



Efnisgæðaritið – Viðauki 8: Ýtarefni um malbik Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Verkefnið er styrkt af Rannsóknasjóði Vegagerðarinnar
Nóvember 2025

Lykilsíða

Höfundar skýrslunnar bera alla ábyrgð.

Númer skýrslu/gerð skýrslu	Fjöldi síðna	Dagsetning	Útgáfa
LEI-3406 Efnisgæðarit Vegagerðarinnar	58	Nóvember 2025	2
Heiti leiðbeiningarits			
Efnisgæðaritið – Viðauki 8: Ýtarefni um malbik			
Höfundur/ar	Verkefnastjóri	Tengiliður Vegagerðarinnar	
Ásbjörn Jóhannesson Pétur Pétursson Gunnar Bjarnason	Oddur Sigurðsson Hagalín	Oddur Sigurðsson Hagalín	
Styrktaraðili		Samvinnuaðilar	
Rannsóknarsjóður Vegagerðarinnar Stoðdeild Vegagerðarinnar			

Lykilorð	
Efnisgæði, efnisrannsóknir, efniskröfur.	
Undirskrift verkefnastjóra	Yfirfarið af
	OSHa

Efnisgæðaritið

Efnisrannsóknir og efniskröfur

Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd

Kafli 1	Formáli
Kafli 2	Inngangur
Kafli 3	Fylling
Kafli 4	Styrktarlag
Kafli 5	Burðarlag
Kafli 6	Slitlag
Kafli 7	Steinsteypa
Kafli 8	Sandur
Viðauki 1	Lýsing á prófunaraðferðum
Viðauki 2	Efnisgerðir við vega- og gatnagerð
Viðauki 3	Jarðmyndanir – byggingarefni við vegagerð
Viðauki 4	Gerðarprófanir, framleiðslueftirlit og frávikskröfur
Viðauki 5	Sýnataka
Viðauki 6	Vinnsluaðferðir
Viðauki 7	Orðalisti – skilgreiningar og skýringar
Viðauki 8	Ýtarefni um malbik (janúar 2025)
Viðauki 9	Samanburður á eiginleikum steinefna og kröfum

Viðauki 8: Ýtarefni um malbik

Frá ritstjórn Efnisgæðaritsins:

Í þessum viðauka er birtur ýmis fróðleikur um malbik sem tekinn var saman á árunum **2006-2007** þegar unnið var að kaflanum um malbik í kafla 6 um slitlög í Efnisgæðaritinu. Uppistaðan eru minnisblöð sem samin voru af Ásbirni Jóhannessyni verkfræðingi á Nýsköpunarmiðstöð Íslands og var efni malbikskafans að hluta til unnið upp úr minnisblöðunum. Minnisblöðin gera viðfangsefninu mun ýtarlegri skil en ástæða þótti til að gera í kaflanum um malbik og því þótti rétt að birta þau að hluta til í þessum viðauka. Yfirgripsmiklar rannsóknir hafa verið framkvæmdar bæði hér á landi og erlendis frá því minnisblöðin voru skrifuð. Auk þess voru gefnir út Evrópustaðlar 2008, sem meðal annars kölluðu á nýjar prófunaraðferðir sem nú hafa verið innleiddar hérlandis, svo sem hjólfarpróf og Prall slitpolspróf. Einnig voru í sérstökum Evrópustöðlum settar fram kröfur um gerðarprófanir og framleiðslueftirlit sem framleiðendum ber að uppfylla. Því hafa umtalsverðar breytingar verið gerðar á malbikskafnanum til samræmis við niðurstöður rannsókna og staðla. Í endurskoðun á Efnisgæðaritinu í heild sinni um áramótin 2020/2021 ákvað ritnefndin að fara yfir þennan viðauka og gera breytingar á einstökum köflum eftir þörfum. Í ljósi þeirra rannsókna, prófana og staðla sem hafa með tímanum skilað sér inn í kafla 6, en stangast á við eitt og annað í þessum viðauka, sem var mikilvægt barn síns tíma. Þessi viðauki er því að megninu til látinn halda sér, enda ýmsan fróðleik að finna sem stenst fyllilega tímans tönn. Þess ber að geta að þessi viðauki var ekki endurskoðaður efnislega við heildarendurskoðun ritsins í heild um áramótin 2021/2022, heldur eingöngu færður yfir í nýtt sniðmát Vegagerðarinnar. Hann fær að standa óbreyttur við endurskoðun nú, 2022/2023 með sömu athugasemdum og settar voru fram við endurskoðun hans 2020/2021. Nú við endurskoðun 2025 hefur athugasemdum verið eytt út og texti lagfærður eftir þörfum.

Efnisyfirlit

Lykilsíða	2
1 FRÓÐLEIKUR UM BIKBINDIEFNI TIL VEGAGERÐAR	6
1.1 Inngangur	6
1.2 Helstu gerðir bindiefna	7
1.3 Hitastig við geymslu og dælingu	8
1.4 Varúðarráðstafanir	8
1.5 Flokkunarkerfi fyrir bikbindiefni	8
1.6 Notagildi og eiginleikar	9
1.7 Prófanir á bindiefnum.....	10
1.8 Breytt bindiefni.....	12
2 VAL Á BINDIEFNI, HART EÐA MJÚKT?	14
3 ÁHRIF BINDIEFNISINNIHALDS Á EIGINLEIKA MALBIKS	17
4 TILLAGA AÐ MÖRKUM FYRIR BINDIEFNISINNIHALD	19
5 SÁLDURFERLAR OG MARKALÍNUR FYRIR MALBIK.....	22
6 UM SKRIÐ Í ÍSLENSKU MALBIKI	24
6.1 Inngangur	24
6.2 Mælingar á skriði í rannsóknastofu	24
6.3 Mælingar á skriði í vegi.....	25
6.4 Aðrar vísbendingar með og á móti skriði.....	26
6.5 Merki um skrið í Reykjavík eftir sumarið 2007	26
6.6 Er íslenskum slitlögum hætt við skriði?	27
6.7 Ráðstafanir til að minnka skrið	27
6.8 Ályktanir	28
ATHUGASEMD RITSTJÓRNAR VIÐ KAFLA 6 Í JANÚAR 2021	28
7 FRÓÐLEIKUR UM FESTU OG SIG.....	30
8 HOLRÝMD Í BURÐARLAGSMALBIKI.....	34
9 FRÓÐLEIKUR UM HOLRÝMD OG ÞJÖPPUNARHLUTFALL.....	37
10 ÞJÖPPUNARKRÖFUR FYRIR MALBIK	40
11 HOLRÝMD Í STEINEFNI OG FYLLT HOLRÝMD	41
12 FRÓÐLEIKUR UM VIÐLOÐUN OG VIÐLOÐUNARPRÓF	42
13 FRÓÐLEIKUR UM RÚLLUFLÖSKURPRÓF	45
14 VATNSNÆMI MALBIKS	48
15 UM ÁHRIF SALTS Á ÞREYTUÞOL MALBIKS	50
16 HEMLUNARVIÐNÁM.....	53
17 BINDIEFNISLIKJA Á SLITLÖGUM OG ÁHRIF HENNA Á HEMLUNARVIÐNÁM	56
18 FÁEIN ORÐ UM EFTIRLIT	58

1 FRÓÐLEIKUR UM BIKBINDIEFNI TIL VEGAGERÐAR

1.1 Inngangur

Uppruni og samsetning. Öll bikbindiefni sem nú eru notuð hérlandis eru unnin úr jarðolíu (e. *crude oil*), en hún er að stofni til lífrænar leifar sem hafa ummyndast djúpt í jörðu á afar löngum tíma við skilyrði, sem fyrst og fremst eru mikill þrýstingur og hitastreymi frá iðrum jarðar. Áður fyrr var einnig notuð tjara (e. *tar*)¹ en það er annað efni, unnið úr steinkolum. Hún er talin geta valdið krabbameini og notkun hennar hérlandis var hætt fyrir mörgum áratugum.

Jarðolía hentar misvel til framleiðslu á biki eftir því hvaðan hún er; eiginleikar biks (e. *bitumen*) og gæði fara að nokkru leyti eftir uppruna jarðolíunnar. Hérlandis eru fyrst og fremst notuð bindiefni sem eru unnin úr jarðolíu frá Suður-Ameríku (Venesúela) eða Mið-Austurlöndum. BBik er aukaafurð í olíuðnaðinum, í stórum dráttum er bik það sem eftir verður af jarðolíunni þegar búið er að eima úr henni hráefni í rok gjarnari og verðmætari vörur, svo sem ýmsar gastegundir, bensín, steinolíu, dísilolíu og smurolíu.

Uppistaðan í biki er kolefni (82-88%), vetni (8-11%), brennisteinn (0-6%) og auk þess lítilræði af öðrum frumefnum. Samsetningin er breytileg eftir uppruna og getur líka tekið breytingum í framleiðsluferlinu og sömuleiðis á notkunartíma biksins, m.a. fyrir áhrif sólarljóss og súrefnis í andrúmsloftinu.

Bik og ýmsar afurðir þess eru ekki aðeins notaðar í vegagerð, heldur einnig til fjölmargra annarra hluta, þ.á.m. í landbúnaði, byggingarframkvæmdum, í vatnsvörnum ýmiskonar, iðnaði og íþróttamannvirkjum.

Í þessum pistli er fjallað stuttlega um bikbindiefni sem eru notuð í vegagerð hérlandis, þ.e. bik, þjálbik, þunnbik, froðubik og breytt bindiefni.

Hráefni og framleiðsla. Bikbindiefni, sem eru notuð í vegagerð, eru nánast eingöngu framleidd með eimingu á jarðolíu. Þá er jarðolían hituð upp í 300-350°C svo hún verður að blöndu af gufu og vökva, síðan er hún leidd inn í svokallaðan eimingarturn. Þar skilst jarðolían sundur í eimingarhluta eftir suðumarki, léttustu hlutarnir svo sem gastegundir og brennsluolíur setjast ofan til í turninum en eimingarleifin verður eftir á botninum. Eimingarleifin, sem er blanda af biki og þungum olíum, er svo eimuð á nýjan leik. Þá fæst m.a. hið eiginlega bik og eiginleikum þess má stýra að nokkru marki með aðstæðum við eiminguna, svo sem hitastigi og þrýstingi. Bik má síðan blanda aftur með mismunandi eimingarhlutum eða öðrum efnum til að framleiða ýmsar aðrar gerðir bindiefna; þungum olíum til að fá þjálbik (e. *fluxed bitumen*), rok gjörnum þynni til að framleiða þunnbik (e. *cutback*), eða þeyta saman við vatn til að framleiða bikþeytu (e. *emulsion*).

¹ Bindiefnið í íslensku malbiki er stundum kallað tjara, en það er ekki réttnefni, réttara er að nota orðið bik. Svipaður nafnaruglingur er þekktur erlendis. Orðið bik getur líka valdið misskilningi, því orðið malbik (blanda af biki og steinefni) er oft styttni í bik í daglegu tali.

Enska orðið „asphalt“ hefur mismunandi merkingu eftir því hvar það er notað. Í Evrópu er „asphalt“ notað um blöndu af bikbindiefni (sem þar er kallað „bitumen“) og steinefni, en í Norður-Ameríku merkir „asphalt“ bik, unnið úr jarðolíu.

1.2 Helstu gerðir bindiefna

Bik. Af biki (líka kallað stungubik) eru til allmargar gerðir sem eru flokkaðar eftir stífni þeirra, nánar tiltekið stungudýpt (e. *Paving grade*, PG). Sem stendur eru eingöngu notaðir tveir flokkar hérlandis, bik með stungudýpt 160/220 og bik með stungudýpt 70/100 sem er stífara. Til tals hefur komið að taka tvo aðra flokka í notkun, 50/70 og 100/150. Bik er notað í malbik sem er algengasta slitlagsgerðin í þéttbýli og sem hráefni í þjálbik, þunnbik og bikþeytur. Bik má blanda úr tveim mismunandi stífum gerðum til að fá millistig.

Þunnbik. Það er blanda af biki, 70/100 eða 160/220 og þynni sem getur verið af ýmsum gerðum. Hérlandis var þunnbik oftast nær gert úr biki af gerðinni 160/220 með 8-11% hvítspíra (e. *white spirit*) sem þynni og eingöngu notað í klæðingar. Notkun á þunnbiki er að mestu aflögð hérlandis, nema í kaldri veðráttu (á haustin) í sumum tilfellum.

Þjálbik. Það er bik sem oftast er þynnt með lífolíum hérlandis, nánar tiltekið ethylester sem unnið er út fiskiolíu (lýsi). Hérlandis hefur þjálbik verið notað í klæðingar í síauknum mæli or er algengasta bindiefnið í klæðingar nú. Bestur árangur hefur náðst með 6,5% af lífolíu á móti 93,5% af biki, með stungudýpt PG 160/220.

Bikþeyta. Hún er blanda af biki, oftast PG 160/220, og vatni, ásamt ýruefnum (e. *emulgators*) sem gera kleift að blanda þessu tvennu saman. Tilgangurinn er að þynna bindiefnið án þess að hita það mikið eða blanda það með mengandi efnum. Hlutföllum bindiefnis og vatns má breyta innan vissra marka og sömuleiðis má breyta eiginleikum bikþeytunnar með íaukum, svo sem þynni af einhverju tagi, gerð ýruefnanna og fjölliðum. Með þessu móti má búa til óteljandi gerðir af bikþeytum og haga eiginleikum þeirra eftir aðstæðum þar sem á að nota þær hverju sinni. Bikþeyta er þeirrar náttúru að þegar hún blandast steinefnum brotnar hún, sem sagt þá hlaupa bikdroparnir saman en vatnið skilst frá og gufar upp eða rennur í burtu eftir aðstæðum.

Öll bikþeyta sem er notuð hérlandis er blönduð innanlands og henni má í stórum dráttum skipta í fjóra flokka.

Til festunar og í kaldblandað malbik. Þessi bikþeyta inniheldur um 60% bik og er notuð til að festa burðarlög samhliða fræsun, í kaldblandað malbik sem er notað til breikka slitlög út á axlir, til viðgerða á slitlagsköntum og til að rétta af slitlög sem hafa aflagast einhverra hluta vegna.

Bindiefni í Ralumac (sem er blanda af bikþeytu og fremur fíngerðu steinefni). Um 60% þessarar bikþeytu er bik og í henni er einnig lítið eitt af þynni (um 1%). Ralumac er notað í grunnar afréttingar undir nýtt slitlag, í þunnar yfirlagnir á axlir og talsvert í viðhald á flugbrautum.

Límefni. Þessi bikþeyta er notuð til límingar milli malbikslaga og bikinnihaldið er um 50%.

Bikþeyta í klæðingar. Bikþeyta hefur verið notuð í klæðingar á undanförunum árum til yfirlagnar á eldri klæðingar, reyndar í mismiklu magni milli ára. Hlutfall biks í þessari bikþeytu er um 69%.

Froðubik er ekki sérstakur flokkur bikbindiefna heldur bik eða þjálbik sem er hitað upp í 160°C eða meira og blandað með vatni rétt áður en því er blandað saman við steinefni. Við það freyðir bindiefnið svo að rúmmál þess eykst 15- til 20-falt í stutta stund, og á meðan er auðvelt að blanda því saman við steinefnið. Hérlandis var froðubik fyrst og fremst notað til festunar á burðarlögum, en notkun þess var hætt, að minnsta kosti tímabundið fyrir allmörgum árum.

Breytt bindiefni. Það eru hefðbundin bindiefni að stofni til en saman við þau er blandað íaukum sem breyta eiginleikum þeirra, oft þannig að þau þola þunga umferð og langvinna sumarhita betur en ella. Þeim eru gerð nánari skil í sérstökum kafla.

1.3 Hitastig við geymslu og dælingu

Bindiefni eru sum afar seigfljótandi við stofuhita en mýkjast ávallt með hækkandi hitastigi. Hins vegar er óheppilegt að hita þau meira en nauðsyn krefur, bæði vegna hættu á íkveikju og sömuleiðis geta þau skemmst ef hitastigið er hátt, sér í lagi við langvarandi upphitun og í snertingu við andrúmsloft. Meginreglan er sú að bindiefni skuli geyma og meðhöndla við lægsta hitastig sem samrýmist árangursríkri notkun, svo ekki sé hætt á sjálfkveikju (e. *auto ignition*) eða skemmdum.

Þegar bik er geymt óhreyft í tönkum langtímum saman, er rétt að lækka hitastigið niður í sem svarar 20-25°C yfir mýktarmarki biksins (sem er mismunandi eftir gerð þess).

1.4 Bikþeytur eru að jafnaði geymdar við 10-85°C eftir gerð þeirra, hvatar (e. *rapid*) bikþeytur við hærra hitastig en tregar (e. *slow*). Þær mega ekki frjósa (þá er hætt á að þær hlaupi) og hærra hitastig en 85°C er óheppilegt vegna uppgufunar vatns og seigjuaukningar sem þá fylgir í kjölfarið. Hitunarfleti (spírala o.þ.h.) má mest hita í 96°C. Varúðarráðstafanir

Ef varúðarreglum um meðferð bindiefna er fylgt, stafar lítil eða engin hætt af þeim, en vanræksla getur orðið afdrifarík. Mörg bindiefni eru hituð í meira en 100°C við notkun, svo af þeim getur hlotist gufusprenging ef þau komast í snertingu við vatn. Snerting við heitt bindiefni getur valdið brunasárum, eins þótt hitastigið sé langt undir 100°C. Í gufum frá bindiefnum geta verið eiturefni sem geta valdið heilsuspjöllum við innöndun, svo sem brennisteinsvetni (H₂S). Sama er að segja um gufur frá ýmis konar íaukum; sem dæmi má nefna þynni í þunnbiki, ýruefni (emulgators) og viðloðunarefni. Í sumum tilfellum eru hættuleg efni notuð við rannsóknir á bindiefnum eða malbiki. Styrkur krabbameinsvaldandi efna er mjög lágur í bindiefnum úr biki og þau eru ekki talin krabbameinsvaldandi ef settum varúðarreglum er fylgt.

Við vinnu með heitt bindiefni þarf að nota tilheyrandi hlífðarföt, sér í lagi hitapolna hanska með líningum sem falla þétt að ermum svo að bindiefni renni ekki ofan í þá fyrir slysi, hlífðargleraugu, andlitshlífar og samfesting.

Ef heitt bik slettist á hörund á að kæla staðinn með rennandi vatni í minnst 10 mínútur, en alls ekki reyna að ná bikinu af nema það sé laust, og leita læknis sem fyrst. Þegar bikið er orðið kalt gerir það engan frekari skaða og virkar sem dauðhreinsaðar umbúðir þar til það losnar sjálfkrafa af, venjulega eftir fáeina daga.

Þynnir í þunnbiki getur verið mjög eld- og sprengifimur og þess vegna þarf að fara mjög varlega með opinn eld þar sem unnið er með heitt þunnbik. Vatn er ekki heppilegt til að slökkva eld í biki-eða þunnbiki, duft eða froða er heppilegri.

1.5 Flokkunarkerfi fyrir bikbindiefni

Upplýsingar um flokkunarkerfin sem hér er lýst eru að mestu leyti sótt í Evrópustaðla (ÍST EN). Flokkunarkerfi þessara staðla fyrir þunnbik og bikþeytur eru mikið breytt frá flokkunarkerfunum sem hafa tíðkast fram til þessa.

Bik er auðkennt með stungudýpt og er flokkað eftir henni. Stungudýpt segir til um hversu djúpt nál af tiltekinni gerð sekkur í sýni af biki undir tilteknum kringumstæðum. Því minni sem stungudýptin er þeim mun stífara (harðara) er bikið. Ein eining á stungudýptarmælikvarðanum er 1/10 úr mm. Dæmi; PG 160/220 táknar bik með stungudýpt á bilinu 16-22 mm.

Þunnbik/þjálbik er auðkennt með sex stafa kerfi. Í fyrstu tveim sætunum eru Fm eða Fv (eftir því hvort bikið er þynnt (F) með þynni úr jarðolíu (m) eða lífolíu (v). Í þriðja sætinu er tölustafur á bilinu 2-9 og hann segir til um seigju þunnbiksins. Í fjórða og fimmta sæti eru bókstafir, B í því fyrra sem táknar bik, P í því síðara ef bindiefnið er breytt (e. *modified*). Í sjötta sæti er tölustafur. Ef þynnirinn

er unninn úr jarðolíu er tölustafurinn á bilinu 2-6 og segir hversu mikið af þynninum gufar upp við 225°C. Ef mýkingarefnið er lífolía er tölustafurinn á bilinu 2-7 og vísar til mýktarmarks eimingarleifarinnar (eftir eimingu við 360°C). Dæmi; Fv 5 B 6 táknar þjálbik (F) mýktu með lífolíu (v) með miðlungs seigju (5), gert úr biki (B) og 60% hans gufa upp við eimingu við 360°C.

Bikþeyta er auðkennd með sjö stafa kerfi. Í fyrsta sætinu er bókstafur sem sýnir hleðslu bikþeytunnar, C táknar jákvætt hlaðna bikþeytu (e. *cationic*). Í öðru og þriðja sæti er tala sem sýnir hversu mikill hluti (í %) af bikþeytunni er virkt bindiefni (69% er algengt). Í fjórða sæti (og næstu tveim sætum ef þörf krefur) eru bókstafir, einn eða fleiri. Í fjórða sætinu er B, sem táknar bik. Ef bikið er breytt (með fjölliðum) kemur bókstafurinn P þar á eftir, og síðan bókstafurinn F (annar hvor eða báðir eftir atvikum) ef meira en 2% af bikþeytunni er þynnir. Í fimmta, sjötta eða sjöunda sæti (eftir því hversu mörg sæti hafa verið notuð áður) er tala á bilinu 1-7 sem lýsir brothraða bikþeytunnar. Dæmi; C69 BF 3 er jákvætt hlaðin bikþeyta (C) sem er að 69 hundraðshlutum úr biki, blönduð þynni sem vegur meira en 2% af þyngd bikþeytunnar (F) og hefur brothraða samkvæmt 3. flokki.

1.6 Notagildi og eiginleikar

Bik. Sem stendur eru aðeins tvær gerðir biks notaðar héraendis, PG 70/100 og PG 160/220, í daglegu tali kallaðar hart og mjúkt bik. Fyrirnefnda gerðin er stífari (harðari) en sú síðarnefnda. Malbik með PG 70/100 sem bindiefni er fyrst og fremst notað þar sem umferð er mikil og þung (stofnbrautir á höfuðborgarsvæðinu) á hafnarbakka og á stæði fyrir þungavöru og gáma vegna þess að það skríður síður í miklum hita en malbik með mýkra bindiefni. PG 160/220 er notað þar sem umferð er minni og léttari og sem uppistaða í þunnbik, þjálbik og bikþeytur. Að öðru leyti hefur malbik með mjúku bindiefni ýmsa kosti fram yfir malbik með hörðu bindiefni, hið fyrirnefnda er hægt að leggja í kaldara veðri, sömuleiðis gerir það minni kröfur til undirbyggingar vegna þess að það lagar sig fremur að missigi án þess að rifna heldur en malbik með hörðu bindiefni, sem er stökkara, einkum í kuldu. Bik er að langmestu leyti notað í malbik, sem er blandað í malbikunarstöð, flutt heitt (kringum 160°C) á bílum á útlagnarstað þar sem það er lagt út í hæfilegri þykkt í þar til gerðum vélum og síðan valtað. Malbik kólnar nægilega hratt til að hægt sé að aka á því fáeinum klukkustundum eftir að það er lagt.

Þjálbik/þunnbik. Þjálbik/þunnbik má blanda á fjölmarga vegu en héraendis eru mestmegnis notaðar blöndur af PG 160/220 biki og lífolíu (ethylester úr lýsi) í klæðingar sem kallaðar eru þjálbik. Áður fyrr var bik þynnt með hvítspíra nær eingöngu notað í klæðingar, svokallað þunnbik, en nú er það einungis notað í undantekningartilfellum í köldu veðri.

Klæðingar úr þjálbiki eru gerðar með því að sprauta u.þ.b. 135-140°C heitu þjálbiki á veginn í þunnu lagi og strá steinefni ofan í það strax á eftir. Þjálbikið kólnar mjög hratt og þess vegna er hægt að aka á klæðingum nánast strax og þær hafa verið lagðar og valtaðar.

Klæðingum úr þjálbiki og þunnbiki hættir við að blæða í heitu veðri og einnig ef rignir í þær nýlagðar og umferð er mikil. Af þessari ástæðu eru þær nær eingöngu notaðar utan þéttbýlis, þótt dæmi séu um viðunandi reynslu af þeim á húsagötum.

Bikþeyta. Bikþeyta er blanda af vatni og örsmáum bikdropum sem eru alsettir rafhleðslum. Rafhleðslurnar meina bikdropunum að sameinast, því þær hrinda hver annarri frá sér. Þegar bikþeyta blandast steinefni afhlaðast bikdroparnir að meira eða minna leyti fyrir áhrif rafhleðslna á yfirborði steinefnisins. Við það dragast bikdroparnir hver að öðrum en vatnið í bikþeytunni skilst frá, bikþeytan brotnar og þekur steinefnið með bindiefnishimnu. Hversu hratt þetta gerist má stýra með samsetningu bikþeytunnar, en brotin bikþeyta nær mjög fljótt endanlegri stífni.

Vegna vatnsins þolir bikþeyta hvorki frost né herra hitastig en 90°C fyrr en hún hefur brotnað. Þar eð bikþeyta er vatnsleysanleg getur hún skolast af steinefninu í mikilli úrkomu ef hún nær ekki að brotna áður. Þunn bikþeyta sem brotnar treglega getur líka runnið af steinefninu að einhverju leyti áður en hún brotnar og kemur þá ekki að fullu gagni.

Hérlandis eru notaðar fjórar gerðir af bikþeytu, allar jákvætt hlaðnar (e. *cationic*). Ein er notuð í kaldblandað malbik, önnur til límingar þegar nýtt slitlag er lagt ofan á gamalt, sú þriðja í Ralumac sem er þunn klæðing úr smágerðu steinefni og sú fjórða í klæðingar úr hefðbundnu steinefni. Ralumac hefur lítið slitþol gagnvart negldum hjólbörðum, vegna þess hve smágert steinefnið er. Fyrr á árum höfðu klæðingar með bikþeytum heppnast misjafnlega hérlandis, hugsanlega vegna þess að íslensk steinefni voru oft rykug, en það getur komið í veg fyrir að bikþeytan nái að væta yfirborð steinefnisins undir rykinu.

1.7 Prófanir á bindiefnum

Bik, sem er uppistaðan í bikbindiefnum, er mjög flókið efni sem auk þess hefur mismunandi eiginleika eftir því hvaðan jarðolían sem bikið er unnið úr er upprunnin. Þar við bætist að með blöndun með öðrum efnum, bæði skyldum efnum úr jarðolíu og öðrum óskyldum (lífolíu, íaukum) má framleiða nánast óteljandi gerðir bindiefna með afar fjölbreytilegum eiginleikum. Af þessari ástæðu er nauðsynlegt að flokka bikbindiefni eftir eiginleikum þeirra svo að notendur geti valið úr þeim í samræmi við fyrirhugaða notkun. Í þessu skyni eru bindiefni prófuð á ýmsa vegu með stöðluðum aðferðum og flokkuð í samræmi við niðurstöðurnar.

Hér er bik keypt erlendis frá í skipsförmum og þeim fylgir vottorð um gerð og eiginleika farmsins. Þjálbik, þunnbik og bikþeytur eru á hinn bóginn nær eingöngu blandaðar innanlands. Prófanir á bindiefnum eru nauðsynlegar, svo að vissa sé fyrir því að framleiðslan henti til fyrirhugaðrar notkunar.

Hér á eftir er tæpt á nokkrum prófunaraðferðum sem eru mikilvægar fyrir bindiefni. Enn fremur er drepíð á upplýsingar sem þær gefa um eiginleika bindiefnanna. Upptalningin er langt í frá tæmandi.

Prófanir á biki. Þessi kafli um prófanir á biki er að hluta til byggður á ÍST EN 12591: Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Eiginleikar jarðbiks til nota í slitlög (e. *Bitumen and bituminous binders - Specifications for paving grade bitumens*).

Stungudýpt mælir hversu djúpt nál af tiltekinni gerð sekkur í sýni af bindiefni undir tilteknum kringumstæðum og er mælikvarði á stífni þess. Mælieiningin er 1/10 mm. og minnkar með vaxandi stífni bindiefnisins, en hún er meðal annars tengd líkum á skriði í malbiki. Prófunarstaðall: ÍST EN 1426 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of needle penetration*).

Mýktarmark mælir svörun bindiefnis við hækkandi hitastigi. Með hækkandi hitastigi breytist bik úr þykkfljótandi efni í þunnfljótandi en hefur ekki skilgreint bræðslumark og mýktarmark er eins konar staðgengill fyrir bræðslumarkið. Prófið felst í að koma stálkúlu fyrir á sneið af bindiefni sem er fest á jöðrunum í upphengdan ramma og hvorutveggja er komið fyrir í vökva sem er hitaður upp. Með hækkandi hitastigi myndar kúlan dæld í sneiðina og teygir smám saman á henni svo að hún verður að poka. Þegar hann hefur náð tiltekinni dýpt er hitastig vökvans mælt (í°C) og er nefnt mýktarmark. Það kemur m.a. að notum til að meta hættu á skriði í malbiki í hitum. Prófunarstaðall: ÍST EN 1427 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of softening point - Ring and Ball method*).

Seigja. Hún er mælikvarði á rennslistregðu bindiefnisins og er mæld við tvö hitastig, 60°C, prófunarstaðall ÍST EN 12596 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of dynamic viscosity by vacuum capillary*) og við 135°C, prófunarstaðall ÍST EN 12595 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of kinematic viscosity*). Þessar tvær mælingar eru notaðar til að finna hvernig seigja bindiefnisins breytist með hitastigi, m.a. til að ákveða hversu mikið þurfi að hita bindiefnið til

að dæla því, blanda saman við steinefni eða hversu heitt malbik þarf að vera til að hægt sé að þjappa (valta) það.

Brotmark. Þessari prófun er ætlað að kanna hegðun bindiefnisins við mjög lágt hitastig. Þunnu lagi af bindiefni er roðið á stálþynnu og hún beygð lítillega og rétt til skiptis og jafnframt er hitastigið umhverfis hana lækkað hægt og bítandi. Hitastigið, þegar bindiefnislagið er orðið svo stökkt að það rifnar, nefnist brotmark og er mælikvarði á lægsta notkunarhitastig bindiefnisins, til dæmis í malbiki sem á að þola hörð og langvarandi frost. Prófunarstaðall: ÍST EN 12593 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of the Fraass breaking point*).

Leysanleiki. Þetta próf sýnir hversu mikið af bindiefninu leysist ekki upp í toluen²; er með öðrum orðum fast efni sem ekki nýtist sem bindiefni. Prófunarstaðall: ÍST EN 12592 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of solubility*).

Blossamark. Prófið mælir hitastig bindiefnisins þegar gufa frá því er nægileg til að opinn eldur kveikir í henni og er mælikvarði á það hversu mikið má hita bindiefnið án þess að hætta sé á íkveikju. Þetta hitastig hækkar eftir því sem stungudýptin lækkar. Prófunarstaðall: ÍST EN ISO 2592 (e. *Petroleum and related products - Determination of flash and fire points - Cleveland open cup method*).

Þyngdartap við upphitun. Þyngdartapið gefur til kynna hvort bikið sé blandað rokgjörnum efnum. Prófunin felst í að vikta sýni með tiltekinni þyngd fyrir og eftir upphitun við tilteknar aðstæður. Að upphitun lokinni má nota sýnið til frekari rannsókna. Niðurstöður prófana á sýni eftir upphitun (svo sem stungudýpt, mýktarmark og brotmark) eru að sumu leyti raunhæfari mælikvarði á eiginleika bindiefnisins eftir blöndun saman við steinefni í malbikunarstöð. Prófunarstaðall: ÍST EN 12607-1 (e. *Bitumen and bituminous binders - Determination of the resistance to hardening under influence of heat and air - Part 1: RTFOT method*).

Prófanir á þjálbiki og þunnbiki. Þessi kafli er að hluta til byggður á ÍST EN 15322: Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Flokkunarkerfi til nota við tilgreiningu á þunnbiki og þjálbiki (e. *Bitumen and bituminous binders - Framework for specifying cut-back and fluxed bituminous binders*) sem er um kröfur til þunnbiks.

Seigja. Hún er mælikvarði á rennslistregðu þjálbiks eða þunnbiks og er mæld við mismunandi hitastig, 25-60°C, eftir því hvaða seigjuflokkur á í hlut. Mælingin felst í því að láta tiltekið magn renna í gegnum op með tiltekinni lögun og mæla tímann (í sekúndum) sem það tekur. Seigjan skiptir m.a. máli fyrir val á þjálbiki eða þunnbiki í klæðingar, ef hún er lítil er viss hætta á að bikið renni af steinunum sem það á að binda saman og komi þannig að takmörkuðu gagni. Seigjan má heldur ekki vera of mikil því þá er hætt við að steinefnið sökkvi ekki nægilega í bindiefnislagið áður en það kólnar um of. **Leysanleiki.** Þetta próf sýnir hversu mikið af þunnbikinu leysist ekki upp í toluen; er með öðrum orðum fast efni sem ekki nýtist sem bindiefni. **Blossamark.** Prófið mælir hitastig bindiefnisins þegar gufa frá því er orðin nægileg til að opinn eldur kveikir í henni og er mælikvarði á það hversu mikið má hita bindiefnið án þess að hætta sé á íkveikju. **Stigeiming.** Hún gefur upplýsingar um það hversu rokgjarn þynnirinn í bindiefninu er, þ.e. hversu hratt þunnbikið storknar. Sýni af bindiefninu er hitað í þrepum (í 190°C, 225°C, 260°C, 315°C og að lokum í 360°C) og mælt hversu mikið af þynni hefur gufað upp við hvert þrep. Eimingarleifin (það sem eftir verður þegar sýnið hefur verið hitað í 360°C) er í sumum tilfellum prófuð frekar til að afla upplýsinga um eiginleika bindiefnisins eftir að þynnirinn hefur gufað upp. Í sumum tilfellum er eimingarleifin undirbúin frekar fyrir prófun, t.d. með festun (e. *stabilization*) eða öldrun (e. *ageing*) eða hvorutveggja. Meðal prófana á eimingarleif má nefna

² Toluén (C₇H₈) er eitt af uppistöðuefnunum í bensíni, litlaus vökvi, sem meðal annars er notaður í stórum stíl í efnaiðnaði og til að leysa upp eða þynna önnur efni.

stungudýpt, mýktarmark og seigju. Ef þunnbikið tilheyrir breyttum bindiefnum koma aðrar prófunaraðferðir til álita.

Prófanir á bikpeytum. Þessi kafli er að mestu byggður á ÍST EN 13808: Jarðbik og jarðbiksbindiefni - Grunnur til nota við skilgreiningar á jákvætt hlöðnum jarðbiksblöndum (e. *Bitumen and bituminous binders - Framework for specifying cationic bitumen emulsions*) og stöðlum sem þar er vísað til.

Seigja. Hún er mælikvarði á rennslistregðu bikpeytunnar (óhlaupinnar) og er ýmist mæld við 40°C eða 50°C, eftir því hvaða flokkur á í hlut. Mælingin felst í því að láta tiltekið magn af bikpeytu renna í gegnum op með tiltekinni lögun (sem er breytileg eftir flokkum) og mæla tímann sem það tekur. Seigjan skiptir m.a. máli fyrir val á bikpeytu í klæðingar; ef hún er lítil er viss hættu á að bikpeytan renni af steinunum sem hún á að binda saman, áður en hún hleypur og komi þannig að takmörkuðu gagni. Sömuleiðis skiptir seigjan máli þegar bikpeytu er dreift með úðadreifara (e. *spray bar*), t. d. þegar hún er notuð til límingar. *Eimingarleif.* Prófið er gert til að mæla hlutfall virks bindiefnis í bikpeytunni (sem oftast er á bilinu 40-70%).

Brotstuðull. Þetta gildi (e. *breaking value*) er mælt með því að blanda bikpeytuna með mélu. Út í tiltekið magn af bikpeytu er blandað vissri tegund af mélu með jöfnum hraða þar til bikpeytan hefur brotnað að fullu. Mélumagnið sem hlutfall af bikpeytumagninu er mælikvarði á það hversu hratt bikpeytan brotnar eftir að henni hefur verið dreift eða blandað saman við steinefni. Þessi eiginleiki skiptir miklu máli fyrir notkun bikpeytunnar; ef bikpeyta brotnar treglega tekur að sama skapi langan tíma áður en hægt er að hleypa umferð á slitlag úr bikpeytu, t.d. klæðingu. Ef bikpeytan brotnar of hratt getur farið svo að ekki náist að blanda bikpeytu og steinefni nægilega vel saman áður en hún hleypur og þá getur farið svo að hvorutveggja sé ónýtt.

Sigtileif. Prófið gefur vísbendingar um ástand bikpeytu eftir geymslu í tiltekinn tíma. Þá er kannað hvort bikdroparnir í henni séu óeðlilega stórir, sem gefur til kynna að hún sé byrjuð að brotna umfram það sem eðlilegt getur talist. Prófið gefur einnig vísbendingar um gæði bikpeytunnar án tillits til geymslupols; ef hún stenst ekki prófið getur það bent til mistaka í framleiðsluferlinu.

Geymslupól bikpeytu er prófað með því að láta sýni standa óhreyft í mæliglasi í tiltekinn tíma, oft einn eða fimm sólarhringa. Sýnið er síðan síað á tveim sigtum, annað með 0,500 mm og hitt með 0,160 mm möskvastærð. Magn bikpeytu sem verður eftir á sigtunum, sem hlutfall af magninu sem hellt er á sigtin, er mælikvarði á gæði bikpeytunnar.

Prófanir á froðubiki. Froðubik sem slíkt er ekki hægt að prófa vegna þess að það er ekki í freyðandi ástandi nema mjög stutta stund. Bikið, sem er uppistaða í froðubikinu, er hins vegar prófað á hefðbundinn hátt.

Prófanir á breyttum bindiefnum. Við prófanir á breyttum bindiefnum eru að hluta til notaðar hefðbundnar prófunaraðferðir, en einnig prófunaraðferðir sem hafa verið þróaðar sérstaklega fyrir þau. Þar sem breytt bindiefni eru tiltölulega lítið notuð hérlandis, eru þeim ekki gerð skil hér.

1.8 Breytt bindiefni

Aflfræðilegum eiginleikum bikbindiefna má breyta á ýmsa vegu með því að blanda þau með tilteknum íaukum (e. *additives*) sem eru lífræn efnasambönd. Þau geta verið margs konar en algengust eru gúmmíkenndir íaukar (e. *elastomers*), hitameyrir íaukar (e. *thermoplastics*) og íaukar sem eru bæði hitameyrir og gúmmíkenndir (e. *thermoplastic elastomers*). Þessir íaukar samlagast bindiefninu fullkomlega og mynda eins konar þrívítt net sem takmarkar hreyfanleika sameindanna í bindefninu. Þeim er blandað í bindiefnið í fremur litlu magni (3-10%) og tilgangurinn er að auka þol slitlagsins gagnvart veðurfari, einkum langvarandi sumarhitum og miklum kuldu, og þungri umferð.

Með þessu móti verður bindiefnið þjálla við lágt hitastig heldur en óbreytt bindiefni en um leið stífara við hátt hitastig. Preytupól slitlagsins eykst og því er síður hætt við að springa í frostum. Sum breytt bindiefni hafa betri viðloðun við steinefni en óbreytt bindiefni.

Breytt bindiefni eru dýrari en hefðbundin bindiefni. Þau eru talsvert notuð erlendis, einkum á stöðum þar sem aðstæður, einkum umferð eða veðurfar, gera miklar kröfur til slitlagsins og notkun þeirra fer vaxandi.

Algengustu flokkar íauka, sem eru notaðir til að breyta bindiefnum og áhrif þeirra eru:

Gúmmíkenndir íaukar. Þessi efni eru gúmmí að stofni til, ýmist í formi dufts eða þeytu (e. *latex*) sem er blandað í bindiefnið. Þau auka sveigjanleika malbiks og vinna gegn skriði, en bráðna ekki og geta skemmst við mjög hátt hitastig. Blöndun þeirra í bindiefni getur verið erfiðleikum bundin.

Hitameyrir íaukar. Í þessum flokki eru polyetylen (PE), polypropylen (PP) og sumar gerðir etylen-vinyl-acetats (EVA). Þau bráðna án þess að skemmast og storkna aftur þegar hitastigið lækkar. Hitameyrir íaukar draga fyrst og fremst úr líkum á skriði en hafa lítil áhrif á sveigjanleika malbiksins og preytupól.

Hitameyrir og gúmmíkenndir íaukar. Þeir sameina eiginleika fyrrnefndu flokkanna eins og nafnið bendir til, bráðna við hátt hitastig en halda fjaðrandi eiginleikum sínum við lágt hitastig. Sum þessara efna eru talin auka slitpól malbiks gagnvart negldum hjólbörðum. Í þessum flokki eru sumar gerðir etylen-vinyl-acetats (EVA), styren-butadien-styren (SBS) og styren-butadien-rubber (SBR).

Að lokum er rétt að taka fram að eiginleikum bindiefna má breyta á ýmsa vegu þótt ekki sé með eiginlegum íaukum eða efnasamböndum sem beinlínis er ætlað að breyta aflfræðilegum eiginleikum þeirra. Eitt dæmi eru viðloðunarefni ýmis konar sem oft er blandað í bindiefni, en það telst ekki til breyttra bindiefna, þótt viðloðunareiginleikar þess breytist. Annað dæmi er tvær gerðir biks (með mismunandi stífni) sem er blandað saman til að fá bindiefni með stífni sem liggur á milli hinna tveggja. Þjálbbik og þunnbik má gera á marga vegu með vali á bikgerð og eins magni og gerð þjálniefnis eða þynnis. Bikþeytur má gera á ótal vegu, og sníða þær eftir aðstæðum þar sem á að nota þær, svo sem með vali á biki og ýruefnum, hlutfalli vatns og biks og framleiðsluaðferð.

HEIMILDIR

- Hilliges, F. (ritstjóri). 1995. *FAS Asfaltbok*. Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige. Stockholm.
- Hunter, R. N. (ritstjóri). 1994. *Bituminous mixtures in road construction*. Thomas Telford, London.
- ÍST EN 13808. *Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Grunnur til nota við skilgreiningar á jákvætt hlöðnum jarðbiksblöndum*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- ÍST EN 12591. *Jarðbik og jarðbiksbindiefni – Eiginleikar jarðbiks til nota í slitlög*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- Shell Bitumen. 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen U.K. Chertsey.
- Statens vegvesen. 2005. *ASFALT 2005 – materialer og utførelse*. Håndbok 246. Oslo.
- The Asphalt Institute. 1979. *A Basic Asphalt Emulsion Manual*. Manual Series No 19 (MS-19). Maryland.
- Wallace, Hugh A., Martin, J. Rogers. 1967. *Asphalt Pavement Engineering*. McGraw-Hill Book Company, New York.

2 VAL Á BINDIEFNI, HART EÐA MJÚKT?

Hérlandis hefur tíðkast að nota tvær bindiefnisgerðir, hart (stungudýpt PG 70/100) og mjúkt (stungudýpt PG 160/220). Fyrri gerðin er einkum notuð í malbik þar sem umferð er mikil og þung og hefur notkun þeirrar gerðar aukist með árunum með aukinni þungaumferð, t.d. á stofnvegum. Annars staðar er síðarnefnda bindiefnisgerðin notuð og einnig sem uppistaða í þunnbik fyrir klæðingar. Til tals hefur komið að tilgreina tvær aðrar bindiefnisgerðir í verklýsingum Vegagerðarinnar, mjög hart bindiefni (50/70) og millistig (100/150). Þessi pistill fjallar um kosti og galla sem slíkar breytingar myndu hafa í för með sér.

- Eftir því sem bindiefni er harðara (stungudýpt bindiefnisins er minni) minnka líkur á skriði í malbiki í miklum hitum. Jafnframt aukast líkur á sprungum í malbikinu í miklu frosti. Val á bindiefni þarf þess vegna að taka mið af líklegu hámarks- og lágmarkshitastigi í malbikinu.

Líkan Superpave [Asphalt Institute 2003, bls. 53] til að reikna út hitastig í slitlagi með hliðsjón af hnattstöðu og veðurfari gefur til kynna að í Reykjavík séu innan við 2% líkur á að hitastig í slitlagi fari niður fyrir -14°C eða upp fyrir 30°C [Ásbjörn Jóhannesson 2005, bls. 26]. Samsvarandi tölur fyrir Egilsstaði eru -21°C og 34°C . Þessar líkur eru miðaðar við eins árs tímabil. Rétt er að taka fram að Norðmenn hafa efasemdir um að reikniaðferð Superpave eigi við þar í landi og hafa sett fram reiknilíkan sem þeir telja réttara; taka þó fram að það sé ekki byggt á traustum grunni. Ef reiknilíkan Norðmanna er notað, hækka tölur fyrir hámarkshita í malbiki um 10°C eða þar um bil.

Tvö íslensk sýni, annað af PG 70/100 og hitt af PG 160/220 biki, voru prófuð með aðferðum Superpave til að meta hvaða hitastig í slitlagi þau þola [Tayebali 2004]. Niðurstaðan varð sú að harðara bindiefnið (PG 70/100) hentar við aðstæður þar sem hitastig í slitlagi fer ekki niður fyrir -26°C og ekki upp fyrir 66°C . Samsvarandi tölur fyrir mýkra bindiefnið (160/220) eru -30°C og 58°C .

Af þessum athugunum sýnist mega álykta að báðar bindiefnisgerðirnar uppfylli kröfur Superpave með tilliti til veðurfars og séu meira að segja langt fyrir innan mörkin. Harðara bindiefnið þolir minnst 12°C meira frost en búast má við í slitlagi í Reykjavík. Og hvað hámarkshitastig í Reykjavík snertir er talsvert borð fyrir báru, jafnvel þótt norska reiknilíkanið sé lagt til grundvallar (minnst 18°C) og mýkra bindiefnið notað. Þó verður að hafa í huga að einungis tvö sýni hafa verið prófuð með aðferðum Superpave og seigjueiginleikar bindiefnisins geta breyst þótt stungudýptin sé óbreytt [Asphalt Institute, bls. 14].

- Enda þótt ofanskráðar bindiefnisgerðir (PG 70/100 og PG 180/220) henti vel fyrir íslenskt veðurfar er ekki þar með sagt að skrið sé útilokað. Það verður að teljast ólíklegt að skrið byrji og hætti við ákveðin hitastigsmörk; líklegara er að skrið megi teljast óverulegt upp að hitastigsmarkinu sem reiknilíkan Superpave (eða Norðmanna) tiltekur. Þá vaknar spurningin; hversu mikið minnkar skrið við að nota PG 50/70 í stað PG 70/100 eða PG 100/150 í stað PG 180/220 biks?

Ef stífni (e. stiffness) tveggja eða fleiri bindiefnisgerða er þekkt er hægt að spá um hlutfallslegt skrið í malbiki sem er gert úr þessum bindiefnum, að því tilskildu að

malbiksblöndurnar séu eins að öðru leyti [Shell, bls. 105]. Ef stífnin er ekki þekkt má í staðinn nota seigju (e. viscosity) bindiefnisins eða PI (e. penetration index). Ef þessari samanburðaraðferð er beitt á bikgerðirnar PG 50/70, 70/100, 100/150 og 160/220 og gert ráð fyrir að hitastig í slitlagi sé 30°C kemur í ljós að skrið minnkar um nálega:

- 15% ef 100/150 er notað í stað 160/220
- 30% ef 70/100 er notað í stað 160/220
- 35% ef 50/70 er notað í stað 70/100

Sams konar útreikningar sýna að hlutfallslegur ávinningur af harðara bindiefni minnkar eftir því sem hitastigið eykst. Svo dæmi sé tekið minnkar skrið aðeins um 20% ef hitastig í slitlagi er 60°C og 70/100 er notað í stað 160/220.

- Stungudýpt bindiefnis ein sér er ekki sérlega heppilegur stiki til að spá um skrið [Shell, bls. 107], fylgni milli stungudýptar og festu í Marshallprófi er lítil, sömuleiðis milli stungudýptar og hjólfaraprófs (e. wheel tracking test), enda nægir stungudýpt ekki til að lýsa eiginleikum bindiefnis nema að takmörkuðu leyti. Tvö bindiefni geta sýnt ólíka hegðun við sama hitastig, þótt þau tilheyri sama stungudýptarflokki [Asphalt Institute, bls. 13]. Mýkingarmark (e. softening point) sýnist á hinn bóginn vera nothæfur stiki til að spá um skrið [Shell, bls. 107], en fylgni festu í Marshallprófi og í hjólfaraprófi við mýkingarmark er sterk. Þó verður að taka fram sambandið, sem vísað er til í ofangreindri heimild, takmarkast við mýkingarmark á bilinu 45-65°C (ívið hærra en mýkingarmark í bindiefni sem tíðkast að nota hérlandis). Í sænskri heimild [Hilliges, bls. 149] er ráðlagt að velja bindiefnið þannig að mýkingarmark þess sé álíka hátt og hæsta hitastig sem vænta má í slitlaginu. Mýkingarmark PG 70/100 biks er í kringum 45°C og mýkingarmark PG 160/220 biks í kringum 35°C. Báðar bindiefnisgerðirnar ættu því að vera nægilega stífar fyrir íslenskt veðurfar, ef miðað er við aðferðir Superpave til að reikna hámarkshitastig í slitlagi. Sé hins vegar miðað við reiknilíkan Norðmanna er PG 160/220 bik tæplega nógu stíft.
- Í undantekningartilfellum getur verið þörf á að nota mjög hart bindiefni, t.d. í malbik á hafnarsvæði, á geymsluplön fyrir gáma og aðra þungavöru, á stæði fyrir þunga bíla og hugsanlega í stórum vöruskemum.
- Harðara bindiefni gerir kröfur til hærra hitastigs við blöndun, útlögn og völtun. Sem dæmi má nefna að hitastig malbiks við blöndun og útlögn þarf að hækka um 10°C ef skipt er úr PG160/220 biki í PG 70/100 bik eða úr PG 70/100 biki í PG 50/70 bik. Malbik kólnar hratt í úrkomu og vindi, því hraðar sem hitamismunur malbiks og umhverfis er meiri og malbik sem hefur kólnað um of áður en það er fullþjappað er líklegra en ella til að skemmast. Þess vegna er áhættusamara að leggja malbik úr hörðu bindiefni en mjúku, sérstaklega snemma að vori eða seint að hausti, vegna hættu á ótímabærum skemmdum, ef tilskilinni þjöppun er ekki náð. Við þessar aðstæður þarf að gæta vel að því að hitastig malbiksins sé nægilega hátt.
- Einnig er rétt að minna á að eiginleikar malbiks eru ekkert síður undir samsetningu þess komnir en stungudýpt bindiefnisins.
- Í klæðingar hefur tíðkast að nota PG 160/220 bik blandað lífolíu, þynni eða vatni (bikþeytu). Harðara bindiefni myndi sennilega draga úr blæðingum. Á hinn bóginn er það líklegt til að auka hættu á sprungum í klæðingunum ef undirbyggingin er á hreyfingu, t.d. vegna frostlyftinga eða sigs. Burðarþol klæðingarinnar myndi heldur ekki aukast sem neinu nemur vegna þess hve klæðingarslitlög eru þunn.

Sé bindiefni valið á grundvelli mýkingarmarks, er PG 160/220 bik nægilega stíft fyrir íslenskar aðstæður svo fremi reiknireglur Superpave fyrir hámarkshitastig í slitlagi séu réttar og þungaumferð að sumri til er ekki mikil. Ef bindiefni er valið á forsendum mýkingarmarks og norska reiknilíkaninu er beitt (sem áætla hámarkshitastig í slitlagi um 10°C hærra en reiknilíkan Superpave) er PG 160/220 bik þó í mýksta lagi. Hins vegar verður ekki séð af ofanskráðu að þörf sé á harðara bindiefni í malbik en PG 70/100 bik nema í undantekningartilfellum, svo sem eins og á hafnarsvæðum, í vörugeymslum eða á stæðum fyrir gáma eða þunga bíla. Hvað klæðingar snertir er hugsanlega hægt að draga eitthvað úr blæðingum með því að nota harðara bindiefni sem uppistöðu, en hart bindiefni gerir meiri kröfur til undirbyggingar en mjúkt.

HEIMILDIR

- Asphalt Institute. 2003. *Superpave. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing*. Superpave Series No. 1 (SP-1). Third Edition, Revised 2003. Asphalt Institute, Lexington.
- Ásbjörn Jóhannesson. 2005. *Superpave*. Unnið fyrir Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 05-04. Reykjavík.
- Hilliges, F. (redaktör). 1995. *FAS Asfaltbok*. Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige. Stockholm.
- Shell. 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. Shell Bitumen U.K. Chertsey.
- Tayebali, Akhtarhusein A., Huang, Y. 2004. *Performance Grading of Bitumen B-180 and B-85 Used in Iceland*. Final Report. Department of Civil Engineering, North Carolina State University. Raleigh.

3 ÁHRIF BINDIEFNISINNIHALDS Á EIGINLEIKA MALBIKS

Bein áhrif bindiefnisinnihalds á malbiksblönduna eru:

- Þykkari bindiefnishúð á steinefnakornum með auknu bindiefnisinnihaldi.
- Hluti fylltrar holrýmdar eykst með auknu bindiefnisinnihaldi.

Óbeint hefur bindiefnisinnihaldið margvísleg áhrif á eiginleika malbiksins. Nokkur þeirra, tekin upp úr skýrslu frá norræna vegtækisambandinu [NVF 33, 1985], eru rakin hér á eftir (blaðsíðutöl í svigum).

- Hátt bindiefnisinnihald minnkar áhrifin af jákvæðum eiginleikum steinefnisins á mótstöðu gegn skriði (15).
- Hæfilegt bindiefnismagn er fall af eiginleikum steinefnis (sáldurferli, lögun, grupu) og þökkun. Eitt og sér er bindiefnisinnihald ekki góður mælikvarði á líkur á skriði (17).
- Þegar hefðbundnum hönnunaraðferðum er beitt, er lágmarksholrýmd eða hámarksrúmpýngd að jafnaði heppilegasti mælikvarðinn á hæfilegt bindiefnisinnihald (18).
- Nágrannalöndin nota ýmist leiðbeinandi gildi fyrir bindiefnisinnihald eða takmörkunarramma (23).
- Hérlendis tíðkaðist lengi að nota hátt bindiefnisinnihald, enda umferð mun minni og þung ökutæki léttari en nú er. Því hafa til dæmis mörk holrýmdar í hönnuðu stífmalbiki verið hækkuð frá því sem áður var.
- Aukið bindiefnisinnihald eykur að jafnaði endingu (34). Þreytuþol eykst með háu bindiefnisinnihaldi (35). Þó getur aukið bindiefnisinnihald aukið hættu á skriði verulega að sumri til, sérstaklega þar umferð er mikil og þung.
- Of þunnar bindiefnishimnur geta valdið viðloðunarskemmdum (53). Líklega á þetta enn frekar við þar sem salt er notað til hálkuvana, það er hugsanlegt að saltblandað vatn smjúgi betur en hreint vatn vegna lægri seigju. Um leið er rétt að hafa í huga að bindiefnishimnan er að jafnaði mjög þunn, 9-25 μm (þessar þykktir eru teknar upp úr annarri heimild, NVF-33, 1984, bls. 18).

Meiri hætta er á bindiefnislíkju á nýlögðu malbiki ef bindiefnisinnihaldið er hátt, en hún getur haft áhrif á hemlunarvegalegd og þar með aukið slyshættu. Það verður að teljast líklegt að þarna sé samband á milli, enda finnast dæmi í heimildum um lækkandi viðnámsstuðul með hækkanði bindiefnisinnihaldi [Slyngstad 1972 bls. 7]. Í Finnlandi [NVF-33 2004. bls. 15] eru dæmi um slys á nýlögðu malbiki í rigningu, en í sömu heimild er tekið fram að slys hafi ekki verið rakin til lágs hemlunarviðnáms á gömlum slitlögum. Þetta gæti verið vísbending um að bílstjórar ofmeti hemlunarviðnám á nýlögðu slitlagi (með bindiefnislíkju á yfirborðinu).

Croney [1991, bls. 526] gerir hemlunarviðnámi talsverð skil. Slys vegna of lítills hemlunarviðnáms verða fyrst og fremst á blautum slitlögum (ef frá eru taldir hálir vegir vegna íss). Ef hraðinn er 50 km/klst eða meiri skiptir grófa áferðin, þ.e. hinar sýnilegu ójöfnur (e. *macrotexture*), mestu fyrir hemlunarviðnámið, annars gerð steinefnisins (e. *microtexture*). Hann tekur eitt dæmi af rannsókn, gerðri á fjórða áratug síðustu aldar, sem sýndi að hemlunarviðnám á tiltekinni slitlagsgerð jókst verulega þegar bindiefnisfilman var farin af (viðnámsstuðullinn, SFC, jókst úr 0,3 í 0,7). Þessi breyting

tók hins vegar langan tíma, fimm ár, enda var umferðin lítil. Í þessu tilfelli er ekki ólíklegt að steinefnið sjálft hafi pólerast með tímanun og orðið hált af þeim völdum.

Íslenskar mælingar á viðnámsstuðulum á nokkrum götum í Reykjavík með mikilli umferð [Ásbjörn Ólafsson, 2001] gefa til kynna að hemlunarviðnám á nýlögðu slitlagi aukist lítillega (um 0,1) á tímabilinu október-desember. Á stöku stað og stuttum köflum er aukningin þó miklu meiri (um 0,3; í einu tilfelli um 0,5) sem getur bent til að þar hafi verið feitir blettir vegna of mikils bindiefnis. Í þessum mælingum er viðnámsstuðullinn þó hvergi minni en 0,4.

HEIMILDIR

- Ásbjörn Ólafsson. Excel-skrár yfir niðurstöður mælinga á viðnámsstuðli í september, október og desember 2001. Óbirt heimild.
- Croney, D. and P. Croney. 1991. *The Design and Performance of Road Pavements*. Second edition. McGraw-Hill Book Company. London.
- Jacobson, T. 2000. *Utredning av beläggningsskader på Island (Reykjavik)*. VTI notat 60-2000. Väg- och transportforskningsinstitutet. Linköping.
- NVF-33. 1984. *Massasammansättnings och packningsgradens inverkan på hållbarheten hos asfaltbetong*. Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar.
- NVF-33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag*. Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar. Rapport nr 5: 1985.
- NVF-33. 2004. *Asfaltbelegningers overflateegenskaper - Friksjon*. Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar. Bráðabirgðaútgáfa.
- Slyngstad, T. 1972. *Friksjon*. Internt notat for særkurset. Institutt for veg- og jernbanebygging, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole.

4 TILLAGA AÐ MÖRKUM FYRIR BINDIEFNISINNIHALD

Mörk í verklýsingum fyrir bindiefnisinnihald í malbiki þjóna líklega takmörkuðum tilgangi, ef verklýsingarnar gera á annað borð ráð fyrir að malbikið sé hannað eftir Marshallaðferðinni eða öðrum svipuðum aðferðum. Öðru máli gegnir ef hönnunarþættinum er sleppt, eins og stundum gerist og bindiefnisinnihald er ákvarðað út frá leiðbeinandi gildi með hinum og þessum leiðréttingum. En sé Marshallprófið notað til að hanna malbik er markmið þess meðal annars að ákvarða bindiefnisinnihald malbiksblöndunnar og þá er takmörkunum á bindiefnisinnihaldi ofaukið í verklýsingum, nema þá helst sem vísbending um líklegt bindiefnisinnihald.

Taflan hér á eftir sýnir útdrátt úr norskum [Statens vegvesen 2005], sænskum [Vägverket 2005] og finnskum verklýsingum [PANK 2000] um viðmiðunartölur fyrir bindiefnisinnihald í malbiki og mörk fyrir bindiefnisinnihald ef einhver slík eru sett. Hér er miðað við að bikið sé af gerðinni PG 160/220 (Svíar auka bindiefnisinnihaldið um 0,4% eða þar um bil af þyngd blöndu ef bik af gerðinni PG 70/100 er notað í stað PG 160/220). Auk þess er taflan ýmist miðuð við að rúmpyngd steinefnis (Mg/m^3) sé 2,65 (Noregur), 2,66 (Svíþjóð) eða 2,70 (Finnland).

Tafla 1.

Viðmiðunartölur (eldri tölur) fyrir bindiefnisinnihald í norsku, sænsku og finnsku malbiki ásamt hámarks- og lágmarks innihaldi af bindiefni þar sem það á við.

Slitlag	Noregur		Svíþjóð ¹		Finnland	
	Tillaga, %	Mörk, %	Tillaga, %	Mörk, %	VFB ² , %	Mörk, %
YFL 8	6,2	-	6,3	6,0-6,6	80-90 (85)	5,4-6,4
YFL 11	5,9	-	6,2	5,9-6,5	80-90 (85)	5,2-6,2
YFL 16	5,6	-	6,0	5,7-6,3	80-90 (85)	5,0-6,0
SMA 8	6,7	-	6,5	5,9-7,4	80-90 (85)	7,0-8,0
SMA 11	6,3	-	6,2	5,7-7,2	80-90 (85)	6,5-7,5
SMA 16	6,0	-	6,1	5,5-7,0	80-90 (85)	6,0-7,0
BNL 11	5,6	-	5,2	4,7-5,7	-	-
BNL 16	5,4	-	5,0	4,5-5,5	-	-
BRL 16	4,5	-	4,8	4,5-5,5	-	-
BRL 22	4,5	-	4,5	4,2-5,2	80-90 (85)	4,2-5,2
BRL 32	4,5	-	4,0	3,7-4,7	80-90 (85)	3,8-4,8
¹ Þessi gildi eru mismunandi eftir stungudýpt bindiefnisins, hér eru tekin gildin fyrir 160/220.						
² VFB (bikfyllt holrým) er hönnunarforsenda í finnskum verklýsingum, viðmiðunargildi í sviga.						

Sennilega er rúmpýngd íslenskra steinefna (blöndu) sem notuð eru á höfuðborgarsvæðinu í grennd við 2,85 Mg/m³. Af því leiðir að bindiefnisinnihaldið í töflunni þarf að lækka um það bil með hlutfallinu 2,66/2,85 eða 0,93 af þessari ástæðu einni til að bindiefnisinnihaldið sé sambærilegt við það sem gerist í Noregi, Svíþjóð og Finnlandi. Þetta svarar um það bil til 0,4 prósentustiga í bindiefnisinnihaldi. Á hinn bóginn eru íslensk steinefni meira eða minna gropin og hluti bindiefnisins fer í að fylla gropur í steinefninu, þ.e.a.s. ef notuð eru íslensk, gropin steinefni en ekki innflutt, þétt steinefni. Lauslega áætlað má gera ráð fyrir að þýngd bindiefnis sem til þess þurfi sé að lágmarki 0,5% og að hámarki 1,5% af þýngd blöndunnar. Tafla 2 sýnir leiðbeinandi viðmiðunartölur fyrir bindiefnisinnihald í íslensku malbiki, svo og há- og lágmarki þess.

Tafla 2.

Tillögur að viðmiðunartölum fyrir bindiefnisinnihald í íslensku malbiki, svo og há- og lágmarki þess, sbr. töflu 64-3 í kafla 6 í Efnisgæðaritinu frá 2019.

Slitlag	Tillaga, %	Mörk, %
AC 8	6,1	5,8-6,4
AC 11	5,7	5,5-6,0
AC 16	5,5	5,3-5,8
SMA 8	6,8	6,-7,7
SMA 11	6,4	5,9-7,4
SMA 16	6,2	5,7-7,2
BRL 16	4,8	4,6-5,6
BRL 22	4,6	4,2-5,3

Tafla 2 er tillaga að viðmiðunargildum fyrir bindiefnisinnihald í íslensku malbiki og er byggð á sænsku verklýsingunum og forsendunum hér að framan.

Gildi um bindiefnisinnihald í íslensku malbiki hafa verið samræmd með tilliti til töflu 64-3 í Efnisgæðaritinu. Í nýjustu útgáfum Efnisgæðaritsins hefur tillaga að bindiefnisinnihaldi lækkað umtalsvert fyrir stífmalbik (AC) í þeirri viðleitni að kröfur um lágmarksholrýmd, sem hefur verið hækkuð, sé innan marka. Varðandi töflu 2 hér að ofan skal tekið skýrt fram að tölugildin eru einungis leiðbeinandi og miðast við óbreytt malbik, en í gerðarprófunum hveðrar malbiksgerðar á að koma fram hvert bindiefnismagn hennar er. Það sem getur komið til lækkunar á bindiefni frá því sem gefið er upp í töflunni eru til dæmis notkun íblöndunarefna, svo sem fjölíða, en einnig íblöndun á malbiksfræsi sem er blanda af steinefni og bindiefni.

HEIMILDIR

- NVF-33. 1986. *Bruk av porost steinmateriale til asfaltdekker*. Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar.
- PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000*. Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.
- Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging*. Statens vegvesen. Oslo.
- Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager*. VV Publ 2005:112. Borlänge.

5 SÁLDURFERLAR OG MARKALÍNUR FYRIR MALBIK

Rétt er að taka strax fram að sáldurferill er ekki stiki í venjulegum skilningi; til að svo væri yrði að vera hægt að lýsa sáldurferli með einni tölu eða tveim, en sáldurferlar í malbiki eru alltof fjölbreyttir til þess. Á hinn bóginn hefur sáldurferillinn afgerandi áhrif á eiginleika malbiksins og af þeirri ástæðu er fjallað um hann sem stika.

Sáldurferlar í malbiki geta verið mjög mismunandi, en þegar sáldurferill hefur verið ákveðinn fyrir tiltekna blöndu er kappkostað að hann breytist sem allra minnst meðan á framleiðslu malbiksins stendur. Ástæðan er sú að breyting á sáldurferlinum, að öðrum stikum óbreyttum, hefur talsverð áhrif á eiginleika malbiksins og sjaldnast til bóta ef malbikið hefur verið hannað fyrir ákveðnar aðstæður. Svo dæmi sé tekið; ef sáldurferill reynist grófari en blöndunarforskrift malbiksins gerir ráð fyrir, má búast við að holrýmdin aukist, en við það eykst hættan á vatnsskemmdum, minnkandi slitþoli og ótímabærri öldrun malbiksins. Af þessum sökum er leyfilegum vikum frá tilgreindum sáldurferli settar þröngar skorður í framleiðslu malbiks.

Í verklýsingum fyrir malbik er sáldurferillinn alltaf sýndur sem þyngdarhluti sýnisins, sem smýgur tiltekið sigti (sáldur), sem fall af möskvastærð sigtisins. Venjulega er möskvastærðin sýnd (í mm) á lárétta ásnum í lograkvarða, en sáldur sýnisins á lóðrétta ásnum (í %). Sumsstaðar erlendis hefur tíðkast að kvarðinn á lárétta ásnum sé í réttu hlutfalli við möskvastærðina (í mm) í veldinu 0,45. Síðarnefnda aðferðin hefur einn kost; ef dregin er bein lína frá upphafspunkti línuritsins (úr horninu neðst til vinstri) að stærstu kornastærð sýnisins við 100% sáldur, þá táknar þessi lína þéttasta mögulega sáldurferil sýnis með þessa hámarkskornastærð. Hönnunaraðferð Superpave byggir val sitt á sáldurferli fyrir malbik á þessari framsetningu.

Þrír eiginleikar sáldurferils öðrum fremur eru mikilvægir fyrir eiginleika malbiksins. Það eru hlutfall fínefnis ($< 0,063$ mm) af steinefninu, efri flokkunarstærð þess og lögun sáldurferilsins á milli þessara tveggja punkta á honum.

Fínefnainnihaldi í malbiki er oftast valið á bilinu 6-13% af þyngd steinefnisins. Meginhlutverk fínefnisins er að auka festu malbiksins, því þegar það blandast bindiefninu verður það seigara, og vinnur þannig gegn skriði. Ef hlutfall fínefnis og bindiefnis verður mjög hátt er hins vegar hættan á að malbikið verði óþjálmt og erfitt í útlögn [Frostman 1984, bls. 18] og við það hækkar holrýmdin. Af þessari ástæðu eru stundum settar takmarkanir á hlutfall mélu og bindiefnis í verklýsingum.

Rannsóknir gefa til kynna að slitþol malbiks aukist með stærri efri flokkunarstærð, þó ekki undantekningarlaust [Frostman 1978, bls. 53; Jacobson 1998, bls. 4, Transportforsknings-delegationen 1975, bls. 63]. Hemplunarviðnám fer að öðru jöfnu vaxandi með hámarks kornastærð, einkum á vegum þar sem negldir hjólbarðar eru notaðir á vetrum og umferðarhraði er mikill. Ástæðan er sú að yfirborð slitlagsins verður grófara með stækkandi hámarkskornastærð og vatn sem verður á milli hjólbarða og slitlags á greiðari leið burt en ella [Hunter 1994, bls. 62]. Á hinn bóginn eru slitlög með lítilli efri flokkunarstærð að öðru jöfnu hljóðlátari en þau sem eru úr grófara steinefni. Eftir því sem efri flokkunarstærð stækkar er meiri hættan á aðskilnaði í malbikinu, sem kemur fram í grófum blettum sem hættir til að trosna og verða að holum með tímanum.

Lögun sáldurferilsins (milli punktanna sem ákvarða hámarks kornastærð annars vegar og fínefnisinnihalds hins vegar) hefur veruleg áhrif á eiginleika malbiksins. Tiltölulega þéttur sáldurferill

(eins og stífmalbik AC hefur) hefur margvísleg jákvæð áhrif á eiginleika malbiksins. Festan er að jafnaði mikil að því gefnu að bindiefnisinnihaldið sé hæfilegt. Malbik með þéttum sáldurferli er að öðru jöfnu þjáltað í útlögn og völtun. Holrýmdin er tiltölulega lág sem dregur úr líkum á ótímabærri hörðnun bindiefnis. Á hinn bóginn getur sáldurferillinn orðið of þéttur, þannig að ekki verði nægilegt rúm fyrir bindiefnið og þá gerist annað af tvennu, óskert bindiefnisinnihald spyrnir steinefnagrindinni sundur sem eykur hættu á skriði, eða hitt að slitlagið verður of magurt vegna þess að bindiefnisinnihaldið er haft of lítið. Í þessu efni sem oftar þarf að sigla milli skers og báru þegar þéttleiki sáldurferilsins er ákveðinn.

Stundum er sáldurferillinn af ásettu ráði hafður verulega frábrugðinn þéttasta sáldurferli. Dæmi um þetta er svokallað drenmalbik, sem þó hefur einungis verið lagt í tilraunaskyni hérlandis. Sáldurferill drenmalbiks er hafður mjög opinn þannig að vatn geti seytlað gegnum malbikið og út til hliðanna og standi ekki uppi í hjólförum. Holrýmd í slíku malbiki er gjarna höfð 15-20%. Annað dæmi er steinríkt malbik SMA sem talsvert var notað hérlandis á árum áður; þar er hluti grófs steinefnis aukinn til muna á kostnað grófs sands, þannig að sáldurferillinn verður tiltölulega flatur á bilinu 1-5 mm á sáldurferlinum, en fínefnis- og bindiefnisinnihaldið er haft hátt til að fylla að hluta upp í holrúmið sem myndast.

Markalínur EN-staðlanna fyrir malbik [ÍST EN 13108-1 og ÍST EN 13108-5] eru tiltölulega rúmar og leyfa margskonar sáldurferla og fræðilega séð getur hannaður sáldurferill fylgt annarri hvorri markalínunni. Samt sem áður ætti alltaf að vera keppikefli malbikshönnuða að sáldurferillinn liggji sem næst mitt á milli markalínanna, ef því verður við komið, þá verður árangurinn bestur. Jafnframt ber að forðast að sáldurferillinn slangri á milli þeirra.

HEIMILDIR

- Evensen, R. 1970. *Bituminøse vegdekker. Internt notat for grunnkurset 1970*. Institutt for veg- og jernbanebygging. Norges tekniske høgskole, Trondheim.
- Frostman, P. (projektledare). 1978. *Slitageundersökningar asfaltbetong*. Samarbetet Neste –Nynäs.
- Frostman, P., Simonsson, B. 1984. *Massasammansättningens och packningsgradens inverkan på hållbarheten hos asfaltbetong*. Rapport till förbundsutskottsmöte i Stockholm 2 och 3 juni 1984. NVF Utskott 33 Asfaltbeläggningar.
- Hunter, Robert N. (editor). 1994. *Bituminous Mixtures in Road Construction*. Thomas Telford, London.
- ÍST EN 13108-1. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 1: Malbik*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- ÍST EN 13108-5. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 5: Steinríkt malbik (SMA)*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- Jacobson T., Wågberg, L-G. 1998. *Development of prediction model for pavement wear, wear profile and annual cost*. VTI notat 76A-1998. Swedish National Road and Transport Research Institute. Linköping.
- Transportforskningsdelegationen. 1975. *Dubbdäck*. Transportforskningsdelegationen 1975:4. Stockholm.

6 UM SKRIÐ Í ÍSLENSKU MALBIKI

6.1 Inngangur

Hjólför eru langalgengasta orsök endurnýjunar á slitlögum hérlandis. Hjólför í malbiki myndast af þrem ástæðum; sliti, sigi og skriði.

Hérlandis á slit ótvírætt mestan þátt í hjólfaramyndun. Það stafar nánast eingöngu af notkun negldra hjólbarða og stendur að öðru jöfnu í öfugu hlutfalli við slitþol steinefnisins í malbikinu.

Sig getur stafað af lélegri undirbyggingu, hún lætur smám saman undan og malbikið fylgir á eftir. Ef sigið er mikið og bundið við hjólförin myndast stundum sprungur til hliðar við hjólförin og samsíða þeim. Önnur orsök sigs er lóðrétt samþjöppun í malbikinu sem orsakast af ónógri þjöppun þess strax eftir útlögn. Hjólför af þessari ástæðu eru mjög grunn, í mesta lagi 2-3 mm í 50 mm þykku slitlagi, og koma fram á fyrsta sumri eftir útlögn.

Skrið þekkist á því að malbikið skríður til í lárétta stefnu, mestan part þvert á umferðarstefnuna og myndar þá hryggi til hliðar við kröpp hjólför. Malbikið getur líka skriðið til í umferðarstefnuna, einkum þar sem þungir bíla hemla og taka af stað, t.d. við umferðarljós. Skrið getur átt verulegan þátt í hjólfaramyndun en er talið stafa frá umferð þungra bíla á heitum dögum að sumarlagi að langmestu leyti [Wiman 2000].

Í þessum pistli verða talin fram rök með og á móti því að skrið sé marktækur þáttur í hjólfaramyndun í íslensku malbiki, hvaða úrbætur komi til greina ef svo er, ásamt líklegum fylgifiskum þeirra.

6.2 Mælingar á skriði í rannsóknastofu

Við Háskóla Íslands [Elísabet S. Urbancic 1998] voru m.a. gerðar skriðprófanir á fimm sýnum af íslensku malbiki 1997. Malbikið var stífmalbik AC16, tekið af bíl og þjappað í Marshallhamri. Steinefnið var að mestu frá Seljadal, stungudýpt biksins var 89 mm/10, festan 11 kN, sig 5,7 mm og holrýmd 1,1%. Mælingarnar voru gerðar við 40°C. Meðaltal skriðs (eftir 3.600 álagspúlur) í þessum fimm Marshallkjörnum var 12.600 $\mu\epsilon$ (staðalfrávik meðaltalsins 2.000 $\mu\epsilon$). Skriðhraðinn var að meðaltali 0,90 $\mu\epsilon$ /álagspúlur (staðalfrávik meðaltalsins 0,14 $\mu\epsilon$ /álagspúlur). Elísabet telur niðurstöðurnar sýna að malbikið hafi svipaða eiginleika og erlendar malbiksgerðir hvað skrið snertir; hefur þó fyrirvara á niðurstöðunum þar eð sum sýnin höfðu áður verið notuð til annarra prófana.

Þessum rannsóknum við Háskóla Íslands var haldið áfram 1998 [Bergþóra Kristinsdóttir 1999]. Þá var sömuleiðis mælt skrið á Marshallkjörnum gerðum úr malbiki af gerðinni AC16 með PG 180/220 biki frá Malbikunarstöðinni Höfða. Kjarnarnir voru 100 mm í þvermál, þjappaðir í þrem flokkum, einn flokkur með 2 x 35 höggum, annar með 2 x 50 höggum og sá þriðji með 2 x 75 höggum. Þrátt fyrir mismunandi þjöppun reyndust Marshallleiginleikarnir svipaðir í öllum flokkunum, holrýmdin 1,0-1,1%, festan á bilinu 11-13 kN og sigið á bilinu 3,2-4,1 mm. Mælingar voru gerðar við 40°C. Skriðið var minnst í kjörnunum með 35 högga þjöppun, 10.900 $\mu\epsilon$, en álíka í hinum flokkunum tveim, um 14.500 $\mu\epsilon$. Skriðhraðinn var mjög svipaður í öllum flokkunum, kringum 0,5 $\mu\epsilon$ /álagspúlur. Staðalfrávik meðaltalanna er 800-1.400 $\mu\epsilon$ fyrir skrið en um 0,1 $\mu\epsilon$ /álagspúlur fyrir skriðhraða.

Brynhildur Magnúsdóttir mældi skrið á allmörgum borkjörnum sem teknir voru úr þrem köflum sem höfðu verið endurlagðir (e. repave) með steinríku malbiki (SMA) og einum kafla með venjulegu SMA malbiki á gamalt malbik. Endurlögðu kaflarnir voru á Reykjanesbraut, SMA16, holrýmd 0,6%; á

Kringlumýrarbraut, SMA16, holrýmd 1,4% og á Hafnarfjarðarvegi, SMA16, holrýmd 3,3%. Kaflinn með hefðbundinni yfirlögn var á Sæbraut, SMA16, holrýmd 1,7%. Borkjarnarnir voru 150 mm þvermál og voru prófaðir samkvæmt sænskri verklýsingu [FAS, án ártals]. Úr hverjum kafla voru prófaðir sjö borkjarnar. Mælingarnar voru gerðar við Háskóla Íslands og í skýrslu um prófanirnar [Sigurður Erlingsson 2001] kemur fram að skriðið var á bilinu 25.000 til 65.000 $\mu\epsilon$ og skriðhraðinn á bilinu 2,3 til 7,7 $\mu\epsilon$ /álagspúls. Niðurstöðurnar metur Sigurður svo að malbikið á Sæbraut (hefðbundið yfirlag) þoli allt að 1.800 þunga bíla á dag pr. akrein, malbikið á Kringlumýrarbraut og á Reykjanesbraut allt að 900 þunga bíla á dag pr. akrein en malbikið á Hafnarfjarðarvegi minna en 450 þunga bíla á dag pr. akrein. Sigurður tekur fram í skýrslu sinni að niðurstöðurnar verði að skoða m.t.t. þess að prófanirnar séu ekki mjög margar.

Í áðurnefndri skýrslu Sigurðar Erlingssonar er stutt yfirlit yfir nokkrar aðrar mælingar á skriði sem hafa verið gerðar við Háskóla Íslands. Í töflu 1 er þeim skipt í tvennt, malbik með biki af gerðinni PG70/100 og PG 160/220. Taflan sýnir að skriðið er heldur minna í sýnum á malbiki með bindiefni af gerðinni PG70/100 en munurinn er ekki marktækur.

Tafla 1.

Niðurstöður skriðprófana á nokkrum malbiksgerðum.

Bindiefnisgerð	PG 70/100		PG 160/220	
Malbiksgerð	Skrið [$\mu\epsilon$]	Skriðhraði [$\mu\epsilon$ /púls]	Skrið [$\mu\epsilon$]	Skriðhraði [$\mu\epsilon$ /púls]
A1/ PG 70/100	52000	8,31		
A2/ PG 70/100	25400	2,66		
A2/ PG 160/220			41600	3,13
B1/ PG 160/220	33900	2,90		
B4/ PG 160/220			48400	6,19
B5/ PG 160/220			50500	3,37
B11/ PG 70/100	39600	2,63		
S11/ PG 160/220			35800	2,66
<i>Meðaltal</i>	<i>37725</i>	<i>4,12</i>	<i>44075</i>	<i>3,84</i>

Til samanburðar við gildin í töflu 1 má taka kröfur um skriðþol í stífmalbiki AC úr sænskum viðhaldsverklýsingum [Vägverket 2000, bls. 9]. Ef umferð þungra bíla³ er minni en ≈ 500 bílar/akrein/dag eru engar kröfur gerðar til skriðþols. Sé hún undir ≈ 2000 bílar/akrein/dag má skriðið mest vera 30.000 $\mu\epsilon$ en fyrir ≈ 4000 bílar/akrein/dag eða meira er hámarkið 15.000 $\mu\epsilon$.

Niðurstöður skriðmælinganna sem eru tíundaðar hér á undan gefa til kynna mjög breytilegt skriðþol fyrir íslenskt malbik, allt frá því að vera mjög mikið ($< 15.000 \mu\epsilon$) niður í mjög lítið ($> 40.000 \mu\epsilon$). Á hinn bóginn er ólíklegt að þung umferð fari yfir 500 bíla/akrein/dag nema þá á nokkrum vegarköflum á höfuðborgarsvæðinu.

6.3 Mælingar á skriði í vegi

Steinefnanefnd lét á sínum tíma mæla aukningu í hjólfaradýpt á einu sumri í fimm tilraunaköflum á Sæbraut [Ásbjörn Jóhannesson 1998, Ásbjörn Jóhannesson 2000]. Allar malbiksgerðirnar voru AC16

³ Bíll er í þessu samhengi skilgreindur sem þungur ef verg þyngd hans er meiri en 3500 kg.

en úr mismunandi steinefni; Björgunarefni, holrýmd 0,6%, festa 11 kN, sig 7,4 mm; Esjubergsefni, holrýmd 0,6%, festa 10 kN, sig 7,2 mm; Leirvogstunguefni (Leirvogsa), holrýmd 0,0%, festa 11 kN, sig 8,2 mm; Seljadalsefni, holrýmd 0,6%, festa 10 kN, sig 6,2 mm og Snasaefni, holrýmd 0,9%, festa 10 kN, sig 6,8 mm, allt skv. rannsóknnum á malbiki frá stöð. Holrýmd í borkjörnum var um það bil einu og hálfu prósentu meiri en holrýmd í malbiki frá stöð sem var mæld í Marshallprófi.

Hjólfaradýpt á þessum köflum var mæld í tvígang sumarið 1991 (ári eftir útlögn) og aftur sumarið 1992. Þá kom í ljós að hjólförin dýpkuðu marktækt milli mælinga sumarið 1991 (um 0,7-1,8 mm). Þessi dýpkun var á bilinu 15-35% af aukningu í hjólfaradýpt á sömu stöðum milli sumrana 1991 og 1992 (á einum stað mældist hjólfaraaukningin yfir sumarið meiri en milli sumra, sem fær ekki staðist).

Nokkru seinna lét Steinefnanefnd mæla aukningu í hjólfaradýpt á einu sumri í þrem tilraunaköflum í Reykjavík [Ásbjörn Jóhannesson 1998]. Slitlagið á þessum köflum var steinríkt malbik SMA, holrýmd 0,0%, festa 7 kN, sig 5,3 mm; AC16, holrýmd 0,1%, festa 10 kN, sig 4,3 mm og AC12, holrýmd 1,3%, festa 9 kN, sig 3,9 mm, allt skv. rannsóknnum á malbiki frá stöð. Holrýmd í borkjörnum var aðeins mæld á einum stað, í AC16 og reyndist vera 1,0%.

Niðurstöður mælinga á hjólfaradýpt á þessum köflum benda eindregið til að skrið hafi átt sér stað. Sumarið 1997 jukust hjólförin um 0,6 - 1,0 mm, mest í SMA, minnst í AC16. Hluttur skriðs í hjólfaramyndun var áætlað 10-15% út frá sliti á samskonar slitlagsgerðum, en þessar tölur eru ónákvæmar.

6.4 Aðrar vísbendingar með og á móti skriði

Vísbendingar um skrið má fá með því að skoða hjólför [Wiman 2000]. Ef vinstra hjólfarið er staðbundið, en það hægra dreifðara er líklegt að hjólförin megi bæði rekja til slits og skriðs. Ástæðan er sú að bílar sækja í að aka í sama hjólfari vinstra megin, en þar sem þungir bílar eru breiðari en léttir (og yfirleitt ekki á negldum hjólbörðum) falla áhrifin af sliti og skriði ekki saman í hægra hjólfari. Séu bæði hjólför álíka breið og álíka kröpp er líklegt að þau stafi af sliti, sérstaklega ef bilið á milli þeirra er í samræmi við bil á milli hjóla á fólksbílum. Wiman telur enn fremur að nánast allt skrið megi rekja til þunga bíla.

För eftir tvö hjól hlið við hlið í sama hjólfari eru merki um skrið. Hjólfarið lítur þá út eins og mót af tvöföldum afturhjólum á þungaflutningabíl. Stundum má sjá að malbikið hefur pressast upp í hrygg milli hjóla. Ef malbik hefur ýtst eða dregist til í akstursstefnunni er það sömuleiðis merki um skrið; þetta sést frekast þar sem þungir bílar stansa á ljósastryðum gatnamótum.

6.5 Merki um skrið í Reykjavík eftir sumarið 2007

Júlímánuður 2007 var óvenju hlýr, þurr, lygn og sólríkur í Reykjavík, þótt engin veðurmet væru slegin. Þessi skilyrði ýta undir skrið í malbiki, þar sem yfirborð malbiks getur hitnað langt umfram lofthita þegar sól er hátt á lofti. Í þessum mánuði mældist hæsta hitastig á yfirborði malbiks hartnær 40°C á tveim veðurstöðvum Vegagerðarinnar í nágrenni Reykjavíkur (Sandskeið og Reykjanesbraut) og 33°C á einum stað innanbæjar (Garðabær) á sama tímabili. Hitastig 20 mm undir yfirborði slitlags (viðmiðunardýpt SHRP fyrir hitastig í slitlagi) má reikna út frá yfirborðshita samkvæmt formúlu sem er tilgreind í skýringum við forrit frá Strategic Highway Research Program [SHRP 1995] sem var gert til að spá um hitastig í malbiki við ýmsar aðstæður. Ef þessi formúla er lögð til grundvallar kemur í ljós að hitastig 20 mm undir yfirborði slitlagsins hefur að líkindum komist í 37°C á Sandskeiði og á Reykjanesbraut, en í 31°C í Garðabæ í júlí 2007.

Þessar mælingar sýna að hitastig í slitlagi getur orðið talsvert hærra en spá sú sem líkan Superpave gerir út frá hnattstöðu og veðurfari, sem er 30°C fyrir Reykjavík [Ásbjörn Jóhannesson 2005, bls. 26]. Engu að síður er þetta hitastig miklu lægra en svo að hætta sé á skriði vegna bindiefnisgerðanna sem eru notaðar hér, þ.e.a.s. samkvæmt ákveðnum forsendum og útreikningum

byggðum á Superpave. Prófanir (reyndar aðeins á tveim sýnum) gáfu til kynna að hart bindiefni (70/100) muni þola allt að 66°C í slitlagi og mjúkt (160/220) allt að 58°C (sama heimild bls. 26).

Samt sem áður má sjá merki um skrið á gatnamótum í Reykjavík sem líklega hefur orðið á áðurnefndu tímabili. Þau eru mest áberandi við ljósastryrð gatnamót á miklum umferðargötum, og sjást best framan við ljósin, þar sem bílar stansa og taka af stað. Einkennin eru óreglulegar ójöfnur, líkt og malbikið hafi ekist til í umferðarstefnuna. Á milli gatnamóta eru þessi ummerki ekki eins áberandi.

6.6 Er íslenskum slitlögum hætt við skriði?

Samkvæmt rannsóknnum á skriði í íslensku malbiki á árum áður er talið að skrið geti verið á bilinu 25-35% af heildarhjólfaramyndun þar sem umferð er mikil og þung.

6.7 Ráðstafanir til að minnka skrið

Fyrst af öllu þarf að gera mælingar til að ganga úr skugga um hvort skrið á sér stað í íslenskum slitlögum og, ef svo er, hvort það er svo mikið að það skipti máli fyrir endingu þeirra. Í þessu sambandi þarf einnig að hafa í huga að ráðstafanir sem eiga að draga úr skriði geta haft aðra fylgifiska sem eru neikvæðir fyrir endingu malbiksins.

Aukin holrýmd í malbiki dregur úr líkum á skriði, þó aðeins upp að vissu marki. Hérlandis hefur tíðkast að halda holrýmd niðri eins og kostur er, en þó innan marka sem gefin eru upp í Efnisgæðaritinu. Lág holrýmd getur aukið hættu á skriði, en hversu mikið er óvíst.

Hart bindiefni dregur einnig úr líkum á skriði, því harðara sem bindiefnið er, þeim mun meiri sumarhita þolir malbikið án þess að skriða. Hérlandis var yfirleitt notað fremur mjúkt bik (PG 160/220) í malbik á árum áður, en notkun á harðara biki (PG 70/100) hefur aukist mikið þar sem umferð er mikil og þung til að sporna gegn skriði. Breytt bindiefni (e. modified bitumen) hefur svipuð áhrif eins og að nota harðara bindiefni.

Kornalögun og yfirborðsáferð steinefnis hefur áhrif á skrið. „Angularity“ er jákvæður eiginleiki. Hátt brothlutfall (hlutfall brotflata af heildaryfirborði steinefnis) dregur úr líkum á skriði; núíð efni hefur öfug áhrif.

Ef umferð er mikil og þung er heppilegra að sáldurferill malbiksins sé nær neðri hönnunar-mörkum en þeim efri, því gróft steinefni hefur að öðru jöfnu meiri mótstöðu gegn skriði en fíngert.

Hátt hlutfall mélu dregur úr líkum á skriði, því malbikið verður stífara með auknu méluinnihaldi. Háu méluinnihaldi eru þó settar skorður, oft með því að tiltaka hámarkshlutfall mélu og bindiefnis. Annars er hættu á að malbikið þjappist illa og þoli síður hreyfingar í undirbyggingu án þess að springa (verði stökkt).

Líkur á skriði og/eða eftirþjöppun eru taldar minnka með aukinni þjöppun, að öðru óbreyttu.

Malbik með of miklu bindiefni hættir til að skriða. Á hinn bóginn hættir malbiki með of litlu bindiefni til að skemmast af völdum vatns og veðurs, svo þarna þarf að fara bil beggja. Reyndur ráðgjafi, Charles Foster, orðar ráðleggingu sína þannig: „...put in all the asphalt the traffic will bear but not too much“ [Foster 1985, bls. 305].

Festa í Marshallprófi er talin vera mælikvarði á það sem kallað er styrkleiki malbiksins, sem væntanlega má túlka sem mótstöðu gegn skriði og sig í sama prófi er tengt við hættu á skriði [White 1985, bls. 278-279]. Í handbók um hönnun malbiks með Marshallaðferðinni er lögð áhersla á að uppfylla kröfur um festu og sig [Asphalt Institute 1989, bls. 146] nema því aðeins að tryggt sé að frávikin séu saklaus. Þetta bendir til að skriði megi halda í skefjum með því að uppfylla viðhlítandi kröfur um festu og sig. Um gildi Marshallsprófs til að meta líkur á skriði er þó ágreiningur og hefur lengi verið og aðrar hönnunaraðferðir (m.a. Superpave) hafa verið teknar í notkun í sumum löndum.

6.8 Ályktanir

Af þeim upplýsingum sem liggja fyrir er engan veginn á hreinu hvort og hversu mikið skrið er í íslensku malbiki, þótt líkur bendi miklu fremur til að það sé lítið en mikið. Til að komast að hinu sanna þarf kerfisbundnar mælingar á skriði, líklega um nokkurra ára skeið. Þá fyrst er tímabært að meta hvort einhverjar gagnráðstafanir eru nauðsynlegar og hverjar henti best. Óraunhæfar kröfur um lágt sig eða hækkaða holrýmd til að draga úr skriði geta haft eftirköst sem koma niður á endingu malbiksins, sérstaklega í slitlögum, og verði kröfunum breytt frá því sem nú er, verður að gæta þess að fórna ekki minni hagsmunum fyrir meiri.

ATHUGASEMD RITSTJÓRA VIÐ KAFLA 6 2025

Ritstjórn Efnisgæðaritsins vill taka fram að allt það sem sett er fram í viðauka 8, þó með lítilsháttar breytingum nú, er í fullu gildi. Hins vegar má benda á að síðan þessi skrif voru sett fram hafa farið fram ýtarlegar rannsóknir og prófanir á skriðeiginleikum malbiks sem notað er hérlandis, meðal annars í hjólfaratæki (e. *wheel tracking test*), skv. ÍST EN 12697-22. Það tæki kom til landsins árið 2007 og hefur verið markvisst notað til rannsókna og þjónustu við malbiksframleiðendur allar götur síðan. Flestar rannsóknir í hjólfaratækinu hafa verið styrktar af rannsóknasjóði Vegagerðarinnar og má því finna skýrslur um þær á vef Vegagerðarinnar (Pétur Pétursson). Um svipað leiti var fengið Prall tæki til landsins til að mæla slit af völdum nagladekkja og má finna niðurstöður þeirra mælinga í sömu skýrslum og vísað er til hér að ofan. Einnig má benda á að frá því að kafla 6 var skrifaður hefur umferð aukist verulega, ekki síst umferð þungra bíla, en það á einnig við um vetrarumferð og aukna nagladekkjanotkun með auknum fjölda ferðamanna. Því má ætla að hjólfaramyndun sé enn að verulegu leyti slit af völdum nagladekkja, en þar sem umferð er mikil og þung er áætlað að hjólför af völdum skriðs að sumarlagi geti verið að á bilinu fjórðungur til þriðjungur af heildarhjólförum í malbiki. Reyndar bendir sænskt spálíkan til þess að deigar formbreytingar (skrið) geti verið allt að 40% hjólfaramyndunar (Birkir Hrafn Jóakimsson). Það þarf þó ætíð að hafa í huga að malbiksgerðin, verklag við lagningu og þjöppun, ytri aðstæður, svo og umferðarsamsetningin hefur afgerandi áhrif á hjólfaramyndun í malbiki hverju sinni. Vegagerðin hefur á undanförunum árum notað hart bik (PG 70/100) og innflutt, slitsterkt steinefni til að verjast hjólfaramyndun, bæði af völdum skriðs og slits. Einnig hefur færst mjög í vöxt að nota fjölliðu af gerðinni SBS í íslenskt malbik, en það hefur sýnt sig að minnka hættu á skriði verulega.

HEIMILDIR

- Asphalt Institute. 1989. *The Asphalt Handbook*. Manual Series No. 4 (MS-4). 1989 Edition, Asphalt Institute, Lexington.
- Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson, Valur Guðmundsson. 1998. *Hjólfaramyndun í malbiki að sumarlagi – lokaskýrsla*. BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-5, Reykjavík.
- Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson, Valur Guðmundsson. 2000. *Tilraunakaflar Steinefnanefndar á Sæbraut – lokaskýrsla*. BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-15, Reykjavík.
- Ásbjörn Jóhannesson. 2005. *Superpave*. Unnið fyrir Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, skýrsla nr. 05-04. Reykjavík.
- Bergþóra Kristinsdóttir. 1999. *Íslenskt malbik – ákvörðun aflfræðilegra eiginleika*. Meistaraverkefni. Umhverfis- og byggingaverkfræðiskor. Verkfræðideild Háskóla Íslands, Reykjavík.
- Elisabet S. Urbancic. 1998. *Aflfræðilegir eiginleikar íslensks slitlags – ákvörðun í tilraunastofu*. MS – verkefni. Háskóli Íslands, verkfræðideild, Reykjavík.
- FAS. Án ártals. *Asfaltbeläggning och –massa. Bestämning av deformationsresistens med dynamisk kryptest*. FAS Metod 468-00. Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige, Stockholm.

- Foster, Charles R. 1985. *The Strength of Asphalt Pavements*. Asphalt Paving Technology 1985. Proceedings. The Association of Asphalt Paving Technologists, Minneapolis.
- SHRP. 1995. *SHRP Superpave Binder Selection Program: SHRPBIND, Version 2.1*. Developed for Federal Highway Administration, Pavement Performance Division, Virginia, USA.
- Sigurður Erlingsson. 2001. *Skoðun á hegðun slitlaga, lagfærðum með „Repave“ aðferð*. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands, Reykjavík.
- Tayebali, Akhtarhusein A., Huang, Y. 2004. *Performance Grading of Bitumen B-180 and B-85 Used in Iceland*. Final Report. Department of Civil Engineering, North Carolina State University, Raleigh.
- Vägverket. 2000. *Vägunderhåll 2000*. Kapitel 6 Bitumenbundna lager. VV Publ 2000:72. Vägverket, Borlänge.
- White, Thomas D. 1985. *Marshall Procedures for Design and Quality Control of Asphalt Mixtures*. Asphalt Paving Technology 1985. Proceedings. The Association of Asphalt Paving Technologists, Minneapolis.
- Wiman, Leif G. 2000. Upplýsingar í tölvupósti frá Þóri Ingasyni, fengnar hjá Leif G. Wiman, Väg och transportforskningsinstitutet, Linköping. Tölvupóstur dagsettur 2. febrúar 2000.

7 FRÓÐLEIKUR UM FESTU OG SIG

Mælingar á festu og sigi eru hluti af einni af mörgum hönnunaraðferðum fyrir malbik, Marshallaðferðinni. Festan er mælikvarði á nokkurs konar brotþol malbikssívalnings, sem liggur á hliðinni í sívalningslaga móti sem er opið til endanna en skorið sundur á hliðunum. Sigið er mælikvarði á aflögun malbikssívalningsins þegar álagið nær hámarki í brotþolsprófinu. Aðferðin var þróuð um 1940 og er af mörgum talin úrelt, en er samt sem áður algengasta aðferðin til að ákvarða heppilega samsetningu malbiks, meðal annars vegna þess að með tímanum hefur safnast upp geysimikil reynsla af notkun hennar. Hún er fremur einföld, fljótleg og tiltölulega ódýr og hana er hægt að nota á öllum ferlinum, frá hönnun til eftirlits með framkvæmd. Aðferðin er fyrst og fremst ætluð fyrir heitblandað malbik með hámarks kornastærð 25 mm og tiltölulega þéttan sáldurferil. Síðastnefnda ákvæðið gerir að álitamáli hvort Marshallaðferðin er heppileg til að hanna steinríkt malbik, SMA.

Megintilgangurinn með hönnun eftir Marshallaðferðinni er að ákvarða hæfilegt bindiefnismagn í malbiksblöndu, meðal annars með tilliti til skriðeiginleika og holrýmdar. Á síðari árum hefur „Superpave“-aðferðin veitt henni nokkra samkeppni, en nánast eingöngu vestanhafs.

Tilgangurinn með mælingum á festu og sigi í Marshallprófi er að meta mótstöðu malbiksins gegn skriði [Asphalt Institute 1983, bls. 75] en aðferðin hefur sætt mikilli gagnrýni. Meðal annars er þjöppunin ólík því sem gerist við útlögn, Marshallþjöppunin er eingöngu lóðrétt höggálag en þjöppun með valta er sambland af lóðréttu höggálagi og hnoði. Að þessu leyti er snúðþjöppun raunhæfari (e. *gyratory compaction*). Í annan stað er sjálf prófunin óraunhæf; bæði er prófunarhitastigið (60°C) hærra en gerist í slitlagi í norrænum löndum og álagið í prófuninni er ekkert líkt því sem gerist í slitlagi undir umferð [NVF-33 1985, bls. 18-19]. Aðrar aðferðir til að meta hættu á skriði eru raunhæfari svo sem hjólfarapróf (e. *wheel tracking test*), sigpróf (e. *creep test*) og sveiflandi ein- eða þríasapróf svo nokkrar séu nefndar.

Kröfur um lágmarks festu eru gerðar til að takmarka líkur á skriði. Þar með er ekki sagt að mjög há festa sé eftirsóknarverð, hún getur komið niður á endingu malbiksins [Asphalt Institute 1983, bls. 77]. Sveigjanleiki slitlagsins og sigi í Marshallprófi eru talin fylgjast að og minna sig en tveir mm er talið óheppilegt, þá verði slitlagið fremur stíft og stökkt og líklegt til að springa. Á hinn bóginn er talið óheppilegt að sig fari yfir 4,5 mm, en það er oft fylgífiskur lágrar festu [Krebs 1971, bls. 399]. Malbik með óeðlilega hárra festu og lágu sigi samtímis er talið óheppilegt á veikburða undirbyggingu vegna skorts á sveigjanleika og hættu á sprungum [Sargious 1975, bls. 218]. Um 1970 lögðu hollenskir vísindamenn til að stífni⁴ (hlutfallið milli festu og sigs) yrði notað sem mælikvarði á mótstöðu gegn skriði [Foster 1985, bls. 315]. Þetta hlutfall hefur víða verið tekið upp í kröfur.

⁴ Það kann að vera álitamál hvort stífni er rétta orðið í þessu sambandi. Norskar verklýsingar nota orðið „stivhet“ fyrir hlutfall festu og sigs en EN-staðlarnir nota „stiffness“ fyrir niðurstöður einásaprófs með sveiflandi álagi.

Tafla 1.

Marshallkröfur í eldri norskum verklýsingum. Ab svarar til AC og Ag svarar til BRL.

Malbiksgerð	Festa kN	Sig mm	Stífni kN/mm
Ab, ÁDU < 5000	>4,0	1,5-4,6	>1,10
Ab, ÁDU > 5000	>5,5	1,5-4,0	>2,15
SMA, ÁDU < 15000	>4,5	1,5-4,6	>1,60
SMA, ÁDU > 15000	>6,0	1,5-4,0	>2,30
Ag, efra burðarlag	>3,0	-	-
Ag, neðra burðarlag	>2,0	-	-

Í norskum verklýsingum [Statens vegvesen 2005, bls. 218 og 283-284] eru gerðar kröfur til festu, sigs og stífni. Kröfurnar eru mismunandi eftir umferð, sjá töflu 1, og eru miðaðar við 75 högga þjöppun í Marshallprófi (venjulegra er að miða við 50 högg).

Í sænskum verklýsingum [Vägverket 2005, bls. 13-19] eru ekki gerðar kröfur til festu eða sigs (þar er Marshallaðferðin eingöngu notuð sem hjálpartæki við ákvörðun á holrýmdareiginleikum malbiksins). Kröfur um skriðmótstöðu er aðeins gerðar til bindilags og þá er einásapróf með sveifluálagi notað til að meta hana [Vägverket 2005, bls. 12].

Finnskar verklýsingar [PANK 2000] gera ekki ráð fyrir mælingum á festu og sigi. Þess í stað er mótstaða gegn skriði metin með hjólfaraprófi (e. *wheel tracking test*) eða skriðprófi (e. *repeated load creep test*).

Í Efnisgæðaritinu eru settar fram hönnunarleiðbeinandi um festu, sig og stífni eftir þjöppun í Marshallprófi með 50 höggum, sjá úrdrátt úr töflu 64-15 í töflu 2 hér að neðan. Hér er sem sagt ekki um eiginlegar kröfur að ræða, heldur einungis leiðbeiningar fyrir framleiðendur malbiks, ef þeir vilja á annað borð notast við Marshallprófið. Í staðinn hafa verið teknar upp kröfur við gerðarprófanir á mismunandi malbiksforskriftum og þar sem umferð er mikil skal í þeim prófunum gera hjólfarapróf, Prall slitpolspróf og vatnsnæmipróf, auk hefðbundinna holrýmdar- og rúmpýngdamælinga.

Tafla 2.

Hönnunarleiðbeiningar til festu, sigs og stífni malbiks í Efnisgæðaritinu.

Malbiksgerð	Festa kN	Sig mm	Festa/sig kN/mm
Stífmalbik (AC) og steinríkt malbik (SMA)	≥ 5,0	1,5-5,0	>1,0
Burðarlagsmalbik	≥ 3,5	1,0-5,0	-

Í staðli fyrir hefðbundið stífmalbik (e. *asphalt concrete*) [ÍST EN 13108-1] er ákvæði um festu, sig og stífni. Ákvæðið tekur þó því aðeins gildi að malbikið sé ætlað á flugbrautir. Samsvarandi staðall fyrir steinríkt malbik, SMA [ÍST EN 13108-5] hefur engin ákvæði um festu, sig og stífni. Hins vegar eru ákvæði í báðum stöðlum um prófun á mótstöðu gegn skriði með hjólfaraprófi (e. *wheel tracking test*) [ÍST EN 13108-1 og ÍST EN 13108-5].

Því hefur verið haldið fram að skrið í malbiki sé ekki til teljandi vandræða á Norðurlöndunum, nema undir sérstökum kringumstæðum svo sem á akreinum strætisvagna eða annarsstaðar þar sem

umferð þungra bíla er mikil. Á hinn bóginn sé líklegt að hönnunin standi stundum tæpt (a.m.k. í Finnlandi) þannig að lítilsháttar breytingar í bindiefnisinnihaldi eða sáldurferli geti leitt til skriðs sem nemi þriðjungi eða jafnvel helmingi af hjólfaramynduninni í heild. Sömuleiðis geti hluti skriðs af hjólfaramyndun verið margfalt meiri á hlýju og sólríku sumri en í venjulegu veðurfari [NVF-33 1985, bls. 19].

Kröfur norsku verklýsinganna til stífni eru vægar meðan umferðin er undir 5000 ÁDU og sennilega auðvelt að uppfylla þær. Öðru máli gegnir þegar umferðin er meiri en 5000 ÁDU, sér í lagi ef steinríkt malbik (SMA) á í hlut. Í þessum tilvikum er verulegum erfiðleikum bundið að uppfylla norsku kröfurnar vegna þess að sigið er hærra hérlandis en tíðkast í Noregi.

Slitlaganefnd samdi á sínum tíma tillögur að kröfum fyrir festu og sig sem eru sýndar í töflu 3 [Ásbjörn Jóhannesson 2000]. Þær eru miðaðar við 50 högga þjöppun á hvorn enda malbikssýna. Nefndin lagði ekki fram tillögur að kröfum um stífni. Rétt er að benda á að krafa um 7,0 kN festu í burðarlagi sýnist vera ríflega til tekin, en hún er sótt í danskar verklýsingar [Vejdirektoratet – Vejregelutvalget 1994, bls. 7 og 13] fyrir burðarlög í vegum með mikla eða þunga umferð.

Tafla 3.

Tillögur Slitlaganefndar að kröfum fyrir festu og sig í nokkrum malbiksgerðum.

Malbiksgerð	Festa kN	Sig mm
SL 8	≥ 4,0	1,5-5,5
SL 11	≥ 4,0	1,5-5,5
SL 16	≥ 4,0	1,5-5,5
SMA 8	≥ 5,0	1,5-5,5
SMA 11	≥ 5,0	1,5-5,5
SMA 16	≥ 5,0	1,5-5,5
BNL 11	≥ 3,5	1,0-5,0
BNL 16	≥ 3,5	1,0-5,0
BRL 16	≥ 3,5	1,0-5,0
BRL 22	≥ 3,5	1,0-5,0

ATHUGASEMD RITSTJÓRA 2025

Það skal ítrekað hér að í Efnisgæðaritinu eru settar fram hönnunarleiðbeiningar um holrýmd, festu, sig og stífni eftir þjöppun í Marshallprófi með 50 höggum, sjá töflu 64-15 í kafla 6 í Efnisgæðaritinu. Hér er sem sagt ekki um eiginlegar kröfur að ræða, heldur einungis leiðbeiningar fyrir framleiðendur malbiks, ef þeir vilja á annað borð notast við Marshallprófið. Í staðinn hafa verið teknar upp kröfur við gerðarprófanir á mismunandi malbiksforskriftum og þar sem umferð er mikil skal í þeim prófunum gera hjólfarapróf, Prall slitpolspróf og vatnsnæmipróf, auk hefðbundinna mælinga á sáldurferli, bindiefnismagni, holrýmdar- og rúmpýngdamælinga. Þessum 7. kafla í þessum viðauka hefur verið breytt í samræmi við það og má benda á að tafla 3 hér að framan er í raun söguleg og líklega einnig norskar kröfur um festu og sig sem koma fyrir framar í kaflanum, sem sagt í töflu 1. Þá má benda á að tafla 4 um tillögur að kröfum til festu, sigs og stífni malbiksgerða hefur verið felld út, þar sem hún stangast á við töflu 64-15 í Efnisgæðaritinu.

HEIMILDIR

- Alverk '95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð*. Vegagerðin. Reykjavík.
- Asphalt Institute. 1983. *Principles of Construction of Hot-Mix Asphalt Pavements*. The Asphalt Institute Manual Series No. 22. Maryland.
- Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. 2000. *Endurskoðun á markalínum fyrir malbik – lokaskýrsla*. BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-16. Reykjavík.
- Foster, Charles F. 1985. *The Strength of Asphalt Pavements* (discussion). Proceedings Association of Asphalt Paving Technologists. Ann Arbor.
- ÍST EN 13108-1. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 1: Malbik*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- ÍST EN 13108-5. *Malbiksblöndur – Efnislýsingar – Hluti 5: Steinríkt malbik (SMA)*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- Krebs, Robert D., Richard D. Walker. 1971. *Highway Materials*. McGraw-Hill Book Company. New York.
- NVF-33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag*. Nordisk Vegteknisk Förbund. Utvalg 33 Asfaltbelegninger. Rapport nr. 5.
- PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000*. Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.
- Sargious, M. 1975. *Pavements and Surfacing for Highways and Airports*. Applied Science Publishers Ltd. London.
- Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging*. Statens vegvesen. Oslo.
- Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager*. VV Publ 2005:112. Borlänge.
- Vejdirektoratet – Vejregelutvalget. 1994. *Vejregler. Udbuds- og anlægskrifter. Varmblandet asfalt*. Almindelig arbejdsbeskrivelse (AAB).

8 HOLRÝMD Í BURÐARLAGSMALBIKI

Meginhugmyndin á bak við tillögurnar í skýrslu Slitlaganefndar [Ásbjörn Jóhannesson o. fl.] var að gera ekki meiri kröfur til sáldurferils malbiks en nauðsynlegt væri, en leggja áherslu á aðra eiginleika til að tryggja nauðsynleg gæði. Á þessari forsendu voru mörk fyrir sáldurferla valin þannig að leyfðir sáldurferlar samkvæmt Alverk '95 svo og norskum og sænskum verklýsingum, rúmuðust innan markanna, þeim stillt upp til bráðabirgða á þeirri forsendu að fyrst vægar kröfur gætu gengið erlendis, þá væri líklegt að þær gætu gengið hér líka. Síðan var reynt að meta hvort þetta væri raunhæf afstaða og mörkin þrengd aftur ef gild ástæða var fyrir hendi. Tillögur að öðrum kröfum, þar á meðal um holrýmd, voru gerðar með tilliti til íslenskar reynslu.

Þegar kröfur eru settar um holrýmd í burðarlagi þarf að hafa í huga að:

- Það getur verið varhugavert að leyfa mjög mikla holrýmd í smágerðu burðarlagsmalbiki vegna þess að þá getur malbikið þjappast saman undir umferð og orsakað hjólför (sig) í slitlaginu. Hvar á að setja mörkin er álitamál, en líkast til gerist þetta ekki að neinu ráði meðan holrýmdin er undir 10%.
- Það er fremur ólíklegt að hitastigssveiflur verði miklar í burðarlagsmalbiki (sem liggur 10 cm eða meira undir yfirborði). Ef til vill eru til mælingar á þessu (á Grensásvegi) eða reiknilíkön sem meta þetta. Áltéð er minni hætt á skriði í burðarlagi vegna sumarhita en í löggunum fyrir ofan. Sömuleiðis má gera ráð fyrir að mismunur milli landa í hitafari (og veðurfari) hafi minni áhrif á hönnun burðarlags en efri lög í veghlotinu. Á þessari forsendu hefur það nokkuð til síns máls að fara ekki niður fyrir lágmarksholrýmd í erlendum verklýsingum, en það sýnist heldur ekki ástæða til að gera strangari kröfur.
- Álagið er væntanlega farið að dreifast verulega þegar komið er niður í bikbundið burðarlag (þá er gert ráð fyrir bindilagi og slitlagi fyrir ofan).
- Hérlandis hefur ekki tíðkast að gera kröfur um sérstakt bikbundið burðarlag (auk bindilags og slitlags) nema þar sem umferð er mikil eða þung. Þar af leiðandi sýnist rökrétt að miða kröfur til bikbundins burðarlags við mikla eða þunga umferð.
- Mikil holrýmd (> 10%) í burðarlagi hefur eina jákvæða hlið; það er minni hætt á að vatn, sem af einhverri ástæðu kemst niður í gegnum slit- og bindilag, safnist fyrir í eða ofan við burðarlagið. Sennilega er þó lítil hætt á þessu ef allt er með felldu. Svo má líta á þetta frá öðru sjónarmiði; er æskilegt að hafa burðarlagsmalbikið þétt til að varna vatni að komast neðan frá inn í burðarlag og bindilag? Sennilega á þetta sjónarmið alveg jafn mikinn rétt á sér eins og hitt, því slitlagið er (eða á að vera) þétt.
- Lág holrýmd hefur jákvæð áhrif á þreytuþol malbiks. Ef fyllt holrýmd er meiri en 50% eru áhrifin þó óveruleg [NVF 33, bls. 35].
- Ef burðarlagsmalbik er notað sem bráðabirgðaslitlag (veturinn eftir útlögn) er rétt að halda holrýmdinni niðri.

Með hliðsjón af þessum punktum og töflu 1 hér á eftir sýnist ekki skipta ýkja miklu máli hvaða kröfur eru gerðar til holrýmdar í burðarlagi. Í norsku verklýsingunum [Statens vegvesen, bls. 218] er lágmark holrýmdar í burðarlagsmalbiki sett 2%, og verður að teljast líklegt að lágmarkið sé valið nægilega hátt til að útiloka skrið. Norsku verklýsingarnar leyfa 8% hönnunarholrýmd í efra burðarlagsmalbiki sem

sennilega er nokkuð mikið, ekki síst ef þjöppunarkrafan er aðeins 95%, og helsta ástæðan er möguleiki á sigi (sem er þó léttvæg, því áhrifin frá siginu hverfa með fyrstu yfirlögn). Á hinn bóginn leyfa norsku verklýsingarnar allt að 12% hönnunarholrýmd í neðra burðarlagsmalbiki. Með hliðsjón af sænsku verklýsingunum [Vägverket, bls. 4] er þó líklega til bóta að breyta holrýmdarkröfunum frá því sem tilgreint er í S-16 þannig að þær verði:

- Fyrir BRL 16: 2,0-6,0% (2,0-4,0 sem bráðabirgðaslitlag).
- Fyrir BRL 22: 2,0-6,0% (2,0-4,0 sem bráðabirgðaslitlag).

Þá ætti holrýmd í útlögðu burðarlagi í hæsta lagi að fara í 11%, miðað við 95% þjöppunarhlutfall. Hvað kröfur um holrýmd í bráðabirgðaslitlagi varðar er tæpast ástæða til að hrófla við þeim, hætta á skemmdum á einum vetri er líkast til óveruleg þótt holrýmdin sé 4% (6% í útlögðu malbiki, miðað við 98% þjöppunarhlutfall en það verður að tiltaka í kafla um holrýmd í útlögðu malbiki).

Tafla 1.

Hönnunarkröfur til holrýmdar í malbiki, (Marshallholrýmd), takmarkaðar við PG 160/220 bik, teknar úr nokkrum heimildum.

Verklýsing	BUSL S-16		ATB VÄG 2005		Vegbygging 2005			
					Neðra burðarlag		Efra burðarlag	
Burðarlagsgerð	Minnst	Mest	Minnst	Mest	Minnst	Mest	Minnst	Mest
AG 16			4,0	6,0				
AG 22*			3,0	9,0				
AG 32*			3,0	9,0				
BRL 16	2,0	8,0						
BRL 22	2,0	8,0						
BRL 32	-	-						
AG (<11,2 mm)**					2	14	-	-
AG (>11,2 mm)**					2	12	2	8

*Miðast við sýni úr tilraunakafla í byrjun verks. Taflan sýnir gildi á einstökum sýnum, en meðaltal 5 sýna skal vera á bilinu 3-7%.

** Marshallþjöppun skal vera 2 x 75 högg.

HEIMILDIR

Alverk '95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð*. Vegagerðin. Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. 2000. *Endurskoðun á markalínum fyrir malbik – lokaskýrsla*. BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-16.

NVF 33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag*. Nordisk vegteknisk forbund. Utvalg 33 – Asfaltbelegninger. Rapport nr. 5, 1985.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018 Vegbygging*. Statens vegvesen. Oslo.

Vägarverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager*. VV Publ 2005:112. Borlänge.

9 FRÓÐLEIKUR UM HOLRÝMD OG ÞJÖPPUNARHLUTFALL

Algengustu aðferðir til að tilgreina þjöppun eru [Hunter, bls. 210, í lauslegri endursögn]:

- Samanburður á rúmpýngd borkjarna, teknum úr slitlagi og rúmpýngd sýna sem eru þjöppuð samkvæmt staðli, svo sem Marshallkjarna, þ.e. rúmpýngd í slitlagi í % af rúmpýngd Marshallkjarna (þjöppunarhlutfall⁵).
- Samanburður á rúmpýngd borkjarna, teknum úr slitlagi, og eðlisþýngd⁶ sama malbiks (þetta er hefðbundna aðferðin hérlandis, tilgreinir rúmmálshluta lofts í borkjarnanum í %).
- Samanburður á rúmpýngd borkjarna, teknum úr slitlagi, og höfnunarrúmpýngd⁷ sem er ákveðin á rannsóknastofu.

Önnur heimild [Brown, næsta blaðsíða framan við bls. 1] nefnir eina aðferð til viðbótar:

- Hlutfall af þjöppun í tilraunakafla⁸.

Þjöppun skiptir ótvírætt miklu máli fyrir endingu malbiks og því til stuðnings má draga fram fjöldann allan af rannsóknaniðurstöðum. Hunter (bls. 219) segir til dæmis að þjöppunin þurfi sérstakrar aðgæslu við, annars sé hætt á verulega skertri endingu. Brown (bls. 1) telur holrýmd í malbiki að öllum líkindum vera mikilvægasta einstaka eiginleika malbiks með tilliti til skila⁹. Hann vitnar í ýmsar heimildir og kemst að þeirri niðurstöðu að holrýmd eigi að vera á bilinu 3-8% (þriggja prósentu krafan er miðuð við holrýmd eftir að viðbótarþjöppun frá umferð er um garð gengin). Ekki undir 3% því þá sé hætt á skriði¹⁰ og ekki yfir 8% því þá verði slitlagið lekt, vatn og loft (súrefni andrúmsloftsins gerir bindiefnið stökkt) geti þá valdið skemmdum á slitlaginu. Frostman (bls. 44) vitnar í þýska rannsókn sem ályktar að malbik sé þétt ef holrýmdin er undir 3%, svo til þétt (praktískt taget tät) ef holrýmdin er 3-5%, óverulega lekt (ringa genomslæpplig) ef holrýmdin er 5-8% en lekt ef holrýmdin er meiri.

Hultqvist (bls. 5) kemst svo að orði: „I en tungt trafikerad asfaltbeläggning anses risken för plastisk deformation öka om hållrumshalten är < 2%...“. Í þessu sambandi má taka fram að Svíar hafa lækkað Marshallholrýmd í algengum slitlögum. Í sænskum verklýsingum, ATB VÄG 2005 [Vägverket 2005, bls. 14 og 18] er leyfð holrýmd 1,5-3,5% í hefðbundnu 11 og 16 mm stífmalbiki (AC) og 2,0-3,5% í 11 og 16 mm steinríku malbiki (SMA), en í eldri verklýsingum, VÄG 94 [Vägverket 1994, bls. 43-51], sem tók gildi 1994, eru holrýmdarkröfur fyrir sömu malbiksgerðir 2,4-4,4% (stífmalbik), 2,9-4,9% (SMA 11) og 2,4-4,4% (SMA 16) svo holrýmdin virðist hafa verið lækkuð um 1% eða þar um bil. Í

⁵ Þjöppunarhlutfall; á ensku: *percent of laboratory density*.

⁶ Eðlisþýngd; notað hér sem þýðing á ensku: *theoretical density*.

⁷ Höfnunarrúmpýngd; á ensku: *percentage refusal density*, stundum táknað PRD.

⁸ Þjöppun í tilraunakafla; notað hér sem þýðing á ensku: *percent of control strip*.

⁹ Skil; á ensku: *performance*.

¹⁰ Skriði; á ensku: *deformation*.

borkjörnum má holrýmd vera á bilinu 1,5-5,5% í yfirlagsmalbiki og SMA [Vägverket 2005, bls. 13-19]. Áðurnefndar kröfur gilda fyrir malbik með PG 160/220 bik. Allt þetta bendir til þess að Svíar telji mikilvægt að halda holrýmd niðri, ekki síst í ljósi þess að sumarhitar eru meiri þar en hér og hætta á skriði að sama skapi meiri. Því má bæta við að þjöppunarkrafa, sem var í VÄG 94 hefur verið tekin út í ATB VÄG 2005.

Ekki hefur verið kannað hvort einhverjar svipaðar breytingar á holrýmd hafa verið gerðar í Noregi.

Því má heldur ekki gleyma að eiginleikar steinefnisins svo sem brothlutfall og lögun skipta máli fyrir líkur á skriði, sömuleiðis hlutfall mélu (filler) í steinefninu og bindiefnis í malbikinu. Þess vegna er ekki rétt að einblína á holrýmd þegar hætta á skriði er metin. EN-staðlarnir gera líka ráð fyrir að skriðeiginleikar malbiksins séu prófaðir.

Áherslu á þjöppun má túlka þannig að það sé ekki nóg að holrýmdin sé lítil, það þurfi einnig að tryggja að malbikið sé pressað eins vel saman (hátt þjöppunarhlutfall) og hægt er með góðu móti (án þess þó að holrýmdin verði of lítil, það má fyrirbyggja með sáldurferli malbiksins). Að öðrum kosti verði malbikið laust í sér sem býður upp á sig og skrið. Hátt þjöppunarhlutfall eykur stífni malbiksins [Frostman bls. 57] en þá er að vísu meiri hætta á að það springi á lélegri undirbyggingu. Á þessari forsendu getur skipt máli að tiltaka þjöppunarhlutfall (ekki bara holrýmd) í útlögðu malbiki, þótt líklegt sé að negldir hjólbarðar muni hafa meiri áhrif á endingu þess en stífnin.

Í skýrslu um Superpave [Ásbjörn Jóhannesson, bls. 27] er ályktað að bindiefni það sem mest er notað hérlandis (PG 160/220) henti ágætlega fyrir íslenskar aðstæður og þoli allt að 58°C en hitafar hérlandis geri aðeins kröfu um 34°C (46°C við verstu aðstæður). Það gæti því verið mögulegt að lækka neðri mörk holrýmdar á þessari forsendu, en sem stendur er ekki ljóst hvort svo er, né heldur hvernig hentugast væri að meta það.

Vafalítið er mikilvægt að missa ekki sjónar á sérstöðu okkar hvað veðurfar varðar. Við búum við örar frost-þíðusveiflur, blautar götur langtímum saman að vetrarlagi og gropin steinefni. Vísast má færa rök að því að þessar aðstæður reyni mikið á malbikið; lág holrýmd og þykk bindiefnishimna á steinefnunum sé hvort tveggja æskilegt undir þessum kringumstæðum til að koma í veg fyrir skemmdir. Hátt bindiefnisinnihald vinnur líka gegn sprungum í malbiki þar sem undirbyggingin er ekki upp á það besta, malbikið lagar sig þá frekar að hreyfingum í henni. Sömuleiðis er vafasamt að malbik með holrýmd yfir 4-5% sé nægilega þétt fyrir íslenskar aðstæður, en afgerandi dæmi því til stuðnings eru ekki tiltæk. Þó hefur líka verið sýnt fram á að vatn fer með tímanum gegnum bindiefni sem hefur verið roðið í þunnu lagi á glerplötur, svo það er heldur ekki þétt [Fromm bls. 217]. Rannsóknir hafa líka sýnt [NVF 33, bls. 55] að saltblandað vatn smýgur gegnum bindiefnishimnuna.

Halldór Torfason (áður hjá Malbikunarstöðinni Höfða) telur að lauslega áætlað liggi holrýmd í útlögðu malbiki um 1% ofan við Marshallholrýmd. Hann telur þó að 1% mismunur (99% þjöppun) sé naumt skammtað. Hann staðfesti að Torbjörn Jakobson hafi komið hingað fyrir nokkrum árum, skoðað götur og gert skýrslu þar um. Hann hafi ekki sett út á hátt bindiefnisinnihald hérlandis.

Halldór gat þess einnig að hátt bindiefnisinnihald hefði verið kært vegna banaslyss sem varð á Kringlumýrarbraut fyrir nokkrum árum. Hátt bindiefnisinnihald hefur tilhneigingu til að mynda feita bletti, sérstaklega í steinríku malbiki (SMA).

Reynsla undanfarinna ára bendir til sveiflukenndrar endingar á malbiki á götum Reykjavíkur. Hún gæti stafað af breytingum á holrýmd eða bindiefnisinnihaldi. Þegar skriðs verður vart er reynt að bæta úr því með hærri holrýmd og þegar skemmdir aukast vegna hárrar holrýmdar er bindiefnisinnihaldið aukið á nýjan leik. Sé það hins vegar rétt að skrið sé 10-15% af hjólfaramynduninni er það farið að skipta máli í endingu, það svarar um það bil til þess að hún minnki um eitt ár. Vandinn er að finna út hversu langt niður má fara með holrýmdina án þess að það komi verulega að sök og svarið er vandfundið.

Enn ein hugdetta; er líklegt til árangurs að nota harðara bindiefni og meira af því, vinna þannig samtímis gegn skriði og skemmdum? Gallinn á þessu er sá að þunnum lögnum úr hörðu malbiki hættir við að krossspringa (e. chicken wire cracking) ef þær liggja á lélegri undirbyggingu.

Að síðustu fáein orð um sambandið milli holrýmdar í útlögðu malbiki og þjöppunarhlutfalls:

- Ef áskilið þjöppunarhlutfall (e. percentage reference density) er miðað við eðlisþyngd rúmþyngd og gefið upp sem p% má finna holrýmdina sem 100-p. *Dæmi:* Ef áskilin þjöppun er 98% verður holrýmdin 2%.
- Ef áskilið þjöppunarhlutfall (e. percentage reference density) er miðað við þjöppun á rannsóknastofu (t.d. Marshallþjöppun) og gefið upp sem p% má finna holrýmdina sem $100-p \cdot q/100$ þar sem q er hlutfallsleg þjöppun í Marshallprófi í %. Ef p og q eru hvorutveggja > 95% má með góðri nálgun finna holrýmd í útlögðu malbiki sem $(100-p)+(100-q)=200-p-q$.

HEIMILDIR

- Ásbjörn Jóhannesson. 2005. *Superpave*. Skýrsla nr. 05-04. Unnið fyrir Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.
- Brown, E. R. 1990. *Density of Asphalt Concrete – How Much is Needed*. NCAT Report No. 90-3. <http://ntl.bts.gov/lib/3000/3800/3898/rep90-3.pdf>
- Fromm, H. J. 1974. *The Mechanisms of Asphalt Stripping from Aggregate Surfaces*. Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 43. Ann Arbor.
- Frostman, P. og B. Simonsson. 1984. *Massasammansættningens och packningsgradens inverkan på hållbarheten hos asfaltbetong*. Rapport till förbundsutskottsmötet i Stockholm 2 och 3 juni 1984. NVF Utskott 33 Asfaltbeläggningar.
- Hultqvist, Bengt-Åke. 1993. *Asfaltbeläggningars deformationsegenskaper – Kunskapsöversikt*. VTI notat nr. V 205 Väg- och Trafikinstitutet.
- Hunter, Robert N. (editor). 1994. *Bituminous mixtures in road construction*. Thomas Telford, London.
- NVF 33. 1985. *Materialegenskaper og funktionskrav for varmblandede dekker og bærelag*. Nordisk vegteknisk forbund. Utvalg 33 – Asfaltbelegninger. Rapport nr. 5 1985.
- Vägverket. 1994. *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktioner VÄG 94. 6. Bitumenbundna lager*. VV Publ 1994:26. Borlänge.
- Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager*. VV Publ 2005:112. Borlänge.

10 ÞJÖPPUNARKRÖFUR FYRIR MALBIK

Hér kemur tvennt til greina:

- Tiltaka þjöppunarhlutfall, þ.e. rúmpýngd borkjarna úr útlögðu malbiki í % af Marshallrúmpýngd.
- Tiltaka holrýmd í útlögðu malbiki.

Fyrirgreinda aðferðin hefur einn augljósan kost. Hún gefur til kynna hversu mikið malbikið (sem þarf ekki endilega að vera nákvæmlega eins og hönnunin segir fyrir um) hefur verið þjappað miðað við þá þjöppun sem hönnunin gerði ráð fyrir að malbikið fengi. Ókosturinn er sá að þessi aðferð er dýr, auk holrýmdarmælinga á borkjarnanum þarf að hita malbikið upp og þjappa það í Marshallhamri til samanburðar ef vel á að vera. Ef malbikslagið er þunnt getur jafnvel þurft nokkra kjarna til að fá nóg efni í samanburðinn. Annar möguleiki er að miða við Marshallrúmpýngd úr hönnunarprófinu. Það er vafasamari aðferð, því útlagða blandan gæti verið eitthvað öðruvísi en hönnunarblandan og það gæti gefið ranga mynd af þjöppuninni og um þessa aðferð gæti orðið ágreiningur.

Síðarnefnda aðferðin er einfaldari og ódýrari. Gallinn á henni er sá að hún tryggir ekki að malbikið sé vel þjappað, aðeins að holrýmdin sé innan marka. Það er hugsanlegt að lág holrýmd náist með tiltölulega lítilli þjöppun, malbikið getur þess vegna verið laust í sér eftir þjöppun, ef svo má segja, þótt það sé ef til vill langsótt áhyggjuefni.

Í Efnisgæðaritinu er gerð krafa um að $\geq 96\%$ rúmpýngd af rúmpýngd fenginni með mælingu strax eftir völtun með geislaeðli eða rafsegulbylgjum. Auk þess er gerð krafa um að holrýmd stífmalbiks (AC) sé á bilinu 1,5-4,5%, steinríks malbiks (SMA) á bilinu 1,5-4,5% og burðarlagsmalbiks á bilinu 2,0-7,0%.

HEIMILDIR

Alverk '95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð*. Vegagerðin. Reykjavík.

Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. 2000. *Endurskoðun á markalínum fyrir malbik – lokaskýrsla*. BUSL – Slitlaganefnd. Skýrsla S-16.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000*. Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018 Vegbygging*. Statens vegvesen. Oslo.

Väggerket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel I Typblad, kontrollblad, bindemedel och konstruktionstyper för bitumenbundna lager*. VV Publ 2005:112. Borlänge.

11 HOLRÝMD Í STEINEFNI OG FYLLT HOLRÝMD

Með *holrýmd í steinefni* er átt við þann hluta af rúmmáli þjappaðrar malbiksblöndu sem steinefnið fyllir ekki, með öðrum orðum er hún sá rúmmálshluti malbiksblöndunnar sem er bindiefni og loft. Holrýmd í steinefni breytist með hámarkskornastærð blöndunnar, þjöppun malbiksins og að nokkru leyti bindiefnisinnihaldi og öðrum stikum, svo sem lögun steinefnis.

Annað nátengt hugtak er *fyllt holrýmd*. Með fylltri holrýmd er átt við þann hluta af holrýmd í steinefni sem er fylltur með bindiefni. Það sem eftir stendur er þá holrýmd í malbiki, sem í daglegu tali er stytt í *holrýmd*.

Ef sáldurferillinn er einskorna eða sérstaklega óheppilegur í lögun getur holrýmd í steinefni farið allt upp í 30%. Ef méluinnihaldið er fram úr hófi hátt í annars grófum sáldurferli, getur holrýmd í steinefni á hinn bóginn farið niður fyrir 10%. Hæfileg holrýmd í steinefni er alla jafna á bilinu 14-20%, 15-18% er algengt í AC 16 stífmalbiki. Að jafnaði er reynt að halda holrýmd í steinefni eins lágrí og kostur er, þó þannig að þar verði rúm fyrir nægilegt bindiefni og lágmarks holrýmd [Wallace 1967, bls. 67]. Þreytuþol malbiks eykst að jafnaði með lækkandi holrýmd í steinefni, sömuleiðis mótstaðan gegn skriði [Hilliges 1995, bls. 176]. Í verklýsingum eru að jafnaði ekki gerðar kröfur til holrýmdar í steinefni, heldur tilgreind leiðbeinandi gildi. Norskar og sænskar verklýsingar [Statens vegvesen 2005, Vägverket 2005] hafa til dæmis engin ákvæði um holrýmd í steinefni. Í finnskum verklýsingum [PANK 2000, bls. 62] eru hins vegar tilgreind leiðbeinandi mörk, 13-17% í stífmalbiki (AC) og 16-20% í steinríku malbiki (SMA). Í amerískum leiðbeiningabæklingi [Asphalt Institute 1984, bls. 32] er varað við því að holrýmd í steinefni fari niður fyrir ákveðið lágmark, sem er fall af efri flokkunarstærð malbiksins. Fyrir malbik með efri flokkunarstærð 16 mm er þetta lágmark 13-14%.

Holrýmd í steinefni þarf að fylla að mestu með bindiefni, þó ekki að fullu, því þá er hætt á að bindiefnið pressist upp á yfirborðið í hitum, slitlagið verði hált og skriði undir þungri umferð. Á hinn bóginn þarf að fylla nægilega mikið af holrýmdinni í steinefninu með bindiefni til að slitlagið verði vatnspétt, með öðrum orðum; svo að holrýmd í malbiki verði hæfileg.

Heppileg fyllt holrýmd er oft á bilinu 75-85%; fyrir sumar slitlagsgerðir eru efri mörkin stundum höfð hærri [Hilliges 1995, bls. 176]. Norskar verklýsingar [Statens vegvesen 2005, bls. 283-284] gera kröfu um að fyllt holrýmd í slitlagi (þjöppun 2 x 75 högg í Marshallprófi) sé á bilinu 75-90% ef umferðin er undir 5000 ÁDU, annars 70-85%. Í burðarlagi á fyllt holrýmd að vera $\geq 45\%$ (sama heimild bls. 218). Finnskar verklýsingar [PANK 2000, bls. 62] hafa leiðbeinandi gildi fyrir fyllta holrýmd; 80-90% fyrir slitlag og bindilag en 70-80% fyrir burðarlag. Keppikeflið er að fyllt holrýmd sé mitt á milli markanna. Sænskar verklýsingar [Vägverket 2005] hafa engin ákvæði um fyllta holrýmd.

HEIMILDIR

Asphalt Institute. 1984. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*. Manual Series No. 2 (MS-2). May 1984 edition. Maryland.

Hilliges, F. (redaktör). 1995. *FAS Asfaltbok*. Föreningen för Asfaltbeläggningar i Sverige. Stockholm.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000*. Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging*. Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel F Bitumenbundna lager*. VV Publ 2005:112. Borlänge.

12 FRÓÐLEIKUR UM VIÐLOÐUN OG VIÐLOÐUNARPRÓF

Ef tvö efni komast í nána snertingu hvort við annað eiga þau til að festast eða límast saman. Þessi eiginleiki er kallaður viðloðun. Því haldbetri sem festingin er þeim mun betri er viðloðunin sögð vera [Rannsóknir á viðloðunarefnum, 1966, bls. 2].

Viðloðun í bikbundnum slitlögum má skilgreina sem styrkleika bindingsins milli bindiefnis og steinefnis. Mæling á þessum styrkleika er hins vegar verulegum erfiðleikum bundin og í staðinn er notast við óbeina mælingu, þar sem blöndum af steinefni og bindiefni er raðað eftir svörun þeirra við ákveðinni áraun undir tilteknum kringumstæðum.

Þegar bikbindiefni kemst í snertingu við þurrt og hreint steinefni er viðloðunin undantekningarlítið góð. Öðru máli gegnir ef yfirborð steinefnisins er rakt, þá er viðloðunin venjulega slæm. Orsökina er sú að í flestum tilfellum er viðloðun vatns og steinefnis sterkari en viðloðun bindiefnis og steinefnis. Af þessu má draga tvær mikilvægar ályktanir:

- Ef steinn er þakinn vatni loðir venjulegt bindiefni (þ.e. án viðloðunarhvata) illa eða alls ekki við hann.
- Þótt steinninn sé þegar þakinn bindiefni getur vatn samt sem áður hrakið bindiefnið af honum ef vatnið kemst í gegnum bindiefnishimnuna (t.d. ef hún rifnar) og að yfirborði steinsins.

Viðloðun bindiefnis og steinefnis er háð ýmsum eiginleikum beggja efnispátta. Þessir eru helstir:

- *Kísilsýruinnihald steinefnis.* Að líkindum hafa bergtegundir með hátt kísilsýruinnihald (> 60%) að jafnaði lakari viðloðun en lágt. Sem þumalfingursreglu má nota að ljós steinefni (granít, kvarsít, díorit) hafa yfirleitt lakari viðloðun en dökk (basalt).
- *Gropa.* Stundum er erfitt að þurrka gropin steinefni fullkomlega. Ef ekki tekst að þurrka allt vatn úr gropunum, getur vatnið í þeim þrengt sér milli bindiefnishimnunnar og steinsins og rífið hana frá. Ef steinefnið er hins vegar fullþurrt, þrengir bindiefnið sér inn í gropurnar og þá fæst betri viðloðun (stærri snertiflötur) en í gropulausu efni.
- *Kornalögun og yfirborðsáferð.* Á hvössum brúnum steinefnisins er bindiefnishimnan þunn. Þar er hætt við að himnan rifni, vatn komist undir hana og byrji að flysja bindiefnishimnuna frá. Sama máli gegnir um steinefni í yfirborði slitlagsins, þar rofnar bindiefnishimnan af völdum negldra hjólarða.
- *Hreinleiki.* Ef steinefnið er óhreint (fínefnasmurt) getur viðloðun brugðist jafnvel þótt það sé fullkomlega þurrt, vegna þess að óhreinindin varna bindiefninu að komast í fulla snertingu við steinefnið. Þá getur verið til bóta að þvo steinefnið. Veðrunarhúð á steinefninu getur haft samskonar áhrif.
- *Seigja bindiefnis.* Því þynnra sem bindiefnið er, þeim mun auðveldara á það með að væta steinefnið og smjúga inn í gropur. Að sama skapi er auðveldara fyrir vatn að flysja bindiefnishimnuna af, ef það kemst á milli steins og bindiefnis.
- *Efnafræðilegir eiginleikar.* Talið er að sýrustig bindiefnis hafi áhrif á viðloðun þess við steinefni.
- *Íaukar.* Viðloðunarefni, íaukar sem stundum er blandað í bindiefni geta bætt viðloðun til muna.

Viðloðun getur verið tvenns konar:

- *Treg (e. passive) viðloðun.* Að jafnaði límist bindiefni við þurran stein, þótt það nái engri festingu við hann rakan. Þetta er kölluð treg viðloðun. Þessi gerð af viðloðun er algengust í malbiki.
- *Áleitin (e. active) viðloðun.* Ef dropi af bindiefni, sem snertir rakan stein, skríður út yfir steininn þannig að snertiflöturinn stækkar er viðloðunin kölluð áleitin. Þetta er merki um að viðloðun bindiefnisins við steininn sé meiri en viðloðun vatns við hann. Þegar viðloðunarefnum er blandað í bindiefni breytist viðloðunin oft úr tregri viðloðun í áleitna.

Viðloðunarefni, geta bætt viðloðun til muna, einkum ef bindiefni með litla seigju eiga í hlut. Ef viðloðun verður að vera áleitin, eins og þegar þunnfljótandi bindiefni (svo sem bikþeytu) er blandað í rakt eða hálfþurrkað steinefni verður steinefnið að vera hreint og lítt eða ekki veðrað. Viðloðunarefni eru talin halda virkni sinni svo árum skiptir, a.m.k. þegar malbik á í hlut.

Algengust þeirra viðloðunarefna sem nú eru notuð eru fituamin. Það eru kolvetnakeðjur með aminhóp á öðrum endanum. Sá endi er hlaðinn og binst auðveldlega hleðslum á yfirborði steinefnisins. Hinn endinn er fitusækin og tengist þess vegna bindiefninu. Þessi virkni getur verið svo öflug að viðloðunin verði áleitin, eins og berlega kemur í ljós þegar viðloðun er prófuð í svokölluðu hrærsluprófi.

Viðloðun getur skipt miklu máli fyrir endingu slitlags og þess vegna hafa verið reyndar ótal aðferðir til að prófa viðloðunareiginleika steinefna og áhrif vatns á malbik. Þessar prófunaraðferðir hafa allar sætt gagnrýni en eru þó, sumar hverjar að minnsta kosti, taldar gefa sterkar vísbendingar um viðloðunareiginleika. Prófunaraðferðunum má skipta í tvo flokka:

- *Prófun á viðloðunareiginleikum steinefna.* Þá er bindiefni blandað saman við steina, raka eða þurra, og mælt á einhvern hátt hversu vel bindiefnið loðir við þá. Af þeim sem hafa verið notuð hérlandis eru hrærslupróf á viðloðun og rúlluflöskupróf algengust.

Hrærslupróf á viðloðun prófar áleitna viðloðun. Þá er þunnu bindiefni, blönduðu viðloðunarefni, hrært saman við blautt steinefni í stærðaflokknum 4-16 mm í fáeinar mínútur í þar til gerðri hrærivél. Síðan er vatni hellt yfir og hrært í klukkustund. Að því búnu er þakningin metin [Ásbjörn Jóhannesson 1977, bls. 31]. Þetta próf hefur reynst vel til að meta viðloðunareiginleika steinefna, sem á að nota í klæðingar.

Rúlluflöskupróf [ÍST EN 12697-11] mælir trega viðloðun. Þurru steinum í stærðaflokkum á bilinu 5,6-11,2 mm er blandað saman við bik (með eða án viðloðunarefnis). Að því loknu eru steinarnir, einn og einn, tíndir upp í 500 ml glerflöskur þar til 150 g eru komin í hverja af þrem flöskum, og þær síðan fylltar að mestu með vatni. Þá eru flöskurnar lagðar á hliðina í vél sem veltir þeim í sífellu. Eftir 6 klst og aftur eftir 24 klst (prófið má einnig framlengja í 48 og 72 klst) eru steinarnir skoðaðir og þakning þeirra metin. Þetta próf hefur verið notað lítið eitt hérlandis en árangurinn orkar tvímælis, nákvæmnin er ekki sérlega mikil. Í kafla 6 í Efnisgæðaritinu er gerð sú krafa að steinefni í malbiki skuli hafa a.m.k. 25% þakningu úr rúlluflöskuprófi eftir hrærslu í 48 klst.

- *Prófun á malbiki.* Styrkleiki sýna (borkjarna, Marshallkjarna eða svipaðra sívalninga) af malbiki er borinn saman við styrkleika samskonar sýna sem hafa sætt áraun frá vatni við tiltekið hitastig. Í undantekningartilfellum er bætt við nokkrum frost-þíðusveiflum. Próf af þessu tagi eru kölluð vatnsnæmipróf og algengasta prófið hérlandis af þessu tagi er kleyfnipróf á viðloðun.

Kleyfnipróf á viðloðun [ÍST EN 12697-23] mælir trega viðloðun og byggist á styrkleikasamanburði sýna sem annars vegar hafa legið í vatni í 3 sólarhringa

við 40°C og hinsvegar sýna sem eru prófuð þurr. Síðan er kleyfniþol (indirect tensile strength) beggja sýnahópa prófað og hlutfallið tekið sem mælikvarði á vatnsnæmi malbiksins. Þetta próf hefur verið notað hérlandis sem gerðarpróf á malbiki ef umferð er mikil (ásamt hjólfaraprófi og slitþolsprófi) og niðurstöðurnar hafa verið í viðunandi samræmi við reynslu.

Í ljósi þess að aðstæður hérlandis (margar frost-þíðu sveiflur, blaut slitlög vegna úrkomu og hálkueyðingar) gera miklar kröfur til viðloðunar bindiefnis við steinefni og þol slitlaga gagnvart áraun frá vatni, er æskilegt að prófa viðloðunareiginleika slitlaga á einhvern hátt. Þótt viðloðunarpróf séu frumstæð, eru þau samt sem áður líkleg til að geta raðað slitlagsgerðum með hliðsjón af viðloðunareiginleikum og gefið vísbendingu um endingu.

HEIMILDIR

Ásbjörn Jóhannesson. 1977. *Viðloðun í olíumöl og malbiki*. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

ÍST EN 12697-11. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

ÍST EN 12697-23. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 23: Determination of the indirect tensile strength of bituminous specimens*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Rannsóknir á viðloðunarefnum. 1966. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

13 FRÓÐLEIKUR UM RÚLLUFLÖSKURPRÓF

Árið 1986 voru gerðar viðloðunarprófanir á nokkrum efnum með rúlluflöskuprófi [Nordisk Vegteknisk Forbund 1986, bls. 27-29]. Steinefnið var í stærðaflokknum 9,5-11,2 mm og þrír rannsóknamenn mátu þakninguna. Það var úr ýmsum námum, íslenskum (ÍS), færeyskum (FÆ), norskum (N) og sænskum (SE). Bindiefnið var bik með stungudýpt um 150 mm/10. Um viðloðunarefni er ekkert tekið fram, né heldur hvort það var notað. Niðurstöður eftir 48 klst. prófun eru sýndar í töflu 1. Í sömu töflu eru einnig sýndar niðurstöður kleyfniþolsprófs á vatnsnæmi malbiks úr sömu steinefnum.

Tafla 1.
Niðurstöður rúlluflöskuprófs og kleyfniþolsprófs á viðloðun á nokkrum malbiksefnum með biki með stungudýpt 150 mm/10. Meðaltal þakningar í rúlluflöskuprófi var metin af þrem mönnum eftir prófun í 48 klst.

Steinefni	Þakning [%]	Kleyfniþol [%]	Reynsla
Hundsarabotnur (FÆ)	22	76	Góð
Lambareiði (FÆ)	7	26	Slæm
Porkeri (FÆ)	45	92	Góð
Björgun (ÍS)	3	50	Miðlungs
Selás (ÍS)	9	74	Góð
Snasi (ÍS)	33	98	Góð
Stapafell (ÍS)	7	66	Miðlungs
Vatnsskarð (ÍS)	5	65	Lítið slitþol
Skyggastein (N)	40	58	Lítið slitþol
Steinshögda (N)	26	75	Góð
Granít (SE)	19	71	Óvíst
Kvarsít (SE)	13	68	Óvíst

Taflan gefur í skyn að samhengið milli kleyfniþols og þakningar eftir 48 klst prófun sé ótraust, sömuleiðis er samhengið milli þakningar og reynslu ekki sannfærandi.

Árið 1987 gerði Steinefnanefnd rannsóknir á rúlluflöskuprófi, þar sem steinefni úr sextán námum, langflestum íslenskum, voru prófuð [Steinefnanefnd 1994, bls. 9-10]. Steinefnið var í stærðaflokknum 5,6-8,0 mm, bindiefnið var vegolía, blönduð 1% af Diamin HBG. Þrjú sýni voru prófuð af hverju steinefni og þrír menn mátu þakninguna á hverju sýni. Prófununum var hagað þannig að fyrst var fyrsta sýni (ein flaska) af hverju steinefni prófað og þakningin metin af öllum matsmönnum þremur, síðan næsta sýni á sama hátt og að lokum hið þriðja. Í hverri prófun var þakningin metin eftir eina, þrjár, sjö, 24 og 48 klst. Niðurstöðurnar eftir 48 klst prófun eru sýndar í töflu 2, tölur um þakningu eru hækkaðar eða lækkaðar í næsta heila margfeldi af 5.

Á grundvelli þessara prófana var ályktað að munur á þakningarmati einstakra manna væri mikill og þakning steinefna í prófinu væri ekki í samræmi við reynslu af þeim í vegi né heldur niðurstöður

annarra prófana. Á þessum forsendum ákvað Steinefnanefnd að gera ekki frekari rannsóknir á rúlluflöskuprófinu.

Niðurstöðurnar úr þessari athugun voru notaðar til að meta nákvæmni rúlluflöskuprófsins. Staðalfrávik (endurtekinnna) mælinga er á bilinu 0-23, oftast þó á bilinu 2-7. Frávikshlutfall (staðalfrávik sem hlutfall af mældu gildi) er á bilinu 0-100%. Mat rannsóknamanna á þakningu er marktækt mismunandi, og hefur meiri áhrif á niðurstöðurnar en steinefnið. Sömuleiðis er marktækur munur á milli prófunarumferðanna þriggja. Rétt er að taka fram að þessar samanburðarprófanir þurfa ekki að vera gildar fyrir prófanir á steinefnum í malbik, þar sem vegolía var notuð við prófanirnar.

Tafla 2.

Niðurstöður rúlluflöskuprófs á viðloðun á nokkrum malbiksefnum með vegolíu blandaðri viðloðunarefni. Meðaltal þakningar á þrem sýnum, metin af þrem mönnum eftir prófun í 48 klst.

Steinefni	Þakning, %, metin af matsmanni nr:		
	1	2	3
Bakkaá	25	35	30
Björgun	5	10	5
Esjuberg	10	20	10
Granít	5	20	20
Grjóteyrarhæðir	15	20	20
Haukadalsá	5	20	5
Hvalfjarðareyri	10	25	10
Korpúlfsstaðir	5	10	5
Kvarsít	25	35	10
Melar	10	25	10
Núpar	5	15	5
Snasi	30	40	30
Stardalur	25	35	20
Stóra-Fellsöxl	10	30	10
Stóra-Laxá	20	25	15
Vatnsskarð	5	10	5

Gerð voru rúlluflöskupróf vorið 2007 á viðloðun fjögurra steinefna (Durasplitt, Harðikambur, Hólabrú og Seljadalur) við mjúkt bik, með og án viðloðunarefnis (0,3% Wetfix I), fyrst og fremst til að kanna nákvæmni prófsins [Arnpór Ó. Arason, 2007]. Tveir rannsóknamenn mátu þakningu að prófun lokinni, óháð hvor öðrum. Lausleg athugun á niðurstöðunum sýnir lítinn (5 prósentustiga) en marktækan mismun á mati þeirra. Viðloðunarprófin voru ekki endurtekin, en samanburður á niðurstöðum hlutsýna (sem eru þrjú í hverri prófun) gefa til kynna að staðalfrávik þakningar á hlutsýnum sé að meðaltali rúm fjögur prósentustig og að ólíklegt sé að mismunur endurtekinnna viðloðunarprófa með þessum hætti fari yfir 10 prósentustig, ef annarhvor áðurnefndra rannsóknarmanna prófar.

Í lokin má geta staðals um prófanir á viðloðun í rúlluflöskuprófi [ÍST EN 12697-11]. Þar segir að óformlegar athuganir á rúlluflöskuprófi sýni að „repeatability“ (endurtekningarnákvæmni prófsins innan sömu rannsóknastofu) sé 20% og „reproducibility“ (endurtekningarnákvæmni prófsins milli rannsóknastofa) sé 30%. Með öðrum orðum er ekki ástæða til að rengja niðurstöður tveggja prófana samkvæmt staðlinum á sams konar sýnum sem sami maður prófar á sömu stofu með sama

tækjabúnaði, meðan mismunur þessara tveggja prófana fer ekki yfir 20%. Á hliðstæðan hátt er ekki ástæða til að rengja niðurstöður tveggja prófana á samskonar sýnum sem sinn hvor maðurinn prófar, hvor á sinni rannsóknastofu, hvor með sínum tækjabúnaði, meðan mismunur þessara tveggja prófana fer ekki yfir 30%.

HEIMILDIR

Alverk '95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega og brúargerð*. Vegagerðin, Reykjavík.

Arnpór Ó. Arason. 2007. *Rúlluflöskupróf skv. ÍST EN 12697-11*. Óbirt minnisblöð frá prófunum á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

ÍST EN 12697-11:2005. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Nordisk Vegteknisk Forbund. 1986. *Bruk av poröst steinmateriale til asfaltdekker*. Utvalg 33-Asfaltbelegninger. Rapport nr. 10, 1986. Reykjavík.

Steinefnanefnd. 1994. *Steinefni í bundin slitlög*. Viðloðunarpróf. Reykjavík.

14 VATNSNÆMI MALBIKS

Vatnsnæmi er einn þeirra mælikvarða sem notaður er til að meta viðloðun milli bindiefnis og steinefnis í malbiki. Prófun á vatnsnæmi byggist í stórum dráttum á því að bera styrkleika (þrýstipól, kleyfnipól, þreytupól) malbikssýna, sem hafa legið í vatni tiltekinn tíma, með eða án frost-þíðu áraunar, saman við styrkleika samskonar malbikssýna sem hafa verið geymd jafnlengi þurr. Fjölmargar aðferðir hafa verið reyndar til að mæla vatnsnæmi en þær eru allar annmörkum háðar og yfirleitt hefur ekki tekist að sýna fram á sterkt samband milli prófunarniðurstöðu og endingar [Nordisk Industrifond 2004, bls. 60-69]. Sú aðferð sem hefur reynst einna best er kleyfnipróf og hún hefur verið notuð hérlandis, meðal annars við gerðarprófanir malbiks þar sem umferð er mikil. Kostur við þessa aðferð er að hana má nota jafnt á Marshallkjarna sem borkjarna úr slitlagi.

Vatnsnæmi er að líkindum tengt endingu malbiks og sennilega er þörf á að mæla það á einn eða annan hátt. Rökin með eru þau að slitlög hérlandis eru oft blaut langtímum saman á veturna og frost-þíðusveiflur margar. Auk þess er efni í malbik stundum tekið úr sjó, og tilraunir hafa sýnt að malbikskjarnar úr saltblönduðu steinefni, sem hafa legið lengi í vatni, bila miklu fyrr undir sveiflandi álagi en malbikskjarnar úr samskonar steinefni en saltlausu. Ennfremur er talið að kísilsýrurík steinefni (sem er dæmigert fyrir innflutt steinefni) hafi að jafnaði lakari viðloðun en basísk steinefni (svo sem íslenskt basalt). Vegna notkunar negldra hjólbarða rofnar bindiefnishúðin á steinum í yfirborði slitlagsins strax á fyrsta vetri og þar getur vatn komist á milli bindiefnis og steins og rofið bindinginn þar á milli. Mótrökin eru hins vegar þau að holrýmd er af ásettu ráði haldið mjög lágrí í íslensku malbiki, svo það má með nokkrum sanni kallast vatnsþétt, og ætti þess vegna ekki að verða fyrir skemmdum af vatni, nema þá á yfirborðinu. Einnig hefur tíðkast á síðari árum að setja ætíð viðloðunarefni í bindiefnið, sem styrkir tengslin milli bindiefnis og steinefnis. Að sögn heldur viðloðunarefnið virkni sinni árum saman [Jacobson 2000, bls. 22].

Sænskar verklýsingar [Vägverket 2005, bls. 22-23] gera kröfu um að vatnsnæmi sé prófað minnst einu sinni á ári á steinefni úr hverri námu í notkun. Sýnið má vera borkjarnar eða Marshallkjarnar úr viðkomandi malbiki. Auk þess eru gerðar kröfur um vatnsnæmipróf á útlögðu malbiki, ef magnið er meira en 2000 tonn. Fyrir hver byrjuð 8000 tonn í útlögn skal prófa eitt borkjarnasýni. Prófunaraðferðin er kleyfnipróf á viðloðun (sjá ÍST EN 12697-12). Kröfurnar eru mismunandi eftir malbiksgerðum, fyrir slitlag þarf hlutfallið að vera > 70%, fyrir bindilag > 75%, en fyrir afréttingarlag og burðarlag > 60%.

Norskar verklýsingar [Statens vegvesen 2005] hafa engar kröfur til vatnsnæmi.

Samkvæmt finnskum verklýsingunum [PANK 2000 bls. 61] er ekki skylt að mæla vatnsnæmi malbiks nema þess sé talin þörf. Vatnsnæmi er mælt með kleyfniprófi á viðloðun samkvæmt nánari fyrirmælum. Krafan fyrir hefðbundið stífmalbik (AC) er að hlutfallið sé $\geq 80\%$ en $\geq 60\%$ fyrir drenmalbik.

Í Efnisgæðaritinu er krafa um vatnsnæmipróf vegna gerðarprófana á malbiksgerðum, kleyfnipróf á viðloðun [ÍST EN 12697-12], en nákvæmninni er samkvæmt áðurnefndum staðli er að ekki er ástæða til að rengja niðurstöður nema mismunur tveggja mælinga sé meiri en 15%.

HEIMILDIR

Alverk '95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega og brúargerð*. Vegagerðin, Reykjavík.

Aurstad, J. (verkefnisstjóri). 2004. *Beständighet hos asfaltbeläggningar. State-of-the-art*. Faglig sluttrapport – forprosjekt. Nordisk Industrifond.

ÍST EN 12697-12. *Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 12: Determination of the water sensitivity of bituminous specimens*. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.

Jacobson, T. 2000. *Utredning av beläggningsskader på Island (Reykjavik)*. VTI notat 60-2000. Väg- och transportforskningsinstitutet. Linköping.

PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000*. Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

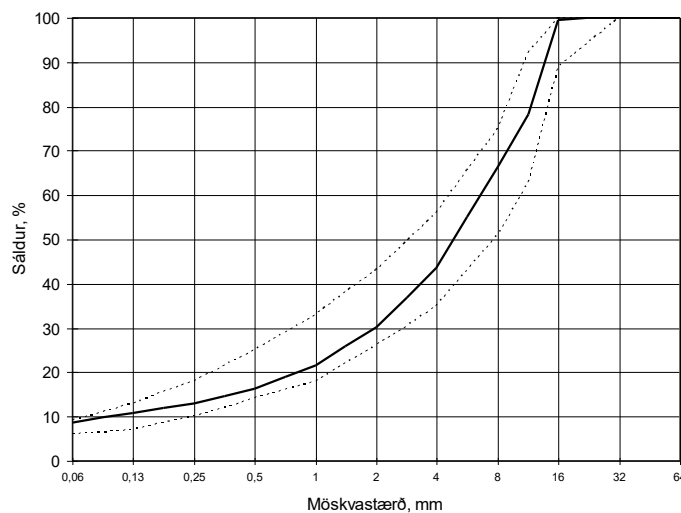
Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging*. Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel F Bitumenbundna lager*. VV Publ 2005:112. Borlänge.

15 UM ÁHRIF SALTS Á ÞREYTUÞOL MALBIKS

Árið 2006 hófust rannsóknir á áhrifum salts á þreytuþol malbiks á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins. Þær voru fjármagnaðar af Rannsókn- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar og markmiðið var meðal annars að kanna hvort salt í malbiksefnum (teknum úr sjó eða úr flæðarmáli) sé líklegt til að skerða endingu malbiks undir sveiflandi álagi eins og gerist undir umferð. Í fyrsta áfanga voru gerðar nokkrar mælingar til að kanna hvort salt í steinefninu hefði áhrif á þol malbiks í einása sveifluþrófi eftir mismunandi langa geymslu í vatni.

Gerðir voru 32 malbikssívalningar, helmingur þeirra úr hreinu steinefni og hinn helmingurinn úr saltblönduðu steinefni, 10 cm í þvermál og 10 cm háir. Malbikið í þá var blandað úr steinefni frá Seljadal frá Malbikunarstöðinni Höfða og mjúku biki (PG 160/220), án viðloðunarefnis. Sáldurferillinn var í samræmi við kröfur til stífmalbiks, AC16 í verklýsingum Vegagerðarinnar og er sýndur á mynd 1 ásamt markalínunum fyrir AC16. Þyngdarhlutfall bindiefnis af blöndu var 5,8%, holrýmdin 5,9-6,4% og henni var stýrt með snúðþjöppu (e. gyratory compactor). Steinefni í helming sívalninganna var látið liggja í 3% vatnslausn af matarsalti, NaCl, í sjö sólarhringa og síðan þurrkað áður en malbikið var blandað. Með stoð í lauslegum útreikningum má ætla að 0,8 g salts séu í hverjum sívalningi, eða 0,4‰ af þyngd steinefnis. Hinn helmingur sívalninganna var saltlaus.



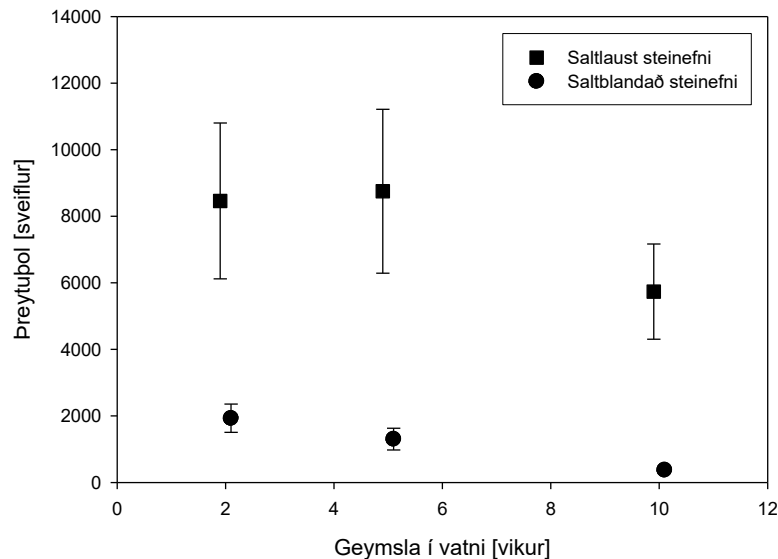
Mynd 1.

Sáldurferill steinefnis í malbikssívalningum (heildregin lína) ásamt markalínunum fyrir AC16 (punktalínur).

Sívalningunum var skipt í syrpur þannig að í hverri syrpu voru fjórir sívalningar með saltblönduðu steinefni og aðrir fjórir saltlausir. Sívalningarnir voru valdir í syrpurnar með hjálp slembitalna. Hver syrpa var látin standa í vatni við stofuhita í tvær, fimm eða tíu vikur, án lofttæmingar. Að því búnu voru sívalningarnir prófaðir.

Prófunaraðferðin er mjög einfölduð útgáfa af sænskri prófunaraðferð [Höbeda 1999, bls. 29]. Þegar sívalningur hafði verið í vatnsbaði tilsettan tíma var honum komið fyrir í þríasatæki undir

sveiflandi álagi, án hefðbundins hliðarstuðnings en á kafi í vatni. Hitastigi vatnsins var ekki stýrt meðan á prófun stóð en var um 20°C. Þrýstingur á yfirborð vatnsins (selluþrýstingur) var hafður 100 kPa. Grunnálag á endafleti sívalninganna var sömuleiðis haft 100 kPa. Síðan var lagt 600 kPa sveiflandi álag (e. haversine) á endafletina með tíðnina 3 Hz. Mesta aflögun var takmörkuð við 15 mm og hámarksfjöldi sveifla við 100.000. Streita var mæld sem fall af sveiflufjölda.



Mynd 2.

Þreytupól malbikssívalninga úr hreinu og saltblönduðu steinefni í prófun undir sveiflandi álagi eftir geymslu í vatni í mismunandi langan tíma. Grönn strík sýna 95% öryggisbil fyrir meðaltal mælinga á hverri malbiksgerð.

Niðurstöðurnar prófananna gefa eftirfarandi til kynna:

- Ef steinefnið er saltlaust er þreytupólið áþekkt hvort sem malbikið er geymt í vatni í tvær, fimm eða tíu vikur.
- Þreytupól malbiks úr saltlausu steinefni er um það bil fjórfalt til tífalt á við þreytupól malbiks úr steinefni sem inniheldur um 0,4% salts af þyngd steinefnis, eftir geymslu í vatni í tvær, fimm eða tíu vikur. Margfeldið hækkar eftir því sem malbikið er geymt lengur í vatni, m.ö.o. eykst mismunurinn á þreytupóli malbiks úr saltblönduðu steinefni og saltlausu eftir því sem geymslutími malbiksins í vatni eykst.
- Þreytupól malbiks úr saltblönduðu steinefni virðist minnka í réttu hlutfalli við geymslutíma í vatni, sjá mynd 2. Dreifing niðurstaðna úr prófunum á samskonar sýnum er mikil og óvíst að munurinn á þreytupóli sýna úr saltblönduðu steinefni eftir tvær vikur annars vegar og fimm vikur hinsvegar sé marktækur. Hins vegar er samsvarandi mismunur eftir geymslu í vatni í fimm vikur annars vegar og tíu vikur hinsvegar ótvírætt marktækur.

Þess má geta að forprófanir (á samskonar malbikssívalningum og niðurstöðurnar hér á undan byggjast á) sýndu engan mun á þreytupóli malbiks úr hreinu og saltblönduðu steinefni, ef sívalningarnir höfðu ekki legið í vatni. Þetta bendir til að skert þreytupól í malbikssýnum sem þessum komi því aðeins fram að steinefnið sé saltblandað og að sýnin hafi legið í vatni.

Í byggingarreglugerð er krafa um að innihald af NaCl í þurru sandi sem nota á í járnbenta steypu sé ekki meira en 0,6 g/kg og 0,2 g/kg (g/kg samsvarar ‰ af þyngd) ef sandinn á að nota í strengjasteypu. Í þessu ljósi er athyglisvert að 0,4% saltinnihald skuli hafa jafn afdráttarlaus áhrif á þreytupól malbiks og ofangreindar niðurstöður gefa til kynna.

Ofangreindar niðurstöður niðurstöður vekja vonir um að hægt sé að stýra viðloðun milli steinefnis og bindiefnis að vissu marki með því að blanda ákveðnu magni af salti í steinefnið og setja

malbikið síðan í vatn, reyndar aðeins til að skerða viðloðun milli steinefnis og bindiefnis. Reynist þetta rétt gæti það hugsanlega komið að notum við rannsóknir á viðloðunareiginleikum í malbiki.

Þótt framangreindar niðurstöður sýni ótvíræðan mismun á þreytuþoli, er ekki þar með sagt að þreytuþol malbiks í slitlagi skerðist, þótt steinefnið innihaldi salt og slitlagið sé blautt langtímum saman eins og hér gerist oft. Í fyrsta lagi er holrýmd í útlögðu malbiki að jafnaði langtum lægri en í malbikssýnunum í þessari rannsókn, jafnvel svo að malbikið megi teljast vatnspétt. Í öðru lagi fær malbik í götu oft tækifæri til að þorna af og til sem getur hugsanlega haft jákvæð áhrif á þreytuþolið. Í þriðja lagi getur skipt verulegu máli hvort saltið er fyrir í steinefninu áður en bindiefninu er blandað saman við, eða hvort það kemur utan frá með yfirborðsvatni sem síast inn í malbikið (til dæmis frá hálkueyðingu). Á hinn bóginn er sennilegt að frost-þíðu sveiflur, sem að jafnaði skipta tugum á höfuðborgarsvæðinu á hverjum vetri, flýti fyrir áhrifum salts á þreytuþol malbiksins.

HEIMILDIR

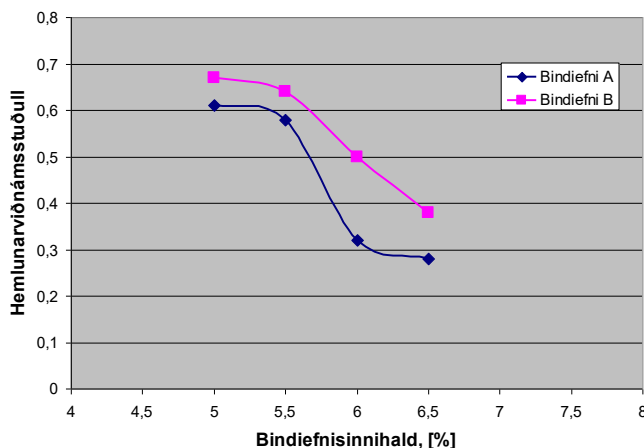
Alverk '95. 1995. *Almenn verklýsing fyrir vega og brúargerð*. Vegagerðin, Reykjavík.

Höbeda, P., Jerzy Chytla. 1999. *Undersökning av beständigheten hos AG 16 enligt ny metod och effect av vidhäftningsbefrämjande tillsatser*. VTI notat 54-1999. Väg och transportforskningsinstitutet, Linköping.

16 HEMLUNARVIÐNÁM

Hemlunarviðnám er mikilvægur eiginleiki slitlags. En það getur tæpast talist stiki í malbikshönnun, vegna þess að hönnunin ræður litlu um hemlunarviðnámið, ef hún fylgir settum reglum á annað borð. Þó má nefna tvö atriði sem beint eða óbeint hafa einhver áhrif á hemlunarviðnám.

Bindiefnisinnihald. Ef bindiefnisinnihald er of hátt miðað við holrýmd í steinefni (þ.e. ef holrýmd í malbiki er of lítil) getur farið svo að bindiefnið pressist upp úr slitlaginu, til dæmis í sumarhitum eða meðan á útlögn standur og þá geta myndast feitir blettir með lágt hemlunarviðnám á yfirborði slitlagsins. Lágt bindiefnisinnihald er talið stuðla að betra hemlunarviðnámi og sé það of hátt er talið að umfram bindiefni muni fyrir eða síðar koma upp á yfirborðið [Edwards 1983, bls. 1 og 6].



Mynd 1.

Dæmi um áhrif bindiefnisinnihalds og bindiefnisgerðar á hemlunarviðnám. Hemlunarviðnám mælt á blautu slitlagi við 50 km/klst.

Mynd 1 sýnir að tiltölulega lítil breyting (0,5%) í bindiefnisinnihaldi getur undir vissum kringumstæðum nægt til að breyta viðunandi hemlunarviðnámi í ófullnægjandi hemlunarviðnám [Slyngstad 1972, bls. 7].

Yfirborðseiginleikar steinefna. Sum steinefni hafa tilhneigingu til að fágast (e. polish) undir umferð einkum þau sem eru slitþolin. Þá getur hemlunarviðnámi orðið áfátt vegna lítills núningsviðnáms milli hjólbarða og steinanna í yfirborði slitlagsins. Þetta á þó aðeins við ef slitlagið er blautt; hemlunarviðnám á þurru (og hreinu) malbiki er undir venjulegum kringumstæðum talið nægilegt [Highways Agency 2007, bls. 3/1]. Negldir hjólbarðar vinna gegn fágun steinefnisins.

Ef umferðarhraðinn er lítill hefur fágunin afgerandi áhrif á hemlunarviðnámið. Sé yfirborð slitlagsins nægilega grófgert til að veita burtu vatni, sem verður á milli hjólbarða og slitlags, og steinefnið hrjúft, helst hemlunarviðnámið mikið til óbreytt með auknum hraða. Ef yfirborð vegarins er tiltölulega slétt og hraðinn mikill, getur myndast vatnspúði milli hjólbarða og

slitlags. Þá er hætt á að bíll á miklum hraða fljóti upp og skiptir þá litlu máli hvort steinefnið er hrjúft eða fágáð.

Hemlunarviðnámsins vegna er æskilegt að steinefni í malbik hafi góða mótstöðu gegn fágun og að hlutfall salla og mulnings upp að 11 eða 16 mm sé hátt. Mjög gróft steinefni sem fágast er óheppilegt, því þá geta myndast fágaðir kollar í yfirborði malbiksins með lágt hemlunarviðnám [Slyngstad 1972, bls. 5-7].

Í Efnisgæðariti Vegagerðarinnar er gerð sú krafa frá og með þessari útgáfu 2022/2023 að hemlunarviðnám eigi ætíð að mæla á malbiki og að viðnámið skuli vera $> 0,55$.

Í norskum verklýsingum [Statens vegvesen 2005, bls. 272] er gerð krafa um að hemlunarviðnám, mælt á blautu slitlagi á hraðanum 60 km/klst, skuli minnst vera 0,4. Auk þess er gerð krafa um að viðnámsstuðullinn skuli (á auðum vegi) vera hærrí en 0,5 ef leyfður umferðarhraði er meiri en 80 km/klst. Kröfurnar eru ekki tengdar hönnun á malbiki.

Í sænskum verklýsingum eru engar kröfur um hemlunarviðnám tengdar hönnun á malbiki. Þar eru hins vegar skilakröfur [Vägverket 2005, bls. 8] og samkvæmt þeim skal meðaltal viðnámsstuðuls á hverjum mældum 20 m kafla á auðu slitlagi vera minnst 0,5.

Í finnskum verklýsingum [PANK 2000, bls. 67] eru gerðar kröfur til hemlunarviðnáms á nýju slitlagi sem skal mælt innan tveggja vikna frá útlögn. Kröfur um hemlunarviðnám sem Vegagerðin setur fram í Efnisgæðaritinu nú er minnst 0,55. Í áðurgreindri heimild er ekkert tekið fram um aðstæður þegar mælingin er gerð, en í uppkasti að skýrslu frá Norræna vegtækisambandinu [NVF 2004] er tekið fram að mælingar á hemlunarviðnámi skuli gerðar á hraðanum 60 km/klst og á blautu slitlagi. Kröfurnar eru heldur ekki tengdar hönnun á malbiki.

Meðan negldir hjólbarðar eru notaðir jafn mikið og nú er er ósennilegt að hemlunarviðnám sé of lítið, nema á tímabilinu frá því að slitlagið er lagt og þar til nagladekkin hafa hreinsað bindiefnisslíku og feita bletti af yfirborðinu. Þó er rétt að taka fram að í Noregi hefur mælst fágun á slitlögum yfir sumartímann sem nemur um 0,2 einingum í hemlunarviðnámi [Horvli 2006, bls. 16]. En fari svo að verulega dragi úr notkun negldra hjólbarða, getur hemlunarviðnám breyst til hins verra á íslenskum slitlögum.

Íslenskar, Finnskar, norskar og sænskar kröfur til hemlunarviðnáms eru áþekkar hvað viðnámsstuðullinn snertir. Sænsku kröfurnar taka að auki fram að hemlunarviðnám skuli að meðaltali ná lágmarksgildi fyrir hverja 20 m. Það sýnist vera skynsamlegt, enda er 20 m flugháll blettur sennilega alveg nægilega langur til að missa stjórn á bíl.

HEIMILDIR

- Edwards, John M. 1983. *Design of Bitumen-Aggregate Mixtures*. Residential Course in Flexible Pavements and Bituminous Materials, Lecture H. University of Newcastle upon Tyne, Department of Civil Engineering, Division of Transport Engineering.
- Highways Agency. 2007. *Design Manual for Roads and Bridges*. Surfacing Materials for New and Maintenance Construction. Volume 7, Section 5. <http://www.standardsforhighways.co.uk/dmr/vol7/section5/hd3606.pdf>
- Horvli, I., E. Værnes. 2006. *SIV – Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker*. Oppsummeringsrapport. SINTEF Byggeforsk AS. Veg- og jernbaneteknikk. Trondheim.
- NVF. 2004. *Asfaltbelegningers overflateegenskaper – Friksjon*. Nordisk Vegteknisk Forbund. Den Norske Avdeling Utvalg 33 Asfaltbelegninger. (Uppkast að útgefni skýrslu, án blaðsíðutals).
- PANK. 2000. *Finnish Asphalt Specifications 2000*. Finnish Pavement Technology Advisory Council. Helsinki.

Slyngstad, T. 1972. *Friksjon*. Internt notat for særkurset. Institutt for veg- og jernbanebygging. Norges tekniske høgskole, Trondheim.

Statens vegvesen. 2005. *Håndbok 018. Vegbygging*. Statens vegvesen. Oslo.

Vägverket. 2005. *ATB VÄG 2005. Kapitel A Gemensamma förutsättningar*. VV Publ 2005:112. Borlänge.

17 BINDIEFNISSLIKJA Á SLITLÖGUM OG ÁHRIF HENNAR Á HEMLUNARVIÐNÁM

Á nýlögðu malbiki er oft slika af bindiefni á yfirborðinu, sem getur minnkað hemlunarviðnám til muna þegar slitlagið er blautt. Þetta á einkum við um efjurík (efja: blanda af bindiefni og mélu) slitlög, svo sem steinríkt malbik (SMA), sér í lagi ef bindiefnisinnihaldið er hátt og holrýmdin lág, þá pressast efjan upp á yfirborð slitlagsins þegar það er valtað. Þar til naglar hafa skrapað slikjuna af er viss slysaætta af henni, ekki síst úti á þjóðvegum þar sem umferðarhraði er mikill.

Sú spurning hefur komið upp hvað það taki langan tíma að skrapa bindiefnishimnuna burtu. Sumir telja að svarið fari eftir umferð, naglanotkun og hvenær ársins slitlagið var lagt, svo eitthvað sé nefnt. Aðrir álita að naglarnir skipti ekki meginmáli, hjólbarðarnir, þótt ónegldir séu, kroppi bindiefnisslikjuna fljótlega af.

Reynslan bendir til þess að bindiefnishimnan sé farin af í hjólförum á fjölförnum götum í Reykjavík (til dæmis Miklubraut og Kringlumýrarbraut) kringum mánaðamótin nóvember-desember. Setjum svo að umferð á hverri akrein á þessum götum sé 10.000 ÁDU. Gerum enn fremur ráð fyrir að naglanotkun vaxi úr engri í fyrstu viku nóvember í 40% í fyrstu viku desember, sé orðin 50% um miðjan desember og verði ekki meiri. Ef þessar forsendur eru réttar þarf um 60.000 bíla á nögglum til að skrapa bindiefnishimnuna af hjólförum á hverri akrein.

Úti á þjóðvegum er umferðin miklu minni og þar tekur lengri tíma að hreinsa bindiefnishimnuna af. Tökum Reykjanesbrautina með fjórar akreinar vestan við Straumsvík sem dæmi. Þar er umferðin um 10.000 ÁDU, þ.e.a.s. um 2500 ÁDU á akrein. Á veginum austur fyrir fjall er umferðin um 8000 ÁDU á tveim akreinum, þ.e.a.s. um 4000 ÁDU á akrein.

Miðað við framangreindar forsendur ætti bindiefnishimnan að vera horfin í hjólförum um mánaðamótin nóvember-desember á Hringbrautinni, upp úr miðjum desember á veginum austur fyrir fjall og um það bil viku af janúar á Reykjanesbrautinni, svo dæmi séu tekin.

Síðan þarf að svara spurningunni hvað bindiefnisslika í hjólförum hefur mikil áhrif á hemlunarviðnám. Snöggsoðin heimildakönnun bar heldur lítinn árangur. Í ágripi af fyrirlestri um hemlunarviðnám [Slyngstad 1972, bls. 7] er birt tafla (frumheimild er ekki tilgreind) sem dæmi um áhrif bindiefnisinnihalds á hemlunarviðnám. Hún sýnir að viðnámsstuðull breytist úr 0,6-0,7 í 0,3-0,4 þegar bindiefnisinnihald eykst úr 5,0% í 6,5%. Í skýrslu frá nefnd 33 í Norræna vegtækisambandinu [NVF 1981, bls. 27] er sagt að áhrif fínhrýfis (microtextur) á hemlunarviðnám geti horfið ef bindiefni á slitlagsyfirborðinu er of mikið og jafnvel áhrif grófhrýfis (macrotextur) að einhverju leyti, og þetta geti haft alvarlegar afleiðingar, að minnsta kosti í bleytu. Á sama stað er nefnt að of mikið bindiefnisinnihald samfara lágri holrýmd geti haft þessi áhrif. Þar er einnig minnst á hálfu að vetrarlagi sem sé síst minna vandamál.

Í sænskri skýrslu [VTI 2001, bls. 30] er sýnt á mynd hvernig hlutfallsleg slysaáhætta vex með minnkandi hemlunarviðnámi, hún breytist mjög lítið meðan viðnámsstuðullinn (mældur með pendúl) er yfir 0,5 en áhættan eykst mjög hratt þar fyrir neðan. Heimildakönnunin leiddi ekkert í ljós um samband viðnámsstuðuls og holrýmdar né heldur um viðnámsstuðul á slitlagi með bindiefnissliku.

Um síðarnefnda atriðið er hægur vandi að afla upplýsinga, þar sem Vegagerðin á tæki til að mæla viðnámsstuðul á slitlögum.

HEIMILDIR

- NVF. 1981. *Beläggningsars funktionstid och funktionsegenskaper*. Nordiska Vägtekniska Förbundet. Utskott 33 Asfaltbeläggningar. Rapport nr 2: 1982.
- Slyngstad, T. 1972. *Friksjon*. Internt notat for særkurset. Institutt for veg- og jernbanebygging, Universitetet i Trondheim, Norges Tekniske Høgskole.
- Wallman, C-G., H. Åström. 2001. *Friction measurement methods and the correlation between road friction and traffic safety. A literature review*. VTI meddelande 911A. Väg- och transportforskningsinstitutet, Linköping.

18 FÁEIN ORÐ UM EFTIRLIT

Í þessu minnisblaði er tæpt á hugmyndum um malbikseftirlit (við framleiðslu og útlögn). Þær eru alls ekki fastmótaðar og eru settar fram til umræðu í þeirri von að þær geti, að lokinni gagnrýni og endurskoðun, orðið grundvöllur að ákvæðum um sama efni í Efnisgæðaritinu. Það má vel vera að hér séu flóknir hlutir einfaldaðir um of, en úr því má auðveldlega bæta ef nauðsyn krefur. Meginboðskapurinn er á þann veg að betra sé að stilla kröfum um prófanatíðni í hóf og fylgja þeim eftir án undanbragða, heldur en að íþyngja verktakanum með kröfum um prófanatíðni umfram það sem nauðsynlegt er og getur talist sanngjarnt frá sjónarmiði beggja. Hið síðarnefnda býður heim hættu á að tíðnikröfurnar verði að meira eða minna leyti hundsáðar þegar fram í sækir. Í Efnisgæðaritinu eru settar fram kröfur um framleiðslueftirlit við framleiðslu hvernar malbiksgerðar og eru þær í samræmi við staðal ÍST EN 13108-21 um framleiðslueftirlit (e. *Factory Production Control*).

- Hér er ekki talið skipta neinu máli hvaðan prófananiðurstöður eru komnar, svo lengi sem verkkaupinn treystir þeim. Að þeirri forsendu gefinni er engin ástæða til að verkkaupinn (eða fulltrúi hans, eftirlitsmaður) taki og rannsaki sams konar sýni og verktakinn er þegar búinn að gera, enda er framleiðsla stærri framleiðenda vottuð og CE merkt nú til dags.
- Gert er ráð fyrir að verktakinn sé algerlega frjálst að því hvað hann tekur mörg sýni af hráefnum sínum eða framleiðslu sinni, nema hvað hann þarf auðvitað að uppfylla lágmarkskröfur staðla þegar um CE-merкта vöru að ræða.
- Þar af leiðandi virðist liggja beint við að verkkaupi geri tvennskonar kröfur til prófanatíðni, annars vegar ef framleiðslan er CE-merkt, hins vegar ef hún er það ekki.
- Ef framleiðsla er CE-merkt og malbikið gerðarprófað skv. ÍST EN 13108-20 (e. Type Testing) ætti verktaki ekki að þurfa að taka og prófa sýni umfram það sem CE-merkingin krefst. Þó getur verkkaupi tekið sýni aukalega af framleiðslunni ef honum sýnist svo, en þá verður að teljast sanngjarnt að hann geri það á eigin kostnað.
- Með rökstuðningi í framangreindum atriðum sýnist réttmætt að verkkaupi eigi aðeins að tiltaka hvaða tíðnikröfur hann setur til prófana sem taka til einstakra framleiðslupátta. Síðan gangi eftirlitsmaðurinn eftir niðurstöðum hjá verktakanum, en bæti við eigin sýnum til að uppfylla tíðnikröfuna, ef tíðni verktakasýna nægir ekki. Ef eftirlitsmaðurinn telur fleiri sýni nauðsynleg en tíðnikröfur kveða á um, þá sér hann um að þau séu tekin og rannsökuð á kostnað verkkaupa. Ef framleiðslan stenst ekki kröfur er réttmætt að verktakinn greiði kostnað við umframsýni, enda kemur þá væntanlega til kasta frádráttarkvæða hvort sem er.
- Þetta fyrirkomulag mun að öllum líkindum hvetja verktaka til að hafa gott eftirlit með eigin framleiðslu, sem jafnframt sparar verkkaupa fé og fyrirhöfn, þar sem hann þarf þá aðeins að taka sýni með lágmarkstíðni.