

NMÍ 14-04

Greining á endingargóðu malbiki

Ásbjörn Jóhannesson
Arnþór Óli Arason

Júlí 2014



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands

Greining á endingargóðu malbiki

Reykjavík: Nýsköpunarmiðstöð Íslands 2014.

Unnið fyrir Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar.

Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður skýrslunnar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar né heldur sem álit Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands.

ÁGRIP

Þessi skýrsla fjallar um malbik sem var lagt árið 2001 á fjölfarinn kafla af Hringbraut í Reykjavík og er enn í notkun, 13 árum síðar. Líkleg ending í árum talið er hartnær tvöfalt meiri en meðalending samskonar malbiks á götum í Reykjavík. Ýmsum upplýsingum var safnað um slitlagið á kaflanum og aðstæður á honum í þeim tilgangi að komast að því hvers vegna slitlagið hefði enst svo lengi sem raun ber vitni.

Slit á kaflanum var mælt með því að leggja réttsskeið yfir hjólförin og mæla dýpt þeirra. Líklegt malbiksmagn til að fylla hjólförin var síðan reiknað út frá líkani sem var gert með stoð í mælingum á steypu slitlagi þar sem meðal annars kemur fram hjólfaradýpt og þversniðsflatarmál hjólfara. Þessi mæligögn, ásamt upplýsingum um umferð og notkun negldra hjólbarða árin 2001-2013, voru síðan notuð til að reikna út kvarðað slit¹ á kaflanum. Í skýrslunni er einnig greint frá helstu efniseiginleikum malbiksins.

Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit á kaflanum á tímabilinu 2001-2013 sé 28 SPS, sem er ívið meira en mælist að jafnaði á samskonar malbiki (25 SPS). Niðurstaðan er ótraust, af því að slitið var áætlað út frá hjólfaradýpt en ekki milliliðalaust með mælingum á slitflatarmáli í götuþversniði. Mælingar á slitþoli malbiksins á rannsóknastofu (Prall) gefa þó sömu niðurstöður (16 ml) og meðaltal nokkurra slitþolsmælinga á sambærilegu malbiki. Óvenjuleg ending malbiksins verður því ekki rakin til slitþolseiginleika þess.

Leyfður umferðarhraði á kaflanum er minni (50 km/klst) en víðast hvar annars staðar í Reykjavík þar sem sambærilegt slitlag er notað (60-80 km/klst), sem hefur að öllum líkindum haft jákvæð áhrif á endingu, því slit er talið aukast með umferðarhraða. Þungaumferð er mjög lítil (2-3 %) og af þeim sökum eru litlar líkur á að skrið í malbikinu eigi einhvern þátt í hjólfaramyndun, og minni en víðast hvar annars staðar þar sem sambærilegt slitlag er notað. Holrýmd í útlögðu malbiki er mjög lítil sem hefur jákvæð á veðrunarþol og þar með endingu. Lág holrýmd í útlögðu slitlagi og lægri en í Marshallprófunum á sama malbiki bendir ennfremur til þess að útlögn malbiksins hafi verið velheppnuð. Miðað við fyrirliggjandi upplýsingar er sennilegast að eitt eða fleiri þessara atriða skýri óvenjulega endingu malbiksins.

¹ Kvarðað slit er mælikvarði á slit á malbiki, sem er óháður umferð, notkun negldra hjólbarða og umferðarhraða. Kvarðað slit er þess vegna mælikvarði sem má nota til að bera saman slit á malbiksgerðum.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	1
1. INNGANGUR	3
2. FORSENDUR OG GAGNASÖFNUN	5
2.1 Staðsetning kaflans og aðstæður á honum	5
2.2 Upplýsingar um slitlagið	6
2.2.1 Malbiksuppskrift	6
2.2.2 Eiginleikar útlagðs malbiks	7
2.2.3 Slitþolsmælingar á borkjörnum	8
2.3 Mælingar á hjólfaradýpt	8
2.4 Umferð	9
2.5 Jafngildishlutfall og jafngildisumferð	10
2.6 Umferðarhraði	11
3. ÚTREIKNINGAR Á KVÖRÐUÐU SLITI	12
4. ENDINGARSAMANBURÐUR MEÐ AÐRA MÆLIKVARÐA Á ENDINGU	13
5. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR	15
ÞAKKARORÐ	16
HEIMILDIR	17
VIÐAUKI I. NIÐURSTÖÐUR SLITÞOLSMÆLINGA Á MALBIKI (PRALL)	18
VIÐAUKI II. MÆLINGAR Á HJÓLFARADÝPT	19
VIÐAUKI III. SKYNDITALNINGAR Á UMFERÐ	20
VIÐAUKI IV. ÚTREIKNINGAR Á JAFNGILDISHLUTFALLI OG JAFNGILDISUMFERÐ	21
VIÐAUKI V. HLUTFALL BÍLA Á NEGLDUM HJÓLBÖRÐUM 2001-2013.	24

1. INNGANGUR

Þessi skýrsla fjallar um efniseiginleika og endingu malbiks, SMA 16, sem var lagt á kafla af Hringbraut í Reykjavík sumarið 2001 og er enn í notkun þegar þetta er skrifað, 13 árum síðar, þrátt fyrir talsverða umferð, um 25.000 ÁDU á fjórum akreinum. Markmið skýrslunnar er að finna og setja fram skýringar á óvenjulegri endingu malbiksins.

Hérlendis er það yfirleitt hjólfaradýpt sem takmarkar endingu slitlags á vegum og götum. Hjólförin stafa að mestu leyti af sliti af völdum negldra hjólbarða, þótt vera megi að einhver hluti þeirra stafi af skriði, sem þó er umdeilt. En hjólfaradýpt ein og sér er ekki heppilegur mælikvarði til að bera saman slitþol mismunandi slitlagsgerða. Sama er að segja um aldur slitlaga þegar lagt er yfir þau vegna hjólfara. Ástæðan er sú að margir þættir aðrir en slitþol hafa áhrif á myndun hjólfara og lögun þeirra. Þeir áhrifamestu, fyrir utan slitlagsgerð, eru umferð, umferðarhraði, hlutfall bíla á negldum hjólbörðum og aðstæður á staðnum, þ.á.m. akreinabreidd. Sumir þessara þátta geta verið mjög breytilegir frá einum stað til annars (umferð, umferðarhraði, aðstæður á staðnum), aðrir frá ári til árs (hlutfall bíla á negldum hjólbörðum), og þá þarf að taka með í reikninginn þegar ending slitlagsgerða við mismunandi aðstæður er borin saman.

Á árunum 1989-2004 var slit mælt reglulega á nokkrum umferðarþyngstu götum Reykjavíkur. Niðurstöðurnar voru notaðar til að reikna svokallað kvarðað slit, sem er mælikvarði á slit af völdum negldra hjólbarða. Kvarðað slit (eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða, ef með þarf) er sambærilegt milli staða, er m.ö.o. óháð umferð, umferðarhraða og hlutfalli bíla á negldum hjólbörðum, og gerir kleift að meta slitþol mismunandi slitlagsgerða og hvernig það breytist með tíma.

Kvarðað slit, SPS^2 , tilgreinir hversu mikið efnismagn sem losnar og hverfur úr slitlaginu á hvern bíl sem um það fer og er skilgreint þannig:

Efnistap af yfirborði slitlags, mælt í tonn/km, eftir umferð 1.000.000 léttra bíla á öllum fjórum hjólbörðum fullnegldum³. Önnur skilgreining og jafngild er efnistap af yfirborði slitlags, mælt í g/bíl sem er léttur og á fjórum fullnegldum hjólbörðum. Tölulegt gildi er hið sama hvor skilgreiningin sem er notuð (Ásbjörn Jóhannesson o.fl. 2003, viðauki I, bls.2).

Venjulega er slit ákvarðað með hjálp mælitækis, sem er ekið þvert yfir götuna í mælisniðinu sem á í hlut, annars vegar í byrjun tímabilsins sem er til athugunar, hins vegar í lok þess. Mælitækið skráir tölvutækt snið af götuyfirborðinu í mælisniðinu og með því að bera þessi tvö snið saman er auðvelt að ákvarða hversu mikið slit hefur orðið í þversniðinu á tímabilinu milli mælinga. Breytingin, slitflatarmál í mælisniði, er mæld í cm^2 . Á grundvelli slitflatarmáls í mælisniði, upplýsinga um umferð og notkun negldra hjólbarða, er kvarðað slit reiknað út. Ef umferðarhraðinn er frábrugðinn 60 km/klst, þarf að leiðrétta niðurstöðuna vegna þess.

Tölur um kvarðað slit á einni og sömu malbiksgerð eru talsvert breytilegar, líklega vegna ónákvæmni í slitmælingum, skekkju í umferðartalningum og á umferðarhraða. Allt eru þetta stíkar⁴ sem hafa áhrif á niðurstöðuna. Tölur um kvarðað slit á nokkrum malbiksgerðum úr sterku steinefni (kúlnakvarngildi kringum 7), sem hafa verið notaðar í hagkvæmnissamanburði á malbikuðum og steiptum slitlögum, eru sem hér segir (Gunnar Freyr Freysson og Hreinn Sigurðsson 2008, bls. 102):

² SPS er skammstöfun fyrir sænska orðasambandið *specifika beläggningsslitaget*, á íslensku *kvarðað slit*.

³ Hjólbarði telst fullnegldur ef í honum er leyfður hámarksfjöldi nagla (u.þ.b. 110-150, fer eftir felgustærð, sjá Samgönguráðuneytið 2004) og naglarnir eru óbrotnir.

⁴ *Stíki*, e. *parameter*.

SMA 16 (Y16 SMA)	25 SPS
SL 16 (Y16)	30 SPS
SL 12 (Y12)	35 SPS

Mælingar á sliti á tilraunaköflum með SMA 16 og SL16 í Reykjavík og á Reykjanesbraut hafa þó sýnt heldur lægri tölur að meðaltali (Ásbjörn Jóhannesson 2008, bls. 5). Í sömu heimild (bls. 37) eru tilgreind dæmi um mun hærra tölur (31 SPS) og mun lægri (16 SPS) fyrir kvarðað slit á SMA 16. Þessar tölur eru allar miðaðar við að umferðarhraðinn sé 60 km klst.

Hefðbundnar slitmælingar (þ.e. með slitmælitæki) á kaflanum á Hringbraut voru engar til. Þess í stað var efnistap úr slitlaginu áætlað út frá hjólfaradýpt eftir nokkrum krókaleiðum. Aldur slitlagsins var einnig borinn saman við endingu nokkurra slitlaga af svipaðri gerð. Í næsta kafla er gerð grein fyrir helstu forsendum og öflun upplýsinga sem lagðar voru til grundvallar við útreikninga á kvörðuðu sliti.

2. FORSENDUR OG GAGNASÖFUN

2.1 Staðsetning kaflans og aðstæður á honum

Kaflinn sem hér er fjallað um er á Hringbraut í Reykjavík, um það bil þeim hluta sem er innan bláa ferhyrningsins á mynd 2.1. Á norðurakbraut nær hann frá Melatorgi að Framnesvegi, en á suðurakbraut frá Melatorgi að Meistaravöllum. Slitrannsóknir voru þó takmarkaðar við þann hluta kaflans sem er á milli Melatorgs og Furumels, og er afmarkaður á mynd 2.1 með svörtum ferhyrningi.



Mynd 2.1. Afstöðumynd fyrir malbikskafli á Hringbraut. Svarti ferhyrningurinn afmarkar þann hluta kaflans þar sem hjólför voru mæld. (Kort úr Borgarvefsjá).

Undirbygging kaflans er traust, af borkjörnum að dæma sem teknir voru úr honum (milli Melatorgs og Brávallagötu/Furumels) er bikbundinn hluti yfirbyggingarinnar 10 - 15 cm þykkur og þar undir möl eða púkk. Kaflinn er óskemmdur fyrir utan staðbundna langssprungu á suðurakbrautinni, líklega vegna breikkunar, og nokkra minniháttar viðgerðabletti og ummerki eftir þveranir. Þessar skemmdir hafa þó ekki áhrif á mælingar á sliti; þær voru gerðar í sniðum sem skemmdirnar ná ekki til.

Núverandi slitlag er SMA 16, lagt 2001 af Malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas. Efniseiginleikum þess er lýst í kafla 2.2.

Sá hluti kaflans sem var valinn til slitmælinga er ekki að öllu leyti heppilegur til athugana á sliti af tveim ástæðum. Í fyrsta lagi liggja að honum þvergötur (Birkimelur og Furumelur frá suðri, Ljósvallagata og Brávallagata frá norðri) þannig að umferðin er ekki sú sama á honum öllum. Í öðru lagi eru umferðarljós á tveim stöðum á kaflanum, önnur við Birkimel, hin við Furumel, sem draga úr meðalhraða bílaumferðar í námunda við þau. Sömuleiðis er líklegt að umferðarhraðinn sé heldur minni í

næsta nágrenni við Melatorg þar sem bílar koma út af torginu eða hægja á sér áður en þeir fara inn á torgið.

Leyfður hámarkshraði á kaflanum er 50 km/klst. Á honum eru tvær akbrautir og tvær akreinar á hvorri. Sums staðar eru bílastæði við hægri akrein, en annars staðar kantsteinn og þar er götubreiddin vel afmörkuð. Breidd akbrautar (samkvæmt mælingum upp af korti Borgarvefsjár) er um 6,5 m.

2.2 Upplýsingar um slitlagið

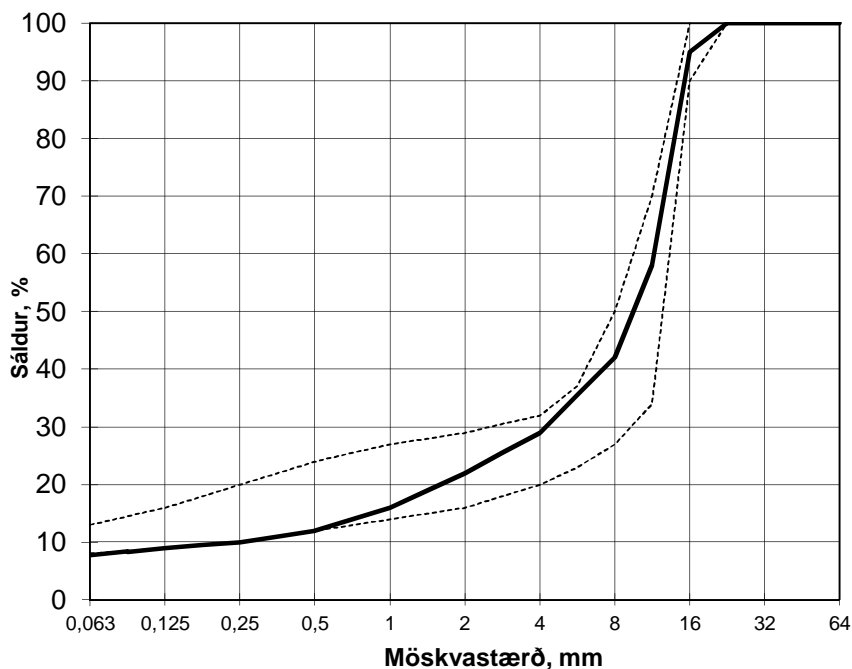
2.2.1 Malbiksupskrift

Slitlagið er SMA 16 (steinríkt malbik, stundum kallað Y16 SMA), hannað, blandað og lagt af Malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas. Blöndunarhlutföll malbiksins eru (Uppskriftir frá Malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas 2001):

Durasplitt, 0-16	100 %	
Eiginfyllir	4 %	(af steinefni)
Bik, SB 180	6,0 og 6,1 %	
Wetfix I	0,40 %	(viðloðunarefni, reiknað af þyngd biks)
Karacell K100	0,30 %	(trefjar til að binda bikið, reiknað af heildarþyngd)

Niðurstöður mælinga á kvarnartölu steinefnisins (Durasplitt) samkvæmt mælingum frá 2007 og 2008 eru 6,8 og 7,0 (Kúlnakvarnarpróf 2007, Testresultater produkter 2008). Meðaltöl fjögurra mælinga á Nýsköpunarmiðstöð Íslands, sem voru gerðar á árunum 2003-2008, eru 6,5 fyrir kvarnartölu og 10,0 fyrir Los Angeles tölu.

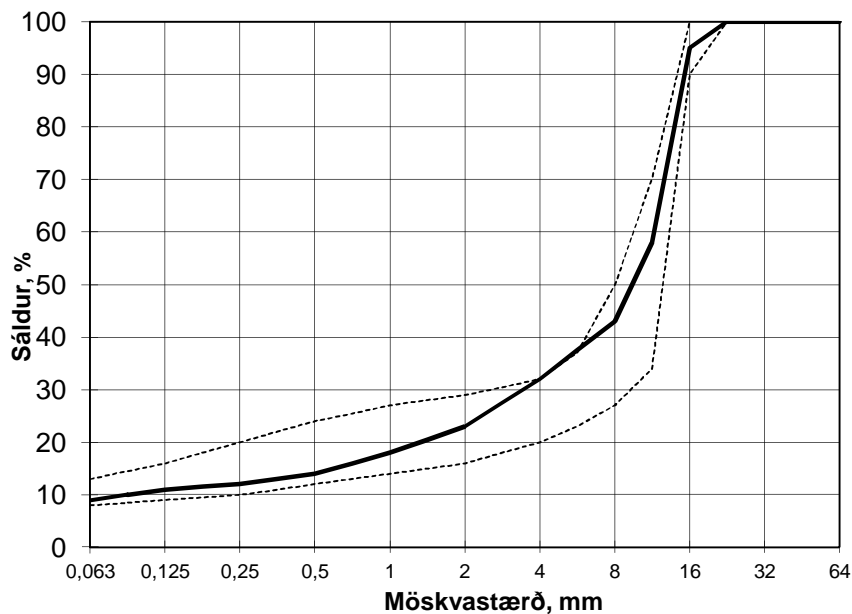
Sáldurferill steinefnisins (fyllir meðtalinn) samkvæmt uppskrift er sýndur á mynd 2.2, ásamt markalínum fyrir SMA 16 skv. leiðbeiningum Vegagerðarinnar (Vegagerðin 2014, bls. 6-89).



Mynd 2.2. Sáldurferill malbiksins sem var lagt á Hringbraut 2001 samkvæmt uppskrift (heildregin lína) ásamt markalínum fyrir SMA 16 (punktalínur).

2.2.2 Eiginleikar útlagðs malbiks

Meðaltal sáldurferla í sex sýnum af malbikinu sem var lagt á Hringbraut 2001 milli Melatorgs og Meistaravalla/Framnesveggar (Rannsóknaskýrslur frá Malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas 2001) er sýnt á mynd 2.3, ásamt markalínunum fyrir SMA 16 skv. leiðbeiningum Vegagerðarinnar (Vegagerðin 2014, bls. 6-89). Vik einstakra ferla frá meðaltalinu voru lítil, mest 6 % á 11,2 mm sikti.



Mynd 2.3. Meðaltal sáldurferla (heildregin lína) í sex sýnum af SMA 16 sem var lagt á Hringbraut 2001 ásamt markalínunum fyrir SMA 16 (punktalínur).

Bikinnihaldið í áðurnefndum sex sýnum var á bilinu 5,8-6,4 %, meðaltalið var 6.1 % (Rannsóknaskýrslur frá Malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas 2001). Marshallpróf var gert á tveim þessara sýna; niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 2.1.

Tafla 2.1. Niðurstöður Marshallprófana á tveim sýnum af SMA 16 sem var lagt á Hringbraut 2001.

Dagsetning sýnis	Holrýmd [%]	Bikfylling [%]	Rúmmál bindiefnis [%]	Rúmmál steinefnis [%]	Rúmmál steinefnis > 4 mm [%]	Festa [N]	Sig [mm]
2001-07-10	0,8	95	15,3	83,9	55	5600	4,9
2001-08-01	1,9	88	14,3	83,8	58	5100	5,8

Holrýmd var mæld á borkjörnum sem voru teknir stuttu eftir útlögn úr fjórum stöðum á kaflanum. Hún var að meðaltali 0,5 %. Vik einstakra mælinga frá meðaltali voru lítil, mest 0,7%.

Frekari upplýsingar um holrýmd í útlögðu malbiki fengust við mælingar á borkjörnum sem voru teknir í janúar 2014 til mælinga á Prallgildi. Meðaltal mælinga á borkjörnum úr fjórum stöðum (fjórum borkjörnum úr hverjum stað) var 0,4 %; minnst 0,2 %, mest 0,6 %.

2.2.3 Slitþolsmælingar á borkjörnum

Úr hverjum mælistað voru teknir fjórir borkjarnar til mælinga á Prallgildi, alls 16 kjarnar. Prófunin var gerð í samræmi við ÍST EN 12697-16:2004. Ofan af hverjum kjarna var söguð u.þ.b. 30 mm þykk sneið og slitþolið prófað á þeirri hlið sem upp sneri í götunni (skv. grein 4.2.1 í áður nefndum staðli). Mynd 2.4 sýnir yfirborð tveggja slíkra sneiða eftir prófun og mynd 2.5 endafleti tveggja kjarna eftir að sneiðarnar höfðu verið skornar af þeim.



Mynd 2.4. Sneiðar af borkjörnum úr SMA 16 sem var lagt á Hringbraut 2001. Myndirnar eru teknar eftir Prallprófun og af þeirri hlið sem prófuð var.



Mynd 2.5. Skurðsár í borkjarna úr SMA 16 sem var lagt á Hringbraut 2001.

Prallgildið var að meðaltali 16 ml. Vik frá meðaltali eru mjög lítil, mest 0,7 ml. Niðurstöður einstakra mælinga eru sýndar í viðauka I.

2.3 Mælingar á hjólfaradýpt

Þar sem mælingar á slit (efnistapi) á hefðbundinn hátt (þ.e. með slitmælitæki) hafa verið lagðar niður varð að fara aðra leið til að finna efnistap sem orðið hefur síðan slitlagið var lagt. Niðurstaðan varð sú að mæla hjólfaradýpt á nokkrum stöðum og áætla slitnið út frá henni með hjálp líkans sem tengir saman slit og hjólfaradýpt.

Í þessu skyni voru valdir fjórir staðir á kaflanum til mælinga á hjólfaradýpt, tveir á hvorri akbraut. Þeir eru allir innan svarta ferhyrningsins á mynd 2.1, þ.e. á milli Melatorgs og Furumels/Brávallagötu.

Á hverjum mælistað voru sett niður fimm mælisnið (með 5 eða 10 m millibili) svo alls urðu mælisniðin 20. Tafla 2.2 sýnir meðaldýpt hjólfara á hverjum mælistað.

Tafla 2.2. Hjólfaradýpt í mælistöðum.

Mælistaður ⁵	Hjólfaradýpt [mm]
A	17,8
B	20,7
C	24,1
D	23,9

Meðaltal 80 mælinga á hjólfaradýpt var 22 mm og staðalfrávik meðaltalsins 0,5 mm. Þessar 80 mælingar skiptust jafnt á allar akreinarnar fjórar og sömuleiðis á hjólförin (fyrsta, annað, þriðja og fjórða hjólfar talið frá hægri kanti akbrautar). Nánari staðsetning mælisniðanna svo og niðurstöður einstakra mælinga eru sýndar í viðauka II.

Lausleg athugun á niðurstöðum mælinganna (fervikagreining) sýnir marktækan mun á hjólfaradýpt eftir mælisniðum. Það kemur ekki á óvart því að umferðin er ekki sú sama á öllum stöðunum vegna hliðargatna (sjá kafla 2.4).

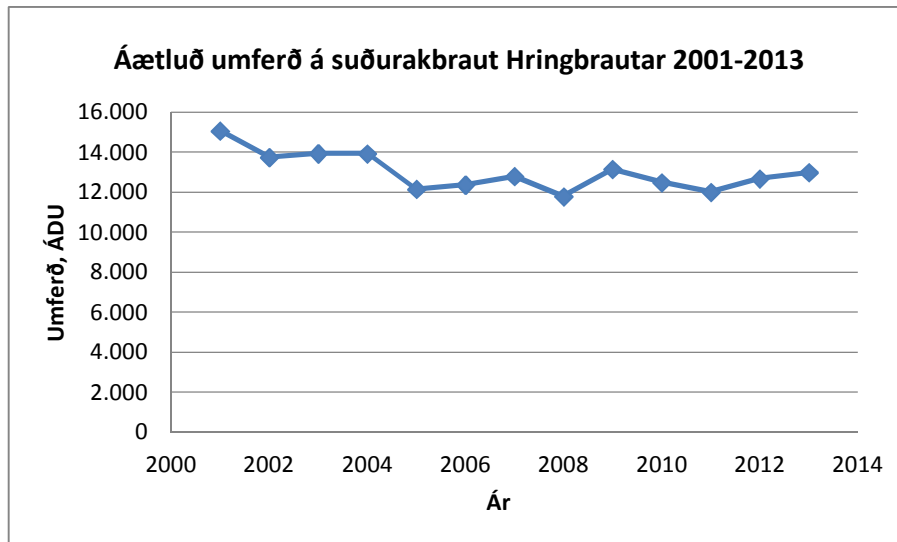
2.4 Umferð

Þar sem margar hliðargötur koma inn á kaflann (milli Melatorgs og Meistaravalla/Framnesvegar) er umferðin á honum breytileg. Af þessum sökum var gert ráð fyrir að slit á honum væri mismunandi mikið eftir mælistöðum. Vegna þessa breytileika voru mælingar á sliti takmarkaðar við fjóra mælistaði milli Melatorgs og Furumels og þar af leiðandi eru umferðartölur hér á eftir miðaðar við þennan hluta af Hringbraut.

Leitað var eftir upplýsingum um umferð hjá Umhverfis- og skipulagssviði Reykjavíkurborgar. Síðan kaflinn var lagður (2001) hefur umferð á honum aðeins verið talin tvisvar sinnum, í febrúar 2002 og í janúar 2011, í bæði skiptin milli Melatorgs og Birkimels og sjálfstætt á hvorri akbraut fyrir sig. Ennfremur hefur sviðið látið telja umferð á hveru ári á nokkrum stöðum í borginni, í svokölluðum viðmiðunarsniðum. Eitt þessara sniða, og það sem er næst malbikskaflanum, er á Hringbraut rétt vestan við Njarðargötu. Við útreikninga á umferð var gengið út frá því að umferð í þessu sniði gæfi raunhæfasta mynd af breytingum í umferð á Hringbraut vestan Melatorgs og talningar í þessu sniði voru notaðar til að fylla í eyður í umferðartölum fyrir árin 2001 til 2013. Mynd 2.6 sýnir hvaða breytingum umferðin er talin hafa tekið á þessu tímabili.

⁵ Mælistaðir:

- A: Norðurakbraut, milli Melatorgs og Ljósvallagötu.
- B: Norðurakbraut, milli Ljósvallagötu og Brávallagötu.
- C: Suðurakbraut, milli Furumels og Birkimels.
- D: Suðurakbraut, milli Birkimels og Melatorgs.



Mynd 2.6. Áætluð umferð árin 2001-2013 á Hringbraut, suðurakbraut, milli Melatorgs og Birkimels.

Nokkrar hliðargötur liggja að Hringbraut á þeim hluta hennar sem hjólfaradýptin var mæld. Tvær þeirra koma inn á suðurakbrautina, Furumelur og Birkimelur, og aðrar tvær inn á norðurakbrautina, Ljósvallagata og Brávallagata. Gerðar voru nokkrar skynditalningar á umferð (sjá viðauka III) á þrem þessara gatnamóta (gatnamótum við Brávallagötu var sleppt þar sem umferð á henni er hverfandi lítil). Á grundvelli skynditalninganna voru fundnir margföldunarstuðlar sem gera kleift að áætla umferðina í hverjum slitmælistað fyrir sig. Margföldunarstuðlarnir og útreikningar á þeim eru birtir í viðauka III. Áætluð umferð í hverjum mælistað er birt í viðauka IV. Skynditalningarnar sýndu að hlutfall þungra bíla (> 2 tn) er lágt, oftast á bilinu 2-3 %, sjá viðauka III.

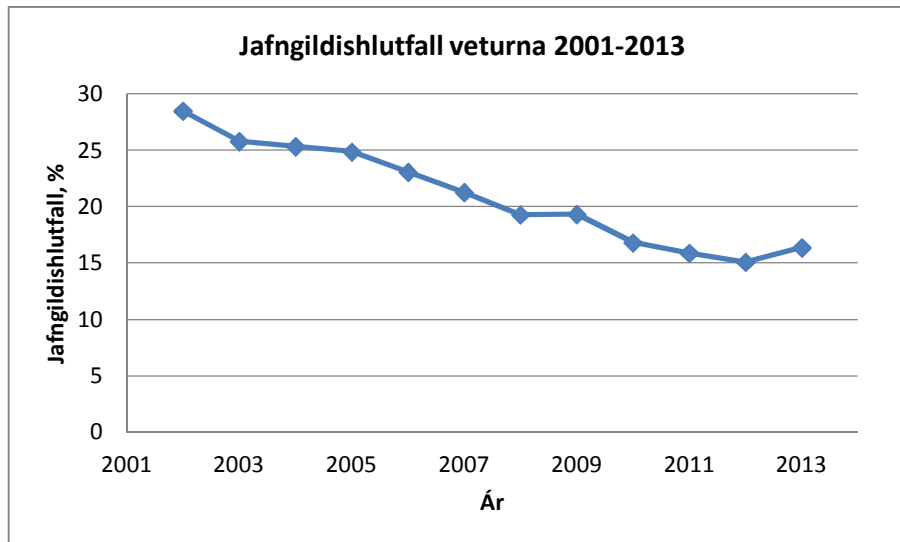
2.5 Jafngildishlutfall og jafngildisumferð

Við útreikninga á jafngildishlutfalli⁶ var stuðst við talningar verkfræðistofunnar EFLU á bílum á negldum hjólbörðum (EFLA verkfræðistofa 2013). Talningar verkfræðistofunnar hafa verið gerðar flesta vetur á tímabilinu 2001-2013 og oftast var talið 5-7 sinnum á hverjum vetri.

Útreikningarnir (sjá viðauka IV) gera ráð fyrir að á tímabilinu 1. júní til 15. október (vikur 23-40) séu engir bílar á negldum hjólbörðum⁷ og ennfremur að notkun negldra hjólbarða breytist línulega á milli talninga á sama vetri. Þá vetur sem fáar eða engar talningar voru gerðar er gert ráð fyrir línulegum breytingum milli vetra fyrir hverja viku um sig, sjá viðauka V. Áhrifum þungra bíla á jafngildishlutfall var sleppt, þar sem hlutfall þeirra af heildarumferð er hverfandi lítið í þessu tilfalli samkvæmt skynditalningum, sjá viðauka III. Ennfremur er gert ráð fyrir að hluti þeirra bíla sem samkvæmt talningum teljast vera með neglda hjólbarða séu á tveim negldum hjólbörðum í stað fjögurra eða ekki fullnegldir (með slitna eða brotna nagla), og af þessum sökum er hlutfall bíla á negldum hjólbörðum (samkvæmt talningum) á ársgrundvelli lækkað um 10 %, sjá skýringar í viðauka V. Jafngildishlutfall skv. ofangreindum forsendum veturna 2001-2013 er sýnt á mynd 2.7.

⁶ Jafngildishlutfall er skilgreint sem hlutfall jafngildisumferðar af heildarumferð á viðkomandi kafla, hvortveggja reiknað fyrir eitt ár í senn (nánar tiltekið frá og með viku 31 til og með viku 30 árið eftir).

⁷ Samkvæmt gildandi reglugerð um gerð og búnað ökutækja (Samgönguráðuneytið 2004) má ekki nota neglda hjólbarða frá og með 15. apríl til og með 31. október nema þess sé þörf vegna akstursaðstæðna.



Mynd 2.7. Jafngildishlutfall í Reykjavík árin 2001-2013. Jafngildishlutfall er reiknað fyrir hvern vetur frá og með viku 31 til og með viku 30 árið eftir og er á myndinni skráð á seinna árið.

Jafngildisumferð⁸ er reiknuð sem margfeldi umferðar og jafngildishlutfalls, sjá viðauka IV. Samanlögð jafngildisumferð á tímabilinu 2001-2013, fyrir staðina þar sem hjólfaradýpt var mæld, er sýnd í töflu 2.3.

Tafla 2.3. Jafngildisumferð 2001-2013 um mælistaði á Hringbraut.

Mælistaður	Jafngildisumferð (í milljónum bíla)
Norðurakbraut, Melatorg-Ljósvallagata	9,7
Norðurakbraut, Ljósvallagata-Brávallagata	7,4
Suðurakbraut, Furumelur-Birkimelur	8,8
Suðurakbraut, Birkimelur-Melatorg	10,8

2.6 Umferðarhraði

Rannsóknir hafa sýnt að slit eykst með auknum umferðarhraða (Jacobson o.fl. 1997, bls. 36). Ef tölur um kvarðað slit eiga að vera sambærilegar milli staða þarf að leiðrétta þær með tilliti til umferðarhraða. Hérlandis hefur verið stuðst við sænska leiðréttingarstuðla (Jacobson o.fl. 2007, bls. 17) og kvarðað slit verið miðað við hraðann 60 km/klst.

Engar mælingar á umferðarhraða eru til á Hringbraut milli Miklatorgs og Hofsvallagötu, en eins og áður segir (kafla 2.1) er leyfður hámarkshraði á þessum stað 50 km/klst. Vegna áhrifa frá umferðar- og gangbrautaljósum er líklegt að meðalhraði á þessum kafla sé eitthvað minni. Sömuleiðis er líklegt að hringtorgið dragi úr umferðarhraða, hvort sem bílarnir eru að koma út af torginu (á leið vestur) eða eru að nálgast torgið (á leið austur). Þar sem engar betri upplýsingar um umferðarhraða liggja fyrir er gert ráð að hann sé 50 km/klst og kvarðað slit leiðrétt að umferðarhraðanum 60 km/klst með stuðlinum 1,2 á grundvelli áður nefndra leiðréttingarstuðla.

⁸ Jafngildisumferð er skilgreind sem sá fjöldi léttra bíla, talinn í milljónum, á fjórum negldum hjólbörðum sem myndi valda jafn miklu slit á tilteknum kafla á tilteknu tímabili og umferðin olli í raun á sama tímabili.

3. ÚTREIKNINGAR Á KVÖRÐUÐU SLITI

Kvarðað slit, SPS, er reiknað á eftirfarandi hátt (Ásbjörn Jóhannesson o.fl. 2003, viðauki I, bls.2):

$$SPS = \frac{0,25 * F}{Y}$$

þar sem:

SPS er kvarðað slit (án leiðréttingar vegna umferðarhraða, sjá kafla 2.6)

F er slitflatarmál í mælisniði (sjá kafla 1)

Y er jafngildisumferð (sjá kafla 2.5)

Venjulega er slit í hverju mælisniði ákvarðað milliliðalaust með slitmælingum, sjá kafla 1. Í þessu tilfalli voru engar slíkar mælingar til og þess vegna varð að áætla slitið út frá hjólfaradýpt í sniðunum. Það var gert með hjálp líkingar fyrir samband hjólfaradýptar og slitflatarmáls (V404). Líkingin gildir fyrir eina akrein og er svohljóðandi:

$$F = 55 + 19 * D \quad (1)$$

þar sem:

F er slitflatarmál í mælisniði í cm²

D er hjólfaradýpt í mm

Þessi líking er gerð á grundvelli hjólfara- og slitmælinga á Vesturlandsvegi, 7,5 m breiðu, steypu slitlagi⁹.

Nú er þess að gæta að breidd akbrautarinnar hefur áhrif á lögun hjólfaranna, því þrengri sem akbrautin er, þeim mun dýpri og krappari verða hjólförin. Sænskar rannsóknir (Jacobson o.fl. 2007, bls. 15) gefa til kynna að lögun hjólfaranna samsvari lögun normaldreifingarkúrfu á hvolfi og staðalfrávik hennar sé háð breidd akbrautarinnar. Í sömu heimild (bls. 17) er birt tafla yfir staðalfrávik slíkrar normaldreifingarkúrfu fyrir nokkrar algengar akreinaþreiddir. Með hjálp töflunnar og línulegri brúun (eða bryggjun eftir atvikum) má gera ráð fyrir að staðalfrávik fyrir normaldreifingarkúrfu hjólfara í 6,5 m breiðri akbraut (Hringbraut) sé 237,5 mm, og 262,5 mm fyrir 7,5 mm breiða akbraut (Vesturlandsvegur). Séu þessi gildi fyrir staðalfrávik sett inn í líkingu normaldreifingarkúrfunnar kemur í ljós að ofanskráða líkingu (1) fyrir slitflatarmálið F þarf að leiðrétta með stuðlinum 0,9 þegar henni er beitt til að finna slitflatarmál á 6,5 m breiðri götu út frá hjólfaradýpt.

Útreikningar á kvörðuðu sliti í mælistöðunum fjórum, samkvæmt ofanskráðum forsendum og með leiðréttingu vegna umferðarhraða, eru sýndir í töflu 3.1. Kvarðað slit í mælistöðunum fjórum er að meðaltali 28 SPS, þegar búið er að leiðrétta slitið vegna umferðarhraða.

Tafla 3.1 Útreikningar á kvörðuðu sliti.

Mæli- staður	Hjólfara- dýpt [mm]	Breidd- arleið- rétting	Slitflat- armál [cm ²]	Jafngildis- umferð [JGU]	SPS v/50 km/klst [tonn/km]	Hraða- leiðrét- ing	SPS v/60 km/klst [tonn/km]
A	17,8	0,9	708	9,7	18	1,2	22
B	20,7	0,9	807	7,4	27	1,2	32
C	24,1	0,9	923	8,8	26	1,2	31
D	23,9	0,9	916	10,8	21	1,2	25

⁹ Nánar tiltekið á Hringvegi milli Úlfarsárvegar og Hafravatnsvegar. Þegar mælingarnar voru gerðar var þarna tveggja akreina vegur, án kantsteina, og með umferð í báðar áttir.

4. ENDINGARSAMANBURÐUR MEÐ AÐRA MÆLIKVARÐA Á ENDINGU

EFLA verkfræðistofa hefur tekið saman skýrslu um endingu malbiksslitlaga í Reykjavík á síðustu árum (Elín Ríta Sveinbjörnsdóttir, 2013). Í skýrslunni eru m.a. upplýsingar um endingu eftir útlagnarári, malbiksgerð og umferð; einnig um hjólfaradýpt þegar slitlöggin eru endurnýjuð. Hins vegar er ekki tekið tillit til annarra atriða sem gætu haft áhrif á endingu eða hjólfaradýpt, eins og t.d. breytingar á notkun negldra hjólbarða eða umferðarhraða.

Samkvæmt skýrslu EFLU (tafla 11) var hjólfaradýpt að jafnaði 27,4 mm þegar slitlög voru endurnýjuð árin 1998-2006. Jafnframt kemur fram (tafla 16) að hjólfaradýpt sé að meðaltali 28,1 mm þegar slitlög eru endurnýjuð á götum með svipaðri umferð og er að meðaltali í mælisniðunum á Hringbraut, þ.e. um 7000 ÁDU/akrein. Með því að hjólför á Hringbraut mældust að meðaltali 22 mm árið 2013 má reikna með að slitlagið endist 3 ár í viðbót, (þ.e. 15 ár í allt) að því tilskildu að endurnýjun verði frestað þar til hjólförin eru orðin 27-28 mm og að öðrum skilyrðum óbreyttum.

Af skýrslu EFLU má ráða (tafla 26) að Y16 SMA endist að jafnaði í 7,8 ár. Ef gert er ráð fyrir að áætlun um 15 ára endingu kaflans á Hringbraut standist, er hún hartnær tvöföld meðalending Y16 SMA í Reykjavík. Þessi samanburður er hins vegar þjagaður því þar er ekki tekið tillit til umferðarhraðans sem er víðast hvar meiri en á Hringbraut (50 km/klst á Hringbraut, en víða 60 eða 80 km/klst þar sem SMA er notað). Ennfremur er Y16 SMA yfirleitt valið fremur en aðrar slitlagsgerðir á götur þar sem umferð er mikil eða mjög mikil. Þar eð umferð og umferðarhraði hafa afgerandi áhrif á endingu, gefur ending í árum talin ekki rétta hugmynd um slitþol malbiksins.

Í Svíþjóð hefur verið þróað líkan, (Jacobson o.fl, 2007) til að spá um hjólfaramyndun út frá allmörgum stikum. Birkir Hrafn Jóakimsson, verkfræðingur, fjallar um þetta líkan í prófritgerð sinni frá Háskóla Íslands (Birkir Hrafn Jóakimsson 2014) og notar það til að spá um árlega aukningu hjólfaradýptar að gefnum forsendum¹⁰ (sama heimild, bls. 55-71) við íslenskar aðstæður. Niðurstaða hans (lauslega endursögð) er að hjólförin muni að jafnaði dýpka um 1,7 mm á ári vegna slits af völdum negldra hjólbarða eingöngu (þessi hluti líkansins undanskilur þátt skriðs í hjólfaramyndun). Það svarar til að malbikið endist í 16 ár miðað við að malbikið verði endurnýjað þegar hjólförin hafa náð 27-28 mm. Birkir telur hægt að staðfæra líkanið fyrir íslenskar aðstæður (sama heimild, bls. 71).

Forsendurnar sem Birkir notar eru talsvert aðrar en þær sem ríkja á Hringbraut, m.a. hvað varðar umferð og umferðarhraða. Ef niðurstöður hans eru framreiknaðar með tilliti til umferðar og umferðarhraða (án þess þó að setja aðrar tölur inn í líkanið og reikna að nýju) og gert ráð fyrir að slitlið aukist í réttu hlutfalli við umferð (stuðull 0,7) og í samræmi við áhrif umferðarhraða á slit samkvæmt líkaninu (stuðull 0,6) kemur í ljós að hjólförin ættu að dýpka um 0,7 mm á ári og slitlagið ætti þar af leiðandi að endast í hartnær 40 ár. Þessi niðurstaða brýtur í bága við reynsluna, nema því aðeins að hjólfaramyndun í íslensku malbiki stafi að verulegu leyti af skriði.

Prallgildi á borkjörnum úr mælisniðum á Hringbraut (sjá kafla 2.2.2) er 16 ml. Sambandið milli Prallgildis og endingar er ekki þekkt fyrir íslenskar aðstæður. Hins vegar eru til fjórar mælingar á Prallgildi sem Nýsköpunarmiðstöð Íslands hefur gert á SMA 16 malbiki sem er framleitt í stöð og gert úr sama steinefni (Durasplitt) og var notað í malbikið á Hringbraut. Gildin liggja á bilinu 14-17 ml og

¹⁰ Helstu inntaksstærðir sem Birkir notar í útreikningum sínum eru:

Breidd akreinar, 3,5 m; **ökuhraði**, 90 km/klst; **umferð**, 10.000 ÁDU/akrein; **hlutfall ökutækja á nagladekkjum** (á naglatímabilinu), 60 %; **Prallgildi (malbiks)**, 20 cm³.

meðaltal þeirra er 16 ml. Þessar mælingar á Prallgildi benda því ekki til þess að malbikið á Hringbraut sé frábrugðið samskonar malbiki (SMA 16) hvað slitþol snertir¹¹.

¹¹ Þess má geta að Prallgildi á íslensku malbiki (án takmörkunar við malbiksgerð, steinefni eða framleiðslu-
stað, 35 mælingar alls) liggja á bilinu 10-29 ml (Pétur Pétursson, 2014). Lægstu gildin mælast á malbiki sem er
blandað á rannsóknastofu.

5. UMRÆÐA OG ÁLYKTANIR

Markmið þessarar skýrslu er, eins og segir í inngangi að kanna ástæður þess að malbikið á Hringbraut hefur enst mun lengur í árum talið en annað malbik sömu gerðar.

Kaflar 3 og 4 sýna augljóst ósamræmi eftir því hvaða mælikvarði er notað á endinguna. Kvarðað slit (reiknað út frá hjólfaradýpt) malbiksins á kaflanum er 28 SPS (þegar búið er að leiðrétta niðurstöðuna að umferðarhraða sem er 60 km/klst). Það er ívið meira en mælst hefur að jafnaði á slitlagi úr SMA 16, (sjá kafla 1). Engar upplýsingar liggja fyrir um skekkjumörk á þessari niðurstöðu og hún er sennilega ótraust, meðfram vegna þess að slitflatarmál í mælniðunum var reiknað út frá líkani fyrir samband hjólfaradýptar og slits, en ekki mælt milliliðalaust.

Niðurstöður slitþolsmælinga á malbikskjörnum úr kaflanum (Prall, sjá kafla 4) benda til þess að malbikið á kaflanum hafi svipað slitþol og annað malbik sömu gerðar og úr sama steinefni. Skekkjumörk á Prallmælingunum eru viðunandi, í þessu tilfelli þau eru líklega $\pm 5\%$.

Hins vegar er hafið yfir allan skynsamlegan vafa að kaflinn á Hringbraut mun endast lengur í árum talið en malbik sömu gerðar (SMA 16) gerir að jafnaði í Reykjavík. Þegar þetta er skrifað hefur hann enst í 13 ár og sé miðað við miðlungs hjólfaradýpt þegar lagt er yfir, eru góðar líkur á að endingin verði 15 ár, en meðalending SMA 16 í Reykjavík er um 8 ár. Þá er að vísu eftir að taka tillit til umferðarhraða og umferðarþunga eins og áður segir (kafla 4) en það verður að teljast ólíklegt að þau atriði ein og sér nægi til að skýra mismuninn.

Upplýsingar um efniseiginleika malbiksins á Hringbraut eru ekki tæmandi. Svo langt sem þær ná eru þær að flestu leyti í samræmi í samræmi við kröfur í verklýsingum. Undantekningarnar varða holrýmd í Marshallprófi sem er á bilinu 0,8-1,9 % (tafla 2.1) en leiðbeinandi gildi er 1,5-3,5 % (Vegagerðin 2014, tafla 64-14), og hlutfallið festa/sig sem í annarri mælingunni af tveim er 0,9 kN/mm en leiðbeinandi gildi er $\geq 1,0$ kN/mm (sama heimild). Einnig er holrýmd í útlögðu malbiki minni en hún á að vera, eða 0-1,2 % í stað 1,5-4,5 % (Vegagerðin 2014, tafla 64-18). Í þessu tilfelli eru áhrifin af (of) lágri holrýmd sennilega jákvæð fyrir endinguna. Hún verður til þess að malbikið ver sig betur fyrir vatni sem minnkar hættu á viðloðunar- og frostskekkjum. Í annan stað harðnar bindiefnið hægar fyrir áhrif súrefnis í andrúmsloftinu ef holrýmdin er lág, sem er jákvætt fyrir endinguna. Frávikin eru þó svo lítil að það verður að teljast vafamál að þau hafi skipt máli fyrir endinguna.

Að öðru jöfnu eykur lág holrýmd hættu á skriði, en þar sem þungaumferð á þessum stað er mjög lítil (sjá kafla 2.4) eru litlar líkur á að hjólför í malbikinu stafi að neinu leyti af skriði. Hönnun SMA dregur einnig úr líkum á skriði, hluti grófs steinefnis í blöndunni er hafður nægilega mikill til að steinarnir myndi samfelda grind (steinn í stein) sem ber þungann af umferðinni. Myndir 2.4 og 2.5 benda til að þessi fyrirætlun hafi heppnast.

Þar sem þung umferð er mjög lítil á á Hringbraut milli Melatorgs og Hofsvallagötu ef marka má skynditalningar, sjá viðauka III, má líklega útiloka skrið í malbikinu á þessum kafla (þrátt fyrir lága holrýmd). Að þessu leyti hefur gatan líklega nokkra sérstöðu meðal gatna með slitlag úr SMA 16. Sé svo, að hjólför í malbiki í Reykjavík stafi að hluta til af skriði, sem raunar er umdeilt, gæti útilokun á skriði skýrt endingu malbiksins að hluta til.

Velheppnuð útlögn gæti átt þátt í góðri endingu en eftir á er erfitt að leggja mat á þessa tilgátu, vegna skorts á gögnum. Þó er líklegt að þjöppunarhlutfallið¹² hafi verið óvenju hátt þar sem holrýmd í borkjörnum mældist lægri en holrýmd í Marshallprófi (kafla 2.2.2) sem bendir til þess að þjöppun

¹² Þjöppunarhlutfall er skilgreint sem rúmpyngd malbiks eftir útlögn í % af Marshallrúmpyngd sama malbiks.

malbiksins hafi verið árangursrík. Hátt þjöppunarhlutfall er talið hafa jákvæð áhrif á endingu (Jacobson o.fl. 1997, bls. 32).

Af framanskráðu virðist mega draga eftirfarandi ályktanir:

- Í árum talið er ending malbiksins á Hringbraut milli Melatorgs og Meistaravalla/Framnesvegur mun meiri en meðalending samskonar malbiks á götum í Reykjavík með viðlíka mikla umferð.
- Óvenjuleg ending verður ekki rakin til þess að slitþol malbiksins sé meira en annars malbiks sömu tegundar (þ.e. SMA 16).
- Eftirfarandi skýringar, ein þeirra eða fleiri saman, á óvenjulegri endingu malbiksins koma helst til greina:
 - Hægfara umferð
 - Lág holrýmd
 - Velheppnuð útlögn
 - Óverulegt eða ekkert skrið

Tvær fyrrnefndu skýringarnar styðjast við upplýsingar sem fengust í rannsókninni, en hinar tvær eru ágiskanir.

ÞAKKARORÐ

Malbikunarstöðin Hlaðbær-Colas lagði góðfúslega fram malbiksuppskriftir og ýmsar niðurstöður úr rannsóknum á malbikinu sem fjallað er um í þessari skýrslu, og sá auk þess um að taka borkjarna úr slitlaginu á Hringbraut, sem notaðir voru til mælinga á Prallgildi malbiksins. Björg Helgadóttir, landfræðingur hjá Umhverfis- og skipulagssviði Reykjavíkurborgar, lét í té upplýsingar um umferð og hlutfall bíla á negldum hjólbörðum. Höfundar þakka aðstoðina.

HEIMILDIR

- Ásbjörn Jóhannesson og Ólafur H. Wallevik. (2003). *Tilraunir með steipt slitlög á Hringvegi og Nesbraut*. Skýrsla nr. 03-18. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- Ásbjörn Jóhannesson. (1987). *Notkun negldra hjólbarða 1976-1987*. Steinefnanefnd, Reykjavík.
- Ásbjörn Jóhannesson. (2008). *Slit á nokkrum tilraunaköflum með mismunandi malbiksgerðum*. NMI 08-18. Nýsköpunarmiðstöð Íslands, Reykjavík.
- Birkir Hrafn Jóakimsson. (2014). *Hjölför í íslensku malbiki. –Slit og deigar formbreytingar-*. Meistaraprófsritgerð frá Umhverfis- og byggingarverkfræðideild Háskóla Íslands, Reykjavík.
- EFLA verkfræðistofa. (2013). *Meðaltalsdreifing á notkun negldra og ónegldra hjólbarða í Reykjavík*. (Línurit yfir talningar á hlutfalli bíla á negldum hjólbörðum veturna 2000-2013, dagsett 19.4.2013).
- Elín Ríta Sveinbjörnsdóttir. (2013). *Ending malbikaðra slitlaga, breyting á síðustu árum*. EFLA verkfræðistofa, Reykjavík.
- Gunnar Freyr Freysson og Hreinn Sigurðsson. (2008). *Samanburður á malbikuðum og steiptum slitlögum*. Lokaverkefni í byggingartæknifræði, Háskólinn í Reykjavík, tækni- og verkfræðideild.
- ÍST EN 12697-16. (2004). *Test methods for hot mix asphalt – 16: Abrasion by studded tyres*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- Jacobson, T., Wågberg, L.-G. (1997). *Utveckling av prognosemodell för beläggnings slitage, slitageprofil och årskostnad*. VTI notat 21-1997. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping.
- Jacobson, T., Wågberg, L.-G. (2007). *Utveckling och uppgradering av prognosemodell för beläggnings slitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkanse faktorer*. Version 3.2.03. VTI notat 7-2007. Statens väg- och transportforskningsinstitut, Linköping.
- Kúlnakvarnarpróf*. (2007). Rannsókn H07/82. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- Pétur Pétursson. (2014). *Some characteristics of Icelandic bituminous mixtures – comparison with Norwegian Wheel track deformation*. (Kynningarefni á glærum). PP-Consult, Reykjavík.
- Rannsóknaskýrslur frá Malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas*. (2001). Sýni merkt H01157, H01158, H01170, H01171, H01206 og H01207.
- Samgönguráðuneytið. (2004). *Reglugerð nr. 822/2004 um gerð og búnað ökutækja*. Samgönguráðuneytið, Reykjavík.
- Testresultater produkter*. (2008). Utstedt av Truls Krossøy. NorStone Askøy.
- Uppskriftir frá Malbikunarstöðinni Hlaðbær-Colas*. (2001). Uppskriftir merktar 05-621-0104, 05-621-0105 og, 05-621-0107.
- V404. *Minnisblað*. Ódagsett minnisblað í vörslu Ásbjarnar Jóhannessonar, Nýsköpunarmiðstöð Íslands. Fjallar um líkan til útreikninga á nauðsynlegu malbiksmagni til að fylla hjölför í steiptu slitlagi á hringvegi milli Reykjavíkur og Kollafjarðar.
- Vegagerðin. (2014). *Efnisrannsóknir og efniskröfur – leiðbeiningar við hönnun framleiðslu og framkvæmd*. Kafli 6 – slitlag. [http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Kafli6_Slitlag-2014/\\$file/Kafli%206%20Slitlag-2014.pdf](http://www.vegagerdin.is/Vefur2.nsf/Files/Kafli6_Slitlag-2014/$file/Kafli%206%20Slitlag-2014.pdf)

VIÐAUKI I

NIÐURSTÖÐUR SLITPOLSMÆLINGA Á MALBIKI (PRALL)

Nýsköpunarmiðstöð
ÍslandsVerknr.
Dags
Unnið af2MR13006
2014-05-21
AÓA

Verkefni: Greining á endingargóðu malbiki

Slitpolsmælingar - Prall
ÍST EN 12697-16:2004**Malbikið:**

Borkjarnar af Hringbraut teknir 9. janúar 2014

SMA 16 Durasplitt lagt af Malbikunarstöðinni Hlaðbæ-Colas hf. árið 2001

Sneiðar voru gerðar úr borkjörnum og slithliðin prófuð.

Kjarna- sett	Próf- sneið	Ybb fyrir g	Ybb eftir g	Efnis- tap g	Rúm- þyngd Mg/m ³	Prall gildi ml	Meðal Prall ml
A	A1	544,5	506,0	38,5	2,500	15	
	A2	574,0	524,5	49,5	2,500	20	
	A3	574,0	535,0	39,0	2,497	16	
	A4	564,0	523,5	40,5	2,507	16	17
B	B1	581,5	542,5	39,0	2,488	16	
	B2	569,0	527,0	42,0	2,492	17	
	B3	528,5	488,5	40,0	2,492	16	
	B4	558,5	514,5	44,0	2,494	18	17
C	C1	567,5	532,5	35,0	2,501	14	
	C2	566,0	518,5	47,5	2,492	19	
	C3	585,5	547,0	38,5	2,503	15	
	C4	579,5	537,0	42,5	2,496	17	16
D	D1	551,0	507,5	43,5	2,501	17	
	D2	564,5	522,0	42,5	2,500	17	
	D3	570,0	534,0	36,0	2,493	14	
	D4	569,0	535,0	34,0	2,492	14	16

Aths.: Tæki bilaði eftir liðlega fimm mínútur við prófun á sneið A1 og eftir liðlega sex mínútur á sneið B3. Ekki var tekið tillit til þess í seinni tilraun og sneiðarnar þá prófaðar í 15 mínútur eins og aðrar.

VIÐAUKI II

MÆLINGAR Á HJÓLFARADÝPT

HJÓLFARADÝPT Á HRINGBRAUT MILLI MELATORGS OG BRÁVALLAGÖTU/FURUMELS

Hjólför eru talin frá hægri kanti miðað við akstursstefnu. Dýpt er tilgreind í mm.

Sniðasyrpa A, á norðurakbraut, á móts við Þjóðarbókhöllu

Snið	1. hjólfar	2. hjólfar	3. hjólfar	4. hjólfar	Meðaltal
1	22	13	15	17	
2	18	13	21	15	
3	20	13	23	25	
4	23	13	23	17	
5	23	10	20	12	17,8

Sniðasyrpa B, á norðurakbraut á móts við Hringbraut 37

Snið	1. hjólfar	2. hjólfar	3. hjólfar	4. hjólfar	Meðaltal
1	25	18	23	25	
2	22	18	14	23	
3	24	17	18	23	
4	23	19	21	22	
5	24	17	18	20	20,7

Sniðasyrpa C, á suðurakbraut á móts við Hringbraut 39

Snið	1. hjólfar	2. hjólfar	3. hjólfar	4. hjólfar	Meðaltal
1	25	19	28	22	
2	25	17	28	23	
3	25	20	28	23	
4	26	23	30	27	
5	25	25	27	15	24,1

Sniðasyrpa D, á suðurakbraut austan við Hringbraut 33

Snið	1. hjólfar	2. hjólfar	3. hjólfar	4. hjólfar	Meðaltal
1	20	20	25	16	
2	27	16	25	31	
3	25	18	28	20	
4	25	20	31	25	
5	25	20	32	29	23,9

VIÐAUKI III

SKYNDITALNINGAR Á UMFERÐ

Eftirfarandi skynditalningar voru gerðar til að gera kleift að áætla umferð í mælistöðum á Hringbraut út frá tölum um umferð á Hringbraut milli Melatorgs og Birkimels/Ljósvallagötu.

Hringbraut, suðurakbraut				Hringbraut, norðurakbraut			
Við Birkimel 2013-11-08 kl. 10:35-11:05				Við Ljósvallagötu 2013-11-08 kl. 12:00-12:30			
Austur Hringbraut		307		Vestur Hringbraut		315	
Inn á Birkimel		16		Inn á Birkimel		83	
Út af Birkimel		87		Inn á Ljósvallagötu		18	
	Alls	410	Hlutfall		Alls	416	Hlutfall
Vestan við Birkimel		323	1,00	Austan við Ljósvallagötu		416	1,00
Austan við Birkimel		394	1,22	Vestan við Ljósvallagötu		315	0,76
Þungir bílar ca 14 (> 2tn), %			3,4	Þungir bílar ca 9 (> 2tn), %			2,1
Við Birkimel 2013-11-07 kl. 17:30-18:00				Við Ljósvallagötu 2013-11-08 kl. 8:55-9:25			
Austur Hringbraut		450		Vestur Hringbraut		311	
Inn á Birkimel		13		Inn á Birkimel		91	
Út af Birkimel		99		Inn á Ljósvallagötu		15	
	Alls	562	Hlutfall		Alls	417	Hlutfall
Vestan við Birkimel		463	1,00	Austan við Ljósvallagötu		417	1,00
Austan við Birkimel		549	1,19	Vestan við Ljósvallagötu		311	0,75
Þungir bílar ca 10 (> 2tn), %			1,7	Þungir bílar ca 9 (> 2tn), %			2,3
Við Birkimel 2013-11-04 kl. 15:30-16:00				Við Ljósvallagötu 2013-11-25 kl. 14:10-14:40			
Austur Hringbraut		424		Vestur Hringbraut		366	
Inn á Birkimel (ágiskun)		10		Inn á Birkimel		77	
Út af Birkimel		128		Inn á Ljósvallagötu		17	
	Alls	562	Hlutfall		Alls	460	Hlutfall
Vestan við Birkimel		434	1,00	Austan við Ljósvallagötu		460	1,00
Austan við Birkimel		552	1,27	Vestan við Ljósvallagötu		366	0,80
Þungir bílar ca 10 (> 2tn, ágiskun), %			1,7	Þungir bílar ca 8 (> 2tn), %			1,7
Meðalhutfall			1,23	Meðalhutfall			0,77
Austan Birkimels			1,00	Austan Ljósvallagötu			1,00
Milli Furumels og Grenimels			0,82	Vestan Ljósvallagötu			0,77

VIÐAUKI IV

ÚTREIKNINGAR Á JAFNGILDISHLUTFALLI OG JAFNGILDISUMFERÐ

Skynditalningar á Hringbraut vestan Melatorgs			
Umferð milli Suðurgötu og Birkimels skv. talningu 2002-02-06, HDU			27315
Hlutfall á norðurakbraut (til vesturs) 12685/27315			0,46
Hlutfall á suðurakbraut (til austurs) 14630/27315			0,54
Umferð milli Suðurgötu og Birkimels skv. talningu 2011-01-27, HDU			29862
Hlutfall á norðurakbraut (til vesturs) 14376/29862			0,48
Hlutfall á suðurakbraut (til austurs) 15486/29862			0,52
Meðaltal skiptingar eftir stefnum:			
	Til vesturs:		0,47
	Til austurs:		0,53
Leiðréttingarstuðull v/ HDU (breytir hversdagsumferð, HDU í ÁDU)			0,85
Hlutfall umferðar á Hringbraut vestan Melatorgs og í sniði vestan Lækjargötu:			
Talning árið	Umferð vestan Melatorgs	Umferð vestan Lækjargt.	Hlutfall Melatorg/ Lækjargt.
2002	27315	42449	0,643
2011	29862	37099	0,805
Talin umferð á Hringbraut í sniði vestan Lækjargötu 2001-2013, HDU			
Ár	Umferð		
2001	46557		
2002	42449		
2003	43030		
2004	43012		
2005	37560		
2006	38229		
2007	39533		
2008	36399		
2009	40633		
2010	38570		
2011	37099		
2012	39164		
2013	39164	(ágiskun, talningar vantar)	

Umferðarstuðlar samkvæmt skynditalningum, sjá viðauka II			
<i>Suðurakbraut við Furumel</i>			
Austan við Furumel		1,077	
Vestan við Furumel		1,000	
<i>Suðurakbraut við Birkimel</i>			
Austan við Birkimel		1,226	
Vestan við Birkimel		1,000	
<i>Norðurakbraut við Ljósvallagötu</i>			
Austan við Ljósvallagötu		1,000	
Vestan við Ljósvallagötu		0,766	
Jafngildisumferð 2001-2013			
<i>Hringbraut til vesturs</i>		<i>Hringbraut til austurs</i>	
Kafli	JGU	Kafli	JGU
Suðurgata-Ljósvallagata	9,723	Furumelur-Birkimelur	8,798
Ljósvallagata-Hofsvallagata	7,447	Birkimelur-Suðurgata	10,787

VIÐAUKI V

HLUTFALL BÍLA Á NEGLDUM HJÓLBÖRÐUM 2001-2013

Vika	Veturinn												
	2000- 2001	2001- 2002	2002- 2003	2003- 2004	2004- 2005	2005- 2006	2006- 2007	2007- 2008	2008- 2009	2009- 2010	2010- 2011	2011- 2012	2012- 2013
41		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
42		3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
43		9	10	10	9	9	8	6	9	6	8	4	7
44		14	21	20	19	18	17	13	18	12	16	9	13
45		43	31	29	28	26	25	19	26	18	24	13	20
46		42	41	39	37	35	33	25	35	24	32	17	27
47		41	42	41	39	37	35	29	35	28	32	21	28
48		45	44	48	53	45	38	34	35	31	32	25	30
49		50	45	49	53	47	40	38	35	35	32	29	31
50		54	47	50	53	47	41	39	36	35	32	33	33
51		58	48	51	53	48	42	39	37	35	32	33	34
52		60	50	52	53	48	43	40	39	36	32	33	34
1		61	53	53	54	49	44	40	40	36	32	33	35
2		63	55	54	54	50	46	41	41	36	32	33	36
3		64	57	56	54	50	47	41	41	36	32	33	36
4		64	58	56	54	51	48	42	41	37	32	33	37
5		64	59	56	54	52	49	42	41	37	32	34	37
6		65	59	57	55	53	50	43	41	37	33	34	38
7		65	60	58	56	53	49	43	41	37	33	35	37
8	64	65	61	59	56	52	49	43	42	37	33	35	37
9	64	65	60	59	57	52	48	43	42	38	33	36	36
10	63	66	59	59	58	53	47	44	42	38	34	36	35
11	63	66	58	55	52	49	46	42	41	38	34	34	33
12	59	67	57	54	51	48	45	40	39	35	32	32	32
13	56	67	54	52	49	47	44	38	38	32	29	30	30
14	52	62	51	49	47	45	43	36	36	30	27	27	28
15	49	56	48	47	45	44	42	34	35	27	25	25	26
16	45	45	45	42	39	35	32	32	34	24	22	23	24
17	30	30	33	30	27	25	22	27	30	20	20	19	20
18	14	14	20	19	18	17	16	21	12	16	16	15	16
19	5	10	8	9	9	10	11	16	10	12	12	12	12
20	2	5	5	5	5	5	5	11	8	8	8	8	8
21	1	3	3	3	3	3	3	5	5	4	4	4	4
22	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
Ársmeðaltal, %		28,5	25,8	25,3	24,9	23,1	21,3	19,3	19,3	16,8	15,9	15,1	16,4
Jafngildishlutfall, %		25,7	23,2	22,8	22,4	20,8	19,2	17,4	17,4	15,1	14,3	13,6	14,7
Litarkóði og skýringar:													
Svart:		Ágiskun											
Svart, feitletrað:		Niðurstöður talninga											
Rautt:		Línuleg brúun milli talninga											
Blátt:		Línuleg brúun milli ára											
Gert er ráð fyrir að engir bílar hafi verið á nögllum frá og með viku 23 og fram að viku 41.													
Ársmeðaltal er samtala allra talna í viðkomandi dálki, deilt með 52.													
Jafngildishlutfall er fundið með því að margfalda ársmeðaltal með stuðlinum 0,9. Stuðlinum er ætlað að leiðrétta ársmeðaltalið vegna bíla sem eru á tveim nögldum hjólbörðum (í stað fjögurra) eða hjólbörðum sem ekki eru fullnægdir (Ásbjörn Jóhannesson 1987, bls. 9).													



**Nýsköpunarmiðstöð
Íslands**

Akureyri | Egilsstaðir | Húsavík | Höfn | Ísafjörður | Reykjavík | Sauðárkrúkur | Vestmannaeyjar