

Slitlög - Malbiksrannsóknir

Samantekt rannsóknaverkefnis 2008 til 2019



Pétur Pétursson, PP-ráðgjöf, til Rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar,
mars 2020

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

INNGANGUR

Í þessari skýrslu eru dregnar saman helstu niðurstöður rannsóknaverkefnisins um malbiksrensóknir á árunum 2008 til 2019 og að setja fram mat á þeim árangri sem þessar rannsóknir hafa skilað. Verkefnið í heild sinni hefur vissulega snúið að margvíslegum rannsóknum á malbiki og efnum sem notuð eru í malbik og má því segja að tímabært sé orðið að draga saman í eina skýrslu helstu niðurstöður. Það sem fjallað hefur verið um í skýrslum undanfarinna ára er tekið saman í örstuttu máli hér í inngangi, en fær síðan nánari umfjöllun í viðeigandi köflum þessarar skýrslu í ítarlegra máli. Athugið að nánari tilvísanir í skýrslur eru í heimildalista. Einnig má benda á að skammstafanir, sem gjarnan eru úr ensku máli, eru útskýrðar neðanmáls jafnóðum og þær koma fyrir eða í sviga í megintexta þar sem það á við.

Skýrsla nr. 1, 2009, AÓA & PP: Malbiksrensóknir í ljósi nýrra Evrópustaðla – Áfangaskýrsla I

Í skýrslunni er fjallað um fyrstu hjólfaraprófanir í nýju hjólfaratæki hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands (NMÍ) árið 2008, bæði á sýnum sem söguð voru úr nýju malbiki á Reykjanesbraut og einnig á sýnum sömu gerðar sem þjöppuð voru í plötur sem henta í hjólfarapróf í nýrri malbiksþjöppu. Um var að ræða AC16¹ stífmalbik með Durasplitt² steinefni og mjúku biki (PG³ 160/220). Prófað var skv. staðli við 45°C en einnig við lægra hitastig, 35°C. Einnig voru gerðar ýmsar mælingar á malbikinu, svo sem mælingar á rúmpýngd og holrýmd þess. Þá voru plötur sagaðar í tvennt þvert á prófstefnu eftir prófun og teiknaður upp prófíll aflögunar. Í ljós kom að hjólfaradýpt (e. rut depth, RD) í plötum sem sagaðar voru úr vegi var mjög mikil þegar prófað var við 45°C (u.þ.b. 12 mm hjólfaradýpt) en mun minni þegar prófað var við 35°C (u.þ.b. 5 mm hjólfaradýpt). Sýnin sem þjöppuð voru í plötur á rannsóknastofu mældust með um 8 til 9 mm hjólfaradýpt (RD) að loknu prófi (við 45°C), sem verður að teljast allmikið.

Skýrsla nr. 2, 2010, AÓA & PP: Mat á eiginleikum malbiks fyrir íslenskar aðstæður - Áfangaskýrsla II

Þessi skýrsla fjallar um þrjár aðskildar rannsóknir á malbiki:

- a) *Áframhaldandi hjólfaraprófanir á malbiki sem að þessu sinni var sagað úr nýlegu malbiki í Ártúnsbrekku, SMA16⁴ með Ottersbo⁵ steinefni og mjúku biki (PG 160/220). Prófað var bæði við 35°C og 45°C og teiknaður upp prófíll aflögunar malbiksins, undirlagsmalbikið var ekki skilið frá slitlagsmalbikinu. Aftur kom fram mikill munur á hjólfaradýpt (RD) eftir því hvort prófað var við 45°C (u.þ.b. 13 mm hjólfaradýpt) eða við 35°C (u.þ.b. 6 mm hjólfaradýpt), eins og fram kom í fyrsta áfanga. Sýni sem tekin voru með kjarnabor (100 mm þvermál) af sama malbikinu í Ártúnsbrekku voru auk þess slitþolsprófuð með Prall*

¹ AC16 stendur fyrir stífmalbik (e. Asphalt concrete) með 16 mm hámarkssteinastærð.

² Durasplitt er vöruheiti á innfluttu steinefni (kvars-díorít) frá Noregi.

³ PG stendur fyrir stungudýpt (e. Paving Grade) og segir til um stífni malbiks við ákveðið hitastig. Því hærri tala, því mýkra er bikið við tiltekið hitastig.

⁴ SMA16 stendur fyrir steinríkt malbik (e. Stone Mastic Asphalt) með 16 mm hámarkssteinastærð.

⁵ Ottersbo er vöruheiti á innfluttu steinefni (mylonít) frá Noregi.

tæki sem nýlega hafði verið sett upp á NMÍ. Niðurstöður voru mjög góðar úr Prall prófinu, eða um 14 ml slit.

- b) *Prófanir á aðsendum sýnum af AC16 malbiki með steinefni frá Seljadal frá malbikunarstöðinni Höfða, annars vegar með hörðu biki (PG 70/100) og hins vegar mjúku biki (PG 160/220) í hjólfaratækinu.* Í ljós kom að hjólfaradýpt (RD) mældist afgerandi minni á sýnum með harða bikinu (6,9 mm á móti 9,2 mm með mjúku biki). Einnig voru þjappaðir kjarnar úr sömu malbiksgerðum til slitpolsprófana í Prall tækinu og virtust sýnin með harða bikinu slitna ívið meira (um 18,5 ml slit) heldur en sýnin með mjúka bikinu (um 14,5 ml).
- c) *Prófanir á tvenns konar aðsendu malbiki frá malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas (MHC), annars vegar AC16 stífmalbik og hins vegar SMA16 steinríkt malbik, báðar með mjúku biki (PG 160/220).* Kornakúrfur þessara malbiksgerða eru mismunandi, svo og aðrir þættir eins og bindiefnis- og fínefnamagn. Í ljós kom að SMA malbikið mældist með hjólfaradýpt (RD) um 7,9 mm en AC stífmalbikið mældist með 9,8 mm hjólfaradýpt. Einnig voru þjappaðir kjarnar úr sömu malbiksgerðum til slitpolsprófana í Prall tækinu og kom SMA heldur betur út (með 15 ml slit) heldur en AC malbikið (með 17 ml slit).

Skýrsla nr. 2 b), 2010, ÁRH: Áhrif fjölliðubreyttra bikbindiefna á eiginleika malbiks

Hér er um að ræða skýrslu sem unnin var af Ásgeiri Rúnari Harðarsyni með styrk frá Rannís - Nýsköpunarsjóði námsmanna og fleiri aðilum 2010 og var grunnur að BS ritgerð höfundar við HR. Rannsóknasjóður Vegagerðarinnar kom sem sagt ekki að fjárveitingu þessa verkefnis, en niðurstöður þess eru engu að síður í rökréttu framhaldi af því sem áður hafði nýlega verið gert í rannsóknum á íslensku malbiki. Þess má geta að höfundur þessarar skýrslu var umsjónarmaður með verkefninu á NMÍ og er því málið skylt. Hugmyndin að því að kanna áhrif þess að blanda fjölliðum (e. Styrene Butadiene Styrene, SBS) í malbik á hjólfaramyndun og slitpól þess kviknaði eftir að niðurstöður áfanga 1 og 2 sem lýst er hér að framan lágu fyrir. Sett var saman AC16 stífmalbiks kornakúrfa með Durasplitt steinefni í ákveðnum hlutföllum. Síðan var 0%, 1,5% og 3,0% SBS fjölliðu bætt út í heitt steinefnið og mjúku biki (PG 160/220) biki bætt við. Þá voru þjappaðir plattar í malbiksþjöppunni og sýnin prófuð með hjólfaraprófi og Prall slitpolsprófi. Í ljós kom að íblöndun á SBS fjölliðu hafði afgerandi áhrif á hjólfaradýpt (RD). Sýni sem ekki var blandað með SBS fékk mesta heildarhjólfaradýpt (um 8,2 mm), það sem blandað var með 1,5% SBS kom þar næst (með 5,6 mm) og það sem blandað var með 3,0% SBS kom best út (með 3,9 mm). Sú niðurstaða var sú besta sem mælst hafði á íslensku malbiki á þeim tíma. Útkoman úr Prall slitpolsprófi var einnig hagstæð SBS íblöndun, en sýni með 3,0% SBS slitnaði minnst (15 ml), með 1,5% SBS næstminnst (17 ml) og án íblöndunar mest (20 ml).

Skýrsla nr. 3, 2011, AÓA & PP: Mat á slit- og skriðeiginleikum íslensks malbiks

Þessi skýrsla fjallar um prófanir á aðsendum sýnum frá þremur malbiksframleiðendum, en þeim var boðið að senda inn tvær gerðir úr sinni framleiðslu til ýmissa prófana:

- a) *Tvö malbikssýni voru send til NMÍ til prófana frá Malbikunarstöð Akureyrar og var annað þeirra AC16 stífmalbik með Durasplitt steinefni og hitt AC16 stífmalbik með perlu frá Krossanesnámu í 8/16 mm kornastærð, en að öðru leyti svipuð og bæði með mjúku biki (PG 160/220).* Bæði bindiefnis- og fínefnamagn voru um og undir neðri mörkum og auk þess reyndist kornakúrfan um eða undir neðri mörkum í stærðum < 2 mm. Plöturnar sem

Þjappaðar voru í hjólfarapróf úr þessum tveimur malbiksgerðum reyndust hafa háa holrýmd (> 8%) og auk þess komu bæði sýnin út með mikla mælda hjólfaradýpt (RD 11-13 mm) miðað við sambærilegar malbiksgerðir, þ.e.a.s. AC16 stífmalbik með mjúku biki (PG 160/220). Auk þessa voru útbúin sýni í Prall slitþolspróf úr sömu malbiksgerðum með snúðþjöppu og mældist slitið heldur hærra en búist hafði verið við, en þó ekki afgerandi hátt.

- b) *Prófanir á tveimur sýnum frá MHC, annað þeirra hefðbundið AC11 stífmalbik með Durasplitt steinefni og hitt var að öllu leyti eins, nema blandað hafði verið 3% Sasobit⁶ vaxi í bindiefnið sem var mjúkt (PG 160/220).* Bindiefnismagn var 5,5% í fyrri tilfellinu en 5,3% í því seinna og fínefnamagn 8,6% í því hefðbundna og 10,5% í því með vaxinu, sem er lítillega yfir mörkum. Þar með var hlutfallið fínefni/bindiefni talsvert hátt í seinna tilfellinu, eða um 2,0 (mælt með að hlutfallið sé á bilinu 1,15 til 1,5). Keyrslur í hjólfaraprófi sýndu svo ekki varð um villst að hjólfaradýpt (RD) var mun minni í sýninu með vaxi en hinu hefðbundna, eða 4,7 mm á móti 7,5 mm. Minna skrið hafði ekki verið mælt hérlandis fyrir utan malbikið með 3% fjölliðu (SBS) og fjallað var um í skýrslu 2b, sjá hér að ofan. Í Prall slitþolsprófinu kom ekki fram marktækur munur á malbiksgerðunum og fengu báðar Prallgildi um 20 ml, en þetta voru fyrstu malbikssýnin sem prófuð voru í Prall tækinu með 11 mm steinefni.
- c) *Frá Höfða barst eitt malbikssýni til NMÍ í þessar prófanir, en það var af gerðinni SMA16 steinríkt malbik með Ottersbo steinefni og mjúku biki (PG 160/220).* Bæði bindiefnismagn og fínefnamagn var í lægri kantinum, bindiefnismagn mældist 5,5% (mælt með 6,3% fyrir þessa gerð malbiks) og fínefnamagnið mældist 6,3%, en markalínur gera ráð fyrir að fínefni sé á bilinu 8 til 13%. Hlutfallið fínefni/bindiefni var líka lágt, eða við neðri mörk þess sem mælt er með. Erfiðlega gekk að þjappa sýnin í malbiksþjöppunni, e.t.v. vegna lítils magns af bindiefni og mélu og var holrýmd um 8% eftir þjöppun. Niðurstöður hjólfaraprófsins voru nokkuð háar (RD) miðað við sýni sem þjappað er á rannsóknastofu, eða 8,8 mm. Betur gekk að þjappa kjarnasýni í Prall slitþolspróf með snúðþjöppu (e. gyratory compactor) og náðist holrýmd kjarna milli 3 og 6% sem verður að teljast góður árangur í svo grófu og steinefnaríku malbiki. Prall slitþolspróf gaf lægstu gildi sem mælt höfðu í tækinu, eða um 13 ml slit.
- d) *Samantekt á hjólfaramyndun á malbiki sem þjappað var á rannsóknastofu úr áföngum 1 og 2.* Samantektin leiddi í ljós að AC stífmalbikssýnin frá Akureyri skáru sig úr með um 12 mm hjólfaradýpt (RD), en aðrar AC og SMA malbiksgerðir voru á bilinu 7 til 9 mm. Eina sýnið með hörðu biki (PG 70/100) var þar með minnsta hjólfaradýpt. Þá er ótalið sýnið með Sasobit vaxi sem kom lang best út með rúmlega 5 mm hjólfaramyndun, sem nálgast sýnið með 3% SBS fjölliðu og fjallað var um í skýrslu 2b, en það fékk 3,9 mm hjólfaradýpt.

⁶ Sasobit er vörueiti á litlum vaxkúlum sem blandað er í malbikið við framleiðslu og gerir það vinnanlegra við útlögn og eykur auk þess stífni þess og viðnám gegn skriði við lægra hitastig.

Skýrsla nr. 4, 2012, PP: Samanburður á slit- og skriðeiginleikum íslensks malbiks – áhrif sements í mélu á skriðeiginleika malbiks

Í þessum fjórða áfanga var steinefnagerð og kornakúrfu yfir 0,063 mm stærðarmörkum haldið eins. Notað var steinefni úr Seljadalsnámu með AC16 stífmalbiks kornakúrfu. Malbikið var útbúið og blandað á rannsóknastofu og var notað mjúkt bik (PG 160/220) og bindiefnismagnið var 5,8% í öllum tilfellum. Fengið var mélusýni⁷ (e. filler) hjá Malbikunarstöðinni Höfða (að mestu úr Björgunarefni) og það notað sem 8% af því sem er smærra en 0,063 mm. Einnig var prófað að blanda 3% sementi í fínefnið, þannig að fínefni var 5% í þeim tilfellum. Skriðeiginleikar sýnanna voru síðan prófaðir með hjólfarataekinu. Í ljós koma að ekki mældist marktækur munur á skriðeiginleikum þessara tveggja gerða malbiks og mældist hjólfaradýpt (RD) um 6 mm í báðum tilfellum. Þess ber að geta að malbiksgerðirnar voru mjög líkar, bæði rúmþyngd og holrýmnd sýnanna, en einnig holrýmnd, rúmþyngd og kornadreifing mélugerðanna með og án sements.

Skýrsla nr. 5, 2013, PP: Malbiksrensóknir 2012

Í fimmta hluta verkefnisins voru rannsóknir og prófanir þrjúþættar:

- a) *Áhrif mismunandi fínefnainnihalds og bikmagns á skriðeiginleika malbiks með hjólfaraprófi.* Einnig voru gerð Marshall-próf⁸ á sömu malbiksblöndum til samanburðar. Þá var borin saman Marshall-holrýmnd og holrýmnd sem fæst eftir þjöppun í malbiksþjöppunni. Útbúnar voru fimm AC16 stífmalbiksblöndur á rannsóknastofu, allar með sömu bindiefnisgerð (mjúkt bik, PG 160/220) og Seljadalsefni með eins kornadreifingu grófa hlutans (> 1,0 mm), en með mismiklu fínefna- og bindiefnismagni. 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 nægilega lágrí holrýmnd 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.
- b) *Slit- og skriðeiginleikar sýna af tilraunaköflum sem MHC hafði lagt á Bústaðaveg 2011 og til samanburðar við það sem áður hafði fengist á sýnum, þjöppuðum á rannsóknastofu.* Um var að ræða tvenns konar malbik, annars vegar AC16 stífmalbik með 3% SBS fjölliðu og hins vegar SMA16 steinríkt malbik án SBS. Í báðum malbiksblöndunum var steinefni frá Snasanámu og bikið var mjúkt (PG 160/220). Þrátt fyrir ýmsa annmarka varðandi prófanir mátti þó lesa úr niðurstöðum að AC16 með 3% SBS sem þjappað var á rannsóknastofu kom lang best út úr hjólfaraprófi með 4,8 mm djúp hjólför (RD). Næst best kom SMA16 sem þjappað var á rannsóknastofu með 7,3 mm hjólför, en bæði sýnin sem tekin voru úr götu fengu mun hærrí gildi eða 13,5 mm fyrir AC16 með SBS og 18,5 mm fyrir SMA malbikið. Prall slitþolspróf leiddi hins vegar í ljós að bæði sýni sem þjöppuð voru á

⁷ Méla í malbik (e. filler) er skilgreindur í framleiðslustaðli ÍST EN 13043 þannig að 100% smjúgi 2 mm sigti, 85-100% smjúgi 0,125 mm sigti og 70-100% smjúgi 0,063 mm sigti. Fínefni (e. fines) er hins vegar allt undir 0,063 mm sigti.

⁸ Sjá umfjöllun um Marshall-próf í viðauka 1 í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar.

rannsóknastofu og sýni tekin úr götu fengu svipuð gildi á bilinu 16 til 21 ml, sem er í sjálfu sér vel viðunandi slitþol.

- c) *Samanburðarprófanir á slitþoli íslensks malbiks, annars vegar eftir áraun veðrunar og salts og hins vegar án slíkrar áraunar.* Prófaðar voru tvær malbiksgerðir í Prall slitþolsprófi með og án frost/salt áraunar, en þær voru AC11 stífmalbik með steinefni frá Hólabrú og AC16 stífmalbik með steinefni frá Björgun. Áraunin fólst í því að setja sýni á kaf í 1% NaCl lausn og setja síðan 10 frost/þíðu-sveiflur á sýnin á jafnmörgum dögum, þar sem hitastig fór frá +20°C og niður í -20°C. Þótt þessi rannsóknáttur sé frekar smár í sniðum má sjá að frost og saltáraun hefur mjög líklega áhrif til aukningar á sliti malbiks, ef steinefnið er ekki vel frostþolið. Þetta er sérstaklega áberandi í sýnum með steinefni frá Hólabrú, en þar munar 4 ml að meðaltali á sliti með og án áraunarinnar.

Skýrsla nr. 6, 2014, PP: Malbiksrannsóknir 2013

Segja má að þessi áfangi hafi verið margskiptur og að hluta til notaður til að fylla upp í vissar eyður í fyrri rannsóknnum, en einnig til að taka saman niðurstöður prófana fyrri áfanga að hluta, svo og aðrar prófanir sem safnast höfðu, t.d. hjá malbikunarstöðvum. Hér á eftir er rakið hvað var gert í stórum dráttum:

- a) *Samantekt hjólfaraprófa á sýnum þjöppuðum á rannsóknastofu og tekin úr götu.* Í fyrri áföngum hafði verið fjallað um sýnatöku úr malbiki til prófana í hjólfarataekinu, þ.e.a.s. úr Reykjanesbraut 2008, Ártúnsbrekku 2009 og úr tvenns konar malbiksgerðum á Bústaðarvegi sem lagðar höfðu verið 2011. Í ljós hafði komið að sýni þjöppuð á rannsóknastofu komu yfirleitt mun betur út en sýni sem tekin voru úr götu. Í þessari skýrslu var einnig fjallað um niðurstöður hjólfaraprófa á malbiki sem MHC lagði út 2012 á Reykjanesbraut. Um var að ræða SMA16 steinríkt malbik með Durasplitt steinefni og 3% Sasobit vaxi og með mjúku biki (PG 160/220) og SMA16 steinríkt malbik með Durasplitt steinefni og 3% SBS og með hörðu biki (PG 70/100). Sýni úr köflunum voru tekin 2013 og höfðu kaflarnir þá verið undir umferð í eitt ár, en einnig höfðu verið tekin sýni af framleiðslunni og þau þjöppuð á rannsóknastofu. Einnig var fjallað um niðurstöður hjólfaraprófa á malbiki sem Höfði lagði út 2013, bæði úr vegi og þjappað á rannsóknastofu. Um var að ræða AC16 stífmalbik með Seljadalsefni og hörðu biki (PG 70/100), annar með 0,4% Evotharm og hinn með 3% Sasobit vaxi. Þegar allt var tekið saman mátti draga eftirfarandi ályktanir:
- Malbikssýni sem þjappað er á rannsóknastofu kemur undantekningalaust betur út í hjólfaraprófi (minni hjólfaramyndun) en sambærilegt malbik sem tekið er úr götu.
 - Malbikssýni úr götu með hörðu biki (PG 70/100) mælist með minni hjólfaradýpt en malbikssýni úr götu með mjúku biki (PG 160/220).
 - Íblöndun SBS fjölliðu og Sasobit vax í malbik virðist minnka hjólfaramyndun sýna sem þjöppuð eru á rannsóknastofu umtalsvert.
 - Malbikssýni með mjúku biki sem tekin eru úr götu hafa hingað til fegnið heildarhjólför yfir 12 mm, óháð því hvort um er að ræða AC stífmalbik eða SMA steinríkt malbik, svo og hvort þau innihalda SBS eða Sasobit eða ekki.
- b) *Frost/þíða í salti á plötum í hjólfarapróf og skriðmælingar borið saman við ómeðhöndlaðar plötur.* Þau sýni sem meðhöndluð voru með frost/þíðu og salti koma

heldur betur út úr hjólfaraprófinu hvað varðar heildarhjólför ef eitthvað er, en munurinn er varla marktækur.

- c) *Samantekt á niðurstöðum rannsókna með hjólfaraprófi.* Segja má almennt að u.þ.b. helmingur sýna sem þjöppuð höfðu verið á rannsóknastofu væru með hjólfaradýpt (RD) innan við 6 mm og helmingur var yfir þeim mörkum þegar hér var komið sögu. Munur á milli hlutasýna (plötupara) var ekki mjög mikill, en fór vaxandi með meiri hjólfaramyndun. Almennt má segja að malbik með hörðu biki (PG 70/100) mælist með minni hjólfaradýpt en malbik með mjúku biki (PG 160/220) að öðru jöfnu. Auk þess má fullyrðar að bæði SBS fjölliður og Sasobit vax dragi verulega úr skriði miðað við sambærilegt malbik án þessara efna, jafnvel þó bikið sé mjúkt.
- d) *Samantekt á gögnum um mælda holrýmd, bindiefnisinnihald og fínefnamagn úr áfangaskýrslum.* Tekin voru saman gögn á holrýmdarmælingum í tengslum við mælingar í hjólfaraprófi. Nokkuð sterk tengsl komu fram milli holrýmdarmælinga með rennimáli og í vatni/lofti og lætur nærri að mæling með rennimáli gefi um 2 prósentustigum hærra gildi en mæling í vatni/lofti. Tengsl holrýmdarmælinga (vatn/loft) við bindiefnis- og fínefnainnihald eru ekki sterk, þótt aðfallslínurnar bendi til að í báðum tilfellum sé aukið magn bindiefnis og fínefnis valdandi því að lækka holrýmd malbiksins. Fínefnamagn var í flestum tilfellum á bilinu 8 til 10% og bindiefnismagnið á bilinu 5 til 6%. Hlutfallið fínefnamagn/bindiefnisimagn lá á bilinu 1,0 til 2,1. Í leiðbeiningum Vegagerðarinnar er sett fram að hæfilegt hlutfall milli fínefnamagns og bindiefnismagns sé 1,15 til 1,5 fyrir AC stífmalbik og SMA steinríkt malbik. Af þeim sýnum sem tekin eru með í þessu gagnasafni eru fimm undir viðmiðunarmörkunum, tíu innan marka og um 25 eru yfir þessum mörkum.
- e) *Samantekt á niðurstöðum rannsókna með Prall-prófi.* Meðal Prall-slitþolsgildi íslensks malbiks sem prófað hafði verið til þess tíma var 17,3 ml og lá á bilinu 10 ml til 28 ml og má segja að frávik gilda fjögurra hlutasýna hafi verið viðunandi í flestum tilfellum.
- f) *Mælingar á vatnsnæmi íslenskra malbiksgerða.* Einungis ein gerð af AC11 stífmalbiki og ein gerð af SMA16 steinríku malbiki voru prófaðar og fékk sú fyrrnefnda ITRR gildið 91% og sú síðarnefnda 95% (e. Indirect Tensile Strength Ratio). Krafan í Efnisgæðaritinu er sú að hlutfallið skuli vera yfir 70% og þessar tvær malbiksgerðir eru því vel yfir þeim mörkum.

Skýrsla nr. 7, 2015, PP: Malbiksrannsóknir 2014

Í þessum hluta verkefnisins voru rannsóknir og prófanir þríþættar:

a) *Rannsóknir á áhrifum mismunandi hitalækkandi efna á íslenskt malbik.* Þar sem þessi verkþáttur var að hluta til styrktur af þessu verkefni, sem sagt hjólfaraprófanir á NMÍ og útlagður kostnaður vegna prófana hjá VTI í Svíþjóð voru í þessari skýrslu birtar helstu niðurstöður MSc verkefnis Katrínar Þ. Pálsdóttur (KPP) við Háskóla Íslands. Prófuð voru hitalækkandi⁹ efnin Sasobit, Leadcap og SonneWarmix auk óblandaðs malbiks með nokkrum aðferðum. Hjólfaradýptin (RD) mældist á bilinu 4,5 til 5,8 mm og virtust Sasobit og Leadcap draga úr hjólfaramyndun miðað við óblandað malbik (ekki SonneWarmix). Prall slitþol mældist hæst á malbiki með Sasobit (32 ml), en 26 til 27 ml í hinum gerðunum. Slitþolsprófin voru gerð í tæki VTI í Svíþjóð og reyndust hærri en búast hefði mátt við miðað við niðurstöður sem mælst höfðu á íslensku malbiki í tæki NMÍ.

⁹ Efnin Sasobit, Leadcap og SonneWarmix eru öll ætluð sem íblöndunarefni í malbik til að unnt sé að þjappa malbikið við lægra hitastig en ella, auk þess að bæta einnig aðra eiginleika þess, svo sem stífni.

b) Samanburður hjólfaraprófa á sýnum sem voru þjöppuð á rannsóknastofu, söguð úr götu og tekin með kjarnabor úr götu. Eins og fjallað hafði verið um í fyrri áfangaskýrslum fengu sýni sem þjöppuð voru á rannsóknastofu minni hjólfaramyndun en sambærileg sýni sem söguð höfðu verið úr slitlagi. Því var ákveðið að taka kjarnasýni (300 mm í þvermál) á sömu stöðum og plötur höfðu verið sagaðar úr á tveimur köflum á Bústaðavegi (lagt 2011) og tveimur köflum á Suðurlandsbraut (lagt 2013). Sýnin voru prófuð í hjólfaraprófi til samanburðar við fyrri mælingar á sýnum útbúnum í þjöppu og söguðum úr götu. Einnig voru skoðuð og túlkuð gögn frá norsku vegagerðinni á samanburði niðurstaðna á sýnum úr vegi og útbúin á rannsóknastofu. Helstu niðurstöður þessara verkþátta eru eftirfarandi:

- i. Malbikssýni sem þjappað er á rannsóknastofu kemur undantekningalaust betur út í hjólfaraprófi (minni hjólfaramyndun) en sambærilegt malbik sem tekið er úr götu, hvort heldur með sögun eða kjarnatöku.
- ii. Kjarnar sem teknir voru úr götu á Suðurlandsbraut úr malbiki frá 2013 fá svipaða niðurstöðu og söguðu plöturnar fengu úr báðum malbiksgerðum (hart bik PG 70/100). Í þessum tilfellum virðist vera sama hvort tekin er plata eða kjarni, en malbikið sem þjappað var á rannsóknastofu fær betri niðurstöðu en sagaðar plötur eða boraðir kjarnar. Í öðru tilfallinu (Evothorn 0,4%) mælist sýnið sem þjappað var á rannsóknastofu með um 4 mm hjólfaradýpt (RD), en plata og kjarni úr vegi um 8 mm hjólfaradýpt. Í hinu tilfallinu (Sasobit 3%) fær sýnið sem þjappað var á rannsóknastofu um 3,6 mm hjólfaradýpt, en plata og kjarni úr vegi um 6 mm hjólför.
- iii. AC16 stífmalbikið með 3% SBS fjölliðu (mjúkt bik PG 160/220) og SMA16 steinríka malbikið (mjúkt bik PG 160/220) frá 2011 á Bústaðavegi sýna nokkuð ólíka tilhneigingu. Þar kemur fram í báðum tilfellum að söguðu plöturnar fá mun hærri gildi en boruðu kjarnarnir, þótt kjarnarnir fái hærri gildi en sýni útbúin á rannsóknastofu. Það er því ekki ólíklegt, með tilliti til samanburðar við aðrar malbiksgerðir, að söguðu plöturnar hafi á einhvern hátt orðið fyrir einhverju hnjaski eða öðru óútskýrðu álagi. Plötur úr SMA16 malbikinu á Bústaðavegi mældust með rúmlega 18 mm hjólfaradýpt (RD), sem telst vera mikið. Kjarnarnir sem teknir voru úr þessu SMA malbiki koma mun betur út en plöturnar, með um 9 mm hjólfaradýpt, en sýnin sem útbúin voru á rannsóknastofu fengu hjólfaragildi um 7 mm. Plöturnar sem sagaðar voru úr AC16 stífmalbikinu með 3% SBS fjölliðu mældust með hjólfaradýpt rúmlega 13 mm, en kjarnarnir fengu gildi um 10 mm. Sýnin sem voru útbúin á rannsóknastofu fengu hins vegar tiltölulega lág gildi, eða rétt undir 5 mm.
- iv. Í skýrslu Lerfald (2007) eru gögn um hjólfaraprófanir á norsku malbiki sem áhugavert er að skoða og bera saman við íslenskar prófanir. Um er að ræða samanburð á malbiki sem þjappað er á rannsóknastofu með malbiksþjöppu (e. Roller Compactor, RC) og kjörnum sem eru teknir úr útlögðu malbiki (200 mm í þvermál). Í öllum tilfellum þar sem munurinn er mikill eru það kjarnarnir sem fá hærri hjólfaragildi og í tveimur af þremur gerðum er um mjúkt bik að ræða (PG 160/220). Almenn séð liggja norsk gildi sem skoðuð hafa verið neðar en þau íslensku og í sumum tilfellum eru þau lægri en mælst hafa héraendis, og það á við jafnt sýni sem þjöppuð eru á rannsóknastofu og sýni boruð úr götu.

Skýrsla nr. 8, 2016, PP: Malbiksrannsóknir 2015

Í þessum hluta verkefnisins um malbiksrannsóknir er fjallað um þrens konar rannsóknir:

a) *Samanburðarprófanir á hjólfaramyndun í íslensku og norsku malbiki.* Tilgangur þessa verkliðar var að bera saman niðurstöður hjólfaraprófa á malbiki í sitt hvoru hjólfarataekinu. Sýni af tveimur íslenskum malbiksgerðum sem þjöppuð höfðu verið í malbiksþjöppu voru send til Noregs og þau prófuð þar og á NMÍ. Malbikssýnin sem prófuð voru í þessari samanburðarrannsókn mælast með heldur minni hjólfaramyndun í Noregi en hérlendis, jafnvel þótt sýnin hafi verið prófuð við 50°C í Noregi en 45°C hérlendis. Báðar malbiksgerðirnar voru með hörðu biki (PG 70/100), önnur SMA16 steinríkt malbik og hin AC16 stífmalbik og fengu báðar frekar lág gildi úr prófinu, eða hjólfaradýpt (RD) < 4 mm og hallatölu/1000 umferðir síðustu 5000 umferðirnar (e. wheel tracking slope, WTS) < 0,1 mm í öllum tilfellum.

b) *Prófanir á slitþoli mismunandi malbiksgerða með Prall aðferð.* Útbúnar voru 6 gerðir af AC11 stífmalbiki og sambærilegar fyrir AC16 stífmalbik með öllum algengustu steinefnum og steinefnablöndum sem notaðar voru í malbik á höfuðborgarsvæðinu á þeim tíma. Steinefnakúrfur hverrar gerðar voru innan þeirra marka sem lögð eru til í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar. Öll AC16 malbikssýnin slitna jafnmikið eða minna en AC11 malbikssýnin, en það er í samræmi við fyrri reynslu að grófara steinefni slitnar að öllu jöfnu minna en fíngerðara steinefni.

c) *Úttektir á ótímabærum skemmdum í nýlegu malbiki í Reykjavík.* Nokkuð hafði borið á flögnun og holumyndun í malbiksslitlögum sem eru ekki nema 4 – 6 ára gömul. Til þess að reyna að komast að því hvað olli skemmdum var ákveðið að taka kjarnasýni úr völdum köflum og rannsaka á NMÍ, sem sagt að mæla bindiefnisinnihald, kornakúrfu og holrýmd. Tekin voru sýni úr köflum sem Malbikunarstöðin Höfði framleiddi árið 2011, en úr köflum sem MHC framleiddi árin 2012 og 2013. Í ljós kom að kornadreifing steinefnis í malbikssýnunum er innan marka hvað varðar AC11 stífmalbik frá báðum framleiðendum. Hins vegar liggja SMA16 steinríku malbiksgerðirnar (tvær frá Höfða og ein frá MHC) allar utan marka fyrir slíkt malbik (sbr. Efnisgæðaritið), þar sem of mikið er af 2 til 8 mm steinefni. Varðandi bindiefnisinnihald var ályktað að á heildina litið hafi verið minna bindiefnismagn en lagt er til í Efnisgæðaritinu. Niðurstöður holrýmdar í borkjörnunum benda til að þjöppun hafi ekki verið nægileg til að ná hannaðri holrýmd, allra síst í AC11 stífmalbikinu. Rúmþyngdarmælingar benda þó til að hún standist eða er nálægt því að standast hannaða rúmþyngd (Marshall-aðferð) í öllum tilfellum (hlutfallið > 96%). Segja má að fínefnamagn í kjörnunum liggja innan markalína, þótt þær séu í lægri kantinum í flestum tilfellum.

d) *Átak til að innleiða prófanir á mélu-eiginleikum í malbiki.* Í þessum áfanga verkefnisins um malbiksrannsóknir var mæld holrýmd og rúmþyngd 30 mélusýna (e. filler) frá malbikunarstöðvunum Höfða og MHC. Mælingarnar bentu til að breytileiki í holrýmd væri innan marka, en talsverður breytileiki væri í kornarúmþyngd mélusýna og því velt upp hvort taka skuli mið af henni við skömmtnun mélu í malbik.

c) *Könnun á notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks.* Tilgangur þessa verkhluta var að mæla hitastig malbiks við útlögn og var innrauð myndavél leigð í skamman tíma og hitamyndir teknar í tveimur verkum. Í ljós kom meðal annars að hitastigsmunur undan útlagnarvélum getur verið

talsverður, eða allt að 40°C og eru þá köldustu svæðin komin allt niður undir 100°C. Verkpátturinn þótti benda til að ástæða væri til að innleiða notkun hitamyndavéla á útlagnarvélar til að fylgjast með hitadreifingu við útlögn malbiks fyrir Vegagerðina.

Skýrsla nr. 9, 2017, PP: Malbiksrannsóknir 2016

Það sem fjallað er um í þessari skýrslu eru þrjú verkþættir sem eru í raun framhaldsverkþættir úr fyrri áföngum:

a) *Samanburðarprófanir á hjólfaramyndun í íslensku og norsku malbiki.* Í þessum áfanga voru tekin kjarnasýni úr götu af tveimur malbiksgerðum, bæði í Noregi og í Reykjavík og þau prófuð í hjólfaraprófi á báðum stöðum, þ.e.a.s. í sitt hvorum tækjabúnaðinum. Íslensku kjarnarnir voru teknir með kjarnabor sem var 300 mm í þvermál og þeir sagaðir niður í 50 mm þykkt. Norsku kjarnarnir voru hins vegar 200 m í þvermál og sagaðir niður í um 35 mm þykkt. Í flestum tilfellum var ekki mikill munur á hlutasýnum úr hjólfaraprófunum á þessum sýnum, þó hann gæti orðið um 1 mm í hjólfaradýpt (RD) úr íslenska tækinu. Það er hins vegar áberandi að íslensku gildin eru í öllum tilfellum hærri en þau norsku, nema í fjölliðubreytta malbikinu frá Noregi, þar sem gildin eru afar lág og svipuð milli landa.

b) *Átak til að innleiða prófanir á mélu-eiginleikum í malbiki.* Í þessum áfanga var kornadreifing mélusýnanna mæld með laser tæki. Í ljós kom að allar mælugerðirnar eru með yfirstærðum, > 0,063 mm, mismiklum og stundum verulegum, en samkvæmt skilgreiningu mega allt að 30% vera grófara en 0,063 mm. Nokkuð sterk og marktæk fylgni er á milli kornastærða mismunandi stærðarflokka, eða með öðrum orðum á fínleika málunnar. Í raun má segja að ef kornadreifing (fínleiki) málunnar er ekki þekkt hverju sinni er hætt við að of litlu magni fínafna sé skammtað inn í framleiðsluna, t.d. ef 20% málunnar eru yfirstærðir. Það sem má túlka úr mælingum þessa áfanga er að fínleiki mélu hefur áhrif á holrýmd hennar. Það er því full ástæða til að fylgjast með kornadreifingu málunnar, a.m.k. hluta sem smýgur 0,063 mm sigti.

c) *Könnun á notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks.* Ákveðið var að leigja mann með myndavél í einn dag og endurtaka hitamyndir við útlögn malbiks, þar sem ástæða þótti til að fá betri mynd af hitadreifingu í malbiki við útlögn. Mælt var bæði hjá MHC á Sæbraut og hjá Höfða á Snorrabraut. Almennt séð virtist hitadreifing í malbiki undan útlagnarvél vera nokkuð jöfn og góð, en í sumum tilfellum er mikill hitamunur á ytra byrði flutningavagna.

Skýrsla nr. 10, 2018, PP: Malbiksrannsóknir 2017

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:

a) *Breytileiki í framleiðslu og útlögn malbiks.* 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, bindiefnismagni, rúmþyngd og holrýmd, bæði hjá framleiðanda malbiksins í hvoru tilfelli og hjá NMÍ til samanburðar. Mælingar MHC á bindiefnismagni eru lægri en mælingar NMÍ. Brennsluofn MHC mælir sem sagt lægri gildi fyrir bindiefnismagn en skilvinda NMÍ. Mælingar Höfða á bindiefnismagni eru hins vegar hærri en mælingar NMÍ. Brennsluofn Höfða mælir því

hærrí gíldi fyrir bindiefnismagn en skilvinda NMÍ. Mælingar á magni mélu eru hins vegar lægri hjá Höfða en hjá NMÍ, en hærrí hjá MHC en NMÍ.

b) *Átak til að innleiða prófanir á fínefnum (e. fines) í malbik.* Í þessum áfanga fóru fram mælingar á yfirborðsflatarmáli mélusýnanna. Talsverður munur er á mældu yfirborðsflatarmáli mélusýnanna og auk þess eru ákveðin tengsl milli yfirborðsflatarmáls og holrýmdar og rúmþyngdar til staðar. Einnig mældust tengsl milli yfirborðsflatarmáls og fínleika málunnar og eykst flatarmálið með fínleika málunnar. Mælt er með að mæla rúmþyngd mélu og fínleika hennar (yfirstærðir á 0,063 mm sigti) við framleiðslu malbiks til leiðréttingar á magni fínefna í viðkomandi malbiksgerð hverju sinni.

c) *Könnun á notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks.* Höfundur þessarar skýrslu átti leið um Vesturland sumarið 2017 og tók eftir því að á nýlögðu malbiki undir Hafnarfjalli á vegkafla 1-g4 virtist malbikið á kafla vera með gropin svæði þvert á hægri akreininni með vissu millibili og vaknaði grunur um að þarna gætu hafa orðið til köld færuskil. Vegagerðin fékk gögn af hitamælingum þessa malbikskafla í hendur og bar saman við staðsetningar gropinna svæða. Það kom í ljós að köld færuskil höfðu myndast vegna tafa á flutningi malbiks á útlagnasvæðið og pössuðu staðsetningarnar saman við hitamyndirnar. Þessi litla könnun sýnir hvernig gögn úr hitamyndavélum geta nýst bæði verkkaupa og verktaka við útlögn malbiks.

Skýrsla nr. 11, 2019, PP: Malbiksrannsóknir 2018

Í þessari skýrslu er fjallað um valdar niðurstöður malbiksrannsókna ársins 2018, svo og samanburður gerður við fyrri rannsóknir þar sem það á við. Það sem fjallað er um í skýrslunni eru niðurstöður tveggja verkþátta:

a) *Breytileiki í framleiðslu og útlögn malbiks.* Ákveðið var að gera frekari samanburð á mælingum á bindiefnis- og fínefnamagni og leita samvinnu við noska prófunarstofu. Tekin var röð hlutasýna af tveimur gerðum af framleiddu malbiki af bílpalli við afgreiðslu hjá malbikunarstöðvunum Höfða og MHC. Sýnin voru greind á rannsóknastofu með tilliti til kornadreifingar steinefnis og bindiefnismagns, bæði hjá báðum framleiðendum, hjá NMÍ og hjá norskri prófunarstofu. Segja má að megin tilgangurinn hafi verið að fá úr því skorið hvort norska stofan væri samstíga einhverri af íslensku stofunum í niðurstöðum og styddi þar með þær niðurstöður. Í raun má segja að sú hafi ekki verið raunin, þar sem prófunarstofa NO skar sig úr, bæði með lágar mælingar í bindiefnismagni, en ekki síður hvað hátt fínefnamagn varðar. Einnig kom í ljós að mælingar, bæði á bindiefnis- og fínefnamagni allra hlutasýna voru afar líkar og nánast eins innbyrðis fyrir hverja malbiksgerð hjá þeirri stofu.

b) *Hjólfarapróf og Prall slitþolspróf á fjöllíðubreyttu stífmalbiki.* Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas stóð fyrir innflutningi á gámum með fjöllíðubreyttu bikbindiefni (e. Polymer Modified Bitumen, PMB) til tilraunalagna í malbik. Um var að ræða annars vegar PMB-bindiefni, Styrelf 90/150-75 A frá TOTAL og hins vegar PMB-bindiefni, Colflex 85 J, frá Colas í Danmörku. Til samanburðar framleiddu MHC sitt eigið fjöllíðubreytta bikbindiefni með íblöndun 3% SBS fjöllíðu við framleiðslu (e. Polymer Modified Asphalt, PMA). MHC sá um að láta þjappa sýni af þessum þremur gerðum malbiks til að setja í

hjólfarapróf hjá NMÍ. Þetta rannsóknarverkefni stóð hins vegar fyrir kjarnatöku úr þessum malbiksgerðum, þar sem malbiksgerðirnar voru lagðar samliggjandi, bæði í hjólfarapróf og Prall slitþolspróf. Lægsta mælda gildið úr hjólfaraprófi er á kjarnapari sem tekið var úr vegi og var mæld hjólfaradýpt (RD) rétt yfir 2 mm og hallatala (WTS) um 0,05 mm/1000 umferðir, en þessi gildi verða að teljast afar góð. Einnig má benda á að PMB frá TOTAL og PMA frá MHC, sem þjöppuð voru á rannsóknastofu kom mjög svipað út með hjólfaradýpt (RD) um 3 mm og hallatölu (WTS) um 0,06 mm.

Skýrsla nr. 12, 2020, PP: Malbiksrannsóknir 2019

Segja má að ákveðið hafi verið að gefa ekki út áfangaskýrslu um þennan 12. áfanga, en gefa þess í stað út tvær afmarkaðar skýrslur um tvo hluta verkefnisins.

- a) Annar hlutinn snýr að samanburðarrannsóknum á mælingu kornadreifingar og bindiefnismagns í norsku malbikssýni hjá NMÍ, MHC og Höfða, en fyrir lágu niðurstöður 35 norskra prófunarstofa. Í ljós kom allmikil dreifing í mældum gildum í sumum tilfellum, bæði hjá norskum og íslenskum prófunarstofum, en einnig í meðalgildum prófunarstofanna. Þó má segja að íslensku stofurnar hafi ekki skorið sig áberandi frá öðrum stofum, hvorki í dreifingu gilda né meðaltölum.
- b) Hinn hlutinn snéri að frekari prófunum og rannsóknum á mélusýnum sem safnað hafði verið hjá MHC og Höfða og gerð eru frekari skil í áfangaskýrslum 8 til 10 sem minnst er á hér að framan. Lokarannsóknin á mélusýnunum var að velja sex sýni af mélu (sem nægilegt magn var ennþá til) og útbúa prófblöndur af þeim, allar með alveg eins malbiki. Mélusýnin voru með mismikla kornarúmpýngd og misfíngerð og því áhugavert að kanna hvort þeir þættir hefðu marktæk áhrif á eiginleika malbiks mælt með Marshall-aðferð. Af ýmsum ástæðum hefur gerð prófsýna tafist og verða því ekki útbúnir og mældir kjarnar á þessu tímabili, heldur flytjast þær yfir á næsta tímabil verkefnisins um malbiksrannsóknir.

Efnisyfirlit

INNGANGUR.....	3
1 Prófanir á malbiki	17
1.1 Vegagerð fyrri alda	17
1.2 Steinefnanefnd.....	30
1.3 BUSL samstarfið	31
1.4 RANNVEG	34
1.5 Vegvirki/Rannvirki	35
2 Malbiksrannsóknir undir nefndinni Rannvirki.....	37
2.1 Forsaga – nýr tækjabúnaður	37
2.1.1 Hjólfarapróf.....	37
2.1.2 Prall slitþolspróf	38
2.1.3 Önnur próf.....	39
2.2 Mælingar á hjólfaramyndun í hjólfaratæki	40
2.2.1 Tímabilið frá 2008 til 2010	40
2.2.2 Umræða um mælingar á skriði 2008 til 2010.....	45
2.2.3 Tímabilið 2011 til 2013.....	46
2.2.4 Umræða um mælingar á skriði 2011 til 2013.....	52
2.2.5 Tímabilið 2014 til 2019.....	53
2.2.5 Umræða um mælingar á skriði 2014 til 2019.....	57
2.3 Mælingar á slitþoli malbiks í Prall slitþolstæki	58
2.3.1 Tímabilið 2009 til 2014.....	58
2.3.2 Umræða um mælingar á sliti 2009 til 2014.....	60
2.3.1 Tímabilið 2015 til 2019.....	60
2.3.3 Umræða um mælingar á sliti 2015 til 2019.....	62
2.4 Ýmsar mælingar og prófanir á malbiki	63
2.4.1 Notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks.....	63
2.4.2 Rannsóknir á fínefnum og mélu í malbik.....	65
2.4.3 Samanburður á mælingum prófunarstofa á malbiki.....	71
3 Umræða	81
Heimildir og ítarefni:	83
Listi yfir staðla:	84
Framleiðslustaðlar fyrir malbik, ÍST EN:	84
Prófunarstaðlar fyrir malbik, ÍST EN:.....	85
Valdir framleiðslu- og prófunarstaðlar fyrir steinefni, ÍST EN:.....	87

1 Prófánir á malbiki

1.1 Vegagerð fyrri alda

Þótt skýrsla þessi fjalli að mestu um þær rannsóknir sem gerðar hafa verið á malbiki hérlendis einungis síðasta rúma áratuginn eða svo, er forvitnilegt að stikla á sögu vegagerðar á Íslandi. Í fyrsta árgangi tímarits Verfræðingafélags Íslands frá árinu 1916 er að finna afar fróðlega og um margt skemmtilegt erindi sem Jón Þorláksson, þáverandi Landsverkfræðingur hélt á fundi félagsins árið 1915. Erindið fjallar um sögu vegagerðar hérlendis allt frá því að lög voru sett þar um árið 1281 (Jónsbók) og fram á hans daga. Í stað þess að taka úrdrætti úr fyrirlestrinum með því helsta er ákveðið að birta hann í heild sinni eins og hann birtist í áður nefndu tímariti. Engu er breytt, nema þá uppsetningu texta og einu ártali (innsláttarvilla) í texta, en sem er rétt á súluriti Jóns sem er afritað eins og það birtist í tímariti VFÍ. Að vísu fjallar erindið ekki um malbik, eðli sínu samkvæmt, en er engu að síður fróðlegt um sögu vegagerðar hérlendis eins og fyrr segir. Þó er minnst á lítilsháttar „makadamiseringu“ á örfáum köflum, þar sem erfitt var að fá mól en þó er óljóst hvort þar er um að ræða raunverulegt heitblandað malbik eða eitthvað annað¹⁰.

Hér á eftir fer erindið eins og það var tekið úr 1. árgangi tímarits VFÍ afritað af vefslóðinni: <https://timarit.is/page/5432135#page/n0/mode/2up>:

Úr tímariti VFÍ 1916 (fyrsti árgangur):

„Yfirlit yfir vegagerðir á Íslandi.

Erindi flutt í Verkfræðingafjelagi Íslands 19. janúar 1915 af Jóni Þorlákssyni landsverkfræðingi.

1. Vegalöggjöfin

Elstu ákvæðin um vegi, sem jeg hef kynt mjer, eru í Jónsbók, sem var lögtekin árið 1281, skömmu eftir að landið gekk undir Noregskonung. Þau ákvæði stóðu í gildi 580 ár, eða til ársins 1861, og eru þegar af þeirri ástæðu talsvert merkileg, og eru þessi hin helstu þeirra:

Landsbrigðabálkur kap. 21:

»Ef viður vex um þjóðbraut þvera, svo að þar má eigi aka eða klyfjar bera, þá höggvi sá er vill þann við, og kasti í skóg frá götu«.

Sami bálkur, kap. 32:

»Ef þjóðvegir renna að garði, þá skal hlið á vera hálfra fimtu álnar og hjaragrind fyrir, rimar í að eigi megi fjenaður smjúga, okar 2 á endum og krossband á; þá er grind gild. Svo skal grind selja, að hún renni aftur sjálf, ef maður tekur til hendi af hrossbaki.

¹⁰ Enska orðið „macadam“ lýsir uppbyggingu vegar á þann hátt sem Skotinn John Loudon MacAdam (f. 1756, d. 1836) hannaði. Hugmynd hans var að byggja neðri hluta vegar úr frekar grófgerðum, einskorna púkkulningi og efri hlutann úr fínna, einskorna púkki (steinar u.þ.b. 3 cm í þvermál). Vegurinn átti að vera með góða afvötnun, þannig að vatn renni auðveldlega í gegn og út til hliðanna í grunn ræsi meðfram veginum sem einnig voru fyllt einskorna púkkulningi. Þessi gerð vega náði mikilli útbreiðslu á 19. öldinni, en löngu síðar var farið að dreifa olíu, tjöru eða biki yfir þessa gerð vega og valta svo yfir. Hugsanlega var aðferðin sem notuð var hérlendis einmitt í þá veru, e.t.v. með upphituðu biki eða tjöru, enda algengt á Norðurlöndunum um og upp úr aldamótunum 1900.

Nú liggur þjóðgata um bæ manns eða að garði, þá má hann af færa bæ sínum og frá garði og gera aðra utan garðs jafngóða að fara í þurru og votu, eigi lengra frá þjóðhliði en 200 faðma tólfræð, þá skal þá fara, þó að hún sje lengri«.

Sami bálkur, kap. 44:

»Þjóðgata og sætrgata og allir rekstrar skulu svo vera, sem legið hafa að fornu fari, utan færa má götu ef vill, sem fyr segir. Nú skal þjóðgata vera fimm álna breið«.

Eins og menn sjá, eru ekki í þessum lögum nein ákvæði um framkvæmd vegalaganna að tilhlutun hins opinbera. Menn hafa þó fljótt fundið til þess, að slíkt var nauðsynlegt, og var ákvæði um það tekið upp í Rjettarbætur Eiríks konungs Magnússonar, árið 1294, eftir beiðni landsmanna, svohljóðandi:

»Skylt er bóndum að gera vegu færa um þver hjeruð og endilöng, þar sem mestur er almannavegur, eftir ráði sýslumanna og lögmanna; sekur eyri hver er eigi vill gera, og leggist það til vegabóta«.

Þannig var þá komin á skylduvinna við vegabætur, og helst hún að nokkru leyti enn í dag, að því er snertir hreppavegi. En um fjárframlög af hálfu hins opinbera til þess að kaupa vinnu eða efni til vegabóta, er ekki að ræða, því að sektarfje hefur fráleitt nokkur tíma verið teljandi.

Þessi ákvæði standa nú í gildi til 1861. Þó er ofurlítið hreyft við vegamálum á því tímabili. Þannig kvartar Hinrik Bjelke höfuðsmaður um 1650 til konungs yfir slæmu ástandi veganna, og er honum út úr því með konungsbrjefi 10. maí 1651 skipað að hafa eftirlit með því, að vegirnir sjeu endurbættir og þeim síðan haldið við eftir íslenskum lögum (þ. e. eftir Rjettarbótinni frá 1294), en hvað eyðimerkur snerti, og þá staði, sem lögin ná ekki yfir, skuli hann með ráði helstu manna innlendra gera þá skipun á, sem ásigkomulagi landsins henti best.

Árið 1770 skipaði konungur nefnd til þess að rannsaka ástand landsins og íbúa þess, og gera tillögur til viðreisnar. Meðal annars skyldi nefndin rannsaka, hvað gera mætti til bóta á samgöngum innanlands, og sjerstaklega hvort ekki megi gera akvegi milli aðsetursstaðar höfuðsmanns, Bessastaða, og amtmannssetursins, milli þeirra staða og biskupsstólanna beggja, og loks milli allra þessara staða og Þingvalla. Nefndin tjáir það ókleift, að gera akveg milli Norðurlands og Suðurlands, bæði vegna örðugra staðháttu yfirleitt, og þó sjer í lagi vegna vatnsfallanna, sem ekki sje unt að fara yfir með vagna, og geti í vatnavöxtum brotið af sjer allar brýr, en leggur til að vegirnir um bygðirnar sjeu bættir, og þeim haldið við undir eftirliti yfirvaldanna. Út úr þessum tillögum er gefið út konungsbrjef 29. apr. 1776, sem er einskonar viðauki við hina fornu lagasetningu. Eftir þessu konungsbrjefi skulu sýslumenn sjá um, að árlega sjeu ruddir, að svo miklu leyti sem kleift þykir, vegir um bygðir, og styttri fjallvegir milli bygða, sem eru ekki lengri en 5 mílur, og skal breidd veganna vera ekki minni en 6 álnir. Skal ryðja burt öllu grjóti úr veginum, og sprengja með púðri þá steina, sem eru of stórir, ef nokkur maður fæst, sem kann að fara með púðrið. Eru og settar reglur um það, hvornig jafna skuli niður kostnaðinum við að kaupa púðrið. Yfir mýrar skal gera vegi með því að stinga skurði, sem veita vatninu frá, kasta efni þeirra upp í vegstæðið og bera mól yfir; yfir smáár og læki skal gera trjebryr. Á löngum fjallvegum skal gera vörður og sæluhús. Sýslumenn skulu á manntalsþingum á vorin útvísa hverjum hrepp eða bygðarlagi tiltekna vegarkafli til viðhalds, og ákveða vissa daga, er almenningur skal vinna að vegabótum, og skal þá allur almenningur mæta til vinnu, en ef einhver mætir ekki, skal leigja mann í hans stað á hans kostnað, og sæti hann sektum að auki.

Í »instrúxi« hreppstjóra frá 1809 er þeim skipað að gangast fyrir og árlega niðurskipa vegaruðningi og vegabótum samkvæmt Jb. og kgbr. frá 1776.

Því má geta nærri, enda eru til nógir vitnisburðir um það, að þessi skylduvinna nægði ekki til að koma á viðunandi vegum um landið. Um akvegi var alls ekki að ræða, aðeins hafa verið bættar svo torfærur í bygðum, að þar var mögulegt að komast fyrir ríðandi menn og klyfjahesta. En fjallvegir hafa orðið að mestu

út undan. Þegar viðreisnarhugur fór að vakna hjá þjóðinni sjálfri, gátu menn ekki unað þessu lengur. Árið 1831, hinn 28. jan. (á fæðingardag konungs) var stofnað í Reykjavík »Hið íslenska fjallvegafjelag«, til þess að bæta fjallvegina. Tók fjelag þetta þegar til starfa með talsverðri atorku, enda var því þrem árum síðar veittur 400 dala árlegur styrkur úr jarðabókarsjóði. Fjelagið rjeði menn fyrir daglaun til þess að vinna fyrir sig, og það þótti fljótt koma í ljós, að miklu meiri árangur sæist eftir þá vinnu, heldur en eftir skyldudagsverkin í sveitunum. Ennfremur var á árunum 1844 til 1846 byggt sæluhús á Kolviðarhóli af samskotum einstakra manna. En efalaust hefur öllum verið það ljóst, að þetta viðfangsefni, vegagerðir um landið, var ofvaxið kröftum einstakra manna.

Embættismannafundurinn, sem haldinn var í Reykjavík 1839, tók sjer meðal annars fyrir hendur, að semja lagafrv. um vegi, og var það rætt aftur á næsta fundinum, 1841. Ekki varð samt neitt úr þeirri lagasetningu. Þegar alþingi hið endurreista kom fyrst saman, 1855, bað það konung að leggja frv. til laga um vegi fyrir næsta þing; svo var gert, og var málið síðan til meðferðar á þingunum 1857 og 1859, og var síðan gefin út »Tilskipun um vegina á Íslandi«, 15. marz 1861. Þar er vegum skift í þjóðvegi og aukavegi, og skyldu amtmenn ákveða skiftinguna eftir tillögum hreppstjóra og sýslumanna. Til þess að standast kostnað við þjóðvegina, var lagt á sjerstakt vegabóttagjald, sem nam 1/2 dagsverki eftir verðlagsskrá á hvern verkfæran mann, og skyldi hver hreppur greiða sýslumönnum gjaldið úr sveitarsjóði á manntalsþingum. Aukavegum skyldi haldið við með skylduvinnu, sem var jafnað niður á menn eftir efnunum og ástæðum, og áttu hreppstjórar að hafa á hendi stjórn þeirrar vinnu.

Í tilskipun þessari eru einnig nokkur teknisk ákvæði um gerð veganna, hliðstæð tilsvarendi ákvæðum í kgbr. frá 1776. Hefði mátt vænta, að í þeim yrði vart við einhverja framför, en því er ekki að heilsa. Sem dæmi skal nefna þessi ákvæði:

»Þjóðvegi skal bæta með ruðningum, ef á þann hátt má fá fasta braut. Ef svo stórir steinar koma fyrir í vegi þeim, er ryðja skal, að þeim verður ekki komið úr brautinni, þá skal beggja megin þeirra gera mjórri brautir, er aftur ná saman í aðalgötunni«.

»Yfir mýrlendi skal jafnaðarlega gera steinbrýr, en þegar yfirvaldi virðist, að því verði ekki með nokkru móti við komið vegna landslagsins, þá má gera þar brýr úr torfhnausum; skulu torfbrýr þessar vera 1 1/2 danskri alin hærrí til hliðanna en grundvöllurinn. Breidd minst 2 1/2 al.«.

Með þessum lögum fengu stjórnarvöld landsins, sýslumenn og amtmenn, í fyrsta sinn fje til umráða til vegabótanna, og var nú unnið miklu meira að vegabótum en áður. En eins og tilskipunin sjálf stóð á mjög lágu stigi að því er teknisku hliðina snerti, eins var og verklegri tilhögun vegabóta þeirra, sem unnar voru samkvæmt henni, mjög ábótavant, svo að fullyrða má, að þeirra sjer nú mjög lítt stað. Tilskipunin hjelst í gildi til 1875. Gallar þóttu koma í ljós á henni, og sá helstur, að fjallvegir yrðu út undan, því að vegabótafjeð gerði ekki meir en hrökkva til að halda færum vegum um bygdírnar.

Á hinu fyrsta löggjafarþingi, 1875, bar Jón Sigurðsson frá Gautlöndum fram frv. til laga um vegina á Íslandi, og gekk það fram með litlum breytingum, og varð að lögum sama ár. Þar var vegum öllum skift í fjallvegi og bygdavegi, en bygdavegunum aftur í sýsluvegi og hreppavegi. Var nú ákveðið að landssjóður skyldi einn kosta vegabætur á fjallvegunum, en þjóðvegagjaldið samkv. tilsk. frá 1861 skyldi eftirleiðis ganga til sýsluveganna. Loks skyldi til hreppsveganna varið árlega 1/2 dagsv. fyrir hvern verkfæran mann í hreppnum. Önnur ákvæði tilskipunarinnar frá 1861 voru látin haldast í gildi.

Á grundvelli þessara laga var svo starfað til 1887. Fjárveitingunum úr landssjóði er samkvæmt þeim varið eingöngu til vegabóta á fjallvegum fyrstu árin. En fljótt fara menn að finna til þess, að þetta er óeðlilegt, og er þá farið að víkja frá grundvelli laganna með því, að veita nokkrar upphæðir úr landssjóði til þess að bæta sýsluvegi á aðalpóstleiðum. Og loks bera þeir Jón Þórarinnsson og Þórarinn Böðvarsson fram nýtt frv. til vegalaga á alþingi 1887, og varð það að lögum sama ár.

Í þessum lögum er vegunum skift í aðalþóstvegi, sýsluvegi, fjallvegi og hreppavegi. Kostar landssjóður aðalþóstvegina, en liggja aðalþóstvegur eftir sýslu endilangri, skal helmingur sýsluvegagjaldsins (þjóðvegagjaldsins gamla) ganga til hans. Fjallvegi, sem ekki eru aðalþóstleið eða sýsluvegur, skyldi því aðeins bæta, að brýna nauðsyn bæri til. Aðalþóstvegir skyldu vera a. m. k. 6 álna breiðir, og halli ekki meiri en 3-4 þml. á alin (1:8 til 1:6). Jafnframt var nú ákveðið, hverjir skyldu vera aðalþóstvegirnir, og voru þeir þessir:

1. Frá Reykjavík til Ísafjarðar.
2. Frá Reykjavík til Akureyrar.
3. Frá Akureyri til Seyðisfjarðar.
4. Frá Reykjavík til Prestsbakka.
5. Frá Prestsbakka til Eskifjarðar.

Það þótti orka nokkurs tvímælis, hvort ákvæðin um gerð aðalþóstveganna væru þannig, að skylt væri að gera þá akfæra, og ekki fullnægja þeir kröfum þeim, sem nú eru gerðar til akvega. En að tilætlun flutningsmanna hafi verið að gera þá akfæra, það er vafalaust. Framsögumaður, Þórarinn Böðvarsson, segir meðal annars, er hann leggur lögina fram:

»Það sem vantar hér, eru meginreglur fyrir vegagerðinni..... Þær meginreglur, sem sjálfsgætt er að fylgja við vegagerðir, eru þær, að bæta fyrst og fremst alla aðalþóstvegi, og hafa þá, eins og vegi yfir höfuð, svo breiða, að ekið verði vögnum eftir þeim..... Það er sjer í lagi eitt, sem hafa verður fyrir augum, þegar vegir eru gerðir, og það er, að hægt verði að hafa þá á sínum tíma fyrir vagnvegi. Þetta hafa menn ekki haft fyrir augum hjer á landi, og vegurinn, sem liggur hjer upp úr höfuðstaðnum sjálfum er eigi svo gerður, að unt sje að nota hann fyrir vagnveg. Það væri sannarlega æskilegt, ef Reykvíkingar vildu sem fljótast breyta honum í vagnveg, öðrum til eftirdæmis og fyrirmyndar. Jeg hef sjálfur lesið, og veit líka, að flestum h. þingm. muni vera það kunnugt, að fyrir 3 þúsundum ára síðan óku menn í vögnum, en sá, sem hefur alist upp á þessu landi, og aldrei sjeð önnur lönd, veit varla hvað það er að aka í vagni«.

Þessi lög stóðu ekki lengi. Þegar á Alþ. 1891 var borið upp frv. til nýrra vegalaga, og var flutningsmaður Jens Pálsson. Fyrir honum vakti ekki aðeins að gera nýja skipun á vegagerðunum, heldur yfir höfuð að koma samgöngumálum landsins í fast horf. Hann fann það að lögnum frá 1887, að þau lögðu alla áhersluna á aðalþóstvegina, en hann vildi láta leggja þar vegi fyrst, sem flutningaþörfin væri mest, án tillits til, hvar póstar væru látnir fara. Og samgöngukerfi það, sem hann vildi koma á fót, var þannig, að gufuskip skyldi halda uppi ferðum umhverfis landið, milli Reykjavíkur og kaupþúnanna úti um landið, og frá kaupþúnunum skyldi svo gera akvegi upp um bygðirnar, stofnbrautir, sem hann nefndi aðalflutningabrautir eða flutningabrautir, á kostnað landssjóðs, og svo skyldi gera akfæra sýsluvegi eftir þörfum í áframhaldi þeirra og út frá þeim. Nokkrar deilur urðu um það á þinginu 1891, hvort þessi tilhögun væri rjett ráðin; en jeg hygg, að dómur allra manna muni nú vera á einn veg um það, að þetta var sú hentugasta tilhögun á innanlandssamgöngum, sem unt var að stinga upp á, og landinu þá var ekki ofvaxið að ráðast í. Frv. þetta var felt í efri deild.

Jens Pálsson vann ótrauður að því, að vinna þessari hugsun sinni fylgi, bæði á þinginu, og í blaðagreinum og ritlingi milli þinga. Á næsta þingi, 1893, bar hann saman samskonar frv. upp aftur, ásamt með Boga Th. Melsted, og nú hafði sá maðurinn aðhylst stefnu frumvarpsins, sem mest munaði um, Magnús Stephensen landshöfðingi. Frv. gekk greiðlega í gegnum neðri deild, og í efri deild hepnadist Magnúsi Stephensen að bjarga því með atkvæðum hinna konungkjörnu þingmanna. Lögina bættu flutningabrautunum við sem nýjum vegaflokki, auk þeirra eldri, og skyldi landssjóður kosta byggingu þeirra, og þær svo gerðar, að vel sjeu akfærar hlöðnum vögnum á sumrum. Aftur á móti krefjast lögina þess ekki, að aðalþóstvegirnir, sem nú heita þjóðvegir, sjeu gerðir akfærir, en sýsluvegir, sem liggja út frá flutningabrautum, eða eru framhald af þeim, skuli gerast akfærir þar sem því verður við komið. Loks eru árið 1907 sett vegalög þau, er nú gilda, og hafa

þó verið gerðar á þeim smábreytingar síðan. Flokkuninni frá 1894 er haldið óbreyttri, en gert ráð fyrir, að einkum þeir kaflar þjóðveganna, sem standa í sambandi við flutningabrautir eða kaupþún, verði einnig gerðir akfærir, ákvæði sett um viðhald vega, og önnur atriði, er minni þýðingu hafa.

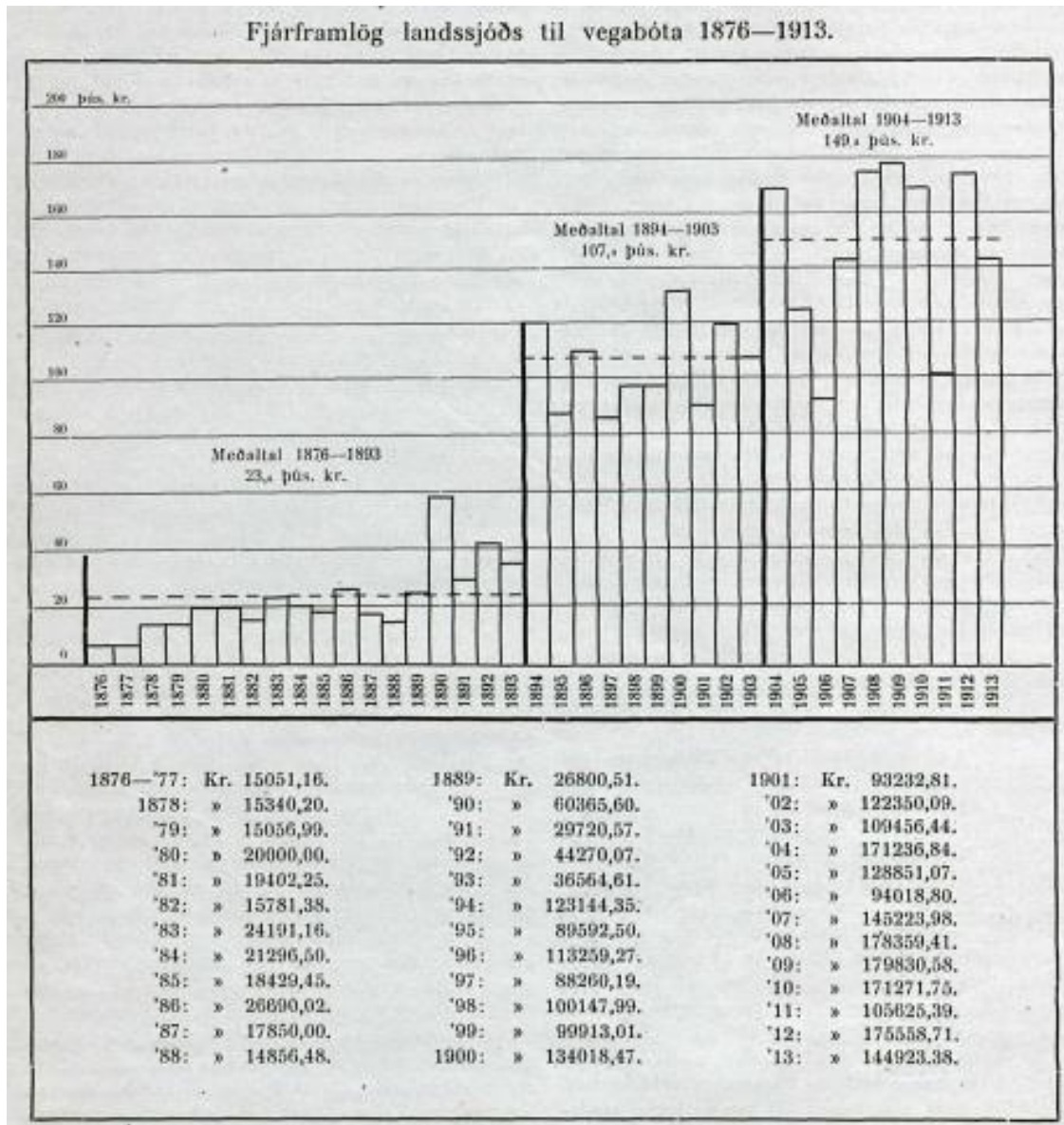
2. Stjórn vegamálanna.

Hin verslegu stjórnarvöld landsins hafa frá upphafi og til þessa dags haft stjórn vegamálanna í sinni hendi, án þess að nein sjerstök stjórnarvöld hafi verið til, sem hafi átt að sinna vegamálum eingöngu eða sjerstaklega. Alt fram að 1884 munu hin innlendu stjórnarvöld hafa verið alveg án verklega mentaðra aðstoðarmanna; en stjórnarráðin í Kaupmannahöfn hafa einstöku sinnum leitað álits verkfræðinga um einstök atriði. En árið 1884 var fyrst fenginn útlendur verkfræðingur til landsins til þess að segja fyrir um vegagerðir, og var það Norðmaðurinn Hovdenak, síðar amtsingeniör í Romsdals Amt og Statsraad í Noregi. Hann dvaldi hjer sumarið 1884 og kom aftur eitt eða tvö sumur nokkru síðar, og hafði með sjer norskan verkstjóra, og kendi hann mönnum vegagerðir. Árið 1893 er ráðinn verkfræðingur í þjónustu landsins til þess að veita forstöðu framkvæmd vegagerða landssjóðs, og var það Sigurður Thoroddsen, núverandi adjunkt og M. V. Í. Hann gengdi þessari sýslan til 1. febr. 1905, en þá tók höf. við. Í ársbyrjun 1908 var bætt við öðrum verkfræðingi til aðstoðar, og skipar Geir G. Zoëga sem stendur þá stöðu. Yfirstjórn vegamálanna, að því er flutningabrautir, þjóðvegi og fjallvegi snertir, er í höndum stjórnarráðsins; en án þess að ákvæði hafi verið um það sett, hefur sú venja orðið föst, einkum síðan 1908, að verkfræðingar þessir hafa á hendi allar verklegar framkvæmdir að því, er þessa vegaflokka snertir, án íhlutunar stjórnarráðsins.

3. Fjárveitingar til vegagerða.

Hjer er tafla yfir fjáreyðslu landssjóðs til vegamála síðan Alþingi fjekk löggjafarvald, eða frá 1876 til ársloka 1913. Vjer sjáum, að fjárveitingarnar eru mjög smáar fyrstu árin, og stafar það bæði af því, að tekjur landsjóðs voru í heild sinni svo litlar, að hann var ekki fær um stór framlög, og af því, að viðfangsefnið var, alt fram til 1887, eftir lögunum takmarkað við fjallvegina eina. Með vaxandi þroska þjóðlífsins og auknum tekjum landssjóðs vaxa einnig framlögin til vega. Og eins og árið 1894 markar hina affarasælu stefnubreytingu í vegalöggjöfinni, eins markar það tímamót í fjárveitingum, eins og ef til vill sjest best á uppdrætti þeim yfir árlegar upphæðir til vegamála, sem jeg hjer legg fram (uppdrátturinn og taflan er prentað á næstu bls.). Meðaltal árunna 1875-1893 incl. er 23.425,94 kr., en meðaltal 10 árunna 1894-1903 er 107.337,51 kr., og meðaltal síðustu 10 árunna, 1904-1913 er 149.489,99 kr. Af árunum fyrir 1894 skarar árið 1890 eitt fram úr, og stafar það af því, að það ár var bygð fyrsta stórbrú landsins, brúin á Ölfusá, og greiddar til hennar úr landssjóði nær 40.000 kr. Þetta stóra stökk upp á við í fjárveitingunni 1894 stafar vitanlega ekki eingöngu af aukinni getu landssjóðs, heldur án efa einnig af því, að nú sáu menn, að óhætt var að leggja fram fje til vegabóta, vissa fengin fyrir því, að fjenu yrði vel varið, annarsvegar vegna hinna nýju og hentugu vegalaga, og hins vegar af því að landsstjórnin hafði nú fengið verkfræðing sjer við hönd. Og aldrei hefur síðan staðið á fjárveitingarvaldinu með að leggja fram það, sem álitid var að hagar landssjóðs á hverjum tíma þyldi, enda hafa framlög landssjóðs til vegabóta í þessi 38 ár numid h. u. b. 1/11 af af öllum tekjum landssjóðs á þeim tíma. Þjer munuð taka eftir því, að venjulega er fjárhæðin meiri, þegar ártal stendur á jöfnu, heldur en næsta ár á eftir; þetta stafar af því, að fjárveitingarnar eru gefnar fyrir tvö ár í einu, en menn ávalt brádlátir að fá sem fyrst vegarspottana, og er því venjulega unnið meira fyrra ár hvers fjárhagstímabils. Að svo litlu er deilt 1906, stafar af því, að þá vildi landsstjórnin ekki festa nema sem fæsta menn við vegagerðir, vegna símalagninganna það ár, sem útheimtu mikinn vinnukraft. Aftur á móti stafar hin mikla lækkun árið 1911 af pólitiskum ástæðum. Ef fjárveitingum allra þessara ára er skift milli veganna eftir núverandi flokkun þeirra, verður niðurstaðan þessi:

I. Stjórn og undirbúningur vegagerða kr.	120.451,32
II. Flutningabrautir kr.	1.339.275,36
III. Þjóðvegir kr.	1.099.368,70
IV. Fjallvegir kr.	106.448,32
V. Tillög til sýsluvega m. m. . . . kr.	235.951,19
VI. Til áhalda kr.	88.447,09
<hr/>	
Fjáreyðslan alls kr.	2.989.941,98



4. Vegagerðirnar.

Eftir núgildandi lögum er lengd þjóðveganna 1620 km. og flutningabrautanna 397 km. Af flutningabrautunum var í árslok 1913 lokið við að leggja 287 km., og nú er ráðgert, að lagningu þeirra verði lokið árið 1923. Þær eru yfirleitt 3,75 m. að breidd, mesti halli á þeim, sem gerðar hafa verið síðustu 10 árin, er 1:20, en þó einstakar brekkur 1:15 og 1:18. Slitlagið á brautunum er víðast hvar ósigtuð möl; það hefur þótt nauðsynlegt að gera brautirnar sem fyrst akfærar, og hinar tiltölulega smáu fjárveitingar hafa þá ekki leyft kostnaðarsamari yfirbyggingu. Aðeins á nokkrum stöðum, þar sem erfitt hefur verið að ná í möl, hafa brautarkaflar verið makadamiseraðir.

Vegalögin frá 1894 gerðu þá kröfu til brautanna, að þær væru vel færar hlöðnum vögnum að sumarlagi. En það hefur yfirleitt tekist að gera þær brautirnar, sem liggja í bygð, akfærar einnig að vetrarlagi. Reynslan hefur sýnt það, að ef vegurinn er upphækkaður um 20-40 cm. yfir jarðveginn, þá tálmar snjór ekki vagnaumferð að jafnaði á vetrum, hvorki á Norðurlandi nje Suðurlandi. Hefur því verið tekin upp sú regla við vegagerðirnar, að leggja vegina allsstaðar með uppfillingu, en ekki láta skiftast á gröft og fyllingu, sem títt er annarsstaðar.

Af þjóðvegum mun mega telja, að um 130 km. sjeu akvegir, gerðir á sama hátt og flutningabrautirnar, en víðast hvar aðeins 3,15 m. að breidd. En auk þess er meiri hluti þeirra fær með ljetta vöruvagna (tvíhjólakerrur) á sumardag, og öll vegalengdin hefur verið bætt eitthvað af mannahöndum. Næstu árin verður haldið áfram að lengja hina reglulegu akvegarkafla á þjóðvegum, jafnhliða öðrum vegagerðum.

Tíminn leyfir ekki að minnast á brúargerðirnar í þetta sinn, en máske verður tækifæri til þess seinna. Hjer skal aðeins nefnt, að bygðar hafa verið:

Á árunum 1890-1905: 6 hengibrýr, 35-105 metrar
 1897-1913: 11 fastar járnbrýr, 10-93 metrar
 1908-1913: 30 steinsteypubrýr, 8-55 metrar“

Á þessum orðum lýkur erindi Jóns Þorlákssonar landsverkfræðings í tímariti VFÍ frá árinu 1916. Í tímariti VFÍ frá árinu 1917 er fjallað stuttlega um vega- og brúarframkvæmdir ársins áður. Textinn hér að neðan er afritaður af sömu slóð og erindið sem birt er hér að ofan og er eftirfarandi:

Úr tímariti VFÍ 1917:

„Vegir og brýr

Á fjárlögum ársins 1916 var veitt til vega- og brúargerða 169.400 kr., en vegna ófriðarins voru miklir erfiðleikar á að útvega efni til brúargerða og fá það flutt til landsins. Var því frestað að gera 2 stórbrýr, sem veitt var fje til, yfir Austurkvísl Hjeraðsvatna út við sjó og yfir Vatnsdalsá hjá Hnausum. Að öðrum verkum var unnið svo, sem til var ætlað.

Var unnið að lagningu allra þeirra flutningabrauta, sem enn eru ófullgerðar. Flutningabrautin um Borgarfjörð, frá Borgarnesi á þjóðveginum hjá Kljáfossi var fullgerð og afhent sýslufjelögum Mýra- og Borgarfjarðarsýslu til viðhalds. Hún er um 34 km. á lengd og hefur kostað samtals 145 þús. kr. Enn fremur var unnið nokkuð að lagning akfærra þjóðvega og gerðar þær 4 steinsteypubrýr, sem taldar eru í töflunni, sem hjer fylgir, auk nokkurra enn minni brúa.

Helstu akvegakaflar lagðir á árinu eru þessir. (Fahrstrassen):

Nöfn	Lengd (km)	Breidd (m)	Verð (kr.)
Húnavetnínabraut	1,5	3,75	10200
Skagafjarðarbraut	2,7	3,75	7700
Grímsnesbraut	3,6	3,75	10000
Langadalsvegur í Hvs..	2,4	3,15	7500
Hróarstunguvegur	2,4	3,15	5800

Brýr gerðar á árinu (Brücken in Eisenbeton):

Nöfn	Haf (m)	Gerð	Verð (kr.)
Miðfjarðará	30,0	Bogi	9500
Árfarið hjá Hnausum	9,0	Bitar	2100
Ljá	9,5	Bitar	2200
Breiðumýrará	9,0+9,0	Bitar	ca. 7000

Til flutningabrauta og brúa á þeim var samtals varið um 70 þús. kr., þaraf til viðhalds þeim brautum, sem á landssjóði hvíla, um 11 þús. kr.

Til þjóðvega og brúa á þeim var samtals varið um 35 þús. kr., þaraf til viðhalds um 12 þús. kr.

Til viðgerðar á fjallvegum var eytt um 3 þús. kr.

Til akfærra sýsluvega um 18 þús. kr. gegn helmings tillagi frá hlutaðeigandi sýslufjelögum.

Verk þessi öll voru unnin undir umsjón Jóns Þorlákssonar fyrv. landsverkfræðings.“

Eins og fram kemur í textanum er á þessum tíma unnið að gerð akfærra þjóðvega með tilheyrandi brúargerð, enda bílaöldin runnin upp á Íslandi. Í næsta árgangi tímarits VFÍ frá árinu 1918 er það hlutverk Geirs G. Zoëga, þá vegamálastjóra, að gefa upplýsingar um framkvæmdir í vegagerð eins og fram kemur í eftirfarandi texta (sama heimild og fyrr):

Úr tímariti VFÍ 1918:

„Vegir og brýr

Á fjárlögum ársins 1917 var veitt til vega- og brúargerða 132 þús. kr., auk 9 þús. kr. á fjárukalögum, en vegna örðugleika á útvegum efnis og kostnaðar urðu engar brýr gerðar á árinu.

Af vegagerðum var unnið að framhaldslagningu nokkurra flutningabrauta, voru lagðir tæplega 6 km., er kostuðu um 25 þús. kr., en meiri hluta fjárveitingarinnar — eða um 35 þús. kr. — var varið til viðhalds- og viðgerða áður fullgerðra flutningabrauta.

Til endurbóta á þjóðvegum og nokkurra nýlagninga, um 5,3 km., var kostað um 52 þús. kr.

Til viðgerðar á fjallvegum var varið um 4 þús. kr., mest til ruðnings og vörðuhleðslu.

Tillög landssjóðs til akfærra sýsluvega námu rúmum 19 þús. kr. gegn jafnmiklu tillagi frá hlutaðeigandi sýslufjelögum.

Vegabætur þessar allar voru framkvæmdar undir umsjón Geirs G. Zoëga vegamálastjóra.“

Enn er fjallað um vega- og brúarframkvæmdir í tímariti VFÍ frá 1919, en þar segir eftirfarandi um þær framkvæmdir (sama heimild):

Úr tímariti VFÍ 1919:

„Vegir og brýr

Unnið hefur verið að framhaldslagningu þessara akbrauta: Grímsnesbrautar, Stykkishólmsvegur, Norðurárdalsvegur í Borgarfirði, Langadalsvegur í Húnavatnssýslu og Hróarstunguvegur í Norður-Múlasýslu. Hafa verið fullgerðir samtals 9 km., er hafa kostað um 65 þús. kr. Til viðhalds landssjóðsvega og lagningar smákafla hingað og þangað hefur verið varið um 80 þús. kr.

Í fyrravetur var byrjað á nýjum vegi milli Hafnarfjarðar og Reykjavíkur. Var mest unnið að honum að veturlagi sem dýrtiðarvinnu vegna vinnuskorts í Reykjavík og Hafnarfirði, og sóttist vinnan seint vegna frosta og illrar veðráttu. Samtals hefur verið varið til þessarar vegagerðar um 105 þús. kr.

Brú úr járnbentri steinsteypu 70 m. löng var gerð á Austurós Hjeraðsvatna. Hún hefur kostað samtals 89 þús. kr. Á þessum stað hefur trjebú verið síðan 1895, en var komin að falli.

Byrjað var á brú yfir Hnausakvísl (Vatnsdalsá) í Húnavatnssýslu, er hún jafn stór Hjeraðsvatnabrunni og aðstaða lík, og verður væntanlega þeirri brúargerð lokið í sumar.

Til fjallvega var varið um 6 þús. kr., mest til ruðnings og vörðuhleðslu.

Til þess að gera akfæra ýmsa innansýsluvegi hefur verið veitt um 25 þús. kr. gegn jafnmiklu tillagi frá hlutaðeigandi sýslufjelögum.

Til vegabóta og brúagerða hefur verið varið alls um 430 þús. kr. á árinu 1918.“

Í sama tölublaði tímaritsins segir ennfremur meðal annars um framkvæmdir hjá Reykjavíkurbæ:

„Mannvirki Reykjavíkurbæjar.

1. Laugavegur macadamiseraður á kaflanum Klapparstíg — Frakkastíg, sem er hjer um bil 225 m.; breidd akbrautar 7,50 m. og normalbreidd gangstjetta 2,50 m. Kostnaður við akbrautina var 16.030 kr. eða 9,66 kr./m.², og kostnaðurinn við gangstjettirnar 14510 kr. eða 12,91 kr./m.²

2. Lækjargata macadamiseruð á kaflanum Bankastræti — Barnaskóli, sem er hjer um bil 260 m. Breidd akbrautar suður að Vonarstræti er 7,0 m. og breidd gangstjettar 2,50 m. Frá Vonarstræti og suður að Tjörninni breiðkar akbrautin; mjókkar svo aftur þangað til hún er orðin 9,0 m., sem er hin fyrirhugaða breidd akbrautar Fríkirkjuveggar. Kostnaðurinn við akbrautina var 17.570 kr. og við gangstéttarnar 19.150 kr. eða 8,10 kr/m² akbraut og 14,72 kr/m² gangstjettir. Á kaflanum Bankastræti — Vonarstræti eru gangstjettir tjörusteyptar.“

Eins og fram kemur er greinilega hafin talsverð vinna við að bikbinda helstu götur miðbæjar Reykjavíkur á þessum tíma. Ekki verður rakin saga vegagerðar á Íslandi lengra úr tímriti VFÍ, en víst er að á þessum tíma er farið að nota bikbundin steinefni í yfirborð vega í þéttbýlinu enda hafði gufuvaltarinn Bríet Knútsdóttir komið til landsins 1912, skv. Vísindavef HÍ. Reyndar er ýmsan fróðleik að finna um fyrstu malbikslagnir á Íslandi (með vísan í heimildir) á slóðinni <https://www.visindavefur.is/svar.php?id=75182>, en þar segir meðal annars:

„Í höfuðstaðnum var ástand gatna bágborið í byrjun tuttugustu aldar. Árið 1912 var gerð sú bragarbót á gatnakerfinu að Austurstræti var „makadamiserað“, með öðrum orðum malbikað enda hafði bærinn þá eignast gufuvaltara. Sumarið 1908 hafði portið við barnaskólann við Fríkirkjuveg, Miðbæjarskólann eins og hann hét síðar, verið „tjörusteypt“. Sú aðferð var einnig notuð við gatnagerð í Reykjavík.

Árið 1918 var lokið við að makadamisera eða tjörusteypa þessar götur í höfuðstaðnum: Suðurgötu alla leið að sálarhliðinu á kirkjugarðshorninu sunnanverðu, Kirkjustræti frá Aðalstræti að Pósthússtræti og Pósthússtræti frá Kirkjustræti að Austurstræti, Lækjartorg að Stjórnarráðsblettinum, Lækjargötu frá Bankastræti að barnaskólanum við Fríkirkjuveg, Bankastræti og Laugaveg frá Skólavörðustíg að Frakkastíg. Sama átti við um gangstéttir á þessum stöðum. Sums staðar voru þær þó hellulagðar.“

Það sést á skrifunum hér að ofan að á fyrstu árum bílaaldarinnar fíkrðu menn sig áfram með að bikbinda helstu götur í miðbæ höfuðstaðarins. Reikna má með að þessi háttur hafi verið viðhafður, þ.e.a.s. að blanda saman einhverskonar bikbindiefnum og steinefnum, líklega að mestu með handafli og valta síðan yfir. Oftast átti þessi blöndun sér stað á verkstað, þar sem

bindiefninu var dreift yfir púkkmulning og því síðan valtað saman. Höfundur þessarar skýrslu hefur ekki vitneskju um nákvæmlega hvernig verklag var viðhaft við blöndun „malbiks“, eða hversu vel var gengið frá undirlagi bikbundna lagsins á þessum tíma.

Í bókinni „ÚR BÆ Í BORG“ frá árinu 1952 sem eru nokkrar endurminningar Knud Zimsens fyrrverandi borgarstjóra um þróun Reykjavíkur, er athyglisverður kafli sem nefnist Götur og gatnagerð¹¹ (bls. 43). Knud var bæjarverkfræðingur og síðar borgarstjóri í 18 ár, eða frá árinu 1914 til 1932. Hér á eftir fer þessi kafli úr bókinni, en hann varpar nokkuð góðu ljósi á aðstæður og gatnagerð í Reykjavík fyrstu áratugi síðustu aldar:

„Götur og gatnagerð.

Árið 1876 þóttu það slík tíðindi, að Austurstræti mætti flengriða, að þess var getið í blöðum. Má fara nærri um það, hvernig háttað hefur verið um aðrar götur í bænum, úr því að það þótti fréttmæmt að spretta mætti úr spori á aðalgötu hans.

Aldarfjórðungi síðar óskuðu íbúar við Laugaveg, að gert yrði við hann, svo að hann mætti teljast fær. En þeir kvörtuðu jafnframt undan svo harðri reið um veginn, að börnum stafaði hætta af. Af þeirri ástæðu þótti ekki annað fært en að fjölga um einn lögregluþjón í bænum.

Þannig breyttust kröfur þær, sem bæjarbúar gerðu til gatna á þessu tímabili.

Það kom í minn hlut á árunum 1902-1907 að mæla fyrir mörgum nýjum götum í bænum og staðsetja aðrar, sem þá voru ekki gerðar fyrr en miklu síðar. Ég kynntist vel gatnagerðinni á þessu tímabili og jafnframt hugmyndum manna um, hvernig störfum væri bezt hagað við hana. Virtist mér gæta mjög mikillar þröngsýni hjá bæjaryfirvöldum í þessu sambandi og þau taka of mikið tillit til rótgróinnar vanafestu. Svo mikið er víst, að ekki var alltaf mikils metin reynsla né þekking okkar fyrstu verkfræðinganna. Ef við vildum t.d. reyna nýjan ofanburð í stað moldarinnar, sem gerði göturnar að foraðsvilpum í bleytutíð, þá var því ekki tekið með þvergirðingi. En ef hann reyndist eitthvað dýrari en moldin án tillits til notagildis, þá var ekki að sökum að spyrja. Ef komast mátti af með minni pening til að ráða fram úr einhverri framkvæmd í svipinn, þá þótti sjálfsagt að hafa fremur þann háttinn á en eyða meiru fé og hirða að varanleikanum. Ég held, að þessi hugsunarháttur hafi hvergi sagt eins til sín og í sambandi við vegagerðina.

Oft fékk ég óþvegið orð í eyra fyrir staðsetningu ýmissa gatna. Því olli stundum persónuleg hagsmunasjónarmið, en einnig var mér og öðrum íslenskum verkfræðingum borið það á brýn, að við hefðum ekkert vit á gatnagerð og enga reynslu á við hina gömlu vegaverkstjóra.

Mér falla seint úr minni ónotin, sem ég fékk, þegar ég hafði ákveðið legu Fríkirkjuvegjar. Greindir og mikilsmetnir menn fullyrtu, að vegagerð á þeim stað mundi aldrei takast, vegurinn allur síga í Tjörnina og verða undir vatni, bærinn hafa af mikinn skaða og ég vitanlega skömmina. Alveg sama var upp á teningnum, þegar ákveðið var að fara með Skothúsveg yfir Tjörnina.

Enginn einn maður kom jafnmikið við sögu vegamálanna fyrir og um aldamót sem Tryggvi Gunnarsson, og reyndar lengi eftir það urðu afskipti hans af þeim allmikil. Stundum gerðist hann allráðríkur í þessum eignum og gat þá komið til árekstra. Man ég eftir því, að af þeim sökum varð mikið stapp í sambandi við Vatnsstíg. Varð það til þess, að hann var lengi á eftir ýmist kallaður *Þrasi* eða *Gerræðisstígur*. Stundum vildi Tryggvi vera að vasast í vegagerð fyrir bæinn samtímis og hann var landsbankastjóri og sinnti fjölda

¹¹ Lúðvík Kristjánsson 1952: Úr bæ í borg – nokkrar endurminningar Knud Zimsens fyrrverandi borgarstjóra um þróun Reykjavíkur. Helgafell – Unuhúsi, Garðastræti 15-17 Reykjavík.

mörgum öðrum störfum. Hann sótti fast að fá að gera nokkurn hluta Tjarnargötu fyrir ákveðna fjárhæð, og var það látið eftir honum. Fullyrði ég, að bærinn tapaði ekki á því. – Annars var margt rætt um þá gatnagerð og sumt af litlu viti. Til þess að fá götuna hallalaus meðfram Tjörninni þurfti að grafa hana niður. Vitanlega var talin fásinna að kasta fé í slíkt. En andstæðingum okkar Tryggva í stjórnámálum skorti þó ekki hugkvæmni til að grafa upp orsökina fyrir því, að við vildum hafa þennan hátt á. Þeir sögðu, að ráðherrann mundi daglega ganga þá götu heim og heiman og því yrði hún að vera marflöt. En við Tryggvi vorum báðir fylgismenn Hannesar Hafsteins. Átta árum síðar, eða rétt áður en ég varð borgarstjóri, vildi Tryggvi fá kafla af Hafnarstræti til að gera á honum tilraun með nýja viðhaldsaðferð. En veganefnd var ófáanleg til að fallast á það, nema hún væri gerð bænum að kostnaðarlausu. Voru þetta síðustu afskipti Tryggva af vegamálum bæjarins, enda var hann nú senn orðinn áttæður.

Veganefnd var framkvæmdaraðili fyrir bæinn, að því er vegagerðina snerti. Skiptu veganefndarmennirnir á milli sín eftirliti með gatnagerðinni, lýsingu gatna og hreinsun þeirra. En störf þessi voru ólaunuð eins og reyndar mörg önnur störf, sem þá voru unnin í þágu bæjarins. Algengast var, að bærinn greiddi vegagerðina með kostnaðaverði. Auk Tryggva man ég aðeins eftir einum manni, sem bauðst til að taka að sér gatnagerð fyrir ákveðið verð. Það var N. P. Kirk verkfræðingur, en hann lét gera Skúlagötu frá Klapparstíg og inn að Suðurlandsbraut. Ekki var það ótítt, að veganefnd fengi snuprur hjá bæjarbúum, og fyrir kom, að bæjarstjórn setti ofan í við hana.

Sumarið 1906 var lokið við að leggja Vonarstræti milli Suðurgötu og Lækjar. Sú gata hafði þá verið ákveðin fyrir nálega tuttugu árum, en stæði hennar var þá allt í Tjörninni. Það var því einungis vakin von hjá bæjarbúum um, að hún kæmi nokkurn tíma, enda heiti hennar spröttið af þeim rótum. Þegar loks var ákveðið að fullgera hana, þurfti bæjarsjóður að taka til þess 6.800 krónu lán. En nú fór svo, að það hrökk ekki til, og varð bæjarstjórn þá hin ævasta og samþykkti svohljóðandi áminningu til veganefndar:

„Með því að veganefndin sérstaklega við lagningu Vonarstrætis hefur breytt hinni upphaflegu áætlun, sem bæjarstjórn hefur samþykkt, án heimildar hennar, og fyrir því farið langt fram yfir hinar veittu fjárhæðir, brýnir bæjarstjórnin það fyrir nefndinni að haga sér framvegis eftir ákvörðunum bæjarstjórnar og víkja eigi frá þeim nema að fengnu samþykki hennar.“

Mér var vel kunnugt um það, að veganefnd gat ekki hagað störfum sínum í Vonarstræti á annan hátt en gert var, ef þarna átti að verða varanlegur vegur.

Þegar ég kom í bæjarstjórn, beitti ég mér fyrir því, að fengin væru nýtízku tæki til vegagerðar, svo að unnt væri að gera betri götur og jafnframt koma dálítið meiri hraða á þær framkvæmdir. En því var tekið fremur fálega. Sumir bæjarfulltrúanna lýstu sig andvíga því, að bærinn færi að eyða peningum í slík tæki, gatnagerðin gengi vel og á henni þyrfti engar umbætur. Ég held, að fyrst í stað hafi Bríet ein verið fylgjandi uppástungu minni. Eftir mikið nudd fékkst veganefnd þó til þess, síðla hausts 1908, að samþykkja kaup á gufu- eða mótórvaltara, ef hann fengist fyrir átta þúsund krónur. En þar með var björninn ekki unninn, því að enn var meiri hluti bæjarstjórnar þeirrar skoðunar, að óþarft væri að kaupa slíkt tæki. Loks kom þó valtarinn fyrri hluta árs 1912. Við Bríet höfðum oft á þessu tímabili imprað á þessum kaupum í bæjarstjórn, og fannst mörgum nóg um ýtnina. Eftir að þetta þarfa tæki var komið, þótti sumum bæjarfulltrúum makalegt, að það bæri nöfn okkar Bríetar og nefndu það „Bríet Knútsdóttur“, en að öllum jafni var föðurnafninu þó sleppt.

Sama árið og götuvaltarinn kom, var Austurstræti malbikað, en slíkt var þá nefnt að macadamisera. Engum íslenskum verkfræðingi var trúandi til að leysa þetta verk sómasamlega af hendi, að dómi bæjarstjórnar, og var því sóttur maður til Svíþjóðar. Ég veit ekki, hvaða æfingu hann hafði í gatnagerð, en ef dæma mátti eftir vinnubrögðunum í Austurstræti, hlaut hún að hafa verið lítil. Og svo mikið er víst, að bæjarstjórn hefði ekki látið þá vegagerð óátalda, ef hérlendur verkfræðingur hefði fjallað um hana.

Samtímis og Austurstræti var malbikað voru gerðar þar gangstéttir. Tryggvi Gunnarsson var ekki ánægður með störf hins sænska verkfræðings og krafðist þess, að bókað væri í fundargerðarbók veganefndar, að hann væri mótfallinn því, að gangstéttirnar væru hækkaðar, mjókkaðar og gerðar hlykkjóttar. Við þennan götustúf var haft svo mikið vegna þess, að þar var þá elzta kvikmyndahús bæjarins, og Jóhann Jóhannesson, eigandi Fjalakattarins, bauðst til þess að greiða helming kostnaðarins.

Árið 1913 var Aðalstræti lagað allmikið, gerð 7,5 m akbraut um nokkurn hluta þess, og gangstéttir beggja vegna 2,5 m breiðar. Það átti langt í land, að götur væru almennt malbikaðar, enda átti bærinn fullt í fangi með að standa straum af kostnaði við nýjar götur, en þeim fjölgaði árlega sökum útfærslu byggðarinnar. Fyrsta gatan, sem malbikuð var fyrir ofan Læk, var Hverfisgata eða nánar til tekið spottinn frá Læknum og upp að Ingólfsstræti. Var það gert 1921.

Eftir að ég var orðinn borgarstjóri, var mér ljóst, að seint mundi miða áfram við gatnagerðina, ef bæjarsjóður hefði ekki meira fé til umráða til þeirra framkvæmda en verið hafði undanfarin ár. Bærinn hafði orðið að taka talsvert fé að láni til þess að leggja nýjar götur og skólpræsi um helstu byggðahverfin. Á þeirri braut varð ekki haldið mikið lengra og því var óumflýjanlegt að sjá bænum fyrir nýjum tekjustofnum. En á þeirri leið höfðu jafnan verið ótal tröll. Bæjarbúar gengu hart eftir því að fá margs konar þægindi, en voru hins vegar ófúsir á að leggja mikið af mörkum til þess að öðlast þau.

Fyrir aldamót höfðu ýmsir komizt yfir miklar erfðafestuspildur í landi bæjarins. Nú var mikið að því gert að selja þessar lendur undir hús, og var verðið yfirleitt allhátt. Með þessum hætti högnuðust nokkrir menn á kostnað bæjarins og fannst mér því sjálfsagt, að nokkuð af þessum lóðasölugróða rynni í bæjarsjóð.

Frikirkjan var á sínum tíma reist í túni, sem Eiríkur Briem hafði að erfðafestu. Lóðina undir kirkjuna seldi hann við allháu verði eftir því sem þá tíðkaðist. Einhverjir bæjarfulltrúar, er kynni höfðu af þessum viðskiptum, komu því til leiðar, að fimmtungur af söluverðinu var látinn renna í bæjarsjóð. Eiríkur var mjög óánægður yfir þessum afskiptum bæjarstjórnar og fór því í mál við hana. En upp úr því hafði hann ekkert. Eftir það var við tekin regla, að fimmtungur af andvirði erfðafestulanda rynni í bæjarsjóð. En mér þótti ekki nóg að gert sökum þess, hve verðið var hátt á löndum þessum. Fékk ég því til vegar komið, að til viðbótar skyldu greiddar tvær krónur af hverjum fermetra selds erfðafestulands innan takmarka bæjarins, og skyldi þetta fé notað til gatnagerðar. Hjá almenningi mæltist þetta vel fyrir, en miður hjá þeim, sem réðu yfir erfðafestulöndunum. Með þessari ráðstöfun áskotnaðist bæjarsjóði talsvert fé og var því meira hægt að vinna að gatnagerð næstu árin en annars hefði reynzt kostur.

Þegar frá leið, hvarf allur urgur í minn garð úr landeigendum, enda mun þeim fljótt hafa skilizt, að það var einnig í þeirra hag, að götur kæmu sem skjótast um hin væntanlegu byggingasvæði. Er mér enn í minni, þegar um það var rætt síðla árs 1922, að leggja Garðastræti, Öldugötu og Bárugötu um svo nefnd Geirstún og Hlíðarhúsabletti, hve eigendur þess töldu sjálfsagt að greiða „tveggja krónu gjaldið“ og buðust jafnframt til að láta lóðir undir göturnar ókeypis.

Þótt talsvert meira væri unnið að gatnagerð eftir 1915 en áður hafði reynzt kleift, varð þó ekki mikil breyting á vinnubrögðum, og enn voru sömu örðugleikar og fyrr á að fá endingarbetra efni til gatnagerðar. Til þessa lágu tvær ástæður, fjárskortur og vöntun á heppilegum tækjum. Á árunum 1920-1930 var nokkur breyting á þessu, enda gerðist hægra um vik með flutning á efni til gatnagerðar eftir að bílar komu til sögunnar.“

Athyglisvert væri að kanna á ítarlegri hátt hvernig staðið var að framkvæmd við gerð bikbundinna slitlaga á þessum tímum og allt fram að seinni heimsstyrjöld. Einnig hvaða efni voru notuð í bundin slitlög á þessum tímum, bæði bikbindiefni og steinefni og hvort einhverjar prófanir hafi yfir höfuð verið gerðar á þeim blöndum sem lagðar voru, eða hvaðan forskriftir þeirra komu. Það er þó í raun ekki hluti þessa verkefnis að kafa svo djúpt í sögulegar heimildir.

Það væri einnig fróðlegt að taka saman ítarlega sögu malbikunar, allt frá hönnun, framleiðslu og framkvæmd á Íslandi frá tímum seinna stríðs og áratugina eftir það. Það má þó geta þess að ritgerð um sögu malbikunar á Akureyri er að finna á slóðinni:

<https://skemman.is/bitstream/1946/13994/1/Vi%C3%B0hald%20malbiks%20%C3%A1%20Akureyri-Reiknil%C3%ADkan.pdf>, en þar er um að ræða BSc ritgerð Jónasar Valdimarssonar við Háskólann í

Reykjavík frá árinu 2012. Þar kemur meðal annars fram að fyrst var malbikað á Akureyri árið 1927 (allt handlagt), en síðan má heita að hlé hafi orðið að mestu leyti á malbiksframkvæmdum allt frá árinu 1930 til ársins 1960. Fyrstu malbikunarstöðina keypti Akureyrarbær árið 1965, frekar frumstæða, en með tilkomu nýrrar og fullkomnari stöðvar árið 1980 jókst malbiksframleiðsla til muna á Akureyri. Í ritgerðinni er ekki fjallað sérstaklega um hvernig forskriftir malbiks á Akureyri voru fengnar, né hvort gerð hafi verið einhver hönnunarpróf (t.d. með Marshall-aðferð), enda ekki efni hennar að fjalla um þau atriði. Ekki verður fjallað nánar um malbikun á Akureyri hér, en ítarlegri umjöllun er í ritgerðinni sem vísað er til hér að framan.

Gera má ráð fyrir að Bretar hafi flutt með sér malbikunarstöð til framleiðslu á malbiki í flugvallargerðina í Vatnsmýrinni í Reykjavík á stríðsárunum, en samkvæmt munnlegum heimildum (reyndar tölvupóstur Halldórs Torfasonar 6/1 '20 og Ásbjörns Jóhannessonar 7/1 '20) stóð sú stöð að öllum líkindum undir Ártúnshöfðanum. Bik mun hafa verið flutt til landsins í tunnum á þessum árum og steinefni unnið úr Höfðanum sjálfum í grjótmulningsstöð sem þar var staðsett. Eftir stríð reistu Reykjavíkurborg og Vegagerðin sitt hvora malbikunarstöðina á þessu svæði og stendur stöðin Höfði (sem er arftaki Malbikunarstöðvar Reykjavíkur) enn á sama stað. Til að byrja með var notast við steinefni úr Ártúnshöfða, en í ljós kom að efnið reyndist afar lélegt og veikt. Seinna var tekið malbiksefni við Korpúlfsstaði, en það entist illa eftir að nagladekkin komu til sögunnar. Þá var unnið efni úr Selásnum við Árbæjarhverfið sem er talið hafa verið nokkuð gott efni (þó ekki mjög slitsterkt), en þegar það þraut fannst fyrirtaks malbiksefni í nágrenni Reykjavíkur um 1984, sem sagt Seljadalsefnið. Það steinefni var allsráðandi á höfuðborgarsvæðinu sem gæðasteinefni lengi vel. Seljadalsnámunni var lokað fyrir nokkrum árum og eftir það hefur verið flutt inn norskt, slitsterkt og ljóst steinefni til nota á vegi og götur með mikla umferð.

Varðandi hönnun malbiks, þ.e.a.s. ákvörðun á hagstæðustu kornadreifingu og bikinnihaldi, má segja að hún hafi verið lítil sem engin fram að því að malbikunarstöðvar voru settar upp hérlendis í stríðinu og eftir stríð. Ætla má að Marshall-aðferðin hafi verið notuð frá upphafi til hönnunar malbiks hérlendis, en hún var þróuð í Bandaríkjunum og sett fram 1939. Reiknað er með að sú aðferð hafi fengið mikla og hraða útbreiðslu á heimsvísu, þar sem aðrar og betri hönnunaraðferðir voru ekki fyrir hendi á þeim tímum. Tækjabúnaður var fenginn frá Bandaríkjunum til Atvinnudeildar Háskóla Íslands fyrir tilstuðlan Haraldar Ásgeirssonar sem hóf störf þar 1945, en hann var menntaður í Bandaríkjunum og flest rannsóknatæki þaðan komin. Sá hluti Atvinnudeildarinnar sem sneri að byggingariðnaði varð að Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins árið 1965 og var tækjabúnaður fluttur á Keldnaholtið við þá breytingu. Eins og fyrr segir er saga rannsókna og hönnunar malbiks á þessum árum ekki aðgengileg höfundi þessarar skýrslu í fljótu bragði og væri fengur af frekari upplýsingum þar að lútandi. Að sögn Ásbjörns Jóhannessonar mun Ragnar G. Ingimarsson sem vann á Rb á árunum 1964 til 1971 hafi

komið við sögu hönnunar malbiks, en Ásbjörn hafði einnig komið þar við sögu síðar meir auk fjölda annarra „malbiksmanna“, en þar má nefna flesta þá sem komu að stofnun Steinefnanefndar, sbr. kaflann hér að neðan. Einnig er vert að nefna Stefán Hermannsson sem var forstöðumaður við malbikunarstöð, grjótnám og pípugetið Reykjavíkur á árunum 1966 til 1981 og síðar borgarverkfræðingur.

1.2 Steinefnanefnd

Steinefnanefnd var stofnuð þann 21. október 1983, en á stofnfundinn voru mættir Ásbjörn Jóhannesson, Hreinn Haraldsson, Halldór Torfason, Rögnvaldur Jónsson og Valur Guðmundsson, samkvæmt 1. fundargerð nefndarinnar, en þar tók Rögnvaldur að sér formennsku og Ásbjörn ritarastörf. Sigursteinn Hjartarson tók sæti í nefndinni vorið 1986 og Thorbjörn Byrnäs og Hreggviður Norðdahl og síðar Hafsteinn Hilmarsson tóku sæti tímabundið í nefndinni. Höfundur þessarar skýrslu var hins vegar ráðinn til nefndarinnar sumarið 1985 sem starfsmaður og síðar einnig ritari og starfaði fyrir nefndina allt til lokaráðstefnu hennar sem haldin var í mars 1994.

Þegar Steinefnanefnd var stofnuð höfðu kröfur til steinefna og tilheyrandi prófunaraðferðir að mestu verið sniðnar eftir erlendum fyrirmyndum, einkum frá Bandaríkjunum og Norðurlöndum¹². Þáttaka Íslands í NVF samstarfinu hafði einnig sett mark sitt á íslenskar kröfur og prófunaraðferðir. Í skýrslunni kemur meðal annars fram að jafnvel þótt æskilegt sé að sömu prófunaraðferðir séu notaðar skv. gildandi stöðlum, er ekki þar með sagt að sömu kröfur eigi að gilda í öllum löndum. Bæði þarf að huga að því hvaða steinefni eru tiltæk á hverjum stað og einnig hverjar yrti aðstæður eru á hverjum stað, ekki síst umferðarsamsetning og veðurfar.

Nefndarmenn Steinefnanefndar þekktu til starfa steinefnanefnda sem stofnað var til þrívægis undir Norræna NVF samstarfinu (fyrst 1963-1967, síðan 1971-1974 og hin þriðja var sett á laggirnar 1982), nánar tiltekið undir NVF nefnd 33 sem þá var kölluð „Asfaltbeläggningar“. Þessar steinefnanefndir fjölluðu fyrst og fremst um prófanir á steinefnum í bundin slitlög og kröfur til þeirra og fylgdist Rögnvaldur vel með störfum þessara nefnda, án þess að taka virkan þátt í störfum þeirra. Líklega átti hann hugmyndina að stofnum íslenskrar steinefnanefndar í anda þeirra Norrænu. Íslenska nefndin setti sér það markmið að endurskoða prófunaraðferðir og kröfur fyrir steinefni í bundin slitlög, bæði í klæðingar og malbik. Segja má að markmið nefndarinnar hafi verið þrjúþætt; í fyrsta lagi að vinna að heimildakönnun um prófanir á íslenskum steinefnum með tilliti til reynslu af notkun þeirra, í öðru lagi að velja og/eða þróa prófunaraðferðir í samræmi við reynslu héraðs og í þriðja lagi að gera tillögur að kröfum til steinefna með tilliti til notkunar og ytri aðstæðna, svo sem umferðar, nagladekkjanotkunar og veðurfars.

Eftir tveggja ára starf nefndarinnar var ákeðið að ráða starfsmann til nefndarinnar eins og áður segir og fékk hann frá og með 1985 starfsaðstöðu á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins en vann alfarið fyrir nefndina og í samræmi við ákvarðanir sem teknar voru á fundum hennar. Of langt mál væri að rekja störf nefndarinnar frá árinu 1985 til ársins 1994, en í stuttu máli má segja

¹² Steinefnanefnd 1985: Steinefni í bundin slitlög – prófunaraðferðir.

að markmiðin sem nefndin setti sér strax í upphafi starfsins hafi gengið eftir. Lagðir voru 14 tilraunakaflar með klæðingu við Hólmsá og 5 tilraunakaflar með malbiki á Sæbraut. Steinefnin sem í þá voru notuð voru prófuð með margvíslegum aðferðum, meðal annars með nýju frostþolsprófi Steinefnanefndar þar sem notuð var saltlausn. Einnig var farið ítarlega í saumana á öðrum prófunaraðferðum, svo sem berggreiningu, viðloðunarprófi, LA styrkleikaprófi og Dorry slitþolsprófi. Prófanirnar og tengsl þeirra við endingu tilraunakafla með tíma voru grundvöllur fyrir framsetningu á kröfum sem voru tengdar umferðarmagni og umferðarsamsetningu og voru kröfuföflur fyrir þessar prófunaraðferðir settar inn í Alverk '95, bæði fyrir klæðingar og malbik. Á síðari stigum var Dorry slitþolsprófi skipt út fyrir Evrópustaðlað kúlnakvarnarpróf í efniskröfum Vegagerðarinnar og frostþolsprófi nefndarinnar var skipt út fyrir Evrópustaðlað frostþolspróf í saltlausn. Þessi umskipti voru tiltölulega einföld, þar sem fylgni var góð á milli aðferða í báðum tilfellum og því hægt að varpa kröfum Steinefnanefndar yfir á nýju aðferðirnar.

Að lokum má geta þess að Steinefnanefnd hafði frumkvæði að því að starfsmaður nefndarinnar tæki virkan þátt í tækninefnd innan CEN/TC154/SC6/TG9 „Aggregates/Test methods/Weathering and chemical properties of aggregates“. Markmiðið með þeirri nefndarvinnu var að reyna að fá frostþolspróf nefndarinnar í saltlausn samþykkt sem Evrópustaðal. Ástæðan var sú að prófanir á íslenskum steinefnum sýndu fram á að þýskættaða frostþolsprófið í ferskvatni skv. Evrópustaðli gerði lítinn sem engan greinarmun á frostþolnum og frostnæmum steinefnum. Það var sem sagt unnið að því markmiði að fá íslensku aðferðina óbreytta sem Evrópustaðal, en af ýmsum tæknilegum ástæðum reyndist erfitt að vinna henni traust í tækninefndinni og undirnefnd SC6. Löngu eftir að Steinefnanefnd lauk sínum störfum, eða 2008, var samþykktur Evrópustaðall um frostþolspróf í saltvatni, að vísu talsvert breyttur frá upphaflegu aðferðinni. Sá staðall hafði engu að síður góða fylgni við aðferð Steinefnanefndar. Það var ekki fyrr en eftir Norrænt samanburðarverkefni (Nordtest) og síðar enn umfangsmeira evrópskt samanburðarverkefni, sem starfsmaður nefndarinnar stjórnaði báðum, að tókst að fá aðildarlönd CEN til að samþykkja aðferðina. Það er hins vegar alveg ljóst að það var frumkvæði Steinefnanefndar sem varð til þess að frostþolspróf í saltlausn fékk framgöngu sem Evrópustaðall. Það þurfti þó mikla eftirfylgni síðari rannsóknanefnda Vegagerðarinnar og fleiri aðila, auk beinnar og virkrar þátttöku í starfi viðkomandi Evrópustaðlanefnda, sem lauk með útgáfu prófunarstaðals ÍST EN 1367-6 árið 2008.

1.3 BUSL samstarfið

BUSL (BÚrðarlög og SLitlög) samstarfið hófst árið 1994 og því lauk með lokaráðstefnu 6. apríl 2001. Að samstarfinu stóðu Vegagerðin, Borgarverkfræðingur og Gatnamálastjóri Reykjavíkur, Malbikunarstöðin Höfði, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins og Verkfræðideild Háskóla Íslands, en þeir tveir fyrsttöldu stóðu að mestu straum af kostnaði vegna rannsóknarverkefna. Stofnað var til þriggja undirnefnda í samstarfinu, en það voru Efnisgæðanefnd, Búrdarlaganefnd og Slitlaganefnd og sátu í þessum nefndum sérfræðingar úr stofnunum samstarfsins, auk nokkurra fulltrúa frá verkfræðistofum. Með BUSL samstarfinu var hrundið af stað gríðarlega metnaðarfullu rannsókn- og þróunarstarfi á sviði vega- og gatnagerðar, þar sem alls um 100 manns frá 20 mismunandi fyrirtækjum komu beint að faglegri vinnu við rannsóknir (upplýsingar um fjölda manna úr inngangi Hreins Haraldssonar í ráðstefnuriti BUSL frá 2001).

Segja má að um 24 útgefnar rannsóknarskýrslur úr samstarfinu hafi snúið á einhvern hátt beint að rannsóknum á malbiki (sumar þó áfangaskýrslur), til dæmis prófanir á vatnspoli, slitpoli og veðrunarpoli malbiks, aflfræðilegum eiginleikum þess, sigi og skriði og hjólfaramyndun að sumarlagi, hönnun malbiks og nýjar malbiksgerðir svo eitthvað sé nefnt. Skýrslurnar sem um ræðir voru unnar undir hatti allra þriggja undirnefndanna, þó flestar á vegum Slitlaganefndar eins og gefur að skilja. Auk þeirra var fjöldi verkefna Efnisgæðanefndar sem fólust í rannsóknum á steinefnum, m.a. til nota í malbik og má nefna rannsóknir á viðloðun, frostpoli, slitpoli og styrk, með margvíslegum prófunaraðferðum. Ekki verða hér teknar saman niðurstöður hvernar og einnar rannsóknar eða skýrslu sérstaklega, en þess í stað reynt að tæpa á því helsta sem höfundi þessarar skýrslu finnst markverðast og hafi skilað sér til frampróunar íslensks malbiks.

BUSL skýrsla E-9 frá 1996¹³ fjallar um prófanir á fimm malbikssýnum í vatnspolsprófi, þar sem hluti sýnanna var vatnsmeðhöndlaður bæði í fersku og söltu vatni. Í ljós kom að saltvatn hafði ekki afgerandi verri áhrif á niðurstöðuna miðað við ferskvatn. Prófunaraðferðin sem slík fær þó ekki háa einkunn hjá skýrsluhöfundi að öðru leyti en því að hún gæti hentað til að bera saman mismunandi blöndur innan sömu rannsóknar. Það staðfesti niðurstöðu Steinefnanefndar sem birt var í skýrslu hennar frá 1994¹⁴.

Í BUSL skýrslu S-5 frá 1998¹⁵ er fjallað um mælingar á hjólfaramyndun í malbiki að sumarlagi. Notast var við tilraunakafla steinefnanefndar á Sæbraut sem lagðir voru 1990 á fimm stutta kafla með mismunandi steinefni og mæld 5 snið á hverjum kafla, en þeir höfðu verið slitmældir með slitmælitæki allt frá útlögn. Til viðbótar voru valdir þrjú kaflar sem lagðir höfðu verið 1996 og þeir mældir að vori og hausti. Niðurstöður þessara mælinga bentu eindregið til þess að skrið eigi sér stað í öllum köflunum að sumarlagi. Niðurstöðurnar eru almenns eðlis og ekki unnt að segja að ein gerð malbiks sé betri en önnur, til þess eru mælingarnar ekki nægilega umfangsmiklar. Hins vegar er áætlað á grundvelli mælinga að skrið eigi sök á 10-25% af hjólfaramynduninni sem á sér stað í þessum mældu sniðum, en slit af völdum nagladekkja eigi þá sök á 75-90% af hjólfaramyndun samkvæmt skýrslunni.

Í BUSL skýrslu S-9 frá 1999¹⁶ fjallar Þorsteinn Þorsteinsson við Háskóla Íslands um sig og skrið í malbiki. Hann bendir á að nýlegar rannsóknir bendi til að 15-30% af hjólfaramyndun megi rekja til varanlegra færslna, sem sagt sigs (eftirþjöppun) og skriðs í malbikinu, en slit af völdum nagladekkja vegi þó mun meira, eða því sem eftir stendur. Í skýrslunni er fjallað um varanlegar færslur, heimildakönnun og prófunarbúnað til mælinga á þeim færslum. Þá má nefna að fram kemur að gagnsemi af rannsóknum á sigi og skriði í malbiki er margvísleg. Til dæmis hönnun á malbiksblöndum sem hafa mikla mótstöðu gegn skriði og minnka þar með hjólfaramyndun. Einnig væri hægt að áætla hjólfaramyndun og sjá fyrir viðhaldsþörf með tilliti til samsetningar umferðar og meta hlutföll skriðs/nagladekkja á hjólfaramyndun.

¹³ Pétur Pétursson 1996: Vatnspolspróf. Efnisgæðanefnd BUSL, skýrsla E-9.

¹⁴ Steinefnanefnd 1994: Steinefni í bundin slitlög, viðloðunarpróf. Rb V-209.

¹⁵ Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson 1998: Hjólfaramyndun í malbiki að sumarlagi. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-5.

¹⁶ Þorsteinn Þorsteinsson 1999: Sig og skrið í asfaltbundnum slitlögum. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-9.

Næst má nefna BUSL skýrslu S-16 frá árinu 2000¹⁷, en þar eru skoðaðar og birtar markalínur fyrir mismunandi malbiksgerðir úr ýmsum áttum, þ.e.a.s. frá Norðurlöndunum, CEN og Alverki '95. Jafnframt er sett fram tillaga að íslenskum markalínunum fyrir allar helstu AC og SMA malbiksgerðirnar sem notaðar eru hérlendis. Á heildina litið eru tillögur verkefnishópsins að markalínunum fyrir malbik almennt víðari en þeirra sem voru til samanburðar, bæði hvað varðar fínefnamagn og kornadreifingu almennt. Í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar eru settar fram markalínur sem eru í samræmi við Evrópustaðla, fyrir AC, SMA og BRL malbik, en þær eru nokkuð þrengri en verkefnishópurinn mælir með eins og fyrir segir. Hópurinn gerir einnig tillögu að verklýsingarákvæðum fyrir mismunandi malbiksgerðir, þar á meðal Marshall-holrýmd, festu og sig og hlutfallið fínefni/bindiefni. Ekki verður farið nánar í þau ákvæði, en bent á að í Efnisgæðaritinu eru settar fram leiðbeinandi hönnunarkröfur í töflu 64-15, en þær eru ekki eins og lagt er til í skýrslu S-16. Jafnframt má benda á að ekki eru gerðar kröfur til festu og sigs á Marshall-kjörnum í Evrópustöðlum fyrir malbik í vegi og götur.

BUSL skýrsla S-18 frá árinu 2000¹⁸ fjallar um hönnun malbiks almennt séð. Í skýrslunni eru birtar niðurstöður ítarlegrar heimildakönnunar á aðferðum sem notaðar eru við hönnun malbiks hér og þar í heiminum, alls 9 aðferðum. Aðferðunum er skipt í sex flokka, þ.e.a.s. uppskriftir, reynsluaðferðir, greiningarlegar aðferðir, rúmmálseiginleikar, hegðunar-skyldar aðferðir og aðferðir grundaðar á hegðun. Sumar aðferðirnar voru taldar of umfangsmiklar og kostnaðarsamar. Verkefnishópurinn telur að enn um sinn verði Marshall-hönnunaraðferðin höfð til hliðsjónar hérlendis, enda lang-útbreiddasta aðferðin á heimsvísu og ekki mjög kostnaðarsöm. Jafnframt telur verkefnishópurinn að gyratoryþjökkur muni gegna lykilhlutverki í hönnun malbiks í framtíðinni.

Þessari upptalningu á skýrslum sem fjalla á einhvern hátt um malbiksrannsóknir verður ekki haldið áfram hér, en auðvitað leynist ýmislegt fleira, sem varðar eiginleika malbiks, í útgefnum skýrslum BUSL samstarfsins. Skýrslurnar allar ættu að vera aðgengilegar á bókasafni Vegagerðarinnar og ef til vill víða, en þær hafa ekki verið færðar yfir á stafrænt form, þótt þær séu öllum opnar.

Að lokum má benda á tvær MSc ritgerðir sem komu út á tímum BUSL samstarfsins og voru að hluta til styrktar af því samstarfi, önnur eftir Elísabetu S. Urbancic frá 1998¹⁹ og hin eftir Bergþóru Kristinsdóttur frá 1999²⁰. Ekki verður fjallað sérstaklega um innihald og niðurstöður þessara ritgerða hér, en þær vörpuðu báðar ljósi á aflfræðilega eiginleika íslensks malbiks og ættu að vera aðgengilegar á bókasafni HÍ og Vegagerðarinnar.

¹⁷ Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson 2000: Endurskoðun á markalínunum fyrir malbik – lokaskýrsla. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-16.

¹⁸ Þórir Ingason 2000: Hönnun malbiks. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-18.

¹⁹ Elísabet S. Urbancic 1998: Aflfræðilegir eiginleikar íslensks slitlags – ákvörðun í tilraunastofu. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

²⁰ Bergþóra Kristinsdóttir 1999: Íslenskt malbik – ákvörðun aflfræðilegra eiginleika. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

1.4 RANNEG

Í kjölfar þess að BUSL samstarfinu lauk með lokaráðstefnu í apríl 2001 vaknaði áhugi á að stofna til sérftæðinganevndar um rannsóknir í vegagerð og var meðlimum fagnevndanna þriggja í BUSL samstarfinu boðið að sækja stofnfund nefndarinnar. Úr varð að 12 manna hópur hittist á stofnfundi RANNEG nefndarinnar í nóvember 2001 og setti sér markmið, en Gunnar Bjarnason var formaður nefndarinnar og Pétur Pétursson ritari. Eitt af markmiðum nefndarinnar var að setja fram hugmyndir að rannsóknaverkefnum, en einnig að útbúa kynningarefni og jafnvel að skipuleggja og/eða taka þátt í ráðstefnum á sviði vegagerðar. Hreinn Haraldsson sem þá var yfirmaður rannsókn- og þróunarsjóðs Vegagerðarinnar kom á stofnfundinn og var eftirfarandi bókað um hans innkomu á fundinn:

„Hr.H. mætti á fundinn kl. 11:00. G.Bj. fór lauslega yfir væntanlegt verkefni nefndarinnar og hvað hafi verið rætt þar að lútandi það sem af var fundar. Hr.H. lýsti yfir ánægju með að þessi nefnd var sett á laggirnar, enda hafði hann sjálfur nefnt eitthvað í þeim dúr á lokaráðstefnu BUSL. Hann sagðist sjá fyrir sér að verkefni nefndarinnar yrði tvíþætt:

- Annars vegar taldi hann mikilvægt fyrir Vegagerðina að menn sem hafa þekkingu á þessu sviði setjist saman öðru hvoru og ræði málefni, óháð R&Ð. Þar verði dregin saman þekking, sem meðal annars gæti komið í veg fyrir tvíverknað. Um væri að ræða nokkurs konar þekkingarmiðju (centre of excellence) sem Vegagerðin gæti vísað ákveðnum málefnum til til umfjöllunar og úrlausnar.
- Hins vegar snúi verkefni nefndarinnar beint að R&Ð. BUSL-samstarfið skilaði mikilli þekkingu og heppnaðist vel, meðal annars vegna góðrar skipulagningar og aðhalds sem hindraði að verkefni „gufuðu upp“. Það verður því til góðs fyrir R&Ð að áfram starfi samráðshópur sem veitt getur umsagnir og aðhald. Í því sambandi benti hann á að umsagnar er oft leitað til sérftæðinga frá því að umsóknir berast og þar til styrkir eru veittir. Hugmyndin er ekki sú að nefndin setji fram umsóknapakka, en þó væri ekkert því til fyrirstöðu í vissum tilfellum, t.d. varðandi “implementation” á umfangsmiklum sviðum. Hr.H. sagði að hann gerði sér grein fyrir að umsýsla í tengslum við nefndina geti orðið nokkur og að umsókn um styrk til hennar sé eðlileg og trygg framgang nefndarstarfa.

G.Bj. sagði frá tilurð og boðun í nefndina og spurði um álit Hr.H. á því að eingöngu voru boðaðir fyrrverandi BUSL-meðlimir. Hr.H. hafði ekkert við það að athuga og benti á að á sínum tíma fengu allir tækifæri á að ganga í BUSL-samstarfið. Að lokum þakkaði Hr.H. fyrir gott framlag og vék af fundi kl. 11:30.“

RANNEG nefndin starfaði í anda þess sem fram kemur hér að framan. Meðlimir nefndarinnar unnu að ýmsum rannsóknaverkefnum og sóttu um í sjóð R&Ð hjá Vegagerðinni. Í fundargerðum nefndarinnar er að finna lista um framgang verkefna á sviði nefndarinnar, bæði verkefni sem nefndarmenn tóku sjálfir þátt í og einnig verkefni sem styrkt voru af R&Ð hjá Vegagerðinni, en aðrir sóttu um og stýrðu. Verkefni voru af ýmsum toga og einhver þeirra snérust um rannsóknir á malbiki eða heimildakönnun, en slík verkefni voru í raun í minnihluta og ekki lögð mikil áhersla á malbiksrannsóknir á starfstíma nefndarinnar. Því líkur hér með umfjöllun um störf þessarar merku nefndar sem starfaði til ársins 2007, eða þar til stofnað til Vegvirki nefndarinnar.

1.5 Vegvirki/Rannvirki

Vegvirki (fagnefnd innan Vegagerðarinnar) var sett á laggirnar vorið 2007 undir formennsku Gunnars Bjarnasonar og Pétur Pétursson var ritari nefndarinnar. Nefndin hélt 23 fundi, en árið 2013 var skipt um nafn á nefndinni og hún kölluð Rannvirki, þar sem hafnarmannvirki bættist við fagsviðið við sameiningu Vegagerðarinnar og Vita- og hafnamálastofnunar. Sú nefnd starfar enn þann dag í dag og hefur haldið aðra 23 fundi fram til þessa dags. Hugmyndin með stofnun þessarar fagnefndar var í raun að hún væri eingöngu skipuð starfsmönnum Vegagerðarinnar (auk höfundar þessarar skýrslu sem er ritari) og að hún væri ráðgefandi fyrir stjórn rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar. Nefndin, sem samanlagt er að fylla um 13 ára starf um þessar mundir, var í fyrstu skipuð 9 starfsmönnum Vegagerðarinnar, auk ritara, en ýmsar mannabreytingar hafa þó orðið í gegn um tíðina, eldri starfsmenn lokið störfum, en nýjir tekið við. Nefndin hefur haldið utan um framvindu fjölda rannsóknaverkefna sem eru unnin undir Mannvirkjasviði rannsóknasjóðsins og Þórir Ingason forstöðumaður rannsóknadeildar hefur séð um fram að því að hann lauk störfum um áramóti 2019/2020. Þórir sat fundi nefndarinnar, sem voru þrír til fjórir á ári, og hefur listi yfir rannsóknaverkefni og stöðu þeirra á hverjum tímapunkti verið skráður í fundargerðir nefndarinnar hingað til.

Ekki verður fjallað nánar um störf þessarar nefndar í þessum sögulega yfirlitskafla um vegagerð og malbiksraðsókni, enda urðu viss straumhvörf í rannsóknum og þróun á íslensku malbiki um það leiti sem nefndin var stofnuð, ekki síst með tilkomu hjólfaratækis og Prall tækis á NMÍ. Þá hófst í raun vinna við hönnun á malbiki með nýjum aðferðum með það fyrir augum að það hefði bæði þol gegn skriði undan þungum bílum að sumarlagi og væri einnig slitþolið gagnvart negldum hjólbörðum að vetrarlagi. Sú vinna stendur í raun enn yfir og verður áhersla á að rekja það helsta sem út úr þeim prófunum hefur komið og skilað sér, bæði í Efnisgæðarit Vegagerðarinnar og inn í útboðslýsingar hennar í kaflanum hér á eftir.

Að lokum má benda á eina BSc ritgerð og tvær MSc ritgerðir sem komu út á tímum nefndarinnar og voru að hluta til styrktar af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar en þær eru eftir Ásgeir Harðarson frá 2011²¹ um íblöndun SBS fjölliðu í malbik, Birki Hrafn Jóakimsson frá 2014²² sem fjallaði um deigar formbreytingar í malbiki og Katrínu Þuríði Pálsdóttur frá 2014²³ sem fjallaði um áhrif hitalækkandi íblöndunarefna á eiginleika malbiks. Ekki verður fjallað sérstaklega um innihald og niðurstöður þessara ritgerða hér, en þær vörpuðu ljósi á ýmsa þætti til að bæta eiginleika íslensks malbiks og ættu að vera aðgengilegar á bókasafni HR, HÍ og Vegagerðarinnar.

²¹ Ásgeir Harðarson 2011: Samanburður á malbiki með og án fjölliða. BSc ritgerð við Háskólann í Reykjavík.

²² Birki Hrafn Jóakimsson 2014: Hjólför í íslensku malbiki - Slit og deigar formbreytingar. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

²³ Katrín Þuríður Pálsdóttir 2014: Áhrif íblöndunarefna á efniseiginleika lághitamalbiks. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

2 Malbiksrannsóknir undir nefndinni Rannvirki

2.1 Forsaga – nýr tækjabúnaður

Segja má að með tilkomu nýrra tækja til mælinga á malbiki á Nýsköpunarmiðstöð Íslands árin 2008 og 2009, þ.e.a.s. hjólfaratæki og Prall slitþolstæki, hafi opnast alveg nýjir möguleikar til þess að gera aflrænar prófanir á malbikssýnum. Fyrsta áfangaskýrsla verkefnisins hét „Mat á eiginleikum malbiks fyrir íslenskar aðstæður – Áfangaskýrsla I“ og kom út vorið 2009 (höf AÓA og PP). Síðan þá hafa fjölmargar skýrslur um þetta verkefni komið út, sú síðasta árið 2019, en auk þeirra hafa ýmsar aðrar skýrslur og ritgerðir um malbiksrannsóknir litið dagsins ljós á tímabilinu. Víða koma hjólfaratækið og slitþolstækið við sögu, en einnig önnur rannsókn og greiningartæki. Hér að neðan er stutt lýsing á þessum tveimur tækjum til glöggvunar.

2.1.1 Hjólfarapróf

Eins og fram kemur í kafla 1.5 hér að framan hélt það nokkurn veginn í hendur að nefndin Vegvirki/Rannvirki var sett á laggirnar og keypt var tæki til mælinga á hjólfaramyndun í malbiki vegna skriðs á Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Reyndar fór undirbúningur kaupanna fram hjá Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins rétt áður en hún sameinaðist Iðntæknistofnun. Árið 2008 voru keypt tæki frá fyrirtækinu Controls á Ítalíu til prófana á skriði í malbiki samkvæmt staðlinum ÍST EN 12697-22²⁴ og þá þeim hluta staðalsins sem fjallar um minni gerð tækjabúnaðar (e. small device, method B in air). Í staðli ÍST EN 13081-20²⁵, er tekið fram að minni gerðin henti til mælinga þar sem hámarksöxulþungi ökutækja er undir 13 tonnum. Tækjabúnaðurinn var keyptur með aðstoð frá Tækjasjóði Rannís, Vegagerðinni, Framkvæmdasviði Reykjavíkurborgar og malbikunarstöðunum Höfða og Hlaðbæ-Colas. Tækin sem voru keypt eru í raun tvö, annað er sjálft hjólfaratækið, sem byggt er inn í skáp með hitastýringu, en hitt tækið getur þjappað malbiksplötur sem eru 260-300 mm á breidd, 320-400 mm á lengd og 40-120 mm á þykkt. Þjöppunin líkir eftir þjöppun með valta úti í vegi og er hægt að stjórna hraða (upp í 10 umf/mín) og álagi (upp í 30kN við 7 bara þrýsting). Þjöppunin er gerð eftir staðlinum ÍST EN 12697-33²⁶. Tækjabúnaðurinn sem lýst er hér að ofan er sýndur á myndum 2.1 a) og b) hér að neðan.



a) Hjólfaratækið



b) Malbiksþjappa

Mynd 2.1 Hjólfaratæki og malbiksþjappa á Nýsköpunarmiðstöð Íslands

²⁴ ÍST EN 12697-22: Bituminous mixtures – Part 22: Wheel tracking.

²⁵ ÍST EN 13108-20: Bituminous mixtures – Material specification – Part 20: Type testing.

²⁶ ÍST EN 12697-33: Bituminous mixtures – Part 33: Specimen prepared by roller compactor

Mynd 2.2 sýnir malbiksplötu og hjólið sem ekur á henni með skýringum.



Mynd 2.2 Malbiksplötur og hjólið sem ekur á þeim með skýringum

Gera má prófanir í hjólfaratækinu á sýnum sem þjöppuð eru í malbikþjöppunni, en líka á sýnum sem eru söguð eða kjarnaboruð úr götu eða vegi. Prófið felst í því að að gegnheilt gúmmihjól sem er 200 mm í þvermál, 50 mm breitt úr 20 mm þykkt ekur fram og aftur á malbikssýninu. Á hjólinu er 700 kN álag, lárétt færsla er 23 cm og er hraðinn 26,5 umferðir á mínútu. Heil umferð er keyrsla fram og afur. Sýni er komið fyrir í tækinu og er hafður hliðarstuðningur við það. Hitastýring í skápnum er stillt að gefnum hita (45°C samkvæmt íslenska fylgistaðlinum ÍST 75) a.m.k. fjórum tímum fyrir próf en tíminn ræðst af þykkt sýnis. Þegar próf getur hafist er hjólið fært að sýninu og mæliúr til sigmælinga stillt á upphafsstöðu. Keyrðar eru fimm umferðir og stillingar yfirfarnar áður en raunveruleg keyrsla hefst. Keyrðar eru 10.000 umferðir og í tækinu er hjólfaradýpt skráð sjálfvirkt eftir hverjar 250 umferðir. Þess má geta að í staðlinum er gert ráð fyrir að prófuð séu tvö hlutasýni og niðurstaðan gefin sem meðalskrið beggja platna.

Það eru einkum þrjú gildi sem eru reiknuð eru eftir hjólfaraprófið og byggja þau á þykkt sýnis og hjólfaradýpt við 5000 og 10000 umferðir. Ein er hallatala, (e. wheel-tracking slope, WTS_{AIR}), sem er meðalskrið á hverjum 1000 umferðum, reiknað út frá skriðinu á síðustu 5000 umferðunum. Önnur er hjólfaradýpt eftir 10.000 umferðir (e. rut depth, RD) og sú þriðja er hlutfallsleg hjólfaradýpt eða hve mörg prósent heildarskriðið er af þykkt sýnisins (e. proportional rut depth, PRD).

2.1.2 Prall slitþolspróf

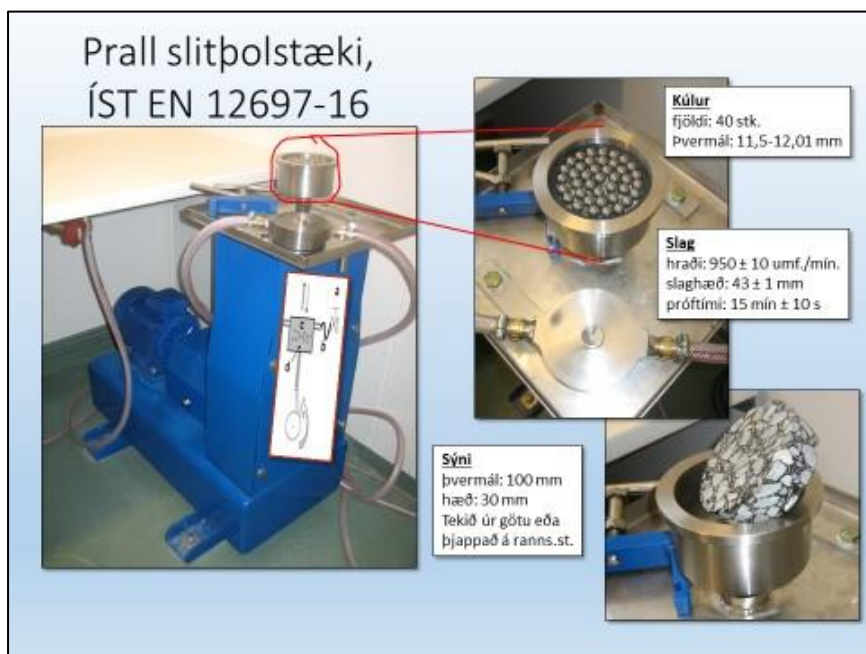
Prall slitmælitæki var keypt til Nýköpunarmiðstöðvar Íslands á árinu 2009, eða árið eftir að hjólfaratækið var fengið þangað. Prófið er ætlað til þess að meta slitþol malbiks gagnvart nagladekkjaáraun. Aðferðin er samkvæmt Evrópustaðli ÍST EN 12697-16²⁷, en hún er sænsk að uppruna.

²⁷ ÍST EN 12697-16: Bituminous mixtures – Part 16: Abrasion by studded tyres

Prófið er gert þannig að sívöl sneið af malbiki sem er um 100 mm í þvermál og 30 mm þykk er komið fyrir í stálhólki til prófunar ásamt 40 stálkúlum sem eru 11,5 mm í þvermál sem liggja ofan á sýninu. Á hólkinn er sett lok sem leyfir vatnsstreymi yfir sýnið, 2 l/mín af 5 +/- 1°C heitu vatni. Tækið hristir síðan hólkinn upp og niður, 950 sveiflur/mínútu í 15 mínútur og er slaglengdin 43 mm og þar með slíta stálkúlurnar malbikinu, mismikið eftir slitstyrk þess.

Sneiðar eru hafðar í vatnsbaði við 5°C í a.m.k. 5 klst fyrir próf. Þyngd og rúmþyngd mettaðra sýnanna er mæld fyrir próf og þyngdin aftur eftir próf. Þyngdartapið er reiknað yfir í millilítra. Í hverju prófi eru prófuð fjögur hlutasýni og er Prall gildið gefið upp sem meðaltal þeirra.

Í sneiðum sem gerðar eru úr borkjörnum er álagið sett á vegyfirborðið en í þeim sem sagaðar eru úr sívalningum þjöppuðum á rannsóknastofu, er áraunin sett á sagarfarið. Prallgildi eru því ekki alveg sambærileg milli sýna teknum úr götu og sýna útbúnum á rannsóknastofu. Mynd af Prall tækinu og skýringar eru birtar á mynd 2.3 hér að neðan.



Mynd 2.3 Prall slitpolstæki með skýringum

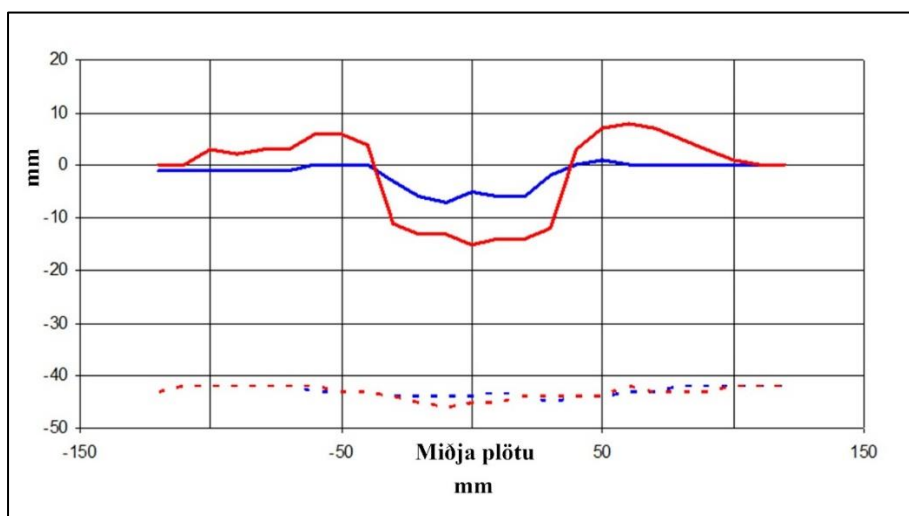
2.1.3 Önnur próf

Á því tímabili sem um ræðir í þessum kafla, eða á dögum Vegvirkis/Rannvirkis hefur malbik verið prófað á margvíslegan hátt, auk prófana í tækjunum sem fjallað er um hér að ofan. Má þar nefna ýmis hefðbundin próf, svo sem samanburð á niðurstöðum mælinga á malbikssýnum milli prófunarstofa. Einnig má nefna ýmis próf á mélusýnum (e. filler), t.d. laser kornadreifing, rúmþyngd, holrýmd og yfirborðsflatarmál sýnanna. Einnig má nefna mælingar á hitastigi malbiks við útlögn og innleiðingu hitamyndavéla á útlagnarvélar. Fyrst eru dregnar saman rannsóknir á hjólfaramyndun vegna skriðs í hjólfarataeki, síðan um slitmælingar í Prall slitpolstæki og loks verður fjallað um helstu prófanir með hefðbundnum aðferðum, hitamælingar, svo og prófanir á mélusýnum. Þess má geta hér að lýsing á prófunaraðferðum er að finna viðauka 1 í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar, með tilvísun í staðla sem lýsingarnar byggjast á. Sjá: <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/leidbeiningar-og-stadlar/efnisrannsoknir/>.

2.2 Mælingar á hjólfaramyndun í hjólfaratæki

2.2.1 Tímabilið frá 2008 til 2010

Mælingar á skriði í malbiki hófust þegar tækjabúnaður hafði verið settur upp árið 2008 á Nýsköpunarmiðstöð Íslands að frumkvæði höfundar þessarar skýrslu. Sérstakt pláss var innréttað í svokölluðu Malbikssetri utan um nýja tækjabúnaðinn, þ.e.a.s. malbikspjöppuna og hjólfaratækið sjálft. Þess ber að geta að Arnþór Óli Arason (AÓA) jarðfræðingur sá um allar prófanir í hjólfaratækinu fyrstu árin, eða þar til hann lét af störfum hjá NMÍ. Eins og fram kemur í 1. áfangaskýrslu verkefnisins var fyrst prófuð ein plata sem söguð hafði verið úr Reykjanesbrautinni, af tvemur malbikslögum, þar sem efra lagið var AC16 stífmalbik með Durasplitt steinefni og „mjúku“ bikbindiefni, eða PG 160/220. Það láðist að setja við plötuna hliðarstuðning við prófum og þar sem stuðning vantaði fór malbiksplatan í spað eftir aðeins 4000 umferðir við 45°C voru hjólförin komin yfir 20 mm og prófinu því lokið. Þá voru tvær sagaðar plötur eftir og voru þær prófaðar með stuðningi önnur við 35°C og hin við 45°C. Fram kom mikill munur á skriði í plötunum, þar sem lægra hitastigið gaf hjólfaramyndun upp á rúma 5 mm en hærra hitastigið rúma 12 mm. Þarna kom skýrt fram hversu miklu máli hitastig malbikssýnisins skiptir við prófun, en þess skal getið að samkvæmt staðli er lágmarkshitastig við prófun í hjólfaraprófi 45°C og hefur það verið valið hérlandis (Norðmenn prófa við 50°C). Eftir að plöturnar tvær höfðu verið sagaðar þvert á miðri plötu mældi AÓA hjólförin eins og sjá má á mynd 2.4.



Mynd 2.4 Þversnið af hjólfaramyndun í plötum úr vegi við 35°C og 45°C

Rauða, heildregna línan sýnir yfirborð malbiksplötunnar sem mæld var við 45°C í þversniðinu og bláa sýnir yfirborð plötunnar sem var prófuð við 35°C. Punktalínurnar marka lagamót yfirlagsmalbiks og undirlagsmalbiks, en hver plata var um 100 mm þykk samanlagt. Myndin sýnir að yfirborðið sem rauða heildregna línan táknar gúlpast upp sitt hvoru megin við hjólfarið sjálft, sem eru dæmigerð einkenni vegna skriðs í malbiki. Bláa línan sýnir hins vegar ekki sömu einkenni skriðs og má telja að í því tilfalli hafi að hluta til verið um eftirþjöppun að ræða, en þess má geta að holrýmd mældist mjög há í báðum lögum. Lítil sem engin hreyfing átti sér stað á lagamótum malbikslaganna í báðum tilfellum.

Þessar fyrstu þreifingar með hjólfaratækinu gáfu mikilvægar upplýsingar um mikilvægi þess að halda hitastigi í hjólfaratækinu mjög stöðugu við prófun, en einnig kom á óvart hversu djúp hjólför mynduðust í plötunni sem var prófuð samkvæmt staðli við 45°C. Næsta skref var að þjappa fimm plötur í malbikþjöppunni, allar eins og prófaðar samkvæmt staðli við 45°C (reyndar var ein prófuð við um 40°C vegna mistaka). Í ljós kom að ekki var mikill munur á myndun hjólfara í þessum plötum, sem gaf vísbendingu um að endurteknar mælingar gæfu svipaðar niðurstöður sem er jákvætt hvað aðferðina varðar. Heildarhjólför (e. rut depth, RD) mældust í öllum tilfellum á milli 8 og 9 mm og hallatalan/1000 umferðir (e. wheel tracking slope, WTS) síðustu 5000 umferðirnar á bilinu 0,3 til 0,4. Í samanburði við norskar kröfur sem settar höfðu verið fram í handbókinni 018 Vegbygging (nú N200) varð strax ljóst að mun meira skrið mældist í þessum þjöppuðu malbiksplötum en svo að þær stæðust kröfurnar, nema fyrir mjög litla umferð. Þetta var nokkurt áhyggjuefni og ekki þótti tímabært að setja fram neinar kröfur um niðurstöður hjólfaraprófa í Efnisgæðaritið að svo komnu máli.

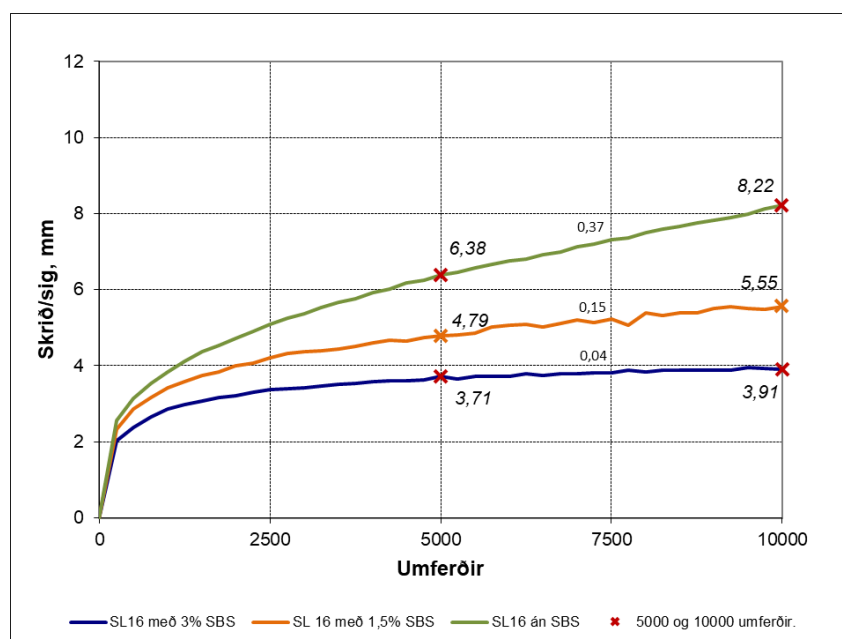
Áfanga 2 í verkefninu um malbiksrannsóknir, sem unnin var að mestu árið 2009 lauk með skýrslu í mars 2010. Þegar hér var komið sögu var ákveðið að saga malbiksplatta úr annarri malbiksgerð en prófuð var í fyrri áfanga. Fyrir valinu varð SMA16 steinríkt malbik úr Ártúnsbrekkunni með norska steinefninu Ottersbo og „mjúku“ bikbindiefni, eða PG 160/220, eins og algengast var að nota á þeim tímum í malbik. Það er skemmst frá því að segja að niðurstaða hjólfaraprófs á þessu malbiki var afar lík og í plötunum sem teknar voru af Reykjanesbrautinni árið áður. Prófað var samkvæmt staðli við 45°C, en einnig við 35°C í rannsóknarskini og til samanburðar við mælingar fyrra árs. Í ljós kom að kaldari keyrslan gaf hjólfaradýpt um 6 mm (var um 5 mm á Reykjanesbrautinni) og heita keyrslan gaf hjólfaradýpt um 13 mm (var um 12 mm á Reykjanesbrautinni). Það var því ekki að sjá neinn afgerandi mun á þessum tveimur malbiksgerðum sem teknar voru úr vegi.

Annar verkþáttur þessa áfanga var að gera samanburð á hjólfaramyndun í malbiki með mishörðu bikbindiefni, sem sagt annars vegar með PG 70/100 og hins vegar með PG 160/220. Sýnin tvö sem fengin voru til prófana voru að mestu leyti svipuð eins og til stóð, en bikgerðin mismunandi hörð. Þó var nokkur munur á kornadreifingu í sandstærðum og einnig munaði aðeins í bindiefnismagni. Hvað sem því líður má segja að í þessum samanburði (tvær plötur af hvorri gerð) hafi komið ótvírætt í ljós að skrið er umtalsvert minna í malbiki með hörðu biki en mjúku, eins og vænta mátti. Í ljós kom að hjólfaradýptin (RD) mældist 6,8 mm með harða bikinu, en 9,2 mm með því mjúka og hallatalan síðustu 5000 umferðirnar (WTR) reyndist 0,2 í fyrri tilfellingu og 0,4 í því seinna. Stífmalbik (AC) með mjúku biki var sem sagt að koma út með svipaða hjólfaramyndun og sýnin fimm sem þjöppuð voru í fyrsta áfanganum (ýfið lakara þó). AC malbik með hörðu biki reyndist hins vegar með minnstu hjólfaramyndun sem mælst hafði hérlendis fram að þessu, en þó með mun lakari niðurstöður en svo að það stæðist erlendar kröfur hvað skriðeiginleika varðar.

Í þessum áfanga var einnig kannað hvort munur fengist á malbiksgerðunum Stífmalbiki (AC) og Steinríku malbiki (SMA), að öðru óbreyttu en kornadreifingu og bæði með mjúku biki (PG 160/220). Reyndar mældist meira bikinnihald og minna fínefni í SMA malbikinu, en það eru hvorugt þættir sem ættu að auka skriðmótstöðu malbiks, þvert á móti. Í ljós kom að SMA malbikið

fékk 7,9 mm hjólför (RD) og AC malbikið 9,8 mm hjólför og hallatölurnar síðustu 5000 umferðirnar voru 0,3 í fyrra tilfellinu og 0,4 í því seinna. Það kom sem sagt í ljós að líkur eru á að SMA malbik hafi eitthvað meiri skriðmótstöðu en AC malbikið, en þó virtist bindiefnisgerðin afgerandi í báðum tilfellum og harða bikið sem prófað hafði verið í sama áfanga hafði enn vinningin.

Til þess að hafa þessa sögu malbiksraðsókna í nýjum tækjabúnaði á Íslandi samfellda er hér á eftir umfjöllun um rannsóknaverkefni sem Ásgeir Rúnar Harðarson, nemandi við Háskólann í Reykjavík, gerði í hjólfarataeki NMÍ sumarið 2010. Verkefnið var styrkt af Nýsköpunarsjóði námsmanna (Rannís), Reykjavíkurborg, MHC og NMÍ og umsjónarmenn voru Pétur Pétursson (NMÍ), Sigbór Sigurðsson (MHC) og Ingunn Sæmundsdóttir (HR). Í stuttu máli sneri verkefnið að því að útbúa og prófa, m.a. í hjólfarataekinu, malbik með og án SBS fjölliðu í mismiklu magni, sem sagt 0%, 1,5% og 3,0%. Sótt var steinefnið Durasplitt frá MHC í fjórum stærðarflokkum til að útbúa AC16 kornakúrfu, sem var á þeim tíma hönnuð fyrir umferðarmikla vegi. Stærðarflokkarnir voru vigtaðir saman, SBS bætt út í eftir atvikum 160°C heitt steinefnið og hrært saman og síðan 150°C heitt PG 160/220 bindiefni (með viðloðunarefni) hrært saman við. Útbúnir voru tveir plattar af hverri gerð og hvert par svo sett í hjólfarapróf. Mynd 2.5 sem unnin er upp úr skýrslu Ásgreirs Rúnars sýnir að það er sláandi munur á niðurstöðum prófana.



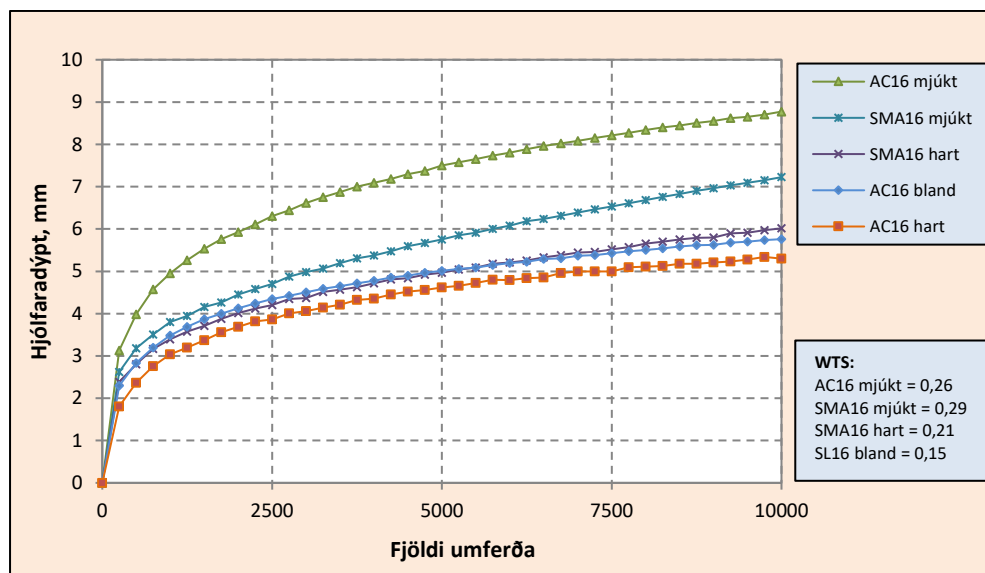
Mynd 2.5 Áhrif íblöndunar SBS fjölliðu á hjólfaramyndun í malbiki

Myndin sýnir að malbiksgerðin með engum fjölliðum fær hjólfaradýpt upp á 8,22 mm (RD) og hallatölu síðustu 5000 umferðirnar um 0,4 (WTS), en það er nokkurn veginn í samræmi við fyrri prófanir á malbiki með mjúku biki. Malbiksblöndun með 1,5% SBS fær næstbestu niðurstöðu úr hjólfaraprófi fram til þessa héraðs með hjólfaradýpt upp á 5,6 mm (RD) og hallatölu síðustu 5000 umferðirnar um 0,15 (WTS). Loks fær malbiksblöndun með 3,0% SBS langbestu niðurstöðu úr hjólfaraprófi fram til þessa héraðs með hjólfaradýpt upp á 3,9 mm (RD) og hallatölu síðustu 5000 umferðirnar um 0,04 (WTS). Með þessu verkefni hafði loksins tekist að búa til malbik á rannsóknastofu sem stóðst nokkurn veginn ítrustu kröfur sem settar höfðu verið í nágrannalöndunum um skriðmótstöðu malbiks fyrir umferðarmikla vegi.

Í mars árið 2011 komu út tvær skýrslur um malbiksrannsóknir sem styrktar voru af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar og snéru að stórum hluta að áframhaldandi prófunum á íslensku malbiki í hjólfarataekinu. Önnur skýrslan lýsir niðurstöðum prófana á bæði AC stífmaliki og SMA steinríku malbiki sem hrært var saman á NMÍ með mishörðu biki (Áhrif bikgerðar á slit- og skriðeiginleika malbiks). Prófuð voru þrjú sett af AC16 malbiki með Seljadalsefni. Eitt sett var með mjúku biki (PG 160/220), annað með hörðu biki (PG 70/100) og það þriðja með blöndu þessara bikgerða í jöfnum hlutföllum. Af SMA16 steinríku malbiki, einnig með Seljadalsefni, voru prófuð tvö sett, annað með mjúku biki og hitt með hörðu biki.

Í ljós kom áberandi munur á hjólfaradýpt (RD) og hallatölu (WTS) AC16 stífmalbiks með mjúku biki (PG 160/220) og hörðu (PG 70/100). Hjólför í fyrrnefnda sýninu voru 8,8 mm, en 5,3 mm í síðarnefnda, sem er í samræmi við það sem áður hafði verið sett fram í fyrri áfanga þessa verkefnis. Hjólfaradýpt (RD) í sýninu með blandbikinu (1:1) var 5,8 mm og því mun nær því harða en mjúka. Það sést einnig á hallatölunni (WTS) að blandaða bikið er mun nær því harða varðandi skriðeiginleika, en halli ferils á hverjum 1000 umferðum á síðustu 5000 umferðunum er 0,25 í mjúka bikinu, 0,15 í blandbikinu og 0,14 í því harða. Varðandi prófanir á SMA16 steinríka malbikinu mældist, eins og við var að búast, hjólfaradýpt (RD) sýna með mýkra bikinu meiri en í því stífara eða 7,2 mm á móti 6,0 eftir 10000 umferðir. Það er ekki mikill munur, en hallatalan (mm á hverjum 1000 umferðum á síðustu 5000 umferðunum, WTS) er 0,29 í því mýkra og 0,21 í því stífara og hefði munur halla ferils vafalaust aukist með fleiri umferðum.

Settar voru fram tvær myndir til að sýna muninn á niðurstöðum milli sýna, bæði hjólfaramyndun á 10000 umferðum (RD) og hallatalan (WTS), sjá mynd 2.6 sem unnin er upp úr skýrslugögnum hér að neðan.



Mynd 2.6 Niðurstöður mælinga úr hjólfaraprófi

Ferlarnir lýsa hjólfaradýpt sem fall af umferðum (RD eftir 10000 umferðir), en hallatölur hvers ferils eftir 1000 umferðir síðustu 5000 umferðirnar (WTS) eru gefnir upp í skýringum. Það er ljóst að AC16 stífmalbik með mjúku biki (PG 160/220) hefur minnsta mótstöðu gegn skriði þar sem hjólfaramyndun (RD) er tæpir 9 mm. SMA16 steinríkt malbik með mjúku biki fær rúmlega 7 mm

djúp hjólför (RD), en er hins vegar með hærri hallatölu (WTS) sem þýðir að ef fleiri umferðir væru keyrðar á þessum sýnum, myndi bilið minnka í heildarhjólfaramyndun (RD). Hvað varðar malbikssýnin með harða bikinu (PG 70/100) og blandbikinu má segja, að þær niðurstöður séu allar á svipuðu róli, með hjólfaradýpt (RD) frá 5,3 mm til 6,0 mm. Hins vegar er hallatala SMA steinríka malbiksins (WTS) umtalsvert hærri en hallatölur AC stífmalbiksgerðanna með hörðu biki og blandbiki. Segja má að þessar niðurstöður bendi ekki til þess að SMA malbik skríði marktækt minna en AC malbik, sérstaklega ekki ef um hart bik er að ræða. Því má rengja þá ályktun sem fram kom í áfangaskýrslu 2 að hugsanlega væri skriðmótstaða SMA malbiks meiri en AC malbiks, þótt það væri ekki afgerandi niðurstaða, enda fáar mælingar að baki. Annað sem er atyglisvert í þessum samanburði er að blandbikið, sem blandað var úr PG 70/100 og 160/220 bikgerðunum í hlutfallinu 1:1, reyndist liggja mun nær niðurstöðum sýna með hörðu biki en mjúku. Þó verður að benda á að hér er einungis um að ræða eitt plötupar með blandbiki og þessi niðurstaða hefur ekki fengist sannreynd með endurteknum prófunum þar sem þær prófanir hafa ekki verið gerðar.

Eins of fyrr segir komu út tvær skýrslur um malbiksrannsóknir, m.a. með hjólfaraprófi, í mars 2011, önnur er sú sem fjallað er um hér að framan, en hin var nefnd áfangaskýrsla 3 malbiksverkefnisins. Í þeirri skýrslu er meðal annars fjallað um niðurstöður hjólfaraprófana á nokkrum gerðum malbiks frá þremur malbiksframleiðendum sem send voru til þjöppunar og prófana á NMÍ.

Malbikunarstöð Akureyrar sendi inn tvær gerðir af malbiki, báðar af gerðinni AC16 stífmalbik, en önnur gerðin með steinefni frá Krossanessnámu og hin með Durasplitt steinefni. Í báðum tilfellum var mjúkt bik (PG 160/220) notað í malbikið. Mæling á kornadreifingu og bindiefnisinnihaldi leiddi í ljós að fínefnamagn var 6,0% og bindiefnismagn 5,6% í sýninu með Krossaneseefni og fínefni 4,8% og bindiefni 4,5% í sýninu með Durasplitt. Að auki var kornadreifing beggja malbiksgerðanna utan markalína í sandstærðum (vantaði sandstærðir). Segja má að hönnun malbiksins frá Akureyri hafi verið ábótavant og að það hafi haft áhrif á niðurstöður hjólfaraprófa, en malbikið með Krossaneseefni mældist með hjólfaradýpt (RD) 11,3 mm og hallatölu (WTS) 0,57 og sú með Durasplitt steinefni mældist með hjólfaradýpt 12,6 mm og hallatölu 0,74. Hér er því um að ræða hæstu mælingar á sýnum sem þjöppuð voru í malbiksþjöppu sem mæld höfðu verið hérlendis frá upphafi. Þess má geta sérstaklega hér að yfirmaður vega- og gatnagerðar á Akureyri var látinn vita sérstaklega af þessum slæmu niðurstöðum úr hjólfaraprófi. Engin viðbrögð bárust þó við þeim upplýsingum og í raun ekki vitað hvort brugðist hafi verið við upplýsingunum.

Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas sendi inn tvær gerðir malbiks til prófana í hjólfaratækinu, báðar af gerðinni AC11 stífmalbik með Durasplitt steinefni og mjúku biki (PG 160/220). Malbiksgerðirnar voru að mestu leyti eins hvað varðar kornadreifingu og bindiefnismagn (5,3 og 5,5%), en í annarri gerðinni voru 3% af Sasobit vaxi en ekkert vax í hinni. Þessari gerð af vaxi er ætlað að gera malbikið þjálara og vinnanlegra þótt hitastig blöndunnar falli (niður í u.þ.b. 100°C), en stífara en ella þegar malbikið kólnar. Niðurstöður hjólfaraprófa á þessum tveimur gerðum malbiks voru þær að hefðbundna malbikið (án Sasobit) mældist með hjólfaradýpt (RD) 7,5 mm og hallatölu (WTS mm á hverjar 1000 umferðir síðustu 5000 umferðirnar) 0,3. Þessar niðurstöður eru í takt við fyrri mælingar á hefðbundnu malbiki með mjúku biki og án sérstakra íblöndunarefna, þó jafnvel í lægri

kantinum miðað við fyrri prófanir. Sýnið með Sasobit vaxi fékk hins vegar hjólfaradýpi (RD) 5,2 mm og hallatölu 0,1, sem er með því allra besta sem mælst hafði á íslensku malbiki. Þó slá þessar niðurstöður ekki út niðurstöður mælinga á malbiki með 3% SBS fjölliðu sem lýst er hér að framan (RD 3,9 mm, sbr. mynd 2.5), en er nokkurn veginn á pari við malbikið með 1,5% SBS fjölliðu. Segja má að þessar niðurstöður hafi verið áhugaverðar og til þess fallnar að kanna nánar notkun á vaxi í malbik til jafns við fjölliður.

Sýnið frá Höfða var af gerðinni SMA16 steinríkt malbik með norsku Ottersbo steinefni í grófari hlutanum, en Seljadal í þeim finni og bikið var mjúkt (PG 160/220). Sáldurferillinn var að mestu innan markalína fyrir SMA16 steinríkt malbik samkvæmt Efnisgæðaritinu, en þó mældist of lítið af fínefni (og reyndar fínsandi einnig), eða $6,3\% < 0,063$ mm, en neðri fínefnamörkin eru 8% í ritinu. Plötubjappan átti erfitt með að hnoða steinefnaríkt og gróft malbikið og varð holrúm í plötunum nálægt 7% mælt í lofti og vatni. Mælingin í hjólfaraprófinu tókst hins vegar vel og voru ferlarnir úr plötuparinu næstum eins. Hjólfaradýptin (RD) mældist 8,8 mm og hallatalan (WTS) var 0,3 mm/1000 umferðir síðustu 5000 umferðirnar. Enn og aftur kemur í ljós að hjólfaramyndun (RD) í malbiksplötum með mjúku biki (PG 160/220) og án sérstakra íblöndunarefna sem þjappaðar eru í malbiksþjöppu er um það bil 9 mm með vilmörkum af stærðarbilinu 2 mm til eða frá.

2.2.2 Umræða um mælingar á skriði 2008 til 2010

Niðurstöður hjólfaramælinga á algengum malbiksgerðum með mjúku biki (PG 160/220) sem voru í notkun hérlendis á þessum tímum ollu nokkrum áhyggjum, sérstaklega með hliðsjón af kröfum sem Norðmenn höfðu sett fram. Ennig hafði höfundur þessarar skýrslu rætt íslenskar niðurstöður úr hjólfaraprófi við nefndarmenn í staðlanefnd CEN/TC227/WG1 (e. Road materials – Bituminous mixtures) og voru þeir á einu máli um að þessar niðurstöður væru afar háar. Reyndar var það svo á þessum tímum að undirritaður þurfti að hafa sig í frammi til að toga gildi í kröfuflokkum framleiðslustaðla upp á við, þannig að niðurstöður á íslensku malbiki væru hreinlega ekki utan hæstu gilda.

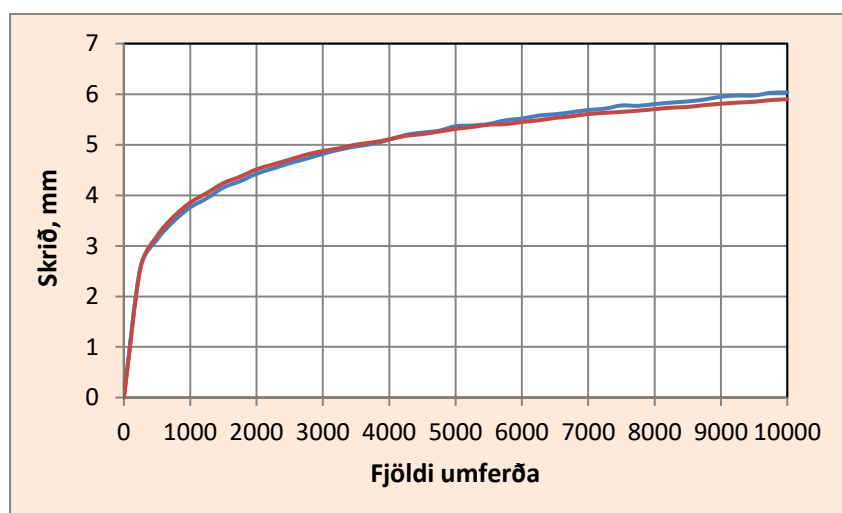
Á þessu tímabili voru gerðar kröfur um sig- og skriðeiginleika malbiks samkvæmt Marshall-aðferðinni í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar, en Gunnar Bjarnason og Pétur Pétursson sjá um reglulega endurskoðun ritsins ár hvert. Þeim var ljóst (sem virkir þátttakendur í Evrópustaðlanefndinni um malbiks), að Marshall-prófið var ekki í boði fyrir malbik á götur og vegi í viðkomandi stöðlum og mátti aðeins nota til prófana á flugvallamalbiki. Í framleiðslustöðlunum fyrir AC stífmalbik og SMA steinríkt malbik, sem nánast eingöngu var notað hérlendis þá og er enn, eru margskonar kröfuflokkar sem velja má úr flokka, allt frá kornadreifingu, bindiefnisinnihaldi, holrýmnd og fleiri eiginleika, meðal annars hjólfaramyndun í hjólfaraprófi. Þegar hér var komið sögu var enn ekki grundvöllur til að setja fram raunhæfar tölulegar kröfur um hjólfaramyndun í íslensku malbiki, þar sem enn voru margar gerðir malbiks sem myndu þá falla á kröfunum. Ákveðið var við endurskoðun Efnisgæðaritsins sem kom út í janúar 2011, að gera umtalsverðar breytingar á kafla 6 þar sem fjallað er meðal annars um efniskröfur til malbiks. Þá var sett inn ákvæði um að framleiðendum bæri að setja fram yfirlýsingu um niðurstöðu hjólfaraprófs (auk annarra upplýsinga) við gerðarprófanir (e. Type testing) hverrar malbiksgerðar.

Þetta átti þó einungis við um þær gerðir malbiks sem ætlað var að standast umtalsvert umferðarmagn.

Segja má að á þennan hátt hafi verið hafist handa við að innleiða hjólfarapróf sem prófunaraðferð sem framleiðendum malbiks bar að láta gera fyrir ákveðnar gerðir malbiks, þótt ekki hafi verið settir fram kröfuflokkar á þessum tímavertíð, þ.e.a.s. um áramótin 2010/2011. Segja má að í framhaldinu hafi verið gerðar ýmsar prófanir með það að markmiði að ná hjólfaramyndun vegna skriðs enn meira niður í íslensku malbiki. Staðreyndin var sú að hjólfaramyndun í hjólfaratækinu var enn tiltölulega mikil miðað við erlend samanburðargögn, sérstaklega ef um mjúkt bik (PG 160/220) var að ræða.

2.2.3 Tímabilið 2011 til 2013

Fjórða áfangaskýrsla verkefnisins um malbiksraðsókni kom út í mars 2012 og fjallaði um niðurstöður prófana á árinu 2011. Tilgangur þessa áfanga var nokkuð klipptur og skorinn og snerist um áhrif sements í fínefni (< 0,063 mm) á skriðeiginleika malbiks. Notað var steinefni úr Seljadalsnámu með AC16 stífmalbiks kornakúrfu. Malbikið var útbúið og blandað á rannsóknastofu og var bikið mjúkt (PG 160/220) og bikmagnið 5,8% í öllum tilfellum. Fengið var mælusýni hjá Malbikunarstöðinni Höfða og það notað sem 8% af því sem smýgur 0,063 mm sigti malbikssýnanna, alls 3 plötur og einnig var prófað að blanda 3% sementi í fínefni á móti 5% fínefna í þeim tilfellum, einnig 3 plötur. Skriðeiginleikar sýnanna voru síðan prófaðir með hjólfaratækinu. Uppruni þeirrar mélu sem notast var við í þessum verkþætti var að stofni til úr Björgunarefni, þar sem malbiksframleiðsla á þeim árstíma sem sýnið var tekið var með Björgunarefni. Það er skemmst frá því að segja að segja að allar hjólfaramælingarnar voru mjög svipaðar og mynd 2.7 sýnir að meðaltal ferlanna af hvorri gerð fínefnis renna nokkurn veginn saman. Þess má geta að meðalhallatalan, sem sagt skrið/1000 umferðir síðustu 5000 umferðirnar (WTS), var um 0,1 í báðum tilfellum.

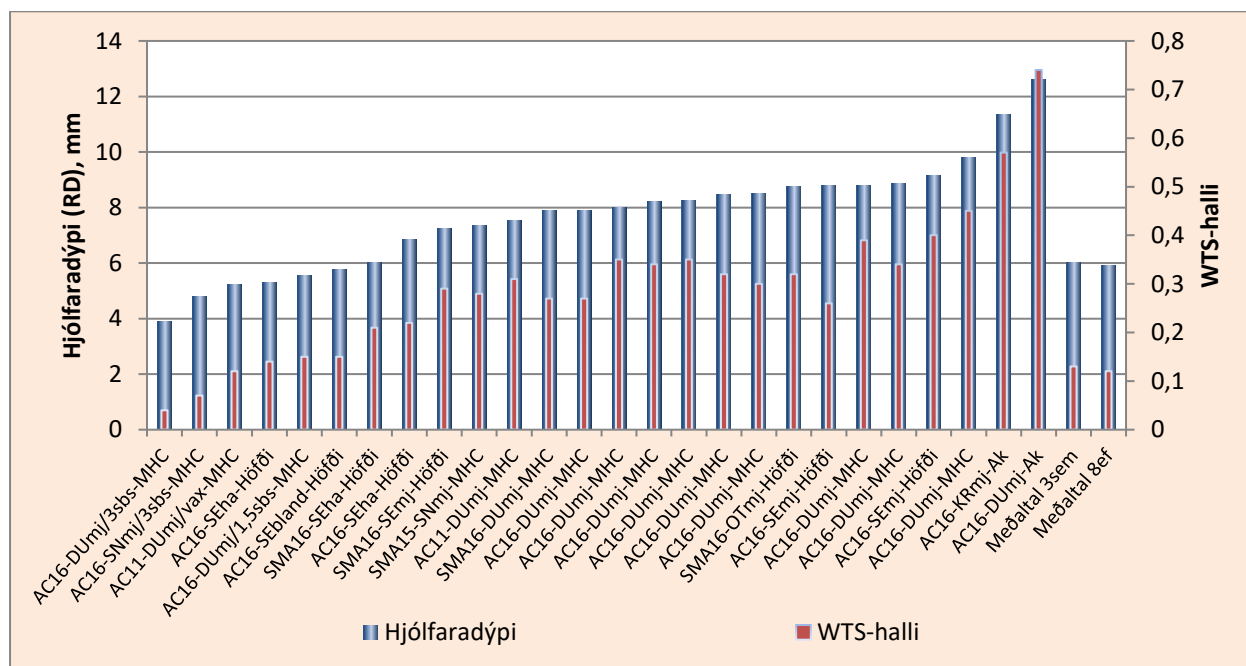


Mynd 2.7 Meðalhjólfaradýpt með 8% fínefni (rauður) og 5% fínefni og 3% sement (blár)

Þrátt fyrir að ekki er sýnt fram á að 3% íblöndun sements í stað fínefnis hafi teljandi áhrif á mótstöðu gegn skriði er vel hugsanlegt að sementið hafi aðra jákvæða eiginleika, t.d. hvað varðar viðloðun í malbiksmassanum, en engar rannsóknir í þá veru voru gerðar. Hins vegar var eftir því

tekið að hjólfaradýpt (RD) í öllum plötunum var nálægt 6 mm, sem var á þeim tíma talsvert lægra gildi en aðsend malbikssýni með mjúku biki (PG 160/220) höfðu fengið eftir þjöppun og keyrslu.

Mynd 2.8 hér að neðan er unnin upp á mynd í áfangaskýrslu 4 og sýnir niðurstöður þeirra prófana sem gerð höfðu verið undir hatti þessa malbiksverkefnis fram að þessum tíma. Auk þess eru niðurstöður úr námsverkefni Ásgeirs Rúnars Harðarsonar um íblöndun SBS fjölíða, svo og tveggja mælinga á vegum MHC með steinefni frá Snasanámu (SN á mynd).

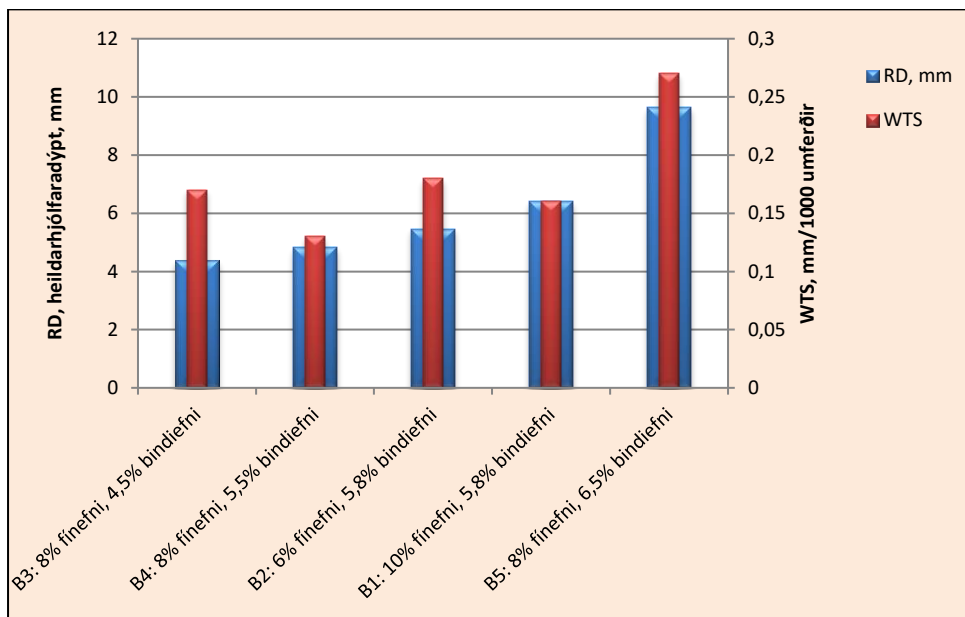


Mynd 2.8 Hjólfaradýpi (RD) og WTS-halli í íslensku malbiki sem þjappað var í malbiksþjöppu

Það hefur verið fjallað um flestar þessar niðurstöður hjólfaraprófa hér að framan, en það er athyglisvert að rifja þetta upp hér. Á þessum tíma hafði náðst ein mæling sem var undir 4 mm í hjólfaradýpt (RD), sem sagt með 3% SBS fjölíðu. Næst á eftir eru malbiksgerðir sem eru annað hvort með SBS og Sasobit vaxi, svo og með hörðu biki, allt undir 6 mm hjólfaradýpt. Síðan má sjá lengst til hægri tvær súlur sem sýna niðurstöðurnar með og án sements, bæði um 6 mm hjólfaradýpt og þó með mjúku biki (PG 160/220). Það sem er með hjólfaradýpt (RD) 6 mm og reyndar að mestu 8 mm og yfir er svo malbik með mjúku biki og án fjölíða. Það sem sker sig frá í þessu sambandi er að sýnin sem um ræðir hér eru samsett á rannsóknastofu, en önnur sýni með mjúku biki og engum íblöndunarefnum eru ættuð úr framleiðslu í stöð. Hvort það hafi marktæk áhrif skal ósagt látið, en hugsanlegt er að kólnun malbiksins og upphitun síðar, þ.e.a.s. fyrir próf hafi einhver neikvæð áhrif á skriðeiginleika malbiksins.

Áfangaskýrsla 5 um malbiksraðsóknir ársins 2012 kom út í mars 2013. Í skýrslunni er fjallað um niðurstöður rannsókna ársins í þremur ólíkum liðum.

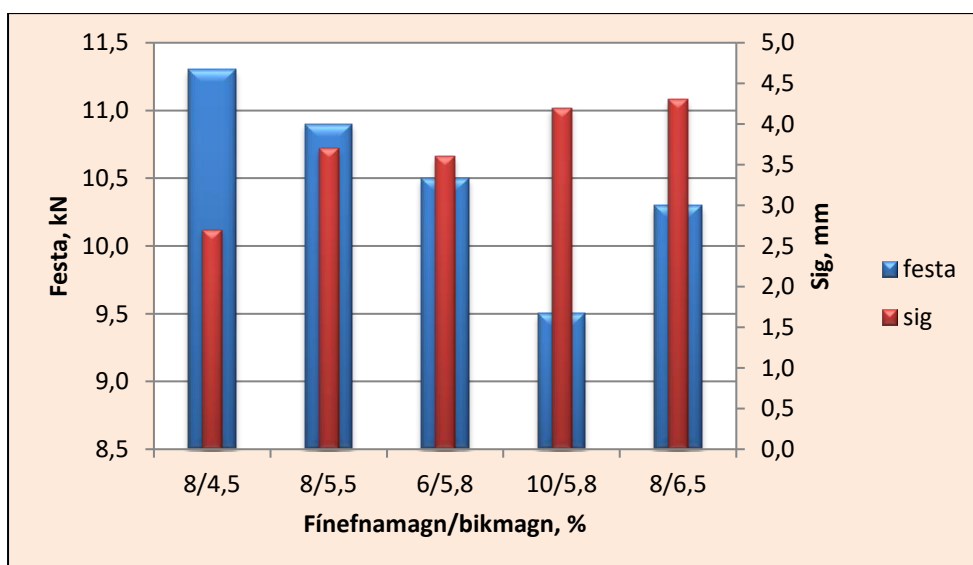
Í fyrsta lið var kannað hvaða áhrif mismunandi fínefnainnihald og bikmagn hefði á skriðeiginleika malbiks með hjólfaraprófi og hefðbundnu Marshall-prófi. Útbúin voru sýni af fimm AC16 stífmalbiksgerðum úr Seljadalsefni með mjúku biki (PG 160/220), allar með mismiklu magni af fínefni og/eða bikbindiefni. Niðurstöður hjólfaraprófana eru sýndar á mynd 2.9 hér að neðan.



Mynd 2.9 Meðalskrið í malbikssýnum B1 til B5, raðað eftir heildarhjólfaradýpt (RD)

Það sést á myndinni að sýnið sem sker sig áberandi úr er B5 með 8% fínefni og 6,5% bindiefni, þ.e.a.s. það sýni sem er með hæsta hlutfall bindiefnis, með hjólfaradýpt (RD) 9,6 mm og hallann (WTS) 0,27 mm/1000 umf., síðustu 5000 umferðirnar. Sýnið sem er með minnstu hjólförin (RD) er með 8% fínefni, en einungis 4,5% bindiefni, en þess ber að geta að það sýni tók ekki þjöppun almennilega vegna vöntunar á bindiefni og slíkt malbik myndi að öllum líkindum trosna upp úr vegi. Sýnið með 8% fínefni og 5,5% bindiefni kemur einna best út úr þessari, takmörkuðu rannsókn, með hjólfaramyndun (RD) undir 5 mm og hallatölu (WTS) rétt yfir 0,1. Það er sem sagt hægt að gera ráð fyrir að hæfilegt bindiefnismagn liggi á bilinu 5,5-6,0% og hæfilegt fínefnamagn gæti verið um 8% í þessu AC16 malbiki með mjúku biki (PG160/220).

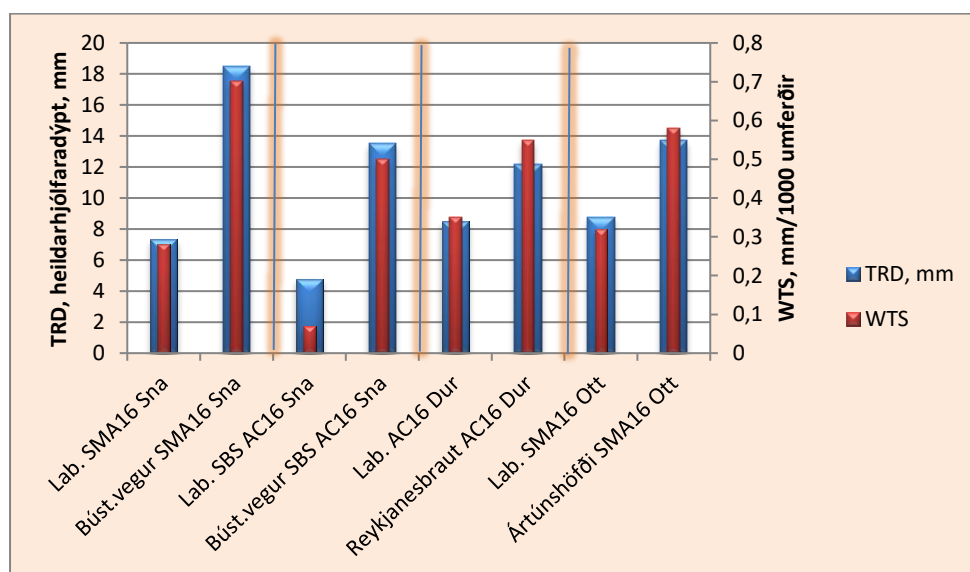
Eins og fyrr segir voru einnig útbúin Marshall-sýni til prófunar á festu og sigi, auk holrýmdarmælinga. Niðurstöður Marshall-prófana eru sýndar á mynd 2.10 hér að neðan.



Mynd 2.10 Niðurstöður mælinga á festu og sigi í malbiksblöndum B1 til B5

Myndin sýnir svipaða tilhneygingu sýnanna og kom fram í hjólfaraprófi (súlurnar eru í sömu röð og á mynd 2.9), þ.e.a.s. sýnið með 4,5% bindiefnismagni hefur hátt festugildi, en tiltölulega lágt siggildi, en það stafar af því að bindiefnismagnið er of lítið og holrýmdin því allt of há. Aftur má segja að sýnið með 8% fínefni og 5,5% bindiefnismagni komi einna best út með festu um 11 kN og sig um 3,7 mm. Þess má geta að samkvæmt Efnisgæðaritinu er æskilegt að festa sé yfir 5 kN og sig á bilinu 1,5 til 5,0 mm og eru öll sýnin innan þeirra marka og öll með festu yfir 9 kN og sig á bilinu 2,7 til 4,3 mm. Loks má benda á að nokkuð sannfærandi fylgni er á milli til dæmis hjólfaramyndunar (RD) í hjólfaraprófi og sigs úr Marshall-prófi, en gagnasafnið er auðvitað einungis fimm gildi til að bera saman.

Annar þáttur þessa áfanga var að taka sýni af malbiki úr Bústaðavegi haustið 2012, en þar hafði Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas frumkvæði að því að leggja tilraunakafla sumarið 2011 með tvenns konar malbiki. Báðar gerðirnar voru með steinefni frá Snasa og mjúkt bik (PG 160/220), annars vegar AC16 með 3% SBS fjölliðu og hins vegar hefðbundið SMA16 án íblöndunar með fjölliðu. Áður höfðu þessar malbiksgerðir verið sendar til NMÍ við framleiðslu á tilraunakaflana og sett meðal annars í hjólfarapróf. Því þótti áhugavert að prófa líka plötur, sagaðar úr útlögðu malbiki, jafnvel þótt það væri orðið ársgamalt. Niðurstöður prófana má sjá á mynd 2.11 hér að neðan.



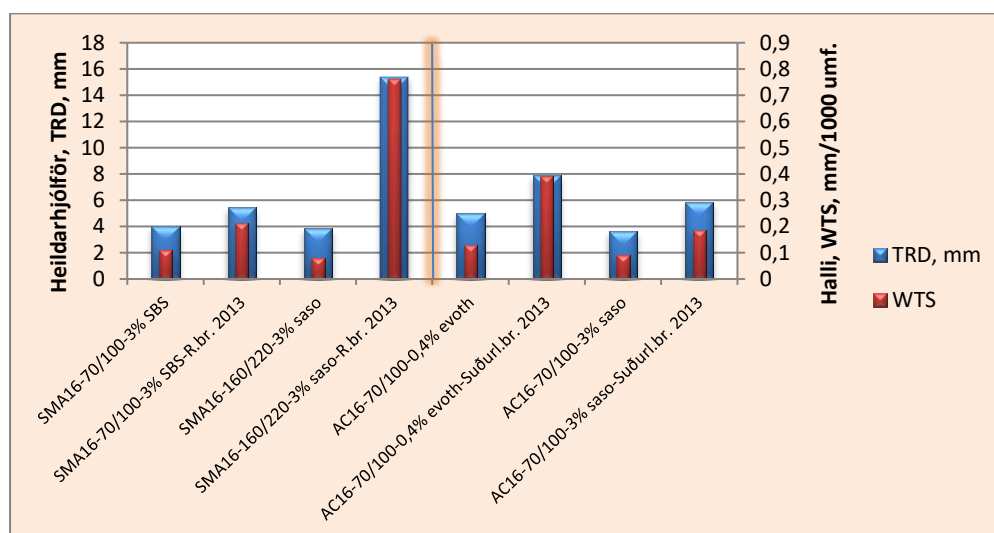
Mynd 2.11 Samanburður á hjólfaramyndun sýna sem þjöppuð eru á rannsóknastofu og sambærilegra sýna úr götu

Eins og myndin sýnir virðist vera regla að sýni sem söguð eru úr götu í hjólfarapróf fái mun lakari niðurstöðu en sýni þjöppuð á rannsóknastofu (Lab.). Sýni úr Reykjanesbraut og Ártúnshöfða sem tekin voru á árunum 2008 og 2009 (sjá áfangaskýrslur I og II) mældust með heildarhjólför á bilinu 12 til 14 mm, en sambærileg sýni þjöppuð á rannsóknastofu mældust með rúmlega 8 mm hjólfaradýpt, en allar ofangreindar gerðir eru með mjúku biki (PG 160/220). Segja má að sýni úr Bústaðavegi með AC16 og 3% SBS mælist með hjólför á svipuðu róli og fyrri sýni úr vegi, en SMA malbikið úr Bústaðavegi sker sig úr með yfir 18 mm hjólfaradýpt. Á hinn bóginn má segja að SMA sem þjappað var á rannsóknastofu fái svipað gildi og eldri sýnin, en AC16 með SBS þjappað á

rannsóknastofu skeri sig úr með óvenju litla hjólfaramyndun, tæpa 5 mm í heildarhjólför og enn meir ef litið er til hallaútrekningsins (WTS) þar sem gildið er 0,07 mm/1000 umf síðustu 5000 umferðirnar. Það skýrist vafalaust af fjöliliðunni SBS, enda í flokki með öðrum fjöliliðubreyttum mæligildum. Ekki er ljóst hvað veldur þessum mun sem mælist milli sýna úr götu og þjappaðra á rannsóknastofu, en á seinni stigum þessa rannsóknaverkefnis var reynt að finna skýringar, m.a. í samstarfi við norsku Vegagerðina, eins og komið verður að síðar.

Þriðji þáttur þessa áfanga verkefnisins var að kanna hvort munur kæmi fram á slitþoli malbikskjarna með Prall aðferðinni, en ekki verður fjallað um það hér, heldur þegar fjallað er um rannsóknir á slitþoli í þessu rannsóknarverkefni.

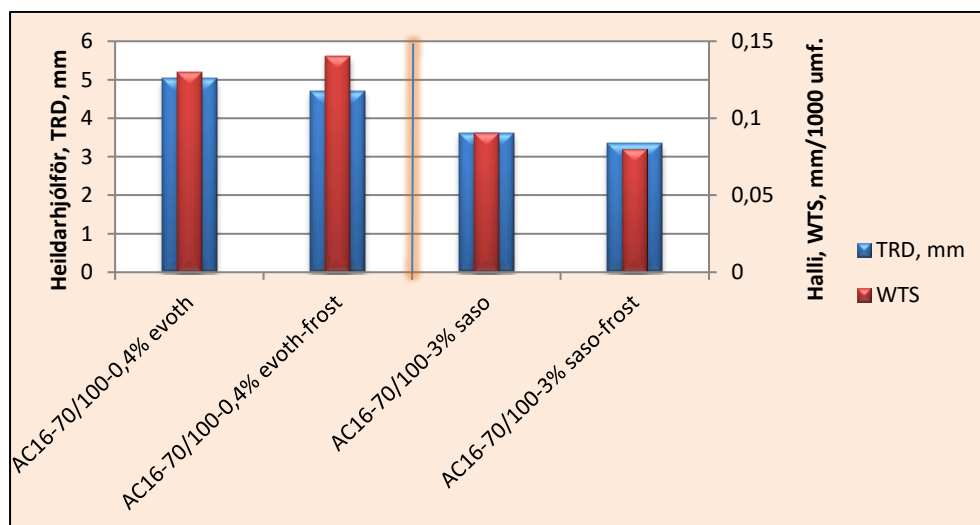
Árið 2014 kom út 6. áfangaskýrsla um rannsóknaverkefnið sem fjallaði um niðurstöður malbiksraunanna 2013. Í skýrslunni er meðal annars fjallað um niðurstöður hjólfaramælinga á nýjum tilraunakaöflum á Reykjanesbraut og á Suðurlandsbraut, tvær gerðir á hvorum vegi, til samanburðar við niðurstöður á sýnum sem þjöppuð voru á rannsóknastofu. Í ljós kom að sýni sem tekin eru úr vegi fá lakari niðurstöður úr hjólfaraprófi en sýni sem þjöppuð eru á rannsóknastofu, þó ekki hafi verið mikill munur í öllum tilfellum, sjá mynd 2.12.



Mynd 2.12 Niðurstöður hjólfaramælinga á sýnum úr Reykjanesbraut og á Suðurlandsbraut til samanburðar við niðurstöður á sýnum sem þjöppuð voru á rannsóknastofu

Notað var hart bik (PG 70/100) í þremur gerðum af fjórum, en í þeirri fjórðu var notað mjúkt bik (PG 160/220), en þar var munurinn afgerandi mikill á sýni úr götu og sýni þjöppuðu í malbiksþjöppu. Í þessu samhengi má einnig minna á að sýni sem eru samsett á prófunarstofu (allt vigtað saman) og prófuð í framhaldi af því virðast fá betri niðurstöðu úr hjólfaraprófi en sýni sem tekin eru við framleiðslu í stöð. Þó er ekki úr svo mörgum slíkum samanburðarprófum að spila til að fullyrða að svo sé.

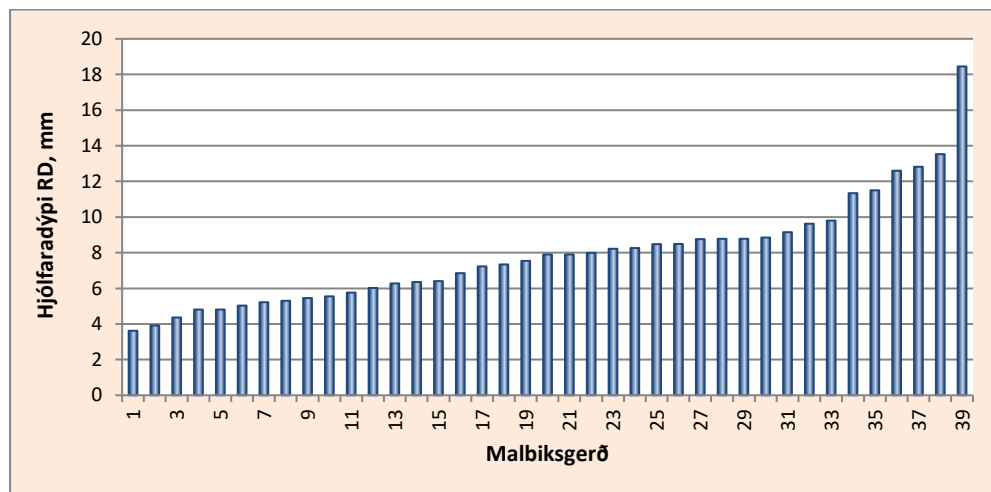
Í skýrslunni var einnig fjallað um litla rannsókn á því hvort 10 frost/þíðusveiflur á plötum í 1% saltvatni hefði áhrif á hjólfaramyndun í hjólfaratæki. Svo reyndist ekki vera, sbr. mynd 2.13.



Mynd 2.13 Áhrif 10 frost/þíðusveiflna á plötum í 1% saltvatni á hjólfaramyndun í hjólfaraprófi

Reyndar mældist plata með AC16 malbiki með Seljadalsefni og 3% Sasobit vaxi sem fór í frost meðhöndlun með hjólfaramyndun (RD) 3,3 mm sem var með því allra minnsta sem mælst hafði og hallatölu (WTS) < 0,1. Plötuparið sem ekki var sett í frost var ívið lakara, eða 3,6 mm (RD) og 0,3 (WTS), en það skal tekið fram að notað var hart bik (PG 70/100) í þessa malbiksgerð. Önnur malbiksgerð var prófuð á sama hátt, en hún var eins á allan hátt, nema með 0,4% af Evotharm í stað 3% Sasobit. Sama kom fram, sem sagt að frost hafði engin marktæk áhrif á niðurstöður en gildin voru hærri en með Evotharm, eða um 5 mm hjólfaradýpt (RD) og um 0,13 í hallatölu (WTS).

Segja má að aðalefni skýrslunnar um malbiksrannsóknir ársins 2013 hafi verið meðal annars að draga saman helstu niðurstöður hjólfaraprófana frá því hafist var handa við þau héraendis og einnig skoðaður munur milli plötupara, bæði hvað varðar hjólfaradýpt (RD) og hallatölu (WTS). Hér var því komið að ákveðnum vatnaskilum hvað varðar mælingar í hjólfaraprófi og reyndar er einnig fjallað um aðra prófunarþætti, svo sem Prall slitpolspróf og mælingar á bindiefnismagni og fínefnamagni. Mynd 2.14 sýnir niðurstöður hjólfaraprófa frá árinu 2008 allt til ársins 2013.



Mynd 2.14 Niðurstöður hjólfaraprófa frá árinu 2008 allt til ársins 2013

Ekki eru settar fram malbiksgerðirnar hér undir hverja súlu hér, eins og gert er í áfangaskýrslunni, enda einungis verið að sýna dreifingu gildanna. Megin reglan er sú að elstu mælingarnar á malbiksgerðum voru með mestu hjólfaradýptina, en með breyttu bindiefni máttu fá gildi, jafnvel undir 4 mm. Ekki verður farið nánar út í aðrar samantektir hér, heldur þar sem það á við síðar í skýrslunni, en rétt að staldra við og velta því upp hér hvað hafði áunnist með hjólfaraprófum síðustu ára hérlendis.

2.2.4 Umræða um mælingar á skriði 2011 til 2013

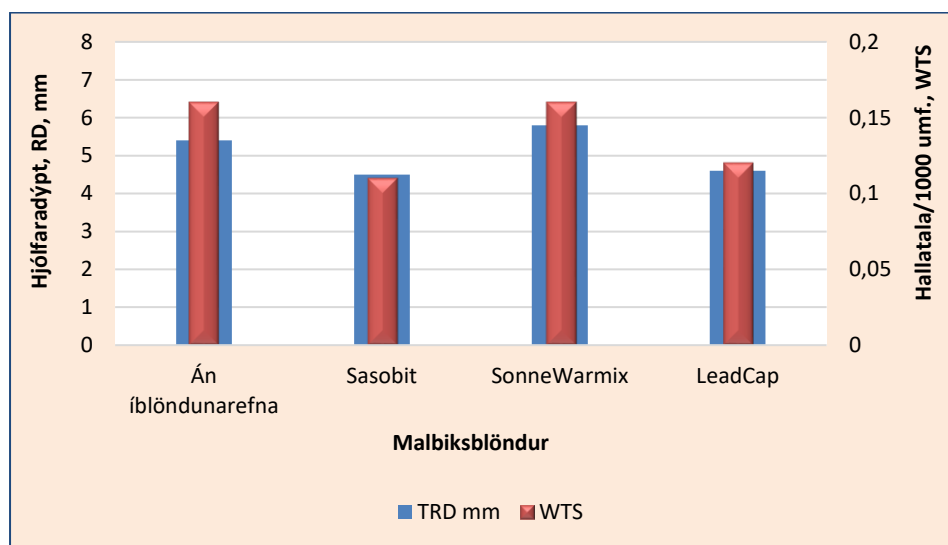
Á þessum þremur árum var gert umtalsvert átak til að minnka hjólfaramyndun í íslensku malbiki. Mikið og gott samstarf var við malbikunarstöðvarnar Höfða og Hlaðbæ-Colas um að framleiða margskonar blöndur af malbiki til að auka mótstöðu gegn skriði og hjólfaramyndun af þess völdum. Þegar hér er komið sögu er malbik með hörðu biki (PG70/100) framleitt í mun meira mæli en áður var, þegar mjúka bikið (PG 160/220) var nær allsráðandi. Einnig var farið að prófa íblöndunarefni sem bættu skriðmótstöðu malbiks, eins og fram kom glögglega í hjólfaraprófum sem framkvæmd voru á þessu tímabili. Samantekt niðurstaðna hjólfaraprófa sýndi að auðveldlega mátti minnka hjólför (RD) niður fyrir 4 mm með notkun á SBS fjölliðu eða Sasobit vaxi, jafnvel þótt notað væri mjúkt bik (PG 160/220). Það átti hins vegar alls ekki við um mjúkt bik án íblöndunarefna af þessum gerðum. Yfirleitt var nokkuð sterk fylgni á milli plötupara sem prófuð eru með hjólfaraprófi, sérstaklega ef hjólfaramyndun reyndist lítil og fellur aðfallslínan nánast alveg að sömu gildum á báðum ásum. Einnig kom fram sterk fylgni milli hjólfaradýptar (RD) og hallatölunnar (WTS), en það á sérstaklega við ef gildin eru lág. Liggur nærri að hjólfaradýpt (RD) 4 mm og hallatalan/1000 umferðir síðustu 5000 umferðirnar (WTS) 0,1 falli alveg saman þegar þessir mælikvarðar eru settir á X/Y mynd.

Í Efnisgæðaritinu (verkefnisstjóri Gunnar Bjarnason og ritari Pétur Pétursson) sem var endurskoðað í janúar 2012 er þess fyrst getið í texta að æskilegt sé að nota hart bik (PG70/100) þar sem umferð er mikil og þung (sjá töflu 64-2 í ritinu), en einnig er bent á að nýlegar rannsóknir bendi til þess að það geti verið hagkvæmt að nota einnig SBS fjölliður eða vaxefni sem íblöndunarefni við slíkar aðstæður. Umfjöllun um hart biki og íblöndunarefni var óbreytt í Efnisgæðaritinu frá janúar 2013. Reyndar hafði verið sett inn ákvæði við endurskoðun ritsins í janúar 2011 að gerðarpróf fyrir malbik skyldi liggja fyrir, eins og fram hefur komið. Þar á meðal niðurstöður hjólfaraprófs fyrir hverja gerð malbiks sem ætlað er til nota þar sem umferð er mikil og þung, en ekkert var minnst á fjölliður eða vaxefni í þeirri útgáfu.

Segja má að með niðurstöðum rannsókna á hjólfaramyndun á árunum frá 2011 til og með 2013 hafi orðið nokkur straumhvörf, þar sem sýnt var fram á að ekki var vandamál að ná ásættanlegum gildum úr hjólfaraprófum, ef uppskriftirnar voru með hörðu biki (PG 70/100) og/eða með íblöndunarefnum sem juku skriðþol malbiksins (fjölliður eða vaxefni). Enn voru þó nokkrir lausir endar varðandi mælingar á hjólfaramyndun í malbiki, ekki síst að hjólför mældust yfirleitt hærrí í sýnum sem tekin voru úr götu en þjöppuð á rannsóknastofu. Einnig þótti nauðsynlegt að fá meiri samanburð við mælingar gerðar í öðrum tækjabúnaði og þá í öðru landi til að byggja undir að settar yrðu fram raunhæfar kröfur til skriðeiginleika íslensks malbiks í Efnisgæðaritið.

2.2.5 Tímabilið 2014 til 2019

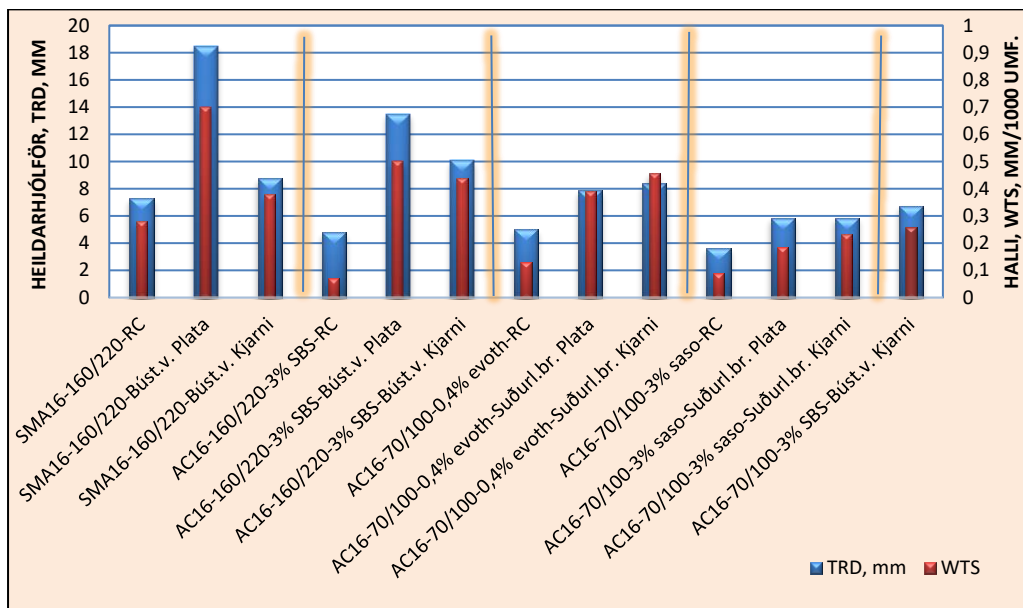
Áfangaskýrsla 7 um malbiksverkefnið fjallaði um rannsóknir sem gerðar voru 2014, en skýrslan kom út vorið 2015 og fjallaði aðallega um tvennt, annars vegar helstu niðurstöður prófana á íslensku malbiki hjá NMÍ og VTI í Svíþjóð og hins vegar um kjarnatöku af malbiki og samanburð við fyrri mælingar á hjólfaramyndun. Varðandi fyrri þáttinn er um að ræða umfjöllun um MSc verkefni Katrínar Þ. Pálsdóttur, sem vitnað hefur verið í hér að framan, en hún sá um gerð sýna og allar rannsóknir undir handleiðslu Sigurðar Erlingssonar prófessors við HÍ og VTI. Verkefnið fólst í því að kanna áhrif hitalækkandi íblöndunarefna á ýmsa eiginleika malbiks, en í þessum kafla er einungis fjallað stuttlega um hvaða áhrif efnin höfðu á hjólfaramyndun í sýnunum í hjólfaraprófinu. Hjólfaramyndun reyndist í öllum tilfellum undir 6 mm, en það þarf ekki að koma á óvart, enda um hart bik (PG70/100) að ræða, sjá mynd 2.15.



Mynd 2.15 Niðurstöður hjólfaraprófana á malbiki með og án íblöndunarefna

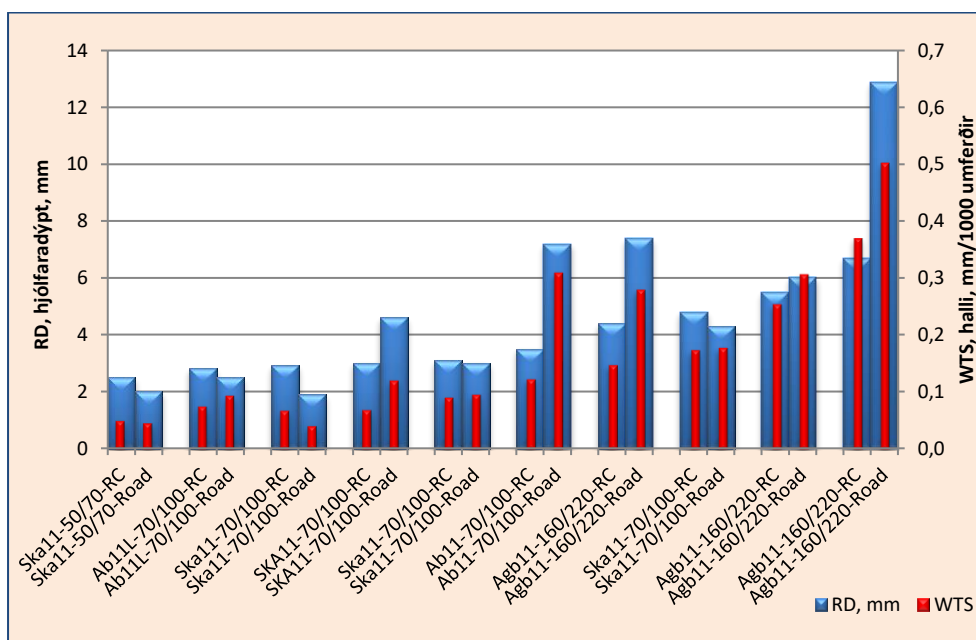
Svo virðist að bæði 3% Sasobit og 1,5% LeadCap hafi jákvæð áhrif á skriðmótstöðu malbiks (miðað við án íblöndunarefna), hvort heldur er litið til RD eða WTS, en 1% SonneWarmmix virðist engin áhrif hafa, nema jafnvel til hins verra. Af fyrri reynslu hefði mátt ætla að 3% Sasobit gæfi jafnvel enn betri skriðmótstöðu en raun ber vitni, en niðurstaðan er engu að síður með ágætum.

Hinn þátturinn sem skýrslan sem kom út um vorið 2015 fjallar um er samanburður á hjólfaramyndun sýna af malbiki sem eru þjöppuð á rannsóknastofu, söguð úr götu eða tekin með kjarnabor. Í þessum áfanga voru tekin tvö sýni með kjarnabor sem var 300 mm í þvermál á sömu stöðum og plötur höfðu verið teknar áður (úr tveimur gerðum á Bústaðavegi úr malbiki frá 2011 og úr tveimur gerðum á Suðurlandsbraut úr malbiki frá 2013). Auk þess var tekið eitt kjarnapar úr Bústaðavegi úr AC16 malbiki með Seljadalsefni, hörðu biki (PG 70/100) og 3% SBS sem lagt hafði verið 2014, þ.e.a.s. sama ár og sýnatakan fór fram. Eins og segir í skýrslunni virðist kjarnatakan hafa tekist vel og var munur á hlutasýnum í öllum tilfellum lítill. Mynd 2.16 sýnir samanburð á hjólfaramyndun í þessum fjóru gerðum malbiks, svo og mælingu á kjörnum úr nýja malbikinu (meðaltal tveggja hlutasýna).



Mynd 2.16 Samanburður á gildum sem fengist hafa úr hjólfaraprófinu á mismunandi sýnum

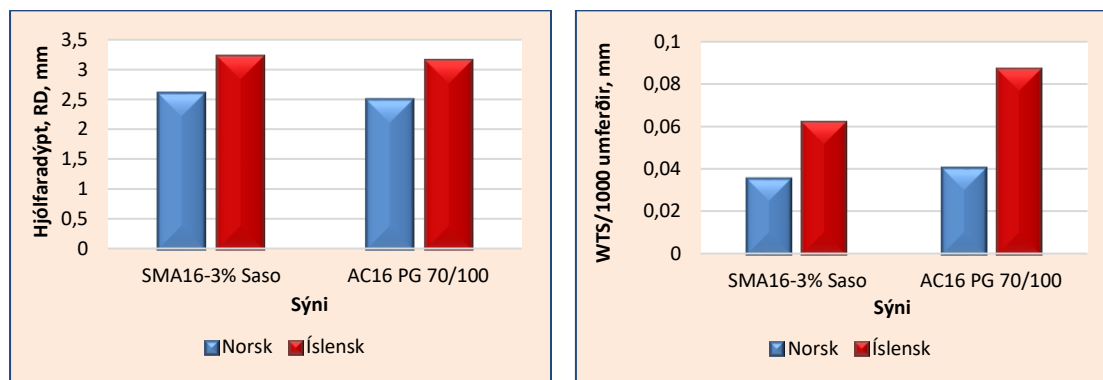
Eins og myndin ber með sér staðfestist að malbikssýni sem eru þjöppuð á rannsóknastofu fá minni hjólfaramyndun í hjólfaraprófinu en sýni sem tekin eru úr götu. Kjarnasýnin eru þó nær þeim sýnum sem þjöppuð eru í malbikspjöppunni í gildum, en plötusýnin sem söguð voru úr malbiki. Reyndar virðast sýni með mjúku biki (PG 160/220) liggja víðs fjarri þeim gildum sem fást ef malbik er þjappað með malbikspjöppunni, en það á við bæði sýnin frá 2011 á Bústaðaveginum, jafnvel þótt annað þeirra sé með 3% SBS fjölliðu. Það er erfitt að útskýra þennan mun á óyggjandi hátt, en fram að þessu má segja að engar undantekningar hafi verið á því að sýni úr götu gáfu hærri gildi en þjöppuð á rannsóknastofu. Fjallað er um niðurstöður norskra rannsókna (Lerfald, B.O. 2007) á muni í hjólfaramyndun í hjólfaraprófi milli sýna úr götu og sýna sem þjöppuð voru með malbikspjöppu og var mynd 2.17 unnin upp úr þeirri skýrslu.



Mynd 2.17 Norskar niðurstöður út hjólfaraprófi á sýnum þjöppuðum á rannsóknastofu og úr götu

Þess má geta að Norðmenn prófa kjarna úr götu sem eru 200 mm í þvermál, en hér voru kjarnasýnin sem tekin voru 300 mm í þvermál. Til skýringar á myndinni er Ska sama gerð og SMA steinríkt malbik og Ab er sömu gerðar og AC stífmalbik. RC þýðir að þjappað er með malbikspjöppu og Road að sýni sé tekið úr vegi. Myndin sýnir að sumar malbiksgerðirnar fá lægri gildi úr hjólfaraprófinu en mælst hafa hérlendis, hvort heldur er útbúið á rannsóknastofu (RC) eða borað úr götu. Sjá má gildi um og undir 3 mm heildarskrið í báðum tilvikum og er ekki einhlítt að boruðu kjarnarnir fái hærri gildi en þeir sem útbúnir eru á rannsóknastofu. Í öllum tilfellum þar sem munurinn er mikill eru það kjarnarnir sem fá hærri hjólfaragildi og í tveimur af þremur gerðum er um mjúkt bik að ræða (PG 160/220). Hvað sem því líður er í flestum tilfellum lítill munur á kjarnasýnum og sýnum úr malbikspjöppu.

Til þess að gera þessa löngu sögu hjólfaraprófana stutta í endann má segja að í áfangaskýrslum sem komu út árin 2016, 2017 og 2019 var enn haldið áfram hjólfaraprófunum, ekki í stórum stíl, en þær tvær fyrstnefndu til þess að reyna að fá botn í mun á norskum og íslenskum niðurstöðum. Þær prófanir voru í samstarfi við tengilið innan norsku vegagerðarinnar í Þrándheimi (Einar Aarsprong) og fólust í því í stuttu máli að prófa sömu malbiksgerðirnar í hjólfarataekinu á NMÍ og tæki sem norska vegagerðin hafði aðgang að. Í skýrslunni frá 2016 er fjallað um prófanir á tveimur gerðum af íslensku malbiki sem þjappaðar voru í malbikspjöppu og prófaðar tvær plötur af hvorri gerð í sitt hvoru tækinu. Niðurstaða þessa samanburðar var afdráttarlaus, en bæði hlutasýni hvorrar gerðar mældust með minni hjólfaramyndun í norska tækinu en sýnin sem mæld voru á NMÍ, sjá mynd 2.18 a) og b).

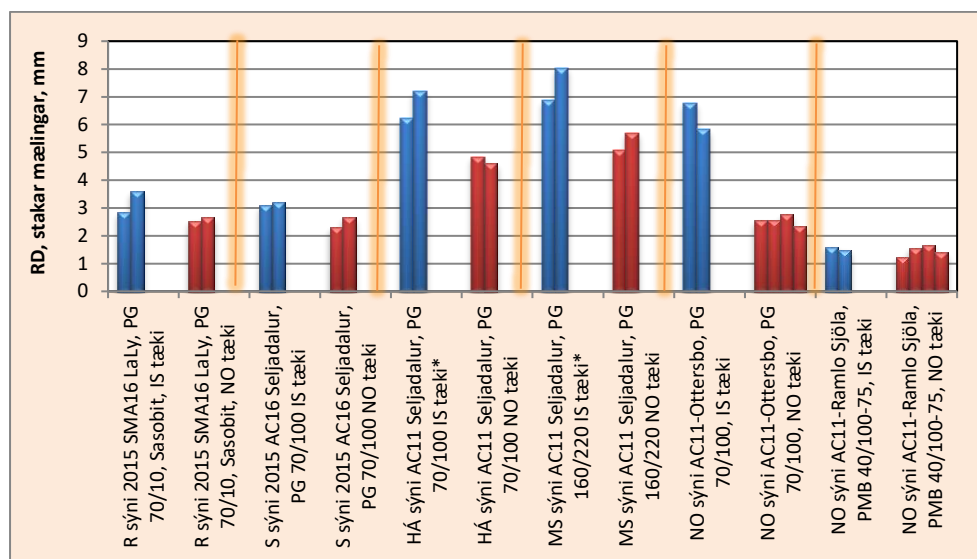


Mynd 2.18 a) og b) Hjólfaraprófanir á tveimur gerðum af íslensku malbiki í norsku og íslensku tæki

Munurinn var að vísu ekki mikill, enda voru malbiksgerðirnar með hörðu biki (PG 70/100) og önnur þar að auki með 3% Sasobit vaxi og gildin því lág. Meðalhjólfaradýpt (RD) mældust 3,22 mm í annarri gerðinni hérlendis en 2,60 mm í Noregi og hin gerðin 3,21 mm hérlendis og 2,67 í Noregi. Það munar sem sagt um 0,6 mm í meðaltalinu á báðum malbiksgerðunum. Það átti eftir að sýna sig í næsta áfanga að ef hjólfaramyndun mældist mjög lítil voru norsku og íslensku gildin sambærileg.

Í skýrslunni frá 2017 eru birtar niðurstöður prófana á tveimur íslenskum malbiksgerðum og tveimur norskum malbiksgerðum í sitt hvoru hjólfarataekinu. Sýnin voru tekin úr vegi með kjarnabor, þau norsku 200 mm í þvermál og þau íslensku 300 mm í þvermál. Í ljós kom enn og

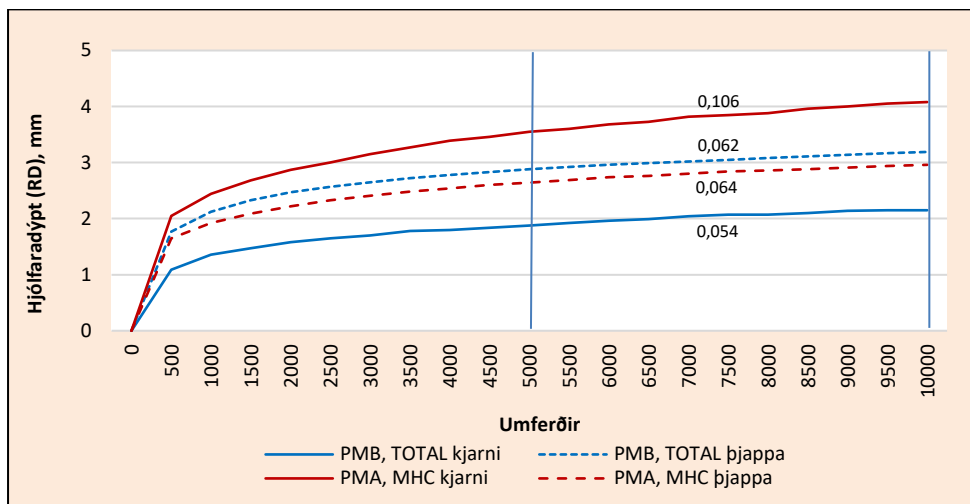
aftur að norsk gildi eru lægri en íslensk og í einu tilfelli verulega lægri. Þar var um að ræða norskt kjarnasýni með AC11 Ottersbo steinefni og hörðu biki (PG 70/100) sem mældist með hjólfaradýpt (RD) yfir 6 mm á NMÍ en undir 3 mm í Noregi, sjá mynd 2.19.



Mynd 2.19 Hjólfaradýpt (RD) tveggja/fjögurra hlutasýna af hverri malbiksgerð

Í íslensku R og S sýnunum var munurinn ekki mjög mikill milli tækja, eða hjólfaradýpt (RD) um 3 mm hjá okkur en um 2,5 mm hjá þeim, en í sýnum HÁ og MS er hann meiri eða um 7 mm hjólfaradýpt hjá okkur, en um 5 mm hjá þeim. Það sýni sem mældist með svipaða hjólfaradýpt (RD) í báðum tækjunum var norskt AC11 með Ramlo Sjöla steinefni og PMB, sem sagt með fjölliðubreyttu bindiefni, en norska meðalgildi hjólfaradýptar (RD) var 1,47 mm en það íslenska 1,55 mm, sem var langbesta gildi hjólfaradýptar sem mælt hafði verið hérlendis.

Loks má geta þess hér að í skýrslu um rannsóknir á malbiki sem kom út árið 2019 er fjallað um niðurstöður prófana á þremur gerðum malbiks, bæði sýnum sem þjöppuð voru í malbiksþjöppu og sýnum sem voru boruð úr vegi. Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas (MHC) hafði flutt inn tvær gerðir af fjölliðubreyttu bindiefni (e. polymer modified bitumen, PMB), annað frá TOTAL og hitt frá Colas í Danmörku og vildi fá samanburð á niðurstöðum hjólfaraprófa með þessum bindiefnum og hjólfaraprófa á malbiki þar sem fjölliðu er bætt í steinefnið við framleiðslu malbiks (e. polymer modified asphalt, PMA). Reyndar urðu mistök í afgreiðslu PMB frá Danmörku og er ekki fjallað nánar um það hér. Hins vegar er athyglisverður samanburður á malbiki með PMB frá TOTAL og PMA (eins og framleitt er hjá MHC), sjá mynd 2.20.



Mynd 2.20 Niðurstöður hjólfaraprófa á sýnum úr þjöppu og kjarnasýnum úr vegi

Hjólfaradýpt (RD) í malbikinu með PMB mældist 2,15 mm á kjarnasýni og 3,19 mm á sýni úr malbiksþjöppu og malbikið með PMA fékk hjólfaramælingu (RD) 4,08 mm á kjarnasýni og 2,96 mm úr þjöppunni. Hallatölur/1000 umferðir síðustu 5000 umferðirnar (WTS, gefnar upp á myndinni) eru einnig vel ásættanlegar, um og vel undir 0,1. Allt eru þetta ásættanlegar niðurstöður og, eins og nefnt hefur verið áður, mælist lítill munur á kjarnasýni og rannsóknastofusýni þegar hjólfaramyndun er lítil. Þótt reynsla af endingu þessara tilraunakafla sé enn lítil benda hjólfaraprófin þó til þess að PMA malbik geti verið jafngott og malbik með PMB bindiefni. Ef svo er má telja að ekki sé bráð nauðsyn á því að flytja inn blöndunartanka til að framleiða PMB bindiefni, heldur megi blanda SBS inn í framleiðsluna, eins og gert hefur verið hérlandis.

2.2.5 Umræða um mælingar á skriði 2014 til 2019

Segja má að á tímabilinu frá 2014 til 2019 hafi malbik sem Vegagerðin notaði á sína vegi og stofnbrautir orðið mun þolnara gegn skriði en áður var þótt vissulega hafi verið lagðir kaflar, t.d. með fjölliðubreyttu biki fyrr og sem standa enn, lítið skemmdir. Má þar nefna tvo tilraunakafla á Bústaðavegi frá 2011 og tvo tilraunakafla á Suðurlandsbraut frá 2013. Vegagerðin setti fram kröfur í útboðslýsingar um að annars vegar væri notað hart bik (PG 70/100) og/eða að notað væri fjölliðubreytt bindiefni í malbikið. Þessar kröfur, sem byggja á tillögum Efnisgæðaritsins, hafa vafalaust skilað sér í endingarbetri malbikslögnum en tíðkaðist að leggja áður fyrr, sérstaklega þar sem mikið umferðarálag er (t.d. á umferðarmiklum gatnamótum). Einnig hefur fjölliðubreytt malbik með SBS sannað sig í jarðgöngum þar sem þungaflutningar eru miklir (t.d. á Bakka) og einnig þar sem óvenjumikill hiti er í göngunum (t.d. um Vaðlaheiði).

Í Efnisgæðaritum frá 2015 til 2018 eru settar fram upplýsingar um hvað hjólfaradýpt (RD) mætti vera mikil hérlandis, miðað við umferðarmagn ef byggt væri á kröfum Norðmanna þar að lútandi. Umreiknuðu kröfurnar voru þó allt of strangar miðað við mælingar á hjólfaramyndun í íslensku malbiki fram að þessu, en eins og fyrr hefur komið fram bar framleiðendum einungis að gefa upp og lýsa yfir (e. Type testing) hvaða hjólfaradýpt viðkomandi malbiksgerðir fyrir mikla umferð hefðu. Fram hafði komið að norskar mælingar á hjólfaramyndun gáfu að öllu jöfnu lægri gildi en

fengust úr hjólfaratækinu á NMÍ og því ekki vænlegt að ætla að varpa norskum kröfum beint yfir í íslenskar kröfuföflur.

Það er ekki fyrr en í endurskoðuðu Efnisgæðariti frá janúar 2019, að eiginlegar kröfur um leyfilega hjólfaramyndun í malbiki sem Vegagerðin kaupir eru settar fram með tilliti til umferðarmagns. Það þótti orðið tímabært að tengja kröfugildi við umferðarmagn byggt á gerðarprófunum malbiksins, enda komin nokkuð góð reynsla af hönnun malbiks með viðunandi gildi úr hjólfaraprófi. Valið var að setja fram kröfur bæði um hjólfaradýpt (RD) og halltölu/1000 umf. síðustu 5000 umferðirnar (WTS). Það má því segja að hér hafi markmiðinu verið náð um að lágmarka að hjólfaramyndun í malbiki eigi sér stað vegna skriðs í malbikinu. Kröfurnar miðast við að malbikssýnin séu aðsend og þau þjöppuð í malbiksþjöppu á prófunarstofu. Kröfurnar eru sýndar í töflunni hér að neðan, sem tekin er beint úr Efnisgæðariti Vegagerðarinnar frá janúar 2020 (óbreyttar frá 2019 útgáfunni).

Tafla 64-17: Kröfur um eiginleika malbiks í gerðarprófunum

Prófunaraðferð	< 8000 (ÁDU)***	≥ 8000 (ÁDU)***	≥ 15000 (ÁDU)***	≥ 30000 (ÁDU)***
Hjólfarapróf, mm*	Ekki krafa	6	5	4
Hjólfarapróf, mm**	Ekki krafa	0,2	0,15	0,1

* Um er að ræða hámarksdýpt hjólfara (e. rut depth, RD).

** Um er að ræða skrið á hverjum 1000 umferðum síðustu 5000 umferðirnar (e. wheel tracking slope, WTS).

*** Eða sambærilegt álag. Miðað er við heildarumferð á vegi eða götu og að umferð þungra bíl, ÁDU_p, sé 5% heildarumferðar.

2.3 Mælingar á slitþoli malbiks í Prall slitþolstæki

2.3.1 Tímabilið 2009 til 2014

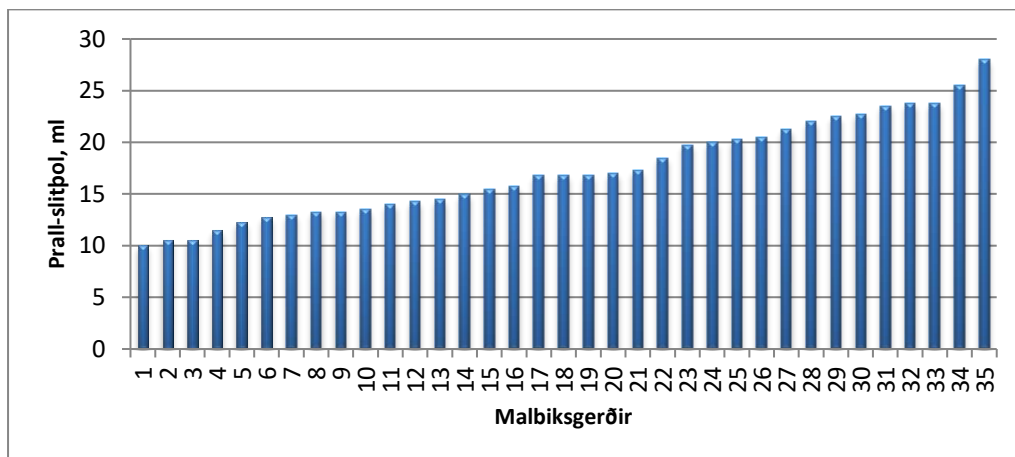
Niðurstöður fyrstu mælinga í Prall-tækinu héraendis eru birtar í áfangaskýrslu 2 um malbiksrannsóknir sem kom út í mars 2010. Prófaðar voru 10 gerðir af malbiki, bæði AC16 stífmalbik og SMA16 steinríkt malbik með Durasplitt og Seljadalssteinefni, hart bik (PG 70/100) og mjúkt bik (PG 160/220). Í ljós kom að allar þessar malbiksgerðir fengu Prall gildi undir 20 ml, eða á bilinu 14 til 19 ml að meðaltali (fjögur hlutasýni af hverri gerð). Munur á hlutasýnum hveirar gerðar var í flestum tilfellum 2 til 3 ml, en í einu tilfalli 4 ml. Í verkefni Ásgeirs Rúnars Harðarsonar til Rannís – nýsköpunarsjóðs námsmanna 2010 voru gerð Prall próf á þremur gerðum af AC16 malbiki þar sem eina breytan var fjölliðubreyting á malbikin 0%, 1,5% og 3,0% af SBS fjölliðu. Í ljós kom að án fjölliðu var slitgildið 20 ml, með 1,5% SBS var það 17 ml og með 3% SBS var gildið 15 ml. Munur á hlutasýnum var í öllum þremur tilfellunum 2 til 3 ml og má ætla að SBS bæti slitþol sem mælist í prófinu innan þeirra takmarkana sem verkefnið hafði.

Í áfangaskýrslu 3 sem kom út í mars 2011 voru nokkrar gerðir af malbikssýnum prófaðar með Prall slitþolsprófi, tvenns konar malbik frá malbikunarstöð Akureyrar, tvær gerðir frá Hlaðbæ-Colas og

ein gerð frá Höfða. Allar malbiksgerðirnar voru með mjúku biki (PG 160/220), þrjár með AC16 stífmalbiki og Durasplitt steinefni ein með AC16 stífmalbiki og steinefni frá Krossanesi og ein með SMA16 steinríku malbiki og Ottersbo steinefni. Það er skemmt frá því að segja að SMA malbikið fékk slittöluna 13 mm, en hinar AC gerðirnar lágu á svipuðu róli, á bilinu 20 til 24 ml. Hér voru því komnar sterkar vísbendingar um að SMA16 malbik þyldi betur áraun nagladekkja en AC16 malbik. Önnur skýrsla sem styrkt var af rannsóknasjóði Vg kom út um svipað leiti og áfangaskýrsla 3 og fjallaði um áhrif bikgerðar (PG) á slit- og skriðeiginleika malbiks. Prófaðar voru fjórar gerðir malbiks í Prall prófi, tvær með AC16 stífmalbiki og Seljadalsefni og tvær með SMA16 steinríku malbiki og Seljadalsefni, önnur af hvorri gerð með hörðu biki (PG 70/100) og hin með mjúku biki (PG 160/220). Öll mæld meðalgildi lágu á bilinu 10 til 14 ml, sem eru allt afar lág gildi miðað við fyrri mælingar. Þó er lítilsháttar munur á slitinu, þar sem AC16 slitnar heldur meira en SMA16 og sýni með hörðu biki slitna heldur meira en þau með mjúku biki. Hér kemur því fátt á óvart, fyrir utan þessi lág gildi á heildina litið.

Í áfangaskýrslu 5 sem kom út í mars 2013 eru birtar niðurstöður tveggja rannsóknabátta á slitni í malbiki. Annar þátturinn fólst í samanburði á slitni sýna af tveimur tilraunaköflum MHC á Bústaðavegi frá 2011, önnur gerðin með AC16 stífmalbik með steinefni frá Snasa, mjúku biki (PG 160/220) og 3% SBS fjölliðu og hin gerðin með SMA16 steinríku malbiki með steinefni frá Snasa og mjúku biki, en ekki með SBS fjölliðu. Prófuð voru bæði sýni sem voru tekin úr götu og einnig sýni þjöppuð á NMÍ. Í ljós kom að AC16 stífmalbikið fékk Prall gildið 18 ml ef þjappað á rannsóknastofu, en 21 ml ef tekið úr götu og SMA16 steinríka malbikið fékk gildið 16 ml ef þjappað á rannsóknastofu, en 20 ml ef tekið úr götu. Niðurstöðurnar benda því til að kjarnasýni sem tekin eru úr götu slitni ívið meira en þau sem eru þjöppuð á rannsóknastofu, en munurinn er sáralítill og slittölurnar nokkuð góðar. Annar verkþáttur sem fjallað er um í skýrslunni snéri að athugun á því hvort frost/þíðu-sveiflur í saltvatni (1% NaCl) hefðu áhrif á slit malbikssýna, miðað við slit ómeðhöndlaðra sýna. Valið var að prófa annars vegar AC11 stífmalbik með steinefni frá Hólabrú og hins vegar AC16 stífmalbik með steinefni frá Björgun, en hvorugt efnið getur talist vera mjög frostpolið. Í ljós kom að frostmeðhöndlun hafði áhrif til meira slits og jókst það í AC11 stífmalbikinu með steinefni frá Hólabrú úr 24 ml í 28 ml, en munurinn var minni í AC16 steinríka malbikinu með Björgunarefninu og jókst úr 23 ml í 25 ml. Það vekur athygli að gildin án meðhöndlunar eru nokkuð há miðað við það sem áður hafði verið prófað, en þess ber að geta að hvorugt steinefnið er mjög slitsterkt, t.d. mælt með kúlnakvarnarprófi.

Í áfangaskýrslu 6 sem kom út í febrúar 2014 eru dregnar saman niðurstöður Prall prófana fram að þeim tíma. Í skýrslunni er birt mynd með samantekt Prall prófa birt, sem mynd 2.21 er unnin upp úr. Í skýrslunni er gefið upp hvaða malbiksgerðir er um að ræða undir súlunum, en í þessari samantekt er látið nægja að skoða dreifingu mæligilda fram að þessum tíma, frá lægsta gildi til hins hæsta.



Mynd 2.21 Samantekt á Prall mælingum á mismundandi gerðum íslensks malbiks

Tekið er fram að flestar malbiksgerðirnar sem prófaðar höfðu verið til þessa voru með slitsterku steinefni (Seljadal, Durasplitt og Ottersbo) og fengu flestar Prall gildi < 20 ml og virtist það óháð því hvort bikgerðin var mjúk (PG160/220) eða hörð (PG 70/100). Steinríkt malbik virtist vera slitsterkara en stífmalbikið á heildina litið og í öllum tilfellum með Prall gildi um eða undir 15 ml. Malbikssýni með steinefni frá Hólabrú og Björgun fengu hæstu Prall gildin til þessa, sérstaklega eftir frost/þíðuáraun (Prall gildi > 25 ml), en þessi steinefni teljast ekki vera mjög slitþolin. Malbiksgerðirnar með Krossaness- og Durasplitt steinefni frá Akureyri raða sér næst fyrir neðan malbik með steinefni frá Hólabrú og Björgun. Athygli vakti á sínum tíma að niðurstöður hjólfaraprófs á Akureyrarmalbikinu voru líka með því lakasta sem mælt hafði verið, enda virtist hönnun malbiksins vera ábótavant. Loks er bent á að AC11 stífmalbik með slitsterku steinefni fái Prall gildi um 20 ml.

2.3.2 Umræða um mælingar á slit 2009 til 2014

Segja má að mælingar á Prall slitþolsprófi hafi farið nokkuð vel af stað og stóðust flestar gerðir sem prófaðar voru á þessu tímabili til dæmis samanburð við kröfur Norðmanna um slitþol malbiks (< 22 ml fyrir mikla umferð). Reyndar voru kjarnar með steinefni frá Hólabrú og Björgun yfir þeim mörkum sem eðlilegt er, en einnig sýnin frá Akureyri, enda voru þau utan flestra marka sem sett eru fyrir AC stífmalbik. Það kom einnig fram á þessu tímabili að líkur eru á að íblöndun á SBS í malbik hafi áhrif til minnkunar á slit að öðru jöfnu.

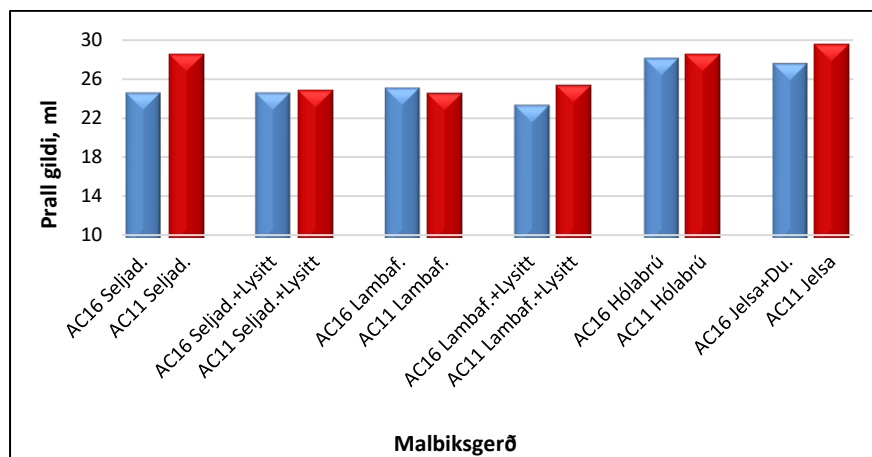
Í Efnisgæðaritinu var sett fram sú krafa, allt frá árinu 2012, að við gerðarprófun malbiks (e. Type testing) sem ætlað er fyrir mikla umferð skuli lýsa yfir slitþoli þess, mælt með Prall prófi (auk hjólfaraprófs og vatnsnæmiþrófs). Bent er á í Efnisgæðariti frá janúar 2014 að til greina komi að setja fram kröfu um lágmarksgildi slitþols á malbiki mælt með Prall slitþolsprófi og bent á norsku handbókina 018 (nú N200) með kröfum um slit í Prall-prófi.

2.3.1 Tímabilið 2015 til 2019

Í áfangaskýrslu 7 um malbiksrannsóknir eru birtar niðurstöður Prall prófana á fjórum malbiksgerðum úr MSc ritgerð Katrínar Þ. Pálsdóttur, sem áður hefur verið vitnað í varðandi hjólfaraprófanir á sömu sýnum. Sýnin voru af gerðinni AC11 stífmalbik með steinefni frá Seljadal, með hörðu biki (PG70/100), án og með þrenns konar hitalækkandi íblöndunarefnum. Í ljós kom

að niðurstöður Prall prófa á öllum gerðunum voru fremur há gildi miðað við það sem áður hafði verið mælt héraðs, eða á bilinu 26 til 27 ml hjá þremur sýnanna og 32 ml í einu þeirra. Samkvæmt norsku kröfunum í handbók V200 mætti nota þessar malbiksgerðir fyrir umferð frá 3000 til 5000 ÁDU, en ekki meiri umferð en það. Það skal tekið fram að sýnin voru prófuð í Prall tæki hjá VTI í Svíþjóð og því er ekki hægt að fullyrða að niðurstöðurnar séu að fullu sambærilegar við þær niðurstöður sem fengist höfðu í tækinu á NMÍ.

Í áfangaskýrslu 8 frá apríl 2016 um malbiksraðsóknir eru prófaðar sex malbiksgerðir með AC11 stífmalbiki og aðrar sex sambærilegar gerðir með AC16 stífmalbiki, en þær voru allar hrærðar saman á rannsóknastofu. Steinefnin voru frá Seljadal og Lambafelli, annars vegar 100% úr þessum efnum og einnig með 25% íbættri Lysitt perlu og svo 100% steinefni frá Hólabrú og 100% Jelsa steinefni. Megin tilgangur þessa verkþáttar var að fá vitneskju um hvort malbik með 16 mm steinefni slitni marktækt minna en malbik með 11 mm steinefni. Mynd 2.22 hér að neðan sýnir niðurstöðurnar (hver súla er meðaltal 4 hlutasýna).



Mynd 2.22 Samanburður á Prall meðalgildum SL16 og SL11 sýna af hverri malbiksgerð

Myndin sýnir að öll AC16 stífmalbikssýnin (bláar súlur) slitna jafnmikið eða lítið eitt minna en AC11 stífmalbikssýnin (rauðar súlur), en það er í samræmi við fyrri reynslu að grófara steinefni slitnar að öllu jöfnu minna en fíngerðara steinefni. Reyndar var búist við að munurinn yrði meira afgerandi, en mæld meðalgildi liggja öll á bilinu 22 til 28 ml, sem er í raun ekki ýkja mikill munur. Reyndar verður að benda á að Prall gildi AC16 stífmalbikssýnanna eru tiltölulega há og á heildina hærri en áður hafði mælst í sambærilegum malbiksgerðum. Ekki verður farið út í frekari túlkanir hér þar sem munur á AC16 og AC11 malbikssýnum sömu gerðar er í raun frekar lítill, sérstaklega í ljósi þess að munur á hlutasýnum gat verið umtalsverður. Því er varla hægt að segja að munurinn milli malbiksgerða eða milli mismunandi grófleika sé nægilega mikill til að vera afdráttarlaus í þessari rannsókn. Segja má að með þessum niðurstöðum prófana á slitþoli mismunandi íslenskra malbiksgerða í Prall tæki hafi mælst umtalsvert hærri gildi en áður og einnig t.d. í samanburði við norskar kröfur.

Loks má geta þess að í áfangaskýrslu 11 sem kom út í mars 2019 eru settar fram niðurstöður Prall prófana á kjörnum sem sagaðir voru úr þremur tilraunaköflum sem MHC hafði lagt 2018 í Borgarfirði. Allar þrjár malbiksgerðirnar munu hafa verið með AC16 stífmalbiki og Durasplitt

steinefni en mismunandi, fjölliðubreytt bindiefni. Það er skemmst frá því að segja að allar gerðirnar mældust með Prall slit að mestu á milli 20 og 25 ml, þó með frábrigðum til beggja átta. Því ber að halda til haga að hér er um að ræða prófanir á sýnum sem boruð voru úr götu, en slík sýni eru prófuð á nokkuð annan hátt en sýni sem þjöppuð eru á rannsóknastofu. Því má segja að þessi rannsókn á sliti sé ekki samanburðarhæf við prófanir á sýnum sem þjöppuð eru á rannsóknastofu, en fyrri samanburðarrannsóknir bentu til að sýni úr götu slitnuðu meira í Prall prófi en þau sem þjöppuð eru á rannsóknastofu.

2.3.3 Umræða um mælingar á sliti 2015 til 2019

Í útgáfu Efnisgæðaritsins frá janúar 2016 er viðkomandi tafla úr norsku handbókinni birt, en þar kemur fram að ítrasta krafa Norðmanna fyrir mestu umferðina er Prall gildið < 22 ml. Jafnframt er þess getið að hér á landi hafa íslenskar malbiksgerðir mælst með slit frá um 10 og upp í 28 ml. Malbik með 11 mm steinefni mælist að jafnaði með Prall gildi > 20 ml, en malbik með 16 mm slitsterku steinefni mælist með Prall gildi á bilinu 10 til 20 ml. Norsku kröfurnar voru því taldar síst of strangar fyrir íslenskt malbik og er vægasta kröfugildið mun hærra en mælst hefur í íslensku malbiki.

Segja má að nokkurrar bjartsýni hafi gætt á því að íslenskt malbik hefði í flestum tilfellum viðunandi slitþol mælt með Prall aðferð, í samanburði við norskar kröfur. Niðurstöður mælinga á algengum gerðum af íslensku malbiki og að mestu með íslenskum steinefnum sem gerðar voru 2015, leiddu þó í ljós að þær stóðust ekki ytrustu kröfur sem Norðmenn gera til niðurstaðna úr Prall slitþolsprófi. Segja má að vísbendingar hafi nú verið komnar fram um að malbik með íslensku steinefni væri í flestum tilfellum ekki eins slitþolið og til dæmis malbik með norsku steinefni sem flutt hafði verið inn til notkunar í malbik um árabil. Í Efnisgæðaritinu er því gerð krafa um að steinefni í malbik fyrir mikla umferð skuli hafa slittölu < 7% í kúlnakvarnarpófinu, en það ætti að skila sér í auknu slitþoli malbiksmassans í Prall prófi að öllu jöfnu. Sú krafa, auk krafna um slípigildi steinefna (e. PSV value) og ljótæknilega eiginleika steinefna valda því að nú til dags notar Vegagerðin nær eingöngu innflutt mjög slitsterkt, ljóst steinefni sem slípast ekki mikið undan umferð á ónegldum dekkjum á vegi með mikilli umferð.

Í nýjustu útgáfu Efnisgæðaritsins sem kom út í janúar 2020 er sett fram kröfutafla þar sem eru meðal annars settar fram kröfur til slitþols malbiks við gerðarprófanir (e. Type testing) með Prall aðferð tengt umferðarmagni. Hér að neðan er sá hluti töflunnar birtur eins og hann snýr að kröfum um Prall gildið.

Tafla 64-17: Kröfur um eiginleika malbiks í gerðarprófunum

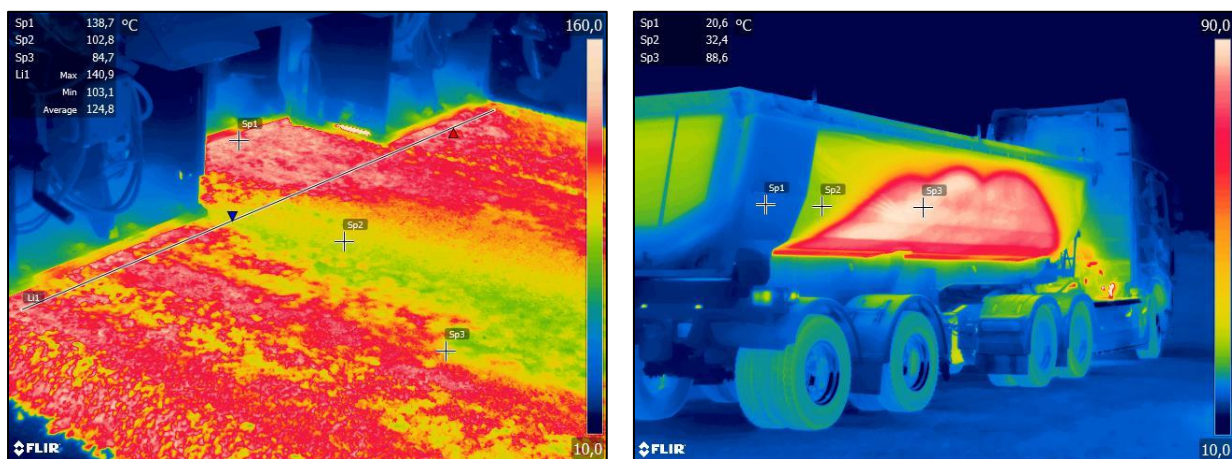
Prófunaraðferð	< 8000 (ÁDU)	≥ 8000 (ÁDU)	≥ 15000 (ÁDU)	≥ 30000 (ÁDU)
Prall slitþolspróf, ml	Ekki krafa	< 24	< 24	< 20

2.4 Ýmsar mælingar og prófanir á malbiki

Auk þess átaks að ná tökum á hjólfaramyndun vegna skriðs og slits á malbiki á síðasta rúma áratug er vert að halda til haga ýmsum öðrum rannsóknum og prófunum á malbiki, þótt ekki verði allt tíundað hér sem birst hefur í áfangaskýrslum þessa verkefnis.

2.4.1 Notkun hitamyndavéla við útlögn malbiks

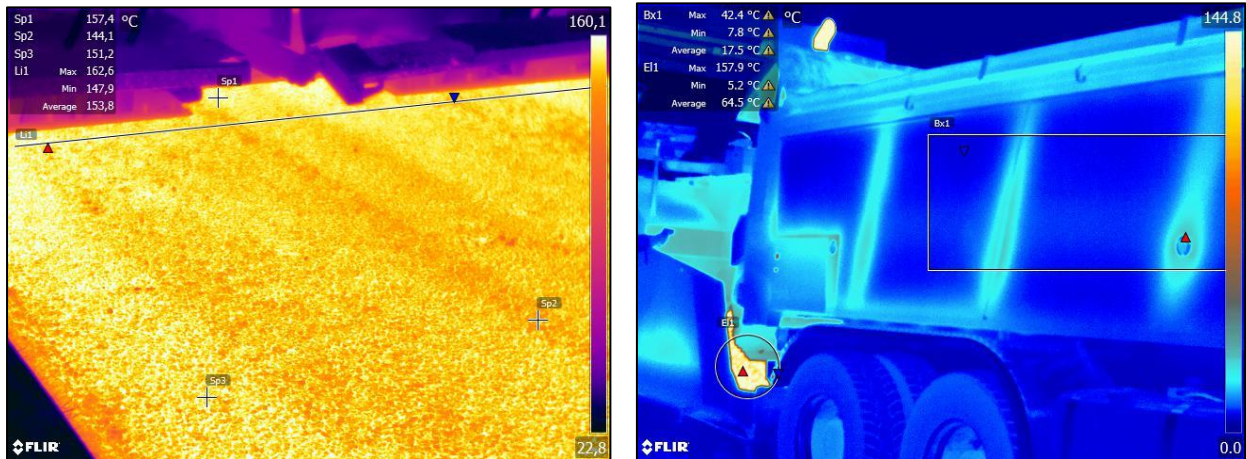
Hluti verkefnis um Malbiksrensóknir 2015 sem kom út í áfangaskýrslu í apríl 2016, var samkvæmt skilgreiningu að kanna hitadreifingu í tengslum við útlögn malbiks. Eftir talsverða eftirgrennslan var ákveðið að fá fyrirtækið Stýringu ehf (www.styring.is) til að annast hitamyndatöku, en þeir hafa yfir að ráða mjög fullkominni hitamyndavél, FLIR T640. Eiríkur Sigurðsson hjá Stýringu sá um allar myndatökur, en undirritaður fékk aðgang að vinnsluforriti og sá um alla myndvinnslu. Segja má að í þessum fyrsta áfanga hitamynda á malbiki og tækjum við útlögn hafi komið í ljós að hitaaðskilnaður gat átt sér stað fljótt eftir útlögn malbikunarvélar og/eða í skúffu vélar, en einnig mældist umtalsvert hitatap í flutningabílum í sumum tilfellum. Myndir 2.23 a) og b) sýna dæmi um niðurstöður mælinganna.



Mynd 2.23 a) og b) Hitadreifing aftan við útlagnarvél og varmatap malbiks á flutningabíl

Myndirnar sýna dæmi um það sem kannski má segja að miður fari, þ.e.a.s. dæmi um kaldari rák aftan við útlagnarvélinu (um 103°C), sbr. línu Li1 þvert á vél og mikið varmatap í flutningabíl (ytra byrði um 90°C), sbr. punkt Sp3 þar sem verst lætur. Það skal tekið fram að ýmis atriði geta valdið svona varmatapi og/eða aðskilnaði. Oft verður það vegna tafa við útlögn og kólnunar af þeim sökum, en einnig vegna erfiðra aðstæðna við útlögn (t.d. við malbikun hringtorga og stúta ýmiss konar) þar sem getur þurft að handmoka malbiki og raka til. Dæmin hér að ofan eru því frekar ýkt og við venjulegar aðstæður þegar allt gengur smurt fyrir sig verður lítill sem enginn aðskilnaður í malbikinu aftan við vél og einnig minna varmatap á flutningabílum ef þeir þurfa ekki að bíða lengi á verkstað og eru vel einangraðir.

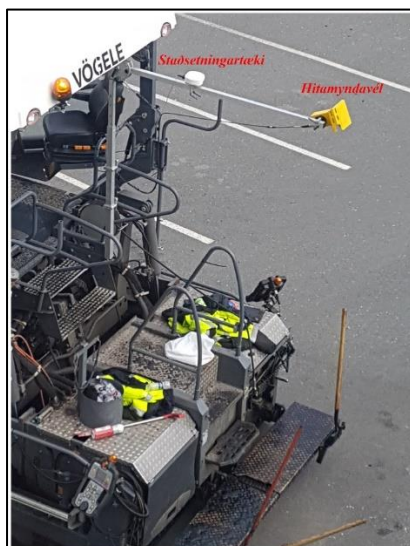
Í áfangaskýrslu 9 um malbiksrensóknir ársins 2016 sem kom út í apríl 2017 er áfram fjallað um mælingar á hitastigi malbiks við útlögn. Enn kemur í ljós að í sumum tilfellum er allnokkur aðskilnaður í hitastigi malbiks, bæði undan útlagnarvél og varmatap í flutningabílum, en þó voru mælingar í flestum tilfellum viðunandi. Myndir 2.24 a) og b) sýna góða hitadreifingu aftan við útlagnarvél og lítið varmatap um ytra byrði flutningabíls.



Mynd 2.24 a) og b) Hitadreifing aftan við malbikunarvél og varmatap malbiks á flutningabíl

Á fyrri myndinni má m.a. sjá að hitadreifing rétt aftan við malbikunarvélinu sem sést á línu Li1 liggur á bilinu frá 163°C til 148°C og munar því einungis 15°C á hæsta og lægsta hita malbiksins. Einnig kemur fram á seinni myndinni að varmatap á ytra byrði flutningabílsins er lítið, en ferninglaga flöturinn Bx1 sýnir að hitastigið er að mestu um og undir 10°C (dökkbláir fletir) en fer upp í 42°C á samskeitum eða bitum flutningavagnsins.

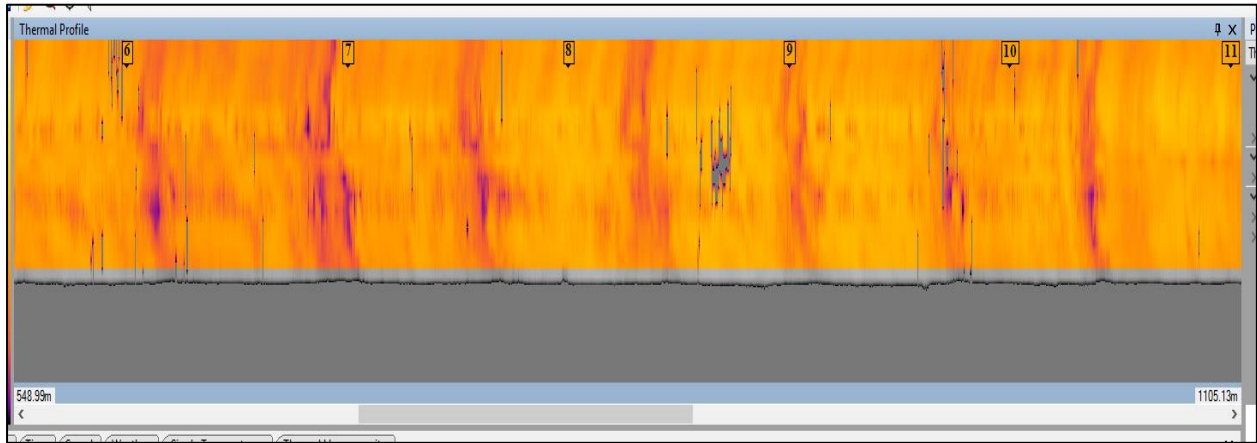
Mælingar á hitadreifingu með handvirkri hitamyndavél stuðluðu að því að Vegagerðin setti í útboðsgögn sín að nota skyldi sjálfvirkar hitamyndavélar á útlagnarvélar sem leggja út malbik sem Vegagerðin kaupir. Í áfangaskýrslu 10 um malbiksrannsóknir ársins 2017 sem kom út í apríl 2018 eru birtar myndir úr hitamyndavél sem komið hafði verið fyrir á malbikunarvél MHC sem tekur voru við malbikun undir Hafnarfjalli. Mynd 2.25 sýnir hitamyndavél ásamt staðsetningartæki sem komið hefur verið fyrir á útlagnarvél hjá MHC.



Mynd 2.25 Hitamyndavél og gps staðsetningartæki á gálga aftan við útlagnarvél MHC

Ástæða þess að óskað var eftir myndum úr hitamyndavélinni einmitt frá útlögninni undir Hafnarfjalli er að þegar höfundur þessarar skýrslu átti leið um nýja malbikið tók hann eftir að grófar ójöfnur virtust koma fram með nokkuð jöfnu millibili á akreininni til norðurs. Grunur lék á að þarna gæti hafa verið um færuskil að ræða, þar sem malbikið hafi e.t.v. verið of kalt til að ná

nægilegri þjöppun við völtun eftir útlögn. Starfsmenn MHC sögðu að einmitt við þessa malbikslögn hafi margs konar mistök átt sér stað sem leiddu til þess að tafir urðu á því að flutningabílar kæmu á verkstað í tæka tíð og því hafi þurft að bíða eftir nánast hverjum bíl. Mynd 2.26, sem er hitamynd úr vélinni, sýnir vel þessu færuskil sem urðu með reglulegu millibili á um 556 m löngum kafla.



Mynd 2.26 Kafli sem nær frá staðsetningu sem er um 550 m frá upphafi kaflans og um 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 því væri tekið sérstaklega við útlögn. Eins og fyrr segir komu þessar upplýsingar starfsmönnum MHC þó ekki sérstaklega á óvart, enda höfðu tafir orsakað biðtíma á nánast öllum færum.

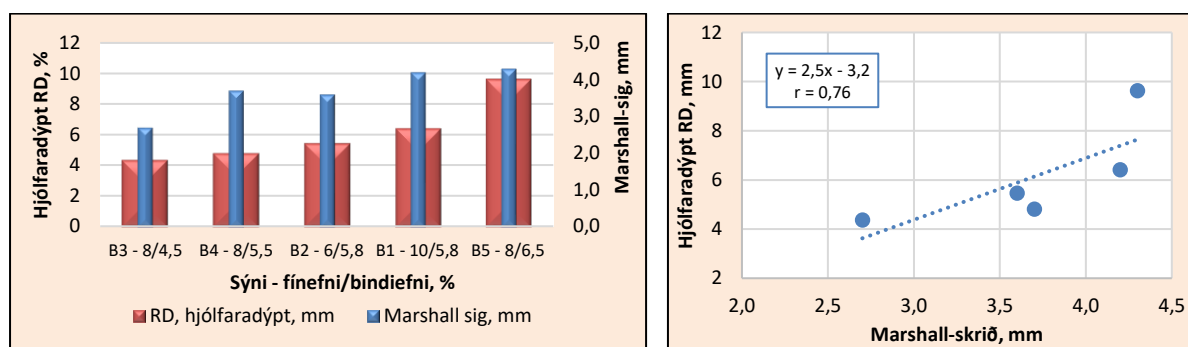
Segja má að þessum rannsóknarpætti malbiksverkefnisins sé ekki að fullu lokið með innleiðingu hitamyndavéla á útlagnarvélar, þar sem enn á eftir að innleiða fasta verkferla, þar sem Vegagerðin fær afhent frumgögn úr myndavélum. Á þann hátt geta starfsmenn Vegagerðarinnar bæði unnið með gögnin, en líka kannað hvort ástæða sé til að skoða vissar lagnir eða svæði sem hafa, samkvæmt gögnunum, verið orðin of köld fyrir þjöppun með valta. Þó má segja að nú þegar hafi verið opnað á að bragabót sé gerð við útlögn malbiks. Nú er gerð sú krafa í útboðsgögnum að útlagnavélar sem notaðar eru til að leggja út malbik fyrir Vegagerðina séu með búnaði til að taka samfelldar hitamyndir við útlögn. Framleiðendur og þeir sem leggja út malbik fyrir Vegagerðina geta nú sjálfir skoðað gögn úr hitamyndavélunum og gert lagfæringar á sínum ferlum til að minnka eða koma í veg fyrir að kaldir blettir eða skil verði við framleiðsluna.

2.4.2 Rannsóknir á fínefnum og mélu í malbik

Fyrstu prófanir á mismunandi fínefnagerðum í malbik hefjast í 4. áfangaskýslu þessa verkefnis sem kom út í mars 2012, en þá voru könnuð áhrif sements í fínefni á skriðeiginleika malbiks. Þetta var í sjálfu sér ekki mjög umfangsmikil rannsókn, þótt talsverð vinna fælist í því að útbúa og hræra í plötur til hjólfaraprófa. Útbúnar voru þrjár plötur af tveimur gerðum fínefna í AC16 stífmalbik með Seljadalsefni og 5,8% af mjúku biki (PG 160/220). Önnur gerðin var með 8% fínefni úr

Björgunarefni og hin gerðin með 5% fínefni úr Björgunarefni og 3% Portland sementi. Niðurstaða þessa knappa verkefnis var sú að íblöndun á 3% sementi í fínefni hefði ekki marktæk áhrif á niðurstöður úr hjólfaraprófi. Því var þó haldið til hags að sement í þessu magni gæti haft áhrif á aðra eiginleika malbiks, svo sem viðloðun, en það var ekki kannað hér. Sementið var þó fíngerðara en fínefnið frá Björgun, en kornarúmpýngd og Rigden holrýmd mældust á svipuðu róli.

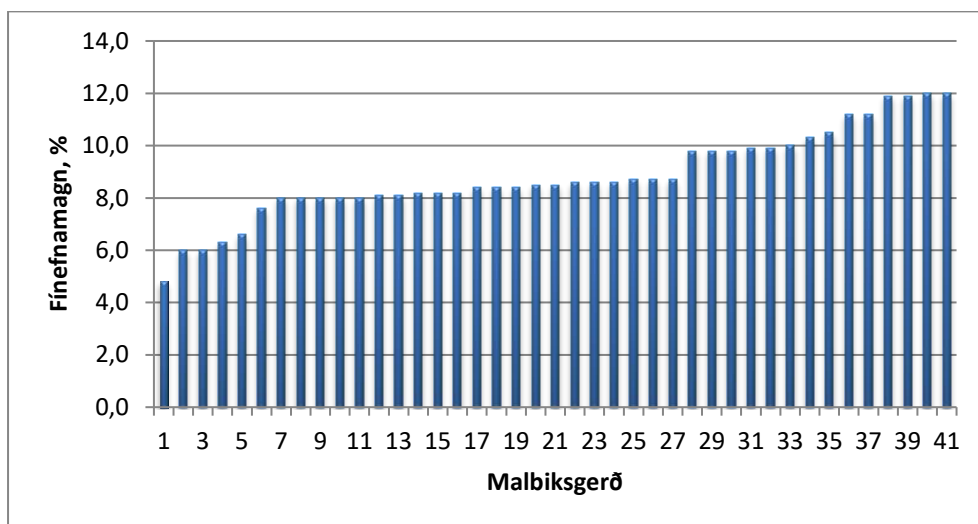
Í áfangaskýrslu 5 er meðal annars kannað hvaða áhrif mismikið magn fínefna og reyndar bindiefnismagns líka hefði á niðurstöður mælinga í hjólfaraprófi og Marshall-prófi (festu og sigi). Útbúnaðar voru 5 malbiksgerðir af AC16 stífmalbiki með Seljadalsefni og mjúku biki (PG160/220) og þjappaðir annars vegar sívalningar með Marshall-hamri og hins vegar plötur með malbiksþjöppu. Blöndunarhlutföllin fínefnamagn/bindiefnismagn voru eftirfarandi (%): 10/5,8, 6/5,8, 8/4,5, 8/5,5 og 8/6,5. Í ljós kom talsverður munur á bæði hjólfaramyndun í hjólfaratæki og niðurstöðum Marshall-prófa, þ.e.a.s. festu og sigi eftir magni fínefna og bindiefnis. Í grófum dráttum voru niðurstöður Marshall-prófa í þá átt sem við var búist varðandi rúmpýngd, holrýmd, festu og sig, sem sagt að aukið bindiefnisinnihald og/eða fínefnainnihald veldur almennt séð hærri rúmpýngd, minni holrýmd, minni Marshall-festu og meira Marshall-sigi, innan þeirra marka sem þessi verkþáttur fól í sér. Hjólfaraprófin sýna í grófum dráttum það sama, en aftur er bent á að gagnasafnið er takmarkað, sjá mynd 2.27 a) og b).



Mynd 2.27 a) og b) Niðurstöður úr hjólfaraprófi og Marshall-prófi og tengsl þar á milli

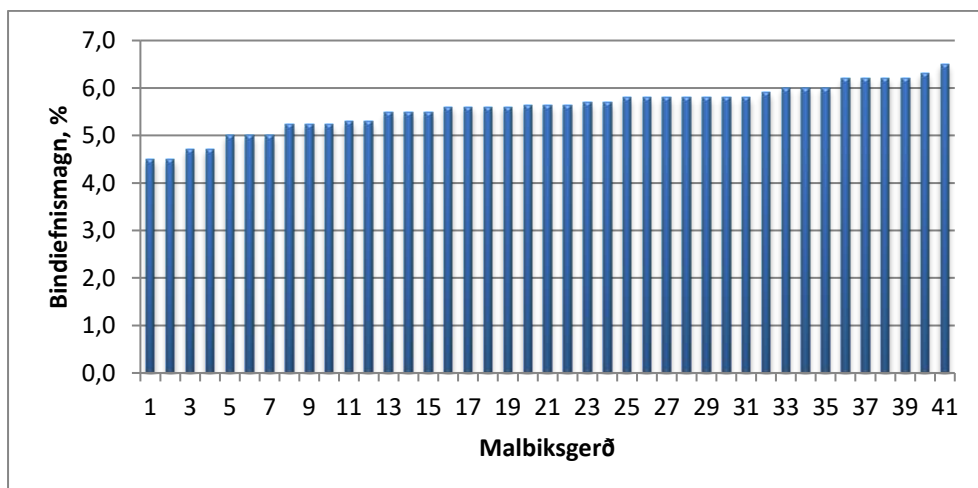
Þess ber að geta að sýni með 4,5% bindiefni og 8% fínefni kom vel út hvað Marshall-sig og hjólfaramyndun (RD) varðar. Hins vegar var ekki hægt að þjappa þá blöndu almennilega og holrýmd var allt of há til að líklegt væri að sú gerð gæti talist nothæf, enda of lítið bindiefni í þeirri henni. Því var niðurstaða þessa verkþáttar sú að hæfilegt gæti talist að nota 8% fínefni og 5,5% bindiefni í þessa gerð malbiks.

Í áfangaskýrslu 6 sem kom út 2014 og fjallaði um vinnu við malbiksverkefnið 2013, er meðal annars tekið saman bæði fínefnamagn og bindiefnismagn sýna sem sett höfðu verið í hjólfarapróf og Prall slitþolspróf fram til þess tíma. Mynd 2.28 sýnir niðurstöður mælinga á fínefnainnihaldi sýnanna.



Mynd 2.28 Niðurstöður mælinga á fínefnainnihaldi sýna sem fóru í hjólfarapróf og slitþolspróf

Myndin sýnir að í flestum tilfellum mælist fínefnamagnið hjá NMÍ um eða yfir 8%, þótt nokkrar gerðir mælist undir 8% og þó nokkur gildi á bilinu 10-12%. Í áfangaskýrslunni eru malbiksgerðirnar tilteknaðar undir súlunum, en hér er aðeins verið að sýna dreifingu gilda heilt yfir. Til að halda því til hags hér voru einnig gerðar mælingar bindiefnismagni sömu sýna, sjá mynd 2.29.

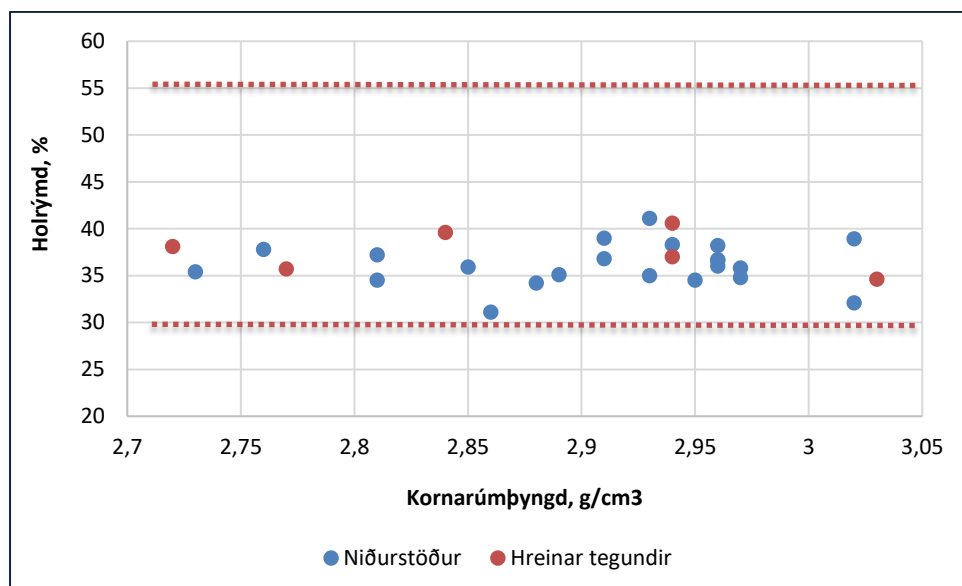


Mynd 2.29 Niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi sýna sem fóru í hjólfarapróf og slitþolspr

Eins og myndin sýnir er mælt bindiefnismagn í flestum tilfellum á milli 5 og 6%, þó eru nokkrar mælingar bæði undir og yfir. Í áfangaskýrslunni eru malbiksgerðirnar tilteknaðar undir súlunum, en hér er aðeins verið að sýna dreifingu gilda og tekið skal fram að númerin á X-ásnum eru ekki samsvarandi milli mynda 2.28 og 2.29, heldur raðar frá lágsta til hæsta gildis.

Segja má að 2015 hafi verið farið í átak til að innleiða prófanir á eiginleikum mélu (e. filler) í malbiki og lýsir áfangaskýrsla 8, sem kom út í apríl 2016 fyrstu prófunum þar að lútandi. Leitað var til malbikunarstöðva Hlaðbæjar-Colas og Höfða um að safna mélusýnum við framleiðslu malbiks og var rúmpýngd og holrýmd þeirra sýna mæld hjá Nýsköpunarmiðstöð Íslands í þessum áfanga. Sýnin sem tekin voru á mismunandi tímum eru allt frá því að vera svört yfir í að vera mjög ljós á litinn og það var ljóst af ásýnd mélusýnanna að þau eru af mismunandi uppruna. Mæld voru 16 mélusýni sem tekin voru hjá MHC, 6 sýni sem tekin voru hjá Malbikunarstöðinni Höfða og svo

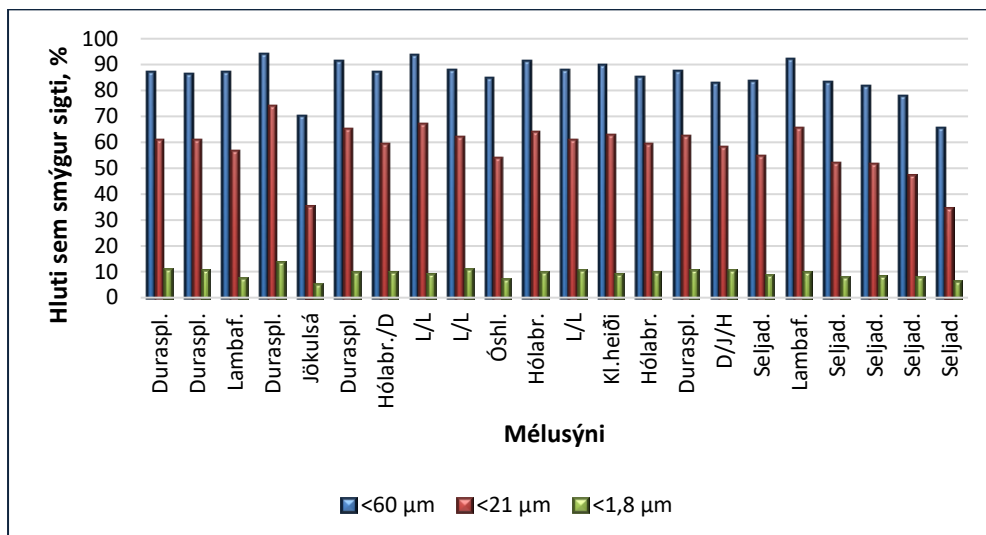
6 „móðursýni“ sem mélan er ættuð úr og þau möluð niður á rannsóknastofu. Niðurstöður þessara mælinga má sjá í hnotskurn á mynd 2.30 hér að neðan.



Mynd 2.30 Kornarúþpyngd og holrýmd fínefna sem algengt er að nota í malbik hér á landi

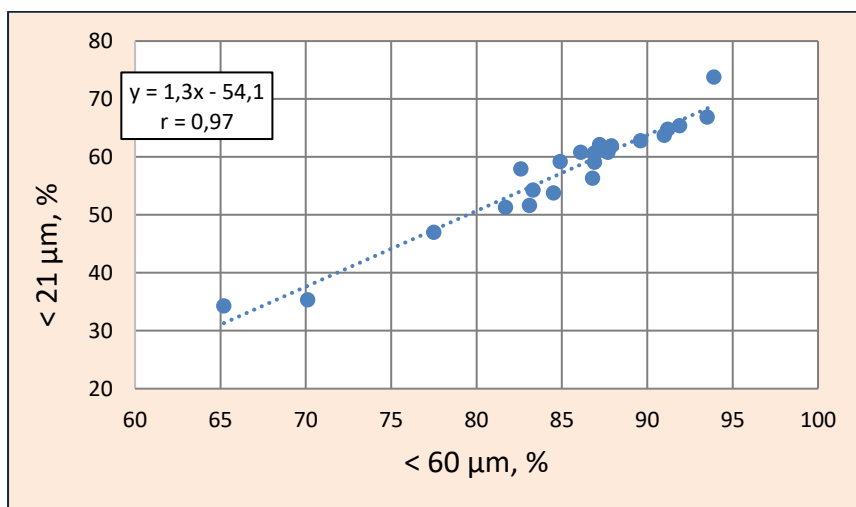
Eins og sjá má á myndinni gefa holrýmdarmælingarnar gildi sem liggja að mestu á bilinu 30 til 40% holrýmd, sem er nokkuð þröngt bil. Breytileiki í kornarúþpyngd er hins vegar allnokkur og er megin reglan sú að lægst er rúþpyngdin þegar verið er að framleiða malbik með erlendum, súrum berggerðum, en hæst þegar framleitt er malbik með íslensku basalti. Það er afdráttarlaust að hreinu berggerðirnar endurspeglu eðlisþyngd þeirra berggerða sem þær eru fengnar úr, sem sagt súra, erlenda bergið er með gildi milli 2,7 og 2,85 Mg/m³ og basíska bergið er frá 2,9 og upp fyrir 3,05 Mg/m³.

Í áfangaskýrslu 9, sem kom út í apríl 2017 og fjallar um malbiksrannsóknir 2016, er meðal annars fjallað um mælingar á fínleika mælusýnanna sem höfðu verið mæld með tilliti til holrýmdar og kornarúþpyngdar í áfanganum á undan. Þess ber að geta að umrædd mælusýni eru tekin úr framleiðslunni sjálfri á einhverju stigi, sem sagt úr snigli eða tanki, en þau eru svo vigtuð inn í viðkomandi malbiksgerð, óháð til dæmis magni yfirstærða (og/eða kornarúþpyngdar). Niðurstöður mælinga á kornadreifingu mélu með laser aðferð eru sýndar á mynd 2.31 hér að neðan. Valið var að sýna á myndinni hversu mikið af sýninu mælist < 60 µm, < 21 µm og < 1,8 µm, en þessar stærðir sem mælast í laser tækinu (auk margra annarra) eru nálægt fínefnastærð skv. skilgreiningu, sem sagt < 0,063 mm, efnis undir 0,02 mm og leirstærða sem eru undir 0,002 mm skv. skilgreiningu.



Mynd 2.31 Hluti mélu sem er smærri en viðmiðunarstærðirnar 60, 21 og 1,8 μm

Þess skal getið að heiti mélusýnanna á myndinni eru ekki allskostar rétt, þar sem heitin endurspeglar þá malbiksgerð sem var verið að framleiða þegar mélusýnin eru tekin, en ekki endilega máluna sjálfa. Það er ljóst að mismikið fínefni (< 0,063 mm) er til staðar í sýnunum, eða allt frá 94% niður í 65%, eða með öðrum orðum er málun sem vigtuð er inn í malbiksblönduna með misjöfnu magni af eiginlegum fínefnum. Mynd 2.32 sýnir fylgni milli magns mélu sem er < 60 μm og magns fínefnis < 21 μm.



Mynd 2.32 Fylgni milli þess hluta sýna sem er smærri en 60 μm og 21 μm

Myndin sýnir greinilega að fylgnin er afar sterk, en þess má geta að einnig er marktæk fylgni milli 60 μm og 1,8 μm, þó ekki eins sterk. Þá má geta þess að marktæk fylgni er á milli efnis smærra en 60 μm og Rigden holrýmdar, því meira sem er smærra en 60 μm, þeim mun hærri er holrýmd sýnisins. Það er því ljóst að fínleiki málunnar hefur áhrif á eiginleika hennar. Það má álykta sem svo að full ástæða sé til að fylgjast með fínleika mélu sem notuð er í malbiksblöndur héraendis, þar sem málun getur verið mjög breytileg varðandi fínleika, jafnvel frá degi til dags.

Í áfangaskýrslu 10 um malbiksraunir 2017 sem kom út í apríl 2018 er fjallað um niðurstöður prófana á yfirborðsflatarmáli með Blaine aðferð á sömu mélusýnum og prófuð höfðu verið í fyrri

áföngum, þó ekki öllum þar sem nokkur sýni höfðu klárast. Í stuttu máli má segja að þessar mælingar hafi ekki komið með afgerandi viðbótarupplýsingar, þótt fram hafi komið að vísu að með auknum fínleika, eykst yfirborðsflatarmálið, eins og búast hefði mátt við. Í skýrslunni er dregið saman það sem komið hefur fram við prófanir á mélusýnum, allt frá árinu 2015. Þar kemur meðal annars fram að magn fínefnis ($< 0,063$ mm) gefur vísbendingu um holrýmd mélu, því fíngerðari méla með litlum yfirstærðum hefur yfirleitt meiri holrýmd en grófari méla. Því er æskilegt að ná stjórn á yfirstærðum og leitast við að lágmarka þær. Einnig er vakin athygli á því að rúmþyngd mismunandi mélugerða er umtalsvert mismunandi og hefur það augljóslega áhrif á rúmmál mélu í malbiksblöndu, þar sem méla er vigtuð inn í blönduna. Því er velt upp að nálgast frekar rúmmál mélu við íblöndun með því að notast við leiðréttingarstuðul, t.d. byggðan á því að **deila í 2,85** ef rúmþyngdin er lægri en það tölugildi, en **deila með 2,85** ef rúmþyngdin er hærri.

Þegar hér er komið sögu má segja að rannsóknunum á eiginleikum mélu í malbik sé ekki að fullu lokið. Enn er til nægilegt magn af nokkrum af mélusýnunum sem prófuð hafa verið með margvíslegum aðferðum allt frá því að þeim var safnað árið 2015, til að útbúa prófblöndur í Marshall-próf. Til stendur að fara í Marshall-prófanir á malbiki með 6 mélugerðum fljótlega og er vonast til að niðurstöður þeirra prófana geti varpað ljósi á mikilvægi eiginleika mélu sem notuð er í malbik.

Að lokum ber að nefna hér að þótt rannsóknum á mélusýnunum sem um ræðir í þessum kafla sé ekki að fullu lokið, hafa niðurstöður prófana hingað til skilað sér inn í Efnisgæðaritíð, að vísu ekki í formi krafna enn sem komið er, heldur leiðbeininga. Í Efnisgæðaritinu sem var endurskoðað í janúar 2020 er sett inn umfjöllun um mélu og eiginleika hennar sem æskilegt er að framleiðendur fylgist með við framleiðslu malbiks.

Í Efnisgæðaritinu stendur: „Því skal haldið til haga hér að méla (100% smjúga 2 mm sigti, 85-100% smjúga 0,125 mm sigti og 70-100% smjúga 0,063 mm sigti samkvæmt skilgreiningu) er vigtuð inn í blönduna, s.s. þyngdarhlutfall hennar ræður hversu mikið er sett í malbikið.....**Æskilegt er að minnst 80% málunnar (fyrir íblöndun) smjúgi 0,063 mm sigti.....** Kornarúmþyngd mélu, er 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 héraðs.....Í ljósi þess að méla er vaktuð inn í steinefnakúrfuna er ljóst að kornarúmþyngd mélu getur haft talsverð áhrif á magn hennar í malbikinu. Það mætti hugsa sér að nálgast frekar rúmmál mélu við íblöndun með því að nota leiðréttingarstuðul, t.d. byggðan á því að **deila í 2,85 ef kornarúmþyngdin er lægri en það tölugildi, en deila með 2,85 ef kornarúmþyngdin er hærri. Síðan að margfalda magn mélu (kg eða tonn) með stuðlinum sem fæst úr rúmþyngdarjöfnunni.**“

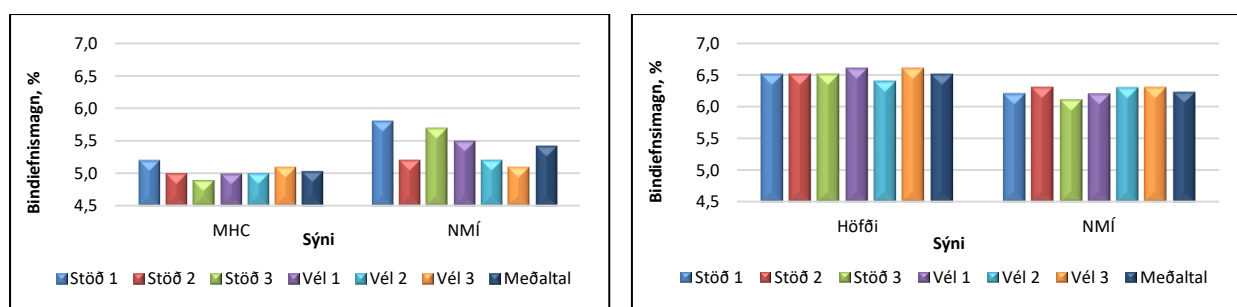
Þegar niðurstöður úr prófblöndum með mismunandi málugerðum liggja fyrir getur verið að það kalli á að settar verði fram ákveðnari kröfur um mælingar og leiðréttingar á magni mélu eftir rúmþyngd hennar og fínleika.

2.4.3 Samanburður á mælingum prófunarstofa á malbiki

Áfangaskýrsla 10 kom út í apríl 2018 og fjallar hún um rannsóknir malbiksverkefnisins árið 2017. Einn verkþáttur þessa tímabils var að kanna hvort mikill breytileiki væri í bindiefnis- og fínefnamagni malbikssýnum sem tekin væru á nokkrum stöðum af palli flutningabíls í malbikunarstöð og svo úr útlangarvél. Tekin voru sex sýni við framleiðslu af bílpalli við afgreiðslu, og önnur þrjú úr skúffu útlagnarvélar við útlögn hjá malbikunarstöðvunum Höfða og Hlaðbæ-Colas (MHC), sem sagt alls 24 sýni og var helmingurinn sendur til NMÍ. Sýnin (3+3) voru greind á rannsóknastofu viðkomandi framleiðanda með Marshall-þjöppun, kornadreifingu steinefnis, bindiefnisinnihaldi, rúmþyngd og holrýmd og hjá NMÍ til samanburðar. Valinn var sólríkur dagur til sýnatöku og vildi svo til að þennan dag var MHC að framleiða og leggja AC16 stífmalbik með Ottersbo steinefni, hörðu biki (PG 70/100) og 3% SBS og Höfði var að framleiða og leggja AC11 stífmalbik með Ottersbo steinefni og hörðu biki.

Sýnin voru greind á rannsóknastofu með Marshall-þjöppun, kornadreifingu steinefnis, bindiefnisinnihaldi, rúmþyngd og holrýmd, bæði hjá framleiðanda malbiksins og hjá NMÍ til samanburðar. Helmingur sýnanna var sendur 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.

Margt áhugavert kom út úr þessum þætti rannsóknaverkefnisins. Í fyrsta lagi má telja að ómögulegt var að finna nokkurn kerfisbundin munur á niðurstöðum prófana á sýnum sem tekin voru af palli og þeim sem tekin voru úr malbikunarvél innan prófunarstofu. Það eitt og sér bendir ekki til þess að mikill aðskilnaður eigi sér stað frá flutningabíl til útlagnarvélar. Hvað varðar mælingu á bindiefnismagni var nokkur munur á niðurstöðum hvorrar malbikunarstöðvar og NMÍ, eins og sjá má á myndum 2.33 a) og b).

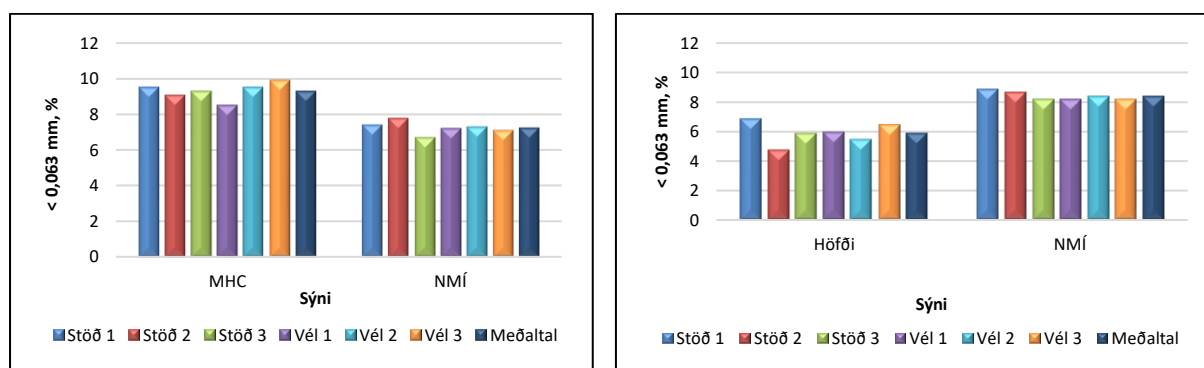


Mynd 2.33 a) og b) Niðurstöður mælinga á bindiefnismagni malbikssýna frá Höfða og MHC

Það sést á mynd a) að mælingar MHC á bindiefnismagni eru allar svipaðar, eða frá 4,9% og upp í 5,2%, meðaltalið er 5,0%. Hjá NMÍ mælist bindiefnismagn 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 bindiefnismagn en skilvinda NMÍ, eða um 0,4% og auk þess minni frávik milli sýna. Það sést á mynd b) að mælingar Höfða á bindiefnismagni eru allar svipaðar, eða frá 6,4% og upp í 6,6%, meðaltalið er 6,5%. Hjá NMÍ mælist bindiefnismagn 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%. Mynd b) sýnir sem sagt að í þessum samanburði mælir brennsluofn Höfða meira bindiefnisinnihald en skilvinda 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. Þess má geta að á heimasíðu MHC er gefið upp að lágmarks-bindiefnismagn fyrir AC16 stífmalbik skuli vera $B_{\min}5,2\%$, en meðaltal þeirra eigin mælinga er 5,0% eins og fyrr segir. Á heimasíðu Höfða er gefið upp að bindiefnismagn skuli að lágmarki vera $B_{\min}5,4\%$ fyrir AC11 stífmalbik, en meðaltal þeirra mælinga eru heil 6,5% sem er langt yfir lágmarkinu. Þess má geta að í Efnisgæðaritinu eru sett fram þolvik bindiefnismagns stakra mælinga skuli vera $\pm 0,5\%$. Það má því segja að þær kröfur séu að mestu uppfylltar, en óskýrður er munur á mælingum framleiðenda og NMÍ í sitt hvora áttina.

Mæling á fínefnamagni ($< 0,063$ mm) 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 þau hafa afgerandi áhrif á eiginleika malbiks og samspil fínefnis og bindiefnis er mikilvægt varðandi eiginleika malbiksins, svo sem stífni, blæðingu o.fl. Mynd 2.34 a) og b) sýnir niðurstöður mælinga á fínefnum hjá framleiðendum til samanburðar á mældum gildum NMÍ.



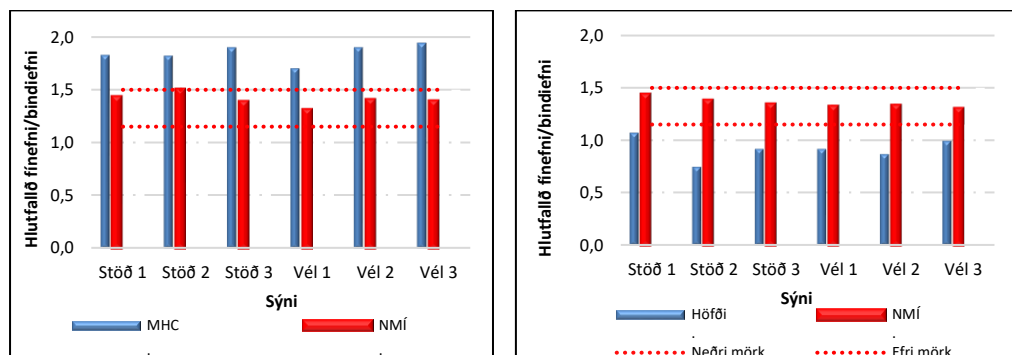
Mynd 2.34 a) og b) Niðurstöður mælinga á magni fínefna í malbikssýnum frá Höfða og MHC

Það sést glögg á mynd a) að MHC mælir í öllum tilfellum meira fínefnamagn 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%. Eins og bent var á hér að ofan mældist bindiefnismagn malbiksins lægra hjá MHC en hjá NMÍ, en hins vegar mælist fínefnamagnið hærra hjá MHC heldur en hjá NMÍ. Ekki er ljóst hvort þarna sé sambengi á milli, þ.e.a.s. að ef bindiefnismagn mælist lágt eru líkur á að fínefnamagn mælist hátt. Mynd b) sýnir að mælingar á magni fínefna eru lægri hjá Höfða en hjá NMÍ og munur á hlutasýnum er 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 fínefnamagni hjá Höfða, en einungis 0,7% hjá NMÍ.

Bent skal á að í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar eru markalínur 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 stífmalbik. 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.

Til að rýna aðeins betur í niðurstöður mælinga á bindiefnisinnihaldi og magni fínefnis var útreiknað hlutfall milli þessara þátta skoðað. Mynd 2.35 a) og b) sýnir hlutföllin milli fínefnamagns og bindiefnismagns hjá MHC og NMÍ annars vegar og Höfða og NMÍ hins vegar.



Mynd 2.35 a) og b) Hlutfallið fínefni/bindiefni hjá MHC og NMÍ og Höfða og NMÍ

Eins og sjá má á mynd a) er hlutfallið fínefni/bindiefni mun hærra hjá prófunarstofu MHC heldur en hjá NMÍ, enda mældist fínefnamagnið þar við efri mörk markalína, en bindiefnismagnið einungis um 5%. Hlutfallið fellur því utan leiðbeinandi marka Efnisgæðaritsins (meðaltal 1,8), þ.e.a.s. fínefnamagnið er of hátt miðað við bindiefnismagnið. Hjá NMÍ falla öll gildi innan leiðbeinandi marka (meðaltal 1,4), enda mældist fínefnamagnið minna og bindiefnismagnið meira þar. Eins og sjá má á mynd b) er hlutfallið fínefni/bindiefni mun lægra hjá prófunarstofu Höfða heldur en hjá NMÍ, enda mældist fínefnamagnið 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. fínefnamagnið er of lágt miðað við bindiefnismagnið. Hjá NMÍ falla öll gildi innan leiðbeinandi marka (meðaltal 1,4), enda mældist fínefnamagnið 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 finu 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 fínefnamagni væru e.t.v. með einhverja kerfisbundna skekkju í mælingum.

Segja má að ofangreindar mælingar á bindiefnismagni og fínefnamagni komi nokkuð á óvart þar sem ætla hefði mátt að brennsluofnarnir hjá MHC og Höfða hefðu í báðum tilfellum legið sömu megin við niðurstöður í skilvindu NMÍ. Spurningunni um hvort aðskilnaður mælist í sýnum, annað hvort á palli eða útlagnarvél eða milli pallasýna og sýna úr útlagnavél er í raun svarað á jákvæðan hátt, að ekki virðist mælanlegur aðskilnaður í sýnunum. Spurningunni um hvort mælanlegur munur er á mældum gildum bindiefnis og fínefna viðkomandi farmleiðenda og NMÍ er svarað þannig að svo virðist vera, þótt halda megi því fram að hann sé ekki mjög mikill. Í öðrum samanburðinum mælir NMÍ meira en framleiðandinn af bindiefni og minna af fínefni, en í hinum samanburðinum snýst þetta alveg við. Þetta veldur því að NMÍ er innan marka sem sett hafa verið

fram um hlutfallið fínefni/bindiefni, en báðir framleiðendur eru utan þeirra marka, annar með hærra hlutfall en hinn með lægra hlutfall. Ekki er hægt að setja fram einhlýta skýringu á þessum mun, en það var talið ljóst að kanna þyrfti mælingar þessara prófunarstofa betur. Þess má geta að kornadreifing sýnanna var (að öðru leyti en fínefnamagn) sambærileg milli prófunarstofa framleiðanda og NMÍ og innan markalína. Einnig má geta þess hér að útbúnir voru Marshall-kjarnar til mælinga á rúmpýngd og holrýmd þeirra, en ekki verður farið nánar út í þær mælingar hér, heldur vísað í áfangaskýrslu 10 hvað þær varðar.

Í áfangaskýrslu 11 um malbiksrannsóknir ársins 2018 sem kom út í mars 2019, er meðal annars fjallað um aðra samanburarrannsókn á niðurstöðum mælinga á malbiki, með áherslu á bindiefnismagn, fínefnamagn og kornadreifingu. Í þetta sinn voru tekin sýni af fjórum malbiksgerðum af palli í stöð (tveimur frá MHC og tveimur frá Höfða) og þau prófuð hjá fjórum prófunarstofum. Í þessum áfanga var sem sagt leitað til norsku vegagerðarinnar í Þrándheimi um samstarf við mælingar á þessum malbikssýnum og tók tengiliður þeirra (Einar Aarsprong) vel í það að taka þátt, en þeir notuðu skilvindaaðferðina eins og NMÍ. Hugmyndin með því að fá erlenda prófunarstofu til að mæla einnig þessi íslensku sýni var að sjá hvort sú stofa fengi mæligildi sem lægju nálægt einni eða fleiri af íslensku prófunarstofunum. Á þann hátt mætti áætla hvaða gildi væru næst lagi, eða endurspegluðu raunvegulega samsetningu malbiksgerðanna. Hver prófunarstofa fékk þrjú hlutasýni af hverri gerð malbiks, en gerðirnar fjórar voru:

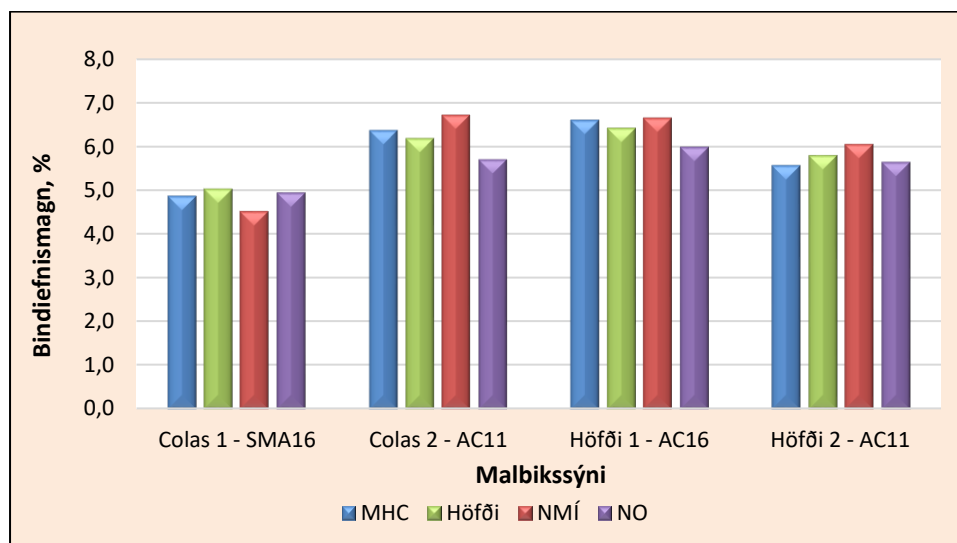
Colas 1: SMA 16 steinríkt malbik með 10% fræs og Durasplitt steinefni

Colas 2: AC 11 stífmalbik með 10% malbikskurli og steinefni frá Hólabrú

Höfði 1: AC16 stífmalbik með steinefni frá Hyllestad í Noregi

Höfði 2: AC 11 stífmalbik með steinefni frá Lambafellsnámu

Í þessari skýrslu eru birt meðaltöl mælingar þriggja sýna á hverri prófunarstofu, enda voru niðurstöður mælinga á hlutasýnum yfirleitt mjög líkar innan stofu og var munur milli hlutasýna yfirleitt ekki nema 0,2 til 0,3 prósentustig. Mynd 2.36 sýnir niðurstöður meðaltals mælinga á bindiefnismagni sýnanna fjögurra.

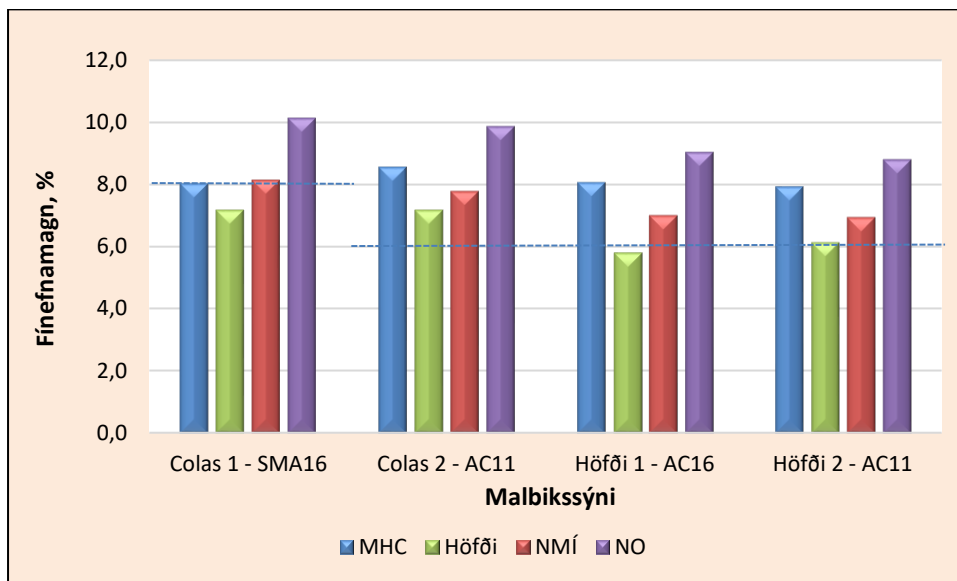


Mynd 2.36 Niðurstöður mælinga á bindiefnismagni malbikssýnanna

Þess skal getið að í einu tilfelli, þ.e.a.s. mæling NMÍ á Colas 1 sýninu var mjög misvísandi, enda bilun í tæki og því ber að líta ekki til rauðu súlunnar í því sýni. Að öðru leyti var gott samræmi milli hlutasýna innan hverrar prófunarstofu. Það vekur athygli að NO (Statens vegvesen) mælir tiltölulega lágt bindiefnisinnihald miðað við hinar stofurnar. Mest áberandi er munur í sýni Colas 2 þar sem NO mælir magnið 5,7%, NMÍ mælir 6,7% og hinar stofurnar eru þar á milli. Það munar sem sagt heilu prósentustigi á hæstu og lægstu meðaltölunni, en yfirleitt er munurinn frekar lítill milli prófunarstofa. Öll mæld gildi NO á hlutasýnum Colas 2 eru þó undir 6%, en öll önnur mæld gildi hjá hinum stofunum þremur eru yfir 6% og sum verulega. Sama er að segja um sýnið Höfði 1, að öll mæld gildi NO á hlutasýnum eru lægri en öll önnur gildi hjá hinum stofunum. Hvað varðar sýnið Höfði 2 eru MHC og NO lægst með 5,6% bindiefnismagn, en hinar stofurnar eru heldur hærri. Loks má benda á að NMÍ er með hæstu gildin á bindiefnismagni fyrir þrjár malbiksgerðir af fjórum, en eins og áður er getið getur mælingin þar sem NMÍ var ekki hæst (Colas 1) varla talist marktæk. Til að draga almenna ályktun af þessum samanburði má segja að MHC og Höfði (brennsluofnar) séu á mjög svipuðu róli, en NMÍ mælir hærri gildi í bindiefnismagni, en NO lægri (skilvindur), þótt munurinn sé ekki ýkja mikill milli prófunarstofa á heildina litið.

Það er erfitt að ljúka umræðu um bindiefnismagn í fjórum gerðir malbiks, án þess að minnst á magnið miðað við það sem gefið er upp á heimasíðum MHC og Höfða fyrir viðkomandi gerðir. MHC gefur upp að lágmarksmagn bindiefnis skuli ekki vera minna en 5,8% fyrir SMA16 malbik, en ef litið er á meðaltal allra mælinga allra prófunarstofanna er gildið 4,8%. Það er því líklegt að það malbik sem sýnin voru tekin úr hafi í raun ekki verið með nægilega mikið bindiefni. Lágmarksmagn sem MHC gefur upp fyrir AC11 malbik er 5,7%, en meðaltal allra mælinga er 6,2% sem er vel yfir mörkum, þótt mælingar NO séu á mörkunum. Höfði gefur upp að lágmark bindiefnis fyrir AC16 malbik sem þeir framleiða skuli vera 5,2%, en meðalmæling allra sýna er 6,4%, sem sagt nokkuð vel í látið og allar stofur um eða yfir 6% bindiefni. Fyrir AC11 malbik gefur Höfði upp að lágmark bindiefnis skuli vera 5,4%, eða aðeins meira en í AC16 malbik. Hér er meðalmagn allra mælinga 5,8% sem mætti telja hæfilegt, en er þó umtalsvert minna en mældist í AC16 malbiki þeirra. Það er athyglisvert að framleiðendur eru í einu tilfelli með bindiefnismagn sem er talsvert undir því sem gæti talist hæfilegt og í einu tilfelli talsvert yfir því sem mætti ætla að væri hæfilegt magn. Að lokum má benda á að leiðbeinandi lágmarksgildi sem gefin eru upp í töflu 64-3 í Efnisgæðaritinu eru í öllum tilfellum hærri en framleiðendur gefa upp fyrir sömu malbiksgerðir á sýnum heimasíðum, en reyndar hefur verið bent á að gildin í ritinu gætu verið of há.

Mæling á fínefnamagni 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 er ástæða til að fjalla sérstaklega um magn fínefna þar sem fínefni hefur afgerandi áhrif á eiginleika malbiks og samspil fínefnis og bindiefnis er mikilvægt varðandi eiginleika malbiksins. Í þessari samanburðarrannsókn var lítill munur á hlutasýnum innan hverrar rannsóknastofu fyrir sig (yfirleitt 0,2-0,4 prósentustig) og því eru sett fram meðaltöl þriggja hlutasýna á mynd 1.37 hér að neðan.

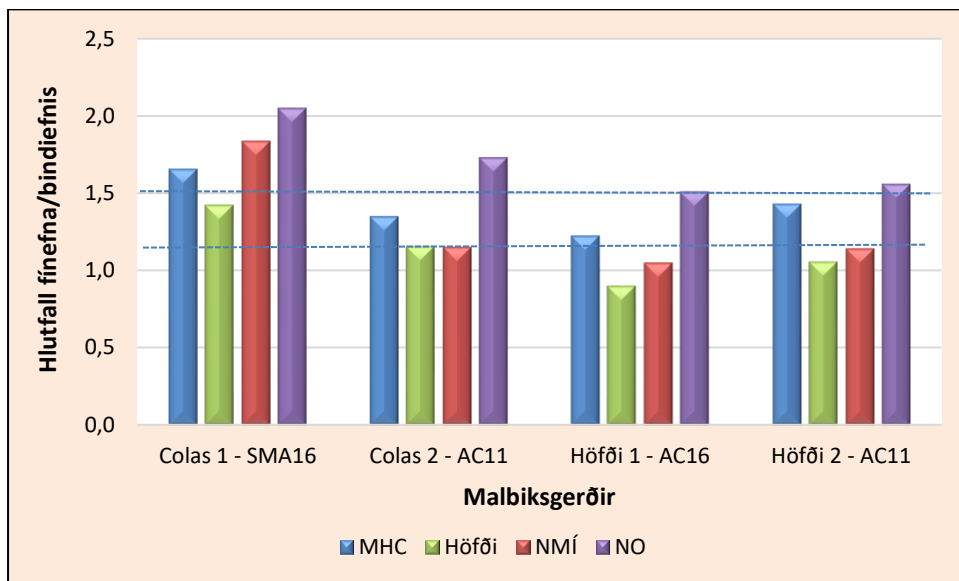


Mynd 2.37 Niðurstöður mælinga á fínefnamagni fjögurra malbikssýna

Það sést á myndinni að röð prófunarstofa í mældu magni af fínefni er í raun alltaf sú sama, NO mælir mest af fínefni, MHC næstmest, þá kemur NMÍ og loks Höfði sem mælir minnst af fínefni fyrir allar gerðirnar. Gróft á litið kemur ekki fram mikill munur á fínefnamagni hjá hverri prófunarstofu, þar sem NO mælir fínefni á bilinu 9-10% í öllum malbiksgerðunum, MHC mælir nálægt 8% í öllum gerðunum, NMÍ mælir 7-8% og Höfði mælir 6-7%. Bláu punktalínurnar sýna lágmarksmagn fínefna fyrir viðkomandi malbiksgerðir skv. Efnisgæðaritinu og það er greinilegt að Höfði mælir um eða undir þeim mörkum í þremur tilfellum af fjórum. Hinar stofurnar eru yfir í öllum malbiksgerðum, en MHC og NMÍ þó á mörkunum í SMA16 steinríka sýninu. NO mælir vel yfir lágmarksgildum og er nálægt hámarki fyrir AC11 stífmalbik (sem eru 10%), en einnig vel undir hámarki í SMA malbikinu (sem eru 13%).

Hvað sem öðru líður er nokkuð áhyggjuefni að mæling á hlutfalli fínefnis í malbiksblöndunum er talsvert breytilegt á milli prófunarstofa og má segja að norska prófunarstofan NO skeri sig úr hvað varðar fínefna (hæstu gildin). Það er líka athyglisvert að munur milli hlutasýna er yfirleitt sáralíttill hjá NO prófunarstofunni. Þá er greinilegt að prófunarstofa Höfða mælir alltaf minna magn fínefna en hinar stofurnar gera. Í fyrri áfanga, sem fjallað er um hér að ofan, kom í ljós að MHC mældi almennt séð hærra fínefnamagn og lægra bindiefnismagn en NMÍ, en í tilfelli mælinga Höfða snerist þetta við. Segja má að sama gerist aftur í þessum samanburði að Höfði mælir lágt fínefnamagn og reyndað það lægsta í öllum tilfellum og MHC mælir ívið meira málumagn en NMÍ eins og áður.

Mynd 2.38 sýnir hlutfallið fínefni/bindiefni á sýnum Colas 1 og 2 og sýnum Höfði 1 og 2, sem sagt meðaltal þriggja hlutasýna. Einnig skal bent á það hér að í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar (bls. 6-65) er lagt til að hlutfallið fínefni/bindiefni liggja á bilinu 1,15 til 1,5, en bláu punktalínurnar á myndinni sýna þessi mörk. Hafa ber í huga að þessi mörk eru ekki rökstudd, en eðlilegt hefur verið talið að fínefnamagn sé heldur hærra en bindiefnismagn, að því gefnu að bindiefnismagnið sé nægjanlega mikið. Því er aldrei hægt að líta einungis til þessa hlutfalls.

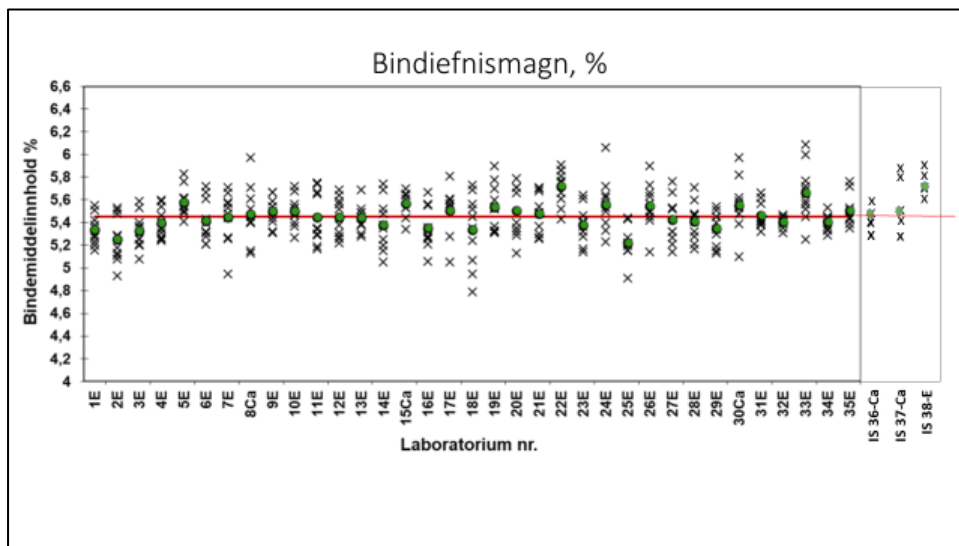


Mynd 2.38 Hlutfallið fínafna/bindiefni malbiksgærðanna – meðaltöl

Eins og sjá má á myndinni er hlutfallið fínafna/bindiefni mun hærra hjá prófunarstofu NO heldur en hjá hinum þremur fyrir sýni Colas 1 og Colas 2, sem sagt mikil méla miðað við bindiefnismagn, en fyrir sýni Höfði 1 og Höfði 2 er prófunarstofa NO nálægt efri mörkunum. Samkvæmt mælingum NO og þessum viðmiðum í Efnisgæðaritinum væri of mikið af fínafna miðað við bindiefni í sýnum Colas 1 og Colas 2, en sýni Höfði 1 og Höfði 2 væru innan viðmiða eða við efri mörk þeirra. Prófunarstofa MHC hefur hlutfallið rétt yfir mörkunum fyrir sýni Colas 1, en er innan marka fyrir hin sýnin þrjú. Prófunarstofa NMÍ er með hlutfall um og undir neðri viðmiðunarmörkunum fyrir þrjú sýni af fjórum, en við mælingu á Colas 1 kom fram misræmi í mælingum, sérstaklega á bindiefnismagni og því óvarlegt að túlka það hlutfall frekar. Mælingar prófunarstofu Höfða er innan viðmiðunarmarkna fyrir sýni Colas 1, við neðri mörkin fyrir sýni Colas 2 (eins og NMÍ), en nokkuð undir mörkunum fyrir sýni Höfði 1 og Höfði 2. Benda má á að prófunarstofa Höfða (og reyndar líka NMÍ að hluta) virðist mæla fínafnamagn mjög lágt og er sú mæling í raun ekki sannfærandi, en niðurstaða hennar veldur því að hlutfallið fínafna/bindiefni er lágt.

Segja má að niðurstöður þessara tveggja áfanga í samanburði á mælingum á bindiefnismagni og fínafnamagni í malbikssýnum (áfangaskýrslur 10 og 11) hafi leitt í ljós að NMÍ mælir að öllu jöfnu hærra bindiefnismagn en MHC, en lægra magn en Höfði í fyrri áfanganum. Þetta snýst svo við í fínafnamælingunni þar sem MHC mælir hærra magn en Höfði lægra magn en NMÍ. Í seinni áfanganum er ekki mikill munur á mælingum á bindiefnismagni, en fínafnamagnið sem mælist hjá NMÍ liggur á milli MHC og Höfða í þeim áfanga eins og áður. Skilvindaáferðin sem notuð er á NMÍ er sem sagt með mælingar sem falla á milli mælinga MHC og Höfða sem bæði nota brennsluofna. Það að fá norska prófunarstofu til að koma inn í samanburð á þessum mælingum má segja að flæki málið, þar sem hún er lægst í bindiefni (þó ekki mikið), en mælir afgerandi hæsta fínafnainnihaldið. Norsku mælingarnar eru því í raun ekki að benda til að ein stofa mæli nær raunveruleikanum en önnur, þótt mælingar MHC mæli næsthæsta magn fínafna í þeim samanburði.

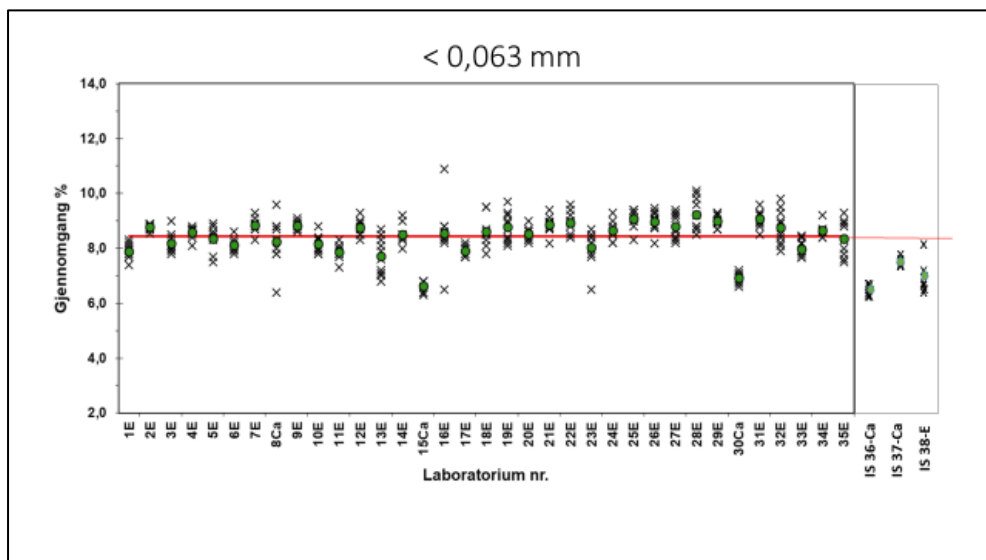
Skýrsluhöfundur fékk upplýsingar um að yfir stæði norsk samanburðarrannsókn einmitt á mælingum á bindiefnismagni og fínefnamagni (auk kornadreifingar), þar sem sama malbiksgerðin var prófuð 10 sinnum hjá 35 norskum prófunarstofum. Höfundi stóð til boða að fá í hendur 20 hlutasýni af sama malbiki, þar sem tvær norskar prófunarstofur höfðu helst úr lestinni og þáði það með þökkum. Verkefnið um malbiksrannsóknir stóð undir kostnaði við flutningskostnað, umsýslu og úrvinnslu mælinga, en prófunarstofur MHC, Höfða og NMÍ fengu 6 hlutasýni hver stofa og stóðu þær undir kostnaði við prófanir á þeim. Niðurstöður prófana á bindiefnismagni hjá öllum 35 norsku stofunum og þeim þremur íslensku eru birtar á mynd 2.39.



Mynd 2.39 Samanburður á mælingum á bindiefnismagni á norsku malbikssýni

Til skýringar má nefna að stafurinn E í nafni prófunarstofu merkir að hún notar skilvindaðferðina, en Ca merkir að um brennsluofn er að ræða. Táknid x sýnir stakar mælingar, grænn hringur meðaltal viðkomandi prófunarstofu og rauða línan á myndinni táknar meðaltal allra norsku mælinganna. Þrjár síðustu stofurnar eru þær íslensku, sem sagt Höfði, MHC og NMÍ. Sjá má að mælingar Höfða eru allar á tiltölulega þröngu bili og lenda auk þess í norska meðaltalinu, MHC sýnir meiri dreifingu stakra mælinga, en meðaltalið er einnig í samræmi við norska meðaltalið. NMÍ mælir heldur meira bindiefnismagn en norska meðaltalið, reyndar með þeim hæstu, en stakar mælingar eru á tiltölulega þröngu bili. Það sem vekur einna mesta athygli við þessar niðurstöður er að sumar af norsku stofunum mæla mjög mismikið bindiefnismagn í stökum mælingum og getur munað allt að 1 prósentustigi á hæsta og lægsta gildi. Þó eru meðalgildin í flestum tilfellum mjög nálægt meðalgildi allra norsku prófunarstofanna. Í raun mætti því segja að það sé óvarlegt að reiða sig á eina mælingu, t.d. við framleiðslueftirlit, þar sem stök mæling gæti verið talsvert langt frá meðalgildi t.d. fjögurra mælinga (eins og gerðar eru í tengslum við Marshall-prófið).

Mynd 2.40 sýnir mælingar á fínefnamagni hjá 35 norskum prófunarstofum og þremur íslenskum, sem sagt Höfða, MHC og NMÍ.



Mynd 2.40 Samanburður á mælingum á fínefnamagni á norsku malbikssýni

Til skýringar er E í nafni prófunarstofu ef hún notar skilvindaðferðina, en Ca ef hún notar brennsluofn. Táknið x sýnir stakar mælingar, grænn hringur meðaltal viðkomandi prófunarstofu og rauða línan táknar meðaltal allra norsku mælinganna. Þrjár síðustu stofurnar eru þær íslensku, sem sagt Höfði, MHC og NMÍ. Myndin sýnir að meðaltal fínefnamagns mælist um 8,5%, en það vekur athygli að allar 5 stofurnar sem notast við brennsluofn fá meðalgildi fyrir neðan meðaltalið og þar af 4 með öll mæld gildi undir meðaltali allra norsku stofanna. Þetta á einnig við um íslensku stofurnar sem nota brennsluofna, en mælingar Höfða á fínefnamagni eru 6,5% að meðaltali sem er lægsta meðalgildið í þessum samanburði. Mælingar MHC eru 7,6% fínefni að meðaltali, sem er næsthæst af brennsluofnunum 5, sem sagt tiltölulega nálægt meðalgildinu (rauðu línunni). NMÍ mælir fínefnamagnið 6,9% að meðaltali sem er lægsta gildið sem mælist með skilvindaðferðinni af norsku stofunum.

Segja má að samanburðarrannsóknir síðustu ára, með og án náttöku norskrar prófunarstofu, svo og samanburður við niðurstöður 35 norskra prófunarstofa hafi leitt eitt og annað í ljós, án þess að einhlýtar skýringar hafi fengist varðandi mögulega áhrifavalda. Til þess að draga saman nokkur atriði sem telja má áhugaverð má halda eftirfarandi punktum fram:

Mæling á bindiefnisinnihaldi í samanburðarprófunum hefur yfirleitt verið nokkuð samsvarandi milli prófunarstofa, þótt í vissum tilfellum hafi ein prófunarstofa e.t.v. verið með nokkuð há eða lág gildi miðað hinar. Einnig má benda á að í flestum tilfellum er mjög lítill munur á mældu bindiefnisinnihaldi hlutasýna hjá íslensku prófunarstofunum. Varðandi mælingu á magni fínefna, má segja að í flestum tilfellum er lítill munur á mælingum á hlutasýnum innan prófunarstofu, en munur á milli prófunarstofa er í mörgum tilfellum umtalsverður. Malbikunarstöðin Höfði hefur í þessum þremur áföngum samanburðarverkefna verið með því allra lægsta sem mælist hefur af fínefnum af íslensku stofunum þremur. MHC hefur í flestum tilfellum verið með hærri gildi en t.d. NMÍ og mun hærri gildi en Höfði, en þó ekki eins há gildi og norska prófunarstofan mældi á íslensku sýnunum (sjá áfangaskýslu 11). Svo ber að nefna að samanburður við 35 norskar prófunarstofur benda ekki til þess að íslensku stofurnar víki langt frá þeim norsku og ekki heldur

að dreifing niðurstaðna hlutasýna sé meiri hér en hjá þeim norsku. Það kemur líka fram að þeir fimm brennsluofnar sem notaðir voru í samanburðinum (þar af tveir íslenskir) mæla greinilega minna af fínefnum en gerist með skilvinduaðferðinni. Þó má segja að NMÍ mæli fínefnamagnið á pari við brennsluofnana og er lægsta gildið sem mælist með skilvinduaðferðinni miðað við norsku stofurnar. Segja má að mæld gildi hlutasýna, bæði bindiefnismagn og fínefnamagn innan prófunarstofa séu afar há í sumum tilfellum, þótt íslensku stofurnar fylli ekki þann hóp. Þó er allnokkur dreifing í mældu bindiefnismagni hjá MHC og einnig nokkur dreifing í mældu fínefnamagni hjá NMÍ.

Segja má að sumt jákvætt og sumt neikvætt hafi komið fram í þessum þremur áföngum á samanburði á prófunarstofunum MHC, Höfða og NMÍ eins og fram kemur í þessum kafla. Að mati skýrsluhöfundar þyrfti að vera meira samræmi í niðurstöðum mælinga íslenskra prófunarstofa á bindiefnismagni og fínefnamagni malbiks. Báðir þessir þættir hafa mikil áhrif á eiginleika malbiks og nauðsynlegt er að þeir séu mældir af samvirkusemi í tækjabúnaði sem er vel yfirfarinn, hvort sem það eru skilvindur, brennsluofnar eða sigti. Það er í raun ekki ásættanlegt að prófunarstofa framleiðanda mæli bindiefni eða fínefni undir eða yfir þeim mörkum sem gefin eru upp fyrir viðkomandi malbik á heimasíðum þeirra. Því þyrfti í raun að halda áfram með það verkefni að ná meira samræmi í mælingum prófunarstofanna þriggja með samvinnu þeirra (og e.t.v. fleiri prófunarstofa) á næstu misserum. Til greina kæmi að útbúin yrði leynileg blanda af malbiki (eða jafnvel fleiri en ein), þar sem allt yrði skammtað og vegið inn í malbikið, t.d. í hinni nýju malbikshræivél Vegagerðarinnar.

3 Umræða

Upphaflega var lagt upp með að taka saman helstu niðurstöður malbiksrannsókna sem fjallað er um í áfangaskýrslum 1 til 11 um malbiksrannsóknir (auk viðbótarefnis úr skyldum skýrslum) í þessari skýrslu. Þar er um að ræða rannsóknir á malbiki á tímum Vegvirki/Mannvirki nefndarinnar með hjólfaratæki og slitþolstæki sem voru sett upp á NMÍ 2008 og 2009, en einnig með öðrum aðferðum, útlögnum á tilraunaköflum og fleira því tengt. Þó að þar væri af nógu að taka eins og fram kemur í kafla 2, varð þessi skýrsla heldur yfirgrípsmeiri en það og teygir sig aftar í tíma í sögulegu samhengi. Þar má nefna að fjallað er stuttlega um Steinefnanefndina, BUSL samstarfið, Rannveg nefndina, svo og er fjallað um gamlar heimildir um vegagerð á Íslandi enn fyrr í upphafi þessarar skýrslu.

Segja má að nefndin Vegvirki/Rannvirki hafi ávallt verið hliðholl rannsóknum á skrið- og sliteiginleikum malbiks, ásamt öðrum rannsóknum á malbiki, eins og lýst er í kafla 2 hér að framan, í gegn um tíðina. Nefna má til dæmis að ákveðið var á fundi nefndarinnar í lok árs 2014, að malbiksrannsóknir (ásamt rannsóknum á malar slitlögum og klæðingum) yrði eitt af forgangsverkefnum á mannvirkjasviði Rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar. Verkefnið „Slitlög“ hefur því haldið óslitið áfram fram til dagsins í dag, þótt nefndinni sé ekki ætlað að forgangsraða sérstaklega verkefnum ennþá. Verkefnisstjóri þessa átaksverkefnis var í fyrstu Einar Gíslason hjá Vg, en Birkir Hrafn Jóakimsson tók við af honum sem verkefnisstjóri þegar Einar lét af störfum.

Því skal haldið til haga að skýrsluhöfundur hefur öll þessi ár frá stofnun Vegvirki/Rannvirki nefndarinnar átt afar góð samskipti við bæði NMÍ og einnig malbikunarstöðvarnar Hlaðbæ-Colas og Höfða. Starfsmenn NMÍ hafa verið mjög liprir og flinkir við prófanir og framsetningu niðurstaðna í gegn um árin, en eins og áður segir gegndi Arnþór Óli Arason jarðfræðingur þar lykilhlutverki fyrstu árin við prófanir og túlkun niðurstaðna, bæði úr hjólfaraprófi og Prall slitþolsprófi. Malbikunarstöðvarnar hafa verið óþreytandi við að afla sýna til prófana, útlögn tilraunakafli með nýstárlegum malbiksblöndum, sýnatökur og viðgerðir eftir þær. Fjöldi annarra hafa komið að ákveðnum framkvæmdaþáttum, svo sem hitamyndatöku við útlögn á verkstað, sýnatöku úr götum og vegum með sögun og borun, norskir samstarfsaðilar, bæði með framkvæmd hjólfaraprófana og prófana á bindiefnismagni og fínefnamagni og svo mætti eflaust áfram telja.

Að mati skýrsluhöfundar hefur mikið áunnist í þessu átaksverkefni um malbiksrannsóknir, ekki síst með það að leiðarljósi að kappkosta við að minnka skrið og slit í malbiki sem Vegagerðin kaupir. Eins og rakið hefur verið hér að framan í kafla 2, hafa kröfur aukist á tímabilinu til malbiks hvað þessa þætti varðar. Með notkun á hörðu biki (PG 70/100), sérstökum vaxefnum, hitalækkandi efnum og fjölliðum, auk slitsterkra, innfluttra steinefna hefur tekist að lágmarka hjólfaramyndun í malbiki Vegagerðarinnar. Þar með hefur líftími þess malbiks aukist frá því sem áður var. Eins og getið var um framar í þessari skýrslu eru nú settar fram stífar kröfur um skrið- og slitgildi í malbiki með mikla umferð, sem framleiðendur geta nú náð með hönnun með ofangreindum efnum og aðferðum. Jafnframt hefur notkun hitamyndavéla á útlagnavélum tvímælalaust fækkað köldum blettum og skilum, en slík svæði geta orsakað ótímabærar skemmdir vegna misheppnaðrar þjöppunar. Enn sér ekki alveg fyrir endann á því að ná tökum á

mélu sem notuð er í malbik, sérstaklega með tilliti til kornarúmþyngdar og fínleika hennar. Rannsóknir á mélusýnum hafa þó þegar skilað sér að hluta inn í Efnisgæðaritið, þó ekki sem fastar kröfur, heldur leiðbeiningar enn um sinn. Sama má segja um samanburð á mældum gildum á fínefnamagni og bindiefnismagni milli íslenskra prófunarstofa. Líklegt er að unnið verði að því á næstu misserum að samræma verklag, fara yfir tækjabúnað og jafnvel að útbúa prófblöndur með leyniuppskrift til að fá mælingar til að líkja sem best eftir raunveruleikanum.

Malbiksrannsóknum er að sjálfsögðu ekki lokið með þessari samantektarskýrslu og er víst að af nógu er að taka. Auk áframhaldandi rannsókna á eiginleikum mélu og áhrif mélu á eiginleika malbiks, svo og samræming á niðurstöðum mælinga prófunarstofa á bindiefnismagni og fínefnamagni, má telja að ýmislegt sé fyrirsjáanlega í farvatninu á næstu árum. Má þar til dæmis nefna áframhaldandi prófanir á íblöndun ýmissa efna í malbik, svo sem endurunnið malbik, sem sagt malbikskurl og e.t.v. fleiri efnum. Einnig er til dæmis átt við prófanir á svokölluðum hitalækkandi efnum sem hafa verið prófuð að hluta til og einnig notuð (t.d. Sasobit vax, en það hefur einnig áhrif til aukins viðnáms gegn skriði). Þá má nefna þróun og hönnun á ódýrari malbikslögnum en þeim hefðbundnu, sem væru þar með betur samkeppnishæfar við hefðbundnar vegklæðingar, en klæðingar eru nú víða á umferðarmiklum vegum og hafa oft skamman líftíma. Með færanlegum malbikunarstöðvum mætti hugsa sér að vinna slitsterkt efni og framleiða malbik með því nálægt verkstað og leggja tiltölulega þunnt malbikslag til viðhalds á klæddum vegum með of mikilli umferð fyrir klæðingar. Þar með væri hægt að lækka kostnað við flutning og framleiðslu og minnka efnisnotkun umtalsvert. Slíkt átak þyrfti þó að undirbúa vel og gæta að því að allir þættir væru sem ákjósanlegastir, allt frá framleiðslu steinefna og malbiks, notkun íblöndunarefna, límingu við undirlag, útlögn, hitastig og þjöppun og svo framvegis. Síðast en ekki síst er nauðsynlegt að fylgjast með þróun tilraunakafla sem lagðir hafa verið út á tímum Vegvirki/Rannvirki. Því skal haldið til haga að MHC höfðu frumkvæði að lagningu fyrstu tilraunakafla þessa tímabils á Bústaðavegin 2011, en þeir standa enn lítið skemmdir (nema þá helst eftir sýnatöku úr þeim með sögun og borun).

Heimildir og ítarefni:

Taraldlien, Anne Stine 2019: RINGANALYSE - Ekstraksjon/forbrenning av asfaltmasse. Veiteknisk Institutt. Høvik, Noregur.

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

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

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

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

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson 2000: Endurskoðun á markalínunum fyrir malbik – lokaskýrsla. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-16.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson 1998: Hjólfaramyndun í malbiki að sumarlagi. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-5.

Ásgeir Rúnar Harðarson 2010: Samanburður á malbiki með og án fjölliða. Skýrsla til Rannís – Nýsköpunarsjóðs namsmanna. Reykjavík.

Bergþóra Kristinsdóttir 1999: Íslenskt malbik – ákvörðun aflfræðilegra eiginleika. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

Birkir Hrafn Jóakimsson 2014: Hjólför í íslensku malbiki - Slit og deigar formbreytingar. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

Efnisrannsóknir og efniskröfur. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Kafli 6: Slitlag. – Vegagerðin, janúar 2020.

Efnisrannsóknir og efniskröfur. Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Viðauki 1: Lýsing á prófunaraðferðum. – Vegagerðin, janúar 2020.

Elísabet S. Urbancic 1998: Aflfræðilegir eiginleikar íslensks slitlags – ákvörðun í tilraunastofu. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

Katrín Þuríður Pálsdóttir 2014: Áhrif íblöndunarefna á efniseiginleika lághitamalbiks. MSc ritgerð við Háskóla Íslands, Reykjavík.

Lerfald, B. O. 2007: Deformasjon av asfaltdekker. Statens vegvesen. (í uppkasti).

Lúðvík Kristjánsson 1952: Úr bæ í borg – nokkrar endurminningar Knud Zimsens fyrrverandi borgarstjóra um þróun Reykjavíkur. Helgafell – Unuhúsi, Garðastræti 15-17 Reykjavík.

Pétur Pétursson 2019: Malbiksrannsóknir 2018 – áfangaskýrsla XI. – PP ráðgjöf. Reykjavík 2019.

Pétur Pétursson 2018: Malbiksrannsóknir 2017 – áfangaskýrsla X. – PP ráðgjöf. Reykjavík 2018.

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.

Pétur Pétursson 1996: Vatnspólspóf. Efnisgæðanefnd BUSL, skýrsla E-9.

Þorsteinn Þorsteinsson 1999: Sig og skrið í asfaltbundnum slitlögum. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-9.

Þórir Ingason 2000: Hönnun malbiks. Slitlaganefnd BUSL, skýrsla S-18.

Listi yfir staðla:

Framleiðslustaðlar fyrir malbik, ÍST EN:

13108-1 Material specifications - Asphalt Concrete

13108-2 Material Specifications -Asphalt Concrete for very thin layers

13108-3 Material specifications -Soft Asphalt

13108-4 Material specifications - Hot Rolled Asphalt

13108-5 Material specifications - Stone Mastic Asphalt

13108-6 Material specifications - Mastic Asphalt

13108-7 Material specifications - Porous Asphalt

13108-8 Material specifications - Reclaimed Asphalt

13108-9 Material specifications - Asphalt for Ultra-Thin Layers (AUTL)

13108-20 Material specifications - Type Testing

13108-21 Material specifications - Factory Production Control

13108-31 Material Specifications - Asphalt Concrete with Bituminous Emulsion

Prófunarstaðlar fyrir malbik, ÍST EN:

- 12697-1 Test methods - Soluble binder content
- 12697-2 Test methods - Particle size distribution
- 12697-3 Test methods - Bitumen recovery: Rotary evaporator
- 12697-4 Test methods – Bitumenrecovery: Fractionating column
- 12697-5 Test methods - Determination of the maximum density
- 12697-6 Test methods - Determination of bulk density of bituminous specimens by hydrostatic method
- 12697-7 Test methods - Determination of bulk density of bituminous by gamma rays
- 12697-8 Test methods - Determination of void characteristics of bituminous specimens
- 12697-9 Test methods - Determination of the reference density
- 12697-10 Test methods - Compactability
- 12697-11 Test methods - Determination of the affinity between aggregate and bitumen
- 12697-12 Test methods - Determination of the water sensitivity of bituminous specimens
- 12697-13 Test methods - Temperature measurement
- 12697-14 Test methods - Water content
- 12697-15 Test methods - Determination of the segregation sensitivity
- 12697-16 Test methods - Abrasion by studded tyres
- 12697-17 Test methods - Particle loss of porous asphalt specimen
- 12697-18 Test methods - Binder drainage
- 12697-19 Test methods - Permeability of specimen
- 12697-20 Test methods - Indentation using cube or Marshall specimens
- 12697-21 Test methods - Indentation using plate specimen
- 12697-22 Test methods - Wheel tracking test
- 12697-23 Test methods - Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens
- 12697-24 Test methods - Resistance to fatigue
- 12697-25 Test methods - Part A) Uniaxial cyclic compression test with confinement - Part B) Triaxial cyclic compression test

12697-26 Test methods - Stiffness

12697-27 Test methods - Sampling

12697-28 Test methods - Preparation of samples for determining binder content, water content and grading

12697-29 Test methods - Determination of the dimensions of a bituminous specimen

12697-30 Test methods - Specimen preparation, impact compactor

12697-31 Test methods - Specimen preparation, gyratory compaction

12697-32 Test methods - Laboratory compaction of bituminous mixtures by a vibratory compactor

12697-33 Test methods - Specimen preparation by roller compactor

12697-34 Test methods - Marshall test

12697-35 Test methods - Laboratory mixing

12697-36 Test methods - Determination of the thickness of a bituminous pavement

12697-37 Test methods - Hot sand test for the adhesivity of binder on precoated chippings for HRA

12697-38 Test methods - Test equipment and calibration

12697-39 Test methods - Binder content by ignition

12697-40 Test methods - In-situ drainability of Porous Asphalt

12697-41 Test methods - Resistance to de-icing fluid.

12697-42 Test methods - Amount of foreign matters in reclaimed asphalt

12697-43 Test methods - Resistance to fuel

12697-44 Test methods - Crack propagation by semi-circular bending test

12697-45 Test methods - Saturation ageing tensile stiffness (SATS) conditioning test

12697-46 Test methods - Low temperature cracking and properties by uniaxial tension tests

12697-47 Test methods - Determination of the ash content of natural asphalts

12697-48 Test methods - Interlayer bonding

12697-49 Test methods - Friction after polishing

12697-50 TS test methods - Scuffing resistance

12697-51 TS test methods - Interlayer Bonding

12697-52 TS test methods - Conditioning to address oxidative ageing

12697-53 Test methods - Cohesion increase by spread ability-meter method

12697-54 Test methods - Laboratory curing process for asphalt mixtures with bitumen emulsion

12697-55 Test methods - Organoleptic assessment of compatibility of constituent materials of a mixture with bitumen emulsion

12697-56 Test methods - Compaction procedure for cold mixtures - Static compaction

Valdir framleiðslu- og prófunarstaðlar fyrir steinefni, ÍST EN:

13043 Aggregates for bituminous mixtures and surface treatments for roads, airfields and other trafficket areas (framleiðslustaðall fyrir steinefni í malbik)

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

1097-7 Test for mechanical and physical properties of aggregates - Part 7: Determination of the particle density of filler - Pyknometer method

1097-8 Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 8: Determination of the polished stone value

1097-9 Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 9: Determination of the resistance to wear by abrasion from studded tyres - Nordic test

1367-6 Tests for thermal and weathering properties of aggregates - Part 6: Determination of resistance to freezing and thawing in the presence of salt (NaCl)

196-6 Methods of testing cement - Part 6: Determination of fineness (yfirborðsflatarmál fínefna-Blaine aðferð)

R210 Laboratorieundersökelse, 115 Lyshetsmåling, mars 2015. (ljóstæknilegir eiginleikar steinefna)

Sympatec HELOS/RODOS (mæling á kornadreifingu fínefna með ljörva)