



**Rannsóknastofnun
byggingariðnaðarins**

Rb/SfB

12

(S)

UDC: 625.7

Skýrsla nr. 05-04

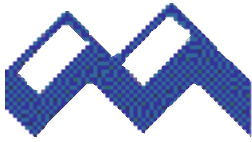
Superpave

Ásbjörn Jóhannesson

Unnið fyrir

Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar

Reykjavík, febrúar 2005



SKÝRSLA

Skýrsla nr. 05-04

Rb/SfB

12

(S)

Dreifing:

Opin

Lokuð

UDK: 625.7

Heiti skýrslu: SUPERPAVE	Dags.: Febrúar 2005
Höfundur: Ásbjörn Jóhannesson	Fjöldi síðna: 35 + 2 viðaukar
Deild: Vegtæknideild	Fagleg ábyrgð: ÁJ
	Rannsóknanúmer: V04-15

Unnið fyrir: Vegagerðina

Samantekt: <p>Meginefni skýrslunnar er samanburður á tveim aðferðum til að hanna malbik, Superpave og Marshall. Samanburðurinn byggist eingöngu á heimildakönnun. Helstu niðurstöður eru þessar:</p> <p>Hönnunaraðferð Superpave hefur að verulegu leyti tekið við af hönnunaraðferð Marshall í Bandaríkjunum og að nokkru leyti í Kanada. Enn sem komið er hefur hún ekki náð fótfestu í Evrópu en nokkrar prófunaraðferðir fyrir bindiefni hafa þó verið teknar upp lítið eitt breyttar í Evrópustaðla CEN. Líkur á að aðferð Superpave verði tekin upp í Evrópu í óbreyttri mynd á næstu árum eru taldar lítlar.</p> <p>Hönnunaraðferð Superpave leggur megináherslu á þol malbiksins gagnvart skriði, þreytubroti, frostsprungum og vatnsnæmi.</p> <p>Bindiefnisgerðir þær sem einkum hafa verið notaðar hérlandis eru heppilega valdar með tilliti til hættu á skriði og frostsprungum samkvæmt fyrirmælum Superpave um val á bindiefni og henta þrýðilega fyrir íslenskt veðurfar.</p> <p>Sennilega er sá hluti Superpave-hönnunaraðferðarinnar sem prófar vatnsnæmi malbiks líklegastur til að koma að notum miðað við núverandi aðstæður hérlandis. Sem stendur yrði lítil ávinningur að því að taka hönnunaraðferðir Superpave upp í heild. Frá þessu er þó ein undantekning; á flugvöllum sem þjóna millilandaumferð gætu hönnunaraðferðir Superpave átt rétt á sér vegna þyngdar flugvéla. Í framtíðinni hillir undir meiri og þyngri umferð á íslenskum vegum en nú er með aukinni hættu á skriði. Við slíkar aðstæður myndi hönnunaraðferð Superpave njóta sín frekar en nú er.</p>

3 lykilorð: Á íslensku

3 lykilorð: Á ensku

Malbik	Asphalt concrete
Superpave	Superpave
Hönnunaraðferðir	Mix design methods

Formáli

Hérlendis hafa uppskriftir að blöndun malbiks í slitlag á vegi og götur um langt skeið verið gerðar í samræmi við aðferð sem kennd er við Marshall og er að stofni til frá árunum kringum 1940. Síðan hafa orðið miklar breytingar á kröfum til slitlagseiginleika, fyrst og fremst vegna þess að umferð er langtum meiri og þyngri nú en áður og efasemdir um ágæti Marshallaðferðarinnar við nútímaaðstæður hafa skotið upp kollinum.

Á síðustu árum hefur önnur hönnunaraðferð, kölluð Superpave, náð talsverðri fótfestu í Bandaríkjunum. Meginviðfangsefni þessarar skýrslu er að bera þessar tvær aðferðir saman og meta, með hliðsjón af íslenskum aðstæðum, hvort einhver ávinningur sé af því að taka þá síðarnefndu, eða einhverja hluta hennar, upp í stað hinnar fyrrnefndu. Markmiðið er þó ekki að lesandinn verði fær um að hanna malbik eftir aðferðum Superpave að loknum lestri skýrslunnar, heldur að kynna honum röksemdir með og á móti því að taka hönnunaraðferð Superpave upp í stað þeirrar sem nú er notuð. Af þessari ástæðu er prófunaraðferðum aðeins lýst lauslega og kröfur til steinefna, bindiefnis og malbiks látnar liggja milli hluta að mestu. Ennfremur er gert ráð fyrir að lesandinn þekki Marshall-hönnunaraðferðina í megindráttum.

Þessi skýrsla byggist að hluta til á mælingum á eiginleikum bindiefna og samanburði á niðurstöðum við hitafar á nokkrum stöðum hérlendis. Mælingarnar voru gerðar við North Carolina State University, Department of Civil Engineering í umsjá dr. Akhtarhusein A. Tayebali. Veðurstofa Íslands lét í té upplýsingar um hitafar sem hún vann upp úr veðurathugunum sínum.

Við samningu skýrslunnar var að hluta til stuðst við bæklinga frá The Asphalt Institute í Maryland í Bandaríkjunum, sem góðfúslega gaf leyfi sitt til að nota efni og myndir úr áðurnefndum bæklingum. Jósep Gíslason, fulltrúi á Vegagerðinni, setti íslenskan texta inn á myndirnar og lagfærði þær lítið eitt.

Í skýrslunni þurfti á orðum að halda yfir allmörg nýstárleg hugtök. Reynt var að nota íslensk orð yfir þau eftir föngum, sum þeirra eru í notkun meðal þeirra sem fást við hönnun malbiks, önnur voru sótt í Orðabanka íslenskrar málstöðvar, enn önnur eru þýðingartilraunir til nota þar til önnur betri birtast. Enskar þýðingar þessara orða eru oftast birtar neðanmáls, þegar þau koma fyrir í fyrsta skiptið. Þegar allt annað þraut varð að ráði að nota ensk orð.

Skýrslan er skrifuð að frumkvæði Ingva Arnasonar, deildarstjóra hjá Vegagerðinni og kostnaðurinn við verkið var greiddur af Rannsókn- og þróunarsjóði Vegagerðarinnar.

Reykjavík, í febrúar 2005,

Ásbjörn Jóhannesson.

Efnisyfirlit

Formáli	1
1 Inngangur	5
2 Markmið með hönnun malbiks	8
3 Hönnun malbiks með aðferðum Superpave	11
3.1 Bindiefni	11
3.1.1 Hitastigsháðir eiginleikar bindiefnis	11
3.1.2 Prófanir á bindiefni	12
3.1.3 Flokkun bindiefna	17
3.1.4 Val á bindiefni	18
3.2 Steinefni	18
3.2.1 Kröfur til steinefna	18
3.2.2 Kröfur til sáldurferils	19
3.3 Hönnununarferli Superpave-aðferðarinnar	20
3.4 Endurbætur á Superpave hönnunaraðferðinni	22
4 Staðbundin áhrif á val hönnunaraðferðar	23
4.1 Staðlar	23
4.2 Veðurfar	23
4.3 Umferð og horfur um þróun hennar	23
4.4 Stefnan í nágrannalöndunum	24
4.4.1 Bandaríkin og Kanada	24
4.4.2 Evrópa	24
5 Líklegar breytingar með hönnunaraðferð Superpave	26
5.1 Val á bindiefni og steinefni	26
5.2 Hönnun og tækjakostur til prófana	27
5.3 Blöndun og útlögn	28
6 Ígrundun og ályktanir	29
Heimildir	33

MYNDIR

2.1 Breytileiki þriggja bindiefnissýna sem eru flokkuð eftir deigð	9
3.1 Skýringarmynd af svörun deigfjaðrandi efnis við álagi	11
3.2 Skýringarmynd af stífniþrófun í DSR	13
3.3 Skýringarmyndir af mælingum á fullkomlega fjaðrandi og fullkomlega deigu bindiefni	14
3.4 Skýringarmyndir fyrir samband spennu og tognunar við mælingar á deigfjaðrandi sýni	14
3.5 Túlkun niðurstaðna úr mælingum í DSR á sýni af deigfjaðrandi efni	15
3.6 Skýringarmynd af prófun í BBR	16
3.7 Skýringarmynd af prófun í DTT	16
3.8 Skýringarmynd af seigjumælingu á bindiefni	17
3.9 Þéttasti mögulegi sáldurferill steinefnis með 19 mm hámarksstærð á 0,45-veldis línuriti	19
3.10 Hlið fyrir sáldurferil steinefna með 19 mm hámarksstærð á 0,45-veldis línuriti	20
3.11 Skýringarmynd af snúðþjöppu	21
3.12 Dæmigert samband rúmþyngdar og fjölda snúninga eftir þjöppun malbiks í snúðþjöppu	21

TÖFLUR

2.1	Samanburður á meginatriðum hönnunar eftir Marshall- og Superpave-hönnunaraðferðunum	10
3.1	Tækjabúnaður til prófana á bindiefni og tilgangur þeirra	12
3.2	Undirbúningur sýna fyrir prófanir	13
5.1	Frammistöðuflokkun tveggja bindiefnissýna prófuðum samkvæmt aðferðum Superpave	26
5.2	Val á bindiefni úr flokkunarkerfi Superpave í slitlag á fimm stöðum	26

VIÐAUKAR

1. Útreikningar á hitastigi í slitlagi á nokkrum stöðum á Íslandi
2. Skrá yfir þýðingar orða yfir nokkur hugtök

1 Inngangur

Hönnun malbiks er í því fölginn að velja steinefni, bindiefni og, ef svo ber undir, íauka í malbiksblöndu og ákvarða heppileg hlutföll þessara hráefna með hliðsjón af veðurfari og umferð. Hérlendis hefur tíðkast að hanna malbik eftir svokallaðri Marshallaðferð [ASTM 1982:435]. Höfundur hennar var Bruce Marshall sem setti hugmyndir sínar fram um 1939 [KK 1998:5]. Aðferðin var rannsökuð ýtarlega af U.S. Corps of Engineers sem endurbættu aðferðina og ákváðu hönnunarkröfur [AI 1984:17]. Hönnunaraðferð Marshall er sennilega algengasta hönnunaraðferð fyrir malbik í veröldinni [WSDOT] og hefur verið nánast allsráðandi í nágrannalöndum okkar fram til þessa. Hún leggur megináherslu á burðarþol malbiksins, með öðrum orðum að velja bindiefnisinnihald þannig að lítil hætta sé á skriði¹ en öðrum eiginleikum malbiksblöndunnar er minni gaumur gefinn. Hér á landi og reyndar í fleiri norðlægum löndum hefur hönnunaraðferðinni verið hnikað lítið eitt til í því skyni að draga úr vatnsnæmi malbiksins, fyrst og fremst með því að auka bindiefnisinnihald, en á kostnað mótstöðu gegn skriði.

Helstu kostir Marshallaðferðarinnar eru þeir að hún er einföld og ódýr, gerir ekki miklar kröfur til tæknikunnáttu starfsfólks og styðst við geysimikla reynslu. Á hinn bóginn hefur hún á seinni árum sætt nokkurri gagnrýni, meðal annars af því að hún byggist á því að tengja reynslu af malbiki við eiginleika sýna af samskonar malbiki sem prófuð eru á rannsóknastofu, fremur en hönnun á fræðilegum forsendum. Hún tekur ekki mið af hitafari eða umferðarþunga þar sem á að nota malbikið og niðurstöður prófananna hafa mjög takmarkað forspárgildi hvað varðar frammistöðu² malbiksins og ekkert þegar þreytubrot³ eða vatnsnæmi⁴ eiga í hlut. Hönnunaraðferðin tekur heldur ekkert tillit til breytinga sem verða á bindiefninu við blöndun og útlögn malbiksins né heldur á endingartíma þess. Ýmsir fleiri vankantar hafa og komið í ljós [LM 1998:81]. Í og með af þessum ástæðum hafa á síðari árum komið fram ýmsar tillögur að nýjum hönnunaraðferðum. Samt sem áður virðist Marshallaðferðin hafa haldið velli í flestum nágrannalöndum okkar [PI 2000:16].

Öðru máli gegnir um Bandaríkin. Á árunum eftir 1980 urðu ótímabær hjólför í malbiki, sér í lagi á hraðbrautum með mikilli umferð þungra bíla, stöðugt meira til vandræða. Oft var of miklu bindiefnisinnihaldi kennt um, sem að sumra dómi stafaði af því að þjöppunaraðferð Marshall líkti ekki nægilega vel eftir raunveruleikanum [RF 2002]. Um miðjan níunda áratuginn hafist handa við þróun nýrrar aðferðar til hönnunar á malbiki, sem gengur undir nafninu Superpave og var hleypt af stokkunum 1993 [EAPA 1998]. Sem hönnunaraðferð er hún mjög ýtarleg og leggur mikla áherslu á að malbikið hæfi aðstæðum (umferð, hitarfari og staðsetningu í veghlotinu) þar sem á að nota það. Meginmarkmiðið með nýrri hönnunaraðferð var að auka endingu malbiksslitlaga eftir ýmsum leiðum; minnka skrið, minnka líkur á frostsprungum⁵ og þreytubroti og draga úr vatnsnæmi malbiksins. Til að ná þessu markmiði var haft að leiðarljósi að hönnuninni væri svo háttáð að hún segði fyrir um frammistöðu malbiksins [CT 1999:2].

Superpave aðferðin er spunnin úr þrem meginþáttum [QB 2002]:

- Bindiefni eru flokkuð og auðkennd eftir því á hvaða hitastigsbili þau eru nothæf. Úr þessu flokkunarkerfi er bindiefni valið hverju sinni þannig að væntanlegar hitastigsbreytingar á notkunarstað séu innan hitastigsbilsins sem einkennir flokkinn. Þessi flokkun kemur í stað flokkunar eftir stungudýpt⁶ eða seigju⁷, sem hingað til hefur tíðkast og er enn grundvöllur að flokkunarkerfi CEN sem er notað víðast hvar í Evrópu, þar á meðal hérlendis.

¹ Skrið; á ensku: *deformation*.

² Frammistaða; á ensku: *performance*.

³ Þreytubrot; á ensku: *fatigue damage*.

⁴ Vatnsnæmi; á ensku: *moisture sensitivity*.

⁵ Frostsprungur; á ensku: *low temperature cracking*.

⁶ Stungudýpt; á ensku: *penetration*.

⁷ Seigja; á ensku: *viscosity*.

- Hönnunarkerfi sem byggist á rúmmálshlutföllum í blöndunni. Sýnin eru gerð í snúðþjöppu⁸ sem kemur í stað Marshallhamarsins í hönnunaraðferð Marshall.
- Prófanir og endanlegt val á blöndu á grundvelli væntanlegrar frammistöðu.

Þar sem hönnunaraðferð Superpave er að sumu leyti gerólík öðrum hönnunaraðferðum sem hafa verið notaðar fram til þessa gerði hún óhjákvæmilega kröfur um ný tæki og aðferðir til að meta eiginleika bindiefnis og malbiksblendna. Upp úr þessu þróunarstarfi spruttu ýmsar nýjungar sem verðskulda athygli [TRB 1999:3]:

- Fimm nýjar aðferðir til að prófa eiginleika bindiefnis.
- Ný aðferð til að flokka og auðkenna bindiefni. Flokkunin gefur milliliðalaust til kynna í hvaða hitafari bindiefnið er nothæft.
- Aðferð til að þjappa malbikssýni sem meðal annars líkir eftir þjöppun undir umferð og breytingum á holrýmd eftir að malbikið hefur verið lagt.
- Hönnunaraðferð sem segir fyrir um væntanlega frammistöðu malbiksins og tekur tillit til aðstæðna (umferðar og veðurfars) þar sem á að nota það.
- Hlutföll hráefna í blöndunni eru ákvörðuð á grundvelli rúmmáls þeirra.
- Kröfum til steinefna er skipt í tvennt, ófrávikjanlegar kröfur og leiðbeinandi kröfur.
- Tæki, aðferðir og líkön sem segja fyrir um frammistöðu malbiksins á endingartíma þess á grundvelli prófana á sýnum.

Hönnunaraðferð Superpave var tekið tveim höndum í Bandaríkjunum og fimm árum eftir að henni var hleypt af stokkunum voru ákvæði úr hönnunaraðferðinni farin að birtast í samningum um malbikskaup. Í Bandaríkjunum hefur malbik, hannað í samræmi við Superpave, reynst vel og þar er Superpave talið standa öðrum hönnunaraðferðum framar. Á hinn bóginn hefur Superpave hönnunaraðferðin ekki að öllu leyti staðið undir væntingum. Einstaka atriði í hönnunarferlinu hafa verið gagnrýnd og nú er unnið að endurskoðun á þeim. Sem stendur er unnið eftir áætlun sem gerir ráð fyrir að verkinu verði lokið í lok ársins 2005 [TRB 1999:5]. Þá er gert ráð fyrir að Superpave verði orðið að hönnunarkerfi sem tengi að fullu saman hönnun malbiksins og frammistöðutengd fyrirmæli um mannvirkið með hjálp rannsóknastofuprófana og hegðunarlíkana.

Að sumu leyti er margt líkt með Superpave hönnunaraðferðinni og Marshallaðferðinni. Báðar byggjast að hluta til á því að búa til sýni af malbiki, prófa þau á rannsóknastofu og reyna á þann hátt að segja fyrir um hegðun slitlags úr samskonar malbiki. Meginmunurinn er sá að með Superpave hönnunaraðferðinni er malbikið hannað með tilliti til umferðar og hitafars þar sem á að nota það [NC 2004:1], en hönnun eftir Marshallaðferðinni tekur ekkert mið af umferð eða umhverfi. Ennfremur leggur Superpave hönnunaraðferðin mikla áherslu á að tilreiðsla sýnanna líki eftir framleiðslu og útlögn raunverulegs malbiks og líki þar að auki eftir breytingum á eiginleikum malbiksins á endingartímanum, nokkuð sem Marshallaðferðin leiðir algerlega hjá sér. Prófunin skilar þar af leiðandi raunhæfari niðurstöðum. Með öðrum orðum kemst Superpave hönnunaraðferðin nær því heldur en Marshallaðferðin að segja fyrir um hvernig malbikið muni spjara sig og er þess vegna öflugra verkfæri til að leita uppi malbiksblendnu sem er líkleg til að reynast vel við tiltekna aðstæður.

Þegar kostir og gallar Superpave eru skoðaðir í ljósi íslenskra aðstæðna kemur strax í ljós að hönnunaraðferðin tekur ekkert tillit til slitpols malbiksins, sem undir velflestum kringumstæðum ræður mestu um endingu malbiks héraendis. Það kann þó að breytast í framtíðinni ef slit á malbiki minnkar til muna með notkun léttara nagla. Aðrir eiginleikar malbiksins svo sem vatnsnæmi og skrið geta skipt máli fyrir endingu íslensks malbiks en raunar er vitneskja um það fremur takmörkuð. Þá er ekkert vafamál að vitneskja um væntanlega frammistöðu malbiksins er mikils virði á hönnunarstiginu. Í þessu ljósi er full ástæða til að kanna hvað kunni að vinnast með því að taka Superpave hönnunaraðferðina upp héraendis.

⁸ *Snúðþjappa*; á ensku: *gyratory compactor*.

Markmið þessarar skýrslu er að vega og meta hvort núverandi hönnunaraðferð, þ.e. Marshallaðferðin, sé heppileg í ljósi nýjustu vitneskju um þessar tvær hönnunaraðferðir og hvort hönnunaraðferð Superpave geti stuðlað að endingarbetri slitlögum héraðs. Í þessu skyni voru eftirfarandi spurningar teknar til yfirvegunar:

1. Hvernig er bindiefni valið hjá nágrannaþjóðum okkar? Veljum við bindiefni eftir sömu aðferðum og þær?
2. Eru íslensku bindiefnin heppilega valin fyrir íslenskar aðstæður ef miðað er við kröfur Superpave?
3. Má vænta einhvers árangurs ef hönnunaraðferðir Superpave yrðu teknar upp héraðs?
4. Hvaða hlutar, ef einhverjir, af Superpave hönnunaraðferðinni gætu komið að notum héraðs?

2 Markmið með hönnun malbiks

Hráefni í malbik eru steinefni, bindiefni og stundum íaukar s.s. viðloðunarefni, trefjar, méla eða seigjuaukar⁹. Tilgangurinn með hönnun malbiks er að velja hráefni af heppilegri gerð og ákvarða blöndunarhlutföll þeirra þannig að malbikið hafi æskilega eiginleika og kosti ekki meira en nauðsynlegt er. Hönnunin tekur mið af aðstæðum þar sem á að nota malbikið (veðurfari, umferð, tiltækum hráefnum) og á eftir föngum að tryggja eiginleikana sem eru taldir upp hér á eftir [OC 1982:681]. Hér er þeim raðað eftir sennilegu mikilvægi þeirra fyrir endingu malbiks við íslenskar aðstæður og einum eiginleika, slitþoli gagnvart negldum hjólbörðum, bætt við.

- *Slitþol* (gagnvart negldum hjólbörðum). Tveir eiginleikar öðrum fremur ráða úrslitum, slitþol steinefnisins og hlutfall grófs efnis af steinefni.
- *Veðrunarþol* (gagnvart vatni, frosti og háلكuvarnarefnum). Mikilvægast í þessu sambandi er að halda holrýmd malbiksins eins lágrí og kostur er (til að varna því að vatn setjist til í malbikinu) og bindiefnisinnihaldinu nægilega háu til að hylja sérhverja steinefnisögn og mynda viðunandi þykka bindiefnishúð um hana.
- *Viðnám gegn steinlosi*. Góð viðloðun milli bindiefnis og steinefnis vinnur gegn steinlosi, sömuleiðis hátt bindiefnisinnihald.
- *Viðnám gegn skriði*. Lágt bindiefnisinnihald hamlar gegn skriði, sömuleiðis hrjúft steinefni með hvössum brúnum, hátt méluinnihald og bindiefni með háa seigju.
- *Hemlunarviðnám*. Lágt bindiefnisinnihald eykur hemlunarviðnám, sömuleiðis hátt hlutfall af grófu steinefni. Hrífi steinefnisins ræður einnig miklu um hemlunarviðnám.
- *Viðnám gegn þreytubroti*. Að þessum eiginleika stuðlar hátt bindiefnisinnihald, þéttur sáldurferill og góð viðloðun milli bindiefnis og steinefnis. Ef malbikslagið er þykkt (>150 mm) er æskilegt að bindiefnið hafi háa seigju en ef malbikslagið er þunnt (<50 mm) er þessu öfugt farið.
- *Viðnám gegn frostsprungum*. Í miklu frosti skreppur malbikið saman og getur rifnað. Hætta á frostsprungum minnkar með lágrí holrýmd í malbikinu, hækkandi bindiefnisinnihaldi og lækkandi seigju bindiefnisins.
- *Viðnám gegn öldrun*. Bindiefni með lága seigju og steinefni með góða viðloðun minnkar líkur á öldrun, sömuleiðis hátt bindiefnisinnihald og lág holrýmd.

Eins og upptalningin hér að ofan sýnir geta æskilegir eiginleikar togast á um hönnun malbiksins. Sem dæmi má nefna veðrunarþol og viðnám gegn skriði; fyrri eiginleikinn kallar á hátt bindiefnisinnihald en sá síðarnefndi lágt. Annað dæmi er viðnám gegn skriði og viðnám gegn frostsprungum; fyrri eiginleikinn kallar á bindiefni með háa seigju en hinn síðari bindiefni með lága seigju. Við hönnun malbiks þarf því oft að fara bil beggja og velja samsetningu malbiksins með bestun¹⁰ á eiginleikum þess.

Báðar hönnunaraðferðirnar, Marshall og Superpave gera ráð fyrir hönnun sem byggist á bestun, þó ekki bestun á sömu eiginleikum. M.ö.o. eru gerð sýni af malbiki með mismunandi blöndunarhlutföllum, prófað hvernig þau muni standast væntanlega áraun og sú hönnun valin sem líklegust þykir til að standast áraunina. Hvað val á bindiefni varðar er þó grundvallar-mismunur á þessum hönnunaraðferðum, þótt í báðum tilfellum sé fyrst og fremst tekið tillit til umferðarþunga og veðurfars. Val á bindiefni er óaðskiljanlegur hluti af hönnunaraðferð Superpave, en hönnunaraðferð Marshall hefur engin fyrirmæli um valið, ákvörðun um bindiefni er hluti af efnisvali sem er tekin áður en hin eiginlega hönnun hefst.

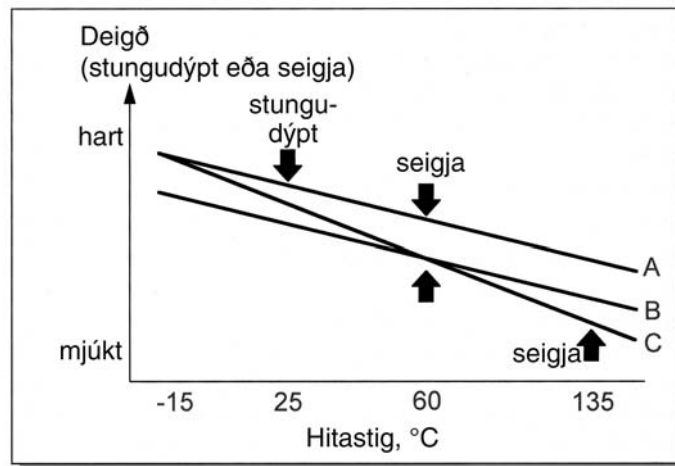
Með hönnunaraðferð Superpave komu jafnframt til sögunnar nýjar aðferðir til að velja bindiefni. Fyrir hennar daga voru bindiefni flokkuð eftir deigð¹¹ þeirra við nokkur tiltekin hitastig (oftast 25 °C, 60 °C eða 135 °C). Gallinn á þessari flokkun er sá að tvö (eða fleiri) bindiefni sem flokkast eins í slíku flokkunarkerfi geta haft gerólíka eiginleika innbyrðis við annað hitastig en kerfið notar [AI 2003:14]. Þetta sést glögglega á mynd 2.1 (flokkunarkerfi

⁹ *Seigjuauki*; á ensku: *modifier*.

¹⁰ *Bestun*; á ensku: *optimization*.

¹¹ *Deigð*; á ensku: *consistency*.

CEN, sem er notað víðast hvar í Evrópu, einnig hérlendis, er mun markvissara en myndin gefur til kynna).



Mynd 2.1. Breytileiki þriggja bindiefnisnána sem eru flokkuð eftir deigð. Örvaroddarnir á myndinni sýna hlið sem afmarka bindiefnisflokkinn.

Mynd 2.1 sýnir þrjár bindiefnisgerðir, A, B og C sem allar lenda innan marka sama bindiefnisflokks þegar þær eru flokkaðar eftir stungudýpt og seigju við 60 °C og 135 °C. Samt sem áður hafa þær ólíka eiginleika. Deigð A og B breytist á svipaðan hátt með hitastigi en er aldrei eins hvert svo sem hitastigið er. A og C hafa sömu deigð við lágt hitastig en mjög ólíka við hátt hitastig. B hefur sömu deigð og C við 60 °C en að öðru leyti eiga þessar bindiefnisgerðir ekkert sameiginlegt hvað deigð snertir. Þar sem þessi þrjú bindiefni lenda öll í sama flokki mætti að óreyndu ætla að þau sýndu svipaða frammistöðu innbyrðis í kaldri veðráttu og heitri en myndin að ofan sýnir að svo þarf alls ekki að vera.

Superpave hönnunaraðferðin tekur annan pól í hæðina. Þar er bindiefnunum raðað í notkunarflokk¹² sem eru fyrirfram ákveðin hitastigsbil. Sem dæmi má taka flokkinn PG52-16, þar sem PG er skammstöfun á „performance grade“, en tölurnar tákna hitastig í °C; 52 er efra mark notkunarbilsins og -16 neðra mark þess. Öll bindiefni í sama notkunarflokki hafa sambærilega hitastigsháða eiginleika (viðvíkjandi notkun í malbik) og bindiefni í flokknum PG52-16 má (með nánari skilmálum) nota þar sem hiti í malbiki fer að jafnaði hvorki upp fyrir 52 °C né niður fyrir -16 °C.

Í annan stað leggur hönnunaraðferð Superpave mikla áherslu á að malbikssýnin, sem eru notuð til að besta samsetningu malbiksins, séu eins raunsönn og kostur er, en á það hefur þótt skorta nokkuð hvað Marshallaðferðina snertir. Snar þáttur í þeirri viðleitni er notkun snúðþjöppu við gerð malbikssýnanna. Hún gerir mögulegt að fylgjast nákvæmlega með breytingum á holrýmd í sýnunum sem falli af þjöppunarorku. Með þessu móti má fara nærri um hver holrýmdin verður, ekki aðeins í nýlögðu slitlagi, heldur einnig eftir langan tíma undir umferð. Á þennan hátt er gert kleift að sneiða hjá hönnun sem kynni að leiða til skriðs í malbikinu eftir mörg ár undir umferð. Jafnframt er mögulegt að meta hættu á skriði ef umferðin skyldi verða miklu meiri eða þyngri en hönnunarforsendur segja til um.

Tafla 2.1 sýnir megindrættina í hvorri hönnunaraðferð fyrir sig og lauslegan samanburð á þeim.

¹² Notkunarflokkur; á ensku: performance grade.

Tafla 2.1. Samanburður á meginatriðum hönnunar eftir Marshall- og Superpave-hönnunaraðferðunum.

<i>Marshall</i>	<i>Superpave</i>
Velja bindiefni	Velja bindiefni
Velja steinefni	Velja steinefni
Velja eina steinefnablöndu til prófunar	Velja (minnst) þrjár steinefnablöndur til prófunar
Velja fimm stig bindiefnisinnihalds	Velja eitt stig bindiefnisinnihalds
Gera (minnst) þrjú malbikssýni fyrir hvert valið bindiefnisinnihald og þjappa í Marshallhamri	Gera (minnst) tvö malbikssýni fyrir hverja steinefnablöndu og þjappa í snúðþjöppu
	Reikna þjöppunareiginleika sýna og velja steinefnablöndu sem sýnist heppilegust
	Gera (minnst) tvö malbikssýni með heppilegustu steinefnablöndunni á þrem stigum bindiefnisinnihalds og þjappa í snúðþjöppu
Prófa sýni og gera línurit yfir eiginleika blöndu sem fall af bindiefnisinnihaldi	Prófa sýni og gera línurit yfir eiginleika blöndu sem fall af bindiefnisinnihaldi
Velja bindiefnisinnihald með hliðsjón af kröfum um festu, sig og holrýmd	Velja bindiefnisinnihald þannig að holrýmd verði 4 %
Bera eiginleika blöndu með þessu bindiefnisinnihaldi saman við kröfur	Bera eiginleika blöndu með þessu bindiefnisinnihaldi saman við kröfur
	<i>Ef blandan stenst kröfur:</i>
	Gera vatnsnæmipróf ¹³ á malbiksblöndunni
	<i>Ef blandan stenst vatnsnæmipróf:</i>
	Hönnun lokið
	<i>Ef blandan stenst ekki kröfur:</i>
	<i>Ef blandan stenst ekki kröfur eða vatnsnæmipróf:</i>
Velja nýja steinefnablöndu og endurtaka hönnunarferlið	Velja (þrjá) nýja sáldurferla og endurtaka hönnunarferlið

Næsti kafli lýsir hönnunaraðferð Superpave. Ekki er farið út í smáatriði, þau má finna í hönnunarfyrirmælum, til dæmis [AI 2001] en markmiðið er að lesandi sem þekkir til hönnunaraðferðar Marshall öðlist nægilega vitneskju um hönnunaraðferð Superpave til að geta borið þessar tvær aðferðir saman og metið kosti og galla hvorrar um sig á eigin spýtur.

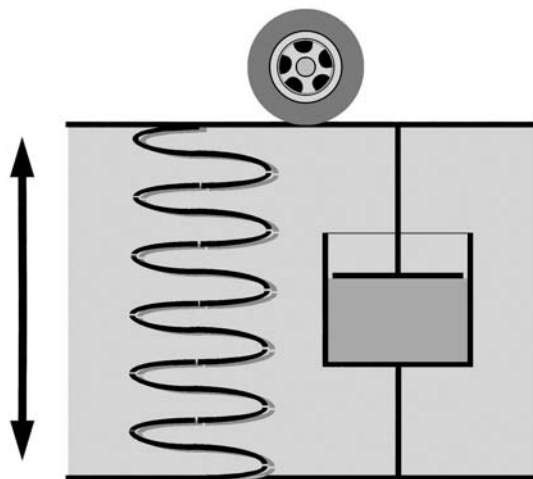
¹³ *Vatnsnæmipróf; á ensku: moisture sensitivity test.*

3 Hönnun malbiks með aðferðum Superpave

3.1 Bindiefni

3.1.1 Hitastigsháðir eiginleikar bindiefnis

Bindiefni¹⁴ má lýsa sem deigfjaðrandi¹⁵ efni. Með öðrum orðum; hegðun þess undir álagi er háð hitastigi, álagi og álagstíma. Við lágt hitastig og stuttan álagstíma er venjulegt bindiefni nánast fjaðrandi. Klumpur af bindiefni við þetta hitastig aflagast undir álagi en nær aftur fyrri lögun að mestu þegar álaginu léttir. Við hátt hitastig og langan álagstíma hagar bindiefni sér nánast eins og deig og formbreytingin er varanleg að mestu leyti. Glöggt dæmi um þetta eru dældir sem stundum myndast í malbiki þar sem þungir bílar standa lengi, til dæmis á biðstöðvum strætisvagna og malbikið skriður til hliðanna undan þunganum. Dældirnar eru því dýpri sem bílarnir eru þyngri, standa lengur og hitinn er meiri. Þessir sömu bílar marka hins vegar engin sjáanleg spor þar sem þeir aka um í köldu veðri, þá er hitastigið lágt og álagstíminn stuttur svo að malbikið er fjaðrandi. Á milli þessara öfga má lýsa hegðun bindiefnisins með mynd 3.1; svörun við álagi er að hluta fjaðrandi og að hluta deig¹⁶. Svörunin er háð bindiefnisgerð og eitt af viðfangsefnum malbikshönnunar er að velja bindiefnisgerð með heppilega svörun.



Mynd 3.1. Skýringarmynd af svörun deigfjaðrandi efnis við álagi. Þegar efnið þjappast saman er svörunin að hluta til fjaðrandi og að hluta deig. Svörunin í gorminum er fjaðrandi og endurkræf en deig og óendurkræf í bullustrokknum. Í deigfjaðrandi efni er aflögunin endurkræf að hluta en hinn hlutinn safnast upp með tímanum. Þess vegna skriður malbik smám saman undir þungri og hægfare umferð ef hitastigið er hátt.

Sá eiginleiki bindiefnisins, að vera deigt við hátt hitastig en fjaðrandi við lágt, er afar heppilegur fyrir slitlagsgerð. Við blöndun malbiks er bindiefnið hitað nægilega mikið til að það verði þunnfljótandi og myndi þunna himnu utan um hvert einstakt steinefniskorn. Þegar blandan kólnar virkar bindiefnið eftir atvikum eins og deigfjaðrandi lim sem heldur steinefnakornunum saman.

Hitastig í malbiksslitlagi hérlendis getur verið mjög breytilegt. Útreikningar, byggðir á reiknilíkani Superpave [AI 2003:54] og veðurathugunum um nokkurra áratuga skeið, gefa til kynna að það geti náð 30 til 35 °C á heitum sólskinsdögum og -20 til -25 °C í frostum, sjá kafla 5.1. Á efri hluta hitastigsbilsins er bindiefnið að einhverju leyti deigt en á neðri hlutanum mestmegnis fjaðrandi. Ef hitastigið er hátt en umferðin hæg og þung er hætta á skriði í malbikinu en hún minnkar með lækkandi hitastigi. Á hinn bóginn missir bindiefnið teygjan-

¹⁴ Bindiefni; á ensku: bitumen.

¹⁵ Deigfjaðrandi; á ensku: viscoelastic.

¹⁶ Deigur; á ensku: viscous.

leika sinn í miklum kuldum og því fylgir hættu á frostsprungum, malbikið skreppur saman og rifnar vegna togkrafta í miklum kulda. Af þessum ástæðum er nauðsynlegt að velja bindiefnið með tilliti til ríkjandi hitafars og flokkunarkerfi Superpave er einmitt gert með þetta í huga.

Malbiksslitlag þolir aðeins takmarkaðan fjölda álagssveiflna án þess að láta undan líkt og mörg önnur efni. Þetta er kallað þreytubrot og gerist til dæmis þegar vírbútur er beygður og réttur upp til skiptis; hann brotnar á endanum. Slitlög úr bindiefni með mikla seigju standa sig vel í þessu tilliti ef þau eru þykk og á traustri undirbyggingu, vegna þess að þau svigna lítið. Ef slitlagið er þunnt eða undirbygging ótraust, er bindiefni með lága seigju aftur á móti heppilegra vegna þess þá lætur slitlagið fremur undan án þess að brotna, en jafnframt eykst hættan á skriði í þykkum slitlögum.

Eins og sést af þessari upptalningu er í nokkur horn að líta þegar bindiefni er valið. Þegar bindiefni í malbik er valið samkvæmt hönnunaraðferð Superpave er öðru fremur reynt að lágmarka líkur á:

- Skriði
- Frostsprungum
- Þreytubroti undir umferðarálagi

Í þessu skyni er bindiefnið prófað á ýmsa vegu til að grafast fyrir um eiginleika þess við mismunandi aðstæður og það flokkað í samræmi við niðurstöðurnar. Bindiefni er svo valið úr flokki sem hæfir aðstæðum þar sem á að nota það.

3.1.2 Prófanir á bindiefni

Í þessum kafla er gerð örstutt grein fyrir prófunum á bindiefnum sem veita nauðsynlegar upplýsingar til að velja bindiefni eftir Superpave hönnunaraðferðinni. Rétt er að taka fram að í opinberum framkvæmdum er skylt að tilgreina kröfur til bindiefnis í samræmi við staðla CEN¹⁷ og í þeim er ekki gert ráð fyrir að flokkunarkerfi Superpave sé notað. Hins vegar veita prófunaraðferðirnar nokkra innsýn í hugsanaganginn í Superpave hönnunaraðferðinni og af þeim sökum þykir rétt að gera nokkra grein fyrir þeim.

Tafla 3.1 sýnir hvaða prófanir eru nauðsynlegar á bindiefni til að hægt sé að flokka það til notkunar í hönnunarkerfi Superpave.

Tafla 3.1. Tækjabúnaður til prófana á bindiefni og tilgangur þeirra.

Tækjabúnaður	Markmið	Notagildi
RTFO (Rolling Thin Film Oven)	Líkja eftir hörðun bindiefnis í blöndunarstöð	Undirbúningur að prófun
PAV (Pressure Aging Vessel)	Líkja eftir hörðun bindiefnis eftir útlögn	Undirbúningur að prófun
DSR (Dynamic Shear Rheometer)	Mæla eiginleika bindiefnis við hátt og miðlungs hátt hitastig	Metur hættu á þreytusprungum Metur hættu á skriði
RV (Rotational Viscometer)	Mæla eiginleika bindiefnis við hátt hitastig	Metur dælingareiginleika og hæfni til að flæða um og þekja steinefni
BBR (Bending Beam Rheometer)	Mæla eiginleika bindiefnis við lágt hitastig	Metur hættu á frostsprungum
DTT (Direct Tension Tester)	Mæla eiginleika bindiefnis við lágt hitastig	Metur hættu á frostsprungum

Eins og áður segir er flokkun bindiefnis í Superpave hönnunarkerfinu nokkuð frábrugðin þeirri flokkun sem hingað til hefur tíðkast. Meginástæðurnar eru tvær. Í fyrsta lagi er hráolían¹⁸ óstöðugra hráefni en áður var því framleiðendur bindiefnis flytja sig oftar á milli seljenda en áður í leit að ódýrustu hráolíunni og eiginleikar bindiefnisins draga dóm af henni. Í öðru lagi er bindiefnið ekki flokkað eftir eiginleikum þess við tiltekin hitastig, heldur stýrist flokkunin af

¹⁷ CEN; skammstöfun fyrir *Comité Européen de Normalisation*, á íslensku nefnt Evrópustaðlaráðið. Aðildarlöndunum, þar á meðal Íslandi er skylt að nota staðla CEN í viðskiptum sín á milli og í útboðsgögnum vegna opinberra framkvæmda.

¹⁸ *Hráolía*; á ensku: *crude oil*.

hitastigsbili þar sem bindiefnið hefur tiltekna eiginleika. Í stórum dráttum er takmarkið með flokkuninni að tilgreina hitastigsbil (mestu frost og mestu hita) veðurfars þar sem bindiefnið er nothæft. Með öðrum orðum; öll bindefni í sama bindiefnisflokki henta í malbik þar sem hitafar er innan markanna sem skilgreina hann.

Eiginleikar bindiefnisins eru prófaðir á tvenns konar sýnum. Annars vegar óspjölluðum sýnum, þ.e. sýnum sem tekin eru af bindiefni úr birgðageymi og áður en þau verða fyrir öldrunaráhrifum, þ.e. áhrifum hita og súrefnis. Hins vegar eru eiginleikarnir prófaðir á sýnum sem hafa orðið fyrir eftirlíkingu af öldrunaráhrifum. Stutt lýsing á þessum áhrifum fer hér á eftir.

Í blöndunarstöðinni er steinefnið þurrkað í heitum loftstraumi. Við blöndun myndar bindiefnið þunna himnu á steinefniskornunum sem eru mjög heit. Þegar steinefni og bindiefni er hrært saman kemst súrefni í einhverjum mæli að bindiefninu og áhrif hitans og súrefnisins verða til þess að bindiefnið breytir að nokkru um eiginleika; hluti af því (rokgjarnar olíur) gufar upp og súrefni gengur í samband við bindiefnið sem harðnar (oxast á máli efnafræðinga). Þessi breyting er kölluð öldrun. Öldrun á sér einnig stað á löngum tíma eftir að malbikið hefur verið lagt, að nokkru vegna áframhaldandi uppgrufunar en að mestu vegna oxunar.

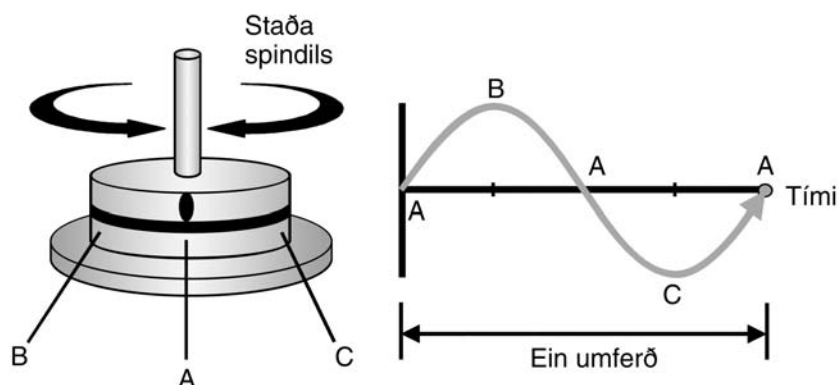
Við undirbúning sýna fyrir prófun er í sumum tilfellum lögð áhersla á að líkja eftir öldrun. Það er annars vegar gert með RTFO sem líkir eftir upphitun meðan á blöndun stendur; hins vegar með PAV sem líkir eftir öldrun eftir útlögn. Á þennan hátt er reynt að sjá fyrir hvaða breytingar verða á bindiefninu við blöndun í malbikunarstöð og einnig eftir að malbikið hefur verið lagt út. Nánari lýsingu á þessum undirbúningi má finna í heimildum [AI 2003:17]. Með prófunum á sýnunum má sjá hvaða breytingar verða á eiginleikum þeirra við öldrun. Tafla 3.2 sýnir undirbúning bindiefnissýna fyrir prófanir til nota í Superpave hönnunaraðferðinni.

Tafla 3.2. Undirbúningur sýna fyrir prófanir.

Prófunaraðferð	Undirbúningur sýnis
DSR (Dynamic Shear Rheometer)	Enginn (óspjallað bindiefni) Öldrun í RTFO Öldrun í PAV
RV (Rotational Viscometer)	Enginn (óspjallað bindiefni)
BBR (Bending Beam Rheometer)	Öldrun í PAV
DTT (Direct Tension Tester)	Öldrun í PAV

Prófununum er lýst mjög stuttlega hér á eftir en nákvæma lýsingu á hverri prófunaraðferð fyrir sig má finna í heimildum sem vísað er til á eftir nafni prófunaraðferðarinnar.

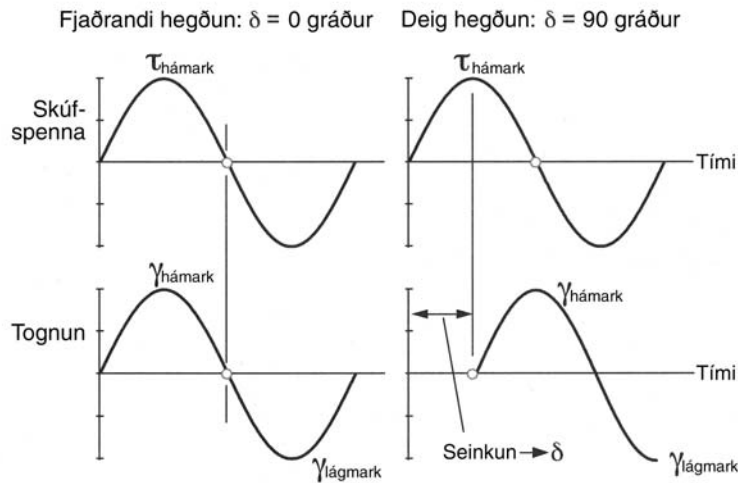
*Stífni*¹⁹, *AASHTO T315-02*. Mælingin er gerð með DSR (Dynamic Shear Rheometer), ýmist á óspjölluðu sýni af bindiefni eða sýni sem hefur gengist undir öldrun.



Mynd 3.2. Skýringarmynd af stífniþrófun í DSR.

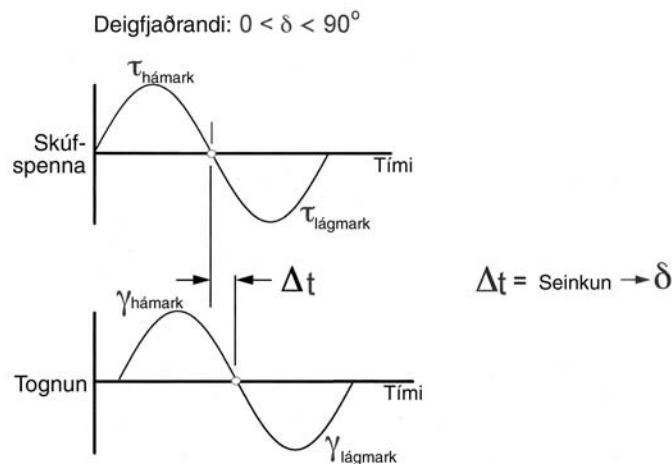
¹⁹ Stífni; á ensku: *stiffness*.

Mynd 3.2 sýnir prófunaraðferðina í hnotskurn. Vinstra megin á myndinni er sýnt hvernig bindiefnissýninu er komið fyrir á milli tveggja málmkífa. Neðri skífundi er haldið fastri en þeirri efri er snúið um ákveðið horn (þar til punkturinn A er á móts við punktinn B). Að því búnu er efri skífundi snúið til baka, fram hjá upphafspunktinum A, að punktinum C og síðan aftur til baka í punktinn A. Þar með er einni umferð lokið. Meðan á henni stendur er snúningsátakið mælt í sífellu og skráð sem fall af innbyrðis stöðu skífanna. Þetta er síðan endurtekið linnulaust, fyrst 10 umferðir til að venja sýnið og ákvarða hversu stórt snúningshornið skuli vera, síðan aðrar 10 umferðir sem er hin eiginlega mæling. Myndin til hægri sýnir snúningshornið sem fall af tíma í einni umferð.



Mynd 3.3. Skýringarmyndir af mælingum á fullkomlega fjaðrandi (til vinstri) og fullkomlega deigu (til hægri) bindiefni. δ táknar fasahorn, $\tau_{hámark}$ táknar hámarksspennu og $\gamma_{hámark}$ táknar hámarkstognun í bindiefnisýninu.

Mynd 3.3 sýnir hvernig niðurstöður mælingar gætu litið út, annars vegar ef bindiefnið væri fullkomlega fjaðrandi (til vinstri) og hins vegar fullkomlega deigt (til hægri). Þegar bindiefnið er fullkomlega fjaðrandi fylgjast tognun²⁰ og spennu²¹ fullkomlega að og ná hámarki samtímis. Ef bindiefnið er fullkomlega deigt nær tognunin þá fyrst hámarki þegar spennan hefir farið í gegnum hámark og er komin aftur í 0-punkt. Í þessu tilfalli er tölfin milli hámarkstognunar og hámarksspennu einn fjórði úr umferð eða 90° . Þetta eru hvorutveggja öfgatilfelli en raunhæft dæmi er sýnt á mynd 3.4.

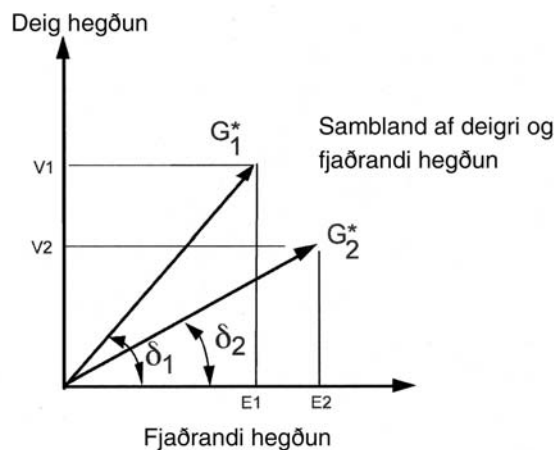


Mynd 3.4. Skýringarmyndir fyrir samband spennu og tognunar við mælingar á deigfjaðrandi sýni. Δt táknar tölfin, $\tau_{hámark}$ táknar hámarksspennu og $\gamma_{hámark}$ hámarkstognun í bindiefnisýninu.

²⁰ Tognun; á ensku: *strain*, skilgreind sem lenging á lengdareiningu.

²¹ Spenna; á ensku: *stress*, skilgreind sem kraftur á flatarmálseiningu.

Prófanir af þessu tagi veita ýmis konar upplýsingar um álagssvörunareiginleika sýnisins en flokkunarkerfi Superpave þarf aðeins á tveimur stikum²² að halda, tvinnskúfstuðli²³ sem er táknaður með G^* og fasahorninu²⁴ δ sem hvorutveggja má reikna út úr niðurstöðum mælinganna og veita mikilvægar upplýsingar um eiginleika bindiefnisins. Stærðin $G^*/\sin(\delta)$ er mælikvarði á mótstöðu bindiefnisins gegn skriði undir umferð og $G^*\sin(\delta)$ er mælikvarði á tilhneigingu malbiksins til að springa í frosti.



Mynd 3.5. Túlkun niðurstaðna úr mælingum í DSR (Dynamic Shear Rheometer) á sýni af deigfjaðrandi efni. Svörunin er samsett úr deigri og fjaðrandi hegðun. G^* er tvinnskúfstuðull, δ er fasahorn.

Mynd 3.5 sýnir tvinnskúfstuðul, G^* , og fasahorn, δ , fyrir tvær bindiefnisgerðir, önnur með parið (G^*_1 , δ_1) hin parið (G^*_2 , δ_2). G^* er mælikvarði á heildarviðnám sýnis gegn aflögun²⁵ sem sætir endurteknum skúfþennum sem koma í hnykkjum (púlsum). Þetta viðnám má kljúfa í tvo þætti; annar þeirra fjaðrandi með endurkræfri²⁶ aflögun (sýnið nær aftur fyrri lögun þegar álaginu léttir), hinn er deigur (aflögunin er varanleg) og δ gefur til kynna hvernig viðnámið skiptist á milli þessara tveggja þátta. Gildin á G^* og δ breytast hratt með hitastigi og álagstíma. Við hátt hitastig líkist bindiefni seigum vökva og aflögunin er (svotil öll) deig og varanleg. Í þessu tilfalli yrði (svotil) öll færslan sett á y-ásinn á mynd 3.5 og (nánast) ekkert á x-ásinn, δ yrði (svotil) 90° . Við mjög lágt hitastig líkist bindiefni föstu efni sem fjaðrar fullkomlega. Þá má tákna (svotil alla) færsluna með striki eftir x-ásnum á mynd 3.5 og δ yrði (nánast) 0° (nánast enginn deigur hluti).

Við venjulegt umferðarálág og hitastig í slitlagi hefur bindiefnið í malbikinu eiginleika sem tilsvara seigum vökva og fjaðrandi, föstu efni samtímis, sjá mynd 3.1. Með því að mæla G^* og δ fást greinargóðar upplýsingar um hegðun bindiefnis í slitlagi. Vigrarnir²⁷ G^*_1 og G^*_2 á mynd 3.5 tákna tvinnskúfstuðla tveggja bindiefnissýna, 1 og 2. Hluti af aflögun þeirra undir álagi er fjaðrandi (E) og hluti er deigur (V). Bæði sýnin eru deigfjaðrandi, bæði aflagast jafn mikið (vigrarnir eru jafnlangir) en sýni 2 er meira fjaðrandi en sýni 1 því fasahornið (δ_1) er minna. Þetta dæmi sýnir að tvinnskúfstuðullinn einn nægir ekki til að lýsa hegðun bindiefnis undir álagi, vitneskja um fasahornið, δ , er einnig nauðsynleg.

BBR (Bending Beam Rheometer), AASHTO TPI. Við mjög lágt hitastig verður bindiefni of stíft til að hægt sé að mæla það með DSR. BBR er einskonaframlenging á DSR-prófinu í átt að lágu hitastigi. Markmiðið er að meta svörun bindiefnis við álagi við mjög lágt hitastig. Í

²² Stiki; á ensku: *parameter*.

²³ Tvinnskúfstuðull; á ensku: *complex shear modulus*.

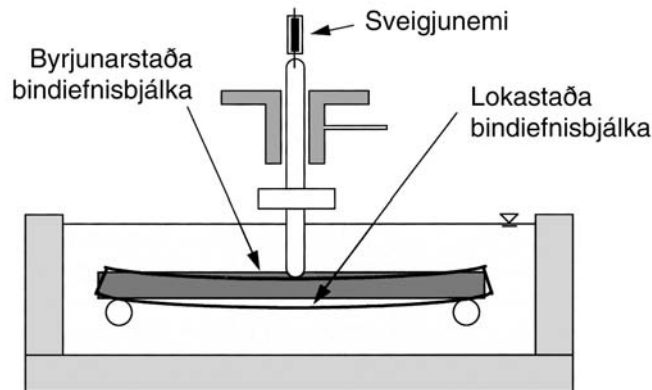
²⁴ Fasahorn; á ensku: *phase angle*.

²⁵ Aflögun; á ensku: *deformation*.

²⁶ Endurkræfur; á ensku: *recoverable*.

²⁷ Vigur; á ensku: *vector*.

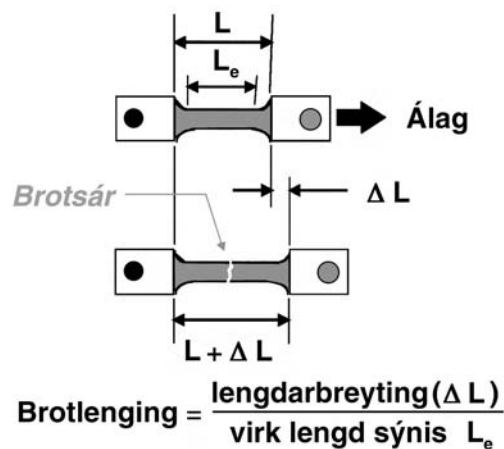
Þessu skyni er steypdur bjálki úr bindiefni, kældur niður í prófunarhitastigið og honum síðan komið fyrir í mælitækinu.



Mynd 3.6. Skýringarmynd af prófun í BBR.

Mynd 3.6 sýnir fyrirkomulag prófunarinnar. Á miðjan bjálkann er sett álag og mælt hversu mikið hann svignar sem fall af tíma. Úr mælingunum fást tveir stikar, skriðstuðull²⁸ og skriðhröðun²⁹ sem báðir eru notaðir til að segja fyrir um hegðun bindiefnisins við lágt hitastig.

DTT (*Direct Tension Tester*), *AASHTO TP3*. Í vissum tilfellum sem ekki verða rakin hér er þörf á frekari prófun á eiginleikum bindiefnis við lágt hitastig. Það er gert í prófi á sýni af öldruðu bindiefni (eftir RTFO og PAV).



Mynd 3.7. Skýringarmynd af prófun í DTT.

Mynd 3.7 sýnir fyrirkomulag prófunarinnar. Í prófunina er notað sýni með tiltekna lögun og tiltekin mál. Eftir kælingu niður í prófunarhitastigið er sýnið teygð með jöfnum hraða þar til það slitnar en á meðan er átakið og lengingin mælt í sífellu. Úr niðurstöðum þessa prófs og BBR er fundið við hvaða hitastig megi búast við frostsprungum í malbiki úr samskonar bindiefni.

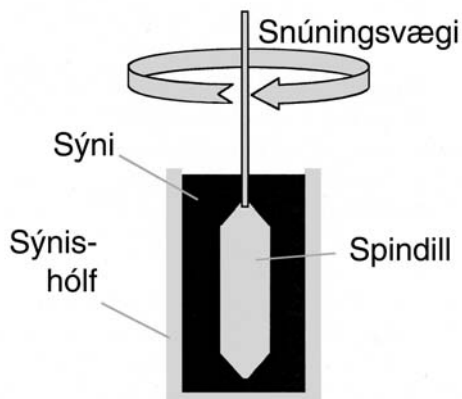
Rétt er að nefna tvö önnur próf sem gefa upplýsingar um eiginleika bindiefnisins þótt þau komi hönnun malbikins ekki beinlínis við. Það eru:

Seigjumæling, *AASHTO TP48*. Mælingin er gerð með snúðmæli³⁰ á óspjölluðu sýni af bindiefni. Hann mælir snúningsvægi sem þarf til að halda stöðugum snúningshraða á kólfi sem

²⁸ Skriðstuðull; á ensku: *creep stiffness*.

²⁹ Skriðhröðun; í enskum fræðiritum kallað *m-value*.

er sökk í bindiefnissýni með tiltekið hitastig sjá mynd 3.8. Niðurstöðurnar eru m.a. notaðar til að meta hversu mikið þurfi að hita bindiefni til að hægt sé að dæla því eftir leiðslum milli tanka eða í malbiksblöndunarstöð og tryggja að það sé nægilega þunnfljótandi til að þekja steinefniskornin við blöndun.



Mynd 3.8. Skýringarmynd af seigjumælingu á bindiefni.

Blossamark, AASHTO T48 eða AASHTO T73. Mælingin felst í að bera eld að gufunni frá óspjölludu bindiefni sem er hitað jafnt og þétt. Hitastigið þegar kviknar í gufunni er kallað blossamark sýnisins. Blossamark sýnir hversu mikið má hita bindiefnið án þess að hætta sé á íkveikju.

3.1.3 Flokkun bindiefna

Flokkun bindiefna í hönnunarkerfi Superpave er í grundvallaratriðum ólík flokkun CEN sem er notuð víðast hvar í Evrópu, þar á meðal hérlendis. Í flokkunarkerfi CEN eru bindiefni flokkuð eftir stungudýpt, en auk þess eru gerðar allmargar aðrar kröfur um eiginleika bindiefna í hverjum flokki fyrir sig. Í flokkunarkerfi Superpave er þessu annan veg farið. Þar er nær sanni að hitafar sé flokkað á hitastigsbil þar sem efri og neðri mörk bilsins breytast í stökkum sem hvert nemur 6 °C. Þar næst ákveðið hvaða eiginleika bindiefni þarf að hafa til þess að malbikið standist áraun frá hitafari í hverjum flokki. Með prófunum á bindiefninu er síðan ákvarðað hvaða hitafarsflokki bindiefnið tilheyrir. Þótt hitastigsmörk flokkanna séu látin hlaupa á 6 °C er það strangt tekið ekki nauðsynlegt, en stöðluð flokkun fylgir þessari reglu. Bindiefni getur eftir atvikum uppfyllt kröfur og spannað þröngt eða breitt hitafarsbil, en flokkur þess er ávallt valinn þannig hann sé allur innan hitafarsbilsins sem bindiefnið spannar. Á þennan hátt er tryggt að bindiefnið standist kröfur innan uppgefinna hitastigsmarka. Með þessu móti er stuðlað að því að valið bindiefni veiti hámarks mótspyrnu gegn skriði með lágmarks áhættu á frostsprungum.

Þessu flokkunarkerfi er einnig hægt að beita á breytt³¹ bindiefni. Eiginleikar óbreytts bindiefnis eru fundnir með prófununum sem er lýst lauslega í kafla 3.1.2 en prófunaraðferðir fyrir breytt bindiefni eru í endurskoðun. Kröfur til bindiefnisflokka má finna í heimildum, t.d. [AA 1996].

³⁰ *Snúðmælir*; á ensku: *rotational coaxial viscometer*.

³¹ *Breytt bindiefni*; á ensku; *modified binders*.

3.1.4 Val á bindiefni

Við val á bindiefni í hönnunarkerfi Superpave er lagt til grundvallar hvert sé hæsta og lægsta hitastig sem með sanngirni megi búast við í malbikinu þar sem það verður lagt.

Til að finna þessi mörk er stuðst við lofthitamælingar yfir langan tíma, minnst 20 ár, á svipuðum slóðum og á að nota malbikið. Fyrir hvert ár eru fundnar tvær stærðir; lægsta mæld hitastig á árinu og hæsta meðaltal hámarkstigs sjö daga í röð á árinu [HG 1994]. Síðan er fundið meðaltal og staðalfrávik þessara tveggja stærða yfir öll athugunarárin. Með frekari útreikningum, þar sem meðal annars er tekið tillit til sólgeislunar og vindafars, er reiknað út milli hvaða marka hitastig í slitlaginu muni sveiflast þannig að hitastigið fari að jafnaði ekki oftar en einu sinni út fyrir mörkin; annars vegar á hverju ári, hins vegar á hverjum 50 árum. Þessi hitastigsmörk ráða mestu um val á bindiefni. Auk þess er tekið tillit til umferðar sem er talin í jafngildisöxlum³². Ef umferðin er þung eða hægfare er tekið tillit til þess með því að hækka efri mörk hitastigsins, sem bindiefnið á að þola um 6 eða 12 °C eftir nánar tilteknum reglum [AI 2001:23]

3.2 Steinefni

3.2.1 Kröfur til steinefna

Kröfur til steinefna eru svipaðar hvort heldur hannað er eftir aðferð Marshall eða Superpave. Í Superpave hönnunarkerfinu er kröfum til steinefna skipt í tvo flokka, ófrávikjanlegar kröfur³³ og staðbundnar kröfur³⁴. Þær fyrrnefndu eru ófrávikjanlegar og eru taldar skipta sköpum um það hvort malbikið stendur undir væntingum [AI 2001:25]. Hinar síðarnefndu snúast um endingu malbiksins og geta verið breytilegar frá einum stað til annars. Meðal annars taka þær mið af steinefnum sem standa til boða á hverjum stað. Þar að auki eru gerðar kröfur til sáldurferils steinefnablöndunnar sem eru gerð skil í kafla 3.2.2.

Ófrávikjanlegar kröfur eiga við steinefnablönduna og eru á þessa leið [AI 2001:25]:

Brothlutfall í grófu steinefni. Þessi eiginleiki er skilgreindur sem þungahlutfall korna (%) sem eru hafa einn eða fleiri brotflöt. Krafan er takmörkuð við steina sem ekki smjúga sikti með 4,75 mm möskvastærð. Brothlutfall er fundið með talningu í samræmi við ASTM D 5821 [ASTM 1999a:625].

Brothlutfall í smáu steinefni. Þessi eiginleiki er skilgreindur sem holrýmd (%) í steinefni smærra en 2,36 mm, samkvæmt prófunaraðferð AASHTO T304 eða ASTM C 1252 [ASTM 1999b:641].

Ílengd í grófu steinefni. Ílengd er skilgreind sem hlutfall korna í grófu steinefni (> 4,75 mm) sem hafa meira en fimmfalda lengd á við þykkt, samkvæmt prófunaraðferð ASTM D 4791 [ASTM 1999c:476].

Slam. Slam er skilgreint sem hlutfall korna sem líkjast leir, í steinefni sem er smærra en 4,75 mm. Slam er mælt samkvæmt ASTM D 2419 [ASTM 1999d:221].

Ófrávikjanlegar kröfur til steinefna eru háðar umferð (sem er talin í jafngildisöxlum) og staðsetningu malbiksins í veghlotinu. Þær má meðal annars finna í leiðbeiningum um hönnun malbiks eftir Superpave aðferðinni [AI 2001:26].

Staðbundnar kröfur taka ekki mið af umferð. Þær eru settar af þar til bærnum aðilum á hverjum stað og taka mið af eiginleikum steinefna sem eru í boði. Dæmigerðar kröfur má finna í heimildum, t.d. [AI 2001:29]. Staðbundnar kröfur eiga við steinefnablönduna og ná til eftirfarandi eiginleika:

³² *Jafngildisöxlar*; á ensku: *equivalent single axle loads (ESALs)*.

³³ *Ófrávikjanlegar kröfur*; á ensku: *conensus aggregate properties*.

³⁴ *Staðbundnar kröfur*; á ensku: *source aggregate properties*.

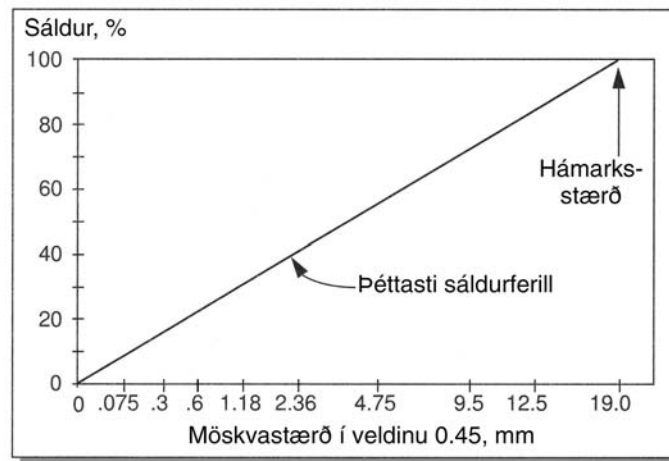
*Styrkleiki*³⁵. Þessi eiginleiki er mældur með Los Angeles prófi, ASTM C 131 (eða C 135 ef við á) sem er eins konar brotþolspróf á grófu steinefni [ASTM 1999e:74].

Veðrunarþol. Mælt með súlfatprófi, ASTM C 88 sem metur veðrunarþol (frostþol) efnisins [ASTM 1999f:38].

Aðskotaefni. Hér er átt við efni sem molna auðveldlega niður eða eru á annan hátt til óþurftar í malbiki. Hlutfall þeirra af heild er ákvarðað samkvæmt ASTM C 142 [ASTM 1999g:86].

3.2.2 Kröfur til sáldurferils

Superpave notar ekki hefðbundið línurit (þ.e. með kvarða á x-ás markaðan í réttu hlutfalli við logra af kornastærðum) til að sýna sáldurferla heldur svokallað 0,45-veldis línurit³⁶ þar sem kvarði á x-ás er markaður í réttu hlutfalli við kornastærð í veldinu 0,45. Í þessu línuriti kemur þéttasti mögulegi sáldurferill miðað við flokkunarstærð³⁷ steinefnisins fram sem bein lína dregin milli upphafspunkts línuritsins og hámarksstærðar³⁸ steinefnisins, sjá mynd 3.9. Kosturinn við þessa framsetningu er sá að línuritið gefur á óbeinan hátt til kynna hvort hætta sé á skriði í malbikinu. Því meir sem sáldurferillinn nálgast beinu línuna, þeim mun minna rúm er fyrir bindiefnið í malbikinu og þar með eykst hættan á að bindiefnið spyrni steinefnagrindinni í sundur og malbikið skriði undan umferðarþunganum.



Mynd 3.9. Þéttasti mögulegi sáldurferill steinefnis með 19 mm hámarksstærð á 0,45-veldis línuriti.

Í hönnunarkerfi Superpave er sáldurferlinum gert að fara um ákveðin hlið³⁹ á línuritinu. Staðsetning þeirra fer eftir flokkunarstærð steinefnisins. Tvö þeirra eru ávallt á sama stað og ákvarða magnið sem má fara í gegnum 75 μ m og 2,36 mm sikti, hin ákvarðast algerlega af flokkunarstærð steinefnisins. Að auki er afmarkað amasvæði⁴⁰ á línuritinu sem sáldurferillinn á ekki að fara um nema í undantekningartilvikum. Á mynd 3.10 er amasvæðið sýnt ásamt hliðum fyrir steinefni af 12,5 mm flokkunarstærð (19 mm hámarksstærð). Þéttasti mögulegi sáldurferill steinefnisins er sýndur á línuritinu til samanburðar.

³⁵ *Styrkleiki*; á ensku: *toughness*.

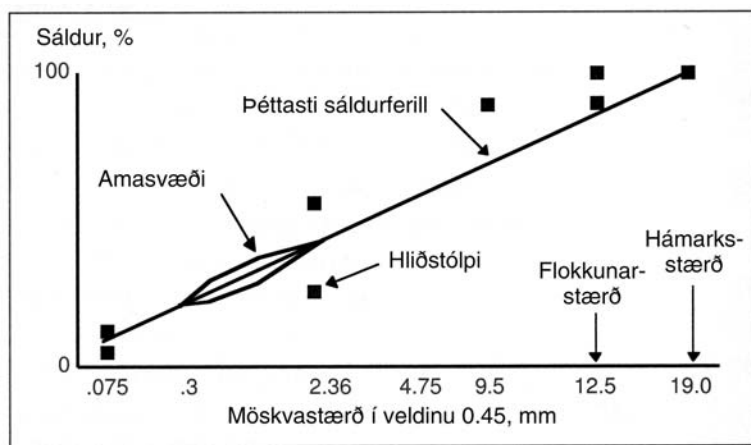
³⁶ *0,45-veldis línurit*; á ensku: *0,45-power gradation chart*.

³⁷ *Flokkunarstærð*; á ensku: *nominal maximum size*, skilgreint sem möskvastærð í næsta sikti (í hefðbundinni siktaröð) fyrir ofan siktið sem heldur eftir meiru en 10 % af sýninu við siktun.

³⁸ *Hámarksstærð*; á ensku: *maximum size*, möskvastærð næsta siktis fyrir ofan flokkunarstærð.

³⁹ *Hlið*; á ensku: *control points*.

⁴⁰ *Amasvæði*; á ensku: *restricted zone*.



Mynd 3.10. Hlið (svartir feringar) fyrir sáldurferil steinefna með 19 mm hámarksstærð á 0,45-veldis línuriti. Á línuritinu er einnig sýndur þéttasti mögulegi sáldurferill steinefnis með 19 mm hámarksstærð (bein lína) og amasvæðið, sem ferillinn á ekki að fara um nema í undantekningartilfellum.

Tilgangur amasvæðisins er tvíþættur [AI 2001:32]. Annars vegar á það að tryggja að steinefnablendan innihaldi ekki of mikið af fingerðum sandi, sem stundum verður til þess að malbikið skriður undir valtanum þegar verið er að þjappa það. Hins vegar á amasvæðið að stuðla að nægilegu rými fyrir bindiefnið í steinefninu og draga þannig úr hættu á skriði.

Rétt er að geta þess að skoðanir eru skiptar um hvort amasvæðið eigi rétt á sér því reynslan hefur sýnt að malbik með sáldurferli sem liggur um amasvæðið getur reynst viðunandi [KT 2004:1]. Nýlegar rannsóknir [NCHRP] hafa staðfest að ekki er þörf á að sneiða hjá amasvæðinu ef steinefnið uppfyllir ófrávikjanlegar kröfur og malbikið kröfur um rúmmálshlutföll.

3.3 Hönnununarferli Superpave-aðferðarinnar

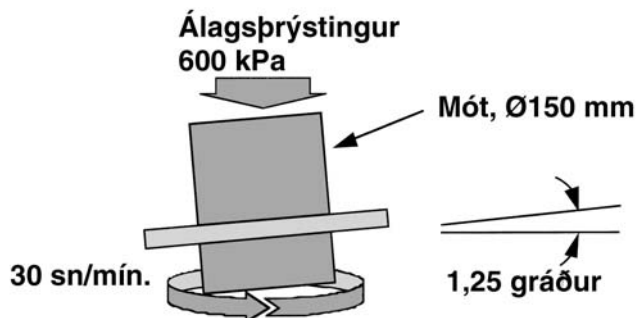
Hönnun eftir Marshallaðferðinni og Superpave-aðferðinni eru um margt líkar. Báðar byggjast að verulegu leyti á því að velja álitlegt bindiefni (reyndar segir Marshallaðferðin ekkert um það hvernig eigi að velja bindiefni), líklega blöndu af steinefnum, búa til sýni af malbiki með mismunandi miklu bindiefnisinnihaldi, prófa eiginleika sýnanna og leita þannig uppí heppilegasta bindiefnisinnihald. Ef eiginleikarnir eru utan tilskilinna marka er steinefnablöndunni breytt, ný malbikssýni buin til og prófuð. Þetta er endurtekið þar til viðunandi niðurstaða fæst. Meginmunurinn er sá að leið Superpave hönnunaraðferðarinnar að markinu er rökréttari, hún byggist í meira mæli á rúmmálshlutföllum í blöndunni en Marshallaðferðin og niðurstöðurnar eru í nánara samhengi við raunverulegar aðstæður við blöndun, útlögn og notkun malbiksins.

Hönnun eftir Superpave aðferðinni fer þannig fram í stórum dráttum:

- Gagnasöfnun um veðurfar og umferð þar sem á að leggja malbikið. Veðurfarsupplýsingarnar eru notaðar til að reikna út hitastigsmörk, þannig að hitastig í malbikinu haldist innan þessara marka á æviskeiði malbiksins með tilteknum líkum. Upplýsingar um umferð eru notaðar til að áætla fjölda jafngildisöxla næstu 20 ár þar sem á að nota malbikið. Þetta tvennt ásamt umferðarhraða stýrir vali á bindiefni [AI 2001:25].
- Val á bindiefni, steinefni og íaukum.
- Ákvörðun um sáldurferil steinefna.
- Ákvörðun um bindiefnisinnihald.
- Prófun á vatnsnæmi malbiksins.

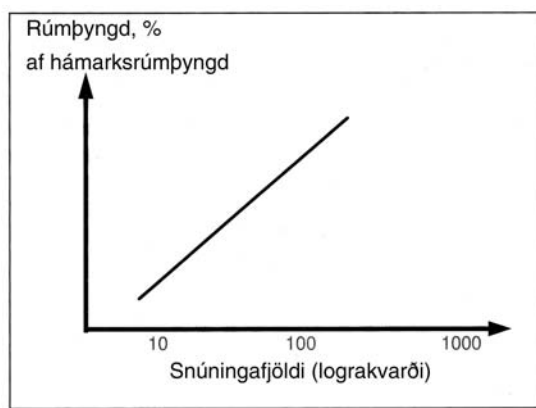
Í hönnunaraðferð Superpave er lögð mjög mikil áhersla á hanna malbikið þannig að hætta á skriði sé lítil. Til þess þarf að afla upplýsinga um svörun malbiksins við langvarandi

umferðarálagi, þar á meðal um líklegar breytingar á holrýmd, því fari hún niður fyrir ákveðin mörk (Superpave miðar við 2 %) eykst hættan á skriði. Í þessari upplýsingaöflun gegnir snúðþjappan lykilhlutverki, á svipaðan hátt og Marshallhamarinn í hönnunaraðferð Marshall en snúðþjappan hefur ýmsa kosti umfram Marshallhamarinn. Í fyrsta lagi líkir hún betur eftir þjöppun slitlags, hún hnoðar malbikið saman á svipaðan hátt og gerist undir valtura en í Marshallhamrinum kemur þjöppunarálagið sem högg lóðrétt ofan á sýnið, sem er óraunhæft. Í öðru lagi gerir hún kleift að stýra þjöppuninni að vild og meðan á henni stendur fást upplýsingar um þjöppun sýnisins, sem eru mikilvægar til að sjá hvernig holrýmd breytist með þjöppunarorku.



Mynd 3.11. Skýringarmynd af snúðþjöppu.

Mynd 3.11 sýnir megindrættina í snúðþjöppu og hvernig hún vinnur. Malbikið sem á að prófa er sett í mótið á miðri myndinni. Ofan á malbikið er settur lóðréttur 600 kPa þrýstingur og mótið er látið hallast lítið eitt (1,25 gráður) frá kraftstefnu hans. Mótið er síðan látið snúast 30 snúninga á mínútu og hallinn á mótinu verður til þess að malbikið hnoðast saman. Aflestrar- og skráningarbúnaður gerir kleift að skrá rúmmál sýnisins sem fall af snúningafjölda og með þessu móti má sjá hvernig rúmþyngd sýnisins (og þar með holrýmd) breytist meðan á þjöppuninni stendur.



Mynd 3.12. Dæmigert samband rúmþyngdar og fjölda snúninga eftir þjöppun malbiks í snúðþjöppu.

Mynd 3.12 sýnir í hnotskurn hvernig rúmþyngd malbikssýnis breytist sem hlutfall af eðlisþyngd sýnisins með fjölda snúninga í snúðþjöppu.

Í hönnunarkerfi Superpave fer áskilin þjöppun eftir umferðarflokki, það er hversu mikilli umferð (talinni í jafngildisöxlum) má búast við á æviskeiði malbiksins og þessir umferðarflokkar eru fjórir. Fyrir hvern umferðarflokk eru tilgreind þrjú þjöppunarstig, frumþjöppun⁴¹, hönnunarþjöppun og hámarksþjöppun og til hvers þeirra svarar ákveðinn fjöldi snúninga í snúðþjöppunni sem er tilgreindur í hönnunarlýsingu. Rúmþyngd malbikssýnisins eftir þessi þrjú þjöppunarstig gefur upplýsingar um eiginleika malbiksins; rúmþyngd eftir

⁴¹ Frumþjöppun; á ensku: initial compaction.

frumbjöppun og hönnunarþjöppun lýsir þjöppunareiginleikum malbiksins, hönnunarþjöppun lýsir holrýmd malbiksins við umferð í samræmi við valinn umferðarflokk en hámarksþjöppun lýsir holrýmd malbiksins ef umferðin verður til muna meiri en ráð er fyrir gert. Með þessu móti er hægt að meta fyrirfram hættu á skriði í malbikinu, ef umferðin skyldi fram úr áætlunum.

Að öðru leyti er margt líkt með hönnunaraðferðum Marshall og Superpave. Báðar aðferðirnar velja hæfilegt bindiefnisinnihald á grundvelli tiltekinna eiginleika í malbikinu; holrýmdar í Superpave aðferðinni en í Marshallaáferðinni byggist ákvörðunin auk þess á mælingum á festu og sigi. Aðferðirnar til að mæla holrýmdina eru um margt líkar í báðum aðferðum, nema hvað aðferðirnar til að þjappa sýnin og meta rúmmál þeirra eru talsvert ólíkar.

3.4 Endurbætur á Superpave hönnunaraðferðinni

Nú eru 12 ár síðan Superpave var tekið í notkun og á þessu tímabili hafa orðið ýmsar breytingar á hönnunaraðferðinni, þótt hún standi óbreytt í megindráttum. Í fyrstu var hönnun eftir Superpave skipt í þrjú þrep eftir umferðarþunga á væntanlegu malbiki og prófanir á efri þrepunum áttu meðal annars að segja fyrir um væntanlega frammistöðu malbiksins. Síðar kom í ljós að aðferðirnar sem átti að nota við prófanir á öðru og þriðja þrepi voru gallaðar og þörfnuðust endurskoðunar. Nú er gert ráð fyrir að henni verði lokið á árinu 2005 [AP 1997]. Um sama leyti á einnig að ljúka vinnu við að sameina kröfur til bindiefnis og malbiks í eitt frammistöðutengt gæðaeftirlitskerfi. Auk þess er í gangi fjöldi rannsókna sem stuðla að frekari endurbótum á Superpave hönnunarkerfinu. Þar á meðal má nefna rannsóknir á frammistöðu breyttra bindiefna og prófunaraðferðum til að flokka þau, en breytt bindiefni eru talsvert notuð í Bandaríkjunum. Þá er einnig lögð talsverð áhersla á fræðslu um hönnunarkerfi Superpave og þjálfun í að nota það [ML 2003].

4 Staðbundin áhrif á val hönnunaraðferðar

4.1 Staðlar

Sem stendur er bindiefni sem keypt er hingað til lands flokkað eftir stungudýpt samkvæmt stöðlum CEN sem tóku gildi árið 2000 [CEN 2000]. Þar eru ennfremur gerðar kröfur um allmarga aðra eiginleika bindiefnisins. Með gildistöku áður nefndra staðla féllu eldri flokkunarkerfi og kröfur úr gildi þar á meðal þær sem eru tilgreindar í Alverk '95 [VG 1995:22]. Samkvæmt reglum Evrópusambandsins er óheimilt að nota aðra staðla í opinberum framkvæmdum en staðla CEN, hafi þeir tekið gildi. Af þessu leiðir að opinber útboð og kaup á bindiefni verða að byggjast á stöðlum CEN. Hins vegar er ekkert því til fyrirstöðu að haga vali á bindiefnisflokkum þannig að líkur séu á að bindiefnið falli undir ákveðinn eða ákveðna flokka eftir flokkunarkerfi Superpave. En þar sem ekki eru bein tengsl milli flokkunarkerfanna er heldur ekki tryggt að fyrirhugað bindiefni fái á þann hátt.

Hvað malbikið snertir, þá eru staðlar CEN um eiginleika malbiks (staðlaröð nr. 13108, hlutar 1-8) allir á frumvarpsstigi þegar þetta er skrifað (2005). Prófunaraðferðirnar (staðlaröð nr. 12697, hlutar 1-47) hafa hins vegar flestar tekið gildi.

Að því best verður séð eru engin ákvæði í stöðlunum sem útiloka aðferð Superpave til að hanna malbik, aðeins gerð krafa um að bindiefnið uppfylli kröfur CEN til bindiefnis og að malbikið uppfylli kröfur til eiginleika malbiks, en sá hluti er eins og áður segir á frumvarpsstigi og ekki genginn í gildi.

Trúlega verður þróunin sú að staðlar CEN (sem eru endurskoðaðir með vissu millibili) muni taka nokkurt mið af Superpave í framtíðinni, bæði hvað varðar flokkun bindiefna og kröfur til malbiks. Þessa sér reyndar stað nú þegar, ýmsar prófunaraðferðir Superpave á bindiefnum eru þegar í notkun í Evrópu, t.d. BBR, DTT og DSR, og í tillögum að stöðlum bregður fyrir áhrifum frá Superpave, þar á meðal áður nefndum prófunaraðferðum á bindiefni, notkun snúðþjöppu og frammistöðutengdum prófunum á malbiki.

4.2 Veðurfar

Tvö einkenni íslensks veðurfars skipta máli fyrir hönnun malbiks, annars vegar tiltölulega lítil hitastigssveifla yfir árið, hins vegar margar sveiflur kringum frostmark á hverjum vetri.

Fyrirnefnda einkennið gerir það að verkum að kröfur til bindiefnis í Superpave hönnunarkerfinu verða vægar, fræðilega séð væri hægt að nota einn og sama bindiefnisflokkinn, PG 34-28 nánast hvar sem er á landinu. Önnur þeirra tveggja bindiefnisgerða sem nú eru notaðar, 160/220 í flokkunarkerfi CEN, fellur í þennan flokk, sjá kafla 5.1.

Síðarnefnda einkennið, hitastigssveiflur í kringum frostmark, gerir kröfu um steinefni sem molnar ekki niður í frost/þíðusveiflum. Þessi krafa er á óbeinan hátt tekin með í hönnunarkerfi Superpave, þar er staðbundin krafa um höggþol, en hún hefur verið lögð af hér og frostþolspróf er komið í staðinn. Þá er notkun negldra hjólbarða fremur algeng (um 25 % á ársgrundvelli í Reykjavík) sem gerir kröfu til slitþols steinefnanna. Í hönnunarkerfi Superpave eru engin ákvæði um þennan eiginleika. Hérlendis er hins vegar tekið tillit til þessa með því að gera kröfu til slitþols steinefna, sem er mælt með kúlnakvarnarprófi.

Verið að vinna að því að þessar kröfur eða jafngildi þeirra verði teknar upp í staðla CEN. Ef því fæst framgengt verður leyfilegt að nota þær í opinberum útboðum.

4.3 Umferð og horfur um þróun hennar

Undanfarin ár hafa orðið miklar breytingar á umferð á íslenska vegakerfinu utan þéttbýlis. Ástæðan er bæði meiri umferð og þyngri bílar, meðfram vegna þess að vöruflutningar á sjó hafa minnkað mikið hin síðari ár en aukist að sama skapi á þjóðvegum. Við þetta eykst áætlaður fjöldi jafngildisöxla á æviskeiði veghlotsins. Í hönnunarkerfi Superpave hefur þetta

engin áhrif á val bindiefnis frá því sem nú er, því hitaþol 160/220 er meira en þörf krefur, jafnvel þótt beita þurfi álagi vegna fjölda jafngildisöxla eða hægfara umferðar.

4.4 Stefnan í nágrannalöndunum

4.4.1 Bandaríkin og Kanada

Þróun Superpave hönnunaraðferðarinnar hófst 1993. Hún náði tiltölulega fljótt fötfestu í Bandaríkjunum; sex árum seinna höfðu eitt eða fleiri ákvæði úr hönnunaraðferðinni verið tekin upp í um það bil helming samninga um malbikskaup á snærum ríkisvegagerðanna (DOT⁴²) [TRB 1999:3]. Í yfirliti um notkun aðferðarinnar 2003 kemur í ljós að um 75 % ríkja Bandaríkjanna höfðu tekið hana upp, 20 % voru á góðri leið með að taka aðferðina upp en afgangurinn hafði ekki tekið ákvörðun [BJ 2003].

Í Kanada voru undirtektirnar öllu dræmari. Í könnun sem gerð var 2001 á notkun aðferðarinnar í Kanada [GS 2002:16] kemur fram að þar gangi hægar en í Bandaríkjunum að innleiða aðferðina. Ýmsar ástæður eru nefndar en margar bera vott um hik fremur en rökstudda ótrú á aðferðinni. Meginniðurstaðan var sú enginn þeirra sem svöruðu höfðu innleitt aðferðina í heild, þ.e. aðferð Superpave til að flokka bindiefni né heldur hönnunaraðferðina sjálfa, áhugi á flokkunaraðferðinni er þó meiri en á hönnunaraðferðinni. Talsvert hafði verið lagt af malbiki í tilraunaskyni, sem var hannað í samræmi við Superpave, (ríflaga 4 millj. tonna á árunum 1994-2001) og talið var líklegt að Superpave yrði innleitt í Kanada.

Í könnun af svipuðu tagi frá 2003 [BA 2004] kemur fram að notkun Superpave eykst hratt í Ontario og þar er gert ráð fyrir að Superpave verði innleitt að fullu árið 2005 af hálfu fylkisvegagerðarinnar. Í Alberta hafði notkun Superpave aftur á móti dregist mjög mikið saman. Um ávinning voru skiptar skoðanir. Malbik, hannað samkvæmt Superpave var talið vera heldur dýrara en hefðbundið malbik, en jafnframt endingarbetra, minna skrið í því og minni frostsprungur. Aðrir voru ekki jafn sannfærðir og vildu bíða átekta. Þess má geta að Alberta og Ontario eru þau tvö fylki í Kanada sem framleiða mest af malbiki.

4.4.2 Evrópa

Hvað Evrópu snertir virðist hönnunaraðferð Superpave ekki eiga neinn sérstakan hljómgrunn þar. Í greinargerð frá EAPA [EAPA 1998] er bent á að Superpave geti útilokað bindiefni sem séu heppileg fyrir aðstæður í Evrópu og ýtt undir notkun á öðrum sem ekki henti þar. Ennfremur hafi Superpave verið þróað fyrir hefðbundnar malbiksgerðir en aðrar gerðir, algengar í Evrópu, eins og drenmalbik, steypumalbik og VTL⁴³ þurfi að taka með í reikninginn. Þá er talið óhyggilegt að gera breytingar á prófunaraðferðum nema því aðeins að vandaðar rannsóknir á tilraunaköflum hafi sýnt fram á réttmæti þeirra. Greinargerðinni lýkur á ályktun þess efnis að nauðsyn sé á umfangsmiklum könnunum áður en hægt sé að staðfesta notagildi Superpave á Evrópumarkaði. Þessu til viðbótar má nefna að á ráðstefnu Euroasphalt & Eurobitume í Vín 2004 fjallar engin ráðstefnugreinanna gagngert um Superpave.

Í byrjun ársins 2005 voru sendar óformlegar fyrirspurnir til nokkurra nágrannalanda og spurt um líkur á að Superpave eða einhverjir hlutar þess yrðu teknir upp í viðkomandi löndum. Í ljósi ofanefndrar greinargerðar EAPA komu svörin ekki á óvart. Fulltrúar Finna, Íra, Svía og Þjóðverja svöruðu allir neitandi. Fulltrúi Dana taldi að malbiksframleiðsla í Danmörku myndi á næstu árum fyrst og fremst mótast af stöðlum CEN, þó væri ekki útilokað að einhverjir ráðgjafar fyrir óopinberar framkvæmdir kynnu að hafa hliðsjón af aðferðum Superpave, einkum í vali á bindiefni. Hann taldi jafnframt að stöðlunarvinna innan CEN stefndi ekki í átt að Superpave, nema síður væri, miklu fremur í átt að frammistöðutengdum stöðlum fyrir malbik sem byggðist á reynslu í Evrópu. Fulltrúi Belga kvaðst viss um að Superpave í

⁴² DOT; skammstöfun fyrir *Department of Transportation*.

⁴³ VTL; skammstöfun fyrir *very thin layers*.

núverandi mynd yrði tekið ekki upp í Evrópu. Hann benti hins vegar á að mörg prófanna (t.d. DSR, BBR og DTT) sem notuð eru í Superpave verða tekin upp í staðla CEN á þessu ári (2005), sum þó með lítils háttar breytingum. Hann taldi líka að Marshallprófið yrði lagt fyrir róða með tímanum, nýir staðlar sem leyfa aðrar aðferðir hafa ýmist verið samþykktir eða eru í undirbúningi.

Af þeim sem svöruðu er fulltrúi Norðmanna jákvæðastur gagnvart Superpave. Hann telur að aðferð Superpave til að velja bindiefni muni sennilega setja mark sitt á næstu kynslóð CEN-staðla fyrir bindiefni fyrir vegi og raunar hafi verið tekið mið af flokkunarkerfi Superpave þegar bindiefni var valið í flugbrautir á Gardermoen í Noregi. Nýir staðlar frá CEN um bindiefni komi þó sennilega ekki til framkvæmda fyrr en eftir 2010. Norðmenn hafa gert talsverðar athuganir á Superpave hönnunaraðferðinni [AE 1998b] undir vinnuheitinu PROKAS, og reynt að meta hvort Superpave henti sem hönnunaraðferð við norskar aðstæður. Megináherslan hefur verið lögð á val á bindiefni. Niðurstaðan er sú að aðferðin hafi bæði kosti og galla en hvað gallana snertir hafa verið gerðar breytingartillögur á hönnunaraðferðinni til að laga hana að norskum aðstæðum. Norðmenn hyggjast leggja tilraunakafla sumarið 2005 þar sem malbikið verður hannað eftir aðferð Superpave með áður nefndum breytingartillögum.

Í lokin má geta þess að í svari frá Finnlandi við svipaðri fyrirspurn frá 1999 kemur fram að Finnar notuðu þá malbikshönnunaraðferð (sem stóð til að endurskoða á næsta ári) sem að sumu leyti svipar til hönnunaraðferðar Superpave [PI 2000:11]. Til dæmis byggist hún á rúmmálshlutföllum blöndunnar, malbikið er þjappað í snúðþjöppu, hætta á frostsprungum er tekin með í reikninginn, vatnsnæmi malbiksins er kannað svo og hætta á skriði.

Á Norðurlöndunum virðist bindiefni öðru fremur vera valið með hliðsjón af umferð, ennfremur með tilliti til veðurfars (hættu á skriði og frostsprungum) og stundum burðarþols undirbyggingar. Í sænskum verklýsingum er landinu skipt upp í svæði eftir veðurfari og tiltekið hvaða bindiefni eigi við á hverju svæði að teknu tilliti til þungrar umferðar [ATB 2004:36]. Í norskum verklýsingum hefur slitlagsgerð og umferð ráðið mestu um val bindiefnis [SV 1999:222] en í nýjustu útgáfu verklýsinganna [SV 2005:262] er vísað til nýrrar tillögu að bindiefnisvali sem að stofni til er aðferð Superpave en löguð að norskum aðstæðum [AE 1998b:22]. Í dönskum verklýsingum er gert ráð fyrir að slitlög séu hönnuð með hliðsjón af fjadurstuðli þeirra [UA 1994:20] og má ætla af því að bindiefni sé óbeint valið með hliðsjón af umferð. Finnskar verklýsingar gera ráð fyrir að bindiefni sé valið með hliðsjón af slitlagsgerð, umferðarálagi og veðurfari [FAS 1995:49].

Samkvæmt tillögu að CEN-staðli [CEN 1999:30] um malbik getur framleiðandi valið bindiefni að vild með þeim skilyrðum einum að malbiksblandan uppfylli almennar kröfur í staðlinum svo og kröfur til stífni, skriðþols⁴⁴ og þreytuþols⁴⁵. Með öðrum orðum vísar staðallinn hvorki til umferðarþunga né hitafars nema á óbeinan hátt hvað val á bindiefni snertir.

Að lokum má geta þess að nú vinnur Eurobitume (samband bindiefnisseljenda og félaga um bindiefnismál) í náinni samvinnu við CEN að því að endurskoða kröfur til bindiefnis með áherslu á tengingu við frammistöðu. Ráðgert er að tillögur að nýjum bindiefniskröfum verði tilbúnar á árunum 2006-2008 [SA 2004:2118].

⁴⁴ *Skriðþol*; á ensku: *resistance to deformation*.

⁴⁵ *Þreytuþol*; á ensku: *resistance to fatigue*.

5 Líklegar breytingar með hönnunaraðferð Superpave

Sennilega verður hönnunaraðferð Superpave, ef hún verður tekin upp í einhverri mynd héraendis, fyrst og fremst verða beitt við hönnun á malbiki sem líkist núverandi Y12 eða Y16 og SMA, það er að segja malbiki fyrir mikla og/eða þunga umferð. Reyndar er vafamál hvort Marshallaðferðin hentar til að hanna SMA, og sennilega er hönnunaraðferð Superpave fullt eins vel fallin til þess. Einnig má beita Superpave á grófara efni (allt upp í 37,5 mm) en Marshallaðferðin ræður við, sem er jákvætt, en slíkt malbik verður helst notað í burðarlag.

5.1 Val á bindiefni og steinefni

Héraendis hefur ekki verið notað annað bindiefni í malbik en B85 og B180 (80/100 og 160/220 skv. flokkunarkerfi CEN) ef frá er talið lítilræði af bindiefni í mjúkt malbik svo og olíumalbik sem lagðist af kringum 1980. Gæðavottorð sem fylgja innfluttu bindiefni eru sniðin eftir kröfum CEN svo þar eru engar upplýsingar um flokkun þeirra í kerfi Superpave.

Vegagerðin hefur látið prófa sitt sýnið af hvorri bindiefnisgerð við rannsóknastofnun í Bandaríkjunum og flokka þau samkvæmt Superpave hönnunarkerfinu. Niðurstaðan er sýnd í töflu 5.1 [TA 2004:4].

Tafla 5.1. Frammistöðuflokkun⁴⁶ tveggja bindiefnissýna prófuðum samkvæmt aðferðum Superpave.

Bindiefnisgerð (CEN-flokkun)	Frammistöðuflokkun (Superpave-flokkun)	
	Raunflokkun ⁴⁷	Stöðluð flokkun ⁴⁸
70/100	PG 66-26	PG 64-22
160/220	PG 58-30	PG 58-28

Í töflunni er tilgreind tvenns konar flokkun, raunflokkun og stöðluð flokkun. Raunflokkun sýnir nákvæmlega innan hvaða hitastigsmarka bindiefnið er nothæft samkvæmt aðferðum Superpave. Stöðluð flokkun er talsvert gisnari, þar eru hitastigsmörkin lätin hlaupa á 6 °C á hvorum enda bilsins.

Vegagerðin hefur einnig látið taka saman veðurfarsupplýsingar (sjá viðauka 1) á fimm stöðum héraendis sem gera kleift að meta hvaða flokkar bindiefnis (úr flokkunarkerfi Superpave) henta á þessum stöðum. Niðurstaðan er sýnd í töflu 5.2.

Tafla 5.2. Val á bindiefni úr flokkunarkerfi Superpave í slitlag á fimm stöðum. Raunflokkun sýnir nákvæmlega hvaða notkunarbíl bindiefnið þarf að spanna með 98 % öryggismörkum, en stöðluð flokkun sýnir úr hvaða staðalflokki bindiefnið yrði valið í flokkunarkerfi Superpave með 50 % og 98 % öryggismörkum.

Staður	Raunflokkun	Stöðluð flokkun	
	98 % öryggismörk	50 % öryggismörk	98 % öryggismörk
Reykjavík	PG30-14	PG28-10	PG34-16
Akureyri	PG33-18	PG34-16	PG34-22
Egilsstaðir	PG34-21	PG34-16	PG34-22
Kirkjubæjarklaustur	PG33-14	PG34-10	PG34-16
Hveravellir	PG30-23	PG28-22	PG34-28

Í töflunni er reiknað með tvenns konar öryggismörkum, 50 % og 98 %. Öryggismörkin tákna árlegar líkur á að hitastig í slitlaginu haldi sig innan hitastigsmarkanna sem bindiefnisflokkurinn tilgreinir (líkurnar eru í raun talsvert meiri fyrir staðlaða flokkun því að endapunktur bilanna í töflunni hlaupa á 6 °C og falla ekki endilega saman við reiknuð öryggismörk). Á einu

⁴⁶ Frammistöðuflokkun; á ensku: *performance grading*.

⁴⁷ Raunflokkun; á ensku: *actual performance grading*.

⁴⁸ Stöðluð flokkun; á ensku: *standard performance grading*.

ári eru þannig í mesta lagi helmingslíkur á að hitastig í slitlagi í Reykjavík fari niður fyrir -10°C eða upp fyrir 28°C og í mesta lagi 2 % líkur á að sama hitastig fari niður fyrir -16°C eða upp fyrir 34°C .

Af töflum 5.1 og 5.2 má álykta að 160/220 fullnægi kröfum Superpave með minnst 98 % öryggi til notkunar á öllum ofangreindum stöðum. Sömuleiðis fullnægir 70/100 kröfum Superpave með minnst 98 % öryggi til notkunar á öllum stöðum nema Hveravöllum, þar sem bindiefnið nær ekki kröfum til lágmarkshitastigs. Ef miðað er við raunflokkun 70/100 í töflu 5.1, þá er það einnig nothæft á Hveravöllum.

Í þessu sambandi er þó rétt að taka fram að Norðmenn telja að aðferðir Superpave til að finna hámarkshitastig í malbiki gefi of lágur niðurstöður [AE 1998a:38] og hafa sett fram líkingar fyrir hitastig í malbiki sem þeir telja réttari; taka þó fram að þær byggist ekki á traustum grunni. Ef líkingu Norðmanna er beitt á íslensk hitafarsgögn hækkar hún hámarks-hitastig í malbiki um 10°C eða þar um bil.

Að lokum er rétt að taka fram að ný sýni af bindiefni úr flokkunum 70/100 og 160/220 geta flokkast öðruvísi en að ofan greinir. Milli flokkunar CEN og Superpave þarf ekki að vera samsvörun vegna þess að eiginleikar hráoliunnar sem bindiefnið er unnið úr geta verið mismunandi eftir uppruna. Þessir eiginleikar geta haft mismunandi áhrif í þessum tveim flokkunarkerfum af því að flokkunargrundvöllurinn er mismunandi.

Með hliðsjón af framanskráðu virðist sem bindiefni þau sem hafa verið notuð hingað til, sér í lagi 160/220 (B180), henti ágætlega fyrir íslenskar aðstæður samkvæmt flokkunarkerfi Superpave. Samkvæmt niðurstöðunum stendur 160/220 fyllilega undir kröfum til skriðmótstöðu og engin ástæða til að nota harðara bindiefni en nú er gert. Í þessu sambandi er vert að vekja athygli á því að 160/220 þolir allt að 58°C samkvæmt áðurnefndum prófunum, en hitafar hérlendis gerir aðeins kröfu um að bindiefnið þoli 34°C . Jafnvel þótt gert sé ráð fyrir þungri umferð og hægfare bílum, sem gæti í mesta lagi teygt kröfuna um hitaþol bindiefnisins upp í 46°C er samt eftir töluvert borð fyrir báru áður en hætta er á að malbik úr 160/220 fari að skriða vegna bindiefnisins.

Hvað steinefni snertir hefur ekki verið kannað hvort steinefni sem hafa verið notuð hingað til í malbik uppfylla kröfur Superpave en að svo stöddu bendir ekkert til annars.

5.2 Hönnun og tækjakostur til prófana

Hönnun á malbiki eftir Superpave-aðferðinni á 1. þrepi er í sjálfu sér ekkert meiri vandkvæðum bundin en hönnun eftir Marshallaðferðinni að öðru leyti en því að hún er dýrari og prófanir á bindiefni krefjast sérstakrar þjálfunar. Fræðilega séð er hún ekki flóknari. Hins vegar þarf tækjakost sem er aðeins að nokkru leyti til hérlendis.

Tæki til prófana á bindiefnum eru aðeins að litlu leyti til í landinu (eitthvað er til á Fjölver ehf). Prófanir á bindiefni má gera erlendis en þær eru dýrar, rannsóknir til flokkunar á bindiefnum eftir hönnunarkerfi Superpave gætu kostað 250-300 þúsund hvert sýni. Kostnaður við tækjakaup til bindiefnisprófana til viðbótar því sem fyrir er gæti, lauslega áætlað, numið 10-15 millj. kr. og til að reka þann búnað þarf sérhæfða starfsmenn sem líklega þarf að mennta erlendis.

Tækjakostur til áskilinna prófana á steinefnum er nánast allur til í landinu og það sem á vantar er ódýrt. Kunnátta til þessara prófana er víða fyrir hendi.

Tækjakostur og verkkunnátta til hönnunar og prófana á malbiki á 1. þrepi í Superpave er allur til í landinu. Tæki og verkkunnátta til prófana á skriði og eiginleikum undir sveifluálagi er einnig til. Verði hins vegar farið út í flóknari prófanir þ.e. á 2. og 3. þrepi í fyllingu tímans þarf til þess dýr tæki og verkkunnátta sem hvorugt er til í landinu. Sem stendur er ekki ljóst hvernig þessum prófunum verður hagað og hvaða tækjabúnaðar verður þörf en líklega kemur það í ljós á þessu ári (2005) eða því næsta.

Þar sem starfsfólk rannsóknastofnanna hefur ekki þjálfun í nokkrum hluta þeirra prófana sem nauðsynlegt er að gera til að hanna malbik eftir aðferðum Superpave, má reikna með nokkurri vinnu (2-3 mán) til þjálfunar.

Hönnun eftir Superpave aðferðinni er að öllum líkindum tímafrekari en hönnun eftir Marshall. Í amerískri könnun [CT 1999:10] kom fram að verktakar þurftu að gera margar tilraunablöndur áður en þeir hittu á þá réttu.

5.3 Blöndun og útlögn

Ekki verður séð að malbik sem er hannað í samræmi við Superpave geri kröfur um breytingar á tækjakosti til blöndunar og útlagnar. Þó hefur verið bent á að erfiðara sé að ná tilskilinni holrýmd í Superpave malbiki en hefðbundnu malbiki [CT 1999:12].

6 Ígrundun og ályktanir

Hér á eftir er rakið í fáeinum dráttum hvaða áhrif Superpave hönnunaraðferðin myndi á líkindum hafa á þætti í hönnun malbiks, framleiðslu þess og endingu, ef hún yrði tekin upp hérlendis. Í lokin er reynt að svara rannsóknaspurningunum sem settar voru fram í inngangi skýrslunnar.

Efniskröfur. Vegna mikillar naglanotkunar hérlendis hefur reynst óhjákvæmilegt að gera kröfur um slitþol steinefnis (kvarnartölu) sem á að nota í malbik á vegi og götur þar sem umferð er mikil. Í hönnunarkerfi Superpave er krafa um höggþol sem er af svipuðu tagi en engin krafa sem beinlínis endurspeglar slitþol steinefna. Slíkri kröfu er óhjákvæmilegt að halda til streitu sem staðbundinni kröfu ef Superpave hönnunarkerfið verður tekið upp.

Í núgildandi verklýsingum Vegagerðarinnar eru kröfur um frostþol steinefnis. Í efniskröfum fyrir Superpave er ekki bein frostþolskrafa heldur krafa um veðrunarþol sem er skylt frostþoli en engan veginn sams konar og frostþolskrafan. Ef Superpave verður tekið upp er óhjákvæmilegt að setja þessa kröfu inn í staðbundnar kröfur Superpave fyrir íslenskar aðstæður.

Möskvastærðir í forskriftum Superpave eru tilgreindar í mm. Hins vegar er val á möskvastærðum í siktarröðinni enn miðað við US kerfið í stað mm-kerfisins sem skylt er að nota samkvæmt stöðlum CEN. Fyrir íslenska notkun Superpave hönnunarkerfisins væri sennilega heppilegast að flytja allar kornastærðamælingar yfir í CEN-röðina en það getur valdið minniháttar árekstrum því algengustu sikti í báðum röðum falla ekki saman. Til dæmis lendir 11,2 mm siktið í CEN-röðinni næstum mitt á milli tveggja hefðbundinna sikta í US-röðinni, 9,5 og 12,5 mm.

Flokkun bindiefnis í Superpave hönnunarkerfinu samrýmist ekki flokkun bindiefnis eftir stöðlum CEN. Þar af leiðandi er ekki hægt að nota flokkun Superpave í opinberum verklýsingum, útboðum eða verkamningum. Hins vegar er ekkert því til fyrirstöðu að prófa bindiefni eftir Superpave-kerfinu, álykta út frá því hvaða bindiefni hentar í tiltekna framkvæmd og hanna malbik samkvæmt því. En opinber gögn verða að byggjast á stöðlum CEN.

Hönnun. Reynslan hefur sýnt að lág holrýmd er eitt af frumskilyrðum þess að malbik standi sig við íslenskar veðurfarsaðstæður sem einkennast meðal annars af mörgum frost/þíðusveiflum á hverju ári og löngum tímabilum að vetrarlagi þegar slitlagið er rakt eða rennblautt. Ofan á þetta bætist talsverð saltnotkun til hálkueyðingar einkum á Reykjavíkursvæðinu. Núgildandi verklýsing Vegagerðarinnar [VG 1995:28 og 59] gerir kröfu um að Marshallholrýmd við hönnun sé á bilinu 0,4-2,0 % og holrýmd í útlögðu malbiki sé ekki meiri en 3 %. Hönnunarkerfi Superpave gerir hins vegar ráð fyrir að holrýmd eftir þjöppun malbikssýna í snúðþjöppu sé 2-6 % (markmiðið er 4 % holrýmd) og að jafnaði má gera ráð fyrir að holrýmd í útlögðu malbiki sé 1-2 % hærrí en hönnunarholrýmd. Að vísu eru engar rannsóknaniðurstöður tiltækar sem sýna svart á hvítu að holrýmd í útlögðu malbiki megi ekki fara yfir 3 % án þess að koma niður á endingu, en engu að síður verður að teljast hæpið að leyfa holrýmd sem er til muna hærrí en reynslan hefur sýnt að sé skynsamleg. Ef hönnunarkerfi Superpave verður tekið upp verður trúlega að breyta viðmiðunargildum holrýmdar í hönnunaraðferðinni ef hana á að nota fyrir íslenskar aðstæður. Sennilega kemur þessi breyting einnig fram í meiri bindiefnisnotkun en í hönnunaraðferð Superpave óbreyttri.

Superpave notar 0,45-veldis aðferðina til að sýna sáldurferil steinefna sem er ótvírætt framför frá hefðbundinni aðferð þar sem auðveldara er að meta holrýmd í blöndunni út frá sáldurferlinum. Ennfremur hefur hönnuðurinn meira frelsi til að ákveða sáldurferil blöndunnar en tíðkast í Marshallprófi þar sem Superpave aðferðin tiltekur þrenn hlið sem sáldurferillinn á að fara gegnum en hefðbundnar aðferðir (ekki endilega tengdar Marshallaðferðinni) skorða ferilinn innan samfelldra markalína. Þá er að vísu ótalið amasvæðið sem sáldurferillinn á ekki að fara um að öðru jöfnu en ákvæðið um amasvæðið er nú orðið talið óþarft ef steinefnið uppfyllir aðrar kröfur.

Hönnun eftir Superpave-aðferðinni er ótvírætt tímafrekari en hönnun eftir Marshallaðferðinni, meðal annars af því að vatnsnæmiprófið bætist við. Ennfremur bendir tafla 2.1 til þess að hönnun eftir Superpave-aðferðinni sé umfangsmeiri en hönnun eftir Marshallaðferðinni.

Prófanir á steinefni eru einfaldar og kostnaður við þær er sennilega svipaður hvor aðferðin sem er notuð. Prófanir á bindiefni eru dýrar en á hinn bóginn er ekki útilokað að seljendur bindiefnis muni í framtíðinni leggja fram prófunarvottorð með bindiefnisförmum, þar sem bindiefnið er flokkað eftir kerfi Superpave. Að öllu samanlögðu er líklegt að hönnun eftir Superpave-aðferðinni verði umtalsvert dýrari en hönnun eftir Marshallaðferðinni.

Áhrif á skrið. Eitt af meginviðfangsefnum Superpave hönnunaraðferðarinnar er að takmarka skrið í malbiki. Um skrið í hefðbundnu íslensku yfirlagsmalbiki (Y12 og Y16) er lítið vitað. Mælingar á skriði á þrem stöðum í Reykjavík sumarið 1997 [ÁJ 1998:8] gáfu til kynna að skrið ætti sök á 10-15 % hjólfaradýptar á þessum stöðum, og staðfestu jafnframt með yfirgnæfandi líkum að skrið hefði átt sér stað í þessu malbiki. Samanburður á frammistöðuflokkun bindiefnis af því tagi sem venjulega er notað í Reykjavík, B180 (heitir 160/220 í flokkunarkerfi CEN) og kröfum Superpave til bindiefnisins á grundvelli hitafars í Reykjavík bendir þó ekki til þess að hætta á skriði sé mikil; samkvæmt frammistöðuflokkun bindiefnisins eru efri hitastigsmörk þess 58 °C en hönnunarkerfi Superpave gerir mest kröfu um 34 °C (á Egilsstöðum), og þá er miðað við 98 % áreiðanleika. Þótt gert sé ráð fyrir hækkun á efri mörkum um 12 °C vegna hægrar og þungrar umferðar yrðu yrðu þau samt sem áður langt neðan við efri þolmörk bindiefnisins.

Rétt er þó að taka fram bindiefnið eitt ræður ekki úrslitum um skrið, eiginleikar steinefnisins (ekki síst kornalögun) hafa líka áhrif á skriðeiginleika malbiksins. Gerðar hafa verið mælingar á skriðeiginleikum dæmigerðs reykvíssks malbiks við Háskóla Íslands [ÞÞ 1999:21]. Þær gáfu til kynna að skriðeiginleikar þessa malbiks væru sambærilegir við hegðun erlendra malbikstegunda sem ætlaðar eru fyrir meiri sumarhita en hér gerist.

Í ljósi þessara upplýsinga sýnist líklegt að skrið eigi sér stað í einhverjum mæli í íslensku malbiki en sennilega er það lítið. Sé þetta rétt mun hönnun eftir Superpave hönnunarkerfinu ekki breyta miklu um skerta endingu af völdum skriðs í malbikinu.

Áhrif á frostsprungur. Frostsprungur eru sjaldgæfar í íslensku malbiki, sennilega fyrir heppilegt val á bindiefni miðað við hitafar. Þar við bætist að malbik er óalgengt eða alls ekki notað þar sem vetrarfrost verða einna mest, umferðin þar hefur víðast hvar verið svo lítil að eina slitlagið sem kemur til greina er klæðing (með frostþolnu bindiefni). Grunur leikur þó á að frostsprungur hafi komið fram í flugbraut á Akureyrarflugvelli í kringum 1995. Það var aldrei staðfest og hafi svo verið geta orsakirnar verið aðrar en óheppilegt bindiefni. Þótt Superpave hönnunarkerfið leggi mikla áherslu á að koma í veg fyrir frostsprungur með vali á bindiefni eru að svo stöddu mjög litlar líkur á að Superpave hönnunarkerfið myndi breyta nokkru um endingu malbiks vegna frostsprungna, miðað við núverandi bindiefnisval og veðurfarsaðstæður hérlendis.

Kostnaður. Ef farið verður út í prófanir á bindiefnum hérlendis til flokkunar samkvæmt Superpave þarf að endurnýja mest af tækjakosti til bindiefnisrannsóknna, sem kostar 10-15 millj. króna, svo líklega er ódýrara að láta prófa bindiefni erlendis. Annar nauðsynlegur tækjabúnaður er að mestu til í landinu til prófana á 1. þrepi Superpave. Um kostnað vegna frammistöðuprófana á malbiki er of snemmt að fjalla, því prófunaraðferðirnar eru enn í athugun. En kostnaður við þær yrði í öllu falli mikill vegna nauðsynlegra tækjakaupa.

Hönnun eftir hönnunarkerfi Superpave er tímafrekari en Marshallhönnun. Að öllu samanlögðu yrði kostnaður við hönnun mun meiri ef Superpave hönnunaraðferðin yrði tekin upp í stað Marshallaðferðarinnar.

Framleiðsla, útlögn og eftirlit. Í hönnunaraðferð Superpave er lögð meiri áhersla á að stýra holrýmd með sáldurferli en í Marshallaðferðinni, þar sem henni er stundum stýrt að nokkru leyti með bindiefnisinnihaldi. Þetta getur haft aukinn framleiðslukostnað í för með sér þar sem þörf getur verið á fleiri flokkum steinefna til að uppfylla holrýmdarkröfuna.

Hönnunaraðferð Marshall er ekki nothæf fyrir blöndur með grófara steinefni en 25 mm. Superpave hins vegar ræður við blöndur með allt að 37,5 mm steinefni. Með Superpave hönnunaraðferðinni má búast við að grófari malbiksblöndur komi fram og slíkar blöndur eru erfiðari í útlögn, meðal annars vegna aukinnar hættu á aðskilnaði.

Notagildi. Að svo stöddu er ekki að fullu ljóst hvað Superpave hönnunaraðferðin kann að hafa fram yfir Marshallaðferðina við íslenskar aðstæður, reynslan verður að fá tækifæri til að

skera úr um það. Í þessu sambandi má ekki gleymast að hönnunaraðferð Superpave er sprottin úr bandarískum jarðvegi og var ætlað að ráða bót á þrennskonar vanda sem þar er algengur, nefnilega skriði, frostsprungum og þreytubroti í malbiki. Skriði og frostsprungum hafa verið gerð skil hér á undan. Hvað þreytubrot varðar er það sennilega fremur sjaldgæft í íslensku malbiki. Ástæður þess eru fleiri en ein. Í fyrsta lagi er bindiefnisinnihald í íslensku malbiki fremur hátt sem vinnur á móti þreytubroti. Í öðru lagi má oftast nær rekja þreytubrot, þar sem þau á annað borð koma fram, til veikleika í undirbyggingu fremur en þreytu í malbiki. Í þriðja lagi er sennilega fátítt að fjöldi jafngildisöxla verði svo mikill að áhrifa frá þreytu fari að gæta vegna þess hve malbik slitnar hratt og er endurnýjað oft þar sem umferð er mikil. Með þessi atriði í huga virðist sem megintilgangur Superpave eigi lítið erindi í íslenskri malbiksgerð.

Á hinn bóginn verður ekki um það deilt að val Superpave á bindiefni er vel rökstutt og miklu rökréttara en núverandi aðferðir, sem byggjast á þumalfingursreglum og að einhverju leyti hefð, fremur en vísindalegri nákvæmni. Í öðru lagi er vatnsnæmipróf á malbiki kærkomin viðbót við hönnunarprófið, sem getur orðið notadryg, því íslenskt veðurfar býður upp á skemmdir á malbiki af völdum vatns og frosts. Hins vegar er enn ekki komið í ljós hvort vatnsnæmiprófið hefur forsagnargildi við íslenskar aðstæður, til þess skortir reynslu af prófinu.

Þótt hönnunaraðferð Superpave verði tekin upp í stað Marshall aðferðarinnar er ekki þar með sagt að breytingin verði mikil. Þessu til stuðnings má nefna dæmi þar sem malbik var hannað eftir báðum aðferðunum [KK 1998:35]. Niðurstaðan varð sú að sáldurferlar voru áþekkir í báðum blöndum, nema hvað sáldurferill blöndunnar í Marshallprófinu fór um amasvæðið. Samt sem áður varð ekki séð að sáldurferillinn hefði teljandi áhrif á eiginleika blöndunnar. Bindiefnið sem var notað í Marshallaðferðinni reyndist nothæft samkvæmt Superpave aðferðinni, án þess að slegið væri af kröfum um öryggi. Hæfilegt bindiefnismagn var áþekkt í báðum blöndum. Hins vegar reyndist Superpave-blandan hafa heldur meiri tilhneigingu til að skriða en Marshallblandan samkvæmt GLWT-prófi⁴⁹. Superpave-blandan þoldi hins vegar heldur meira átak og lægra hitastig í TSRST-prófi⁵⁰. Ef marka má þessar niðurstöður þarf Superpave aðferðin ekki endilega að skila betri árangri í alla staði en Marshallaðferðin.

Fari svo að malbik hannað í samræmi við Superpave reynist þólnara gegn skriði heldur en hefðbundið malbik gæti það átt erindi á íslenska flugvelli sem eru notaðir til millilandaflugs. Snertiprýstingur flugbrautarlitlaga og hjólbarða á stórum millilandaflugvélum er talsvert meiri en tíðkast á vegum, getur verið 14-15 bör (200 pund/fertommu) en leyfður þrýstingur í hjólbörðum á bílum er að hámarki 9 bör (130 pund/fertommu) svo hætta á skriði er að öðru jöfnu talsvert meiri á flugvöllum en á vegum.

Framtíðarhorfur. Meginorsök skertrar endingar á malbiki hérlendis er án efa slit af völdum negldra hjólbarða en á því tekur Superpave hönnunaraðferðin ekki. Sem stendur eru því ekki líkur á að hún muni valda straumhvörfum í endingu malbiks þótt hún yrði tekin upp. Annað mál er svo að breytingar eru í vændum. Umferð er stöðugt að aukast. Þungaflutningar á landi hafa aukist mikið síðustu ár og allar líkur á að á næstunni flytjist þeir í vaxandi mæli af sjó og upp á land. Þar að auki má búast við auknum öxulpunga í framtíðinni, breyttri þungadreifingu á öxlana og hærri loftþrýstingi í hjólbörðum [EAPA 1998]. Allt þetta eykur hættu á skriði í malbiki, bæði slitlögum og bikbundnum burðarlögum. Þar sem hönnunaraðferð Superpave leggur mikla áherslu á skriðþol malbiksins gæti hún í framtíðinni reynst mikilvægt vopn í baráttunni við skrið, jafnvel þótt hætta á skriði sé enn tiltölulega lítil. Líklega verður lögð meiri áhersla á burðarþol vega í framtíðinni. Jafnframt vekur þróun í naglagerðum vonir um að slit af völdum negldra hjólbarða muni minnka á komandi árum. Ef þessar breytingar verða, koma kostir Superpave hönnunaraðferðarinnar fremur til nota en nú er.

Niðurstöður. Í inngangi skýrslunnar voru settar fram nokkrar spurningar sem skýrslan átti að svara. Svörin eru á þessa leið:

⁴⁹ GLWT; skammstöfun fyrir *Georgia Loaded Wheel Tester*, nokkurs konar skriðpróf.

⁵⁰ TSRST; skammstöfun fyrir *Thermal Stress Restrained Specimen Tester*, nokkurs konar frostsprungu-próf.

1. Sem stendur velja nágrannaþjóðir okkar (Norðurlöndin) bindiefni fyrst og fremst með hliðsjón af hitafari og umferð. Þó er líklegt að áhrifa Superpave á bindiefnisval taki að gæta í Evrópu eftir nokkur ár og sömuleiðis hér.
2. Þau bindiefni sem nú eru að langmestu leyti notuð hérlendis (og hafa lengi verið), 70/100 og 160/220, henta mjög vel fyrir íslenskt hitafar samkvæmt kröfum Superpave.
3. Sem stendur yrði lítil ávinningur að því að taka hönnunaraðferðir Superpave upp hérlendis. Í framtíðinni hillir undir meiri og þyngri umferð á íslenskum vegum með aukinni hættu á skriði og við slíkar aðstæður myndi hönnunaraðferð Superpave njóta sín frekar en nú er. Frá þessu er þó ein undantekning; á flugvöllum sem þjóna millilandaumferð gætu hönnunaraðferðir Superpave átt rétt á sér vegna þyngdar flugvélanna.
4. Sennilega er vatnsnæmiprófunin í Superpave líklegust til að koma að notum miðað við núverandi aðstæður hérlendis. Hins vegar hefur þessi hluti prófunaraðferðarinnar ekki verið reyndur hérlendis og á meðan er ótímabært að fullyrða nokkuð um notagildi hennar.

Heimildir

- [AA 1996]. *AASHTO Performance Graded Binder Specification (MP1)*. <http://www.utexas.edu/research/superpave/mix/binspec.html> Sótt 2005-02-18.
- [AE 1998a]. *Ny asfaltteknologi. Tilpassing av Superpave bindemiddelteknologien til norske forhold*. Prosjektrapport nr. 5, STF22 A98452. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim.
- [AE 1998b]. Andersen, E.O. *Ny asfaltteknologi. Sluttrapport*. Prosjektrapport nr 7, STF22 A98462. SINTEF Bygg og miljøteknikk, Trondheim.
- [AI 1984]. The Asphalt Institute. *Mix Design Methods for Asphalt Concrete and Other Hot-Mix Types*. The Asphalt Institute Manual Series No. 2 (MS-2). May 1984 Edition, Maryland.
- [AI 2001]. The Asphalt Institute. *Superpave Mix Design*. Superpave Series No. 2 (SP-2), Third Edition. Lexington.
- [AI 2003] The Asphalt Institute. *Superpave. Performance Graded Asphalt Binder Specification and Testing*. Superpave Series No. 1 (SP-1), Third Edition, Revised. Lexington.
- [AP 1997]. Arena, P. *1997 U.S. Hot Mix Asphalt Conference and Superpave Workshop*. <http://www.utexas.edu/research/superpave/articles/hmconf.html> Sótt 2005-02-17.
- [ASTM 1982]. D 1559-76 *Standard Test Method for Resistance to Plastic Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus*. Part 15. Road, Paving, Bituminous Materials; Traveled Surface Characteristics. American Society for Testing and Materials, Philadelphia.
- [ASTM 1999a]. D 5821-95 *Standard Test Method for Determining the Percentage of Fractured Particles in Coarse Aggregate*. Volume 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavements Systems. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [ASTM 1999b]. C 1252-98 *Standard Test Method for Uncompacted Void Content of Fine Aggregate (as Influenced by Particle Shape, Surface Texture and Grading)*. Volume 04.02 Concrete and Aggregates. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [ASTM 1999c]. D 4791-95 *Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate*. Volume 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavements Systems. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [ASTM 1999d]. D 2419-95 *Standard Test Method for Sand Equivalent Value of Soils and Fine Aggregate*. Volume 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavements Systems. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [ASTM 1999e]. C 131-96 *Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. Volume 04.02 Concrete and Aggregates. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [ASTM 1999f]. C88-99a. *Standard Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate*. Volume 04.02 Concrete and Aggregates. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [ASTM 1999g]. C 142-97 *Standard Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates*. Volume 04.02 Concrete and Aggregates. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.
- [ATB 2004]. *Allmän teknisk beskrivning för vägkonstruktion. ATB VÄG 2004*. Kapitel F. Bitumenbundna lager. Vägverket, Publication 2004:111. <http://www.vagverket.se/filer/6903/F.pdf> Sótt 2005-02-15.
- [ÁJ 1998:8]. Ásbjörn Jóhannesson, Sigursteinn Hjartarson og Valur Guðmundsson. *Hjólfaramyndun í malbiki að sumarlagi*. BUSL-Slitlaganefnd, skýrsla S-5. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- [BA 2004]. Bateman, A. *Superpave – Building for the future*. Aggregates and Roadbuilding Magazine, January/February 2004 issue. <http://www.rocktoroad.com/04jfissue.html#superpave> Sótt 2005-02-07.

- [BJ 2003]. Bukowski, J. R. *National Superpave Status Present & Future*. <http://www.superpave.psu.edu/downloads/pdf/03%20Superpave%20JohnB.pdf> (glærusafn). Sótt 2005-02-18.
- [CEN 1999]. *Road, airfields, and trafficked areas. Bituminous mixtures. Material specifications. Part 1. Asphalt concrete*. prEN 13108-1:2000.
- [CEN 2000]. *Bitumen and bituminous binders – Specifications for paving grade bitumens*. ÍST EN 12591:1999. Staðlaráð Íslands, Reykjavík.
- [CT 1999]. Cackler, T. NCAUPG Meeting Minutes. <http://ce.www.ecn.purdue.edu/~spave/NCAUPG/Activities/ncaupgjan99.html>
- [CT 1999]. *North Central Region Asphalt User/Product Group Meeting Minutes, January 27-28, 1999*. <http://ce.www.ecn.purdue.edu/~spave/NCAUPG/Activities/ncaupgjan99.html> Sótt 2005-02-08.
- [EAPA 1998]. EAPA. *Superpave from the European Practice*. <http://www.eapa.org/content/superpave.htm> Sótt 2005-02-07.
- [FAS 1995]. *Finnish asphalt specifications 1995*. Finnish pavement technology advisory council. Helsinki.
- [GS 2002:16]. Goodman, S. *Superpave Implementation Across Canada 1994-2001: Part I Results from the 2001 Canadian Superpave Implementation Tracking Study (C-SITS)*. <http://www.cshrp.org/products/2001C-SITSReport.PDF> Sótt 2005-02-07.
- [HG 1994]. Huber, G.A. *Weather Database for the SUPERPAVE™ Mix Design System*. SHRP-A-648A. Strategic Highway Research Program, National Research Council, Washington.
- [KK 1998]. Ksaibati, K., Stephen, J., Huntington, G. *A Preliminary Evaluation of Superpave Level One Mix Design*. Department of Civil and Architectural Engineering, University of Wyoming. http://www.ndsu.nodak.edu/ndsu/ugpti/MPC_Pubs/pdf/MPC98-94A.pdf. Sótt 2004-12-21.
- [KT 2004]. Kuennen, T. *Superpave 'restricted zone' now enters 'twilight zone'*. http://www.expresswaysonline.com/expwys/news_superpave.htm Sótt 2005-02-05.
- [LM 1998]. Luminari, M., Fidato, A. *State of the Art Report on Mix Design. I: Bituminous Binders and Mixes*, ritstj. L. Franken. RILEM Report 17. E & FN Spoon, London.
- [ML 2003]. Myers, L. *Superpave. The Next Decade* (glærusafn). http://www.webs1.uidaho.edu/bayomy/IAC/43rd/Presentations/1_IAC2003_Superpave%20future_LeslieMeyers.pdf
- [NC 2004]. State of North Carolina, 2004. *2004 HMA/QMS Manual*. State of North Carolina, Department of Transportation, Pavement Construction Section. http://www.doh.dot.state.nc.us/Operations/dp_chief_eng/constructionunit/paveconst/Asphalt_Mgmt/qms_manual/2004/default.htm Sótt 2005-04-10.
- [NCHRP]. <http://www.fhwa.dot.gov/pavement/etg81k1.htm#NCHRP914> Sótt 2004-12-22.
- [OC 1982]. Oglesby, C.H., Hicks, R.G. *Highway Engineering*, 4. útg. John Wiley & Sons, New York.
- [QB 2002]. Quick Bites. Superpave Hot Mix Asphalt. What is Superpave? Cornell Local Roads Program, June 2002. <http://www.clrp.cornell.edu/TechAssistance/Superpave%20pdfs/what%20is%20superpave.pdf> Sótt 2005-02-13.
- [RF 2002]. Roberts, F.L., Mohammad, L.N., Wang, L.B. *History of Hot Mix Asphalt Mixture Design in the United States*. Journal of Materials in Civil Engineering / July/August 2002.
- [SA 2004:2118]. Stawiarski, A. o.fl. *European BiTSpec Seminars 2002-2003: A Communication Project to Support the Development of the European Bitumen Standardisation*. 3rd Euroasphalt & Eurobitume Congress, Vienna.
- [SV 1999]. *Vegbygging*. Håndbok 018. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Oslo.
- [SV 2005]. *Vegbygging*. Håndbok 018. Statens vegvesen, Vegdirektoratet, Oslo. http://www.vegvesen.no/vegnormaler/hb/018/hb_018_web.pdf Sótt 2005-02-15.

- [TA 2004]. Tayebali, A. A., Huang, Y. *Performance Grading (PG) of Bitumen B-180 and B-85 Used in Iceland*. Final Report (með leiðréttingum 2005-01-27). North Carolina State University, Department of Civil Engineering.
- [TRB 1999]. TRB Superpave Committee. *Superpave Development and Deployment: Long-Range Plan For Fiscal Year 2001-2005*. A Report of the TRB Superpave Committee. <http://www.ecn.purdue.edu/SPAVE/Technical%20Info/Attach%20L%20Superpaveplan.pdf> Sótt 2005-02-13.
- [UA 1994]. *Veiregler. Udbuds- og anlægsforskrifter. Varmblandet asfalt*. Vejdirektoratet, København.
- [VG 1995:22]. *Alverk '95*. Almenn verklýsing fyrir vega- og brúargerð. Vegagerðin, Reykjavík.
- [WSDOT]. *Pavement Guide Interactive*. Washington State Department of Transportation. http://training.ce.washington.edu/WSDOT/Modules/05_mix_design/05-4_body.htm (Kennslufni.) Sótt 2005-02-02.
- [ÞI 2000]. Þórir Ingason. *Hönnun malbiks*. BUSL - Slitlaganefnd, skýrsla S-18. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.
- [ÞÞ 1999]. Þorsteinn Þorsteinsson. *Sig og skrið í asfaltbundnum slitlögum*. BUSL - Slitlaganefnd, skýrsla S-9. Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins, Reykjavík.

VIÐAUKI 1
ÚTREIKNINGAR Á HITASTIGI Í SLITLAGI
Á NOKKRUM STÖÐUM Á ÍSLANDI

Tafla V1-1: Útreikningar á hitastigi í slitlagi samkvæmt reikniformúlum Superpave, 50 % og 98 % áreiðanleiki. Heimild: [TA 2004:3-4]

Veðurstöð		Lofthiti °C		50% áreiðanleiki	
Nafn	Breidd, °N	7 daga meðaltal	1 dags lágmark	T20mm, °C	Tlág, °C
Reykjavík	64,12	15,90	-13,34	27,43	-9,76
Akureyri	65,68	19,03	-18,04	29,57	-13,80
Egilsstaðir	65,30	19,67	-19,45	30,39	-15,01
Kirkjubæjarkl.	63,78	18,25	-13,06	29,86	-9,52
Hveravellir	64,87	15,25	-23,82	26,41	-18,76

Veðurstöð		Lofthiti °C		Staðalfrávik mælinga á		Lofthiti °C, 98% áreiðanleiki		98% áreiðanleiki	
Nafn	Breidd, °N	7 daga meðaltal	1 dags lágmark	7 daga meðaltali	1 dags lágmarki	7 daga meðaltal	1 dags lágmark	T20mm, °C	Tlág, °C
Reykjavík	64,12	15,90	-13,34	1,33	2,15	18,56	-17,64	29,97	-13,45
Akureyri	65,68	19,03	-18,04	1,52	2,33	22,07	-22,70	32,47	-17,80
Egilsstaðir	65,30	19,67	-19,45	1,94	2,98	23,55	-25,41	34,09	-20,13
Kirkjubæjarkl.	63,78	18,25	-13,06	1,42	2,41	21,09	-17,88	32,57	-13,66
Hveravellir	64,87	15,25	-23,82	1,78	2,19	18,81	-28,20	29,80	-22,52

Tafla V1-2: Útreikningar á hitastigi í slitlagi samkvæmt norskum reikniformúlum, 50 % og 98 % áreiðanleiki. Heimild: [AE 1998b:15]

Veðurstöð		Lofthiti °C		50% áreiðanleiki	
Nafn	Breidd, °N	7 daga meðaltal	1 dags lágmark	T20mm, °C	Tlág, °C
Reykjavík	64,12	15,90	-13,34	36,34	-9,76
Akureyri	65,68	19,03	-18,04	38,48	-13,80
Egilsstaðir	65,30	19,67	-19,45	39,30	-15,01
Kirkjubæjarkl.	63,78	18,25	-13,06	38,76	-9,52
Hveravellir	64,87	15,25	-23,82	35,31	-18,76

Veðurstöð		Lofthiti °C		Staðalfrávik mælinga á		Lofthiti °C, 98% áreiðanleiki		98% áreiðanleiki	
Nafn	Breidd, °N	7 daga meðaltal	1 dags lágmark	7 daga meðaltali	1 dags lágmarki	7 daga meðaltal	1 dags lágmark	T20mm, °C	Tlág, °C
Reykjavík	64,12	15,90	-13,34	1,33	2,15	18,56	-17,64	38,87	-13,45
Akureyri	65,68	19,03	-18,04	1,52	2,33	22,07	-22,70	41,38	-17,80
Egilsstaðir	65,30	19,67	-19,45	1,94	2,98	23,55	-25,41	43,00	-20,13
Kirkjubæjarkl.	63,78	18,25	-13,06	1,42	2,41	21,09	-17,88	41,47	-13,66
Hveravellir	64,87	15,25	-23,82	1,78	2,19	18,81	-28,20	38,71	-22,52

VIÐAUKI 2
SKRÁ YFIR ÞÝÐINGAR ORÐA
YFIR NOKKUR HUGTÖK

Hér á eftir fer skrá yfir þýðingar á enskum orðum yfir óalgeng hugtök sem koma fyrir í skýrslunni. Þýðingarnar eru einnig birtar neðanmáls í skýrslunni þar sem orðin eru notuð í fyrsta sinn.

0,45-veldis línurit; á ensku: *0,45-power gradation chart*.

Aflögun; á ensku: *deformation*.

Amasvæði; á ensku: *restricted zone*.

Bestun; á ensku: *optimization*.

Bindiefni; á ensku: *bitumen*.

Breytt bindiefni; á ensku: *modified binders*.

CEN; skammstöfun fyrir *Comité Européen de Normalisation*, Evrópustaðlaráðið.

Deigð; á ensku: *consistency*.

Deigfjaðrandi; á ensku: *viscoelastic*.

Deigur; á ensku: *viscous*. (*Viscous* er yfirleitt þýtt með *seigur* eða *seigfljótandi*, en hér er orðið *deigur* notað sem þýðing til að leggja áherslu á óendurkræfa aflögun).

DOT; skammstöfun fyrir *Department of Transportation*.

Endurkræfur; á ensku: *recoverable*.

Fasahorn; á ensku: *phase angle*.

Flokkunarstærð; á ensku: *nominal maximum size*, skilgreint sem möskvastærð í næsta sikti (í hefðbundinni siktarið) fyrir ofan siktið sem heldur eftir meiru en 10 % af sýninu við siktun.

Frammistaða; á ensku: *performance*.

Frammistöðuflokkun; á ensku: *performance grading*.

Frostsprungur; á ensku: *low temperature cracking*.

Frumþjöppun; á ensku: *initial compaction*.

GLWT; skammstöfun fyrir *Georgia Loaded Wheel Tester*, nokkurs konar skriðpróf.

Hámarksstærð; á ensku: *maximum size*, möskvastærð næsta siktis fyrir ofan flokkunarstærð.

Hlið; á ensku: *control points*.

Hráolia; á ensku: *crude oil*.

Jafngildisöxlar; á ensku: *equivalent single axle loads (ESALs)*.

Notkunarflokkur; á ensku: *performance grade*.

Ófrávikjanlegar kröfur; á ensku: *concensus aggregate properties*.

Raunflokkun; á ensku: *actual performance grading*.

Seigja; á ensku: *viscosity*.

Seigjuauki; á ensku: *modifier*.

Skrið; á ensku: *deformation*.

Skriðhröðun; í enskum fræðiritum kallað *m-value*.

Skriðstuðull; á ensku: *creep stiffness*.

Skriðþol; á ensku: *resistance to deformation*.

Snúðmælir; á ensku: *rotational coaxial viscometer*.

Snúðþjappa; á ensku: *gyratory compactor*.

Spenna; á ensku: *stress*, skilgreind sem kraftur á flatarmálseiningu.

Staðbundnar kröfur; á ensku: *source aggregate properties*.

Stiki; á ensku: *parameter*.

Stífni; á ensku: *stiffness*.

Stungudýpt; á ensku: *penetration*.

Styrkleiki; á ensku: *toughness*.

Stöðluð flokkun; á ensku: *standard performance grading*.

Tognun; á ensku: *strain*, skilgreind sem lenging á lengdareiningu.

TSRST; skammstöfun fyrir *Thermal Stress Restrained Specimen Tester*, nokkurskonar frostsprungupróf.

Tvinnskúfstuðull; á ensku: *complex shear modulus*.

Vatnsnæmi; á ensku: *moisture sensitivity*.

Vatnsnæmipróf; á ensku: *moisture sensitivity test*.

Vigur; á ensku: *vector*.

VTL; skammstöfun fyrir *very thin layers*.

Þreytubrot; á ensku: *fatigue damage*.

Þreytuþol; á ensku: *resistance to fatigue*.