

Kjarnar úr festum vegum



Mars 2012



Ingvi Árnason - Guðmundur Ingi Waage



Sigursteinn Hjartarson

Efnisyfirlit

1. INNGANGUR	4
2. HELSTU MARKMIÐ	4
3. PRUFUTÖKUR ÚR BIKFESTUN [4]	4
3.1 NIÐURSTAÐA AF REYNSLUNNI VIÐ BIKFESTANIR	5
4. TILRAUN Í LANGADAL ÁRIÐ 1996 [1]	5
4.1 NIÐURSTAÐA AF REYNSLUNNI Í LANGADAL	6
4.2 TILLAGA EFTIR ÞESSA TILRAUN	6
4.3 EFTIRÞANKAR	6
5. SEMENTSFESTUN Á VEGUM ÁRIN 2010 OG 2011	7
5.1 SAMANTEKT AF REYNSLUNNI FRÁ 2010 OG 2011	9
5.2 TILLAGA EFTIR REYNSLUNA FRÁ 2010 OG 2011	9
6. ERLENDAR AÐFERÐIR	9
6.1 DÖNSK TILRAUN	10
6.2 NORSKAR, SÆNSKAR OG ASTM LEIÐBEININGAR	10
6.3 SAMANTEKT UM ERLENDAR AÐFERÐIR	10
7. NIÐURSTÖÐUR OG ÁLYKTANIR	11
8. LOKAORÐ	12
9. FYLGISKJÖL	13
FYLGISKJAL 1 - SEMENTSFESTUN Í LANGADAL - VERKLÝSING	13
FYLGISKJAL 2 - RANNSÓKNARNIÐURSTÖÐUR FRÁ 2010-	15
FYLGISKJAL 3 - RANNSÓKNARNIÐURSTÖÐUR FRÁ 2011	17
FYLGISKJAL 4 - LÝSING Á AÐFERÐUM REYNDRA MANNA Í NÖREGI	20
10. HEIMILDIR	22

1. Inngangur

Með þessari skýrslu er leitast við að setja fram á einum stað upplýsingar um hvernig skoða skuli árangur af bindingu burðarlags á vegi með fræsun og íblöndun bindiefnis í uppfræst efnið og jöfnun þess á veginum með "Festun" eins og aðferðin er nefnd.

Festun er ætlað að binda fínefni í burðarlagi vega með of hátt hlutfall fínefnan undir sigti 0,063 mm. Oftast er verið að binda efni sem hefur brotnað niður undir umferð og er burðarlagið þá orðið vatnsdrægt.

Til eru tilvik þar sem ófullnægjandi steinefni er valið í burðarlagið vegna kostnaðar við að flytja hæft efni að langar leiðir. Þá er heppilegast að búa til sementsbundið eða bikbundið efni í færanlegri blöndunarstöð og leggja það svo út með útlagninarvél. Hægt er að leggja blandað efnið út með hefli en það hefur í för með sér ójafnari þjöppun þótt una megi við árangurinn ef vel er vandað til verka.

Víða er leitað fanga en drýgstar eru upplýsingarnar frá tilraun í Langadal og skýrslur eftirlits um festun á árunum 2010 og 2011. Greinar, verklýsingar og leiðbeingar frá hinum Norður-löndunum og frá Ameríku liggja einnig til grundvallar þessarar skýrslu og margra ára reynsla af bikfestun í öllum landshlutum.

2. Helstu markmið

Tilgangurinn með þessu verkefni er að velja aðferð við sýnatökur svo fá megi sem besta mynd af árangrinum við festun burðarlags án of margra mistaka við sýnatöku og geymslu sýna. Rétt er að gera sér strax grein fyrir því að verið er að skoða hvernig til tókst svo draga megi lærdóm af því sem gert hefur verið. Þetta nýtist ekki til eftirlits á framkvæmdatíma verksins sem sýnið er tekið úr

Niðurstöður úr vinnslu sýnanna gefa niðurstöður sem má nýta við uppgjör verksins milli verktaka og verkkaupa.

3. Prufutökur úr bikfestun [4]

Um margra ára skeið var eingöngu notuð bikfestun við fræsingu og festun vega hér á landi. Froðubik var bindiefnið en í fáeinum verkum var þó notuð bikþeyta. Ýmist voru tekin sýni úr vegum sem festa átti og gerðir Marshallkjarnar úr þeim og þannig ákveðið hvaða bindiefnismagn skyldi notað eða bindiefnismagn var ákveðið skv. norsku Håndbok 018.

Borkjarnatökur úr bikfestum köflum hafa alltaf verið ófullkomnar. Bestu kjarnarnir hafa orðið allt að 70 - 80 mm langir en oftar þó um og innan við 50 mm. Neðri hluti kjarnans molnar óreglulega og er ekki nothæfur til prófunar. Í bikþeytufestunum náðust kjarnar sem voru með 20 - 30 mm lagi af biksteypu efni í topnum en restin af kjarnanum molnaði sundur. Í erlend-um gögnum m.a. fylgiskjali 4 kemur fram að borkjarnataka sé erfiðleikum háð og að reglan sé sú að taka prufur úr blönduðu efni áður en það er lagt út og þjappað og úr því steypdir kjarnar með ýmeu móti og mismunandi tækjum eftir því hvort um sement eða bik er að ræða og líka eftir því hvort unnið er í Noregi eða Suður - Afríku svo aftur sé vitnað í fylgiskjal 4.

Prufutökur úr bikfestun hafa gefist vel þegar tekin eru próf af blönduðu en óþjöppuðu efn og það unnið í Marshallhamri og brotið eins og tilskilið er. Prufukjarnar sem boraðir eru úr frágænum vegi eru of stuttir til þess að niðurstöðurnar úr broti gefi nothæfar upplýsingar. Festun með biki er yfirleitt 100 - 120 mm djúp og borkjarnar nást ekki heilir úr fullri þykkt festunar nema í undantekningartilvikum. Håndbok 014 lýsir því hvernig gera skuli rannsóknir

á sívalningum. Í fylgiskjali 4 er sagt frá því að borkjarnar séu undantekning og að sívalningar séu gerðir með Marshallhamri eða Mod.AASHTO komprimering

3.1 Niðurstaða af reynslunni við bikfestanir

Kjarnaborun úr bikfestun er oft villandi. Bikið er mjög lengi að "cure" við heitar og góðar kringumstæður eins og gerist víða erlendis en hér þyrfti marga mánuði til. Erlendis er samkvæmt þeim gögnum sem skýrsluhöfundar hafa farið í gegnum, ekki almennt reiknað með kjarnaborun sem prufutökuáferð.

Prófanir á festun snúast fyrst og fremst um að tryggja að það magn bindiefnis sem um var samið sé notað við verkið og að burðarþol vegarins verði eins og að er stefnt. Bikmagni er stjórnað við framkvæmd verksins og notað magn borið saman við það sem vera átti skv. fyrir-mælum. Falllódsmælt er á 1 mánaðar gamalli festun og ekki seinna en fyrir fyrstu frost. Næsta vor er falllódsmælt á sömu köflum. Þetta hefur verið gert á undanförunum árum. Þannig er hægt að fylgjast með þróun á aukinni burðahæfni vegar sem festur hefur verið. Sýnataka úr vegi á samt rétt á sér, sérstaklega til þess að bera saman raunstærðir úr íblönduðu efni og því sem lagt var til grundvallar við ákvörðun um bindiefnismagn í rannsóknastofu. Taka skal sýni úr efninu eftir fræsun og íblöndun og því efni er svo komið í rannsókn. Steyptur er Marshall-kjarni og hann brotinn til samanburðar við það sem lagt var upp með. Bindiefnisinnihald er mælt og aðrar athuganir er hægt að gera s.s. hvort viðlöðunarefni hafi verið sett í bindiefnið og hvernig dreifing bindiefnisins er ef prufur eru teknar með það fyrir augum..

4. Tilraun í Langadal árið 1996 [1]

Sumarið 1996 var gerð tilraun með sementsfestun á vegi nr 1-m2. Um það ver er fjallað í BUSL-skýrslu B-13 frá því í júlí 1997. Skýrslan heitir "Sementsfestun burðarlara - Tilraunakafli í Langadal og er skrifuð af Þóri Ingasyni. Þau atriði sem þar koma fram og snerta þetta verkefni er að finna í:

1. Viðauki I. "Sementsfestun verklýsing". Undir lið d) eru fyrirskrifaðar prófanir sem gera skal og eru þar ákvæði um mælingar á þjöppun, sementsmagni og vinnsludýpt m.a. Þar eru ákvæði um að prófa skuli þrýstistyrk. Þar segir orðrétt: "Til ákvörðunar á þrýstistyrk skal bora a.m.k. 2 sívalninga á hverjum stað með 800 m millibili og skal sýnataka dreifast jafnt á báðar akreinar." Þarna er ekki getið um hvaða þvermál kjarnarnir skuli hafa. en áætla má að 150 mm þvermál skuli notað.
2. Í kafla 5 er sagt frá því að tekin voru sýni úr blönduðu efni og úr þeim þjappaðir sívalningar 150 mm í þvermál og 150 mm háir. Niðurstöður úr broti þeirra á Rb. sem nú heitir NMÍ. var yfir þeim mörkum sem krafist var fyrir 7 daga brotþol, eða 5,0 MPa en sýni frá 15. ágúst var 2,6 MPa sem er nokkuð undir kröfum. Þessar niðurstöður eru úr steyptum sýnum en ekki úr borkjörnum. Svo áfram sé skoðað hvað fékkst úr þessum athugunum sem gerðar eru á sívalningum sem eru steyptir í mót og geymdir undir þekktum skilyrðum má sjá að flakk á þrýstibrotþoli er mikið. 7 daga þrýstibrotþol spannar frá 2,6 MPa upp í 7,8 MPa og samsvarandi fyrir 28 daga frá 4,5 MPa upp í 11,5 MPa
3. Borkjarnar sem teknir voru 27 - 37 dögum eftir festun komu upp heillegir og . með fáum undantekningum var enginn aðskilnaður í þeim. Þótt festunin væri aðeins 170 mm þykk koma upp heilir kjarnar allt að 185 mm langir. Þessir kjaranr voru svo brotnir 12 dögum efir að þeir komu á Rb. Niðurstöður leiðréttar til 28 daga brotstyrks urðu frá 4,1

MPa upp í 15,6 MPa. Niðurstöðurnar úr þessum tveim seríum benda til að ekki sé mikill munur á hvort teknir eru kjarnar úr veginum eða sívalningar steptir úr festa efninu á framkvæmdastað.

4. Síðast í kafla 4.3 á bls. 6 er sagt frá því að völtun titurvalta eftir 2 sólarhringa hafi ekki alltaf verið framkvæmanleg vegna þess að hörðun var ekki orðin næg. Jafnframt kemur fram að orðið hafi að bora 3 auka kjarna til þess að ná heillegum kjörnum. Kjaramarnir sem notaðir voru voru frá 130 mm upp í 185 mm.
5. Falllódsmælingar sem gerðar voru á kaflanum 2 mánuðum eftir festun gefa strax þokkalega einsleita niðurstöðu og mælingarnsem gerður eru í apríl árið eftir sýna enn jafnari niðurstöðu með fáeinumfrávikum af þeim aragrúa mælinga sem falllódsmælirinn skilar.

4.1 Niðurstaða af reyngslunni í Langadal

Þær mælingar sem gerðar eru eftir á í verkinu eru þrjár; sýnataka úr blönduðu efni fyrir þjöppunoggerð sívalninga, borun kjarna úr festu yfirborði með slitlagi og loks falllódsmæling. Á verk tímanum er stöðugt fylgst með magni og dreifingu bindiefnisins og vatnsnotkun meðan unnið er. Þetta er nákvæmasta matið á því hvort rétt sementsmagn hefur verið notað og samfara stöðugu mati á vætingu. Fá slembisýni eru miklu ótryggari mælikvarði á þessi atrið þótt ekki væri nema vegna mismunandi kornavals í sýninu sem tekið er þar sem einn 50 mm steinn getur gefið niðurstöðum mikla slagsíðu.

Þar sem verið er að gera óæskileg fínefni í burðarlaginu óvirk en ekki verið að reyna að steypa berandi steypuhellu hefur þrýstistyrkurinn fyrst og fremst hlutverk þegar verið er að ákveða hve miklu bindiefni skuli blanda í efnið sem er fyrir í veginum. Þegar það er ákveðið er unnið skv. þeirri ákvörðun og þrýstistyrkur úr sýnum er eingöngu til að meta hve nærri upprunalegri ákvörðun komist var þar sem engu verður breytt eftir að sýnin eru orðin vinnsluhæf. Til þess er gerð steypusívalninga heppileg þar sem um stýrða rannsókn er að ræða og frávik fyrir boraða og steypa sívalninga á svipuðu róli.

Falllódsmæling kemst næst þeim upplýsingum sem skipta máli, hvaða burðarþol vegurinn hefur og hvort þáartíminn hefur áhrif í því sambandi.

4.2 Tillaga eftir þessa tilraun

Af því sem þegar er komið fram má álíta heppilegast að sýni verði tekin úr fullblönduðum og útlögðum masa áður en völtun fer fram. Úr sýninu sé steptur sívalningur til þrýstipólspófs og í því verði mælt bindiefnisinnihald.

Falllódsmæling skal framkvæmd sem næst 1 mánuði eftir að festun er lokið og aftur vorið eftir þegar frost er að fara úr jörð.

4.3 Eftirþankar

Það kemur fram í verkinu í Langadal að steypnan hafi ekki verið orðin nægjanlega hörðnuð til þess að afspenna hana með völtun eftir 2 sólarhringa. Sívalningarnir sem boraðir voru mánuði eftir útlögn voru látnir harðna við staðlaðar aðstæður í 3-4 vikur í viðbót svo þeir væru taldir hafa 28 daga hörðun. Það er því óraunhæft að ætla að bora kjarna fyrir en eftir í fyrsta lagi 28 daga frá festun og þá þarf að meta hörðun þeirra miðað við geymslu við staðalaðstæður.

Ekki má halda áfram heflun á sementsfestu lagi lengur en 4 klst. frá íblöndun skv. skýrslunni um sementsfestun í Langadal.

5. Sementsfestun á vegum árin 2010 og 2011

Eftirransóknir árið 2010 (sjá fylgiskjal 2)

Steyptir voru 7 sívalningar sem síðan voru sendir til Nýsköpunarmiðstövar í brot. Framkvæmd var þannig að tekið var efni úr blönduðu lagi sett í steypusýnamót og þjöppuð með Hilti rafmagnsfleygvél þar sem stálplata hafði verið soðin framan á fleyg. Steypt var í þrjá sívalninga í einu og þjöppun var gerð í tveim lögum. Miðað var við að efni næði a.m.k. 15 sm hæð í hólkum. Styrkur sýna við brot var mismunandi eða frá 4,91 mpa – 8,95 mpa. Tvö af þessum sýnum voru brotin eldri eða 12 daga og 23 daga. Þau sýni voru með brotstyrk 7,65 mpa og 9,65 mpa.

Þá var einnig reynt að taka blandað efni, setja í vatnsheldar dósir sem aftur voru settar í ísvatn. Þetta var svo flutt beint til NMÍ og reynt að þjappa í mót. Þetta skilaði ekki ásættanlegri niðurstöðu og var hætt.

Í útboðslýsingu var tekið fram að taka ætti kjarnasýni til að staðfesta að 7 daga brotstyrkur næði 5 mpa. Þetta var ítrekað reynt en gekk ekki. Kjarnar tolldu ekki saman og ef festun var nýleg (rúmlega 24 tíma) þá varð kjarni aftur að steypu þegar reynt var með kjarnabor og vatni.

Fengin var sérhæfður aðili til að taka sýni með kjarnabor en það gekk ekki frekar en áður. Ákveðið að saga kubba úr festu lagi og gekk það. Hinsvegar náði NMÍ ekki að meðhöndla þá og brjóta til að fá styrk. Einn kubbur var sagaður úr kafla þar sem teknir voru fyrir 450 m og festun tók fulla 10 tíma. Sá kubbur klofnaði þannig að efstu ca 4 scm komu sér.

Ákveðið var að fresta frekari sýnatöku en sýni voru svo tekin 27.1.2011. Það gekk sæmilega og voru tekin 30 sýni en af þeim voru brotin 20 en önnur voru ekki talin nothæf í brot af NMÍ. Niðurstaða úr broti og þyngd sýna fylgir með sem fylgiskjal. Brotþol var mjög misjafnt eða allt frá 4 Mpa og upp í 25 Mpa. Ekki virðist endilega vera samband milli rúmþyngdar og brotstyrks t.d. eru sýni no 7 og 34 með nánast sömu rúmþyngd en styrkur er annarsvegar 7 Mpa en hinsvegar 11 Mpa. Sýni no 11 er reyndar frekar létt sem bendir til verri þjöppunnar og mælist einungis með brotstyrk 4 Mpa. Þá er ástæða til að benda á að við sýnatöku kom í ljós að steinar virtust hafa veruleg áhrif á styrk sýnis m.a. fór neðri hluti af einum borkjarna og þá kom í ljós ca 5 sm steinn í sýni þar sem það brotnaði. Umræddur steinn var þó ekki í borfari.

Varðar sýnatöku úr sementsfestum köflum 2011. (sjá fylgiskjal 3)

Sýnataka var framkvæmd 20.10.2011.

Þáttakendur voru Guðmundur I. Waage Vegagerð, Sæmundur Víglundsson tæknifræðingur Borgarverk og Hafsteinn Daníelsson sérhæfður í kjarnatöku og steinsögun.

Tæki voru:

Sérstaklega útbúinn pallbíl með öllum sérhæfðum búnaði sem þurfti.

Valið var að nota til sýnatöku borhólka með þvermáli 130 mm.

Við borun var notað vatn.

Bor var festur niður með tjakki á fótstykki og undir pall bifreiðar.

Veður var þokkalegt að mestu þurrt en ekki sól.

Borkjarnar voru teknir úr öllum köflum og miðað við að síðasti kafli væri um 28 daga en hinir eldri, þegar sýnataka var framkvæmd. Sýnataka gekk vel og náðust kjarnar í flestum tilfellum við fyrstu tilraun. Í nokkrum tilfellum gekk það ekki ef efni var mjög gróft og hnullungs steinar voru í kjarna.

Aldur kafla.

Festun hefst, kafli 1-h1, 19.ágúst.

Festun lýkur, kafli 1-h1, 20. ágúst.

Klæddur kafli, 20.ágúst

Festun hefst, kafli 1-p3, 22. ágúst.

Festun lýkur, kafli 1-p3, 27. ágúst.

Klæddur kafli, 27. ágúst

Festun hefst, kafli 1-m8, 28. ágúst..

Festun lýkur, kafli 1-m8, 1. sept.

Klæddur kafli 1-m8, 1. sept.

Festun hefst, kafli 75-02, 1.sept.

Festun lýkur, kafli 75-02, 2. sept.

Klæddur kafli 75-02, 5. sept.

Festun hefst, kafli 1-k8, 5.sept.

Festun lýkur, kafli 1-k8, 6. sept

Klæddur kafli 1-k8, 8.sept.

Borgarnesi 8.3.2012.

Guðmundur I. Waage.

5.1 Samantekt af reynslunni frá 2010 og 2011

Reynslan sýnir að festunin þarf að vera orðin 28 daga gömul áður en reynt er að bora úr henni kjarna. Aðskilnaður sem lýst er í greininni um eftirrannsóknir sem GIW skrifaði er líklega til kominn vegna þess að of lengi var verið að reyna að laga sléttleika festunarinnar.

Það mikla flakk á þrýstistyrk borkjarna er óútskýrt. Ekki er leiðrétt fyrir hæð á kjörnum sem skeykir myndina talsvert því stuttur sívalningur gefur hærri brotstyrk en væri ef hlutfallið væri rétt. Brotstyrkur upp á 25 MPa er styrkur veggjasteypu og er langt umfram það sem óskað er eftir í festun vega.

Hvernig sprunginn sívalningur getur sýnt slíkan þrýstistyrk er líka óútskýrt. Rök hníga frekar að því að maling á borkjarna sýni lægri e.t.v. miklu lægri brotstyrk, að því er stefnt með því að forbrjóta festa lagið.

5.2 Tillaga eftir reynsluna frá 2010 og 2011

Aftur kemur að því að ekki virkar sérlega traustvekjandi að meta verkgæði með því að brjóta borkjarna úr lagi sem þegar hefur verið brotið. Sementsmagnið sem ákveðið var í forprófunum er það sem treysta verður á að sé rétt unnið. Það gerir verktakinn og eftirlitið með daglegri stjórn á verkinu. Þjöppunin er hitt atriðið sem um ræðir. Til eru margskonar þjöppumælar og verður ekki farið nánar út í það hér.

Falllódsmæling er svo handhægasta aðferðin við að burðarþolsmæla fullunnið verk og er mælt með því að slík mæling fari fram eftir mánaðartíma frá festun og svo á þáartíma vorið eftir.

6. Erlendar aðferðir

Erlend gögn sem skoðuð hafa verið eru eftirfarandi:

Dansk Vejtíðsskrift frá maí 2006: Grein um in-situ festun með sementi eftir Dirch H. Bager.

Norsku handbækurnar 014, 015, 018 og 198 frá statens vegvesen.

Sænska ATB VÄG 2005, kapitel G, Cementbundna lager.

ASTM C39

Af þeim erlendu gögnum sem farið hefur verið í gegnum má sjá að aðal reglan er sú að steypa sívalninga, geyma þá við 20 °C hita og 100% raka og brjóta þá svo eftir 7 og 28 daga til að meta þrýstibrotpól blöndunnar. Þetta er gert bæði þegar blandað er í blöndunarstöð og eins þegar fræst er og blandað á veginum. Kjarnaborun er frekar undantekning sem framkvæmd er til samanburðar í sementbundnum burðarlögum sem blönduð eru í blöndunarstöð og lögð út og þjöppuð. Sýnataka úr in-situ blöndun er eftirprófuð með því að taka sýni úr uppfræstu og íblönduðu efni fyrir þjöppun. Úr sýnunum eru steyptir sívalningar á framkvæmdastað, 100/100 mm, 150/150 mm og 150/300 mm, háð steinastærð efnisins. Sívalningarnir eru síðan brotnir eftir 7 og 28 daga staðlaða geymslu og hörðun. Í tilraun hafa þó verið boraðir kjarnar til samanburðar við þá sem steyptir voru úr blöndunni. Í norsku leiðbeiningunum er sagt að það sé erfiðleikum háð að ná heilum kjörnum úr laginu

6.1 Dönsk tilraun

Í fróðlegri grein eftir Ph.d. Dirch H. Bager í [2]DANSK VEJTIDSSKRIFT frá því í MAJ 2006 kemur fram að með nútíma tækni og búnaði sé blöndun á staðnum fyllilega sambærileg við semensfest burðarlag blandað í stöð.

Í verki sem lýst er var gerð forblöndun og steyptir sívalningar með Kangohamri í 150/300 mm hólkum. Fræsun og verktækni öll er tilsvarendi því sem hér gerist. Fræsidýpt var þó meiri en hér tíðkast á þjóðvegakerfinu. Lagið var svo spennulosað með titurvalta rétt áður en slitlagið var lagt á veginn.

Mikil áhersla var lögð á að fylgjast með þjöppun og voru bæði sandfylling og. troxlermælingar notaðar. Niðurstaðan varð sú úr þessum rúmþyngdarmælingum að dreifing var minni en vænst var.

Tekin voru sýni úr efninu fullblönduðu og úr þeim steyptir sívalningar til ákvörðunar á 7 og 28 daga styrk. 7 daga styrkur úr prufu sem tekin var við besta rakastig mældist 4,9 MPa. Í rannsóknastofu náðist 7,1 MPa þrýstistyrkur. Sívalningurinn var unninn eins og sá upprunalegi svo mismunarins er að leita í lakari blöndun í fræsanum. Hlutfallið er $7,1/4,9 = 0,69$. Vísindamennirnir komast að þeirri niðurstöðu að framvegis skuli reikna með 33% lægri brotstyrk í in-situ blönduðu efni en rannsóknastofublandaðri prufu.

6.2 Norskar, sænskar og ASTM leiðbeiningar

Í norsku "Håndbok 015" -Retningslinjer-Feltundersøkelser- er sagt hvernig skuli taka borkjarna úr steypum mannvirkjum og þar er lögð höfuð áhersla á að kjarnar sem á að brjóta til ákvörðunar á brotstyrk skuli vera a.m.k. jafn háir þvermáli kjarnans ($h/d = 1- 2$). Í bók 014 er tekið fram að kjarnataka úr festun geti verið "problematisk" og geti þurft að gera sérstakar ráðstafanir til að ná nothæfum kjörnum. Að auki er tekið fram að ekki skuli leiðrétta niðurstöður úr broti en þá er líka gengið út frá að hæð kjarna sé meiri en þvermálið.

Svíar og Ameríkumenn gera ráð fyrir ákveðnum mörkum fyrir styrk festunarinnar og að þrýstistyrkur skuli vera innan við 9 MPa. Þeir gera einnig ráð fyrir leiðréttingarstuðlum fyrir hlutfallinu h/d .

6.3 Samantekt um erlendar aðferðir

Megin reglan er að teknar eru prufur á blöndunarstað og úr þeim eru m.a. steyptir sívalningar úr fullblönduðu efni. Sýni eru tekin eftir fræsun og íblöndun en áður en valtað er og úr þeim steyptir sívalningar sem síðan eru brotnir. Sívalningar úr sementsblöndum eru geymdir í 7 og/eða 28 daga við 20 °C og 100% raka áður en þeir eru brotnir

Reiknað er með að brotstyrkur úr efni blönduðu á staðnum með fræsun og íblöndun bindiefnis verði minni en úr blöndu sem alfarið er unnin og blönduð í rannsóknastofu þegar fram fer proportionering til ákvörðunar bindiefnismagns og raka sem nota skal. Hlutfallið er þannig að in-situ blöndun með sementi nær 67% af styrk prufu sem búin er til í rannsóknastofu.

7. Niðurstöður og ályktanir

Niðurstöður þessarar skýrslu verða þessar:

Til þess að meta gæði verksins er þrennt sem þarf að meta og skrá í skýrslur um verkið.

Til uppgjörs við verktaka:

Það þarf að meta hvort það bindiefnismagn sem nota átti pr. m² var notað. Það er gert með gæðastýringu þar sem fylgst er með notkuninni og dreifingunni, allan tímann meðan verkið er í vinnslu.

Sléttleikinn verður best metinn með hrýfímæli en einstaka gallar sem geta komið til athugasemda við uppgjör verksins er gert með 3 m réttскеið eins og sléttleikakröfur Alverks segja til um.

Fyrir verkkaupa sjálfan skiptir burðarþol vegarins mestu máli.

Það þarf að mæla hvort burðarþol vegarins hafi náð þeim stærðum sem vænst var. Þetta er gert með falllódsmælingum.

1. Endanlega frágenginn vegur skal falllódsmældur eftir 1 mánuð og ekki seinna en áður en frost fer í jörðu. Aftur skal falllódsmæla kafla þegar frost fer úr jörðu til að meta hvort festunin hefur gert burðarlagið ónæmt fyrir raka.
2. Taka skal sýni úr uppfræstum veginum eftir íblöndun bindiefnisins en áður en völtun fer fram.
3. Úr sýninu úr sementsfestun skal m.a. steypa sívalninga á staðnum í sömu stærð og gerðir voru til notkunar við forprófanirnar og ákvörðun á fyrirmælum um festunina. (kangohamar).
4. Sívalningarnir úr sementsfestun skulu fluttir innpakkaðir í plast til að hindra þornun og geymdir við staðlaðar (20 °C - 100% raki) aðstæður í 28 dag og þá brotnir til samanburðar við það sem stefnt var að.
5. Sýni úr bikfestun er sent í rannsóknarstofu þar sem þjappaðir eru sívalningar með Marshallhamri og þeir brotnir til samanburðar við fyrirmælin sem gefin voru.
6. Sýnin er einnig hægt að nota sem grófa athugun á að bindiefnismagn sé eins og fyrirskrifað er.

Séu borkjarnar samt teknir:

7. Kjarnaborun telst óþörf. Það er ekki sannfærandi niðurstaða sem fæst við að brjóta kjarna úr sementsfestu lagi sem þegar hefur verið spennulosað né úr bikfestu sem þarf marga mánuði til að bindast.
8. Meta skal sérstaklega niðurstöður úr borkjörnum þar sem stór steinn er í kjarna. Alltaf ætti að leiðrétta fyrir h/d hlutfalli og alltaf þarf að gæta þess að kjarni sé a.m.k. jafn langur þvermáli kjarnans.

8. Lokaorð

Meira er fjallað um festun með sementi í þessari skýrslu en festun með biki. Tvennt veldur. Verðlagning biks veldur því að sement er nú viðurkenndur áhugaverður kostur verðsins vegna. Reynsla af bikfestun er orðin löng og rannsóknaraðferðir vel þekktar en sementsfestun hefur aðeins verið stunduð að marki tvö síðustu árin. Eru aðferðirnar því forvitnilegri við sementsfestunina.

Þær upplýsingar sem skoðaðar hafa verið kveða allar á um að ekki skula nota sementfest burðarlag á vegi sem geta missigið og þanist. Bik henti betur á slíkt undirlag því bik sé sveigjanlegt. Bik hefur þessa kosti og ótal marga aðra rétt er það. Í sömu greinum er samtímis vakin athygli á því að sementsfestun er afspennt þegar hún er farin að harðna með því að valta hana með þungum titurvalta sem myndar fínt net af smásprungum svo ekki myndist berandi steypur hellur í laginu. Þess vegna mun sementsfest burðarlag auðveldlega laga sig eftir undirlaginu rétt eins og malarburðarlag en hanga saman samt án þess að spennuflutningur verði yfir sprungurnar. Það er því skoðun höfunda að meðan ekki er sýnt fram á annað með tilraunum sé sementsbundið burðarlag vel hæft á alla vegi sem talið er að séu þess virði að eyða á þá festun á annað borð.

Að lokum vilja skýrsluhöfundar þakka Rannsóknasjóði Vegagerðinnar fyrir að veita styrk til þessa verkefnis.

Sigursteinn Hjartarson

Ingvi Árnason

Guðmundur Ingi Waage

9. Fylgiskjöl

Fylgiskjal 1 - Sementsfestun í Langadal - Verklýsing

Sementsfestun verklýsing

a) Verkpátturinn innifelur allt efni, alla vinnu og allan kostnað við þurrfræsun, grjóttínslu, grófjöfnun, akstur viðbótarefnis í efra burðarlag, millipjöppun, íblöndun sements, fínjöfnun, bleytingu, lokapjöppun, sement, flutning á sementi frá afhendingarstað að verkstað og aðhlúun yfirborðs.

b) Efni skulu uppfylla kröfur í kafla 14.4 b) í Alverk'95. Steinefni í burðarlag sem styrkt er með sementi skal hafa kornadreifingu innan marka sem sýnd er í töflu 1. Stærsta steinastærð skal vera minni en 50 mm. Stærri steinar skulu fjarlægðir úr efninu. Til að uppfylla kröfur um lámarks niðurbrot vegna frosts skal forðast veðrunarþolslitlar beiftegundir og skal steinefni í gæðaflokki 3 samkvæmt berggreiningarkerfi Rannsóknarstofnunar byggingariðnaðarins "Berggreiningarkerfi Rb 57" frá 1989 vera minna en 20 %.

Ef húmuspróf (NaOH) sýnir meiri styrk en 1,5-2,0 þarf að auka sementsmagn til að uppfylla kröfur um brot- og veðrunarþol.

Brotþol sementsfests burðarlags skal að lágmarki vera 5 MPa eftir 7 daga.

Sementsmagn er skilgreint sem þyngdarhlutfall sements af þurri rúmþyngd malar. Í sementsfest burðarlög skal nota hreint Portlandsement eða Portlandsement með 7% íblöndun af kísilyki.

Rakastig sementsfests burðarlags skal vera 1-2% undir hagstæðasta rakastigi samkvæmt Proctor-prófi.

c) Sementsfestun má vinna í röku veðri, en ef efnið blotnar of mikið skal endurvinna það með þurrfræsun. Fræsun skal vera 5-15 % dýpri en þykkt fyrirhugaðrar festunar. Gæta skal þess við fræsun og jöfnun steinefnis að blöndun þess verði sem jöfnust og að efnið aðskiljist ekki. Íblöndun sements skal fara fram í einu lagi og dreifast jafnt á það svæði sem festa skal. Dreifitæki skulu hafa útbúnað sem dreifir sementsmagni eftir vegalengd óháð hraða tækja. Gæta skal þess að sement rjúki sem minnst. Blöndun skal fara fram með sérhæfðum útbúnaði sem tryggir jafna blöndun sements. Fara skal það margar umferðir að burðarlagið verði einsleitt. Ef þörf er á viðbótarvatni skal það gert við blöndun. Við upphaf blöndunar má vatnsmagn einungis víkja 1% frá áætluðu gildi.

Ekki má vinna við sementsfestun við lægra hitastig en + 5°C. Við þjöppun skal fara fyrstu tvær umferðirnar með gúmmihjólavalta og skal hefja þjöppun um leið og blöndun er lokið. Eftir fyrstu þjöppun má nota stáltrömluvalta án titrunar fyrstu umferðirnar. Eftir 2-3 umferðir með valta skal yfirborð sléttað með veghefli og réttu formi vegarins náð. Halda skal þjöppun áfram þar til kröfum er náð. Þjöppun skal lokið 4 klst eftir íblöndun sements ef lofthiti er 5-10°C en 3 klst eftir íblöndun ef lofthiti er 10-20°C

Skil í vinnulok skulu vera hrein og af rétttri þykkt. Þverskil skal ávalt gera þegar vinna stöðvast meira en 2 klst. Þegar unnið er á vegi með umferð er heimilt að hafa langskil milli akreina eða ef vinna stöðvast meira en 2 klst. Skil skulu gerð þannig að burðarlagið er skorið eða sagað lóðrétt og skal sárið vera heilt og af rétttri þykkt. Að frágangi loknum skal halda yfirborði röku í a.m.k. 7 daga eða loka því með bikþeytu eða yfirlögn slitlags.

Leyfa má létta umferð á sementsfest burðarlag einum sólarhring eftir að þjöppun er lokið eða þegar burðarlagið hefur náð 2 MPa þrýstistyrk. Alla umferð má leyfa eftir 3 sólarhringa.

d) Gera skal prófanir á eftirtöldum atriðum:

kornadreifingu steinefnis

húmusinnihaldi steinefnis

sementsmagni

vinnsludýpt

þjöppun

þrýstistyrk

þykkt og breidd burðarlags

hæðarlegu og þverhalla burðarlags


Fyrir hverja 2500 m² af sementsfestu burðarlagi skal taka a.m.k. 1 sýni til ákvörðunar á kornadreifingu, húmusinnihaldi, sementsmagni og þjöppun. Til ákvörðunar á sementsmagni má nota 1 m² plötu sem sett er milli dreifara og fræsara. Auk þess skal reiknuð út notkun á sementi eftir hvern dag eða áfanga. Í upphafi verks skal gera próf til ákvörðunar á sementsmagni oftar. Til ákvörðunar á þrýstistyrk skal bora a.m.k. 2 sívalninga á hverjum stað með 800 m millibili og skal sýnataka dreifast á báðar akreinar. Varðandi þykkt, breidd og hæðarlegu og þverhalla gilda ákvæði um lengd milli ákvarðana á lagþykktum í kafla I.6.1. í Alverk'95 fyrir viðkomandi vegflokk.


e) Frávik í sementsmagni mega mest vera ± 1 kg/m². Við ákvörðun á þrýstipoli skulu 90 % sýna hafa hærri þrýstistyrk en fyrirskrifað. Varðandi sléttleika yfirborðs og þverhalla sjá I.5.1. í Alverk'95 fyrir viðkomandi vegflokk.

f) Uppgjör miðast við hannaðan sementsfestan flöt.

Mælieining: m²

Fylgiskjal 2 - Rannsóknarniðurstöður frá 2010-

 Nýsköpunarmiðstöð Íslands	Rannsókn nr.	H11/29																																																																																	
	Dags.	16-Feb																																																																																	
	Framkv. af	AA																																																																																	
Þrýstipól borkjarna																																																																																			
Unnið fyrir: Vegagerðina	Mannvirki:	Hringvegur																																																																																	
Vegna: Sementsfestukjarnar (1/2)	Sendandi:																																																																																		
Innlesin gögn:																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kjarni nr.</th> <th>Þyngd g</th> <th>Þyngd í vatni</th> <th>Hæð cm</th> <th>Þvermál cm</th> <th>Álag tonn</th> <th>Athugasemdir</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>5047.5</td><td>2952.1</td><td>14.0</td><td>14.3</td><td>7.78</td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td>4539.3</td><td>2703.5</td><td>12.2</td><td>14.3</td><td>10.98</td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td>4002.7</td><td>2394.6</td><td>10.4</td><td>14.3</td><td>13.82</td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td>3446.3</td><td>2033.5</td><td>9.3</td><td>14.3</td><td>7.76</td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td>4917.5</td><td>2940.1</td><td>12.7</td><td>14.3</td><td>14.61</td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td>4263.5</td><td>2512.1</td><td>11.7</td><td>14.3</td><td>8.04</td><td></td></tr> <tr><td>11</td><td>3471.8</td><td>1950.0</td><td>10.0</td><td>14.3</td><td>5.81</td><td></td></tr> <tr><td>14</td><td>4082.9</td><td>2407.1</td><td>11.0</td><td>14.3</td><td>21.20</td><td></td></tr> <tr><td>21</td><td>4611.5</td><td>2812.5</td><td>11.5</td><td>14.3</td><td>41.20</td><td></td></tr> <tr><td>34</td><td>4056.4</td><td>2415.4</td><td>10.5</td><td>14.3</td><td>18.33</td><td></td></tr> </tbody> </table>							Kjarni nr.	Þyngd g	Þyngd í vatni	Hæð cm	Þvermál cm	Álag tonn	Athugasemdir	1	5047.5	2952.1	14.0	14.3	7.78		7	4539.3	2703.5	12.2	14.3	10.98		2	4002.7	2394.6	10.4	14.3	13.82		6	3446.3	2033.5	9.3	14.3	7.76		3	4917.5	2940.1	12.7	14.3	14.61		8	4263.5	2512.1	11.7	14.3	8.04		11	3471.8	1950.0	10.0	14.3	5.81		14	4082.9	2407.1	11.0	14.3	21.20		21	4611.5	2812.5	11.5	14.3	41.20		34	4056.4	2415.4	10.5	14.3	18.33	
Kjarni nr.	Þyngd g	Þyngd í vatni	Hæð cm	Þvermál cm	Álag tonn	Athugasemdir																																																																													
1	5047.5	2952.1	14.0	14.3	7.78																																																																														
7	4539.3	2703.5	12.2	14.3	10.98																																																																														
2	4002.7	2394.6	10.4	14.3	13.82																																																																														
6	3446.3	2033.5	9.3	14.3	7.76																																																																														
3	4917.5	2940.1	12.7	14.3	14.61																																																																														
8	4263.5	2512.1	11.7	14.3	8.04																																																																														
11	3471.8	1950.0	10.0	14.3	5.81																																																																														
14	4082.9	2407.1	11.0	14.3	21.20																																																																														
21	4611.5	2812.5	11.5	14.3	41.20																																																																														
34	4056.4	2415.4	10.5	14.3	18.33																																																																														
Niðurstöður:																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kjarni nr.</th> <th>Rúmp. kg/m³</th> <th>Hæð / Þvermál</th> <th>Flatar- mál cm²</th> <th>Leiðrétti- stuðull</th> <th>Mælt brotþol MPa</th> <th>Leiðrétt brotþol MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>2409</td><td>0.98</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>7</td><td>2473</td><td>0.85</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr><td>2</td><td>2489</td><td>0.73</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>6</td><td>2439</td><td>0.65</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>3</td><td>2487</td><td>0.89</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>8</td><td>2434</td><td>0.82</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>11</td><td>2281</td><td>0.70</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>4</td><td>4</td></tr> <tr><td>14</td><td>2436</td><td>0.77</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>13</td><td>13</td></tr> <tr><td>21</td><td>2563</td><td>0.80</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>25</td><td>25</td></tr> <tr><td>34</td><td>2472</td><td>0.73</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>11</td><td>11</td></tr> </tbody> </table>							Kjarni nr.	Rúmp. kg/m ³	Hæð / Þvermál	Flatar- mál cm ²	Leiðrétti- stuðull	Mælt brotþol MPa	Leiðrétt brotþol MPa	1	2409	0.98	160.61	1.00	5	5	7	2473	0.85	160.61	1.00	7	7	2	2489	0.73	160.61	1.00	8	8	6	2439	0.65	160.61	1.00	5	5	3	2487	0.89	160.61	1.00	9	9	8	2434	0.82	160.61	1.00	5	5	11	2281	0.70	160.61	1.00	4	4	14	2436	0.77	160.61	1.00	13	13	21	2563	0.80	160.61	1.00	25	25	34	2472	0.73	160.61	1.00	11	11
Kjarni nr.	Rúmp. kg/m ³	Hæð / Þvermál	Flatar- mál cm ²	Leiðrétti- stuðull	Mælt brotþol MPa	Leiðrétt brotþol MPa																																																																													
1	2409	0.98	160.61	1.00	5	5																																																																													
7	2473	0.85	160.61	1.00	7	7																																																																													
2	2489	0.73	160.61	1.00	8	8																																																																													
6	2439	0.65	160.61	1.00	5	5																																																																													
3	2487	0.89	160.61	1.00	9	9																																																																													
8	2434	0.82	160.61	1.00	5	5																																																																													
11	2281	0.70	160.61	1.00	4	4																																																																													
14	2436	0.77	160.61	1.00	13	13																																																																													
21	2563	0.80	160.61	1.00	25	25																																																																													
34	2472	0.73	160.61	1.00	11	11																																																																													
<p><i>Ath.</i> Engin leiðrétting er gerð vegna h/d hlutfalls, að ósk verkbeiðanda. Hæðin er í öllum tilfellum minni en þvermál og því rétt að taka niðurstöðunum með ákveðnum fyrirvara. brotið 16/2/2011</p>																																																																																			

 Nýsköpunarmiðstöð Íslands	Rannsókn nr.	H11/29																																																																																	
	Dags.	16-Feb																																																																																	
	Framkv. af	AA																																																																																	
Þrýstipól borkjarna																																																																																			
Unnið fyrir: Vegagerðina	Mannvirki: Hringvegur																																																																																		
Vegna: Sementsfestukjarnar (2/2)	Sendandi:																																																																																		
Innlesin gögn:																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kjarni nr.</th> <th>Þyngd g</th> <th>Þyngd í vatni</th> <th>Hæð cm</th> <th>Þvermál cm</th> <th>Alag tonn</th> <th>Athugasemdir</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>36</td><td>5109.0</td><td>3080.0</td><td>12.9</td><td>14.3</td><td>22.40</td><td></td></tr> <tr><td>42</td><td>4538.4</td><td>2575.0</td><td>12.5</td><td>14.3</td><td>9.75</td><td></td></tr> <tr><td>43</td><td>4914.0</td><td>2980.1</td><td>12.3</td><td>14.3</td><td>29.80</td><td></td></tr> <tr><td>44</td><td>5123.4</td><td>3102.0</td><td>13.2</td><td>14.3</td><td>13.76</td><td></td></tr> <tr><td>45</td><td>4714.4</td><td>2792.2</td><td>12.4</td><td>14.3</td><td>13.03</td><td></td></tr> <tr><td>46</td><td>3879.8</td><td>2260.0</td><td>10.6</td><td>14.3</td><td>7.60</td><td></td></tr> <tr><td>48</td><td>4552.7</td><td>2725.4</td><td>11.8</td><td>14.3</td><td>30.50</td><td></td></tr> <tr><td>49</td><td>4565.2</td><td>2698.0</td><td>12.5</td><td>14.3</td><td>10.69</td><td></td></tr> <tr><td>50</td><td>5052.9</td><td>2976.0</td><td>13.3</td><td>14.3</td><td>20.50</td><td></td></tr> <tr><td>51</td><td>4698.4</td><td>2781.8</td><td>12.3</td><td>14.3</td><td>15.21</td><td></td></tr> </tbody> </table>							Kjarni nr.	Þyngd g	Þyngd í vatni	Hæð cm	Þvermál cm	Alag tonn	Athugasemdir	36	5109.0	3080.0	12.9	14.3	22.40		42	4538.4	2575.0	12.5	14.3	9.75		43	4914.0	2980.1	12.3	14.3	29.80		44	5123.4	3102.0	13.2	14.3	13.76		45	4714.4	2792.2	12.4	14.3	13.03		46	3879.8	2260.0	10.6	14.3	7.60		48	4552.7	2725.4	11.8	14.3	30.50		49	4565.2	2698.0	12.5	14.3	10.69		50	5052.9	2976.0	13.3	14.3	20.50		51	4698.4	2781.8	12.3	14.3	15.21	
Kjarni nr.	Þyngd g	Þyngd í vatni	Hæð cm	Þvermál cm	Alag tonn	Athugasemdir																																																																													
36	5109.0	3080.0	12.9	14.3	22.40																																																																														
42	4538.4	2575.0	12.5	14.3	9.75																																																																														
43	4914.0	2980.1	12.3	14.3	29.80																																																																														
44	5123.4	3102.0	13.2	14.3	13.76																																																																														
45	4714.4	2792.2	12.4	14.3	13.03																																																																														
46	3879.8	2260.0	10.6	14.3	7.60																																																																														
48	4552.7	2725.4	11.8	14.3	30.50																																																																														
49	4565.2	2698.0	12.5	14.3	10.69																																																																														
50	5052.9	2976.0	13.3	14.3	20.50																																																																														
51	4698.4	2781.8	12.3	14.3	15.21																																																																														
Niðurstöður:																																																																																			
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kjarni nr.</th> <th>Rúmþ. kg/m³</th> <th>Hæð / Þvermál</th> <th>Flatar-mál cm²</th> <th>Leiðrétti-stuðull</th> <th>Mælt brotþol MPa</th> <th>Leiðrétt brotþol MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>36</td><td>2518</td><td>0.90</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>14</td><td>14</td></tr> <tr><td>42</td><td>2312</td><td>0.87</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>6</td><td>6</td></tr> <tr><td>43</td><td>2541</td><td>0.86</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>18</td><td>18</td></tr> <tr><td>44</td><td>2535</td><td>0.92</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>45</td><td>2453</td><td>0.87</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>46</td><td>2395</td><td>0.74</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>48</td><td>2491</td><td>0.83</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>19</td><td>19</td></tr> <tr><td>49</td><td>2445</td><td>0.87</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr><td>50</td><td>2433</td><td>0.93</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>13</td><td>13</td></tr> <tr><td>51</td><td>2451</td><td>0.86</td><td>160.61</td><td>1.00</td><td>9</td><td>9</td></tr> </tbody> </table>						Kjarni nr.	Rúmþ. kg/m ³	Hæð / Þvermál	Flatar-mál cm ²	Leiðrétti-stuðull	Mælt brotþol MPa	Leiðrétt brotþol MPa	36	2518	0.90	160.61	1.00	14	14	42	2312	0.87	160.61	1.00	6	6	43	2541	0.86	160.61	1.00	18	18	44	2535	0.92	160.61	1.00	8	8	45	2453	0.87	160.61	1.00	8	8	46	2395	0.74	160.61	1.00	5	5	48	2491	0.83	160.61	1.00	19	19	49	2445	0.87	160.61	1.00	7	7	50	2433	0.93	160.61	1.00	13	13	51	2451	0.86	160.61	1.00	9	9	
Kjarni nr.	Rúmþ. kg/m ³	Hæð / Þvermál	Flatar-mál cm ²	Leiðrétti-stuðull	Mælt brotþol MPa	Leiðrétt brotþol MPa																																																																													
36	2518	0.90	160.61	1.00	14	14																																																																													
42	2312	0.87	160.61	1.00	6	6																																																																													
43	2541	0.86	160.61	1.00	18	18																																																																													
44	2535	0.92	160.61	1.00	8	8																																																																													
45	2453	0.87	160.61	1.00	8	8																																																																													
46	2395	0.74	160.61	1.00	5	5																																																																													
48	2491	0.83	160.61	1.00	19	19																																																																													
49	2445	0.87	160.61	1.00	7	7																																																																													
50	2433	0.93	160.61	1.00	13	13																																																																													
51	2451	0.86	160.61	1.00	9	9																																																																													
<p><i>Ath.</i> brotið 16/2/2011 Engin leiðrétting er gerð vegna h/d hlutfalls, að ósk verkbeiðanda. Hæðin er í öllum tilfellum minni en þvermál og því rétt að taka niðurstöðunum með ákveðnum fyrirvara.</p>																																																																																			

Fylgiskjal 3 - Rannsóknarniðurstöður frá 2011



**Nýsköpunarmiðstöð
Íslands**

**Keldnaholt, 112 Reykjavík, s: 522 9000
Kennit.: 580607-0710**

Rannsókn nr.: H11/344

Reykjavík: 24.10.2011

Nafn greiðanda: Vegagerðin

Kennitala: 500295-2879

Heimilisfang greiðanda: Borgarbraut 66, 310 Borgarnesi

Dags. beiðni: 24.10.2011

Nafn umbjóðanda: Guðmundur Ingi Waage

Bréf nr.:

Afrit:

Reikn. nr.:

Afrit:

Framkv. af: ÁÁ

Mannvirki: Hringvegur

Náma: Borkjarnar vegna sementsfestunar

Rannsókn: brotþol og rúmþyngd

Fjöldi sýna: 20

Merki: (*)

Upplýsingar frá sendanda:

(*)Kjarnarnir eru merktir vegi, stöð og vinstri eða hægri kantur, auk fjarlægðar frá kanti. 1h1_Laxfoss-Vestfjarðavegur. 1k8_Gljúfurá-Reykjabraut. 1m8_Siglufjarðarvegur-Miklibær. 1p3_Þverá-Hörgárdalsvegur. Sauðárkróksbraut 75-02_Hringvegur-Sæmundarhlíðarvegur.

Rannsóknin var gerð að beiðni Guðmundar I. Waage f.h. Vegagerðarinnar.

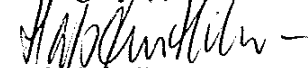
Sýnin voru aðsend.

Saga þurfti af öllum endum og styrkja þá með ásteypu fyrir mælingu brotþols.


Þess ber að geta, að ekki er notaður leiðréttingarstuðull vegna h/d hlutfalls við brotþolsmælingar á borkjörnum úr sementsfestum burðarlögum.

Niðurstöður koma fram á meðfylgjandi blöðum.

Virðingarfyllst,



Hafsteinn Hilmarsson
tæknifræðingur

 Nýsköpunarmiðstöð Íslands	Rannsókn nr.	H11-344																																																																													
	Dags.	22.nóv																																																																													
	Framkv. af	Ásgeir																																																																													
Prýstipól borkjarna																																																																															
Unnið fyrir: Vegagerðina	Mannvirki: Hringvegur																																																																														
Vegna: Sementsfestukjarnar	Sendandi:																																																																														
<i>Innlesin gögn:</i>																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kjarni nr.</th> <th>Þyngd g</th> <th>Þyngd í vatni</th> <th>Hæð cm</th> <th>Þvermál cm</th> <th>Álag tonn</th> <th>Athugasemdir</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>IH1 9868 vk 1,5</td><td>3336,6</td><td>1949,5</td><td>11,8</td><td>12,4</td><td>10,29</td><td></td></tr> <tr><td>IK8 10630 hk 3,0</td><td>3672,5</td><td>2136,3</td><td>13,2</td><td>12,4</td><td>8,20</td><td></td></tr> <tr><td>IK8 11325 vk 3,0</td><td>2774,5</td><td>1607,8</td><td>10,0</td><td>12,4</td><td>10,49</td><td></td></tr> <tr><td>IM8 1500 vk 3,0</td><td>3517,9</td><td>2037,7</td><td>12,5</td><td>12,4</td><td>9,17</td><td></td></tr> <tr><td>IM8 1810 hk 1,5</td><td>4342,1</td><td>2609,4</td><td>14,7</td><td>12,4</td><td>10,58</td><td></td></tr> <tr><td>IM8 2375 vk 1,5</td><td>3557,4</td><td>2113,4</td><td>12,2</td><td>12,4</td><td>18,69</td><td></td></tr> <tr><td>IM8 2185 hk 3,0</td><td>3720,0</td><td>2181,9</td><td>13,3</td><td>12,4</td><td>10,16</td><td></td></tr> <tr><td>IM8 3185 vk 1,5</td><td>3643,5</td><td>2160,8</td><td>12,7</td><td>12,4</td><td>12,96</td><td></td></tr> <tr><td>IM8 3585 hk 3,0</td><td>3435,1</td><td>2049,6</td><td>11,8</td><td>12,4</td><td>15,12</td><td></td></tr> <tr><td>IM8 3975 vk 1,5</td><td>2887,1</td><td>1734,2</td><td>10,0</td><td>12,4</td><td>13,11</td><td></td></tr> </tbody> </table>			Kjarni nr.	Þyngd g	Þyngd í vatni	Hæð cm	Þvermál cm	Álag tonn	Athugasemdir	IH1 9868 vk 1,5	3336,6	1949,5	11,8	12,4	10,29		IK8 10630 hk 3,0	3672,5	2136,3	13,2	12,4	8,20		IK8 11325 vk 3,0	2774,5	1607,8	10,0	12,4	10,49		IM8 1500 vk 3,0	3517,9	2037,7	12,5	12,4	9,17		IM8 1810 hk 1,5	4342,1	2609,4	14,7	12,4	10,58		IM8 2375 vk 1,5	3557,4	2113,4	12,2	12,4	18,69		IM8 2185 hk 3,0	3720,0	2181,9	13,3	12,4	10,16		IM8 3185 vk 1,5	3643,5	2160,8	12,7	12,4	12,96		IM8 3585 hk 3,0	3435,1	2049,6	11,8	12,4	15,12		IM8 3975 vk 1,5	2887,1	1734,2	10,0	12,4	13,11	
Kjarni nr.	Þyngd g	Þyngd í vatni	Hæð cm	Þvermál cm	Álag tonn	Athugasemdir																																																																									
IH1 9868 vk 1,5	3336,6	1949,5	11,8	12,4	10,29																																																																										
IK8 10630 hk 3,0	3672,5	2136,3	13,2	12,4	8,20																																																																										
IK8 11325 vk 3,0	2774,5	1607,8	10,0	12,4	10,49																																																																										
IM8 1500 vk 3,0	3517,9	2037,7	12,5	12,4	9,17																																																																										
IM8 1810 hk 1,5	4342,1	2609,4	14,7	12,4	10,58																																																																										
IM8 2375 vk 1,5	3557,4	2113,4	12,2	12,4	18,69																																																																										
IM8 2185 hk 3,0	3720,0	2181,9	13,3	12,4	10,16																																																																										
IM8 3185 vk 1,5	3643,5	2160,8	12,7	12,4	12,96																																																																										
IM8 3585 hk 3,0	3435,1	2049,6	11,8	12,4	15,12																																																																										
IM8 3975 vk 1,5	2887,1	1734,2	10,0	12,4	13,11																																																																										
<i>Niðurstöður:</i>																																																																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kjarni nr.</th> <th>Rúmp. kg/m³</th> <th>Hæð / Þvermál</th> <th>Flatar-mál cm²</th> <th>Leiðrétti-stuðull</th> <th>Mælt brotþol MPa</th> <th>Leiðrétt brotþol MPa</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>IH1 9868 vk 1,5</td><td>2405</td><td>0,96</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>IK8 10630 hk 3,0</td><td>2391</td><td>1,07</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>7</td><td>7</td></tr> <tr><td>IK8 11325 vk 3,0</td><td>2378</td><td>0,81</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>IM8 1500 vk 3,0</td><td>2377</td><td>1,01</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>IM8 1810 hk 1,5</td><td>2506</td><td>1,19</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>9</td><td>9</td></tr> <tr><td>IM8 2375 vk 1,5</td><td>2464</td><td>0,99</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>15</td><td>15</td></tr> <tr><td>IM8 2185 hk 3,0</td><td>2419</td><td>1,08</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>8</td><td>8</td></tr> <tr><td>IM8 3185 vk 1,5</td><td>2457</td><td>1,03</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>11</td><td>11</td></tr> <tr><td>IM8 3585 hk 3,0</td><td>2479</td><td>0,96</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>12</td><td>12</td></tr> <tr><td>IM8 3975 vk 1,5</td><td>2504</td><td>0,81</td><td>119,79</td><td>1,00</td><td>11</td><td>11</td></tr> </tbody> </table>			Kjarni nr.	Rúmp. kg/m ³	Hæð / Þvermál	Flatar-mál cm ²	Leiðrétti-stuðull	Mælt brotþol MPa	Leiðrétt brotþol MPa	IH1 9868 vk 1,5	2405	0,96	119,79	1,00	8	8	IK8 10630 hk 3,0	2391	1,07	119,79	1,00	7	7	IK8 11325 vk 3,0	2378	0,81	119,79	1,00	9	9	IM8 1500 vk 3,0	2377	1,01	119,79	1,00	8	8	IM8 1810 hk 1,5	2506	1,19	119,79	1,00	9	9	IM8 2375 vk 1,5	2464	0,99	119,79	1,00	15	15	IM8 2185 hk 3,0	2419	1,08	119,79	1,00	8	8	IM8 3185 vk 1,5	2457	1,03	119,79	1,00	11	11	IM8 3585 hk 3,0	2479	0,96	119,79	1,00	12	12	IM8 3975 vk 1,5	2504	0,81	119,79	1,00	11	11
Kjarni nr.	Rúmp. kg/m ³	Hæð / Þvermál	Flatar-mál cm ²	Leiðrétti-stuðull	Mælt brotþol MPa	Leiðrétt brotþol MPa																																																																									
IH1 9868 vk 1,5	2405	0,96	119,79	1,00	8	8																																																																									
IK8 10630 hk 3,0	2391	1,07	119,79	1,00	7	7																																																																									
IK8 11325 vk 3,0	2378	0,81	119,79	1,00	9	9																																																																									
IM8 1500 vk 3,0	2377	1,01	119,79	1,00	8	8																																																																									
IM8 1810 hk 1,5	2506	1,19	119,79	1,00	9	9																																																																									
IM8 2375 vk 1,5	2464	0,99	119,79	1,00	15	15																																																																									
IM8 2185 hk 3,0	2419	1,08	119,79	1,00	8	8																																																																									
IM8 3185 vk 1,5	2457	1,03	119,79	1,00	11	11																																																																									
IM8 3585 hk 3,0	2479	0,96	119,79	1,00	12	12																																																																									
IM8 3975 vk 1,5	2504	0,81	119,79	1,00	11	11																																																																									
<i>Ath.</i>																																																																															

	Nýsköpunarmiðstöð Íslands	Flanssókn nr.	H11-344
		Dags.	22.nóv
	Prýstíþol borkjarna	Framkv. af	Ásgeir
Unnið fyrir: Vegagerðina		Mannvirki: Hringvegur	
Vegna: Sementsfestukjarnar		Sendandi:	

Innlesin gögn:

Kjarni nr.	Þyngd g	Þyngd í vatni	Hæð cm	Þvermál cm	Álag tonn	Athugasemdir
IP3 8100 hk 1,5	2664,5	1586,9	9,3	12,4	19,62	
IP3 8500 vk 3,0	2938,5	1733,6	10,7	12,4	8,01	
IP3 8855 vk 1,5	3512,8	2075,3	12,3	12,4	13,37	
IP3 9448 vk 1,5	2532,7	1525,8	8,7	12,4	22,60	
IP3 9725 hk 3,0	2639,9	1561,0	9,5	12,4	12,97	
IP3 9935 vk 3,0	3498,9	2080,2	12,5	12,4	8,68	
75-02 12965 vk 3,0	2954,4	1721,6	11,1	12,4	10,43	
75-02 12965 hk 1,5	2294,0	1352,0	8,3	12,4	14,66	
75-02 13625 hk 1,5	2236,3	1313,4	8,3	12,4	7,71	
75-02 13625 vk 3,0	2623,3	1545,4	9,6	12,4	8,06	

Niðurstöður:

Kjarni nr.	Rúmp. kg/m ³	Hæð / Þvermál	Flatar- mál cm ²	Leiðrétti- stuðull	Mælt brotþol MPa	Leiðrétt brotþol MPa
IP3 8100 hk 1,5	2473	0,75	119,79	1,00	16	16
IP3 8500 vk 3,0	2439	0,87	119,79	1,00	7	7
IP3 8855 vk 1,5	2444	1,00	119,79	1,00	11	11
IP3 9448 vk 1,5	2515	0,70	119,79	1,00	18	18
IP3 9725 hk 3,0	2447	0,77	119,79	1,00	11	11
IP3 9935 vk 3,0	2466	1,01	119,79	1,00	7	7
75-02 12965 vk 3,0	2396	0,90	119,79	1,00	9	9
75-02 12965 hk 1,5	2435	0,67	119,79	1,00	12	12
75-02 13625 hk 1,5	2423	0,67	119,79	1,00	6	6
75-02 13625 vk 3,0	2434	0,78	119,79	1,00	7	7

Ath.

Fylgiskjal 4 - Lýsing á aðferðum reyndra manna í Noregi

Vi brukte en metode for å lage prøver ved pressing av prøvestykker til Marshall størrelse, metoden er beskrevet i Håndbok 014 metode 14.5531. Marshall stamping ble i noen tilfeller brukt. Så vidt jeg vet bruker Sør-Afrikanerne Mod.AASHTO komprimering for kalde materialer stabilisert med både cement og bitumen, altså med en innfallsvinkel som sementerte materialer tillaget for måling av unconfined compression strength i motsetning til vå asfalt-innfallsvinkel i Norge.

Min erfaring er kun med 100 mm borkjerner i en sammenheng som denne..RJ

Ferske kjerner er vanskelige å få opp, det er ganske normalt etter min erfaring. Materialet “cures” og binder seg etter en tid, og dermed får tilstrekkelig kohesjon til å bli med opp fra hullet. Svært materialavhengig mener jeg, jeg tror vi ventet en uke under relativt mye trafikk før vi forsøkte oss på boring, sannsynligvis trenger du lengre tid - en måned eller mer??

Min erfaring er med Indirect Tensile Strength (ITS) ved splitting av kjernen etter norsk praksis. Selve prøvingen er beskrevet i håndbok 014 metode 14.554. Bruke av resultatene er beskrevet i veiledning til håndbok 018, i håndbok nr 198:1997-Kalde bitumenstabiliserte bærelag. Der står det mye nyttig og er fortsatt “state of the art” i Norge fordi utviklingen av denne teknologien, etter mitt syn i alle fall, ikke gikk videre her i landet etter dette.

<http://www.vegvesen.no/Fag/Publikasjoner/Handboker>

Prøveresultatene blir gjort forståelige ved en enkel (FOR enkel?) omregning til E-moduler fra ITS-prøving. Kalde materialer med både bitumen og cement brukes en god del i Sør-Afrika og de satser så vidt jeg vet på Unconfined compression strength, altså med en innfallsvinkel som om man hadde med sementerte materialer å gjøre. Norsk praksis har en innfallsvinkel fra bituminøse materialer mht prøvemetoder og hvordan man ser på materialets oppførsel. Det er utfordrende å tolke prøveresultater for slike materialer da vanninnholdet og tidsaspektet fra produksjonstidspunktet spiller inn veldig sterkt. Proporsjoneringen i HB198 ender med en minimums bindemiddelinhold. Mange hadde i sin tid tro på at det fantes en optimal bitumentilsetning men dette bestrider i alle fall jeg etter å ha studert noen tusen prøveresultater. Sannsynligvis påvirker vanninnholdet prøveresultatene minst like mye med de metodene vi bruker her. En eller annen måte for å måle bestandighet/kohesjon ved soaking tror jeg er en måte for å avsløre om man har fått et stabilisert produkt med egenskaper slik man ønsker.

Selvsagt testet vi også densitet og sammensetning inkl ekstraksjon av bindemiddelet. Jeg har ganske mye erfaring med stabilisering av vulkanske materialer og det er et stadig problem at disse materialene er “absorbitive”. Dermed trekker bitumenet inn i partiklene under ekstraksjonstesten, altså i fasen når bindemiddelet er tynnet ut av løsemidlene, og bindemiddelet kommer ikke ut igjen i løpet av testen! Man får dermed et falskt inntrykk av at materialet inneholder mindre bitumen enn i virkeligheten. Etter meget grundig ekstraksjon kan man få ut ytterligere mengder bitumen ved f.eks. å knuse ned de ekstraherte partiklene, og dette kan være betydelige mengder. Jeg tror mere på å holde styring på bindemiddeltilsetningen på annet vis, ved for eksempel forbruk-/volumkontroll.

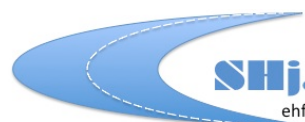
Det er videre en utfordring jeg har sett at ved in-situ stabilisering at du får du store variasjoner avhengig av variasjonene i fresedybden – og det er vanskelig å styre særlig der materialet inneholder varierende mengder stor stein. Jeg tror imidlertid den typen stabilisering du referer til innebærer såpass “magre” materialer (lite bitumen og med cement-tilsetning) at stabilitetsproblemer grunnet for mye bitumen ikke er tema. Da har du i alle fall ett problem mindre å streve med. Vi brukte opptil 4,6% tilstrebet bitumentilsetning i materialer med en del finstoff, men ellers god gradering, og måtte da være forsiktige ved in-situ stabilisering.

Verksblanding i enkle blandeverk fungerte imidlertid betydelig bedre og man fikk mye bedre styring på gradering og bindemiddeltilsetning.

Hvor finnes der tilgjengelige beskrivelser af prøvningsmetoder for in-situ stabilisering?

Jeg kan prøve å finne noe for deg. Det ble arbeidet mye med dette for noen år siden her i landet, men nå er de bestilte volum av denne materialtypen mye mindre og dermed kunnskapen om prøving etc likeså. Det ble imidlertid laget en del retningslinjer, som jeg kan finne fram og ta med til København neste uke, foruten Hb198 som du kan laste ned fra adressen over..

Bærelaget som man stabiliserer i er som regel 0/25 mm løs knust grus eller klippe.



10. Heimildir

Efnið í þessa skýrslu er sótt í reynslu og þekkingu nefndarmanna og í eftirfarandi skráðar heimildir .

Sementsfestun burðarlaga - Tilraunakafli í Langadal	BUSL skýrsla B-13
Sementsfestun 2010	Framkvæmdasýrsla eftirlits
Sementsfestun 2011	Framkvæmdasýrsla eftirlits
In-situ cementstabilisering af belægningar	Dansk vejtekniskrift Maj 2006
Laboratorieundersøkelser	Statens vegvesen - Håndbok nr. 014
Feltundersøkelser	Statens vegvesen - Håndbok nr. 015
Vegbygging	Statens vegvesen - Håndbok nr. 018
Cementbundna lager	ATB VÄG 2005

Athugasemdir í bréfi frá Noregi og frá Ásbjörn Jóhannessyni á NMÍ og annað sem of langt er upp að telja.