

BUSL - Slitlaganefnd

Steypt slitlög - áfangaskýrsla -

Ásbjörn Jóhannesson



BUSL er samstarf
Vegagerðarinnar,
Borgarverkfræðingsins
í Reykjavík
Rannsóknastofnunar
byggingariðnaðarins
og
Verkfræðideildar
Háskóla Íslands
um rannsókn- og þróunar-
verkefni á sviði vega- og
gatnagerðar.

Samstarfinu er stýrt af
verkefnisstjórn með fulltrúum
frá framangreindum stofnunum.
Starfinu er skipt niður á þrjú
svið, efnisgæði, slitlög og
burðarlög. Um hvern af þessum
málaflokkum hefur verið skipuð
nefnd sem ber faglega ábyrgð á
honum.

**Höfundar hverrar skýrslu
bera ábyrgð á innihaldi
hennar.**

**Niðurstöður skýrslna ber ekki
að túlka sem yfirlýsta stefnu
eða álit þeirra stofnana sem
standa að BUSL-samstarfinu.**

Í verkefnisstjórn BUSL
eru:

Frá Vegagerðinni:

Hreinn Haraldsson
Rögnvaldur Jónsson

Frá Borgarverkfræðingi:

Valur Guðmundsson
Sigurður Skarphéðinsson

Frá Verkfræðideild
Háskóla Íslands:

Sigurður Erlingsson

Verkefnisstjóri BUSL-
samstarfsins:

Þórir Ingason,
Rannsóknastofnun
byggingariðnaðarins.

BUSL - samstarf um rannsókn- og þróunarverkefni í veg- og gatnagerð	Skýrsla númer: S - 25
Vegagerðin , Borgartúni 7, 105 Reykjavík sími: 563 1400, bréfasími: 562 2332 Borgarverkfræðingurinn í Reykjavík , Skúlatúni 2, 105 Reykjavík sími: 563 2300, bréfasími: 562 8082	Dagsetning: Júní 2004
Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins , Rb-Keldnaholti, 112 Reykjavík sími: 570 7300, bréfasími: 570 7311 Verkfræðideild HÍ , Hjarðarhaga 2-6, 107 Reykjavík sími: 525 4645, bréfasími: 525 4632	Heiti verkefnis: Steypt slitlög
Höfundur: Ásbjörn Jóhannesson	Verkefnið kostað af: Rannsókn- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar
Verkefnishópur: Ásbjörn Jóhannesson og Gísli Guðmundsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins; Guðmundur Guðmundsson, Sementsverksmiðjunni hf; Halldór Jónsson, og Haukur Helgason, Steypustöðinni ehf; Halldór Geir Þorgeirsson, Steypustöð Þorgeirs og Helga hf; Rögnvaldur Gunnarsson, Vegagerðinni; Stefán L. Stefánsson, Tæknideild Kópavogsbæjar og Þorvaldur Vestmann, Tæknideild Akranesbæjar.	
Heiti skýrslu: Steypt slitlög - áfangaskýrsla.	
Ágrip (markmið, aðferðir, niðurstöður): <p>Gerðar voru rannsóknir á sex slitlagsköflum úr steinsteypu sem voru lagðir á Akranesi og í Kópavogi með skriðmótavél Steinvegar ehf sumarið 1999. Rannsóknirnar beindust fyrst og fremst að efniseiginleikum slitlagsins og yfirborðseiginleikum þess. Ennfremur var safnað upplýsingum frá steypuframleiðendum um eiginleika steypuefna og steypuframleiðsluna. Markmið verkefnisins var að kanna hvort þessi slitlög uppfylltu kröfur sem gera má ráð fyrir að steyp slitlög þurfi að uppfylla. Niðurstöður prófana voru bornar saman við kröfur í sænskum verklýsingum, þar sem íslenskar verklýsingar ná aðeins að litlu leyti til steyptra slitlaga.</p> <p>Meðal prófana sem gerðar voru á sýnum (borkjörnum) úr slitlagsköflunum voru slitlagsþykkt, kleyfniþol, frostþol, loftinnihald, fjarlægðarstuðull og loftdreifing. Ennfremur voru gerðar mælingar á hemlunarviðnámi á einum kaflanna og ýfi mælt á 4 köflum af 6. Þá hafa allir kaflarnir verið teknir út árlega og hjólfaradýpt mæld á einum þeirra á hverju sumri.</p> <p>Helstu niðurstöður skýrslunnar eru þessar:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Í stórum dráttum vantar nokkuð á að steypu slitlögin sem fjallað er um í skýrslunni uppfylli sænskar kröfur. 2. Kleyfniþol steypu á Akranesi flokkast undir T2,5 sem er nægilegt fyrir slitlög undir umferð sem er allt að 13.000 bílar á dag á tveimur akreinum samkvæmt sænskum verklýsingum. Kleyfniþol steypu í Kópavogi flokkast undir T3,5 sem takmarkar ekki umferð samkvæmt sömu verklýsingum. 3. Kröfur sænskra verklýsinga um frostþol steypu eru ekki uppfylltar. Frávikin eru þó lítil og slitlögin sýna engin merki um frostsKemmdir. Aðrar kröfur sem varða frostþol og koma fram í íslenskum verklýsingum (loftinnihald, fjarlægðarstuðull og loftdreifing) en ekki sænskum, eru ýmist uppfylltar eða ekki. 4. Kröfur sænskra verklýsinga um v/s-tölu eru uppfylltar. 5. Þykkt slitlaganna er of lítil ef miðað er við algengar kröfur um hönnunarþykktir. Fyrirhuguð (hönnuð) slitlagsþykkt er ekki þekkt. Staðalfrávik á slitlagsþykktum eru lítil sem bendir til að skriðmótavélin eigi auðvelt með að halda jafni þykkt. 6. Mælingar á rúmþyngd borkjarna úr slitlögunum benda til að þjöppun skriðmótavélarinnar sé nægileg og mjög jöfn. 7. Hemlunarviðnám hefur aðeins verið mælt á einum kafla og er fullnægjandi. 8. Ýfi hefur aðeins verið mælt á einum kafla þannig að niðurstöðurnar megi bera saman við kröfur í sænskum verklýsingum. Niðurstöðurnar uppfylla ekki áður nefndar kröfur. Ýfi hefur verið mælt á þrem köflum öðrum og niðurstöðurnar uppfylla kröfur í íslenskum verklýsingum. 9. Eftir tveggja ára umferð eru komnar sprungur í fjóra kafla af sex. Sprungurnar má sennilega rekja til of lítillar þykktar miðað við burðarþol undirbyggingarinnar og í einu tilfelli til ófullnægjandi undirbyggingar. 10. Engin tengjárn eru í fúgum, en eftir tveggja ára umferð hefur ekkert komið fram í úttektum sem bendir til að það hafi komið að sök. Fjarlægð á milli þverfuga er í sumum tilfellum meiri en sænskar verklýsingar leyfa. 11. Slit hefur verið mælt á einum kafla. Hjólfaradýpt eftir fyrsta veturinn var 6,5 mm en jókst aðeins um 1 mm veturinn þar á eftir. <p>Fyrirhuguð er að mæla slit og skoða kaflana árlega þar til annað verður ákveðið.</p> <p>Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar, niðurstöðum og ályktunum. Niðurstöður ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu eða álit þeirra stofnana sem standa að BUSL-samstarfinu</p>	
Lykilorð: Steypt slitlög, kröfur, skil, ending.	
Fjöldi blaðsíðna: 36 + 12 viðaukar	

BUSL - co-operation in the field of road research in Iceland.	Report number: S - 25
Public Roads Administration, Borgartún 7, IS-105 Reykjavík tel: +354 563 1400, fax: +354 562 2332 Public Works, Municipality of Reykjavík, Skúlatún 2, IS-105 Reykjavík tel: +354 563 2300, fax: +354 562 8082 Icelandic Building Research Institute, Rb-Keldnaholt, IS-112 Reykjavík tel: +354 570 7300, fax: +354 570 7311 University of Iceland, Faculty of Engineering, Hjarðarhaga 2-6, IS-107 Reykjavík tel: +354 525 4654, fax: +354 525 4632	Date: June 2004 Project: Concrete pavements
Author: Ásbjörn Jóhannesson	Sponsor: The Public Road Administration, Reykjavík
Working group: Ásbjörn Jóhannesson, Gísli Guðmundsson, Guðmundur Guðmundsson, Halldór Jónsson, Halldór Geir Þorgeirsson, Haukur Helgason, Rögnvaldur Gunnarsson, Stefán L. Stefánsson and Þorvaldur Vestmann.	
Report title: Concrete pavements.	
Abstract: <p>The properties of six short concrete pavement sections, laid in 1999 by use of a slip-form paver were investigated. Three of these are situated at Akranes, the other three in Kópavogur. The research was mainly aimed at the material properties of the pavements as well as surface properties. Further, information from the concrete producers concerning the concrete materials and the concrete production was collected. The aim of the project was to investigate to which extent these sections were compatible to specifications for concrete pavements, mostly Swedish, as Icelandic specifications in this field of construction are somewhat limited.</p> <p>Among tests carried out on core samples from the pavements are pavement thickness, tensile strength, freeze-thaw resistance, air content, spacing factor and specific surface. Further, the friction coefficient was measured on one of the sections and roughness on four of them. All sections have been inspected yearly as well as wear (rut depth) on one of the sections.</p> <p>The main conclusions of the report are as follows:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. In short, the sections in question do not fulfil the Swedish specifications even if some of the clauses are fulfilled. 2. Tensile strength matches to T2,5 or T3,5. The former restricts traffic volume to 13.000 ADT (in two lanes), the latter does not imply any traffic volume restrictions according to Swedish specifications. 3. The concrete does not fulfil requirements on freeze-thaw resistance. However, the deviations are small, and the sections show no signs of freeze-thaw damage. Other requirements concerning freeze-thaw resistance, set in Icelandic specifications (the Swedish one have none) are met in some cases, and not in other. 4. Requirements on v/c-ratio are met. 5. Compared to general practice, slab thickness is inadequate. However, the thickness aimed at is not known. Standard deviation of thickness measurements is small, which indicates that the slip-form paver can easily maintain the intended thickness. 6. Measurements on core samples indicate uniform and adequate compaction of the concrete. 7. Friction coefficient was measured on one section only and is adequate. 8. Roughness was measured on one section according to Swedish specifications and did not meet the requirements. However, roughness on three other sections was measured according to Icelandic specifications and the results were satisfactory. 9. After two years, four of six sections have cracked more or less. The cracks are probably due to too thin concrete slabs, in view of the base characteristics, and in one case also due to deficient subbase. 10. No dowels were placed at joints but hitherto without any consequences according to the yearly inspections. On some of the sections, the slab length exceeds what Swedish specifications prescribe. 11. Wear has been measured on one section only. After the first winter, the rut depth had become 6,5 mm but next winter added only 1 mm to that. <p>According to the project plan, the wear will be measured and the sections inspected once a year.</p> <p>The authors of this report are responsible for its contents and conclusions. The conclusions in the report should not be interpreted as the declared policy or opinions of the individual members of the BUSL co-operation</p>	
Keywords: Concrete pavements, specifications, performance, durability.	
Language: Icelandic	Number of pages: 36 + 12 appendices

FORMÁLI

Í veg- og gatnagerð hafa steypt slitlög lengi keppt við malbikuð, hvor gerð um sig hefur sína kosti og galla. Meginkostur steyptra slitlaga er slitþol gagnvart negldum hjólbörðum, sem að jafnaði er tvö- til þrefalt á við slitþol malbiks. Steypt slitlög skríða heldur ekki undir umferð eins og malbik gerir undir hægri og þungri umferð og í langvarandi hitum. Einnig eru steypt slitlög að öðru jöfnu bjartari en malbikuð slitlög, sem skiptir máli fyrir umferðaröryggi. Aftur á móti eru steypt slitlög kröfuharðari á undirbyggingu en malbikuð, steypt slitlög þola illa frostlyftingar og missig í henni. Stofnkostnaður steyptra slitlaga er mun hærri en malbikaðra og viðhald á steypnum slitlögum er einnig tafsamara fyrir umferðina en þegar malbik á í hlut. Núvirkisreikningar á samanlögðum stofn- og viðhaldskostnaði benda þó til þess að munurinn sé ekki mikill, og að steypt slitlög geti verið hagkvæmari þegar umferð er komin yfir 5000 ÁDU á tveim akreinum.

Á sínum tíma var sett steypt slitlag á Reykjanesbraut milli Hafnarfjarðar og Njarðvíkur, sömuleiðis á Vesturlandsveg frá Elliðaám og upp í Kollafjörð. Reynslan var góð miðað við þeirra tíma aðstæður, en steypt slitlög viku síðar fyrir bikbundnum slitlögum, einkum vegna kostnaðar. Á síðari árum hefur aftur vaknað áhugi á steypnum slitlögum einkum í ljósi þess að þau þola slit frá negldum hjólbörðum mun betur en bikbundin slitlög og á árunum 1985-1995 voru gerðar allmargar tilraunir með steypt slitlög af ýmsu tagi. Árangurinn var misjafn, meðal annars vegna skorts á heppilegum útlagnarbúnaði. Þessari hindrun var rutt úr vegi þegar Steinvegur ehf keypti skriðmótavél árið 1997.

Árið 1999 setti slitlaganefnd BUSL saman vinnuhóp undir forystu Rögnvaldar Gunnarssonar tæknifræðings hjá Vegagerðinni. Hópnunum var falið að safna upplýsingum um og fylgjast með nokkrum steypnum tilraunaköflum sem voru lagðir með skriðmótavél árið 1999 og þessi skýrsla er afrakstur starfsins hingað til. Í skýrslunni eru upplýsingar um staðsetningu tilraunakaflanna og umferð á þeim, steypuforskriftir, niðurstöður framleiðslu- og framkvæmdaefirlits svo og niðurstöður mælinga sem verkefnishópurinn hefur látið gera. Einnig er dregið á kröfur til steyptra slitlaga og að hve miklu leyti tilraunakaflarnir uppfylla þessar kröfur.

Skýrsluna ber að skoða sem stöðu- og framkvæmdaskýrsla, því marktæk reynsla af tilraunaköflunum fæst ekki fyrr en eftir nokkur ár. Þegar hún er fengin er fyrirhugað að gefa út lokaskýrslu.

Auk Rögnvaldar Gunnarssonar hafa eftirtaldir starfað í verkefnishópnum: Ásbjörn Jóhannesson og Gísli Guðmundsson, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarinnar; Guðmundur Guðmundsson Sementsverksmiðjunni hf; Halldór Jónsson, Steypustöðinni ehf; Halldór Geir Þorgeirsson, Steypustöð Þorgeirs og Helga hf; Haukur Helgason, Steypustöðinni ehf; Stefán L. Stefánsson, Tæknideild Kópavogsbæjar og Þorvaldur Vestmann, Tæknideild Akraneskaupstaðar. Kostnaður við verkefnið hefur að stórum hluta verið greiddur af Rannsókn- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar.

Keldnaholti í júní 2004,

Ásbjörn Jóhannesson.

EFNISYFIRLIT

FORMÁLI

1. INNGANGUR	5
2. KRÖFUR TIL STEYPTRA SLITLAGA	6
2.1 Kröfur til steypuefna	6
2.1.1 Steinefni	6
2.2 Kröfur til steypu	7
2.2.1 Styrkleiki	7
2.2.2 Frostþol	8
2.2.3 Líming milli laga	9
2.3 Kröfur til slitlagseiginleika	9
2.3.1 Hemlunarviðnám	9
2.3.2 Ýfi í lengdarstefnu	9
2.3.3 Ýfi á þverveginn	10
2.3.4 Þykkt	10
2.3.5 Fúgur	10
2.3.6 Sprungur	10
2.4 Tillögur CEN að kröfum til steyptra slitlaga	10
3. TILHÖGUN RANNSÓKNA OG PRÓFUNARADFERÐIR	12
4. NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA	13
4.1 Jaðarsbraut á Akranesi	13
4.1.1 Staðsetning, aðstæður og umferð	13
4.1.2 Steypuefni og hönnun	13
4.1.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits	13
4.1.4 Útlögn, sögun og aðhlyning	13
4.1.5 Efniseiginleikar slitlagsins	14
4.2 Leynisbraut á Akranesi	15
4.2.1 Staðsetning, aðstæður og umferð	15
4.2.2 Steypuefni og hönnun	16
4.2.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits	16
4.2.4 Útlögn, sögun og aðhlyning	16
4.2.5 Efniseiginleikar slitlagsins	16
4.3 Stillholt á Akranesi	18
4.3.1 Staðsetning, aðstæður og umferð	18
4.3.2 Steypuefni og hönnun	18
4.3.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits	18
4.3.4 Útlögn, sögun og aðhlyning	18
4.3.5 Efniseiginleikar slitlagsins	19
4.4 Fífuhvammsvegur í Kópavogi	20
4.4.1 Staðsetning, aðstæður og umferð	20
4.4.2 Steypuefni og hönnun	21
4.4.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits	21
4.4.4 Útlögn, sögun og aðhlyning	22
4.4.5 Efniseiginleikar slitlagsins	22
4.5 Dalvegur í Kópavogi	24
4.5.1 Staðsetning, aðstæður og umferð	24
4.5.2 Steypuefni og hönnun	24
4.5.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits	25
4.5.4 Útlögn, sögun og aðhlyning	25
4.5.5 Efniseiginleikar slitlagsins	26
4.6 Tenging við Hafnarfjarðarveg	27
4.6.1 Staðsetning, aðstæður og umferð	27

4.6.2	Steypuefni og hönnun	28
4.6.3	Niðurstöður framleiðslueftirlits	29
4.6.4	Útlögn, sögun og aðhlyning	29
4.6.5	Efniseiginleikar slitlagsins	29
5.	ÍGRUNDUN OG ÁLYKTANIR	31
5.1	Almennt	31
5.2	Kröfur til steypuefna	31
5.3	Kröfur til steypu	32
5.4	Eiginleikar slitlags	32
5.5	Ályktanir	33
6.	FYRIRHUGAÐ EFTIRLIT Á NÆSTU ÁRUM	34
	HEIMILDIR	35
	MYNDIR	
Mynd 4.1:	Hönnunarferill steypublöndu í slitlag á Fífuhvammsveg í Lindahverfi	21
Mynd 4.2:	Þróun skemmda á steypu slitlagi á Fífuhvammsvegi í Lindahverfi	23
Mynd 4.3:	Hönnunarferill steypublöndu í slitlag á Dalveg í Kópavogi	25
Mynd 4.4:	Hönnunarferill steypublöndu í slitlag á Fífuhvammsveg í Kópavogi, tengingu við Hafnarfjarðarveg	28
	TÖFLUR	
Tafla 2.1:	Kröfur Vegagerðarinnar til sáldurferils fylliefna í steypu	6
Tafla 2.2:	Norskar kröfur (leiðbeinandi) til styrkleika steinefna í steypu slitlög	7
Tafla 2.3:	Sænskar kröfur til styrkleika steinefna í steypu slitlög	7
Tafla 2.4:	Sænskar kröfur til ýfis í akstursstefnu, mældu með réttsskeið á slitlagi fyrir 90 km hámarkshraða	9
Tafla 4.1:	Niðurstöður burðarþolsprófana á Fífuhvammsvegi í Lindahverfi	20
	VIÐAUKAR	
Viðauki 1:	Skilgreining verkefnis	
Viðauki 2:	Niðurstöður rannsókna og úttekta á Jaðarsbraut á Akranesi	
Viðauki 3:	Niðurstöður rannsókna og úttekta á Leynisbraut á Akranesi	
Viðauki 4:	Niðurstöður rannsókna og úttekta á Stillholti á Akranesi	
Viðauki 5:	Niðurstöður rannsókna og úttekta á Fífuhvammsvegi í Kópavogi	
Viðauki 6:	Niðurstöður rannsókna og úttekta á Dalvegi í Kópavogi	
Viðauki 7:	Niðurstöður rannsókna og úttekta á tengingu Fífuhvammsvegar í Kópavogi við Hafnarfjarðarveg	
Viðauki 8:	Dorry-próf á sýnum úr steypum slitlögum	
Viðauki 9:	Áhrif nokkurra þátta á niðurstöður frostþolsprófana á sýnum úr steypum slitlögum	
Viðauki 10:	Áhrif nokkurra þátta á niðurstöður rúmþyngdarmælinga á sýnum úr steypum slitlögum	
Viðauki 11:	Niðurstöður skoðunar á þunnsneiðum úr sýnum úr steypum slitlögum	
Viðauki 12:	Mælingar á hemlunarviðnámi	

1. INNGANGUR

Saga steyptra slitlaga á Íslandi hófst 1937 þegar 350 m kafla var steypdur á Suðurlandsbraut í Sogamýri [Njörður Tryggvason 1999:13]. Síðan hafa götur af og til verið steypar í þéttbýli, hvergi þó nærri eins og á Akranesi, en þar var steypa um 60 % af bundnu slitlagi 1995 [Njörður Tryggvason 1999:21]. Blómaskeið steyptra slitlaga á Íslandi var í tímabilinu 1960-1975, en þá var Reykjanesbrautin steypd á milli Hafnarfjarðar og Njarðvíkur og Vesturlandsvegurinn frá Elliðaám upp í Kollafjörð, samanlagt um 50 km. Í lok þessa tímabils var um þriðjungur bundinna slitlaga á þjóðvegum steypdur. Um sama leyti komu ódýrar klæðingar til sögunnar í íslenskri vegagerð og steypd slitlög urðu undir í samkeppninni.

Síðan hafa steypd slitlög á þjóðvegum aðeins verið gerð í tilraunaskyni. Á seinni hluta níunda áratugarins voru gerðar nokkrar tilraunir með þunn steypd slitlög til viðhalds á slitnu malbiki eða steypu, en þau náðu ekki fótfestu, meðal annars vegna þess að þeim hætti til að flagna af undirlaginu. Árið 1994 var lagður tilraunakafla úr slitpolinni hástyrkleikasteypu á Suðurlandsveg við Rauðavatn. Kaflinn mistókst að hluta til, bæði vegna þess að hann uppfyllti ekki kröfur um sléttleika og sprakk illa vegna plastískrar rýrnunar í steypunni. Hins vegar eru allar horfur á að kaflinn muni reynast vel slitpolinn. Annar tilraunakafla var lagður á Nesbraut við Suðurlandsveg sumarið 1995 af dönskum vinnuflokki með malbikunarvél sem hafði verið breytt til að hægt væri að leggja steypu með henni. Þessi tilraun misheppnaðist, steypan hentaði ekki útlagningaraðferðinni, holrýmd í steypunni varð of mikil, einkum í neðri hluta slitlagsins og yfirborðið trosnaði verulega á blettum strax á fyrsta vetri svo viðgerðir voru óhjákvæmilegar. Slitið er viðlíka og á malbiki, hjólför dýpka lítið eitt hægar en á malbiki við svipaðar aðstæður.

Þrátt fyrir þessi skakkaföll hefur tilraunum með vegasteypu verið haldið áfram. Árið 1997 keypti Steinvegur ehf skriðmótavél til að leggja steypu, Gomaco 2500B, sem getur lagt steypd slitlag í 5-50 cm þykkt og allt að 10 m breidd [Halldór Jónsson 2001]. Með henni var lagt steypd slitlag á tvær götur á Akranesi 1998, á aðrar þrjár 1999 einnig á Akranesi og sama sumar á fjóra kafla á götum í Kópavogi.

Með tilkomu vélar Steinvegur ehf. hafa forsendur fyrir steypdum slitlögum breyst nokkuð, þar sem vélin er hin fyrsta sinnar tegundar hérlendis. Í þessum tilraunum hefur einnig verið farið inn á nýjar brautir, slitlögin eru þynnri en hefðbundin hönnun gerir ráð fyrir og einn þessara kafla var lagður ofan á slitið malbik. Með hliðsjón af þessum nýjungum var ákveðið að fylgja þessum tilraunum eftir með gagnasöfnun um tilraunirnar og reynslu af þeim. Í þessu skyni voru valdir sex kaflar allir lagðir 1999. Þrír þeirra eru á Akranesi en hinir þrír í Kópavogi. Gagnasöfnunin nær í meginráttum til aðstæðna á tilraunaköflunum, steypuefna, steypueiginleika, slitlagseiginleika og reynslu af tilraunaköflunum fyrstu tvö árin.

2. KRÖFUR TIL STEYPTRA SLITLAGA

Þegar árangur af tilraunum með slitlög er metinn er æskilegt að hafa fyrirfram ákveðnar kröfur til að miða við. Þar sem núgildandi verklýsingar Vegagerðarinnar [Vegagerðin 1995] hafa engin sérákvæði um steypit slitlög var brugðið á það ráð að styðjast við erlendar verklýsingar að því leyti sem verklýsingar Vegagerðarinnar eru ófullnægjandi. Fyrir valinu urðu sænskar og norskar verklýsingar öðrum fremur og liggja til þess tvær ástæður. Annars vegar er slit af völdum negldra hjólbarða meginorsök viðhalds á vegum hérlendis með umferð yfir 2000 ÁDU og þess vegna er óhjákvæmilegt að taka verulegt tillit til slitþols í verklýsingum fyrir steypit slitlög og hönnun þeirra. Hins vegar þarf að taka tillit til veðurfars, bæði vegna hættu á frostlyftingum og á skemmdum af völdum saltnotkunar. Að þessu leyti er margt líkt með aðstæðum á Íslandi annars vegar og Noregi og Svíþjóð hinsvegar. Þar eru negldir hjólbarðar notaðir í viðlíka mæli og hér, veðurfar gerir svipaðar kröfur til undirbyggingar og slitlaga, auk þess sem báðar þjóðirnar hafa unnið talsvert að rannsóknum á steypum slitlögum á síðustu árum.

Í þessum kafla er gerð grein fyrir helstu kröfum í norskum [Statens vegvesen 1999a] og sænskum [Vägverket 2000a, Vägverket 2000g] verklýsingum um gerð steyptra slitlaga. Yfirlitið er engan veginn tæmandi. Til dæmis hafa sænskar verklýsingar nákvæm fyrirmæli um prófunaraðferðir og um fjölda sýna en þessum fyrirmælum eru sjaldnast gerð nein skil hér á eftir, heldur er megináherslan lögð á kröfur til fylliefnis, eiginleika steypu og eiginleika slitlagsins. Eins og áður er sagt hafa verklýsingar Vegagerðarinnar [Vegagerðin 1995] engin sérákvæði um steypit slitlög, en ákvæði þeirra um steypit mannvirki eru tekin með að svo miklu leyti sem ætla má að þau eigi við um steypit slitlög.

Til fróðleiks er sagt í stuttu máli frá frumvarpi að Evrópustöðlum um steypit slitlög, en þeir munu væntanlega taka gildi í öllum aðildarlöndum CEN (þar á meðal Íslandi) innan fárra ára. Í rauninni eru ákvæði þessa frumvarps þegar farin að hafa áhrif hérlendis þar sem verklýsingar Vegagerðarinnar taka fram að steypa skuli alltaf uppfylla grundvallarkröfur skv. greinum 5.2-5.10 í FS ENV 206:1990 [STRÍ 1990:10] sé ekki mælt fyrir um ýtarlegri kröfur [Vegagerðin 1995:89].

2.1 Kröfur til steypuefna

2.1.1 Steinefni

Íslenskar verklýsingar. Í þeim segir að sáldurferill fylliefnis í steypu skuli að öðru jöfnu liggja innan markanna sem eru tiltekin í töflu 2.1 [Vegagerðin 1995:89].

Tafla 2.1: Kröfur Vegagerðarinnar til sáldurferils fylliefna í steypu.

ISO sigti, mm	Sáldur, þyngdar %	
	efri mörk	neðri mörk
0,063	9	2
0,125	14	5
0,25	20	8
0,5	30	11
1	43	17
2	55	24
4	68	34
8	82	47
16	98	66
31,5		94

Ennfremur segir í sömu verklýsingum að fylliefni skuli ekki innihalda skaðlega efnisþætti í slíku magni að það geti haft skaðleg áhrif á haldgæði steypunnar; sett eru mörk fyrir alkalívirgni fylliefna og prófhlyta, svo og innihald NaCl í fylliefninu; einnig eru tilmæli í verklýsingunum um að niðurstöður berggreiningar séu í samræmi við tilgreindar kröfur.

Norskar verklýsingar. Gerð er krafa um að grófa steinefnið sé annaðhvort þúkk eða mulin mól og minnst 70 % yfirborðsins sé brotflötur.

Í verklýsingunum eru birtar leiðbeinandi kröfur til sáldurferils fylliefna, en þær ber ekki að skoða sem ófrávíkjanlegar. [Statens vegvesen 1999a:273]. Sama er að segja um kröfur til styrkleika steinefna, þær eru leiðbeinandi, sjá töflu 2.2 [Statens vegvesen 1999a:305].

Tafla 2.2: Norskar kröfur (leiðbeinandi) til styrkleika steinefna í steypit slitlög.

Umferð/ Eiginleiki	3000-5000 ÁDU ¹	5000-15000 ÁDU ¹	> 15000 ÁDU ¹
Steinefnisflokkur, lágmark	2 eða 3	2	1
Kleyfni efnis > 11,2 mm, hámark	1,45	1,45	1,45
Slittala, Dorry, hámark	0,55	0,45	0,40
Kúlnakvarnargildi, viðmiðun, hámark	11	9	6
Sa-gildi, hámark	3,0	2,5	2,0
Los Angeles gildi, viðmiðun, hámark	20	20	15

Sænskar verklýsingar. Tafla 2.3 sýnir styrkleikakröfur til steinefna í steypit slitlög [Vägverket 2000g:17]. Ath: Skilin á milli umferðarflokka eru umreiknuð þannig að þau svari til íslenskra aðstæðna.

Tafla 2.3: Sænskar kröfur til styrkleika steinefna í steypit slitlög (Umferðartölurnar eiga við áætlaða hámarksuferð á tveim akreinum fyrstu 10 ár slitlagsins.)

Eiginleiki	Krafa	
	ÁDT < 13.000	ÁDT > 13.000
Slípitala ² kornastærð 9,5-11,2 mm	<1,8	<1,4
Hrökkni, kornastærð 8-11,2 mm	<50	<45
Kúlnakvarnargildi, kornastærð 11,2-16 mm	<12	<9
Kleyfni, kornastærð > 5,6 mm	≤ 1,45	≤ 1,45

Ennfremur er gerð krafa um að hámarks kornastærð fylliefnis sé ≤ 16 mm. Með hliðsjón af slitþoli er talið æskilegt að sá hluti efnisins sem smýgur 8 mm sikti sé ekki meiri en helmingur.

2.2 Kröfur til steypu

2.2.1 Styrkleiki

Íslenskar verklýsingar. Steypa í umhverfisflokk 4b (undir hann fellur mettað saltloft, sem væntanlega á við þar sem salt er notað til hálkvarna) skal að lágmarki uppfylla styrkleikakröfur til C35 [Vegagerðin 1995:90] nema annað sé tekið fram.

Norskar verklýsingar. Þær gera ekki lágmarkskröfur til steypustyrkleika, en bent á að hann hefur áhrif á slitþol og slitlagsþykkt. Leiðbeinandi steypustyrkur er, með hliðsjón af umferð [Statens vegvesen 1999a:128]:

¹ Umferð á tveim akreinum.

² Slípitala, á sænsku: *sliptal*, afbrigði af Dorry-prófi.

- 3000-15.000 ÁDU³: C45_T-C75_T (svarar til 36-64 MPa sívalningsstyrkleika)
- > 5000 ÁDU³: C75_T-C105_T (svarar til 64-94 MPa sívalningsstyrkleika)

Sænskar verklýsingar. Í sænskum verklýsingum [Vägverket 2000g:15] eru gerðar kröfur um að steypan skuli vera í styrkleikaflokkum T2,5, T3,5 eða T4,5. Flokkunin byggist á kleyfniþoli. Frekari kröfur eru ekki gerðar til styrkleika en með hliðsjón af slitþoli er í sömu verklýsingum mælt til að T3,5 eða T4,5 sé valin ef umferðin er meiri en 13.000 ÁDT á tveim akreinum, annars T2,5.

2.2.2 Frostþol

Íslenskar verklýsingar. Gerð er krafa um að veðrunarþol steypu sé sannreynt samkvæmt SS 13 72 44 [SS 1995] og að flögnun sé minni en 0,5 kg/m² eftir 28 frost/þíðuumferðir. Sé annað ekki tilgreint skal loftmagn að lágmarki vera 6 %, yfirborð loftbólna $\geq 25 \text{ mm}^{-1}$, fjarlægðarstuðull $< 0,2$ og v/s-tala $\leq 0,4$ [Vegagerðin 1995:90].

Norskar verklýsingar. Steypa skal vera frostþolin [NS 1999a:60]. Ef steypa nær C65_T (svarar til 54 MPa sívalningsstyrks) eða meira þarf ekki að blanda hana með lofti [Statens vegvesen 1999a:272]. Að öðrum kosti skal loftinnihald vera 3,5-6,5 % [NS 1999b:41]. V/c-tala skal að hámarki vera 0,45.

Sænskar verklýsingar. Frostþol steyptra slitlaga skal uppfylla kröfur til umhverfisflokks B4 [Vägverket 2000g:16]. Kröfurnar eru eftirfarandi [BBK94 1999:26]:

- Við hönnun skal frostþol steypu, prófað skv. SS 13 72 44, uppfylla kröfur um gott frostþol, það er:
 - a) meðalflögnun eftir 56 umferðir (m_{56}) skal vera minni en 0,20 kg/m² eða;
 - b) meðalflögnun eftir 56 umferðir (m_{56}) skal vera minni en 0,50 kg/m² og jafnframt skal m_{56}/m_{28} vera minna en 2⁴ eða;
 - c) meðalflögnun eftir 112 umferðir skal vera minni en 0,50 kg/m².
 Auk þess er gerð krafa um að flögnun á hverju einstöku sýni⁵ sé minni en 1,5 kg/m². Ef steypa er blönduð kísilryki skal framlengja prófun í 112 umferðir, en kröfur um flögnun eru óbreyttar.
- Við framleiðslueftirlit skal frostþol steypu, prófað skv. SS 13 72 44, uppfylla kröfur um viðunandi frostþol, það er:
 - a) meðalflögnun eftir 56 umferðir (m_{56}) skal vera minni en 1,00 kg/m² og jafnframt skal m_{56}/m_{28} vera minna en 2⁴ eða;
 - b) meðalflögnun eftir 112 umferðir skal vera minni en 1,00 kg/m².
- Rétt fyrir niðurlögn skal loftinnihald í steypu með 16 mm stærstu kornastærð vera $\geq 6 \%$, helst 7 %. Frá þessu ákvæði má þó víkja ef frostþol hefur verið sannað með prófun skv. SS 13 72 44.
- V/s-tala skal að hámarki vera 0,45.

³ Umferð á tveim akreinum, hvorri í sína átt.

⁴ Ákvæðið um að m_{56}/m_{28} skuli vera minna en 2 er sett til að útiloka steypu sem er þannig að meðalflögnun á tímaeiningu fer vaxandi með tíma. Ákvæðinu er hinsvegar ekki alltaf fylgt eftir.

⁵ Hér er reiknað með að sýnin séu teningar með 225 cm² prófflatarmál.

2.2.3 Líming milli laga

Hvorki sænskar, norskar né íslenskar verklýsingar hafa ákvæði um límingu milli laga þegar steyppt slitlag er lagt ofan á gamalt malbik eða steypu. Tillögur CEN að verklýsingum fyrir steyppt slitlög hafa heldur engin ákvæði þessa efnis. Hins vegar telur Dan Frentess [ACPA 2002] að æskilegur skúfstyrkur bindingsins sé 200 psi (1,4 MPa) ef þykkt slitlagsins er 100 mm eða minni. Ef þykktin er meiri er bindingurinn ekki talinn skipta máli.

2.3 Kröfur til slitlagseiginleika

2.3.1 Hemlunarviðnám

Norskar verklýsingar. Hemlunarviðnám á bundnu slitlagi skal vera $\geq 0,4$, mælt við 60 km/klst á blautu slitlagi [Statens vegvesen 1999b:51].

Sænskar verklýsingar. Hemlunarviðnám á bundnu slitlagi skal vera $\geq 0,5$, mælt skv. VV MB 104:1990 [Vägverket 2000a:8].

2.3.2 Ýfi í lengdarstefnu

Íslenskar verklýsingar. Á steypptu slitlagi á vegtegund A og B1 skal mæla ýfi með 4 m réttsskeið og skulu mestu ójöfnur í lengdarstefnu vera ≤ 5 mm. Ef vegtegund B2 eða B3 á í hlut skal mælt með 3 m réttsskeið og þá skulu ójöfnur í lengdarstefnu vera ≤ 6 mm [Vegagerðin 1995:6].

Norskar verklýsingar. Á bundnu slitlagi stofn- og safnbrauta skal ýfi í lengdarstefnu vera ≤ 4 mm, mælt með 3 m réttsskeið [Statens vegvesen 1999a:214].

Sænskar verklýsingar. Kröfurnar eru flóknaðar og engin leið að gera þeim tæmandi skil í stuttu máli. Þær gera ráð fyrir að ýfi sé mælt með mælíbíl (mælikvarði: IRI⁶) eða 3 m réttsskeið.

Svo dæmi sé tekið um kröfur fyrir veg með nýlögðu, bundnu slitlagi og 90 km/klst hámarkshraða á ýfið, mælt með mælíbíl, að vera $\leq 1,7$ IRI á sérhverjum 20 m bítum. Þessu til viðbótar koma ákvæði um að á hverjum 400 m kafla (20 slíkum bítum) skuli ýfið að meðaltali vera $\leq 1,4-0,4$ s þar sem s er staðalfrávik ýfis á áður nefndum 20 bítum og ennfremur skal s vera $\leq 0,5$ [Vägverket 2000a:17].

Ef réttsskeið er notuð eru frávikin mæld í fjórðungspunktum réttsskeiðarinnar, öðrum en endapunktum hennar. Til mælinga er valinn 400 m langur kafli af handahófi og á honum 15 mælistaðir eftir tilteknum reglum. Tafla 2.4 sýnir kröfur sem gerðar eru í hverjum mælistað fyrir veg með 90 km/klst hámarkshraða. Tólf mælistaðir af þessum 15 þurfa að uppfylla kröfurnar og mælistaður telst því aðeins uppfylla kröfurnar að allar kröfur í töflunni séu uppfylltar [Vägverket 2000a:19].

Tafla 2.4: Sænskar kröfur til ýfis í aksturstefnu, mældu með réttsskeið á slitlagi fyrir 90 km hámarkshraða.

Mæling	Krafa, mm
Frávik í 1. og 3. fjórðungspunkti	≤ 2
Frávik í 2. fjórðungspunkti	≤ 3
Mismunur frávika í 1. og 2. og/eða 1. og 3. fjórðungspunkti	≤ 3

⁶ IRI er skammstöfun fyrir *International Roughness Index*. Lauslega skilgreint er IRI er sléttleikatala sem fæst með stærðfræðilegri hermun á akstri farartækis á einu hjóli með hraðanum 80 km/klst eftir vegarsniði sem er lýst á stærðfræðilegan hátt [de Wit 1999:37].

2.3.3 Ýfi á þverveginn

Íslenskar verklýsingar. Á steypu slitlagi á vegtegund A og B1 skal mæla ýfi með 4 m réttsskeið og skulu mestu ójöfnur á þverveginn vera ≤ 5 mm. Ef vegtegund B2 eða B3 á í hlut skal mælt með 3 m réttsskeið og þá skulu mestu ójöfnur í lengdarstefnu vera ≤ 6 mm [Vegagerðin 1995:6].

Norskar verklýsingar. Á bundnu slitlagi stofn- og safnbrauta skal ýfi á þverveginn vera ≤ 6 mm, mælt með 3 m réttsskeið [Statens vegvesen 1999a:214].

Sænskar verklýsingar. Kröfurnar eru flóknaðar og engin leið að gera þeim tæmandi skil í stuttu máli. Þær gera ráð fyrir að ýfi sé mælt með mælíbíl eða 3 m réttsskeið.

Sé mælt með mælíbíl skal hjólfaradýpt á nýlögðu bundnu slitlagi ekki vera meiri en 2,5 mm að meðaltali á hverjum 400 m kafla og ekki meiri en 3 mm á sérhverjum 20 m bít innan kaflans [Vägverket 2000a:17].

Sé ýfi á þverveginn mælt með réttsskeið gilda sömu fyrirmæli og kröfur og þegar ýfi er mælt á langveginn, sjá kafla 2.3.2 [Vägverket 2000a:18].

2.3.4 Þykkt

Norskar verklýsingar. Minnst 80 % borkjarna skal ná hönnunarþykkt, og minnst 95 % borkjarna skal ná 95 % af hönnunarþykkt. Enginn kjarni má fara meira en 20 mm niður fyrir hönnunarþykkt [Statens vegvesen 1999a:273].

Sænskar verklýsingar. Meðalþykkt skal ekki fara undir hannaða þykkt að frádregnum (8,0-0,58s) mm, þar sem s er staðalfrávik mældra þykkt. Auk þess skal s vera ≤ 12 mm. Sé frávik 15 mm eða meira á einstakri mælingu gilda sérstök ákvæði um úrbætur [Vägverket 1999g:15].

2.3.5 Fúgur

Norskar verklýsingar. Í þver- og langsfúgur skal setja tengijárn skv. nánari fyrirmælum. Heppileg fjarlægð milli þverfúga eru 4-6 m, þó er æskilegt að hún sé ekki meiri en 25-föld slitlagsþykkt. Fjarlægð milli langsfúga skal vera ≤ 5 m. Ef þéttlistum í fúgunar er sleppt, er gerð krafa um að undirlagið haldi burðarþoli sínu þótt það blotni [Statens vegvesen 1999a:273].

Sænskar verklýsingar. Þver- og langsfúgur skulu vera vatnspéttar og í þær skal setja tengijárn. Fjarlægð milli þverfúga skal vera 5 m og á milli langsfúga ≤ 5 m [Vägverket 2000g: 16].

2.3.6 Sprungur

Norskar verklýsingar. Um sprungur segir einungis að slitlagið skuli sagað í tæka tíð þannig að það springi ekki annarsstaðar en í fúgum [Statens vegvesen 1999a:276].

Sænskar verklýsingar. Slitlagið skal vera laust við sýnilegar sprungur, annarsstaðar en í fúgum [Vägverket 2000g: 15].

2.4 Tillögur CEN að kröfum til steyptra slitlaga

CEN hefur samið frumvarp að tveim stöðlum [CEN 1998a, CEN 1998b]. Annað uppkastið fjallar um kröfur til efnis í steypu slitlög og ferskrar steypu, hitt um skilakröfur (functional requirements) til steyptra slitlaga. Í báðum frumvörpum eru frekari tilvísanir, meðal annars til prófunaraðferða.

Fyrri frumvarpið byggist að nokkru á tilvísunum í prEN 206 [CEN 1990] en gefur hönnuði að öðru leyti mikið frelsi til ákvarðana um efniskröfur og eiginleika ferskrar steypu. Síðara frumvarpið setur fram eftirfarandi skilakröfur til slitlagsins:

- Sýnilegar sprungur skulu ekki vera í ójárnbentum, steypum slitlögum.
- Styrkleiki slitlagsins skal mældur á borkjörnum, annaðhvort með mælingu á þrýstipóli eða kleyfnipóli. Tilmæli um lágmarksstyrkleika eru sett fram í frumvarpinu.
- Þykkt slitlagsins má mæla á borkjörnum eða með annarri tiltekinni aðferð sem ekki krefst borkjarna (non-destructive method). Meðalþykkt skal ekki vera minni en tilskilið er í verklýsingu og engan kjarna má vanta meira en 5 mm upp á tilskilda þykkt.
- Rúmþyngd borkjarna skal ekki vera minni en 95 % af rúmþyngd fullþjappaðra mótaðra sýna af sömu steypu eftir sömu hörðun.
- Í frumvarpinu er gert ráð fyrir þrem frostpólsflokkum og að líkindum verður prófunaraðferðin í samræmi við SS 13 72 44 [SS 1995]. Ströngustu kröfurnar takmarka leyfilega flögnun við 0,5 kg/m² eftir 28 umferðir, 1,0 kg m² eftir 56 umferðir og hlutfall milli flögnunar eftir 56 umferðir annars vegar og 28 umferðir hins vegar við 2,0. Jafnframt er gerð krafa um að af engu einu sýni flagni meira en 1,5 kg/m². Heimilt er að sleppa öllum kröfum um frostpól.
- Í frumvarpinu er gert ráð fyrir fjórum slitpólsflokkum. Strangasta krafan gerir ráð fyrir RWI⁷ ≤ 85 en sú vægasta leyfir RWI > 135. Ennfremur er heimilt að sleppa öllum kröfum um slitpól.
- Ef gerðar eru kröfur um viðloðunarstyrk (bindingsstyrk) milli tveggja steypulaga, þá skulu prófunarniðurstöðurnar uppfylla eftirtalin skilyrði:

$$X_m \geq f_v + 1,4 * s_n$$
 þar sem:
 - X_m = meðaltal mælinga á viðloðunarstyrk (N/mm²)
 - f_v = krafa um viðloðunarstyrk (N/mm²). Frumvarpið tilgreinir $f_v=1,0$ N/mm² (1,0 MPa) sem algenga kröfu fyrir venjulega steypu.
 - s_n = staðalfrávik á viðloðunarstyrk, þó aldrei minna en 0,4
- Í frumvarpinu eru tilmæli um umfang prófana og ennfremur um frágang á tengijárnum ef þau eru notuð. Auk þess er líklegt að kröfur um yfirborðseiginleika muni verða teknar upp í frumvarpið.

⁷ RWI er skammstöfun fyrir *Relative Wear Index* sem er hlutfall (í %) slits á prófsýni af sliti á staðal-sýni sem prófuð eru í “Veisliteren” eða með hliðstæðri prófunaraðferð [Hultqvist 1996:17]. RWI 100 svarar um það bil til 17 SPS við íslenskar aðstæður.

3. TILHÖGUN RANNSÓKNA OG PRÓFUNARADFERÐIR

Sex kaflar voru valdir til rannsókna, allir steypdir með skriðmótavél Steinvegar ehf árið 1999. Þrír þeirra voru á Akranesi og aðrir þrír í Kópavogi. Einn kaflanna er lagður á slitíð malbik, (tenging Fífuhvammsvegar við Hafnarfjarðarveg) hinir á óbundið burðarlag. Við tvo þessara kafla eru handlagðar breikkarnir. Þær eru strangt tekið ekki hluti af rannsókninni, þar sem búast má við að eiginleikar þeirra séu aðrir en þess hluta slitlagsins sem var lagður með vél. Engu að síður voru rannsóknirnar látnar ná til þessara breikkana en niðurstöðunum er haldið sér. Kaflarnir eru þessir:

- Jaðarsbraut á Akranesi á milli Skagabrautar og Faxabrautar.
- Leynisbraut á Akranesi, frá Garðagrund að Innesvegi.
- Stíllholt á Akranesi á milli Dalbrautar og Kirkjubrautar.
- Fífuhvammsvegur í Kópavogi milli Hlíðardalsvegar og Salavegar.
- Dalvegur í Kópavogi frá undirgöngum að Kópavogslæk.
- Hluti af tengingu Fífuhvammsvegar í Kópavogi við Hafnarfjarðarveg.

Í verkefnislýsingu var gert ráð fyrir ítarlegum athugunum á ýmsum slitlags-eiginleikum. Vegna fjárskorts varð að fella hluta þeirra niður, að minnsta kosti tímabundið. Listi yfir þessar athuganir fer hér á eftir og þar er einnig tilgreint hverjum hefur verið slegið á frest að svo stöddu.

Rannsóknir á efniseiginleikum slitlags:

- Þrýstipólspóf á borkjörnum (sleppt).
- Frostpólspóf á borkjörnum.
- Smásjártalning á lofti í borkjörnum.
- Kleyfnipróf á borkjörnum.
- Dorry-slitpól á borkjörnum.
- Próf á styrkleika bindings milli steypu og malbiks í borkjörnum.
- Rúmpyngd borkjarna.
- Smásjargreiningar á þunnsneiðum úr borkjörnum.

Rannsóknir á yfirborðseiginleikum slitlags:

- Mælingar á ýfi (ósléttleika, sleppt að hluta)
- Mælingar á sliti á einum kafla (efnistap og hjólfaradýpt)
- Mælingar á misgengi á plötuskilum (sleppt)
- Mælingar á hemlunarviðnámi.
- Mælingar á umferðarhávaða (sleppt).
- Úttektir (árlegar).

Ennfremur var gert ráð fyrir að safna upplýsingum frá steypuframleiðendum um steypuframleiðslu og eiginleika steypuefna.

Auk rannsókna sem hafa verið felldar niður vantar ýmsar upplýsingar sem ekki hefur tekist að koma höndum yfir af ýmsum ástæðum. Þetta á einkum við um Fífuhvammsveg milli Hlíðardalsvegar og Salavegar.

Í næsta kafla er greint frá niðurstöðum rannsókna svo langt sem þær ná að svo stöddu. Þær eru bornar saman við kröfur í sænskum verklýsingum (sbr. kafla 2) ef kröfur til viðkomandi eiginleika eru tilteknar í þeim, annars kröfur skv. íslenskum, norskum eða CEN-verklýsingum. Sænskar verklýsingar eru látnar sitja í fyrirrúmi af tveimur ástæðum. Í fyrsta lagi hafa nógildandi verklýsingar Vegagerðarinnar engin sérákvæði um steypd slitlög. Í öðru lagi má gera ráð fyrir að staðlar CEN um steypd slitlög taki gildi hérlendis áður en langt um líður og sem stendur er uppkast CEN að stöðlum um steypd slitlag einna líkast sænsku verklýsingunum.

4. NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA

4.1 Jaðarsbraut á Akranesi

4.1.1 Staðsetning, aðstæður og umferð

Kaflinn nær frá Skagabraut að Faxabraut og var lagður í sömu átt. Hann er um 275 m langur. Kaflinn var steypdur í 7,5 m breidd en að auki er handlögð breikkun um 1,5 m á breidd meðfram kaflanum endilöngum sunnan megin. Fyrstu 70 metrarnir liggja í aflíðandi halla og mjúkri beygju (um 120°), eftir það er gatan bein og hallalaus. Gatan flokkast væntanlega sem vegtegund B3 [Vegagerðin 1993]. Umferð er minni en 500 bílar á dag og þungaumferð er lítil sem engin.

Götustæðið er sendin malarfylling sem gæti verið leifar af sjávarkambi og líklega stutt ofan á klöpp á blettum. Malarfyllingin var notuð sem burðarlag að undanteknum 50 m² þar sem skipt var um jarðveg vegna lélegrar burðargetu. Burðarlagið var ekki burðarþolsprófað.

4.1.2 Steypufni og hönnun

Steypan var framleidd af Þorgeiri og Helga hf og eftirfarandi upplýsingar um hönnun steypunnar eru teknar úr (einni) framleiðsluskýrslu [Þorgeir & Helgi 1999a].

Styrkleikaflokkur:	C40
Sandur, 0-6 mm:	Skorholt, 994 kg/m ³
Möl, 8-25 mm:	Hólabrú, 596 kg/m ³
Möl, 6-25 mm:	Skorholt, 398 kg/m ³
Sement, portland:	380 kg/m ³
Kem 19:	2,2 kg/m ³
Kem 99:	2,5 kg/m ³
v/c-tala:	0,380
Loft:	6,0 %

Sáldurferill er ekki tilgreindur í framleiðsluskýrslu.

Slittölur steinefnis eru 0,53 (Hólabrú) og 0,41 (Skorholt). Vegið meðaltal slittölu á efni > 8 mm er 0,48.

4.1.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits

Framleiðsluskýrslur fyrir steypu, sem fór í þann hluta sem lagður var með vél, eru ekki tiltækar. Eftirfarandi upplýsingar eru teknar úr (einni) framleiðsluskýrslu fyrir steypu sem fór í handlagða hlutann [Þorgeir & Helgi 1999a]:

Sigmál:	70 mm
v/c-tala:	0,41
Loft:	5,5 %
Þrýstipól, 28 d:	43 MPa (mælingar á 1 x 3 sívalningum)
Staðalfrávik þrýstipóls:	1,6 MPa
Rúmpýngd sívalninga, 28 d:	2425 kg/m ³ (mælingar á 1 x 3 sívalningum)

4.1.4 Útlögn, sögun og aðhlyning

Steypan var lögð með vél Steinvegar ehf 1999-08-07 og varin með vax-steypuþekju. Fúgur voru sagaðar innan 12 klst. frá útlögn, langsfúga í miðju, en þverfúgur með 4,0 m millibili, hvorutveggja 40 mm djúpar.

4.1.5 Efniseiginleikar slitlagsins

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins tók borkjarna úr tveim sniðum, hornréttum á akstursstefnuna, og að auki úr einu sniði, samsíða akstursstefnunni, í handlagðri breikkun, 6 kjarna úr hverju þessara sniða. Nánari upplýsingar um staðsetningu sniðanna, niðurstöður mælinga og úttekta er að finna í viðauka 2.

Þykkt. Niðurstöður þykktarmælinga eru sýndar í viðauka 2, V2.2. Meðalþykkt kjarna úr sniðum úr slitlagi lögðu með vél var 134 mm. Þessar niðurstöður uppfylla kröfur um allt að 137 mm hönnunarþykkt.

Meðalþykkt kjarna úr handlagðri breikkun var 137 mm. Einn kjarnanna telst útlagi. Þegar hann er undanskilinn svarar mæld þykkt til allt að 144 mm hönnunarþykktar.

Þar sem hönnunarþykkt slitlagsins er ekki tilgreind er ekki hægt að meta hvort kröfur um slitlagsþykkt eru uppfylltar.

Rúmþyngd. Niðurstöður rúmþyngdarmælinga eru sýndar í viðauka 2, V2.3. Meðalrúmþyngd kjarna úr slitlagi lögðu með vél var 2434 kg/m^3 . Þjöppun er ekki hægt að meta þar sem þar sem viðmiðunarrúmþyngd vantar. Samsvarandi tala fyrir kjarna úr handlagðri breikkun er 2408 kg/m^3 . Þessi niðurstaða svarar til 99 % þjöppunar og krafa í frumvarpi að CEN-stöðlum um þjöppun er uppfyllt (sænskar verklýsingar hafa enga).

Samanburður á rúmþyngd í efri og neðri hluta nokkurra kjarna sýnir að rúmþyngdin er meiri í neðri hlutanum þar sem steypa var lögð með vél. Mismunurinn er óverulegur (32 kg/m^2) en samt sem áður marktækur. Þar sem steypa var handlögð er enginn mismunur á rúmþyngd í efri og neðri hluta kjarnanna.

Kleyfniþol. Niðurstöður kleyfniþolsmælinga eru sýndar í viðauka 2, V2.4. Kleyfniþol kjarna úr slitlagi lögðu með vél var að meðaltali 3,7 MPa en 4,3 MPa í handlagðri breikkun.

Engar upplýsingar liggja fyrir um hönnunarkröfur til steypustyrkleika en niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum úr slitlagi lögðu með vél eru taldar líklegar til að uppfylla kröfur sænskra verklýsinga til styrkleikaflokks T2,5. Mælingar á kleyfniþoli kjarna úr handlagðri breikkun benda til þess að steypa í henni uppfylli kröfur sænskra verklýsinga til T3,0.

Frostþol. Ágrip af niðurstöðum frostþolsmælinga eru sýndar í viðauka 2, V2.5. Flögnun á sýnum úr slitlagi lögðu með vél var að meðaltali $0,92 \text{ kg/m}^2$ sem bendir til að frostþolið sé viðunandi. Þó verður að teljast álitamál hvort flögnunarhlutfallið m_{56}/m_{28} (það er hlutfall flögnunar eftir 56 og 28 umferðir) sé < 2 , tæpur helmingur sýnanna uppfyllir þetta skilyrði. Fyrir sýni úr handlagðri breikkun flögnunin að meðaltali $0,45 \text{ kg/m}^2$ og réttur helmingur sýnanna er með flögnunarhlutfall < 2 .

Niðurstöður prófananna benda ekki til að frostþolið sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna. Þær uppfylla með naumindum kröfur sænskra verklýsinga til frostþols.

Loftinnihald. Niðurstöður punkttalninga á lofti eru sýndar í viðauka 2, V2.6. Loftinnihald í sýnum úr slitlagi lögðu með vél var að meðaltali 6,2 % en 5,6 % í handlagðri breikkun.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um loftinnihald í sýnum úr harðnaðri steypu. Loftinnihald í sýnum úr slitlagi lögðu með vél uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum, en loftinnihald í sýnum úr handlagðri breikkun ekki, lágmarkskrafa er 6 %. Rétt er að taka fram að samkvæmt niðurstöðum framleiðslueftirlits (sjá kafla 4.1.3) er loftinnihaldið ófullnægjandi.

Loftdreifing, yfirborð loftbólna. Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna eru sýndar í viðauka 2, V2.7. Yfirborð loftbólna í sýnum úr slitlagi lögðu með vél var að meðaltali $22,5 \text{ mm}^{-1}$ og $28,0 \text{ mm}^{-1}$ í handlagðri breikkun.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um yfirborð loftbólna í sýnum úr harðnaðri steypu. Yfirborð loftbólna í sýnum úr slitlagi lögðu með vél uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkskrafa er 25 mm^{-1} , en það gerir hinsvegar yfirborð loftbólna í sýnum úr handlagðri breikkun.

Loftdreifing, fjarlægðarstuðull. Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli eru sýndar í viðauka 2, V2.8. Fjarlægðarstuðull í sýnum úr slitlagi lögðu með vél var að meðaltali 0,19 mm og 0,15 mm í handlagðri breikkun.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um fjarlægðarstuðul í sýnum úr harðnaðri steypu. Fjarlægðarstuðull uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

V/s-tala. Samkvæmt niðurstöðum framleiðslueftirlits er v/s-talan 0,41 sem uppfyllir kröfur sænskra verklýsinga.

Smásjargreiningar. Niðurstöður smásjargreininga eru sýndar í viðauka 11. Loftbóluklasar eru algengir í sýninu, sem bendir til þess að tiltölulega stór hluti loftsins veiti ekki vörn gegn frost/þíðu virkni. Fínefnismagn er nokkuð hátt við yfirborð sýnisins sem getur bent til þess að steypan hafi verið titruð of mikið. Steypan er lítið kolsýrð og yfirborðssprungur ná aðeins nokkra mm inn í steypuna.

Ýfi. Ýfi, mælt með 3 m réttskleið var að meðaltali 0,5 mm. Enginn punktur náði 6 mm frávíki. Nánari upplýsingar um niðurstöður slitmælinga er að finna í viðauka 2, V2.10. Mælingin var ekki gerð skv. sænskum stöðlum og þess vegna er ekki hægt að bera niðurstöðurnar saman við kröfur í sænskum verklýsingum. Þær uppfylla hinsvegar kröfur íslenskra verklýsinga til ýfis. Þá er gengið út frá því að Jaðarsbraut falli undir vegtegund B3 [Vegagerðin 1993].

Slit. Slitmælingar hafa engar verið gerðar á þessum kafla, en í úttektnum kemur fram að slit á kaflanum er ekki merkjanlegt eftir tvo vetur, sjá viðauka 2, V2.13.

Hemlunarviðnám. Á þessum kafla hafa engar mælingar verið gerðar á hemlunarviðnámi.

Niðurstöður úttekta. Þær eru tíundaðar í viðauka 2, V2.13. Engin hjólför eru sjáanleg í slitlaginu eftir tveggja ára umferð. Í þrem plötum eru stuttar rýrnunarsprungur og langssprungur í öðrum þrem plötum. Að öðru leyti er slitlagið óskemmt.

4.2 Leynisbraut á Akranesi

4.2.1 Staðsetning, aðstæður og umferð

Kaflinn nær frá Garðagrund að Innnesvegi. Hann var lagður í sömu átt. Kaflinn er um 395 m langur og var steypur í 7,5 m breidd. Fyrstu 90 m eru nánast hallalausir, þá kemur á hann vinkilbeygja, en eftir það hallar honum lítið eitt til suðurs.

Gatan er innanbæjargata, sem líklega flokkast sem vegtegund B3 [Vegagerðin 1993]. Árið 2000 var umferðin talin og var þá um um 1800 bílar á dag. Þung umferð hefur verið áætluð 25-30 % árin 1999-2001 vegna framkvæmda í nágrenninu en er örugglega minni síðan.

Kaflinn liggur á djúpri mýri sem hefur sigið vegna framræsingar. Burðarlag er um 1 m á þykkt en lagnaskurðir sem liggja nokkurn veginn í miðri akbraut voru grafnir

niður á á fastan botn sem er 1-1½ m undir burðarlagi. Burðarlagið var burðarþolsprófað og stóðst kröfur um hlutfallið E_2/E_1 .

4.2.2 Steypufni og hönnun

Steypan var framleidd af Þorgeiri og Helga hf og eftirfarandi upplýsingar um hönnun steypunnar eru teknar úr (þrem) framleiðsluskýrslum [Þorgeir & Helgi 1999b].

Styrkleikaflokkur:	C40
Sandur, 0-6 mm:	Skorholt, 960-994 kg/m ³
Möl, 8-25 mm:	Hólabrú, 576-596 kg/m ³
Möl, 6-25 mm:	Skorholt, 384-398 kg/m ³
Sement, portland:	380 kg/m ³
Kem 19:	2,2 kg/m ³
Kem 99:	2,5 kg/m ³
v/c-tala:	0,380
Loft:	6,0 %

Sáldurferill er ekki tilgreindur í framleiðsluskýrslum.

Slittölur steinefnis eru 0,53 (Hólabrú) og 0,41 (Skorholt). Vegið meðaltal slittölu á efni > 8 mm er 0,48.

4.2.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits

Eftirfarandi upplýsingar eru teknar úr (þrem) framleiðsluskýrslum [Þorgeir & Helgi 1999b]:

Sigmál:	45-55 mm
v/c-tala:	0,40-0,41
Loft:	4,9-5,2 %
Þrýstipól, 28 d:	45-52 MPa, (mælingar á 3 x 3 sívalningum)
Staðalfrávik þrýstipóls:	0,6-2,0 MPa
Rúmþyngd sívalninga, 28 d:	2470 kg/m ³ (2443-2498, mælingar á 3 x 3 sívalningum)

4.2.4 Útlögn, sögun og aðhlyning

Steypan var lögð með vél Steinvegar ehf 1999-06-26 og varin með vax-steypuþekju. Fúgur voru sagaðar um það bil 20 klst. eftir útlögn en það reyndist of seint, slitlagið rifnaði á tveim stöðum. Fúgur voru sagaðar í 40 mm dýpt, langsfúga í miðju, en þverfúgur með 4,0 m millibili.

4.2.5 Efniseiginleikar slitlagsins

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins tók borkjarna úr tveim sniðum, hornréttum á akstursstefnuna, 6 kjarna úr hvoru sniði. Nánari upplýsingar um staðsetningu sniðanna, niðurstöður mælinga og úttekta er að finna í viðauka 3.

Þykkt. Niðurstöður þykktarmælinga eru sýndar í viðauka 3, V3.2. Meðalþykkt kjarna var 136 mm. Þessar niðurstöður uppfylla kröfur um allt að 138 mm hönnunarþykkt. Þar sem hönnunarþykkt slitlagsins er ekki tilgreind er ekki hægt að meta hvort kröfur um slitlagsþykkt eru uppfylltar.

Rúmþyngd. Niðurstöður rúmþyngdarmælinga eru sýndar í viðauka 3, V3.3. Meðalrúmþyngd kjarna var 2427 kg/m³. Þessar niðurstöður svara til 98 % þjöppunar og krafa í frumvarpi að CEN-stöðlum um þjöppun er uppfyllt (sænskar verklýsingar hafa enga).

Rúmþyngdin er að jafnaði heldur meiri í neðri hluta kjarnanna en þeim efri, en mismunurinn er ekki marktækur.

Kleyfniþol. Niðurstöður kleyfniþolsmælinga eru sýndar í viðauka 3, V3.4. Kleyfniþol borkjarna úr sniðum L1 og L2 var að meðaltali 4,2 MPa.

Engar upplýsingar liggja fyrir um kröfur til steypustyrkleika en niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum eru taldar líklegar til að uppfylla kröfur sænskra verklýsinga til styrkleikaflokks T2,5.

Frostþol. Ágrip af niðurstöðum frostþolsmælinga eru sýndar í viðauka 3, V3.5. Flögnun á sýnum var að meðaltali 0,94 kg/m² sem bendir til að frostþolið sé viðunandi, að öðru leyti en því að flögnunarhlutfallið m_{56}/m_{28} (það er hlutfall flögnunar eftir 56 og 28 umferðir) er of hátt, öll sýnin hafa flögnunarhlutfall ≥ 2 . Niðurstöðurnar uppfylla því ekki kröfur sænskra verklýsinga til frostþols.

Niðurstöður prófananna benda ekki til að frostþolið sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna.

Loftinnihald. Niðurstöður punkttalninga á lofti eru sýndar í viðauka 3, V3.6. Loftinnihald var að meðaltali 6,2 %.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um loftinnihald í sýnum úr harðnaðri steypu. Loftinnihald í sýnum uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

Loftdreifing, yfirborð loftbólna. Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna eru sýndar í viðauka 3, V3.7. Yfirborðið var að meðaltali 24,0 mm⁻¹.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um yfirborð loftbólna í sýnum úr harðnaðri steypu. Yfirborð loftbólna uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkskrafa er 25 mm⁻¹.

Loftdreifing, fjarlægðarstuðull. Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli eru sýndar í viðauka 3, V3.8. Fjarlægðarstuðull var að meðaltali 0,18 mm.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um fjarlægðarstuðul í sýnum úr harðnaðri steypu. Fjarlægðarstuðull uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

V/s-tala. Samkvæmt niðurstöðum framleiðslueftirlits er v/s-talan 0,41 sem uppfyllir kröfur sænskra verklýsinga.

Smásjargreiningar. Niðurstöður smásjargreininga eru sýndar í viðauka 11. Loftbóluklasar eru algengir í sýninu, sem bendir til þess að tiltölulega stór hluti loftsins veiti ekki vörn gegn frost/þíðu virkni. Fínefnismagn er nokkuð hátt við yfirborð sýnisins sem getur bent til þess að steypan hafi verið titruð of mikið. Steypan er lítið kolsýrð og yfirborðssprungur ná aðeins nokkra mm inn í steypuna.

Ýfi. Ýfi, mælt með 3 m. réttsskeið var að meðaltali 0,6 mm. Enginn punktur náði 6 mm frávíki. Nánari upplýsingar um niðurstöður slitmælinga er að finna í viðauka 3, V3.10. Mælingin var ekki gerð skv. sænskum stöðlum og þess vegna er ekki hægt að bera niðurstöðurnar saman við kröfur í sænskum verklýsingum. Þær uppfylla hinsvegar kröfur íslenskra verklýsinga til ýfis. Þá er gengið út frá því að Leynisbraut falli undir vegtegun B3 [Vegagerðin 1993].

Slit. Slitmælingar hafa engar verið gerðar á þessum kafla. Hinsvegar kemur fram í úttektum að slit á kaflanum er ekki merkjanlegt eftir tvo vetur, sjá viðauka 3, V3.13.

Hemlunarviðnám. Engar mælingar hafa verið gerðar á hemlunarviðnámi.

Niðurstöður úttekta. Þær eru tífundaðar í viðauka 3, V3.13. Engin hjólför eru sjáanleg í slitlaginu eftir tveggja ára umferð. Kaflinn er hinsvegar allvíða sprunginn

og farinn að gliðna á parti um miðjufúguna. Hvorutveggja er talið stafa af sigi í undirbyggingu.

4.3 Stillholt á Akranesi

4.3.1 Staðsetning, aðstæður og umferð

Kaflinn nær frá Dalbraut og langleiðina að Kirkjubraut. Hann var lagður í sömu átt. Kaflinn er um 180 m langur og var steypur í 7,5 m breidd. Kaflinn er hallalaus en liggur á hringboga sem spannar um það bil 60° geira.

Gatan er innanbæjargata, sem líklega flokkast sem vegtegund B3 [Vegagerðin 1993]. Árið 2000 var umferðin talin og var þá um um 3100 bílar á dag. Þung umferð hefur verið áætluð 10-15 %.

Skipt var um jarðveg niður á 1 m dýpi og burðarlag sett í staðinn. Þar undir er moldar- og móajarðvegur en ekki mjög þykkur. Burðarlagið var ekki burðarpölsprófað.

4.3.2 Steypufni og hönnun

Steypan var framleidd af Þorgeiri og Helga hf og eftirfarandi upplýsingar um hönnun steypunnar eru teknar úr (tveim) framleiðsluskýrslum [Þorgeir & Helgi 1999c].

Styrkleikaflokkur:	C40
Sandur, 0-6 mm:	Skorholt, 994 kg/m ³
Möl, 8-25 mm:	Hólabrú, 596 kg/m ³
Möl, 6-25 mm:	Skorholt, 398 kg/m ³
Sement, portland:	380 kg/m ³
Kem 19:	2,2 kg/m ³
Kem 99:	2,5 kg/m ³
v/c-tala:	0,380
Loft:	6,0 %

Sáldurferill er ekki tilgreindur í framleiðsluskýrslum.

Slittölur steinefnis eru 0,53 (Hólabrú) og 0,41 (Skorholt). Vegið meðaltal slittölu á efni > 8 mm er 0,48.

4.3.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits

Eftirfarandi upplýsingar eru teknar úr (tveim) framleiðsluskýrslum [Þorgeir & Helgi 1999c]:

Sigmál:	45-50 mm
v/c-tala:	0,40
Loft:	4,6-4,9 %
Þrýstipól, 28 d:	51-52 MPa (mælingar á 2 x 3 sívalningum)
Staðalfrávik þrýstipóls:	0,8-2,9 MPa
Rúmþyngd sívalninga, 28 d:	2476 kg/m ³ (2474-2477, mælingar á 2 x 3 sívalningum)

4.3.4 Útlögn, sögun og aðhlyning

Steypan var lögð með vél Steinvegar ehf 1999-06-30) og varin með vax-steypuþekju. Fúgur voru sagaðar innan 12 klst. frá útlögn, langsfúga í miðju, en þverfúgur með 4,0 m millibili, hvorutveggja 40 mm djúpar.

4.3.5 Efniseiginleikar slitlagsins

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins tók borkjarna úr tveim sniðum, hornrétt á akstursstefnuna, 6 kjarna úr hvoru sniði. Nánari upplýsingar um staðsetningu sniðanna, niðurstöður mælinga og úttekta er að finna í viðauka 4.

Þykkt. Niðurstöður þykktarmælinga eru sýndar í viðauka 4, V4.2. Meðalþykkt kjarna úr sniðunum var 134 mm. Þessar niðurstöður uppfylla kröfur um allt að 140 mm hönnunarþykkt.

Þar sem hönnunarþykkt slitlagsins er ekki tilgreind er ekki hægt að meta hvort kröfur um slitlagsþykkt eru uppfylltar.

Rúmþyngd. Niðurstöður rúmþyngdarmælinga eru sýndar í viðauka 4, V4.3. Meðalrúmþyngd kjarna var 2449 kg/m³. Þessar niðurstöður svara til 99 % þjöppunar og krafa í frumvarpi að CEN-stöðlum um þjöppun er uppfyllt (sænskar verklýsingar hafa enga).

Rúmþyngdin er lítið eitt hærri í neðri hluta kjarnanna en þeim efri. Mismunurinn er óverulegur (65 kg/m³) en samt sem áður marktækur.

Kleyfniþol. Niðurstöður kleyfniþolsmælinga eru sýndar í viðauka 4, V4.4. Kleyfniþol kjarnanna var að meðaltali 4,2 MPa.

Engar upplýsingar liggja fyrir um kröfur til steypustyrkleika en niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum eru taldar líklegar til að uppfylla kröfur sænskra verklýsinga til styrkleikaflokks T2,5.

Frostþol. Ágrip af niðurstöðum frostþolsmælinga eru sýndar í viðauka 4, V4.5. Flögnun á sýnum var að meðaltali 0,88 kg/m² sem bendir til að frostþolið sé viðunandi, að öðru leyti en því að flögnunarhlutfallið m_{56}/m_{28} (það er hlutfall flögnunar eftir 56 og 28 umferðir) er ≥ 2 í sex sýnum af átta. Niðurstöðurnar uppfylla því ekki kröfur sænskra verklýsinga til frostþols.

Niðurstöður prófananna benda ekki til að frostþolið sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna.

Loftinnihald. Niðurstöður punkttalninga á lofti eru sýndar í viðauka 4, V4.6. Loftinnihald var að meðaltali 6,6 %.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um loftinnihald í sýnum úr harðnaðri steypu. Loftinnihald í sýnum uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

Loftdreifing, yfirborð loftbólna. Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna eru sýndar í viðauka 4, V4.7. Yfirborðið var að meðaltali 21,0 mm⁻¹.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um yfirborð loftbólna í sýnum úr harðnaðri steypu. Yfirborð loftbólna uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkið er 25 mm⁻¹.

Loftdreifing, fjarlægðarstuðull. Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli eru sýndar í viðauka 4, V4.8. Fjarlægðarstuðull var að meðaltali 0,18 mm.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um fjarlægðarstuðul í sýnum úr harðnaðri steypu. Fjarlægðarstuðull uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

V/s-tala. Samkvæmt niðurstöðum framleiðslueftirlits er v/s-talan 0,40 sem uppfyllir kröfur sænskra verklýsinga.

Smásjargreiningar. Niðurstöður smásjargreininga eru sýndar í viðauka 11. Loftbóluklasar eru algengir í sýninu, sem bendir til þess að tiltölulega stór hluti loftsins veiti ekki vörn gegn frost/þíðu virkni. Fínefnismagn er nokkuð hátt við

yfirborð sýnisins sem getur bent til þess að steypan hafi verið titruð of mikið. Steypan er lítið kolsýrð og yfirborðssprungur ná aðeins nokkra mm inn í steypuna.

Ýfi. Ýfi, mælt með 3 m réttsskeið var að meðaltali 1,0 mm. Enginn punktur náði 6 mm frávíki. Nánari upplýsingar um niðurstöður slitmælinga er að finna í viðauka 4, V4.10. Mælingin var ekki gerð skv. sænskum stöðlum og þess vegna er ekki hægt að bera niðurstöðurnar saman við kröfur í sænskum verklýsingum. Þær uppfylla hinsvegar kröfur íslenskra verklýsinga til ýfis. Þá er gengið út frá því að Stíllholt falli undir vegtegund B3 [Vegagerðin 1993].

Slit. Slitmælingar hafa engar verið gerðar á þessum kafla. Hinsvegar kemur fram í úttektum að slit á kaflanum er varla eða ekki merkjanlegt eftir tvo vetur.

Hemlunarviðnám. Engar mælingar hafa verið gerðar á hemlunarviðnámi.

Niðurstöður úttekta. Þær eru tífundaðar í viðauka 4, V4.13. Engin hjólför eru sjáanleg í slitlaginu eftir tveggja ára umferð. Í kaflanum eru örfáar sprungur sem hafa myndast á öðru ári hans undir umferð.

4.4 Fífuhvammsvegur í Kópavogi

4.4.1 Staðsetning, aðstæður og umferð

Kaflinn nær frá Hlíðardalsvegi að Salavegi og var lagður í sömu átt. Kaflinn er 368 m langur og var steypdur í 7,5 m breidd með vél en auk þess er handlögð breikkun við gatnamót á báðum endum hans. Kaflinn er beinn en lengdarhalli er breytilegur, 0,7-6,5 % [Burður ehf, án ártals].

Fífuhvammsvegur er tengibraut innanbæjar, sem sem líklega flokkast sem vegtegund B2 [Vegagerðin 1993], umferðarhraði er áætlaður 60 km/klst. Umferð hefur ekki verið talin. Talsverðir þungaflutningar fara um syðri akreinina.

Vegbotninn er klöpp. Burðarlagið er 70 cm þykkt bögglaberg, rétt af með 5 cm þykku lagi af 0-25 mm efni.

Burðarþolsprófanir voru gerðar á undirbyggingunni í tvígang, í fyrra skiptið ofan á neðra burðarlag, í síðara skipti ofan á efra burðarlag [Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1999a]. Niðurstöður prófananna eru sýndar í töflu 4.1.

Tafla 4.1: Niðurstöður burðarþolsprófana á Fífuhvammsvegi í Lindahverfi.

<i>Prófun á fyllingu úr sprengdu grjóti</i>			
Mælipunktur	E_2	E_1/E_2	Stenst kröfur
1	120	1,85	Já
2	160	1,68	Já
3	90	1,50	Já
<i>Prófun á burðarlagi úr bögglabergi</i>			
Mælipunktur	E_2	E_1/E_2	Stenst kröfur
1	130	1,86	Já
2	130	1,63	Já
3	120	2,00	Já
4	150	1,76	Já

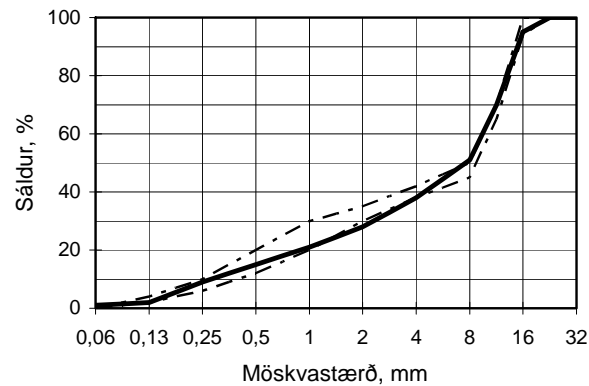
Kröfur Vegagerðarinnar til burðarþols efra og neðra burðarlags [Vegagerðin 1995:46-48] eru ekki einhlítar en hér er miðað við $E_2/E_1 < 2,5$ (vegtegund B2 og þjöppunarkrafa 3). Miðað við þessar kröfur er burðarþolið nægilegt í öllum mælipunktum.

4.4.2 Steypuefni og hönnun

Steypan var framleidd af Steypustöðinni ehf og eftirfarandi upplýsingar um samsetningu steypunnar eru teknar úr blöndunarforskrift framleiðanda [Steypustöðin 1999a]. Rétt er að taka fram að forskriftinni ber ekki fyllilega saman við skýrslu eftirlits [Burður ehf, án ártals].

Styrkleikaflokkur:	C40
Sandur, 0-6 mm:	Björgun, 540 kg/m ³
Sandur, 0-8 mm:	Esjuberg, 170 kg/m ³
Möl, 4-16 mm:	Björgunarperla, 240 kg/m ³
Möl, 4-12 mm:	Seljadalur, 440 kg/m ³
Möl, 11-16 mm:	Askøy, 440 kg/m ³
Sement, portland:	410 kg/m ³
Þjálnefni:	4,1 kg
Flot:	5,0 kg
v/c-tala:	≤ 0,38
Loft:	5-7 %

Sáldurferill blöndunnar er sýndur á mynd 4.1.



Mynd 4.1: Hönnunarferill steypublöndu í slitlag á Fífuhvammsveg í Lindahverfi. Slitróttu línurnar afmarka heppilegan sáldurferil fyrir fylliefni í steyp slitlög skv. norskum verklýsingum [Statens vegvesen 1999a:273].

Í sænskum verklýsingum eru ekki settar fram neinar kröfur til sáldurferils aðrar en þær að hámarks kornastærð skuli ekki vera meiri en 16 mm. Sáldurferillinn uppfyllir nokkurn veginn kröfur til sáldurferils steypu í verklýsingum Vegagerðarinnar, [Vegagerðin 1995:89] og hann er mjög svipaður tilmælum norskra verklýsinga um sáldurferil í steyp slitlag, sem eru sýnu strangari af þessum tveim [Statens vegvesen 1999a:273].

Slittölur steinefnis eru 0,5 (Björgun), 0,3 (Askøy) og 0,4 (Seljadalur). Vegið meðaltal slittölu á efni > 8 mm er um 0,38.

4.4.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits

Eftirfarandi upplýsingar eru fengnar úr eftirlitsskýrslum framleiðanda [Steypustöðin, 1999a]. Tekin voru sex sýni, úr hverju þeirra voru gerðir þrjú sívalningar, einn var brotinn eftir sjö daga hörðun, en tveir eftir 28 daga. Önnur meðaltöl byggjast einnig á sex sýnum. Auk meðaltals fyrir prófananiðurstöður er bilið sem þær spanna sýnt í sviga.

Sigmál:	62 mm (50-80)
v/c-tala:	0,39 (0,36-0,42)
Loft:	6,3 % (5,6-7,4)
Þrýstipól, 7 d:	30 MPa (23-36)
Þrýstipól, 28 d:	48 MPa (41-55)
Rúmþyngd sívalninga, 28 d:	2434 (2395-2455) kg/m ³

Einnig liggja fyrir eftirfarandi upplýsingar um frosthól og loftdreifingu í tveim sýnum úr framleiðslueftirliti [Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1999b]:

Flögnun:	0,70 kg/m ² (0,63-0,76)
Loft skv. talningu:	5,4 % (5,2-5,6)
Yfirborð loftbólna:	28 mm ⁻¹ (26-30)
Fjarlægðarstuðull:	0,15 mm (0,14-0,16)

4.4.4 Útlögn, sögun og aðhlyning

Steypan var lögð með vél Steinvegar ehf 1999-08-21. Þá var hiti um 12 °C, súld með köflum fyrir utan tvær dembur [Burður ehf, án ártals]. Þegar búið var að kústa yfirborðið var steypuþekju sprautað yfir það. Fúgur voru sagaðar strax og steypan var orðin nógu hörð (daginn eftir), langsfúga í miðju, en þverfúgur með 6,0 m millibili. Dýpt á fúgum var 45-50 mm.

4.4.5 Efniseiginleikar slitlagsins

Fyrir utan úttektir og takmarkaðar mælingar á sléttleika voru engar rannsóknir gerðar á þessum kafla að frumkvæði verkefnishópsins. Hinsvegar lét verkkaupi taka borkjarna úr þrem stöðum á slitlaginu, tvo á hverjum stað. Kjarnarnir voru 70 mm í þvermál. Helstu niðurstöður rannsókna á þeim eru raktar hér á eftir en nánari upplýsingar um staðsetningu borkjarnanna og niðurstöður mælinga á þeim er að finna í viðauka 5 auk frásagna af úttektum og öðrum rannsóknum.

Þykkt. Lengd borkjarnanna var ekki mæld og engar mælingar á þykkt slitlagsins liggja fyrir.

Rúmþyngd. Niðurstöður rúmþyngdarmælinga eru sýndar í viðauka 5, V5.2. Meðalrúmþyngd kjarna var 2418 kg/m³. Þessar niðurstöður svara til 99 % þjöppunar og krafa í frumvarpi að CEN-stöðlum um þjöppun er uppfyllt (sænskar verklýsingar hafa enga).

Kleyfniþol. Kleyfniþol var ekki mælt en hinsvegar brotþol borkjarna. Niðurstöður brotþolsmælinga eru sýndar í viðauka 5, V5.3. Út frá þeim má reikna líklegt kleyfniþol sem er 4,5 MPa (eftir 28 daga hörðun við staðalaðstæður).

Engar upplýsingar liggja fyrir um kröfur til steypustyrkleika en niðurstöður brotþolsmælinga á borkjörnum benda til þess að styrkleikinn uppfylli kröfur sænskra verklýsinga til styrkleikaflokks T3,0.

Frostþol. Ágrip af niðurstöðum frostþolsmælinga er sýnt í viðauka 5, V5.4. Flögnun á sýnum var að meðaltali 1,16 kg/m² sem uppfyllir ekki kröfur sænskra verklýsinga til frostþols, leyfileg flögnun er að hámarki 1,0 kg/m².

Loftinnihald. Niðurstöður punktatalninga á lofti eru sýndar í viðauka 5, V5.5. Loftinnihald var 2,4 % (talning í einu sýni).

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um loftinnihald í sýnum úr harðnaðri steypu. Loftinnihald uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkskrafa er 6 %.

Loftdreifing, yfirborð loftbólna. Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna eru sýndar í viðauka 5, V5.5. Yfirborðið var 24 mm^{-1} (talning í einu sýni).

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um yfirborð loftbólna í sýnum úr harðnaðri steypu. Yfirborð loftbólna uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkskrafa er 25 mm^{-1} .

Loftdreifing, fjarlægðarstuðull. Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli eru sýndar í viðauka 5, V5.5. Fjarlægðarstuðull var 0,32 mm (talning í einu sýni).

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um fjarlægðarstuðul í sýnum úr harðnaðri steypu. Fjarlægðarstuðull uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkskrafa er 0,2 mm.

V/s-tala. Samkvæmt niðurstöðum framleiðslueftirlits er v/s-talan 0,38 sem uppfyllir kröfur sænskra verklýsinga.

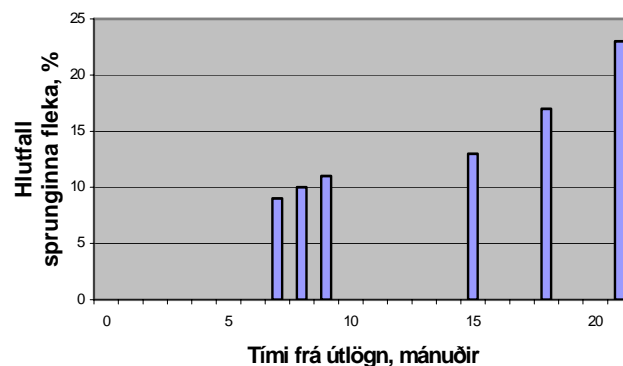
Ýfi. Ýfi var mælt með 2,5 m réttskleið og auk þess með slitmælitæki Höfða hf og Vegagerðarinnar. Niðurstöður mælinganna eru sýndar í viðauka 5, V5.6. Hvorug mæliaðferðin er fyllilega í samræmi við verklýsingar Vegagerðarinnar um ýfimælingar, en af þeim má þó draga eftirfarandi ályktanir:

- Kröfur verklýsinga Vegagerðarinnar til ýfis á vegtegundum B2 og B3 eru að öllum líkindum uppfylltar fyrir ýfi á þverveginn en ekki langsum.
- Kröfur verklýsinga Vegagerðarinnar til ýfis í vegtegundum A og B1 eru ekki uppfylltar, hvorki fyrir ýfi á þverveginn né heldur langsum.
- Sænskar kröfur til ýfis, tilgreindu í IRI einingum eru ekki uppfylltar.

Slit. Slit hefur ekki verið mælt á þessum kafla en úttektir benda til þess að hjólför séu lítil sem engin.

Hemlunarviðnám. Engar mælingar hafa verið gerðar á hemlunarviðnámi.

Niðurstöður úttekta. Þær eru tíundaðar í viðauka 5, V5.7. Syðri akrein kaflans er mikið sprungin (aðallega langssprungur) en í þeirri nyrðri eru engar sprungur enn sem komið er. Þróun sprunguskemmda í kaflanum er sýnd á mynd 4.2.



Mynd 4.2. Þróun skemmda á steypu slitlagi á Fífuhvammsvegi í Lindahverfi.

Ýmsar tilgátur um orsakir skemmdanna hafa komið fram. Talsverðir þungaflutningar fara um syðri akreinina en miklu minni um þá nyrðri og sprungurnar geta þessvegna

stafað af því að slitlagið sé ekki nægilega þykkt miðað við umferð og undirbyggingu. Undir syðri akreininni er lagnakassi og vera má vera að vegna þess sé meiri hreyfing á undirbyggingunni í syðri akreininni en þeirri nyrðri. Einnig er hugsanlegt að burðarlagið skríði til hliðar undir suðurakreininni, því þar er minni hliðarstuðningur að götunni en norðanmegin. Enn ein tilgáta er á þann veg að efnið í burðarlaginu (óbundið púkk) sé ekki nægilega stöðugt.

Skemmdir af öðru tagi hafa ekki komið fram í kaflanum og engin hjólför eru sjáanleg eftir tveggja ára umferð.

4.5 Dalvegur í Kópavogi

4.5.1 Staðsetning, aðstæður og umferð

Kaflinn nær um það bil frá undirgöngum við Dalveg 28 að Kópavogslæk, nánar tiltekið er hann á milli stöðva 589 og 957, reiknað frá Digranesvegi. Hann var lagður í sömu átt. Kaflinn er 368 m langur og var steypdur í 7,5 m breidd með vél en auk þess er handlögð breikkun við hluta kaflans. Kaflinn nálega hallalaus en liggur í óreglulegri beygju sem líkist miðhlutanum á mjög teygðu s-i. Vegna breikkunarinnar er breidd kaflans óregluleg og auk þess eru sumstaðar eyjur á honum og þar hefur umferðin tilhneigingu til að leggjast í hjólför.

Kaflinn er tengibraut sem líklega flokkast undir vegtegund B2 [Vegagerðin 1993]. Umferðarhraði er áætlaður 60 km/klst.

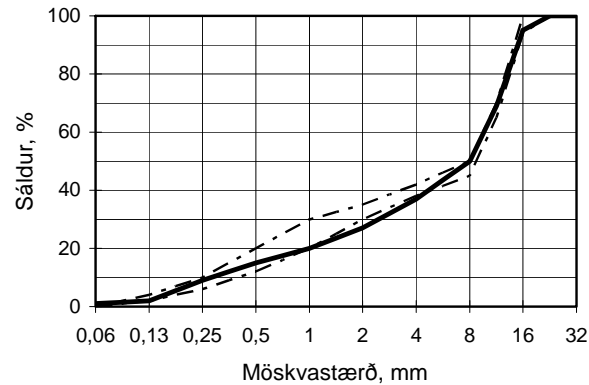
Slitlagið er lagt á götu sem malbikinu hafði verið flett af. Götubotninn er sandkennd móhella en ofan á honum er fylling úr grjóti og malarkenndu efni frá 1990. Neðra burðarlag er um það bil 100 cm þykkt og úr bögglabergi, efra burðarlag er 20 cm þykkt púkklag rétt af með 0-19 mm efni. Burðarlagið var ekki burðarþolsprófað. Umferð var talin í byrjun desembermánaðar 2000 og var þá um 8500 bílar/sólarhring.

4.5.2 Steypuefni og hönnun

Steypan var framleidd af Steypustöðinni ehf og eftirfarandi upplýsingar um samsetningu steypunnar eru teknar úr blöndunarforskrift framleiðanda [Steypustöðin 1999b]. Rétt er að taka fram að forskriftinni ber ekki fyllilega saman við skýrslu eftirlits [Burður ehf, án ártals].

Styrkleikaflokkur:	C40
Sandur, 0-6 mm:	Björgun, 520 kg/m ³
Sandur, 0-8 mm:	Esjuberg, 170 kg/m ³
Möl, 4-12 mm:	Seljadalur, 450 kg/m ³
Möl, 11-16 mm:	Askøy, 450 kg/m ³
Möl, 4-16 mm:	Björgunarperla, 240 kg/m ³
Sement, portland:	410 kg/m ³
Þjálnefni:	4,1 kg/m ³
Flot:	6,0 kg/m ³
v/c-tala:	≤0,38
Loft:	4-7 %

Sáldurferill blöndunnar er sýndur á mynd 4.3.



Mynd 4.3. Hönnunarferill steypublöndu í slitlag á Dalveg í Kópavogi. Slitróttu línurnar afmarka heppilegan sáldurferil fyrir fylliefni í steyp slitlög skv. norskum verklýsingum [Statens vegvesen 1999a:273].

Í sænskum verklýsingum eru ekki settar fram neinar kröfur til sáldurferils aðrar en þær að hámarks kornastærð skuli ekki vera meiri en 16 mm. Sáldurferillinn uppfyllir nokkurn veginn kröfur til sáldurferils steypu í verklýsingum Vegagerðarinnar, [Vegagerðin 1995:89] og hann er mjög svipaður tilmælum norskra verklýsinga um sáldurferil í steyp slitlag, sem eru sýnu strangari af þessum tveimur [Statens vegvesen 1999a:273].

Slittölur steinefnis eru 0,5 (Björgun), 0,3 (Askøy) og 0,4 (Seljadalur). Vegið meðaltal slittölu á efni > 8 mm er um 0,38.

4.5.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits

Eftirfarandi upplýsingar eru fengnar úr eftirlitsskýrslum framleiðanda [Steyputöðin, 1999b]. Tekin voru fjögur sýni, úr hverju þeirra voru gerðir þrjú sívalningar, einn var brotinn eftir sjö daga hörðnun, en tveir eftir 28 daga. Önnur meðaltöl byggjast einnig á fjórum sýnum. Auk meðaltals fyrir prófanandiðurstöður er bilið sem þær spanna sýnt í sviga.

Sigmál:	60 mm (40-80)
v/c-tala:	0,38 (0,37-0,38)
Loft:	5,0 % (3,9-6,4)
Þrýstiþol, 7 d:	40 MPa (37-46)
Þrýstiþol, 28 d:	59 MPa (54-66)
Rúmþyngd sívalninga, 28 d:	2449 kg/m ³ (2394-2487)

Einnig liggja fyrir eftirfarandi upplýsingar um frostþol og loftdreifingu í einu sýni úr framleiðslueftirliti [Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1999c]:

Flögnun:	0,34 kg/m ²
Loft skv. talningu:	3,4 %
Yfirborð loftbólna:	29 mm ⁻¹
Fjarlægðarstuðull:	0,19 mm

4.5.4 Útlögn, sögun og aðhlyning

Steypan var lögð með vél Steinvegar ehf 1999-09-25. Þá var hiti um 10 °C og að mestu þurr. Þegar búið var að kústa yfirborðið var steypupekju sprautað yfir það.

Fúgur voru sagaðar þegar steypan var orðin nógu hörð (daginn eftir útlögn), langsfúga í miðju, en þverfúgur með 6,0 m millibili. Dýpt á fúgum var 45-50 mm.

4.5.5 Efniseiginleikar slitlagsins

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins tók borkjarna úr úr slitlaginu í tvígang. Í fyrra skiptið voru teknir 5 x 2 Ø100 mm borkjarnar og prófaðir að fyrirmælum eftirlitsins. Í síðara skiptið var tekinn 31 borkjarni og þeir prófaðir samkvæmt tillögum verkefnishópsins. Nánari upplýsingar um staðsetningu borkjarnanna, niðurstöður mælinga og úttekta er að finna í viðauka 6.

Þykkt. Niðurstöður þykktarmælinga eru sýndar í viðauka 6, V6.2. Meðalþykkt kjarna úr þeim hluta slitlagsins sem var lagður með vél var 139 mm. Þessar niðurstöður uppfylla kröfur um allt að 143 mm hönnunarþykkt. Samsvarandi tala fyrir kjarna úr handlagðri breikkun var 148 mm, sem uppfyllir kröfur fyrir 154 mm hönnunarþykkt.

Þar sem hönnunarþykkt slitlagsins er ekki tilgreind er ekki hægt að meta hvort kröfur um slitlagsþykkt eru uppfylltar.

Rúmþyngd. Niðurstöður rúmþyngdarmælinga eru sýndar í viðauka 6, V6.3. Meðalrúmþyngd kjarna úr þeim hluta slitlagsins sem var lagður með vél var 2444 kg/m³. Þessar niðurstöður svara til 100 % þjöppunar og krafa í frumvarpi að CEN-stöðlum um þjöppun er uppfyllt (sænskar verklýsingar hafa enga). Rúmþyngd kjarna úr handlagðri breikkun var að meðaltali 2337 kg/m³ en þar sem upplýsingar um viðmiðunarrúmþyngd vantar er ekki hægt að reikna út þjöppun í þessum hluta.

Að jafnaði er rúmþyngdin heldur minni í efri hlutum kjarnanna en neðri hlutum þeirra Mismunurinn er ekki marktækur, hvort sem kjarnar úr véllögðum hluta eða handlagðri breikkun eiga í hlut.

Kleyfniþol. Niðurstöður kleyfniþolsmælinga eru sýndar í viðauka 6, V6.4. Kleyfniþol kjarnanna úr véllagða hlutanum var að meðaltali 4,8 MPa, en 4,1 MPa í handlagðri breikkun.

Engar upplýsingar liggja fyrir um kröfur til steypustyrkleika en niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum úr slitlagi lögðu með vél eru taldar líklegar til að uppfylla kröfur sænskra verklýsinga til styrkleikaflokks T3,0. Mælingar á kleyfniþoli kjarna úr handlagðri breikkun benda til þess að steypan í henni uppfylli kröfur sænskra verklýsinga til T2,5.

Þrýstipól. Niðurstöður þrýstipólsmælinga eru sýndar í viðauka 6, V6.5. Það var að meðaltali 45,8 MPa eftir 24 daga. Eftir 44 daga var þrýstipólið orðið 52,1 MPa (aðeins ein mæling). Þrýstipólið er að öllum líkindum vanmetið vegna þess að herslan átti sér ekki stað við staðalaðstæður.

Þessar niðurstöður, umreiknaðar í togþol, benda til þess að togþolsstyrkurinn svari um það bil til T3,0 samkvæmt sænskum verklýsingum.

Frostþol. Ágrip af niðurstöðum frostþolsmælinga eru sýndar í viðauka 6, V6.6. Flögnun á sýnum úr véllögðum hluta var að meðaltali 0,84 kg/m² sem út af fyrir sig er viðunandi. Hins vegar er flögnunarhlutfallið m_{56}/m_{28} (það er hlutfall flögnunar eftir 56 og 28 umferðir) ≥ 2 í 14 sýnum af 18. Niðurstöðurnar uppfylla því ekki kröfur sænskra verklýsinga til frostþols.

Niðurstöður prófananna benda til að frostþólið sé meira í efri hluta kjarnanna en þeim neðri.

Meðaltal flögnunar á sýnum úr handlagðri breikkun var 0,28 kg/m² sem út af fyrir sig er góður árangur en flögnunarhlutfallið er > 2 í öllum sýnunum svo þau uppfylla

ekki heldur kröfur sænskra verklýsinga til frostþols. Í þessum sýnum kemur ekki fram marktækur mismunur á flögnun í efri og neðri hluta kjarnanna.

Loftinnihald. Niðurstöður punkttafninga á lofti eru sýndar í viðauka 6, V6.7. Loftinnihald í sýnum úr véllögðum hluta var að meðaltali 3,8 % en 5,2 % í sýnum úr handlagðri breikkun.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um loftinnihald í sýnum úr harðnaðri steypu. Loftinnihald í sýnum uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkskrafa er 6 %.

Loftdreifing, yfirborð loftbólna. Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna eru sýndar í viðauka 6, V6.8. Yfirborðið var að meðaltali 31 mm^{-1} í sýnum úr véllögðum hluta en 32 mm^{-1} í sýni úr handlagðri breikkun.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um yfirborð loftbólna í sýnum úr harðnaðri steypu. Yfirborð loftbólna uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

Loftdreifing, fjarlægðarstuðull. Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli eru sýndar í viðauka 6, V6.9. Fjarlægðarstuðull í sýnum úr véllögðum hluta var að meðaltali 0,19 mm en 0,15 mm í sýni úr handlagðri breikkun.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um fjarlægðarstuðul í sýnum úr harðnaðri steypu. Fjarlægðarstuðull uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

V/s-tala. Samkvæmt niðurstöðum framleiðslueftirlits er v/s-talan 0,38 sem uppfyllir kröfur sænskra verklýsinga.

Smásjargreiningar. Niðurstöður smásjargreininga eru sýndar í viðauka 11. Loftkerfi steypunnar virðist vera nokkuð gott. Kolsýring er lítil. Engar sprungur fundust í yfirborðinu en nokkurs konar innra sprungunet má sjá í steypunni og í handlagðri breikkun virðast þær ná upp til yfirborðsins. Kekkjað kísilryk er nokkuð algengt.

Ýfi. Ýfi hefur ekki verið mælt á þessum kafla.

Hemlunarviðnám. Stuðull hemlunarviðnáms mældur stuttu eftir útlögn (nóvember 1999) var 0,77 en hafði aukist í 0,83 í desember 2001, sjá viðauka 6, V6.12. Verklýsingar Vegagerðarinnar setja ekki fram kröfur um hemlunarviðnám, en áður nefndar niðurstöður uppfylla kröfur sænskra verklýsinga til hemlunarviðnáms.

Slit. Sumarið 2001 var hjólfaradýpt í kaflanum orðin 7,6 mm að meðaltali (eftir tvo vetur undir umferð) en hafði aðeins aukist um 0,9 mm seinni veturinn, sjá viðauka 6, V6.13. Að magni til var slitið 42 SPS fyrri veturinn en 9 SPS þann seinni. Þessar tölur eru þó óreiðanlegar fyrir margra hluta sakir. Í fyrsta lagi voru slitmæliplötturnar ekki settar niður fyrr en á öðru ári, og þess vegna eru mælingar á fyrsta vetri miðaðar við að yfirborð vegarins hafi verið bein lína eftir útlögn sem ekki er víst að sé rétt. Í annan stað hefur reynslan sýnt að slit mælist venjulega miklu meira fyrsta vetur undir umferð en næstu vetur þar á eftir. Venjulega þarf að mæla slit í 4-5 ár áður en hægt er að birta nokkurn veginn áreiðanlegar tölur um slit.

Niðurstöður úttekta. Þær eru tíundaðar í viðauka 6, V6.14. Kaflinn er óskemmdur eftir tvo vetur undir umferð.

4.6. Tenging við Hafnarfjarðarveg

4.6.1 Staðsetning, aðstæður og umferð

Kaflinn er á tengingu Fífuhvamsvegur við Hafnarfjarðarveg við botn Kópavogs. Hann liggur á 250 m löngum hringboga með u. þ. b. 350 m radíus og hallar til vesturs.

Kaflinn byrjar við Hafnarfjarðarveg og endar um að bil 40 m vestan við eyju í tengingunni. Hann var steypdur í austurátt (frá Hafnarfjarðarvegi að Fífuhvamsvegi) með vél í 7,5 m breidd, þar af er ríflega helmingur breiddarinnar lagður á gamalt malbik með tilheyrandi undirbyggingu, en hinn helmingurinn á breikkun með um það bil 120 cm þykka fyllingu. Undir fyllingunni er hörð móbella og klöpp. Neðra burðarlag er bögglaberg, efra burðarlag er þúkk. Ekki er vitað til að undirbyggingin hafi verið burðarþolsprófuð.

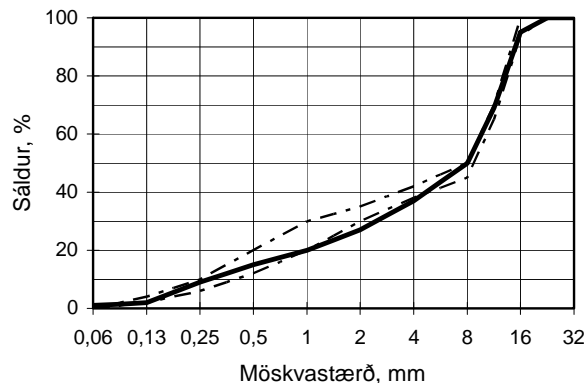
Kaflinn er tengibraut og flokkast líklega sem vegtegund B2 [Vegagerðin 1993]. Umferðarhraði er áætlaður 60 km/klst, umferð á báðum akreinum fer í sömu átt, en hefur ekki verið talin.

4.6.2 Steypuefni og hönnun

Steypan var framleidd af Steypustöðinni ehf og eftirfarandi upplýsingar um samsetningu steypunnar eru teknar úr blöndunarforskrift framleiðanda [Steypustöðin 1999c]. Rétt er að taka fram að forskriftinni ber ekki fyllilega saman við skýrslu eftirlits [Burður ehf, án ártals].

Styrkleikaflokkur:	C40
Sandur, 0-6 mm:	Björgun, 520 kg/m ³
Sandur, 0-8 mm:	Esjuberg, 170 kg/m ³
Möl, 4-12 mm:	Seljadalur, 450 kg/m ³
Möl, 11-16 mm:	Askøy, 450 kg/m ³
Möl, 4-16 mm:	Björgunarperla, 240 kg/m ³
Sement, portland:	410 kg/m ³
Þjálnefni:	4,1 kg/m ³
Flot:	6,0 kg/m ³
v/c-tala:	≤0,38
Loft:	5-7 %

Sáldurferill blöndunnar er sýndur á mynd 4.4.



Mynd 4.4. Hönnunarferill steypublöndu í slitlag á Fífuhvamsveg í Kópavogi, tengingu við Hafnarfjarðarveg. Slitróttu línurnar afmarka heppilegan sáldurferil fyrir fylliefni í steyp slitlög skv. norskum verklýsingum [Statens vegvesen 1999a:273].

Í sænskum verklýsingum eru ekki settar fram neinar kröfur til sáldurferils aðrar en þær að hámarks kornastærð skuli ekki vera meiri en 16 mm. Sáldurferillinn uppfyllir nokkurn veginn kröfur til sáldurferils steypu í verklýsingum Vegagerðarinnar,

[Vegagerðin 1995:89] og hann er mjög svipaður tilmælum norskra verklysinga um sáldurferil í steyp slitlag, sem eru sýnu strangari af þessum tveimur [Statens vegvesen 1999a:273].

Slittölur steinefnis eru 0,5 (Björgun), 0,3 (Askøy) og 0,4 (Seljadalur). Vegið meðaltal slittölu á efni > 8 mm er um 0,38.

4.6.3 Niðurstöður framleiðslueftirlits

Eftirfarandi upplýsingar eru fengnar úr eftirlitsskýrslum framleiðanda [Steypustöðin, 1999c]. Tekin voru fjögur sýni, úr hverju þeirra voru gerðir þrjú sívalningar, einn var brotinn eftir sjö daga hörðun, en tveir eftir 28 daga. Önnur meðaltöl byggjast einnig á fjórum sýnum, nema v/c-tala sem byggist á þrem sýnum. Auk meðaltals fyrir prófananiðurstöður er bilið sem þær spanna sýnt í sviga.

Sigmál:	73 mm (70-80)
v/c-tala:	0,40 (0,39-0,42)
Loft:	5,1 % (4,1-6,0)
Þrýstipól, 7 d:	37 MPa (30-41)
Þrýstipól, 28 d:	59 MPa (50-65)
Rúmþyngd sívalninga, 28 d:	2448 kg/m ³ (2417-2488)

4.6.4 Útlögn, sögun og aðhlyning

Steypan var lögð með vél Steinvegar ehf 1999-09-11. Þá var hiti um 10 °C og skýjað með köflum (Burður ehf, án ártals). Fúgur voru sagaðar daginn eftir, langsfúga í miðju, en þverfúgur með 6,0 m millibili. Umferð var hleypt á kaflann þrem dögum eftir að steyp var.

4.6.5 Efniseiginleikar slitlagsins

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins tók borkjarna úr fjórum sniðum á kaflanum, alls 16 kjarna. Nánari upplýsingar um staðsetningu borkjarnanna, niðurstöður mælinga og úttekta er að finna í viðauka 7.

Þykkt. Niðurstöður þykktarmælinga eru sýndar í viðauka 7, V7.2. Meðalþykkt kjarna úr slitlaginu var 144 mm. Þessar niðurstöður uppfylla kröfur um allt að 148 mm hönnunarþykkt.

Þar sem hönnunarþykkt slitlagsins er ekki tilgreind er ekki hægt að meta hvort kröfur um slitlagsþykkt eru uppfylltar.

Rúmþyngd. Niðurstöður rúmþyngdarmælinga eru sýndar í viðauka 7, V7.3. Meðalrúmþyngd kjarna var 2406 kg/m³. Þessar niðurstöður svara til 98 % þjöppunar og krafa í frumvarpi að CEN-stöðlum um þjöppun er uppfyllt (sænskar verklysingar hafa enga).

Rúmþyngdin er heldur hærri í neðri hluta kjarnanna en þeim efri en mismunurinn er ekki marktækur.

Kleyfniþol. Niðurstöður kleyfniþolsmælinga eru sýndar í viðauka 7, V7.4. Kleyfniþol kjarnanna var að meðaltali 4,8 MPa.

Engar upplýsingar liggja fyrir um kröfur til steypustyrkleika en niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum eru taldar líklegar til að uppfylla kröfur sænskra verklysinga til styrkleikaflokks T3,0.

Frostþol. Ágrip af niðurstöður frostþolsmælinga eru sýndar í viðauka 7, V7.5. Flögnun á sýnum var að meðaltali 0,58 kg/m² sem bendir til að frostþolið sé

viðunandi, að öðru leyti en því að flögnunarhlutfallið m_{56}/m_{28} (það er hlutfall flögnunar eftir 56 og 28 umferðir) er ≥ 2 í 6 sýnum af 8. Niðurstöðurnar uppfylla því ekki kröfur sænskra verklýsinga til frostþols.

Niðurstöður prófananna benda til að frostþolið sé meira í efri hluta kjarnanna en þeim neðri, þó ekki ótvírætt.

Loftinnihald. Niðurstöður punkttaalinga á lofti eru sýndar í viðauka 7, V7.6. Loftinnihald í sýnum var að meðaltali 5,1 %.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um loftinnihald í sýnum úr harðnaðri steypu. Loftinnihald í sýnum uppfyllir ekki kröfur í íslenskum verklýsingum, lágmarkskrafa er 6 %.

Loftdreifing, yfirborð loftbólna. Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna eru sýndar í viðauka 7, V7.7. Yfirborðið var að meðaltali 34 mm^{-1} .

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um yfirborð loftbólna í sýnum úr harðnaðri steypu. Yfirborð loftbólna uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

Loftdreifing, fjarlægðarstuðull. Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli eru sýndar í viðauka 7, V7.8. Fjarlægðarstuðull í sýnum var að meðaltali 0,15 mm.

Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um fjarlægðarstuðul í sýnum úr harðnaðri steypu. Fjarlægðarstuðull í sýnunum uppfyllir kröfur í íslenskum verklýsingum.

V/s-tala. Samkvæmt niðurstöðum framleiðslueftirlits er v/s-talan 0,37 sem uppfyllir kröfur sænskra verklýsinga.

Togþol límingar milli steypu og malbiks. Niðurstöður athugana á togþoli límingar á milli steypu og malbiks eru sýndar í viðauka 7, V7.9. Togþolið var að meðaltali 0,63 MPa. Í nokkrum prófunum slitnaði kjarninn í malbikshlutanum en ekki á skilum steypu og malbiks.

Sænskar verklýsingar hafa engin ákvæði um togþol límingar milli steypu og malbiks. Samkvæmt upplýsingum frá American Concrete Pavement Association (sjá kafla 2.2.3) skiptir líming steypis yfirlags við malbik ekki máli, ef yfirlagið nær 100 mm þykkt. Þar sem yfirlagið er í þessu tilfelli 140 mm þykkt má líta svo á að límingin skipti ekki máli.

Smásjargreiningar. Niðurstöður smásjargreininga eru sýndar í viðauka 11. Loftkerfi steypunnar virðist vera nokkuð gott, en loftmagnið virðist vera nokkuð mikið. Kolsýring er lítil. Engar sprungur fundust í yfirborðinu en nokkurskonar innra sprungunet má sjá í steypunni. Kekkjað kísilryk er nokkuð algengt.

Ýfi. Ýfi var ekki mælt á þessum kafla.

Slit. Slit hefur ekki verið mælt á þessum kafla en samkvæmt úttektum eru hjólför í kaflanum lítil eða engin eftir tvo vetur, sjá viðauka 7, V7.14.

Hemlunarviðnám. Stuðull hemlunarviðnáms á kaflanum, mældur í desember 2001, var 0,81 sjá viðauka 7, V7.12. Verklýsingar Vegagerðarinnar setja ekki fram kröfur til hemlunarviðnáms, en áður nefndar niðurstöður uppfylla kröfur sænskra verklýsinga.

Niðurstöður úttekta. Þær eru tíundaðar í viðauka 7, V7.14. Kaflinn er óskemmdur eftir tvo vetur undir umferð, að undanteknum sprungum í afmörkuðum hluta hans sem komu fram stuttu eftir útlögn og eru taldar stafa af þurrkrýrnun.

5. ÍGRUNDUN OG ÁLYKTANIR

5.1 Almenn

Þegar valið stendur um að steypa slitlag eða malbika þarf að svara tveim spurningum:

- Er steypit slitlag samkeppnisfært við malbik þegar viðhaldskostnaður hefur verið tekinn með í reikninginn?
- Hefur verið sýnt fram á að steypit slitlag sé líklegt til að uppfylla kröfur í verklýsingum?

Fyrri spurningunni hefur þegar verið svarað játandi að gefnum vissum forsendum um aðstæður, umferð, endingu og verðlagningu [Ásbjörn Jóhannesson 1997]. Í þessari skýrslu er leitað svara við síðari spurningunni á grundvelli upplýsinga sem dregnar koma fram í þessari skýrslu.

Nú verður að hafa í huga að svör við ofanefndum spurningum eru að nokkru leyti samtvinnuð, til dæmis er vitað að slitþol steyptra slitlaga ákvarðast að verulegu leyti af slitþoli steinefna og styrk steypunnar, sem að sínu leyti hefur áhrif á stofnkostnað steypunnar. Þess vegna er hæpið að þeim verði nokkru sinni svarað í eitt skipti fyrir öll, líklegra er að val á slitlagsgerð muni byggjast á kringumstæðum (í víðtækri merkingu) í hverju tilviki fyrir sig.

Í annan stað eru kröfum til steyptra slitlaga lítil skil gerð í íslenskum verklýsingum og reynsla af steypum slitlögum hérlendis er of lítil til að hægt sé að móta kröfur til steyptra slitlaga á grundvelli hennar. Þess vegna er mikið álitamál hvað séu skynsamlegar og sanngjarnar kröfur. Að vísu er líklegt að kröfur CEN um steypit slitlög taki gildi hér á landi áður en langt um líður en þær eru enn sem komið er í móttun. Því hefur orðið ofan á að miða fyrst og fremst við sænskar verklýsingar sem, auk þess að eiga við svipaðar aðstæður og hér ríkja, virðast vera fyrirmynd að væntanlegum kröfum CEN um steypit slitlög. Í nokkrum tilfellum hafa sænskar verklýsingar ekki ákvæði um tiltekinn eiginleika og þá er borið saman við íslenskar verklýsingar eða norskar.

Hér á eftir er slitlagsköflunum, sem fjallað er um í þessari skýrslu, skipt í tvo flokka, annars vegar þá sem eru á Akranesi, hinsvegar þá sem eru í Kópavogi. Gert er ráð fyrir að eiginleikar slitlaganna í hvorum flokki fyrir sig séu svipaðir og ekki gert upp á milli slitlagskafla innan hvors flokks fyrir sig nema í undantekningartilfellum.

Í næstu köflum eru niðurstöður prófana bornar saman við kröfur sem tilgreindar eru í kafla 2. Rétt er að geta þess að mat á því, hvort steypu slitlögin sem hér er fjallað um, uppfylli kröfur er alls ekki tæmandi. Í verklýsingum er til dæmis yfirleitt gerður greinarmunur á kröfum til steypu á hönnunarstiginu og kröfum til steypu í slitlaginu, og rannsóknirnar sem greint er frá í þessari skýrslu eru að mestu gerðar í sýnum úr slitlaginu.

5.2 Kröfur til steypuefna

Sáldurferill. Engar upplýsingar eru tiltækar um sáldurferil fylliefnanna sem notuð voru í steypit slitlög á Akranesi. Hvað steypit slitlög í Kópavogi varðar sýna framleiðsluskýrslur að sáldurferill fylliefnanna er í góðu samræmi við tilmæli í íslenskum verklýsingum [Vegagerðin 1995] sem reyndar eru mjög rúmar. Hann uppfyllir einnig kröfur í norskum verklýsingum [Statens vegvesen 1999a] með óverulegum frávikum. Sænskar verklýsingar gera engar kröfur til sáldurferilsins.

Styrkleiki. Undantekningarlítið voru engar prófanir voru gerðar á styrkleika fylliefnanna. Með hliðsjón af fyrri prófunum á steinefnum úr sömu námum má þó

ætla að fylliefnin sem notuð voru í slitlög í Kópavogi uppfylli norskar og sænskar kröfur til styrkleika (sjá töflur 2.2 og 2.3) án takmörkunar á umferð. Á sömu forsendum sýnist hæpið að fylliefnin sem notuð voru í slitlögin á Akranesi uppfylli áðurnefndar norskar og sænskar kröfur til styrkleika, jafnvel þótt miðað sé við lægsta umferðarflokk sem er allt að 5000 bílar á dag samanlagt á tveim akreinum. Reyndar er ekki fyllilega sanngjarnt að miða við sænskar eða norskar styrkleikakröfur, þær taka sennilega mið af algengum efniseiginleikum þarlendra steinefna sem íslensk steinefni geta að jafnaði ekki keppt við hvað þéttleika og slitstyrk snertir.

5.3 Kröfur til steypu

Styrkleiki. Kleyfniþol (sjá kafla 2.2.1) steypu í slitlögunum á Akranesi flokkast undir T2,5. Samkvæmt sænskum kröfum nægir þetta kleyfniþol fyrir slitlög með allt að 13.000 bíla umferð á dag samanlagt á tveim akreinum. Kleyfniþol steypu í slitlögunum í Kópavogi flokkast undir T3,0 sem samkvæmt áðurnefndum kröfum er nægilegt óháð umferð.

Þrýstipól steypunnar á Akranesi er 40-50 MPa en 50-60 MPa í Kópavogi, sem norskar verklýsingar telja nægilegt fyrir umferð allt að 15.000 bílum á dag samanlagt á tveim akreinum (sjá kafla 2.2.1).

Frostþol. Sænskar kröfur til frostþols (sjá kafla 2.2.2) eru ekki uppfylltar. Út af fyrir sig eru kröfur um flögnun uppfylltar í öllum slitlögunum á Akranesi og tveim af þrem í Kópavogi). Hinsvegar er krafa um að hlutfall meðalflögnunar eftir 56 umferðir og 28 umferðir (m_{56}/m_{28}) sé minna en 2 ekki uppfyllt á neinum kaflanna, þótt einstaka sýni standist hana.

Loftinnihald. Sænskar verklýsingar hafa engar kröfur til loftinnihalds í sýnum teknum úr slitlagi. Íslenskar verklýsingar (sjá kafla 2.2.2) gera kröfu um 6 % loftinnihald. Steypa á Akranesi uppfyllir þessa kröfu en ekki sú í Kópavogi.

Fjarlægðarstuðull. Sænskar verklýsingar hafa engar kröfur til fjarlægðarstuðuls í sýnum teknum úr slitlagi. Íslenskar verklýsingar (sjá kafla 2.2.2) gera kröfu um að fjarlægðarstuðullinn sé undir 0,2. Steypa í slitlögunum á Akranesi uppfyllir þessa kröfu og einnig steypa í slitlögum í Kópavogi með einni undantekningu (á Fífuhvamsvegi í Lindahverfi, en sú niðurstaða byggist á aðeins einu sýni).

Loftdreifing, yfirborð loftbólna. Sænskar verklýsingar hafa engar kröfur til fjarlægðarstuðuls í sýnum teknum úr slitlagi. Íslenskar verklýsingar (sjá kafla 2.2.2) gera kröfu um að yfirborð loftbólna sé $\geq 25 \text{ mm}^{-1}$. Steypa í slitlögunum á Akranesi uppfyllir ekki þessa kröfu og ekki heldur steypa í slitlögum í Kópavogi með einni undantekningu (á Fífuhvamsvegi í Lindahverfi, en sú niðurstaða byggist á aðeins einu sýni).

V/s-tala. Sænskar kröfur til v/s-tölu (sjá kafla 2.2.2) eru uppfylltar.

5.4 Eiginleikar slitlags

Þykkt. Engar upplýsingar liggja fyrir um hönnunarþykkt slitlaganna. Þar af leiðandi verður ekkert fullyrt um hvort kröfur um þykkt séu uppfylltar.

Fúgur. Kaflarnir á Akranesi uppfylla sænskar kröfur um hámarksfjarlægð milli fúga, en hinsvegar ekki kröfu um tengijárn í fúgum (sjá kafla 2.3.5). Í köflunum í Kópavogi er fjarlægð milli þverfúga of mikil samkvæmt sænskum verklýsingum og þar eru heldur engin tengijárn í fúgum.

Hemlnarviðnám. Aðeins tveir slitlagskaflar hafa verið mældir, báðir uppfylltu kröfur til hemlnarviðnáms skv. sænskum verklýsingum.

Ýfi í lengdarstefnu. Aðeins einn kafli (Fífuhvamsvegur í Lindahverfi) hefur verið mældur á þann veg að hægt sé að bera ýfi hans saman við kröfur í sænskum verklýsingum (sjá kafla 2.3.2). Kafllinn uppfyllir ekki kröfurnar og ekki heldur kröfur í íslenskum verklýsingum. Þrír kaflar aðrir (allir á Akranesi) hafa verið mældir þannig að hægt er að bera ýfi þeirra saman við kröfur í íslenskum verklýsingum, þeir uppfylla allir kröfurnar.

Ýfi á þverveginn. Það var ekki mælt á neinum kaflanna á þann veg að hægt væri að bera það saman við sænskar verklýsingar. Einn kafli (Fífuhvamsvegur í Lindahverfi) var mældur þannig að hægt er að bera niðurstöðurnar saman við íslenskar verklýsingar (sjá kafla 2.3.3) og niðurstöðurnar uppfylla að öllum líkindum kröfur þeirra ef miðað er við vegtegund B2.

Sprungur. Í sænskum verklýsingum (sjá kafla 2.3.6) segir að kaflarnir skuli vera lausir við sprungur. Eftir tveggja ára umferð eru aðeins tveir kaflar algerlega lausir við sprungur, slitlag á Stíllholti á Akranesi og á Dalvegi í Kópavogi.

Þjöppun. Í sænskum verklýsingum eru engin ákvæði um þjöppun, en allir kaflarnir uppfylla þjöppunarkröfu í staðalfrumvarpi CEN (sjá kafla 2.4).

5.5 Ályktanir

Eins tekið er fram í kafla 5.1 eru sænskar kröfur öðrum fremur lagðar til grundvallar í þessari skýrslu þegar árangur af tilrauninum er metinn. Rétt er þó að taka fram að tilraunaköflunum var í upphafi ekki endilega ætlað að uppfylla þessar kröfur, miklu fremur er hér um tilraun að ræða sem ætlað var að leiða í ljós hvernig mætti spila úr efnunum og aðstæðum sem voru fyrir hendi.

Í stórum dráttum vantar nokkuð á að steypu slitlögin sem eru tekin til athugunar í þessari skýrslu uppfylli sænskar kröfur til steyptra slitlaga. Þetta á við um flögnunarhlutfall í frostþolsprófi, m_{56}/m_{28} , sem ekki uppfyllir ýtrustu kröfur (en er reyndar ekki alltaf fylgt eftir); kröfur um tengijárn í fúgum sem vantar alveg, í sumum tilfellum fjarlægð milli þverfúga sem er of mikil; ýfi í lengdarstefnu sem stundum er of mikið og sprungur í sumum köflunum sem eiga engar að vera.

Á hinn bóginn er styrkleiki steypunnar nægilegur miðað við umferð, kröfur um v/s-tölu eru uppfylltar, sömuleiðis kröfur um frostflögnun í flestum tilfellum, og hemlunarviðnám er nægilegt.

Í öllum köflunum er slitlagsþykktin í kringum 140 mm. Samanburður við fyrirhugaða (hannaða) slitlagsþykkt er ekki mögulegur þar sem engar upplýsingar eru tiltækar um hana. Rétt er að taka fram að þessi þykkt er of lítil ef algengar kröfur eru lagðar til grundvallar. Til dæmis er lágmarksþykkt á steypu slitlagi samkvæmt sænskum verklýsingum 180–200 mm, háð kleyfniþoli steypunnar [Vägverket 1994:37]. Norskar verklýsingar gera þó ráð fyrir að þykktin geti farið allt niður í 140 mm en þá er gert ráð fyrir lítilli umferð og mjög vandaðri undirbyggingu [Statens vegvesen 1999a:147]. Sprungur í slitlagsköflunum má sennilega rekja til of lítillar þykktar, miðað við burðarþol undirbyggingarinnar, á einum kaflanna er ófullnægjandi undirbygging meðvirkandi orsök. Á hinn bóginn eru staðalfrávik á slitlagsþykktum lítil, á bilinu 4–10 mm skv. mælingum á borkjörnum úr fimm köflum. Þetta bendir til að skriðmótavélin eigi auðvelt með að halda jafnri þykkt (að því tilskildu að undirlagið sé slétt) og þykktarauki vegna staðalfráviks á slitlagsþykkt þurfi aðeins að vera 3–6 mm.

Athuganir á dreifingu rúmþyngdar eftir staðsetningu benda til þess að þjöppun skriðmótavélarinnar sé mjög jöfn. Í einu tilfelli kemur fram marktækur mismunur á þjöppun í tveim sniðum í sama slitlagskaflanum, á milli þessara sniða eru um 50 m.

Sá mismunur á líklega frekar rót sína að rekja til breytileika í þjálni steypunnar fremur en skriðmótavélarinnar. Hins vegar er þjöppunin að jafnaði heldur minni í efstu 5 cm slitlagsins en næstu 5 cm þar fyrir neðan, en mismunurinn er þó sjaldnast marktækur. Orsökina getur verið fullmikil titrun steypunnar svo að grófa fylliefnið í steypunni sekkur en loftrík efja verði eftir við yfirborðið. Engar sönnur hafa þó verið færðar á þessa tilgátu.

Frostskemmda er ekki getið í úttektum enda þótt sýni úr köflunum standist að jafnaði ekki ýtrustu kröfur til frostþols. Hins vegar er ótímabært að fullyrða nokkuð um slíkt eftir aðeins tveggja vetra frostáraun enda eru sýnin sjaldnast fjarri því að standast kröfurnar. Mismunur á frostþoli í efri og neðri hluta kjarnanna er sjaldnast marktækur, en þó mun oftast en hitt á þann veg að flögnunin er meiri í neðri hluta kjarnanna. Þetta kemur heim og saman við tilgátu um fullmikla titrun steypunnar, þá verður neðri hluti slitlagsins efju- og loftsnauðari en ella, sem kemur niður á frostþoli. Annað mál er svo að frostþol í neðri hluta kjarnanna skiptir tæpast nokkru máli fyrir endingu slitlagsins.

Úttektir gefa ekki til kynna að slitlögin hafi skaðast fyrir það að engin tengijárn eru í þverfúgum. Á hitt verður þó að líta að skemmdir af þessum sökum geta þurft langan tíma til að koma fram.

Slit hefur einungis verið mælt á einum kafla, á Dalvegi í Kópavogi og aðeins í tvö ár, en samsíða áreiðanlegar niðurstöður til samanburðar við aðrar slitlagsgerðir fást ekki fyrr en eftir 4-5 ára mælingar. Eftir fyrsta veturinn var hjólfaradýptin orðin 6,5 mm að meðaltali en jókst aðeins um 1 mm veturinn þar á eftir. Þessi mikla breyting á slit milli ára bendir til þess að efja hafi verið tiltölulega mikill hluti í yfirborði steypunnar, sem hugsanlega má rekja til fullmikillar titrunar. Á öðrum köflum hefur slit ekki verið mælt en úttektir gefa til kynna að slit á köflunum sé lítið, enda er umferð á þeim flestum mjög lítil.

Mælingar á togþoli límingar milli malbiksslitlags og yfirlags úr steypu benda til þess að togþolið sé um 0,6 MPa. Þar sem sýnin slitna stundum í malbikshlutanum (sjá viðauka 7) en ekki á skilum steypu og malbiks má ætla að togþol límingarinnar sé ekki til muna minna en innri samloðun malbiksins.

Að lokum er rétt að taka fram að rannsóknirnar ná ekki til allra þátta sem verklýsingar gera ráð fyrir að séu athugaðir. Þetta á til dæmis við um eiginleika fylliefna, hemlunarviðnám og ýfi; að misjafnlega miklu leyti eftir köflum. Í sumum tilfellum eru sýnin of fá til að hægt sé að fullyrða hvort kröfurnar eru uppfylltar og sumir slitlagskaflarnir uppfylla kröfur sem aðrir gera ekki. Af þessum ástæðum verður fremur að skoða áðurgreindar niðurstöður sem vísbendingar fremur en staðhæfingar um eiginleika slitlagskaflanna og hvort þeir uppfylli kröfur.

6. FYRIRHUGAÐ EFTIRLIT Á NÆSTU ÁRUM

Allir kaflarnir verða skoðaðir árlega og skemmdir á þeim skráðar. Ennfremur verður slit mælt einu sinni á ári á kaflanum á Dalbraut í Kópavogi. Frekara eftirlit er ekki fyrirhugað nema annað verði ákveðið síðar.

HEIMILDIR

ACPA 2002: Tölvuskeyti frá Dan Frentess, American Concrete Pavement Association, til Ásbjarnar Jóhannessonar, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, 2002-03-25.

Ásbjörn Jóhannesson 1997: *Hagkvæmnisamanburður á malbikuðum og steypum slitlögum í vegagerð*. Skýrsla nr. 97-09. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson o. fl. 2000: *Tæki til slit- og ýfímælinga*. Lokaskýrsla. BUSL – Slitlaganefnd, skýrsla S-20. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

BBK94 1999: BBK94. *Boverkets handbók om betongkonstruktioner*. Band 2, Material, Utförande, Kontroll. Boverket, Karlskrona.

Burður ehf, án ártals: *Lausleg samantekt á niðurstöðum rannsókna á steypum götum í Kópavogi, 1999*. Verkfræðistofan Burður ehf.

CEN 1990: *Concrete - Performance, production, placing and compilance criteria*. European Prestandard, Ref. No. ENV 206:1990 E. CEN.

CEN 1998a: *General Standard for concrete pavements. Part 1: Materials for concrete pavements*. Draft prEN XXXXX, Work item no 00227077-1. European Committee for Standardization.

CEN 1998b: *General Standard for concrete pavements. Part 2: Functional requirements for concrete pavements*. Draft prEN XXXXX, Work item no 00227077-2. European Committee for Standardization.

de Wit L. B; E. Kempens, 1999: *FILTER Experiment. Organization Carrying-out a Comparison Experiment of High Speed Longitudinal and Transverse Road Evenness Measuring Equipment Used in Europe*. Forum of European Highway Research Laboratories, Technical Note 1992/02, Delft.

Guðmundur Böðvarsson 1977: *Styrkleiki steinsteypu*. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

Halldór Jónsson 2001: *Malbik eða steypa*. Morgunblaðið 9. janúar.

http://www.vv.se/publ/blank/bokhylla/ATB/atb_vag/Texter/A.doc

http://www.vv.se/publ/blank/bokhylla/ATB/atb_vag/Texter/G.doc

Hultqvist, B-Å; Carlsson, B, 1996: *Ringanalys av nordiska provvägsmaskiner. Förslag till gemensam provningsmetod för slitstyrka hos betongbeläggningar*. VTI meddelande nr. 774, Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping.

Njörður Tryggvason 1999: *Steyptar götur og vegir 1937-1998*. Vegagerðin / Sementsverksmiðjan hf, Reykjavík.

NS 1999a: *Norsk Standard NS3420. Beskrivelsestexter for bygg, anlegg, installasjoner. Del I6: Dekker og slitelag*. 3. utgave, Oslo.

NS 1999b: *Norsk Standard NS3420. Beskrivelsestexter for bygg, anlegg, installasjoner. Del L: Betong*. 3. utgave, Oslo.

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1999a: Rannsóknaskýrslur nr. H99/253 og H99/691. Keldnaholt.

- Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1999b: Rannsóknaskýrsla nr. H99/826. Keldnaholt.
- Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1999c: Rannsóknaskýrsla nr. H99/1194. Keldnaholt.
- SS 1995: *Svensk standard SS 13 72 44. Betongprovning – Hårdnad betong – Avvlagning vid frysning*. SIS – Standardiseringsen i Sverige, Stockholm.
- Statens vegvesen 1999a: *Vegbygging*. Håndbok 018. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Oslo.
- Statens vegvesen 1999b: *Standard for drift og vedlikehold av riksveger*. Håndbok 111. Statens vegvesen, Vegdirektoratet Oslo.
- Steypustöðin 1999a: Blöndunarforskrift og steypuprófanir dags. 21/08 1999, C40pe.
- Steypustöðin 1999b: Blöndunarforskrift og steypuprófanir dags. 25/09 1999, C40pe.
- Steypustöðin 1999c: Blöndunarforskrift og steypuprófanir dags. 11/09 1999, C40pe.
- STRÍ 1990: *Forstaðall FS ENV 206:1990: Steinsteypa – Eiginleikar, framleiðsla, niðurlögn og samræmi við kröfur*. Staðlaráð Íslands.
- Porgeir & Helgi 1999a: Framleiðsluskýrsla, dags. 99-08-13. Ljósrit.
- Porgeir & Helgi 1999b: Framleiðsluskýrslur, dags. 99-06-26. Ljósrit.
- Porgeir & Helgi 1999c: Framleiðsluskýrslur, dags. 99-06-30 og 99-07-07. Ljósrit.
- Vägverket 1990: *Bestämning av friktion på belagd vägyta*. http://www.vv.se/publ/blank/bokhylla/ATB/atb_vag/Publikationer/
- Vägverket 1994a: *VÄG 94. Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner. 1. Gemensamma förutsättningar*. Vägverket, publ 1994:21, Borlänge.
- Vägverket 1994b: *VÄG 94. Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner. 3. Konstruktiv utformning av överbyggnad*. Vägverket, publ 1994:23, Borlänge.
- Vägverket 1994c: *VÄG 94. Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner. 7. Cementbundna lager*. Vägverket Publ 1994:87, Borlänge.
- Vägverket 2000a: *ATB VÄG. Kapitel A Gemensamma förutsättningar*. VV Publ 2000:111
- Vägverket 2000g: *ATB VÄG. Kapitel G Cementbundna lager*. VV Publ 2000:111.
- Vegagerðin 1993: *Vegstaðall*. Reynsluútgáfa. Reykjavík.
- Vegagerðin 1995: *Alverk '95. Almenn verklýsing fyrir vega- og brúagerð*. Vegagerðin, Reykjavík.

VIÐAUKI 1
SKILGREINING VERKEFNIS

VIÐAUKI 2
NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA
OG ÚTTEKTA
Á JADARSBRAUT Á AKRANESI

V2.1 Staðsetning borkjarna og ráðstöfun þeirra til prófana

Borkjarnar voru teknir úr tveim sniðum, hornrétt á akstursstefnuna, og að auki úr einu sniði, samsíða akstursstefnunni, í handlagðri breikkun. Tvö fyrrnefndu sniðin voru á miðbiki kaflans en með 50 m millibili, síðastnefnda sniðið til hliðar við hin tvö, sunnanmegin. Í hverju sniði voru teknir sex kjarnar, tveir kjarnar með 25 cm millibili c/c, sem næst úr miðju sniði, og auk þeirra fjórir kjarnar, samhverft um þessa tvo, með 100 cm millibili. Kjarnarnir voru 10 cm í þvermál og merktir þannig, ávallt talið frá vinstri til hægri í sniðinu þegar horft er í útlagningarstefnuna, nema annað sé tekið fram:

- Í sniði J1, 113 m frá norðurenda kaflans: J1-2; J1-1; J1-Ø1; J1- Ø2; J1+1; J1+2.
- Í sniði J2, 163 m frá norðurenda kaflans: J2-2; J2-1; J2-Ø1; J2- Ø2; J2+1; J2+2.
- Í sniði J3, handlagðri breikkun við snið J2: J3-2; J3-1; J3-Ø1; J3-Ø2; J3+1; J3+2.

Snið í handlagðri breikkun er í henni miðri og samsíða akstursstefnunni. Kjarnarnir hafa hækkandi númer í útlagningarstefnuna, það er, J3-2 er vestastur, J3+2 er austastur.

Tafla V2.1 sýnir hvernig borkjörnunum var ráðstafað til prófana.

Tafla V2.1: Ráðstöfun borkjarna til prófana.

Staðsetning	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1	Rúmpyngd Frostþol Lofttalning	Rúmpyngd Smásjár-greining	Rúmpyngd Dorry	Rúmpyngd Kleyfniþol	Rúmpyngd Frostþol Lofttalning	Rúmpyngd Kleyfniþol
Snið J2	Rúmpyngd Kleyfniþol	Rúmpyngd Frostþol Lofttalning	Rúmpyngd Dorry	Rúmpyngd Kleyfniþol	Rúmpyngd	Rúmpyngd Frostþol Lofttalning
Snið J3	Rúmpyngd Frostþol Lofttalning	Rúmpyngd Smásjár-greining	Rúmpyngd Dorry	Rúmpyngd Kleyfniþol	Rúmpyngd Frostþol Lofttalning	Rúmpyngd Kleyfniþol

V2.2 Þykktarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður þykktarmælinga. Tafla V2.2 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til þykktarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður þykktarmælinga.

Tafla V2.2: Niðurstöður þykktarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þykkt, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1	130	130	135	135	125	130
Snið J2	135	130	135	130	135	155
Snið J3	135	145	145	145	130	120

Mat á niðurstöðum þykktarmælinga. Meðalþykkt borkjarnanna úr sniðum J1 og J2 er 134 mm og staðalfrávik mælinganna er 7,4 mm. Samsvarandi tölur fyrir snið J3 eru 137 mm og 10,3 mm.

Engar upplýsingar hafa komið fram um þykktarhönnun slitlagsins og þar af leiðandi er ekki hægt að bera mælda þykkt saman við hannaða þykkt. Hinsvegar er hægt að meta hvaða hönnunarþykkt, R, tilsvavar mældri þykkt þannig að niðurstöðurnar uppfylli þykktarkröfur sænskra verklýsinga [Vägverket 2000g:15] ef hönnunarþykktin er R.

Samkvæmt þessum niðurstöðum uppfylla þykktarmælingarnar í sniðum J1 og J2 kröfur um hönnunarþykkt, R, sem er allt að 137 mm. Samsvarandi tala fyrir J3 (úr handlagðri breikkun) er 144 mm, en þá er reiknað með að þynnsti borkjarninn sé útlagi (heyrir undir það sem í sænskum verklýsingum er kallað “grovt fel”).

Við útlögn var útlagnarvélin stillt á 140 mm þykkt. Það vantar því 3 mm upp á að metin hönnunarþykkt, R, nái fyrirhugaðri útlagnarþykkt.

V2.3 Rúmþyngdarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Tafla V2.3 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til rúmþyngdarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Kjarnarnir voru látnir þorna við stofuhita í nokkra sólarhringa áður en rúmþyngdin var mæld.

Tafla V2.3: Niðurstöður rúmþyngdarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1	2450	2400	2450	2460	2440	2450
Snið J2	2460	2400	2420	2410	2430	2440
Snið J3	2420	2400	2410	2390	2420	2410

Ennfremur var nokkrum borkjörnum skipt í tvær 50 mm þykkar sneiðar og rúmþyngd mæld á hvorri sneið fyrir sig eftir að þær höfðu þornað við stofuhita í um það bil tvær vikur. Tafla V2.4 sýnir hvaða kjörnum var skipt, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga á hvorum hluta um sig.

Tafla V2.4: Rúmþyngd efri og neðri hluta nokkurra borkjarna.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1, efri hluti	2400	-	-	-	2410	-
Snið J1, neðri hluti	2440	-	-	-	2430	-
Snið J2, efri hluti	-	2360	-	-	-	2400
Snið J2, neðri hluti	-	2390	-	-	-	2440
Snið J3, efri hluti	2380	-	-	-	2390	-
Snið J3, neðri hluti	2390	-	-	-	2380	-

Mat á niðurstöðum rúmþyngdarmælinga. Meðaltal rúmþyngdar úr sniðum J1 og J2 er 2434 kg/m³ og staðalfrávikidið er 22 kg/m³. Meðalrúmþyngd í þessum sniðum svarar til 100 % þjöppunar, sjá kafla 4.1.3. Samsvarandi tölur fyrir snið J3 eru 2408 kg/m³ og 12 kg/m³, en þjöppun í þessu sniði er ekki hægt að reikna út þar sem viðmiðunarrúmþyngd vantar.

Meðalrúmþyngd úr efri hlutum kjarnanna í sniðum J1 og J2 er 2393 kg/m³ og 2425 kg/m³ í neðri hlutunum. Mismunurinn er marktækur, líkur á að hann sé tilviljun er < 1 %. Í sniði J3 er rúmþyngdin að meðaltali 2385 kg/m³ í hvorum hluta um sig.

V2.4 Prófanir á kleyfniþoli

Niðurstöður kleyfniþolsmælinga. Tafla V2.5 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á kleyfniþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga á kleyfniþoli, sem var prófað samkvæmt ASTM C 496-96.

Tafla V2.5: Niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Kleyfniþol, MPa					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1	-	-		4,1	-	3,6
Snið J2	3,5	-	3,8	-	-	-
Snið J3	-	-		4,0	-	4,7

Mat á niðurstöðum kleyfniþolsmælinga. Kleyfniþol borkjarna úr sniðum J1 og J2 er að meðaltali 3,7 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,26 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,0 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T2,5 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í þrýstipól [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt þrýstipól er um 37 MPa.

Kleyfniþol borkjarna úr sniði J3 er að meðaltali 4,3 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,52 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,5 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T3,0 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Líklegt þrýstipól, reiknað út frá kleyfniþoli, er um 46 MPa [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Þessi niðurstaða kemur ágætlega heim við mælt þrýstipól á 28 sívalningum í framleiðslueftirliti (43 MPa, sjá kafla 4.1.3).

V2.5 Prófanir á frostþoli

Niðurstöður frostþolsmælinga. Tafla V2.6 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á frostþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga. Úr hverjum kjarna voru sagaðar tvær sneiðar um það bil 5 cm þykkar og báðar prófaðar. Þær eru auðkenndar innbyrðis með “efri sneið” og “neðri sneið”. Frostþolið var prófað í samræmi við SS 13 72 44, aðferð IIIA [SS 1995].

Tafla V2.6: Niðurstöður frostþolsmælinga á borkjörnum.

Í sviga er tilgreint hvort hlutfallið m_{56}/m_{28} er stærra eða minna en 2.

Staðsetning kjarna og sneiða	Flögnun eftir 56 umferðir, kg/m ²					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1, efri sneið	0,68 (<2)	-	-	-	0,63 (>2)	-
Snið J1, neðri sneið	1,48 (>2)	-	-	-	1,27 (<2)	-
Snið J2, efri sneið	-	0,18 (=2)	-	-	-	1,59 (>2)
Snið J2, neðri sneið	-	0,64 (>2)	-	-	-	0,91 (<2)
Snið J3, efri sneið	0,45 (>2)	-	-	-	0,10 (>2)	-
Snið J3, neðri sneið	0,45 (>2)	-	-	-	0,80 (<2)	-

Mat á niðurstöðum frostþolsmælinga. Flögnun á sýnum úr sniðum J1 og J2 er að meðaltali 0,92 kg/m² og staðalfrávik mælinganna er 0,49 kg/m². Samsvarandi tölur fyrir J3 (sýni úr handlagðri breikkun) eru 0,45 kg/m² og 0,29 kg/m².

Niðurstöðurnar benda ekki til þess að flögnun sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna í sniðunum.

V2.6 Athuganir á loftinnihaldi

Niðurstöður lofttalninga. Tafla V2.7 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til punktatalninga á lofti, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður lofttalninga. Loft var talið í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Talningarnar voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V2.7: Niðurstöður lofttalninga.

Staðsetning kjarna	Loftinnihald skv. talningu, %					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1	6,3	-	-	-	6,1	-
Snið J3	5,3	-	-	-	5,9	-

Mat á niðurstöðum lofttalninga. Loftinnihald í sýnum úr sniði J1 er að meðaltali 6,2 % og staðalfrávik mælinganna er 0,14 %. Samsvarandi tölur fyrir J3 (sýni úr handlagðri breikkun) eru 5,6 % og 0,42 %.

V2.7 Loftdreifing, yfirborð loftbólna

Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna. Tafla V2.8 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á yfirborði loftbólna, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður yfirborðsmælinga. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V2.8: Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna.

Staðsetning kjarna	Yfirborð loftbólna, mm ⁻¹					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1	23	-	-	-	22	-
Snið J3	31	-	-	-	25	-

Mat á niðurstöðum athugana á yfirborði loftbólna. Yfirborð loftbólna í sniði J1 er að meðaltali 22,5 mm⁻¹ og staðalfrávik mælinganna er 0,71 mm⁻¹. Samsvarandi tölur fyrir J3 (sýni úr handlagðri breikkun) eru 28,0 mm⁻¹ og 4,24 mm⁻¹.

V2.8 Loftdreifing, fjarlægðarstuðull

Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli. Tafla V2.9 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á fjarlægðarstuðli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður athugananna. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V2.9: Fjarlægðarstuðull.

Staðsetning kjarna	Fjarlægðarstuðull, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið J1	0,18	-	-	-	0,20	-
Snið J3	0,15	-	-	-	0,15	-

Mat á niðurstöðum athugana á fjarlægðarstuðli. Fjarlægðarstuðull loftbólna í sniði J1 er að meðaltali 0,19 mm og staðalfrávik mælinganna er 0,014 mm. Samsvarandi tölur fyrir J3 (sýni úr handlagðri breikkun) eru 0,15 mm, samhljóða.

V2.9 Niðurstöður smásjargreininga á steypu

Tvö sýni voru greind í smásjá, J1-1 (véllagður hluti) og J3-1 (handlögð breikkun). Niðurstöður greiningarinnar eru birtar í viðauka 11.

V2.10 Niðurstöður ýfímælinga

Ýfi var mælt með 3 m réttsskeið í 76 punktum vorið eftir að slitlagið var lagt. Í engum þeirra náði fráviknið 6 mm, meðalfrávik var 0,5 mm og staðalfrávik frávikanna var 0,85 mm.

V2.11 Slit

Engar mælingar á slitni hafa verið gerðar á þessum kafla.

V2.12 Hemlunarviðnám

Engar mælingar hafa verið gerðar á þessum kafla á hemlunarviðnámi.

V2.13 Niðurstöður úttekta

Úttekt 2000-04-29. Slitlagið á kaflanum er óskemmt, engin hjólför, engin merki um frostsKemmdir.

Úttekt 2001-07-26. Nyrðri akrein er óskemmd. Í syðri akrein eru langssprungur í 5., 6. og 7. plötu, talið frá austri. Í sömu akrein, 50. og 51. plötu, talið frá austri, eru stuttar rýrnunarsprungur. Engin hjólför eru sjáanleg í kaflanum.

VIÐAUKI 3
NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA
OG ÚTTEKTA
Á LEYNISBRAUT Á AKRANESI

V3.1 Staðsetning borkjarna og ráðstöfun þeirra til prófana

Borkjarnar voru teknir úr tveim sniðum, hornrétt á akstursstefnuna. Sniðin voru á miðbiki kaflans en með 50 m millibili. Í hvoru sniði voru teknir sex kjarnar, tveir kjarnar með 25 cm millibili c/c, sem næst úr miðju sniði, og auk þeirra fjórir kjarnar, samhverft um þessa tvo, með 100 cm millibili. Kjarnarnir voru 10 cm í þvermál og merktir þannig, ávallt talið frá vinstri til hægri í sniðinu þegar horft er í útlagnarstefnuna, nema annað sé tekið fram:

- Í sniði L1, 177 m frá norðurenda kaflans: L1-2; L1-1; L1-Ø1; L1-Ø2; L1+1; L1+2.
- Í sniði L2, 227 m frá norðurenda kaflans: L2-2; L2-1; L2-Ø1; L2-Ø2; L2+1; L2+2.

Tafla V3.1 sýnir hvernig borkjörnunum var ráðstafað til prófana.

Tafla V3.1: Ráðstöfun borkjarna til prófana.

Staðsetning	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið L1	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Kleyfniþol Smásjár- greining
Snið L2	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning

V3.2 Þykktarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður þykktarmælinga. Tafla V3.2 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til þykktarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður þykktarmælinga.

Tafla V3.2: Niðurstöður þykktarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þykkt, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið L1	135	145	150	150	145	135
Snið L2	125	135	130	130	125	125

Mat á niðurstöðum þykktarmælinga. Meðalþykkt borkjarnanna úr sniðum L1 og L2 er 136 mm og staðalfrávik mælinganna er 9,5 mm.

Engar upplýsingar hafa komið fram um þykktarhönnun slitlagsins og þar af leiðandi er ekki mögulegt að bera mælda þykkt saman við hannaða þykkt. Hinsvegar er hægt að meta hvaða hönnunarþykkt, R, tilsvavar mældri þykkt þannig að niðurstöðurnar uppfylli þykktarkröfur sænskra verklýsinga [Vägverket 2000g:15] ef hönnunarþykktin er R.

Samkvæmt þessum niðurstöðum uppfylla þykktarmælingarnar í sniðum L1 og L2 kröfur um hönnunarþykkt, R, sem er allt að 138 mm.

Við útlögn var vélin stillt á 140 mm þykkt. Það vantar því 2 mm upp á að metin hönnunarþykkt nái fyrirhugaðri útlagnarþykkt.

V3.3 Rúmþyngdarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Tafla V3.3 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til rúmþyngdarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdar-

mælinga. Kjarnarnir voru látnir þorna við stofuhita í nokkra sólarhringa áður en rúmþyngdin var mæld.

Tafla V3.3: Niðurstöður rúmþyngdarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið L1	2440	2390	2410	2410	2400	2450
Snið L2	2450	2420	2450	2440	2440	2420

Ennfremur var nokkrum borkjörnum skipt í tvær 50 mm þykkar sneiðar og rúmþyngd mæld á hvorri sneið fyrir sig eftir að þær höfðu þornað við stofuhita í um það bil tvær vikur. Tafla V3.4 sýnir hvaða kjörnum var skipt, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga á hvorum hluta um sig.

Tafla V3.4: Rúmþyngd efri og neðri hluta nokkurra borkjarna.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið L1, efri hluti	2390	-	-	-	2380	-
Snið L1, neðri hluti	2400	-	-	-	2360	-
Snið L2, efri hluti	-	2370	-	-	-	2390
Snið L2, neðri hluti	-	2430	-	-	-	2380

Mat á niðurstöðum rúmþyngdarmælinga. Meðaltal rúmþyngdar úr sniðum L1 og L2 er 2427 kg/m³ og staðalfrávik er 21 kg/m³. Meðalrúmþyngd í þessum sniðum svarar til 98 % þjöppunar, sjá kafla 4.2.3.

Meðalrúmþyngd úr efri hlutum kjarnanna í sniðum L1 og L2 er 2383 kg/m³ og 2393 kg/m³ í neðri hlutunum. Mismunurinn er ekki marktækur, líkur á að hann sé tilviljun er um 60 %.

V3.4 Prófanir á kleyfniþoli

Niðurstöður kleyfniþolsmælinga. Tafla V3.5 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á kleyfniþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga á kleyfniþoli, sem var prófað samkvæmt ASTM C 496-96.

Tafla V3.5: Niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Kleyfniþol, MPa					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið L1	-	-	-	4,0	-	4,0
Snið L2	4,8	-	-	4,1	-	-

Mat á niðurstöðum kleyfniþolsmælinga. Kleyfniþol borkjarna úr sniðum L1 og L2 er að meðaltali 4,2 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,38 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,4 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T2,5 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í þrýstipól [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt þrýstipól er um 45 MPa, sem er í góðu samræmi við niðurstöður framleiðslueftirlits (45-52 MPa).

V3.5 Prófanir á frostþoli

Niðurstöður frostþolsmælinga. Tafla V3.6 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á frostþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga. Úr hverjum kjarna voru sagaðar tvær sneiðar um það bil 5 cm þykkar og báðar prófaðar. Þær eru auðkenndar innbyrðis með “efri sneið” og “neðri sneið”. Frostþolið var prófað í samræmi við SS 13 72 44, aðferð IIIA [SS 1995].

Tafla V3.6: Niðurstöður frostþolsmælinga á borkjörnum.
Í sviga er tilgreint hvort hlutfallið m_{56}/m_{28} er stærra eða minna en 2.

Staðsetning kjarna og sneiða	Flögnun eftir 56 umferðir, kg/m ²					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið L1, efri sneið	0,35 (>2)	-	-	-	0,72 (>2)	-
Sneið L1, neðri sneið	0,82 (>2)	-	-	-	1,03 (>2)	-
Sneið L2, efri sneið	-	0,41 (>2)	-	-	-	0,90 (>2)
Sneið L2, neðri sneið	-	0,67 (>2)	-	-	-	2,59 (=2)

Mat á niðurstöðum frostþolsmælinga. Flögnun á sýnum úr sniðum L1 og L2 er að meðaltali 0,94 kg/m² og staðalfrávik mælinganna er 0,71 kg/m².

Niðurstöðurnar benda ekki til þess að flögnun sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna í sniðunum.

V3.6 Athuganir á loftinnihaldi

Niðurstöður lofttalninga. Tafla V3.7 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til punktallninga á lofti, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður lofttalninga. Loft var talið í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Talningarnar voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V3.7: Niðurstöður lofttalninga.

Staðsetning kjarna	Loftinnihald skv. talningu, %					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið L1	6,2	-	-	-	6,1	-

Mat á niðurstöðum lofttalninga. Loftinnihald í sýnum úr sniði L1 er að meðaltali 6,2 % og staðalfrávik mælinganna er 0,07 %.

V3.7 Loftdreifing, yfirborð loftbólna

Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna. Tafla V3.8 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á yfirborði loftbólna, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður yfirborðsmælinga. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V3.8: Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna.

Staðsetning kjarna	Yfirborð loftbólna, mm ⁻¹					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið L1	26	-	-	-	22	-

Mat á niðurstöðum athugana á yfirborði loftbólna. Yfirborð loftbólna í sniði L1 er að meðaltali $24,0 \text{ mm}^{-1}$ og staðalfrávik mælinganna er $2,83 \text{ mm}^{-1}$.

V3.8 Loftdreifing, fjarlægðarstuðull

Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli. Tafla V3.9 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á fjarlægðarstuðli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður athugananna. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V3.9: Fjarlægðarstuðull.

Staðsetning kjarna	Fjarlægðarstuðull, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið L1	0,16	-	-	-	0,19	-

Mat á niðurstöðum athugana á fjarlægðarstuðli. Fjarlægðarstuðull loftbólna í sniði L1 er að meðaltali 0,18 mm og staðalfrávik mælinganna er 0,020 mm.

V3.9 Niðurstöður smásjargreininga á steypu

Eitt sýni var greint í smásjá, L1+ 2. Niðurstöðurnar eru birtar í viðauka 11.

V3.10 Niðurstöður ýfímælinga

Ýfi var mælt með 3 m réttkeið í 105 punktum vorið eftir að slitlagið var lagt. Í engum þeirra náði fráviknið 6 mm, meðalfrávik var 0,6 mm og staðalfrávik mælinganna var 0,79 mm.

V3.11 Niðurstöður slitmælinga

Engar mælingar á slitni hafa verið gerðar á þessum kafla.

V3.12 Niðurstöður mælinga á hemlunarviðnámi

Engar mælingar hafa verið gerðar á þessum kafla á hemlunarviðnámi.

V3.13 Niðurstöður úttekta

Úttekt 2000-04-29. Á þrem stöðum, í 20, 34 og 95 m fjarlægð frá suðurenda Leynisbrautar eru þversprungur yfir báðar akreinar. Á miðhluta kaflans er miðjufúgan farin að gliðna vegna skriðs í undirbyggingu og vottar fyrir misgengi um hana. Slitlagið á kaflanum er óskemmt að öðru leyti, engin hjólför og engin merki um frostskemdir.

Úttekt 2001-07-26. Auk þversprungnanna sem getið er í úttekt síðasta árs, eru komnar langssprungur og óreglulegar sprungur á nokkrum stöðum. Þær eru, talið frá suðurenda götunnar:

Í austurakrein:

- 41. plata: Langssprunga, brotið horn.
- 42. plata: Óreglulegar sprungur.
- 43-44. plata: Langssprunga, brotið horn.
- 45. plata: Langssprungur á tveim stöðum í hluta plötunnar.
- 56-57. plata: Langssprungur hluta platnanna.
- 61. plata: Stutt langssprunga í hluta plötunnar.

Í vesturakrein:

- 39. plata: Langssprungu í hluta plötunnar.
- 40-48. plata: Langssprungur.
- 49. plata: Langssprungu í hluta plötunnar.
- 71. plata: Langssprungu í hluta plötunnar.

Sprungurnar stafa nánast örugglega af missigi í undirbyggingu. Á miðhluta kaflans hefur miðjufúgan gliðnað mikið, um rúma 20 mm þar sem mest er. Í kaflanum eru engin hjólför.

VIÐAUKI 4
NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA
OG ÚTTEKTA
Á STILLHOLTI Á AKRANESI

V4.1 Staðsetning borkjarna og ráðstöfun þeirra til prófana

Borkjarnar voru teknir úr tveim sniðum, hornrétt á akstursstefnuna. Sniðin voru á miðbiki kaflans en með 50 m millibili. Í hvoru sniði voru teknir sex kjarnar, tveir kjarnar með 25 cm millibili c/c, sem næst úr miðju sniði, og auk þeirra fjórir kjarnar, samhverft um þessa tvo, með 100 cm millibili. Kjarnarnir voru 10 cm í þvermál og merktir þannig, ávallt talið frá vinstri til hægri í sniðinu þegar horft er í útlagningarstefnuna, nema annað sé tekið fram:

- Í sniði S1, 66 m frá suðurenda kaflans: S1-2; S1-1; S1-Ø1; S1-Ø2; S1+1; S1+2.
- Í sniði S2, 119 m frá suðurenda kaflans: S2-2; S2-1; S2-Ø1; S2-Ø2; S2+1; S2+2.

Tafla V4.1 sýnir hvernig borkjörnunum var ráðstafað til prófana.

Tafla V4.1: Ráðstöfun borkjarna til prófana.

Staðsetning	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	Rúmþyngd Frostþol Lofuttalning	Rúmþyngd	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofuttalning	Rúmþyngd Kleyfniþol
Snið S2	Rúmþyngd Kleyfniþol Smásjár- greining	Rúmþyngd Frostþol Lofuttalning	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd	Rúmþyngd Frostþol Lofuttalning

V4.2 Þykktarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður þykktarmælinga. Tafla V4.2 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til þykktarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður þykktarmælinga.

Tafla V4.2: Niðurstöður þykktarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þykkt, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	130	130	135	135	130	130
Snið S2	140	135	140	140	130	135

Mat á niðurstöðum þykktarmælinga. Meðalþykkt borkjarnanna úr sniðum S1 og S2 er 134 mm og staðalfrávik mælinganna er 4,2 mm.

Engar upplýsingar hafa komið fram um þykktarhönnun slitlagsins og þar af leiðandi er ekki mögulegt að bera mælda þykkt saman við hannaða þykkt. Hinsvegar er hægt að meta hvaða hönnunarþykkt, R, tilsvavar mældri þykkt þannig að niðurstöðurnar uppfylli þykktarkröfur sænskra verklýsinga [Vägverket 2000g:15] ef hönnunarþykktin er R.

Samkvæmt þessum niðurstöðum uppfylla þykktarmælingarnar í sniðum S1 og S2 kröfur um hönnunarþykkt, R, sem er allt að 140 mm.

Við útlögn var vélin stillt á 140 mm þykkt. Metin hönnunarþykkt er því í samræmi við fyrirhugaða útlagnarþykkt.

V4.3 Rúmþyngdarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Tafla V4.3 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til rúmþyngdarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Kjarnarnir voru látnir þorna við stofuhita í nokkra sólarhringa áður en rúmþyngdin var mæld.

Tafla V4.3: Niðurstöður rúmþyngdarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	2460	2460	2440	2460	2430	2460
Snið S2	2470	2450	2450	2450	2440	2420

Ennfremur var nokkrum borkjörnum skipt í tvær 50 mm þykkar sneiðar og rúmþyngd mæld á hvorri sneið fyrir sig eftir að þær höfðu þornað við stofuhita í um það bil tvær vikur. Tafla V4.4 sýnir hvaða kjörnum var skipt, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga á hvorum hluta um sig.

Tafla V4.4: Rúmþyngd efri og neðri hluta nokkurra borkjarna.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1, efri hluti	2400	-	-	-	2370	-
Snið S1, neðri hluti	2460	-	-	-	2420	-
Snið S2, efri hluti	-	2400	-	-	-	2330
Snið S2, neðri hluti	-	2440	-	-	-	2440

Mat á niðurstöðum rúmþyngdarmælinga. Meðaltal rúmþyngdar úr sniðum S1 og S2 er 2449 kg/m³ og staðalfrávik er 14 kg/m³. Meðalrúmþyngd í þessum sniðum svarar til 99 % þjöppunar, sjá kafla 4.3.3.

Meðalrúmþyngd úr efri hlutum kjarnanna í sniðum S1 og S2 er 2375 kg/m³ og 2440 kg/m³ í neðri hlutunum. Mismunurinn er marktækur, líkur á að hann sé einber tilviljun er minni 3 %.

V4.4 Prófanir á kleyfniþoli

Niðurstöður kleyfniþolsmælinga. Tafla V4.5 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á kleyfniþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga á kleyfniþoli, sem var prófað samkvæmt ASTM C 496-96.

Tafla V4.5: Niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Kleyfniþol, MPa					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	-	-	-	4,1	-	3,7
Snið S2	4,9	-	-	4,2	-	-

Mat á niðurstöðum kleyfniþolsmælinga. Kleyfniþol borkjarna úr sniðum S1 og S2 er að meðaltali 4,2 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,49 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,4 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T2,5 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í þrýstipól [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt þrýstipól er um 44 MPa, sem er nokkru lægra en niðurstöður framleiðslueftirlits segja til um (51-52 MPa).

V4.5 Prófanir á frostþoli

Niðurstöður frostþolsmælinga. Tafla V4.6 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á frostþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga. Úr

hverjum kjarna voru sagaðar tvær sneiðar um það bil 5 cm þykkar og báðar prófaðar. Þær eru auðkenndar innbyrðis með “efri sneið” og “neðri sneið”. Frostþolið var prófað í samræmi við SS 13 72 44, aðferð IIIA [SS 1995].

Tafla V4.6: Niðurstöður frostþolsmælinga á borkjörnum.
Í sviga er tilgreint hvort hlutfallið m_{56}/m_{28} er stærra eða minna en 2.

Staðsetning kjarna og sneiða	Flögnun eftir 56 umferðir, kg/m ²					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið S1, efri sneið	0,71 (>2)	-	-	-	0,51 (<2)	-
Sneið S1, neðri sneið	1,08 (<2)	-	-	-	0,53 (>2)	-
Sneið S2, efri sneið	-	0,53 (>2)	-	-	-	0,77 (>2)
Sneið S2, neðri sneið	-	1,67 (>2)	-	-	-	1,21 (>2)

Mat á niðurstöðum frostþolsmælinga. Flögnun á sýnum úr sniðum S1 og S2 er að meðaltali 0,88 kg/m² og staðalfrávik mælinganna er 0,41 kg/m².

Niðurstöðurnar benda ekki til þess að flögnun sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna í sniðunum.

V4.6 Athuganir á loftinnihaldi

Niðurstöður lofttalninga. Tafla V4.7 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til punktatalninga á lofti, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður lofttalninga. Loft var talið í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Talningarnar voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V4.7: Niðurstöður lofttalninga.

Staðsetning kjarna	Loftinnihald skv. talningu, %					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið S1	6,5	-	-	-	6,6	-

Mat á niðurstöðum lofttalninga. Loftinnihald í sýnum úr sniði S1 er að meðaltali 6,6 % og staðalfrávik mælinganna er 0,07 %.

V4.7 Loftdreifing, yfirborð loftbólna

Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna. Tafla V4.8 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á yfirborði loftbólna, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður yfirborðsmælinga. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V4.8: Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna.

Staðsetning kjarna	Yfirborð loftbólna, mm ⁻¹					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið S1	17	-	-	-	25	-

Mat á niðurstöðum athugana á yfirborði loftbólna. Yfirborð loftbólna í sniði S1 er að meðaltali 21,0 mm⁻¹ og staðalfrávik mælinganna er 5,66 mm⁻¹.

V4.8 Loftdreifing, fjarlægðarstuðull

Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli. Tafla V4.9 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á fjarlægðarstuðli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður athugananna. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V4.9: Fjarlægðarstuðull.

Staðsetning kjarna	Fjarlægðarstuðull, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	0,22	-	-	-	0,13	-

Mat á niðurstöðum athugana á fjarlægðarstuðli. Fjarlægðarstuðull loftbólna í sniði S1 er að meðaltali 0,18 mm og staðalfrávik mælinganna er 0,060 mm.

V4.9 Niðurstöður smásjargreininga á steypu

Eitt sýni (S2-2) var greint í smásjá. Niðurstöður greiningarinnar eru birtar í viðauka 11.

V4.10 Niðurstöður ýfímælinga

Ýfi var mælt með 3 m réttsskeið í 91 punkti vorið eftir að slitlagið var lagt. Í engum þeirra náði fráviknið 6 mm, meðalfrávik var 1,0 mm og staðalfrávik mælinganna var 1,30 mm.

V4.11 Slit

Engar mælingar á slitum hafa verið gerðar á þessum kafla.

V4.12 Hemlunarviðnám

Engar mælingar hafa verið gerðar á þessum kafla á hemlunarviðnámi.

V4.13 Niðurstöður úttekta

Úttekt 2000-04-29. Slitlagið á kaflanum er óskemmt, hattar aðeins fyrir hjólförum á syðri akrein, engin merki um frostskeimdir.

Úttekt 2001-07-26. Ein þversprunga í nyrðri akrein og hluta af þeirri syðri u. þ. b. 125 m vestan við austurenda kaflans og ein langssprunga í syðri akrein í endaplötu kaflans vestanmegin. Að öðru leyti er slitlagið óskemmt. Á báðum akreinum hattar fyrir hjólförum en þau eru sennilega ekki mælanleg.

VIÐAUKI 4
NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA
OG ÚTTEKTA
Á STILLHOLTI Á AKRANESI

V4.1 Staðsetning borkjarna og ráðstöfun þeirra til prófana

Borkjarnar voru teknir úr tveim sniðum, hornrétt á akstursstefnuna. Sniðin voru á miðbiki kaflans en með 50 m millibili. Í hvoru sniði voru teknir sex kjarnar, tveir kjarnar með 25 cm millibili c/c, sem næst úr miðju sniði, og auk þeirra fjórir kjarnar, samhverft um þessa tvo, með 100 cm millibili. Kjarnarnir voru 10 cm í þvermál og merktir þannig, ávallt talið frá vinstri til hægri í sniðinu þegar horft er í útlagningarstefnuna, nema annað sé tekið fram:

- Í sniði S1, 66 m frá suðurenda kaflans: S1-2; S1-1; S1-Ø1; S1-Ø2; S1+1; S1+2.
- Í sniði S2, 119 m frá suðurenda kaflans: S2-2; S2-1; S2-Ø1; S2-Ø2; S2+1; S2+2.

Tafla V4.1 sýnir hvernig borkjörnunum var ráðstafað til prófana.

Tafla V4.1: Ráðstöfun borkjarna til prófana.

Staðsetning	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Kleyfniþol
Snið S2	Rúmþyngd Kleyfniþol Smásjár- greining	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning

V4.2 Þykktarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður þykktarmælinga. Tafla V4.2 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til þykktarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður þykktarmælinga.

Tafla V4.2: Niðurstöður þykktarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þykkt, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	130	130	135	135	130	130
Snið S2	140	135	140	140	130	135

Mat á niðurstöðum þykktarmælinga. Meðalþykkt borkjarnanna úr sniðum S1 og S2 er 134 mm og staðalfrávik mælinganna er 4,2 mm.

Engar upplýsingar hafa komið fram um þykktarhönnun slitlagsins og þar af leiðandi er ekki mögulegt að bera mælda þykkt saman við hannaða þykkt. Hinsvegar er hægt að meta hvaða hönnunarþykkt, R, tilsvavar mældri þykkt þannig að niðurstöðurnar uppfylli þykktarkröfur sænskra verklýsinga [Vägverket 2000g:15] ef hönnunarþykktin er R.

Samkvæmt þessum niðurstöðum uppfylla þykktarmælingarnar í sniðum S1 og S2 kröfur um hönnunarþykkt, R, sem er allt að 140 mm.

Við útlögn var vélin stillt á 140 mm þykkt. Metin hönnunarþykkt er því í samræmi við fyrirhugaða útlagnarþykkt.

V4.3 Rúmþyngdarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Tafla V4.3 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til rúmþyngdarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Kjarnarnir voru látnir þorna við stofuhita í nokkra sólarhringa áður en rúmþyngdin var mæld.

Tafla V4.3: Niðurstöður rúmþyngdarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	2460	2460	2440	2460	2430	2460
Snið S2	2470	2450	2450	2450	2440	2420

Ennfremur var nokkrum borkjörnum skipt í tvær 50 mm þykkar sneiðar og rúmþyngd mæld á hvorri sneið fyrir sig eftir að þær höfðu þornað við stofuhita í um það bil tvær vikur. Tafla V4.4 sýnir hvaða kjörnum var skipt, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga á hvorum hluta um sig.

Tafla V4.4: Rúmþyngd efri og neðri hluta nokkurra borkjarna.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1, efri hluti	2400	-	-	-	2370	-
Snið S1, neðri hluti	2460	-	-	-	2420	-
Snið S2, efri hluti	-	2400	-	-	-	2330
Snið S2, neðri hluti	-	2440	-	-	-	2440

Mat á niðurstöðum rúmþyngdarmælinga. Meðaltal rúmþyngdar úr sniðum S1 og S2 er 2449 kg/m³ og staðalfrávik er 14 kg/m³. Meðalrúmþyngd í þessum sniðum svarar til 99 % þjöppunar, sjá kafla 4.3.3.

Meðalrúmþyngd úr efri hlutum kjarnanna í sniðum S1 og S2 er 2375 kg/m³ og 2440 kg/m³ í neðri hlutunum. Mismunurinn er marktækur, líkur á að hann sé einber tilviljun er minni 3 %.

V4.4 Prófanir á kleyfniþoli

Niðurstöður kleyfniþolsmælinga. Tafla V4.5 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á kleyfniþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga á kleyfniþoli, sem var prófað samkvæmt ASTM C 496-96.

Tafla V4.5: Niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Kleyfniþol, MPa					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	-	-	-	4,1	-	3,7
Snið S2	4,9	-	-	4,2	-	-

Mat á niðurstöðum kleyfniþolsmælinga. Kleyfniþol borkjarna úr sniðum S1 og S2 er að meðaltali 4,2 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,49 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,4 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T2,5 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í þrýstipól [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt þrýstipól er um 44 MPa, sem er nokkru lægra en niðurstöður framleiðslueftirlits segja til um (51-52 MPa).

V4.5 Prófanir á frostþoli

Niðurstöður frostþolsmælinga. Tafla V4.6 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á frostþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga. Úr

hverjum kjarna voru sagaðar tvær sneiðar um það bil 5 cm þykkar og báðar prófaðar. Þær eru auðkenndar innbyrðis með “efri sneið” og “neðri sneið”. Frostþolið var prófað í samræmi við SS 13 72 44, aðferð IIIA [SS 1995].

Tafla V4.6: Niðurstöður frostþolsmælinga á borkjörnum.
Í sviga er tilgreint hvort hlutfallið m_{56}/m_{28} er stærra eða minna en 2.

Staðsetning kjarna og sneiða	Flögnun eftir 56 umferðir, kg/m^2					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið S1, efri sneið	0,71 (>2)	-	-	-	0,51 (<2)	-
Sneið S1, neðri sneið	1,08 (<2)	-	-	-	0,53 (>2)	-
Sneið S2, efri sneið	-	0,53 (>2)	-	-	-	0,77 (>2)
Sneið S2, neðri sneið	-	1,67 (>2)	-	-	-	1,21 (>2)

Mat á niðurstöðum frostþolsmælinga. Flögnun á sýnum úr sniðum S1 og S2 er að meðaltali $0,88 \text{ kg}/\text{m}^2$ og staðalfrávik mælinganna er $0,41 \text{ kg}/\text{m}^2$.

Niðurstöðurnar benda ekki til þess að flögnun sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna í sniðunum.

V4.6 Athuganir á loftinnihaldi

Niðurstöður lofttalninga. Tafla V4.7 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til punktatalninga á lofti, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður lofttalninga. Loft var talið í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Talningarnar voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V4.7: Niðurstöður lofttalninga.

Staðsetning kjarna	Loftinnihald skv. talningu, %					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið S1	6,5	-	-	-	6,6	-

Mat á niðurstöðum lofttalninga. Loftinnihald í sýnum úr sniði S1 er að meðaltali 6,6 % og staðalfrávik mælinganna er 0,07 %.

V4.7 Loftdreifing, yfirborð loftbólna

Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna. Tafla V4.8 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á yfirborði loftbólna, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður yfirborðsmælinga. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V4.8: Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna.

Staðsetning kjarna	Yfirborð loftbólna, mm^{-1}					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Sneið S1	17	-	-	-	25	-

Mat á niðurstöðum athugana á yfirborði loftbólna. Yfirborð loftbólna í sniði S1 er að meðaltali $21,0 \text{ mm}^{-1}$ og staðalfrávik mælinganna er $5,66 \text{ mm}^{-1}$.

V4.8 Loftdreifing, fjarlægðarstuðull

Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli. Tafla V4.9 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á fjarlægðarstuðli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður athugananna. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V4.9: Fjarlægðarstuðull.

Staðsetning kjarna	Fjarlægðarstuðull, mm					
	-2	-1	Ø1	Ø2	+1	+2
Snið S1	0,22	-	-	-	0,13	-

Mat á niðurstöðum athugana á fjarlægðarstuðli. Fjarlægðarstuðull loftbólna í sniði S1 er að meðaltali 0,18 mm og staðalfrávik mælinganna er 0,060 mm.

V4.9 Niðurstöður smásjargreininga á steypu

Eitt sýni (S2-2) var greint í smásjá. Niðurstöður greiningarinnar eru birtar í viðauka 11.

V4.10 Niðurstöður ýfímælinga

Ýfi var mælt með 3 m réttsskeið í 91 punkti vorið eftir að slitlagið var lagt. Í engum þeirra náði fráviknið 6 mm, meðalfrávik var 1,0 mm og staðalfrávik mælinganna var 1,30 mm.

V4.11 Slit

Engar mælingar á slitni hafa verið gerðar á þessum kafla.

V4.12 Hemlunarviðnám

Engar mælingar hafa verið gerðar á þessum kafla á hemlunarviðnámi.

V4.13 Niðurstöður úttekta

Úttekt 2000-04-29. Slitlagið á kaflanum er óskemmt, hattar aðeins fyrir hjólförum á syðri akrein, engin merki um frostskeimdir.

Úttekt 2001-07-26. Ein þversprunga í nyrðri akrein og hluta af þeirri syðri u. þ. b. 125 m vestan við austurenda kaflans og ein langssprunga í syðri akrein í endaplötu kaflans vestanmegin. Að öðru leyti er slitlagið óskemmt. Á báðum akreinum hattar fyrir hjólförum en þau eru sennilega ekki mælanleg.

VIÐAUKI 5
NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA
OG ÚTTEKTA
Á FÍFUHVAMMSVEGI Í KÓPAVOGI

V5.1 Staðsetning borkjarna og ráðstöfun þeirra til prófana

Þrjár borkjarnasyrpur voru teknar úr kaflanum samkvæmt fyrirmælum eftirlitsmanns verkkaupa, ein syrpa úr miðjum kaflanum, og sín úr hvorum enda hans. Í hverri syrpu voru tveir 70 mm kjarnar, teknir hlið við hlið í grennd við miðlínu slitlagsins. Tafla V5.1 sýnir hvernig kjörnunum var ráðstafað til prófana.

Tafla V5.1: Ráðstöfun borkjarna til prófana.

Staðsetning	Ráðstöfun
Snið 1 (vesturendi)	Þrýstipól, 19 d. Þrýstipól, 30 d. Lofttalning
Snið 2 (miðja)	Lofttalning Frostpól
Snið 3 (austurendi)	Þrýstipól, 19 d. Þrýstipól, 30 d. Frostpól

V5.2 Rúmþyngdarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Tafla V5.2 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til rúmþyngdarmælinga og niðurstöður þeirra. Óvíst er hvort kjarnarnir voru þurrkaðir áður en rúmþyngdin var mæld.

Tafla V5.2: Niðurstöður rúmþyngdarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³	
	Kjarni 1	Kjarni 2
Snið 1	2460	2470
Snið 2	-	-
Snið 3	2350	2390

Mat á niðurstöðum rúmþyngdarmælinga. Meðaltal rúmþyngdar úr sniðum 1 og 3 er 2418 kg/m³ og staðalfrávikid er 57 kg/m³. Meðalrúmþyngd í þessum sniðum svarar til 99 % þjöppunar, sjá kafla 4.4.3.

V5.3 Prófanir á þrýstipóli

Niðurstöður þrýstipólsmælinga. Tafla V5.3 sýnir hvaða kjarnar voru þrýstipólsprófaðir og niðurstöður mælinga. Þrýstipólið var prófað samkvæmt ASTM C39-96.

Tafla V5.3: Niðurstöður þrýstipólsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þrýstipól, MPa	
	19 daga	30 daga
Snið 1	46,2	56,9
Snið 2	-	-
Snið 3	32,8	41,7

Mat á niðurstöðum þrýstipólsmælinga. Þrýstipól borkjarna úr sniðum 1 og 3 er að meðaltali 39,5 MPa og staðalfrávikid 9,48 MPa eftir 19 daga, en eftir 30 daga eru samsvarandi tölur 49,3 MPa og 10,75 MPa. Rétt er að vekja athygli á að þessar tölur eru vanmat á styrk steypunnar vegna þess að herslan átti sér ekki stað við staðalaðstæður.

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í kleyfniþol [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt 28 daga kleyfniþol skv. ofangreindum mælingum er 4,5 MPa.

Ef áðurgreindar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,6 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T3,0 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu. Eins og áður segir er líklegt að togþol (og kleyfniþol) sé vanmetið fremur en hitt.

V5.4 Prófanir á frostþoli

Niðurstöður frostþolsmælinga. Tafla V5.4 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á frostþoli og niðurstöður mælinga. Frostþolið var prófað í samræmi við SS 13 72 44, aðferð IIIA [SS 1995].

Tafla V5.4: Niðurstöður frostþolsmælinga á borkjörnum. Í sviga er tilgreint hvort hlutfallið m_{56}/m_{28} er stærra eða minna en 2.

Staðsetning kjarna	Flögnun eftir 56 umferðir kg/m ²
Snið 2, sneið A	1,44 (=2)
Snið 2, sneið B	1,42 (<2)
Snið 2, sneið C	1,39 (<2)
Snið 3, sneið A	0,37 (<2)

Mat á niðurstöðum frostþolsmælinga. Flögnun á sýnum úr sniðum 2 og 3 er að meðaltali 1,16 kg/m² og staðalfrávik mælinganna er 0,52 kg/m².

V5.5 Athuganir á loftinnihaldi og dreifingu þess

Niðurstöður lofttalninga. Loftinnihald og dreifing þess var kannað á einni sneið (úr kjarna úr sniði 2). Tafla V5.5 sýnir niðurstöðurnar. Talning á loftinnihaldi og loftdreifingu var gerð í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V5.5: Niðurstöður lofttalninga.

Stiki	Niðurstaða
Loftinnihald, %	2,4
Fjarlægðarstuðull, mm	0,32
Yfirborð, mm ⁻¹	24

V5.6 Niðurstöður ýfímælinga

Ýfi í lengdarstefnu var mælt með 2,5 m réttsskeið, með 6-12 m millibili á endilöngum kaflanum, bæði á hægri og vinstri akrein [Burður ehf, án ártals]. Ýfi var einnig mælt á samskeytum véllagða hlutans og handlagðrar breikkunar. Frávik voru mæld í 79 punktum á véllagða hlutanum og áður en umferð var hleypt á. Í 8 punktum var frávik meira en 6 mm, meðalfrávik var 3,4 mm og staðalfrávik frávikanna var 2,65 mm. Rétt er að taka fram að þessi mæling er ekki gerð í samræmi við verklýsingar Vegagerðarinnar (sjá kafla 2.3.2) og ýfi er að öllum líkindum vanmetið vegna þess að réttsskeiðin er styttri en verklýsingarnar segja fyrir um.

Ýfi var einnig mælt með slitmælitæki Vegagerðarinnar og Höfða hf, langsum og þversum, og einungis á vélsteypa hlutanum. Frávik voru tekin upp af þver- eða langsníði af slitlagsyfirborðinu eftir atvikum. Kosturinn við þessa aðferð er sá að hægt er að ákveða lengd réttsskeiðarinnar eftir á með því að leggja ímyndaða réttsskeið yfir sniðin og taka frávikin upp af þeim. Ennfremur er hægt að reikna ýfi í IRI einingum, sjá kafla 2.3.2 og 2.3.3 [Ásbjörn Jóhannesson o. fl. 2000]. Gallinn er hinsvegar sá að niðurstöðurnar eru í rauninni meðaltal mælinga í tveim samsíða sniðum með 30 cm millibili því tækið gengur á tveim hjólum sem hafa jafnmikil áhrif á fráviksmælingarnar. Þess vegna er mælt ýfi meðaltal ýfis í báðum hjólförum og þar af leiðandi að öllum líkindum vantalið. Eitt snið var mælt eftir endilöngum kaflanum og auk þess fjögur þversnið. Tafla V5.6 sýnir niðurstöður mælinganna og hlutfall frávíka eftir því hvort gert er ráð fyrir vegtegund B2 eða B1.

Tafla V5.6: Niðurstöður ýfímælinga með slitmælitæki Höfða hf og Vegagerðarinnar, vik frá ímyndaðri réttsskeið.

	Frávik við mælingu með			
	3 m réttsskeið, vegtegund B2 eða B3		4 m réttsskeið, vegtegund A eða B1	
	Langsum	Þversum	Langsum	Þversum
Fjöldi mældra frávíka	160	15	115	10
Meðaltal frávíka, mm	2,6	2,7	3,4	3,6
Staðalfrávik frávíka, mm	1,2	1,2	1,6	1,7
Fjöldi of stórra frávíka	1	0	10	2
Of stór frávik, %	1	0	9	20

Ýfi var einnig reiknað í IRI einingum út frá mælingum með slitmælitæki Höfða hf og Vegagerðarinnar. Niðurstöður mælinganna eru birtar í töflu V5.7.

Tafla V5.7: Niðurstöður ýfímælinga með slitmælitæki Höfða hf og Vegagerðarinnar, IRI einingar.

Fjöldi mælisniða	19
Meðaltal, IRI	2,6
Staðalfrávik, IRI	0,81
Fjöldi kafla, IRI >1,7	17
Fjöldi kafla, IRI >2,4	9

Rétt er að taka fram að mælisniðin eru mislöng, allt frá 9 og upp í 28 m, en um helmingur þeirra er þeirra eru á bilinu 18-22 m. Um þessar mælingar gildir hið sama og niðurstöðurnar í töflu V5.6, ýfið er að líkindum vanmetið vegna þess að þær eru reiknaðar út frá meðaltali mælinga í tveim sniðum sem eru með 30 cm millibili.

V5.7 Niðurstöður úttekta

Úttekt 2000-09-06. Á kaflanum eru víða grófir blettir sem líklegast stafa af ójafnri þjálmi steypunnar svo að hún hefur verið bleytt óhóflega mikið undir fágarrann á vélinni. Blettirnir eru ekki taldir vera frostskemdir. Í syðri akreininni eru víða langssprungur, samtals sem svarar 10 plötulengdum. Norðurakreinin er ósprungin. Engin merki fundust um lausar plötur.

Úttekt 2001-06-25. Um það bil fjórða hver plata í kaflanum er sprungin eða kurluð, en þær eru allar í suðurakreininni. Ekki varð vart við frostskemdir né heldur lausar plötur. Hjólför eru lítil eða engin.

Aðrar úttektir. Skemmdar plötur (sprungnar eða kurlaðar) hafa verið taldar á kaflanum af og til. Niðurstöður þessara talninga eru sýndar í töflu V5.8.

Tafla V5.8: Niðurstöður talninga á skemmdum plötum í tilraunakafla á Fífuhvammsvegi.

Dagsetning úttektar	Skemmdar plötur	
	fjöldi	% af heild
1999-09-24	0	0
1999-10-17	0	0
2000-04-28	11	9
2000-06-01	12	10
2000-06-28	13	11
2000-09-12	16	13
2001-03-16	20	17
2001-06-25	28	23

VIÐAUKI 6
NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA
OG ÚTTEKTA
Á DALVEGI Í KÓPAVOGI

V6.1 Staðsetning borkjarna og ráðstöfun þeirra til prófana

Borkjarnar voru teknir úr slitlaginu í tvígang. Í fyrra skiptið samkvæmt fyrirmælum eftirlitsmanns verkaupa, í síðara skiptið samkvæmt tilmælum verkefnishópsins.

Tafla V6.1: Ráðstöfun borkjarna til prófana.

Staðsetning	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	Rúmþyngd Dorry Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	
Snið D12	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	Rúmþyngd Dorry Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	
Snið D21	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	
Snið D22	Rúmþyngd	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Dorry Kleyfniþol	Rúmþyngd	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	
Snið D31	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	Rúmþyngd Dorry Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Dorry Kleyfniþol	Rúmþyngd
Snið 1			Rúmþyngd Brotþol			
Snið 2			Rúmþyngd Brotþol Frostþol			
Snið 3			Rúmþyngd Brotþol Lofttalning			
Snið 4			Rúmþyngd Brotþol Frostþol			
Snið 5			Rúmþyngd Brotþol			

Í fyrra skiptið voru teknir 5 pör af Ø 100 mm borkjörnum. Pörunum var dreift með jöfnu millibili á lengd kaflans og kjarnarnir í þessum sniðum voru teknir sitt hvoru megin við miðlínu og rétt við hana. Þessir kjarnar voru prófaðir samkvæmt fyrirmælum eftirlitsmanns verkaupa og þeir eru hér eftir auðkenndir með snið 1 til og með snið 5, talið frá austri til vesturs í kaflanum.

Í síðara skiptið voru kjarnarnir teknir úr fimm sniðum. Fjögur þeirra voru þversnið, hornrétt á akstursstefnuna og nokkurn veginn samhverf um miðju kaflans. Fyrri tvö sniðin, D11 og D12, voru með 50 cm millibili og í um það bil 157 m fjarlægð frá vesturenda kaflans; tvö síðari sniðin, D21 og D22, sem einnig voru með 50 cm millibili, voru í um það bil 211 m fjarlægð frá vesturendanum. Úr hverju þessara sniða voru teknir 5 Ø 100 mm kjarnar. Einn þeirra var um það bil 50 cm frá miðfúgunni, hinir samhverft um hann með 100 cm millibili. Fimmta sniðið er í 3 m breiðri handlagðri breikkun, norðanmegin við kaflann og um það bil 85 m frá vesturenda hans. Þar voru teknir sex kjarnar með 1 m millibili. Allir kjarnarnir voru 10 cm í þvermál og merktir þannig, ávallt talið frá vinstri til hægri í sniðinu þegar horft er í útlagningarstefnuna, nema annað sé tekið fram:

- Í sniði D11, 157 m frá vesturenda kaflans: D11-2; D11-1; D11-Ø; D11+1; D11+2.
- Í sniði D12, 157 m frá vesturenda kaflans: D12-2; D12-1; D12-Ø; D12+1; D12+2.
- Í sniði D21, 211 m frá vesturenda kaflans: D21-2; D21-1; D21-Ø; D21+1; D21+2.
- Í sniði D22, 211 m frá vesturenda kaflans: D22-2; D22-1; D22-Ø; D22+1; D22+2.
- Í sniði D31, handlagðri breikkun: D31-2; D31-1; D31-Ø; D31+1; D31+2. D31+3

Snið í handlagðri breikkun er í henni miðri og samsíða akstursstefnunni. Kjarnarnir hafa hækkandi númer í útlagningarstefnuna, það er, D31-2 er vestastur, D31+3 er austastur. Allir kjarnar með formerkið D voru prófaðir samkvæmt fyrirmælum verkefnishópsins.

Tafla V6.1 sýnir hvernig borkjörnunum var ráðstafað til prófana.

V6.2 Þykktarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður þykktarmælinga. Tafla V6.2 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til þykktarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður þykktarmælinga.

Tafla V6.2: Niðurstöður þykktarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þykkt, mm					
	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11	135	140	140	130	135	
Snið D12	135	140	140	135	140	
Snið D21	150	145	145	130	135	
Snið D22	150	145	140	130	130	
Snið D31	145	145	145	150	150	150

Mat á niðurstöðum þykktarmælinga. Meðalþykkt borkjarnanna úr sniðum D11-D22 er 139 mm og staðalfrávik mælinganna er 6,3 mm. Samsvarandi tölur fyrir snið D31 eru 148 mm og 2,7 mm.

Engar upplýsingar hafa komið fram um þykktarhönnun slitlagsins og þar af leiðandi er ekki mögulegt að bera mælda þykkt saman við hannaða þykkt. Hinsvegar er hægt að meta hvaða hönnunarþykkt, R, tilsvavar mældri þykkt þannig að niðurstöðurnar uppfylli þykktarkröfur sænskra verklýsinga [Vägverket 2000g:15] ef hönnunarþykktin er R.

Samkvæmt þessum niðurstöðum uppfylla þykktarmælingarnar í sniðum D11-D22 kröfur um hönnunarþykkt, R, sem er allt að 143 mm. Samsvarandi tala fyrir D31 er 154 mm.

Við útlögn var vélin stillt á 140 mm þykkt. Metin hönnunarþykkt er þess vegna 3 mm umfram fyrirhugaða útlagnarþykkt.

V6.3 Rúmþyngdarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Tafla V6.3 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til rúmþyngdarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Kjarnar með formerkið D voru látnir þorna við stofuhita í nokkra sólarhringa áður en rúmþyngdin var mæld, hve lengi hinir voru þurrkaðir er ekki vitað.

Tafla V6.3: Niðurstöður rúmþyngdarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11	2460	2420	2460	2460	2460	
Snið D12	2450	2480	2470	2460	2460	
Snið D21	2430	2420	2430	2440	2450	
Snið D22	2420	2430	2430	2420	2440	
Snið D31	2330	2350	2330	2330	2330	2350
Snið 1			2410			
Snið 2			2430			
Snið 3			2470			
Snið 4			2440			
Snið 5			2460			

Ennfremur var nokkrum borkjörnum skipt í tvær 50 mm þykkar sneiðar og rúmþyngd mæld á hvorri sneið fyrir sig eftir að þær höfðu þornað við stofuhita í nokkra daga. Tafla V6.4 sýnir hvaða kjörnum var skipt, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga á hvorum hluta um sig.

Tafla V6.4: Rúmþyngd efri og neðri hluta nokkurra borkjarna.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³					
	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11, efri hluti	2420	-	-	2430	-	
Snið D11, neðri hluti	2470	-	-	2460	-	
Snið D12, efri hluti	2440	-	-	2440	-	
Snið D12, neðri hluti	2440	-	-	2450	-	
Snið D21, efri hluti	-	2420	-	-	2420	
Snið D21, neðri hluti	-	2400	-	-	2440	
Snið D22, efri hluti	-	2420	-	-	2420	
Snið D22, neðri hluti	-	2420	-	-	2430	
Snið D31, efri hluti	2320	-	-	2330	-	-
Snið D31, neðri hluti	2330	-	-	2320	-	-

Mat á niðurstöðum rúmþyngdarmælinga. Meðaltal rúmþyngdar úr sniðum D11, D12, D21 og D22 er 2445 kg/m³ og staðalfrávikid er 19 kg/m³. Meðalrúmþyngd í þessum sniðum svarar til 100 % þjöppunar. Samsvarandi tölur fyrir snið D31 eru 2337 kg/m³ og 10 kg/m³, en þjöppun í þessu sniði er ekki hægt að reikna út þar sem viðmiðunarrúmþyngd vantar.

Meðaltal rúmþyngdar í sniðum 1 - 5 er 2442 kg/m³ og staðalfrávikid er 24 kg/m³.

Meðalrúmþyngd úr efri hlutum kjarnanna í sniðum D11, D12, D21 og D22 er 2426 kg/m³ og 2439 kg/m³ í neðri hlutunum¹. Mismunurinn er ekki marktækur, líkur á að hann sé tilviljun er um 14 %. Í sniði D31 er meðalrúmþyngdin hin sama í efri og neðri hluta, 2325 kg/m³.

V6.4 Prófanir á kleyfniþoli

Niðurstöður kleyfniþolsmælinga. Tafla V6.5 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á kleyfniþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga á kleyfniþoli, sem var prófað samkvæmt ASTM C 496-96.

¹ Rétt er að vekja athygli á misræmi milli rúmþyngdarmælinga á heilum kjörnum annars vegar (2445 kg/m³) og kjarnahlutum hins vegar (2426 kg/m³ í efri hluta og 2439 kg/m³ í neðri hluta). Kjarnahlutarnir eru úr færri stöðum en heilu kjarnarnir og má vera að það hafi haft einhver áhrif. Í annan stað er hugsanlegt að niðurstöðurnar séu ekki fyllilega sambærilegar vegna þessa kjarnahlutarnir hafi að jafnaði þornað meira en heilu kjarnarnir áður en þeir voru mældir.

Tafla V6.5: Niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Kleyfniþol, MPa					
	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11	-	-	5,1	-	-	-
Snið D12	-	-	5,2	-	-	-
Snið D21	4,3	-	-	-	-	-
Snið D22	-	-	4,7	-	-	-
Snið D31	-	-	3,9	-	4,2	-

Mat á niðurstöðum kleyfniþolsmælinga. Kleyfniþol borkjarna úr sniðum D11, D12, D21 og D22 er að meðaltali 4,8 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,41 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,9 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T3,0 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í þrýstipól [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt þrýstipól er um 54 MPa.

Kleyfniþol borkjarna úr sniði D31 er að meðaltali 4,1 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,18 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,3 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T2,5 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Líklegt þrýstipól, reiknað út frá kleyfniþoli, er um 42 MPa [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Þessi niðurstaða er allmiklu lægri en mælt þrýstipól á 28 sívalningum í framleiðslueftirliti (59 MPa, sjá kafla 4.5.3).

V6.5 Prófanir á þrýstipóli

Niðurstöður þrýstipólsmælinga. Tafla V6.6 sýnir hvaða kjarnar voru þrýstipólsprófaðir. Þrýstipólið var prófað samkvæmt ASTM C 39-96.

Tafla V6.6: Niðurstöður þrýstipólsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þrýstipól, MPa	
	24 daga	44 daga
Snið 1	52,0	-
Snið 2	53,4	-
Snið 3	31,1	52,1
Snið 4	32,1	-
Snið 5	60,4	-

Mat á niðurstöðum þrýstipólsmælinga. Þrýstipól borkjarna úr sniðum snið 1 – snið 5 er að meðaltali 45,8 MPa með staðalfrávikinu 13,4 MPa eftir 24 daga. Rétt er að vekja athygli á að þessar tölur eru vanmat á styrk steypunnar vegna þess að herslan átti sér ekki stað við staðalaðstæður. Eftir 44 daga er þrýstipólið 52,1 MPa (aðeins ein mæling).

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í kleyfniþol [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt 28 daga kleyfniþol skv. ofangreindum mælingum er 4,3 MPa.

Ef áðurgreindar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,4 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar að nafninu til um það bil til T3,0 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34]. Hinsvegar eru mælingarnar of fáar til að hægt sé að slá því föstu og í annan stað er breytileiki niðurstaðnanna meiri en samskar

verklýsingar leyfa. Eins og áður segir er líklegt að togþol (og kleyfniþol) sé vanmetið fremur en hitt.

V6.6 Prófanir á frostþoli

Niðurstöður frostþolsmælinga. Tafla V6.7 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á frostþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga. Úr hverjum kjarna úr sniðum með formerkið D voru sagaðar tvær sneiðar um það bil 5 cm þykkar og báðar prófaðar. Þær eru auðkenndar innbyrðis með “efri sneið” og “neðri sneið”.

Frostþolið var prófað í samræmi við SS 13 72 44, aðferð IIIA [SS 1995].

Tafla V6.7: Niðurstöður frostþolsmælinga á borkjörnum.
Í sviga er tilgreint hvort hlutfallið m_{56}/m_{28} er stærra eða minna en 2.

Staðsetning kjarna og sneiða	Flögnun eftir 56 umferðir, kg/m ²				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Sneið D11, efri sneið	0,44 (>2)	-	-	0,80 (<2)	-
Sneið D11, neðri sneið	0,63 (<2)	-	-	0,98 (>2)	-
Sneið D12, efri sneið	0,49 (>2)	-	-	0,49 (>2)	-
Sneið D12, neðri sneið	1,14 (>2)	-	-	0,76 (>2)	-
Sneið D21, efri sneið	-	0,67 (>2)	-	-	0,33 (<2)
Sneið D21, neðri sneið	-	0,69 (>2)	-	-	1,20 (>2)
Sneið D22, efri sneið	-	0,85 (>2)	-	-	0,49 (>2)
Sneið D22, neðri sneið	-	0,71 (<2)	-	-	1,04 (>2)
Sneið D31, efri sneið	0,31 (>2)	-	-	0,24 (>2)	-
Sneið D31, neðri sneið	0,36 (>2)	-	-	0,23 (>2)	-
Sneið 2			2,76 (>2)		
Sneið 4			0,64 (>2)		

Mat á niðurstöðum frostþolsmælinga. Flögnun á sýnum úr sniðum D11, D12, D21 og D22 er að meðaltali 0,73 kg/m² og staðalfrávik mælinganna er 0,26 kg/m². Samsvarandi tölur fyrir D31 (sýni úr handlagðri breikkun) eru 0,28 kg/m² og 0,06 kg/m². Fyrir sneið 2 og sneið 4 er flögnunin 2,76 kg/m² og 0,64 kg/m². Rétt er að taka fram að tilgreind flögnun fyrir sneið 2 og sneið 4 í töflu V6.7 er meðaltal flögnunar á þrem sneiðum.

Meðaltal flögnunar í efri hluta kjarnanna í sniðum D11, D12, D21 og D22 er að meðaltali 0,57 kg/m² en 0,89 kg/m² í neðri hluta kjarnanna. Niðurstöðurnar benda til þess að flögnun sé meiri í neðri hluta kjarnanna, líkur á að mismunurinn sé tilviljun er um 3%.

Samsvarandi tölur fyrir sneið D31 eru 0,28 kg/m² og 0,30 kg/m². Niðurstöðurnar benda ekki til að flögnunin sé mismunandi í efri og neðri hluta kjarnanna í þessu sniði.

V6.7 Athuganir á loftinnihaldi

Niðurstöður lofittalninga. Tafla V6.8 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til punktaltalninga á lofti, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður lofittalninga. Loft var talið í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Talningarnar voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V6.8: Niðurstöður lofittalninga.

Staðsetning kjarna	Loftinnihald skv. talningu, %					
	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11	4,6	-	-	2,1	-	
Snið D21	-	3,2	-	-	4,9	
Snið D31	5,2	-	-	-	-	-
Snið 3			4,1			

Mat á niðurstöðum lofittalninga. Loftinnihald í sýnum úr sniðum D11 og D21 er að meðaltali 3,7 % og staðalfrávik mælinganna er 1,30 %. Í sniði D31 (sýni úr handlagðri breikkun) er loftinnihaldið 5,2 %. Í sniði 3 er loftinnihaldið 4,1 %.

V6.8 Loftdreifing, yfirborð loftbólna

Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna. Tafla V6.9 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á yfirborði loftbólna, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður yfirborðsmælinga. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V6.9: Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna.

Staðsetning kjarna	Yfirborð loftbólna, mm ⁻¹					
	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11	25	-	-	45	-	
Snið D21	-	27	-	-	21	
Snið D31	32	-	-	-	-	-
Snið 3			38			

Mat á niðurstöðum athugana á yfirborði loftbólna. Yfirborð loftbólna í sniðum D11 og D21 er að meðaltali 29,5 mm⁻¹ og staðalfrávik mælinganna er 10,63 mm⁻¹. Yfirborð loftbólna í sniði D31 (sýni úr handlagðri breikkun) er 32 mm⁻¹ og 38 mm⁻¹ í sniði 3.

V6.9 Loftdreifing, fjarlægðarstuðull

Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli. Tafla V6.10 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á fjarlægðarstuðli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður athugananna. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V6.10: Fjarlægðarstuðull.

Staðsetning kjarna	Fjarlægðarstuðull, mm					
	-2	-1	Ø	+1	+2	+3
Snið D11	0,20	-	-	0,17	-	
Snið D21	-	0,23	-	-	0,23	
Snið D31	0,15	-	-	-	-	-
Snið 3			0,14			

Mat á niðurstöðum athugana á fjarlægðarstuðli. Fjarlægðarstuðull loftbólna í sniðum D11 og D21 er að meðaltali 0,21 mm og staðalfrávik mælinganna er 0,029 mm. Fjarlægðarstuðull í sniði D31 (sýni úr handlagðri breikkun) er 0,15 mm og 0,14 mm í sniði 3.

V6.10 Niðurstöður smásjargreininga á steypu

Þrjú sýni (D11+2, D21-2 og D31+1) voru greind í smásjá. Niðurstöður greininganna eru birtar í viðauka 11.

V6.11 Niðurstöður ýfímælinga

Á þessum kafla hafa engar ýfímælingar verið gerðar.

V6.12 Mælingar á hemlunarviðnámi

Mælingar á hemlunarviðnámi hafa verið gerðar í tvígang á þessum kafla, í fyrra skiptið í byrjun nóvember 1999 af Sigurði Erni Jónssyni verkfræðingi. Þá var mældur 200 m kafla á að giska á milli hjólfara (nýlega lagt slitlag, engin hjólför komin). Í seinna skiptið var sami kafla mældur í hægra hjólfari um miðjan desember 2001 af Ásbirni Ólafssyni verkfræðingi. Mælingarnar voru gerðar með tæki í eigu Vegagerðarinnar, Skiddometer Friction Tester BV-11. Í bæði skiptin var mælt á 60 km hraða. Niðurstöður mælinganna eru sýndar í töflu V6.11. Í viðauka 12 er gerð nánari grein fyrir mælingunum og niðurstöðum þeirra.

Tafla V6.11: Niðurstöður mælinga á hemlunarviðnámi 1999 og 2001.

Mæling	Stuðull hemlunarviðnáms	
	meðaltal	staðalfrávik ²
Nóvember 1999	0,77	0,031
Desember 2001	0,83	-

V6.13 Niðurstöður slitmælinga

Slitmælimerki fyrir nákvæmnismælingar voru sett í 10 snið á kaflanum sumarið 2000. Kaflinn var slitmældur sumrin 2000 og 2001. Rétt er að taka fram að niðurstöður slitmælinga eru að jafnaði ekki marktækar fyrr en eftir nokkurra ára mælingar.

Niðurstöður mælinganna eru sýndar í töflu V6.12.

Tafla V6.12: Niðurstöður slitmælinga 2000 og 2001.

Mælikvarði	Niðurstöður mælinga	
	2000	2001
Meðaldýpt hjólfara, mm	6,7	7,6
Mesta mæld dýpt í hjólfari, mm	11,1	12,0
SPS	42 ³	9

² Mælitækið skráir hemlunarviðnám á hverjum tveggja m búi innan mælds kafla og tilgreint staðalfrávik er staðalfrávik þessara mælinga.

³ Þar sem slitmælimerkin voru ekki sett niður fyrr en sumarið eftir að kaflinn var lagður er ekki hægt að mæla mismun á slitflatarmáli milli sumrana 1999 og 2000. Slitflatarmálið má þó áætla með því að gera ráð fyrir að yfirborð slitlagsins sumarið 1999 hafi ákvarðast af beinni línu milli kanta. Tilgreint gildi á SPS er fengið á þennan hátt.

Tilgreind gildi á SPS byggjast á mjög takmörkuðum umferðartalningum sem eykur enn á óvissu um áreiðanleika þeirra.

V6.14 Niðurstöður úttekta

Úttekt 2000-09-06. Kaflinn er óskemmdur, engar frostskemmdir og engar sprungur. Ekki varð vart við neinar lausar plötur. Slit er tiltölulega mikið við þrengingar (eyjar milli akreina).

Úttekt 2001-06-25. Engar skemmdir fundust á kaflanum. Ekki varð vart við neinar lausar plötur.

VIÐAUKI 7

NIÐURSTÖÐUR RANNSÓKNA
OG ÚTTEKTA Á TENGINGU
FÍFUHVAMMSVEGAR Í KÓPAVOGI
VIÐ HAFNARFJARÐARVEG

V7.1 Staðsetning borkjarna og ráðstöfun þeirra til prófana

Borkjarnar voru teknir úr fjórum sniðum hornrétt á akstursstefnuna sem eru nokkurn veginn samhverf um miðju kaflans. Fyrri tvö sniðin voru með 50 cm millibili og í um það bil 99 m fjarlægð frá vesturenda kaflans, tvö síðari sniðin, sem einnig voru með 50 cm millibili, í um það bil 155 m fjarlægð frá vesturendanum. Úr öðru sniðinu í hverju pari voru teknir 5 Ø 100 mm kjarnar. Einn þeirra var um það bil 50 cm frá miðfúgunni, hinir samhverft um hann með 100 cm millibili. Í hinu sniðinu í parinu var sami háttur hafður á nema hvað tveim kjörnum var sleppt, þeim sem eru lengst til vinstri þegar horft er í útlagningarstefnuna. Allir kjarnarnir voru 10 cm í þvermál og merktir þannig, ávallt talið frá vinstri til hægri í sniðinu þegar horft er í útlagningarstefnuna, nema annað sé tekið fram:

- Í sniði H11, 99 m frá vesturenda kaflans: H11-2; H11-1; H11-Ø; H11+1; H11+2.
- Í sniði H12, 99 m frá vesturenda kaflans: H12-Ø; H12+1; H12+2.
- Í sniði H21, 155 m frá vesturenda kaflans: H21-2; H21-1; H21-Ø; H21+1; H21+2.
- Í sniði H22, 155 m frá vesturenda kaflans: H22-Ø; H22+1; H22+2.

Tafla V7.1 sýnir hvernig borkjörnunum var ráðstafað til prófana.

Tafla V7.1: Ráðstöfun borkjarna til prófana.

Staðsetning	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd	Rúmþyngd Dorry Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Kleyfniþol
Snið H12			Rúmþyngd Samloðun	Rúmþyngd Samloðun	Rúmþyngd Samloðun
Snið H21	Rúmþyngd Kleyfniþol	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning	Rúmþyngd Dorry	Rúmþyngd	Rúmþyngd Frostþol Lofttalning
Snið H22			Rúmþyngd Samloðun	Rúmþyngd Samloðun Kleyfniþol	Rúmþyngd Samloðun

V7.2 Þykktarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður þykktarmælinga. Tafla V7.2 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til þykktarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður þykktarmælinga.

Tafla V7.2: Niðurstöður þykktarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Þykkt, mm				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	155	150	140	150	135
Snið H12	-	-	140	150	135
Snið H21	145	150	140	150	140
Snið H22	-	-	135	150	140

Mat á niðurstöðum þykktarmælinga. Meðalþykkt borkjarnanna úr sniðum H11-H22 er 144 mm og staðalfrávik mælinganna er 6,6 mm.

Engar upplýsingar hafa komið fram um þykktarhönnun slitlagsins og þar af leiðandi er ekki mögulegt að bera mælda þykkt saman við hannaða þykkt. Hinsvegar

er hægt að meta hvaða hönnunarþykkt, R, tilsvavar mældri þykkt þannig að niðurstöðurnar uppfylli þykktarkröfur sænskra verklýsinga [Vägverket 2000g:15] ef hönnunarþykktin er R.

Samkvæmt þessum niðurstöðum uppfylla þykktarmælingarnar í sniðum H11-H22 kröfur um hönnunarþykkt, R, sem er allt að 148 mm.

Við útlögn var vélin stillt á 140 mm þykkt. Metin hönnunarþykkt er þessvegna 8 mm umfram fyrirhugaða útlagnarþykkt.

V7.3 Rúmþyngdarmælingar á borkjörnum

Niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Tafla V7.3 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til rúmþyngdarmælinga, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga. Kjarnarnir voru látnir þorna við stofuhita í nokkra sólarhringa áður en rúmþyngdin var mæld.

Tafla V7.3: Niðurstöður rúmþyngdarmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	2410	2400	2380	2420	2410
Snið H12	-	-	2390	2380	2380
Snið H21	2430	2420	2360	2420	2440
Snið H22	-	-	2360	2440	2450

Ennfremur var nokkrum borkjörnum skipt í tvær 50 mm þykkar sneiðar og rúmþyngd mæld á hvorri sneið fyrir sig eftir að þær höfðu þornað við stofuhita í tvær vikur. Tafla V7.4 sýnir hvaða kjörnum var skipt, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður rúmþyngdarmælinga á hvorum hluta um sig.

Tafla V7.4: Rúmþyngd efri og neðri hluta nokkurra borkjarna.

Staðsetning kjarna	Rúmþyngd, kg/m ³				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11, efri hluti	2400	-	-	2380	-
Snið H11, neðri hluti	2400	-	-	2420	-
Snið H21, efri hluti	-	2410	-	-	2430
Snið H21, neðri hluti	-	2410	-	-	2420

Mat á niðurstöðum rúmþyngdarmælinga. Meðaltal rúmþyngdar úr sniðum H11-H22 er 2406 kg/m³ og staðalfrávikid er 28 kg/m³. Meðalrúmþyngd í þessum sniðum svarar til 98 % þjöppunar.

Meðalrúmþyngd úr efri hlutum kjarnanna í sniðum H11 og H21 er 2405 kg/m³ og 2413 kg/m³ í neðri hlutunum. Mismunurinn er ekki marktækur, líkur á að hann sé tilviljun er um 55 %.

V7.4 Prófanir á kleyfniþoli

Niðurstöður kleyfniþolsmælinga. Tafla V7.5 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á kleyfniþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga á kleyfniþoli, sem var prófað samkvæmt ASTM C 496-96.

Tafla V7.5: Niðurstöður kleyfniþolsmælinga á borkjörnum.

Staðsetning kjarna	Kleyfniþol, MPa				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	-	-	4,6	-	4,8
Snið H21	4,9	-	-	-	-
Snið H22	-	-	-	4,7	-

Mat á niðurstöðum kleyfniþolsmælinga. Kleyfniþol borkjarna úr sniðum H11, H21 og H22 er að meðaltali 4,8 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,12 MPa.

Ef þessar niðurstöður eru umreiknaðar í togþol verður það 3,8 MPa [BBK94 1999:32]. Þessi togþolsstyrkur svarar um það bil til T3,0 [Vägverket 2000g:15 og BBK94 1999:34] en mælingarnar eru of fáar til að hægt sé að slá því föstu.

Niðurstöðurnar má einnig umreikna í þrýstipól [Guðmundur Böðvarsson 1977:71]. Líklegt þrýstipól er um 54 MPa.

V7.5 Prófanir á frostþoli

Niðurstöður frostþolsmælinga. Tafla V7.6 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til prófana á frostþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður mælinga. Úr hverjum kjarna voru sagaðar tvær sneiðar um það bil 5 cm þykkar og báðar prófaðar. Þær eru auðkenndar innbyrðis með “efri sneið” og “neðri sneið”. Frostþolið var prófað í samræmi við SS 13 72 44, aðferð IIIA [SS 1995].

Tafla V7.6: Niðurstöður frostþolsmælinga á borkjörnum.
Í sviga er tilgreint hvort hlutfallið m_{56}/m_{28} er stærra eða minna en 2.

Staðsetning kjarna og sneiða	Flögnun eftir 56 umferðir, kg/m ²				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11, efri sneið	0,53 (>2)	-	-	0,31 (>2)	-
Snið H11, neðri sneið	0,72 (>2)	-	-	0,33 (<2)	-
Snið H21, efri sneið	-	0,58 (>2)	-	-	0,46 (>2)
Snið H21, neðri sneið	-	0,87 (>2)	-	-	0,82 <2

Mat á niðurstöðum frostþolsmælinga. Flögnun á sýnum úr sniðum H11 og H21 er að meðaltali 0,58 kg/m² og staðalfrávik mælinganna er 0,21 kg/m².

Meðaltal flögnunar í efri hluta kjarnanna í sniðum H11 og H21 er 0,47 kg/m² en 0,69 kg/m² í neðri hluta kjarnanna. Niðurstöðurnar benda til þess að flögnun sé meiri í neðri hluta kjarnanna, þó ekki eindregið, líkur á tilviljun er um 6%.

V7.6 Athuganir á loftinnihaldi

Niðurstöður lofttalninga. Tafla V7.7 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til punktatalninga á lofti, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður lofttalninga. Loft var talið í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Talningarnar voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V7.7: Niðurstöður lofttalninga.

Staðsetning kjarna	Loftinnihald skv. talningu, %				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	3,3	-	-	6,8	-

Mat á niðurstöðum lofttalninga. Loftinnihald í sýnum úr sniði H11 er að meðaltali 5,1 % og staðalfrávik mælinganna er 2,47.

V7.7 Loftdreifing, yfirborð loftbólna

Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna. Tafla V7.8 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á yfirborði loftbólna, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður yfirborðsmælinga. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V7.8: Niðurstöður athugana á yfirborði loftbólna.

Staðsetning kjarna	Yfirborð loftbólna, mm ⁻¹				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	38	-	-	30	-

Mat á niðurstöðum athugana á yfirborði loftbólna. Yfirborð loftbólna í sniði H11 er að meðaltali 34,0 mm⁻¹ og staðalfrávik mælinganna er 5,66 mm⁻¹.

V7.8 Loftdreifing, fjarlægðarstuðull

Niðurstöður athugana á fjarlægðarstuðli. Tafla V7.9 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til athugana á fjarlægðarstuðli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður athugananna. Þær voru gerðar í sniði sem er um það bil 5 mm undir efra byrði borkjarnans. Þessar athuganir voru gerðar í samræmi við ASTM C457-98.

Tafla V7.9: Fjarlægðarstuðull.

Staðsetning kjarna	Fjarlægðarstuðull, mm				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	0,17	-	-	0,13	-

Mat á niðurstöðum athugana á fjarlægðarstuðli. Fjarlægðarstuðull loftbólna í sniði H11 er að meðaltali 0,15 mm og staðalfrávik mælinganna er 0,028 mm.

V7.9 Togþol límingar milli steypu og malbiks

Niðurstöður mælinga. Tafla V7.10 sýnir hvaða kjarnar voru valdir til mælinga á togþoli, staðsetningu þeirra í sniðunum og niðurstöður togþolsmælinga.

Tafla V7.10: Niðurstöður mælinga á togþoli límingar á skilum steypu og malbiks.

Staðsetning kjarna	Togþol, MPa				
	-2	-1	Ø	+1	+2
Snið H11	-	0,54	0,49	0,57	0,55
Snið H12	-	-	0,79	0,60	0,64
Snið H21	-	-	0,62	0,61	0,80
Snið H22	-	-	0,66	0,61	0,66

Mat á niðurstöðum togþolsmælinga. Togþol límingar á milli steypu og malbiks í sniðum H11- H22 er að meðaltali 0,63 MPa og staðalfrávik mælinganna er 0,09 MPa. Í nokkrum prófunum slitnaði kjarninn í malbikshlutanum en ekki á límingunni milli steypu og malbiks. Þegar svo stóð á og aðstæður leyfðu var prófunin endurtekin, þar til kjarninn slitnaði um líminguna.

V7.10 Niðurstöður smásjargreininga á steypu.

Eitt sýni (H11-1) var greint í smásjá. Niðurstöður greiningarinnar eru birtar í viðauka 11.

V7.11 Ýfi

Ýfi hefur ekki verið mælt á þessum kafla.

V7.12 Niðurstöður mælinga á hemlunarviðnámi

Mælingar á hemlunarviðnámi voru gerðar um miðjan desember 2001 af Ásbirni Ólafssyni verkfræðingi. Mælingarnar voru gerðar með tæki í eigu Vegagerðarinnar, Skiddometer Friction Tester BV-11. Mældur var 200 m kafla í syðra hjólfari syðri akreinar á 60 km hraða. Niðurstöður mælinganna eru sýndar í töflu V6.11. Í viðauka 12 er gerð nánari grein fyrir mælingunum og niðurstöðum þeirra.

Tafla V7.11: Niðurstöður mælinga á hemlunarviðnámi.

Mæling	Stuðull hemlunarviðnáms	
	meðaltal	staðalfrávik
Desember 2001	0,81	0,030

V7.13 Slit

Slit hefur ekki verið mælt á þessum kafla.

V7.14 Niðurstöður úttekta

Úttekt 2000-09-06. Að undanteknum sprungum á bót næst Hafnarfjarðarvegi, sem komu fram meðan verið var að steypa og eru taldar stafa af þurrkrýrnun, er kaflinn óskemmdur. Engar frostskemmdir eru í kaflanum og engar lausar plötur. Hjólför eru lítil sem engin, meðfram vegna þess að þar er einstefna og umferðin dreifist um tvær akreinar.

Úttekt 2001-06-25. Í fyrstu 50 m kaflans næst Hafnarfjarðarvegi eru flestar plötur sprungnar eða brotnar, nánar tiltekið þannig (plöturnar taldar frá Hafnarfjarðarvegi):

Í austurakrein:

- 1. plata: Langsprunga eftir miðju plötunnar.
- 2. plata: Þversprunga frá miðju, 2,0 m inn í plötuna.
- 3. plata: Kurluð (óreglulegar sprungur).
- 4. plata: Þversprunga frá miðju, 1,5 m inn í plötuna.
- 6. plata: Þversprunga gegnum plötuna.
- 8. plata: Þversprunga frá miðju, 1,0 m inn í plötuna.
- 46. plata: Kurlað horn.

Í vesturakrein:

- 2. plata: Þversprunga frá miðju, 2,5 m inn í plötuna. Langsprunga frá enda 2 m inn í plötuna.
- 3. plata: Kurluð (óreglulegar sprungur).
- 4. plata: Þversprunga frá miðju, 2,5 m inn í plötuna.
- 5. plata: Langsprunga frá enda, 1,0 m inn í plötuna. Brotið horn 0,5 x 1 m.
- 6. plata: Þversprunga gegnum plötuna. Brotið horn frá miðri langhlið í miðjan enda.

- 8. plata: Þversprunga gegnum plötuna. Þversprunga frá miðju, 1,0 m inn í plötuna.
Að öðru leyti er kaflinn óskemmdur og laus við hjólför. Vesturakreinin er óslitin með öllu. Ekki varð vart við neinar lausar plötur.

VIÐAUKI 8
DORRY-PRÓF Á SÝNUM
ÚR STEYPTUM SLITLÖGUM

V8.1 Dorrypróf sem mælikvarði á slitþol steyptra slitlaga

Dorrypróf var um nokkurt skeið notað til að meta slitþol steinefna sem komu til álita í bikbundin slitlög en hefur nú vikið fyrir kúlnakvarnarprófi. Dorrypróf er gert á steinum í stærðarflokknum 11,2-12,5 mm sem eru límdir í platta og slípaðir við staðlaðar aðstæður. Rúmmálstap eftir tiltekna slípiáraun er notað sem mælikvarði á slitþol steinefnisins. Prófið er ekki ætlað fyrir steypu en þar sem auðvelt er að búa til platta úr steypu sem eru mjög svipaðir og plattar úr steinefni var talið hugsanlegt að próf á plöttum úr steypu gæti spáð fyrir um slit á steypu.

V8.2 Samband Dorryprófs og slits í Veisliteren

Tafla V8.1 sýnir niðurstöður úr Dorryprófi á nokkrum gerðum steyptra slitlaga, þar á meðal fimm af þeim sex tilraunaköflum sem fjallað er um í þessari skýrslu. Til samanburðar eru sýndar niðurstöður prófana¹ á sýnum úr fjórum slitlögum (ekki endilega teknum á sama stað) sem voru prófuð í Veisliteren í Noregi 1995². Dorryprófið var gert á þurru sýnum.

Tafla V8.1: Niðurstöður prófana á sýnum af steypum slitlögum.

Sýni úr steypu slitlagi á:	Dorrypróf	Veisliteren	
	Þurrt próf, cm ³	Íslenskt SPS ³	Norskt SPS
Hafnarbakka í Hafnarfjarðarhöfn	0,59	11,2	6,7
Suðurlandsvegi við Rauðavatn	0,57	12,4	7,3
Vesturlandsvegi við Höfðabakka	0,67	19,1	11,9
Reykjanesbraut, vestan Kúagerðis	1,13	43,4	28,3
Jaðarsbraut á Akranesi	0,82		
Leynisbraut á Akranesi	0,79		
Stillholti á Akranesi	0,76		
Dalvegi í Kópavogi	0,70		
Aðrein við Hafnarfjarðarveg	0,75		

Ef gert er ráð fyrir línulegu sambandi milli Dorryprófs og íslensks SPS skv. prófun í Veisliteren (sjá mynd V8.1) verður líkingin fyrir sambandið svona:

$$Y=56*X - 20 \quad (R^2 = 0,99)$$

þar sem:

Y er SPS skv. prófun í Veisliteren (umreiknað til íslenskra aðstæðna)

X er slit í þurru Dorryprófi í cm³

Á sama hátt má reikna línulegt samband milli Dorryprófs og norsks SPS skv. prófun í Veisliteren. Sú líking verður svona:

$$Y=38*X - 14 \quad (R^2 = 0,99)$$

¹ Ólafur Wallevik og Ásbjörn Jóhannesson: *Slitþol steyptra slitlaga*. Skýrsla nr. 96-09, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins 1996.

² Veisliteren er hringbraut þar sem hægt er að prófa slitþol steyptra eininga gagnvart negldum hjólbörðum.

³ SPS er mælikvarði á slit á bundnum slitlögum. Í töflunni er tilgreint íslenskt SPS og norskt SPS. Ástæðan er sú að samskonar slitlag slitnar meira hérlandis en í Noregi vegna áhrifa frá veðurfari og þessvegna þarf að umreikna slit sem fengið er með prófunum í Veisliteren (norskt SPS) með tilliti til íslenskra aðstæðna (íslenskt SPS). Þessir umreikningar eru skýrðir nánar í áður nefndri skýrslu *Slitþol steyptra slitlaga*.

þar sem:

Y er SPS skv. prófun í Veisliteren (norskar aðstæður)

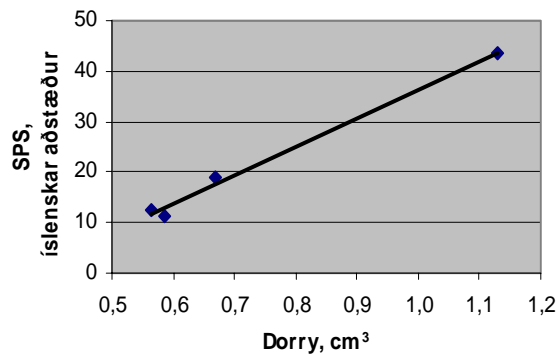
X er slit í þurru Dorryprófi í cm^3

Ef þessar niðurstöður eru notaðar til að framreikna niðurstöður Dorryprófsins á sýnum af steyptum slitlögum á Akranesi og í Kópavogi fæst eftirfarandi tafla:

Tafla V8.2: Spá um slit á steyptum götum út frá mældu sliti í Dorryprófi.

Sýni úr steyptu slitlagi á:	Dorrypróf	Veisliteren	
	Þurrt próf, cm^3	Íslenskt SPS ³	Norskt SPS
Jaðarsbraut á Akranesi	0,82	26	17
Leynisbraut á Akranesi	0,79	24	16
Stillholti á Akranesi	0,76	23	15
Dalvegi í Kópavogi	0,70	19	13
Aðrein við Hafnarfjarðarveg	0,75	22	15

Af mynd V8.1 mætti ætla að mjög sterkt línulegt samband sé á milli Dorryprófs og SPS skv. mælingum í Veisliteren. Hins vegar verður að taka með í reikninginn að sambandið byggist aðeins á fjórum punktum og einn þeirra ræður mestu um hallatölu línunnar. Þessar, að því er virðist jákvæðu niðurstöður, geta því verið tilviljun að einhverju leyti.



Mynd V8.1: Samband milli slits í Dorryprófi og í Veisliteren eftir umreikning til íslenskra aðstæðna.

Þá verður einnig að hafa í huga að sambandið milli slits í Veisliteren og slits á vegi hefur ekki verið ákvarðað, þótt margt bendi til að það sé nokkuð náð. Jafnframt sést af töflu V8.3 að staðalfrávik einstakra mælinga í Dorryprófi er nokkuð hátt (sbr. tölurnar fyrir Stillholt). Þess vegna er óraunhæft að líta á slitspána í í töflu V8.2 sem annað og meira en vísbendingu um væntanlegt slit á vegarköflunum.

Með hliðsjón af framangreindum niðurstöðum er hæpið að gera ráð fyrir að með Dorryprófi á steypu sé fundin ódýr aðferð til að spá um slitþol steyptra slitlaga en vissulega gefa niðurstöðurnar nokkrar vonir um það.

Tafla V8.3: Niðurstöður Dorryprófana ásamt upplýsingum um staðalfrávik á prófananiðurstöðum.

Slitlag \Sýni	Stillholt	Leynisbraut	Jaðarsbraut	Dalvegur	Aðrein H.fj.veg	Hafnarfj.höfn	Suðurlandsv.	Vesturlandsv.	Reykjanesbr.
Sýni 1	0,75	0,74	0,83	0,66	0,75	0,59	0,58	0,68	1,24
Sýni 2	0,89	0,86	0,87	0,64	0,80	0,60	0,57	0,69	1,06
Sýni 3	0,65	0,76	0,77	0,78	0,69	0,57	0,55	0,63	1,09
Meðalt.	0,76	0,79	0,82	0,70	0,75	0,59	0,57	0,67	1,13
St.fráv.	0,12	0,06	0,05	0,08	0,05	0,01	0,02	0,03	0,09

Ef það kemur til álita að halda þessum athugunum áfram kemur til greina að taka borkjarna úr fleiri slitlögum af þeim sem voru prófuð í Veisliteren á sínum tíma (alls voru tekin sýni af níu mismunandi slitlögum og prófuð í Veisliteren). Gallinn á þessari aðferð er sá að hún gefur bara tilefni til að álykta um samband Dorryprófs og prófana í Veisliteren. Annar möguleiki og árangursríkari er að fjölga tilraunaköflum (með breytilegt steinefni og steypustyrkleika) og mæla raunverulegt slit í nokkur ár, til þess að finna sambandið milli Dorryprófs og slits milliliðalaust, (og hvort það er nothæft) en þessi aðferð er að sjálfsögðu tíma- og fjárfrek.

Ályktanir

- Miðað við fyrirbyggjandi niðurstöður virðist vera línulegt samband milli slitþolsprófana á sýnum af steypu og niðurstaðna prófana í Veisliteren (SPS) ef þær eru umreiknaðar fyrir íslenskar aðstæður.
- Það er líklegt en alls ekki öruggt að hægt sé að spá um slit (SPS) á steypnum slitlögum út frá Dorryprófi á sýnum af sömu slitlögum.
- Niðurstöðurnar benda til þess að slitþol á steypunni sem notuð var í Jaðarsbraut, Leynisbraut og Stillholt á Akranesi sé um 23 SPS, og slitþol steypunnar sem notuð var í Dalveg og á aðrein Hafnarfjarðarvegar sumarið 1999 sé um 20 SPS. Til samanburðar má geta þess að slitþol malbiks sem notað er í götur á Reykjavíkursvæðinu er talið vera á bilinu 25-30 SPS.

VIÐAUKI 9

ÁHRIF NOKKURRA ÞÁTTA Á NIÐURSTÖÐUR FROSTÞOLSPRÓFANA Á SÝNUM ÚR STEYPTUM SLITLÖGUM

V9.1 Inngangur

Á einum af fundum verkefnishópsins kom upp nokkur umræða um áreiðanleika frostþolsprófana, meðal annars hvort niðurstöðurnar væru breytilegar frá einum stað til annars í slitlaginu. Í framhaldi af þessari umræðu var ákveðið að haga sýnatöku úr Dalvegi í Kópavogi þannig að frostþolsprófanir á sýnunum gætu gefið upplýsingar um þetta.

Í stórum dráttum var sýnatökunni hagað þannig að þau voru tekin úr tveim stöðum í slitlaginu með um það bil 50 m millibili. Á hvorum stað voru tekin sýni úr tveim sniðum með um 50 cm millibili. Í hverju sniði fyrir sig voru prófaðir tveir kjarnar sem teknir voru sitt hvoru megin við miðlínu slitlagsins og úr hverjum kjarna voru prófuð tvö sýni, annað um það bil 1 cm undir yfirborði slitlagsins, hitt um það bil 6 cm undir yfirborðis slitlagsins. Nánari upplýsingar um staðsetningu kjarnanna má finna í viðauka 6.

Prófunin var skipulögð sem þáttatilraun (factorial experiment) með hvern þátt á tveim stigum, þannig:

Þáttur 1: *Staður* (1. stig: vesturhluti kaflans; 2. stig: austurhluti kaflans)

Þáttur 2: *Snið* (1. stig: vestara snið; 2. stig: austara snið (í viðeigandi hlutum))

Þáttur 3: *Hlið* (1. stig: vinstra megin; 2. stig: hægra megin (við miðlínu))

Þáttur 4: *Hluti* (1. stig: efri hluti sýnis; 2. stig: neðri hluti sýnis)

V9.2 Niðurstöður

Frostþolið var prófað skv. SS 13 72 44:1995 og niðurstöður prófananna eru sýndar í viðauka 6. Niðurstöður prófananna eftir 56 umferðir eru í meginatriðum þessar:

1. Eini þátturinn (af ofanskráðum) sem hefur marktæk áhrif er hluti sýnis, þ. e. hvort frostþolsprófið er gert á efri hluta sýnis (kjarna) eða neðri hlutanum. Í efri hlutanum er flögnunin að meðaltali $0,57 \text{ kg/m}^2$ en í neðri hlutanum $0,89 \text{ kg/m}^2$. Það er ólíklegt að þessi mismunur sé einber tilviljun, líkurnar eru um það bil 1:140. Að öðru leyti eru niðurstöður frostþolsprófana úr þessum kafla sambærilegar hvaðan sem sýnið er úr slitlaginu.
2. Staðalfrávik á einstökum prófunum (þ. e. á einni sneið úr kjarna sem er 100 mm í þvermál) er $0,20 \text{ kg/m}^2$.

V9.3 Ígrundun

Af áðurgreindum niðurstöðum verður ekki annað séð en að staðsetning í láréttu plani skipti engu máli fyrir niðurstöður frostþolsprófana, en jafnframt að flögnunin sé marktækt meiri í neðri hluta slitlagsins en þeim efri. Meiri flögnun í neðri hluta steypunnar hefur þó væntanlega engin áhrif á endingu hennar þar sem hjólför munu væntanlega aldrei verða svo djúp.

Í þessu samhengi er rétt að benda á að svipaður mismunur kom fram á frostþoli í efri og neðri hluta sýna sem tekin voru úr aðrein á Hafnarfjarðarvegi (sjá viðauka7), en ekki í steypum slitlögum á Akranesi (sjá viðauka 2, 3 og 4). Þetta gæti bent til þess að mismunur á frostþoli í efri og neðri hluta sýnanna standi í einhverju samhengi við steypugerð sem var önnur í Kópavogi en á Akranesi. Annar möguleiki er að titrun steypunnar hafi verið mismunandi í Kópavogi og á Akranesi.

Þegar öryggisbil fyrir niðurstöður prófana er gefið upp er venja að miða við 95 % öryggisstig. Staðalfrávik frostþolsprófunar á einni sneið er samkvæmt áðurgreindum niðurstöðum $0,20 \text{ kg/m}^2$ og öryggisbil slíkrar prófunar $\pm 0,40 \text{ kg/m}^2$ sem er nokkuð hátt í ljósi þess að í SS 13 72 44 er bil milli frostþolsflokka 0,10 til $0,50 \text{ kg/m}^2$ eftir

atvikum. Í sama staðli er hinsvegar gert ráð fyrir að samanlagt flatarmál sýna í einu prófi sé 50.000 mm^2 sem svarar um það bil til sex sneiða af borkjörnum með 100 mm þvermál. Ef þetta skilyrði er uppfyllt minnkar öryggisbilið verulega, úr $\pm 0,4 \text{ kg/m}^2$ í $\pm 0,16 \text{ kg/m}^2$. Þetta öryggisbil dugar þó ekki til að skilja á milli frostþolsflokka svo vel sé, ef bilið á milli þeirra er undir $0,16 \text{ kg/m}^2$.

V9.4 Ályktanir

- Niðurstöður prófana á frostþoli sýnast vera óháðar staðsetningu sýnanna í láréttum fleti en geta verið mismunandi eftir fjarlægð sýnisins frá yfirborði slitlagsins, ef til vill vegna mismunar í titrun steypunnar.
- Nákvæmni frostþolsprófunar samkvæmt SS 13 72 44 er ekki nægileg til að greina á milli frostþolsflokka ef bilið á milli þeirra er undir $0,16 \text{ kg/m}^2$.

VIÐAUKI 10

ÁHRIF NOKKURRA ÞÁTTA Á
NIÐURSTÖÐUR
RÚMÞYNGDARMÆLINGA
Á SÝNUM ÚR STEYPTUM SLITLÖGUM

V10.1 Inngangur

Meðal mælinga sem gerðar voru á sýnum sem tekin voru úr steyptum slitlögum á Akranesi og í Kópavogi voru mælingar á rúmþyngd. Hluti mælinganna var notaður til að kanna hvort einhverra kerfisbundinna breytinga væri að vænta á rúmþyngd eftir því hvar sýnin væru staðsett í slitlaginu. Fyrir valinu urðu sýni úr Dalvegi í Kópavogi en þar hafði sýnatökunni verið hagað þannig að hægt væri að fá upplýsingar um samskonar breytingar í niðurstöðum frostþolsprófana ef einhverjar væru (sjá viðauka 9).

Sýnin sem voru notuð við þessa athugun voru tekin úr tveim stöðum í slitlaginu með um það bil 50 m millibili. Á hvorum stað voru tekin sýni úr tveim sniðum með um 50 cm millibili. Í hverju sniði fyrir sig voru prófaðir tveir kjarnar sem teknir voru sitt hvoru megin við miðlínu slitlagsins og úr hverjum kjarna voru prófaðar tvær sneiðar, önnur úr efri hluta slitlagsins hin úr neðri hlutanum. Nánari upplýsingar um staðsetningu kjarnanna má finna í viðauka 6.

Prófunin var skipulögð sem þáttatilraun (factorial experiment) með hvern þátt á tveim stigum, þannig:

Þáttur 1: *Staður* (1. stig: vesturhluti kaflans; 2. stig: austurhluti kaflans)

Þáttur 2: *Snið* (1. stig: vestara snið; 2. stig: austara snið (í viðeigandi hlutum))

Þáttur 3: *Hlið* (1. stig: vinstra megin; 2. stig: hægra megin (við miðlínu))

Þáttur 4: *Hluti* (1. stig: efri hluti sýnis; 2. stig: neðri hluti sýnis)

V10.2 Niðurstöður

Niðurstöður prófananna eru sýndar í viðauka 6. Ofangreind þáttatilraun leiddi eftirfarandi í ljós:

1. Eini þátturinn (af ofanskráðum) sem hefur marktæk áhrif er staður, þ. e. hvort sýnið er tekið úr austurhluta kaflans eða vesturhlutanum. Í austurhlutanum er rúmþyngdin að meðaltali 2440 kg/m^3 en í vesturhlutanum 2420 kg/m^3 . Það er ólíklegt að þessi mismunur sé einber tilviljun, líkurnar eru um það bil 1:160. Að öðru leyti eru niðurstöður rúmþyngdarmælinga úr þessum kafla sambærilegar hvaðan sem sýnið er úr slitlaginu.
2. Staðalfrávik á einstökum rúmþyngdarmælingum er 14 kg/m^3 .

V10.3 Ígrundun

Áðurgreindar niðurstöður benda eindregið til þess að rúmþyngdin sé jöfn yfir breidd og dýpt slitlagsins, en geti verið lítið eitt mismunandi í lengdina, að minnsta kosti langt (50 m) er á milli sýnatökustaða. Gögnin gefa engar upplýsingar um orsök þessa mismunar enda er hann svo lítill að hann skiptir engu máli, minni en 1 % af rúmþyngd.

Þegar öryggisbil fyrir niðurstöður prófana er gefið upp er venja að miða við 95 % öryggisstig. Staðalfrávik rúmþyngdarmælinga á einni sneið er samkvæmt áðurgreindum niðurstöðum 14 kg/m^3 og öryggisbil slíkrar prófunar $\pm 30 \text{ kg/m}^3$.

V10.4 Ályktanir

- Mismunur í rúmþyngd eftir staðsetningu sýnanna er óverulegur eða enginn.
- Öryggisbil á niðurstöðum einstakra rúmþyngdarmælinga er $\pm 30 \text{ kg/m}^3$.

VIÐAUKI 11

NIÐURSTÖÐUR SKOÐUNAR Á
ÞUNNSNEIÐUM ÚR SÝNUM ÚR
STEYPTUM SLITLÖGUM

V11.1 Inngangur

Í samráði við verkefnishópinn var ákveðið að búa til og greina þunnsneiðar úr nokkrum sýnum. Úr hverjum kafla var valinn einn kjarni úr þeim hluta sem var lagður með vél, en auk þess voru gerðar þunnsneiðar úr tveim kjörnum öðrum sem báðir voru úr handlagðri breikkun. Þunnsneiðarnar eru úr eftirtöldum sýnum:

Jaðarsbraut, J1-1, þunnsneið númer 3335
Jaðarsbraut, J3-1, handlögð breikkun, þunnsneið númer 3336
Leynisbraut, L1+2, þunnsneið númer 3337
Stillhollt, S2-2, þunnsneið númer 3338
Dalvegur, D11+2, þunnsneið númer 3339
Dalvegur, D21-2, þunnsneið númer 3340
Dalvegur, D31+1, handlögð breikkun, þunnsneið númer 3411
Tenging við Hafnarfjarðarveg, H11-1, þunnsneið númer 3341

Nánari upplýsingar um staðsetningu sýnanna má finna í viðaukum 2-7.

Sýnin sem voru notuð til þunnsneiðargerðar voru borkjarnar með 10 cm þvermál. Af hverju sýni var gerð ein lóðrétt þunnsneið sem náði frá yfirborði og niður á um 3 cm dýpi og var um 7 cm löng. Þar að auki var gerð ein lárétt þunnsneið af um 2 cm dýpi frá yfirborði, sneiðin náði yfir allt yfirborð kjarnans (10 cm í þvermál). Þunnsneiðarnar voru límdar upp með flúrljómandi lit (gulleitur í venjulegur ljósi). Liturinn gerir það að verkum að mjög auðvelt er að kanna magn og lögun holrýma í steypu.

Sérhver þunnsneið var skoðuð í smásjá. Loftmagn var greint með myndgreiningu í þremur sýnum. Dr. Gísli Guðmundsson greindi þunnsneiðarnar og niðurstöður hans fara hér á eftir.

V11.2 Niðurstöður greininga

Jaðarsbraut, J1-1, þunnsneið númer 3335.

Tiltölulega mikið loft er í sýninu og loftbóluklasar (fleiri en þrjár loftbólur samhangandi) eru nokkuð algengir. Í yfirborðinu er tiltölulega smáar loftbólur algengar. Loftmagnið var fundið með myndgreiningu og reyndist það vera um 7 %.

Í yfirborði sýnisins eru nokkrar sprungur sem ganga hornrétt frá yfirborði inn í sýnið. Á þeim 7 cm sem þunnsneiðin náði yfir fundust 4 sprungur. Sprungurnar náðu aðeins nokkra millimetra inn í sýnið.

Yfirborð steypunnar er aðeins byrjað að kolsýrast, kolsýringin nær allt að því um 0,5 mm inn í sýnið. Í yfirborðssprungunum nær kolsýringin niður á 2 mm dýpi.

Það er athyglisvert hve mikið er af tiltölulega fínkorna fylliefni við yfirborðið.

Jaðarsbraut, J3-1, þunnsneið númer 3336.

Tiltölulega mikið loft virðist vera í steypunni og loftbóluklasar eru algengir. Loftmagnið var fundið með myndgreiningu og reyndist það vera rétt rúmlega 5 %.

Við yfirborðið fundust nokkrar sprungur sem ganga hornrétt inn í steypuna, en þær ná aðeins nokkra millimetra inn í steypuna.

Kolsýring yfirborðsins er nokkuð jöfn og er meira áberandi en í sýni 3335. Kolsýringin nær niður á um 1 mm dýpi.

Það er athyglisvert hve mikið er af tiltölulega fínkorna fylliefni við yfirborðið.

Leynisbraut, L1+2, þunnsneið númer 3337.

Loftmagnið í sýninu er mikið, og algengt að sjá tiltölulega stórar ílangar loftbólur og loftbóluklasa.

Við yfirborðið fundust nokkrar sprungur sem ganga hornrétt inn í steypuna, en þær ná aðeins nokkra millimetra inn í steypuna.

Kolsýringin er óregluleg. Hún nær niður á allt að 1 mm dýpi og í sprungum á allt að 3,5 mm dýpi.

Athyglisvert er hve mikið er af tiltölulega fínkorna fylliefni við yfirborðið.

Stillholt, S2-2, þunnsneið númer 3338.

Loftmagnið virðist vera nokkuð mikið, tiltölulega stórar loftbólur og loftbóluklasa eru nokkuð algengt að sjá í sýninu.

Nokkrar sprungur fundust í yfirborðinu. Sprungurnar ganga tiltölulega stutt inn í steypuna.

Steypan virðist vera lítið kolsýrð, hún nær eingöngu innan við 0,2 mm inn í sýnið, en niður á 1 til 2 mm dýpi um sprungur.

Athyglisvert er hve mikið er af tiltölulega fínkorna fylliefni við yfirborðið.

Dalvegur, D11+2, þunnsneið númer 3339.

Loftkerfið í steypunni virðist vera nokkuð gott, loftbólurnar er tiltölulega smáar og tiltölulega lítið af innilokuðu lofti eða loftbóluklössum og loftmagnið virðist vera eðlilegt.

Engar sprungur fundust í yfirborðinu, hins vegar má sjá nokkurs konar innra sprungunet í steypunni.

Kolsýring steypunnar er innan við 0,2 mm.

Nokkuð algengt er að finna kekkjað kísilryk í steypunni.

Svo virðist sem að tiltölulega stór fylliefni séu við yfirborð steypunnar.

Dalvegur, D21-2, þunnsneið númer 3340.

Loftmangið og loftkerfið virðist vera tiltölulega gott. Loftmagnið var fundið með myndgreiningu og er aðeins meira en 4 %.

Engar sprungur fundust í yfirborðinu, hins vegar má sjá nokkurs konar innra sprungunet í steypunni.

Kolsýring steypunnar er innan við 0,3 mm.

Nokkuð algengt er að finna kekkjað kísilryk í steypunni.

Svo virðist sem að tiltölulega stór fylliefni séu við yfirborð steypunnar.

Yfirborð steypunnar er nokkuð óslétt og steypan virðist slitna mishratt eða mismikið. Þar sem tiltölulega stór fylliefni eru í yfirborðinu slitnar steypan minna en þar sem tiltölulega smá fylliefni er að finna.

Dalvegur, D31+1, þunnsneið númer 3411.

Loftmagnið virðist vera nokkuð mikið en að öðru leyti virðist loftkerfið vera nokkuð gott.

Sjá nokkurs konar innra sprungunet í steypunni, svo virðist sem sprungurnar nái upp til yfirborðsins.

Kolsýring steypunnar er innan við 0,2 mm.

Nokkuð algengt er að finna kekkjað kísilryk í steypunni.

Tenging við Hafnarfjarðarveg, H11-1, þunnsneið númer 3341.

Loftmagnið virðist vera nokkuð mikið en að öðru leyti virðist loftkerfið vera nokkuð gott.

Engar sprungur fundust í yfirborðinu, hins vegar má sjá nokkurs konar innra sprungunet í steypunni.

Kolsýring steypunnar er innan við 0,2 mm.

Nokkuð algengt er að finna kekkjað kísilryk í steypunni.

V11.3 Ályktanir

Vegsteypa á Akranesi.

Svo virðist sem loftmagnið í sýnunum sé tiltölulega mikið og jafnframt er mikið um loftbóluklasa og innilokað loft, þ.e.a.s. gera má ráð fyrir að tiltölulega stór hluti loftsins veiti ekki vörn gegn frost/þíðuvirkni.

Magn fínefnis (fínsandur) er nokkuð hátt við yfirborð sýnanna, þetta gæti bent til þess að steypan hafi verið titruð of mikið, við það hafi smærri fylliefnin aðskilist og leitað til yfirborðs. Einnig bendir þetta til þess að steypan hafi ekki slitnað mikið vegna umferðar þar sem sýnin voru tekin. Kolsýringin steypunnar bendir einnig til þess að steypan hafi ekki slitnað mikið, a.m.k. virðist kolsýringarhraðinn vera töluvert meiri en slitið. Í þessu sambandi verður að geta þess að steypan er tiltölulega lítið kolsýrð, eins og reyndar var búist við. Þrátt fyrir það nær hún niður á um 1 mm dýpi í sýnum J3-1 og L1+2.

Vegsteypa úr Kópavogi

Steypan úr Kópavogi er nokkuð jöfn að gæðum og loftkerfið virðist vera nokkuð gott með tiltölulega lítið af innilokuðu lofti.

Tiltölulega stór fylliefni eru við yfirborð sýnanna. Þar sem þau eru í yfirborðinu virðist vegslitið vera nokkuð hægara en þar sem smærri fylliefni finnast í yfirborðinu.

VIÐAUKI 12
MÆLINGAR Á HEMLUNARVIÐNÁMI

V12.1 Inngangur

Í samráði við verkefnishópinn var ákveðið að mæla hemlunarviðnám á nokkrum steypum köflum. Niðurstöðurnar voru bornar saman við fyrri mælingar á sömu köflum eftir föngum svo og niðurstöður viðnámsmælinga á dæmigerðu malbiki.

Mælingarnar voru gerðar með tæki í eigu Vegagerðarinnar, Skidometer BV 11. Venjulega er 200 metra kafla mældur tvisvar (stundum þrisvar) sinnum og tækið skráir hemlunarviðnám á hverjum tveim metrum sem mældir eru. Þannig fást nákvæmar upplýsingar um breytileika hemlunarviðnámsins á kaflanum. Staðalfrávik mælinganna er reiknað út frá hemlunarviðnámi á hverjum tveggja metra kafla.

Mælingarnar voru gerðar á eftirfarandi stöðum:

- Dalvegi í Kópavogi, um það bil á milli stöðva 590 og 790, sjá nánar í kafla 4.5. Kaflinn var mældur í tvígang, í fyrra skiptið um það bil fjórum mánuðum eftir útlögn, í seinna skiptið eftir tveggja ára umferð. Í fyrra skiptið var mælt á miðju akreinarinnar, enda engin hjólför sjáanleg. Í seinna skiptið var mælt í hægra hjólfari á suðurakrein, frá vestri til austurs.
- Tengingu milli Fífuhvamsvegjar og Hafnarfjarðarvegjar, 200 m kafla sem byrjar á skilum malbiks og steypu austanmegin, sjá nánar í kafla 4.6. Kaflinn var mældur eftir tveggja ára umferð í hægra hjólfari á norðurakrein, frá austri til vesturs.
- Hringvegi við Rauðavatn, á kafla 1e3, (Breiðholtsbraut – Nesbraut), stöðvar ca. 1790-1880, talið frá Breiðholtsbraut. Steyptur kafla frá 1994. Kaflinn var mældur í tvígang, í fyrra skiptið í janúar 2000, og aftur í desember 2001. Í bæði skiptin var mælt í hægra hjólfari á austurakrein, frá suðri til norðurs.
- Hringvegi við Þingvallaveg, á kafla 1f5 milli Þingvallavegar og Brautarholtsvegjar, stöðvar ca. 570-770. Steyptur kafla frá 1972. Kaflinn var mældur í tvígang, í fyrra skiptið í janúar 2000, og aftur í desember 2001. Í bæði skiptin var mælt í hægra hjólfari á vesturakrein, frá norðri til suðurs.
- Nesbraut, milli Hringvegjar og Höfðabakka, stöðvar ca. 300-500, talið frá Hringvegi. Malbikaður kafla frá 1995 (SMA 16). Kaflinn var mældur í desember 2001 í hægra hjólfari á miðrein suðurakbrautar, frá vestri til austurs.

V12.2 Niðurstöður mælinga

Tafla V12.1: Dagsetningar og niðurstöður mælinga á hemlunarviðnámi.

Kafla	Dagsetning mælingar	Mælihraði, km/klst	Hemlunarviðnám (μ)	Staðalfrávik á μ	Lægsta gildi á μ
Dalvegur í Kópavogi	1999-11-03	58	0,77	-	-
"	2001-12-13	59	0,83	0,021	0,79
Tenging v/ Hafnarfj. veg	2001-12-13	56 ¹	0,82	0,030 ¹	0,77 ¹
Hringvegur v/ Rauðavatn	2000-01-20	60	0,73	-	-
"	2001-12-13	59	0,79	0,024	0,75
Hringvegur v/ Þingv.veg	2000-01-20	60	0,78	-	-
"	2001-12-13	58	0,86	0,027	0,80
Nesbraut v/ Höfðabakka	2001-12-13	58 ²	0,84 ²	0,040 ²	0,76 ²

¹ Staðalfrávik mælinganna og lægsta gildi eru fengin úr einni mælisyrpu í stað tveggja eins og venja er til (aðeins önnur mælisyrpan af tveimur vistaðist á tölvu að mælingum loknum).

² Niðurstöður úr þrem mælisyrpum í stað tveggja eins og venja er.

V12.3 Ígrundun og ályktanir

Af niðurstöðunum í töflu V12.1 má, svo langt sem þær ná, draga eftirfarandi ályktanir:

- Mælt hemlunarviðnám er langtum meira en tilgreint lágmark í sænskum verklýsingum sem er 0,5 (sjá kafla 2.3.1 í meginmáli).
- Hemlunarviðnám á steypu er af svipaðri stærðargráðu og hemlunarviðnám á malbiki (Nesbraut) þótt niðurstöðurnar bendi til þess að malbikið hafi heldur vinninginn. Það er í samræmi við reynslu í Bandaríkunum, en í greinargerð um yfirborðseiginleika steyptra slitlaga [PCC 2002] segir að hemlunarviðnám sé að jafnaði lítið eitt minna á steypnum slitlögum en malbikuðum.
- Hemlunarviðnám á nýlagðri steypu (Dalvegur) er langt umfram lágmarkskröfur.
- Breytileiki í hemlunarviðnámi er lítill og lægstu gildi (á tveggja m löngum bútum) eru einnig langtum hærri en lágmarkskröfur áskilja, sama hvort malbik eða steypa á í hlut.

Rétt er að taka fram að allar mælingarnar voru gerðar að vetrarlagi, en þá má búast við að hemlunarviðnám sé í hámarki. Þá hafa naglar í hjólbörðum skrapað hugsanlega sliktu af yfirborði slitlagsins sem kynni að skerða hemlunarviðnámið.

Þeirri spurningu hefur verið varpað fram, hvort söltun kunni að hafa áhrif á hemlunarviðnám. Þetta hefur ekki verið rannsakað hérlendis svo vitað sé. Bandarískar rannsóknir benda þó til að söltun dragi lítillga úr hemlunarviðnámi [Henry 2002].

Heimildir

Henry 2002: Tölvuskeyti frá J. J. Henry, Penn. Transportation Institute, til Ásbjarnar Jóhannessonar, Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, dags. 2002-03-25.

PCC 2002: *PCC Surface Texture Technical Working Group Findings*. http://ntl.bts.gov/DOCS/79_tpave.html.

Útkomnar skýrslur BUSL-samstarfsins eru:

Efnisgæðanefnd:

- E-1: NET viðloðunarpróf - lokaskýrsla, desember 1995.
- E-2: Frost resistance test on aggregates, Nordtest project no. 1214-95, nóvember 1995.
- E-5: Niðurbrot steinefna í óbundnum burðarlögum - Staða þekkingar, júní 1996.
- E-8: Eiginleikar og gæði steinefna í vega- og gatnagerð - áfangaskýrsla, júní 1996.
- E-9: Vatnspolspróf - lokaskýrsla, febrúar 1996.
- E-10: Fínefni í malarslitlög - áfangaskýrsla, apríl 1996.
- E-11: Kúlnakvarnarpróf - lokaskýrsla, júlí 1996.
- E-12: Frost resistance test on aggregates, Nordtest project no. 1214-95 - lokaskýrsla, nóvember 1996.
- E-13: Durability and strength assessment of Icelandic basalt, lokaskýrsla, desember 1996.
- E-15: Alfræðilegir eiginleikar bikbundina slitlaga - ákvörðun á tilraunastofu, janúar 1997.
- E-16: Staða bindiefnismála á Íslandi, júní 2001.
- E-17: Resilient modulus of an Icelandic bituminous mix estimated from indirect tensile test, október 1997.
- E-18: Innri gerð slitlaga - smjásjargreining, lokaskýrsla, nóvember 1997.
- E-19: Niðurbrot steinefna í óbundnum burðarlögum – áhrifavaldar og útreikningar, október 2000.
- E-20: Niðurbrot steinefna - styrkleiki - veðrunarþol - slitþol, lokaskýrsla, janúar 1998.
- E-21: „Vialit plate“ viðloðunarpróf (VPT), apríl 1998.
- E-23: Slitmælingar með Prall-aðferð - lokaskýrsla júlí 1998.
- E-24: Mælingar og mælitæki í tilraunaköflum, mars 1998.
- E-26: Berggreining – leiðbeiningar Efnisgæðanefndar við staðalinn ÍST EN 932-3:1996 – áfangaskýrsla 2, desember 2000.
- E-27: Athuganir á blöðróttum gosefnum, maí 1998.
- E-28: Tillögur um breytingar á Alverki, október 1998.
- E-29: Afifræðileg hegðun malbiksslitlaga - ákvörðun í tilraunastofu, febrúar 1998.
- E-31: COURAGE - The Icelandic status report, febrúar 1999.
- E-32: Þáttur veðrunar og ummyndunar steinefnis í gæðaflokkum þess - 2. áfangi, mars 1999.
- E-33: Íslensk malbiksslitlög. Afifræðilegir eiginleikar, apríl 1999.
- E-34: Veðrunarþol malbiks, lokaskýrsla, júní 1999.
- E-35: Efnisvinnsla - verktækni og þekking, maí 1999.
- E-36: COURAGE - Icelandic Final Report, nóvember 1999.
- E-37: COURAGE - Aggregate resistance to fragmentation weathering and abrasion, nóvember 1999.
- E-38: Prófanir á steinefnabanka með tveimur CEN aðferðum, MDE og FI, lokaskýrsla, febrúar 2000.
- E-39: Áhrif þenjanlegra leirsteinda á frostþoli steinefnis, lokaskýrsla, febrúar 2000.
- E-40: Bikbundin burðarlög, prófanir á tilraunastofu, mars 2000.
- E-41: Viðloðunarpróf á steinefnabanka, lokaskýrsla, mars 2000.
- E-42: Tillögur verkefnishóps Efnisgæðanefndar um breytingar á Alverki, maí 2001.
- E-43: Berggreining – Athugun á nákvæmni berggreininga gerðum í samræmi við ÍST EN 932-3:1996 og leiðbeiningar Efnisgæðanefndar – áfangaskýrsla 3, júní 2001.

Burðarlaganefnd:

- B-1: Athugun á efnum í stórum stálhólki - lokaskýrsla, desember 1995.
- B-2: Samanburður falllóðs og plötuprófs - lokaskýrsla, janúar 1996.
- B-3: Athugun á eldri tilraunavegum - lokaskýrsla, desember 1995.
- B-4: Sementsfestun burðarlaga - framkvæmdatilraunir á Nesvegi við Hafnir, desember 1995.
- B-5: Sementsfestun burðarlaga - Vegstyrking með sementsfestu - stutt greinargerð - áfangaskýrsla, janúar 1996.
- B-7: Athugun á lágmarksþykkt burðarlaga vega með lítilli umferð - lokaskýrsla, desember 1996.
- B-8: Athugun á CBR aðferðinni við hönnun burðarlaga - lokaskýrsla, apríl 1997.
- B-9: Þjöppunarpróf fyrir burðarlög vega - heimildakönnun, lokaskýrsla, júní 1997.
- B-10: Tillaga að endurskoðun á kaflanum um burðarlög (5) og fyllingar(33) í ALVERK, júlí 1997.
- B-12: Bikinnihald sýna úr festum burðarlögum og samband þess við styrkeiginleika blöndunnar, júlí 1997.
- B-13: Sementsfestun burðarlaga - Tilraunakafli í Langadal, júlí 1997.
- B-14: Festun burðarlaga með froðubiki - prófanir á rannsóknastofu, lokaskýrsla, mars 1998.
- B-15: Athugun á formbreytingum í efra burðarlagi í götum og vegum, febrúar 1998.
- B-16: Sveiflufræðileg þríasapróf á steinefnum, mars 1998.
- B-19: Skilgreining á þúkki, mars 1999.
- B-20: Þátttaka Íslands í Cost verkefni: „Development of New Bituminous Pavement Design Method Cost 333“, lokaskýrsla, maí 1999.
- B-21: Athugun á efra burðarlagi í götum og vegum með þunnu slitlagi, ágúst 1999.
- B-22: Mat á yfirlagi - lokaskýrsla, október 1999.
- B-23: Bikfestun burðarlaga – reynsla af tilraunum, lokaskýrsla, janúar 2000.
- B-24: Athugun á efra burðarlagi í Suðurlandsvegi og Landssveit, janúar 2000.

Útkomnar skýrslur BUSL-samstarfsins eru:

- B-25: Jarðdúkar og jarðgrindur í vega- og gatnagerð, janúar 2001.
- B-26: Sementsfestun burðarlaga – sementsþörf malarefna, mars 2000.
- B-27: Dynamic Triaxial Testing of Unbound Granular Materials, apríl 2000.
- B-28: AMADEUS: (Advance Models for Analytical Design of European Pavement Structures), ágúst 2000.
- B-29: Tillaga að endurskoðun á kafla 5 um burðarlög í Alverk 95, júlí 2000.
- B-30: Samanburður á rúmþyngd efna í vegum eftir völtun og á rannsóknastofu, janúar 2001.
- B-31: Athugun á hagkvæmni nokkurra gerða af slitlagi og burðarlagi, mars 2001.
- B-32: Steinlagnir í vega- og gatnagerð, lokaskýrsla, mars 2001.
- B-33: Sveiflufræðileg þríaspróf á lausum jarðefnum, maí 2002.

Slitlaganefnd:

- S-2: Hágæðamalbik – lokaskýrsla, mars 2000.
- S-3: Klæðingar með bikþeytu - tilraunakaflar - lokaskýrsla, desember 1997.
- S-5: Hjólfaramyndun í malbiki að sumarlagi - lokaskýrsla, febrúar 1998.
- S-6: Viðnámsstuðlar á malbiki - áfangaskýrsla, mars 1998.
- S-7: Hjólfarafylling undir klæðingar - lokaskýrsla, febrúar 1999.
- S-8: Klæðingar með lágu white spirit innihaldi - lokaskýrsla, júní 1999.
- S-9: Sig og skrið í asfaltbundnum slitlögum, febrúar 1999.
- S-11: Viðhaldsaðferðir, mars 2003.
- S-13: Slit á Vesturlandsvegi ofan Mosfellsbæjar - áfangaskýrsla 1, mars 1999.
- S-14: Bindiefnismagn í klæðingar - lokaskýrsla, mars 1999.
- S-15: Tilraunakaflar Steinefnanefndar á Sæbraut – lokaskýrsla, janúar 2000.
- S-16: Endurskoðun á markalínunum fyrir malbik – lokaskýrsla, apríl 2000.
- S-17: Tilraunakaflar á Reykjanesbraut – lokaskýrsla, desember 1999.
- S-18: Hönnun malbiks, janúar 2000.
- S-19: Binding finefna í efra burðarlagi, júní 2000.
- S-20: Tæki til slit- og ýfímælinga, lokaskýrsla, nóvember 2000.
- S-21: Drenmalbik-tilraunakaflar, lokaskýrsla, nóvember 2000.
- S-22: Klæðingar með umhverfissvænna leysiefni, lokaskýrsla, mars 2001.
- S-23: Úttekt á stöðu nagladekkjamála – nýjar naglagerðir, önnur þróun, janúar 2002.
- S-24: Ending malbiksslitlaga á Reykjanesbraut, júní 2002.
- S-25: Steypt slitlög – áfangaskýrsla, júní 2004.

Verkefnisstjórn:

- V-1: Leiðbeiningar fyrir nefndir og verkefnishópa um skipulag og vinnu verkefna í BUSL-samstarfinu - 5. útgáfa, október 1998.
-