



Nýsköpunarmiðstöð
Íslands



NMÍ 08-18

Slit á nokkrum tilraunaköflum með mismunandi slitlagsgerðum

Unnið fyrir:

Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar



SKÝRSLA

NMÍ 08-18

Dreifing:

Opin



Lokuð



Heiti skýrslu: Slit á nokkrum tilraunaköflum með mismunandi slitlagsgerðum	Dags.: Nóvember 2008
Höfundur: Ásbjörn Jóhannesson	Fjöldi síðna: 60 + 1 viðauki
Deild: Veg- og jarðtæknideild	Fagleg ábyrgð: ÁJ
	Rannsóknúmer: V05-08

Unnið fyrir:
Vegagerðina

Samantekt:

Í skýrslunni er greint frá niðurstöðum slitmælinga á þrettán stuttum tilraunaköflum. Slitlagið á þeim var þrens konar, steypa, malbik og endurlögn (repave). Umferðin var á bilinu 5.000-20.000 ÁDU á tveim akreinum.

Slit er mjög breytilegt innan slitlagsgerðar. Það er viðlíka mikið á malbiki og endurlögn, en nokkru minna á steypu. Slitið skarast milli slitlagsgerða eins og eftirfarandi upptalning sýnir:

-Á fjórum tilraunaköflum með steypu slitlagi er kvarðað slit á bilinu 13-26 SPS (g/bíl sem er ekið einn km á slitlaginu á negldum hjólbörðum og á hraðanum 60 km/klst).

-Á þrem tilraunaköflum með malbiksslitlagi er kvarðað slit á bilinu 17-31 SPS.

-Á einum tilraunakafla með hágæðamalbiki (blandað kalki og breyttu bindiefni) er kvarðað slit 18 SPS.

-Á fimm tilraunaköflum með endurlögn er kvarðað slit á bilinu 18-29 SPS.

Þessum niðurstöðum svipar mjög til þeirra sem fengist hafa undanfarin 15 ár eða svo á tilraunaköflum með sams konar slitlagi.

Á steypu slitlagi er slitlagið minnst á steypu með hátt þrýstipól og úr steinefni með lága kvarnartölu. Aðrar slitlagsgerðir (malbik, hágæðamalbik og endurlögn) eru úr steinefni með sömu eða svipaðri kvarnartölu og slit á þeim er svipað innbyrðis, þó einna minnst á hágæðamalbiki, en sú ályktun byggist á aðeins einum tilraunakafla.

3 lykilorð: Á íslensku

3 lykilorð: Á ensku

Slitlag	Wearing course
Kvarðað slit	Normalized wear
Vega- og gatnagerð	Road construction

FORMÁLI

Í þessari skýrslu er greint frá niðurstöðum slitmælinga á nokkrum tilraunaköflum sem Vegagerðin hefur látið gera, að hluta til í samvinnu við Malbikunarstöðina Höfða hf og Malbikunarstöðina Hlaðbæ-Colas hf. Kaflarnir eru ýmist með steypu slitlagi eða malbikuðu. Tilgangur mælinganna var að afla vitneskju um slit á nokkrum gerðum slitlaga, sem er nauðsynleg forsenda þegar hagkvæmni mismunandi slitlagsgerða er borin saman.

Nokkrir tilraunakaflanna voru á sínum tíma lagðir fyrir tilstilli BUSL, samstarfsverkefnis Háskóla Íslands, Malbikunarstöðvarinnar Höfða hf, Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins og Vegagerðarinnar um rannsóknir á burðarlögum og slitlögum í vegagerð. Upprunalega átti að mæla slit á tilraunaköflunum þar til tímabært væri að leggja yfir þá. Sumarið 2004 voru kaflarnir enn í nothæfu ástandi, en þar sem áður nefndu samstarfsverkefni var þá að öðru leyti lokið var ákveðið að hætta frekari slitmælingum á tilraunaköflunum og ljúka verkefninu með sameiginlegri skýrslu fyrir þá alla. Í sumum tilfellum hafa niðurstöðurnar að hluta til birst áður í áfangaskýrslum um viðkomandi tilraunakafla, meðal annars niðurstöður slitmælinga framan af árum sem kaflarnir voru mældir, og er vísað til þeirra í þessari skýrslu eftir atvikum.

Tilraunakaflarnir eru þrettán talsins, fjórir þeirra eru steyptir, fjórir eru malbikaðir og fimm eru endurlögn¹. Hverjum tilraunakafla eru gerð skil fyrir sig; með stuttri grein fyrir aðstæðum, slitlaginu sem á í hlut, útlögn m. m. eða vísað til fyrri skýrslna með þessum upplýsingum. Ennfremur er dregið á niðurstöður ýmissa mælinga, þar á meðal umferðartalninga, mælinga á umferðarhraða, sliti og hjólfaradýpt. Flestum tilraunakaflanna hefur verið lýst áður að meira eða minna leyti í áfangaskýrslum, en í þessari skýrslu er megináhersla lögð á slit og tengda eiginleika slitlagsins á hverjum tilraunakafla fyrir sig.

Starfsmenn Vegagerðarinnar önnuðust mælingar á sliti. Megnið af upplýsingum um umferð og umferðarhraða eru fengnar frá Vegagerðinni, en annars frá Framkvæmda- og eignasviði Reykjavíkurborgar eða Tæknideild Kópavogskaupstaðar. Kannanir á notkun negldra hjólbarða voru gerðar af starfsmönnum Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins. Kostnaður við gerð skýrslunnar var greiddur af Rannsókn- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar.

¹ Endurlögn, öðru nafni *Repave*, sjá nánar í viðauka.

EFNISYFIRLIT

FORMÁLI	1
1. INNGANGUR	5
2. GAGNASÖFNUN	7
2.1 Umferðartalningar og umferðarhraði	7
2.2 Notkun negldra hjólbarða	7
2.3 Slitmælingar og úrvinnsla þeirra	8
3. STEYPTUR KAFLI Á HRINGVEGI, 1-f5	11
3.1 Aðstæður og umferð	11
3.2 Slitmælingar	12
3.3 Þykktarmælingar	12
3.4 Niðurstöður slitmælinga	12
3.4.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	12
3.4.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	13
3.4.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	14
3.5 Niðurstöður þykktarmælinga	15
3.6 Aðrar slitmælingar	15
3.7 Ígrundun og ályktanir	16
4. STEYPTIR KAFLAR Á HRINGVEGI, 1-e3	19
4.1 Aðstæður og umferð	19
4.2 Slitmælingar	20
4.3 Niðurstöður slitmælinga	20
4.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	20
4.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	21
4.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	21
4.4 Ígrundun og ályktanir	22
5. STEYPTUR KAFLI Á DALVEGI Í KÓPAVOGI	24
5.1 Aðstæður og umferð	24
5.2 Slitmælingar	25
5.3 Niðurstöður slitmælinga	25
5.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	25
5.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	26
5.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	26
5.4 Ígrundun og ályktanir	27
6. MALBIKAÐUR KAFLI Á NESBRAUT, 49-01	29
6.1 Aðstæður og umferð	29
6.2 Slitmælingar	30
6.3 Niðurstöður slitmælinga	30
6.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	30
6.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	31
6.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	31
6.4 Ígrundun og ályktanir	32
7. MALBIKAÐIR KAFLAR Á HRINGVEGI, 1-e3	34
7.1 Aðstæður og umferð	34
7.2 Slitmælingar	34

7.3 Niðurstöður slitmælinga	34
7.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	34
7.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	35
7.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	36
7.4 Ígrundun og ályktanir	37
8. ENDURLÖGN	39
8.1 Inngangur	39
8.2 Sæbraut milli Sægarða og Langholtsvegar	39
8.2.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	39
8.2.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	40
8.2.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	41
8.2.4 Ígrundun og ályktanir	41
8.3 Sæbraut milli Kringlumýrarbrautar og Höfðatúns	42
8.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	42
8.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	43
8.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	43
8.3.4 Ígrundun og ályktanir	44
8.4 Reykjanesbraut í Kópavogi	45
8.4.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	45
8.4.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	46
8.4.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	46
8.4.4 Ígrundun og ályktanir	47
8.5 Reykjanesbraut í Hafnarfirði	48
8.5.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	48
8.5.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	49
8.5.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	49
8.5.4 Ígrundun og ályktanir	50
8.6 Hafnarfjarðarvegur í Garðabæ	51
8.6.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði	51
8.6.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum	52
8.6.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt	52
8.6.4 Ígrundun og ályktanir	53
9. SAMANTEKT, ÍGRUNDUN OG ÁLYKTANIR	55
HEIMILDIR	59
VIÐAUKI	
Nokkrar skilgreiningar	61

1. INNGANGUR

Þegar slitlag er valið á vegi og götur er æskilegt að hafa upplýsingar um væntanlega endingu slitlagsgerða sem koma til greina. Í þessu skyni hefur Vegagerðin, í samvinnu við Malbikunarstöðina Höfða hf og Malbikunarstöðina Hlaðbæ-Colas hf, látið leggja allmarga tilraunakafla eða valið kafla á þegar lögðum slitlögum, og látið mæla slit á þeim. Niðurstöður mælinganna gera kleift að reikna út efnismagn sem slitnar burtu milli mælinga í tilteknu þversniði, ásamt þverhalla, hjólfaradýpt og vatnsdýpt í fjórum hjólförum í sama þversniði. Ef upplýsingar um umferð og notkun negldra hjólfarða á sama stað og samsvarandi tímabili eru tiltækar, er hægt að eyða áhrifum þeirra á niðurstöðurnar og finna svokallað kvarðað slit og kvarðað hjólfaraslit á kaflanum. Ennfremur er hægt að leiðrétta niðurstöðurnar vegna umferðarhraða, ef hann er þekktur. Þá er mögulegt að bera saman endingu mismunandi slitlagsgerða á jafnréttisgrundvelli.

Mælingar um margra ára skeið á allmörgum tilraunaköflum Reykjavík [ÁJ 2005], með ýmsum gerðum malbiks úr steinefni með kvarnartölu nálægt 7 (Seljadalsefni) og umferðarhraða kringum 60 km/klst, benda til þess að kvarðað slit sé að meðaltali:

- um 22 SPS² á SMA 16
- um 28 SPS á Y16
- um 29 SPS á Y12

Samsvarandi mælingar á tveim tilraunaköflum á Reykjanesbraut 1991-2000 [ÁJ 2002] sýna svipað slit á malbiki úr steinefni (Seljadalsefni) með kvarnartölu kringum 7. Þar reyndist slitíð vera (kvarðað og miðað við 60 km/klst):

- um 23 SPS á SMA 16
- um 24 SPS á Y16

Tölur um slit á steyptum slitlögum eru af skornum skammti og eru tæpast sambærilegar við tölur um slit á malbiki, bæði vegna þess að þrýstipól steypunnar hefur áhrif á slitíð [OG 1987] og steinefnið er sjaldnast það sama og notað er í malbik. Slit (kvarðað og miðað við 60 km/klst) á þeim tveim tilraunaköflum sem með vissu voru steyptir úr steinefni með kvarnartölu 7 (Seljadalsefni) mældist [ÁJ 1997, ÁJ 2003]:

- um 9 SPS³, óvíst um þrýstipól
- um 16 SPS⁴, þrýstipól um 60 MPa

Rétt er að taka fram að yfirleitt sveiflast niðurstöður mælinga mikið milli ára, og eins milli tilraunakafla þótt slitlagið sé sams konar. Af þessari ástæðu er hæpið að meta endingu slitlagsgerðar út frá mælingum á einum tilraunakafla; helst þarf að byggja hana á meðaltali mælinga á nokkrum tilraunaköflum.

Í þessari skýrslu er fjallað um niðurstöður slitmælinga á eftirfarandi tilraunaköflum:

1. Steypt slitlag á Hringvegi við Köldukvísl norðan við Þingvallaveg, vegnr.⁵ 1-f5, einn kafla.
2. Steypt slitlag á Hringvegi norðan við Rauðavatn, vegnr. 1-e3, tveir kaflar.

² SPS: Eining fyrir slit, sjá viðauka.

³ Þjöppuð þurrsteypa, kvarðað slit reyndist mismunandi eftir mæliaðferðum (sjá kafla 2.3) og niðurstöðurnar eru taldar óáreiðanlegar.

⁴ Steypan var lögð með breyttri malbikunarvél, hönnun og útlögn var ábótavant, kvarðað slit er mismunandi eftir mæliaðferðum (sjá kafla 2.3).

⁵ Vegnúmer skv. vegaskrá Vegagerðarinnar.

3. Steypt slitlag á Dalvegi í Kópavogi milli Digranesvegjar og Nýbýlavegjar, einn kafli.
4. Malbikað slitlag á Hringvegi norðan við Rauðavatn, vegnr. 1-e3, þrjú kaflar.
5. Malbikað slitlag á Nesbraut milli Höfðabakka og Hringvegjar, vegnr. 49-01, einn kafli.
6. Malbikað slitlag (endurlögn, öðru nafni Repave, sjá viðauka) á Sæbraut í Reykjavík, milli Sægarða og Langholtsvegjar, einn kafli.
7. Malbikað slitlag (endurlögn) á Sæbraut í Reykjavík, milli Kringlumýrarbrautar og Höfðatúns, einn kafli.
8. Malbikað slitlag (endurlögn) á Reykjanesbraut í Kópavogi, vegnr. 41-12, einn kafli.
9. Malbikað slitlag (endurlögn) á Reykjanesbraut í Hafnarfirði, vegnr. 41-15, einn kafli.
10. Malbikað slitlag (endurlögn) á Hafnarfjarðarvegi í Garðabæ, vegnr. 40-04, einn kafli.

Mælingarnar ná yfir mismunandi löng tímabil, frá tíu árum niður í fjögur ár. Á þessu er þó ein undanteking, þynning á steypa kaflanum á Hringvegi við Köldukvísl hefur verið mæld af og til á 30 ára tímabili í tveim mælisniðum.

Mælisniðin ná alltaf yfir tvær akreinar, ýmist með umferð í sömu átt eða gagnstæðar áttir. Ef umferðin er í sömu átt á báðum akreinum er gerður greinarmunur á þeim í úrvinnslu gagnanna (vegna mismunandi umferðar á akreinunum), annars ekki.

Slit á tilraunaköflunum var mælt árlega, yfirleitt í tíu mælisniðum í hverjum kafla en stundum fimm. Slitið er kvarðað og leiðrétt vegna umferðarhraða til að gera það samanburðarhæft milli kafla og niðurstöður miðast við að umferðarhraðinn sé 60 km/klst, nema annað sé tekið fram.

Eins og áður segir hefur slit verið mælt á tilraunaköflunum um lengri eða skemmri tíma og bráðabirgðaniðurstöður fyrir suma þeirra hafa verið birtar í skýrslum um viðkomandi kafla. Niðurstöður í þessari skýrslu eru byggðar á mælingum á tilraunaköflunum frá upphafi; eru með öðrum orðum ekki takmarkaðar við mælingar sem gerðar voru eftir útkomu áfangaskýrslu um hlutaðeigandi kafla.

2. GAGNASÖFNUN

2.1 Umferðartalningar og umferðarhraði

Upplýsingar um umferð voru ýmist fengnar frá Vegagerðinni, Framkvæmda- og eignasviði Reykjavíkurborgar eða Tæknideild Kópavogskaupstaðar. Í sumum tilfellum voru umferðargreinar eða umferðarteljarar á tilraunakaflanum eða í næsta nágrenni við hann þannig að umferðartölurnar mega teljast áreiðanlegar. Stundum voru þó gloppur í talningarnar og þá voru þær fylltar, ýmist með samanburði við talningar á öðrum og nærliggjandi stöðum eða með þar til gerðu forriti [SS 2000, bls. 12]. Á nokkrum stöðum voru engir umferðarteljarar í grenndinni. Þá var umferðin áætluð út frá umferðarspá fyrir höfuðborgarsvæðið [VST 2005] en dreifing umferðarinnar eftir árstíma áætluð með hliðsjón af umferðartalningum við svipaðar aðstæður. Í undantekningartilfellum var beitt skynditalningum og þær framreiknaðar með samanburði við umferðartalningar á nálægum stöðum. Upplýsingar um umferð eru þess vegna misjafnlega áreiðanlegar. Í umfjöllun um hvern tilraunakafla fyrir sig er gerð nánari grein fyrir því hvernig umferð á honum er áætluð. Rétt er að taka fram að umferðartölum, sem eru notaðar í þessari skýrslu, ber ekki endilega saman við tölur Vegagerðarinnar um umferð á þjóðvegum [VG 2008]. Skýringin er oftast sú að tölur Vegagerðarinnar eiga við meðalumferð á miklu lengri vegarköflum þar sem umferð frá hliðarvegum ýmist kemur inn á vegarkaflana eða fer út af þeim.

Skekkja á umferðartölum frá umferðargreinum er sennilega um eða innan við 1 % [BH 2008]. Lauslega athugun á nákvæmni áður nefndrar umferðarspár fyrir höfuðborgarsvæðið sýnir að mismunur á spá og talningu, sem er gerð sama ár og spáin, getur numið 5-10 % þar sem umferð í talningarsniðinu er 20.000-40.000 ÁDU, en allt upp í 40 % þar sem umferðin er lítil (2000-10.000 ÁDU). Frávikin eru enn meiri þegar talningar eru bornar saman við tveggja ára gamla spá. Hlutfallsleg skekkja á útreiknuðu sliti vegna skekkju á umferðartalningum er hin sama og hlutfallsleg skekkja á umferðartalningum. Með öðrum orðum; ef skekkja á umferðartalningum er 5 % veldur hún 5 % skekkju á niðurstöðu fyrir slit.

Umferðarhraði hefur áhrif á slit; því meiri hraði, þeim mun meira slit. Upplýsingar um umferðarhraða eru enn gloppóttari en upplýsingar um umferð. Á nokkrum tilraunaköflum var umferðarhraðinn mældur stöku sinnum og í einstaka tilfellum var hægt að fá upplýsingar úr umferðargreinum á tilraunakaflanum eða í nágrenni við hann. Þar sem mælingar á umferðarhraða voru ekki tiltækar var ýmist gert ráð fyrir að meðalhraðinn væri jafn leyfðum hámarkshraða, eða þá að umferðarhraðinn var áætlaður með hliðsjón af mældum umferðarhraða á öðrum stöðum, þar sem leyfður hámarkshraði var hinn sami og aðstæður að öðru leyti svipaðar. Heimildir fyrir umferðarhraða eru tilgreindar í umfjöllun um hvern tilraunakafla fyrir sig.

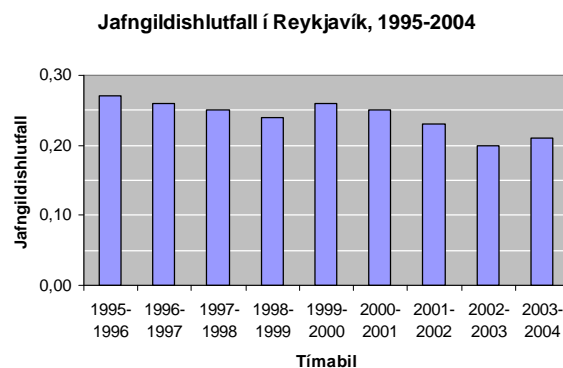
Sumstaðar hefur leyfilegum hámarkshraða verið breytt á athugunartímabili tilraunakaflans. Þegar svo hagar til hefur mælt slit (þ.e. magn efnis sem slitnar burtu, eða hjólfaradýpt, eftir því hvort á við), í sumum tilfellum jafngildisumferð, verið umreiknuð þannig að tölur um slit séu sambærilegar á öllu athugunartímabili kaflans.

2.2 Notkun negldra hjólbarða

Notkun negldra hjólbarða var ekki könnuð sérstaklega á neinum tilraunakaflanna. Það hefur hins vegar verið gert nokkurn veginn reglulega á árunum 1976-2005 á tilteknum stöðum í Reykjavík; framan af á Miklubraut en síðar á Kringlumýrabraut. Þessar kannanir voru að jafnaði gerðar 10-15 sinnum á ári og dreift þannig yfir árið að

upplýsingar um notkun negldra hjólbarða yrðu sem áreiðanlegastar. Í þessari skýrslu er gert ráð fyrir að hún sé eins á öllum tilraunaköflunum og á þessum stöðum. Réttmæti þessarar forsendu hefur ekki verið kannað sérstaklega, nema hvað nokkrar talningar voru gerðar á Nesbraut veturinn 1995-1996. Niðurstöðum þeirra bar (innan skekkjumarka) saman við talningar í Reykjavík um sama leyti [ÁJ 2000, bls. 7]. Í ljósi þessarar niðurstöðu, og þar sem tilraunakaflarnir eru allir í Reykjavík eða næsta nágrenni, var ekki talin ástæða til að draga þessa forsendu í efa.

Jafngildishlutfall⁶ á tilraunaköflunum var reiknað út frá áður nefndum talningum og talið vera það sama á þeim öllum. Mynd 2.1 sýnir jafngildishlutfall á talningarstaðnum veturna 1995-2004 (reiknað frá og með viku 31 á einu ári til og með viku 30 á því næsta).



Mynd 2.1. Jafngildishlutfall í Reykjavík 1995-2004.

Á grundvelli umferðartalninga og jafngildishlutfalls er reiknuð jafngildisumferð⁷ fyrir hvern tilraunakafla. Ef gögnin leyfa og ástæða þykir til, er tekið tillit til árstíðabundinna breytinga á umferð og hlutfalls bíla á negldum hjólbörðum þegar jafngildisumferð er reiknuð út. Jafngildisumferð hvers reikningsárs (frá og með 31. viku á einu ári til og með 30. viku á því næsta) á hverjum tilraunakafla er birt í umfjöllun um hann.

Hlutur þungra bíla (2000 kg og stærri) í umferðinni hefur ekki verið kannaður sérstaklega á tilraunaköflunum. Í útreikningi á jafngildishlutfalli er stuðst við fyrri venjur þar sem gert er ráð fyrir að hluti (7,3 %) umferðarinnar sé þungir bílar, að tiltekinn hluti þeirra (40 %) noti neglda hjólbarða og hver slíkur valdi sliti sem er fjórfalt á við léttan bíl á negldum hjólbörðum [ÁJ 1987, bls. 8-9].

2.3 Slitmælingar og úrvinnsla þeirra

Slit á tilraunaköflunum var mælt árlega með slitmælitæki Malbikunarstöðvarinnar Höfða hf og Vegagerðarinnar. Í tilraunaköflum með endurlögn (Repave) eru fimm snið í hverjum tilraunakafla en tíu í öllum öðrum. Að jafnaði eru 5-10 m milli mælisniða. Þau eru merkt með stálplötum sem eru boltaðar niður í slitlagið í báðum köntum og plöturnar eru jafnframt byrjunar- og endapunktur fyrir slitmælitækið þegar slitið er mælt. Hvert snið er mælt fjórum sinnum í hvert skipti, tvisvar í hvora átt.

⁶ *Jafngildishlutfall*: Mælikvarði á hlutfall bíla á negldum hjólbörðum á ársgrundvelli. Nánari skýringar í viðauka.

⁷ *Jafngildisumferð*: Mælikvarði á það sem kalla mætti slitáhrif umferðarinnar á tilteknum stað, og tilgreinir fjölda léttra bíla á fjórum negldum hjólbörðum eða jafngildi þeirra sem fer um þennan stað á einu ári. Jafngildisumferð er talin í milljónum bíla. Nánari skýringar í viðauka.

Mæligögnin eru varðveitt í gagnasafni sem er á tölvutæku formi og er vistað hjá Vegagerðinni.

Á einum tilraunakafla (á Hringveginum, 1-f5) hefur þynning hans (vegna slits) verið mæld af og til síðan hann var steypur 1972. Mæligögnin eru einnig varðveitt hjá Vegagerðinni, en eru ekki á tölvutæku formi.

Forrit til úrvinnslu á slitmælingunum bjóða upp á mismunandi aðferðir [SN 1992, bls. 36]. Ein aðferð er að miða við flatarmálsbreytingu milli ára í lóðréttu plani, sem lagt er í gegnum slitmælisniðið. Þá er fundið flatarmálið sem afmarkast af yfirborði slitlagsins annars vegar og beinni línu milli endapunkta mælisniðsins (þ. e. slitmæli-merkjanna) hinsvegar. Breytingar á þessu flatarmáli standa í beinu hlutfalli við slitið og eru notaðar sem mælikvarði á það. Þetta er heppilegasta aðferðin ef tryggt er að slitmælimerkin hreyfist ekki á milli ára, en er hins vegar mjög viðkvæm fyrir breytingum á hæð þeirra, ef einhverjar eru. Til dæmis veldur 1 mm hæðarbreyting á slitmælimerki öðru megin skekkju sem nemur um 40 cm² á flatarmáli þversniðs í tveggja akreina veg. Skekkjur af þessari stærð geta bjagað niðurstöður mælinganna til muna en reynt er að draga úr áhrifum þeirra með því að fjölga mælisniðunum.

Önnur aðferð, svipuð, er að miða við flatarmálsbreytingu milli ára á svæði í lóðréttu plani, sem lagt er í gegnum slitmælisniðið, og afmarkast annarsvegar af yfirborði götunnar og hinsvegar af tveim beinum línunum sem skerast um það bil á hryggnum á milli akreina og snerta götuna þar og í köntunum beggja vegna. Þessi aðferð mælir flatarmálsbreytingu í hjólförum, og er nátengd efnismagninu sem þarf til að fylla hjólförin. Hinsvegar vanmetur hún slitið, ef aðstæður eru þannig að kantarnir og/eða hryggurinn á milli akreina slitna. Ef slitmælimerkin hreyfast á milli ára getur þessi aðferð stundum verið heppilegri til ákvörðunar á slitþoli en sú fyrsttalda, en hún er vandmeðfarin og getur gefið alranga mynd af sliti ef hún er ekki notuð af gætni.

Þriðja aðferðin er að miða við hjólfaradýpt. Hún greinir ekki á milli hjólfara sem orsakast af sliti og hjólfaramyndunar frá sigi eða skriði, og er þess vegna ónothæf til að meta slitþol malbiksins nema hægt sé að útiloka sig og skrið. Á hinn bóginn getur hjólfaradýpt verið nothæfur mælikvarði á notagildi eða endingu annars óskemmds slitlags, vegna þess að hjólfaradýptinni eru yfirleitt sett takmörk vegna umferðaröryggis.

Slit á malbiki er háð umferðarhraða. Ef þörf krefur er slitið leiðrétt vegna umferðarhraða þannig að niðurstöðurnar eiga ávallt við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Leiðréttingin er gerð með hjálp stuðla úr sænskum heimildum [TJ 1997, bls. 11]. Með hliðsjón af þeim má lýsa sambandi slits og umferðarhraða þannig:

$$Y = - 0,08 + 0,014 * X$$

þar sem X er hraði (km/klst) og Y er stuðull sem lýsir hlutfallslegri breytingu á sliti með hraða. Samkvæmt þessari líkingu eykst slitið um 55 % ef umferðarhraðinn eykst úr 60 í 90 km/klst svo dæmi sé nefnt⁸.

Út frá flatarmálsbreytingu í mælisniðinu milli ára og jafngildisumferð á sama tíma má reikna svokallað kvarðað slit, sem er óháð notkun negldra hjólbarða og umferð. Kvarðað slit er sambærilegt milli ára og milli tilraunakafla [SN 1992, bls. 38], þó með fyrirvara um leiðréttingu vegna umferðarhraða. Það er mælt í SPS-einingum og er skilgreint sem efnistap af yfirborði slitlagsins mælt í tonn/km eftir umferð 1.000.000

⁸ Rétt er að geta þess að aðrar leiðréttingaraðferðir hafa komið fram [PU 1998, bls. 172; MN 1991, bls. 46; VV 2008, bls. 54].

léttra bíla á öllum fjórum hjólbörðum negldum. Önnur skilgreining og jafngild er efnistap af yfirborði slitlagsins mælt í g/bíl á hvern ekinn km á bíl sem er léttur og á fjórum negldum hjólbörðum. Tölulegt gildi fyrir SPS er hið sama, hvor skilgreiningin sem er notuð.

Kvörðuð hjólfaradýpt er reiknuð á svipaðan hátt og kvarðað slit, og einingin er SS [MN 1991, bls. 34]. Hún er óháð naglanotkun og umferð og er skilgreind á hliðstæðan hátt og kvarðað slit, það er, sem hjólfarsdýpkun í mm eftir umferð 1.000.000 léttra bíla á öllum fjórum hjólbörðum negldum. Gallinn á þessum mælikvarða er sá að hann metur ekki slitstyrkleika malbiksins nema að takmörkuðu leyti, slitið getur verið mikið að magni til en hjólförin breið og grunn. Auk þess getur hjólfaraaukningin stafað af skriði í malbikinu eða sigi í burðarlagi.

Þegar umferðin fer í sömu átt á báðum akreinum tilraunakaflans er kvarðað slit og kvarðað hjólfaraslit reiknað fyrir hvora akrein um sig og jafnframt reiknað meðaltal af niðurstöðunum, vegnum með umferð á akreinunum.

Uppgefin vikmörk á kvörðuðu sliti og kvörðuðu hjólfarasliti eru aðeins nálgun. Orsökkin er meðal annars vafi á því hvort niðurstöður mælinganna fylgja normaldreifingu. Vikmörkin gefa vissa hugmynd um nákvæmni á niðurstöðum fyrir tilraunakaflann sem á í hlut, en eru ónothæf til að bera saman slit á mismunandi tilraunaköflum. Ástæðan er sú að þá bætist við óvissa á ýmsum öðrum stikum svo sem umferð og umferðarhraða.

Reynslan hefur sýnt að slit mælist að jafnaði meira á fyrsta vetri eftir að slitlagið er lagt en veturna þar á eftir. Líklega slitnar efja á yfirborði slitlagsins hratt í byrjun en síðan hægir á slitinu þegar hún er farin og gróft steinefni er komið í ljós. Í malbiksslitlögum verður líklega einhver eftirþjöppun í nýútlögðu slitlagi og í undantekningartilfellum líka í neðri lögum. Auk þess flökta mæliniðurstöður á sliti talsvert milli ára vegna ónákvæmni í mælingum og breytilegum aðstæðum frá ári til árs. Af þessum sökum er hæpið að draga ályktanir af fyrstu mælingunum og sæmilega traustar niðurstöður fást ekki fyrr en eftir nokkurra ára mælingar, sem þurfa að vera þeim mun fleiri sem umferðin er minni.

3. STEYPTUR KAFLI Á HRINGVEGI, 1-f5

3.1 Aðstæður og umferð

Þessi tilraunakafl er á Hringveginum, vegnr. 1-f5, milli Þingvallavegar og Köldukvíslar. Slitlagið var steyppt 1972, þrýstipól steypunnar var um 45 MPa og efri flokkunarstærð fylliefnisins 25 mm. Kvarnartala⁹ steinefnisins er óþekkt. Á kaflanum eru tvær akreinar með umferð í gagnstæðar áttir. Kantsteinn er enginn. Leyfður hámarkshraði á þessum stað er 90 km/klst. Umferðin var um 3200 ÁDU árið 1996 þegar slitmælingar hófust á kaflanum en var orðin um það bil 6100 ÁDU árið 2004.

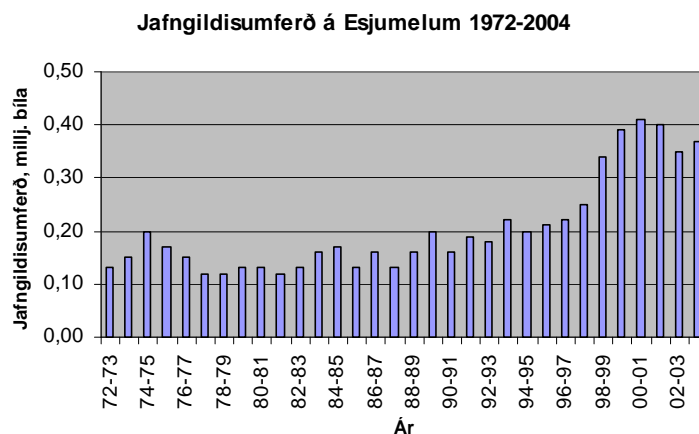
Að sliti undanteknu er tilraunakaflinn enn í góðu ástandi. Á honum eru engar skemmdir að frátalinni sprungu sem liggur í gegnum annað af tveim þykktarmælismiðum, sem þó hefur engin áhrif á niðurstöður þykktarmælinganna [ÁJ 1999, bls. 10]. Burðarlagið undir öðrum mælismiðum er traust, enda langt síðan slitlagið var lagt og engin merki sjáanleg um að slitmælimerki hafi hreyfst.

Frekari upplýsingar um aðstæður á tilraunakaflanum má finna í áfangaskýrslu sem gefin var út eftir þriggja ára slitmælingar á honum [ÁJ 1999].

Fram til ársins 2001 var enginn umferðarteljari í næsta nágrenni við kaflann en þá setti Vegagerðin upp umferðargreini á Esjumelum sem er skammt frá. Fram að því er umferð á tilraunakaflanum áætluð út frá talningum Vegagerðarinnar með föstum teljara við Esjuberg á Kjalarnesi, svo og með hliðsjón af nokkrum skynditalningum við Kölduvísl [ÁJ 1999] og talningum frá umferðargreininum á Esjumelum árin 2003 og 2004.

Hlutfall bíla á negldum hjólbörðum hefur ekki verið kannað á þessum stað en er talið vera hið sama og í Reykjavík (á Kringlumýrarbraut). Hlutfall þungra bíla af heildarumferð hefur heldur ekki verið kannað á þessum stað.

Á áðurnefndum forsendum hefur jafngildisumferð verið reiknuð fyrir árin 1972-2004. Þróun hennar er sýnd á mynd 3.1.



Mynd 3.1. Þróun jafngildisumferðar á Hringvegi, vegnr. 1-f5 (á Esjumelum), 1972-2004.

Mynd 3.1 sýnir verulega breytingu á jafngildisumferð árið 1998. Ástæðan er sú að þá voru Hvalfjarðargöngin opnuð og umferð á tilraunakaflanum óx til muna. Um leið

⁹ Kvarnartala er mælikvarði á slitþól steinefnis; því lægri kvarnartala, þeim mun meira slitþól (minna slit).

minnkaði hlutur sumarumferðar (og þar með bíla sem ekki eru á negldum hjólbörðum) af heildarumferð.

Upplýsingar um umferðarhraða eru fengnar frá umferðargreini á Esjumelum og ná yfir tímabilið júní 2001 til júní 2005. Samkvæmt þeim er meðalhraði umferðarinnar (yfir árið) um 85 km/klst öll árin. Aðrar upplýsingar um umferðarhraða á þessum stað eru ekki tiltækar og hér á eftir er gert ráð fyrir að umferðarhraðinn hafi verið óbreyttur allt frá árinu 1972, án frekari rökstuðnings. Mælt slit (við 85 km/klst) er leiðrétt með stuðlinum 0,68 til að finna líklegt slit ef umferðarhraðinn væri 60 km/klst.

3.2 Slitmælingar

Sumarið 1996 voru sett slitmælimerki (stálplötur) í tíu mælisnið á þessum kafla. Mælisniðin eru nánast á sama stað og þykktarmælisnið sem sett voru niður 1972, sjá kafla 3.3. Slit í fyrrnefndu mælisniðunum var mælt árlega þar til slitmælingum var hætt 2004. Úrvinnslu mælinganna er lýst stuttlega í kafla 2.3 en nánari lýsingu er að finna í viðauka 1 í áður útgefinni skýrslu [ÁJ 2003].

3.3 Þykktarmælingar

Árið 1973 setti Vegagerðin tvö pör af slitmælisniðum í þennan vegarkafila um það bil miðja veginum milli Þingvallavegar og Köldukvíslar. Hvert snið nær yfir eina (steypa) plötu í veginum og hvort þar um sig myndar snið þvert yfir veginn. Tilgangurinn með sniðunum var að mæla þykktarbreytingar á slitlaginu í sniðunum [GA 1973].

Boraðar voru holur með 250 mm millibili í slitlagið á beinni línu þvert á akstursstefnuna. Í botn hvernar holu var festur koparbolti með epoxylími. Hæð boltans, miðað við yfirborð steypunnar, er síðan mæld með sérstakri mælibrú sem stendur á þrem fótum á slitlaginu meðan hæðin er mæld niður á boltann í holunni. Aflestrarnákvæmnin í hverri hæðarmælingu er 0,1 mm og hæðarmælingin er endurtekin nokkrum sinnum til að eyða áhrifum frá ójöfnum í yfirborði slitlagsins á niðurstöður mælinganna. Að mælingu lokinni er holan fyllt með mjúku efni, til dæmis vaxi, sem auðvelt er að hreinsa burtu þegar kemur að næstu mælingu. Nánari lýsingu á þykktarmælingunum og úrvinnslu þeirra er að finna í áfangaskýrslu um tilraunakafilann [ÁJ 1999].

Sniðin hafa ýmist verið mæld átta eða níu sinnum síðan þau voru sett niður, fyrst árið 1973, síðast árið 2000.

3.4 Niðurstöður slitmælinga

Mælisniðunum, mælingunum og úrvinnslu þeirra er lýst nánar í áfangaskýrslu um þennan tilraunakafila [ÁJ 1999]. Niðurstöður sem birtar eru hér á eftir eru fengnar á sama hátt og þar er lýst. Um skilgreiningar á kvörðuðu slit (SPS) og kvörðuðu hjólfarasliti (SS) sjá viðauka.

3.4.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Þessi aðferð til að meta slit byggist á því að finna flatarmál í lóðréttu plani sem inniheldur mælisniðið, og afmarkast annars vegar af yfirborði slitlagsins, hinsvegar af beinni línu milli endapunkta mælisniðsins (þ. e. slitmælimerkjanna). Breytingar á þessu flatarmáli milli ára eru, ásamt jafngildisumferð (sjá viðauka), notaðar til að reikna kvarðað slit. Tafla 3.1 sýnir niðurstöður útreikninga á slitum með þessari aðferð.

Tafla 3.1. Kvarðað slit á steypu slitlagi á Hringvegi, 1-f5, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Flatarmáls- breyting, cm ²	Kvarðað slit, SPS, við	
			85 km/klst	60 km/klst
1996-1997	0,22	7	8	5
1997-1998	0,25	55	55	37
1998-1999	0,34	17	13	9
1999-2000	0,39	79	51	34
2000-2001	0,41	35	21	15
2001-2002	0,40	81	51	35
2002-2003	0,35	-11	-8	-6
2003-2004	0,37	69	47	32

Kvarðað slit fyrir tímabilið 1996-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt vegna umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 21 ± 4 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er viðunandi ($r > 0,8$). Leifar aðhvarfsgreiningar standast ekki próf á normaldreifingu ($p = 0,002$) og fara lítið eitt vaxandi með skýribreytunni. Vikmörkin eru því sennilega ótraust.

3.4.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Breytingar milli ára á slitflatarmáli í hjólförum eru fundnar á sama hátt og breytingar á slitflatarmáli í þversniði nema hvað tvær beinar línur eru lagðar ofan á slitlagið, hvor á sinn vegarhelming, í stað einnar á milli slitmælimerkjanna. Þessar tvær línur skerast um það bil á hryggnum milli akreina og snerta slitlagið þar og í köntunum beggja vegna. Tafla 3.2 sýnir slit ár fyrir ár á grundvelli þessarar forsendu og sömuleiðis fyrir tímabilið 1972-2004.

Tafla 3.2. Kvarðað slit á steypu slitlagi á Hringvegi, 1-f5, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Tölur í síðustu línunni (fyrir tímabilið 1972-2004) gera ráð fyrir að yfirborð slitlagsins hafi fylgt beinni línu þegar umferð var hleypt á veginn 1972.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Flatarmáls- breyting, cm ²	Kvarðað slit, SPS, við	
			85 km/klst	60 km/klst
1996-1997	0,22	60	68	47
1997-1998	0,25	-14	-14	-9
1998-1999	0,34	75	55	37
1999-2000	0,39	33	21	14
2000-2001	0,41	45	27	19
2001-2002	0,40	73	45	31
2002-2003	0,35	13	9	6
2003-2004	0,37	50	34	23
1972-2004	6,55	789	30±1	20±1

Kvarðað slit fyrir tímabilið 1996-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt vegna umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 20 ± 2 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r > 0,9$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu ($p = 1,0$) og virðast vera óháðar skýribreytunni. Vikmörkin eru því að öllum líkindum traust.

Kvarðað slit fyrir tímabilið 1972-2004 eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða er 20 SPS og vikmörk (95 % öryggisstig) eru ± 1 SPS. Þá er gert ráð fyrir að yfirborð slitlagsins í hverju sniði fyrir sig hafi fylgt beinni línu þegar umferð var hleypt á veginn 1972 og tekið meðaltal af sliti í 10 mælisniðum eins og það var orðið 2004. Mælingarnar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,9$) svo að vikmörkin virðast vera traust.

3.4.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Hjólfaradýpt er mæld sem lóðrétt fjarlægð á milli lágpunkta hjólfaranna í mælisniðinu og tveggja beinna lína sem lagðar eru ofan á slitlagið, hvor á sinn vegarhelming. Þessar tvær línur skerast um það bil á hryggnum milli akreina og snerta slitlagið þar og í köntunum beggja vegna. Tafla 3.3 sýnir hjólfaraslit ár fyrir ár á grundvelli þessarar forsendu. Síðasta línan í töflunni sýnir hjólfaraslit árin 1972-2004. Tilgreind breyting á hjólfaradýpt er meðaltal breytinga á öllum (fjórum) hjólförum í öllum mælisniðunum.

Tafla 3.3. Kvarðað hjólfaraslit á steypu slitlagi á Hringvegi, 1-f5, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Tölur í síðustu línunni (fyrir tímabilið 1972-2004) gera ráð fyrir að yfirborð slitlagsins hafi fylgt beinni línu þegar umferð var hleypt á veginn 1972.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Hjólfars- dýpkun, mm	Kvarðað hjólfaraslit, SS, við	
			85 km/klst	60 km/klst
1996-1997	0,22	1,0	4,6	3,1
1997-1998	0,25	0,4	1,7	1,1
1998-1999	0,34	1,7	4,9	3,4
1999-2000	0,39	1,1	2,9	2,0
2000-2001	0,41	1,1	2,8	1,9
2001-2002	0,40	1,7	4,4	3,0
2002-2003	0,35	0,6	1,7	1,1
2003-2004	0,37	1,4	3,9	2,6
1972-2004	6,55	21,1	3,2 \pm 0,1	2,2 \pm 0,1

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 1996-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað hjólfaraslit, leiðrétt vegna umferðarhraða (að 60 km/klst) sé $2,3 \pm 0,2$ SS (95 % öryggisstig).

Fylgni slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast prófun á normaldreifingu ($p = 0,3$) og virðast vera óháðar skýribreytunni svo að vikmörkin eru líklega traust.

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 1972-2004, eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða, er $2,2$ SS $\pm 0,1$ SS (95 % öryggisstig). Þá er gert ráð fyrir að yfirborð slitlagsins í hverju sniði fyrir sig hafi fylgt beinni línu þegar umferð var hleypt á veginn 1972 og tekið meðaltal af hjólfaradýpt í 10 mælisniðum eins og hún var orðin 2004. Mælingarnar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,8$) svo að vikmörkin virðast vera traust.

3.5 Niðurstöður þykktarmælinga

Eftirfarandi niðurstöður eru byggðar á þykktarmælingum sem gerðar voru í tveim mælisniðum á kaflanum árin 1973-2000. Tilhögun mælinganna er lýst í áfangaskýrslu um slitmælingar á þessum vegarkafli [ÁJ 1999] og þær sýna hvernig slitlagið þynnist milli mælinga í sniðunum. Þykktarmælingar styðjast ekki við viðmiðunarlínur (sem lagðar eru ofan á slitlagið eða á milli slitmælimerkja) og þess vegna hefur slit í köntum og vegmiðju engin áhrif á niðurstöður mælinganna. Mælingarnar voru gerðar í tveim syrþum, önnur árin 1973-1982, hin árin 1998-2000.

Niðurstöður mælinganna eru sýndar í töflu 3.4 ásamt vikmörkum með 95 % öryggisstig. Þær byggjast á aðhvarfsgreiningu slits og hjólfaradýptar á jafngildisumferð. Síðasta línan í töflunni sýnir niðurstöðurnar ef báðum mælisyrþunum er steipt saman í eina, en þá er eyða í mæligögnunum fyrir árin 1982-1998.

Tafla 3.4. Kvarðað slit á steiptu slitlagi á Hringvegi, 1-f5, samkvæmt þykktarmælingum í tveim sniðum, annars vegar reiknað á grundvelli efnistaps úr slitlagi (SPS), hins vegar á grundvelli breytinga á hjólfaradýpt (SS).

Tímabil	Kvarðað slit, SPS, við		Kvarðað hjólfaraslit, SS, við	
	85 km/klst	60 km/klst	85 km/klst	60 km/klst
1973-1982	23±5	16±3	2,3±0,4	1,6±0,3
1998-2000	39±20	27±14	3±3	2±2
1973-2000	32±2	22±1	3,2±0,2	2,2±0,1

Ef allar mælingar á tímabilinu 1973-2000 eru lagðar til grundvallar er kvarðað slit, (fundið með aðhvarfsgreiningu efnistaps úr slitlagi á jafngildisumferð og leiðrétt vegna umferðarhraða að 60 km/klst) að jafnaði 22 SPS á þessu tímabili og vikmörkin (95 % öryggisstig) ±1 SPS. Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($p>0,9$) og leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast prófun á normaldreifingu ($p=0,5$). Hins vegar eru þær háðar skýribreytunni og þar af leiðandi eru vikmörkin ótraust.

Kvarðað hjólfaraslit á sama tímabili, einnig fundið með aðhvarfsgreiningu hjólfaradýptar á jafngildisumferð og leiðrétt vegna umferðarhraða (að 60 km/klst), er 2,2 SS og vikmörkin (95 % öryggisstig) eru ± 0,1 SS. Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r>0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast ekki prófun á normaldreifingu ($p=0,03$) og eru háðar skýribreytunni svo að vikmörkin eru ótraust.

Þykktarmælingarnar sýna enn fremur að uppsöfnuð hjólför voru að meðaltali 3 mm djúp árið 1982 en 15 mm árið 2000.

3.6 Aðrar slitmælingar

Árin 1984-1988 var dýpt og lögun hjólfara mæld í 22 sniðum á Hringveginum, vegnr. 1-f5, milli Þingvallavegar og Kollafjarðarbotns. Slitlagið er sams konar og á tilraunakaflanum sem er lýst hér á undan. Sniðin voru með 200 m millibili, merkt með koparboltum í öðrum kanti vegarins eða báðum og þar af leiðandi voru hjólförin mæld á nokkurn veginn sama stað frá ári til árs. Hvert snið var mælt einu sinni á ári, án endurtekningar. Þessar mælingar voru fyrst og fremst gerðar til að fylgjast með hjólförum og breytingum á þeim milli ára og ekki vandað sérstaklega til þeirra.

Þessar mælingar gefa möguleika á að reikna kvarðað slit og kvarðað hjólfaraslit á grundvelli uppsafnaðs slits frá því að slitlagið var lagt (1972) þar til mælingum lauk (1988) og sömuleiðis milli árána 1984 og 1988. Niðurstöðurnar eru birtar í töflu 3.5.

Fyrir tímabilið 1984-1988 eru niðurstöðurnar fengnar með aðhvarfsgreiningu slits á jafngildisumferð. Fyrir tímabilið 1972-1988 er tekið meðaltal af sliti í hverju sniði fyrir sig árið 1988 og er þá gert fyrir að yfirborð slitlagsins í sniðunum hafi fylgt beinni línu á hvorum vegarhelmingi árið 1972, sjá kafla 2.3. Rétt er að taka fram að samkvæmt mælingunum voru hjólförin dýpst 1986 (6 mm að meðaltali) en virtust síðan hafa grynkað um 1 mm fram til 1988, sem getur ekki staðist. Um ástæðuna er engu hægt að slá föstu.

Tafla 3.5. Kvarðað slit og kvarðað hjólfaraslit, byggt á hjólfaramælingum í 22 sniðum með 200 m millibili á steypu slitlagi á Hringvegi, 1- f5. Slit milli ára (1984-1988) og frá upphafi (1972-1988).

Tímabil	Kvarðað slit, SPS, við		Kvarðað hjólfaraslit, SS, við	
	85 km/klst	60 km/klst	85 km/klst	60 km/klst
1984-1988	14±30	9±20	0±3	0±2
1972-1988	29±4	20±3	2,3±0,3	1,6±0,2

Fyrir tímabilið 1972-1988 gefa mælingarnar til kynna að kvarðað slit, eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða (að 60 km/klst) sé að jafnaði 20 SPS og vikmörkin (95 % öryggisstig) ±3 SPS. Mælingarnar standast prófun á normaldreifingu ($p=0,6$) svo að vikmörkin virðast vera traust.

Kvarðað hjólfaraslit á sama tímabili, eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða (að 60 km/klst) er 1,6 SS og vikmörkin (95 % öryggisstig) eru ± 0,2 SS. Mælingarnar standast prófun á normaldreifingu ($p=0,5$) svo að vikmörkin virðast vera traust.

3.7 Ígrundun og ályktanir

Tafla 3.6 sýnir í hnotskurn niðurstöður slitmælinga á Hringvegi, vegnr. 1-f5, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Á grundvelli þeirra má álykta að kvarðað slit á þessum tilraunakafla sé um 20 SPS og kvarðað hjólfaraslit um 2,2 SS. Með öðrum orðum; að slitið sé 20 g á hvern ekinn km á bíl sem er léttur og á fjórum negldum hjólbörðum, og að hjólförin dýpki um 2,2 mm eftir umferð 1.000.000 léttra bíla á fjórum negldum hjólbörðum, hvorutveggja miðað við að umferðarhraðinn sé 60 km/klst. Þessar tölur eru þó settar fram með fyrirvara um áhrif frá skekkju á jafngildisumferð, sjá kafla 2. Líkleg vikmörk (95 % öryggisstig) eru 2 SPS á kvörðuðu sliti og 0,2 SS á kvörðuðu hjólfarasliti. Hins vegar segja vikmörkin ekki alla sögu um áreiðanleika niðurstaðnanna; þær geta verið bjagaðar vegna skekkju á umferðartölum.

Tölur um slit frá ári til árs sveiflast mjög mikið eins og töflur 3.1-3.3 sýna og vikmörk fyrir meðaltal þeirra eru að jafnaði miklu stærri en svo að viðunandi geti talist. Þau eru hins vegar viðunandi þegar hægt er að beita aðhvarfsgreiningu á langar mæliraðir, þá eru vikmörkin í kringum 10 % af slittölum.

Þrem aðferðum til að meta slitið ber vel saman, þegar SPS er notað sem mælikvarði og langar mæliraðir (níu ár eða meira) eru lagðar til grundvallar. Aðferðirnar eru slitflatarmál í þversniði (sjá kafla 3.4.1), slitflatarmál í hjólförum (sjá kafla 3.4.2) og þykktarmælingar (sjá kafla 3.5). Sama er að segja um tvær aðferðir sem nota SS sem mælikvarða, hjólfaradýpt (sjá kafla 3.4.3) og þykktarmælingar (sjá kafla 3.5). Þar sem mismunandi aðferðum til að meta slitið ber vel saman má álykta að þessar mæliaðferðir séu áreiðanlegar.

Tafla 3.6. Kvarðað slit, SPS og kvarðað hjólfaraslit, SS, á steypu slitlagi á Hringvegi, 1-f5, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust.

Kvarðað slit, SPS	Mæliaðferð
21 (± 4)	Slitflatarmál í þversniði, 1996-2004
20 ± 2	Slitflatarmál í hjólförum, 1996-2004
20 ± 1	Slitflatarmál í hjólförum, 1972-2004
22 (± 1)	Þykktarmælingar, 1973-2000
16 (± 3)	Þykktarmælingar, 1973-1982
27 ± 14	Þykktarmælingar, 1998-2000
20 ± 3	Slitflatarmál í hjólförum á Hringvegi, 1-f5, 1972-1988
9 ± 20	Slitflatarmál í hjólförum á Hringvegi, 1-f5, 1984-1988
Kvarðað hjólfaraslit, SS	Mæliaðferð
2,3 $\pm 0,2$	Breytingar á hjólfaradýpt, 1996-2004
2,2 $\pm 0,1$	Breytingar á hjólfaradýpt, 1972-2004
2,2 ($\pm 0,1$)	Þykktarmælingar, 1973-2000
1,6 $\pm 0,3$	Þykktarmælingar, 1973-1982
2 (± 2)	Þykktarmælingar, 1998-2000
1,6 $\pm 0,2$	Breytingar á hjólfaradýpt á Hringvegi, 1-f5, 1972-1988
0 ± 2	Breytingar á hjólfaradýpt á Hringvegi, 1-f5, 1984-1988

Niðurstöður mælinga á tilraunakaflanum eru í viðunandi samræmi við niðurstöður hjólfaramælinga á allöngum vegarkafli (4,2 km) í kring með samskonar slitlagi. Þetta bendir til þess að tilraunakaflinn, þótt stuttur sé (100 m), sé dæmigerður fyrir vegarkafli í heild.

Í annan stað er athyglisvert að niðurstöðum þykktarmælinga annars vegar og mælinga með slitmælitæki (sjá kafla 2.3) hins vegar, ber vel saman. Það gefur til kynna að slit í köntum slitlagsins og á hryggnum milli akreina sé svo lítið, að niðurstöður sem byggjast á slitflatarmáli í hjólförum eða hjólfaradýpt (sjá kafla 2.3) gefi rétta mynd af slitinu á þessum stað. Fyrri niðurstöður um slit á þessum tilraunakafla gáfu til kynna að leiðrétting vegna slits í slitlagsköntum og á hrygg milli akreina væri réttmæt [ÁJ 1999, bls. 13] en það er ótvírætt rangt¹⁰. Leiðrétting getur samt átt rétt á sér í vissum tilfellum eins og mælingar á steypum kafla á Nesbraut hafa sýnt (ÁJ 2003, bls. 17).

Niðurstöður þykktarmælinga sem aðeins spanna tvo vetur (1998-2000) hafa víð vikmörk, svo víð að niðurstöðurnar eru gagnslausar. Þykktarmælingar sem ná yfir níu ár (tímabilið 1973-1982) sýna ívið minna slit en þær sem ná yfir allt tímabilið (1973-2000). Vera má að saltburður til hálkuvana eigi einhvern þátt í meira slit á seinni hluta tímabilsins, en það er einber ágiskun. Á þennan mismun hefur áður verið dregið [ÁJ 1999, bls. 11] en þar sem vikmörkin eru ótraust (leifar frá aðhvarfsgreiningu standast ekki alltaf prófun á normalfreifingu) er óvíst hann sé marktækur.

Ein af forsendum þess að niðurstöður slitmælinga séu áreiðanlegar er að slitmælimerkin hreyfist ekki milli mælinga. Þessi forsenda er að öllum líkindum fyrir hendi á þessum vegarkafli; hann var lagður 1972 á traust burðarlag og þess vegna litlar líkur á að steypuflekarnir, og þar með slitmælimerkin, hafi verið á hreyfingu á

¹⁰ Að öllum líkindum eru villur í útreikningum á slit í fyrri skýrslu [ÁJ 1999] um slit á þessum tilraunakafla fram til ársins 1998. Fyrri útreikningar eru glataðir og ekki lengur hægt að ganga úr skugga um það. Endurteknir útreikningar, byggðir á mælingum fram til ársins 1998, eru í viðunandi samræmi við niðurstöður í þessari skýrslu.

síðari árum. Þar af leiðandi má nota niðurstöður slitmælinga á þessum tilraunakafla sem prófstein á notagildi mismunandi aðferða til mælinga á sliti og úrvinnslu þeirra.

4. STEYPTIR KAFLAR Á HRINGVEGI, 1-e3

4.1 Aðstæður og umferð

Hér eiga í hlut tveir samliggjandi tilraunakaflar, sem liggja á Hringveginum við Rauðavatn, vegnr. 1-e3. Þeir voru gerðir haustið 1994, báðir úr hástyrkleikasteypu. Í öðrum þeirra (kafla I) er steypa úr Seljadalsefni sem er blandað lítilræði af Horngrýti, í hinum (kafla II) er steypa úr Akureyjarefni. Kvarnartala Seljadalsefnis er um 7 og kvarnartala Akureyjarefnis um 10. Um kvarnartölu Horngrýtis er ekki vitað með vissu en líklega er hún kringum 3. Þrýstiþol steypunnar (28 daga) í báðum köflum er í kringum 100 MPa og efri flokkunarstærð er sennilega 16 mm.

Tilraunakaflarnir eru 7,5 m breiðir, tvær akreinar með umferð í gagnstæðar áttir. Kantsteinn er enginn. Frekari upplýsingar um tilraunakaflana má finna í skýrslu sem fjallar um þá að hluta til [ÁJ 2003, bls. 11].

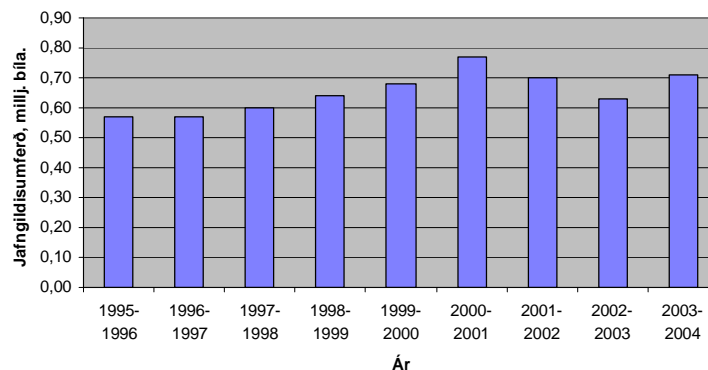
Báðir tilraunakaflarnir eru mikið sprungnir, einkum sá sem er úr Akureyjarefni. Að mestu eru það grunnar rýrnunarsprungur sem komu fram meðan á útlögn stóð eða strax að henni lokinni. Tæplega fimmti hver steypufleki hafði brotnað eftir níu ár undir umferð, yfirleitt um áðurnefndar rýrnunarsprungur. Árlegar úttektir á tilraunaköflunum hafa leitt í ljós að steypuflekarnir hreyfast á undirlaginu [ÁJ 2003, bls. 20]. Afleiðingin er sú að hefðbundnar aðferðir við útreikning á slit (út frá slitflatarmáli sem er ákvarðað á grundvelli viðmiðunarlnú milli slitmælimerkja) geta gefið rangar niðurstöður.

Á þessum vegarkafli er umferðarteljari sem telur umferð á hvorri akrein um sig en talningar hafa verið nokkuð gloppóttar. Úr því hefur verið bætt með samanburði við aðra teljara í nágrenninu eða fyllt í eyðurnar með þar til gerðu forriti [SS 2000, bls. 12]. Árið 1994 var umferðin um 4700 ÁDU en var orðin um það bil 10.500 ÁDU árið 2004.

Hlutfall bíla á negldum hjólbörðum hefur ekki verið kannað á þessum stað en er talið vera hið sama og á Kringlumýrarbraut í Reykjavík. Hlutfall þungra bíla af heildarumferð hefur heldur ekki verið kannað á þessum stað.

Á áðurnefndum forsendum hefur jafngildisumferð verið reiknuð fyrir árin 1995-2004. Þróun hennar er sýnd á mynd 4.1.

Jafngildisumferð á Hringvegi, kafla 1-e3, 1995-2004



Mynd 4.1. Þróun jafngildisumferðar á Hringvegi, vegnr. 1-e3, 1995-2004.

Umferðarhraði hefur verið breytilegur á tilraunaköflunum. Fram til 15. október 2002 var leyfður hámarkshraði 70 km/klst en var þá breytt í 80 km/klst. Umferðarhraði var mældur í maí 2003 og var þá 78 km/klst að meðaltali. Í útreikningum á sliti er reiknað með að umferðarhraði hafi verið 70 km/klst fram til haustsins 2002 en 80 km/klst eftir það. Mælt slit er leiðrétt með stuðlunum 0,84 (meðan umferðarhraðinn var 70 km/klst) og 0,73 (eftir breytingu í 80 km/klst) til að finna líklegt slit ef umferðarhraðinn væri 60 km/klst.

4.2 Slitmælingar

Slitmælimerki (stálplötur) voru sett í tíu mælisnið á hvorum tilraunakafla. Sniðin voru slitmæld í fyrsta sinn 1995 og árlega síðan þar til slitmælingum var hætt 2004, þó ekki vegna slits, því hjólförin höfðu þá ekki náð 25 mm. Úrvinnslu mælinganna er lýst stuttlega í kafla 2.3 en nánari lýsingu er að finna í viðauka 1 í áður útgefinni skýrslu [ÁJ 2003].

Bráðabirgðaniðurstöður slitmælinga (fram til ársins 2003) hafa áður verið birtar [ÁJ 2003]. Þar er einnig að finna niðurstöður árlegra úttekta. Þar sem mælingar á sliti hófust ekki fyrr en sumarið eftir að kaflarnir voru lagðir, fengust engar upplýsingar um slit á fyrsta vetri (sem venjulega er nokkru meira en meðalslit).

4.3 Niðurstöður slitmælinga

4.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 4.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði.

Tafla 4.1. Kvarðað slit á steypu slitlagi á Hringvegi, vegnr. 1-e3, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum.

Tímabil	Jafngildisumferð	Flatarmálsbreyting (án leiðrétingar v. hraða), cm ²		Kvarðað slit leiðrétt að 60 km/klst, SPS	
		Kafla I	Kafla II	Kafla I	Kafla II
1995-1996	0,57	-59	87	-22	32
1996-1997	0,58	31	-39	11	-14
1997-1998	0,61	-51	58	-18	20
1998-1999	0,63	22	53	7	18
1999-2000	0,68	-13	42	-4	13
2000-2001	0,79	2	17	1	4
2001-2002	0,69	55	101	17	31
2002-2003	0,64	19	46	5	13
2003-2004	0,70	37	56	10	15

Kvarðað slit á kafla I fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð) eftir að slitið hafði verið leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst). Það reyndist vera 3 SPS og vikmörkin (95 % öryggisstig) ± 3 SPS. Fylgnin milli slits og jafngildisumferðar er mjög lítil ($r < 0,3$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast ekki próf á normaldreifingu ($p = 0,03$), og fara auk þess vaxandi með jafngildisumferð. Vikmörkin eru þess vegna ótraust. Þar sem fylgnin milli slits og jafngildisumferðar er auk þess mjög lítil, eru niðurstöðurnar lítils eða einskis virði.

Kvarðað slit á kafla II fyrir sama tímabil og fundið á sama hátt er 14 SPS og vikmörkin ± 3 SPS (95 % öryggisstig). Fylgnin er viðunandi ($r = 0,8$). Leifar

aðhvarfsgreiningarinnar standast ekki próf á normaldreifingu ($p=0,002$) en virðast nokkurn veginn óháðar jafngildisumferð. Vikmörkin eru ekki traust, en líklega ekki fjarri lagi.

4.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 4.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum.

Tafla 4.2. Kvarðað slit á steypu slitlagi á Hringvegi, vegnr. 1-e3, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum.

Tímabil	Jafngildisumferð	Flatarmálsbreyting (án leiðréttingar v. hraða), cm ²		Kvarðað slit, leiðrétt að 60 km/klst, SPS	
		Kafla I	Kafla II	Kafla I	Kafla II
1995-1996	0,57	21	59	8	22
1996-1997	0,58	26	17	9	6
1997-1998	0,61	27	37	9	13
1998-1999	0,63	61	82	20	27
1999-2000	0,68	21	63	6	19
2000-2001	0,79	83	59	22	16
2001-2002	0,69	24	78	7	24
2002-2003	0,64	43	51	12	15
2003-2004	0,70	32	77	8	20

Kvarðað slit fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð) á hvorum kafla fyrir sig eftir að slitið hafði verið leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst).

Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit á kafla I sé 13 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r>0,9$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu með naumindum ($p=0,05$) og dreifing leifa virðist vera nokkurn veginn óháð skýribreytunni, svo að vikmörkin eru líklega nokkurn veginn áreiðanleg.

Á kafla II er kvarðað slit 19 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r>0,9$). Dreifing leifa stenst ekki prófun á normaldreifingu ($p=0,00$) og þær fara heldur vaxandi með skýribreytunni svo að vikmörkin eru ótraust.

4.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 4.3 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli hjólfaradýptar. Tilgreind breyting á hjólfaradýpt er meðaltal breytinga á öllum (fjórum) hjólförum í öllum mælisniðunum.

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð) á hvorum kafla fyrir sig eftir að slitið hafði verið leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst).

Niðurstöðurnar gefa til kynna að á kafla I sé kvarðað hjólfaraslit 1,4 SS og vikmörkin $\pm 0,1$ SS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r>0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar virðast ekki vera háðar skýribreytunni en standast ekki prófun á normaldreifingu ($p=0,001$) svo að vikmörkin geta verið ótraust.

Tafla 4.3. Kvarðað hjólfaraslit á steypu slitlagi á Hringvegi, vegnr. 1-e3, byggt á breytingum á hjólfaradýpt.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Hjólfaradýpkun (án leiðréttingar v. hraða), mm		Kvarðað slit við 60 km/klst, SS	
		Kafla I	Kafla II	Kafla I	Kafla II
1995-1996	0,57	0,4	1,3	0,6	1,9
1996-1997	0,58	0,7	0,9	1,0	1,3
1997-1998	0,61	0,8	1,4	1,1	1,9
1998-1999	0,63	1,6	2,4	2,2	3,2
1999-2000	0,68	0,7	1,9	0,9	2,4
2000-2001	0,79	1,9	1,8	2,1	1,9
2001-2002	0,69	0,9	2,5	1,1	3,0
2002-2003	0,64	1,4	1,9	1,6	2,2
2003-2004	0,70	1,1	2,4	1,1	2,5

Tilsvarendi niðurstöður fyrir kafla II eru 2,4 SS og vikmörkin eru $\pm 0,2$ SPS (95 % öryggisstig). Fylgni milli hjólfaradýptar og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast ekki próf á normaldreifingu ($p = 0,00$) og fara vaxandi með skýribreytunni svo að vikmörkin eru ótraust.

4.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 4.4 sýnir í hnotskurn niðurstöður slitmælinga á Hringvegi, vegnr. 1-e3, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Ef SPS er notað sem mælikvarði gefa niðurstöðurnar til kynna að slitið sé um 13 SPS á kafla I en um 19 SPS á kafla II. Með SS sem mælikvarða eru samsvarandi niðurstöður 1,4 SS á kafla I og 2,4 SS á kafla II. Þessar tölur geta allar verið vanmat á slitinu, sjá röksemdafærslu hér á eftir. Þar að auki verður að gera fyrirvara um áhrif frá skekkju á jafngildisumferð, sjá kafla 2.

Tafla 4.4 Kvarðað slit, SPS og SS, á steypu slitlagi á Hringvegi, vegnr. 1-e3, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust. Spurningarmerki aftan við slittölu (fyrir slitflatarmál í þversniði) tákna að talan geti ekki staðist.

Kvarðað slit á kafla I	
SPS	Mæliaðferð
3? (± 3)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 1995-2004
13 ± 2	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum, 1995-2004
Kvarðað hjólfaraslit á kafla I	
SS	Mæliaðferð
1,4 $\pm (0,1)$	Breytingar á hjólfaradýpt, 1995-2004
Kvarðað slit á kafla II	
SPS	Mæliaðferð
14? (± 3)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 1995-2004
19 (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum, 1995-2004
Kvarðað hjólfaraslit á kafla II	
SS	Mæliaðferð
2,4 $\pm (0,2)$	Breytingar á hjólfaradýpt, 1995-2004

Tölur í töflu 4.4 um kvarðað slit, sem eru byggðar á slitflatarmáli í þversniði geta ekki staðist. Ástæðan er sú að flatarmálsbreytingar í þversniði mælast minni en

flatarmálsbreytingar í hjólförum. Að réttu lagi ættu flatarmálsbreytingar í hjólförum að mælast hinar sömu og flatarmálsbreytingar í þversniði, eða þá minni vegna þess að slit á köntum slitlagsins og á miðju þess færir viðmiðunarlínurnar nær slitlaginu svo að mælt slit minnkar (sjá kafla 2.3). Jafnframt mælast nánast engar flatarmálsbreytingar í þversniði á kafla I, þrátt fyrir talsverðar flatarmálsbreytingar í hjólförum á sama kafla. Þar við bætast miklar sveiflur í flatarmálsbreytingum frá ári til árs og flatarmálsbreytingar í þversniði eru jafnvel negatífar frá einu ári til annars (sjá töflu 4.1). Allt þetta gerir tölur um slit ótrúverðugar. Líklegast er að slitmælimerkin hreyfist milli mælinga enda sýna árlegar úttektir á þessum köflum að einhverjir steypuflekanna, að minnsta kosti, eru á hreyfingu. Af þessum ástæðum eru slittölur fyrir þessa tilraunakafla, sem byggjast á slitflatarmáli í þversniði, dæmdar ómerkar.

Tölur um kvarðað slit sem byggjast á slitflatarmáli í hjólförum eru sennilega nær lagi. Þó verður að taka með í reikninginn að þær geta verið vanmat á sliti. Slitlagið ber þess merki að einhver hluti umferðarinnar flæmist út á kantana svo að þeir slitna og sömuleiðis hryggir á milli hjólfara. Við það færast viðmiðunarlínurnar nær slitlaginu og slitið mælist minna en ella eins og áður segir. Af þessari ástæðu er mögulegt að kvarðað slit sem byggist á slitflatarmáli í hjólförum sé vantalið. Af sömu ástæðu getur kvarðað hjólfaraslit einnig verið vantalið á báðum köflunum.

5. STEYPTUR KAFLI Á DALVEGI Í KÓPAVOGI

5.1 Aðstæður og umferð

Þessi tilraunakafl er á Dalvegi í Kópavogi, milli Digranesvegjar og Nýbýlavegjar. Slitlagið var steipt sumarið 1999. Steinefnið er blanda af norsku graníti frá Askøy (kvarnartala 7), Seljadalsefni (kvarnartala 7) og Björgunarefni (kvarnartala 10). Efri flokkunarstærð er 16 mm. Þrýstipól steypunnar (28 daga) er í kringum 60 MPa.

Tilraunakaflinn hefur tvær akreinar, sem hvor hefur umferð í sína átt, og kantstein beggja vegna. Breidd hans er 7,5 m þar sem slitmælisniðin eru og þar liggur kaflinn í mjúkum sveig. Hann var slitmældur í fyrsta sinn sumarið 2000 og árlega síðan þar til slitmælingum var hætt 2004.

Á tilraunakaflanum er enginn umferðarteljari og enginn heldur í nágrenninu sem hægt er að nota til að áætla umferð á honum. Allmargar skynditalningar hafa verið gerðar á kaflanum. Eina þeirra gerði Tæknideild Kópavogsbæjar í desember 2000 og þá var umferðin um 8300 bílar á sólarhring. Árin 2004 og 2005 gerði Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins tæpar 30 hálf tíma skynditalningar, dreifðar yfir mestan hluta sólarhringsins. Þær voru bornar saman við tölur frá sama tíma úr umferðargreini á Reykjanesbraut þar skammt frá (norðan Fífuhvamsvegjar), sem skráir umferð á 15 mínútna fresti. Á grundvelli þessara talninga var umferð á Dalvegi áætluð 45 % af umferð á vesturakbraut Reykjanesbrautar í Kópavogi.

Upplýsingar um umferð á vesturakbraut Reykjanesbrautar við Dalveg eru tiltækar úr áðurnefndum umferðargreini fyrir árin 2003 og 2004, en fram til þess eru engar talningar til á umferð á þessum stað. Því varð að ráði að nota (gloppóttar) umferðartölur á austurakrein Reykjanesbrautar við Vífilsstaðaveg árin 2000-2004 til að áætla umferð á vesturakbraut Reykjanesbrautar við Fífuhvamsveg árin 1999-2002. Gloppur í talningum á Reykjanesbraut við Vífilsstaðaveg voru fylltar með þar til gerðu forriti [SS 2000, bls. 12]. Með hliðsjón af umferðarhlutfallinu á þessum tveim stöðum var umferð á vesturakbraut Reykjanesbrautar við Fífuhvamsveg áætluð 156 % af umferðinni á austurakrein Reykjanesbrautar við Vífilsstaðaveg. Tafla 5.1 sýnir áætlaða umferð á Dalvegi árin 1999-2004 miðað við þessar forsendur.

Tafla 5.1. Umferð á Dalvegi 1999-2004 áætluð út frá umferðartalningum á Reykjanesbraut við Fífuhvamsveg og við Vífilsstaðaveg.

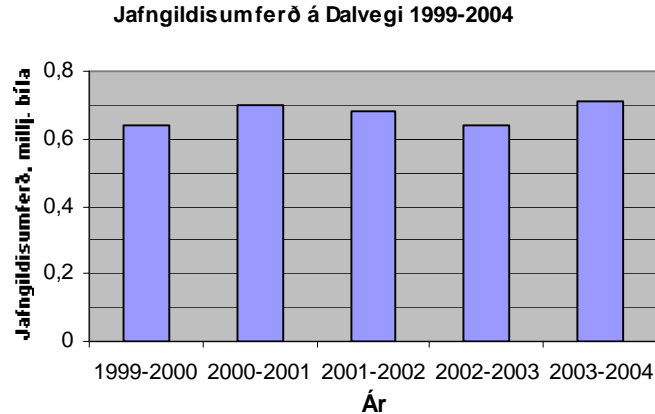
Ár	Umferð, ÁDU
1999	6200
2000	6800
2001	7300
2002	7700
2003	8200
2004	8800

Tölum í töflunni ber ekki saman við áðurnefnda talningu Tæknideildar Kópavogsbæjar í desember 2000 (8300 ÁDU) og ekki heldur saman við umferðarspá fyrir höfuðborgarsvæðið [VST 2005], en þar er gert ráð fyrir að umferðin á Dalvegi hafi verið 10.000 ÁDU árið 2004. Með hliðsjón af þessu misræmi var ákveðið að bæta 10 % ofan á tölurnar í töflu 5.1 og nota niðurstöðurnar í útreikningum á slit.

Miðað við þessar forsendur var umferðin á tilraunakaflanum 6800 ÁDU árið 1999 og 9700 ÁDU árið 2004.

Hlutfall bíla á negldum hjólbörðum hefur ekki verið kannað á þessum stað en er talið vera hið sama og á Kringlumýrarbraut í Reykjavík. Hlutfall þungra bíla af heildarumferð hefur heldur ekki verið kannað á þessum stað.

Á framanskráðum forsendum hefur jafngildisumferð verið reiknuð fyrir árin 1999-2004. Þróun hennar er sýnd á mynd 5.1.



Mynd 5.1. Jafngildisumferð á Dalvegi, 1999-2004.

Umferðarhraði hefur ekki verið mældur á þessum tilraunakafla. Leyfilegur hámarkshraði er 50 km/klst og í útreikningum á sliti er gert ráð fyrir að meðalhraði sé einnig 50 km/klst. Á þessari forsendu er mælt slit leiðrétt með stuðlinum 1,23.

5.2 Slitmælingar

Slitmælimerki (stálplötur) voru sett í tíu mælisnið á tilraunakaflanum. Slit í þessum sniðum var mælt í fyrsta sinn sumarið 2000 (ári eftir útlögn) og árlega síðan þar til slitmælingum var hætt 2004. Úrvinnslu mælinganna er lýst stuttlega í kafla 2.3 en nánari lýsingu er að finna í viðauka 1 í áður útgefinni skýrslu [ÁJ 2003].

Niðurstöður slitmælinga fyrstu tvö árin hafa áður verið birtar [ÁJ 2004, bls. 27]. Þar er einnig að finna nánari upplýsingar um tilraunakaflana, meðal annars ýmsa efniseiginleika slitlagsins og niðurstöður árlegra úttekta fyrstu tvö árin. Í þessum úttektum hafa engar skemmdir komið í ljós en það útilokar þó ekki að slitmælimerkin geti verið á hreyfingu.

Þar sem mælingar á sliti hófust ekki fyrr en sumarið eftir að tilraunakaflinn var lagður, fengust engar upplýsingar um slit á fyrsta vetri (sem venjulega er nokkru meira en meðalslit næstu ára þar á eftir).

5.3 Niðurstöður slitmælinga

5.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 5.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti á grundvelli slitflatarmáls í þversniði (engar tölur eru tiltækar um slit veturinn 1999-2000 með þessari aðferð, því sniðin voru ekki mæld sumarið 1999).

Tafla 5.2. Kvarðað slit á steypu slitlagi á Dalvegi, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum.

Tímabil	Jafngildisumferð	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit, SPS, við	
			50 km/klst	60 km/klst
1999-2000	0,64	-	-	-
2000-2001	0,70	27	10	12
2001-2002	0,68	48	18	22
2002-2003	0,64	20	8	10
2003-2004	0,71	-18	-6	-8

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt vegna umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 8 SPS og vikmörkin ± 5 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er lítil ($r < 0,5$). Leifar aðhvarfsgreiningar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,1$) en virðast vera háðar skýribreytunni. Vikmörkin verða þess vegna að teljast ótraust.

5.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 5.3 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum.

Tafla 5.3. Kvarðað slit á steypu slitlagi á Dalvegi, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Tölur í fyrstu línunni (fyrir tímabilið 1999-2000) eru fengnar með því að gera ráð fyrir að yfirborð slitlagsins hafi fylgt beinni línu þegar umferðinni var hleypt á 1999.

Tímabil	Jafngildisumferð	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit, SPS, við	
			50 km/klst	60 km/klst
1999-2000	0,64	247	97	119
2000-2001	0,70	33	12	15
2001-2002	0,68	64	23	29
2002-2003	0,64	67	26	32
2003-2004	0,71	37	13	16

Engar mælingar voru gerðar í mælisniðunum sumarið 1999 og flatarmálsbreyting í hjólförum á tímabilinu 1999-2000 er þess vegna áætluð á þeirri forsendu að yfirborð slitlagsins í hverju mælisniði hafi strax að lokinni útlögn fylgt beinum línum frá köntum að slitlagsmiðju. Þessi forsenda stenst ekki af töflu 5.3 að dæma (til þess er flatarmálsbreytingin alltof mikil), og þess vegna er slit á tímabilinu 1999-2000 ekki tekið með í útreikningum hér á eftir.

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að slitið sé 26 SPS og vikmörkin ± 6 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er viðunandi ($r > 0,8$). Leifar aðhvarfsgreiningar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,2$). Hins vegar eru leifarnar greinilega háðar skýribreytunni, svo að vikmörkin eru sennilega ótraust.

5.3.3 Kvarðað hjólfaraslit, hjólfaradýpt

Tafla 5.4 sýnir niðurstöður útreikninga á kvörðuðu hjólfarasliti. Tilgreind breyting á hjólfaradýpt er meðaltal breytinga á öllum (fjórur) hjólförum í öllum mælisniðunum.

Tafla 5.4. Kvarðað hjólfaraslit á steypu slitlagi á Dalvegi í Kópavogi, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Tölur í fyrstu línunni (fyrir tímabilið 1999-2000) eru fengnar með því að gera ráð fyrir að yfirborð slitlagsins hafi fylgt beinni línu þegar umferðinni var hleypt á 1999.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Hjólfara- dýpkun, mm	Kvarðað hjólfaraslit, SS, við	
			50 km/klst	60 km/klst
1999-2000	0,64	6,4	10,0	12,3
2000-2001	0,70	1,2	1,7	2,1
2001-2002	0,68	1,5	2,2	2,7
2002-2003	0,64	1,9	2,9	3,6
2003-2004	0,71	1,3	1,8	2,2

Þar sem engar mælingar voru gerðar í mælisniðunum sumarið 1999 (sjá kafla 5.2) eru breytingar á hjólfaradýpt á tímabilinu 1999-2000 áætlaðar á þeirri forsendu að yfirborð slitlagsins strax að lokinni útlögn hafi fylgt beinni línu í mælisniðunum. Þessi stenst forsenda ekki, breytingar á fyrsta vetri eru margfalt meiri en næstu vetur á eftir. Af þessum sökum eru breytingar á hjólfaradýpt veturinn 1999-2000 ekki teknar með í útreikningum hér á eftir.

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfs-greiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað hjólfaraslit, leiðrétt vegna umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 2,9 SS og vikmörkin $\pm 0,4$ SS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r > 0,9$). Leifar aðhvarfsgreiningar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,3$) en fara vaxandi með skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgöfin vikmörk sennilega ótraust.

5.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 5.5 sýnir niðurstöður slitmælinga á steypu slitlagi á Dalvegi í Kópavogi í hnotskurn, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Samkvæmt þeim er líklegast að kvarðað slit sé um 26 SPS og kvarðað hjólfaraslit um 2,9 SS, en þessar niðurstöður eru ótraustar.

Tafla 5.5. Kvarðað slit og kvarðað hjólfaraslit á steypu slitlagi á Dalvegi, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust. Spurningarmerki við slittölu (fyrir slitflatarmál í þversniði) táknar að talan geti ekki staðist.

SPS	SS	Mæliaðferð
8? (± 5)	-	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 2000-2004
26 (± 6)	-	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum, 2000-2004
-	2,9 ($\pm 0,4$)	Breytingar á hjólfaradýpt, 2000-2004

Eins og áður hefur verið tekið fram (sjá kafla 4.4) getur ekki staðist að flatarmálsbreytingar í þversniði séu minni en flatarmálsbreytingar í hjólförum. Mismunurinn er mikill og miklu meiri en sem nemur vikmörkum. Í annan stað er viðunandi samræmi milli kvarðaðs hjólfaraslits og kvarðaðs slits sem byggist á flatarmálsbreytingum í hjólförum, hið fyrrnefnda er oft um 10 % af hinu síðarnefnda. Þetta samræmi bendir til að kvarðað slit sem byggist á flatarmálsbreytingum í hjólförum sé réttara en kvarðað slit sem byggist á flatarmálsbreytingum í þversniði. Líklegast er að steypuflekarnir séu á hreyfingu og þar með slitmælimerkin, enda þótt

slitlagið sé ósprungið og engin merki hafi sést um hreyfingar á steypuflekum í úttektum á kaflanum.

Ýmsar aðrar ástæður varpa rýrð á áreiðanleika niðurstaðnanna. Slit milli ára sveiflast mikið (sjá töflur 5.2-5.4) og negatíft slit getur ekki staðist. Áætlað slit á fyrsta vetri (1999-2000, sjá töflur 5.3 og 5.4) er ekki í neinu samræmi við slit næstu ár á eftir. Mælingar á sliti spanna aðeins fjögur ár (2000-2004) sem er stuttur tími til að ákvarða slit á vegi með tiltölulega litla umferð. Umferðarhraði hefur ekki verið mældur á þessum kafla og skekkja á honum sem nemur 10 km/klst breytir niðurstöðum útreikninga á kvörðuðu sliti og kvörðuðu hjólfarasliti um 20 %. Síðast en ekki síst verður að hafa í huga að umferðartölur fyrir þennan kafla byggjast á skynditalningum og fremur langsóttum samanburði við umferð á öðrum vegarkafla. Þar getur auðveldlega skakkað 10 % til eða frá, jafnvel meiru, og áhrif slíkrar skekkju á niðurstöðurnar eru álíka mikil í prósentum talin. Athuganir á leifum eftir aðhvarfsgreiningu benda auk heldur til þess að vikiörk á niðurstöðum séu ótraust. Því má ljóst vera að framangreindar tölur um kvarðað slit og kvarðað hjólfaraslit eru miklum annmörkum háðar og fyllsta ástæða til að setja fyrirvara um réttmæti þeirra.

6. MALBIKAÐUR KAFLI Á NESBRAUT, 49-01

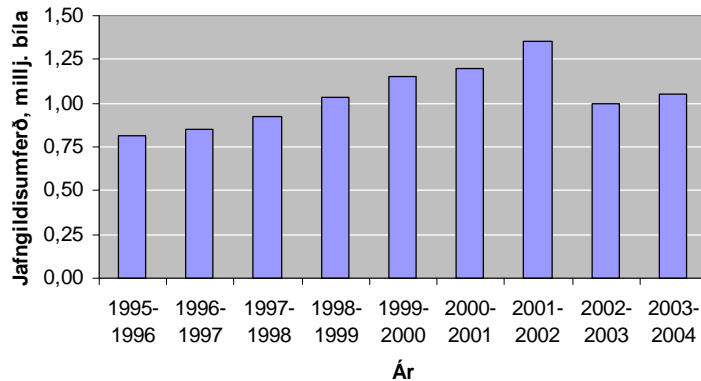
6.1 Aðstæður og umferð

Tilraunakaflinn er á Nesbraut í Reykjavík, suðurakbraut, milli Höfðabakka og Hringvegjar. Slitlagið er hágæðamalbik, SMA 16 úr Seljadalsefni (kvarnartala um 7), blandað kalki og trefjum og með breyttu bindiefni (EVA). Slitlagið var lagt 1995 á steiptan vegarkafla en skömmu áður höfðu djúp hjólför (víða um og yfir 50 mm) í honum verið fyllt með malbiki.

Tilraunakaflinn er 7,5 m breiður, tvær akreinar, báðar með umferð í sömu átt¹¹. Beggja vegna eru axlir með bundnu slitlagi. Hann var slitmældur í fyrsta sinn 1995 og árlega síðan þar til slitmælingum var hætt 2004.

Á tilraunakaflanum er umferðarteljari, gangsettur síðla árs 1995, sem telur umferð á hvorri akrein fyrir sig. Vegna bilana hafa þessar talningar verið gloppóttar, einkum þó árin 2000-2002. Samanburður við teljara í nágrenninu hefur þó gert kleift að fylla í eyðurnar með þar til gerðu forriti [SS 2000, bls. 12]. Haustið 2002 voru settir umferðargreinar í tilraunakaflann sem telja umferð á hvorri akrein um sig og skrá auk þess umferðarhraða á þeim. Árið 1995 var umferðin á báðum akreinum samanlagt um 8500 ÁDU en hafði vaxið í um 14.000 ÁDU árið 2004. Á áðurnefndum forsendum hefur jafngildisumferð verið reiknuð fyrir árin 1995-2004 og þróun hennar er sýnd á mynd 6.1. Á þessu tímabili fóru að jafnaði tveir þriðju hlutar umferðarinnar um hægri akrein.

Jafngildisumferð á Nesbraut, 1995-2004



Mynd 6.1. Þróun jafngildisumferðar á Nesbraut, 49-01, 1995-2004, akbraut til austurs, tvær nyrstu akreinarnar.

Í september 2002 var leyfðum hámarkshraða breytt úr 70 km/klst í 80 km/klst, en breytingin virðist ekki hafa haft teljandi áhrif á meðalhraða. Umferðarhraði var mældur nokkrum sinnum á árunum 1996-2001. Samkvæmt þessum mælingum var meðalhraði fólksbíla á hægri akrein á þessu tímabili 78 km/klst fram til 2002 en skráning umferðargreinis sýnir að meðalhraðinn var 81 km/klst 2004. Samsvarandi

¹¹ Þriðju akreininni var bætt við til bráðabirgða árið 2000, hægra megin við kaflann, og hún fullgerð og tekin í notkun fyrir almenna umferð árið 2001. Hún er ekki hluti af tilraunakaflanum og mælingar á sliti eða umferð ná því ekki til hennar. Hins vegar urðu nokkrar breytingar á umferð á tilraunakaflanum þegar hún var tekin í notkun.

tölur fyrir vinstri akrein eru 85 km/klst og 89 km/klst. Leiðréttingarstuðlar eru notaðir til að finna líklegt slit ef umferðarhraðinn hefði verið 60 km/klst.

Í útreikningum á kvörðuðu sliti er gert ráð fyrir að hlutfall bíla á negldum hjólbörðum sé hið sama og í Reykjavík (á Kringlumýrarbraut), enda styðja fáeinir samanburðartalningar, gerðar veturinn 1995-1996, þessa tilgátu [ÁJ 2000, bls. 7]. Hlutfall þungra bíla af heildarumferð hefur ekki verið kannað á þessum stað.

6.2 Slitmælingar

Sumarið 1995 voru sett slitmælimerki (stálplötur) í tíu mælisnið á tilraunakaflanum sem þá var aðeins tvær akreinar. Þegar þriðju akreininni var bætt við (2000) voru slitmælimerkin ekki flutt, enda er umferð talin á hverri akrein fyrir sig. Á milli mælisniðanna eru 10 m. Slit í þessum sniðum var mælt (nákvæmnismælingar) í fyrsta sinn sumarið 1995 og árlega síðan þar til slitmælingum var hætt 2004.

Úrvinnslu mælinganna er lýst stuttlega í kafla 2.3 en nánari lýsingu er að finna í viðauka 1 í áður útgefni skýrslu [ÁJ 2003].

Niðurstöður slitmælinga árána 1995-1999 hafa áður verið birtar [ÁJ 2000]. Þar er einnig að finna nánari upplýsingar um tilraunakaflana, meðal annars ýmsa efniseiginleika slitlagsins og niðurstöður árlegra úttekta. Skemmdir á tilraunakaflanum voru óverulegar meðan á tilrauninni stóð. Árlegar hæðarmælingar á slitmælimerkin 1995-1998 leiddu hinsvegar í ljós að þau hreyfðust milli mælinga og lyftust að meðaltali um rúma 5 mm á þessu tímabili.

6.3 Niðurstöður slitmælinga

6.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 6.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði. Þar eð hraðinn er mismunandi mikill á akreinunum tveimur er ekki hægt að leiðrétta slitið milliliðalaust vegna hraða. Þess vegna er jafngildisumferð á hvorri akrein um sig umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst. Umreiknuð jafngildisumferð á akreinunum tveim er síðan lögð saman og notuð í útreikningunum.

Tafla 6.1. Kvarðað slit á hágæðamalbiki á Nesbraut, 49-01, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit við 60 km/klst, SPS
1995-1996	1,10	83	19
1996-1997	1,15	125	27
1997-1998	1,23	106	22
1998-1999	1,38	79	14
1999-2000	1,58	130	21
2000-2001	1,66	133	20
2001-2002	1,87	87	12
2002-2003	1,44	130	23
2003-2004	1,51	82	13

Kvarðað slit fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 18 SPS og vikmörkin ± 1 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r>0,95$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p=0,8$) en hafa greinileg tengsl við jafngildisumferð svo að vikmörkin geta verið ótraust.

6.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 6.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tafla 6.2. Kvarðað slit á hágæðamalbiki á Nesbraut, 49-01 byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Flatarmálsbreyting, cm^2 ,		Kvarðað slit við 60 km/klst, SPS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
1995-1996	0,22	0,88	-1	46	-1	13
1996-1997	0,23	0,92	15	77	16	21
1997-1998	0,25	0,98	10	67	10	17
1998-1999	0,31	1,08	14	85	12	20
1999-2000	0,54	1,04	20	74	9	18
2000-2001	0,72	0,94	180	-63	63	-17
2001-2002	0,80	1,06	-108	174	-34	41
2002-2003	0,58	0,86	32	53	14	15
2003-2004	0,64	0,88	43	45	17	13

Kvarðað slit fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit sé 13 SPS og vikmörkin ± 3 SPS á vinstri akrein en 16 SPS og vikmörkin ± 2 SPS á hægri akrein, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 15 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r>0,7$). Leifar standast ekki próf á normaldreifingu ($p=0,0$) og fara vaxandi með skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgefin vikmörk ótraust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar sterk ($r>0,9$) en leifar standast ekki próf á normaldreifingu ($p=0,04$) og fara vaxandi með jafngildisumferð. Af þessari ástæðu eru uppgefin vikmörk sennilega ótraust.

6.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 6.3 sýnir niðurstöður útreikninga ár fyrir ár á kvörðuðu hjólfarasliti. Tilgreind hjólfaradýpt er meðaltal fyrir bæði hjólför í öllum mælisniðum á akreininni sem á í hlut.

Tafla 6.3. Kvarðað hjólfaraslit á hágæðamalbiki á Nesbraut, 49-01, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Hjólfaradýpkun, meðaltal, mm		Kvarðað hjólfaraslit við 60 km/klst, SS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
1995-1996	0,22	0,88	-0,4	2,8	-1,9	3,2
1996-1997	0,23	0,92	0,6	4,1	2,5	4,5
1997-1998	0,25	0,98	0,6	4,6	2,2	4,6
1998-1999	0,31	1,08	0,6	5,2	1,9	4,9
1999-2000	0,54	1,04	1,4	4,5	2,6	4,3
2000-2001	0,72	0,94	2,6	3,5	3,6	3,5
2001-2002	0,80	1,06	2,3	3,5	2,8	2,9
2002-2003	0,58	0,86	1,8	3,1	3,0	3,6
2003-2004	0,64	0,88	2,5	2,7	3,9	3,1

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að á vinstri akrein sé kvarðað hjólfaraslit 1,5 SS og vikið $\pm 0,1$ SS en á hægri akrein 2,0 SS og vikið $\pm 0,1$ SS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 1,8 SS og vikið 0,1 SS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar mjög sterk ($r > 0,95$) en leifar standast ekki próf á normaldreifingu ($p = 0,0$) og fara vaxandi með skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgæfin vikið ótraust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar einnig mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,7$) en fara vaxandi með skýribreytunni og eru háðar henni. Af þessari ástæðu eru uppgæfin vikið sennilega ótraust.

6.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 6.4 sýnir niðurstöður slitmælinga á malbikuðum vegarkafli, 49-01, á Nesbraut í Reykjavík, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Samkvæmt þeim er líklegast að kvarðað slit sé um 18 SPS og kvarðað hjólfaraslit um 1,8 SS. Þessar tölur eru sennilega nokkuð nærri lagi, því slitmælingarnar spanna langt tímabil (10 ár), hraðamælingar eru sennilega traustar og skekkjur á umferð eru sennilega innan við 10 % þar eð umferðartölur eru fengnar úr umferðarteljrum á tilraunakaflanum sjálfum.

Tölur um slit í töflu 6.4 eru lítið eitt lægri (um 10 %) en samsvarandi tölur fyrir árin 1995-1999 sem eru birtar í áður útkominni skýrslu [ÁJ 2000, bls. 10-12], en mismunurinn er tæpast marktækur.

Samanburður á tölum í töflu 6.4 um kvarðað slit eftir mæliaðferðum gefur til kynna að slit sem reiknað er út frá flatarmálsbreytingum í mælisniði sé líklegast til að vera næst lagi. Orsökina er sú að flatarmálsbreytingar í hjólförum mælast oft minni (líkt og hér) en flatarmálsbreytingar í þversniði, vegna þess að slit í köntum slitlagsins og á hryggnum á milli akreina færir viðmiðunarlínurnar nær slitlaginu svo að mælt slit minnkar (sjá kafla 2.3).

Tafla 6.4 Kvarðað slit, SPS, og kvarðað hjólfaraslit, SS, á malbiksslitlagi á Nesbraut, 49-01, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust.

Kvarðað slit	
SPS	Mæliaðferð
18 (± 1)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 1995-2004
13 (± 3)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum vinstri akreinar, 1995-2004
16 (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum hægri akreinar, 1995-2004
15 (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum beggja akreina, 1995-2004
Kvarðað hjólfaraslit	
SS	Mæliaðferð
1,5 ($\pm 0,1$)	Breytingar á hjólfaradýpt, vinstri akrein, 1995-2004
2,0 ($\pm 0,1$)	Breytingar á hjólfaradýpt, hægri akrein, 1995-2004
1,8 ($\pm 0,1$)	Breytingar á hjólfaradýpt, báðar akreinar, 1995-2004

Þá vekur vekur athygli að kvarðað hjólfaraslit er meira á hægri akrein en þeirri vinstri; meira en svo að reiknuð vikmörk geti skýrt mismuninn. Reyndar er óvíst að mismunurinn (0,5 SS) sé marktækur vegna þess að vikmörkin eru ótraust. Umferðin er hægari og þyngri á hægri akrein en þeirri vinstri svo að hugsanleg skýring á þessum mismun er skrið, en mæliniðurstöðurnar gera ekki kleift að slá neinu föstu um það.

Töflur 6.1-6.3 sýna talsvert flökt í sliti milli ára, einkum þó tafla 6.2 fyrir árin 2000 til 2002. Það undirstrikar nauðsyn þess að slitmælingarnar nái yfir nokkuð mörg ár og sýnir að 2-3 ára tímabil er of stutt til að mark sé takandi á niðurstöðunum. Hins vegar bera niðurstöðurnar engin augljós merki þess að breytingar á hæð slitmælimerkjanna séu nátengdar niðurstöðum slitmælinganna, en vera má að mæliröðin (á hæðar-breytingum slitmælimerkjanna) sé of stutt til að slíkt samband komi í ljós.

7. MALBIKAÐIR KAFLAR Á HRINGVEGI, 1-e3

7.1 Aðstæður og umferð

Þessir tilraunakaflar, þrjú talsins, eru á Hringveginum, vegnr. 1-e3, við Rauðavatn í Reykjavík. Þeir voru lagðir 1994, sitt hvoru megin við steypa tilraunakafla, sjá kafla 4.1 í þessari skýrslu. Hér á eftir eru kaflarnir aðgreindir með merkjunum I, II og III. Þeir eru allir um 7,5 m breiðir og hafa tvær akreinar með umferð í gagnstæðar áttir. Beggja vegna eru axlir með bundnu slitlagi. Undirbygging er traust skv. niðurstöðum plötuprófana.

Kafla I er nyrstur af þessum þremur og byrjar um það bil við Krókháls (undirgöng). Hann liggur að mestu á hringboga með 700 m radíus. Langshalli er um 40 % og þverhalli um 50 % [VR 1994]. Slitlagið er SMA úr Seljadalsefni (kvarnartala um 7), en að öðru leyti er ekkert vitað um eiginleika þess.

Kafla II liggur í beinu framhaldi af kafla I og nær að áðurnefndum steypum tilraunaköflum. Hann liggur að mestu á hringboga með 700 m radíus. Langshalli er um 40 % en þverhalli breytilegur, 20-50 %. Slitlagið er úr Seljadalsefni (kvarnartala um 7), en að öðru leyti er ekkert vitað um eiginleika þess.

Kafla III er framhald af steypu tilraunaköflunum til suðurs. Hann liggur á hringboga með 1300 m radíus. Langshalli er um 40 % og þverhallinn 35 %. Slitlagið á þessum kafla er SMA, en að öðru leyti er ekkert vitað um eiginleika þess.

Aðstæður á tilraunaköflunum (I, II og III) eru að öðru leyti nákvæmlega eins og á steypu tilraunaköflunum sem greint er frá í kafla 4 í þessari skýrslu. Þar af leiðandi eru tölur um umferð, umferðarhraða, hlutfall bíla á negldum hjólbörðum og jafngildisumferð notaðar óbreyttar hér á eftir. Árið 1994 var umferðin um 4700 ÁDU en var orðin um 10.500 ÁDU árið 2004.

7.2 Slitmælingar

Sumarið 1995 voru sett slitmælimerki (stálplötur) í tíu mælisnið á hverjum tilraunakaflanna. Á milli mælisniðanna eru 5 m á köflum I og II en 10 m á kafla III. Slit í þessum sniðum var mælt (nákvæmnismælingar) í fyrsta sinn sumarið 1995 og árlega síðan þar til mælingum var hætt 2004. Þar sem mælingar á sliti hófust ekki fyrr en sumarið eftir að kaflarnir voru lagðir, fengust engar upplýsingar um slit á fyrsta vetri (sem venjulega er nokkru meira en meðalslit).

Úrvinnslu mælinganna er lýst stuttlega í kafla 2.3 en nánari lýsingu er að finna í viðauka 1 í áður útgefinni skýrslu [ÁJ 2003].

7.3 Niðurstöður slitmælinga

7.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 7.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði.

Kvarðað slit á köflum I, II og III fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða (að 60 km/klst), sé 16 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig) á kafla I. Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r > 0,9$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,4$), en fara heldur vaxandi með skýribreytunni og sýnast vera háðar henni. Vikmörkin eru þess vegna ekki fyllilega traust.

Tafla 7.1. Kvarðað slit á malbikuðum tilraunaköflum á Hringvegi, 1-e3, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Flatarmálsbreyting (án leiðréttingar v. hraða), cm ²			Kvarðað slit, leiðrétt að 60 km/klst, SPS		
		Kafli I	Kafli II	Kafli III	Kafli I	Kafli II	Kafli III
1995-1996	0,57	106	132	96	39	49	35
1996-1997	0,58	7	75	111	2	27	40
1997-1998	0,61	119	111	131	41	38	45
1998-1999	0,63	57	109	109	19	36	36
1999-2000	0,68	29	106	119	9	33	37
2000-2001	0,79	50	93	87	13	25	23
2001-2002	0,69	33	59	99	10	18	30
2002-2003	0,64	68	119	69	20	34	20
2003-2004	0,70	89	83	75	23	22	19

Kvarðað slit á kafla II fyrir sama tímabil og fundið á sama hátt er 29 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,2$). Þær fara greinilega vaxandi með skýribreytunni en virðast að öðru leyti vera óháðar henni. Vikmörkin eru ekki áreiðanleg, en að öðru leyti eru niðurstöðurnar sennilega nokkuð traustar.

Á kafla III er kvarðað slit fyrir þetta sama tímabil og fundið á sama hátt 31 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,3$) en þær fara vaxandi með skýribreytunni og eru ótvírætt háðar henni. Af þessum sökum eru vikmörkin ótraust.

7.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 7.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum.

Tafla 7.2. Kvarðað slit á malbikuðu slitlagi á Hringvegi, vegnr. 1-e3, reiknað út frá flatarmálsbreytingum í hjólförum.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Flatarmálsbreyting (án leiðréttingar v. hraða), cm ²			Kvarðað slit leiðrétt að 60 km/klst, SPS		
		Kafli I	Kafli II	Kafli III	Kafli I	Kafli II	Kafli III
1995-1996	0,57	43	60	87	16	22	32
1996-1997	0,58	27	-6	-1	10	-2	0
1997-1998	0,61	43	79	84	15	27	29
1998-1999	0,63	75	65	51	25	22	17
1999-2000	0,68	46	5	53	14	2	16
2000-2001	0,79	73	75	101	20	20	27
2001-2002	0,69	53	65	79	16	20	24
2002-2003	0,64	57	71	69	16	20	20
2003-2004	0,70	57	27	91	15	7	24

Kvarðað slit á kafla I fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað

slit, eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða (að 60 km/klst), sé 17 SPS og vikmörkin (95 % öryggisstig) ± 1 SPS. Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast með naumindum próf á normaldreifingu ($p = 0,06$). Þær fara lítið eitt vaxandi með skýribreytunni en eru að öðru leyti ekki háðar henni. Á þessum forsendum má ætla að vikmörkin séu nokkurn veginn traust.

Kvarðað slit á kafla II fyrir sama tímabil og fundið á sama hátt er 16 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu með naumindum ($p = 0,06$) en eru háðar skýribreytunni. Vikmörkin geta þess vegna verið ótraust.

Á kafla III er kvarðað slit fyrir þetta sama tímabil og fundið á sama hátt 21 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,3$) en þær fara vaxandi með skýribreytunni og eru háðar henni. Af þessum sökum eru vikmörkin ótraust.

7.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 7.3 sýnir niðurstöður útreikninga á kvörðuðu hjólfaraslitum ár fyrir ár á grundvelli hjólfaradýptar. Tilgreind breyting á hjólfaradýpt er meðaltal breytinga á öllum (fjórum) hjólförunum í öllum mælisniðunum.

Tafla 7.3. Kvarðað hjólfaraslit á malbikuðu slitlagi á Hringvegi, vegnr. 1-e3, reiknað út frá breytingum á hjólfaradýpt.

Tímabil	Jafngildis- umferð	Hjólfaradýpkun, meðaltal, (án leiðréttingar v. hraða), mm			Kvarðað hjólfaraslit við 60 km/klst, SS		
		Kafli I	Kafli II	Kafli III	Kafli I	Kafli II	Kafli III
1995-1996	0,57	0,8	1,0	1,5	1,2	1,4	2,1
1996-1997	0,58	1,0	-0,1	0,8	1,4	-0,2	1,2
1997-1998	0,61	0,8	1,8	2,4	1,1	2,5	3,4
1998-1999	0,63	1,7	1,6	2,1	2,3	2,2	2,9
1999-2000	0,68	1,3	0,4	1,8	1,6	0,5	2,2
2000-2001	0,79	1,7	2,0	2,8	1,8	2,2	3,0
2001-2002	0,69	1,7	2,0	2,5	2,1	2,4	3,1
2002-2003	0,64	1,7	2,1	2,1	2,0	2,4	2,4
2003-2004	0,70	1,8	1,6	3,1	1,9	1,7	3,3

Kvarðað hjólfaraslit á kafla I fyrir tímabilið 1995-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað hjólfaraslit, eftir leiðréttingu vegna umferðarhraða (að 60 km/klst), sé 1,8 SS og vikmörkin (95 % öryggisstig) $\pm 0,1$ SS. Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,13$) og eru lítt eða ekki háðar skýribreytunni svo að vikmörkin eru að öllum líkindum áreiðanleg.

Kvarðað hjólfaraslit á kafla II fyrir sama tímabil og fundið á sama hátt er 1,8 SS og vikmörkin $\pm 0,1$ SS (95 % öryggisstig). Fylgni milli hjólfaraslits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast próf á normaldreifingu

($p=0,2$) en eru háðar skýribreytunni og fara lítillaga vaxandi með henni. Vikmörkin eru að öllum líkindum ótraust.

Á kafla III er kvarðað hjólfaraslit fyrir þetta sama tímabil og fundið á sama hátt 2,8 SS og vikmörkin $\pm 0,2$ SS (95 % öryggisstig). Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r>0,95$). Leifar aðhvarfsgreiningarinnar standast ekki próf á normaldreifingu ($p=0,02$). Þær fara vaxandi með skýribreytunni en eru að öðru leyti ekki háðar henni. Vikmörkin eru að öllum líkindum ótraust.

7.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 7.4 sýnir niðurstöður slitmælinga á þrem malbikuðum vegarköflum sem eru staðsettir á Hringvegi við Rauðavatn í Reykjavík, vegnr. 1-e3. Niðurstöðurnar eru leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst.

Ef SPS er notað sem mælikvarði gefa niðurstöðurnar til kynna að slitið sé um 17 SPS á kafla I og kvarðað hjólfaraslit á sama kafla um 1,8 SS. Niðurstöður mælinga á köflum II og III eru mjög misvísandi. Líklegast er þó að kvarðað slit á þessum köflum báðum sé um 30 SPS og að kvarðað hjólfaraslit sé um 2,8 SS á kafla III. Niðurstöðurnar gefa ekki efni til að álykta um kvarðað hjólfaraslit á kafla II.

Tafla 7.4. Kvarðað slit, SPS og kvarðað hjólfaraslit, SS, á malbikuðu slitlagi á Hringvegi við Rauðavatn, vegnr. 1-e3, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust. Spurningarmerki aftan við slittölu táknar að talan geti ekki staðist.

Kvarðað slit á kafla I	
SPS	Mæliaðferð
16 (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 1995-2004
17 ± 1	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum, 1995-2004
Kvarðað hjólfaraslit á kafla I	
SS	Mæliaðferð
1,8 $\pm 0,1$	Breytingar á hjólfaradýpt, 1995-2004
Kvarðað slit á kafla II	
SPS	Mæliaðferð
29 (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 1995-2004
16? (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum, 1995-2004
Kvarðað hjólfaraslit á kafla II	
SS	Mæliaðferð
1,8 $\pm (0,1)$	Breytingar á hjólfaradýpt, 1995-2004
Kvarðað slit á kafla III	
SPS	Mæliaðferð
31 (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 1995-2004
21? (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum, 1995-2004
Kvarðað hjólfaraslit á kafla III	
SS	Mæliaðferð
2,8 $\pm (0,2)$	Breytingar á hjólfaradýpt, 1995-2004

Tölum um kvarðað slit ber saman fyrir kafla I, hvort sem slitflatarmál í þversniði eða slitflatarmál í hjólförum er lagt til grundvallar, svo að tölur um kvarðað slit fyrir þennan kafla eru sennilega áreiðanlegar. Hið sama verður ekki sagt um kafla II og III, þar nemur mismunurinn tugum prósentu. Orsökina er vísast sú að flatarmálsbreytingar í

hjólförum mælast oft minni (líkt og hér) en flatarmálsbreytingar í þversniði, vegna þess að slit í köntum slitlagsins og á hryggnum á milli akreina færir viðmiðunarlínurnar nær slitlaginu svo að mælt slit minnkar (sjá kafla 2.3). Á þessari forsendu er rökrétt að álykta að kvarðað slit samkvæmt flatarmálsbreytingum í þversniði sé nær lagi og kvarðað slit á þessum köflum báðum sé um 30 SPS, enda þótt kvarðað slit samkvæmt slitflatarmáli í þversniði sé til muna minna.

Hvað kvarðað hjólfaraslit varðar er líklegt að niðurstaðan fyrir kafla I sé nærri lagi þar sem tölur um kvarðað slit eru svipaðar, hvort sem slitflatarmál í þversniði eða slitflatarmál í hjólförum er lagt til grundvallar. Það bendir til að kantar og hryggur milli akreina hafi ekki slitnað að neinu ráði og mæld hjólfaradýpt sé nokkurn veginn rétt (og þar með kvarðað hjólfaraslit). Um kafla II og III gegnir öðru máli. Á þessum köflum báðum er slitflatarmál í hjólförum miklu minna en slitflatarmál í þversniði sem bendir til mikils slits á köntum og á hrygg milli akreina. Þar af leiðandi er kvörðuð hjólfaradýpt sennilega vantalin.

Kvarðað hjólfaraslit (talið í SS) er oft um 10 % af kvörðuðu sliti (talið í SPS). Á kafla I er kvarðað hjólfaraslit um það bil 11 % af kvörðuðu sliti, hvort heldur er miðað við slitflatarmál í þversniði eða hjólförum, sem styrkir tilgátu um að niðurstöðurnar séu nærri réttu lagi. Á kafla II háttar svo til að kvarðað hjólfaraslit er um það bil 11 % af kvörðuðu sliti miðað við slitflatarmál í hjólförum en aðeins um 6 % ef miðað er við slitflatarmál í þversniði. Á kafla III hinsvegar er þessu öfugt farið, þar er kvarðað hjólfaraslit um það bil 9 % af kvörðuðu sliti miðað við slitflatarmál í þversniði, en um 13 % ef miðað er við slitflatarmál í hjólförum. Þessar niðurstöður gefa til kynna að tölur um kvarðað hjólfaraslit á köflum II og III séu óáreiðanlegar.

8. ENDURLÖGN

8.1 Inngangur

Fimm tilraunakaflar, dreifðir um höfuðborgarsvæðið, voru endurlagðir (Repave) sumarið 2000. Slitlagið (viðbótarefnið) á þeim öllum er SMA16 úr Seljadalsefni með kvarnartölu um 7. Nánari grein fyrir aðstæðum er gerð í umfjöllun hvers kafla fyrir sig.

Sama sumar voru sett slitmælimerki (stálplötur) í fimm mælisnið á hverjum þessara kafla. Slit í mælisniðum var mælt á hverju sumri árin 2000-2004, en þá var þeim hætt. Úrvinnslu mælinganna er lýst stuttlega í kafla 2.3 en nánari lýsingu er að finna í viðauka 1 í áður útgefni skýrslu [ÁJ 2003].

Hlutfall bíla á negldum hjólbörðum hefur ekki verið kannað á tilraunaköflunum en er talið vera hið sama og á Kringlumýrarbraut. Hlutfall þungra bíla af heildarumferð hefur heldur ekki verið kannað á þessum köflum.

Við útreikninga á kvörðuðu sliti er beitt leiðréttingu vegna umferðarhraða þannig að tölur um kvarðað slit (SPS) og kvarðað hjólfaraslit (SS) eru sambærilegar milli tilraunakafla og eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst.

8.2 Sæbraut milli Sægarða og Langholtsvegjar

Tilraunakaflinn er 7,5 m breiður milli kantsteina, tvær akreinar á norðurakbraut Sæbrautar, báðar með umferð í sömu átt.

Á tilraunakaflanum er enginn umferðarteljari, né heldur í nágrenni hans. Umferð á Sæbraut milli Sægarða og Langholtsvegjar hefur verið áætluð út frá talningum, sem Landupplýsingadeild Reykjavíkurborgar gerir í sniði á Sæbraut rétt vestan Kringlumýrarbrautar [RVK 2008], og leiðrétt með hliðsjón af umferðarspá fyrir árið 2004 [VST 2005]. Gert er ráð fyrir að helmingur umferðarinnar fari um norðurakbrautina og skiptist jafnt á akreinar. Samkvæmt þessum áætlunum var umferðin á tilraunakaflanum (báðum akreinum) áætluð um 10.400 ÁDU árið 2000 og samkvæmt sömu áætlun nánast óbreytt 2004 (10.000 ÁDU).

Umferðarhraði var ekki mældur á tilraunakaflanum árin sem slitmælingarnar voru gerðar. Leyfður hámarkshraði er 60 km/klst, en í útreikningum á sliti er gert ráð fyrir að meðalhraðinn sé 65 km/klst á báðum akreinum. Þessi ágiskun hefur stóð í mælingum á umferðarhraða á Sæbraut í áðurnefndu sniði vestan Kringlumýrarbrautar [BH 2008], þar sem umferðarhraðinn var að meðaltali 65 km/klst á hægri akrein norðurakbrautar og 66 km/klst á þeirri vinstri árið 2004. Þess má geta að árið 1989 var umferðarhraði mældur á Sæbraut skammt vestan við Langholtsveg og reyndist þá vera 61,5 km/klst á norðurakbrautinni [BV 1989].

Við útreikninga á jafngildisumferð er tekið tillit til árssveiflu og notuð sama árssveifla og var mæld í áðurnefndu sniði á Sæbraut vestan við Kringlumýrarbraut 2004 [RVK 2005].

8.2.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 8.2.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.2.1. Kvarðað slit á endurlögn á Sæbraut við Sægarða, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS
2000-2001	0,96	115	30
2001-2002	0,81	67	21
2002-2003	0,70	79	28
2003-2004	0,78	38	12

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 21 SPS og vikmörkin ± 4 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p = 0,7$) en virðast hafa tengsl við jafngildisumferð svo að vikmörkin geta verið ótraust.

8.2.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 8.2.2 sýnir niðurstöður útreikninga á kvörðuðu sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.2.2. Kvarðað slit á endurlögn á Sæbraut við Sægarða, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Flatarmálsbreyting, cm ²		Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,48	0,48	3	6	1	3
2001-2002	0,40	0,40	30	56	19	35
2002-2003	0,35	0,35	19	27	13	19
2003-2004	0,39	0,39	39	44	25	28

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit sé 19 SPS á vinstri akrein og vikmörkin ± 6 SPS (95 % öryggisstig) en á hægri akrein sé slitið 27 SPS og vikmörkin ± 13 SPS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 23 SPS og vikmörkin ± 7 SPS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r > 0,85$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,5$) en fara lítið eitt vaxandi með skýribreytunni. Uppgefin vikmörk eru sennilega nokkurn veginn traust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r > 0,7$) en leifar standast ekki próf á normaldreifingu ($p = 0,02$) og fara ótvírætt vaxandi með skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgefin vikmörk ótraust.

8.2.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 8.2.3 sýnir niðurstöður útreikninga ár fyrir ár á kvörðuðu hjólfaraslit. Kvarðað hjólfaraslit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst. Tilgreind breyting á hjólfaradýpt er meðaltal fyrir bæði hjólför í öllum mælisniðum á akreininni sem á í hlut.

Tafla 8.2.3. Kvarðað hjólfaraslit á endurlögn á Sæbraut við Sægarða, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Hjólfaradýpkun, meðaltal, mm		Kvarðað hjólfaraslit við 60 km/klst, SS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,48	0,48	0,8	0,9	1,7	1,9
2001-2002	0,40	0,40	2,2	3,0	5,5	7,3
2002-2003	0,35	0,35	2,1	2,0	6,1	5,7
2003-2004	0,39	0,39	2,7	2,5	6,8	6,3

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að á vinstri akrein sé kvarðað hjólfaraslit 3,1 SS og vikmörkin $\pm 0,4$ SS en á hægri akrein 3,2 SS og vikmörkin $\pm 0,8$ SS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 3,2 SS og vikmörkin 0,5 SS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 1,0$) og sýnast óháðar skýribreytunni, svo að uppgefin vikmörk eru að öllum líkindum traust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r > 0,8$). Leifar standast próf á normaldreifingu, þó með naumindum ($p = 0,07$) og fara vaxandi með skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgefin vikmörk líklega ótraust.

8.2.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 8.2.4 sýnir niðurstöður slitmælinga á kafla með endurlögn á Sæbraut við Sægarða, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Samkvæmt þeim er líklegast að kvarðað slit sé um 23 SPS og kvarðað hjólfaraslit um 3,2 SS.

Tafla 8.2.4. Kvarðað slit, SPS, og kvarðað hjólfaraslit, SS, á malbiksslitlagi (endurlögn) á Sæbraut við Sægarða, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust.

Kvarðað slit	
SPS	Mæliaðferð
21 (± 4)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 2000-2004
19 ± 6	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum vinstri akreinar, 2000-2004
27 (± 13)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum hægri akreinar, 2000-2004
23 (± 7)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum beggja akreina, 2000-2004
Kvarðað hjólfaraslit	
SS	Mæliaðferð
3,1 $\pm 0,4$	Breytingar á hjólfaradýpt, vinstri akrein, 2000-2004
3,2 ($\pm 0,8$)	Breytingar á hjólfaradýpt, hægri akrein, 2000-2004
3,2 ($\pm 0,5$)	Breytingar á hjólfaradýpt, báðar akreinar, 2000-2004

Niðurstöðurnar í töflu 8.4 einkennast af víðum og ótraustum vikmörkum. Mælingar á sliti ná aðeins yfir fjóra vetur sem líkast til er of lítið til að ákvarða slitið innan vikmarka sem geta talist viðunandi. Tölum um kvarðað slit, fengnum annars vegar út frá slitflatarmáli í þversniði og slitflatarmáli í hjólförum, ber nokkuð vel saman. Hins vegar er kvarðað hjólfaraslit talsvert meira en búast mætti við út frá tölum um kvarðað slit. Tölulegt gildi SS er oft um 10 % af tölulegu gildi SPS en er hér nálega 15 %. Þetta bendir til að hjólförin í þessum tilraunakafla séu venju fremur djúp og kröpp. Það er tæpast vegna aðstæðna, þær eru ekkert frábrugðnar því sem gerist víða annarsstaðar (tvær akreinar í sömu átt, akbrautarbreiddin venjuleg og kantsteinar beggja vegna). Líklegri skýringar eru sig (samþjöppun) í neðri hluta endurlagnarinnar (tæplega undir henni, því gatan hefur verið undir umferð áratugum saman), skrið eða slit vegna skemmda (ofhitunar) á bindiefni. Enn einn möguleiki er að þessar niðurstöður séu óreiðanlegar vegna þess að mælingarnar ná aðeins yfir fjögurra ára tímabil.

8.3 Sæbraut milli Kringlumýrarbrautar og Höfðatúns

Tilraunakaflinn er 7,5 m breiður milli kantsteina, tvær akreinar á norðurakbraut Sæbrautar, báðar með umferð í sömu átt.

Á Sæbraut milli Kringlumýrarbrautar og Höfðatúns er umferðarteljari, þó ekki á tilraunakaflanum sjálfum, heldur um 300 m vestar. Teljarinn telur umferð á hverri akrein fyrir sig í sniði þar sem Framkvæmda- og eignasvið Reykjavíkurborgar hefur látið telja umferð mörg undanfarin ár [RVK 2008]. Umferðin í áðurnefndu sniði (á báðum akbrautum) var um 26.700 ÁDU árið 2000 en um 25.700 ÁDU árið 2004. Með hliðsjón af upplýsingum um skiptingu umferðar á akreinar á þessum stað var gert ráð fyrir að 51 % umferðarinnar færi um norðurakbrautina og þar af 45 % um norðurakrein hennar.

Leyfður hámarkshraði á tilraunakaflanum er 60 km/klst. Fram til 2004 hafði umferðarhraði ekki verið mældur á þessum stað en síðan hefur umferð í áðurnefndu sniði verið talin með umferðargreinum sem jafnframt mæla hraða hvers ökutækis. Meðalhraði ökutækja (allt) árið 2004 var 65 km/klst á hægri (nyrðri) akrein en 66 km/klst á þeirri vinstri. Þess má geta að árið 1989 var umferðarhraði mældur á þessum stað og reyndist vera 58,6 km/klst á norðurakbrautinni (BV 1989).

Við útreikninga á jafngildisumferð er tekið tillit til árssveiflu. Árssveiflan sem mældist í þessu sniði 2004 [RVK 2005] er notuð óbreytt fyrir öll árin 2000-2004.

8.3.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 8.3.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.3.1. Kvarðað slit á endurlögn á Sæbraut við Höfðatún, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS
2000-2001	1,25	91	18
2001-2002	1,07	128	30
2002-2003	0,92	42	11
2003-2004	1,04	51	12

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 18 SPS og vikmörkin ± 4 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r > 0,9$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p = 0,3$) en hafa ótvírætt tengsl við jafngildisumferð svo að vikmörkin eru að öllum líkindum ótraust.

8.3.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 8.3.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.3.2. Kvarðað slit á endurlögn á Sæbraut við Höfðatún, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Flatarmálsbreyting, cm^2		Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,69	0,57	-6	29	-2	13
2001-2002	0,59	0,48	27	53	11	28
2002-2003	0,50	0,41	29	28	14	17
2003-2004	0,57	0,47	20	37	9	20

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að slitið sé 12 SPS á vinstri akrein og vikmörkin ± 4 SPS (95 % öryggisstig) en á hægri akrein sé slitið 21 SPS og vikmörkin ± 5 SPS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 16 SPS og vikmörkin ± 3 SPS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r > 0,85$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,13$) en fara ótvírætt vaxandi með skýribreytunni. Uppgefin vikmörk eru þess vegna ótraust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar sterk ($r > 0,9$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,09$) og eru nokkurn veginn óháðar jafngildisumferð. Uppgefin vikmörk eru sennilega nokkurn veginn traust.

8.3.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 8.3.3 sýnir niðurstöður útreikninga ár fyrir ár á kvörðuðu hjólfarasliti. Kvarðað hjólfaraslit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst. Tilgreind hjólfaradýpt er meðaltal fyrir bæði hjólför í öllum mælisniðum á akreininni sem á í hlut.

Tafla 8.3.3. Kvarðað hjólfaraslit á endurlögn á Sæbraut við Höfðatún, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Hjólfaradýpkun, meðaltal, mm		Kvarðað hjólfaraslit við 60 km/klst, SS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,69	0,57	0,4	1,9	0,6	3,4
2001-2002	0,59	0,48	1,7	3,3	2,9	6,8
2002-2003	0,50	0,41	2,2	2,0	4,5	4,7
2003-2004	0,57	0,47	1,7	2,5	3,0	5,3

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að á vinstri akrein sé kvarðað hjólfaraslit 1,8 SS og vikið $\pm 0,3$ SS en á hægri akrein 2,8 SS og vikið $\pm 0,4$ SS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 2,2 SS og vikið 0,2 SS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar sterk ($r > 0,9$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,5$) en fara ótvírætt vaxandi með skýribreytunni, svo að uppgefin vikið eru að öllum líkindum ótraust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar standast próf á normaldreifingu, þó með naumindum ($p = 0,07$) og sýnast vera háðar skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgefin vikið líklega ótraust.

8.3.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 8.3.4 sýnir niðurstöður slitmælinga á kafla með endurlögn á Sæbraut við Höfðatún, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Samkvæmt þeim er líklegast að kvarðað slit sé um 18 SPS og kvarðað hjólfaraslit um 2,2 SS.

Tafla 8.3.4 Kvarðað slit, SPS, og kvarðað hjólfaraslit, SS, á malbiksslitlagi (endurlögn) á Sæbraut við Höfðatún, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust.

Kvarðað slit	
SPS	Mæliaðferð
18 (± 4)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 2000-2004
12 (± 4)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum vinstri akreinar, 2000-2004
21 (± 5)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum hægri akreinar, 2000-2004
16 (± 3)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum beggja akreina, 2000-2004
Kvarðað hjólfaraslit	
SS	Mæliaðferð
1,8 ($\pm 0,3$)	Breytingar á hjólfaradýpt, vinstri akrein, 2000-2004
2,8 ($\pm 0,4$)	Breytingar á hjólfaradýpt, hægri akrein, 2000-2004
2,2 ($\pm 0,2$)	Breytingar á hjólfaradýpt, báðar akreinar, 2000-2004

Kvarðað slit er svipað hvort heldur miðað er við slitflatarmál í þversniði eða slitflatarmál í hjólförum beggja akreina. Hins vegar ber mikið á milli í kvörðuðu sliti á vinstri og hægri akrein. Vikmörkin gefa til kynna mismunurinn sé á mörkum þess að geta talist marktækur en þess ber að gæta að þau eru ótraust fyrir aðra akreinina.

Hvað kvarðað hjólfaraslit snertir er það einnig sýnu meira á hægri akrein en þeirri vinstri og mismunurinn er marktækur ef miðað er við tilgreind vikmörk (en þau eru vel að merkja ótraust). Kvarðað hjólfaraslit er ívið meira á báðum akreinum en búast mætti við út frá kvörðuðu sliti (tölulegt gildi kvarðaðs hjólfaraslits er oft um 10 % af tölulegu gildi fyrir kvarðað slit, en er hér 13-15 % eftir akreinum). Þar sem umferð á tilraunakaflanum er þekkt án teljandi óvissu er ólíklegt að mismunurinn stafi af skekkjum í umferðartölum. Orsökina er hugsanlega skrið í malbikinu, því um þennan kafla fara þungaflutningar frá höfninni á leið í vesturhluta borgarinnar.

8.4 Reykjanesbraut í Kópavogi

Tilraunakaflinn er 7,5 m breiður, tvær akreinar á vesturakbraut Reykjanesbrautar (auðkenni í vegaskrá: 41-12) milli Nýbýlavegar og Fífuhvammsvegar og án kantsteins. Báðar akreinar hafa umferð í sömu átt.

Tölur um umferð úr umferðargreini sem telur umferð á hvorri akrein fyrir sig á þessum stað eru tiltækar fyrir hverja viku síðan í ársbyrjun 2003. Umferð fram að þeim tíma, viku fyrir viku, var áætluð með stuðningi af talningum umferðarteljara á Reykjanesbraut við Vífilsstaðaveg árin 2000-2002. Nokkrar eyður eru í þessar talningar árið 2003 en þær voru fylltar með hliðsjón af talningum í samsvarandi vikum árið á undan. Árið 2000 var umferðin á tilraunakaflanum áætluð 15.400 ÁDU en hafði vaxið í 19.500 ÁDU árið 2004. Að jafnaði fóru tæp 80 % umferðarinnar á tilraunakaflanum um hægri akrein árin 2000-2004.

Leyfður hámarkshraði á tilraunakaflanum er 70 km/klst. Samkvæmt tölum úr áðurnefndum umferðargreini var meðalhraðinn 79 km/klst á hægri akrein árið 2004 og 95 á þeirri vinstri. Við útreikninga á kvörðuðu sliti er beitt leiðréttingu vegna umferðarhraða og reiknað með að hraðinn sé 80 km/klst á hægri akrein, en 95 km/klst á þeirri vinstri.

Áhrif árssveiflu koma sjálfkrafa með í útreikninga á jafngildisumferð þar sem hún er reiknuð út frá umferð hvernar viku fyrir sig á tilraunátímabilinu.

8.4.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 8.4.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.4.1. Kvarðað slit á endurlögn á Reykjanesbraut við Dalveg, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS
2000-2001	2,05	278	34
2001-2002	1,98	119	15
2002-2003	1,86	195	26
2003-2004	2,04	175	21

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 21 SPS og vikmörkin ± 3 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p = 0,5$) en hafa ótvírætt tengsl við jafngildisumferð svo að vikmörkin geta verið ótraust.

8.4.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 8.4.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.4.2. Kvarðað slit á endurlögn á Reykjanesbraut við Dalveg, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Flatarmálsbreyting, cm^2		Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,41	1,64	-23	87	-14	13
2001-2002	0,39	1,59	26	101	17	16
2002-2003	0,38	1,48	27	91	18	15
2003-2004	0,39	1,64	48	117	31	18

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit sé 22 SPS á vinstri akrein og vikmörkin ± 7 SPS en á hægri akrein sé slitið 16 SPS og vikmörkin ± 2 SPS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 17 SPS og vikmörkin ± 2 SPS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r > 0,85$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,2$) en vaxa hratt með skýribreytunni. Uppgefin vikmörk eru þess vegna að öllum líkindum ótraust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar mjög sterk ($r > 0,95$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,3$) og virðast vera óháðar jafngildisumferð. Uppgefin vikmörk eru sennilega traust.

8.4.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 8.4.3 sýnir niðurstöður útreikninga ár fyrir ár á kvörðuðu hjólfarasliti. Kvarðað hjólfaraslit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst. Tilgreind hjólfaradýpt er meðaltal fyrir bæði hjólför í öllum mælisniðum á akreininni sem á í hlut.

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar¹² gefa til kynna að á vinstri akrein sé kvarðað hjólfaraslit 1,3 SS og vikmörkin $\pm 0,4$ SS en á hægri akrein 2,0 SS og vikmörkin $\pm 0,2$ SS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 1,8 SS og vikmörkin 0,2 SS (95 % öryggisstig).

¹² Mælingum í einu sniði vinstri akreinar, frá síðasta árinu sem slitið var mælt, var kastað úr safninu. Þær eru að öllum líkindum útlagar (outliers).

Tafla 8.4.3. Kvarðað hjólfaraslit á endurlögn á Reykjanesbraut við Dalveg, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Hjólfaradýpkun, meðaltal, mm		Kvarðað hjólfaraslit við 60 km/klst, SS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,41	1,64	-0,5	3,2	-1,2	1,9
2001-2002	0,39	1,59	1,1	3,2	2,8	2,0
2002-2003	0,38	1,48	0,8	7,3	2,0	4,9
2003-2004	0,39	1,64	2,3	7,7	5,8	4,7

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r>0,85$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p=0,7$) en fara vaxandi með skýribreytunni, svo að uppgefin vikmörk eru líklega ótraust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar mjög sterk ($r>0,95$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p=0,1$), en eru ótvírætt háðar skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgefin vikmörk líklega ótraust.

8.4.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 8.4.4 sýnir niðurstöður slitmælinga á kafla með endurlögn á Reykjanesbraut við Dalveg, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Samkvæmt þeim er líklegast að kvarðað slit sé um 21 SPS og kvarðað hjólfaraslit um 1,8 SS.

Tafla 8.4.4 Kvarðað slit, SPS, og kvarðað hjólfaraslit, SS, á malbiksslitlagi (endurlögn) á Reykjanesbraut við Dalveg, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust.

Kvarðað slit	
SPS	Mæliaðferð
21 (± 3)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 2000-2004
22 (± 7)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum vinstri akreinar, 2000-2004
16 ± 2	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum hægri akreinar, 2000-2004
17 (± 2)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum beggja akreina, 2000-2004
Kvarðað hjólfaraslit	
SS	Mæliaðferð
1,3 ($\pm 0,4$)	Breytingar á hjólfaradýpt, vinstri akrein, 2000-2004
2,0 ($\pm 0,2$)	Breytingar á hjólfaradýpt, hægri akrein, 2000-2004
1,8 ($\pm 0,2$)	Breytingar á hjólfaradýpt, báðar akreinar, 2000-2004

Samræmi í niðurstöðum fyrir kvarðað slit er viðunandi, ef tilgreind vikmörk eru lögð til grundvallar, en þau eru að vísu ótraust. Flatarmálsbreytingar í þversniði eru líklega réttari en flatarmálsbreytingar í hjólförum; flatarmálsbreytingar í hjólförum hafa tilhneigingu til að mælast minni en flatarmálsbreytingar í þversniði vegna slits á köntum og á hryggnum milli akreina. Á þessum forsendum er líklegast að kvarðað slit sé 21 SPS.

Tölur um kvarðað hjólfaraslit eru talsvert mismunandi eftir akreinum, það er miklum mun meira á hægri akrein en þeirri vinstri. Mismunurinn er marktækur ef tilgreind vikmörk eru lögð til grundvallar, en þau eru, vel að merkja, ótraust. Á vinstri

akrein er kvarðað hjólfaraslit miklu minna búast mætti við út frá kvörðuðu sliti (tölulegt gildi kvarðaðs hjólfaraslits er oft um 10 % af tölulegu gildi fyrir kvarðað slit, en er hér um 5 %). Á hægri akrein er kvarðað hjólfaraslit hins vegar mjög svipað og þessi þumal fingursregla gefur til kynna. Þar sem umferð á tilraunakaflanum er þekkt án verulegrar óvissu er fremur ólíklegt að mismunurinn stafi af skekkjum í umferðartölum.

Ef þessi mismunur er á annað borð raunverulegur koma tvær skýringar helst til álita. Önnur þeirra er skrið í hægri akrein, sem er ekki fráleitt þar sem þungaflutningar frá Sundahöfn til Suðurnesja fara sennilega um þenna kafla. Á móti því mælir þó að kvarðað hjólfaraslit er svipað og búast mætti við út frá kvörðuðu sliti. Hin er sú að slitið vaxi skyndilega þegar hjólförin eru orðin svo djúp að þau ná niður í upphitaða lagið fyrir neðan nýlögna; eftir slitmælingum að dæma hefur það gerst á hægri akrein á tímabilinu 2002-2003 því þá vex árleg hjólfaradýpkun skyndilega úr 3 mm eða svo í um það bil 8 mm. Vegna upphitunarinnar getur verið að þetta lag sé viðkvæmara fyrir áraun en yfirlagið sem er úr nýblönduðu malbiki. Á vinstri akreininni er umferðin minni en svo að hjólförin nái í gegnum nýlögna á tímabilinu sem kaflarnir voru mældir. Þetta eru þó aðeins tilgátur og engar frekari mælingar hafa verið gerðar til að sannreyna þær.

8.5 Reykjanesbraut í Hafnarfirði

Tilraunakaflinn er 7,5 m breiður, tvær akreinar á Reykjanesbraut í Hafnarfirði (auðkenni í vegaskrá: 41-15) milli Ásbrautar og Hellnahrauns, hvor með umferð í sína átt og án kantsteins.

Á tilraunakaflanum er enginn umferðarteljari. Næsti umferðarteljari er við Straumsvík. Talningar þar eru heillegar að undanskildum 25 vikum kringum áramótin 2002-2003. Fyllt var í eyðuna með hliðsjón af umferð á sama stað árin 2001 og 2004. Síðan var umferð á tilraunakaflanum áætluð með því að margfalda umferð sem kemur fram á teljaranum við Straumsvík með hlutfallinu 11/9. Þetta leiðréttingarhlutfall er fengið úr umferðarspá VST fyrir þessa staði fyrir árið 2004 [VST 2005]. Samkvæmt þessum áætlunum var umferðin á tilraunakaflanum árið 2000 um 8.800 ÁDU en hafði vaxið í um 10.000 ÁDU árið 2004.

Umferðarhraði var ekki mældur á tilraunakaflanum en þar er leyfður hámarksbraði 80 km/klst. Sami hraði er lagður til grundvallar að leiðréttingu á niðurstöðum slitmælinga vegna umferðarhraða.

Áhrif árssveiflu koma sjálfkrafa með í útreikninga á jafngildisumferð þar sem hún er reiknuð út frá umferð hvorrar viku fyrir sig á tilraunartímabilinu.

8.5.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 8.5.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 29 SPS og vikmörkin ± 7 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r > 0,9$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p = 0,25$) en fara vaxandi með jafngildisumferð svo að vikmörkin eru sennilega ótraust.

Tafla 8.5.1. Kvarðað slit á endurlögn á Reykjanesbraut við Ásbraut, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS
2000-2001	1,07	174	41
2001-2002	0,96	121	31
2002-2003	0,86	75	22
2003-2004	0,96	135	35

8.5.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 8.5.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.5.2. Kvarðað slit á endurlögn á Reykjanesbraut við Ásbraut, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Flatarmálsbreyting, cm ²	Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS
2000-2001	1,07	94	22
2001-2002	0,96	45	12
2002-2003	0,86	75	22
2003-2004	0,96	36	9

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 15 SPS og vikmörkin ± 6 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er viðunandi ($r > 0,8$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p = 1,0$) og eru ekki háðar skýribreytunni svo að vikmörkin eru að öllum líkindum traust.

8.5.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 8.5.3 sýnir niðurstöður útreikninga ár fyrir ár á kvörðuðu hjólfarasliti. Kvarðað hjólfaraslit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst. Tilgreind breyting á hjólfaradýpt er meðaltal breytinga á öllum (fjórum) hjólförum í öllum mælisniðunum.

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað hjólfaraslit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 2,3 SS og vikmörkin $\pm 0,7$ SS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er viðunandi ($r > 0,8$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p = 1,0$) en fara ótvírætt vaxandi með skýribreytunni svo að vikmörkin eru að öllum líkindum ótraust.

Tafla 8.5.3. Kvarðað hjólfaraslit á endurlögn á Reykjanesbraut við Ásbraut, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Hjólfaradýp- un, meðaltal, mm	Kvarðað hjólfara- slit við 60 km/klst, SS
2000-2001	1,07	2,4	2,3
2001-2002	0,96	1,9	1,9
2002-2003	0,86	2,5	2,9
2003-2004	0,96	1,9	2,0

8.5.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 8.5.4 sýnir niðurstöður slitmælinga á kafla með endurlögn á Reykjanesbraut við Ásbraut, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Samkvæmt þeim er líklegast að kvarðað slit sé um 29 SPS og kvarðað hjólfaraslit 2,3 SS.

Tafla 8.5.4 Kvarðað slit, SPS, og kvarðað hjólfaraslit, SS, á malbiksslitlagi (endurlögn) á Reykjanesbraut við Ásbraut, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust.

Kvarðað slit	
SPS	Mæliaðferð
29 (± 7)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 2000-2004
15 \pm 6	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum, 2000-2004
Kvarðað hjólfaraslit	
SS	Mæliaðferð
2,3 ($\pm 0,7$)	Breytingar á hjólfaradýpt, 2000-2004

Tölum um kvarðað slit í töflu 8.5.4 ber ekki saman þegar slitflatarmál í þversniði annars vegar og slitflatarmál í hjólförum hins vegar er lagt til grundvallar. Líklegast stafar misræmið af því að flatarmálsbreytingar í hjólförum mælast oft minni (líkt og hér) en flatarmálsbreytingar í þversniði, vegna þess að slit á köntum slitlagsins og á hryggnum á milli akreina færir viðmiðunarlínuna (ímyndaða réttsskeið) nær slitlaginu svo að mælt slit minnkar (sjá kafla 2.3). Á þessari forsendu er rökrétt að álykta að kvarðað slit á þessum kafla sé nær því að vera 29 SPS en 15 SPS. Miðað við fyrrgreindu töluna er kvarðað hjólfaraslit í lægra lagi (tölulegt gildi kvarðaðs hjólfaraslits er oft um 10 % af tölulegu gildi fyrir kvarðað slit).

Hitt er svo annað mál að niðurstöður fyrir þennan kafla eru engan veginn traustar. Í fyrsta lagi spannar tilraunin aðeins fjóra vetur sem er fremur stuttur tími þegar slitmælingar eiga í hlut. Í öðru lagi getur skakkað talsverðu á umferð vegna þess að á kaflanum er enginn umferðarteljari, og ekki heldur í næsta nágrenni hans, svo að umferðin getur verið of- eða vantalín. Í þriðja lagi eru engar mælingar til á umferðarhraða á tilraunakaflanum eða í nágrenni hans. Hvað umferðarhraðann snertir er líklegra að hann sé vanáætlaður fremur en hitt og 10 % skekkja á umferðarhraða veldur um það bil 20 % skekkju á tölum fyrir slit.

8.6 Hafnarfjarðarvegur í Garðabæ

Tilraunakaflinn er 7,5 m breiður, tvær akreinar á vesturakbraut Hafnarfjarðarveggar milli Lyngáss og Álftanesveggar, báðar með umferð í sömu átt. Við eyju milli akbrauta er kantsteinn, en ekki við öxlina.

Á tilraunakaflanum er enginn umferðarteljari. Við mat á umferð á tilraunakaflanum var stuðst við umferðartalningar á báðum akreinum á vesturakbraut Hafnarfjarðarveggar milli Kópavogslækjar og Arnarneshæðar. Þessar talningar eru heillegar að undanskildum fáeinum stuttum gloppum árin 2000 og 2001. Fyllt var í þessar eyður með hliðsjón af umferð á sama stað árið 2002. Síðan var umferð á tilraunakaflanum áætluð með því að margfalda umferð samkvæmt teljaranum milli Kópavogslækjar og Arnarneshæðar með hlutfallinu 31/44. Þetta hlutfall er fengið úr umferðarspá VST fyrir þessa staði fyrir árið 2004 [VST 2005]. Samkvæmt þessum áætlunum var umferðin á tilraunakaflanum um 14.200 ÁDU árið 2000 en hafði vaxið í um 15.800 ÁDU árið 2004. Umferðinni er skipt þannig á akreinar að 55 % koma á hægri akrein. Þá er höfð hliðsjón af skiptingu umferðarinnar á akreinar á vesturakbraut Hafnarfjarðarveggar milli Kópavogslækjar og Arnarneshæðar (þar eru 65 % á hægri akrein) og skiptingu hennar á götur í framhaldi af gatnamótum Álftanesveggar og Hafnarfjarðarveggar, en að öðru leyti er þessi skipting órökstudd.

Umferðarhraði hefur ekki verið mældur á tilraunakaflanum en leyfður hámarks-
hraði er 60 km/klst. Gert er ráð fyrir að meðalhraðinn sé 65 km/klst í samræmi við mældan meðalhraða á Sæbraut við Höfðatún (þar er leyfður hámarkshraði einnig 60 km/klst), en án frekari rökstuðnings.

Ennfremur er gert ráð fyrir að árssveiflan sé sú sama á tilraunakaflanum og á Hafnarfjarðarvegi milli Kópavogslækjar og Arnarneshæðar. Áhrif hennar koma sjálfkrafa með í útreikninga á jafngildisumferð þar sem hún er reiknuð út frá umferð hverrar viku fyrir sig á tilraunartímabilinu.

8.6.1 Kvarðað slit, slitflatarmál í þversniði

Tafla 8.6.1 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í þversniði. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.6.1. Kvarðað slit á endurlögn á Hafnarfjarðarvegi í Garðabæ, byggt á flatarmálsbreytingum í mælisniðum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst	Flatarmáls- breyting, cm ²	Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS
2000-2001	1,53	215	35
2001-2002	1,43	62	11
2002-2003	1,25	117	23
2003-2004	1,33	97	18

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að kvarðað slit, leiðrétt með tilliti til umferðarhraða (að 60 km/klst) sé 18 SPS og vikmörkin ± 4 SPS (95 % öryggisstig).

Fylgni milli slits og jafngildisumferðar er sterk ($r>0,9$). Leifar frá aðhvarfsgreiningunni standast próf á normaldreifingu ($p=0,2$) en sýnast vera háðar skýribreytunni svo að vikmörkin geta verið ótraust.

8.6.2 Kvarðað slit, slitflatarmál í hjólförum

Tafla 8.6.2 sýnir niðurstöður útreikninga á sliti ár fyrir ár á grundvelli slitflatarmáls í hjólförum. Kvarðað slit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst.

Tafla 8.6.2. Kvarðað slit á endurlögn á Hafnarfjarðarvegi í Garðabæ, byggt á flatarmálsbreytingum í hjólförum. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Flatarmálsbreyting, cm^2		Kvarðað slit, við 60 km/klst, SPS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,69	0,84	43	45	16	13
2001-2002	0,64	0,78	39	28	15	9
2002-2003	0,57	0,69	57	45	25	16
2003-2004	0,60	0,73	32	29	13	10

Kvarðað slit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (slits á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að slitið sé 18 SPS á vinstri akrein og vikmörkin ± 4 SPS (95 % öryggisstig) en á hægri akrein sé slitið 12 SPS og vikmörkin einnig ± 4 SPS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 15 SPS og vikmörkin ± 3 SPS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar sterk ($r>0,9$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p=0,1$) og virðast ekki vera háðar skýribreytunni. Uppgefin vikmörk eru þess vegna að öllum líkindum traust.

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar viðunandi ($r>0,8$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p=0,4$) og eru nokkurn veginn óháðar jafngildisumferð. Uppgefin vikmörk eru sennilega nokkurn veginn traust.

8.6.3 Kvarðað slit, hjólfaradýpt

Tafla 8.6.3 sýnir niðurstöður útreikninga ár fyrir ár á kvörðuðu hjólfarasliti. Kvarðað hjólfaraslit er leiðrétt vegna umferðarhraða. Leiðréttingin er gerð með því að umreikna jafngildisumferð þannig að niðurstöðurnar svari til slits við 60 km/klst. Tilgreind hjólfaradýpt er meðaltal fyrir bæði hjólför í öllum mælisniðum á akreininni sem á í hlut.

Kvarðað hjólfaraslit fyrir tímabilið 2000-2004 í heild var fundið með aðhvarfsgreiningu (hjólfaradýptar á jafngildisumferð). Niðurstöðurnar gefa til kynna að á vinstri akrein sé kvarðað hjólfaraslit 2,5 SS og vikmörkin $\pm 0,3$ SS en á hægri akrein 1,4 SS og vikmörkin $\pm 0,4$ SS, hvorutveggja miðað við 95 % öryggisstig og umferðarhraðann 60 km/klst. Meðaltal þessara talna, vegið með umferð á akreinunum, er 1,9 SS og vikmörkin 0,3 SS (95 % öryggisstig).

Á vinstri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar mjög sterk ($r>0,95$). Leifar standast próf á normaldreifingu, þó með naumindum ($p=0,07$) en fara heldur vaxandi með skýribreytunni, svo að uppgæfin vikmörk eru líklega ótraust.

Tafla 8.6.3. Kvarðað hjólfaraslit á endurlögn á Hafnarfjarðarvegi í Garðabæ, byggt á breytingum á hjólfaradýpt. Jafngildisumferð er umreiknuð þannig að niðurstöðurnar svari til umferðarhraða sem er 60 km/klst.

Tímabil	Jafngildisumferð, umreiknuð að 60 km/klst		Hjólfaradýpkun, meðaltal, mm		Kvarðað hjólfaraslit við 60 km/klst, SS	
	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri	Vinstri	Hægri
2000-2001	0,69	0,84	3,0	2,0	4,4	2,4
2001-2002	0,64	0,78	3,3	1,9	5,2	2,4
2002-2003	0,57	0,69	3,2	2,2	5,7	3,2
2003-2004	0,60	0,73	2,4	1,9	4,1	2,6

Á hægri akrein er fylgni slits og jafngildisumferðar sterk ($r > 0,9$). Leifar standast próf á normaldreifingu ($p = 0,5$) en fara lítið eitt vaxandi með skýribreytunni. Af þessari ástæðu eru uppgefin vikmörk líklega ótraust.

8.6.4 Ígrundun og ályktanir

Tafla 8.6.4 sýnir niðurstöður slitmælinga á kafla með endurlögn á Hafnarfjarðarvegi í Garðabæ, leiðréttar að umferðarhraðanum 60 km/klst. Samkvæmt þeim er líklegast að kvarðað slit sé um 18 SPS og kvarðað hjólfaraslit 1,9 SS.

Tafla 8.6.4 Kvarðað slit, SPS, og kvarðað hjólfaraslit, SS, á malbiksslitlagi (endurlögn) á Hafnarfjarðarvegi í Garðabæ, reiknað á mismunandi forsendum. Tölurnar eiga við umferðarhraða sem er 60 km/klst. Vikmörk innan sviga eru ótraust.

Kvarðað slit	
SPS	Mæliaðferð
18 (± 4)	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í þversniði, 2000-2004
18 ± 4	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum vinstri akreinar, 2000-2004
12 ± 4	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum hægri akreinar, 2000-2004
15 ± 3	Flatarmálsbreytingar, slitflatarmál í hjólförum beggja akreina, 2000-2004
Kvarðað hjólfaraslit	
SS	Mæliaðferð
2,5 ($\pm 0,3$)	Breytingar á hjólfaradýpt, vinstri akrein, 2000-2004
1,4 ($\pm 0,4$)	Breytingar á hjólfaradýpt, hægri akrein, 2000-2004
1,9 ($\pm 0,3$)	Breytingar á hjólfaradýpt, báðar akreinar, 2000-2004

Ef vikmörk eru tekin með í reikninginn er samræmi í tölum um kvarðað slit fyllilega viðunandi. Að vísu er talsverður munur á kvörðuðu sliti eftir akreinum, þegar slitflatarmál í hjólförum er lagt til grundvallar, en mismunurinn er ekki marktækur og kvarðað slit á vinstri akrein er í fullu samræmi við kvarðað slit sem er reiknað út frá flatarmálsbreytingum í þversniði. Þar sem flatarmálsbreytingar í hjólförum mælast oft minni en flatarmálsbreytingar í þversniði (sjá kafla 8.5.4) er rökrétt að álykta að kvarðað slit á þessum kafla sé um 18 SPS.

Kvarðað hjólfaraslit er talsvert meira á vinstri akrein en þeirri hægri. Á báðum akreinum er það nokkru meira en búast mætti við út frá kvörðuðu sliti á sömu akreinum (tölulegt gildi kvarðaðs hjólfaraslits er oft um 10 % af tölulegu gildi fyrir kvarðað slit, en er hér á bilinu 12-14 %). Munurinn er marktækur ef tilgreind vikmörk eru lögð til grundvallar, en þau eru að vísu ótraust.

Mismunur á kvörðuðu hjólfarasliti (og kvörðuðu sliti raunar líka) eftir akreinum getur sem best stafað af því að skipting umferðar eftir akreinum sé ekki rétt, því hún er ekki byggð á traustum grunni. Háar tölur fyrir kvarðað hjólfaraslit geta hugsanlega stafað af því að umferðin sé vantalin. Á móti þeirri tilgátu mælir að kvarðað slit (18 SPS) er síst meira en búast mætti við. Sennilega er þung umferð fremur lítil á þessum kafla (líklegra er að hún fari um Reykjanesbraut en Hafnarfjarðarveg) svo að þarna er tæpast um skrið að ræða. Sömuleiðis voru hjólförin aðeins um 17-20 mm þegar slitmælingum var hætt árið 2004 svo að skemmdir á malbiki vegna ofhitunar við endurlögnina eiga tæpast sök á því að kvarðað hjólfaraslit er tiltölulega hátt. Líklegast er því að skipting umferðar á akreinar sé ekki rétt, eins og áður segir, ekki síst þar sem kvarðað hjólfaraslit beggja akreina er rétt um 10 % af kvörðuðu sliti þeirra.

9. SAMANTEKT, ÍGRUNDUN OG ÁLYKTANIR

Í þessari skýrslu er gerð grein fyrir mælingum á nokkrum stuttum tilraunaköflum með ýmsum gerðum slitlags, í megindráttum þrenns konar; steypu, malbiki og endurlögn¹³. Umferð á þessum tilraunaköflum er breytileg, 5000-20.000 ÁDU (á tveim akreinum) og umferðarhraðinn er á bilinu 60-90 km/klst. Megintilgangur mælinganna var að afla upplýsinga um endingu slitlagsgerðanna, til nota við val á slitlagsgerð í nýframkvæmdum og viðhaldi.

Niðurstöður mælinganna gefa til kynna að kvarðað slit (SPS¹⁴) og kvarðað hjólfaraslit (SS¹⁴), hvorutveggja miðað við umferðarhraða sem er 60 km/klst, sé:

Á steypu:	13-26 SPS og 1,4-2,9 SS (fjórir tilraunakaflar)
Á malbiki:	17-31 SPS og 1,8-2,8 SS (þrír tilraunakaflar)
Á hágæðamalbiki:	18 SPS og 1,8 SS (einn tilraunakafla)
Á endurlögn:	18-29 SPS og 1,8-3,2 SS (fimm tilraunakaflar)

Eins og þetta yfirlit sýnir er mikil breidd í niðurstöðum slitmælinganna innan hvers slitlagsflokks. Það sýnir líka að niðurstöðurnar skarast verulega fyrir malbik og steypu; jafnframt að niðurstöðurnar eru svipaðar fyrir endurlögn og malbik.

Hluta af breytileika í niðurstöðum fyrir steypuna má rekja til mismunar í þrýstipólí [OG 1987]. Annar áhrifamikill þáttur er slitþol fylliefnisins. Það á þó aðeins að litlu leyti við um hina tilraunakaflana, því uppistaða steinefnisins í þeim var í langflestum tilfellum hið sama (frá Seljadal). Þriðji þátturinn er aðstæður á tilraunaköflunum sem getur haft veruleg áhrif á niðurstöðurnar eins og dregið verður á hér á eftir.

Tveir af steypu tilraunaköflunum höfðu álíka mikið þrýstipól, um 100 MPa en kvarntala (slitþol) steinefnisins var mismunandi, nálægt 7 í öðrum og 10 í hinum. Slitið sýnist standa í réttu hlutfalli við kvarntöluna; kvarðað slit á fyrrnefnda kaflanum var 13 SPS en 19 SPS á þeim síðarnefnda. Þar sem kaflarnir voru aðeins tveir gefa niðurstöðurnar ekki færi á að ákvarða nánar hvernig sambandi kvarntölu og slits er háttað.

Samanburður við fyrri niðurstöður. Fyrri niðurstöður (sjá kafla 1) benda til að kvarðað slit á malbiki hafi á síðari árum verið á bilinu 20-30 SPS eftir malbiksgerðum og slitlagsefni. Óvissa á niðurstöðum slitmælinga er af ýmsum ástæðum veruleg (sjá síðar) og að teknu tilliti til hennar er viðunandi samræmi milli framangreindra niðurstaðna og þeirra sem hafa fengist fyrir samskonar slitlög á síðari árum. Slit á hágæðamalbiki, sem eftir fyrstu fjóra veturna var 20 SPS [ÁJ 2000, bls. 10] mælist nú (eftir níu vetur) 18 SPS á sama tilraunakafla. Slit á endurlögn hefur ekki verið mælt áður hérlendis.

Hvað steypuna varðar er óhægt um samanburð þar sem þrýstipól hennar og slitþol steinefnisins er aðeins að hluta til sambærilegt við aðra tilraunakafla. Áður hafa verið birtar niðurstöður slitmælinga á þeim fjórum tilraunaköflum sem hér eru til umfjöllunar. Á tveim þeirra (báðir á Hringvegi, 1-e3) mældist slitið 15 SPS og 22 SPS [ÁJ 2003, bls. 21] fram til ársins 2003 en niðurstöður þessarar skýrslu eru 13 og 19 SPS, þó með fyrirvara um mögulegt vanmat á slitinu. Á hinum tveim tilraunaköflunum náðu slitmælingarnar aðeins yfir tvo vetur þegar áfangaskýrslurnar voru skrifaðar, og dreifingin á niðurstöðunum [ÁJ 1999, ÁJ 2004] er svo mikil að þeim er lítt treystandi. Engu að síður er samræmið milli niðurstaðna í þessari skýrslu

¹³ Endurlögn; öðru nafni „repave“, sjá viðauka.

¹⁴ Sjá skilgreiningar á SPS og SS í viðauka.

og tilsvarandi bráðabirgðaniðurstaðna fyllilega viðunandi, en þess ber líka að gæta að þær eru að talsverðu leyti byggðar á sömu mælingum og eru þess vegna alls ekki óháðar.

Óvissa á niðurstöðum. Niðurstöður slitmælinganna eru háðar óvissu af margvíslegum orsökum. Í fyrsta lagi eru miklar sveiflur á niðurstöðunum frá ári til árs, jafnvel svo að sum árin mælist slitið negatíft sem ekki getur staðist. Í öðru lagi geta skekkjur í umferðartalningum og mælingum á umferðarhraða haft talsverð áhrif á niðurstöður. Í þriðja lagi er óhjákvæmilega einhver skekkja á hlutfalli bíla á negldum hjólbörðum, sem hefur áhrif á jafngildisumferð. Þessi upptalning er ekki tæmandi, en framanskráðir þættir eru líklega áhrifamestir.

Vikmörk sem eru birt í þessari skýrslu spanna einungis sveiflur í mæliniðurstöðum frá ári til árs¹⁵. Aðrir skekkjuvaldar eru ekki nægilega vel þekktir til að hægt sé að meta áhrif þeirra með viðunandi nákvæmni. Í inngangi skýrslunnar eru leiddar líkur að því að skekkjur á umferðartölum séu óverulegar þegar upplýsingar um umferð eru fengnar frá umferðargreinum á eða við hlutaðeigandi tilraunakafla, en geti numið tugum prósentu þegar umferðartölurnar byggjast á umferðarspám. Hvað umferðarhraða snertir er hann sennilega mjög nærri lagi þegar hann er fenginn úr umferðargreinum eða með sérstökum hraðamælingum, en í nokkrum tilfellum hefur orðið að meta hann út frá leyfðum hámarkshraða, stundum með tilliti til reynslu af öðrum tilraunaköflum þar sem aðstæður eru svipaðar. Lauslegar athuganir á óvissu á jafngildisumferð, sem má rekja til hlutfalls bíla á negldum hjólbörðum, benda til að hún sé ríflega 10 % [SN 1994].

Vikmörk á sliti eru reiknuð á þeim forsendum að mælingarnar fylgi normaldreifingu og séu óháðar skýribreytunni (jafngildisumferð). Prófanir á fyrrnefndu forsendunni sýna að af tæpum 50 mælisyrypum er um fimmtungur að öllum líkindum ekki normaldreifður. Sömuleiðis gefa lauslegar athuganir til kynna að síðari forsendan sé ekki uppfyllt í um það bil þrem mælisyrypum af hverjum fjórum. Vikmörkin eru því alls ekki alltaf traust.

Uppgefin vikmörk í skýrslunni eru oft í kringum 10 % af mældu sliti, en þau spanna aðeins sveiflur í mæliniðurstöðum frá ári til árs. Þau ná ekki til áhrifa annarra skekkjuvalda og þess vegna verður að líta á þau sem lágmark. Líklega þurfa vikmörkin að vera minnst 15-20 % til þess að spanna áhrif allra skekkjuvaldanna, en það er aðeins ágiskun. Hitt má telja víst að raunveruleg vikmörk (þar sem tekið er tillit til áhrifamestu skekkjuvaldanna) séu breytileg frá einum tilraunakafla til annars, og að sæmilega áreiðanlegar niðurstöður um slitþol hvernar slitlagsgerðar fáist ekki nema með mælingum á nokkuð mörgum tilraunaköflum.

Áreiðanleiki niðurstaðna. Einn tilraunakaflanna (á Hringvegi, 1-f5) hefur sérstöðu fyrir þær sakir að slit á honum var bæði mælt á hefðbundinn hátt (með slitmælitæki Malbikunarstöðvarinnar Höfða hf og Vegagerðarinnar) en líka með þykktarmælingum á slitlaginu af og til á löngu tímabili. Síðarnefnda aðferðin, sem reyndar er mjög seinleg, er mjög traust og samanburður á niðurstöðum þessara tveggja aðferða varpar nokkru ljósi á áreiðanleika hefðbundinna slitmælinga.

Niðurstöður mælinga á þessum tilraunakafla sýna (sjá kafla 3.4) að kvarðað slit, reiknað út frá slitflatarmáli í þversniði, slitflatarmáli í hjólförum eða þykktarmæl-

¹⁵ Vikmörkin eru byggð á aðhvarfsgreiningu slits á jafngildisumferð en ekki árlegu viki frá meðaltali. Með þessu móti er hægt að þrengja vikmörkin verulega. Mat á kvörðuðu sliti er hins vegar í flestum tilfellum svipað hvort sem það er fengið með aðhvarfsgreiningu eða meðaltali af kvörðuðu sliti hvers árs fyrir sig.

ingum er nánast hið sama, ef mælingarnar ná yfir tiltölulega langt tímabil. Af þessu má álykta að hefðbundar slitmælingar gefi raunhæfa mynd af efnismagni sem slitnar burtu, svo fremi aðstæður¹⁶ trufla ekki mælingarnar. Svipað má segja um kvarðaða hjólfaradýpt, niðurstöðurnar eru nánast hinar sömu hvort sem hún er reiknuð út frá hefðbundum slitmælingum eða þykktarmælingum, aftur að því tilskildu að mælingarnar nái yfir tiltölulega langt tímabil.

Samhliða mælingunum á þessum tilraunakafla, sem er hluti af steiptum vegarkafli á Hringvegi milli Þingvallavegar og Kollafjarðarbotns, var slit einnig mælt á áður nefndum vegarkafli um nokkurra ára skeið í sniðum með 200 m millibili [ÁJ 1999, bls. 11]. Þessar mælingar gefa til kynna að tilraunakaflinn, þótt stuttur sé (um 100 m), gefi nokkurn veginn raunhæfa mynd af kvörðuðu sliti á vegarkafli sem heild, enn og aftur með fyrirvara um nægilega langt mælitímabil. Kvarðað hjólfaraslit mælist hins vegar ívið (og marktækt) meira á tilraunakaflanum en á vegarkafli sem heild.

Þessi samanburður styður tilgátu um að hefðbundnar slitmælingar gefi rétta mynd af sliti að því tilskildu að aðstæður séu ekki afbrigðilegar á einhvern hátt; sömuleiðis að niðurstöður slitmælinga á stuttum tilraunakafla gefi að jafnaði raunhæfa mynd af sliti á slitlagsgerðinni.

Rétt er að taka fram að tvær þeirra aðferða (sjá kafla 2.3) sem eru notaðar við úrvinnslu á slitmælingum (slitflatarmál í þversniði og slitflatarmál í hjólförum) geta gefið ósamhljóða niðurstöður við vissar aðstæður, til dæmis ef slitmælimerkin hreyfast (svo sem vegna kantsigs eða frostlyftinga) eða vegna slits á köntum eða á hryggnum milli akreina. Ef niðurstöðum þessara tveggja aðferða ber ekki saman er hærra talan látin ráða, nema gildar ástæður mæli gegn því. Af þessum sökum er að jafnaði líklegra að kvarðað slit sé ofmetið fremur en vanmetið.

Endurlögn. Slitlagið á þessum tilraunaköflum öllum er SMA. Kvarðað slit á þeim er breytilegt en ekki frábrugðið því sem gerist á hefðbundnu SMA-slitlagi, svo að endurlögnin út af fyrir sig virðist ekki hafa afgerandi neikvæð áhrif á endingu.

Samanburður á hlutfalli kvarðaðs slits og kvarðaðrar hjólfaradýptar í malbiki sem annars vegar er lagt á hefðbundinn hátt og hins vegar með endurlögn gefur til kynna að þetta hlutfall sé áþekkt í báðum slitlagsgerðunum¹⁷. Þessi samanburður, svo langt sem hann nær, bendir því ekki til meira skriðs í endurlögn en malbiki sem er lagt á hefðbundinn hátt. Raunar er hlutfallið svipað og fyrir steiptu kaflana og í þeim er vitanlega ekkert skrið. Hitt verður að taka með í reikninginn að tilraunakaflar af hverri slitlagsgerð eru mjög fáir (og að auki ná mælingar á tilraunaköflunum með endurlögn aðeins yfir fjóra vetur) og af þeim sökum er þessi samanburður ótraustur. Í einum tilraunakafla með endurlögn virðist slithraðinn hafa aukist til muna eftir að hjólförin náðu 20 mm, sem getur bent til þess að bindiefnið hafi skemmst (ofhitnað).

Vísbendingar um skrið. Allir tilraunakaflarnir ná yfir tvær akreinar en á fimm þeirra (einum kafla með hágæðamalbiki og fjórum með endurlögn) háttar svo til að umferðin fer í sömu átt á báðum akreinum. Samanburður á kvarðaðri hjólfaradýpt á hægri og

¹⁶ Slíkar aðstæður eru til dæmis lóðréttar hreyfingar á slitmælimerkjum (vegna frostlyftinga, sigs í undirbyggingu eða hreyfinga á steiptum slitlagsflekum) svo og slits í köntum eða á hrygg milli akreina (sjá nánar í kafla 4.4). Þessar aðstæður hafa hins vegar ekki áhrif á þykktarmælingar.

¹⁷ Ef skrið verður í malbiki dýpka hjólförin umfram það sem rekja má til slits og kvörðuð hjólfaradýpt eykst að sama skapi. Skrið hefur hins vegar engin áhrif á kvarðað slit því að skriðið veldur aðeins tilfærslu á malbikinu; það tapast ekki úr slitlaginu. Þar af leiðandi hækkar hlutfallið milli kvarðaðrar hjólfaradýptar og kvarðaðs slits með vaxandi skriði í slitlaginu.

vinstri akrein á þessum tilraunaköflum sýnir að í fjórum tilfellum af fimm er hún meiri á hægri akrein en þeirri vinstri. Með öðrum orðum dýpka hjólförin hraðar á hægri akrein en þeirri vinstri (að teknu tilliti til fjölda bíla sem fara um hvora akrein fyrir sig). Þetta getur bent til skriðs á hægri akrein (enda er þungaumferðin að jafnaði miklu meiri þar en á þeirri vinstri). Í sumum tilfellum getur mismunurinn þó stafað af því að umferðin skiptist í raun öðruvísi á milli akreina en reiknað er með. Sig í undirbyggingu er ósennilegt vegna þess að tilraunakaflarnir liggja allir á traustri undirbyggingu sem hefur borið umferð í mörg ár. Í einum kafla gæti verið um sig í malbiki (eftirþjöppun í hjólfarafyllingu undir hágæðamalbik) að ræða, en tæpast í hinum vegna þess að þeir voru lagðir með yfirhæð í hjólförum.

Leifar frá aðhvarfsgreiningu. Venjulega eru leifar (þ. e. mismunur á mældu gildi og spágildi samkvæmt aðhvarfsgreiningu) smáar fyrir fyrsta veturinn en fara síðan vaxandi. Líklegast er að þróun slits sé mismunandi í mælisniðunum, svo sem vegna mismunar í holrýmd eða öðrum áþekktum eiginleikum slitlagsins. Leifar af þessu tagi eru fremur algengar.

Stórar leifar sem koma fram í sama sniði ár eftir ár í bland við smærri leifar í öðrum sniðum á sama tilraunakafla benda líklega fremur til hreyfinga á slitmælimerkjum eða sigs í undirbyggingu. Svona leifar eru sjaldgæfar í gagnasafni þessarar rannsóknar.

Leifar sem sveiflast kerfisbundið milli ára (hafa upp til hópa sama formerki eitt eða fleiri ár en skipta síðan um formerki næstu árin) geta bent til skekkju í umferðartölum, slitáhrifa frá veðurfari eða mæli- eða stillingarskekkju á slitmælitækinu. Leifar með þessum einkennum eru sjaldgæfar.

Ályktanir. Slit á tilraunaköflunum er mjög breytilegt innan slitlagsgerðar. Það er nokkru minna á steypu en malbiki en álíka mikið á endurlögn og malbiki. Slitið skarast milli slitlagsgerða eins og eftirfarandi upptalning sýnir:

- Á fjórum tilraunaköflum með steypu slitlagi er kvarðað slit á bilinu 13-26 SPS (g/km fyrir hvern léttan bíl á fjórum negldum hjólbörðum sem ekur með hraðanum 60 km/klst).
- Á þrem tilraunaköflum með malbiksslitlagi er kvarðað slit á bilinu 17-31 SPS.
- Á einum tilraunakafla með hágæðamalbiki er kvarðað slit 18 SPS.
- Á fimm tilraunaköflum með endurlögn er kvarðað slit á bilinu 18-29 SPS.

Þessum niðurstöðum svipar mjög til þeirra sem fengist hafa undanfarin 15 ár eða svo á tilraunaköflum með sams konar slitlagi (gerð og steinefni).

Á steypu slitlagi er slitið minnst á steypu með hátt þrýstipól (um 100 MPa) og lága kvarnartölu (um 7). Aðrar slitlagsgerðir (malbik, hágæðamalbik og endurlögn) eru úr steinefni með sömu eða svipaðri kvarnartölu (um 7) og slit á þeim er svipað innbyrðis, þó einna minnst á hágæðamalbiki, en sú ályktun byggist á aðeins einum tilraunakafla.

HEIMILDIR

- [ÁJ 1987]. Ásbjörn Jóhannesson og Rögnvaldur Jónsson. *Notkun negldra hjólbarða 1976-1987*. Steinefni í bundin slitlög (V-209). Steinefnanefnd, Reykjavík.
- [ÁJ 1997]. Ásbjörn Jóhannesson. *Hagkvæmnissamanburður á malbikuðum og steiptum slitlögum í vegagerð*. Skýrsla nr. 97-09, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík. Lokuð skýrsla.
- [ÁJ 1999]. Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valgeir Valgeirsson. *Slit á Vesturlandsvegi ofan Mosfellsbæjar – áfangaskýrsla 1*. BUSL – Slitlaganefnd, skýrsla S-13. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- [ÁJ 2000]. Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. *Hágæðamalbik - lokaskýrsla*. BUSL – Slitlaganefnd, skýrsla S-2. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- [ÁJ 2002]. Ásbjörn Jóhannesson og Þórir Ingason. *Ending malbiksslitlaga á Reykjanesbraut*. BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-24. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- [ÁJ 2003]. Ásbjörn Jóhannesson og Ólafur H. Wallevik. *Tilraunir með steipt slitlög á Hringvegi og Nesbraut*. Skýrsla nr. 03-18, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- [ÁJ 2004]. Ásbjörn Jóhannesson. *Steipt slitlög - áfangaskýrsla*. BUSL – Slitlaganefnd, skýrsla S-25. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- [ÁJ 2005]. Ásbjörn Jóhannesson. *Slit á tilraunaköflum Malbikunarstöðvarinnar Höfða 1989-2004*. Skýrsla nr. 05-08. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík. Lokuð skýrsla.
- [BH 2008]. Björg Helgadóttir. Upplýsingar fengnar í tölvupósti frá Björgu Helgadóttur, landfræðingi, Umhverfis- og samgöngusviði Reykjavíkurborgar.
- [BV 1989]. *Hraðamælingar 1989*. (Kort af gatnakerfi Reykjavíkur með handskrifuðum tölum um meðalhraða á allmörgum stöðum. Ómerkt að öðru leyti, en líklega gert á Gatnadeild borgarverkfræðings á sínum tíma.)
- [GA 1973]. *Verk- og mæliýsing*. Undirrituð af Guðmundi Arasyni 3-4-1973. Vegagerðin. (Gallað eintak, bls. 1 vantar, í vörslu Hauks Bergsteinssonar, Vegagerðinni).
- [MN 1991]. Nilsson, M. *Model för nuvärdesberäkning av en vägs funktionstidskostnad*. Vägverket, Serviceavdelningen, Bygg- och Driftproduktion, Borlänge.
- [OG 1987]. Gjörv, O. E., T. Bærland; H. R. Rønning. *High Strength Concrete for Highway Pavements and Bridge Decks*. Í: Proceedings, Utilization of high strength concrete. Symposium in Stavanger, Norway, June 15-18, 1987. Tapir, Trondheim.
- [PU 1998]. Ullidtz, P. *Modelling Flexible Pavement Response and Performance*. Polyteknisk Forlag, Lyngby.
- [RVK 2005]. *Árssveifla 2004. Umferð á fjórum aðalgötum Reykjavíkur*. Reykjavíkurborg, Framkvæmdasvið.
- [RVK 2008]. Reykjavíkurborg, Framkvæmda- og eignasvið. *Sniðtalningar umferðar*. <http://www.rvk.is/desktopdefault.aspx/tabid-1342> Sótt 2008-05-24.
- [SN 1992]. Steinefnanefnd. *Steinefni í bundin slitlög (V-209)*. Slitpolspróf. Vegagerðin, Reykjavík.
- [SN 1994]. *Slitmælingar*. Í: Steinefni í bundin slitlög. Ráðstefna haldin á Hótel Holiday Inn þann 17. mars 1994. Steinefnanefnd, Reykjavík.
- [SS 2000]. *SYSTAT 10. Statistics II*. SPSS Inc, Chigaco.

- [TJ 1997]. Jacobson, T., Lars-Göran Wågberg. *Utveckling av prognosemodell för beläggnings slitage, slitageprofil och årskostnad*. VTI notat nr. 21-1997. Väg- och transportforskningsinstitutet. Linköping.
- [VG 2008]. Vegagerðin. *Umferð á þjóðvegum*. <http://www.vegagerdin.is/upplýsingar-og-utgafa/umferdin/umfthjodvegum/> Sótt 2008-05-24.
- [VR 1994]. Vegagerð ríkisins. *Suðurlandsvegur. Rauðavatn – Vesturlandsvegur*. Grunnmynd og langssnið st. 440—2020.
- [VST 2005]. Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen. *Umferðarspár höfuðborgarsvæðisins, endurskoðun 2004*. http://www.rvk.is/desktopdefault.aspx/tabid-1342_3 Sótt 2008-04-03.
- [VV 2008]. Vägverket. *VVTK VÄG*. Publication 2008:78 Sótt 2008-10-31 á http://publikationswebbutik.vv.se/upload/4167/2008_78_vvtk_vag.pdf

VIÐAUKI

Nokkrar skilgreiningar

Kvarðað slit, SPS¹⁸

Efnistap af yfirborði slitlagsins mælt í tonn/km eftir umferð 1.000.000 léttra bíla á öllum fjórum hjólbörðum negldum. Önnur skilgreining og jafngild er efnistap af yfirborði slitlagsins mælt í g/bíl á hvern ekinn km á bíl sem er léttur og á fjórum negldum hjólbörðum. Tölulegt gildi SPS er hið sama, hvor skilgreiningin sem er notuð.

Kvarðað hjólfaraslit, SS¹⁹

Hjólfarsdýpkun í mm eftir umferð 1.000.000 léttra bíla á öllum fjórum hjólbörðum negldum á tveggja akreina vegi (þ.e. meðaltal í fjórum hjólförum).

Jafngildishlutfall

Hlutfall léttra bíla á fjórum negldum hjólbörðum af heildarumferð (á ársgrundvelli) að teknu tilliti til þungra bíla og naglanotkunar þeirra. Hér er reiknað með að hlutfall léttra bíla á tveim negldum hjólbörðum sé 9,2 % og að tveir slíkir valdi sliti á við einn á fjórum negldum hjólbörðum. Ennfremur er reiknað með að hluti þungra (þyngri en 2000 kg) bíla sé 7,3 % af heildarumferð, að 40 % þeirra sé á negldum hjólbörðum og að hver þeirra valdi fjórföldu sliti á við léttan bíl.

Jafngildisumferð

Sá fjöldi léttra bíla á fjórum negldum hjólbörðum sem veldur jafn miklu sliti og umferðin olli í raun á sama kafla á tímabilinu milli mælinga. Jafngildisumferð er fyrir hentugleika sakir í útreikningum talin í milljónum bíla (og broti úr milljón eftir atvikum).

Endurlögn, öðru nafni *repave*. Yfirborð slitlagsins er hitað, krafsað upp og jafnað út, síðan er lagt þunnt (20-30 mm) lag af nýju slitlagsefni yfir, allt með sömu vélasamstæðunni. Að lokum er nýja slitlagið valtað á hefðbundinn hátt.

¹⁸ SPS er skammstöfun úr sænsku fyrir *specifika beläggningsslitage*.

¹⁹ SS er skammstöfun úr sænsku fyrir *specifika spårdjupet*.