



# Eiginleikar bikbindiefna

## *Rannsóknir með DSR*

**Björk Úlfarsdóttir**  
**Eyja Camille Bonthonneau**  
**Colas Ísland, 2022**





## Efnisyfirlit

Inngangur.....	2
Ný aðferð við hönnun malbiks .....	3
Hitastigsflokkun .....	3
Rannsóknir Colas Ísland.....	4
Eiginleikar bikbindiefna .....	5
Framkvæmd rannsókna .....	5
Original Binder Grading.....	6
Niðurstöður rannsókna – Original Binder Grading .....	8
MSCR test .....	9
Niðurstöður úr rannsóknum með MSCR prófi .....	10
Mælingar á seigju .....	11
Niðurstöður seigjumælinga .....	12
Lokaorð .....	12

[Höfundar skýrslunnar bera ábyrgð á innihaldi hennar. Niðurstöður hennar ber ekki að túlka sem yfirlýsta stefnu Vegagerðarinnar eða álit þeirra stofnana eða fyrirtækja sem höfundar starfa hjá.]



## Inngangur

Colas Ísland fjárfesti í nýjum tækjabúnað til rannsókna á bindiefnum árið 2020. Tækið kallast Dynamic Shear Rheometer (DSR) og er hluti af Superpave hönnunar aðferðinni sem notuð er í Bandaríkjunum í stað marshall aðferðarinnar sem notuð er í Evrópu. Í þessari skýrslu er bæði rýnt í aðferðarfræði Superpave og fræðileg umfjöllun um DSR tækið og hvernig það virkar. Þá verðar einnig gefnar upp niðurstöður rannsókna sem gerðar voru á árunum 2020-2021 á biki og þjálbiki. Var bæði rannsakað frammistöðuflokkun (PG) bindiefnisins og framkvæmt próf á skrið-endurheimt (MSCR) til að meta tilhneigingu bindiefnisins til þess að afmyndast varanlega. Þá voru auk þess gerðar mælingar á hreyfiseigju þjálbiks. Eru þessar rannsóknir framkvæmdar með það í huga hvort þau bindiefni sem við erum að nota hér á landi uppfyllir þær kröfur sem þarf við íslenskar aðstæður.

## Ný aðferð við hönnun malbiks

Marshallaðferðin er sú aðferð við hönnun malbiks sem hefur verið allsráðandi hérlendis sem og í nágrennalöndum okkar. Megináhersla hennar er burðarþol og er bindiefnisinnihald valið þannig að hætta á skriði sé sem minnst. Aðferðin hefur verið gagnrýnd þar sem hún tekur ekki mið af hitafari eða umferðarþunga þar sem nota á malbikið. Niðurstöður rannsókna hafa því mjög takmarkað forspárgildi um frammistöðu malbiksins og þá sérstaklega þegar kemur að þreytubrotum (fatigue damage) og vatnsæmi (moisture sensitivity). Ekkert tillit er tekið til breytinga sem verða á bindiefninu við blöndun og útlögn malbiksins, né endingartíma þess. [1]

Bandaríkin hófu að þróa nýja aðferð til malbikshönnunar þegar mikil umferð þungra bíla jókst um 1980, en umferðarþunginn olli því að hjólför mynduðust í malbikinu. Árið 1993 var hin nýja aðferð, Superpave, sem stóð fyrir Superior Performing Asphalt Pavements, kynnt til leiks. Ólíkt Marshallaðferðinni lagði Superpave mikla áherslu á að malbikið hæfði hverjum aðstæðum fyrir sig og þá þurfti að huga að hitafari, umferðarþunga og staðsetningu malbiksins í veghlotinu. Hönnunaraðferðin átti að auka endingu malbiksslitlaga og minnka líkur á skriði, frostsprungum, þreytubroti og vatnsæmi. [1]

Þrennt einkennir Superpave aðferðina:

- Bindiefni eru flokkuð eftir því á hvaða hitastigsbili þau eru nothæf í stað þess að flokka þau eftir stungudýpt eða seigju.
- Hönnunin byggir á rúmmálshlutföllum í blöndunni. Sýnin sem á að rannsaka eru gerð í snúðþjöppu (gyratory compactor) í stað Marshallhamarsins en sú aðferð á að líkja betur eftir þjöppun malbiksins undir umferð.
- Áhersla lögð á að prófanir hafi forspárgildi og að blanda sé valin á grundvelli væntanlegrar frammistöðu. [1]

## Hitastigsflokkun

Veðurfar á Íslandi er mjög breytilegt og því er mikilvægt að malbiksslitlagið þoli þær miklu hitastigsbreytingar sem geta orðið. Hætta er á skriði ef hitastigið er hátt og umferðin hæg en sú hætta minnkar með lækkandi hitastigi. Hinvegar þegar hitastigið er lágt missir bindiefnið teygjanleika sinn og þá eykst hætta á frostsprungum þar sem malbikið dregst saman og rifnar. Það er því mikilvægt að geta valið bindiefni eftir hitastigsþoli og þar kemur flokkunarkerfi Superpave sterkt inn.

Þær tvær tegundir bindiefnis sem notaðar eru á Íslandi eru flokkaðar eftir stungudýpt. Mjúkt bik hefur stungudýptina 160/220 en hart bik 70/100. Vegagerðin lét prófa sýni árið 2005 af hvorri tegund í Bandaríkjunum og flokka þau samkvæmt Superpave kerfinu, sjá töflu 1. [1]

**Tafla 1.** Frammistöðuflokkun tveggja bindiefnissýna prófuðum samkvæmt aðferðum Superpave. [1]

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

PG stendur fyrir performance grade, sem þýða má sem frammistöðuflokkur. Fyrri talan er efra markið, þ.e. hæsta hitastig sem malbikið þolir en seinni talan er lægsta hitastig sem malbikið þolir. Samkvæmt þessum rannsóknum þolir harða bikið því mest 66°C og minnst -26°C. Flokkun Superpave hleypur á 6°C og því er bæði raunflokkunin, hið raunverulega hitastigsbil, og Smartpave flokkunin sýnd í töflunni. Vegagerðin lét einnig taka saman veðurfarsupplýsingar á fimm stöðum á Íslandi til þess að skoða hvaða flokkur bindiefnis myndi henta hérlendis, sjá töflu 2. [1]

**Tafla 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. [1]

Staður	Raunflokkun	Stöðluð flokkun	
	98% öryggismörk	50% öryggismörk	98% öryggismörk
Reykjavík	PG 30-14	PG 28-10	PG 34-16
Akureyri	PG 33-18	PG 34-16	PG 34-22
Egilsstaðir	PG 34-21	PG 34-16	PG 34-22
Kirkjubæjarklaustur	PG 33-14	PG 34-10	PG 34-16
Hveravellir	PG 30-23	PG 28-22	PG 34-28

Töflur 1 og 2 gera okkur kleift að álykta að mjúka bikið, 160/220, fullnægi kröfum Superpave með minnst 98 % öryggi til notkunar á öllum fimm stöðum. Harða bikið, 70/100, fullnægir kröfum Superpave með minnst 98 % til notkunar á öllum stöðum nema Hveravöllum þar sem kröfum um lágmarkshitastig er ekki uppfyllt. Harða bikið hefur neðri mörk -22 °C en neðri hitastigsmörk á Hveravöllum eru -28 °C. Norðmenn telja að hámarkshitastigið í malbiki sem fundin er með aðferð Superpave gefi of lága niðurstöðu. Ef líking þeirra er notuð á íslensk hitastigsgögn hækka efri mörkin um það bil um 10°C. [1] Hafa verður þó í huga að þrátt fyrir að tvær biktegundir hafi sömu stungudýptina þá er það ekki sjálfgefið að þær hafi sama PG – frammistöðuflokk.

## Rannsóknir Colas Ísland

Tækið sem notað var til þess að finna hámarkshitastig bindiefnis samkvæmt aðferðum Superpave nefnist Dynamic Shear Rheometer (DSR). Það metur einnig hættu á þreytusprungum og skriði við mismunandi hitastig. Sumarið 2020 hófust rannsóknir á tveimur tegundum af biki, 70/100 og 160/220 auk þjálbiks. Aðeins voru gerðar rannsóknir á óspjölluðum sýnum, þ.e. sýnum sem tekin voru úr

birgðageymum og þar sem ekki var búið að herma öldrunaráhrif líkt og hægt er að framkvæma með RTFOT (rolling thin film oven test) prófunum.



**Mynd 1.** Mynd af DSR tæki

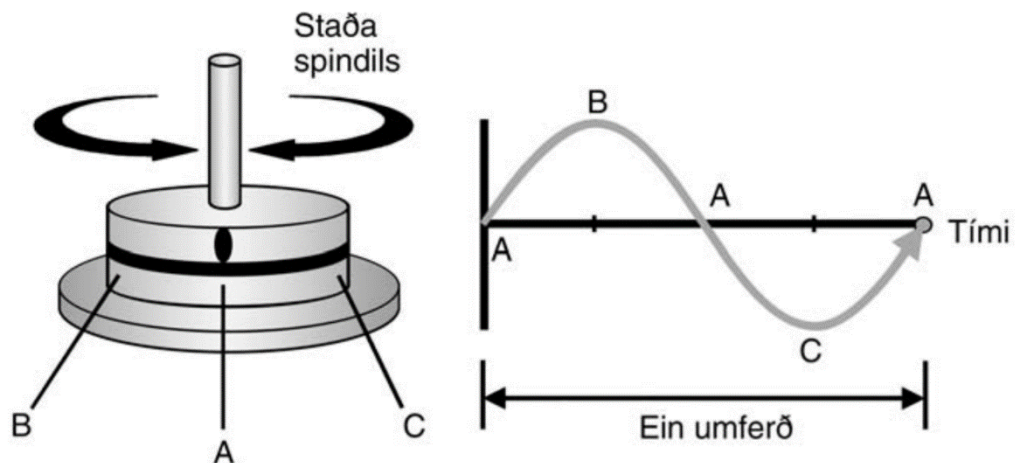
## Eiginleikar bikbindiefna

Bikbindiefni eru seigfjaðrandi (e. viscoelastic). Þau haga sér því að hluta til eins og teygjanlegt fast efni þar sem afmyndun undir þyngd er endurkræf, þ.e. efnið fer aftur í sitt upprunalega form eftir að þyngdin hefur verið fjarlægð. Hinsvegar haga bikbindiefni sér líka eins og seigur vökvi þar sem afmyndun er ekki endurkræf. DSR metur báða eiginleika og hentar því vel til þess að flokka bindiefni eftir hitastigsbilum. [2]

## Framkvæmd rannsóknar

Hægt er að kaupa hina ýmsu aukahluti til að nýta DSR tækið til margskonar rannsókna. Colas hefur fjárfest í tveimur aukahlutum. Annars vegar þar sem notað er spindill og bolli til að mæla seigju og hinsvegar þar sem notast er við samhliða plötur til að framkvæma Original Binder Grading próf (PG) og MSCR próf, sem er útskýrt nánar síðar. Til að framkvæma prófin með samhliða plötum þarf að byrja á því að hella heitu biki í sílíkonform af ákveðinni stærð og það síðan kælt til þess að einfaldara sé að koma sýninu fyrir í tækinu. Vinstra megin á mynd 2 sést hvernig sýninu er komið fyrir milli tveggja málmskífa af sömu stærð.





Mynd 2. Skýringarmynd af stífniþrófun í DSR. [1]

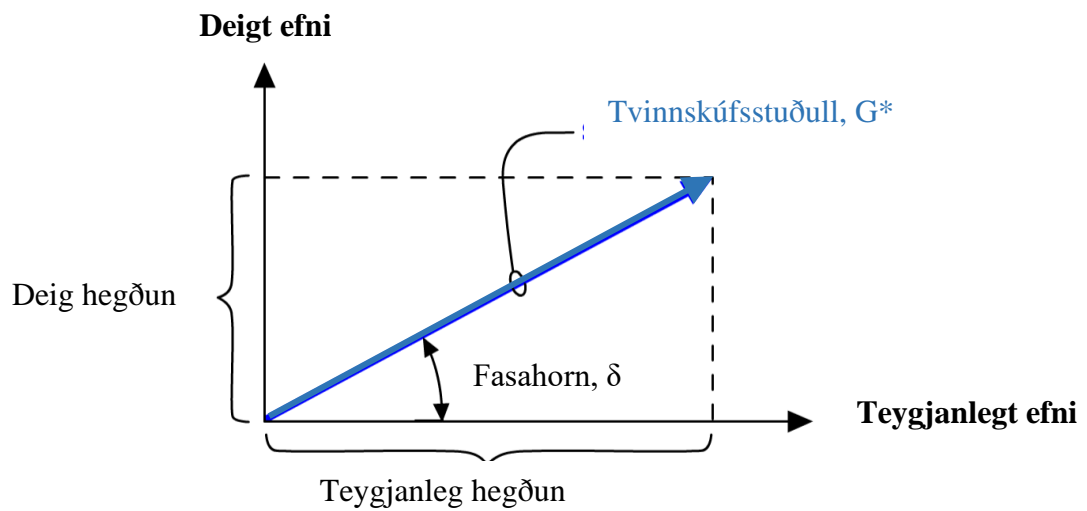
## Original Binder Grading

Efra markið í frammistöðuflokkuninni (PG) má mæla skv. AASHTO T315 staðlinum. Neðri skífundi er haldið fastri en þeirri efri er snúið um ákveðið horn þannig að punkturinn fyrir ofan A sé kominn fyrir ofan B. Síðan er efri skífundi snúið til baka, framhjá upphafsstað A, alveg þar til punkturinn er staðsettur fyrir ofan C. [1] Efri platan sveiflast svona á hraðanum 10 rad/sek (1,59 Hz) til þess að búa til skerátak (e. shearing action), fyrst 10 umferðir til þess að venja sýnið og síðan aðrar 10 umferðir, sem er sjálf mælingin. (Ásbjörn Jóhannesson, 2005). Þessi ákveðni hraði á að líkja eftir skerátaki sem samsvarar umferðarhraðanum 90 km/klst. [2] (heimild 2). Myndin til hægri sýnir snúningshornið sem fall af tíma fyrir eina umferð.

Niðurstöður mælinganna gefa okkur tvinnskúfsstuðulinn (e. complex shear modulus), sem táknaður er með  $G^*$  og fasahornið  $\delta$ . Líta má á  $G^*$  sem heildarmótstöðu sýnisins gegn afmyndun þegar það verður fyrir endurteknum skerkrafti. Hærra  $G^*$  gildi þýðir stífara bindiefni. Fasahornið er munurinn á álagðri skerpennunni og bjöguninni (hversu mikið sýnið gengur til baka). Því stærra sem fasahornið er, því deigara er efnið.

- Ef  $\delta = 0^\circ$  þá er efnið fullkomlega teygjanlegt
- Ef  $\delta = 90^\circ$  þá er efnið fullkomlega deigt

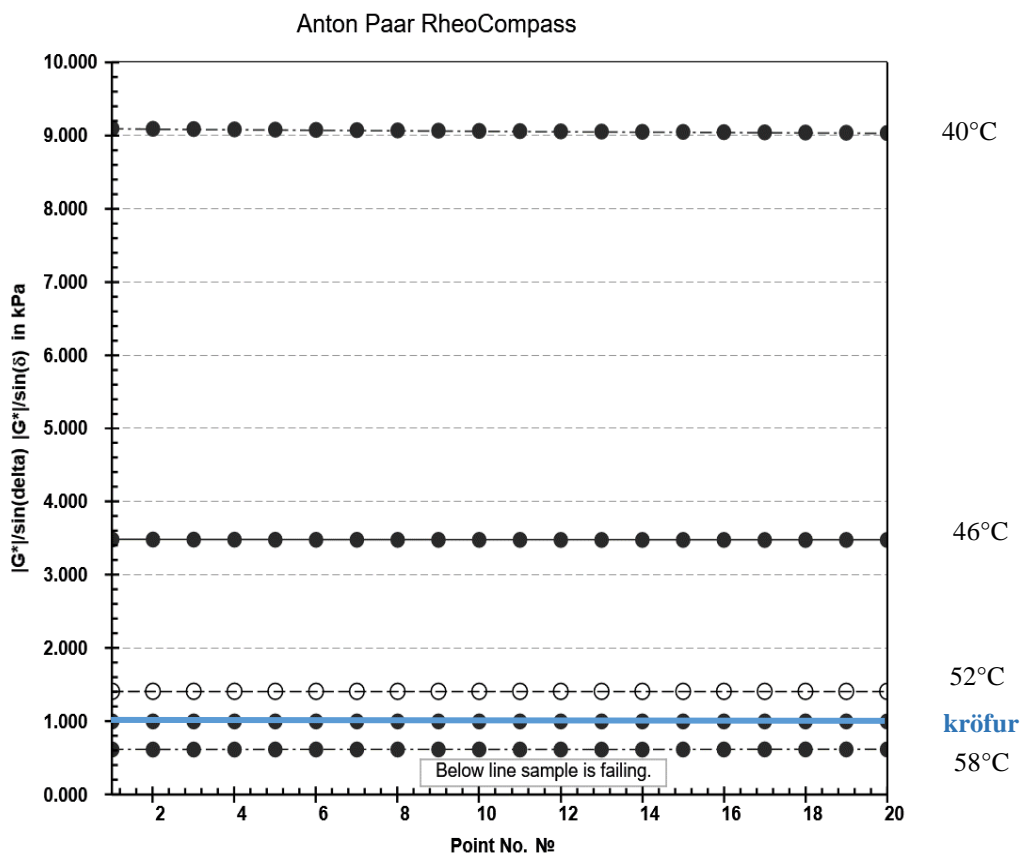
Þessar tvær stærðir,  $G^*$  og  $\delta$ , má nota til þess að spá fyrir um hjólfaramyndun í malbikinu og þreytusprungur. Til þess að koma í veg fyrir hjólfaramyndun þarf bindiefnið að vera stíft en teygjanlegt. Hlutfallið  $G^*/\sin(\delta)$  þarf því að vera hátt. Það þýðir að  $G^*$  hefur hátt gildi en  $\delta$  lágt gildi.



Mynd 3. Deig og teygjanleg hegðun bindiefnis.

Mynd 3 sýnir hvernig teygjanleg hegðun bindiefnisins er meiri eftir því sem fasahornið er minna.

Á mynd 4 má síðan sjá niðurstöður úr mælingum á sýni af mjúku biki, stungudýpt 160/220. Hver punktalína táknar þær 20 mælingar sem gerðar voru fyrir hvert hitastig.



Mynd 4. Niðurstöður úr Original Binder Grading prófi á mjúku biki

Superpave gerir kröfur um að  $G^*/\sin(\delta)$  sé stærra en 1,000 kPa (blá lína á mynd). Á myndinni sést að þegar komið er í 58°C stenst sýnið ekki kröfur. Forritið gefur síðan upp nákvæmt hitastig þar sem  $G^*/\sin(\delta)$  fór undir 1,000 kPa. Það hitastig nefnist pass/fail eða staðið/fallið hitastig og var fyrir þetta sýni 54,5°C. Staðlaða efra markið er því 52°C fyrir þetta sýni, þar sem það er næsta hitastig fyrir neðan staðið/fallið hitastigið þar sem sýnið stóðst kröfur. Í töflu 3 má síðan sjá meðaltöl af  $G^*$  og  $\delta$  fyrir hvert hitastig hjá þessu sýni.

**Tafla 3.** Meðaltöl af  $G^*$  og  $\delta$  við ólík hitastig. Sýni af mjúku biki, stungudýpt 160/220.

Hitastig [°C]	$G^*$	Fasahorn, $\delta$
34,00	24,132	84,48
40,00	9,038	85,90
46,00	3,474	86,93
52,00	1,410	87,71
58,00	0,617	88,34

Það er skýrt að  $G^*$  minnkar eftir því sem hitastigið hækkar en fasahornið stækkar örlítið. Bindiefnið missir stífleika sinn hratt með hækkandi hitastigi en teygjanleiki minnkar mun minna.

## Niðurstöður rannsókna – Original Binder Grading

Original Binder Grading prófsins má sjá í töflu 4. Þar sjást meðaltöl af staðið/fallið hitastigum úr rannsóknum á öllum þremur tegundum bindiefna árin 2020-2021.

**Tafla 4.** Meðaltöl af staðið/fallið hitastigi hjá mismunandi tegundum bindiefna auk lægsta og hæsta gildis sem var mælt.

Tegund bindiefnis	Fjöldi sýna	Staðið/fallið hitastig		
		Meðaltal	Min	Max
Bik 70/100	22	64,3	60,4	67,2
Bik 160/220	28	55,81	50,0	58,0
Þjálbik	24	40,8	37,8	46,0

Af töflu 4 sést að hitastigsbilið á öllum þremur tegundum er mjög þröngt og má því segja að bindiefnin séu stöðug. Árin 2020-2021 höfðu öll hörð biksýni (70/100) staðið/fallið hitastig yfir 58,0°C og mætti því flokka harða bikið sem PG 58. Öll mjúk biksýni (160/220) höfðu staðið/fallið hitastig yfir 52,0°C og má því flokka það sem PG 52. Öll þjálbikssýni höfðu staðið/fallið hitastig yfir 34,0°C og mætti því flokka það sem PG 34. Þrátt fyrir þessar flokkanir eru nokkur sýni sem gætu verið flokkuð í töluvert hærri hitastigsflokk. Aðeins 9 sýni af 24 höfðu staðið/fallið hitastig undir 40,0°C og eins og sjá má í töflu 4 var ekkert þeirra undir 37,8°C. Það sama má segja um mjúka og harða bikið og gæti því í sumum tilfellum verið verið réttara að fara upp um einn hitastigsflokk. Má þar nefna eitt þjálbikssýni sem hafði staðið/fallið hitastig 46,0 og ætti því í raun að vera flokkað tveimur stigum ofar, í PG 46. Þessar niðurstöður sýna að allar þrjár tegundir af bindiefnunum uppfylla þær kröfur sem sjá má í töflu 2 fyrir þá fimm staði á Íslandi sem Vegagerðin lét taka saman árið 2006.



## MSCR test

PG hitastigsflokkunin hentaði vel fyrir hefðbundinn hraða og miðlungs umferðarpunga en verr fyrir hæga og þunga umferð. Hönnuðir PG kerfisins ákváðu að bæta fyrir það með því að fara upp um hitastig, þ.e. hækka efra markið. Sem dæmi myndi bindiefni flokkað sem PG 58-28 vera notað fyrir venjulega umferð en PG 70-28 fyrir þunga hæga umferð, jafnvel þótt hitastigið á staðnum færi aldrei upp fyrir 58°C. Þannig mátti tryggja að stífara bindiefni yrði notað. Gallinn við þessa aðferð var að bindiefnið hafði nú eiginleika sem fundnir voru við mun hærra hitastig en þörf var á. PG aðferðin þótti ekki heldur meta eiginleika breyttra bindiefna nógu vel og því var ný prófunaraðferð þróuð. [3]

MSCR prófið eða Multiple-Stress-Creep-Recovery test notar svokallað skrið-endurheimt próf til þess að meta tilhneigingu bindiefnis til þess að afmyndast varanlega. Prófið er gert í sama tæki og PG prófið, DSR tækinu, skv AASHTO M 332-14. Fyrst er 0,1 kPa skúfspenna sett á sýnið í eina sekúndu og því svo leyft að jafna sig í 9 sekúndur. Þetta er endurtekið 10 sinnum til þess að venja sýnið og síðan aftur 10 sinnum, sem er hin eiginlega mæling. Síðan eru gerðar aðrar 10 umferðir, en nú með 3,2 kPa skúfspennu. Tækið reiknar síðan út það sem kallað er non-recoverable creep compliance ( $J_{nr}$ ), sem er bjögun sýnisins eftir skrið-endurheimt lotu deilt með þeirri spennu sem var beitt. Niðurstöður úr prófinu segja til um hvers konar umferð sýnið þolir. Hvert umferðarstig hefur ákveðnar kröfur um  $J_{nr}$  eins og sjá má í töflu 5. [4]

**Tafla 5.** Kröfur fyrir hvert umferðarstig [5].

Tákn	Merking: íslenska	Merking: enska	Umferðarhraði	Umferðarpungi	Jnr kröfur	% Recovery
S	Almenn umferð	Standard	< 70 km/h	< 10 milljón ESAL	< 4,5 kPa <sup>-1</sup>	
H	Þung umferð	Heavy	20-70 km/h	10 - 30 milljón ESAL	< 2,0 kPa <sup>-1</sup>	≥ 30%
V	Mjög þung umferð	Very heavy	> 20 km/h	> 30 milljón ESAL	< 1,0 kPa <sup>-1</sup>	≥ 55%
E	Gríðarlega þung umferð	Extremely heavy	< 20 km/h	> 30 milljón ESAL	< 0,5 kPa <sup>-1</sup>	≥ 75%

Ekki fundust upplýsingar um umferðarpunga á Íslandi samkvæmt ESAL kerfinu sem stendur fyrir equivalent single axle load eða samsvarandi ein öxuls álags. Hægt er að reikna ESAL út samkvæmt eftirfarandi formúlum.

$$\sum \text{ESAL} = T_f \text{TGDL}(365)Y$$

Þar sem  $T_f$  stendur fyrir vörubíla stuðull

$$T_f = \left( \sum_{i=1}^m p_i F_i \right) A$$

Þar sem  $p_i$  stendur fyrir hlutfall af heildar endurtekningum fyrir  $i$ - álagshóps.  $F_i$  stendur fyrir samsvarandi öxuls álags stuðull fyrir  $i$ - álagshóp.  $A$  stendur fyrir meðal fjöldi öxla á bíl.  $T$  stendur

fyrir hlutfall vörubíla í árdagsumferð (ÁDU). G stendur fyrir vaxtastuðull sem er reiknað með eftirfarandi jöfnu

$$G = \frac{(1 + g)^n - 1}{g}$$

Þar sem g stendur fyrir árlegan vaxtastuðul og n stendur fyrir greiningartímabil í árum. D stendur fyrir stefnudreifingar stuðull, L fyrir akreindreifingar stuðull og Y fyrir hönnunar tímabil í árum. [6]

## Niðurstöður úr rannsóknum með MSCR prófi

MSCR próf var framkvæmt við viðeigandi hitastig fyrir hverja tegund bindiefnis. Niðurstöður rannsókna árin 2020-2021 má sjá í töflu 6. MSCR prófið var framkvæmt á 22 hörðum biksýnum (70/100), 28 mjúkum biksýnum (160/220) og 17 þjálbiksýnum.

**Tafla 6.** Meðaltöl hitastiga allra sýna fyrir hvert umferðarstig.

Tegund	MSCR				
Bik 70/100	E	V	H	S	Failed
Meðaltal	40,66	46,00	51,50	54,80	60,00
Min	39,97	45,98	46,00	52,00	58,00
Max	46,00	46,00	52,00	58,00	64,00

Tegund	MSCR				
Bik 160/220	E	V	H	S	Failed
Meðaltal	33,75	39,40	43,79	46,63	52,23
Min	28,00	34,00	40,00	40,00	46,00
Max	40,00	40,00	46,00	52,00	58,00

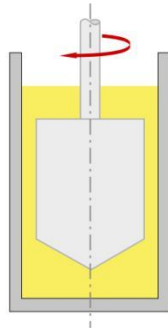
Tegund	MSCR				
Þjálbik	E	V	H	S	Failed
Meðaltal	18,83	23,09	28,00	33,54	38,40
Min	16,00	21,99	28,00	27,99	34,00
Max	22,07	27,99	28,00	34,00	40,01

Tafla 6 sýnir meðaltöl hitastiga fyrir hvert umferðarstig hjá hverri tegund bindiefnis. Eins og sjá má eru hitastigsbilin fyrir hvert umferðarstig mjög þröng og sýnin því mjög stöðug. Það má þó nefna að aðeins er prófað á 6°C bili og því geta sýni stundum lent rétt undir eða rétt yfir bilum og hitastigsbilið því að öllum líkindum enn þrengra en sést í töflunni. Örlitlar sveiflur í hitastigsgildum (í min/max sem eru stöðluð gildi, á ekki við um meðaltalið) stafa af því að frávik frá völdu hitastigi í prófi þarf

aðeins að vera minna en  $0,010^{\circ}\text{C}$ . Þegar sýni stenst ekki lengur kröfur fyrir almenna umferð (S) er það sagt bregðast (e. failed) við það hitastig. Erfitt er að meta hvort niðurstöður úr MSCR uppfylli þær kröfur sem þarf þar sem ekki er vitað hvert umferðarþungi á helstu umferðarvegum er samkvæmt ESAL kerfinu.

## Mælingar á seigju

Þegar DSR tækið var fyrst keypt var ætlunin að mæla seigju biksins með sama búnaði og notaður er fyrir PG og MSCR próf, tveimur samhliða plötum líkt og sjá má á mynd 2. Hinsvegar kom í ljós eftir nokkrar prófanir að bikið var of fljótandi til þess að fá nákvæmar mælingar á seigju og því var keyptur nýr aukahlutur á tækið árið 2021. Búnaðurinn samanstendur af sívalningslaga spindli (e. rotating spindle) sem settur er ofan í bolla af ákveðinni stærð sem fylltur er með biksýni. Mynd 5 sýnir spindilinn ásamt bollanum. [7]



**Mynd 5.** Sívalningslaga spindill ásamt bolla. [7]

Á myndinni má sjá spindilinn sem er sammiðja (e.coaxial) bollanum sem inniheldur biksýnið. Þegar mæling á sér stað er spindlinum snúið á ákveðnum hraða með mótör en bollanum er haldið kyrrum. [7] Vægi mótorsins sem þarf til þess að snúa spindlinum er mælt og þannig fæst mæling á seigjunni. Með þessum búnaði má mæla dýnamíska seigju biksins við  $135^{\circ}\text{C}$  eftir staðlinum AASHTO T316. Dýnamísku seigjunni má síðan umbreyta í hreyfiseigju með jöfnunni [8]

$$v = \mu / \rho$$

þar sem  $v$  táknar hreyfiseiguna [ $\text{mPa s}$ ],  $\mu$  dýnamísku seigjuna [ $\text{mm}^2/\text{s}$ ] og  $\rho$  eðlismassa biksins [ $\text{kg/L}$ ]. [8]

## Niðurstöður seigjumælinga

Þar sem búnaðurinn var nýr voru aðeins gerðar seigjumælingar á þjálbikssýnum ársins 2021. Niðurstöður mælinga má sjá í töflu 7.

**Tafla 7.** Niðurstöður mælinga á hreyfiseigju.

Dagsetning	Hreyfiseigja við T=135°C [mm <sup>2</sup> /s]
27.05.21	106
02.06.21	104
07.06.21	105
11.06.21	105
11.06.21	111
12.06.21	110
15.06.21	104
22.06.21	100
24.06.21	106
28.06.21	109
05.07.21	103
05.07.21	103
07.07.21	107
07.07.21	105
07.08.21	95
12.08.21	101
23.08.21	102
24.08.21	103
<b>Meðaltal</b>	<b>104</b>
Min	95
Max	111

Í töflunni sést að hreyfiseigja þjálbiksins er á bilinu 95-111 mm<sup>2</sup>/s. Árið 2022 verða gerðar fleiri mælingar á seigjunni sem munu þá gefa nákvæmari mynd af dreifingunni á hreyfiseigju þjálbiks.

## Lokaorð

Þegar ákveðið var að kaupa DSR tækið til Íslands var vonin sú að auka þekkingu á þeim bindiefnum sem notuð eru hér á landi. Niðurstöður rannsókna sýna að frammistöðuflokkun (PG) á bindiefnunum uppfylla þær veðurupplýsingar fyrir þá fimm staði á landinu sem Vegagerðin tók saman. Erfitt er að meta niðurstöður úr MSCR prófinu þar sem ekki hefur verið fundinn umferðarþungi samkvæmt ESAL kerfinu. Bik er auðlind sem fæst við vinnslu á bensíni og dísel. Með aukinni vitundarvakningu í umhverfismálum mun notkun á eldsneyti minnka og þar af leiðandi aðgangur að biki. Þessvegna verða þessar rannsóknir mikilvægt tól í framtíðinni til að meta hvort það bik sem kemur til Íslands á næstu árum og áratugum uppfylli allar þær kröfur sem þarf.

## Heimildaskrá

- [1] Á. Jóhannesson, „Vegagerðin,“ 2005. [Á neti]. Available: [http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/2005\\_Superpave/\\$file/RBSK0504.pdf](http://www.vegagerdin.is/vefur2.nsf/Files/2005_Superpave/$file/RBSK0504.pdf). [Skoðað 13 júlí 2020].
- [2] Pavement Interactive, [Á neti]. Available: <https://pavementinteractive.org/reference-desk/testing/binder-tests/dynamic-shear-rheometer/>. [Skoðað 29 03 2022].
- [3] M. Anderson, J. D'Angelo og D. Walker, „Asphalt Magazine,“ 2010. [Á neti]. Available: <http://asphaltmagazine.com/mscr-a-better-tool-for-characterizing-high-temperature-performance-properties/>. [Skoðað 13 apríl 2022].
- [4] M. Syslo. [Á neti]. Available: <https://materials.transportation.org/wp-content/uploads/sites/24/2017/04/P2-05-Region-4-SOM-MSCR-Syslo-NDOR.pdf>. [Skoðað 29 mars 2022].
- [5] J. & R. P. & K. K. & S. M. Król, „Assessment of an appropriate modifier content in modified bitumen based on the multiple stress creep recovery test,“ Split, 2005.
- [6] Texas Department of Transportation, 2005. [Á neti]. Available: [https://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/cst/tips/flex\\_pave\\_des\\_faq.pdf](https://ftp.dot.state.tx.us/pub/txdot-info/cst/tips/flex_pave_des_faq.pdf). [Skoðað 30 mars 2022].
- [7] Anton Paar, „Wiki Anton Paar,“ [Á neti]. Available: <https://wiki.anton-paar.com/en/how-to-measure-viscosity/>. [Skoðað 13 apríl 2022].
- [8] Engineering ToolBox, [Á neti]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/dynamic-absolute-kinematic-viscosity-d\\_412.html](https://www.engineeringtoolbox.com/dynamic-absolute-kinematic-viscosity-d_412.html). [Skoðað 13 apríl 2022].

