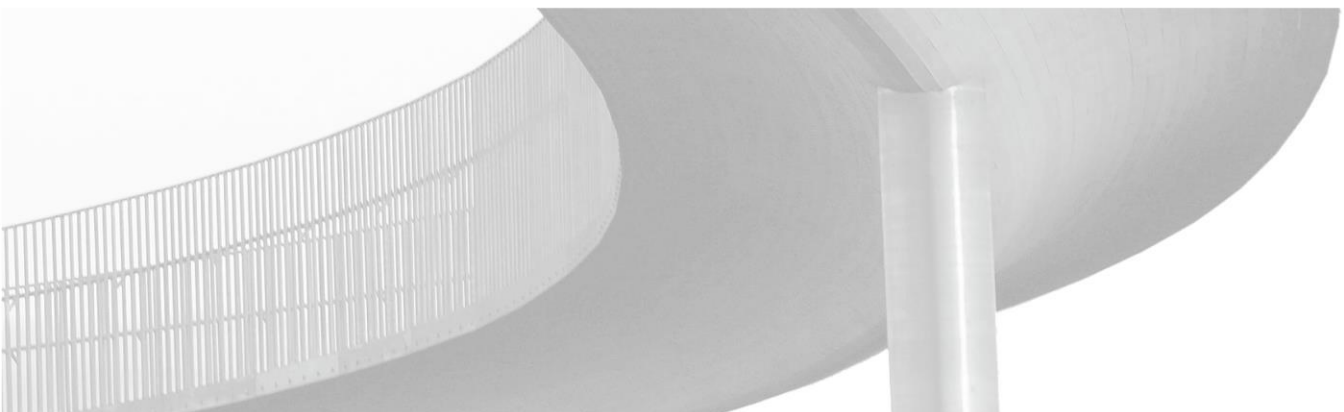




STYRKINGARMÖGULEIKAR BURÐARLAGS Í VEGUM

Áfangaskýrsla fyrir árið 2017

31.03.2018



SKÝRSLA – UPPLÝSINGABLAÐ

SKJALALYKILL

2970-205-SKY-001-V03

SKÝRSLUNÚMÉR / SÍÐUFJÖLDI

VERKEFNISSTJÓRI – FULLTRÚI VERKKAUPA

Jón Magnússon

VERKEFNISSTJÓRI – EFLA

Þorbjörg Sævarsdóttir

LYKILORÐ

TITILL SKÝRSLU

Styrkingarmöguleikar burðarlags í vegum

VERKHEITI

Styrkingarmöguleikar burðarlags í vegum

VERKKAUPI

Vegagerðin, EFLA

HÖFUNDUR

Þorbjörg Sævarsdóttir (EFLA), Jón Magnússon (Vegagerðin) & Bergþóra Kristinsdóttir (EFLA)

ÚTDRÁTTUR

STAÐA SKÝRSLU

- Í vinnslu
- Drög til yfirlstrar
- Lokið

DREIFING

- Opin
- Dreifing með leyfi verkkaupa
- Trúnaðarmál

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.

HÖFUNDAR	DAGS.	RÝNT	DAGS.	SAMPYKKT	DAGS.
Þorbjörg Sævarsdóttir, Jón Magnússon & Bergþóra Kristinsdóttir	31.03.16	Höfundar	31.03.16	ÁFANGASKÝRSLA 2015	31.03.16
Þorbjörg Sævarsdóttir, Jón Magnússon & Bergþóra Kristinsdóttir	01.02.17	Höfundar	01.02.17	ÁFANGASKÝRSLA 2016 DRÖG	01.02.17
Þorbjörg Sævarsdóttir, Jón Magnússon & Bergþóra Kristinsdóttir	23.06.17	Þorbjörg Sævarsdóttir	23.06.17	Þorbjörg Sævarsdóttir	23.06.17
Þorbjörg Sævarsdóttir, Jón Magnússon & Bergþóra Kristinsdóttir	10.01.18	Þorbjörg Sævarsdóttir	10.01.18	Þorbjörg Sævarsdóttir	10.01.18
Þorbjörg Sævarsdóttir, Jón Magnússon & Bergþóra Kristinsdóttir	31.03.18	Þorbjörg Sævarsdóttir	31.03.18	Þorbjörg Sævarsdóttir	31.03.18

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	9
2	STYRKINGAR OG ENDURBÆTUR	10
2.1	Noregur	11
2.1.1	Val styrkingaraðferða	14
2.1.2	Bikbundið burðarlag	15
2.1.3	Sementsbundið burðarlag	18
2.2	Bretland	19
2.3	Nýja Sjáland	22
2.4	Portland sement	23
2.4.1	Eiginleikar sementsbundins burðarlags (CTB)	23
2.4.2	Hönnun sementsbundins burðarlags	24
2.4.3	Framkvæmd sementsbundins burðarlags	26
3	FESTUN Á ÍSLANDI	28
3.1	Sementsfestun	29
3.1.1	Framkvæmd sementsfestunnar	31
3.2	Bikfestun	32
3.2.1	Framkvæmd bikfestunnar	34
4	ATHUGUNARSTAÐIR	36
4.1	Sementsfestun	36
4.1.1	Norðurland vegir 1-k6, 1-k7 og 1-p3/4, sumarið 2010	36
4.1.2	Borgarfjörður, sumarið 2015	38
4.1.3	Barðastrandavegur (62-05), haustið 2016	42
4.1.4	Reykjadalur og Vatnsskarð, haustið 2017	44
4.2	Bikfestun	46
4.2.1	Ólafsfjarðarvegur, haustið 2001	46
4.2.2	Biskupstungnabraut, sumarið 2006	51
4.3	Óbundinn endurbæting burðarlags	53
4.3.1	Skálholtsvegur, sumarið 2015	53
4.4	Blandaðar vegbyggingar	55
4.4.1	Norðurland við Hörgárdal, vegur 1-p4	55
4.4.2	Langidalur, vegur 1-m2	56
4.5	Samantekt	58
5	FALLÓÐSMÆLINGAR	60
5.1	Sementsfestir vegir (sementsbundið burðarlag)	62
5.2	Bikbundnir vegir (bikfest burðarlag)	66
5.3	Vegir sem er keyrt í án frekari styrkingar eða endurbyggðir að hluta	69
5.4	Samantekt	71
6	LOKAORÐ	72
	HEIMILDASKRÁ	74

MYNDASKRÁ

MYND 1	Skematísk mynd af ákvarðanarferli og hönnun styrkingar í vegi (Statens Vegsesen, 2015).	14
MYND 2	Flæðirit af svæðismati eða könnun á staðháttum þegar vegur þarfnast endurbóta.	20
MYND 3	Flæðirit sem hjálpar til við ákvörðun á bindiefni.	21
MYND 4	Samanburður á niðurbeygjum og hjólfaramyndun í vegi með óbundið og sementsbundið burðarlag (Halsted o.fl., 2006)	24
MYND 5	Spennudreifing óbundins og bundins burðarlags (Halsted o.fl., 2006).	24
MYND 6	Kornadreifing fyrir lágmarks sements innihald (Halsted o.fl., 2006).	25
MYND 7	Marklínur fyrir sementsfest burðarlög (Vegagerðin, 2017).	30
MYND 8	Purrfræsing er fyrsta skref sementsfestunnar	31
MYND 9	Blöndun sements við steinefnið.	31
MYND 10	Heflun efnisins um leið og blöndun þess er lokið	32
MYND 11	Markalínur steinefnis (leiðbeinandi) fyrir froðumalbik og bikþeytu blandað í námu (Vegagerðin,2017).	34
MYND 12	Framkvæmd bikfestunnar í Noregi (Refsdal, 2007)	35
MYND 13	Mæld niðurbeygja með falllóði fyrir og eftir sementsbindingu sumarið 2010. D0 er beint undir álaginu og D5, 90 cm frá falllóðinu.	37
MYND 14	Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir og eftir sementsbindingu sumarið 2010.	38
MYND 15	Sementsfestun burðarlags í Borgarfirði	39
MYND 16	Viðmiðunarkornakúrfa Vegagerðarinnar ásamt kornakúrfum við Gljúfurá (rauð) og Munaðarnesland (græn).	39
MYND 17	Kjarnar úr sementsfestun í Borgarfirði	41
MYND 18	Mæld niðurbeygja falllóðsmælinga fyrir og eftir sementsbindingu sumarið 2015. D0 er beint undir álaginu og D5, 90 cm frá falllóðinu.	41
MYND 19	Sementsfestun við Patreksfjörð sumarið/haustið 2016	42
MYND 20	Kjarnar úr sementsfestun á Barðastrandarvegi	43
MYND 21	Mæld niðurbeygja falllóðsmælinga fyrir og eftir sementsbindingu haustið 2016. D0 er beint undir álaginu og D5, 90 cm frá falllóðinu.	43
MYND 22	Kornakúrfur úr tveimur sýnum teknum úr burðarlagi í Reykjadal, rauð lína er í st. 640 og græn lína í st. 1520.	44
MYND 23	Kornakúrfur úr tveimur sýnum teknum úr burðarlagi í Vatnsskarði, rauð lína er í st. 5880 og græn lína í st. 6160.	45
MYND 24	Mældar niðurbeygjur úr falllóðsmælingum í Reykjadal (1-q8) og í Vatnsskarði (1-m4). Sementsfest var í september 2017 og þess vegna liggja falllóðsmælingar eftir festun ekki fyrir.	46
MYND 25	Tilranakaflar, staðsetning, gerð og frávik, númer sýna af bikblöndu og kornastærðardreifing sýna eftir fræsun og blöndun með biki sem og markalínur fyrir efra burðarlag og efri markalínur fyrir froðumalbik og þeytumalbik (þma), skv. ALVERK 95 (Þórir Ingason, 2004).	46
MYND 26	Mældar niðurbeygjur úr falllóðsmælingum á Ólafsfjarðarvegi. Bikfest var í september 2001.	50
MYND 27	Niðurstöður falllóðsmælinga árána 1996 og 1998 áður en burðarlagið var bikbundið og ásamt mælinga eftir bikbindingu.	50
MYND 28	Við kjarnatöku á Biskupstungnabraut og prófun kjarna á NMÍ úr Biskupstungnabraut.	51
MYND 29	Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir fyrri kafla (st. 48-1328) og seinni kafla (st. 3082-4336) á Biskupstungnabraut	52
MYND 30	Skálhotsvegur eftir að núverandi vegur var þurrfræstur.	53

MYND 31 Viðmiðunarkornakúrfa Vegagerðarinnar ásamt kornakúrfum Skálholtsveggar (rauð lína) og Merkurlautar (græn lína). _____	54
MYND 32 Niðurstöður falllóðsmælinga áráanna 2010 til 2017, en endurbætur á veginum fóru fram síðsumars 2015. _____	54
MYND 33 Mældar niðurbeygjur úr falllóðsmælingum á vegi 1-P4. Bikfest var í sumarið 2009 og sementsfest 2010. _____	55
MYND 34 Niðurstöður falllóðsmælinga áráanna 2003 til 2017 fyrir veg 1-P4 _____	56
MYND 35 Niðurstöður falllóðsmælinga áráanna 1996 til 2015 fyrir veg 1-M2. Fyrsti kross fyrir vegkafla er ár endurbóta/byggingar og krossarnir þar á eftir þegar nýtt klæðingarlag er lagt á kaflann. _____	58
MYND 36 Falllóðstæki Vegagerðarinnar (Helga Þórunn Gunnlaugsdóttir, 2008). _____	60
MYND 37 Einfölduð uppsetning falllóðs og nema, D_0 er niðurbeygjan undir álagsmiðjunni og D_i er mæld niðurbeygja í fjarlægð r_i frá miðju álagsins (Helga Þórunn Gunnlaugsdóttir, 2008). _____	61
MYND 38 Dæmi um bakreikning með ELMOD þar sem vegur væri bæði sements og bikbundinn. _____	62
MYND 39 Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir sementsbundin burðarlög. _____	65
MYND 40 Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir bikbundin burðarlög, á myndunum er BP – bikþeyta og FB - froðubik. _____	68
MYND 41 Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir óbundin burðarlög. _____	70

TÖFLUSKRÁ

TAFLA 1	Almennur líftími slitlags (ár) fyrir ólíkar gerðir slitlags og mismunadi ÁDU (Statens Vegsesen, 2014a).	12
TAFLA 2	Styrkingarþörf (F_{diff}) vegna óvenju lágs líftíma slitlags (Statens Vegsesen, 2014a).	13
TAFLA 3	Kröfur til burðarlagsgildis eftir styrkingu (Statens Vegsesen, 2014a).	13
TAFLA 4	Helstu styrkingaraðgerðir sem mælt er með í Noregi (Statens Vegsesen, 2015).	15
TAFLA 5	Bikbundin burðarlög í N200 (Statens vegsesen, 2014a).	16
TAFLA 6	Kornadreifing steinefnis til bikbundinnar malar.	16
TAFLA 7	Notkunarmöguleikar efna í burðarlög (Statens Vegsesen, 2014a).	18
TAFLA 8	Dæmigeðir eiginleikar sementsbundins burðarlags (CTB)	23
TAFLA 9	Dæmigert sementsmagn dreift á óbundið burðarlagsefni í felti (Helsted o.fl. 2006).	26
TAFLA 10	Sementsmagn í nokkrum sementsfestunnar framkvæmdum.	30
TAFLA 11	Vegkaflar sem voru sementsfestir sumarið 2010	36
TAFLA 12	Efnisstuðlar á efni undan fræsara í Borgarfirði	40
TAFLA 13	Brothlutfall efnisins sem var sementsstyrkt	40
TAFLA 14	Brotpól uppbyggðra kjarna	40
TAFLA 15	Brotpól kjarna sem teknir voru úr Borgarfjarðarbraut	40
TAFLA 16	Brotpól kjarna sem teknir voru úr Barðastrandavegi	43
TAFLA 17	Efnisstuðlar á efni undan fræsara í Vatnsskarði	45
TAFLA 18	Niðurstöður mælinga á sýnum teknum af bikblöndun eftir fræsun (Þórir Ingason, 2004).	47
TAFLA 19	Samantekt á kjarnatöku úr bikfestun á Ólafsfjarðarvegi.	48
TAFLA 20	Niðurstöður prófanna á kleyfnibrotþoli bikbundnu kjarnanna úr Ólafsfjarðarvegi.	49
TAFLA 21	Lýsing á bikfestunarkjörnum úr Biskupstungnabraut.	52
TAFLA 22	Niðurstöður prófanna á kleyfnibrotþoli bikbundnu kjarnanna úr Biskupstungnabraut.	52
TAFLA 23	Efniseiginleikar Skálholtsvegjar	53
TAFLA 24	Brothlutfall efnisins úr Skálholtsvegi og Merkurlaut	54
TAFLA 25	Veguppbyggingar á þjóðveginum 1-m2	57
TAFLA 26	Niðurstöður nýjustu mælinga og síðustu mælinga fyrir styrkingu, ásamt reiknuðum prósentumun mælinganna.	63
TAFLA 27	Niðurstöður nýjustu mælinga og síðustu mælinga fyrir styrkingu, ásamt reiknuðum prósentumun mælinganna fyrir bikbundin burðarlög.	66
TAFLA 28	Niðurstöður nýjustu mælinga og síðustu mælinga fyrir endurlögn, ásamt reiknuðum prósentumun mælinganna.	69

1 INNGANGUR

Ljóst er að á næstu árum verður nauðsynlegt að ráðast í meira mæli í styrkingu vegakerfisins þar sem endurnýjun þess og viðhald er langt undir þörfum. 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. Þegar kemur að burðarþolsstyrkingum vega eru margar leiðir færar (Valgeir Valgeirsson o.fl. 2003), en miklu máli skiptir að velja réttu aðferðina þannig að verkefnin verði sem hagkvæmust.

Í þessu verkefni var valið að skoða tvær algengar aðferðir til styrkinga, bikbundið burðarlag og sementsbundið burðarlag, en til samanburðar voru skoðaðir kaflar sem voru þurrfræstir og keyrt í veginn eða vegurinn að hluta endurbyggður með óbundnum burðarlögum. Reynt var að meta hversu mikið styrkur veganna jókst með hjálp falllóðsmælinga og niðurstöður þeirra bornar saman við niðurstöður annarra mælinga svo sem styrk kjarna.

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. Litið er til innlendrar reynslu af styrkingum vega, en burðarlög vega hafa verið styrkt um áratuga skeið. Margar nágretta þjóðir okkar hafa gefið út leiðbeiningarit um styrkingar og endurbætur á núverandi vegum, sem vert er að líta til. Þar er tekið 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. Ekki er mælt með festun þar sem hreyfingar eru miklar í vegbyggingunni, til dæmis við frostlyftingar.

Áfram verður unnið að verkefninu árið 2018. En stefnt er að því að fylgjast áfram með þróun í endingu styrkinga, hagkvæmnisreikningar skoðaðir og hafist handa við að gera stutt leiðbeiningarit um val á festunaraðferðum og hvenær festun er álitlegur kostur við endurbætur vega. Í leiðbeiningarritinu verður leitast við að meta áhrif festunnar burðarlaga, auðvelda hönnuðum að meta kosti og galla hvernar aðferðar fyrir sig fyrir mismunandi aðstæður og meta hagkvæmni þeirra.

2 STYRKINGAR OG ENDURBÆTUR

Vegna þess hversu erfitt er að kanna jarðefni, steinefni og vegargerðarefni almennt og ólíka eiginleika þeirra við mismunandi skilyrði er oft erfitt að taka vel upplýstar ákvarðanir um styrkingar. Til að auðvelda upplýsta ákvörðunartöku þarf mikið magn upplýsinga svo sem um legu, uppbyggingu, undirlag, umferð og brotmyndir vegarins. Þegar gögnin eru yfirfarin og metin fást oft á tíðum mörg mismunandi svör, nokkrar ástæður eru fyrir því en helst ber að nefna að það eru margir samhangandi þættir sem valda niðurbroti vega og oft eru greiningaraðferðir fyrir ástand og þróun niðurbrots vegbygginga ekki til eða þær ekki kvarðaðar miðað við staðhætti. Þróunin er þó í rétta átt, reglulegt eftirlit er með ástandi vega og greiningaraðferðir fara batnandi. Mælingar á hjólförum, hrýfi, þversniði, styrk og myndvinnsla hafa aukist og batnað á síðustu árum, og þessar greiningaraðferðir komið saman í viðhaldsstjórnunarkerfi vega (RMMS – Road Maintenance Management System). 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 en ekki eftir könnun aðstæðna og mati á bestu aðferðafræðinni (Statens vegvesen, 2015).

Margar þjóðir hafa sett fram rit og leiðbeiningar um val og aðferðafræði við mat og hönnun á styrkingum og endurbótum vega (Statens vegvesen, 2015; Trafikverket, 2012; Aho o.fl., 2005; Transit, 2008; RSTA & ADEPT, 2012; Howard o.fl., 2013). Ástæður skemmda í vegum eru oft vegna nokkurra samhangandi þátta, mistaka og galla þarf stundum samsettar aðgerðir við styrkingar og endurbætur vega. Þannig stoðar lítið að styrkja burðarlagið ef skemmdir í slitlagi stafa af frostlyftingum þar sem veikleiki vegbyggingarinnar liggur væntanlega neðar í vegbyggingunni. Að sama skapi hjálpar lítið að styrkja burðarlagið ef hjólför í malbiki eru vegna nagladekkja, mistaka í útlögn eða efnisvali malbiks. Finna verður rót vandans áður en ráðist er í að laga vandann. Oftast er fjárhagsáætlun til styrkinga og endurbóta mun lægri heldur en þörfin og því mikilvægt að taka vel upplýstar ákvarðanir þannig að fjármunirnir nýtist sem best.

Festun 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. Þannig virðast Norðmenn mest nota bik til festunnar á meðan Finnar kjósa sement. En oft virðist sem bæði efnin séu notuð en annað efnið þó algengara en hitt og er það þá verð bindiefnis sem stýrir valinu.

Bik og sement hafa ólíka eiginleika, en bik viðheldur sveigjanleika í vegbyggingunni á meðan sement gerir hana stífari. Þannig þarf að varast að miklar hreyfingar séu í vegbyggingu sem bundin er með sementi, ef búast má við sigi, frostlyftingum og öðrum mismunahreyfingum geta myndast sprungur á yfirborðinu sem erfitt er að laga. Hins vegar getur sementið hentað vel þar sem dreifa þarf álagi frá þungaumferð jafnar yfir undirlagið. Norðmenn virðast hafa lent í vandræðum með sement þar sem frostlyftingar hafa verið vandamál og þreytusprungur myndast á yfirborði slitlagsins. Í Finnlandi er sement mikið notað, en þar er gerð krafa um leyfða hámarks hreyfingu í vegbyggingunni þegar sement er notað. Bretar telja æskilegra að nota bik til að viðhalda sveigjanleikanum, en verð virðist þó ráða mestu um val bindiefnis (RSTA & ADEPT, 2012). Í Þýskalandi, Bandaríkjunum og Kanada er vel þekkt að sementsfesta og hefur verið gert um áratuga skeið við góða raun þar sem ending er löng og viðhald lítið (Halsted o.fl., 2006).

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.
- Oft má hleypa umferð fyrr á sementsstyrkt burðarlög borið saman við bikbundin burðarlög.
- Fyrir mjög fínefnaríkt steinefni hefur reynst vel að blanda það fyrst með sementi og festa svo með biki.
- Hægt er að festa efni með breiða kornadreifingu. Ef steinefni eru frostnæm eða með hátt fínefnainnihald er bindiefnismagn aukið.
- Sementsfestun er viðkvæm fyrir missigi í undirbyggingunni þess vegna þarf að tryggja jafnara og stöðugra undirlag undir sementsfestun borið saman við bikfestun.
- 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.
- Þekkt er að nota affals- og aukaafurðir sem falla til við iðnaðarframléiðslu í sementsfestanir.
- Oftast er nauðsynlegt að loka yfirborðinu fljótlega eftir festun.
- Erfitt er að endurgera sementsfestan veg þar sem ekki er hægt að þurrfræsa sementsfest burðarlag.

Með góðum forrannsóknum, 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.

2.1 Noregur

Styrking vega miðar að því að auka burðarþol vega, en undir styrkingar falla þó einnig aðrar óbeinar aðgerðir sem stuðla að bættum akstursskilyrðum s.s. jöfnun á frostlyftingum, styrking axla, bætt slitlagsskilyrði o.s.frv. Í Noregi er miðað við að styrkingar núverandi vega skuli kanna ef auka á leyfilegan öxulpunga og/eða ef auka þarf endingu slitlags. En þó getur einnig verið viðeigandi að styrkja veg samhliða öðrum aðgerðum s.s. þegar laga þarf þver- og/eða langsníð, þegar verið er að uppfæra úr malarslitlagi í bundið slitlag, þegar breikka þarf veginn eða styrkja axlir. Sömu kröfur eru gerðar til styrkinga og nýbygginga, á það m.a. við um afvötnun, aðgerðir gegn frostlyftingum, tenginga milli

breikkanna og núverandi vegar, styrktarlags, burðarlags, slitlags og framkvæmdar. Styrkingar eru yfirleitt hannaðar til 20 ára með 10 tonna öxulþunga (Statens Vegsesen, 2014a).

Norðmenn telja þörf á styrkingu þegar líftími slitlags er óeðlilega lár, m.v. ásættanlegan eða hefðbundinn líftíma slitlags fyrir gefna árdagssumferð (ÁDU) og/eða ef auka á leyfilegan öxulþunga. Hefðbundinn líftími slitlags, er sá líftími sem hægt er að búast við af vegi sem er rétt byggður og verður fyrir hefðbundnum umhverfis- og álagsskilyrðum (tafla 1). Staðbundnar aðstæður geta breytt líftíma slitlagsins sem og þykkt þess, steinastærð í malbiki, umferð sem leitar í sama sporið, nagladekk og svo mætti lengi telja.

TAFLA 1 Almennur líftími slitlags (ár) fyrir ólíkar gerðir slitlags og mismunandi ÁDU (Statens Vegsesen, 2014a).

L	HEFÐBUNDINN LÍFTÍMI SLITLAGS, FYRIR ÓLÍKAR GERÐIR SLITLAGS (ÁR)						
	ÁDU						
SLITLAGSGERÐ	≤ 300	301- 1500	1501- 3000	3001- 5000	5001- 10.000	10.001- 20.000	> 20.000
Ska, steinríkt malbik SMA (skjelettasfalt)				13	10	7	6
Ab, malbik, slitlags- og stífmalbik (asfaltbetong)			15	12	9	6	5
Agb, malar malbik (asfaltgrusbetong)		15	14	11			
Ma, mjúkbik (Mykasfalt)	16	13	12				
Egt, þétt bikþeytumöl (emulsjonsgrus)	16	13	12				
Eo, einföld klæðing (enkel overflatebehandling).	14	12					

Eðlilegt frávik í líftíma slitlagsins er ± 2 ár, þegar tekið hefur verið tillit til loftlags og annarra staðbundinna aðstæðna.

Líftími slitlags er ákvarðaður út frá þróun hjólfaradýpis og sléttleika, og þegar líklega er þörf á endurnýjun þess. Lár líftími slitlags gefur vísbendingu um að eitthvað sé að í veguppbyggingunni, en þýðir ekki endilega að vegurinn þarfnist styrkingu. Þegar verið er að skoða líftíma slitlags er nauðsynlegt að aðgreina þau atriði sem geta haft áhrif á líftímann s.s. frostlyftingar, kantsprungur, röng efnisnotkun, nagladekkjanotkun sem og veikleikar í uppbyggingu.

Styrkingaraðferðir eru metnar út frá líftímastuðli (f):

$$f = \frac{\text{raunverulegur líftími slitlags}}{\text{hefðbundinn líftími slitlags}}$$

- $f \leq 0,7$ – gera prufuholur til að kanna mögulegar ástæður skamms líftíma og kanna endurbætur samhliða styrkingu vegarins.
- $f > 0,7$ – yfirleitt er nægjanlegt að leggja nýtt slitlag, en getur verið rétt að skoða aðgerðir á lögum undir slitlaginu.
- $0,5 < f < 0,7$ – ákvarða F_{diff} , þörf styrkingar (þykkt x álagsdreifingarstuðul) (tafla 2). Viðeigandi styrking er ákveðin með prufuholu, en einnig lagt mat á líkum endurtekens brots.
- $f < 0,5$ – gefur til kynna að eitthvað grunnatriði sé að í uppbyggingu vegarins. Eitthvað misfarist við byggingu vegarins, hann undirhannaður, rangar lagþykktir og efnisgæði í einu eða fleiri lögum ekki innan krafna. Reynt að greina hvar vandamálið liggur með prufuholu og greiningu

brotmynda. Einnig er gott að notast við aðrar mælingar s.s. niðurbeygjumælingar og DCP/CBR (skýrt hér að neðan). Ef ástæður lélegs líftíma eru ekki greinilegar skal styrkingin hönnuð eins og í nýrri vegbyggingu, tafla 3.

Svipaðri aðferðafræði er beitt þegar auka þarf styrk, vegna aukningar í leyfilegum öxulþunga bifreiða. Aðferðafræði Norðmanna er ansi ítarleg og má sjá ferlið myndrænt á mynd 1.

TAFLA 2 Styrkingarþörf (F_{diff}) vegna óvenju lágs líftíma slitlags (Statens Vegsesen, 2014a).

U	STYRKINGARÞÖRF ÞAR SEM LÍFTÍMI SLITLAGS ER OF LÁR (F_{diff})			
	UMFERÐARFLOKKUR (N, MILLJÓN)			
LÍFTÍMASTUÐULL	A (< 0,5)	B (0,5 – 1)	C (1 – 2)	D (2 – 3,5)
f = 0,7	9	9	10	11
f = 0,6	12	13	14	15
f = 0,5	15	17	18	19

Auk gefina gilda er gert ráð fyrir að hjólför séu leiðrétt.

TAFLA 3 Kröfur til burðarlagsgildis eftir styrkingu (Statens Vegsesen, 2014a).

EFNI Í VEGBYGGINGUNNI OG VEGBOTNINUM	BURÐARÞOLS-FLOKKUR	KRÖFUR TIL STUÐLA EFTIR STYRKINGU						
		UMFERÐARFLOKKUR (N, MILLJÓN)						
		FJÖLDI 10 TONNA JAFNGILDISÖXLA YFIR HÖNNUNARTÍMANN						
		A1 (<0,2)	A2 (0,2–0,5)	B (0,5–1)	C (1–2)	D (2–3,5)	E (3,5–10)	F (>10)
EFNI MEÐ ÁLAGSDREIFNISTUÐLI a ≤ 1,35		18 ¹⁾	18 ¹⁾	18 ¹⁾	29	31	50	52
MÖL, CU ≥ 15, T1 BROTID BERG, CU ≥ 15, T1	1,2	35	47	52	56	59	66	68
MÖL, CU < 15, T1 SANDUR, CU ≤ 15, T1 BROTID BERG, T2	3	35	47	52	56	67	82	84
SANDUR, CU < 15, T1 MÖL, SANDUR, JÖKULRUÐNINGUR, T2	4	47	55	60	72	83	98	108
MÖL, SANDUR, JÖKULRUÐNINGUR, T3	5	56	63	76	88	91	106	116
SILT, LEIR, T4	6	64	71	84	88	100	114	124

1) Slitlagið er Agb eða annarri stífri slitlagsgerð.

2) Styrkt burðarlag með sprungum eða sprungumyndun í flokki H skv. handbók V261 reiknast ekki með.

Helstu prófunaraðferðir sem eru notaðar til að ákvarða þörf og gerð styrkingar eru:

- Uppgröftur

Gefur til kynna uppbyggingu vegar, lagþykktir og efnistuðla með síðari prófunum á rannsóknarstofu. Þá er hægt að reikna burðarlagsgildi vegbyggingarinnar og styrkleika. Þegar búið er að ákvarða burðarlagsgildið er hægt að ákvarða F_{diff} (tafla 2). Niðurstöður uppgraftrar sýna yfirleitt þörf á meiri styrkingu heldur en niðurbeygjumælingar.

- DCP (Dynamic Cone Penetrometer) / CBR (California Bearing Ratio) mælingar

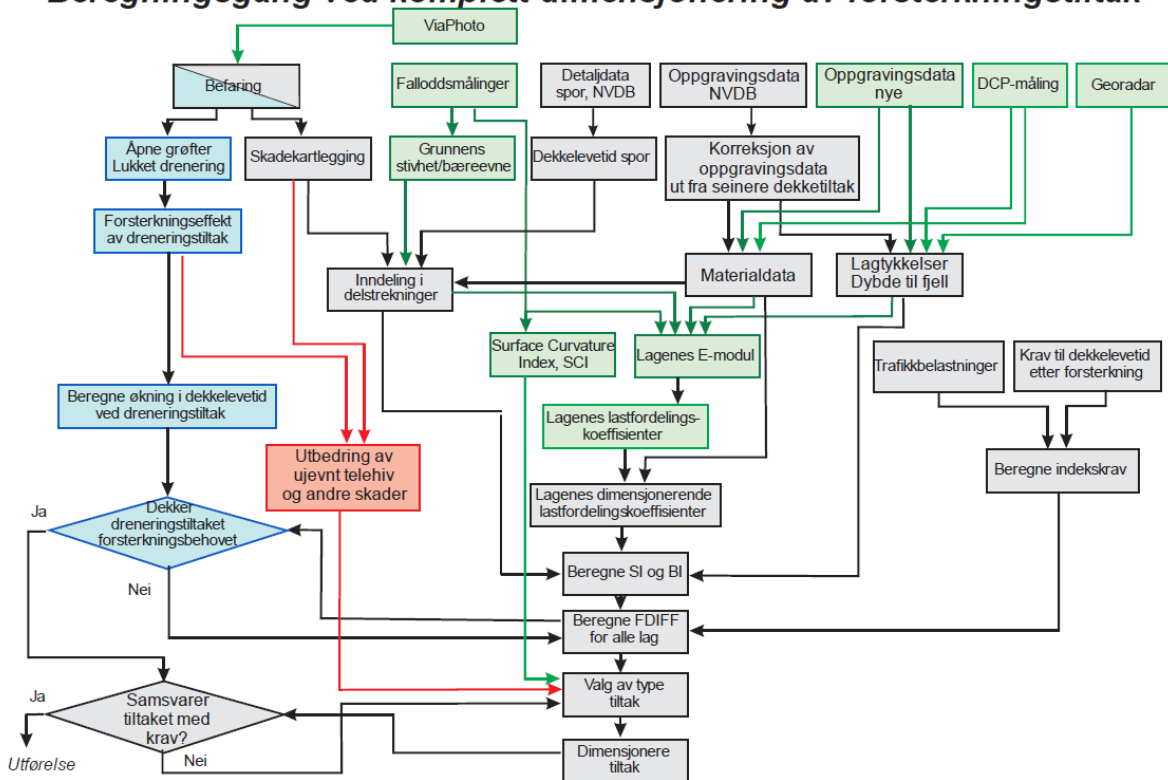
Hægt er að ákvarða burð undirlagsins með DCP eða CBR mælingum í felti. Báðar aðferðirnar gefa til kynna skerstyrk (shear strength) efnisins. Mælt er með því að mæla að vori þegar

burðurinn er minnstur. Hægt er að sjá nánari lýsingu á aðferðunum í handbókum R211 (DCP) og R210 (CBR) (Statens vegvesen, 2014b & 2014c).

- Niðurbeygjumælingar

Til viðbótar við uppgröft og DCP/CBR mælingar getur verið gott að framkvæma niðurbeygjumælingar s.s. falllóðsmælingar. Bakreikna skal stífni (E-gildi) mismunandi laga vegarins og meta hversu vel vegbyggingin dreifir álaginu. Nánar er fjallað um falllóðsmælingar seinna í skýrslunni.

Beregningsgang ved komplett dimensjonering av forsterkningstiltak



MYND 1 Skematisk mynd af ákvarðanarferli og hönnun styrkingar í vegi (Statens Vegsesen, 2015).

2.1.1 Val styrkingaraðferða

Í norska leiðbeiningaritinu forsterkningar av vegar (Statens Vegsesen, 2015) eru taldar upp 14 mismunandi aðferðir til styrkinga (tafla 4). Hvaða aðferð eða aðferðir eru notaðar verður að meta í hverju tilfalli fyrir sig, en oft þarf að sameina aðferðir. Til ákvörðunar á heppilegri aðferð þarf að kanna:

- Stærðargráðu styrkingarinnar, ef svæðið er lítið má hugsa sér að þykkja malbik og styrkja vegbygginguna þannig en ef svæðið er stórt getur verið mun hagstæðara að styrkja burðarlagið og þynna malbikið.
- Veghönnunina, breidd og vegferill vega skiptir miklu máli þar sem sumir vegir eru ekki breikkaðir samhliða styrkingum og sumar styrkingaraðferðir draga úr vegbreidd.
- Sprungur og sprungumynstur í slitlaginu, endurbætur eiga að stuðla að því að slitlagið (vegbyggingin) haldi sér í tilskilin tíma eftir að endurbótum er lokið. Þess vegna þýðir t.d. ekki að leggja eingöngu nýtt malbikslag á veg sem er mikið sprunginn. Sprungurnar eru líklegar til

að koma fljótt í gegnum nýja yfirlagið. Leita verður svara við spurningunum hvers vegna er sprungumyndunin og hversu miklar eru hreyfingarnar sem valda henni.

Í Noregi er mælt með því að athuga sérstaklega afvötnun sem hluta af styrkingar- og endurbótaferlinu.

TAFLA 4 Helstu styrkingaraðgerðir sem mælt er með í Noregi (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 þversíðum og lengarprófil 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 færarleg framleiðsla
6	Festun burðarlags (djúp festun)	Virkar vel þar sem burðarlagsefnið er vatns- eða frostnæmt, bætir þversnið og lengdarprófil 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 vegprófil.
8	Burðarlag með fleyguðu / kíldu þúkki	Bætir almennt burðargetu vegarins. Krefst þess að þykkt þúkkklagisins sé með jafna þykkt, má framkvæma samhliða öðrum aðgerðum sem stuðla að bættum vegprófil.
9	Þurrfræsing	Á við óbundin burðarlög með óhagstæða kornadreifingu, bætir þversíðum og lengarprófil
10	Tenging / jöfnun (Utkilinger)	Framkvæmt til að jafna ójöfnur vegna frostlyftinga. Aðgerðin er oft sameinuð með öðrum aðgerðum s.s. frárennsli og staðbundin massaskipti (efnisakipti)
11	Styrking axla	Ráðstafanir til að laga kant-, langsprungur o.fl. Hægt er að grípa til nokkra mismunandi aðferða eftir umfangi og orsök 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 þrengra 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 óbundinni laga	Á einnig við um styrkingar óbundinna laga með plast neti. Þessi aðgerð á mest við þar sem verið er að tryggja stöðuleika og burðarþol þegar vegurinn er í byggingu
16	Massaskipti (efnaskipti)	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.

Hérna verður litið til aðferðar 6 sem er þurrfræsing og styrking burðarlags með biki, hinum aðferðunum er lýst í leiðbeiningarritinu „forsterkninger av veget“ (Statens Vegvesen, 2015).

2.1.2 Bikbundið burðarlag

Til eru margar gerðir af bikbundnu burðarlagi í Norsku handbókinni N200 (Statens vegvesen, 2014a), en þar má einnig finna lýsingu á mismunandi eiginleikum þessara burðarlagsgerða (tafla 5). Hér að neðan verður einungis fjallað um bikbundna mól (Bg) sem verður til við kaldblöndun á biki og fræstu burðarlagi í veginum, en vert er að skoða einnig Eg og Sg. Bikbundin mól er talin umhverfisvæn lausn

bæði í framleiðslu og framkvæmd. Umfjöllunin hér að neðan byggir á N200 og ritinu forsterkningar av vegur (Statens Vegvesen, 2015).

TAFLA 5 Bikbundin burðarlög í N200 (Statens vegsesen, 2014a).

SKAMMSTÖFUN	NORSKT HEITI	ÍSLENSK ÞÝÐING
Ag	Asfaltert grus	Burðarlagsmalbik
Ap	Asfaltert pukk	Bikað púkk
Pp	Penetrert pukk	Biksmogið púkk
Eg	Emulsjonsgrus	Bikþeytt mól
Ep	Emulsjonspukk	Bikþeytupúkk
Sg	Skumgrus	Froðubiksmól
Bg	Bitumenstabilisert grus	Bikbundin mól
Ak	Knust asfalt	Brotið malbik

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. Magn bindiefnis er þá í kringum 1,5% af massa efnisins. Þegar verið er að festa burðarlagsefni verður bindiefnið að vera að minnsta kosti 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. Bindiefnisinnihaldið er aðallega háð fínefnainnihaldinu en efnið verður að uppfylla kröfur sem gerðar eru til álagsdreifingarstuðulsins, stöðugleika og frostmótstöðu. Álagsdreifingarstuðullinn skal vera að minnsta kosti 1,5. Þó verður að gæta þess að bindiefnisinnihald og kornadreifing (tafla 6) séu innan marka og að efnið sé þjappað um leið og það er lagt.

TAFLA 6 Kornadreifing steinefnis til bikbundinnar malar.

ISO-SIGTI [MM]	SÁLDUR (MASSA-%)
16	85-100
11,2	70-100
8	58-95
4	40-77
2	30-63
0,25	10-25
0,063	5-17

Framleiðslan fer þannig fram að burðarlagið er fræst. Síðan er efnið fest með froðubiki (skumbitumen) eða bikþeytu (emulsjon). Mikilvægt er að rakastig steinefnisins sé á milli W_{opt} og $W_{opt} - 0,5 \times$ bindiefnisinnihaldið þegar efnið er lagt. W_{opt} er ákvarðað með modified proctor. Þar sem bikbundin mól getur verið lengi að taka sig er ekki mælt með að leggja efnið seint að hausti. Binding og þróun bikbundinnar malar fer eftir stífleika, umferð og loftslagi. Tryggja skal að umferð sé ekki of mikil fyrst eftir að burðarlagið er lagt og mælt er til þess að slitlag sé lagt fljótlega eftir að burðarlagið hefur verið lagt. Bikbundin mól er viðkvæm fyrst eftir að það er lagt sérstaklega fyrir mikilli umferð og úrkomu.

Við styrkingu á gömlum vegi verður að kanna og hanna festunina áður en lagt er af stað. Almennt er ferli styrkingar á gömlum vegi með þessum hætti:

1. Þar sem þykkt malbiksins er meiri en 5-6 cm, skal fræsa malbikið af fyrst og koma fyrir á millilager. Skilja skal eftir u.þ.b. 2 cm af malbiki.

2. Skoða skal sérstaklega hvort fjarlægja þurfi lífrænt efni úr köntum þar sem ekki er æskilegt að lífræn efni blandist við annað efni sem skal styrkja.
3. Þurrfræsing, restin af malbikinu og burðarlagið er fræst upp og skal dýpt fræstingar vera um 5 cm dýpri heldur en áætluð styrking.
4. Laga skal þversnið vegarins með heflun og léttri þjöppun. Ef núverandi burðarlag hefur hátt fínefnainnihald eða á annan hátt hefur ekki rétta kornadreifingu er hægt að leggja út púkk til þess að bæta kornadreifinguna. Magnið fer eftir dýpt festunnar og kornadreifingu burðarlagsins, en algengt er að bæta við 5-7 cm af óþjöppuðum massa.
5. Fræsun og styrking. Bindiefninu er bætt við steinefnið og eflið heflað aftur, á þetta bæði við um þegar notað er froðubik og bikþeyta.
6. Styrkta/festa efnið er heflað og þversniðið jafnað og þjappað.
7. 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.

Þegar verið er að velja á milli froðubiks og bikþeytu til styrkingar er það yfirleitt ákvarðað út frá fínefnainnihaldi efnisins sem skal styrkja. Froðubik hentar oft betur fínefnaríkum massa á meðan bikþeyta krefst yfirleitt lágs fínefnainnihalds. Þar sem styrkingar eru oft framkvæmdar þar sem fínefnainnihald burðarhalds er of hátt hefur froðubik verið meira notað.

Þegar verið er að styrkja/festa burðarlög, sérstaklega með froðubiki, er mælt með að nota gúmmíhólavalta til þjöppunar, gjarnan ásamt hefðbundnum valta. Þyngd hjólsins skal vera að minnsta kosti 1 tonn.

Áður en fræsun hefst skal kanna:

- Þykkt malbiks og breytingar í malbiksþykkt (má mæla með georadar). Ef malbiksþykktin er talin nokkuð jöfn má athuga þykkt malbiksins með kjarnaborunum.
- Kanna verður hvort að stál eða plastnet er í veginum, en það skal fjarlægja áður en fræsun hefst.
- Íhuga verður hættu af stórum steinum í efnismassanum sem á að fræsa. Stórir steinar geta eyðilagt tennur í fræsanum og gera aðferðina minna fýsilega. Hægt er að nota georadar til að meta magn stórra steina í veginum.

Helstu kostir, gallar og ráðleggingar varðandi aðferðina eru:

- 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 enda er verið að nota efni sem eru til staðar í veginum.
- 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 úr 0,75 í 1,75. Hægt er að auka styrkinn og álagsdreifingarstuðulinn í hönnunarferlinu.
- Þegar verið er að auðga efnið og binda fínefni má gera ráð fyrir að álagsdreifingarstuðulinn hækki úr 0,75 í 1,0.

- Ráðlagt getur verið að leggja mjúkt malbik eða klæðingu fyrst á bikbundna burðarlagið og jafna hæðina seinna með nýju yfirlagi.

2.1.3 Sementsbundið burðarlag

Það sem vekur athygli er að í leiðbeiningarritinu forsterkningar av vegar (Statens Vegvesen, 2015) er ekki minnst á styrkingu burðarlags með sementi að öðru leiti en að gefa upp álagsdreifingarstuðulinn úr norsku handbókinni N200 (Statens Vegsesen, 2014a). Sementsbundin burðarlög eru heldur ekki nefnd í tafla 7 í N200 um ráðlögð efni í burðarlög.

TAFLA 7 Notkunarmöguleikar efna í burðarlög (Statens Vegsesen, 2014a).

BURÐARLAGSGERÐ		EFRA BURÐARLAG UMFERÐARFLOKKUR						NEÐRA BURÐARLAG UMFERÐARFLOKKUR						
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F	
BROTIN MÖL ¹⁾	Gk													
BROTIN KLÖPP	Fk													
BURÐARLAGSMALBIK	Ag													
BIKAÐ PÚKK	Ap													
BIKSMOGIÐ PÚKK	Pp													
ENDURUNNIÐ MALBIK ²⁾	Gja													
BROTID MALBIK	Ak													

1) Brotna mól má ekki nota á ríkisvegi eða þar sem efra burðarlag á vegi er með $N > 0,2$ milljónir

2) Notkun Gja verður að meta í hverju tilfelli fyrir sig.

Í N200 staðlinum er sementsstyrking burðarlags nefnd og kröfur tilgreindar, en tekið skýrt fram að tryggja verði að ekki myndist stórar sprungur í efninu og að ekki megi nota efnið þar sem hættu er á frostlyftingum eða frostlyftingar hafa átt sér stað. Ekki skal nota efnið á aðkomuvegum og göngu- og hjólastígum. Að lokum er varað við sprungumyndun á skilum sementsfestingar og annars burðarlags. Hins vegar er bent á að í sumum tilfellum geti verið ráðlagt að styrkja burðarlagsefni sem ekki uppfyllir kröfur sem gerðar eru til óbundins burðarlags hvað varðar styrk, kornastærð, kornadreifingu og berggreiningu. Þær kröfur sem eru gerðar til sementsbundins burðarlags eru:

- Lágmarksþykkt er 200 mm.
- 7 daga sýnastyrkur efnisins sé $5 \pm 0,8$ MPa.
- 28 daga styrkur úr útlögðu efni sé $7 \pm 1,1$ MPa.
- Vatns sements tala efnisins skal vera $0,8-1 \pm 0,2\%$.
- Vatnsinnihaldið skal vera 1-2% fyrir neðan optimal Modified Proctor vatnsinnihald.
- Kornadreifingin er sú sama og á Íslandi enda er íslenska kúrfan fengin úr norsku handbókinni. Gæta skal þess að kornadreifing efnisins þjappist vel.
- Lágmarks sements innihald skal vera 4,5% af heildar magni þurrs steinefnis.

Leitast skal við að halda raka í efninu með því að loka yfirborðinu sama dag og burðarlagið er lagt áður en slitlag er lagt á veginn. Mælt er með því að nota polymermodifisert bitumenemulusjon PmBE, en einnig er hægt að setja klæðingu (Eo) með bindiefninu PmBE. Þegar yfirborðið er límt er mikilvægt að yfirborðið sé þurrt, en yfirborðið má þó hafa jarðraka (jord-fuktig). Gæta skal vel að límingu, eða annari yfirborðsmeðhöndlun, milli sementsbundna burðarlagsins og malbiks, slétt yfirborð sementsbindingarinnar getur valdið lélegri viðloðun. Áður en slitlag er lagt skal sópa laust efni af yfirborðinu og tryggja viðloðun. Efnið er lagt án steypuskila, og hægt er að hleypa umferð á veginn um

leið og efnið hefur verið lagt (nema þegar um sand og púkk er að ræða, þá skal bíða í 1-2 daga). Ef styrkur efnisins fer yfir 7 MPa skal hafa steypuskil.

2.2 Bretland

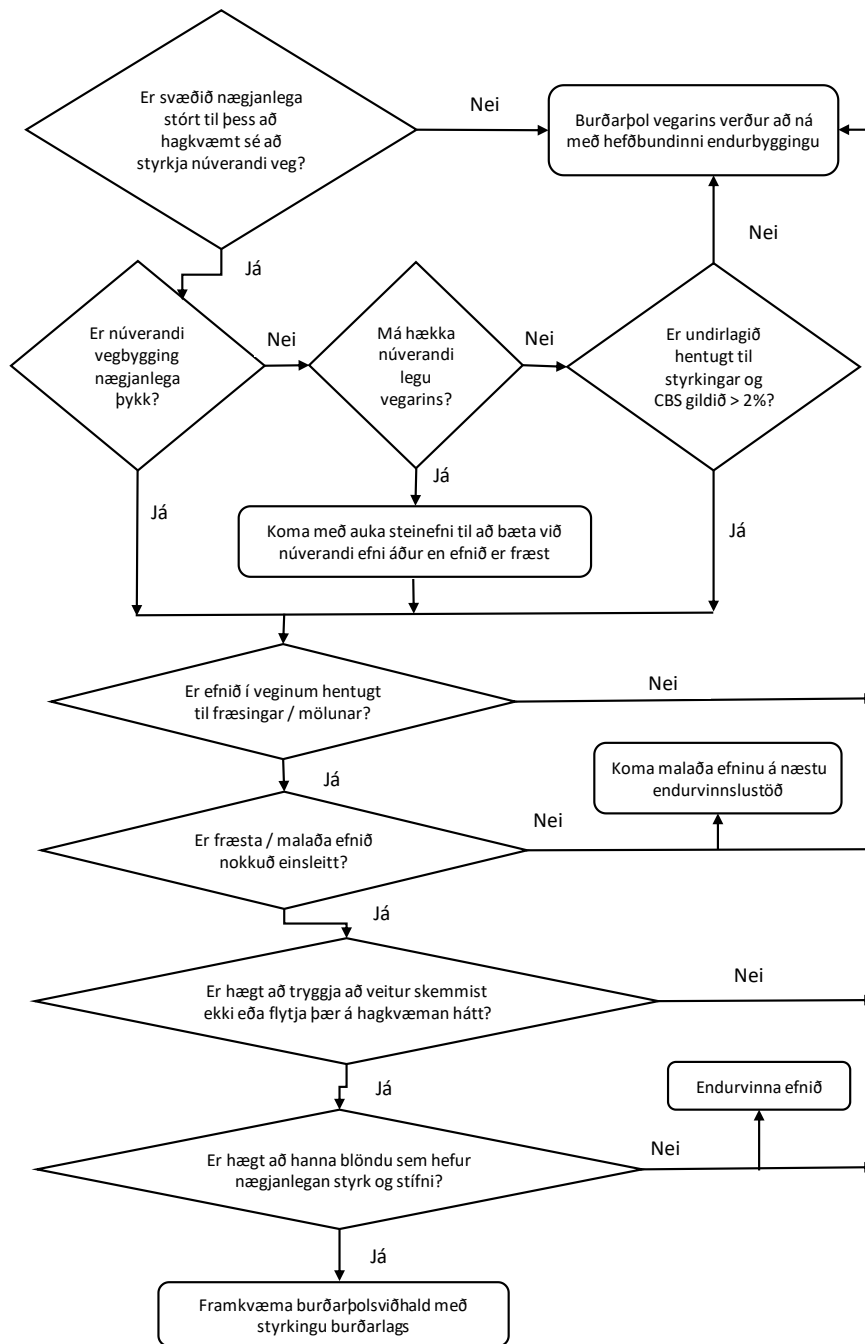
The Road Surface Treatments Association (RSTA) ásamt The Association of Directors of Environment, Economy, Planning and Transport á Bretlandi gáfu út árið 2012 ritið “Code of Practice for In-situ Structural Road Recycling“. Í ritinu er farið yfir það helsta sem þarf að hafa í huga þegar verið er að endurnýja vegi og styrkja án þess að keyra nýtt efni í veginn og endurbyggja veginn. Mælt er með því að kanna alltaf möguleikann á styrkingu áður en hafist er handa við að endurbyggja veginn eða leggja nýtt slitlag. Á Mynd 2 má sjá flæðirit af ákvörðunarferlinu og Mynd 3 sýnir flæðirit af ákvörðunarferlinu til að finna heppilegasta bindiefnið.

Það getur verið mjög dýrt að leggja nýtt slitlag á veg sem ekki hefur nægjanlegt burðarþol, þá verður ending slitlagsins ekki sem skildi og kostnaður við viðhald of hár. Í flestum tilfellum er hagkvæmara að styrkja veg heldur en að endurbyggja ásamt því að vera betra fyrir umhverfið og minna rask við framkvæmdina. Þegar verið er að styrkja veg er verið að endurvinnna og endurnýta efni sem er til staðar í veginum, og ef vel er að verki staðið er ending og styrkur vegarins sá sami og um hefðbundna nýbyggingu væri að ræða, en gert er ráð fyrir 20-40 ára hönnunartíma og á það bæði við í og utan þéttbýlis. Það eru fjögur meginatriði í staðháttum sem þarf að kanna áður en ákveðið er að styrkja vegbyggingu:

- Hver er megin ástæða fyrir broti núverandi vegbyggingar.
- Hversu mikil umferð er um veginn.
- Henta efnin sem eru í núverandi vegbyggingu til styrkingar.
- Veitur.
- Afvötnun, ætti alltaf að kanna hvort heldur sem vegurinn verður styrktur eða endurbyggður.

Sum efni er ekki hagkvæmt að styrkja en það á aðallega við ef harðir steinar í yfirstærð eru í efninu, ef vegurinn er gerður úr steypu, ef burðarlagsefnið inniheldur lífrænan mó eða leifar af leir. Þessi efni eru ekki algeng og er því í flestum tilfellum hagkvæmt að styrkja vegbyggingar. Kanna skal hvort styrking henti burðarlagsefninu, annað hvort með því að styrkja það á staðnum eða styrkja það og keyra aftur í veginn. Auk þess að kanna gögn og upplýsingar um vegbygginguna skal gera ráð fyrir prufuholu á hverjum 500 m² en stundum er raunhæfara að auka svæðið í 800 – 1000 m². Prufuholurnar skulu vera a.m.k. 45 cm djúpar og nægjanlega stórar til þess að raunhæft sýni náist úr veginum. Æskilegt er að hægt sé að kanna undir- og styrktarlag. Prófa skal efnið í samræmi við leiðbeiningar TRL (Transport Research Laboratory) og aðferð til endurbóta ákveðin í samræmi við niðurstöður prófanna. Þegar kemur að vali á bindiefni eru margir þættir sem þarf að skoða s.s.:

- Fjármagn.
- Sjálfbærni og umhverfisþættir.
- Umferðarþungi.
- Styrkur undirlags.
- Önnur atriði í umhverfinu og undirlaginu.



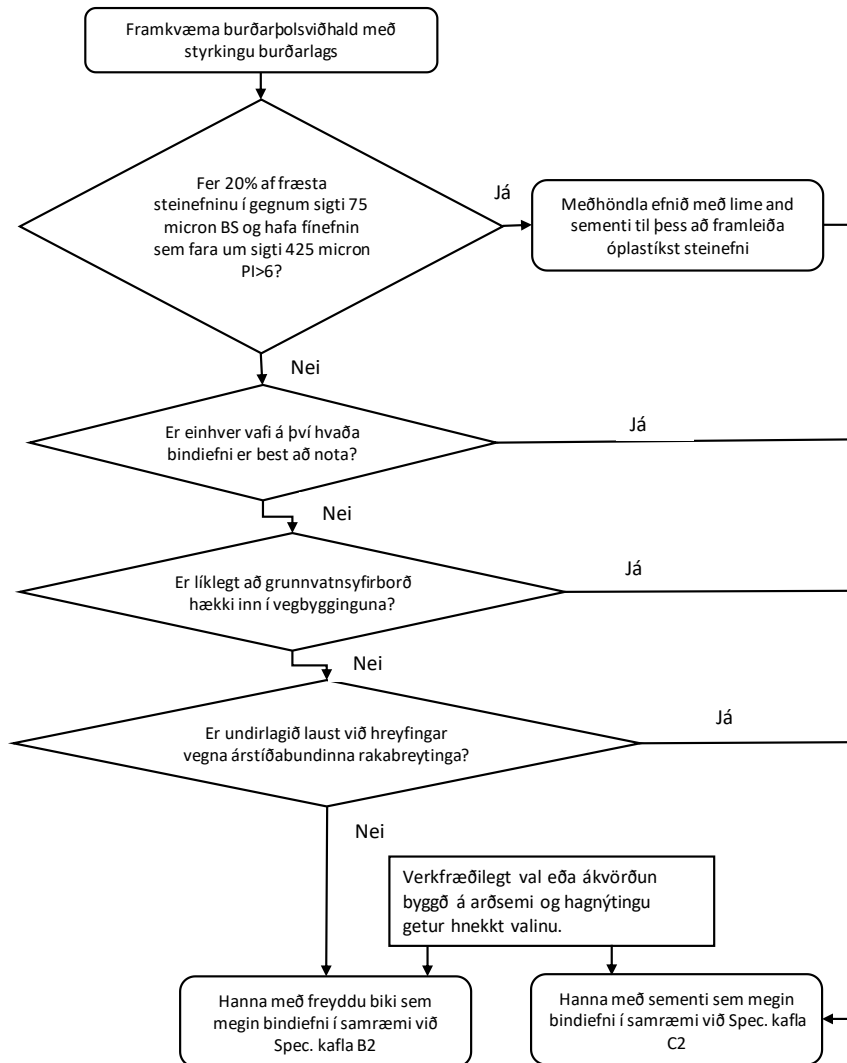
MYND 2 Flæðirit af svæðismati eða könnun á staðháttum þegar vegur þarfnast endurbóta.

Flest staðbundin styrkingarverkefni í Bretlandi hafa verið framkvæmd með Quick Hydraulic (QH), Medium Hydraulic (MH) eða Quick Visco Elastic (QVE) froðubiki. QVE froðubik var mikið notað á níunda og tíunda áratug síðustu aldar við góða raun en eins og með önnur bikbundin efni þá hefur notkun þeirra minkað með hækkandi verði. Bikbundin festun (Bituminous Bound Mixture (BBM)) er talin vera sveigjanlegt endurrunnið burðarlag. Það er eiginleiki sem oft er leitast við að ná í hönnun. Val á bindiefni er oft háð verði og aðgengi að efni nálægt vinnusvæði.

Sementsbundin burðarlög eru talin vera stíf (hydraulically bound mixtures (HBM)). Þegar verið er að hanna stíf burðarlög þarf að kanna mögulegar hitaþenslur og sprungur. Hins vegar hafa sprungur í stífum sementsbundnum burðarlögum minnkað til muna eftir að farið var að blanda flugösku

(Pulverised Fuel Ash (PFA)) í blönduna og hlutfall hefðbundins Portland sements minnkað að sama skapi. Með blönduninni er framleitt burðarlag með minni upphafsstyrk sem eykst svo smám saman vikum, mánuðum og jafnvel árum eftir að burðarlagið er lagt. Sementið gefur burðarlaginu upphafsstyrk sinn og stöðugleika þannig að hleypa má umferð á veginn næstum um leið og framkvæmd er lokið, það er hins vegar flugaskan sem veitir styrktaraukninguna yfir tíma og minnkar þannig líkur á hitapennslusprungum yfir líftíma vegarins.

Bikbundin burðarlög eru orðin mun dýrari í framleiðslu heldur en stíf burðarlög, er það ein megin ástæða þess að stíf burðarlög eru að verða algengari heldur en bikbundin burðarlög. Önnur affalsefni og aukaafurðir iðnaðarframleiðslu hafa einnig verið notuð til styrkinga burðarlaga.



MYND 3 Flæðirit sem hjálpar til við ákvörðun á bindiefni.

Mikilvægt er að prófa og hanna blönduna, leggja fram áætlun um þjöppun og eftirlitsprófanir. Finna má lýsingu á hönnunarferlinu í „Specification for Highway Works CH 947 In-situ Cold Recycled Bound Material“. Það sem er talið allra mikilvægasta skilyrði fyrir styrkingu er kornadreifing efnisins sem á að meðhöndla. Ljóst þarf að vera í upphafi verks hvaða aðferð skal notuð, dýpi meðhöndlunar, hvaða bindiefni skal nota, magn (prósenta) bindiefnis, hagstæðasta rakainnihald og eðlismassa efnisins.

2.3 Nýja Sjáland

Á Nýja Sjálandi er gott steinefni uppurið eða svo gott sem í opnum námum og erfitt getur reynst að fá leyfi til þess að opna nýjar. Vegna þessa eru menn að leita meira til festunnar burðarlags, og endurnýtingu efna og forðast notkun nýrra steinefna. Verkfræðingar á Nýja Sjálandi hafa kvartað yfir því að rannsóknir, upplýsingar (m.a. um endingu og frammistöðu) og hönnunaraðferðir styrkinga endurunna og nýrra efna vanti. Rannsókn var framkvæmd með hröðuðum álagsprófunum (CAPTIF) ásamt því að skoða frammistöðu bundinna vegbygginga, og leitast við að svara eftirfarandi spurningum (Alabaster o.fl. 2013):

- 1. Kostir þess að nota sement og/eða lime-modified steinefni til að auka frammistöðu burðarlaga og innleiða aðferðafræði við hönnun.*
Hægt var að sýna fram á að steinefni með 1% sementi dró úr hjólfaramyndun um 200-300%, borin saman við óbundin burðarlög. Stífni lagsins minnkaði þegar leið á prófunina.
- 2. Kostir þess að nota froðubik / sementsbundin steinefni til þess að auka frammistöðu og innleiða aðferðafræði við hönnun.*
Sýnt var fram á að steinefni með froðubiki og sementi dró úr hjólfaramyndun og jók líftímann um 500% borin saman við óbundin burðarlög. Ekki dró úr stífni á meðan á verkefninu stóð.
- 3. Skilja samhengið eða samfelluna í hegðun óbundins burðarlags, yfir í modified (lítið magn bindiefnis) og að lokum bundins burðarlags.*
Ekki fékkst betri skilningur á samfelluna, en hins vegar fengust áhugaverður niðurstöður.
 - Bundin hegðun fékkst við 3-4% sementsmagn.
 - Við 4% sementsmagn var lítil hjólfaramyndun (mótstaða gegn hjólfaramyndun jókst um 1000% borið saman við óbundið efni) en stífni lagsins tapaðist. Við lok prófsins var stífnin sú sama og ef 1% sement var bætt við steinefnið.
 - Við 3% sementsmagn í felti varð þreytubrot í efninu.
 - Niðurstöður prófanna sýndu að best væri að nota 2% sement og sleppa brotvöltun. Við herra sementsmagn þá aukast líkur á sprungum og að vatn komist í vegbygginguna sem dregur úr líftíma hennar og viðhald verður erfiðara. Ef sementsmagnið er undir 2% þá getur stífnin minnkað með tímanum ásamt frammistöðu vegarins.
- 4. Kanna hvort viðmið Ástrala til togstreitu í bundnu steinefni væri of íhaldssamt fyrir Ný Sjálenskar aðstæður.*
Hröðuðu álagsprófanirnar og mælingar í felti bentu til þess að Ástralska módelið (Austroads, 2004) passaði síður við Ný Sjálenskar aðstæður heldur en Suður Afríska módelið (Theyse & Muthen, 2001). NZTA hefur gefið út nálgun til þess að hanna bundin burðarlög (Transit, 2008).

Helstu ráðleggingar varðandi notkun froðubiks að verkefninu loknu eru (Alabaster o.fl. 2013):

- Notkun froðubiks á steinefni með 1% sementi bætti frammistöðu vegarins mikið.
- Bæta þarf núverandi hönnunaraðferðir fyrir vegbyggingar með froðubik.
- Froðubik sem hámarka togstyrk efnisins en viðhalda sveigjanleikanum ættu að vera notuð þar sem hætta er á að vatn komist inn í vegbygginguna. Í þessari rannsókn var þó aðeins könnuð notkun froðubiks þar sem 1% sement var í efninu.
- Það var ekki hægt að kanna eiginleika efnisins í endurteknu þríasaprófi.
- Það virtist ekki vera tap á stífni með tímanum.

Helstu ráðleggingar varðandi notkun sements / lime að verkefninu loknu eru (Alabaster o.fl. 2013):

- Endurtekin þríasapróf gátu ekki sagt til um breytingu í hegðun efnisins þegar sementsmagnið fór yfir 1,5%.
- Góð samsvörun var á milli gilda sem fengust við prófanir á rannsóknarstofu og í felti.

- Brotvöltun burðarlagsins minnkaði meðaltals styrk þess um 40%.
- Við 4% sementsinnihald og brotvöltun náði vegbyggingin sér ekki og hegðaði sér eins og sýni sem höfðu 1% sement og voru ekki brotvöltuð.
- Sementsbundnar vegbyggingar eru stífar. Þegar vatni var hleypt á vegbygginguna þá breytist stífnin eins og um óbundið burðarlag væri að ræða, en samt sem áður var frammistaða sementsbundna efnisins betri heldur en óbundna efnisins.
- Þegar prófunum var lokið kom í ljós að sementsbundna lagið var skemmt.
- Efnisstuðullinn sem fékkst upphaflega með falllööðmælingum reyndist sýna vel styrkinn.
- Sementsfesta burðarlagið virtist tapaði stífni jafnt eftir öllum sementsfesta hlutanum í hlutfalli við álag. Hafa skal stífninstapið í huga þegar styrkingar eru hannaðar og mögulega hafa takmarkanir.

Bundnar eru vonir við að niðurstöður verkefnisins ásamt áframhaldandi vinnu muni auka notkun staðbundinna efna og vonandi auka endurvinnslu núverandi efna. Það mun draga úr kostnaði við vegagerð, endurbætur og viðhald án þess að draga úr kröfum um frammistöðu. Niðurstöður verkefnisins sýna að 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.

2.4 Portland sement

Samtök um Portland sement hafa gefið út leiðbeiningarritið „Guide to Cement-Treated Base (CTB)“ (Halsted o.fl., 2006), en þar er farið yfir hönnun, útlögn og framleiðslu á sementsbundnum burðarlögum. Hér að neðan er stutt samantekt úr ritinu. Sementsbundið burðarlag (CTB) er skilgreint í ritinu sem blanda af náttúrulegu eða framleiddu steinefni með mælanlegu magni af Portland sementi og vatni sem harðnar eftir þjöppun og aðhlúun (curing) og myndar sterkt, varanlegt og frostfrítt vegagerðarefni. Aðferðin hefur verið þekkt lengi og var fyrst notuð 1935 í South Carolina í Bandaríkjunum.

2.4.1 Eiginleikar sementsbundins burðarlags (CTB)

Eiginleikar CTB eru háðir steinefninu, magni sements, skilyrðum við aðhlúun og aldri (Tafla 8).

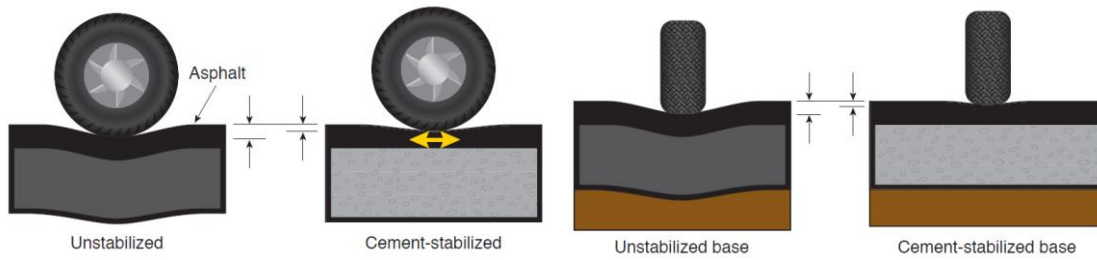
TAFLA 8 Dæmigeðir eiginleikar sementsbundins burðarlags (CTB)

EIGINLEIKI	7-DAGA GILDI
Prýstíþol (compressive strength)	2,1 – 5,5 MPa
Brotstyrkur (Modulus of rupture)	0,7 – 1,4 MPa
Burðargildi, E-gildi (Modulus of elasticity)	4100-6900 MPa
Poisson's gildi	0,15

Kostir CTB eru margir en þeir helstu eru (Halsted o.fl., 2006):

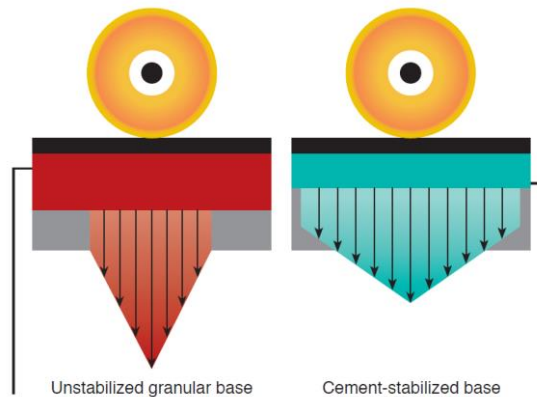
- CTB gefur stífara og sterkara burðarlag borið saman við óbundið burðarlag. Stífara burðarlag minnkar niðurbeygjur vegna umferðarálags og minnkar þar af leiðandi streitur í slitlaginu

(Mynd 4), sem eykur endingu vegarins. Þar sem umferð er í sama sporinu dregur úr hjólfaramyndun, þar sem óbundin efni vilja færast til undan álaginu.



MYND 4 Samanburður á niðurbeygjum og hjólfaramyndun í vegi með óbundið og sementsbundið burðarlag (Halsted o.fl., 2006)

- Þykkt sementsbundins burðarlags getur verið þynnra heldur en óbundins burðarlags fyrir sama umferðaálag þar sem álaginu er dreift yfir stærra svæði (Mynd 5). Dreifing álagsins veldur minni spennum á undirlagið og dregur því úr hættu á broti í undirlaginu og ójöfnum og holum á yfirborðinu.



MYND 5 Spennudreifing óbundins og bundins burðarlags (Halsted o.fl., 2006).

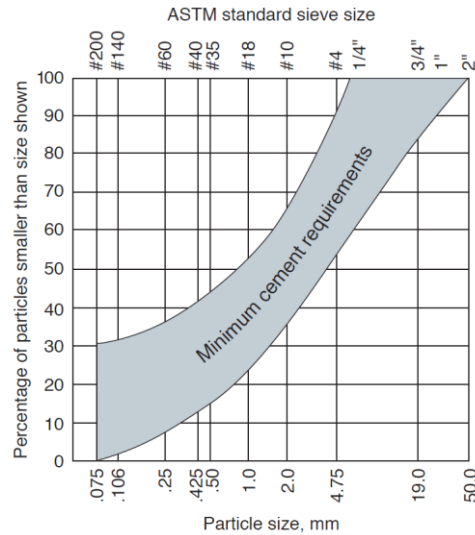
- Hægt er að nota margskonar steinefni, s.s. óbundið steinefni vegar og affalsefni úr iðnaði.
- Hægt að er hafa umferð á vegi á meðan á framkvæmdum stendur.
- CTB dregur úr skemmdum vegna vatns í veginum, óbundin efni geta dregið í sig meira vatn heldur en sementsbundin efni.
- CTB hentar við mismunandi skilyrði, á t.d. að þola vatn og frost/þíðu sveiflur ef þau eru rétt hönnuð.
- Styrkur CTB eykst með tímanum þegar sement heldur áfram að hvarfast.

2.4.2 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 CTB verði eins og ætlast er til. Steinefnið má vera:

- Samsetning af mól, klöpp, sandi, silti og leir.

- Samsett efni svo sem kalkefni, hraungjall, gjall, sandstein og aska.
- Affalsefni náma.
- Hágæða brotin steinefni.
- Gamla sveigjanlegar vegbyggingar, með klæðingu og óbundu burðarlagi.



MYND 6 Kornadreifing fyrir lágmarks sements innihald (Halsted o.fl., 2006).

Til að ná sem bestu sementsmagni og tryggja endingu er ráðlagt að nota fylliefni sem þjappast vel með góða kornadreifingu, það tryggir lágmarks aðskilnað í efninu og slétt yfirborð (Mynd 6). Ekki er mælt með því að nota einsleitir kornakúrfur nema í sérstökum tilfellum þar sem CTB þarf að vera gljúpt. Hins vegar hafa grófar steinefnablöndur verið notaðar og sementsinnihaldið að sama skapi aukið upp að vissu marki þar sem meira sement þarf til að binda mörg fín korn saman, borið saman við grófari efni. Nauðsynlegt er að hafa nægjanlegt magn fínafna til að halda grófara efninu saman og mynda þétt og gott burðarlag.

Við hönnun vegbygginga með sementsbundið burðarlag er reynt að tryggja að burðarlagið sé nægjanlega þykkt og sterkt, ef lagið er mjög þunnt og sterkt verður það stökkt og á það til að springa. Yfirleitt er reynt að hafa lagið heldur þykkara og minni styrk. Hönnunin fer fram skv. PCA publication Thickness Design for Soil-Cement Pavements, EB068, hönnunaraðferðin er byggð á rannsóknum, fræðum og prófunum á rannsóknarstofu og í felti. Flestar vegbyggingar hafa 150 mm þykkt CTB, en sú þykkt hefur reynst vel á flestum hefðbundnum vegum og umferðar léttum flugvöllum. Í PCA ritinu „Soil-Cement Laboratory Handbook EB052“, má finna upplýsingar um prófanir til ákvörðunar á sements og vatns magni sem og þjöppun, en þjöppun er mjög mikilvæg þegar litið er til endingar og styrks CTB. Tryggja verður rétt rakastig þannig að sem best þjöppun náist.

Vatns, og sementsinnihaldið er skilgreint sem:

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

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

Magn vatns og sements fer eftir kornadreifingu fylli-/steinefnisins og áætlaðum styrk. 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 CTB prufur og mæla þrýstistyrk þeirra. Það er gert fyrir nokkrar mismunandi prósentur sements, og þegar búið er að ákveða sementsmagnið er endanlegt rakastig einnig ákvarðað.

Varast skal að nota meira en 8% sement, þá getur skrið farið af stað í efninu og valdið sprungumyndun. Reynslan sýnir að í of sterkum burðarlögum geta myndast skriðsprungur í gegnum slitlagið. Yfirleitt er talið nægjanlegt að nota sementsmagn sem gefur um 2,1-2,8 MPa 7 daga styrk þegar verið er að blanda efni á staðnum í núverandi burðarlög þar sem meira er af grófara efni. Hönnunin þarf að vera í jafnvægi, hafa nægt sementsmagn þ.a. burðarlagið sé nægjanlega sterkt og ending sé fullnægjandi ásamt því að efnið sé nokkuð vatnspétt en efnið má ekki vera of sterkt þannig að aðrar brotmyndir verði í vegbyggingunni.

2.4.3 Framkvæmd sementsbundins burðarlags

Framkvæmdin er eins og henni er lýst í kafla 3.1.1. Þegar verið er að framkvæma CTB er markmiðið að blanda vel saman fylliefni við rétt magn af portland sementi og vatni og hámarka þjöppun. Tryggja þarf að nægilegur raki sé til staðar til þess að sementið hvarfist á meðan efnið er að harðna. Áður en útlögn efnisins hefst skal tryggja að ekki séu veikir blettir í undirbyggingunni sem geta valdið broti upp í CTB lagið. Mikilvægt er að sementi sé dreift jafnt yfir svæðið sem á að styrkja og að þjöppun náist áður en efnið fer að harðna. Í tafla 9 má sjá dæmigerð gildi þegar þurru sementi er dreift á óbundið burðarlagsefni í vegi. 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.

TAFLA 9 Dæmigert sementsmagn dreift á óbundið burðarlagsefni í felti (Helsted o.fl. 2006).

Percent cement by weight		Percent cement by volume	Cement spread requirements in pounds per square yard (kg/m ²) for compacted thicknesses				
115 pcf (1842 kg/m ³)	125 pcf (2002 kg/m ³)		5 in. (125 mm)	6 in. (150 mm)	7 in. (175 mm)	8 in. (200 mm)	9 in. (225 mm)
2.5	2.3	3.0	10.6 (5.7)	12.7 (6.8)	14.8 (7.9)	17.0 (9.1)	19.1 (10.2)
2.9	2.7	3.5	12.4 (6.6)	14.8 (7.9)	17.3 (9.3)	19.8 (10.5)	22.3 (11.9)
3.4	3.1	4.0	14.1 (7.5)	16.9 (9.1)	19.8 (10.5)	22.6 (12.1)	25.5 (13.6)
3.8	3.5	4.5	15.9 (8.5)	19.1 (10.2)	22.2 (11.8)	25.4 (13.6)	28.7 (15.4)
4.2	3.9	5.0	17.6 (9.4)	21.2 (11.3)	24.8 (13.3)	28.2 (15.1)	31.8 (17.0)
4.7	4.3	5.5	19.4 (10.3)	23.3 (12.4)	27.2 (14.6)	31.0 (16.5)	35.0 (18.7)
5.2	4.7	6.0	21.2 (11.3)	25.4 (13.6)	29.6 (15.8)	33.9 (18.1)	38.1 (20.4)
5.6	5.1	6.5	21.9 (11.7)	27.5 (14.7)	32.1 (17.1)	36.6 (19.6)	41.2 (21.9)
6.0	5.6	7.0	24.7 (13.2)	29.6 (15.8)	34.6 (18.5)	39.5 (21.1)	44.4 (23.7)
6.5	6.0	7.5	26.5 (14.2)	31.7 (16.9)	37.0 (19.8)	42.3 (22.5)	47.6 (25.4)
7.0	6.4	8.0	28.2 (15.1)	33.8 (18.0)	39.5 (21.1)	45.1 (24.1)	50.8 (27.2)
7.4	6.9	8.5	30.0 (16.0)	36.0 (19.2)	42.1 (22.4)	48.0 (25.6)	54.2 (28.9)
7.9	7.2	9.0	31.8 (17.0)	38.1 (20.4)	44.6 (23.7)	50.8 (27.2)	57.6 (30.7)
8.4	7.7	9.5	33.5 (17.9)	40.2 (21.5)	47.1 (25.1)	53.6 (28.6)	59.8 (31.9)
8.9	8.2	10.0	35.2 (18.8)	42.3 (22.5)	49.5 (26.5)	56.4 (30.1)	62.0 (33.4)

Til að kanna góða blöndun efnis má grafa prufuholur í styrkta lagið og kanna dreifingu sements og vatns. 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. Eftir þjöppun á lokaafurðin að vera þétt, laus við sprungur, hryggi og laust efni. Nauðsynlegt getur reynst að vökva burðarlagið í allt að 7 daga eftir útlögn eða halda raka að burðarlaginu með öðrum aðferðum t.d. biklagi. Í sumum tilfellum getur reynst nauðsynlegt að saga þverrákir eða samskeyti í CTB.

Leggja skal slitlag á CTB 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. Tryggja skal að burðarlagið sé vel „þrifið“ áður en slitlag er lagt á það.

CTB mun skríða á meðan það er að harðna. Vel hannaðar vegbyggingar og þar sem vel að framkvæmd er staðið ættu sprungur af þessum völdum ekki að hafa áhrif á frammistöðu vegarins. En stórar sprungur í burðarlagi geta leytað upp á yfirborið og orðið til ama ef ekki er brugðist rétt við. En einnig er hægt að framkvæma smásprungur (brotvöltun) eða hafa millilag til að taka upp þessar spennur.

3 FESTUN Á ÍSLANDI

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).

„Bik- eða sementsfestun burðarlags getur verið nauðsynleg ef umferðaralag er mikið á veginum, en kemur einnig til greina ef burðarlagsefnið uppfyllir ekki kröfur um kornadreifingu“ (Vegagerðin, 2017). Festun er ætlað að binda fínefni í burðarlagi, þar sem fínefnainnihald er oft hátt. Steinefni brotnar oft niður vegna umferðaralags og þegar fínefnainnihald burðarlagsins er orðið of hátt verður efnið vatnsdrægt og oft frostnæmt. En einnig má festa burðarlag ef efnisgæði steinefnis er ekki nægjanlega gott (Ingvi Árnason o.fl., 2012). Minnst er á að aðstæður ráða því hvaða aðferð verði fyrir valinu. Ef auka þurfi burð í fínefnasnauðu efni sé rétt að nota bikþeytu og froðubik henti þá fínefnaríkari efnum betur. Sement sé aftur á móti notað þar sem þörf er á sérstaklega sterku burðarlagi. Óháð því hvaða efni sé notað, þ.e.a.s. bikþeyta, froðubik eða sement þurfi að gera prófblöndur til að fá upplýsingar um væntanlega eiginleika bundna efnisins og þar með talið burðarþol en einnig hversu mikið bindiefni þurfi að nota í hverju tilviki fyrir sig. Einnig getur verið ástæða til að kanna aðra eiginleika efnisins s.s. þjöppunareiginleika við mismunandi rakastig (Proctor próf), CBR próf ef frekari upplýsinga er krafist og ef hanna skal vegbygginguna með MEPD (Mechanistic-Empirical Pavement Design) hönnunaraðferðum þarf að framkvæma kvik þrífásapróf. Annars fylgja steinefnaprófanir hefðbundnu ferli skv. leiðbeiningarritum Vegagerðarinnar (Vegagerðin, 2017).

Ef bikblanda skal efni í stöð, skal taka sýni til að mæla bikinnihald, þjappa kjarna og mæla kleyfnibrotþol þeirra, a.m.k. einu sinni í hverju verki. Ef bæta á við sementi í stöð til styrkingar eru tekin sýni, þau þjöppuð í mót og rúmþyngd og þrýstibrotþol eftir 7 daga mælt. Þegar burðarlög eru bundin með biki eða sementi í felti skal taka sýni af efninu til að meta hversu vel blöndun bindiefnis við steinefni hefur tekist sem og magn bindiefnis. Taka skal eitt sýni úr hvorri akrein eftir íblöndun bindiefnis og jöfnunar með hefli en áður en þjöppun fer fram. Þegar efnið er fræst og bikfest skal mæla bikinnihald og blöndun þess á rannsóknarstofu. Einnig skal þjappa kjarna úr hluta af sýnum og mæla kleyfnibrotþol, til þess að hægt sé að meta líklegan styrk burðarlagsins. Sérstaklega skal fylgjast með gæðum froðubiks. Þegar sementi er blandað við burðarlagsefni skal steypa kjarna úr sýninu og kanna þrýstibrotþol sýnisins eftir 7 daga hörðnun (Vegagerðin, 2017). Þegar burðarþol vegbygginga er reiknað er oft notast við

álagsdreifingarstuðul. Álagsdreifingarstuðullinn fyrir bikfest burðarlag er oft milli 1,5 og 1,75 en fyrir sementsbundið efni má reikna með 2,25 (Vegagerðin, 2013).

Í framkvæmd festunnar verkefna þarf að passa að fræsa ekki niður í styrktarlagið ef í því eru stærri staksteinar. Það getur skemmt tennur í fræsaranum og vandamál komið upp við jöfnun og þéttleika yfirborðsins. Einnig geta rákir og hreiður myndast ef massinn er of grófur.

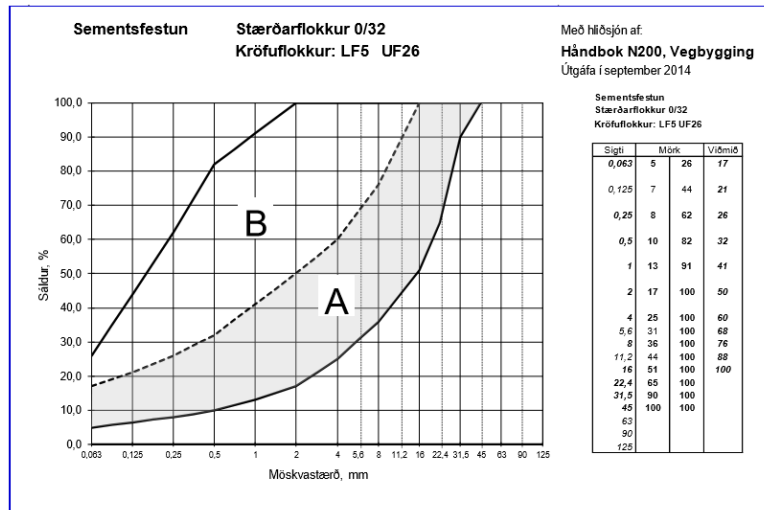
Vegna verðs á biki hefur sementsfestun verið hagkvæmasta festunaraðferðin undanfarin ár. Bik hefur verið í kringum 4 sinnum dýrara heldur en sement. Þrátt fyrir hærri prósentu sements, oft í kringum 5,5%, miðað við bik, sem er oft í kringum 3,8%, er festun með sementi ódýrari heldur en festun með biki (Ingvi Árnason, 2017).

Þegar ákvörðun er tekin um að styrkja veg er einkum litið til breiddar vegarins, aflögun (deformation) og falllóðsmælinga. Ef breidd vegarins er í lágmarki þá hefur reynst vel að styrkja veginn og þá um leið axlir vegarins. Ef vegurinn er orðinn mjög aflagaður og / eða falllóðsmælingar sýna miklar niðurbeygjur er vegur styrktur um leið og hann er þurrfræstur. Kostnaður við styrkingu er talin það lár að það borgi sig að styrkja um leið og hann er lagfærður. Árið 2017 er kostnaður við styrkingu með sementi um 3100 kr/m² en um 2200 kr/m² ef einungis er þurrfræst og jafnað, innfalið í báðum verðum er lögn tvöfaldrar klæðingar.

Þegar vegur er sementsstyrktur verður að hafa í huga að erfitt er að gera endurbætur á veginum seinna meir. Ekki er hægt að þurrfræsa sementsstyrkt burðarlag, þ.a. ef fyrirhuguð er breikkun eða aðrar vegbætur þá er ekki mælt með því að sementsstyrkja. Einnig ber að varast að ef mikil hreyfing er á vegbyggingunni, undirlag óstöðugt er ekki mælt með sementsstyrkingu þar sem burðarlagið missir sveigjanleika sinn.

3.1 Sementsfestun

Sementsbundin burðarlög eru yfirleitt notuð á umferðarmikla vegi. Hér á landi hefur hún verið meira notuð til þess að styrkja eldri burðarlög en er þó þekkt í nýjum burðarlögum. Hægt er að framkvæma sementsfestun með tvennum hætti, annars vegar að fræsa, dreifa bindiefni, blanda, vökva, þjappa og aðhlúun eða að keyra burðarlagsefnið í gegnum steypustöð blanda það sementi og leggja með malbikunarvél (Njörður Tryggvason, 1996). Hérna verður ekki frekar fjallað um síðari kostinn þar sem hann er minna notaður og ekki eins æskilegur í viðhaldsverkefnum. Sementsfestun virðist hafa reynst vel á Íslandi og aðlagar hún sig vel að þeim miklu sveiflum sem geta orðið í raka og kornadreifingu festulagsins, en hægt er að mæta sveiflunum með breyttu sementsmagni og raka á staðnum.



MYND 7 Marklínur fyrir sementsfest burðarlög (Vegagerðin, 2017).

Eftirfarandi kröfur eru gerðar til sementsbundinna burðarlaga (Vegagerðin, 2017). Æskileg kornadreifing fyrir steinefni sem á að sementsbinda er sýnd á mynd 7. 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. Mikilvægt er að gera prófblöndur með því steinefni sem á að festa hverju sinni til ákvörðunar á sementsmagni. Vatns/sements- tala efnisins skal vera $0,8-1,0 \pm 0,2\%$ og 7 daga brotstyrkur sýna $5 \pm 0,8$ MPa (síválingar 150 mm í þvermál og 150 mm að hæð). Sementsbundin burðarlög skulu ná þjöppun sem samsvarar mældri rúmþyngd með geislaðri 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 fræslu og festun skal ekki hafa meira frávik en ± 1 kg/m². Þessar kröfur svipar mjög til þeirra krafna sem settar eru fram í N200 handbókinni í Noregi (Statens vegvesen, 2014a).

Sementsmagn í framkvæmdum sem þegar hafa verið gerðar á Íslandi virðast vera nokkuð stöðugar eins og sjá má í (Njörður Tryggvason, 1996b; Vegagerðin, 2015 & 2016, Guðmundur I. Waage, 2011):

TAFLA 10 Sementsmagn í nokkrum sementsfestunum framkvæmdum.

STAÐSETNING, VEGUR	FESTUNNAR ÁR	ÞYKKT FESTUNNAR	SEMENTSMAGN	SKILGREINT ÞRÝSTIÞOL
Langidalur	1996	150 mm	19 kg/m ²	7 daga ≥ 5 MPa
Víðidalur	2010	150 mm	16,7 kg/m ² 5% sement af þurri rúmþyngd burðarlags	-
Hörgárdalur	2010	150 mm	19,5 kg/m ² Áætlað 18,4 kg/m ² , 5,5% sement af þurri rúmþyngd burðarlags	-
Hringvegur 1-h0	2015	170 mm	21 kg/m ²	28 daga ≥ 7 MPa
Barðastrandavegur	2016	170 mm	21 kg/m ²	28 daga ≥ 7 MPa
Reykjadalur og Vatnsskarð	2017	170 mm 200 mm	21 kg/m ² 24 kg/m ²	28 daga ≥ 7 MPa

3.1.1 Framkvæmd sementsfestunnar

Við styrkingu núverandi vega er einn möguleikinn að sementsfesta burðarlag vegarins og auka þannig styrk þess. Áður en verkið hefst er nauðsynlegt að framkvæma grunnrannsóknir á efninu sem skal festa. Taka skal sýni úr veginum á 500-700 metra bili, kanna þarf kornakúrfu efnisins og ákvarða hagstæðasta rakastig og sementsmagn til þess að óskaður styrkur náist. Framkvæmd sementsfestunar í núverandi vegi má skipta upp í 6 skref en sjöunda skrefið eru rannsóknir og prófanir (Einar Gíslason o.fl. 2013).

Þurrfræsing – núverandi vegur er þurrfræstur og steinefni bætt við ef þurfa þykir. 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 (mynd 8).



MYND 8 Þurrfræsing er fyrsta skref sementsfestunnar

Blöndun – sementi er dreyft jafnt yfir veginn og strax í kjölfarið er efninu blandað saman með fræsun og það vökvað (mynd 9).



MYND 9 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 10).



MYND 10 Heflun efnisins um leið og blöndun þess er lokið

Völtun – hefja skal völtun með stáltromluvaltara um leið og hefillinn hefur rifið upp efnið.

Brotvöltun – Um það bil 24-48 klst eftir íblöðun steinefnis og sements skal brotvalta veginn með a.m.k. 10 tonna þungum vibravalta.

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.

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).

Froðubik og bikþeyta hafa verið notuð og grunnbik með mismunandi stífleika prófaðar (Þórir Ingason o.fl. 2000).

Þórir Ingason o.fl. (2000) skoðuðu valda kafla sem höfðu verið festir með biki, og síðan var gert rannsóknarverkefni með bikþeytu og froðubik á Ólafsfjarðarvegi (Þórir Ingason, 2004). Eftirfarandi niðurstöður eru skráðar:

- Ef vegur er fræstur upp og festur ætti lágmarks festunarþykkt að vera 10 cm.
- Ekki var hægt að greina afgerandi mun á milli aðferða, en mismun er hægt að finna milli mismunandi landsvæða. Talið er að mismunandi steinefnagerð ráði þar mestu frekar en tegund bindiefnis.
- Sjónrænt mat greinir ekki mun á froðubiki eða bikþeytu í fræsingum og festunum eða blöndun í námu. Froðubik krafðist minna umstangs í framleiðslu, en það hefur breyst. Ráðlagt var að hanna bikþeytuna fyrir hvert fræsingar verkefni þar sem mismunandi steinefni kallaði á

mismunandi gerðir bikþeytu. Ný ýruefni fyrir bikþeytur hafa leyst þetta vandamál og gengur sama bikþeytan fyrir mismunandi steinefnagerðir.

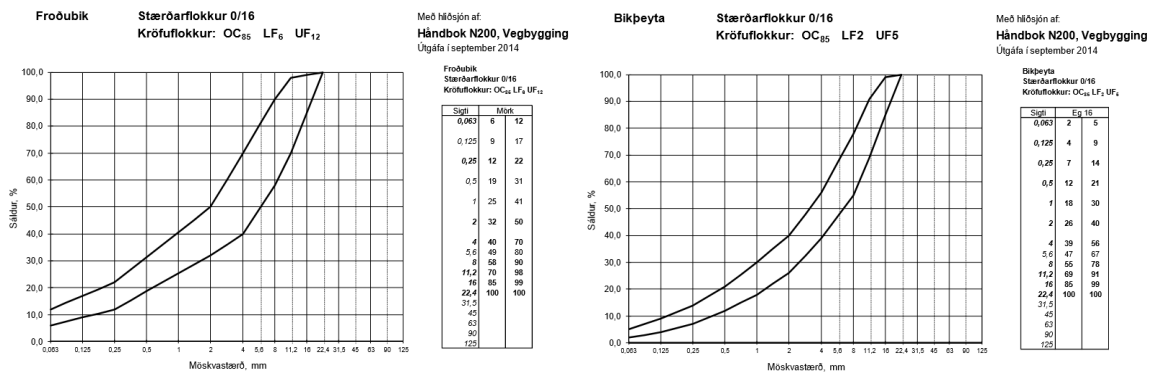
- Sjónrænt mat greinir ekki mun á mjúku eða stífu grunnbiki í bikþeytur og froðubik. Ef burðarlagsefni er blandað í námu og síðan lagt út, er heppilegra að nota mjúkt grunnbik þar sem geyma þarf efnið eftir blöndun áður en það er lagt.
- Froðubikskafar virðist þurfa meiri völtun heldur en bikþeytukafar. Reynt er að loka yfirborði og pumpast fínefni upp með valtanum þar sem froðubik var notað.
- Nokkur aðskilnaður var í efninu þegar froðubik var notað á meðan bikþeytan sýndi ekki aðskilnað. Efnið sem verið var að styrkja var sand og fínefnaríkt með töluvert af hnefastórum steinum.
- Minni blöndun virtist vera í efri hluta þverhalla miðað við neðri hlutann.
- Bikþeyta hentar fyrir fínefnasnauðara efni heldur en froðubik. Talið er að froðubik þurfi ákveðið magn fínefnis til að tryggja dreifingu bindiefnisins.
- Bikfestun hjálpar á þááttíma í samanburði við óbundið burðarlag. Froðubik virðist ekki vera eins næmt fyrir árstíðasveiflum og bikþeyta, jafnvel allt að 5 árum eftir útlögn.
- Burðarþol bikfesta burðarlaga er „lítið“ strax eftir byggingu, burðarþolið eykst svo árið eftir og heldur sér. Styrkur er talin nást fyrir með bikþeytu borið saman við froðubik, sérstaklega ef lagt er seint að sumri eða hausti.
- Stíft grunnbik mælist hærra í burðarþoli en munurinn er ekki tölfræðilega marktækur.
- Kleyfnibrotþol bikþeytu með minna bikinnihaldi var lægra heldur en með meira bikinnihaldi en burðarþol kaflanna reynist vera svipað. Ekki er samræmi á milli þessara stuðla.
- Við lagningu biksmygins púkkis með malbiksvél reyndist erfitt að fá lang- og þversamskeyti góð. Einnig þoldi efnið 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. Ekki hefur gengið að leggja púkk sem styrkingarlag með hefli.
- Bikfestun er viðkvæm fyrir rigningu við útlögn.
- Þegar bikþeyta er notuð er mikilvægt að kanna rakastig efnisins, ef það er of hátt getur verið erfitt að festa það með bikþeytu vegna þess að aukavatnið sem kemur með henni getur valdið því að efnið verði óstöðugt. Það má heldur ekki vera of lítið vatn því þá vill bikþeytan „brotna“ of fljótt (Vegagerðin, 2017).
- Froðubik er talin ódýrari kostur.
- Val milli mismunandi aðferða er hugsanlega tengt aðstæðum hverju sinni og samanburði á kostnaði.

Á mynd 11 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. Fylgst er með þjöppun bikbundins burðarlags með geilsamæli eða þjöppunarmæli 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

fræsingu og festun skal frávikið 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).

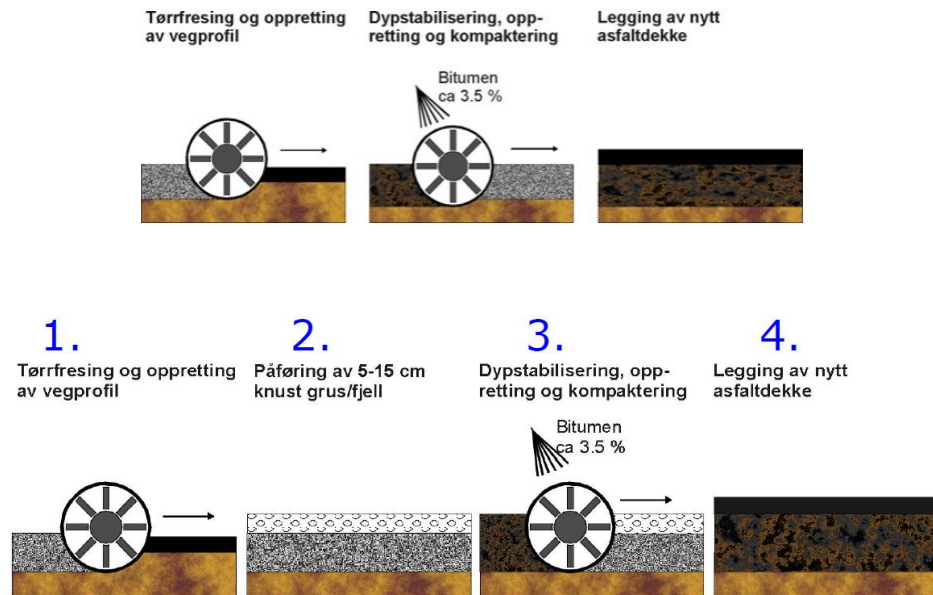


MYND 11 Markalínur steinefnis (leiðbeinandi) fyrir froðumalbik og bikþeytu blandað í námu (Vegagerðin, 2017).

3.2.1 Framkvæmd bikfestunnar

Framkvæmd bikfestunnar svipar mjög til festunar með sementi. Fyrst er efnið fræst, síðan blandað bindiefnum og vegurinn síðan jafnaður með veghefli og valtaður. Aðferðafræðin á Íslandi svipar til norsku aðferðarinnar sem er sýnd á mynd 12. Nokkur atriði varðandi bikþeytur og froðubik sem Ingvi Árnason (2017) benti á :

- **Froðubik**
 - Blöndun byggir á háaum hita biks (180°C).
 - Vatni/lofti er blandið við bikið undir þrýstingi þ.a. þegar bikinu er sprautað út þá freyðir það og margfaldar rúmmál sitt.
 - Þegar bikinu er sprautað er það þunnt og gefur góða viðloðun við fínkorna efni, en grófari hluti efnisins tekur minna til sín af biki.
 - Efnið er laust við vatnsdrægni.
 - Efnið er meðfærilegt í vinnslu og yfirborðsáferð jafnan góð.
 - Klæðingum hættir til að blæða, yfirborðið er mjúkt og þess vegna hættir steinefni úr klæðingunni til að ganga niður í undirlagið við mikið álag þunga bíla.
- **Bikþeyta**
 - Bikið er „kalt“ eða um 60-70°C.
 - Auðvelt í blöndun og jöfn dreifing biksins um steinefnið, yfirleitt öll korn vel þakin.
 - Efnið er auðvelt í meðhöndlun fyrst eftir blöndun en verður óþjálá með tímanum.
 - Ef riggnir ofan í bikþeytumöl á meðan á framkvæmd stendur, þarf að loka svæðinu fyrir umferð eða hylja yfirborðið með mól, annars verða bílar þaktir biki.
 - Bikþeytan er dýrari heldur en froðubikið.



MYND 12 Framkvæmd bikfestunnar í Noregi (Refsdal, 2007)

Best er að framkvæma bikfestun fyrri hluta sumars. Aukavatn sem er í blöndunni fær þá tækifæri til þess að komast í burtu, annars er hættu 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 hleypa mikilli umferð á óvarið burðarlag einkum ef rignir (Vegagerðin, 2017; Þórir Ingason o.fl. 2000).

4 ATHUGUNARSTAÐIR

Í verkefninu voru nokkrir staðir skoðaðir sérstaklega þar sem ástæða þótti til og er hér að neðan stutt samantekt á niðurstöðum þeirra athuganna. En auk þessara kafla voru falllódsmælingar skoðaðar fyrir fleiri vegspotta. Þessir vegkaflar eru ýmist sementsstyrktir, bikfestir eða endurbyggðir að hluta með óbundnu burðarlagi.

4.1 Sementsfestun

4.1.1 Norðurland vegir 1-k6, 1-k7 og 1-p3/4, sumarið 2010

Í Víðidal og Hörgárdal var burðarlagið sementsfest sumarið 2010. Í Víðidal (1-k6, 1-k7) var notað 5% sement á meðan 5,5% voru notuð í Hörgárdal (1-p3, 1-p4). Til eru kjarnar úr festuninni sem hafa verið prófaðir sem og falllódsmælingar fyrir og eftir festun. Framkvæmd festuninnar er tekin saman í skýrslu Guðmundar I. Waage (2011) og er stutt samantekt hér að neðan. Í verkefninu gátu bjóðendur valið um notkun biks eða sements til styrkingar vegna hás verð var á biki.

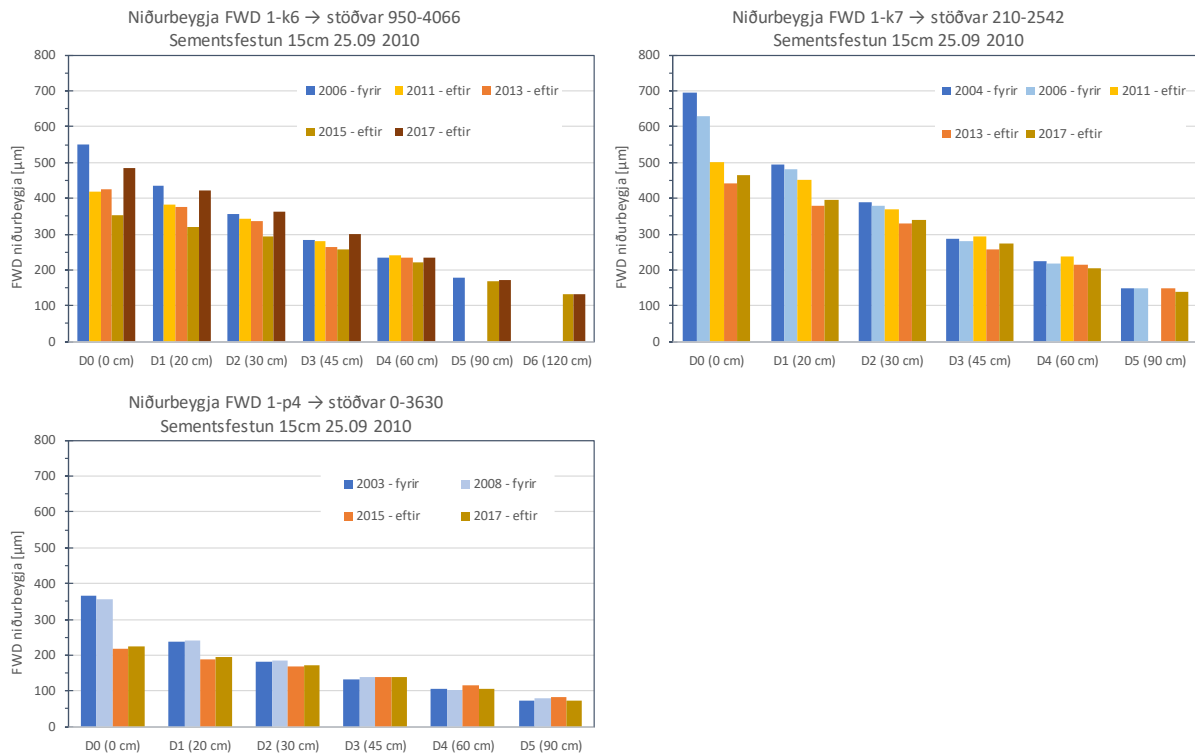
TAFLA 11 Vegkaflar sem voru sementsfestir sumarið 2010

	SEMENTSMAGN	LÝSING*	B-GILDI* [TONN]	NIÐURBEYGJUR FWD [µM]			
				FYRIR		EFTIR	
				0 CM	20 CM	0 CM	20 CM
1-K6, ST. 950-4066	5-5,5% (áætlað 16,7 kg/m ²)	Mjög illa farinn, bæði sprunginn og ósléttur	11,8-16,4	550	430	~ 420	~ 375
1-K7, ST. 210-2542	5-5,5% (áætlað 16,7 kg/m ²) Milli stöðva 600-760 → 3% sement	Nokkuð sprunginn og mjög ósléttur að hluta	11,7	~ 660	~ 490	~ 470	~ 410
1-P4, ST. 0-3630	5,5% (áætlað 18,4 kg/m ² – raun 19,5 kg/m ²)	Nokkuð sprunginn og ósléttur	15,5	~ 360	~ 240	~ 220	~ 190

* Guðmundar I. Waage (2011)

Bundið slitlag var lagt á vegina 1984-1985, en vegkaflarnir voru farnir að láta verulega á sjá eins og sjá má í tafla 11. Falllódsmælingar voru ekki taldar endurspeglar veikleika vegbygginganna þar sem veikleikinn var talinn vera vatnsdrægni efra burðarlagsins, sem bar ekki umferðina á þáttímum.

Afvötnun veganna var ekki góð, malaraxlir og skemmdir á köntum sem héldu vatni á veginum. Athyglisvert er að sjá hversu breytileg niðurbeygjan er á vegspottunum (mynd 13), en mælda niðurbeygjan undir miðju falllóðsins var allt frá 360 μm í 1-p4 í 660 μm í 1-k7. Hins vegar lækkaði niðurbeygjan álíka mikið fyrir öll tilföllin eða milli 130 – 190 μm og virtist upphafs niðurbeygjan hafa lítil áhrif þar á. Sambærileg þróun er í D1 (20 cm frá miðju falllóðsins), en þar er mælda niðurbeygjan frá 240-490 μm fyrir styrkingu og minnkar niðurbeygjan um 50-80 μm við styrkinguna. Niðurbeygjur neðar í vegbyggingunni minnka lítillega eða standa í stað við styrkinguna.



MYND 13 Mæld niðurbeygja með falllóði fyrir og eftir sementsbindingu sumarið 2010. D0 er beint undir álaginu og D5, 90 cm frá falllóðinu.

Eftir forrannsóknir var ákveðið að nota 5-5,5% sement í vegspotta 1-k6 og 1-k7 við 7,5-8% raka í efninu. Sementsfestunin var 15 cm þykk og sementsmagnið 16,7 kg/m² m.v. 5% sementsmagn í Víðidal (1-k6 sementsmagn 3% fram yfir fræðilegt magn). Í kafla 1-k7 stöð 600-760 var notað 3% sement, ekki sést merkjanlegur munur á milli þessara kafla og annarra í 1-k7 fljótlega eftir útlögn að öðru leyti en því að ekki náðust upp heilir kjarnar úr vegspottanum. Í Hörgárdal var hins vegar notað 5,5% sement sem fræðilega gefur 18,4 kg/m² en heldur meira sement fór í veginn eða 19,5 kg/m². Megin ástæða aukins sementsmagns í Hörgárdal, var til að draga úr holumyndun á yfirborði. Ef rignir á fest burðarlag holar umferð burðarlagið, jafnvel nokkra daga eftir útlögn.

Fláar voru malarefni, en frekar fíngert og sandríkt í 1-k7, á meðan efra burðarlagsefnið reyndist vera klessulegt og fínefnaríkt. Mun minna fínefni var í burðarlagsefninu í Hörgárdal heldur en í Víðidal.

Nokkur vandræði voru með sementsdreifarann sem notaður var í verkinu (Bomag 12000), og dreifing sements því stundum ójöfn og erfitt að staðfesta nákvæmt magn sements á ákveðnum stöðum. Brotvöltun var framkvæmd seinna en 24-30 klst eftir framkvæmd eins og tilgreint var í útboðsgögnum.

Steyptir voru 7 sívalningar úr efninu með 7 daga styrk upp á 4,91 – 8,95 MPa. Fljótlega eftir útlögn náðust ekki upp heillegir kjarnar en hálfu ári eftir útlögn voru teknir 30 kjarnar og þar af voru 20 brotnir. Brotþolið var frá 4 MPa upp í 25 MPa, kjarninn með lægsta styrkinn var einnig léttastur sem bendir til lélegrar þjöppunnar og stórir steinar virtust hafa áhrif á styrkinn. Meðaltal kjarna úr Hörgárdal var 13,2 MPa eða um tvisvar sinnum meiri heldur en kjarna úr Víðidal þar sem notað var 5% sement.

- 1-k6, 6 kjarnar brotnir með brotþol 5; 5; 8; 7; 9 og 4 MPa eða 6,3 MPa að meðaltali
- 1-k7, 4 kjarnar brotnir með brotþol 4; 6; 5 og 13 MPa eða 7 MPa að meðaltali
- 1-p3 / 4, 10 kjarnar brotnir með brotþol 25; 9; 8; 18; 7; 11; 19; 13; 8 og 14 MPa eða 13,2 MPa að meðaltali

Þegar falllóðsmælingar af þessum vegarköflum eru skoðaðar (mynd 14), eykst yfirborðsstífnin í öllum tilfellum við festunina og eykst hún mest í 1-p4 þar sem sementsmagnið var heldur meira. Þegar SCI stuðullinn sem mælir niðurbeygju vegbyggingarinnar á efstu 30 cm er skoðaður, eru vegir 1-k6 og 1-p3 á svipuðu róli á meðan 1-k7 hefur heldur meiri niðurbeygju. Mæld niðurbeygja BDI á milli 30 og 60 cm, fer heldur lækandi og BCI á milli 60 og 90 cm virðist stand nokkuð í stað.



MYND 14 Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir og eftir sementsbindingu sumarið 2010.

4.1.2 Borgarfjörður, sumarið 2015

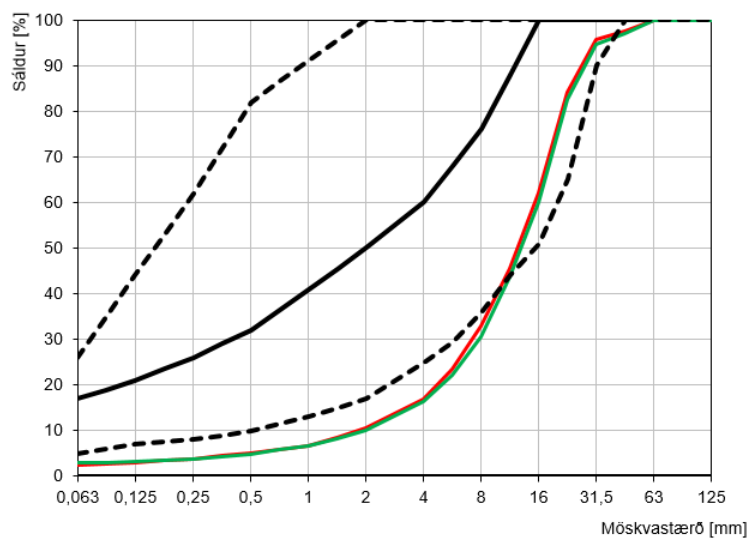
Inní Borgarfirði við Gljúfurá (1-g9/1-h0 stöðvar 8.370-9.120/0-2.940) var tæplega 4 km vegkafli sementsstyrktur sumarið 2015, mynd 15. Til að kanna áhrif styrkingarinnar var vegurinn falllóðsmældur fyrir og eftir styrkingu en einnig voru tekin sýni úr veginum til þess að hægt væri að bera eiginleika steinefnisins við þá eiginlega sem taldir eru æskilegir samkvæmd leiðbeiningarritum Vegagerðarinnar. Gerð var kornakúrfa, brothlutfall og kleyfnistuðul metin og Los Angeles próf

framkvæmt. Þrír kjarnar voru sementsbundnir og brotstyrkur þeirra mældur þannig að hægt væri að bera styrkinn saman við kjarna sem teknir voru úr veginum.



MYND 15 Sementsfestun burðarlags í Borgarfirði

Tvær kornakúrfur voru fengnar úr tveimur sýnum, annað tekið við brúnna við Gljúfurá og hitt fyrir ofan afleggjarann að Munaðarneslandi. Þessar tvær kornakúrfur eru settar inná viðmiðunar kornakúrfur Vegagerðarinnar (mynd 16). Töluvert vantaði upp á fínefninnihald burðarlagsins sem var sementsbundið, en þrátt fyrir að kornakúrfurnar samræmist ekki viðmiðunarkúrfunni sýna falllóðsmælingar greinilega styrkingu við sementsfestunina.



MYND 16 Viðmiðunarkornakúrfur Vegagerðarinnar ásamt kornakúrfum við Gljúfurá (rauð) og Munaðarnesland (græn).

Efniseiginleikar burðarlagefnisins var gott (tafla 12 og tafla 13). LA-gildi og kleyfni efnisins stent ströngustu kröfur Vegagerðarinnar en hluti brotins efnis var einungis 80% en mjög lítil hluti efnisins var alnúinn.

TAFLA 12 Efnisstuðlar á efni undan fræsara í Borgarfirði

	LA-GILDI	KLEYFNI
BORGARFJÖRÐUR	13,5	16

TAFLA 13 Brothlutfall efnisins sem var sementsstyrkt

KORNASTÆRÐARBIL [mm]	HLUTFALL HEILDARSÝNIS [%]	C _c – HLUTI BROTINS EFNIS [%]	C _{TR} – HLUTI ALRÚNNNAÐS EFNIS [%]
4-8	15,9	88	2
8-16	29,2	73	2
16-32	33,7	82	1
Brotstig, vegið meðaltal	-	80	1

Þrjár kjarnar voru byggðir upp með 7% raka, 5% sementsmagni og 96% proctor þjöppun til að kanna brotstyrk þeirra, en samkvæmt útboðsgögnum átti brotstyrkurinn að vera að lágmarki 7 MPa en í leiðbeiningarriti Vegagerðarinnar er miðað við 5 MPa lágmarksstyrk. Niðurstöður prófanna voru langt undir mörkum, en líklegt er að kenna megi um of háu vatnsinnihald og líttlu fínefni. Niðurstöður prófanna má sjá í tafla 14, en brotþol kjarnanna var einungis um 3 MPa.

TAFLA 14 Brotþol uppbyggðra kjarna

	BROTÞOL [MPA]	ATHUGASEMDIR
KJARNI 1	2,39	Kjarni ekki þéttur og ekki talin gefa góða mynd af brotstyrknum
KJARNI 2	3,09	
KJARNI 3	3,06	

TAFLA 15 Brotþol kjarna sem teknir voru úr Borgarfjarðarbraut

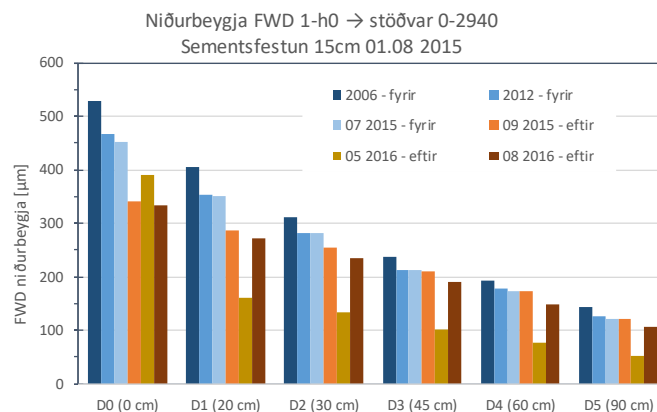
	STÖÐ	HÆÐ / ÞVERMÁL	LEIÐRÉTTINGARSTUÐULL	BROTÞOL [MPA]
KJARNI 1	G9-8620 / HK	1,56	0,96	5,27
KJARNI 2A	G9-9118 / VK	1,90	0,99	4,43
KJARNI 2B	G9-9118 / VK	1,09	0,89	5,75
KJARNI 3	H0-496 / HK	2,25	1,00	5,14
KJARNI 4	H0-999 / VK	2,16	1,00	7,18
KJARNI 5	H0-1501 / HK		Ónothæfur, kom brotinn upp	
KJARNI 6	H0-2023 / VK	1,78	0,98	4,67

Borkjarnar (mynd 17) voru teknir úr veginum á 6 stöðum og þeir brotnir á Nýsköpunarmiðstöð Íslands (NMI), niðurstöður prófananna má sjá í tafla 15. Á einum stað, kjarni 5, komu sýnin brotin upp. Tveir kjarnar voru teknir á tókustað 2, annar 80 mm í þvermál og hinn 144 mm til að meta áhrif hlutfallsins milli hæðar og þvermáls sýnis á styrkinn. Breiðari kjarninn 2b hefur meiri styrk heldur en grennri kjarninn 2a, sem gefur til kynna að lægri hæð / þvermál stuðul gefi meiri styrk eins og við mátti búast. Meðaltals brotþol allra þessara kjarna er 5,4 MPa sem er töluvert lægra heldur en lágmarksstyrkur sem kveðið er á um í útboðsgögnum og leiðbeiningarriti Vegagerðarinnar upp á 7 MPa. Aðeins kjarni 4 nær tilskildum styrk. Kornakúrfa efnisins var fínefnasauð (mynd 16) og því hætta á því að sementið myndi ekki bindast fylliefninu eins og til var ætlast. Við úrvinnslu falllóðsmælinga sést að styrkur vegarins jókst samt sem áður við sementsbindinguna, en kannski ekki eins mikið og vonast var eftir.



MYND 17 Kjarnar úr sementsfestun í Borgarfirði

Niðurbeygjur úr falllóðsmælingum af vegi 1-h0 er sýnd á mynd 18. Mælingar voru gerðar á veginum í maí 2016, líklega hefur frost ekki verið farið úr veginum á þessum tíma og þess vegna er niðurbeygja efsta lagsins hærrí heldur en neðar í veginum þar sem frost er enn í veginum. Mælingarnar eru sýndar á myndinni en ekki er tekið tillit til þeirra í frekari úrvinnslu.



MYND 18 Mæld niðurbeygja falllóðsmælinga fyrir og eftir sementsbindingu sumarið 2015. D0 er beint undir álaginu og D5, 90 cm frá falllóðinu.

Helstu niðurstöður falllóðsmælinganna voru:

- Það dregur úr niðurbeygjum, mest næst falllóðinu eða efst í vegbyggingunni en minna eftir því sem neðar eða fjær falllóðinu er farið.
- Yfirborðsstífnin jókst úr 427 í 610 MPa við festun burðarlagsins eða um fjórðung. Á þáátíma má sjá minni stífni vegbyggingarinnar en stífnin er samt sem áður meiri heldur en hún var fyrir styrkingu. Hin aukna stífni ætti að dreifa álaginu betur niður á undirlagið og lágmarkar þannig skaða sem þáátíminn veldur.
- Burðargildi, B , var í kringum 19 áður en vegurinn var endurbættur, og hækkaði upp í 28 eftir sementsfestun burðarlagsins.

- K-gildið var í kringum 4,5 fyrir endurbætur en var um 6,0 sumarið eftir festun. Skv. Norðmönnum ætti veikleiki vegbyggingarinnar að liggja í styrktar/undirlaginu ef stuðulinn er hærri en 5, en í burðar/styrktarlaginu ef K er á milli 3 og 5.
- Krappi yfirborðsins, *SCI*, var í kringum 180 fyrir styrkingu en eftir styrkingu hafði niðurbeygjan í efstu 30 cm dottið niður í 100. Þetta er tillölulega mikil niðurbeygja borið saman við aðrar vegbyggingar með sementsfestu burðarlagi.

4.1.3 Barðastrandavegur (62-05), haustið 2016

Á Barðastandavegi (62-05, st. 6.776-10.520 / 11.895-12.200) um 4 km leið (mynd 19), var vegurinn þurrfræstur, festur með sementi og hæðarlega og þverhalli aðlagðir haustið 2016. Að lokum var lögð tvöföld klæðing á veginn. Verkinu átti að ljúka fyrir 1.september 2016 en einhverjar tafir urðu á því að verkið kláraðist. Vegna þessa náðist ekki að taka kjarna úr festuninni né heldur að falllóðsmæla haustið 2016, en hvoru tveggja var framkvæmt sumarið 2017. Verktaka láðist að láta rannsakendur vita um fyrirætlanir sínar þ.a. ekki náðist að taka sýni úr veginum til að fá kornakúrfu og aðra efniseiginleika efnisins.



MYND 19 Sementsfestun við Patreksfjörð sumarið/haustið 2016

Þar sem bæta þurfti við efni var notað afréttingarefni 0/25 mm í námunni ofan Kleifabúa (20380). Breidd festunnar var 5,8 m og þykktin 150 mm. Viðbótar burðarlagsefni var áætlað um 200 m³ fyrir fyrri 3744 metra langa kaflann og 100 m³ fyrir seinni 305 metrana. Breidd klæðingar var 6,0 m. Um hefðbundna framkvæmd var að ræða þar sem semetsmagnið var áætlað sem 21 kg/m² fyrir 170 mm þykkt festunar og 24 kg/m² fyrir 200 mm þykkt. Gert er ráð fyrir að lágmarks brotþol sýna sé 7 MPa eftir 28 daga. Viðbótar steinefni uppfyllir kröfur til efra burðarlagsefnis til sementsfestunar. Rakastig burðarlagsins skal vera 1-2% undir hagstæðasta rakastigi sem gert er ráð fyrir að sé 6-8%.

TAFLA 16 Brotþol kjarna sem teknir voru úr Barðastrandavegi

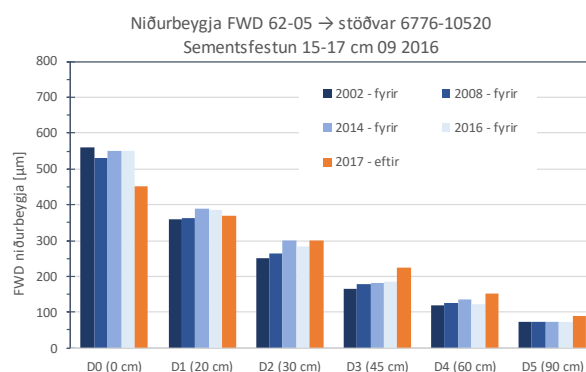
	STÖÐ	HÆÐ [CM]	LEIÐRÉTTINGARSTUÐULL	BROTÞOL [MPA]
KJARNI 1	6958 / HK	13	0,91	7,7
KJARNI 2	7917 / HK	16	0,92	8,6
KJARNI 3	8964 / HK	11	0,88	9,8
KJARNI 4	8908 / HK	13	0,87	14,6
KJARNI 5	10349 / VK	16	0,92	5,9
KJARNI 6	9373 / VK	14	0,94	8,8
KJARNI 7	8339 / VK	12	0,94	8,7
KJARNI 8	7285 / VK		Kjarni kom ekki upp	

Borkjarnar (mynd 20) voru teknir úr veginum á 8 stöðum og þeir brotnir á NMÍ, niðurstöður prófananna má sjá í tafla 16. Kjarni 8 kom brotinn upp en aðrir kjarnar voru heillegir og hægt að mæla brotþol þeirra. Meðaltals brotþol allra þessara kjarna er 9,2 MPa sem er hærra heldur en viðmiðunarmarkið 7 MPa uppgafið í útboðsgögnum.



MYND 20 Kjarnar úr sementsfestun á Barðastrandarvegi

Vegurinn var styrktur í september 2016, sem verður að teljast frekar seint, en falllóðsmælingar voru framkvæmdar á sumarsólstöðum 21.júní 2017.



MYND 21 Mæld niðurbeygja falllóðsmælinga fyrir og eftir sementsbindingu haustið 2016. D0 er beint undir álaginu og D5, 90 cm frá falllóðinu.

Niðurstöður falllóðsmælinga sýna eftirfarandi:

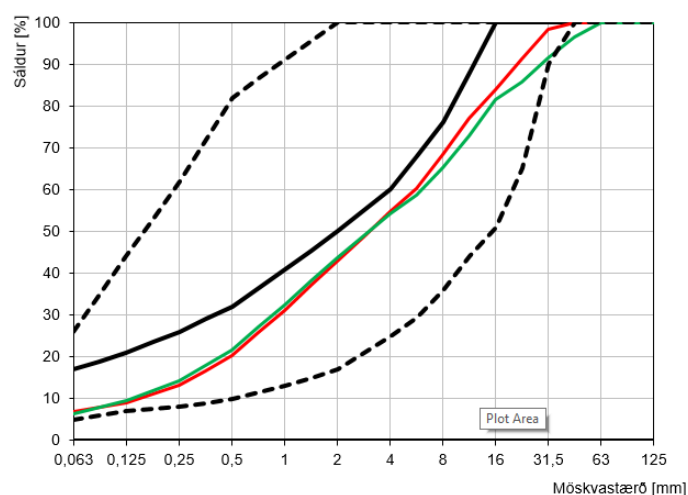
- Yfirborðsstífnin hafði haldist stöðug í kringum 360 MPa frá árinu 2002 til 2016. Við sementsstyrkinguna jókst stífnin um 20% og mældist 460 MPa í júní 2017.

- Burðarstuðullinn, *B*, jókst um 36% fór úr 16-17 upp í 25 en eins og með yfirborðsstífnina hafði burðarstuðullinn haldist stöðugur á milli ára. Eins og áður er stuðullinn háður árdagsumferð þungra bíla ($\dot{A}DU_p$), og reiknast þess vegna frekar hár þar sem þungaumferð um Barðastrandaveg er ekki mikill borin saman við vegi í Noregi þaðan sem stuðullinn kemur.
- *K* - gildi fyrir styrkingu hafði haldist stöðugt í kringum 3,2-3,4 fyrir festun burðarlagsins en við festunina jókst *K*-gildið upp í 6,6. Það gefur til kynna að veikleiki vegbyggingarinnar hafi flust úr burðar/styrktarlaginu og niður í styrktar- eða undirlagið skv. norsku skilgreiningunni.
- Krappi yfirborðsins, *SCI*, var í kringum 270 fyrir styrkingu en eftir styrkingu hafði niðurbeygjan í efstu 30 cm dottið niður í 148. Niðurbeygjan efst í vegbyggingunni hafði því minnkað verulega eða um 80%. Þetta er samt sem áður meiri niðurbeygja heldur en aðrar vegbyggingar með sementsstyrkt burðarlag sem skoðaðar hafa verið í þessu verkefni, en *SCI* hefur verið undir 125 og yfirleitt undir 100.

Minni breyting var á öðrum gildum en niðurstöður falllóðsmælinganna má sjá í samantekt og viðauka A hér að neðan.

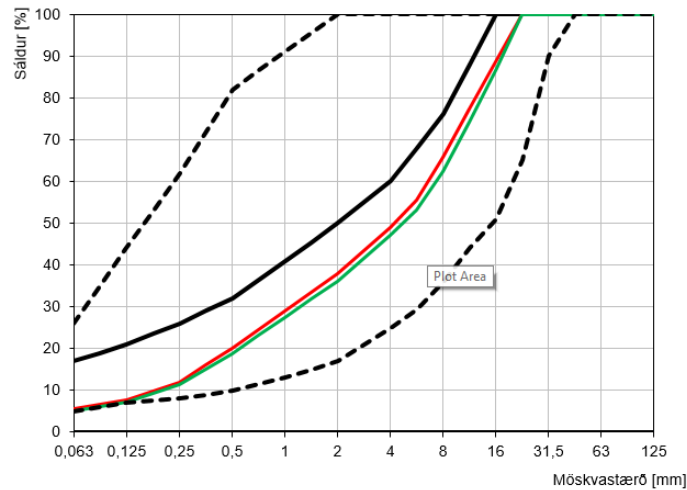
4.1.4 Reykjadalur og Vatnsskarð, haustið 2017

Haustið 2017 var ráðist í sementsfestun í Reykjadal, vegur 1-q8 stöðvar 460-2060, og í Vatnsskarði, vegur 1-m4 stöðvar 5830-8890. Síðustu endurbætur utan klæðingar í Reykjadal voru gerðar sumarið 1987 eða fyrir 30 árum síðan. Í Vatnsskarði var styttra síðan burðarlögin voru endurbætt eða sumrin 1994 og 1989 eða fyrir 23 og 27 árum. Tvö sýni voru tekin undan fræsarnum á báðum stöðum og kornakúrfa tekin. Kornakúrfurnar má sjá á mynd 22 og mynd 23 ásamt markalínunum og viðmiðunarlínu sementsbundins burðarlags í leiðbeiningarriti Vegagerðarinnar (2017). Þegar litið er til efnisins í Reykjadal sést að kornakúrfan sem tekin er í stöð 640 (rauð lína) er innan marka en græna línan er rétt utan við mörkin í stærstu steinunum, en annars fylgjast kúrfurnar vel að. Kornakúrfurnar úr Vatnsskarði hafa minna fínefni og eru á mörkunum að hafa nægjanlegt fínefni til þess að bindast vel, en annars er kúrfan vel innan marka. Í Vatnsskarði var efni úr Finnstungunámu keyrt í burðarlag vegarins.



MYND 22 Kornakúrfur úr tveimur sýnum teknum úr burðarlagi í Reykjadal, rauð lína er í st. 640 og græn lína í st. 1520.

Gerðar voru aðrar efnisprófanir á efninu úr Vatnsskarði, þar sem LA-gildið var kannað, brothlutfallið og kleyfnin (tafla 17). LA gildið sem og kleyfnin eru mjög lág sem gefur til kynna mjög sterkt og gott efni. Brothlutfallið er heldur síðra og uppfyllir ekki kröfur sem vegagerðin gerir í dag, en líklegt er að efnið hafi verið lagt í veginn á árunum 1990 og 1994. Í tafla 17 tákna C_{tc} , hlutfall malar sem er alveg brotið (totally cracked), C_c – hlutfall malar sem er brotið (cracked), C_r – hlutfall malar sem er óbrotin (rounded) og C_{tr} – hlutfall malar sem er alveg óbrotið (totally rounded).



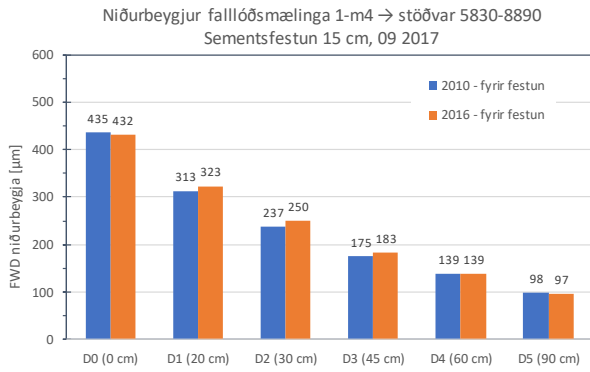
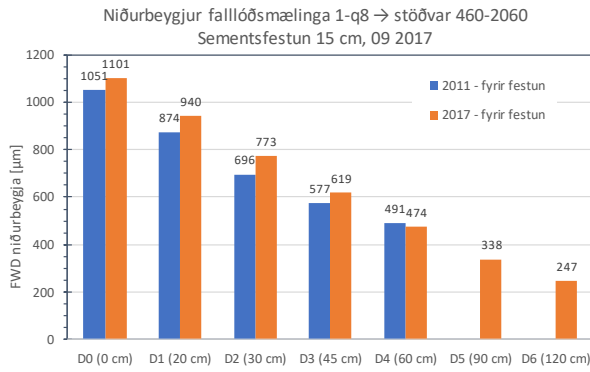
MYND 23 Kornakúrfur úr tveimur sýnum teknum úr burðarlagi í Vatnsskarði, rauð lína er í st. 5880 og græn lína í st. 6160.

TAFLA 17 Efnistuðlar á efni undan fræsara í Vatnsskarði

	LA-GILDI	KLEYFNI	BROTHLUTFALL			
			C_{TC}	C_c	C_r	C_{TR}
VATNSSKARÐ	19,5	7	42%	12%	20%	26%

Falllóðsmælingar af vegaspottunum voru gerðar sumrin 2011 og 2017 fyrir kaflann í Reykjadal og sumrin 2010 og 2016 fyrir vegspottann í Vatnsskarð. Á veginum um Reykjadal (mynd 24) var niðurbeygjan töluverð eða um 1000 μm beint undir falllóðinu í D0 og er niðurbeygjan heldur hækkandi á milli 2011 og 2017. Í Vatnsskarði (mynd 24) var niðurbeygjan minni en í Reykjadal eða rétt undir 500 μm beint undir falllóðinu og nokkuð stöðug milli árána 2010 og 2016. Nýjar falllóðsmælingar verða gerðar sumarið 2018 og verður þá hægt að meta hversu mikið vegurinn hefur styrkst við sementsfestunina.

Þar sem kaflarnir voru sementsfestir í september 2017, náðist ekki að taka kjarna fyrir veturinn, en til stendur að taka kjarna úr vegunum sumarið 2018.

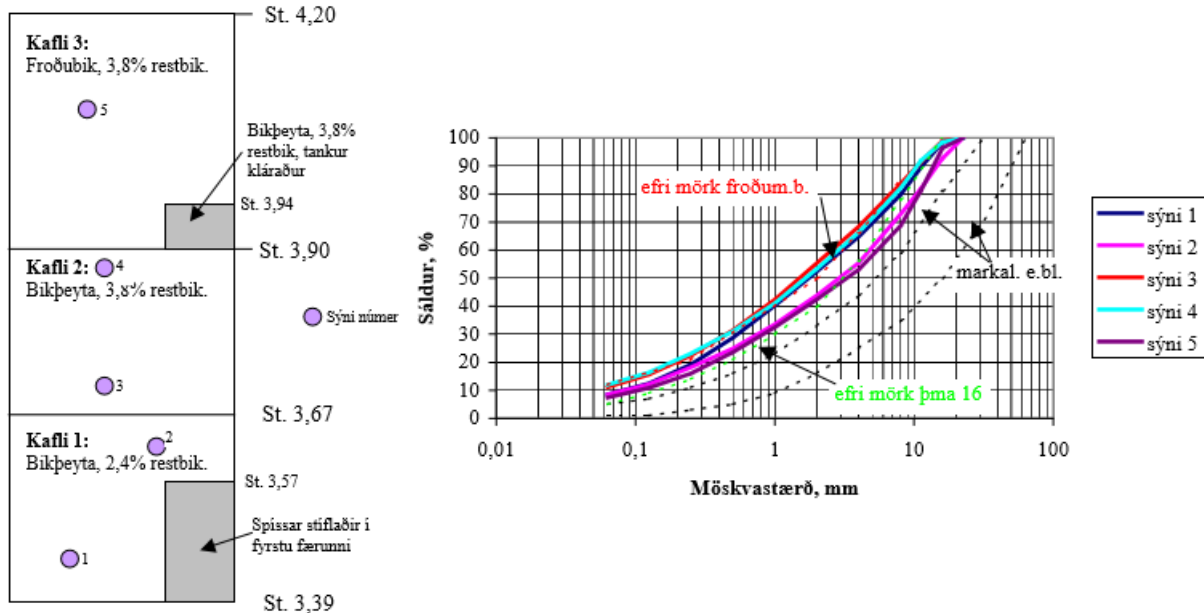


MYND 24 Mældar niðurbeygjur úr falllódsmælingum í Reykjadal (1-q8) og í Vatnsskarði (1-m4). Sementsfest var í september 2017 og þess vegna liggja falllódsmælingar eftir festun ekki fyrir.

4.2 Bikfestun

4.2.1 Ólafsfjarðarvegur, haustið 2001

Hautið 2001 voru 3 kaflar bikbundnir á Ólafsfjarðarvegi við Fagraskóg (vegnúmer: 82-02). Þetta var tilraunaverkefni þar sem forðubik (3,8%) og bikþeyta (2,4 og 3,8%) voru notuð til festunnar. Skrifuð var áfangaskýrsla um verkefnið sem nefnist „Bikþeyta til festunar – Áfangaskýrsla I“ (Þórir Ingason, 2004). Hér á eftir kemur stutt samantekt af framkvæmdinni, niðurstöður kjarnatöku sumarið 2017 og falllódsmælingar skoðaðar.



MYND 25 Tilranakaflar, staðsetning, gerð og frávik, númer sýna af bikblöndu og kornastærðardreifing sýna eftir fræsun og blöndun með biki sem og markalínur fyrir efra burðarlag og efri markalínur fyrir froðumalbik og þeytumalbik (þma), skv. ALVERK 95 (Þórir Ingason, 2004).

TAFLA 18 Niðurstöður mælinga á sýnum teknum af bikblöndun eftir fræsun (Þórir Ingason, 2004).



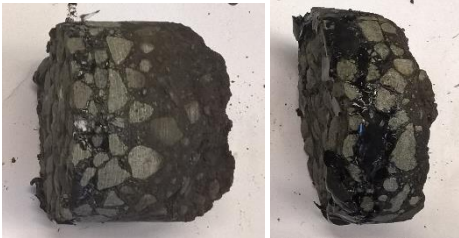

	KLEYNIBROTÞOL [kPa]		BIKINNIHALD	HÖNNUNARMAGN BIKS	VATNSINNIHALD
	MEÐALTAL	STAÐALFRÁVIK			
Sýni 1	70,7	2,6	2,66%	Bikþeyta 2,4%	5,26%
Sýni 2	82,2	5,2	2,38%	Bikþeyta 2,4%	4,83%
Sýni 3	134,5	3,7	3,41%	Bikþeyta 3,8%	6,12%
Sýni 4	120,7	7,7	3,45%	Bikþeyta 3,8%	6,10%
Sýni 5	148,6	29,0	4,07%	Froðubik 3,8%	5,17%

Á mynd 25 má sjá kaflana þrjá sem voru prófaðir, tveir kaflar voru bundir með bikþeytu annars vegar 2,4% biki og hins vegar 3,8% biki, þriðji kaflinn var hins vegar bundinn með 3,8% froðubiki. Sýni voru tekin á fimm stöðum í punktum 1 til 5 á mynd 25. Kornadreifing sýnanna sýndi að sýnin voru fínefna- og sandrík (sigti 0,075 , 15,4 og 12,2%). Efnið er of fínefnaríkt fyrir burðarlagsefni blandað með bikþeytu í stöð og í efri mörkum fyrir burðarlagsefni blandað froðubiki í blöndunarstöð. Nánari lýsingu á framkvæmdinni má finna í áður nefndri skýrslu.

Fimm sýni voru tekin úr festuninni og steypit í mót (mynd 25) og kleyfnibrotþol og bindiefnisinnihald mælt (tafla 18). Þegar lesið er í niðurstöðurnar má sjá að helst til lítið bik er í kafla 2 og helst til mikið í kafla 3. Kleyfnibrotþolið skal vera hærra en 100 kPa skv. ALVERK 95 og er kleyfnibrotþolið of lágt í kafla 1 en yfir viðmiðunarmörkum í köflum 2 og 3. Þar sem bikinnihaldið er hæðst í kafla 3 er kleyfnibrotþolið einnig hæðst.

Þann 24. ágúst 2017 voru tekin 6 sýni úr veginum, 2 sýni úr hverjum festunarkafla (tafla 19). Sýnin voru mjög misjöfn og ekki náðust heillegir kjarnar úr kafla 1 og 3 en góðir kjarnar fengust úr kafla 2 þar sem notuð var 3,8% bikþeyta. Auk þess voru tekin tvö sýni úr veginum 82-01 þar sem til stendur að hjólafarafylla og klæða sumarið 2018. Kjarnarnir voru mjög heillegir, en þar sem ekki fundust upplýsingar um bikmagn í veginum var ákveðið að mæla bikmagn í sýnum úr kafla 2 og úr vegkafla 82-01.

Því miður brotnaði sýni númer 3 við almenna meðhöndlun eftir að hafa verið sagaður þannig að ekki reyndist unnt að mæla kleyfnibrotstyrk sýnisins en bikinnihaldið var unnt að mæla. Sýni númer 4 úr kafla 2 reyndist hafa kleyfnibrotstyrk upp á 1035 kPa 16. árum eftir útlögn sem er mjög mikið og 10 sinnum meira heldur en krafan um kleyfnibrotstyrk segir til um og 8 sinnum meira heldur en styrkur kjarna sem gerðir voru úr efninu á framkvæmdatíma. Kleyfnibrotstyrkurinn er nær því að vera styrkur malbikskjarna heldur en kjarna úr bikfestu burðarlagi. Kleyfnibrotstyrkur kjarna 7 og 8 úr vegi 82-01 reyndist vera 649 og 512 kPa sem einnig verður að teljast mjög mikið og sýnir góða endingu styrkingarinnar.

LÝSING	MYND
<p><u>82-02 / Kafli 1 – Bikþeyta 2,4% restbik</u> Sýni var örlítið fest undir klæðingu en ekki var unnt að mæla styrk sýnanna. Undir efsta laginu voru smá klumpar af „festu“ efni. Sýni voru tekin í vinstri kanti í stöð 3599 sýni 5 og í stöð 3447 sýni 6.</p>	
<p><u>82-02 / Kafli 2 – Bikþeyta 3,8% restbik</u> Kjarnarnir sem komu upp voru mjög góðir og heillegir um 11-12 cm langir. Unnt var að mæla kleyfnibrotþol annars sýnisins. Sýni voru tekin í vinstri kanti í stöð 3775 sýni 3 og 3694 sýni 4.</p>	
<p><u>82-02 / Kafli 3 – Froðubik 3,8% restbik</u> Sýni var örlítið fest undir klæðingu en ekki var unnt að mæla styrk sýnanna. Undir efsta laginu var óbundið efni. Sýni voru tekin í hægri kanti í stöð 4064 sýni 1 og 4164 sýni 2.</p>	
<p><u>82-01 – Bikþeyta / froðubik</u> Kjarnarnir sem komu upp voru mjög góðir og heillegir 9-13 cm langir. Unnt var að mæla kleyfnibrotþol sýnanna. Sýni voru tekin í vinstri kanti: Sýni 7 – í stöð 10416, froðubiki 10 cm, sumarið 2004. Sýni 8 – í stöð 10177, bikþeyta 12 cm, sumarið 2000.</p>	

NMÍ mældi einnig bikhlutfall kjarnanna. Hins vegar var ekki hægt að mæla bikhlutfallið samkvæmt staðli þar sem efnið var ekki nægilega mikið. Niðurstöður mælinga gáfu bikhlutfallið á milli 3,7-6,0%. Í kjörnum 3 og 4, þar sem ætlunin var að hafa 3,8% bikþeytu mældist hún 3,7 og 4,1%. Í vegi 82-01 reyndist kjarni 7 vera froðubik með 4,6% bikinnihaldi og kjarni 8 vera bikþeyta með 6,0% bikinnihaldi. Sýni úr vegi 82-01 litu mjög vel út enda bikinnihald óvenju hátt.

TAFLA 20 Niðurstöður prófanna á kleyfnibrotþoli bikbundnu kjarnanna úr Ólafsfjarðarvegi.

SÝNI NR.	HEILLEG HÆÐ (cm)	NÝTANLEG HÆÐ (cm)	h_{av} (cm)	P (kN)	p (kPa)	BIKINNIHALD	ATHUGASEMDIR
1	6	0					Kjarni kom ekki upp
2	3,5	0					Kjarni kom ekki upp
3	11	6,5				4,1	Ekki unnt að prófa kjarnann, þar sem hann brotnaði eftir sögun
4	13	7,5	6,5	8,29	1034,6	3,7	
5	3,5	0					Kjarni kom ekki upp
6	2,0	0					Kjarni kom ekki upp
7	13	6,5	6,5	5,21	649,0	4,6	Froðubik, sumarið 2004
8	10	7,5	6,5	4,1	512,3	6,0	Bikþeyta, sumarið 2000

Til eru átta falllódsmælingar af veginum 82-02 og eru tvær þeirra áður en buðarlag vegarins var bikbundið árið 2001. Mælingin 2002 var framkvæmd í lok apríl sem verður að teljast heldur snemmt og líklegt að mælingin hafi verið framkvæmd á þáátíma. Hvað viðhald á veginum varðar var fyrsta klæðingarlagið sett á haustið 2001 og seinna lagið sumarið 2002. Eftir það hefur klæðing vegarins tvisvar sinnum verið endurnýjuð með tvöfaldri klæðingu sumarið 2008 og einfaldri klæðingu 2013. Hafa verður í huga þegar falllódsmælingar eru skoðaðar að aðeins er um 5-6 mælistaða að ræða á hverjum vegkafla. Á vegi 82-01 er því miður ekki til falllódsmælingar fyrir festun og eru falllódsmælingarnar þess vegna ekki sýndar hér.

Á mynd 26 eru mældar niðurbeygjur falllódsmælinga sýndar. Þar má sjá að það dregur úr niðurbeygjum efst í vegbyggingunni en niðurbeygjan eykst þegar komið er um 60 cm niður í vegbygginguna.

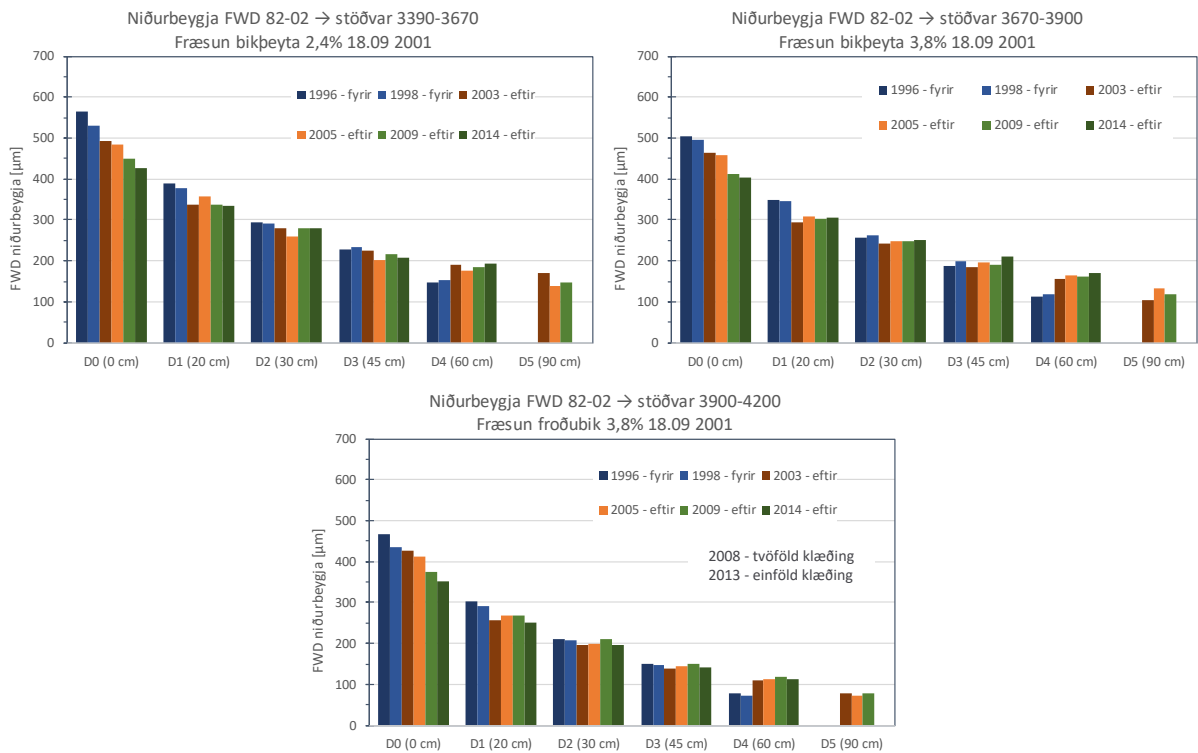
Á mynd 27 eru sýndar meðaltalsmælingar af yfirborðsstífninni (E_{surf}), K-gildinu ($d_0/(d_0-d_{20})$), krappa yfirborðsins (SCI), og mældar niðurbeygjur. Frekari útlistanir á reikningum falllódsmælinga má finna í kaflanum um falllódsmælingar.

Yfirborðsstífnin, E_{surf} – við fyrstu skoðun virðist sem froðubikið skili meiri yfirborðsstífni heldur en bikþeytan og að hin aukna stífni haldist eða aukist í þau 15 ár sem liðin eru frá því að kaflinn var festur. Aukning í stífni er hins vera 22 og 23% fyrir alla kaflana ef teknar eru mælingarnar frá 1998 og 2014. Þess vegna virðist sem hærrí stífni fyrir styrkingu skili einnig hærrí stífni eftir styrkingu. Eðlilegt verður að teljast að falllódsmælingar sem teknar voru strax eftir að festun var framkvæmd sýni ekki aukna stífni, þar sem bikið þarf tíma til að ná fullum styrk. Endurnýjun klæðingar getur skýrt aukna yfirborðsstífni sumarið 2009 (og sumarið 2014) m.v. sumrin þar á undan. Yfirborðsstífni milli áranna 2003 og 2005 standa nánast í stað.

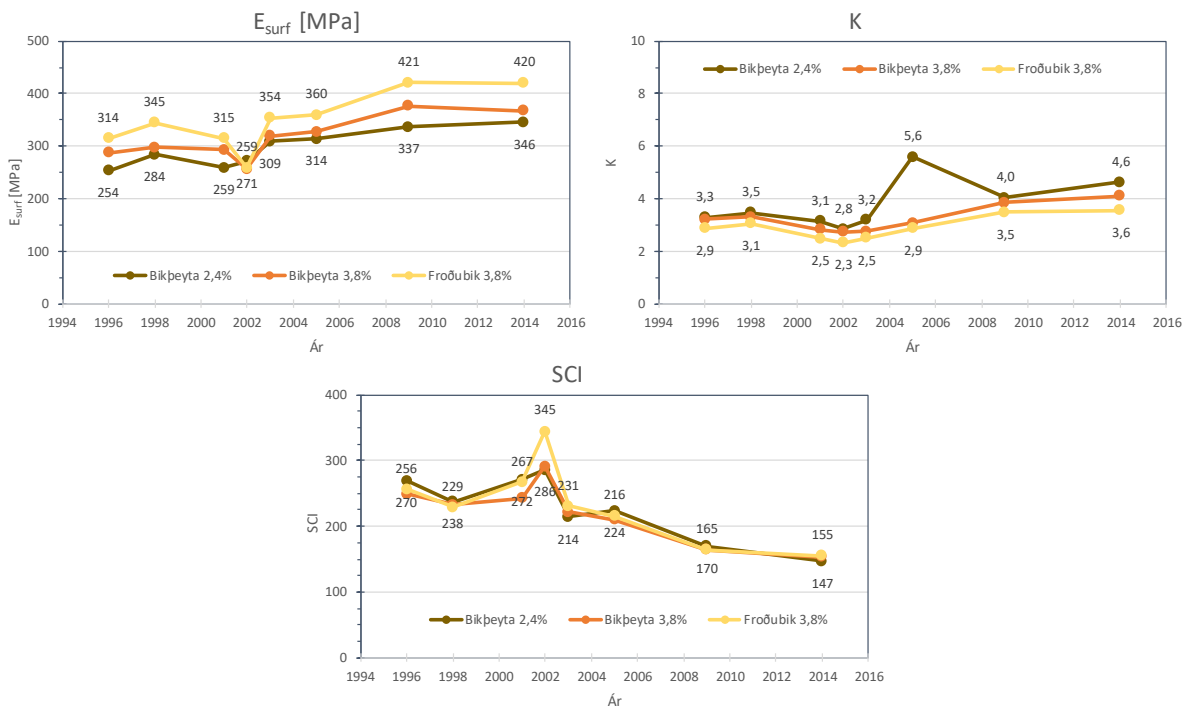
K-gildið – fyrir styrkingu liggur K-gildið á milli 2,9 og 3,5 sem bendir til þess að veikleikinn liggir í burðar-eða styrktarlaginu skv. norsku leiðbeiningunum. Gildið lækkar fyrst eftir styrkingu og tekur ekki við sér upp á við fyrr en árið 2009 þegar ný klæðing er lögð á veginn. En þegar gildið hækkar er talið að veikleikinn liggir neðar í vegbyggingunni, en mögulega liggur veikleikinn á um 60 cm dýpi þar sem niðurbeygjan eykst eftir styrkingu.

Krappi yfirborðsins, SCI – niðurbeygjan er minni eftir að burðarlagið var styrkt. Sumarið 2003 er niðurbeygjan minni heldur en hún var áður en ráðist var í endurbætur og virðist hún fara minnkandi með tímanum. Athyglisvert er hins vegar að ekki er mikil munur á mældri niðurbeygju á 30 cm dýpi. Athuga verður að ekki er sjáanlegur munur á niðurbeygjunni fyrir eða eftir styrkingu.

Niðurstöður falllóðsmælinganna eru ekki í takt við niðurstöður á kleyfnibrotþoli kjarna úr veginum. Einungis fengust heillegir kjarnar úr 3,8% bikþeytunni, úr froðubikinu var fest efni rétt undir klæðingunni og einungis voru smá bikfestir „klumpar“ í 2,4% bikþeytunni.



MYND 26 Mældar niðurbeygjur úr falllóðsmælingum á Ólafsfjarðarvegi. Bikfest var í september 2001.



MYND 27 Niðurstöður falllóðsmælinga á árunum 1996 og 1998 áður en burðarlagið var bikbundið og ásamt mælinga eftir bikbindingu.

4.2.2 Biskupstungnabraut, sumarið 2006

Á Biskupstungnabraut við Þjóðveginn (35-01, stöðvar 48-1328 og 3082-4336) var fest með bikþeytu sumarið 2006. Teknir voru kjarnar úr veginum og falllóðsmælingar fyrir og eftir styrkingu skoðaðar.

Teknir voru 6 borkjarnar úr bikbundna burðarlaginu (tafla 21) og hægt að mæla kleyfnibrotþol fjögurra þeirra (mynd 28). Þegar kjarnar voru skoðaðir, virðist sem efni burðarlagsins hafi verið gott með góða kornadreifingu en Þórustaðanáma er í námunda við veginn.



MYND 28 Við kjarnatöku á Biskupstungnabraut og prófun kjarna á NMÍ úr Biskupstungnabraut.

Kjarnarnir voru prófaðir við 25°C með hliðsjón af kafla 14.45 í Alverk 95, mynd 28. Kleyfnibrotþolið reyndist vera um 274 kPa efst á kjarnanum en styrkurinn minnkaði niður í um 175 kPa neðar á kjarnanum, tafla 22. Einungis var unnt að mæla styrkinn neðst á einum kjarnanum, en efst voru 3 kjarnar góðir en einn kjarninn var sprunginn og niðurstöður mælinga eftir því. Kjarnar 1, 2 og 6 eru úr fyrri hlutanum og kjarnar 3, 4 og 5 úr seinni hlutanum. Ekki er sýnilegur styrktarmunur á sýnum úr fyrri og seinni hlutanum. Þessir kjarnar standast leiðbeinandi gildi Vegagerðarinnar þar sem kleyfnibrotþolið skal vera meira en 100 kPa við 25°C.

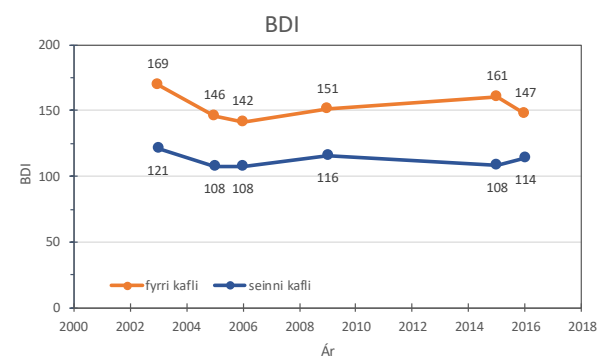
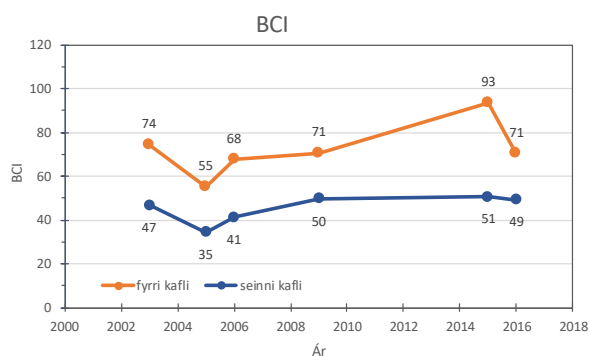
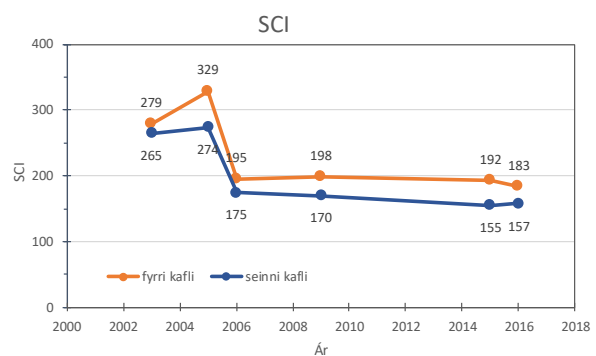
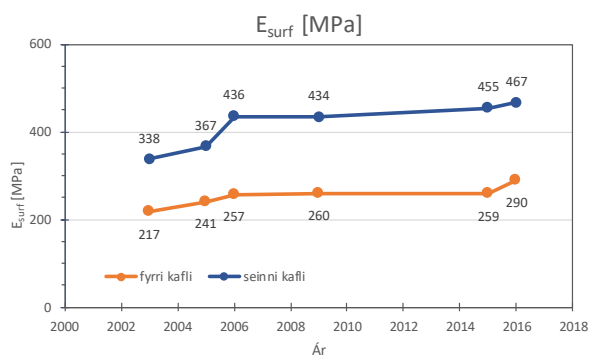
TAFLA 21 Lýsing á bikfestunarkjörnum úr Biskupstungnabraut.

	STÖÐ*	LÝSING Á KJARNA
Kjarni 1	100 hk	Heildarhæð kjarna var 140 mm þar af voru ca. 100 mm heillegir
Kjarni 2	900 hk	Heildarhæð kjarna var 130 mm þar af voru ca. 65 mm heillegir
Kjarni 3	3450 hk	Heildarhæð kjarna var 140 mm þar af voru ca. 120 mm heillegir
Kjarni 4	4100 hk	Sýnið er að mestu mól, heilt klæðingarlag ca. 2 cm
Kjarni 5	3270 vk	Heildarhæð kjarna var 140 mm þar af voru ca. 70 mm heillegir, hins vegar var stór steinn neðantil í kjarnanum og sprunga í heillega hlutanum
Kjarni 6	600 vk	Sýnið er að mestu mól, heilt klæðingarlag ca. 2 cm

* hk – hægri kantur; vk – vinstri kantur

TAFLA 22 Niðurstöður prófanna á kleyfnibrotþoli bikbundnu kjarnanna úr Biskupstungnabraut.

SÝNI NR.	d (cm)	h _{av} (cm)	P (kN)	p (kPa)	ATHUGASEMDIR
1-1	7,8	6,8	2,29	275	Sýni úr efri hluta kjarnans
2-1	7,8	6,7	2,24	272	Sýni úr efri hluta kjarnans
3-1	7,8	6,7	2,27	276	Sýni úr efri hluta kjarnans
3-2	7,8	6,9	1,47	175	Sýni úr neðri hluta kjarnans
5-1	7,8	6,4	1,17	150	Sýni úr efri hluta kjarnans
					Sýni losaralegt þar sem sprunga var í sýninu



MYND 29 Niðurstöður falllódsmælinga fyrir fyrri kafla (st. 48-1328) og seinni kafla (st. 3082-4336) á Biskupstungnabraut

Falllódsmælingar úr þessum vegköflum gáfu góða niðurstöður eftir styrkingu samanborið við aðra bikfesta kafla skoðaða hér (viðauki B). Falllódsmælingunum var skipt í tvennt eftir stöðvum, stöðvar 48-1328 eru fyrri kaflinn og 3082-4336 seinni kaflinn. Yfirborðsstífni vegarins eru meiri á seinni kaflanum heldur en fyrri kaflanum bæði fyrir og eftir styrkingu og styktar aukningin á seinni kaflanum er meiri heldur en á fyrri kaflanum. Krappi yfirborðsins, SCI, er svipaður fyrir báða kaflana fyrir styrkingu

en þó heldur hærri fyrir fyrri kaflann og helst munurinn helst nokkuð svipaður eftir styrkingu. Krappi burðarlagsins (BCI) og skemmdarstuðull burðarlagsins (BDI), er mun hærri fyrir fyrri kaflann borið saman við seinni kaflann og helst munurinn og gildin nokkuð stöðug fyrir og eftir styrkingu. Þetta gefur til kynna að undirlagið sé stífara á seinni kaflanum borið saman við fyrri kaflann og að álagið sé ekki að dreifast á stærra svæði eftir að burðarlagið hefur verið bikbundið. Hins vegar verður að hafa í huga að dreifing mælinganna var mjög mikil og er hérna verið að skoða meðaltal mælinga yfir svæðið.

4.3 Óbundinn endurbæting burðarlags

4.3.1 Skálholtsvegur, sumarið 2015

Á Skálholtsvegi (31-01, stöðvar 6740-9310) var verið að laga legu vegarins og leggja nýja klæðingu sumarið 2015 (mynd 30). Vegurinn var þurrfræstur, keyrt í hann efni og lögð ný klæðing. Engin festing átti sér stað og er hann því notaður til samanburðar við festu vegkaflana. Vegspotinn var falllóðsmældur fyrir og eftir endurlögn og tekið var sýni úr veginum til að gera kornakúrfu, mæla brothlutfall og kleyfnistuðul. Til að laga þverhalla og ójöfnur í veginum var keyrt í hann efni úr námu við Merkurlaut, en efnisprófanir á því efni eru einnig meðfylgjandi.

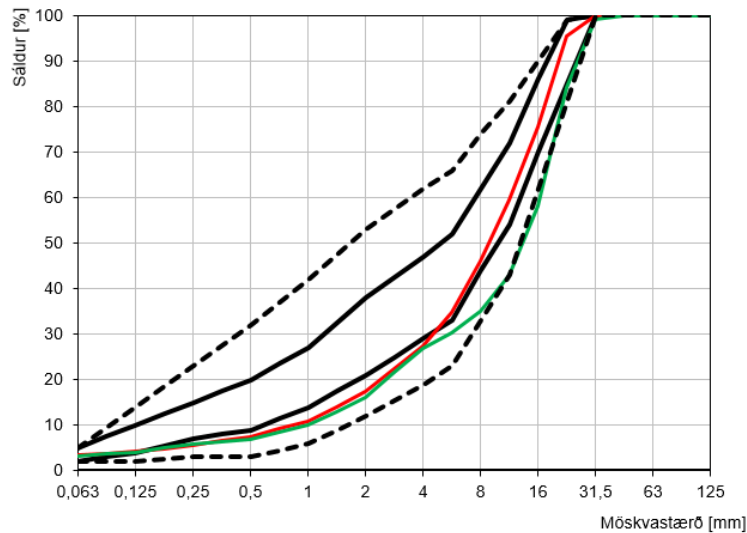


MYND 30 Skálholtsvegur eftir að núverandi vegur var þurrfræstur.

Á mynd 31 er búið að setja kornakúrfurnar úr Skálholtsveginum og námunni við Merkurlaut inná viðmiðunarkúrfu Vegagerðarinnar. Eins og sjá má falla kúrfurnar innan ytri marklínanna utan örlítis frávíks í efninu úr Merkurlautinni. Samkvæmt berggreiningu er efnið í Merkurlaut ferskt, fínblöðrótt basalt. Í tafla 23 og tafla 24 eru niðurstöður LA-prófs, kleyfni og brothlutfalls fyrir efni sem kom undan fræsara í Skálholtsvegi sem og efnis úr Merkurlaut.

TAFLA 23 Efniseiginleikar Skálholtsvegur

	LA-GILDI	KLEYFNI
SKÁLHOLTSVEGUR	-	9,9%
MERKURLAUT	27%	3%

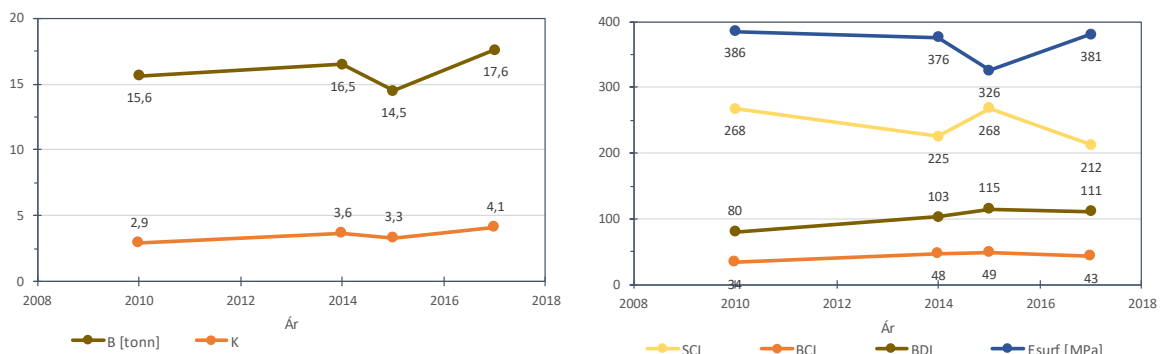


MYND 31 Viðmiðunarkornakúrfa Vegagerðarinnar ásamt kornakúrfum Skálholtsvegur (rauð lína) og Merkurlautar (græn lína).

TAFLA 24 Brothlutfall efnisins úr Skálholtsvegi og Merkurlaut

	KORNASTÆRÐARBIL [mm]	HLUTFALL HEILDARSÝNIS [%]	C _C – HLUTI BROTINS EFNIS [%]	C _{TR} – HLUTI ALRÚNNNAÐS EFNIS [%]
SKÁLHOLTSVEGUR	4-8	18,7	82	1
	8-16	29,5	80	2
	16-32	24,5	63	8
	Brotstig, vegið meðaltal	-	75	4
MERKURLAUT	Brotstig, vegið meðaltal	-	100	0

Falllóðsmælingarnar virðast vera nokkuð stöðugar fyrir endurbætur og lækka svo fyrst á eftir en falllóðsmælingin 2015 var tekin fljótlega eftir að endurbótin var kláruð, áður en eftirþjöppun átti sér stað. Falllóðsmælingin sem tekin var sumarið 2017 sýnir hins vegar heldur betri stífni borið saman við mælingar fyrir endurbætur, en munurinn er ekki teljandi (mynd 32). Falllóðsmælingar sýna að burðargildi vegarins er hátt, en þungaumferð um veginn er ekki mikil. Miðað við norsku leiðbeiningarnar virðist þó sem veikleiki vegbyggingarinnar sé í burðar- eða styrktarlaginu.



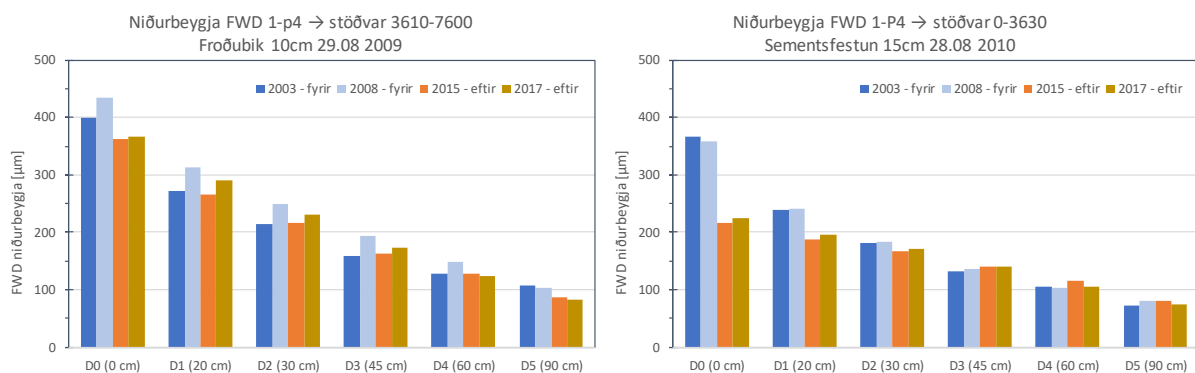
MYND 32 Niðurstöður falllóðsmælinga árána 2010 til 2017, en endurbætur á veginum fóru fram síðsumars 2015.

4.4 Blandaðar vegbyggingar

4.4.1 Norðurland við Hörgárdal, vegur 1-p4

Vegur 1-p4 er bæði sements og bikfestur. En sumarið 2009 var 4 km vegkafla festur með froðubiki og ári seinna 3,6 km vegkafla festur með sementi. Ástand þessara vegkafla var slakt áður en farið var í festunaraðgerðir með talvert af netsprungum. Þegar þessir vegkaflar voru skoðaðir og metnir aftur sumarið 2017 var ástand þeirra beggja gott með áætlaðan líftíma 6 og 7 ár eða til 2023 og 2024. Miðað við þessar upplýsingar þá virðist sem báðar aðgerðirnar hafi heppnast vel. Hins vegar er rétt að taka fram að örlítið meiri holumyndun er í sementsfesta kaflanum borið saman við þann bikbundna.

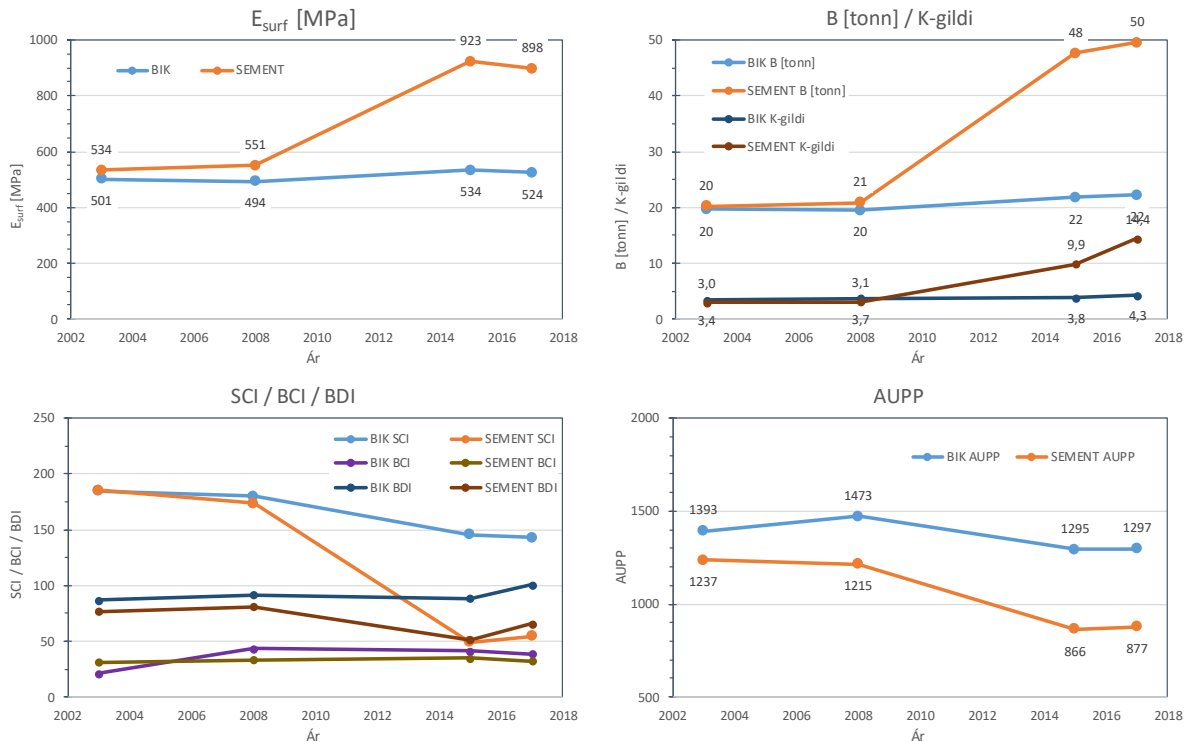
Á mynd 33 má sjá niðurbeygjur falllódsmælinga fyrir stöðvar 3610-7600 sem var festur með 10 cm froðubiki og fyrir stöðvar 0-3630 þar sem fest var með sementi efstu 15 cm burðarlagsins. Niðurbeygjur sementsfesta vegkaflans voru lægri heldur en niðurbeygjur bikfesta kaflans áður en festun fór fram en niðurbeygjur efst í vegbyggingunni minnkuðu mun meira við sementsfestun borið saman við bikfestun. Á 20 cm dýpi minnkaði mæld niðurbeygja við sementsfestun en niðurbeygjan stóð nánast í stað við bikfestun. Neðar í vegbyggingunni stendur mæld niðurbeygja nánast í stað fyrir og eftir festun. Hérna verður að taka tillit til þess að bikfestunin var þynnri heldur en sementsfestunin.



MYND 33 Mældar niðurbeygjur úr falllódsmælingum á vegi 1-P4. Bikfest var í sumarið 2009 og sementsfest 2010.

Á mynd 34 má sjá reiknaðar niðurstöður falllódsmælinganna. Þær gefa aftur til kynna að stífnin eykst mun meira við sementsfestun borið saman við bikfestun:

- Yfirborðsstífnin virðist nokkuð standa í stað við bikfestun en eykst umtalsvert við sementsfestun, en yfirborðsstífnin var nánast sú sama fyrir báða kaflana fyrir festun.
- B stuðullinn og K-gildið aukast umtalsvert við sementsfestun en standa nánast í stað fyrir bikfestun. Stuðularnir voru nánast þeir sömu fyrir báða vegkaflana fyrir festun.
- SCI, BDI og BCI eru mjög svipaðir stuðlar fyrir festun en eftir festun stendur BCI nánast í stað fyrir bæði tilfelli festunnar. SCI lækkar fyrir bæði tilfelli festunnar en lækkar meira þegar burðarlagið er sementsfest. BDI stendur nánast í stað þegar burðarlagið er bikfest en lækkar lítillega við sementsfestun.
- AUPP eða flatarmál sigdældarinnar er heldur hærra fyrir vegkaflann sem er bikfestur borið saman við sementsfesta vegkaflann. Flatarmálið er töluvert minna eftir að vegurinn er sementsfestur en þar sem burðarlagið er fest með biki minnkar flatarmálið lítillega.



MYND 34 Niðurstöður falllódsmælinga árána 2003 til 2017 fyrir veg 1-P4

4.4.2 Langidalur, vegur 1-m2

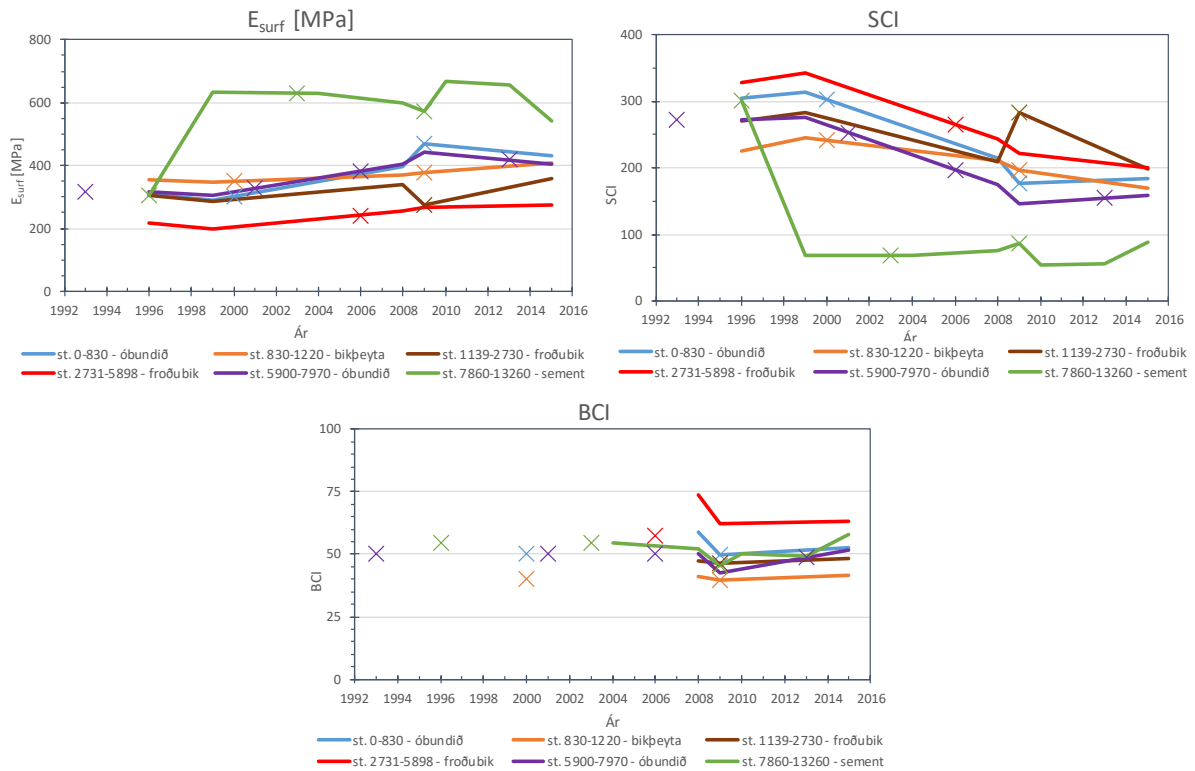
Vegurinn um Langadal hefur ýmist verið festur með bikþeytu, froðubiki eða sementi en einnig eru kaflar á veginum sem ekki hafa verið styrktir, en hinir mismunandi kaflar eru listaðir í tafla 25. Fyrstu 830 metrarnir voru endurbýggðir með 45 cm styrktarlagi og 15 cm burðarlagi sumarið 2000, en sama sumar voru næstu 400 metrar bundnir með 12 cm bikþeytu. Frá stöðvum 1139-5898 var burðarlagið fest með 15 cm froðubiki á árunum 2009 og 2006. Bikfestu hlutarnir eru í sæmilega standi en aðeins er farið að bera á hjólförum og kantskemmdum. Næsti kafli er vel farinn þrátt fyrir lítilsháttar kantskemmdir en hann var byggður 1993 eða fyrir 24.árum síðan. Engar endurbætur hafa verið gerðar á veginum utan þess að nýtt klæðingarlag hefur verið lagt á veginn 3 sinnum á 5 til 8 ára fresti. Í síðustu 5,4 km vegarins var burðarlagið sementsfest sumarið 1996 í tilraunaskyni. Njörður Tryggvason (1996b) ritaði skýrslu um framkvæmdina. Vegurinn hefur reynst vel en engar endurbætur hafa verið gerðar á veginum utan lagningu nýrrar klæðingar.

TAFLA 25 Veguppbyggingar á Þjóðveginum 1-m2

STÖÐVAR	FESTUN	SÍÐUSTU ENDURBÆTUR	ENDURKLÆTT	ENDING KLÆÐING	ÁSTAND VEGARINS
0-830	Óbundið, 45 og 15 cm	2000 17.ár frá endurbótum	Eitt lag, 2009 Fyrstu 185 m, eitt lag 2014	9.ár (5.ár-fyrstu 185 m) 3 og 8.ár frá síðustu klæðingu	Gott
830-1220	Bikþeyta, 12 cm	2000 17.ár frá endurbótum	Eitt lag, 2009	9.ár 8.ár frá síðustu klæðingu	Sæmilegt
1139-2730	Froðubik, 15 cm	2009 8.ár frá endurbótum		8.ár frá síðustu klæðingu	Síðustu 300 m lélegir, hjólför og kantskemmdir
2731-5898	Froðubik, 15 cm	2006 11.ár frá endurbótum		11.ár frá síðustu klæðingu	Sæmilegt, lítilsháttar hjólför og kantskemmdir
5900-7870	Óbundið	1993 24.ár frá endurbótum	Eitt lag, 2001 Eitt lag, 2006 Eitt lag, 2013	8.ár 5.ár 7.ár 4.ár frá síðustu klæðingu	Gott, lítilsháttar kantskemmdir
7860-13260	Sement, 10 cm	1996 21.ár frá endurbótum	Eitt lag, 2003 Eitt lag, 2009	7.ár 6.ár 8.ár frá síðustu klæðingu	Gott

Á mynd 35 má sjá niðurstöður falllöösmælinga fyrir alla vegkaflana. Á myndinni eru blá leitar línur vegspottar með óbundið burðarlag, rauðleitu línurnar vegkaflar með bikbundið burðarlag og græna línán síðasti spotti vegkaflans með semetsfest burðarlag. Fyrsti kross hvernar línu er árið sem vegspottinn var endurbyggður eða umtalsverðar endurbætur gerðar. Krossarnir þar á eftir er þegar nýtt einfalt klæðingarlág er lagt á vegkaflana. Líklegt verður að teljast að vegurinn í heild séu byggðir upp með ágætisefni þar sem mikið er um góðar námur á svæðinu og að afvötnun og undirlag sé ásættanlegt.

Falllöösmælingarnar gefa til kynna að bikbindingin hafi lítil áhrif á stífni vegbyggingarinnar en semetsfestunin eykur stífnina í efstu lögum vegarins umtalsvert. Þegar neðar er komið í vegbygginguna er niðurbeygjan áþekkt hvort heldur sem vegur er festur eða ekki og skiptir þá ekki máli hvort vegurinn er festur með sementi eða biki. Svo virðist sem ending klæðinga sé svipuð á öllum vegköflunum en mögulega má álíta að klæðingar á bikfestun séu að endast heldur lengur. Athyglisvert verður að fylgjast með veginum áfram og sjá hvort að festu kaflarnir munu endast lengur en óbundnu kaflarnir, eða í 24 og 17.ár.



MYND 35 Niðurstöður falllódsmælinga árána 1996 til 2015 fyrir veg 1-M2. Fyrsti kross fyrir vegkafla er ár endurbóta/byggingar og krossarnir þar á eftir þegar nýtt klæðingarlag er lagt á kaflann.

4.5 Samantekt

Helstu niðurstöður athuganna á semenetsfestum vegum, bikbundnum og óbundnum vegum í þessum kafla gefa eftirfarandi til kynna. Þetta er ekki tæmandi listi og byggir á því úrtaki sem var tekið fyrir hér.

- Yfirborðsstífni vegbygginganna eykst við festun
- Stífnin eykst meira við sementsfestun borið saman við bikfestun burðarlags. Mögulegt er að stífnin sé að aukast of mikið. Í nágrannalöndum okkar er miðað við að ef stífnin reynist vera of mikil þá skuli setja þennsluraufar. Hins vegar hafa ekki verið að koma þennslusprungur í vegina þrátt fyrir mikla stífni.
- Efniseiginleikar burðarlagefnis þeirra vega þar sem sýni hafa verið tekin virðast vera góðir. Hins vegar var kornakúrfa efnis í Borgarfirði ekki innan markalína Vegagerðarinnar.
- Stífni og niðurbeygjur burðarlaga virðast halda sér vel með tímanum hvort heldur sé litið til sementsfestunnar, bikfestunnar eða óbundins burðarlags. Falllódsmælingar gefa til kynna litla breytingu þrátt fyrir að kjarnar bikfesta burðarlaga hafi ekki komið heilir upp.
- Þegar litið er á Langadal kemur á óvart hversu vel óbundnu vegirnir eru að standa sig, og ef til vill ekki síður heldur en þeir sem hafa bundin burðarlög.
- Engin merkjanlegur munur er á endingum klæðinga hvort heldur vegurinn er með bundið burðarlag með semni eða biki eða burðarlaginu haldið óbundnu.
- Í þessari samantekt virðist sem klæðingar séu að endast í 5-11 ár. Miðað við töflu 1 sem kemur frá Norðmönnum þá er ÁDU 301-1500 einföld klæðing með 12 ára líftíma.

Eftir þessa samantekt vakna eftirfarandi spurningar, er möguleiki að gera eigi frekari efnisprófannir áður en farið er í festun burðarlaga. Á mögulega einungis að festa burðarlög ef efni burðarlagsins er veikt eða fínefnaríkt? Ef efni burðarlags reynist uppfylla þær kröfur sem gerðar eru til óbundins burðarlags efnis á þá mögulega einungis að þurrfræsa, keyra í, jafna og klæða?

Getur verið að veikleiki veganna liggja annars staðar heldur en í burðarlaginu? Hvernig er afvötnun veganna? Er mögulega eitthvað annað sem við ættum frekar að líta til þegar verið er að skoða endingu vega?

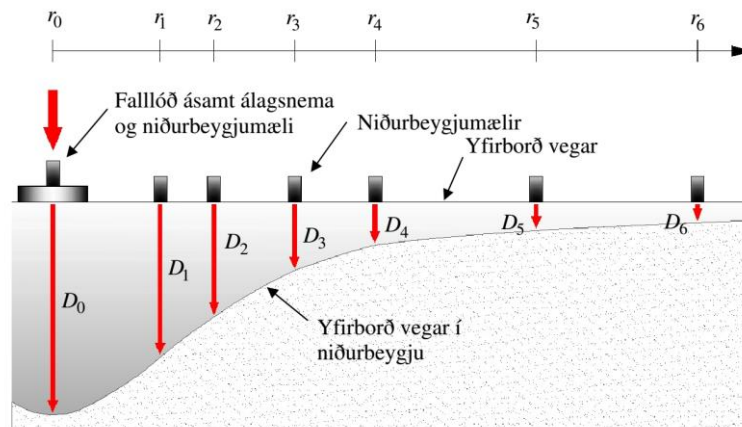
5 FALLLÓÐSMÆLINGAR

Vegagerðin hefur átt falllóð í áratugi núna sem hægt er að notast við þegar meta skal burðarþol og styrk vega (mynd 36). Þessar mælingar eru verðmætar og gefa okkur tækifæri til þess að fylgjast með styrk vega fyrir og eftir að burðarlög hafa verið endurnýjuð og/eða styrkt.

Falllóðsmælingar (mynd 37) eru oft gerðar á vegbyggingum til þess að meta burðarþolsgildi vegbygginga. Margar mismunandi leiðir eru til þegar kemur að úrvinnslu gagna sem fást og er velþekkt að bakreikna stífnu mismunandi laga vegbygginga með aðstoð ítrunarforrita. Til þess að það beri sem mestan árangur þurfa lagþykktir vegarins að vera áætlaðar. Hægt er að meta lagþykktir út frá falllóðsmælingum en það krefst frekari ítranna. Í þessum hluta verkefnisins var farin sú leið að nota niðurbeygjumælingarnar beint til að meta ástand vegbygginganna fyrir og eftir styrkingar.



MYND 36 Falllóðstæki Vegagerðarinnar (Helga Þórunn Gunnlaugsdóttir, 2008).



MYND 37 Einfölduð uppsetning falllóðs og nema, D_0 er niðurbeygjan undir álagsmiðjunni og D_i er mæld niðurbeygja í fjarlægð r_i frá miðju álagsins (Helga Þórunn Gunnlaugsdóttir, 2008).

Margar mismunandi stærðir er hægt að reikna út úr niðurbeygjumælingum nema í mismunandi fjarlægð frá falllóðinu:

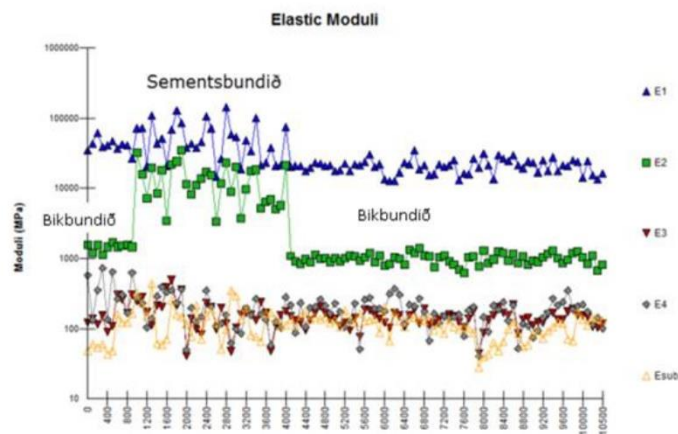
$E_{surf} = \left(2 \cdot P / \pi \cdot d_0 \cdot a\right) \cdot (1 - \nu^2)$	Yfirborðsstífni
$E_{FWD} = 284,9 \cdot \left(P / d_{90}\right)^{0,894}$	Stífnistuðull vegbyggingar notaður í Flórída (reynslujafna)
$E_U = \frac{52000}{d_{90}^{1,5}}$	Stífnistuðull vegbyggingar notaður í Svíþjóð (reynslujafna)
$B = 11 \cdot \left(E_{aim} / 200\right)^{0,6} \cdot \left(50 / \dot{A}DT_T\right)^{0,072}$	Burðarstuðull notaður í Noregi $\dot{A}DT_T$ er árdagsumferð þungaumferðar ($\dot{A}DU_p$)
$E_{aim} = \frac{110 \cdot p}{\sqrt{d_0 \cdot (d_0 - d_{20})}}$	Gefur til kynna hvar helsti veikleiki vegbyggingarinnar er, því hærra gildi því neðar er veikleikinn.
$K = \frac{d_0}{d_0 - d_{20}}$	Krappi yfirborðsins, gefur til kynna stífni efstu laga vegbyggingar
$SCI = d_0 - d_{30}$	Krappi burðarlags, gefur til kynna stífni neðstu laga vegbyggingar eða efsta lag undirlags
$BCI = d_{60} - d_{90}$	Skemmdarstuðull burðarlags, gefur til kynna stífni miðbiks vegbyggingar
$BDI = d_{30} - d_{60}$	
$AUPP = 0,5 \cdot (5d_0 + 2d_{30} + 2d_{60} + d_{90})$	Flatarmál sigdældar eða niðurbeygjunnar sem vegbyggingin verður fyrir

E_{FWD} og E_U eru áætlaðir stífnistuðlar út frá reynslujöfnum frá Bandaríkjunum og Svíþjóð og eru ekki sannreynðir miðað við íslenskar aðstæður. Breytingin er ekki mikil á milli stuðlanna þar sem að þeir byggja á niðurbeygju mælda 90 cm frá álagsmiðju, og gefa því til kynna niðurbeygju sem verður nokkuð djúpt í vegbyggingunni. Vegna þessa verða þessir stuðlar ekki notaðir í þessu verkefni.

B-stuðulinn eða burðarstuðulinn er Norsk reynslujafna. Stuðulinn er notaður til að meta burðargetu vega. ÁDU_p kemur inni þann stuðulinn en stuðulinn lækkar þegar þungaumferð eykst. Því er spurning hversu mikið eigi að horfa í þennan stuðul þar sem erfitt er að uppfæra reynslujöfnur yfir á nýja staðhætti, með öðruvísi umferð og umhverfisskilyrði á Íslandi samanborið við Noreg.

Í Noregi, þar sem K stuðulinn er notaður, er talað um að þar sem K er stærra en 5 liggur helsti veikleikinn í styrktar- eða undirlaginu. Ef K er hins vegar á milli 3 og 5 liggur veikleikinn í burðar eða styrktarlagi og að lokum þar sem K er minna en 3 er líklegt að helsti veikleiki vegbyggingarinnar sé í burðar eða slitlaginu. Höfundar vita ekki til þess að K-stuðulinn hafi verið kvarðaður m.v. íslenskar aðstæður, en íslenskar vegbyggingar geta verið heldur þynnri heldur en þekkist í Norgi.

Unnið var með bakreikninga í forritinu ELMOD (mynd 38), en forritið gat ekki lesið inn eldri mælingar. Forritið sýndi þó greinilega meiri stífni í sementsbundnu burðarlagi borið saman við bikbundið sem var beggja vegna en stífni neðri laganna var sambærilegur hvort heldur sem vegurinn var sements- eða bikbundinn.



MYND 38 Dæmi um bakreikning með ELMOD þar sem vegur væri bæði sements og bikbundinn.

5.1 Sementsfestir vegir (sementsbundið burðarlag)

Þó nokkrir vegir á Íslandi hafa verið endurbættir með sementsfestu burðarlagi undanfarin ár. Í mörgum tilfellum eru til falllódsmælingar fyrir og eftir styrkingu og því hægt að meta áhrif styrkingarinnar. Þegar niðurstöður falllódsmælinga eru skoðaðar sést að efri hluti vegbyggingarinnar styrkist umtalsvert við styrkinguna þ.e.a.s. minni niðurbeygjur mælast eftir að búíð er að sementsstyrkja. Hin aukna stífni virðist haldast vel með tímanum. Stífnin eða stærð mældrar niðurbeygju helst nánast óbreytt í neðri helmingi vegbyggingarinnar. Vegkaflarnir með sementsstyrkt burðarlag sem voru skoðaðir eru listaðir í tafla 26, allir kaflarnir eru með tvöfaldri klæðingu. Þegar klæðingar eru endurnýjaðar eykst stífnin lítillega. Í töflunni eru brotþol kjarna listað, en niðurstöður utan Borgarfjarðar eru fengnar úr skýrslu eftir þá Ingva Árnason o.fl. rituð árið 2012. Í skýrslunni eru einnig tiltekin nokkur önnur gildi en ekki listað hvar kjarnarnir eru teknir á hringveginum, þessi gildi hafa meðaltalsstyrk upp á 9,95 MPa, miðgildi 8 MPa, hæðsta gildi 25 MPa og lægsta gildi 4 MPa. Um þriðjungur kjarna komu upp óskemmdir þ.a. hægt var að mæla brotstyrkinn. Einu tilfelli þar sem ekki er notast við nýjustu mælingu er á vegi 1-k6

og 1-p3, þar sem mikil munur er á mælingum 2014 / 2015 og 2017. Falllóðsmælingar vegkaflanna eru sýnar í viðauka A.

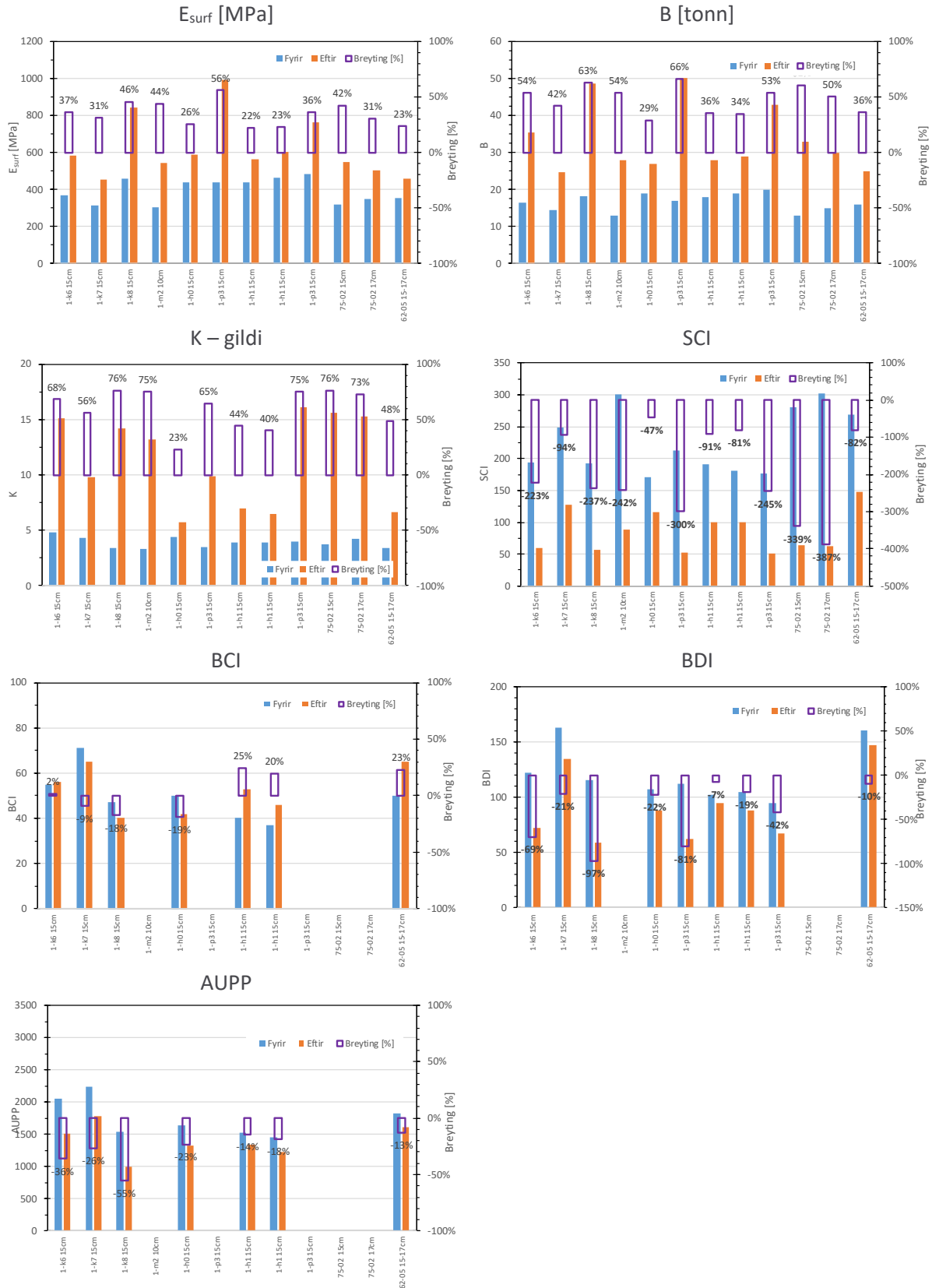
TAFLA 26 Niðurstöður nýjustu mælinga og síðustu mælinga fyrir styrkingu, ásamt reiknuðum prósentumun mælinganna.

VEGUR		Brotþol [MPa]	Ár	E _{surf} [MPa]	B [tonn]	K	SCI	BCI	BDI	AUPP
1-k6; st. 950-4.066 Styrkt 25.09.2010 Þykkt 15 cm	Húnavatns-sýslur		2006	370	16,4	4,8	194	55	122	2054
			2015	583	35,3	15,1	60	56	72	1509
			[%]	37%	54%	68%	-223%	2%	-69%	-36%
1-k7; st. 210-2.542 Styrkt 25.09.2010 Þykkt 15 cm	Húnavatns-sýslur		2006	312	14,4	4,3	248	71	163	2245
			2017	453	24,7	9,8	128	65	135	1775
			[%]	31%	42%	56%	-94%	-9%	-21%	-26%
1-k8; st. 10.365-11.389 Styrkt 27.08.2011 Þykkt 15 cm	Húnavatns-sýslur	7; 9	2004	458	18,2	3,4	192	47	116	1544
			2015	845	48,6	14,2	57	40	59	995
			[%]	46%	63%	76%	-237%	-18%	-97%	-55%
1-m2; st. 7.860-13.240 Styrkt 31.08.1996 Þykkt 10 cm	Langidalur	4,1-15,6	1996	304	12,8	3,3	301	-	-	-
			2015	544	27,8	13,2	88	-	-	-
			[%]	44%	54%	75%	-242%	-	-	-
1-h0; st. 0-2.940 Styrkt 01.08.2015 Þykkt 15-20 cm	Borgarfjörður Við Baulu	5,1; 7,2; 4,7	2015	436	19	4,4	171	50	107	1637
			2016	588	26,8	5,7	116	42	88	1329
			[%]	26%	29%	23%	-47%	-19%	-22%	-23%
1-h1; st. 9.470-9.940 Styrkt 01.08.2011 Þykkt 15cm	Borgarfjörður norðan Baulu	8	2009	439	18	3,9	191	40	102	1529
			2015	564	28	7	100	53	95	1337
			[%]	22%	36%	44%	-91%	25%	-7%	-14%
1-h1; st. 7.000-8.350 Styrkt 27.08.2014 Þykkt 15 cm	Borgarfjörður norðan Baulu		2009	465	19	3,9	181	37	105	1456
			2015	604	29	6,5	100	46	88	1229
			[%]	23%	34%	40%	-81%	20%	-19%	-18%
1-p3; st. 1.415-4.060 Styrkt 25.09.2010 Þykkt 15 cm	Norðurland við Hörgárdal		2008	436	17	3,5	212	-	112	-
			2014	994	50	9,9	53	-	62	-
			[%]	56%	66%	65%	-300%	-	-81%	-
1-p3; st. 7.997-10.010 Styrkt 27.08.2011 Þykkt 15 cm	Norðurland við Hörgárdal	16; 7; 11; 18; 11; 7	2011	484	20	4	176	-	95	-
			2014	762	43	16,1	51	-	67	-
			[%]	36%	53%	75%	-245%	-	-42%	-
1-p4; st. 0-3.630 Styrkt 28.08.2010 Þykkt 15 cm	Norðurland við Hörgárdal		2008	551	21	3,1	173	33	81	1215
			2017	898	50	14,4	54	32	65	877
			[%]							
75-02; st. 12.310-13.890 Styrkt 27.08.2011 Þykkt 15 cm	Sauðárkróks braut	9; 12; 6; 7	2009	316	13	3,7	281	-	-	-
			2014	547	33	15,6	64	-	-	-
			[%]	42%	61%	76%	-339%	-	-	-
75-02; st. 9.813-12.310 Styrkt 08.08.2014 Þykkt 17 cm	Sauðárkróks braut		2009	347	15	4,2	302	-	-	-
			2014	501	30	15,3	62	-	-	-
			[%]	31%	50%	73%	-387%	-	-	-
62-05; st. 6.776-10.520 Styrkt 09.2016 Þykkt 15-17 cm	Barðastrand avegur		2016	352	16	3,4	269	50	161	1818
			2017	460	25	6,6	148	65	147	1615
			[%]	23%	36%	48%	-82%	23%	-10%	-13%

Niðurstöður falllóðsmælinganna eru sýndar á mynd 39 og teknar lítillega saman hér að neðan:

- Yfirborðsstífnin er að aukast um 22-56% við styrkinguna, og er minnst á vegum 1-h0, 1-h1 og 62-05 eða inn í Borgarfirði og á Barðastrandavegi.
- B-stuðullinn eykst um 29-66%. B-stuðullinn var í öllum tilfellum yfir 10 áður en ráðist var í styrkingu.
- K gildi eykst um 23-76%, en því hærra sem K-gildið er því neðar liggur veikleiki vegbyggingarinnar. Í öllum tilfellum var K-gildið undir 5 fyrir styrkingu. Eftir styrkingu er stuðullinn um og yfir 10 fyrir alla vegkaflana utan vega 1-h0, 1-h1 og 62-05 eða inn í Borgarfirði og á Barðastrandavegi.
- SCI sem gefur til kynna stífni efstu 30 cm vegbyggingarinnar. Niðurbeygjan minnkar um 47-387% sem gefur til kynna að niðurbeygjur í efsta hluta vegbyggingarinnar eru umtalsvert minni heldur en fyrir styrkingu. Aftur er munurinn minnstur í Borgarfirðinum (1-h0 og 1-h1) og á Barðastrandavegi (62-05).
- BCI sem gefur til kynna stífni neðstu laga vegbyggingar breytist ekki mikið en lækkar þó aðeins í þremur tilvikum á meðan magn niðurbeygjunnar stendur í stað í fjórða tilfallinu og hækkar á þremur stöðum í vegum 1-h1 og 62-05. Ekki var unnt að reikna BCI stuðul fyrir alla vegspottanna þar sem mælingar vantaði í rétttri fjarlægð frá miðju falllóðsins.
- BDI sem er skemmdarstuðull burðarlags, eða mæld niðurbeygja á 30-60 cm dýpi frá yfirborði minnkar um 7-97% og má það vætanlega rekja til þess að sementsstyrkingin dreifir álaginu betur eða jafnar álagið betur en óbundið efni. Athygli vekur að vegir 1-h0, 1-h1 og 62-05 sýna minnstu minnkun í BDI.
- AUPP eða flatarmál sigdældarinnar minnkar um 14-55% eftir styrkinguna sem gefur til kynna stífari vegbyggingu þar sem minni niðurbeygjur eru mældar.

Það er athyglisvert að sementsstyrkingin í Borgarfirði (1-h0 og 1-h1) og á Barðarstrandarvegi sýna minni styrktaraukningu heldur en aðrir vegir sem voru skoðaðir. Hugsanleg ástæða í Borgarfirði er fínefnaleysi efnisins en því miður misfórst að fá sýni undan fræsaranum í Barðastrandavegi. Meðalbrotstyrkur kjarna sem teknir voru úr þessum vegum gáfu meðaltalsstyrk 5,4 MPa fyrir 1-h0 inn í Borgarfirði og 9,2 MPa fyrir Barðastrandaveg.



MYND 39 Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir sementsbundin burðarlög.

5.2 Bikbundnir vegir (bikfest burðarlag)

Nokkuð af vegum á Íslandi voru endurbættir með bikfestu burðarlagi á árunum fyrir 2009 en lítið hefur verið bikbundið síðastliðin ár. Í mörgum tilfellum eru til falllódsmælingar fyrir og eftir styrkingu og því hægt að meta áhrif styrkingarinnar á burð veganna. Í þeim tilvikum sem hér eru skoðuð þá eru festu burðarlögin ýmist bundin með froðubiki (FB) og bikþeytu (BP), en listi yfir vegaspottana er í tafla 27. Einungis eru 3 vegkaflar styrktir með bikþeytu á meðan 11 vegkaflar eru festir með froðubiki. Í flestum tilfellum styrkist efsti hluti vegbyggingarinnar, þar sem bæði yfirborðsstífnin og niðurbeygjan í efstu 30 cm minnkar. Burður vegbygginganna virðist halda sér vel í þau 10-15 ár sem mælingarnar ná yfir. Styrking burðarlagsins hefur lítil áhrif á neðri hluta vegbyggingarinnar. Falllódsmælingar allra veganna eru sýndar í viðauka B.

TAFLA 27 Niðurstöður nýjustu mælinga og síðustu mælinga fyrir styrkingu, ásamt reiknuðum prósentumun mælinganna fyrir bikbundin burðarlög.

VEGUR		ÁR	E_{surf} [MPa]	B [tonn]	K	SCI	BCI	BDI	AUPP
35-01; st. 48-1.328 Styrkt 24.06.2006 Bikþeyta 10 cm	Biskups- tungnabraut	2005	241	11,5	3,9	329	55	146	3190
		2016	290	14,7	6,3	183	71	147	2762
		[%]	17%	22%	38%	-80%	23%	1%	-15%
35-01; st. 3.082-4.336 Styrkt 24.06.2006 Bikþeyta 10 cm	Biskups- tungnabraut	2005	367	15,8	3,1	274	35	108	1935
		2016	467	20,7	4,6	157	49	114	1673
		[%]	21%	24%	33%	-75%	29%	5%	-16%
1-c0; st. 300-3.700 Styrkt 28.06.2008 Bikþeyta 12 cm	Suðurland, austan Hvolsvallar	2004	213	11,5	3,8	315	114	179	2593
		2015	257	14,4	4,7	206	79	165	2221
		[%]	17%	20%	19%	-53%	-44%	-8%	-8%
1-h3; st. 0-1.026 Styrkt 30.07.2005 Froðubik 15 cm	Borgarfjörður sunnan Holtavörðuheidi	2005	390	20,4	3,7	166	36	92	1363
		2015	425	21,9	3,9	139	40	87	1263
		[%]	8%	7%	5%	-19%	10%	-6%	-8%
1-h4; st. 7.753-8.637 Styrkt 28.07.2007 Froðubik 15 cm	Borgarfjörður sunnan Holtavörðuheidi	2003	364	18,4	3,1	212	42	99	1376
		2010	581	32,1	5,3	148	28	79	995
		[%]	37%	43%	42%	-43%	-50%	-25%	-38%
1-k7; st. 2.543-5.600 Styrkt 29.07.2006 Froðubik 10 cm	Húnavatnssýslur	2004	266	14,8	4,3	228	67	128	2155
		2017	373	16,8	5,3	175	64	144	1994
		[%]	29%	12%	19%	-30%	-5%	11%	-8%
1-k7; st. 5.600-11.190 Styrkt 28.07.2007 Froðubik 15 cm	Húnavatnssýslur	2006	296	17	4,9	182	58	117	1952
		2017	414	19,3	6,1	138	62	126	1828
		[%]	29%	12%	20%	-32%	6%	7%	-7%
1-k8; st. 205-4.687 Styrkt 28.07.2007 Froðubik 15 cm	Húnavatnssýslur	2004	307	16,9	4,2	196	55	100	1891
		2015	389	21,6	4,9	128	49	87	1536
		[%]	21%	22%	14%	-53%	-12%	-15%	-23%
1-m2; st. 830-1.220 Styrkt 30.09.2000 Froðubik 12 cm	Norðurlandsvegur norðan Blöndóss	1999	347	17	2,8	245			
		2015	408	20,6	3,3	170	41	99	1291
		[%]	15%	17%	15%	-44%			
1-m2; st. 1.139-2.730 Styrkt 27.06.2009 Froðubik 15 cm	Norðurlandsvegur norðan Blöndóss	2008	341	17,6	3,2	209	47	113	1498
		2015	358	18,1	3,2	199	48	114	1455
		[%]	5%	3%	0%	-5%	2%	1%	-3%
1-m2; st. 2.730-5.898 Styrkt 29.07.2006 Froðubik 15 cm	Norðurlandsvegur norðan Blöndóss	1999	199	11,1	3,8	343			
		2015	274	15,3	4,4	199	63	134	1961
		[%]	27%	27%	14%	-72%			

82-02; st. 4.200-6.040 Styrkt 28.09.2002 Froðubik 10 cm	Ólafsfjarðarvegur	2001	312	16,4	3,3	222	41	105	1649
		2017	370	20,2	4,5	156	42	108	1512
		[%]	16%	19%	27%	-42%	2%	3%	-9%
82-02; st. 6040-10700 Styrkt 28.06.2003 Froðubik 10 cm	Ólafsfjarðarvegur	1998	347	18,2	3,9	200	45	97	1853
		2017	410	22,5	4,8	135	40	98	1491
		[%]	15%	19%	19%	-48%	-13%	1%	-24%
82-02; st. 0-3430 Styrkt 26.06.2004 Froðubik 10 cm	Ólafsfjarðarvegur	2003	228	12,9	3,1	209	75	97	2955
		2017	249	15,8	7,1	165	68	149	2669
		[%]	8%	18%	56%	-27%	-10%	35%	-11%

Niðurstöður falllóðsmælinganna eru sýndar á mynd 40 teknar lítillega saman hér að neðan:

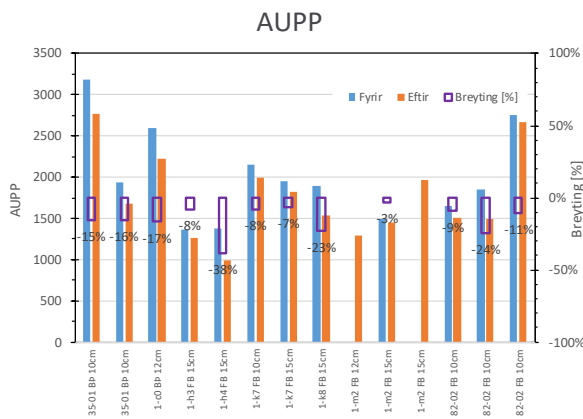
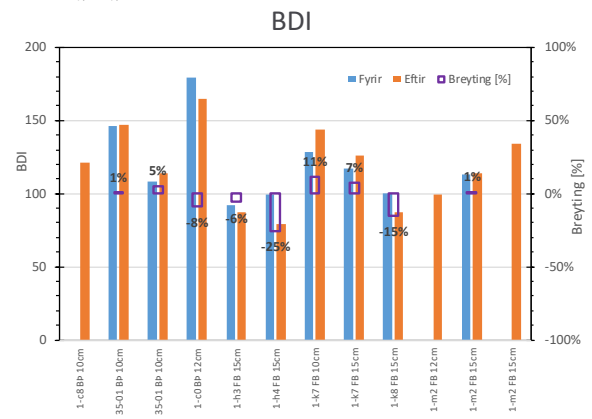
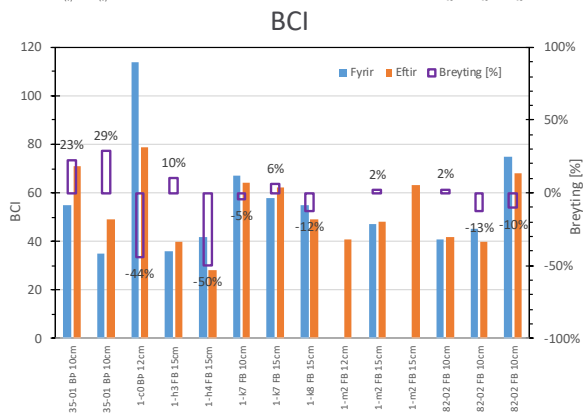
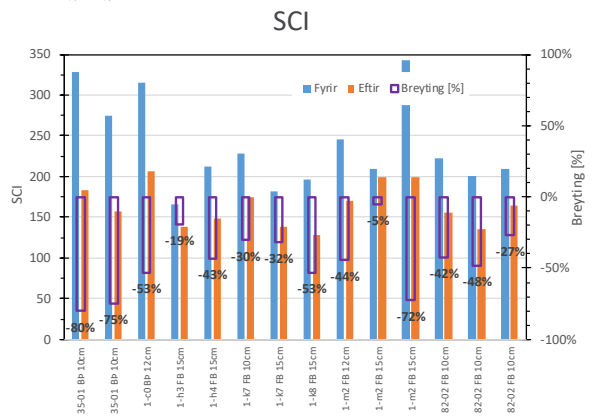
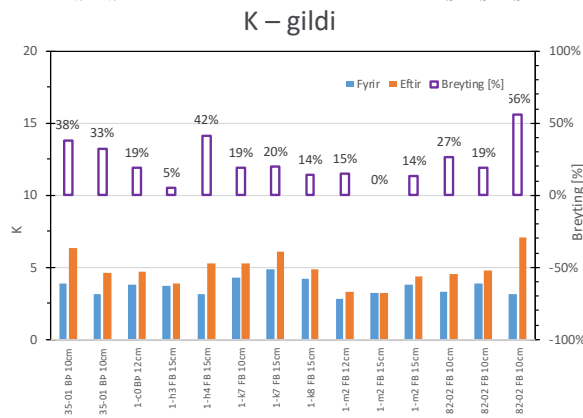
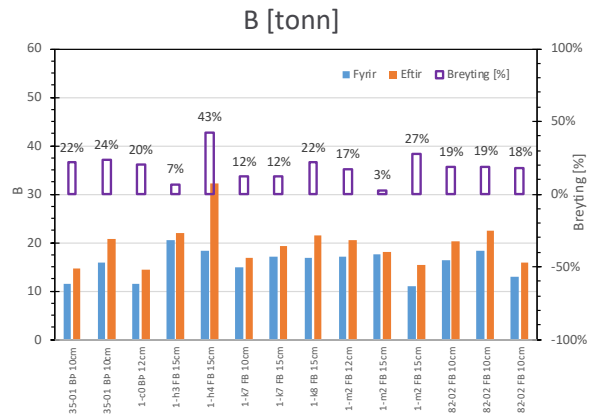
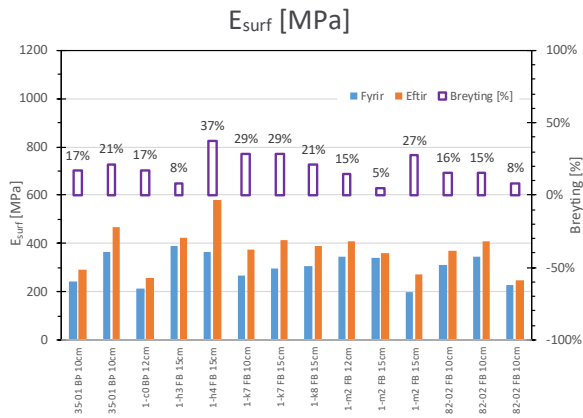
- Yfirborðsstífnin er að aukast um 5-37% við styrkinguna. Stífnin virðist aukast jafnar þar sem notast er við bikþeytu borið saman við froðubik.
- B-stuðulinn eykst um 3-43%.
- K gildi eykst en virðist enda í gildum á milli 3 og 5. Samkvæmt norsku leiðbeiningunum liggur þá helsti veikleiki vegbyggingarinnar í burðar- eða styrktarlaginu. Því hærra sem K gildið er því neðar liggur veikleikinn, þess vegna er líklegt að helsti veikleikinn liggji í styrktarlaginu. Mögulega nær styrkingin í burðarlaginu ekki að vinna upp fyrir lélegt styrktarlag, það er að segja spennurnar sem styrktarlagið verður fyrir eru enn of miklar.
- SCI sem gefur til kynna stífni efstu 30 cm vegbyggingarinnar minnkar um 5-80%. Breytileikinn í þessum mælingum er töluverður, en er minni fyrir bikþeytuna.
- BCI sem gefur til kynna stífni neðstu laga vegbyggingar. Stuðullinn rokkar frá -50% upp í 29% þannig að í einhverjum tilfellum er niðurbeygjan að aukast eftir styrkingu. Í einhverjum tilfellum var ekki unnt að reikna stuðulinn þar sem mælingar vantaði í rétttri fjarlægð frá álagsmiðjunni.
- BDI sem er skemmdarstuðull burðarlags, eða mæld niðurbeygja á 30-60 cm dýpi frá yfirborði breytist lítið sem gefur til kynna að bikbindingin nái ekki að dreifa álaginu betur niður á styrktarlagið en þess ber að geta að ekki var alltaf unnt að reikna stuðulinn vegna skorts á mælipunktum.
- AUPP eða flatarmál sigdældarinnar minnkar í öllum tilfellum en breytingin á flatarmáli er mjög breytileg.

Svo virðist sem meiri stöðuleiki sé þar sem bikþeyta er notuð í samanburði við froðubikið, en athuga verður að einungis þrjár mælingar eru tilteknar með bikþeytu.

Til þess að fá frekari upplýsingar um vegspottanna sem hérna voru til skoðunnar var haft samband við Ingva Árnason hjá Vegagerðinni í Borgarnesi.

- Vegur 1-m2, 1-k8, 1-k7 burðarlag fest með froðubiki. Framkvæmdin gekk vel án nokkurra uppákoma. Breytileiki í mælingum á þessum vegum er töluverður.
- Vegur 1-h4, vandræði voru með festun sumarið 2006 vegna bleytu og var hluti vegarins þess vegna endurgerður sumarið á eftir (st. 7753-8637). Froðubik er viðkvæmt fyrir bleytu og þess vegna er ekki mælt til að framkvæma festun með froðubiki síðla sumars.

Búið er að taka kjarna úr vegum 35-01, tilraunakafli á vegi 82-02 sem og úr vegi 82-01. Því miður eru ekki til falllóðsmælingar af vegi 82-01 fyrir styrkingu og þess vegna erfitt að sjá hvernig stífnin breytist við styrkingu. Nákvæmari lýsing á þessum vegum er að finna í kafla 4.2.



MYND 40 Niðurstöður falllööðsmælinga fyrir bikbundin burðarlög, á myndunum er BP – bikþeyta og FB - froðubik.

5.3 Vegir sem er keyrt í án frekari styrkingar eða endurbyggðir að hluta

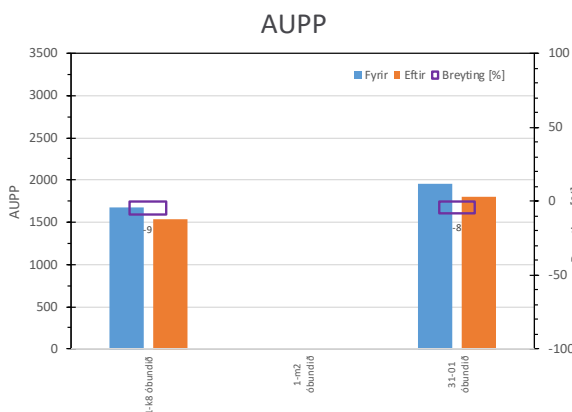
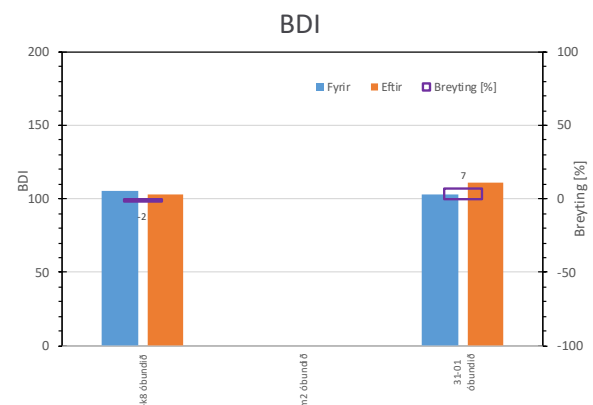
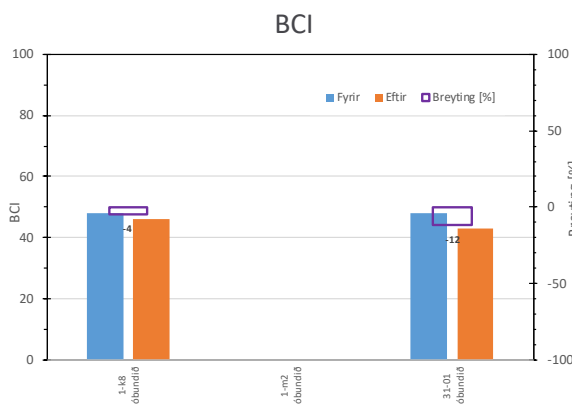
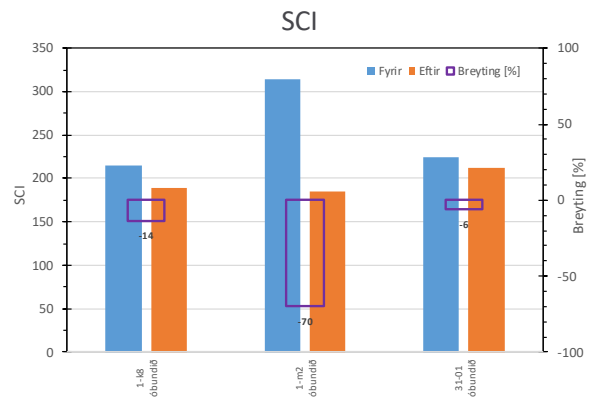
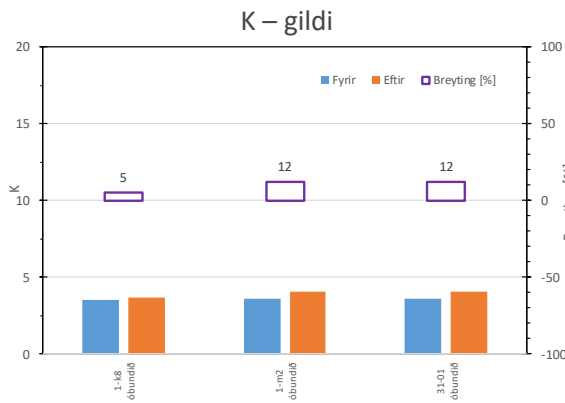
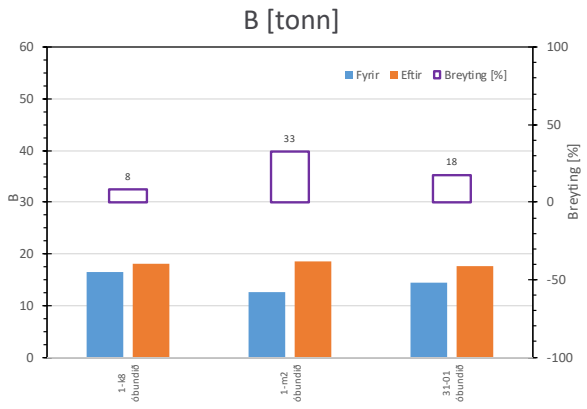
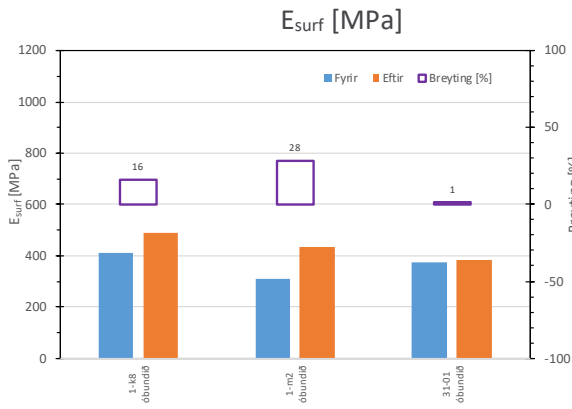
Til samanburðar voru skoðaðir 3 vegir (tafla 28) þar sem einungis var þurrfræst, þverhalli jafnaður og ný klæðing lögð eða vegirnir endurbyggðir að hluta og breikkaðir. Þar sem falllóðsmælingar fyrir og eftir endurlögn eru til er hægt að meta hvort endurlögnin hafi áhrif á styrk vegbyggingarinnar. Myndir fyrir hvern vegkafla eru í viðauka C, en þær gefa til kynna styrktaraukningu þegar vegur er endurbyggður 60 cm niður fyrir yfirborðið en minni styrkbreyting þegar vegur er endurbyggður 25-35 cm niður fyrir yfirborðið. Í Skálholtsvegi (31-01) var fyrri mælingin gerð 2 mánuðum eftir endurbætur en seinni mælingin að tveimur árum liðnum. Fyrri mælingin sýndi heldur minni stífni eftir endurbætur, en þegar seinni mælingin var framkvæmd hafði eftirþjöppun átt sér stað og var stífnin þá orðin sú sama og fyrir endurbætur. Fróðlegt væri að skoða fleiri kafla til að meta hversu djúpt þarf að endurbyggja veginn til að styrkur hans aukist.

TAFLA 28 Niðurstöður nýjustu mælinga og síðustu mælinga fyrir endurlögn, ásamt reiknuðum prósentumun mælinganna.

VEGUR		ÁR	E_{surf} [MPa]	B [tonn]	K	SCI	BCI	BDI	AUPP
<u>1-k8; st. 4.570-10.380</u> Endurbætt 25.06.2011 Styrktarlag, malað 0-64 / 0-100, þykkt 10-20 cm Burðarlag, malað 0-25, þykkt 15 cm	Húnavatnssýslur	2004	410	16,5	3,5	215	48	105	1678
		2015	688	18	3,7	189	46	103	1542
		[%]	16	8	5	-14	-4	-2	-9
<u>1-m2; st. 0-830</u> Endurbætt 30.09.2000 Styrktarlag, óunnið, þykkt 45 cm Burðarlag, malað 0-25, þykkt 15 cm	Norðurlandsvegur norðan Blöndóss	2006	210	12,5	3,6	314			
		2013	432	18,6	4,1	185			
		[%]	28	33	12	-70			
<u>31-01; st. 6.740-9.310</u> Endurbætt 01.08.2015 Þurrfræsing, þykkt 20 cm	Skálholtsvegur	2014	376	14,5	3,6	225	48	103	1953
		2017	381	17,6	4,1	212	43	111	1808
		[%]	1	18	12	-6	-12	7	-8

Niðurstöður falllóðsmælinganna eru sýndar á mynd 41 og teknar lítillga saman hér að neðan:

- Yfirborðsstífnin er að aukast um 28% í vegi 1-m2 þar sem vegurinn var endurbyggður efstu 60 cm en þar sem endurbyggingin var einungis 25-35 cm í kafla 1-k8 jókst yfirborðsstífnin um 16%. Þar sem einungis var þurrfræst og jafnað stóð yfirborðsstífnin í stað.
- B-stuðulinn eykst um 8 til 33%.
- K stuðulinn eykst um 12% í 1-m2 og 31-01 en um 5% í 1-k8. Stuðulinn er 3,7 og 4,1 sem gefur til kynna að veikleiki vegbyggingarinnar sé í burðar- eða styrktarlagi.
- SCI sem gefur til kynna stífni efstu 30 cm vegbyggingarinnar. SCI minnkar um 6, 14 og 70%. Niðurbeygjur í efsta hluta vegbyggingarinnar eru heldur minni heldur en fyrir endurbyggingu og minnka meira eftir því sem endurbyggingin fer dýpra.
- BCI sem gefur til kynna stífni neðstu laga vegbyggingar breytist ekki mikið.
- BDI sem er skemmdarstuðull burðarlags, eða mæld niðurbeygja á 30-60cm dýpi frá yfirborði, breytist ekki mikið.
- AUPP eða flatarmál sigdældarinnar minnkar um 8 og 9% í 31-01 og 1-k8, en ekki var unnt að meta stuðulinn fyrir 1-m2 vegna staðsetningar mælinema frá álagsmiðju við falllóðsmælingar.



MYND 41 Niðurstöður falllóðsmælinga fyrir óbundin burðarlög.

5.4 Samantekt

Þegar allar þessar mælingar eru teknar saman þá kemur greinilega í ljós meiri styrkukning sementsfestuninnar borið saman við bikfestun og óbundið burðarlag. Hérna er verið að notast við síðustu mælingu fyrir styrkingu og svo nýjustu mælingar. Ekki er talið rétt að nota fyrstu mælingu eftir styrkingu þar sem bikfestunin er töluverðan tíma að ná upp stryk. Hugsanlega væri rétt að nota mælingar sem teknar eru 2-5 árum eftir endurbætur en þegar myndir í viðaukum eru skoðaðar virðast vegbyggingarnar halda styrk sínum vel og skiptir þá ekki höfuðmáli hvaða mælingar eru notaðar eftir endurbætur. Í textanum hér að neðan er verið að vitna í mynd 39, mynd 40 og mynd 41.

Þegar yfirborðsstífnin á myndunum er skoðuð kemur greinilega í ljós meiri yfirborðsstífni sementsbundna burðarlagsins borið saman við bikbundna og óbundna burðarlagið. Fyrir styrkingu virðist yfirborðsstífnin vera á milli 200 og 400 MPa fyrir vegina sem á að bikbinda, en eftir styrkinguna eykst stífni bikbundna efnisins um 5-37% og verður í kringum 300-400 MPa. Þegar litið er til sementsstyrkta efnisins er yfirborðsstífnin milli 300 og 500 MPa fyrir styrkingu en eykst um 22-56% við sementsbindinguna. Yfirborðsstífni óbundnu kaflanna var heldur meiri í byrjun samanborið við kaflanna sem voru bikbundnir en yfirborðsstífnin er að aukast álíka mikið í endurbyggðu vegunum.

Eins og áður segir gefur burðarstuðullinn einhverja mynd af breytingunni sem verða á burðargetu vegbygginganna en hann er reynslujafna frá Noregi. Burðarstuðullinn eykst meira við sementsfestun burðarlags samanborið við bikbindingu og óbundið burðarlag.

Þegar burðarlag vegar er styrkt með sementi þá eykst K gildið í flestum tilfellum gríðarlega, væntanlega vegna aukinnar álagsdreifingar þegar vegbyggingin er orðin stíf að hluta til. Mælingar sýna veikleika byggingarinnar neðst í undirlaginu eftir sementsstyrkingu. K gildi bikbundnu vegbygginganna virðast dansa um 5 eftir styrkingu en þar sem burðarlagið er óbundið liggur stuðullinn heldur neðar. Skv. norsku leiðbeiningunum gefur stuðullinn til kynna að helsti veikleikinn liggir í styrktarlaginu. Þar sem bikið viðheldur sveigjanleika vegbyggingarinnar verður álagsdreifingin ekki með sama hætti og þegar um stífa vegbyggingu er að ræða.

Töluverður breytileiki er á mældum niðurbeygjum í efstu 30 cm vegbyggingarinnar en í öllum tilfellum minnkar niðurbeygjan eftir endurbætur en niðurbeygjan minnkar meira þar sem burðarlagið er sementsbundið og er SCI stuðullinn í flestum tilfellum undir 100. Þar sem burðarlagið er bikbundið virðist niðurbeygjan vera á milli 150 og 200 og í kringum 200 þar sem burðarlagið er óbundið.

Krappi burðarlagsins breytist eitthvað en verið er að skoða breytingu á niðurbeygju á 60-90 cm dýpi. Töluverðar sveiflur eru í breytingunni sem og mælingunum en stöðugleikinn virðist vera meiri þar sem er óbundið burðarlag og sementsbundið borið saman við mælingarnar þar sem burðarlagið er bikbundið. Svo virðist sem bikbindingin gefi mjög breytilegar niðurstöður og þar sem burðarlagið er óbundið virðist krappi burðarlagsins ekki vera að breytast. Í sumum tilvikum var ekki unnt að mæla BCI vegna ónógra mælipunkta við falllóðsmælingar.

Skemmdarstuðull burðarlags (BDI) sýnir breytingu á niðurbeygju á 30-60 cm dýpi. Niðurbeygjan lækkar í öllum tilfellum þar sem vegurinn er sementsbundin, er breytilegra við bikfestun og virðist standa í stað þar sem burðarlagið er óbundið. Mælt flatarmál undir sigdældinni (AUPP) minnkaði í öllum tilfellum en minkunin er mest þar sem burðarlagið var sementsfest.

6 LOKAORÐ

Heimildum kemur saman um að skoða þurfi vel staðhætti þar sem þörf er á endurbótum vega. Finna verður rót vandans áður en ráðist er í að laga vandann. Skoða þarf hvert tilfelli fyrir sig og taka sýni. Oft eru margir samhangandi þættir sem valda niðurbroti vega og þess vegna þarf oft að sameina aðferðir til endurbóta. Samhliða styrkingum er mælt til að kanna afvötnun og bæta úr ef þess er talin þörf. Oftast er fjárhagsáætlun til styrkinga og endurbóta mun lægri heldur en þörfin og því mikilvægt að taka vel upplýstar ákvarðanir þannig að fjármunirnir nýtist sem best.

Frumathuganir gefa til kynna að sementsfestun burðarlags skili töluvert auknum yfirborðsstyrk borið saman við óbundin og bikfest burðarlög. 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. Þá virðist sem sementsfestunin gefi jafnari niðurstöður. 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 sem getur að hluta til skýrt aukinn breytileika, en einnig er verið að nota tvær gerðir biks, froðubik og bikþeytu. Meiri stöðugleiki virðist vera við nokkun bikþeytu en vegkaflarnir eru einnig færri þar sem bikþeytan er notuð borið saman við froðubikið.

Lítill munur sést á niðurstöðum falllódsmælinga hvort heldur sem sementsfestunin er 10 eða 17 cm en lang algengast er að 15 cm þykkt burðarlag sé styrkt með sementi. Þess ber þó að geta að sementsmagn, vatnsmagn, steinefni, undirbygging og undirlag hafa mikil áhrif á festunina og einungis einn kafli er styrktur með 10 cm.

Það kemur á óvart hversu lítill áhrif bikbinding burðarlagsins hefur á styrk vegarins, en styrkurinn virðist endast vel með tíma. Þeir kjarnar sem hafa verið teknir og hafa komið óbrotinir upp gefa góðan styrk og eru allir yfir viðmiðunarmörkum. Hins vegar hefur aðeins einn kjarni náðst upp þar sem fest hefur verið með froðubiki. Verið er að skoða hvort reyna ætti að ná upp fleiri kjörnum þar sem bikfestun hefur átt sér stað, bæði til að kanna styrk kjarnanna og bikinnihald þeirra.

Almennt þarf að kortleggja frekar staðarhætti, efni undirbyggingar, yfirbyggingar og undirlags á vegum sem hafa verið festir til þess að hægt sé að varpa frekara ljósi á þær spurningar sem enn er ósvarað.

Svo virðist sem val um bik eða sement sé aðallega háð verði. Þó má sjá að Finnar styrkja mikið með sementi og Norðmenn velja heldur bik. En Norðmenn hafa ekki góða reynslu af sementsstyrkingum þar sem stórar sprungur hafa myndast vegna frostlyftinga, en töluverðar mismunahreyfingar má finna í norskum vegum. Annars staðar virðist verð á sementi og biki ráða mestu um val á bindiefni.

Kanna þarf betur hvernig stýra skuli magni bindiefnis fyrir íslenslar aðstæður og fylliefni. Hvenær heppilegt sé að festa og hvenær nægjanlegt er að þurrfræsa án festunnar burðarlags. Undanfarin ár hefur verið styrkt töluvert á vestur- og norðurlandi á meðan lítið sem ekkert hefur verið fest á suður og austurlandi. Það virðist þess vegna vera nokkuð staðbundið hvort að ráðist er í styrkingar eða ekki.

Talið er að kostnaður við styrkingu (festun) sé óverulegur þegar farið er af stað á annað borð og má það hugsanlegt vera. Hins vegar er kostnaðurinn við sementsstyrkingu um 30% meiri á hvern fermetra þegar styrkt er og þess vegna gæti reynst gott að hafa skýrari viðmið um hvenær skuli festa burðarlagið þótt að sjálfsögðu verði að taka tillit til staðháttá og niðurbrotsmynda í veginum í hverju tilfelli fyrir sig.

Niðurstöður í verkefninu koma að mörgu leyti á óvart og mörgum spurningum enn ósvarað.

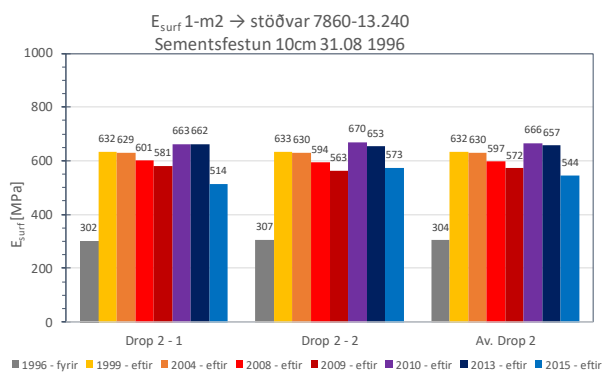
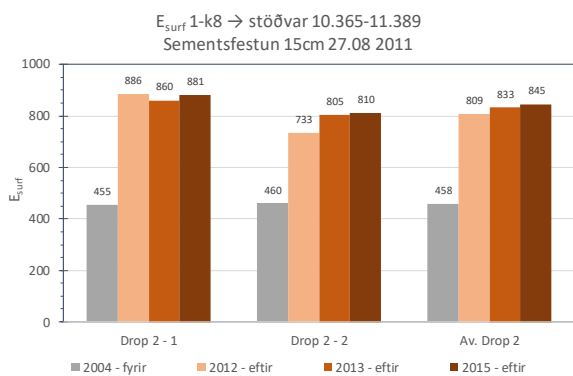
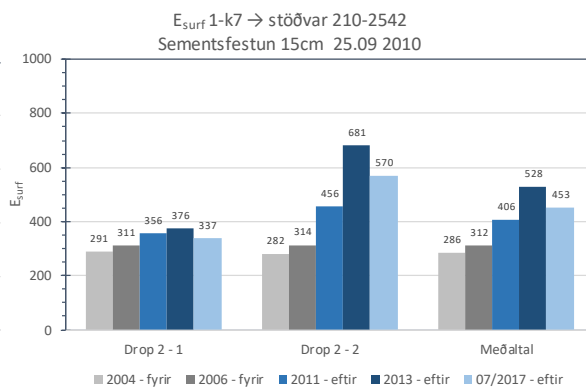
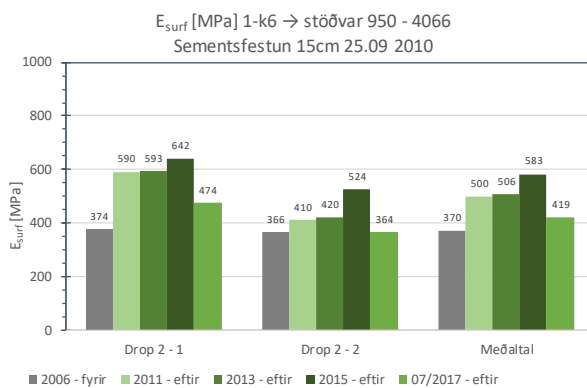
HEIMILDASKRÁ

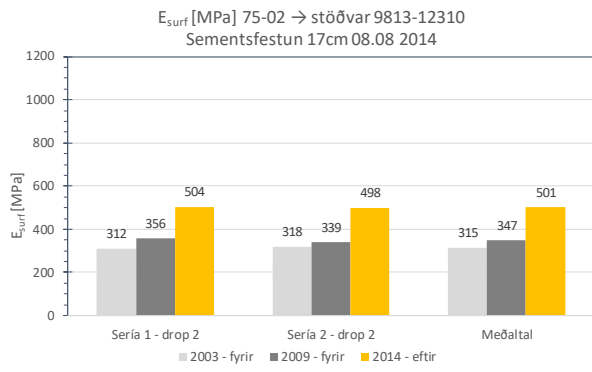
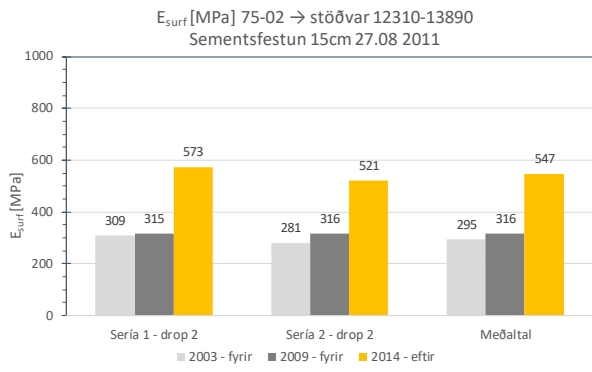
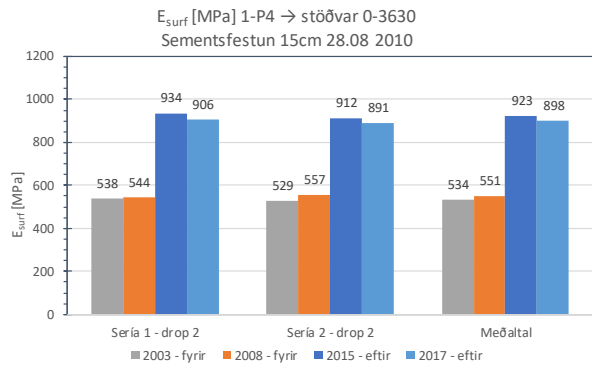
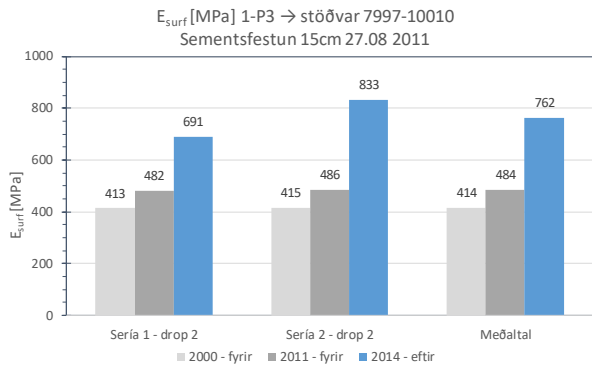
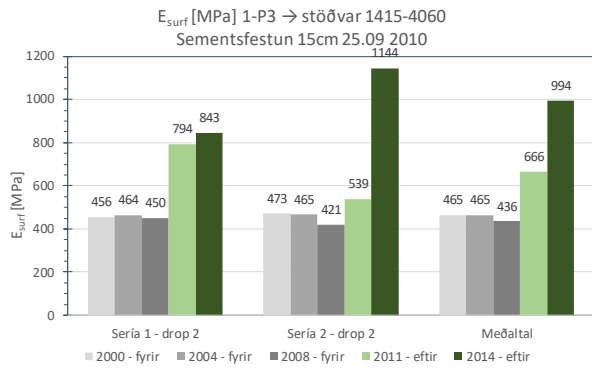
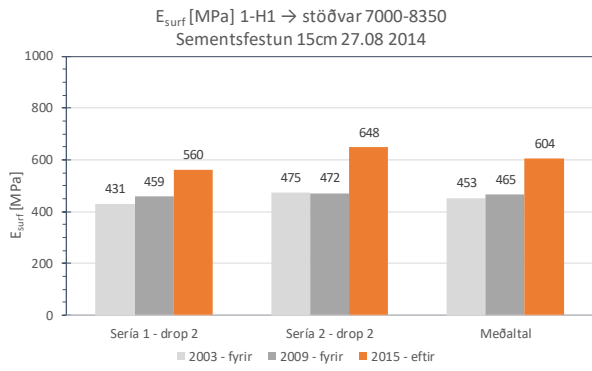
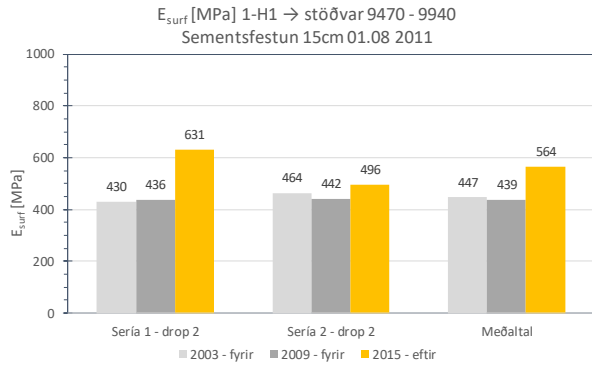
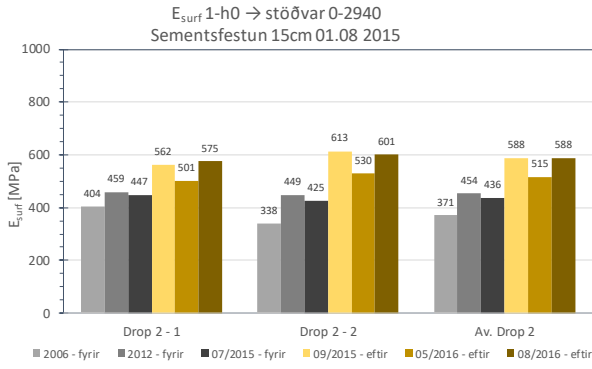
- Aho, Sara; Sarrenketo, Timo; Berntsen, Geir; Dawson, Andrew; Kolisoja, Pauli & Munro, Ron (2005). Structural Innovations, A Summary of ROADEX II Project Phase II Reports. ROADEX II Project, Scotland.
- Alabaster, D; Patrick, J; Arampamoorthy, H & Gonzalez, A (2013). The design of stabilised pavements in New Zealand. New Zealand Transport Agency research report 498.
- Austrorads (2004). Pavement design: a guide to the structural design of road pavements. Austrorads, Sydney, Ástralíu.
- Einar Gíslason, Guðmundur Ingi Waage, Guðmundur Ragnarsson og Igvi Árnason (2013). Leiðbeiningar fyrir framkvæmd og eftirlit með sementsfestun. Vegagerðin, Reykjavík, Ísland.
- Guðmundur I. Waage (2011). Sementsfestun og breikkun á hringvegi 2010, skýrsla um framkvæmd. 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 þáatíma. Háskóli Íslands, Reykjavík, Ísland.
- Howard, I. L.; Sullican, W. G.; Anderson, B. K.; Shannon, J. & Cost, T. (2013). Design and Construction Control Guidance for Chemically Stabilized Pavement Base Layers, Final Report FHWA/MS-DOT-RD-13-206. Mississippi State University (MSU), Bandaríkjunum.
- Ingvi Árnason (2017). Samtöl og tölvupóstar 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.

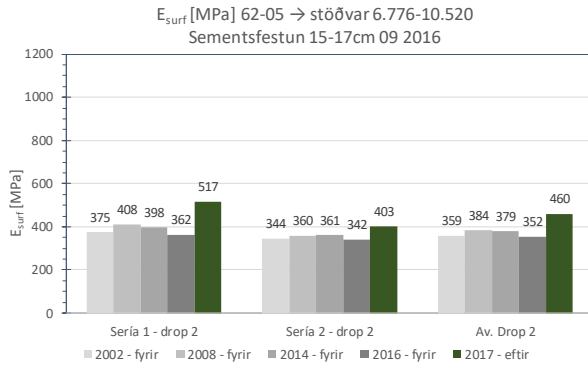
- Refsdal, Geir (2007). Forsterkning av veg. Kynning flutt 24.april 2007. Statens vegvesen, Noregi.
- RSTA & ADEPT (2012). Code of Practice for In-situ Structural Road Recycling. RSTA (Road Surface Treatments Association) & ADEPT (Association of Directors of Environment, Economy, Planning and Transport), Bretlandi.
- Statens Vegvesen (2015). Forsterkninger av vegar, varige vegar 2011-2014, Statens Vegvesens Rapporter nr. 373. Statens Vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2014a). Håndbok N200 – Vegbygging, normaler. Statens vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2014b). Håndbok R210 – Laboratorieundersøkelser. Statens vegvesen, Noregi.
- Statens vegvesen (2014c). Håndbok R211 – Feltundersøkelser. Statens vegvesen, Noregi.
- Theyse, H. L. & Muthen, M. (2001). Pavement analysis and design software (PADS) based on the South African mechanistic-empirical design method. Pretoria: Transportek CSIR, Suður-Afríku.
- Trafikverket (2012). Förstärkningsåtgärder. Trafikverket, Svíþjóð. ISBN: 978-91-7467-288-6.
- Transit (2008). TNZ B/5: 2008 – Specification for in-situ stabilisation of modified pavement layers. Transit New Zealand, Nýja Sjálandi.
- 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 (2016). Sementsfestun og þurrfræsing á Vestursvæði 2016, 1.hefti Útboðs- og verklýsing, Vg. 16-037. Vegagerðin, Íslandi.
- Vegagerðin (2015). Sementsfestun á Vestursvæði 2015, 1.hefti Útboðs- og verklýsing, Vg. 15-030. Vegagerðin, Íslandi.
- Vegagerðin (2013). Burðarþolshönnun, leiðbeiningar. Vegagerðin, 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.

VIÐAUKI A SEMENTSSTYRKTIR VEGIR

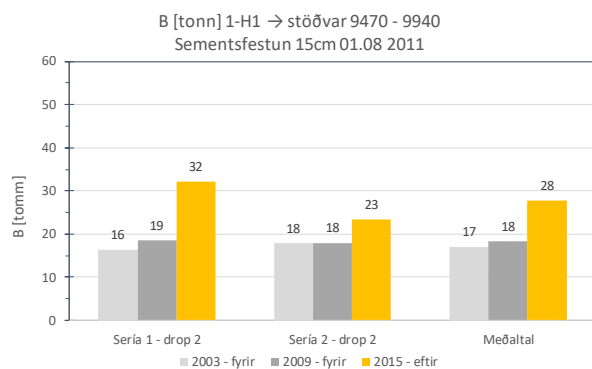
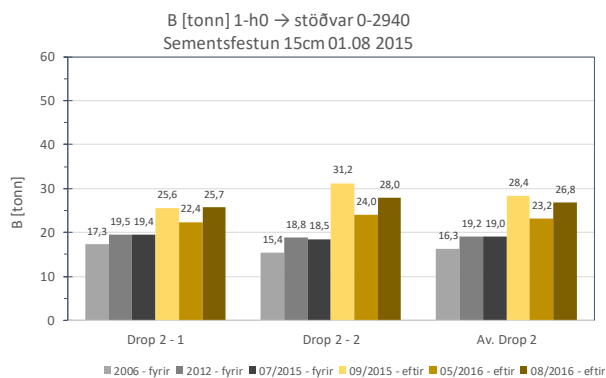
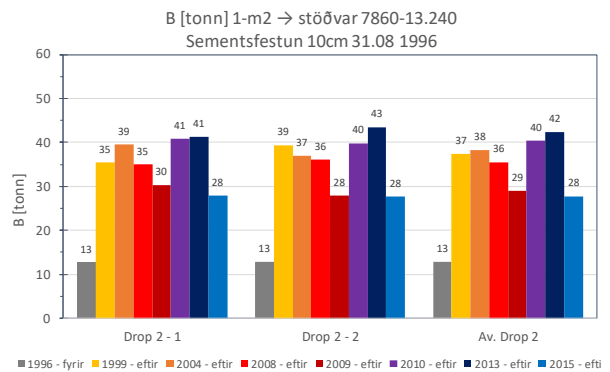
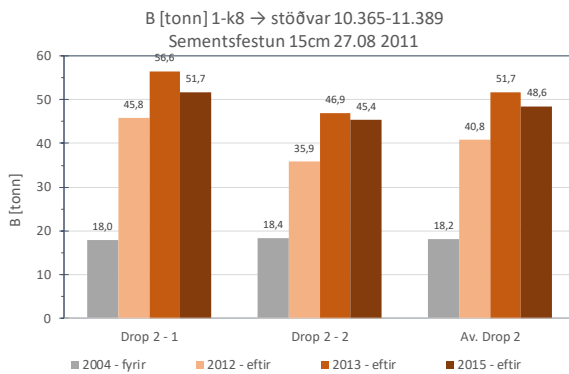
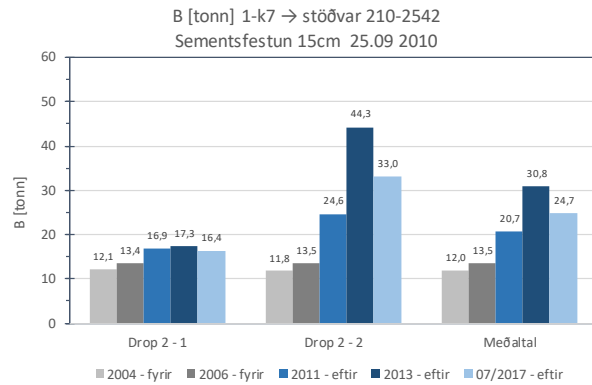
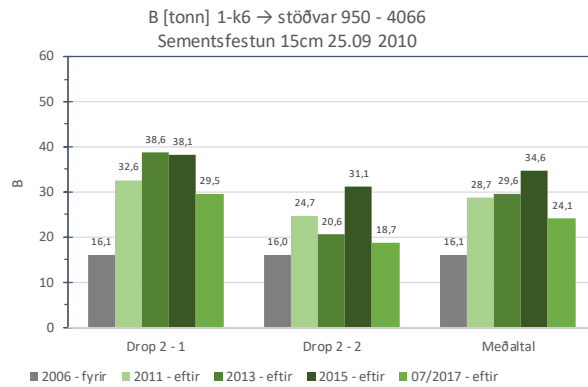
E_{surf} [MPa] – sementsfestun

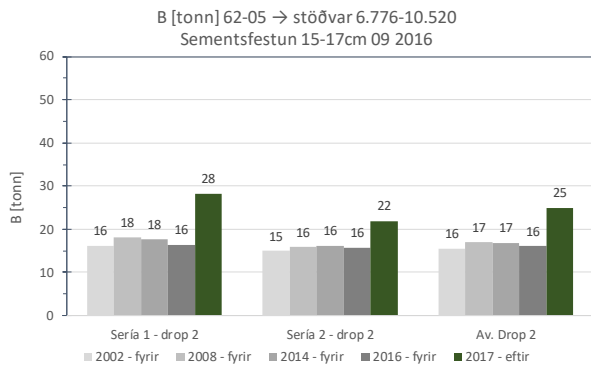
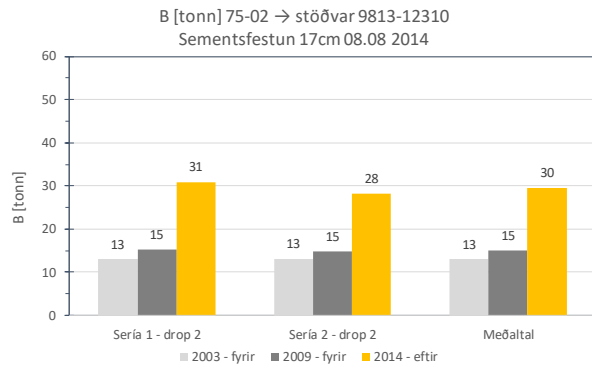
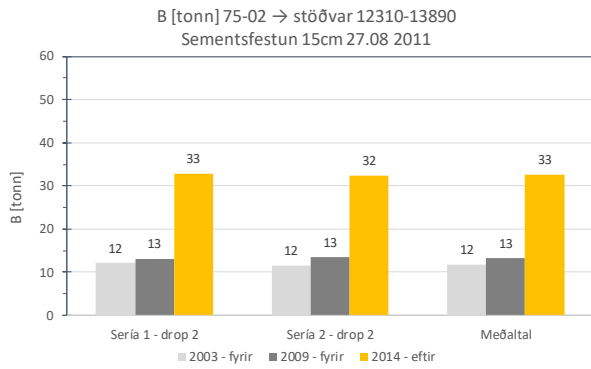
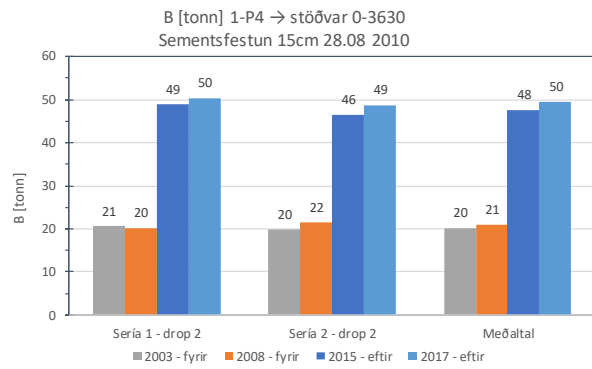
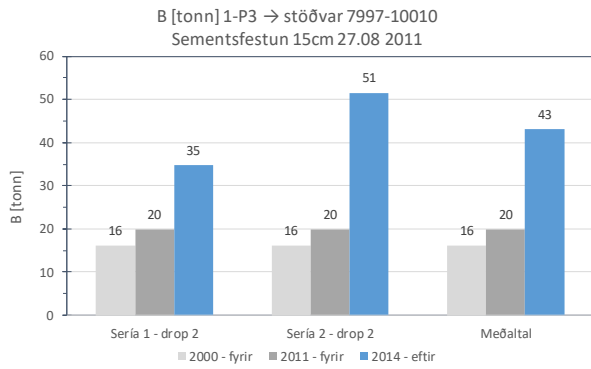
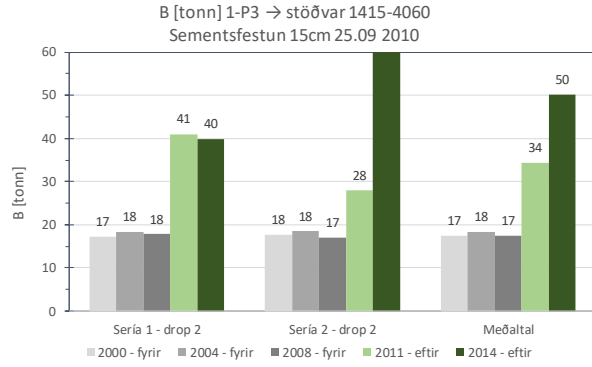
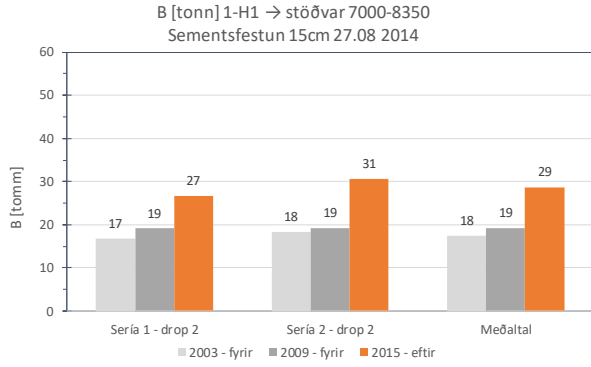




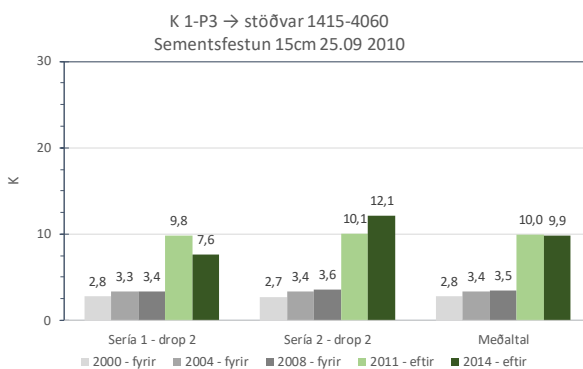
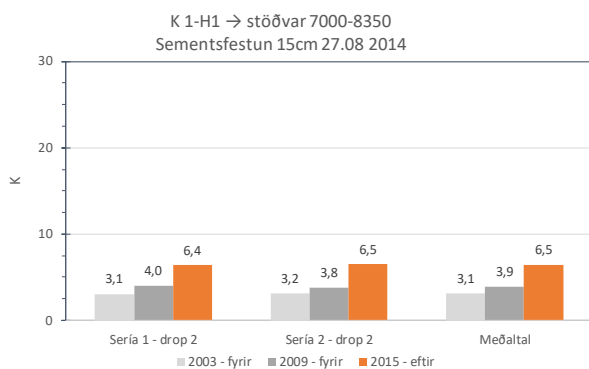
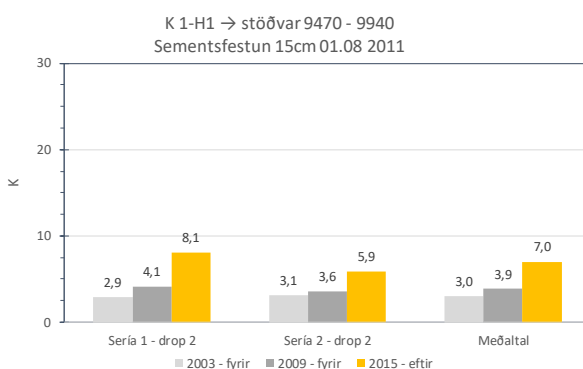
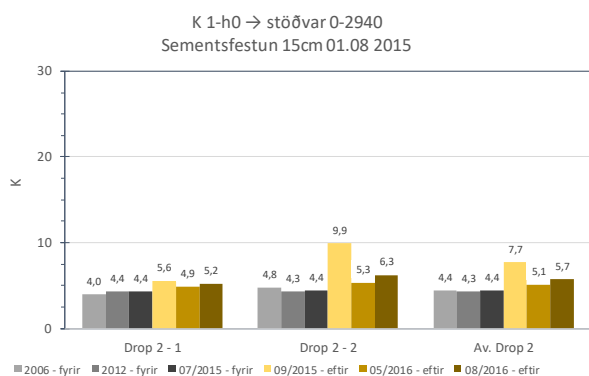
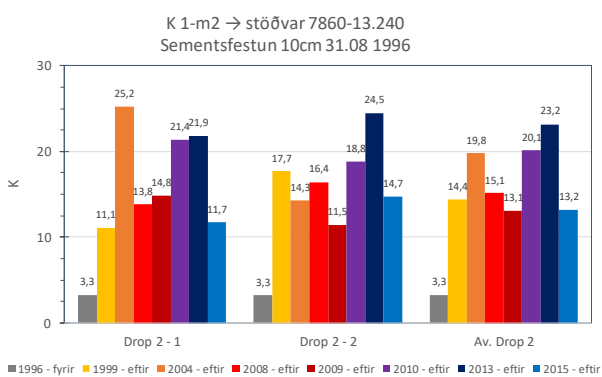
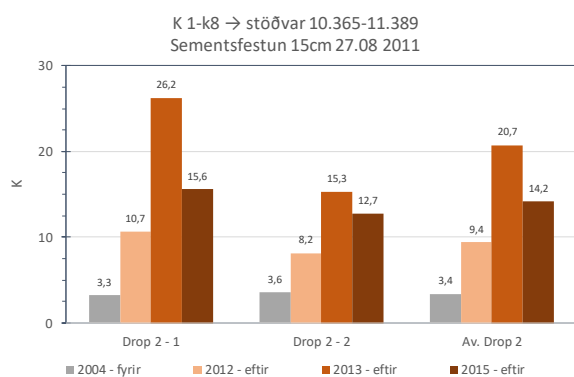
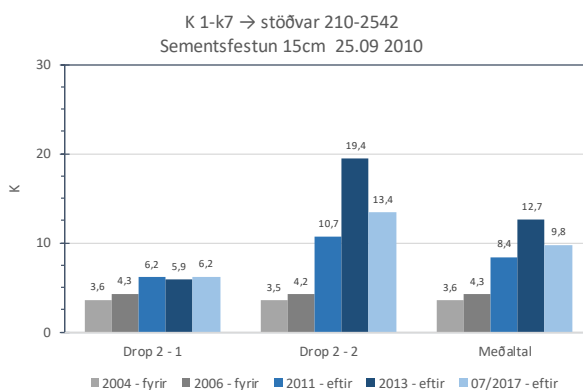
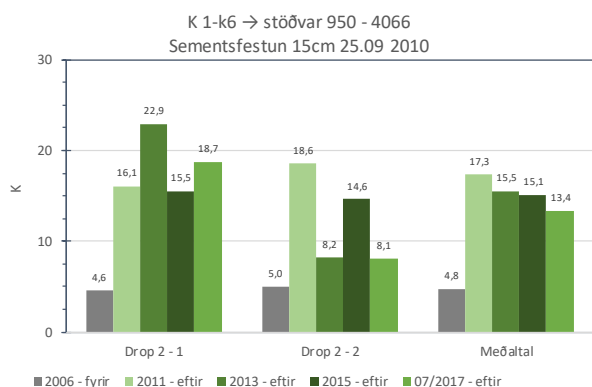


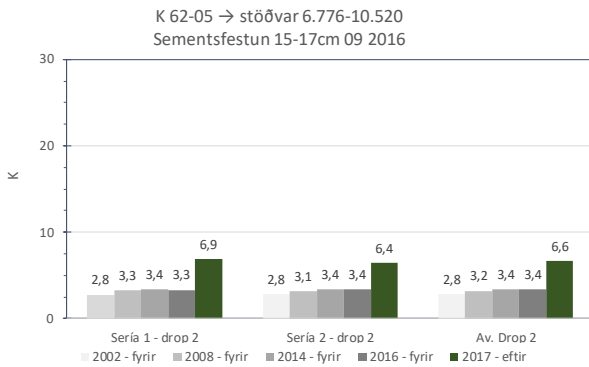
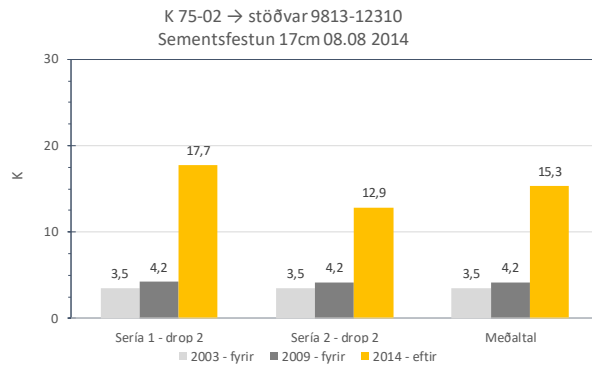
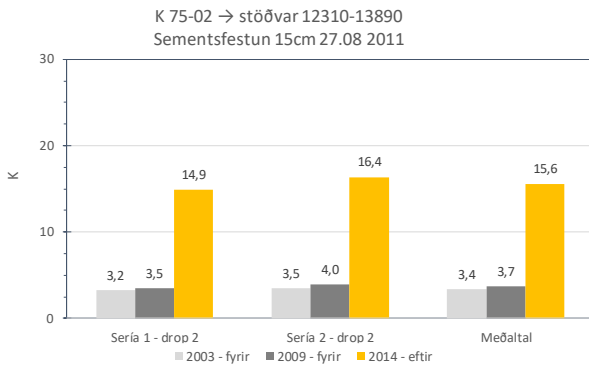
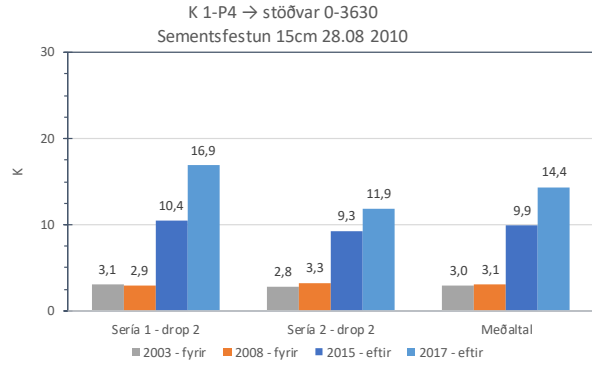
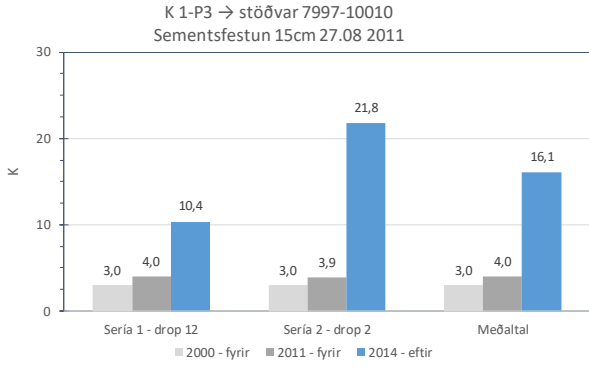
B [tonn] – sementsfestun



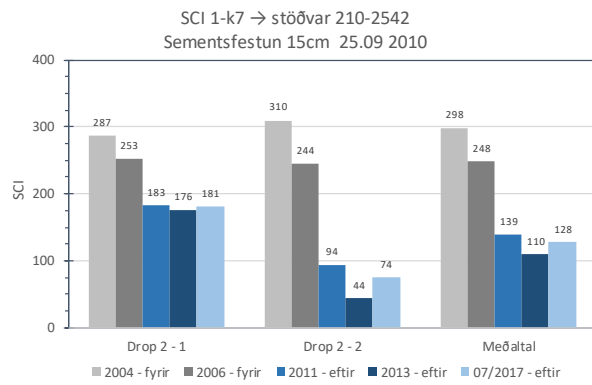
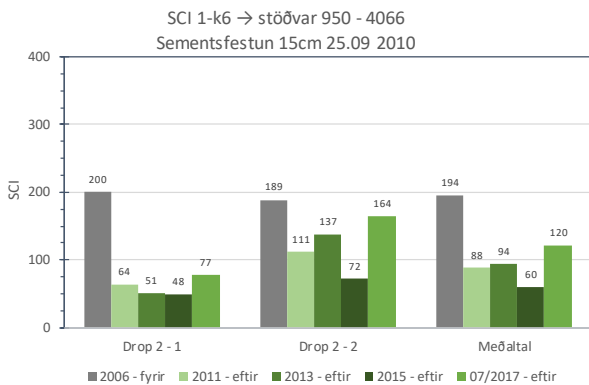


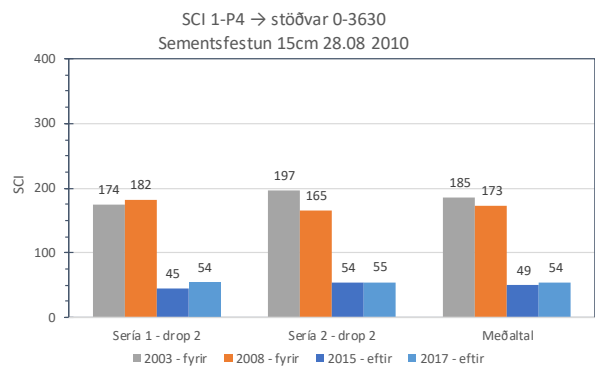
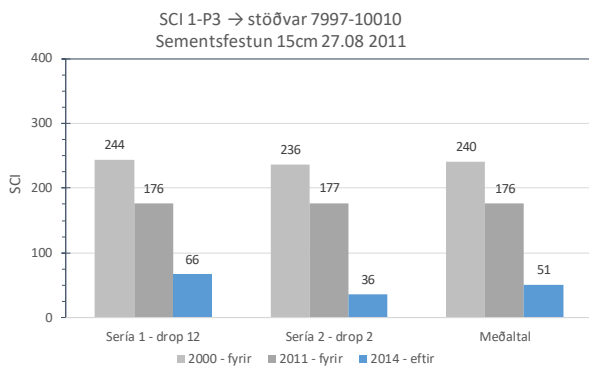
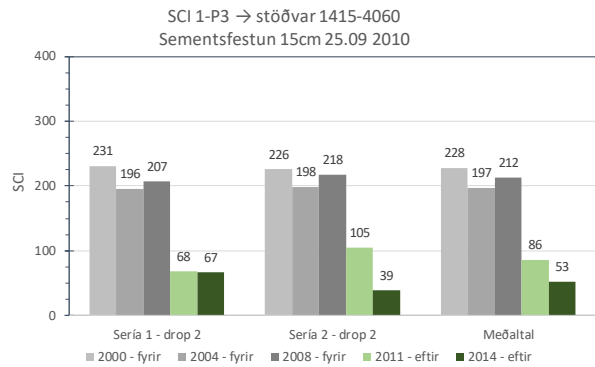
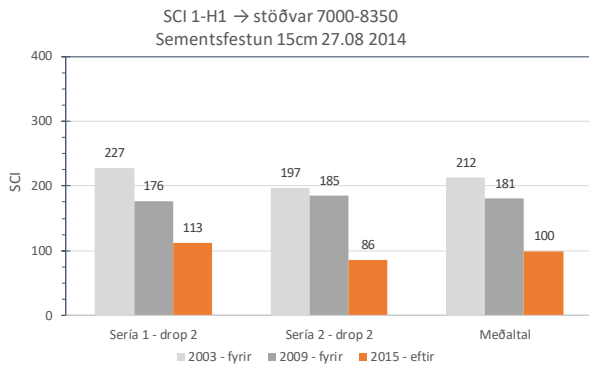
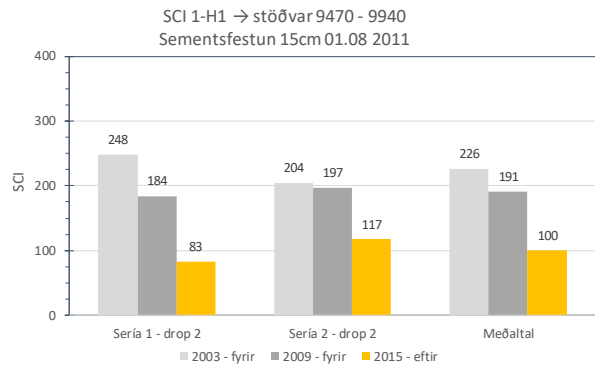
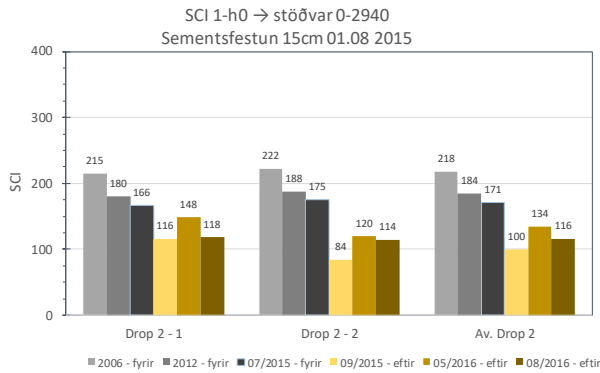
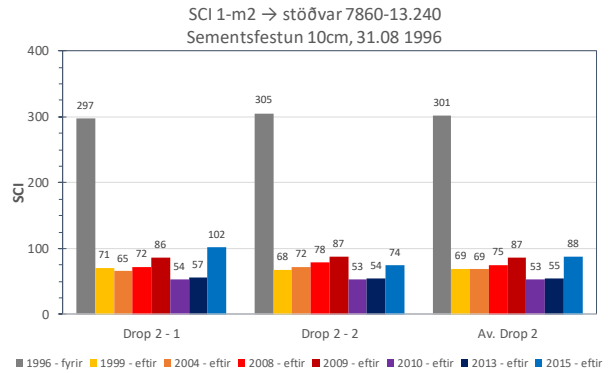
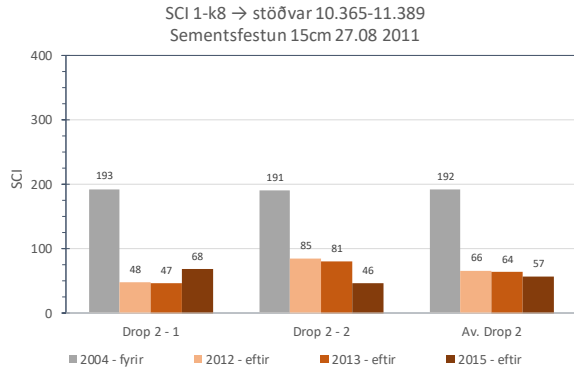
K – sementsfestun

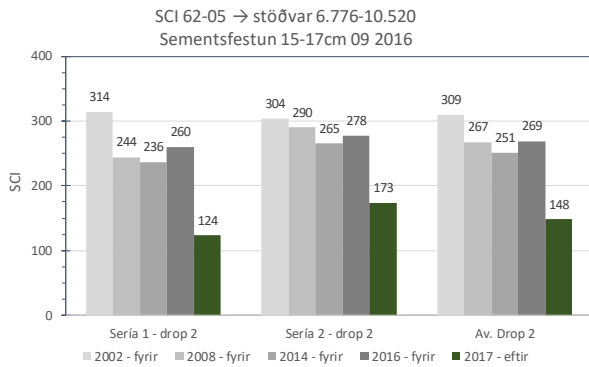
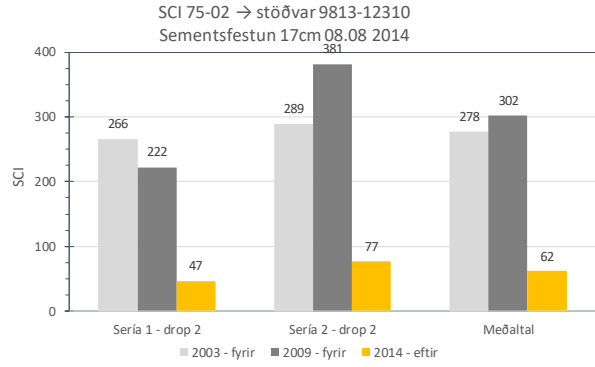
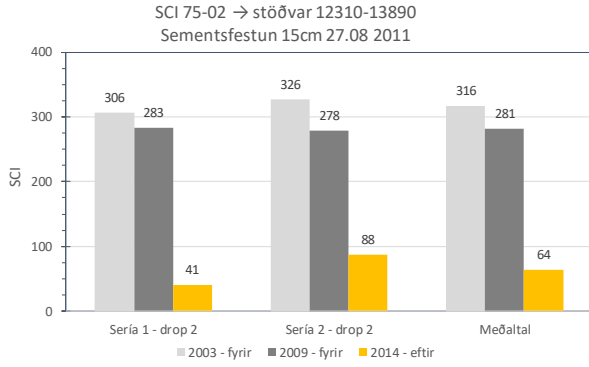




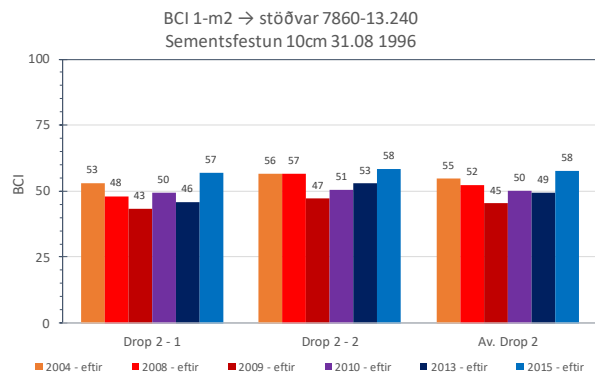
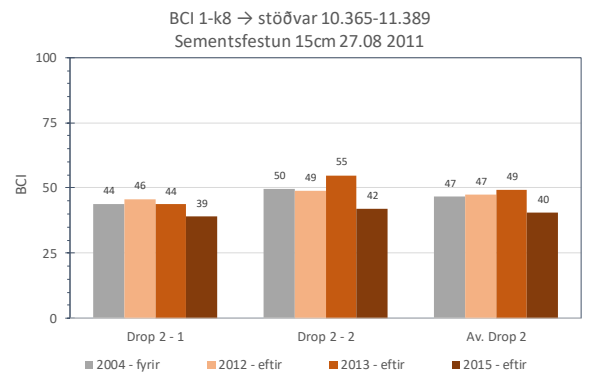
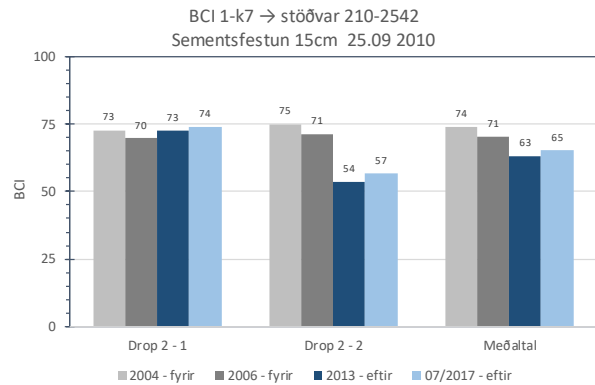
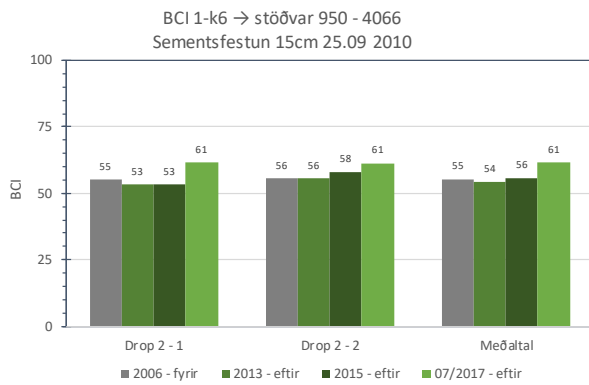
SCI – sementsfestun

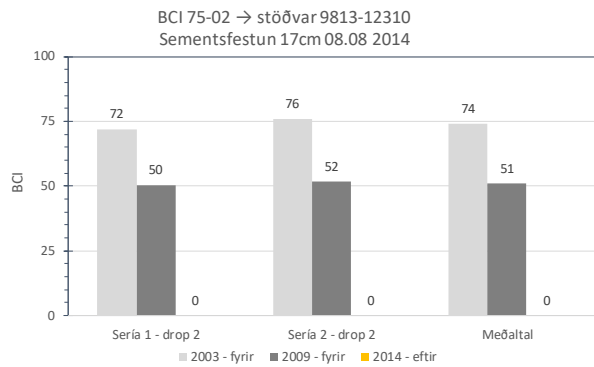
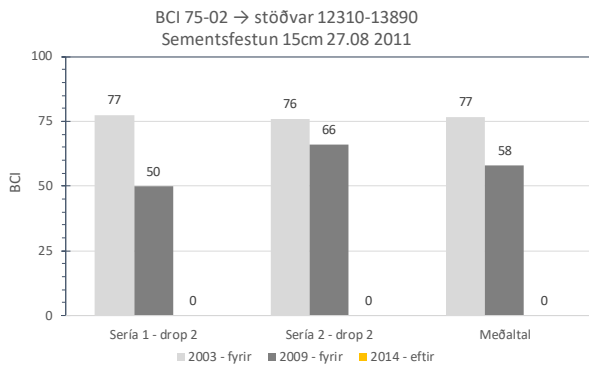
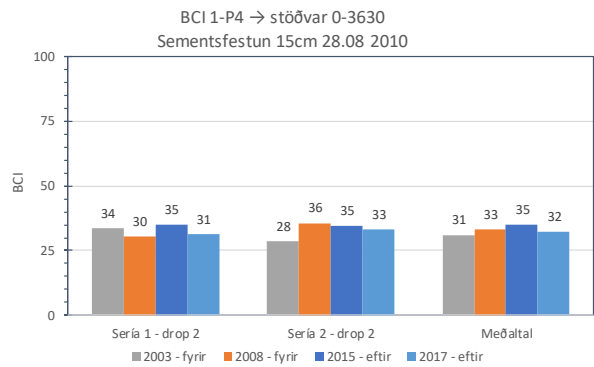
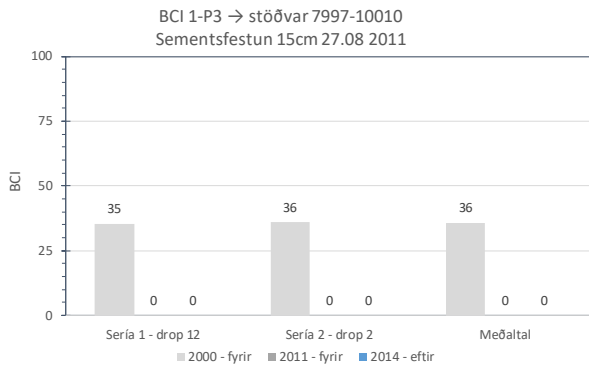
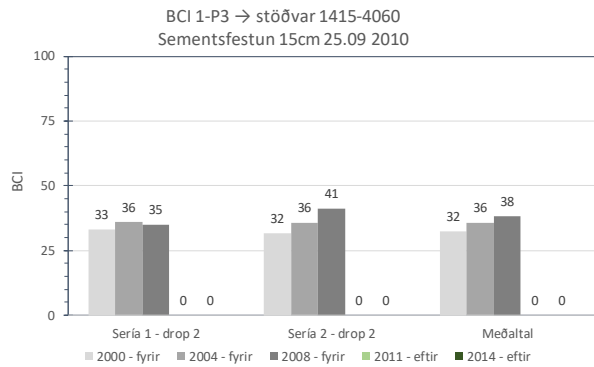
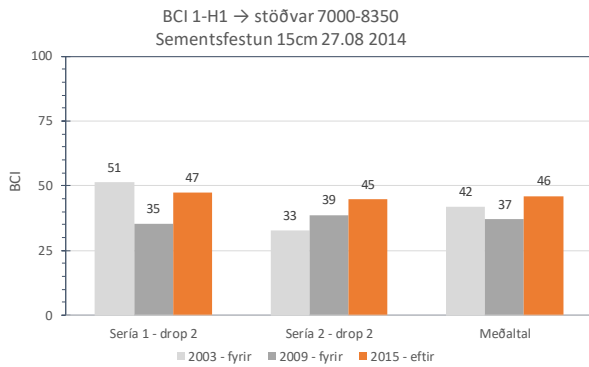
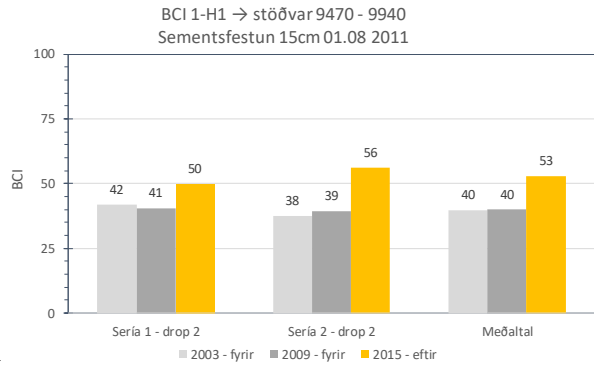
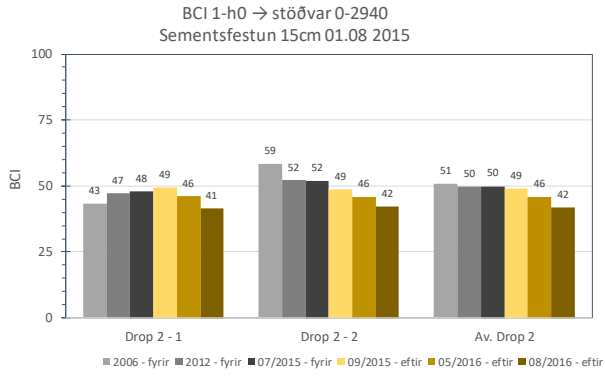


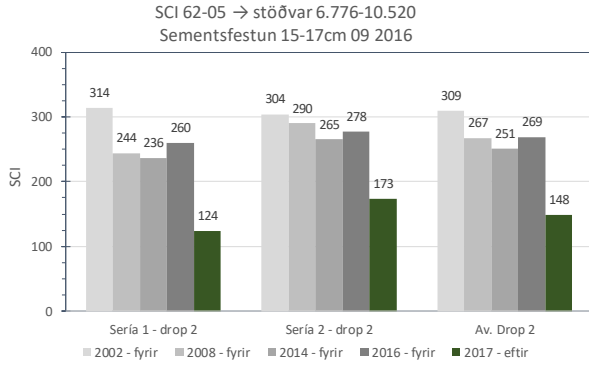




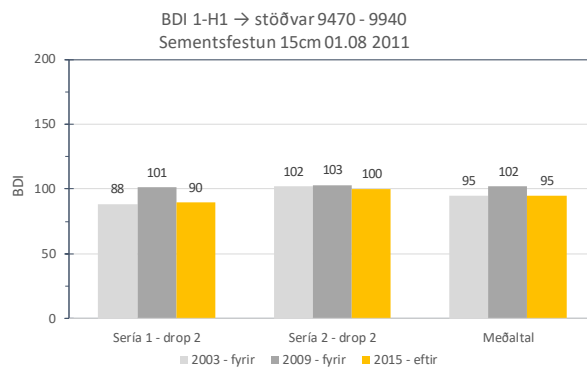
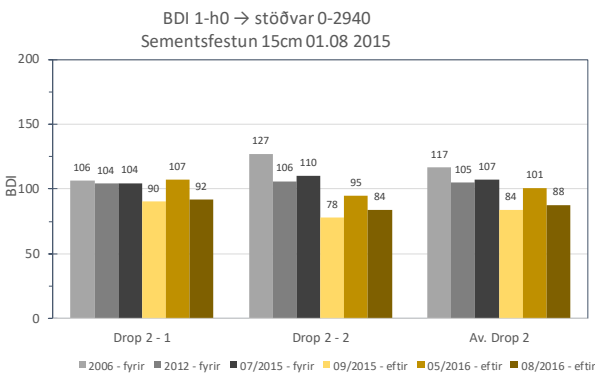
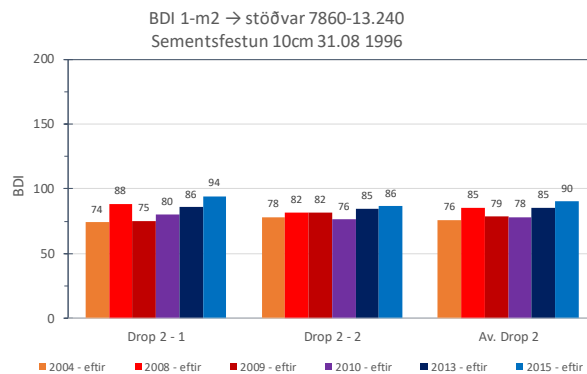
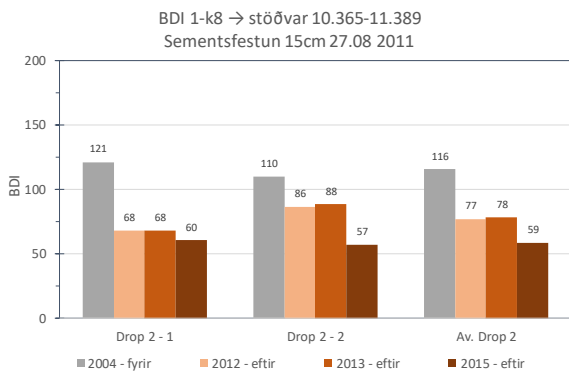
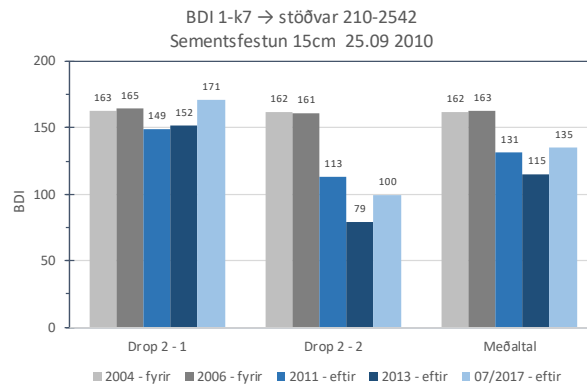
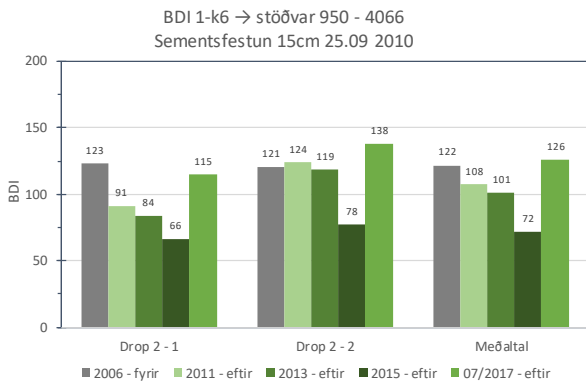
BCI – sementsfestun

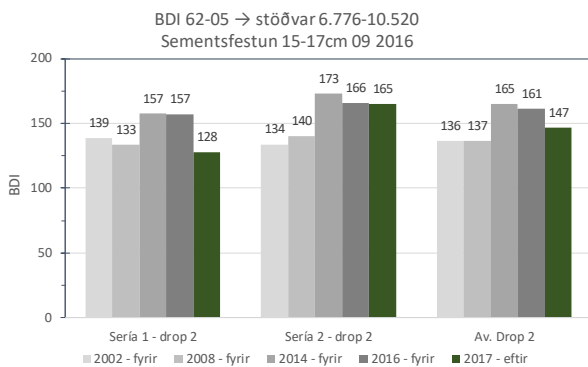
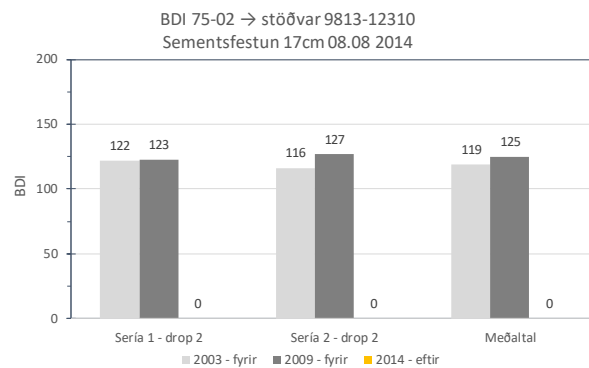
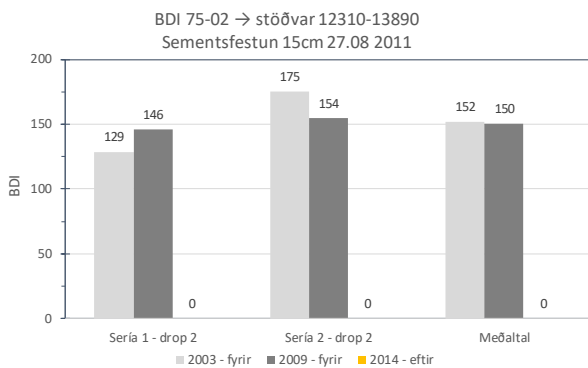
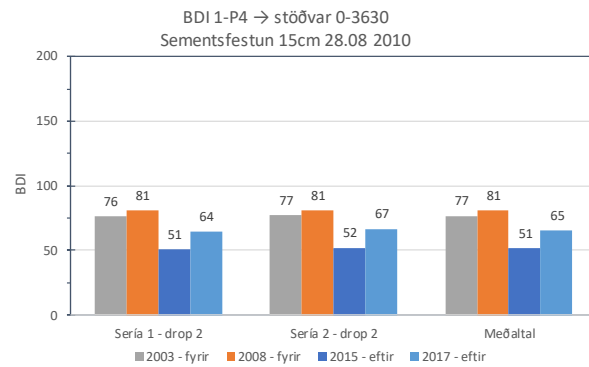
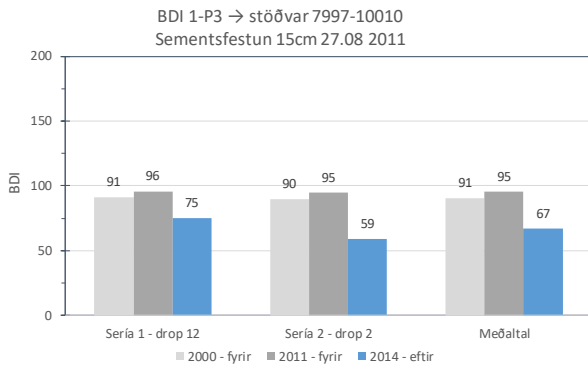
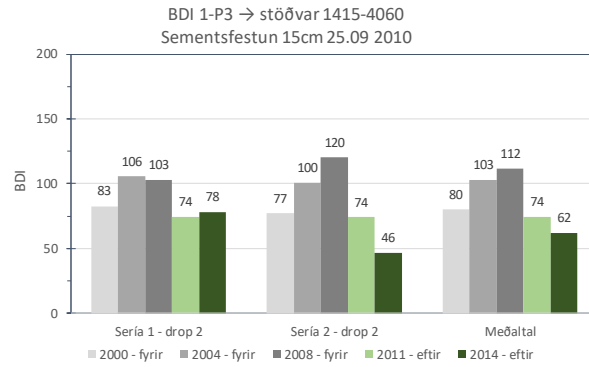
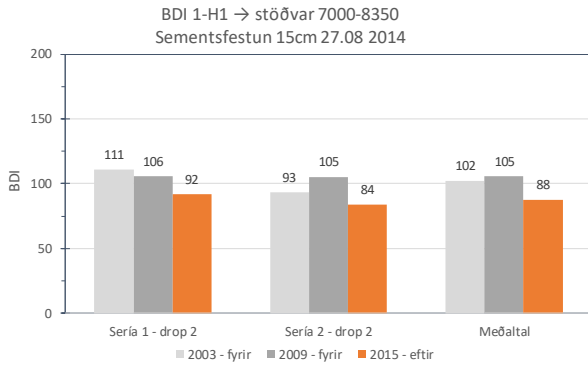




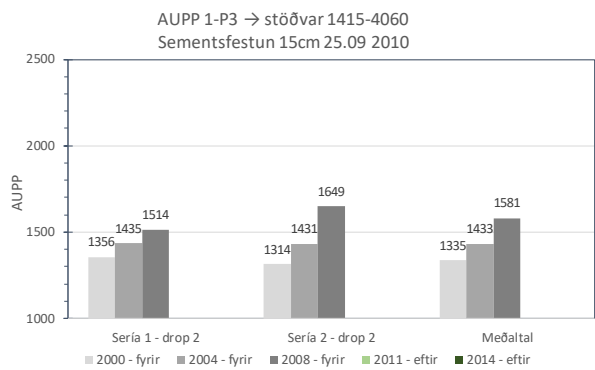
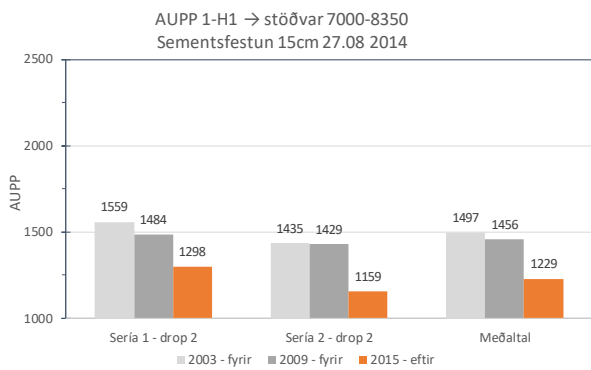
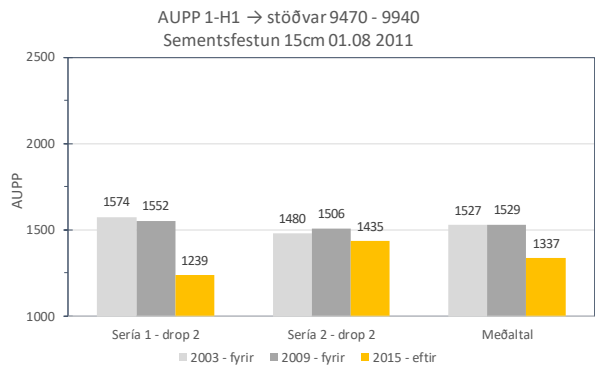
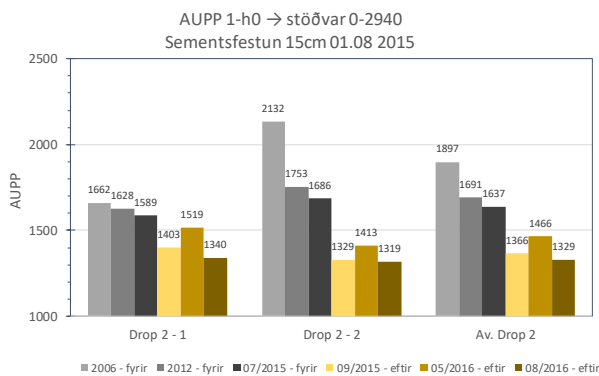
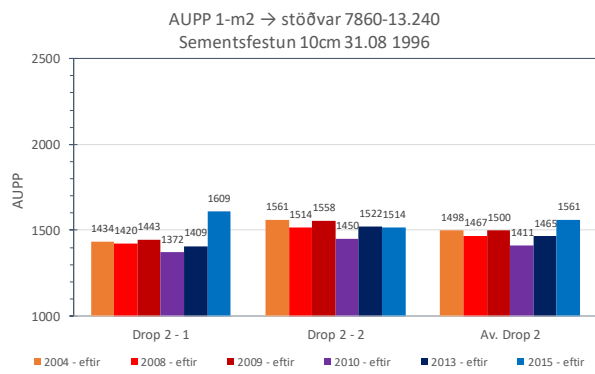
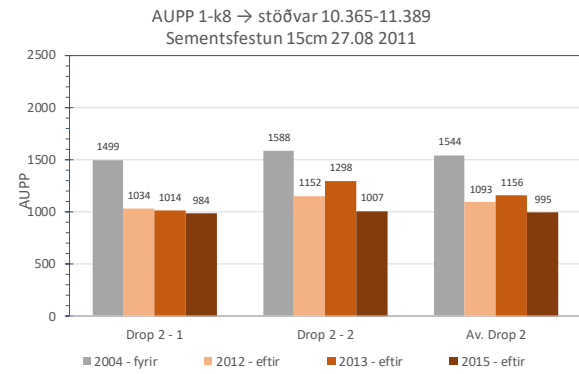
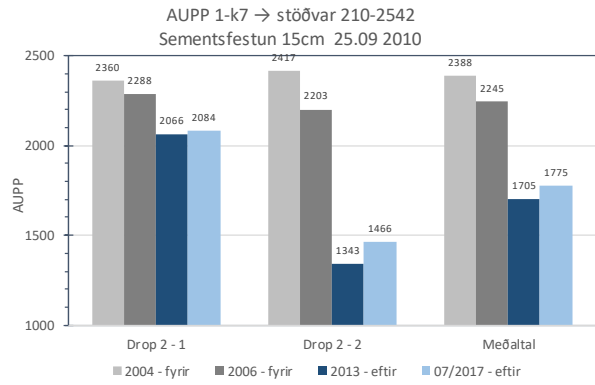
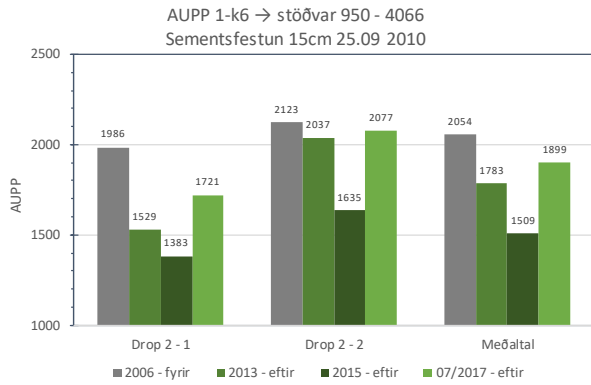


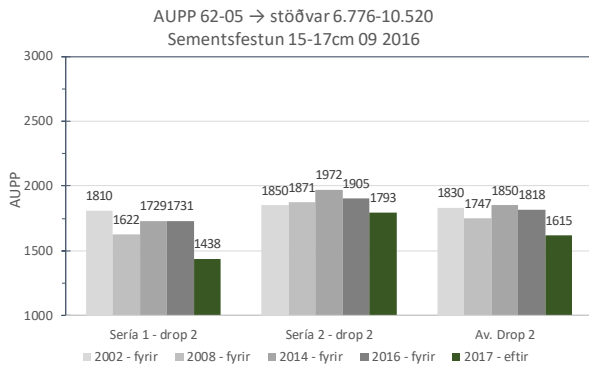
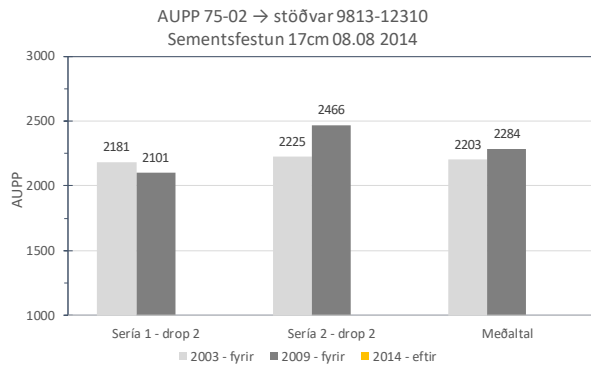
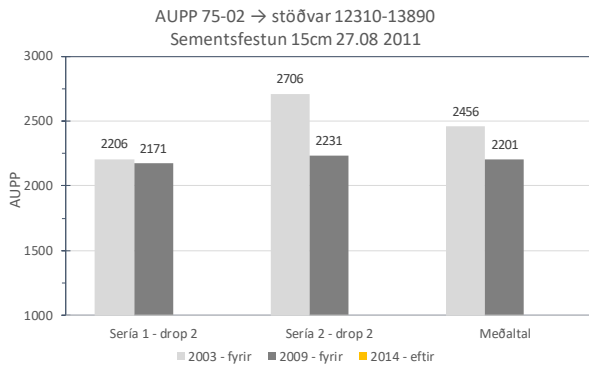
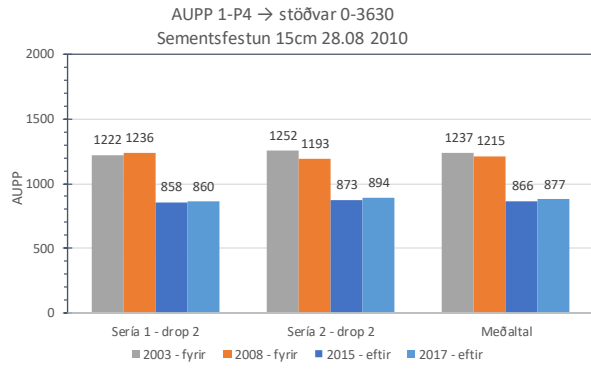
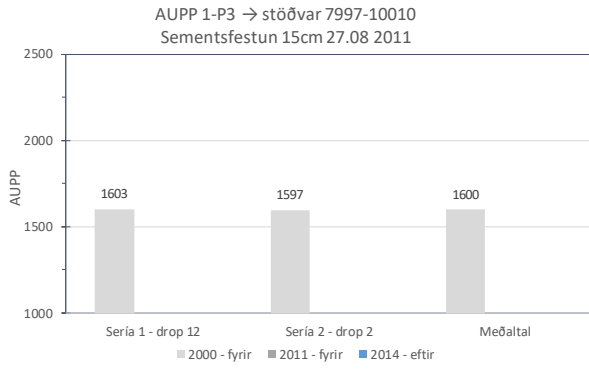
BDI – sementsfestun





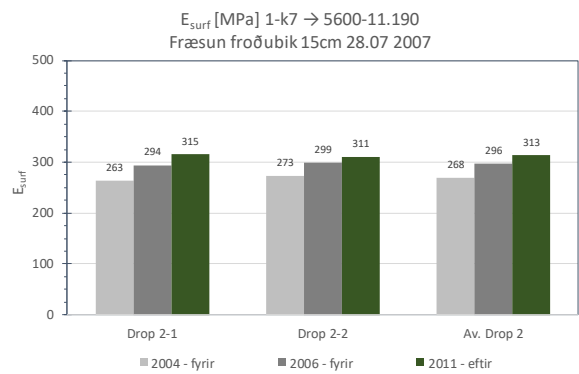
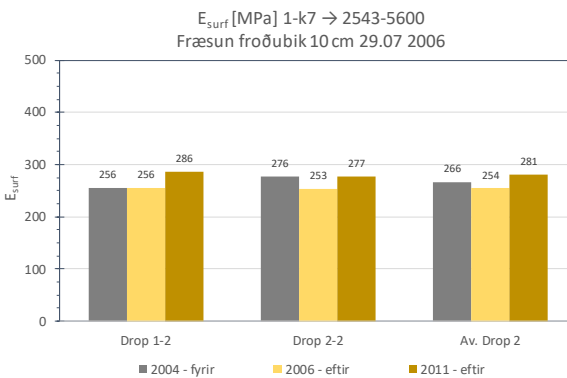
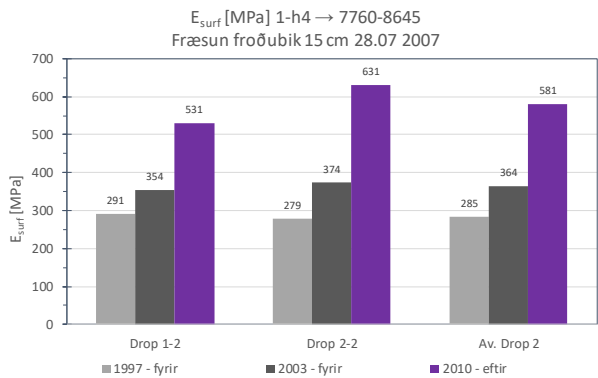
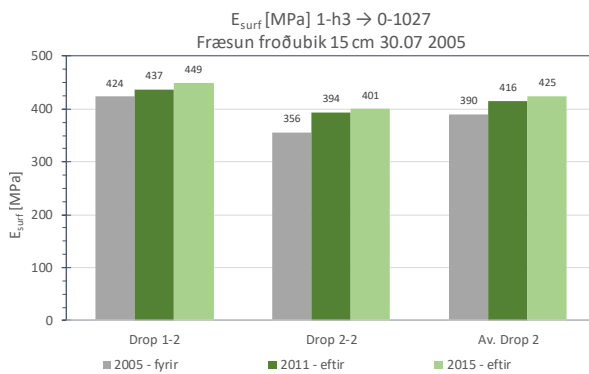
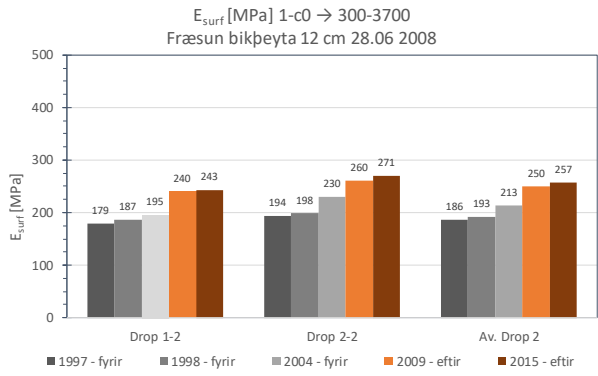
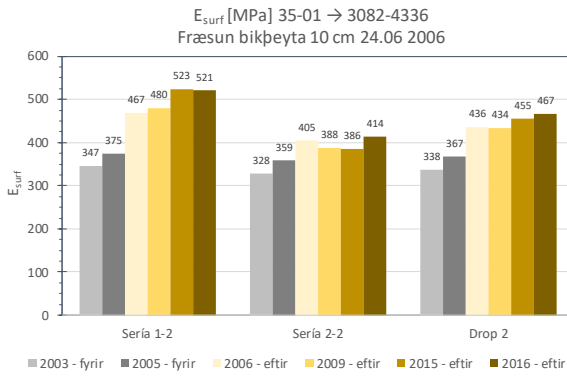
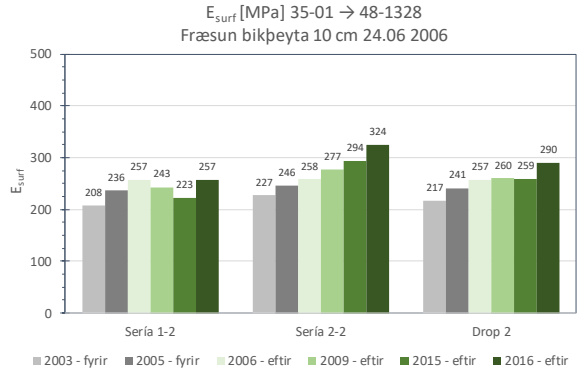
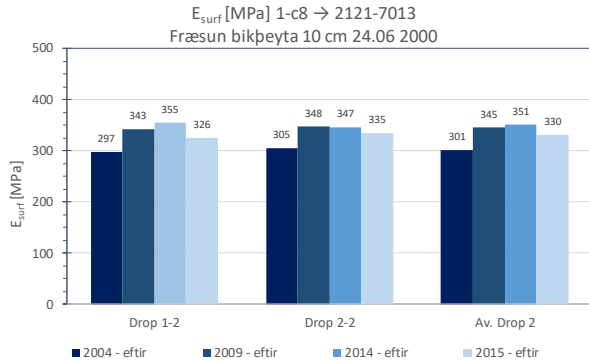
AUPP – sementsfestun

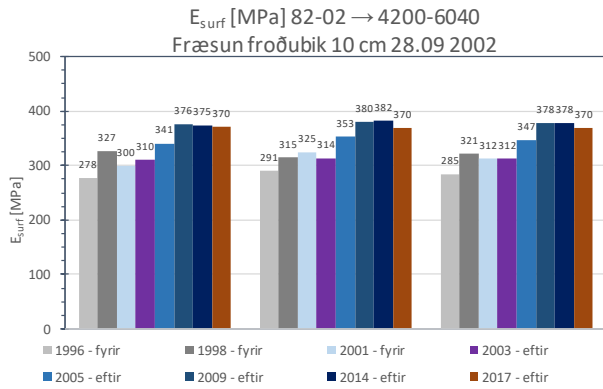
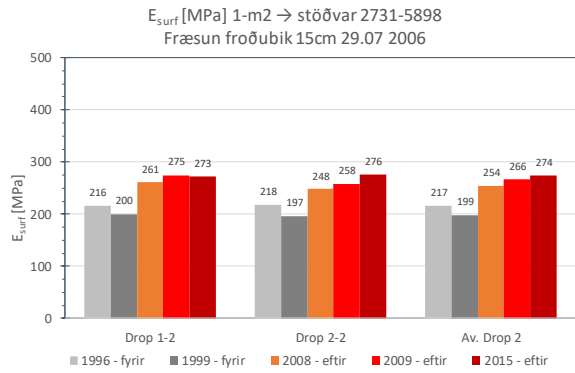
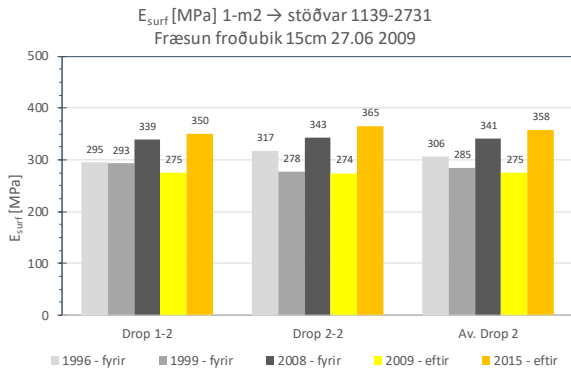
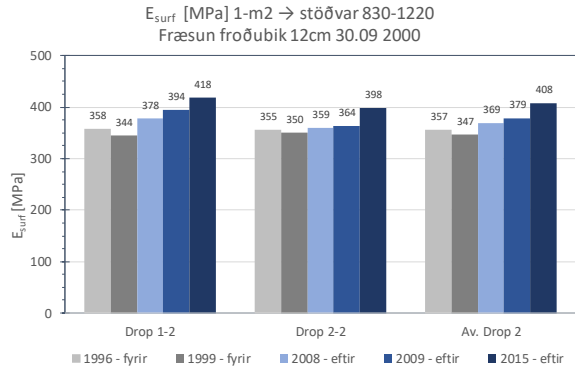
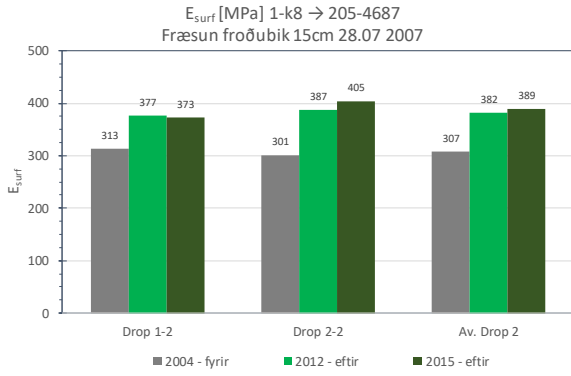




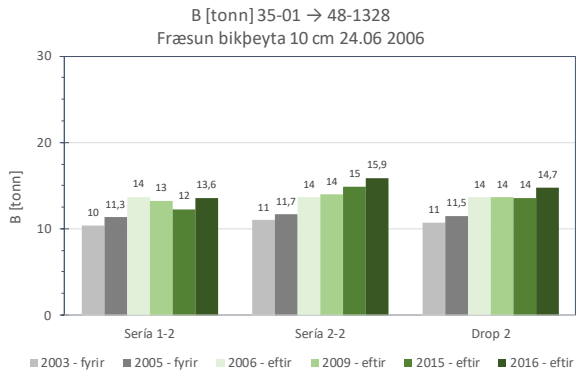
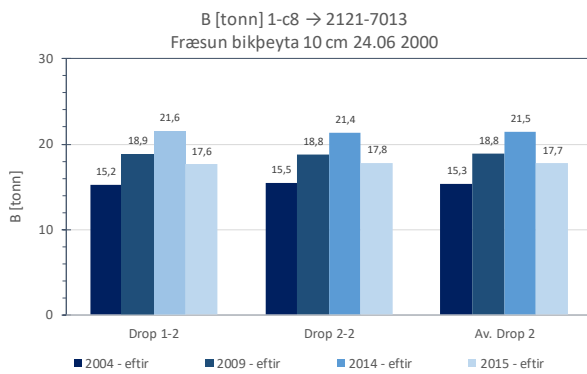
VIÐAUKI B BIKFESTIR VEGIR

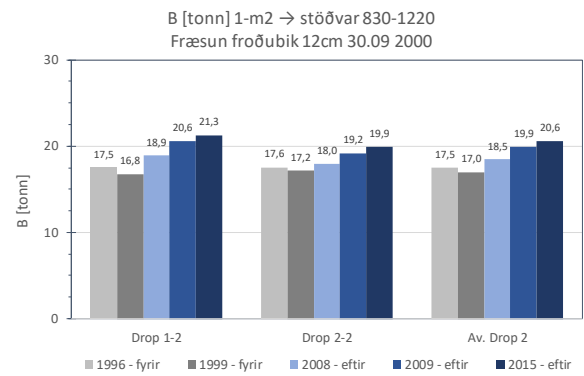
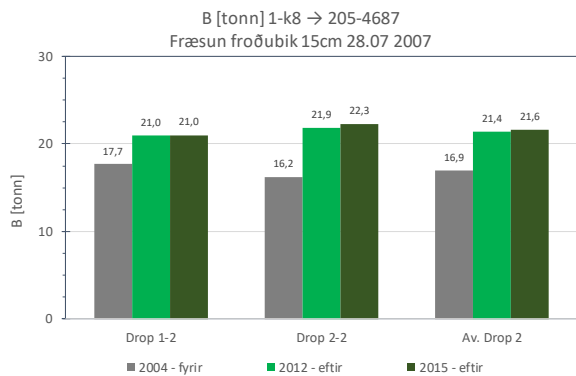
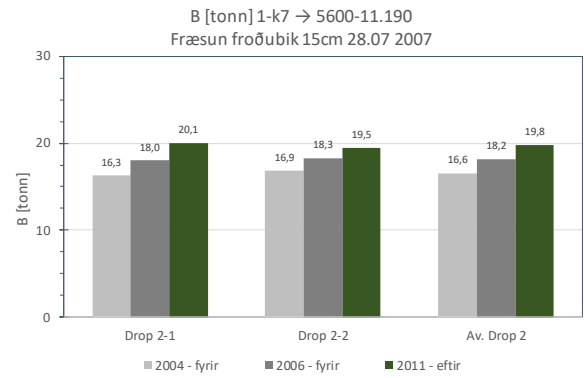
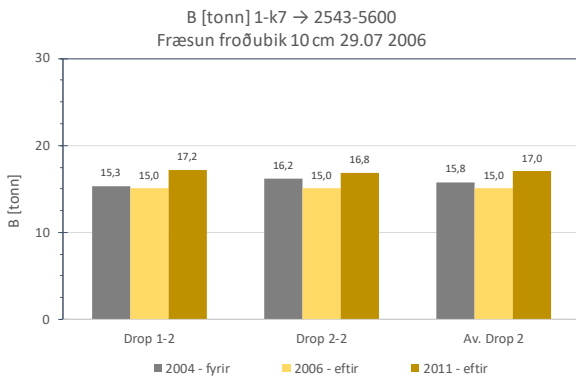
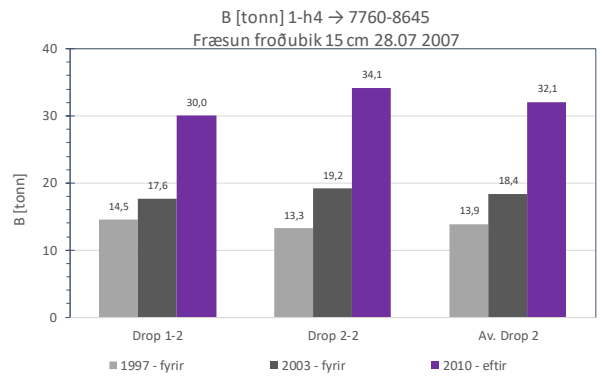
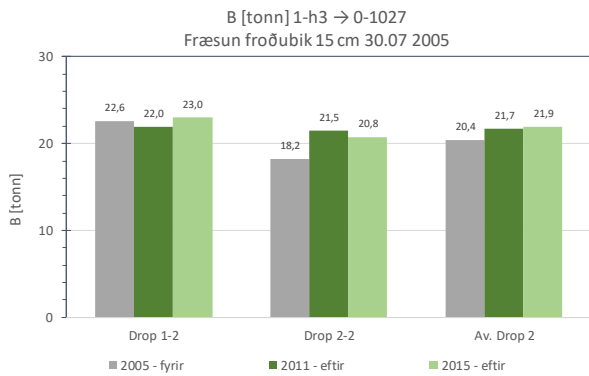
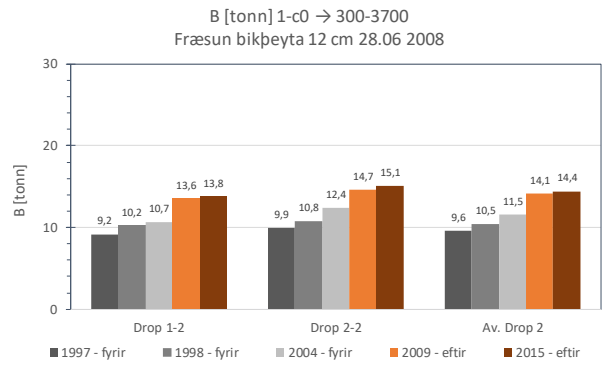
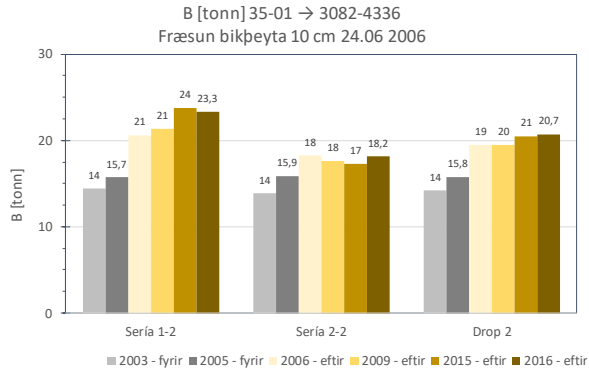
E_{surf} [MPa] – bikfestun



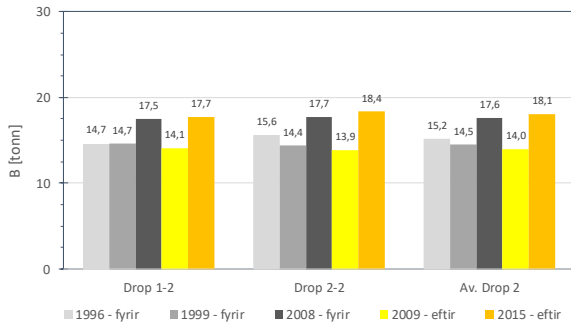


B [tonn] – bikfestun

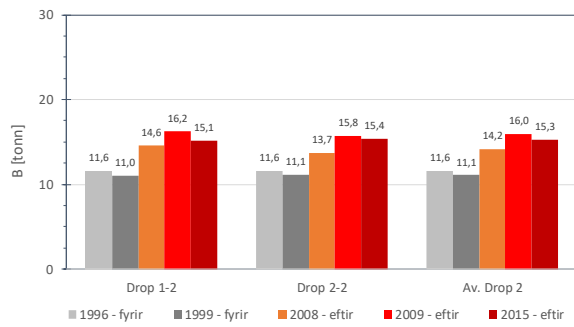




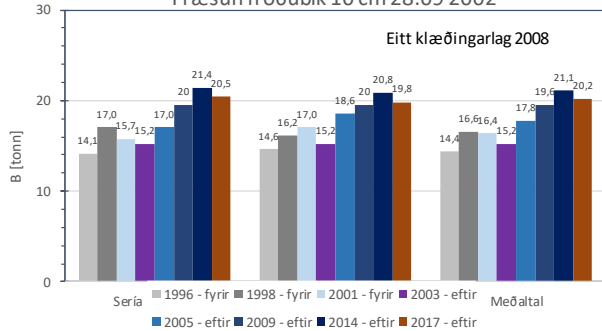
B [tonn] 1-m2 → stöðvar 1139-2731
Fræsun fröðubik 15cm 27.06 2009



B [tonn] 1-m2 → stöðvar 2731-5898
Fræsun fröðubik 15cm 29.07 2006

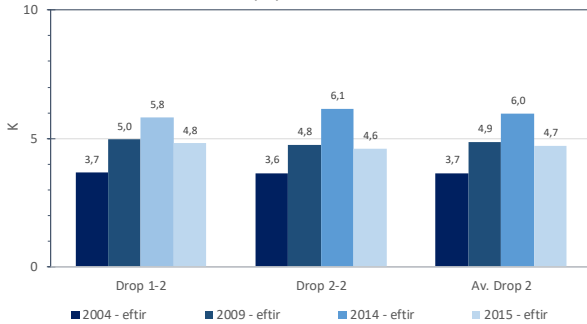


B [tonn] 82-02 → 4200-6040
Fræsun fröðubik 10 cm 28.09 2002

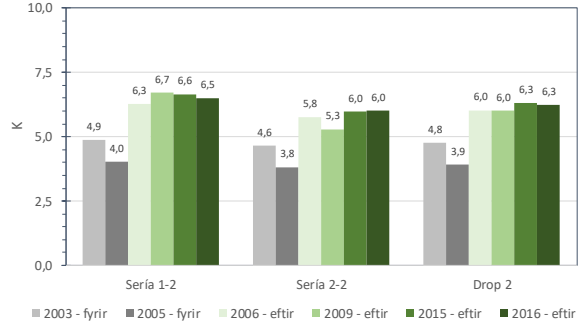


K – bikfestun

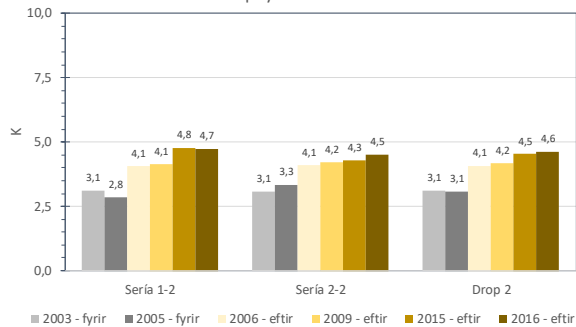
K 1-c8 → 2121-7013
Fræsun bikþeyta 10 cm 24.06 2000



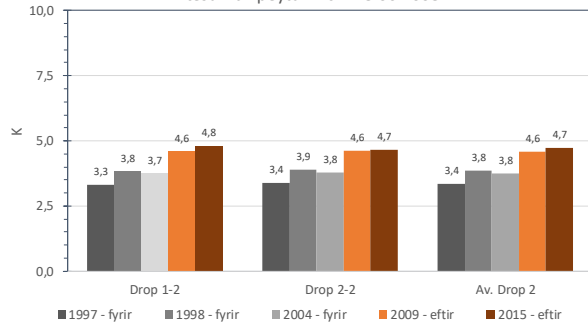
K 35-01 → 48-1328
Fræsun bikþeyta 10 cm 24.06 2006

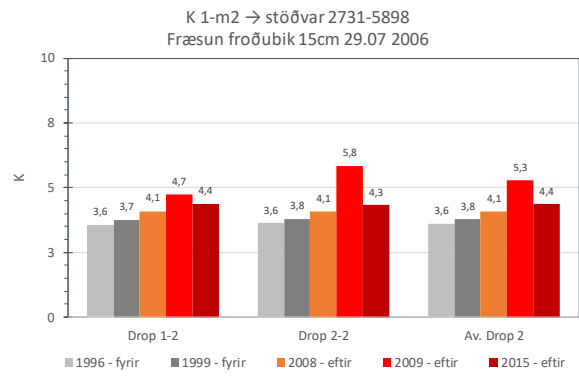
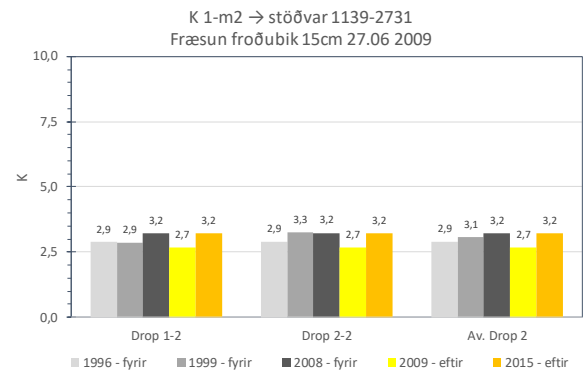
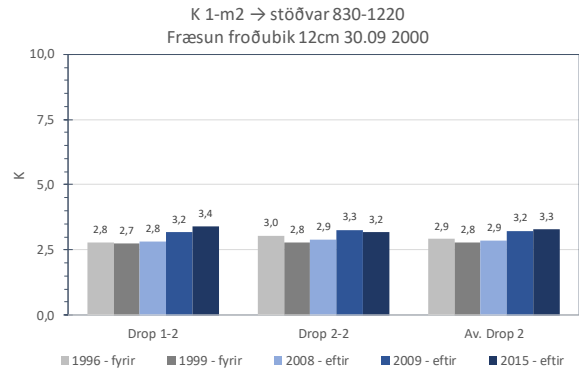
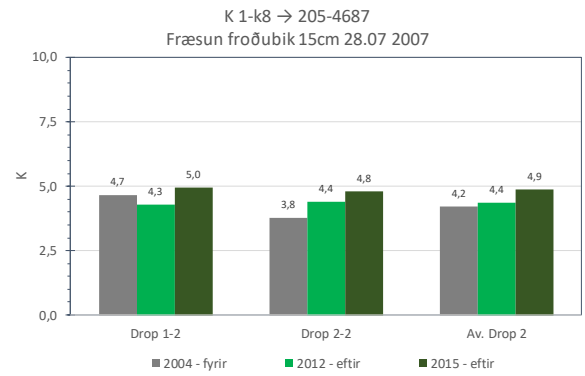
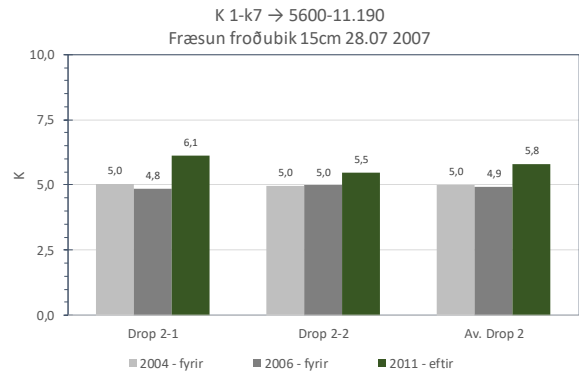
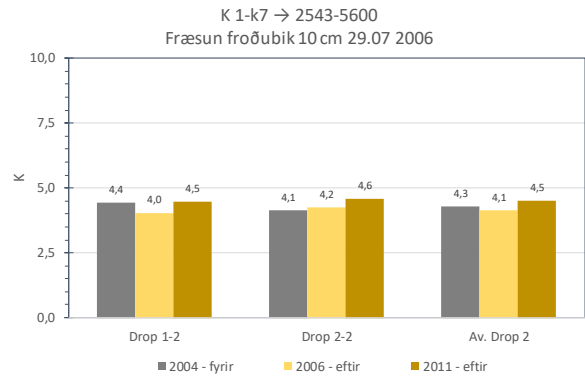
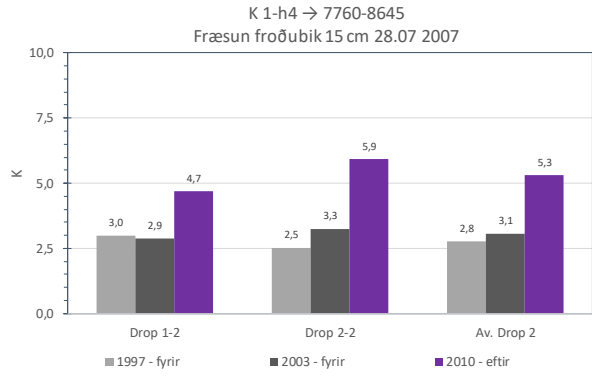
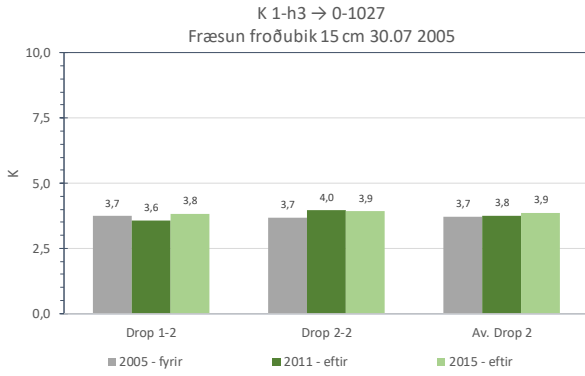


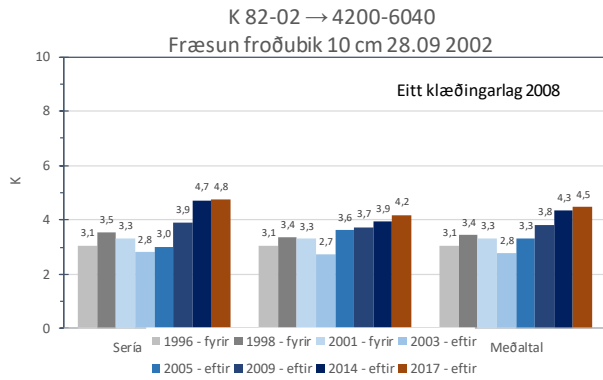
K 35-01 → 3082-4336
Fræsun bikþeyta 10 cm 24.06 2006



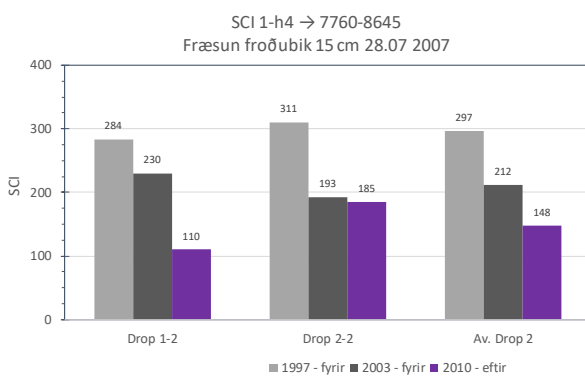
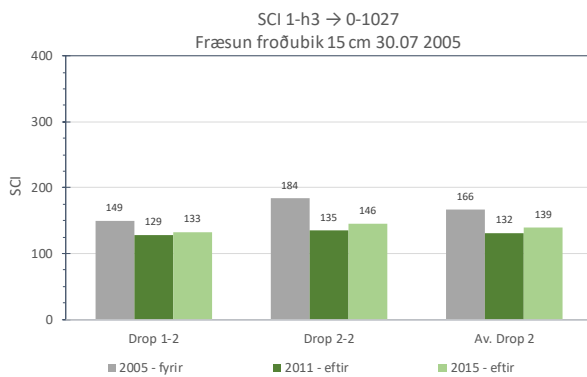
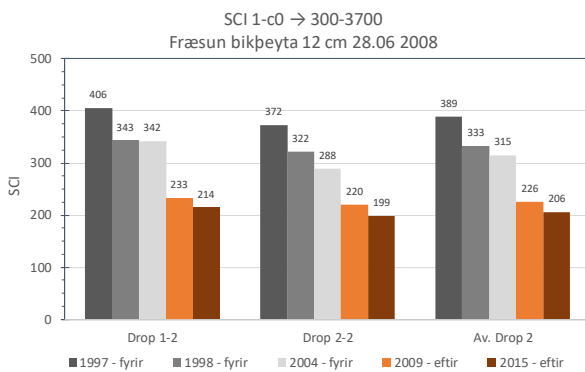
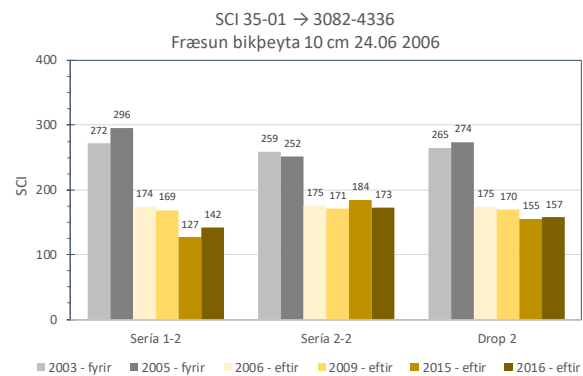
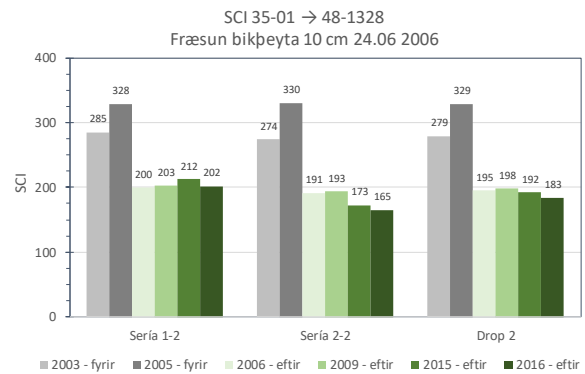
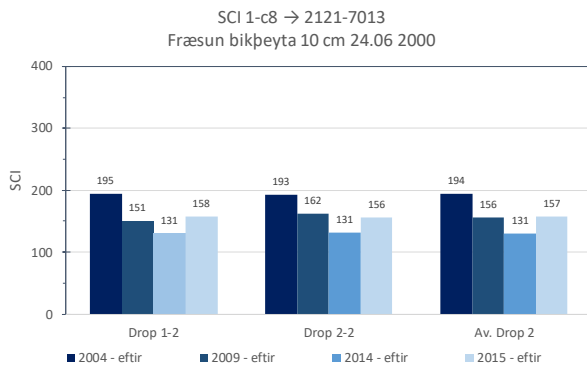
K 1-c0 → 300-3700
Fræsun bikþeyta 12 cm 28.06 2008

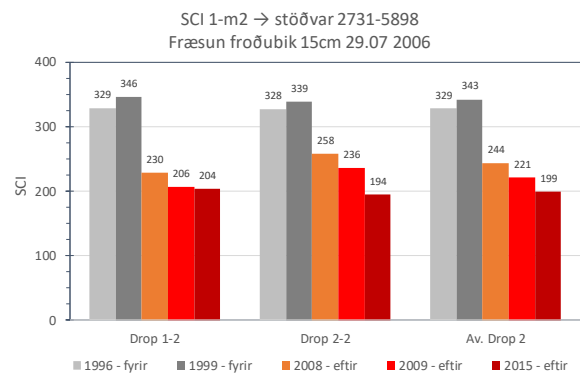
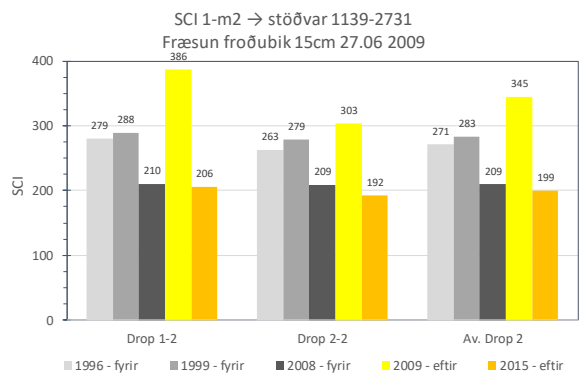
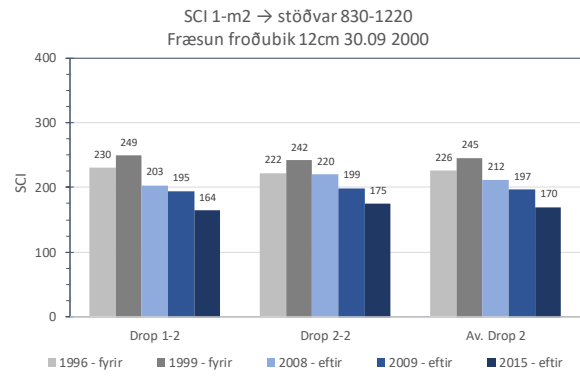
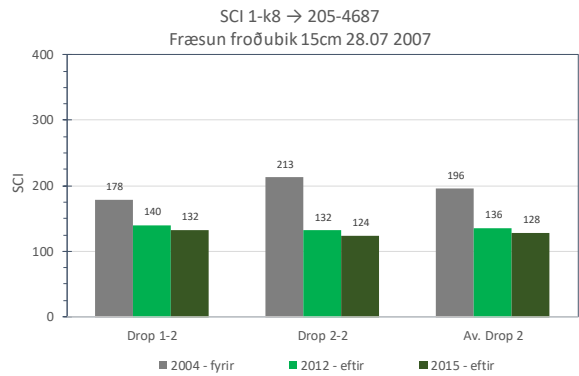
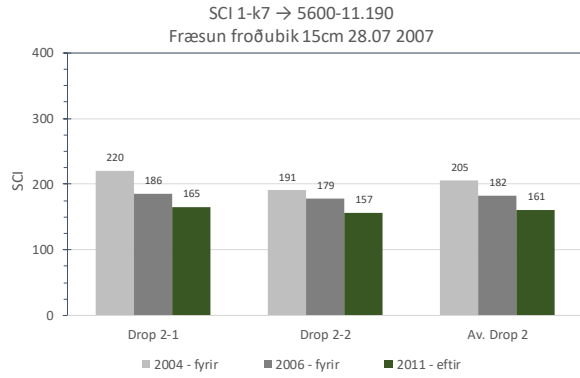
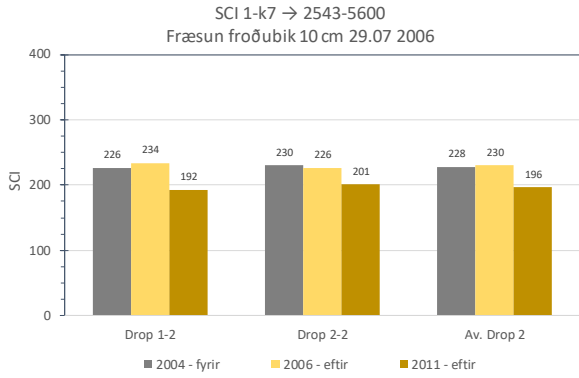




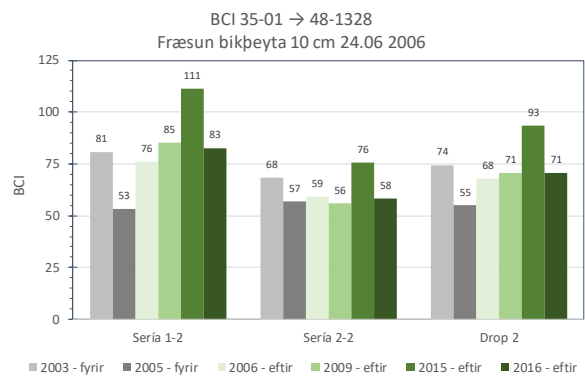
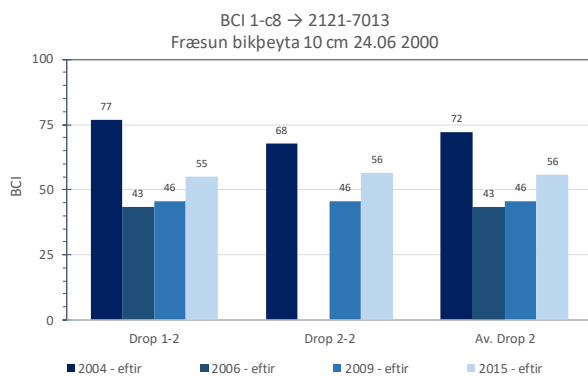


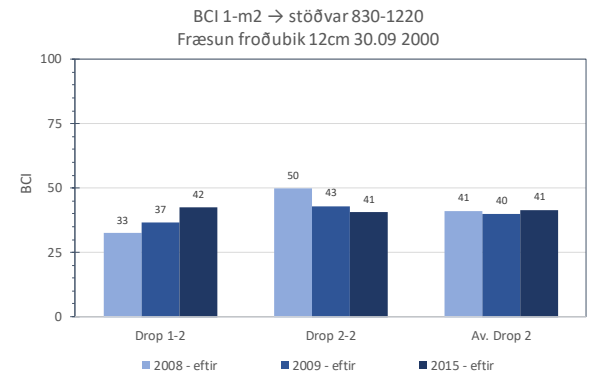
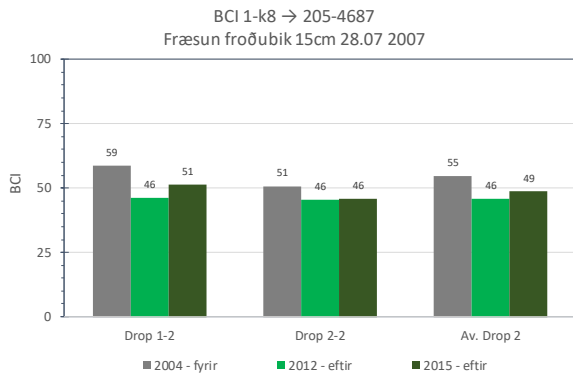
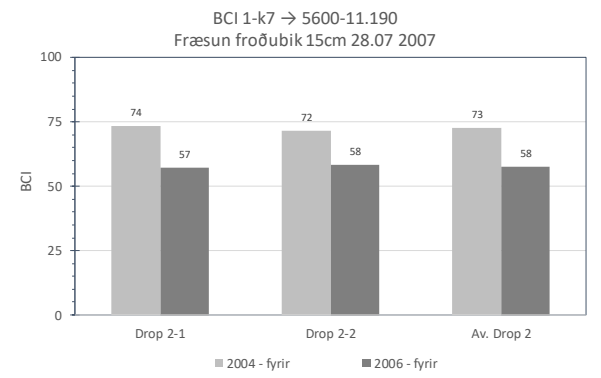
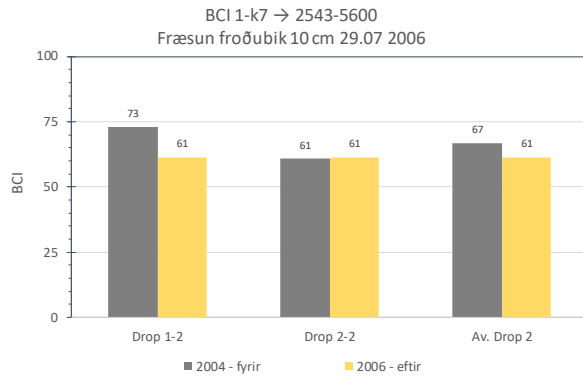
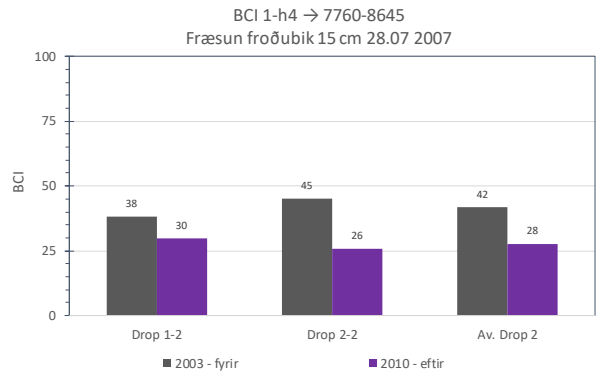
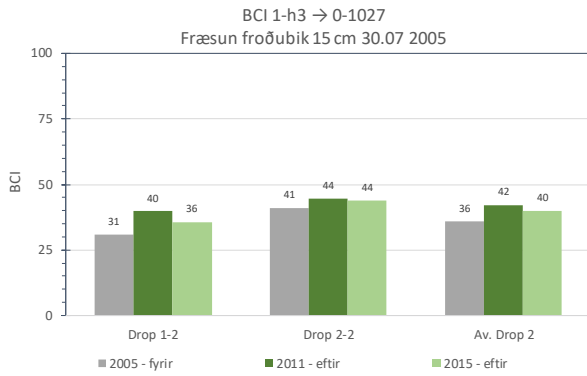
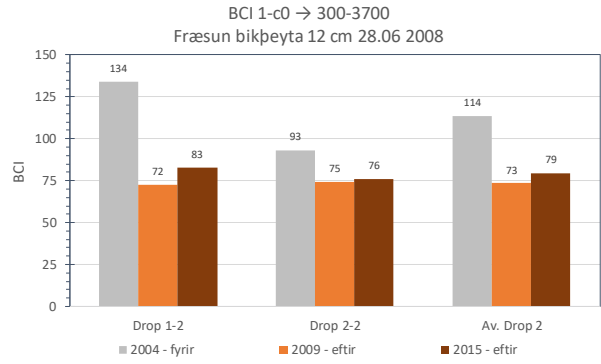
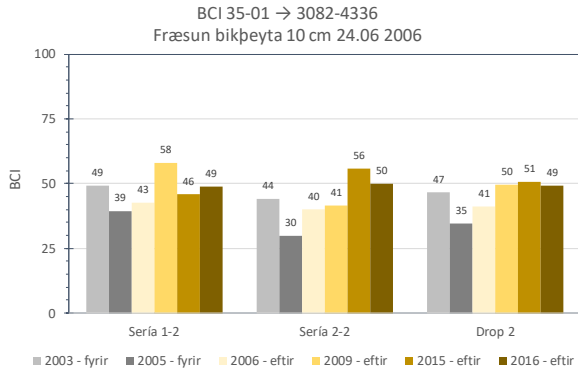
SCI – bikfestun

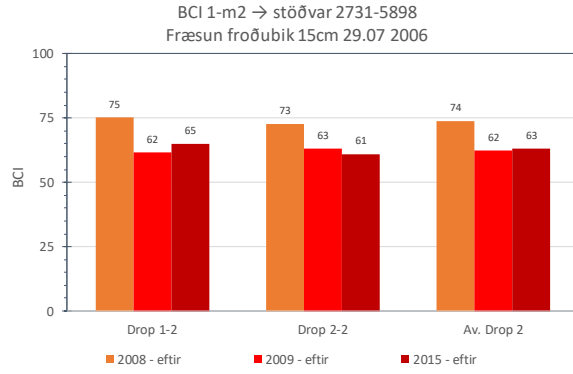
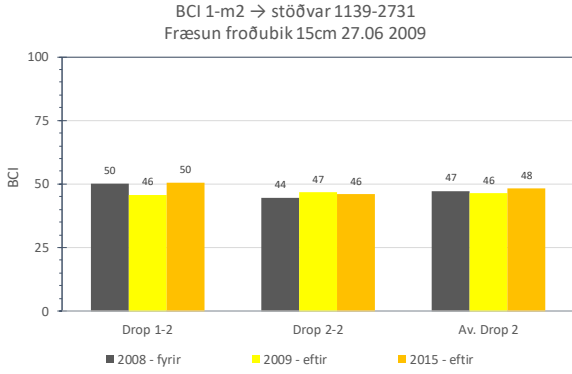




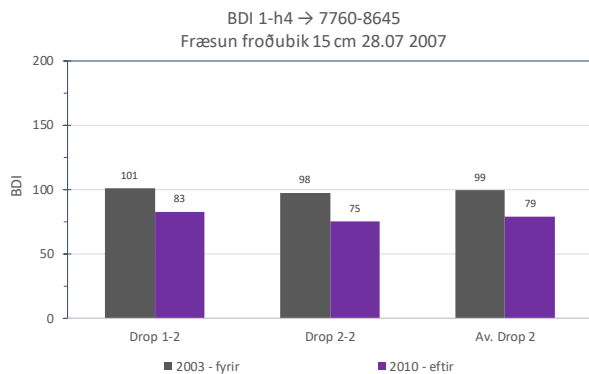
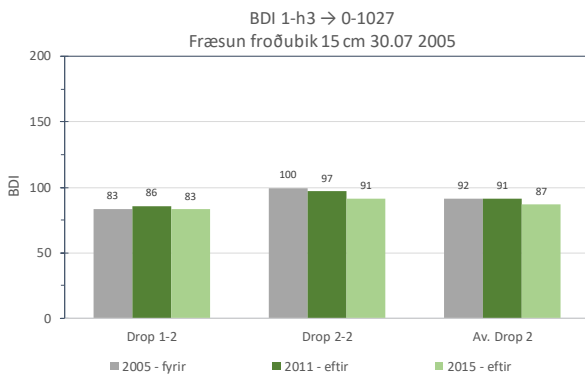
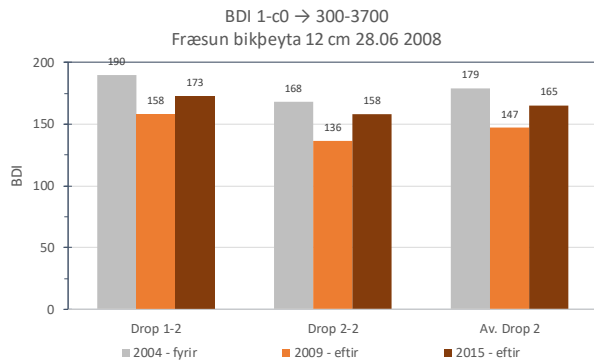
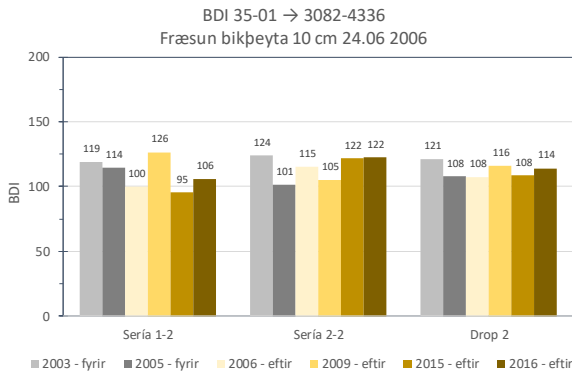
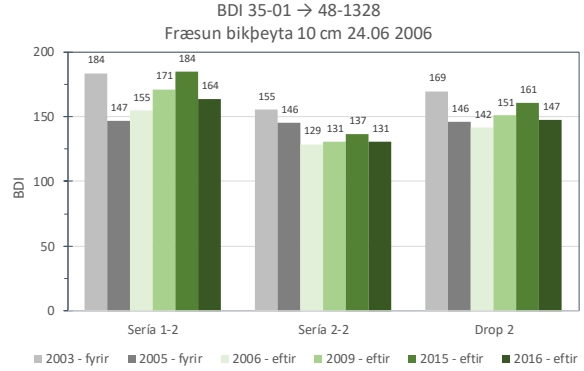
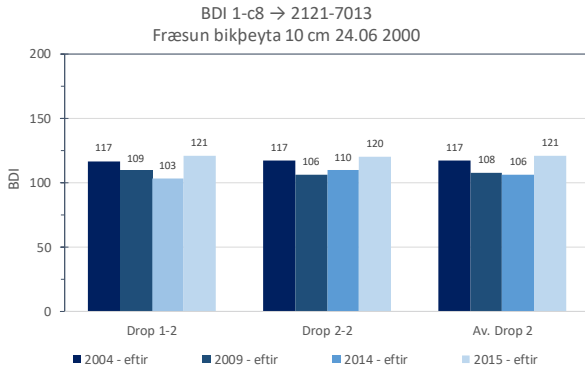
BCI – bikfestun

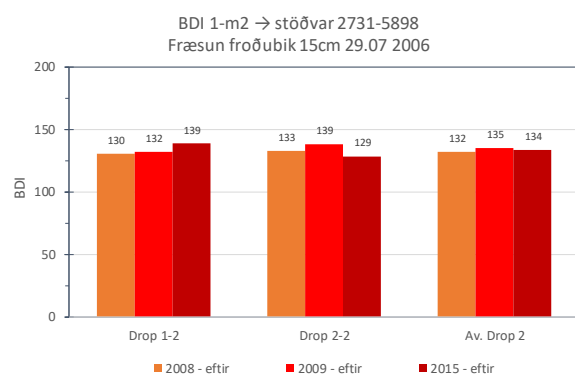
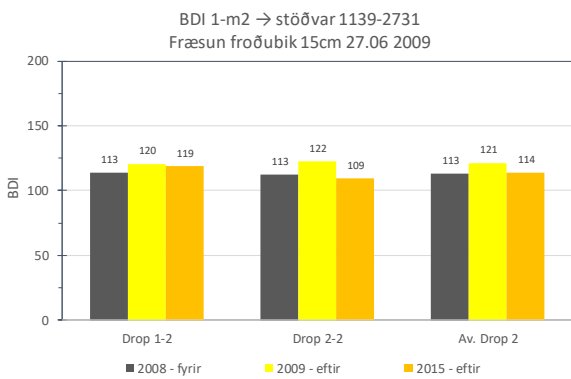
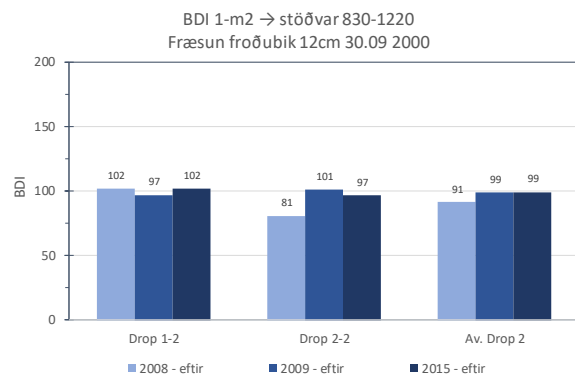
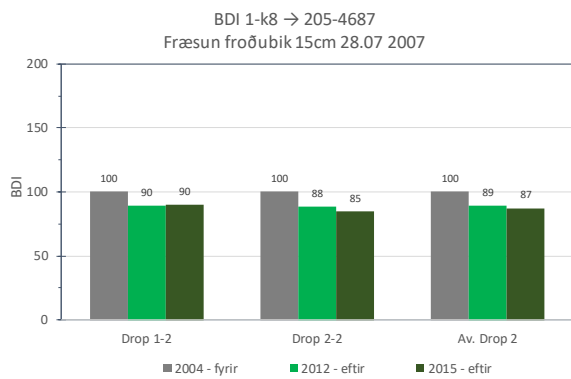
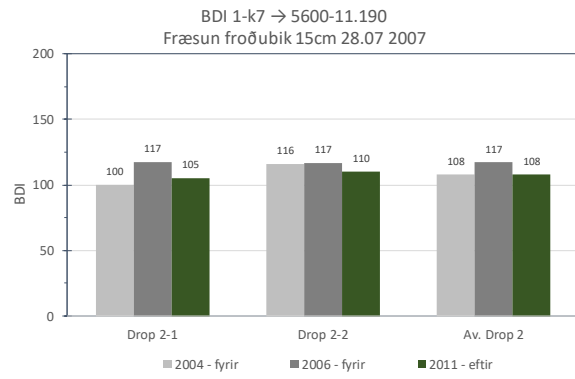
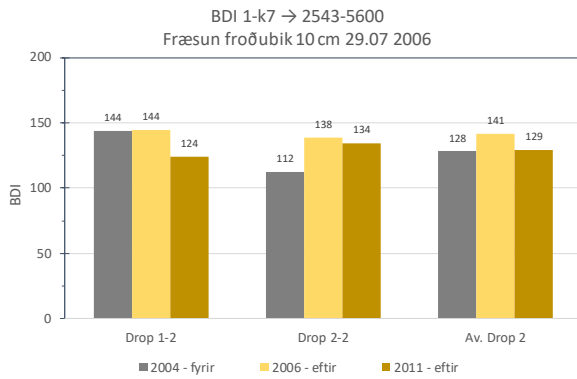




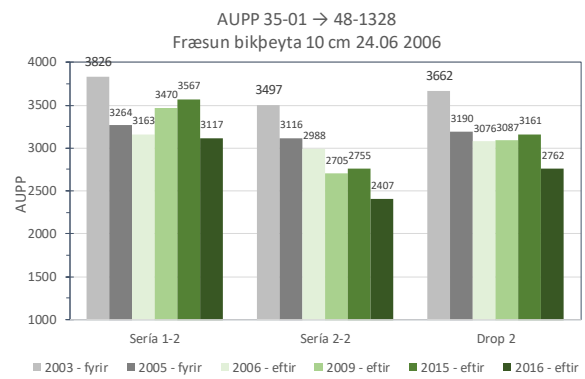
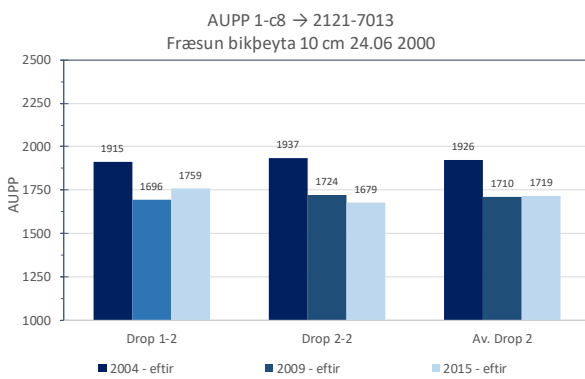


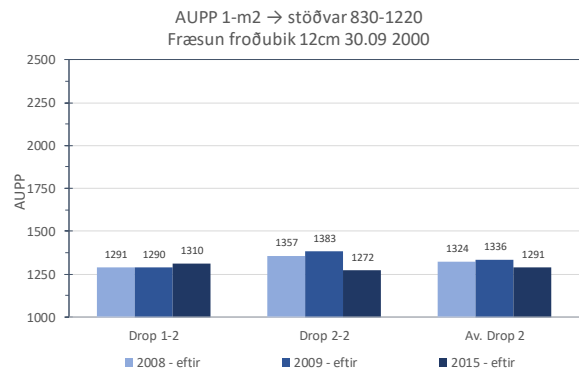
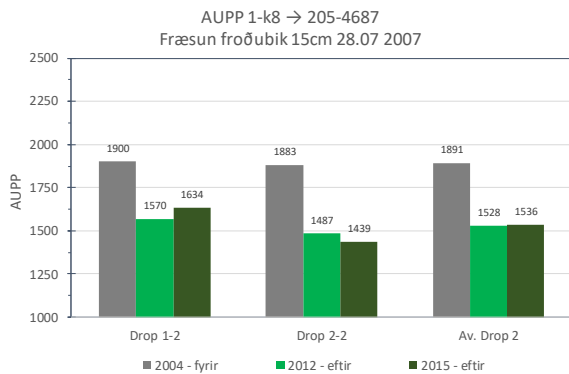
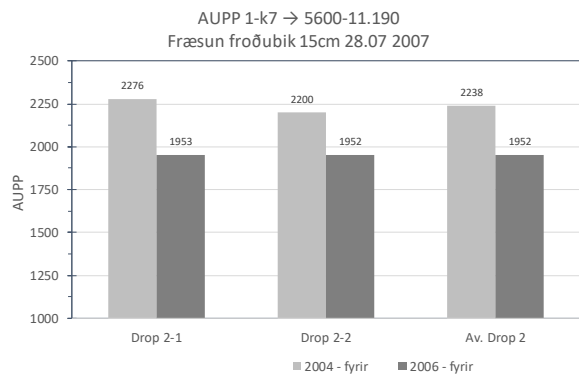
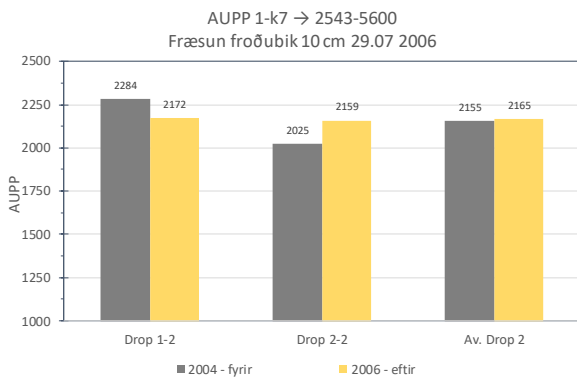
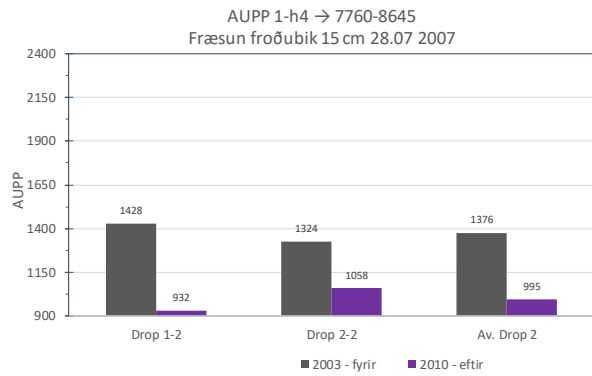
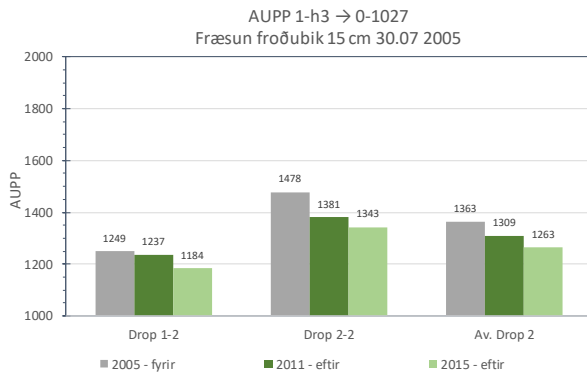
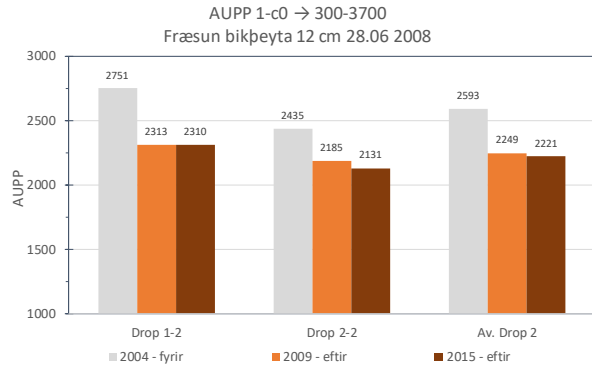
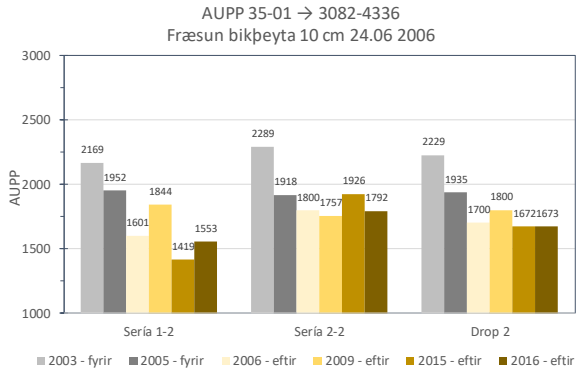
BDI – bikfestun

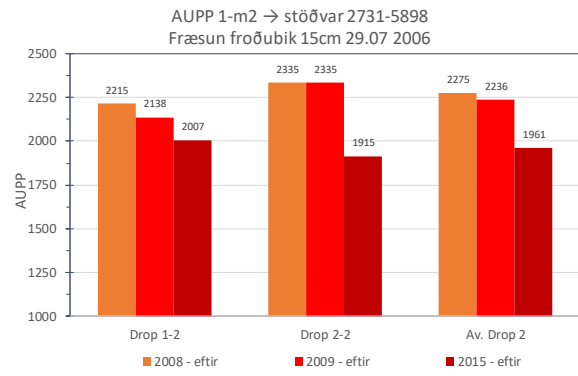
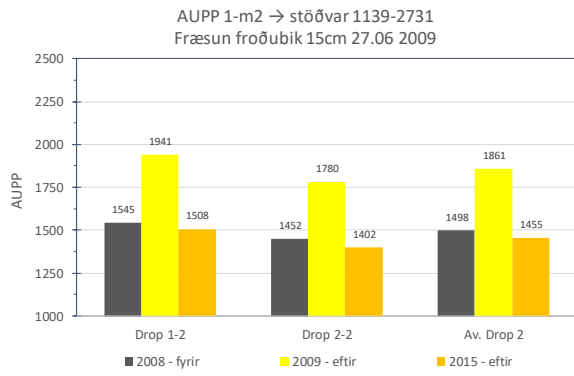




AUPP – bikfestun

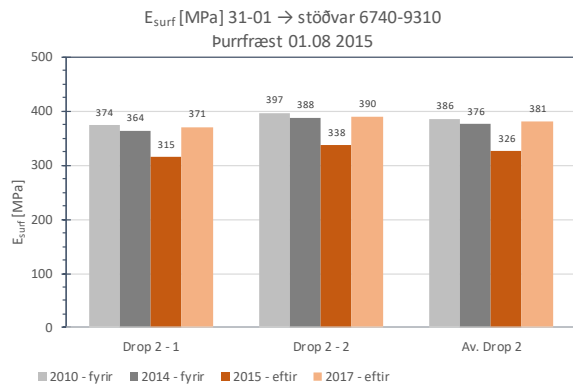
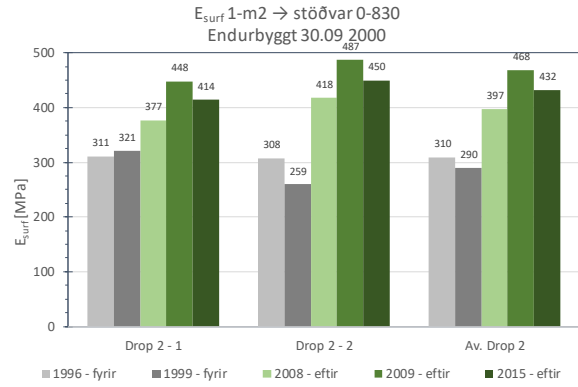
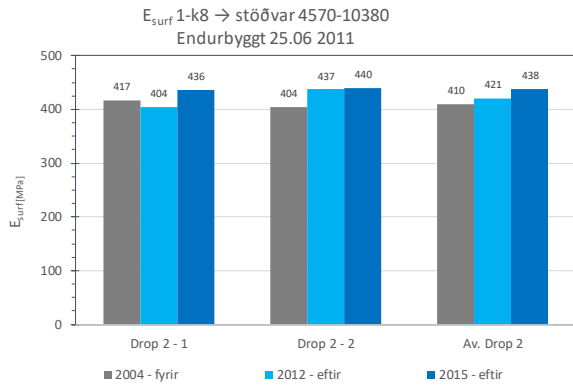




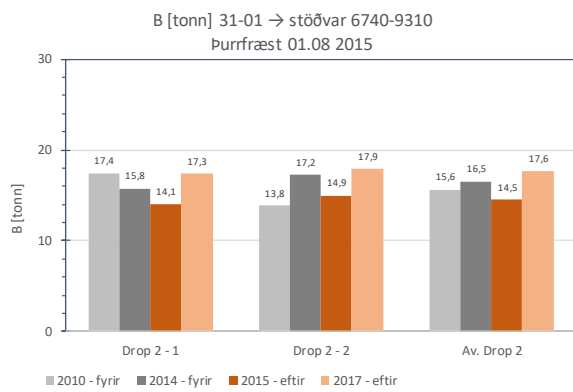
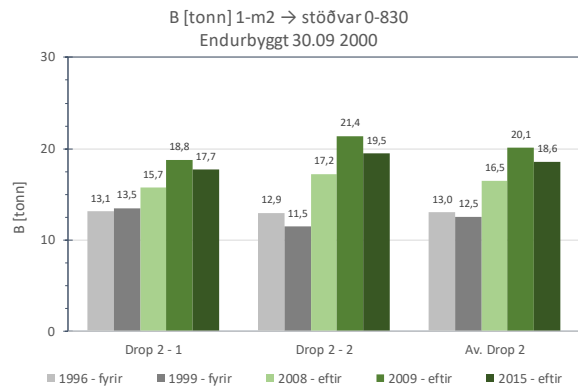
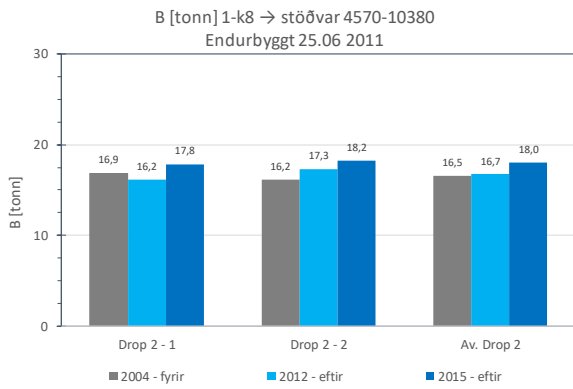


VIÐAUKI C ÓBUNDNIR VEGIR

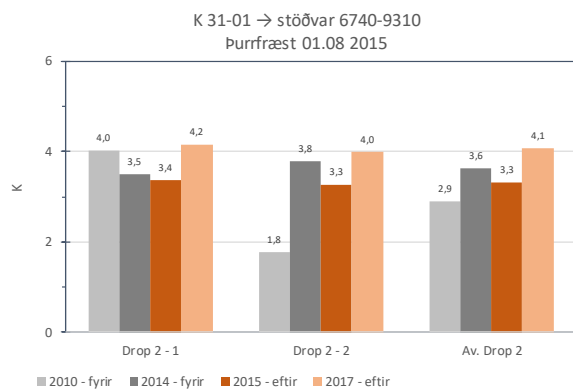
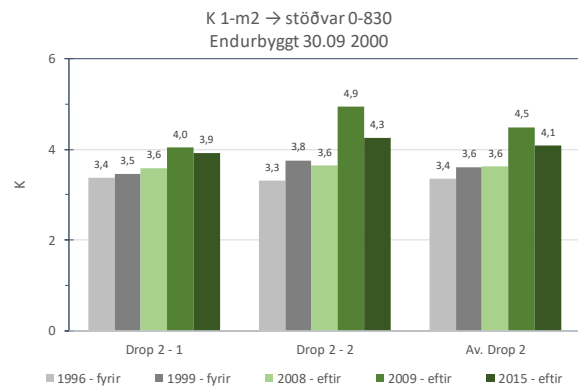
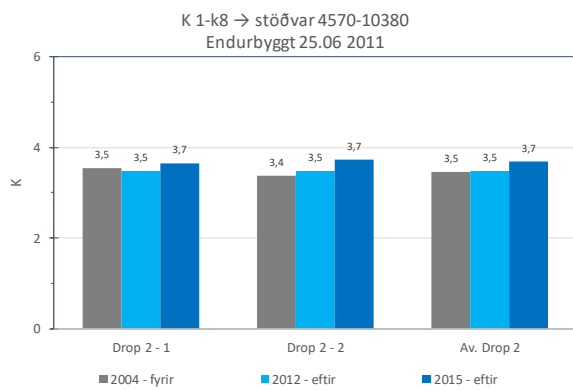
E_{surf} [MPa] – Óbundið burðarlag



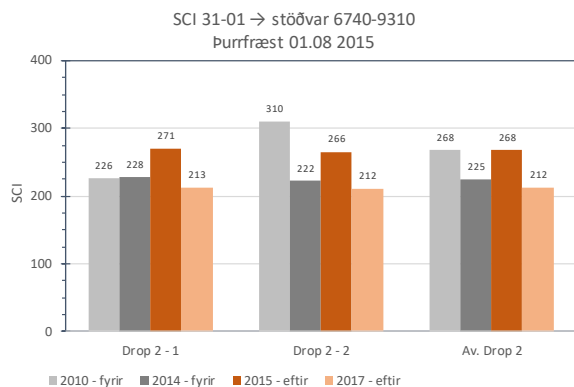
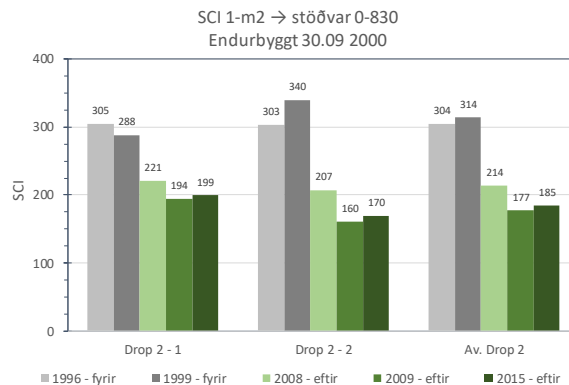
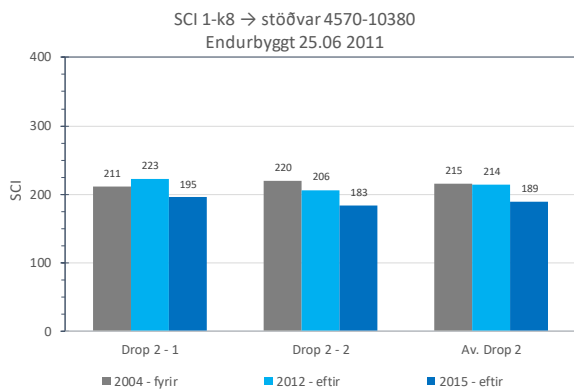
B [tonn] – Óbundið burðarlag



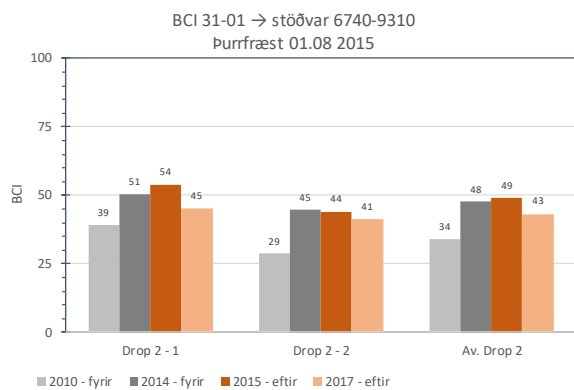
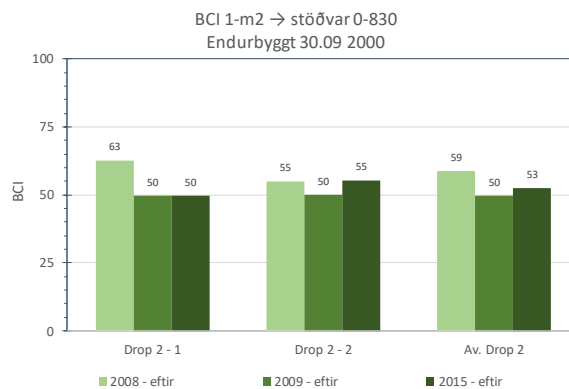
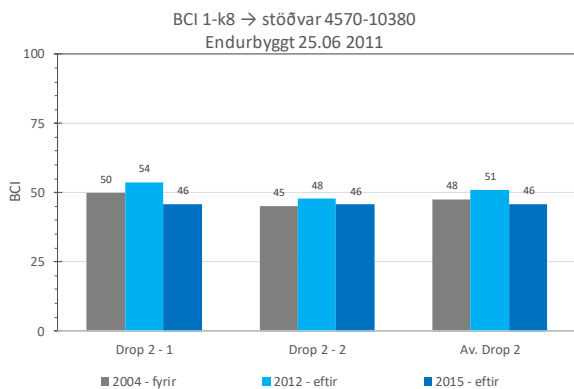
K – Óbundið burðarlag



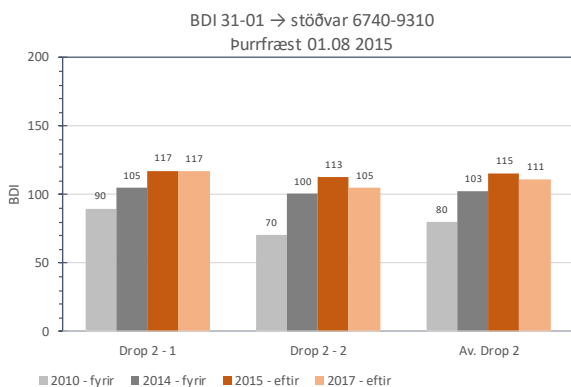
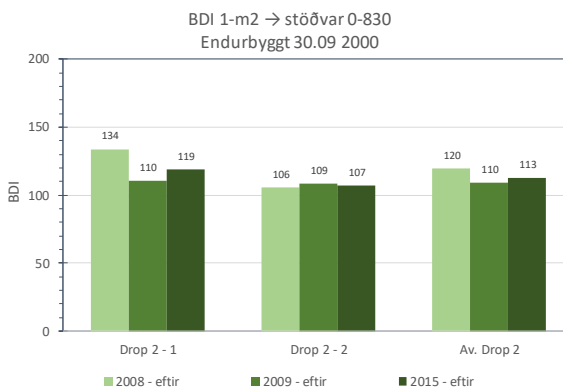
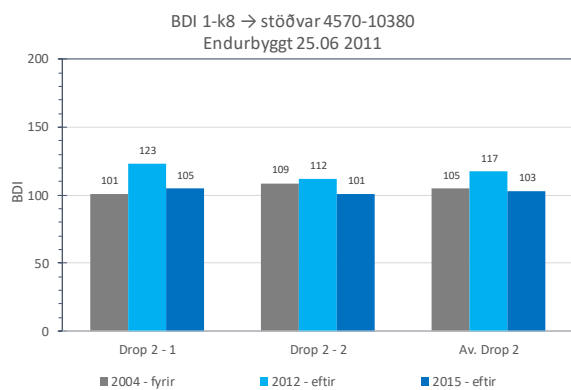
SCI – Óbundið burðarlag



BCI – Óbundið burðarlag



BDI – Óbundið burðarlag



AUPP – Óbundið burðarlag

