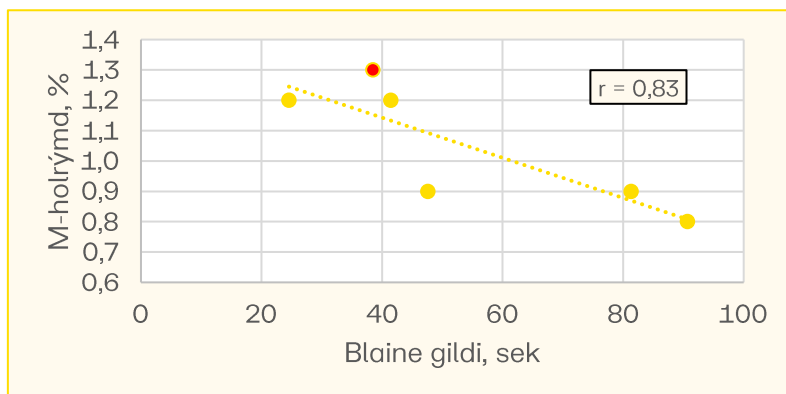
Fyrst skal tekið fram að ekki fundust sannfærandi tengsl milli Marshall holrýmdar malbiks og Rigden holrýmdar mélu, sbr. mynd 9.



Mynd 9

Tengsl Marshall holrýmdar malbiks og Rigden holrýmdar mélu

Myndin sýnir ekki afgerandi fylgni milli þessara þátta, þótt sýnið með mestu Rigden holrýmdina mælist einnig með mestu Marshall holrýmdina. Annað kemur á daginn þegar tengsl milli Marshall holrýmdar og yfirborðsflatarmáls mólunnar eru skoðuð, sjá mynd 10.



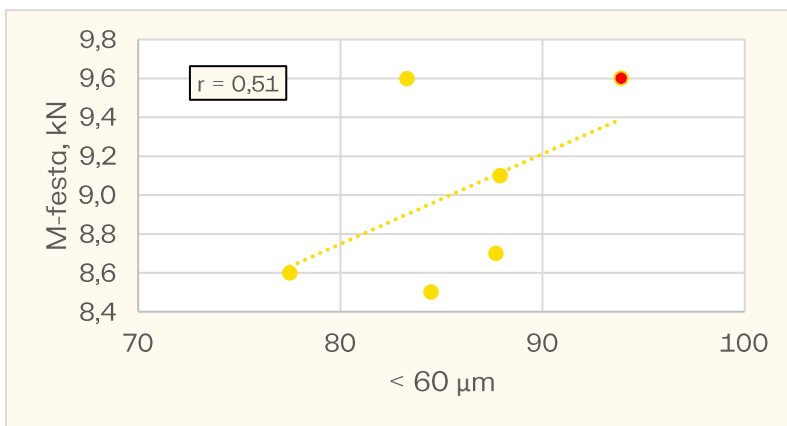
Mynd 10

Tengsl Marshall holrýmdar malbiks og yfirborðsflatarmáls mélu (Blaine próf)

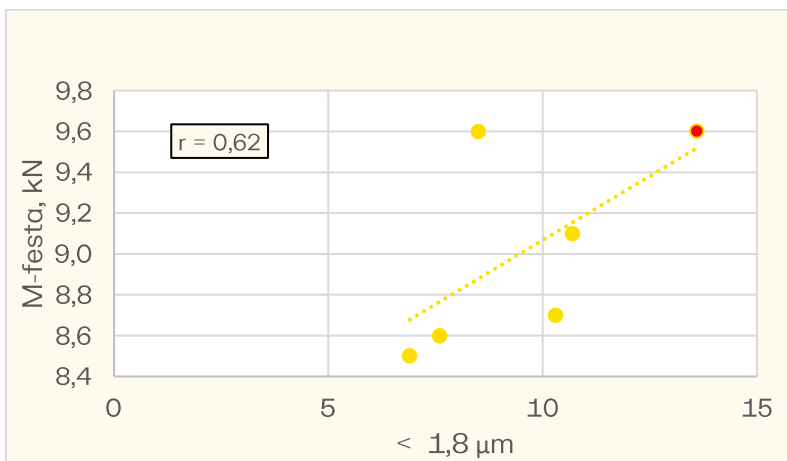
Samkvæmt skilgreiningu á fylgnistuðlinum r , væri fylgnin á mynd 10 marktæk með 95% líkum. Sem sagt að eftir því sem yfirborðsflatarmál mélu eykst minnkar Marshall holrýmdin að því gefnu að bikinnihald sé það sama.

Mynd 4 hér að ofan gaf til kynna á afgerandi hátt að sterkt samband er á milli fínleika mélu og yfirborðsflatarmáls hennar, því fínleiki méla, þeim mun meira yfirborðsflatarmál. Eins og gefur að skilja og tekið hefur verið fram er hér einungis um sex punkta að ræða og öll tengsl því byggð á veikum grunni. Þessi niðurstaða vekur þó óneitanlega hugrenningar um hvort lækka mætti bikinnihald að öðru jöfnu ef fínleiki og þar með yfirborðsflatarmál er hátt til að halda holrýmd innan marka. Slík ákvörðun yrði ekki tekin á grundvelli þessarar rannsóknar, heldur þyrfti mun umfangsmeira rannsóknarverkefni við til að kanna slíkar getgátur.

Það eru sem sagt líkur á að yfirborðsflatarmál mélu (og þar með fínleiki) geti haft áhrif á holrýmd henna að öðru óbreyttu. Óvarlegt væri að fara út í miklar túlkanir á svo fáum punktum, en þó má skoða hvort einhverjar líkur gætu verið á að fínleiki mélu hafi áhrif á festu Marshallkjarna, en ekki er að sjá nein tengsl við sig-gildið með þessum sex efnum. Mynd 11 a) og b) sýnir tengsl milli Marshall festu malbiks og fínleika mélusýnanna.



Mynd 11 a) Tengsl Marshall festu malbiks og mélu < 60 μm



Mynd 11 b) Tengsl Marshall festu malbiks og mélu < 1,8 μm

Mynd 11

Tengsl Marshall festu malbiks og fínleika mélu

Myndirnar sýna að hér gæti verið um marktæk tengsl að ræða, þótt þau nái ekki að vera það með 95% líkum. Ef svo væri með óbyggjandi hætti gæti það leitt þess að ástæða væri til að hanna malbiksblöndur að teknu tilliti til málunnar sem skömmtuð er inn í þær, bæði hvað varðar fínleika málunnar og einnig rúmpýngdar hennar til leiðréttingar á rúmmáli sem málun tekur í malbiksblöndunni.

Niðurstöður prófana á prófböndum með mismunandi gerðum mélu sýna fram á að full ástæða sé til að skilgreina mun stærra verkefni með fleiri málusýnum í nægilegu magni til að mæla áhrif eiginleika mélu með prófböndur á malbiki. Það mætti gera á margvíslegan hátt, en auk Marshall prófana mætti hugsa sér að gera hjólfarapróf, stífniþróf öldrunarþróf og fleira. Einnig væri áhugavert að kanna nánar samspil mélu (rúmpýngd, holrýmd, fínleika og yfirborðsflatarmáls) og bikinnihalds. Hér gæti verið um að ræða áhugavert verkefni fyrir nema í framhaldsnámi sem áhuga hefði á vegagerð og vegagerðarefnum.

4 Umræða

Segja má að niðurstöður þessarar rannsóknar á mélusýnum vekir upp nokkrar spurningar sem vert er að leita frekari svara við hvað varðar kröfur til mélu sem notuð er í malbik hérlendis. Eftirfarandi punkta má setja fram um niðurstöður rannsókna á mélusýnunum almennt:

- Það er ljóst að eiginleikar mélusýnanna 22 sem voru mældir eru misjafnir, hvort sem lítið er til rúmþyngdar, holrýmdar, fínleika þeirra eða yfirborðsflatarmáls.
- Einungis fengust sex sýni af nægilegu magni til þess að unnt væri að útbúa Marshallkjarna til mælinga á rúmþyngd, holrýmd og festu og sigi. Þótt sýnin hafi verið of fá til að fram kæmu marktækar niðurstöður úr Marshallprófi má segja að ákveðnar og í sumum tilfellum sterkar vísbendingar hafi komið fram varðandi áhrif mélu á eiginleika malbiks.
- Það er áhugavert að yfirborðsflatarmál og fínleiki mélu virðist hafa áhrif á holrýmd í malbiki. Ekki er síður áhugavert að sjá að aukinn fínleiki mélu gæti haft áhrif til aukinnar festu malbiks í Marshallprófi.
- Það er mat höfundar þessarar skýrslu að full ástæða sé til að skilgreina mun stærra verkefni með fleiri mélusýnum í nægilegu magni til að mæla áhrif eiginleika mélu með prófbloendur á malbiki. Það mætti gera á margvíslegan hátt, en auk Marshall prófana mætti hugsa sér að gera hjólfarapróf, stífniþróf, öldrunarþróf og fleira. Einnig væri áhugavert að kanna nánar samspil mélu (rúmþyngd, holrýmd, fínleika og yfirborðsflatarmáls) og bikinnihalds.
- Í leiðbeinandi umfjöllun um mélu í malbikskafla Efnisgæðaritsins, kafla 64.1, segir: „Segja má að það sé tvennt sem æskilegt er að fylgst verði með reglulega varðandi eiginleika mélu úr stöð, en það er kornarúmþyngd hennar og fínleiki (stærðardreifing málunnar). Æskilegt er að minnst 80% málunnar (fyrir íblöndun) smjúgi 0,063 mm sigti. Ef kornarúmþyngdin er há getur getur verið ráðlegt að auka aðeins við magnið (þyngdina) miðað við mélu með lága kornarúmþyngd til að ná sambærilegu rúmmáli mélu. Að sama skapi mætti minnka magnið (þyngdina) aðeins ef kornarúmþyngdin er lág. Mæld gildi á holrýmd mélu liggja að mestu á bilinu 30 til 40%, sem er tiltölulega þröngt bil. Kornarúmþyngd mélu, er hins vegar nokkuð breytileg eftir berggerð og liggur á bilinu 2,70 til 3,05 Mg/m³. Méla úr súru bergi (innflutt) er með gildi milli 2,7 og 2,85 Mg/m³ og méla úr basísku bergi er frá 2,85 og upp fyrir 3,0 Mg/m³. Segja má að magn mélu miðist í grunninn við kornarúmþyngdina 2,85 Mg/m³ sem er um það bil miðgildi milli þeirra málugerða sem notuð eru hérlendis. Ef kornarúmþyngdin er meiri eða minni þarf að auka eða minnka þyngd mélu í samræmi við hlutfall kornarúmþyngdar miðað við


grunnrúmpýngdina $2,85 \text{ Mg/m}^3$.“ Að mati höfundar er ekki ráðlegt á þessari stundu að setja fram beinar kröfur til mélu í kröfukafla Efnisgæðaritsins. Þó er til skoðunar að setja fram þá lágmarkskröfu til mélu um hluta sem smýgur $0,063 \text{ mm}$ sigtið og miða þá við að skjalfest sé að $> 80\%$ málunnar smjúgi það sigti.


- Það er sem sagt mat höfundar þessarar skýrslu að ofangreindur texti í Efnisgæðaritinu verði áfram leiðbeinandi, þar til frekari rannsóknir á málusýnum hafa verið gerðar með fleiri prófböndum en nú náðist að gera. Eftir að niðurstöður úr slíku verkefni liggja fyrir getur það leitt til þess að tekið verði enn meira tillit til eiginleika mélu sem skömmtuð er inn í malbik við framleiðslu þess héraðs. Vera má að frávikin í rúmpýngd málunnar skipti ekki höfuðmáli þar sem hún er einungis breytileg um $\pm 5\%$ frá miðgildinu. Ef miðað er við að magn mélu í malbik sé um 8% af þýngd steinefnisins, gæti frávikin verið nálægt $0,4\%$ af þýngd mélu af heildarþýngd steinefnis. Fínleiki málunnar gæti aftur á móti haft áhrif á holrýmd í malbiki og gæti þurft að leiðrétta bikmagn eftir fínleika málunnar. Til að staðfesta það þyfti að útbúa mun fleiri prófböndur með mismunandi mélu eins tekið hefur verið fram áður í þessari skýrslu.


Heimildir


Þar sem þessi skýrsla fjallar nær eingöngu um prófanir og mælingar á mélusýnum sem safnað var á sínum tíma verður ekki settur fram eiginlegur heimildalisti hér, heldur vísað í skýrslu um samantekt malbiksrannsókna. Í þeirri skýrslu er nokkuð ítarlegur heimildalisti, þar sem m.a. tenglar á allar áfangaskýrslur malbiksverkefnisins eru birtir, auk fjölda annarra heimilda. Einnig er listi yfir prófunar- og framleiðslustaðla fyrir malbik. Tengill á samantektarskýrsluna er eftirfarandi: <https://www.vegagerdin.is/media/upplýsingar-og-utgafa/Skyrsla-2020-samantekt-malbiksrannsokna.pdf>.


Viðauki 1 Niðurstöður mælinga á prófblöndunum


 TÆKNISETUR Rannsókn á malbiki				Rannsókn nr.	H20-360			
				Dags.	17.11.2021			
				Framkv. af	ESP/KEK			
Fyrir:		Náma:						
Vegagerðin		Hylit						
Vegna:		Sendandi:						
1350-1808-11		Pétur Pétursson						
Merkt: AC11 malbik blandað á rannóknarstofu Tæknisetur ehf. Méla: Höfði-1 PG 160/220 Mæling á asfaltprósentu:								
Malbik fyrir purkun (g)	Malbik án raka í skilvindu (g)	Þvegló steinelli og bakki (g)	Bakki (g)	Bik (asfalt) þvegló úr (g)	Bik (asfalt) %			
					6,0			
Mæling á rúmpyngd malbiks:								
Flaska nr.	°C	Loftæmting (minútur)	Flaska full af vatni (g)	Malbik í flösku (g)	Flaska með malbiki full af vatni (g)	Vatn sem malbikið ryður úr flösku (g)	Rúmp malbiks (f) (kg/m3)	
R2	22	16	3088,7	1401,2	3916,2	573,7	2442	
Marshallpróf: 135°C +20°C								
Sívaln.	Þyngd kjarna (g)		Rúmmál	Rúmpyngd	Festa (kN)		Sig	
merki	Vatnshiti við vigtun, °C		cm3	kg/m3	Mæld	Leiðrétt	(mm)	
	í lofti	í vatni	ybp.					
A	1223,1	718,9	1223,2	505,3	2421	9,57	10,0	5,0
B	1224,4	719,6	1224,5	505,9	2420	9,22	9,6	4,3
C	1223,9	719,4	1224,0	505,6	2421	8,99	9,3	4,5
D	1224,7	719,3	1224,8	506,5	2418	9,06	9,4	4,8
Meðaltal:			505,6	2421		9,6	4,6	
			Reiknað rúmmál í meðaltali marshall sívalninga, m ³		Hlutfall festa/sig		2,1	
			kg/m3					
Kornarúmp. steinefna reiknast:			2681	Fylliefni	84,9			
Reiknað er með rúmpyngd asfalts:			1020	Holrýmd	0,9			
Þjöppunarhitastig í Marshallprófi:				145 °C				
Hitastig er sýnið var tekið:				164 °C				
Sýnið var hitað á ný fyrir þjöppun.								

 TÆKNISETUR Rannsókn á malbiki				Rannsókn nr.	H20-360			
				Dags.	15.2.2022			
				Framkv. af	KEK/ESP			
Fyrir: Vegagerðin		Náma: Hylit						
Vegna: 1350-1808-11		Sendandi: Pétur Pétursson						
Merki: AC11 malbik blandað á rannóknarstofu Tæknisetur ehf. Méla: MHC-10 Vitlaus merking: á að vera Höfði 5 PG 160/220 Mæling á asfaltprósentu:								
Malbik fyrir þurrkun (g)	Malbik án raka í skilvindu (g)	Þvegló steinefni og bakki (g)	Bakki (g)	Blk (asfalt) þvegló úr (g)	Blk (asfalt) % 6,0			
Mæling á rúmpýngd malbiks:								
Flaska nr.	°C	Löfttæming (minútur)	Flaska full af vatni (g)	Malbik í flösku (g)	Flaska með malbiki full af vatni (g)	Vatn sem malbikið ryður úr flösku (g)	Rúmp malbiks (f) (kg/m ³)	
R2	22	16	3088,7	1401,2	3916,2	573,7	2442	
Marshallpróf: 135°C +20°C								
Sívaln.	Þyngd kjarna (g)		Rúmmál	Rúmpýngd	Festa (kN)		Sig	
merki	Vatnshiti við vigtun, °C		cm ³	kg/m ³	Mæld	Leiðrétt	(mm)	
	í lofti	í vatni						ybb.
A	1221,1	716,5	1221,2	505,7	2415	8,65	9,0	4,3
B	1223,7	716,8	1223,9	508,1	2409	8,42	8,7	4,3
C	1220,5	716,1	1220,7	505,6	2414	7,61	7,9	4,3
D	1222,2	716,2	1222,4	507,2	2410	8,41	8,7	4,0
Meðaltal:			506,4	2413		8,6	4,2	
			Reiknað rúmmál í meðaltali marshall sívalninga, m ³	Hlutfall festa/sig		2,0		
			kg/m ³					
Kornarúmp. steinefna reiknast:			2681	Fylliefni	84,6			
Reiknað er með rúmpýngd asfalts:			1020	Holrýmd	1,2			
Þjöppunarhitastig í Marshallprófi:				145 °C				
Hitastig er sýnið var tekið:				164 °C				
Sýnið var hitað á ný fyrir þjöppun.								

 TÆKNISETUR Rannsókn á malbiki				Rannsókn nr.	H20-360			
				Dags.	17.11.2021			
				Framkv. af	ESP/KEK			
Fyrir: Vegagerðin		Náma: Hylit						
Vegna: 1350-1808-11		Sendandi: Pétur Pétursson						
Merki: AC11 malbik blandað á rannóknarstofu Tæknisetur ehf. Méla: MHC-4 PG 160/220								
Mæling á asfaltprósentu:								
Malbik fyrir þurrkun (g)	Malbik án raka í skilvindu (g)	Þvegló steinefni og bakki (g)	Bakki (g)	Blk (asfalt) þvegló úr (g)	Blk (asfalt) %			
					6,0			
Mæling á rúmpýngd malbiks:								
Flaska nr.	°C	Löfttæming (minútur)	Flaska full af vatni (g)	Malbik í flösku (g)	Flaska með malbiki full af vatni (g)	Vatn sem malbikið ryður úr flösku (g)	Rúmp malbiks (f) (kg/m ³)	
R2	22	16	3088,7	1401,2	3916,2	573,7	2442	
Marshallpróf: 135°C +20°C								
Sívaln.	Þyngd kjarna (g)			Rúmmál	Rúmpýngd	Festa (kN)		Sig
merki	Vatnshiti við vlgun, °C			cm ³	kg/m ³	Mæld	Leiðrétt	(mm)
	í lofti	í vatni	ybp.					
A	1221,6	715,6	1221,8	507,2	2409	9,40	9,7	4,6
B	1224,6	718,3	1224,9	507,6	2413	9,08	9,4	3,8
C	1224,8	718,5	1225,0	507,5	2414	9,09	9,4	4,0
D	1222,1	716,8	1222,2	506,4	2413	9,66	10,0	4,0
Meðaltal:				507,4	2412		9,6	4,1
				Reiknað rúmmál í meðaltali marshall sívalninga, m ³	Hlutfall festa/sig		2,4	
				kg/m ³				
Kornarúmp. steinefna reiknast:				2681	Fylliefni	84,6		
Reiknað er með rúmpýngd asfalts:				1020	Holrýmd	1,3		
Þjöppunarhitastig í Marshallprófi:				145 °C				
Hitastig er sýnið var tekið:				164 °C				
Sýnið var hitað á ný fyrir þjöppun.								

 TÆKNISETUR Rannsókn á malbiki				Rannsókn nr.	H20-360			
				Dags.	17.11.2021			
				Framkv. af	ESB/KEK			
Fyrir:		Náma:						
Vegagerðin		Hylit						
Vegna:		Sendandi:						
1350-1808-11		Pétur Pétursson						
Merkt: AC11 malbik blandað á rannóknarstofu TækniSetur ehf. Méla: MHC-9 PG 160/220								
Mæling á asfaltprósentu:								
Malbik fyrir purrkun (g)	Malbik án raka í skilvindu (g)	Þvegló steinefni og bakki (g)	Bakki (g)	Blk (asfalt) þvegló úr (g)	Blk (asfalt) %			
					6,0			
Mæling á rúmpýngd malbiks:								
Flaska nr.	°C	Löfttæming (minútur)	Flaska full af vatni (g)	Malbik í flösku (g)	Flaska með malbiki full af vatni (g)	Vatn sem malbikið ryður úr flösku (g)	Rúmp malbiks (f) (kg/m3)	
R2	22	16	3088,7	1401,2	3916,2	573,7	2442	
Marshallpróf: 135°C +20°C								
Sívaln.	Þyngd kjarna (g)			Rúmmál	Rúmpýngd	Festa (kN)		Sig
merki	Vatnshliti vltó vlgun, °C			cm3	kg/m3	Mæld	Leiðrétt	(mm)
	í lofti	í vatni	yþ.					
A	1223,7	719,2	1223,8	505,6	2420	9,36	9,7	4,3
B	1223,2	719,2	1223,4	505,2	2421	8,76	9,1	4,2
C	1223,7	718,8	1223,9	506,1	2418	8,71	9,0	4,5
D	1222,8	718,1	1223,0	505,9	2417	8,17	8,5	4,0
Meðaltal:				505,6	2420		9,1	4,2
				Reiknað rúmmál í meðaltali marshall sívalninga, mm³		Hlutfall festa/sig		2,1
				kg/m3				
Kornarúmp. steinefna reiknast:				2681	Fylliefni	84,8		
Reiknað er með rúmpýngd asfalts:				1020	Holrýmd	0,9		
Þjöppunarhitastig í Marshallprófi:				145 °C				
Hitastig er sýnið var tekið:				164 °C				
Sýnið var hitað á ný fyrir þjöppun.								

 <p>Rannsókn á malbiki</p>				Rannsókn nr.	H20-360			
				Daga.	15.2.2022			
				Framkv. af	KEK/ESP			
Fyrir:		Náma:						
Vegagerðin		Hylit						
Vegna:		Sendandi:						
1350-1808-11		Pétur Pétursson						
Merkt: AC11 malbik blandað á rannóknarstofu Tæknisetur ehf. Méla: MHC-10 PG 160/220 Mæling á asfaltprósentu:								
Malbik fyrir purkun (g)	Malbik án raka í skilvindu (g)	Þvegló steinefni og bakki (g)	Bakki (g)	Bik (asfalt) þvegló úr (g)	Bik (asfalt) %			
					6,0			
Mæling á rúmþyngd malbiks:								
Flaska nr.	°C	Lofntæmning (minútur)	Flaska full af vatni (g)	Malbik í flösku (g)	Flaska með malbiki full af vatni (g)	Vatn sem malbikið ryður úr flösku (g)	Rúmp malbiks (f) (kg/m3)	
R2	22	16	3088,7	1401,2	3916,2	573,7	2442	
Marshallpróf: 135°C +20°C								
Sívaln.	Þyngd kjarna (g)		Rúmmál	Rúmþyngd	Festa (kN)		Sig	
merki	Vatnshiti við vigtun, °C		cm3	kg/m3	Mæld	Leiðrétt	(mm)	
	í lofti	í vatni	ybp.					
A	1221,1	716,5	1221,2	505,7	2415	8,36	8,7	5,0
B	1223,7	716,8	1223,9	508,1	2409	7,67	7,9	4,8
C	1220,5	716,1	1220,7	505,6	2414	8,21	8,5	5,8
D	1222,2	716,2	1222,4	507,2	2410	8,51	8,8	6,0
Meðaltal:			506,4	2413		8,5	5,4	
			Reiknað rúmmál í meðaltali marshall sívalninga, mm³		Hlutfall festa/sig		1,6	
			kg/m3					
Kornarúmp. steinefna reiknast:			2681	Fylliefni	84,6			
Reiknað er með rúmþyngd asfalts:			1020	Holrýmnd	1,2			
Þjöppunarhitastig í Marshallprófi:				145 °C				
Hitastig er sýnið var tekið:				164 °C				
Sýnið var hitað á ný fyrir þjöppun.								

 TÆKNISËTUR Rannsókn á malbiki					Rannsókn nr.	H20-360		
					Dags.	10.2.2022		
					Framkv. af	KEK/ESP		
Fyrir: Vegagerðin			Náma: Hylit					
Vegna: 1350-1808-11			Sendandi: Pétur Pétursson					
Merki: AC11 malbik blandað á rannóknarstofu TækniSetur ehf. Méla: MHC-12 PG 160/220 Mæling á asfaltþrósentu:								
Malbik fyrir þurrkun (g)	Malbik án raka í skilvindu (g)	Þvegló steinefni og bakki (g)	Bakki (g)	Blk (asfalt) þvegló úr (g)	Blk (asfalt) %			
					6,0			
Mæling á rúmpýngd malbiks:								
Flaska nr.	°C	Löfttæming (mínútur)	Flaska full af vatni (g)	Malbik í flösku (g)	Flaska með malbiki full af vatni (g)	Vatn sem malbikið ryður úr flösku (g)	Rúmp malbiks (f) (kg/m ³)	
R2	22	16	3088,7	1401,2	3916,2	573,7	2442	
Marshallpróf: 135°C +20°C								
Sívaln.	Þyngd kjarna (g)		Rúmmál	Rúmpýngd	Festa (kN)		Sig	
merki	Vatnshliti við vigtun, °C		cm ³	kg/m ³	Mæld	Leiðrétt	(mm)	
	í lofti	í vatni	ybj.					
A	1222,8	719,5	1222,9	504,4	2424	8,69	9,1	4,8
B	1223,0	719,0	1223,2	505,2	2421	8,48	8,8	5,0
C	1222,9	718,7	1223,1	505,4	2420	7,97	8,3	4,5
D	1222,4	718,8	1222,5	504,7	2422	8,33	8,7	5,3
Meðaltal:				505,0	2422		8,7	4,9
			Reiknað rúmmál í meðaltali marshall sívalninga, m ³		Hlutfall festa/sig		1,8	
			kg/m ³					
Kornarúmp. steinefna reiknast:			2681	Fylliefni	84,9			
Reiknað er með rúmpýngd asfalts:			1020	Holrýmd	0,8			
Þjöppunarhitastig í Marshallprófi:				145 °C				
Hitastig er sýnið var tekið:				164 °C				
Sýnið var hitað á ný fyrir þjöppun.								