



FESTUN BURÐARLAGS VEGA

11.10.2019



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-205-LEI-001-V02

VERKEFNISSTJÓRI / FULLTRÚI VERKKAUPA

Jón Magnússon
Þórir Ingason
Þorbjörg Sævarsdóttir

VERKEFNISSTJÓRI EFLA

Þorbjörg Sævarsdóttir

TITILL SKÝRSLU

Festun burðarlags vega

VERKKAUPI

Vegagerðin
Vegagerðin
EFLA

HÖFUNDAR

Þorbjörg Sævarsdóttir, EFLA
Jón Magnússon, Vegagerðin
Bergþóra Kristinsdóttir, EFLA

STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu
 Drög til yfirlustrar
 Lokið

DREIFING

- Opin
 Dreifing með leyfi verkkaupa
 Trúnaðarmál

ÚTGÁFUSAGA

NR.	HÖFUNDAR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMÞYKKT	DAGS.
01	Þorbjörg Sævarsdóttir Jón Magnússon Bergþóra Kristinsdóttir Fyrsta útgáfa leiðbeininga	11.10.19	Jón Magnússon	11.10.19	Þorbjörg Sævarsdóttir	11.10.19

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

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	4
2	STYRKINGAR / ENDURBÆTUR	5
3	FESTUNARAÐFERÐIR	8
3.1	Sementsfestun	9
3.1.1	Hönnun sementsbundins burðarlags	10
3.1.2	Framkvæmd sementsfestunnar	12
3.2	Bikfestun	14
3.2.1	Hönnun bikfests burðarlags	15
3.2.2	Framkvæmd bikfestunnar	16
4	SAMANTEKT	18
	HEIMILDASKRÁ	19

1 INNGANGUR

Vegir landsins eru margir komnir til ára sinna og aldur þeirra almennt kominn fram yfir hannaðan líftíma. Þá hefur umferð og álag á vegi landsins aukist til muna á síðustu árum og umferðarspár gefa til kynna áframhaldandi þróun í þá veru. Norðmenn telja þörf á styrkingu þegar líftími slitlags er of lár, m.v. ásættanlegan/hefðbundinn líftíma þess fyrir gefna ársdagsumferð (ÁDU) og/eða ef auka á leyfilegan öxulþunga.

Lagning nýs slitlags á veg sem ekki hefur nægjanlegt burðarþol er dýrt, en þá getur ending slitlagsins verið slæm og kostnaður við viðhald of hár. Ef burðarþoli er ábótavant er oft hagkvæmara að styrkja veg heldur en að endurbyggja, en það er einnig oft betra fyrir umhverfið og minna rask við framkvæmdina. Við styrkingu vegar er verið að endurvinnna og endurnýta efni sem er til staðar í veginum, og ef vel tekst til er ending og styrkur vegarins eins og um nýbyggingu væri að ræða (RSTA, 2012). Í Noregi eru ráðlagt að gera sömu kröfur til styrkinga lengri vega (> 1000 m) og gerðar eru til nýbygginga, á það m.a. við um afvötnun, aðgerðir gegn frostlyftingum, burðarlags, slitlags og framkvæmdar. Fyrir styttri leiðir má kanna hvort gefa eigi slaka í hönnuninni (Statens Vegsesen, 2018).

Almennt er erfitt að kanna eiginleika jarðefna, steinefna og vegargerðarefna við mismunandi skilyrði og því oft erfitt að taka ákvarðanir um festun. Til að auðvelda upplýsta ákvörðunartöku þarf mikið magn upplýsinga svo sem um legu, uppbyggingu, undirlag, umferð og brotmyndir vegarins. Við yfirferð gagnanna eru oft margar ástæður eða margir samhangandi þættir fyrir niðurbroti vegarins. Greiningaraðferðir hafa ýmist ekki til eða ekki kvarðaðar miðað við staðhætti, en þróunin er í rétta átt. Reglulegt eftirlit er með ástandi vega og mælingar á hjólförum, hrýfi, þversniði, styrk og myndvinnsla hafa aukist og batnað á síðustu árum, og komið saman í viðhaldsstjórnunarkerfi vega. Þrátt fyrir aukin gögn getur verið erfitt að meta og greina hvaða aðferð til viðhalds hentar best, og því virðist stundum sem val aðferða fari eftir staðbundinni reynslu og kostnaði (Statens vegvesen, 2015).

Þegar kemur að burðarþolsstyrkingum vega eru margar leiðir færar (Valgeir Valgeirsson o.fl. 2003), en miklu máli skiptir að velja réttu aðferðina þannig að verkefnið verði sem hagkvæmust. Oft er fjárhagsáætlun til styrkinga og endurbóta mun lægri heldur en þörfin, því er mikilvægt að taka vel upplýstar ákvarðanir. Þessi samantekt er hugsað til aðstoðar hönnuðum og veghöldurum við val á festunaraðferðum og hvenær festun er álitlegur kostur við endurbætur vega.

2 STYRKINGAR / ENDURBÆTUR

Ástæður fyrir skemmdum í vegum eru oft vegna nokkurra samhangandi þátta, mistaka og galla. Þess vegna þarf stundum samsettar aðgerðir við styrkingar og endurbætur vega. Ekki dugir að styrkja burðarlagið ef slitlagsskemmdir stafa af frostlyftingum og veikleiki vegbyggingarinnar mögulega fyrir neðan burðarlagið eða ef hjólför í malbiki eru vegna nagladekkja, mistaka í útlögn eða efnisvali malbiks. Mikilvægt er að finna rót vandans áður en ráðist er í að laga vandann.

Erfitt er að meta hvenær er ráðlagt að styrkja vegi og þá hvaða aðferð er heppilegust, en við vissar aðstæður er líklegra að aðgerðin heppnist. Nágrannalönd okkar hafa gefið út leiðbeiningarit (Statens vegvesen, 2015; Trafikverket, 2012; Transit, 2008; Tiehallinto, 2007) þar sem tekið er fram hvað skal kanna áður en haldið er af stað í hönnun, að hverju skal stefnt í hönnun endurbótanna og hvað skal varast. Þar er tekið skýrt fram að lausnin fellst ekki endilega í styrkingu (festingu) burðarlags þótt það hjálpi í mörgum tilfellum.

Áður en ákveðið er að styrkja (festa) burðarlag vegbyggingar er ráðlagt að kanna eftirfarandi þætti (RSTA, 2012; Vegagerðin, 2017; Statens Vegvesen, 2018):

- **Ástæður** – Hverjar eru megin ástæður fyrir broti núverandi vegbyggingar, eru ástæður brots aðallega vegna lélegs burðar. Ef svo er ekki er festun ekki heppileg styrkingaraðferð nema samhliða öðrum aðgerðum.
- **Yfirborðsskemmdir** – Skoða sprungur og sprungumynstur í slitlaginu en endurbætur eiga að stuðla að því að slitlagið (vegbyggingin) haldi sér í tilskilin tíma eftir að endurbótum er lokið.
- **Hjólför** – skoða dýpt og mögulegar ástæður hjólfara.
- **Umferðarpungi** – Er umferð um veginn nægjanleg til að réttlæta festun burðarlags eða er hugsanlega nægjanlegt að keyra efni í veginn og jafna yfirborðið ásamt öðrum minni aðgerðum til styrkinga.
- **Stærðargráðu styrkingarinnar** – Er svæðið nægjanlega stórt til þess að hagkvæmt sé að styrkja núverandi veg. Ef ekki borgar sig að ná burði vegarins með hefbundinni endurbyggingu.
- **Þykkt burðarlags** – Er þykkt núverandi burðarlags nægjanleg, ef ekki leyfir lega vegarins að hún sé hækkuð og komið sé með auka steinefni og keyrt í veginn.
- **Efniseiginleikar burðarlags** – Henta efnin sem eru í núverandi vegbyggingu til festunnar og er efnið nokkuð einsleitt, ef ekki er möguleiki að keyra efni í veginn þ.a. festun sé heppilegri. Yfirleitt er ekki talið hagkvæmt að styrkja burðarlag ef harðir steinar í yfirstærð eru í efninu, vegurinn gerður úr steypu eða efnið inniheldur lífrænan mó eða leifar af leir. Þessi efni eru ekki algeng og er því oft hagkvæmt að styrkja vegbyggingar. Tryggja verður að lífræn efni úr köntum blandist ekki við efni sem skal festa. Í sumum tilfellum getur verið ráðlagt að styrkja burðarlagsefni sem ekki uppfyllir kröfur sem gerðar eru til óbundins burðarlags hvað varðar styrk, kornastærð, kornadreifingu og berggreiningu.
- **Fræsing** – Er efnið í veginum hentugt til fræsingar, ef ekki þarf að kanna aðrar leiðir til styrkingar, t.d. geta stærri staksteinar skemmt tennur í fræsanum.

- **Styrkur undirlags** – Er undirlag vegarins hentugt til festunnar burðarlagsins? Ekki er talið æskilegt að festa burðarlög með sementi ef hreyfing er á undirbyggingunni eða styrktarlaginu.
- **Vegbreidd** – Er breidd vegarins nægjanleg til styrkingar, athuga þarf að í sumum tilfellum getur vegurinn mjókkað við festun burðarlagsins. Stundum er ráðlagt að breikka veginn samhliða festun.
- **Veghönnunina** – Er breidd og vegferill í samræmi við veghönnunarreglur Vegagerðarinnar? Benda slysaöggn til þess að fara þurfi í úrbætur á einhverjum stöðum? Er eitthvað sem ætti að laga samhliða festun. Eftir að vegur hefur verið festur með sementi er erfitt að breyta veginum.
- **Veitur** – Tryggja að veitur skemmist ekki eða hægt sé að flytja þær á hagkvæman hátt.
- **Afvötnun** – Alltaf ætti að kanna afvötnun vega, bæði við festun og endurbyggingu. Í Noregi er mælt til þess að bætt sé úr afvötnun vega ári áður en styrkingar fara fram.

Helstu prófunaraðferðir til að ákvarða þörf og gerð styrkingar eru:

- **Uppgröftur** – Segir til um uppbyggingu vegar, lagþykktir og efnisstuðla (með prófunum á rannsóknarstofu). Þá er hægt að reikna burðarlagsgildi vegbyggingarinnar og styrkleika. Í Bretlandi er mælt til að taka prufuholu á hverjum 500 m², en stundum er svæðið aukið í 800 – 1000 m². Holurnar skulu vera a.m.k. 45 cm djúpar og nægjanlega stórar til þess að raunhæft sýni náist úr veginum, þ.a. hægt sé að kanna undir- og styrktarlag.
- **DCP (Dynamic Cone Penetrometer) / CBR (California Bearing Ratio)** – Meta burð undirlagsins í felti, en báðar aðferðirnar gefa til kynna skerstyrk (shear strength) efnisins. Mælt er með því að mæla að vori þegar burðurinn er minnstur.
- **Niðurbeygjumælingar (s.s. falllóðsmælingar)** – Hægt að bakreikna stífni (E-gildi) mismunandi laga vegarins og meta álagsdreifingu.
- **Myndgreiningar/veggreindir** – geta gefið ýmsar upplýsingar s.s. umfang og stærð hjólfara, veltigreiningu og jarðsjá getur gefið upplýsingar um uppbyggingu vegarins og undirlags.

Í norska leiðbeiningaritinu forsterkningar av veger (Statens Vegvesen, 2015) eru taldar upp 17 mismunandi aðferðir til styrkinga (tafla 1), en oft þarf að sameina aðferðir.

Við endurbætur vega má hafa eftirfarandi í huga, en alltaf verður að taka tillit til staðháttá. Þar sem:

- Burðarlagsefni vegarins stenst leiðbeinandi efniskröfur Vegagerðarinnar m.v. ÁDU vegarins
- Falllóðsmælingar sýna $d_0 < 500 \mu\text{m}$
- Reiknað gildi úr falllóðsmælingum, $\text{SCI} = d_0 - d_{30} < 200$
SCI er krappi yfirborðsins, gefur til kynna stífni efstu laga vegbyggingar.
- B-gildi (burðarstuðull) falllóðsmælinga sé hærra en 10, reynslujafna sem er notuð í Noregi

$$B = 11 \cdot \left(E_{dim} / 200 \right)^{0,6} \cdot \left(50 / \text{ÁDT}_T \right)^{0,072}$$

$$E_{dim} = \frac{110 \cdot p}{\sqrt{d_0 \cdot (d_0 - d_{20})}}$$

ÁDT_T er árdagsumferð þungaumferðar (ÁDU_p)

ætti að vera nægjanlegt að þurrfræsa burðarlagið, keyra í og jafna yfirborðið án festunnar. Hins vegar getur verið rétt að festa burðarlög ef efni burðarlagsins er veikt, fínefnaríkt, uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu eða ef axlir vegarins eru mjóar og ekki til fjármagn til breikkanna en fjármagn nægjanlegt til að styrkja burðarlag vegar og axla.

Kostnaðurinn við festun burðarlags er um 30% meiri á hvern fermetra borið saman við óbundið burðarlag, en kostnaðurinn fer að miklu leyti eftir kostnaði bindiefnis og er þess vegna breytilegur. Vegna þessa verður að meta í hverju tilfelli fyrir sig hvenær skuli festa burðarlagið og hvenær er nægjanlegt m.t.t. endingar að þurrfræsa burðarlagið, keyra í og jafna yfirborðið án festunnar.

TAFLA 1 Styrkingaraferðir (Statens Vegvesen, 2015).

LÝSING	ATHUGASEMD
1 Opnir skurðir	Bætir almennt burðargetu vegarins. Bætir ástand flestra vega
2 Lokuð drenering	Bætir almennt burðargetu vegarins. Bætir ástand flestra vega
3 Afrétting / fræsing	Bætir þversnið og lengarprófíl. Hefur takmörkuð áhrif á aðrar skemmdir
4 Heitblandað bikbundið burðarlag	Bætir almennt líftíma yfirlags. Þarfnast góðs aðgengis að blönduðu efni á ásættanlegu verði.
5 Kaldblandað bikbundið burðarlag	Bætir almennt líftíma yfirlags. Er einföld og vel færænleg framleiðsla.
6 Festun burðarlags (djúp festun)	Virkar vel þar sem burðarlagsefnið er vatns- eða frostnæmt, bætir þversnið og lengdarprófíl vegarins, dregur úr líkum á sprungum. Heildaruppbygging vegarins verður að vera í lagi.
7 Burðarlag með biksmjúgið þúkk	Bætir almennt burðargetu vegarins. Krefst þess að þykkt þúkkklagisins sé með jafna þykkt, má framkvæma samhliða öðrum aðgerðum sem stuðla að bættum vegprófíl.
8 Burðarlag með fleyguðu / kildu þúkki	Bætir almennt burðargetu vegarins. Krefst þess að þykkt þúkkklagisins sé með jafna þykkt, má framkvæma samhliða öðrum aðgerðum sem stuðla að bættum vegprófíl.
9 Þurrfræsing	Á við óbundin burðarlög með óhagstæða kornadreifingu, bætir þversnið og lengarprófíl.
10 Tenging / jöfnun (Utkilinger)	Framkvæmt til að jafna ójöfnur vegna frostlyftinga. Aðgerðin er oft sameinuð með öðrum aðgerðum s.s. frárennsli og staðbundnum massaskiptum.
11 Styrking axla	Ráðstafanir til að laga kant-, langsprungur o.fl. Hægt er að grípa til nokkra mismunandi aðferða eftir umfangi og orsökum brotsins.
12 Breikkun vegar	Almenn aðgerð til úrbóta á vegum með litla breidd og þar með talið breiddarútvíkkun í beygjum. Aðgerðin er einnig stundum nauðsynleg samhliða öðrum styrkingaraðgerðum sem leiða til þengra þversniðs.
13 Styrking með stálneti	Á aðallega við þar sem draga þarf úr langsprungum vegna frostlyftinga.
14 Styrking malbiks með plastneti	Oft tengd við aðrar styrkingaraðgerðir s.s. breikkanir og styrkingar axla.
15 Styrking óbundinna laga	Á einnig við um styrkingar óbundinna laga með plastneti. Þessi aðgerð á mest við þar sem verið er að tryggja stöðuleika og burðarþol þegar vegurinn er í byggingu
16 Massaskipti	Getur verið allt frá því að skipta út hluta af vegi til þess að byggja nánast nýjan veg.
17 Massaskipti vega á mýri	Auk hefðbundinni massaskipta innifelur aðgerðin í sér að nota léttu massa (EPS, gler perlur o.s.frv.) sem og aðrar aðferðir til þess að minnka sig (þjöppun) vegbotnsins.

3 FESTUNARAÐFERÐIR

Festun burðarlags vega er vel þekkt og hefur verið framkvæmd um áratuga skeið. Hins vegar er mjög misjafnt hvaða bindiefni verður fyrir valinu, en bik og sement eru mjög algeng. „Bik- eða sementsfestun burðarlags getur verið nauðsynleg ef umferðarálag er mikið á veginum, en kemur einnig til greina ef burðarlagsefnið uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu“ (Vegagerðin, 2017).

Gerðar hafa verið þó nokkrar skýrslur um festun burðarlaga á Íslandi sem og kröfur settar fram í leiðbeiningarritum (Þórir Ingason, 1993; Karsten Iversen, 1995; Njörður Tryggvason, 1996a & 1996b; Þórir Ingason o.fl., 2000; Þórir Ingason, 2004; Kristján Ingi Arnarsson, 2011; Ingvi Árnason o.fl. 2012; Einar Gíslason o.fl., 2013; Vegagerðin, 2017 & 2013, Þorbjörg Sævarsdóttir o.fl., 2018). Með góðum forrannsóknnum, rétttri hönnun, góðum tækjum og vel útfærðri framkvæmd eru kostir festunnar nýttir og gallarnir sniðgegnir (Njörður Tryggvason, 1996a). Festanir burðarlaga virðast gefa góða endingu og styrk séu þær rétt hannaðar og framkvæmdar.

Hér eru bornir saman eiginleikar sementsfests og biksfests burðarlags, en bik og sement hafa ólíka eiginleika. Bik viðheldur sveigjanleika í vegbyggingunni á meðan sement gerir hana stífari. Álagsdreifingarstuðullinn fyrir bikfest burðarlag er oft milli 1,5 og 1,75 en fyrir sementsbundið efni má reikna með 2,25 á meðan mulið berg hefur stuðullinn 1,35 og sandur eða mól 0,75 (Vegagerðin, 2013). Þegar kemur að vali á bindiefni eru margir þættir sem þarf að skoða en oft kemur ákörðunin niður á fjármagni, undirlagi, aðgengi að bindiefni og í sumum tilfellum á sjálfbærni og/eða vegna umhverfisáhrifa.

Nokkur atriði sem rétt er að hafa í huga þegar bindiefni til festunnar er ákveðið:

- Sement gefur stífa vegbyggingu á meðan bik gefur sveigjanlega.
- Sement gefur styrk fyrr heldur en bik, bikfesting getur verið einhver ár að ná fullum styrk. Styrkur festra burðarlaga eykst með tímanum.
- Sementsfestun er viðkvæm fyrir missigi í undirbyggingunni og styrktarlagi, þess vegna þarf að tryggja jafnara og stöðugra undirlag undir sementsfest burðarlag borið saman við bikfestun.
- Hægt er að festa efni með breiða kornadreifingu og binda fínefni í burðarlaginu. Ef steinefni eru vatnsdræg og/eða frostnæm með hátt fínefnainnihald er bindiefnismagn aukið. Fyrir mjög fínefnaríkt steinefni hefur reynst vel að blanda það fyrst með sementi og festa svo með biki.
- Festun burðarlags getur verið réttlæt看leg ef efnisgæði steinefnis er ekki fullnægjandi.
- Sement er talið betra þar sem þörf er á sérstaklega sterku burðarlagi.
- Ef breidd vegarins er í lágmarki hefur reynst vel að festa veginn og þá um leið axlirnar.
- Ef vegurinn er orðinn mjög aflagaður og/eða falllóðsmælingar sýna miklar niðurbeygjur, getur verið gott að festa burðarlag um leið og vegurinn er þurrfræstur.

- Bikfestun er viðkvæmari fyrir veðurskilyrðum við útlögn. Þannig er bikfestun háðari hitastigi og fer mjög illa ef rignir í hana. Sementsfestunin þolir hins vegar talsverðan úða áður en hún fer að skemmast og ekki má vera kaldara en svo að sementið hvarfist.
- Oft má hleypa umferð fyrr á sementsstyrkt burðarlög borið saman við bikbundin burðarlög, og í sumum tilfellum er hægt að hafa umferð á vegi á meðan á framkvæmdum stendur.
- Oftast er nauðsynlegt að loka yfirborðinu fljótlega eftir festun.
- Endurgerð sementsfests vegar er erfið, þar sem erfitt er að þurrfræsa sementsfest burðarlag og kornakúrfa fræsins líklega ónothæf sem burðarlagsefni. Hægt er að þurrfræsa bikfest burðarlög.

Óháð því hvaða efni er notað til festunnar (bikþeyta, froðubik eða sement) þarf að gera prófblöndur til að kanna magn bindiefnis og væntanlega eiginleika bundna efnisins, þ.m.t. burðarþol. Einnig getur þurft að kanna aðra eiginleika efnisins s.s. þjöppunareiginleika við mismunandi rakastig (Proctor próf), CBR próf og ef nota á MEPD (Mechanistic-Empirical Pavement Design) hönnunaraðferðir þarf kvik þríðásapróf. Almennar steinefnaprófanir fylgja hefðbundnu ferli skv. leiðbeiningarritum Vegagerðarinnar (Vegagerðin, 2017) en talið er mjög mikilvægt að vita kornadreifingu efnisins sem á að meðhöndla þ.a. hönnun festunnar heppnist. Í upphafi verks þarf að liggja fyrir hvaða aðferð skal notuð, dýpi meðhöndlunar, hvaða bindiefni skal nota og í hvaða magni, hagstæðasta rakainnihald og eðlismassa efnisins. Þá þarf að leggja þarf fram áætlun um þjöppun og eftirlitsprófanir.

3.1 Sementsfestun

Sementsfest burðarlag er blanda af steinefni, Portland sementi og vatni sem harðnar eftir þjöppun og aðhlúun (*e. curing*) og myndar sterkt, varanlegt og frostfrítt vegagerðarefni. Aðferðin hefur verið þekkt lengi og var fyrst notuð árið 1935 í South Carolina í Bandaríkjunum. Eiginleikar sementsfests burðarlags eru háðir steinefninu, magni sements, skilyrðum við aðhlúun og aldri.

Sement hentar vel þar sem dreifa þarf álagi frá þungaumferð jafnar yfir undirlagið, þar sem sementsfest burðarlag er mun stífara og sterkara heldur en óbundið burðarlag. Stífara burðarlag minnkar niðurbeygjur í vegbyggingunni vegna umferðarálags og minnkar þar af leiðandi streitur í slitlaginu. Þar sem umferð er í sama sporinu dregur úr hjólfaramyndun, en óbundin efni vilja færast til undan álaginu. Sementsfest burðarlag getur í sumum tilfellum verið þynnra heldur en óbundið burðarlag fyrir sama umferðaálag, þar sem lagið er stífara og álaginu því dreift yfir stærra svæði á undirlagið. Þar sem vatn getur leitað í vegbyggingar getur sementsfest burðarlag hentað betur, en festa burðarlagið dregur í sig minna vatn heldur en óbundið efni (Halsted o.fl., 2006). Erlendis eru sementsfest burðarlög yfirleitt notuð á umferðarmikla vegi, en hérlendis hafa þau einnig verið notuð til þess að styrkja eldri burðarlög við góða raun. Sementsfestunin virðist aðlaga sig vel að þeim miklu sveiflum sem geta orðið í raka og kornadreifingu burðarlagsins, en hægt er að mæta sveiflum með breytilegu sements- og rakamagni.

Erfitt er að gera endurbætur á sementsfestum vegi þar sem erfitt er að þurrfræsa burðarlagið, þ.a. ef fyrirhugaðar eru endurbætur í náinni framtíð er ekki mælt með því að sementsfesta burðarlagið.

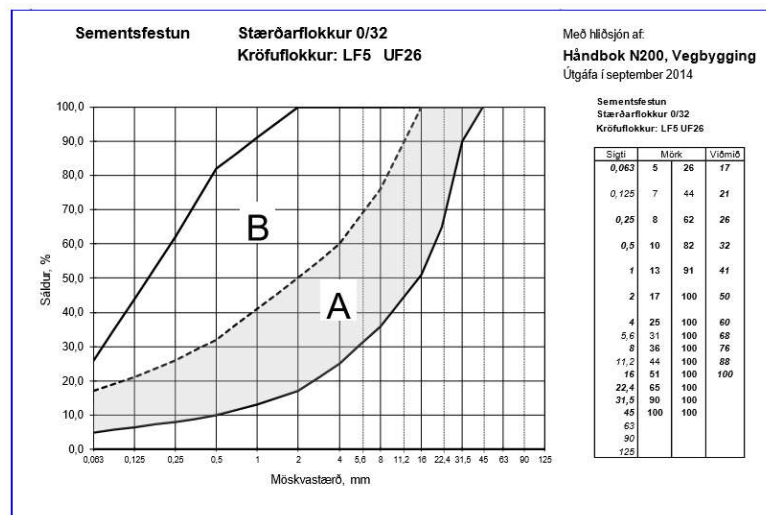
Þar sem mikil hreyfing er á vegbyggingunni, t.d. vegna óstöðugs undirlags eða þar sem froslyftingar geta átt sér stað, geta myndast stórar sprungur í burðarlaginu þar sem sementsfest burðarlag hefur

misst sveigjanleika sinn. Þessar sprungur leyta upp á yfirborðið og getur reynst mjög erfitt að laga. Einnig þarf að vanda vel skil sementsfests burðarlags og óbundins burðarlags þ.a. sprungur myndist ekki á skilunum. Í Finnlandi er gerð krafa um að styrktarlag og undirbygging séu með góða frostmótstöðu og að styrkur styrktarlags (eða undirlags sementsfests burðarlags) sé að lágmarki 100 MPa.

Hægt er að nota mismunandi steinefni í festunina s.s. hágæða brotin steinefni, mól, klöpp, sand, silti og leir; samsett efni eins og kalkefni, hraungjall, gjall, sandstein og ösku; affalsefni náma og úr öðrum iðnaði og gamlar sveigjanlegar vegbyggingar, með klæðingu og óbundnu burðarlagi eins og þekkt vel á Íslandi. Hins vegar eru ekki leyfilegt að nota sum þessara efna á Íslandi.

3.1.1 Hönnun sementsbundins burðarlags

Mikilvægt er að vita hvaða fylliefni (steinefni) á að nota, kröfurnar sem gerðar eru til framleiðslunnar og loka afurðarinnar, styrk undirbyggingar, hönnunartímann og umferðarþungann til þess að hönnun og ending sementsfests burðarlags verði eins og ætlast er til. Mælst er til að nota fylliefni sem þjappast vel og er með góða kornadreifingu, til að tryggja lágmarks aðskilnað í efninu og slétt yfirborð. Nauðsynlegt er að hafa nægjanlegt magn fínafna til að halda grófara efninu saman og mynda þétt og gott burðarlag. Í sérstökum tilfellum þar sem sementsfesta burðarlagið þarf að vera gljúpt er hægt að nota einsleitar kornakúrfur. Æskileg kornadreifing fyrir steinefni sem á að sementsbinda er sýnd á mynd 1. Á myndinni eru marklínur A og B, en æskilegast er að efnið lendi innan marklínu A en einnig má nota efni innan marklínu B en þá er ráðlagt að nota heldur meira sementsmagn til festunar. Aðrar kröfur sem gerðar eru til steinefnisins eru eins og fyrir óbundin burðarlög.



MYND 1 Marklínur fyrir sementsfest burðarlög (Vegagerðin, 2017).

Magn vatns og sements fer eftir kornadreifingu fylli-/steinefnisins og áætlaðum styrk, og þess vegna er mikilvægt er að gera prófblöndur með því steinefni sem á að festa hverju sinni. Ef blandan er mjög fínefnarík þarf meira sement og vatn þar sem yfirborð steinefnanna er meira. Þegar búið er að finna rétt rakastig til að ná sem bestri þjöppun þarf að gera kjarna og mæla þrýstistyrk þeirra við nokkrar mismunandi prósentur sements. Þegar búið er að ákveða sementsmagnið er endanlegt rakastig ákvarðað. Ef bæta á við sementi í stöð til styrkingar eru tekin sýni, þau þjöppuð í mót og rúmþyngd og

Þrýstibrotþol eftir 7 daga mælt. Það sama á við þegar burðarlög eru bundin með sementi í felti, en þá skal taka eitt sýni af efninu til að meta blöndun og magn bindiefnis við steinefni og prófa eftir 7 daga. Í núverandi vegi skal taka sýni úr veginum á 500-700 metra bili en annars í námu. Eftir íblöndun bindiefnis og jöfnunar með hefli skal taka eitt sýni úr hvorri akrein. Þegar sementi er blandað við burðarlagefni skal steypa kjarna úr sýninu og kanna þrýstibrotþol sýnisins eftir 7 daga hörðun (Vegagerðin, 2017).

Vatns, og sementsinnihaldið er skilgreint sem:

$$\text{Vatnsinnihald, } w(\%) = \frac{\text{þyngd vatns í blöndunni}}{\text{þyngd ofnþurrkaðs sementsblandaðs steinefnis}} \times 100$$

$$\text{Sementsinnihald, } c(\%) = \frac{\text{þyngd sements í blöndunni}}{\text{þyngd ofnþurrkaðs fylli-/steinefnis}} \times 100$$

Eftirfarandi kröfur eru gerðar til sementsbundna burðarlaga (Vegagerðin, 2017; Statens vegvesen, 2014). Í nýrri útgáfu N200 frá árinu 2018 er ekki fjallað um sementsfest burðarlög, en það er aðallega vegna þessa að sementsbinding hefur lítið verið notuð í Noregi en þeir leitast við að halda í sveigjanlegar vegbyggingar:

- Vatns/sements- tala efnisins skal vera $0,8-1,0 \pm 0,2\%$
- 7 daga brotstyrkur sýna $5 \pm 0,8$ MPa (síváningar 150 mm í þvermál og 150 mm að hæð)
- Í Noregi er gerð krafa um 28 daga styrkur úr útlögðu efni sé $7 \pm 1,1$ MPa. Í útboðsgögnum Vegagerðarinnar er miðað við lágmarks styrk 7 MPa eftir 28 daga. Í N200 (Statens vegvesen, 2014) kemur fram að ef styrkur efnisins fer yfir 7 MPa skal hafa steypuskil.
- Þjöppun skal samsvara mældri rúmþyngd með geislamæli sé 97 % af mældri rúmþyngd kjarna sem þjappaðir eru með Kango-hamri á rannsóknarstofu. Miðað er við að þjöppun sé lokið á innan við 4 klst ef hiti er á bilinu $5-10^\circ\text{C}$ en 3 klst ef hann er meiri en 10°C .
- Sementsmagn sem notað er við fræsingu og festun skal ekki hafa meira frávik en $\pm 1 \text{ kg/m}^2$.

Í Finnlandi er miðað við að 7 daga styrkur sementsfests burðarlags sé á milli 3-8 MPa, 28 daga styrkur á bilinu 5-13 MPa auk þess að efnið þarf að hafa ákveðna frostmótstöðu við frost-þíðu sveiflum.

Við hönnun vegbygginga með sementsfest burðarlag þarf að tryggja að burðarlagið sé nægjanlega þykkt og passlega sterkt, ásamt því að vera nokkuð vatnspétt. Þunnt og sterkt sementsfest burðarlag er stökkt og á það til að springa, vegna þessa er talið betra að hafa lagið heldur þykkara og minni styrk. Algengt er að hafa 150 mm þykkt sementsstyrkt burðarlag, en sú þykkt hefur reynst vel á flestum hefðbundnum vegum og umferðar léttum flugvöllum. En í N200 (Statens vegvesen, 2014) er gerð krafa um að lágmarksþykkt sé 200 mm, í Finnlandi (Tiehallinto, 2007) er lágmarksþykktin 120 mm en á Íslandi eru þær frá 150-200 mm þykkar en ekki er talið æskilegt að fara niður fyrir burðarlagið.

Nauðsynlegt er að kanna mögulegar hitaþennslur og sprungur í stífum burðarlögum. Það er m.a. gert með brotvöltun, þennsluraufum og með því að hafa styrk burðarlagsins ekki mikið meiri en 7MPa.

Í N200 (Statens vegvesen, 2014) er talað um að vatnsinnihaldið sé 1-2% fyrir neðan optimal Modified Proctor vatnsinnihald og að lágmarks sements innihald sé 4,5% af heildar magni þurrs steinefnis. Í Finnlandi (Tiehallinto,2007) er miðað við að sementsmagnið sé á milli 2,5 og 5% ef kornakúrfa efnisins sem skal binda sé innan vikmarka, hins vegar er lágmarks bindiefnisinnihaldið 4,5% ef fínefni er steinefnisins er meira en 5% og fer upp í 7%. Sementsmagn í framkvæmdum sem þegar hafa verið gerðar á Íslandi virðast vera nokkuð stöðugar eða um 24 kg/m^2 miðað við 200 mm þykka festun. Skv.

Halsted o.fl. (2006) skal varast að nota meira en 8% sement vegna mögulegrar skriðmyndunnar í efninu, en þar er miðað við 2,1-2,8 MPa 7 daga styrk þegar verið er að blanda efni í núverandi burðarlög þar sem meira er af grófara efni.

3.1.2 Framkvæmd sementsfestunnar

Hægt er að framkvæma sementsfestun með tvennum hætti, annars vegar að fræsa og dreifa bindiefni yfir burðarlagið á staðnum og hins vegar að keyra burðarlagsefnið í gegnum steypustöð blanda það sementi og leggja með malbikunarvél (Njörður Tryggvason, 1996). Þegar verið er að framkvæma sementsfestun er makmiðið að blanda vel saman burðarlagsefni við rétt magn af sementi og vatni og hámarka þjöppun. Áður en útlögn efnisins hefst skal tryggja að ekki séu veikir blettir í undirbyggingunni sem geta valdið broti upp í sementsfesta lagið. Tryggja verður að lífræn efni úr köntum blandist ekki við efni sem skal festa.

Framkvæmd sementsfestunar í núverandi vegi má skipta upp í 6 skref en sjöunda skrefið eru rannsóknir og prófanir (Einar Gíslason o.fl. 2013; Halsted o.fl., 2006). Þegar verið er að framkvæma sementsfestun í nýjum vegi, er einnig hægt að blanda sementi við efnið í stöð en að örðu leyti er útlögnin sambærileg, en einnig er hægt að leggja burðarlag úr stöð með útlagnarvél.

Þurrfræsing – núverandi vegur er þurrfræstur og steinefni bætt við ef þurfa þykir. Tryggja þarf að fræsa ekki niður í styrktarlagið ef í því eru stærri staksteinar. Það getur skemmt tennur í fræsanum og vandamál komið upp við jöfnun og þéttleika yfirborðsins. Einnig geta rákir og hreiður myndast ef massinn er of grófur. Þegar þurrfræsing er lokið er efninu jafnað með hefli og það valtað eina umferð. Gæta skal að því að þurrfræsingin sé 30 mm grynri heldur en endanleg festunarþykkt. Yfirleitt er ekki mælt með því að aukavatn sé í fylliefninu en þegar um grófari burðarlagsefni er að ræða kemur smá aukavatn ekki að sök. Ef stál- eða plastnet er í veginum verður að fjarlægja það áður en fræsun hefst.

Blöndun – sementi er dreyft jafnt yfir veginn og strax í kjölfarið er efninu blandað saman með fræsun og það vökvað (mynd 2). Nauðsynlegt er að hafa nægilegan raka til þess að sementið hvarfist. Ef ferlinu er hraðað með því að bleyta í fylliefninu áður en sementi er dreift þarf að tryggja að vatnið sé dregið frá við síðari blöndun. Það er talið gefa betri festun á milli steinefnis og sements og lágmarka uppgufun vatns eftir blöndun. Til að kanna góða blöndun efnis má grafa profuholur í burðarlagið og kanna dreifingu sements og vatns.



MYND 2 Blöndun sements við steinefnið.

Heflun – um leið og blöndun er lokið skal efnið jafnað í rétta hæð með veghefli, og það tryggt að yfirborðið sé slétt í þver- og langátt (mynd 3). Þegar burðarlög eru fest í felti skal taka sýni af efninu til að meta hversu vel blöndun bindiefnis við steinefnið er sem og magn bindiefnis. Taka skal eitt sýni úr hvorri akrein og steypa kjarna úr sýninu og kanna þrýstibrotpól þess eftir 7 daga (Vegagerðin, 2017).

Völtun – hefja skal völtun með stáltromluvaltara um leið og hefillinn hefur rifið upp efnið. Mikilvægt er að þjöppun náist áður en efnið fer að harðna. Tryggja verður rétt rakastig þannig að sem best þjöppun náist. Eftir þjöppun á lokaafurðin að vera þétt, laus við sprungur, hryggi og laust efni. Tryggja verður rétt rakastig þannig að sem best þjöppun náist.

Brotvöltun – sementsfesta burðarlagið mun skriða á meðan það er að harðna. Vegna þessa eru framkvæmd brotvöltun um það bil 24-48 klst eftir íblöndun steinefnis og sements, með a.m.k. 10 tonna þungum vibravalta. Einnig er hægt að hafa millilag til að taka upp þessar spennur. Einnig er hægt að saga þverrákir eða samskeyti í sementsfesta burðarlagið, en það hefur ekki verið gert víða hérlandis. Vel hannaðar vegbyggingar og þar sem vel er staðið að framkvæmdinni, ættu skrið sprungur ekki að hafa áhrif á frammistöðu vegarins. Stórar sprungur í burðarlagi geta leytað upp á yfirborðið og orðið til ama ef ekki er brugðist rétt við.

Yfirborðsfrágangur – halda skal yfirborðinu röku í a.m.k. 7 daga eða loka því með yfirlögn slitlags. Áður en slitlag er lagt á veginn þá verður að gera við yfirborðsskemmdir með sementsblönduðum sandi. Nauðsynlegt getur reynst að vökva burðarlagið í allt að 7 daga eftir útlögn eða halda raka að burðarlaginu með öðrum aðferðum t.d. biklagi.



MYND 3 Heflun efnisins um leið og blöndun þess er lokið

Í N200 (Statens vegvesen, 2014) er mælt með því að nota polymermodifisert bitumenemulusion PmBE, en einnig er hægt að setja klæðingu (Eo) með bindiefninu PmBE. Þegar yfirborðið er límt er mikilvægt að yfirborðið sé þurrt, en má þó hafa jarðraka (jord-fuktig).

Leggja skal slitlag á sementsfest burðarlag um leið og það telst hagkvæmt, en hægt er að leggja slitlagið um leið og burðarlagið er orðið stöðugt (4-48 tímar eftir útlögn) en dæmi er um að beðið sé í einhverjar vikur. Hleypa má umferð á burðarlagið á sama tíma en ef mikil þungaumferð er um veginn er mælt til þess að bíða í 7 daga. Gæta skal vel að límingu, eða annarri yfirborðsmeðhöndlun, milli sementsbundna burðarlagsins og malbiks, slétt yfirborð sementsbindingarinnar getur valdið lélegri viðlöðun. Áður en slitlag er lagt skal sópa laust efni af yfirborðinu og tryggja viðlöðun.

Til þess að sannreyna að sementsfestunin hafi tekist eins og til var ætlast skal kanna 28 daga brotstyrk efnisins. Það er gert með sýnatöku, en kjarna skal taka úr veginum með 500 m millibili og skulu

kjarnarnir vera teknir jafnt á báðum akreinum. Sýnatökunni skal vera lokið 42 dögum eftir festun og sýni brotin við fyrsta tækifæri á viðurkenndri rannsóknarstofu. Þar eru sýnin brotin og leiðrétt miðað við 28 daga brotstyrk, en 28 daga brotstyrkur efnisins skal vera 7 MPa.

3.2 Bikfestun

Frá árinu 1991 hefur Vegagerðin þróað aðferðir til þess að styrkja burðarlög með íblöndun biks. Mismunandi aðferðir hafa verið prófaðar (Þórir Ingason o.fl. 2000; Þórir Ingason, 2004):

- Fræst upp úr gömlum vegi og blandað með biki á staðnum.
- Bik verið blandað við steinefni úr námum í blöndunarstöðum og efnið svo lagt með malbiksvél.
- Biki blandað í efnið um leið og það er lagt út (þarfnast „midland-mix paver“).
- Bik látið smjúga niður í púkk (biksmygið púkk).

Til eru margar gerðir af bikbundnu burðarlagi í Norsku handbókinni N200 (Statens vegsesen, 2018), en þar má einnig finna lýsingu á mismunandi eiginleikum þeirra.

Á Íslandi hafa froðubik og bikþeyta verið notuð og grunnbik með mismunandi stífleika prófað. Þórir Ingason o.fl. (2000) skoðuðu valda kafla sem höfðu verið festir með biki, og síðan var gert rannsóknarverkefni með bikþeytur og froðubik á Ólafsfjarðarvegi (Þórir Ingason, 2004).

Nokkur munur er á bikþeytum og froðubiki (Ingvi Árnason, 2017):

- **Froðubik** – Blöndun byggir á háaum hita biks um 180°C
 - Vatni/lofti er blandið við bikið undir þrýstingi, þegar bikinu er sprautað út freyðir það og margfaldar rúmmál sitt.
 - Þegar bikinu er sprautað er það þunnt með góða viðloðun við fínkorna efni, en grófari hluti efnisins tekur minna til sín af biki.
 - Efnið er laust við vatnsdrægni, meðfærilegt í vinnslu og yfirborðsáferð jafnan góð.
- **Bikþeyta** – bikið er „kalt“ eða um 60-70°C.
 - Auðvelt í blöndun og jöfn dreifing biksins um steinefnið.
 - Efnið er auðvelt í meðhöndlun fyrst eftir blöndun en verður óþjálla með tímanum.
 - Ef rignir ofan í bikþeytumöl á framkvæmdatíma, þarf að loka svæðinu fyrir umferð eða hylja yfirborðið með möl þ.a. bílar verði ekki þaktir biki.

Þegar verið er að skoða bikfest burðarlög er vert að hafa eftirfarandi í huga:

- Aðferðin er talin mjög heppileg þar sem frostlyftingar og/eða óstöðugt burðarlag er til staðar, en lög vegarins uppfylla lágmarks þykktir. Ástæðan er að bikbindingin eykur almennt gæði efnisins og burð vegbyggingarinnar í einhverjum mæli. Ef burðarlagið er óstöðugt gæti þurft að bæta við efni til þess að jafna kornadreifinguna.
- Aðferðin breytir ekki breidd vegarins.
- Helstu áhættur aðferðarinnar eru skortur á grunnupplýsingum og stórir steinar í burðarlaginu, en þeir hafa latt notkun aðferðarinnar.
- Styrktaraukning efnisins tekur tíma, niðurbeygjumælingar sem teknar eru fljótlega eftir bikbindingu munu að öllum líkindum sýna minni styrk heldur en fyrir styrkingu. Hins vegar eykst styrkurinn með tíma, og álagsdreifingarstuðulinn eykst upp í 1,75. Hægt er að auka styrkinn og þar með álagsdreifingarstuðulinn í hönnunarferlinu. Styrkur er talin nást fyrr með bikþeytu, sérstaklega ef lagt er seint að sumri eða hausti.

- Bikþeyta hentar fyrir fínefnasnauðara efni heldur en froðubik. Talið er að froðubik þurfi ákveðið magn fínefnis til að tryggja dreifingu bindiefnisins.
- Froðubik virðist vera minna næmt fyrir árstíðasveiflum, jafnvel allt að 5 árum eftir útlögn.
- Mikilvægt er að kanna rakastig efnisins þegar bikþeyta er notuð, ef það er of hátt getur aukavatnið valdið því að efnið verði óstöðugt og ef það er of lítið þá vill bikþeytan „brotna“ of fljótt (Vegagerðin, 2017).
- Ef vegur er fræstur upp og festur ætti lágmarks festunarþykkt að vera 10 cm.
- Þegar tilraunir voru gerðar á Íslandi var (Þórir Ingason, 2004):
 - ekki hægt að greina afgerandi mun á milli bikþeytu og froðubiks, en mismun var hægt að finna milli mismunandi landsvæða þar sem mismunandi steinefnagerð er ríkjandi.
 - Ekki greindur sjónrænn munur á mjúku eða stífu grunnbiki, en ef burðarlagsefni er blandað í námu og síðan lagt út var mjúka grunnbikið talið betra þar sem geyma þarf efnið eftir blöndun áður en það er lagt.
- Í sumum tilfellum getur verið ráðlagt að leggja mjúkt malbik eða klæðingu fyrst á bikbundna burðarlagið og jafna hæðina seinna með nýju yfirlagi.
- Við lagningu biksmygins þúkks með malbiksvél reyndist erfitt að fá góð lang- og þversamskeyti og efnið þoldi enga umferð áður en biki var sprautað yfir það. Ekki var hægt að rétta efnið af með hefli þ.a. útlögn malbiksvélarinnar varð að heppnast.
- Bikfestun er viðkvæm fyrir rigningu við útlögn.
- Þar sem bikbundin mól getur verið lengi að taka sig er ekki mælt með að leggja efnið seint að hausti. Bikbundin mól er viðkvæm fyrst eftir að það er lagt sérstaklega fyrir mikilli umferð og úrkomu.

3.2.1 Hönnun bikfests burðarlags

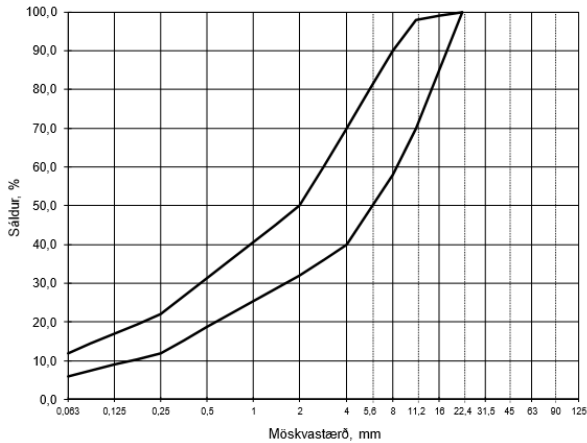
Á mynd 4 eru sýndar leiðbeinandi markalínur fyrir bikbundin burðarlög blönduð í námu, en aðrar steinastærðir má finna í leiðbeiningarriti Vegagerðarinnar (Vegagerðin, 2017). Markalínurnar eru leiðbeinandi þar sem víkja má frá mörkum, ef blandan stenst kröfur um kleyfnibrotþol. Aðrar kröfur sem gerðar eru til steinefnisins eru eins og fyrir óbundin burðarlög. Miða skal miða við að kleyfnibrotþol bikbundinna efna sé meira en 100 kPa, sem samsvarar álagsdreifingarstuðli $a = 1,75$. Hægt er að reikna álagsdreifingarstuðulinn út frá líkingunni:

$$a = 0,38 \cdot \sqrt[3]{p}$$

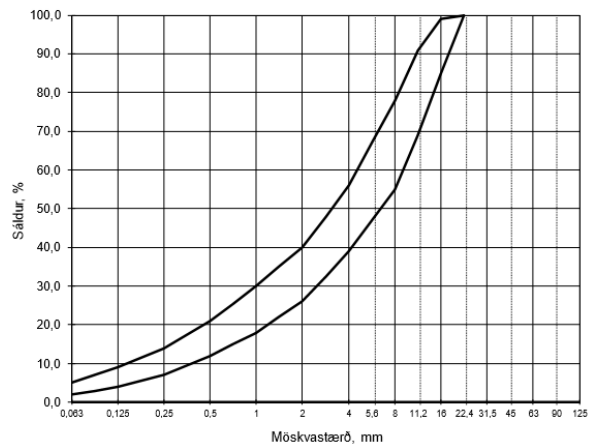
þar sem p er kleyfnibrotþolið við 25°C. En þetta er reynslujafna frá Noregi.

Magn bindiefnis fer eftir tilgangi bindingarinnar, þannig er gerður greinamunur á auðgun og festun. Auðgun er notuð til þess að binda fínefni og minnka frost- og vatnsnæmni efnisins, en þá er magn bindiefnis er þá í kringum 1,5% af massa efnisins í Noregi. En við festun verður bindiefnið að vera a.m.k. 3,0% og eru bindiefnisleyfar sem eru fræstar upp ekki meðtaldar. Magn bindiefnis er ákvarðað með því að gera prófblokkir og mæla óbeinan togstyrk (indirect tensile strength) eða burðargildi (E-gildi) með þríasaprófi, þessar niðurstöður er svo notaðar til þess að meta álagsdreifingarstuðull efnisins sem skal vera a.m.k. 1,5. Bindiefnisinnihaldið er aðallega háð fínefnainnihaldinu en efnið verður að uppfylla kröfur sem gerðar eru til álagsdreifingarstuðulsins, stöðugleika og frostmótstöðu (Statens vegsesen, 2018).

Froðubik Stærðarflokkur 0/16
Kröfuflokkur: OC₈₅ LF₆ UF₁₂



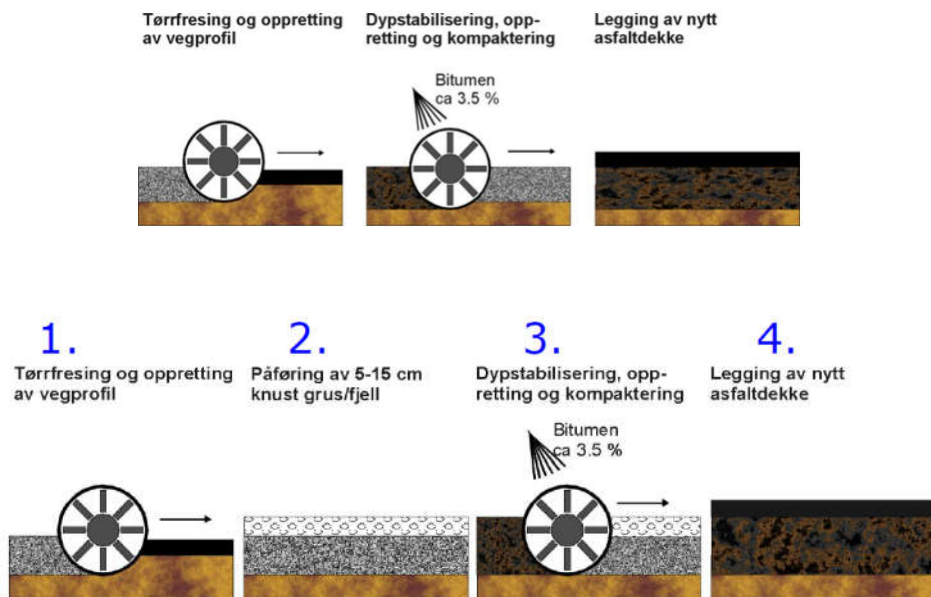
Bikþeyta Stærðarflokkur 0/16
Kröfuflokkur: OC₈₅ LF₂ UF₅



MYND 4 Markalínur steinefnis (leiðbeinandi) fyrir froðumalbik og bikþeytu blandað í námu (Vegagerðin,2017).

3.2.2 Framkvæmd bikfestunnar

Framkvæmd bikfestunnar svipar mjög til festunar með sementi (mynd 5). Fyrst er efnið fræst, síðan blandað bindiefnum og vegurinn síðan jafnaður með veghefli og valtaður. Passa þarf að fræsa ekki niður í styrktarlagið ef í því eru stærri staksteinar, þar sem það getur skemmt tennur í fræsarannum, erfitt orðið að jafna og þetta yfirborðið og rákir og hreiður geta myndast ef massinn er of grófur. Hægt er að nota georadar til að meta magn stórra steina í veginum sem og þykkt malbiks. Ef stál- eða plastnet er í veginum verður að fjarlægja það áður en fræsun hefst. Tryggja verður að lífræn efni úr köntum blandist ekki við efni sem skal festa. Aðferðafræðin á Íslandi svipar til norsku aðferðarinnar sem er sýnd á mynd 5.



MYND 5 Framkvæmd bikfestunnar í Noregi (Refsdal, 2007)

Mælst er til að við festun á gömlum vegi að ef þykkt malbiksins er meiri en 5-6 cm, skal fræsa malbikið af fyrst en skilja u.þ.b. 2 cm eftir. Þegar efnið er þurrfræst er skal dýpt fræsingar vera um 5 cm dýpri heldur en áætluð styrking. Síðan er efnið fest með froðubiki (skumbitumen) eða bikþeytu (emulsjon). Mælst er til að rakastig steinefnisins sé á milli W_{opt} og $W_{opt} - 0,5$ x bindiefnisinnihaldið þegar efnið er lagt. Mælst er til að efnið sé þjappað um leið og það er lagt. Þegar verið er að styrkja/festa burðarlög, sérstaklega með froðubiki, er mælt með að nota gúmmíhjólavalta til þjöppunar, gjarnan ásamt hefðbundnum valta. Þyngd hjólsins skal vera að minnsta kosti 1 tonn. Binding og þróun bikbundinnar malar fer eftir stífleika, umferð og loftslagi. Slitlag skal lagt minnst 3 dögum og mest 8 dögum eftir styrkingu. Hámarkshraði skal vera 30 km/klst þangað til slitlag hefur verið lagt á styrkinguna. En að örðu leyti er framkvæmdin með sama sniði og lýst er fyrir sementsfest burðarlög utan þess að bikbundin burðarlög eru ekki brotvöltuð enda um sveigjanlega vegbyggingu að ræða.

Fylgst er með þjöppun bikbundins burðarlags með geilsamæli eða þjöppunarmælis í valta og er þjöppunin ásættanleg þegar breytingar á rúmþyngd milli umferða er orðin minni en 5%, eða þegar kröfum um rúmþyngd er náð. Blöndun er ekki nægilega góð ef munur á mesta og minnsta mælda bikinnihaldi er meiri en 1,2%. Rúmmál froðubiks skal 12 til 18 faldast, og má ekki helmingast fyrr en eftir að minnsta kosti 15 sek. Við fræsinguna og festun skal frávik í bikmagni ekki vera meira en $\pm 0,4\%$ fyrir hvern 18-20 tonna farm, og ekki meira en $\pm 0,2\%$ fyrir verkið í heild (Vegagerðin, 2017).

Þegar efnið er bikblandað í stöð og þegar fest er í felti, skal taka sýni til að mæla bikinnihald, blöndun bindiefnis við steinefni, þjappa kjarna og mæla kleyfnibrotþol þeirra, a.m.k. einu sinni í hverju verki. Í felti skal taka eitt sýni úr hvorri akrein eftir íblöndun bindiefnis og jöfnunar með hefli en áður en þjöppun fer fram (Vegagerðin, 2017).

Best er að framkvæma bikfestun fyrri hluta sumars. Aukavatn sem er í blöndunni fær þá tækifæri til þess að komast í burtu, annars er hætt á að of mikið vatn sé í efninu og sprungur myndist vegna frost/þíðu áraunar. Þetta aukavatn veldur því einnig að ekki er gott að leggja þétt slitlag fyrr heldur festunin hefur fengið að „anda“ í nokkra daga. Ef notuð er bikþeyta þarf að áætla lengri þurrktíma heldur en ef froðubik er notað vegna hins mikla vatnsinnihalds í bikþeytunni. Ef notað er froðubik er hægt að fræsa efnið aftur og láta „lofta“ um það til þerris. Styrkur efnisins eykst samhliða því að vatnið fari úr því og þannig líður oft langur tími þar til fullum styrk er náð. Ekki er ráðlagt að hleypha mikilli umferð á óvarið burðarlag einkum ef rignir (Vegagerðin, 2017; Þórir Ingason o.fl. 2000).

4 SAMANTEKT

Þegar litið er til tegundar festunnar þá verður að hafa í huga að sementsfestun gefur stífa vegbyggingu á meðan bikið gefur sveigjanlega. Þannig gefur sementið aukinn yfirborðsstyrk, minni niðurbeygju og minna álag á undirlagið borið saman við bikbindingu. Þar sem hætta er á frostlyftingum eða öðrum mismunahreyfingum í vegbyggingunni er mælt til að nota bik til festunar sem viðheldur sveigjanlegri hegðun og á þess vegna betra með að taka upp hreyfingar. Svo virðist sem bikfestun sé viðkvæmari fyrir úrkomu og hitastigi við útlögn borið saman við sementsfestunina.

Bikfestun er lengur að ná upp styrk heldur en sementsfestun, en stífni og niðurbeygjur festra burðarlaga virðast halda sér vel með tímanum.

Nauðsynlegt er að auka notkun staðbundinna efna og endurvinnslu núverandi efna. Það mun draga úr kostnaði við vegagerð, endurbætur og viðhald án þess að draga úr kröfum um frammistöðu. Styrkt efni hafa tilhneigingu til þess að endast lengur og draga þannig úr líkum á endurbyggingu vega. Þær aðferðir sem eru notaðar við styrkingu og endurvinnslu eru framkvæmdar á meiri hraða heldur en endurbygging að hluta eða öllu leyti. Auk þess virðast styrktar vegbyggingar vera betur í stakk búnar til þess að takast á við aukið álag bæði hvað varðar massa sem og fjölda ökutækja og gefa betri frammistöðu í blautum skilyrðum.

HEIMILDASKRÁ

- Einar Gíslason, Guðmundur Ingi Waage, Guðmundur Ragnarsson og Igvi Árnason (2013). Leiðbeiningar fyrir framkvæmd og eftirlit með sementsfestun. Vegagerðin, Reykjavík, Ísland.
- Halsted, G. G.; Luhr, D. R. & Adaska, W. S. (2006). Guide to Cement-Reated Base (CTB). PCA, Portland Cement Association, Bandaríkjunum.
- Helga Þórunn Gunnlaugsdóttir (2008). Burður vega á þáátíma. Háskóli Íslands, Reykjavík, Ísland.
- Ingvi Árnason (2017). Samtöl og tölvupóstur höfunda við Ingva Árnason um reynslu festanna.
- Ingvi Árnason, Guðmundur Ingi Waage, Sigursteinn Hjartarson (2012). Kjarnar úr festum vegum. Vegagerðin og SHj. ehf., Íslandi.
- Karsten Iversen & Þórir Ingason (1995). Sementsfestun burðarlaga – framkvæmdatilraunir á Nesvegi við Hafnir. BUSL – Burðarlaganefnd, skýrsla B-4. BUSL, Íslandi.
- Kristján Ingi Arnarsson (2011). Sementsfestun burðarlaga. Lokaverkefni í byggingartæknifræði BSc., Háskólinn í Reykjavík, Íslandi.
- Njörður Tryggvason (1996a). Sementsfestun burðarlaga – Vegstyrking með sementsfestu – stutt grainaferð – áfangaskýrsla. BUSL – Burðarlaganefnd, skýrsla B-5. BUSL, Íslandi.
- Njörður Tryggvason (1996b). Sementsfestun í Langadal, Ágúst 1996, Framkvæmdaskýrsla. Íslenskir Aðalverktakar hf & Sementsverksmiðjan hf, Íslandi.
- Refsdal, Geir (2007). Forsterkning av veg. Kynning flutt 24.april 2007. Statens vegvesen, Noregi.
- RSTA & ADEPT (2012). Code of Practice for In-situ Structural Road Recycling. RSTA (Road Surface Treatments Association) & ADEPT (Association of Directors of Environment, Economy, Planning and Transport), Bretlandi.
- Statens Vegvesen (2015). Forsterkninger av veger, varige veger 2011-2014, Statens Vegvesens Rapporter nr. 373. Statens Vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2018, 2014). Håndbok N200 – Vegbygging, normaler. Statens vegvesen, Noregi.
- Tiehallinto (2007). Päälysrakenteen stabilointi. Tiehallinto, Finnlandi.
- Trafikverket (2012). Förstärkningsåtgärder. Trafikverket, Svíþjóð. ISBN: 978-91-7467-288-6.
- Valgeir Valgeirsson; Sigursteinn Hjartarson, Theodór Guðfinnsson; Ásbjörn Jóhannesson (2003). Viðhaldsaðferðir, BUSL – Slitlaganefnd. Vegagerðin, Reykjavík, Ísland.
- Vegagerðin (2017). Efnisrannsóknir og efniskröfur, Leiðbeiningar við hönnun, framleiðslu og framkvæmd. Vegagerðin, Reykjavík, Ísland.
- Vegagerðin (2013). Burðarþolshönnun, leiðbeiningar. Vegagerðin, Reykjavík, Ísland.
- Þorbjörg Sævarsdóttir, Jón Magnússon og Bergþóra Kristinsdóttir (2018). Styrkingarmöguleikar burðarlags í vegum, Áfangaskýrsla fyrir árið 2017. Efla hf. Reykjavík, Ísland.
- Þórir Ingason (2004). Bikþeyta til festunar – Áfangaskýrsla 1, Skýrsla nr.04-05. Rannsóknarstofa byggingariðnaðarins. Reykjavík, Ísland.
- Þórir Ingason (1993). Festun burðarlaga. Rannsóknarstofnun byggingariðnaðarins, Íslandi.
- Þórir Ingason, Haraldur Sigursteinsson & Guðrún Dröfn Gunnarsdóttir (2000). Bikfestun burðarlaga – reynsla af tilraunum, lokskýrsla. BUSL – Burðarlaganefnd, skýrsla B-23. BUSL, Íslandi.