



Skýrsla nr. 05-02

Prófun á óbundnum efnum í gyrobjöppu

Arnpór Óli Arason

Unnið fyrir:

Rannsókn- og þróunarsjóð Vegagerðarinnar

Keldnaholti, febrúar 2005



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

Keldnaholti, IS-112 Reykjavík, sími 570 7300, fax 570 7311

SKÝRSLA

Skýrsla nr: 05-02
Dreifing Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð <input type="checkbox"/>

Rb/SfB YP (J)
UDC 624.131.438

Heiti skýrslu: Prófun á óbundum efnum í gyroþjöppu	Dags: Febrúar 2005
	Fjöldi síðna: 12+10
Höfundur: Arnþór Óli Arason	Faglega ábyrgur: AÓA/PP
Deild: Vegtæknideild	Rannsóknúmer: V-0407
Unnið fyrir: Rannsókn- og þróunarsvið Vegagerðarinnar.	
Útdráttur: <p>Verkefnið sem lýst er í þessari skýrslu fólst í samanburðarmælingum á ákvörðun hentugasta þjöppunarraka burðarlagsefna með gyroþjöppun og proctorþjöppun. Athugað var hvort sambærileg gildi fengust með aðferðunum. Prófuð voru tíu steinefni víðsvegar að af landinu við mismunandi rakastig.</p> <p>Þjöppunareiginleikar lausra jarðefna eru oft prófaðir með proctor aðferð þar sem efninu er pakkað með fallhamri. Sú aðferð hefur ýmsa kosti en þykir ekki henta vel í fínefnasnaudu og samloðunarlausu jarðefni eins og notuð eru í burðarlög.</p> <p>Í gyropressu byggist þjöppun á þrýstingi á sýnið og snúningi móts sem hallar lítið eitt. Einn af kostum gyroþjöppunar er að fylgst er með þjöppunarferlinu í tíma en ekki aðeins við fast álag. Að auki gefur gyroþjöppunin upplýsingar um bæði skerstyrk og rúmþyngd.</p> <p>Lögun þjöppunarferla var svipuð með þjöppun í báðum aðferðunum og þar sem einkum voru prófuð burðarlagsefni kom sjaldnast fram áberandi rakahámark þjöppunar. Úr gögnum gyroþjöppunnar má skoða þjöppunarferla við mismikið álag.</p>	

3 lykilorð: Á íslensku

Á ensku

Óbundin efni	Unbound material
Gyroþjöppun	Gyratory compaction
Proctorþjöppun	Proctor compaction

Efnisyfirlit

1. Inngangur.....	2
2. Steinefni.....	2
3. Aðferð.....	3
3.1 Almenn.....	3
3.2 Tilraunir með stillingar.....	4
3.3 Rakamælingar.....	5
3.4 Proctorpróf.....	6
4. Mælingar.....	6
4.1 Almenn.....	6
4.2 Þurr rúmpýngd.....	6
4.3 Skerspenna.....	8
4.4 Punktur um hvert efni.....	10
5. Niðurbrot steinefna.....	12
6. Niðurstöður.....	12
Tilvísanir og athugasemdir.....	13

1. Inngangur

Markmið og tilgangur

Árið 2003 var sett upp ICT 150RB gyrotoryþjappa á R.b. Þjöppunin í tækinu byggist á þrýstingi á sýnið og snúningi móts sem hallar lítið eitt. Þjöpparaðferðin var þróuð í Bandaríkjunum vegna malbiksprófana, en er einnig talin henta vel til þjöppunar á lausum jarðefnum. Verkefnið sem lýst er í þessari skýrslu fólst í samanburðarmælingum á ákvörðun hentugasta þjöppunarraka burðarlagsefna með gyroþjöppun og proctorþjöppun. Athugað var hvort sambærileg gildi fengust með aðferðunum hvað varðar hentugasta þjöppunarraka.

Markmið verkefnisins var að athuga hvort gyroþjöppun á óbundnum efnum henti betur til mælinga á optimal þjöppunarrakastigi burðarlagsefna en hefðbundin proctor aðferð. Einn af kostum gyroþjöppunar er að fylgst er með þjöppunarferlinu í tíma en ekki aðeins við fast álag. Að auki gefur gyroþjöppunin upplýsingar um bæði skerstyrk og rúmþyngd.

Verkefnisstjóri var Pétur Pétursson á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins.

Forsaga

Nokkrar aðferðir eru notaðar til þess að prófa þjöppunareiginleika lausra jarðefna. Algengust þeirra mun vera proctorpróf, standard eða modified. Prófið er framkvæmt þannig að efninu er þjappað í mót með fallhamri og er hverju efni pakkað við nokkur mismunandi rakastig. Þegar reiknuð þurr rúmþyngd er teiknuð á móti raka á línuriti, fæst yfirlitt ferill með greinilegu hámarki við ákveðið rakastig í fínafnaríku samloðandi jarðefni. Hentar prófið því vel á þannig efni til þess að velja heppilegan þjöppunarraka. Í fínafnasnaudu og samloðunarlausu jarðefni sést þetta hámark oft ekki. Það stafar að hluta til af eiginleikum efnanna, en að hluta til af því að þjöppun með fallhamri hentar þeim ekki. Í sumum tilfellum, sérstaklega ef efnið er fínafnasnautt, nýtist þjöppunarorkan ekki, en fer í að hræra í háflausu efninu.

Staðlaðar gyroþjöppur voru þróaðar fyrir nokkrum árum í SHRP malbiksverkefnum Bandaríkjamanna, en eiga sér lengri forsögu. Hefur notkun þeirra nokkuð verið könnuð með þjöppunarpróf á lausum jarðefnum í huga. Gyroþjöppun er talin líkja betur eftir þjöppun undan völtum á fyllingum en þjöppun með fallhamri. Einu stóru rannsóknaverkefni í Flórída er lýst í skýrslum eftir Ping o.fl.^{1 2} Í þessum skýrslum er einnig greinargott sögulegt yfirlit.

Stillingar á gyroþjöppu sem voru valdar eftir margar tilraunir í áðurnefndu verkefni í Flórída voru: tækisþrýstingur 200 kPa, hallahorn móts 1,25°, þjöppun 90 umferðir við 20 snúninga á mínútu. Hallahornið er það sama og er notað í malbiki í Bandaríkjunum og er meira en notað er í Evrópu. Hornið hafði nokkur áhrif á þjöppunina, en aðeins tvær stillingar voru prófaðar. Snúningshraði er minni en í malbiki þar sem 30 snúningar á mínútu eru notaðir. Þessar stillingar voru taldar endurspeglar aðstæður á vettvangi nokkuð vel en frekari rannsóknar var þó talin þörf.

2. Steinefni

Ákveðið var að gera próf á efnum úr tíu námum. Hentugt þótti að nýta steinefni úr öðrum verkefnum til prófananna en með því mátti spara tíma við að útvega sýni og

nýta vinnu sem áður hafði verið unnin. Það auðveldar líka samanburð á aðferðum í báðar áttir.

Í steinefnabanka BUSL samstarfsins eru steinefni sem hafa verið notuð í burðarlög vegna. Til voru proctormælingar á flestum efnum bankans úr verkefni um samanburð á þríasaprófum og CBR-prófum sem Sigurður Erlingsson og Brynhildur Magnúsdóttir hjá HÍ hafa unnið að.³ Þær mælingar voru allar gerðar í 152 mm móti og eru því sambærilegar við mælingar í stærri gerð móta gyrotory-þjöppuna. Fimm efni úr steinefnabankanum voru prófuð í gyroþjöppunni.

Efni steinefnabankans eru fínefnasnaud og voru þrjú fínefnaríkari efni valin til að auka fjölbreytnina og eitt að auki. Efnin fjögur voru þjöppuð í gyroþjöppu og einnig í proctor prófi.

Síðar var ákveðið að bæta við einu efni frá Eldhestum í Ölfusi, þar sem þjónustu-prófanir á því höfðu leitt í ljós að þjöppunareiginleikar efnisins voru nokkuð sérstakir. Á því efni hafði áður verið gert proctorpróf.

<i>Tafla 2-1</i>						
Yfirlit prófaðra efna						
Nr.	Náma	Námunr. Vg	Uppruni	Stærstu steinar, mm	Sigtað frá, %	Fínefni <0,063mm
1	Björgun	400-0102	Stbanki	20	4	5,9
2	Broddadalsá	668-0703	Fínefni	20	4	4,2
3	Eldhestar		Þjónustur.	20	19	4,9
4	Glerá	560-0707	Stbanki	20	(-)	3,7
5	Haukadalsá	586-0101	Stbanki	22,4	0	4,5
6	Hestfjarðarkot	661-1302	Fínefni	20	0	9,6
7	Hraunaós	776-0904	Stbanki	20	11	4,5
8	Lárkot	557-1209	Stbanki	20	(-)	4,3
9	Seljadalsvatn	660-1602	Fínefni	20	0	14,4
10	Víkurhólar	883-0202	Fínefni	20	3	12,0

Áhugavert þótti að athuga hversu mikið niðurbrot yrði við prófun í gyroþjöppunni. Kornastærðardreifing allra sýna var mæld fyrir próf og af átta þeirra var hún mæld eftir þjöppun.

3. Aðferð

3.1 Almennt

Sýnin voru prófuð í ICT RB150 gyroþjöppu Rannsóknastofnunar byggingariðnaðarins. Þetta voru fyrstu prófanir á óbundum efnum í pressunni og var því ekki talið rétt að gera tilraunir með þjöppunarferlið á þessu stigi en halda sömu stillingum og notaðar eru við þjöppun malbiks. Þær eru samkvæmt leiðbeiningum framleiðanda þjöppunnar og uppkasti að Evrópustaðli.⁴ Þrýstingur á sýni var 600 kPa, halli móts 16 mrad eða 0,9° og hraði 30 snúningar á mínútu. Þjappan var látin snúast allt að 200 snúninga, en stundum var hætt fyrr, oftast vegna þess að mettilínu var náð. Tölva tengd þjöppunni skráir gefin gildi og mælir stöðugt hæð og birtir með vissu millibili, þétt í upphafi en sjaldar eftir því sem snúningum fjölgar. Hún sýnir einnig skerspennu og reiknar rúmþyngd út frá hæð og gefnum efnismassa.

Af hverju sýni voru mældir a.m.k. fjórir punktar við mismunandi rakastig. Hliðsjón var höfð af proctorprófunum við val á rakastigi. Sýnin voru þjöppuð í stærri mótum þjöppunnar, en þau eru 150 mm í þvermál. Proctormótin hafa svipað þvermál, eða 152 mm, og er rúmmál þeirra um 2124 cm³ og hæð þeirra því um 116 mm. Í fyrstu tveimur efnunum sem voru þjöppuð í gyroþjöppunni var stefnt að sýnum af svipaðri stærð. Miðað var við 100 mm há sýni og var rúmmál því um 1767 cm³. Við þjöppun annarra sýna var lokahæð sýna áætluð 150 mm og rúmmál þeirra varð því um 2651 cm³. Hlutfall hæðar og þvermál er þá 1:1 og þótti ráðlegt að hafa sýnin frekar stærri en minni. Á móti kom að efnisþörf varð nokkuð mikil, eða um 5,3-6,3 kg fyrir hvern mælipunkt.

Þyngd sýna var reiknuð út frá þurri rúmþyngd úr proctorprófi og mismunandi raka til þess að þjappað sýni næði áætlaðri hæð. Í prófið var notaður sá hluti efnisins sem var undir 20 mm í níu sýnum og undir 22,4 mm í einu. Sýnum var skipt í sýnadeili (splittara). Áætluðu rakastigi var náð með því að bæta við vatni, eða með því að bregða sýni stutta stund í ofn. Sýnin voru þá sett í lokaðar plastfötur og efnið látið jafna sig yfir nótt eða lengur fyrir próf.

3.2 Tilraunir með stillingar

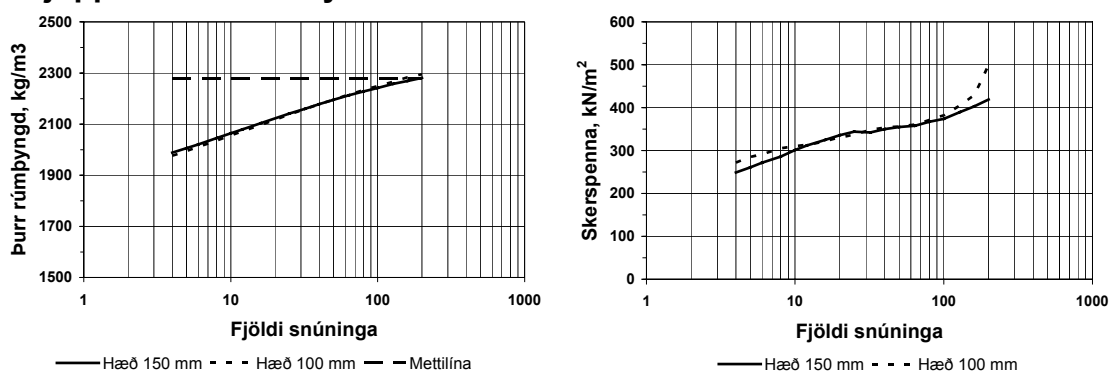
Í þessu verkefni var lögð áhersla á að prófa mörg efni með sama þjöppunarálagi, en áhrif mismunandi stillinga á pressu látnar liggja á milli hluta að að mestu. Þó voru gerðar þrjár litlar tilraunir með vik frá venjulegum stillingum. Hver þeirra var aðeins gerð á einu efni við ákveðið rakastig og má því ekki draga of almennar ályktanir af niðurstöðunum

Sýnahæð

Efni úr Björgun og Haukadalsá voru þjöppuð í um 100 mm há sýni en en önnur efni í um 150 mm. Til þess að kanna áhrif stækkunar sýnanna var hlutasýni úr Lárkoti prófað bæði um 100 og 150 mm hátt við liðlega 9% raka. Í því sýni mældist enginn munur á þjöppun eða +/-1% af þurri rúmþyngd, sjá mynd 3.2-1, vinstri. Skerspenna mælist hærri í lægra sýninu í upphafi og við lok prófs, en annars var spennuferillinn svipaður, sjá mynd 3.2-1 hægri.

Mynd 3.2-1

Þjöppun mishárra sýna. – Lárkot



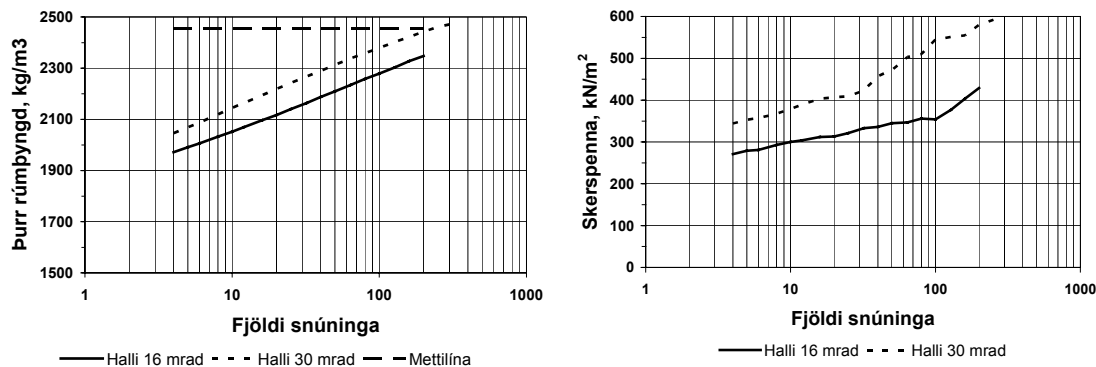
Halli móts

Á einu sýni var prófað að breyta halla móts í pressu og hann aukinn úr 16 mrad í 30 eða úr 0,9° í 1,7°. Efnið var frá Björgun og var rakinn 6,6% og sýnið um 100 mm hátt.

Í þessari tilraun varð þurr rúmþyngd 4% hærrí við aukið hallahorn á öllum þjöppunarferlinum, sjá mynd 3.2-2, vinstri. Skerspenna mælist einnig hærrí eins og við var að búast með stærra horni, sjá mynd 3.2-2, hægri. – Í öllum öðrum sýnum var hætt eftir 200 snúninga eða fyrr. Í þessu sýni var þjöppun haldið áfram og var rúmþyngd enn hækkanði þegar hætt var eftir 309 snúninga. Rúmþyngd var komin að mettilínu í sýninu eftir 200 snúninga þannig að eftir það hefur vatn pressast úr því.

Mynd 3.2-2

Þjöppun við mismunandi hallahorn – Björgun

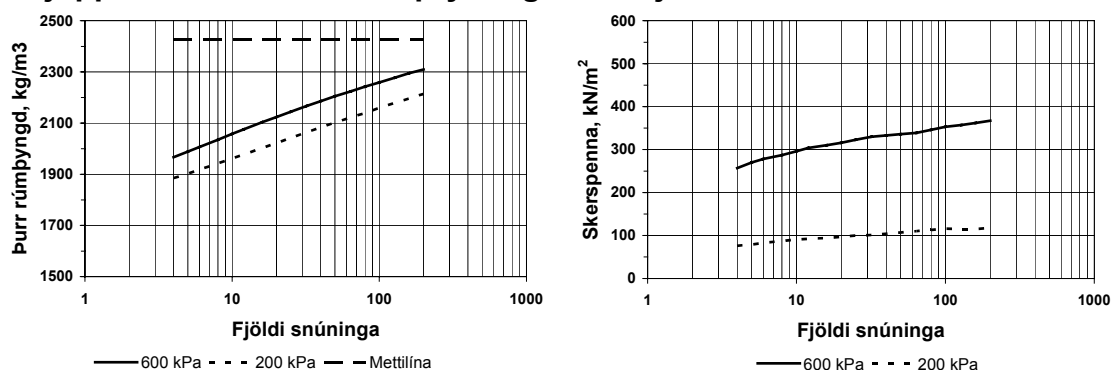


Þrýstingur

Þrýstingsálag á sýnum var haft það sama og við malbikspróf, þ.e.a.s. 600 kPa, eins og áður segir. Ætla má að minna álag þurfi til að hnoða óbundið steinefni en bikbundið. Var því gerður samanburður á einu efni með þjöppun við 200 og 600 kPa. Efnið var úr Hestfjarðarkoti og var rakinn hafður 8,1% og hæð sýnis um 150 mm. Í því efni varð þurr rúmþyngd við 200 kPa 95-96% af þeirri mældri við 600 kPa í öllum mæligildum frá 4 til 200 snúninga, sjá mynd 3.2-3, vinstri. Skerspenna mældist að sjálfsögðu lægri við minni þrýsting, sjá mynd 3.2-3, hægri.

Mynd 3.2-3

Þjöppun við mismunandi þrýsting – Hestfjarðarkot



3.3 Rakamælingar

Flest prófuð efni voru finefnasnaud og malarkennd. Þau gátu því illa bundið mikinn raka. Við mælingar á blautustu sýnunum í gyroþjöppu lak vatn úr mótunum þegar snúningum fjölgaði og samþjöppun jókst. Tölvuforrit gyroþjöppunnar sýnir á hverjum tíma rúmþyngd sem er reiknuð út frá gefinni þyngd efnisins í mótinu og hæð sýnis. Þessi raka rúmþyngd verður röng ef vatn tapast úr sýninu. Það var því nauðsynlegt að

mæla raka fyrir og eftir próf til þess að geta reiknað út rétta þurra rúmþyngd. Rakt sýni var vigtað þegar það var sett í mótið og aftur þegar það var tekið úr því. Allt sýnið var síðan ofnþurrkað. Fékkst þannig rakastig sýnis í upphafi, við lok prófs og þungi þurrs sýnis. Rakastig við ákveðinn fjölda snúninga á próftíma var reiknað frá muninum á upphafs- og lokaraka. Vegna lögunar þjöppunarferils var breytingin höfð logaríþmisk þannig að rakastig var t.d. látið lækka jafn mikið á milli 32 og 64 snúninga og 64 og 128. Þurr rúmþyngd á hverjum tíma var reiknuð frá mældri hæð og massa þurra sýnisins. Munur á raka í upphafi og í lok prófs var lítill sem enginn eða 0,1% eða minna í 22 af 42 mældum punktum og innan við hálf prósent í 35 punktum. Mest lækkaði raki um 2,4% í blautasta sýninu frá Seljadalsvatni. Þessi aðferð var notuð við öll sýni nema það sem var prófað fyrst, Haukadalsá, þar sem raki var reiknaður fyrirfram en ekki mældur eftir á.

3.4 Proctorpróf

Gerð voru proctorpróf á fjórum eignum sérstaklega í þessu verkefni. Þau efni voru frá Broddadalsá, Hestfjarðarkoti, Seljadalsvatni og Ystu-Víkurhólum og höfðu borist R.b. vegna verkefnis um samanburð á fínefnamælingum. Undirbúningur var eins og í sýnum sem þjöppuð voru í gyroþjöppunni. Steinar yfir 20 mm voru sigtaðir frá, en venjulega eru stærstu steinar í proctorprófum 19 mm og svo var í öðrum proctorprófum sem vitnað er til í verkefninu. Hvert sýni var prófað við fjögur eða fimm mismunandi rakastig.

Öll proctor sýni í verkefninu voru þjöppuð í mótum sem eru 152 mm í þvermál við „standard“ álag. Það þýðir að 2,49 kg hamar er látin falla 305 mm 56 sinnum á hvert þriggja laga í 2124 cm³ móti.

4. Mælingar

4.1 Almennt

Niðurstöður prófana á einstökum eignum eru sýndar á línuritum í Viðauka I. Gerð er grein fyrir hverju efni á einni síðu í fimm línuritum. Efst á blaðinu eru nokkrar upplýsingar um prófið og efnið. Á stóru línuriti er sýnt hvernig þurr rúmþyngd breytist með raka og snúningum pressu. Þar eru einnig sýndir punktar úr standard proctorprófi til samanburðar. Til viðmiðunar um þjöppun á þessu línuritum eru dregnir ferlar sem sýna þurra rúmþyngd við mettilínu eða 0% loft og að auki ferlar fyrir 10 og 20% loft. Sams konar línurit um skerspennu er neðst til hægri. Vinstra megin á miðju blaðinu er línurit sem sýnir hvernig þurr rúmþyngd hvers hlutasýnis eykst með fjölda snúninga og hægra megin hvernig skerspenna breytist með fjölda snúninga. Neðst til vinstri á blaðinu er sáldurferill sýndur. Á honum er sýnd kornadreifing sýnis fyrir og eftir þjöppun.

4.2 Þurr rúmþyngd

Þurr rúmþyngd hvers hlutasýnis eykst smám saman með fjölda snúninga. Línurit sem sýnir það er vinstra megin á miðju hvers blaðs í Viðauka I. Rúmþyngd eykst hægar eftir því snúningum fjölga og er þurr rúmþyngd við 200 snúninga um 3% hærri en við 64 og um 1% hærri en við 128 snúninga. Í töflu 4.2-1 er sýnd meðalaukning þurrar rúmþyngdar allra sýna sem prósent af þeirri sem mæld var eftir átta snúninga.

Tafla 4.2-1
Þurr rúmþyngd, aukning frá 8 snún.

Snúningar	% Rþþ
8	100
16	103
32	106
64	109
128	111
200	112

Línuritið sem sýnir hvernig þurr rúmþyngd breytist með raka og fjölda snúninga (stóra myndin á hverju blaði í Viðauka I) gefur beinan samanburð við proctor mælingar. Þurr rúmþyngd proctorsýna samsvarar yfirleitt þeirri sem næst í gyroþjöppu eftir 8-32 snúninga. Oft eru proctorpunktar samsíða línunum við ákveðinn fjölda snúninga, en þurr rúmþyngd proctor hækkar stundum hraðar með auknum raka. Má sjá það í efnum frá Hestfjarðarkoti, Lárkoti og Seljadalsvatni.

Prófuð efni voru flest fínefnasnaud og samloðunarlaus og var því vart við að búast að næðust þjöppunarferlar með áberandi rakahámarki (optimum raka). Glöggst má sjá hámörk í efnum frá Björgun, Haukadalsá og Hraunaósi. Einnig sjást hámörk í efnum frá Eldhestum og Ystu-Víkurhólum, en þau eru reyndar alveg við mettilínu. Annars fer þurr rúmþyngd hækkandi með auknum raka. Í töflu 4.2-2 eru gefin rakahámörk úr gyroþjöppu eftir 16 og 64 snúninga og proctorprófum og er þess getið ef nefnt rakahámark hefur náðst við rakasta mælda hlutasýni. Þessar tölur eru sýndar á súluritum á mynd 4.2-1. Á mynd 4.2-2 eru sýnd tengsl rakahámarka með aðferðunum tveimur og eru niðurstöður proctorpófa á lárétta ásnum en úr gyroþjöppu eftir 16 og 64 snúninga á lóðrétta ásnum. Á vinstra línuritinu eru rakahámörkin, en á því hægra þurr rúmþyngd við rakahámörk. Fylgni virðist góð en eins og áður hefur verið bent á eru hámörk ekki skýr.

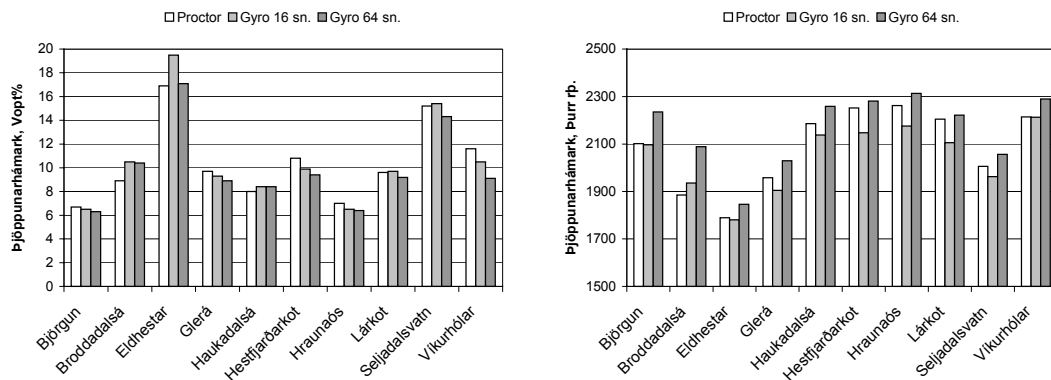
Tafla 4.2-2
Hámarksþjöppun sem þurr rúmþyngd, kg/m³ og raki, V_{opt}

Náma	St. proctor			Gyro 16 sn			Gyro 64 sn		
	Vopt	Rþþ	Aths.	Vopt	Rþþ	Aths.	Vopt	Rþþ	Aths.
Björgun	6,7	2102	r	6,5	2097	i	6,3	2235	i
Broddadalsá	8,9	1885	i	10,5	1936	r	10,4	2089	r
Eldhestar	16,9	1789	i	19,5	1781	r	17,1	1846	i
Glerá	9,7	1958	r	9,3	1905	r	8,8	2030	r
Haukadalsá	8,0	2186	i	8,4	2138	i	8,4	2259	i
Hestfjarðarkot	10,8	2252	r	9,9	2147	r	9,4	2281	r
Hraunaós	7,0	2262	i	6,5	2176	i	6,4	2313	i
Lárkot	9,6	2205	r	9,7	2106	r	9,2	2222	r
Seljadalsvatn	15,2	2006	i	15,4	1963	r	14,3	2057	r
Víkurhólar	11,6	2214	r	10,5	2213	r	9,1	2290	i

Aths.: r=optimum við rakasta mælipunkt. i= optimum í innpunkti

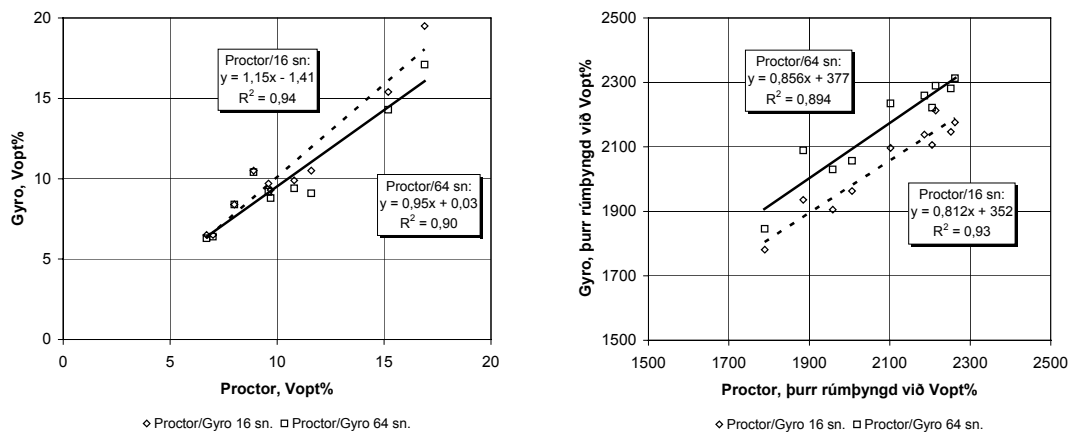
Mynd 4.2-1

Þjöppunarhámark í gyroþjöppu og proctor



Mynd 4.2-2

Tengsl þjöppunarhámarka í gyroþjöppu og proctor



4.3 Skerspenna

Skerspenna hvers hlutasýnis eykst yfirleitt smám saman eftir því sem snúningum gyroþjöppu fjölgar. (Hægra línurit á miðju hverju blaði í Viðauka I). Í sumum rökustu sýnunum sést að skerspennan fellur þegar umferðum fjölgar. Í sýnum frá Eldhestum og Seljadalsvatni hækkar skerspennan aftur, sennilega vegna þess að vatn pressast úr mótinu, poruþrýstingur lækkar og snertiflötum korna fjölgar aftur. Í báðum þessum hlutasýnum var þurr rúmþyngd við mettilínu. Skerspennan í rakasta hlutasýninu úr Ystu-Víkurhólum fellur mikið eftir 30 snúninga og hækkar ekki aftur. Þótt finefni væri álíka mikið í efninu frá Ystu-Víkurhólum og frá Seljadalsvatni, batt efnið í því fyrrnefnda vatnið mun betur, en raki lækkaði aðeins um 0,5% við þjöppunina.

Mótin í gyroþjöppunni eru þannig að botnstykki og þunn stálplata sitja á brún neðst í því. Bil milli platnanna og mótsins er þröngt og getur því byggst upp vatnsþrýstingur þegar þjöppun er hröð. Tengsl skerspennu og raka eru sýnd á hægra línuritinu neðst á hverju blaði í Viðauka I.

Samanburður milli sýna er e.t.v. gleggri þegar miðað er við prósentur lofts í sýnum frekar en rakastig. Á myndunum hér fyrir neðan (4.3-1) er sýnt samband skerspennu

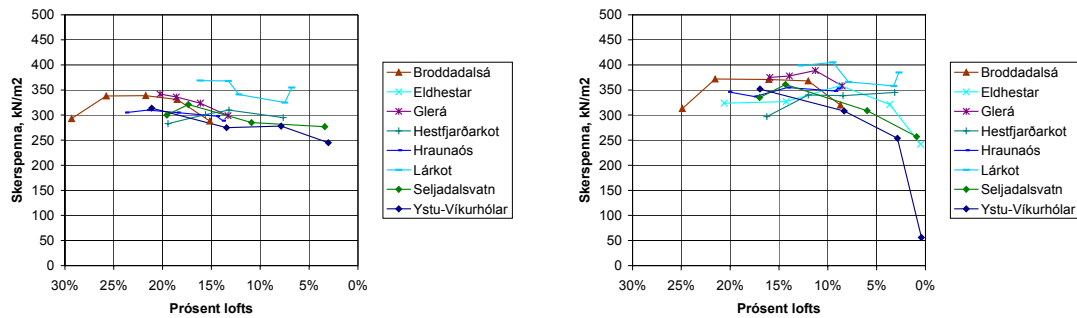
og hluta lofts í þeim sýnum sem voru þjöppuð um 150 mm há. Vinstri myndin sýnir gildin eftir 16 snúninga og fer skerspenna almennt lækkandi með minna lofti. Á hægri myndinni eru sýnd gildin eftir meiri þjöppun, eða 64 snúninga. Þar eru spennumælingarnar óreglulegri og skerspenna í einstökum sýnum lækkar mishratt þegar þjöppun nálgast mettilínu.

Mynd 4.3-1

Tengsl skerspennu og lofts í gyroþjöppu

Eftir 16 snúninga

Eftir 64 snúninga



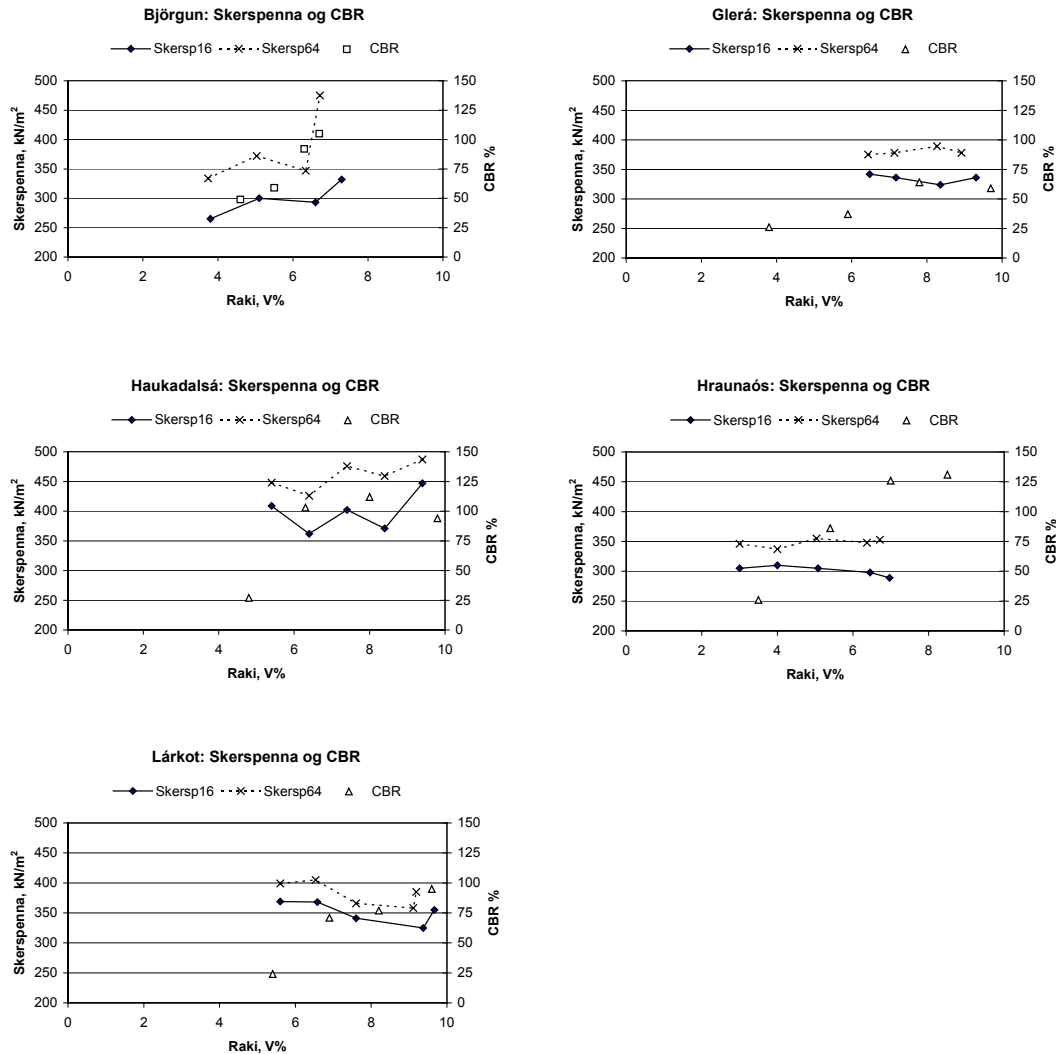
Skerspenna og CBR

Efni úr steinefnabankanum höfðu verið þjöppuð með standard-proctorálagi vegna CBR prófa í tengslum við annað verkefni eins og áður var nefnt. Í CBR prófi er staut þrýst niður í þjappað og mettað jarðefnið með staðlaðri aðferð og niðurstöður gefnar sem hundraðstala af mælingum á staðalefni. Fimm sýni úr steinefnabankanum voru prófuð í þessu verkefni og var mæld skerspenna úr gyroþjöppu eftir 16 og 64 snúninga borin saman við CBR gildi. (Mynd 4.3-2). Ekki er að sjá samsvörun á milli aðferðanna í þessum fáu mælingum. Mælingar úr gyroþjöppu voru heldur ekki allar sambærilegar því að tvö sýnanna voru um 100 mm há en hin um 150 mm.

Það er líklega ekki við því að búast að skerspenna breytist mikið í efnun með lítið finefni þótt rakastig breytist. CBR breytist mikið sem líklega táknar að rakastigið auðveldi lóðréttu þjöppun miklu meira en hnoðandi þjöppun.

Mynd 4.3-2

Skerspenna í gyroþjöppu og CBR við proctorþjöppun



Sýni frá Björgun og Haukadalsá voru um 100 mm há, önnur um 150 mm há.

4.4 Punktur um hvert efni

Hér verður fjallað stuttlega um prófanir á einstökum efnum og eru línuritir í Viðauka I höfð til hliðsjónar.

Björgun: Proctorrúmþyngd er lítið eitt hærri en sú sem næst eftir 16 snúninga í gyroþjöppu og eru ferlarnir nokkuð samsíða. – Sýnin voru þjöppuð um 100 mm há og verður skerspenna því meiri þegar snúningum fjölga en í hærri sýnum. Á línuritunum tveimur hægra megin á blaðinu í Viðauka I sést að skerspennan eykst hratt með fjölda snúninga, en tengsl raka og skerspennu eru ekki skýr.

Broddadalsá: Proctorhámark er hér við 8,9% raka, en þurr rúmþyngd í gyroþjöppu var enn hækkandi við 10,5%. – Í þessu efni er greinilegt skerspennuhámark og er skerspennan hæst við um 8% raka, en lægri bæði við meiri og minni. Efnið brotnar mikið niður við þjöppun.

Eldhestar: Efnið var sendið að sjá og með mikinn nátturulegan raka. Rakastig við þjöppun var á mjög breiðu bili eða frá 10,4-19,8%. Efnið brotnar mikið niður og tekur illa þjöppun. – Skerspenna í rakasta sýninu, sem var við mettilínu, féll nokkuð um tíma en hækkaði aftur þegar vatn lak úr móti.

Glerá: Þjöppunarferlar eru mjög flatir. Proctorpunktar fylgja vel þjöppunarlínu eftir 32 snúninga í gyroþjöppu, en í flestum sýnum er proctorrúmþyngd lægri. Skerspenna lækkar með auknum raka.

Haukadalsá: Þetta var fyrsta sýnið sem var þjappað og er raki hlutasýnanna reiknaður frá grunnsýni. – Línur raka og skerspennu eru hlykkjóttar og eru tengslin óljós (línurit neðst til hægri). Þau voru það einnig í Björgunarefninu, hinu sýninu sem var þjappað í sömu hæð eða um 100 mm en ekki 150 mm.

Hestfjarðarkot: Tveir þurrari punktar proctorþjöppunar eru með svipaða þurra rúmþyngd og fæst eftir 16 snúninga í gyroþjöppu. Rakari punktarnir tveir ná meiri rúmþyngd eða sem svarar um 32 snúningum í gyroþjöppu. Áferð efnisins við lægri rakastigin var svipuð þ.e. efnið var rakt en sundurlaust. Þriðja sýnið var blautt, og það fjórða drullukennt. Efnið var það þriðja fínefnarikasta af þeim sem prófuð voru en hlutinn undir 63 µm var 9,6%. Það vottar fyrir skerspennuhámarki á línuriti.

Hraunaós: Þurr rúmþyngd í proctorprófi fylgir nokkuð vel þeirri sem fæst eftir 32 snúninga í gyroþjöppu eins og í efninu úr Glerá. – Ferlar skerspennu eru sérstakir að því leyti að þeir fara lækkandi með auknum raka eftir 8, 16 og 32 snúninga í þjöppu, en hækkandi eftir 128 og 200. Það á við tiltölulega þurra punkta þar sem ekkert vatn tapast við þjöppun, auk þeirra rökustu þar sem eðlilegt er að skerspenna breytist þegar vatn losnar úr móti.

Lárkot: Rúmþyngdarferlar gyroþjöppunar eru flatir og ekki alveg reglulegir því að slakki kemur við 7,6% raka. Ekki sjást skýringar á þessu í gögnum. Sýnið með þessum raka var 8-12 mm hærra en hin að jafnaði. Það hefur varla breytt neinu ef hliðsjón er höfð af samanburðarmælingum á 100 og 150 mm sýni sem einmitt var gerð á þessu efni. Munur hæstu og lægstu rúmþyngdar er lítill eða á bilinu 1 til 3%, hækkandi með meiri þjöppun og samsvarar þessi munur um 2-5 mm hæð í móti.

Seljadalsvatn: Þetta var fínefnarikasta efnið af þeim sem voru prófuð, með 14% undir 63µm. Kornadreifingin og efnið sjálf var þó þannig að mikið vatn pressaðist úr efninu þegar rakasta hlutasýnið var prófað, en raki lækkaði úr 15,9 í 13,5% í prófinu. Sýnið var reyndar alveg við mettilínu. Í næsta hlutasýni lækkaði raki hins vegar aðeins úr 13,3% í 13,2%. – Í rakasta hlutasýninu fer skerspenna að lækka við 32 snúningar en lækkar aftur frá 64 snúningum. Það er eðlilegt þegar litið er á þjöppunarferilinn en þar má ætla að rúmþyngd hafi náð mettilínu við um 32 snúninga. Skerspennan hefur þá lækkað vegna þess að vatn hafi ekki losnað nægjanlega hratt úr mótinu fyrr en eftir 64 snúninga. Í þessu sýni tapaðist sérstaklega mikið vatn. Raki er mældur í sýni fyrir og eftir próf. Rakastig á hverjum tíma er reiknað frá þessum mun

Ystu-Víkurhólar: Fínefni í sýninu var 12% og efnið með nokkra samloðun. Þjöppun breyttist meira með raka en í öðrum sýnum. Proctorrúmþyngd var tiltölulega lág miðað við gyroþjöppun eða sem svarar þeirri sem náðist eftir 8 til 16 snúninga. – Eins og áður hefur verið nefnt lækkaði skerspenna í tveimur rökustu hlutasýnunum eftir því

sem á leið prófið, einkum í því rakasta. Lítið vatn tapaðist úr sýninu og hefur skerspennan því hrapað þegar rúmþyngd náði mettilínu. Má bera þetta efni saman við það úr Seljadalsvatni þar sem vatn losnaði úr sýninu.

5. Niðurbrot steinefna

Forvitnilegt þótti að kanna niðurbrot steinefna við þjöppun í gyratory pressunni. Kornastærðardreifing allra sýna var mæld fyrir próf og af átta þeirra var hún mæld í einu hlutasýni eftir þjöppun. Sáldurferlar sýnanna eru sýndir neðst til vinstri á hverri síðu í Viðauka I. Frá kornastærðamælingum mátti reikna eins konar BG stuðul, sem hér er skrifaður sem BG-gyro. Talan á að sjálfsögðu aðeins við um það álag sem notað var í þessum prófum. Eðli málsins samkvæmt var kornadreifingin mæld á tveimur hlutasýnum sem hafði verið skipt úr heildarsýninu en ekki á sama hlutasýninu. Í töflunni hér fyrir neðan eru sýndir BG-standard og modified stuðlar á sýnum úr steinefnabankanum.⁵ Þau sýni voru útbúin með staðlaðri kornadreifingu en ekki þeirri sem var í hverju efni. Samanburðurinn er reyndar lítill, þrjú sýni, því að þau tvö sýni sem ekki voru mæld voru úr bankanum.

Nr.	Náma	Punktur	V%	BG "gyro"	BG standard	BG modified
1	Björgun	P1	6,6	4,6	0,9	4,8
2	Broddadalsá	P1	4,8	13,5		
3	Eldhestar	P3	17,4	12,2		
4	Glerá	P2	8,4	7,1	2,1	8,5
5	Haukadalsá	(-)	(-)	(-)	2	6,9
6	Hestfjarðarkot	P3	8,2	5,9		
7	Hraunaós	P4	4	7,8	1,9	6,8
8	Lárkot	(-)	(-)	(-)	2,8	6,3
9	Seljadalsvatn	P3	13,3	8,7		
10	Víkurhólar	P4	10,6	6,2		

Í þessu verkefni var niðurbrot steinefna ekki skoðað frekar, en það hefur ugglaut áhrif á þjöppun jarðefna og þá þætti sem skerspennan sýnir.

6. Niðurstöður

Við prófun á samloðunarlausum efnum eins og hér voru prófuð næst sjaldan skýrt rakaháð þjöppunarhámark og á það við um báðar prófunaraðferðirnar sem hér voru til umfjöllunar. Í proctorprófi er rúmþyngd mæld eftir eitt ákveðið álag. Í gyroþjöppu er hægt að fylgjast með þjöppunarferlinum og því hægt að sjá rúmþyngdaraukningu eftir mismarga snúninga þ.e. eftir mislangan tíma. Það mætti nota til þess að fá hugmynd um áhrif misþungra valta á þjöppun fyllinga og einnig hvenær fjölgun umferða hættir að skipta máli. Undirbúningur sýna í gyroþjöppu og proctorpróf fer fram á sambærilegan hátt eða þannig að útbúin eru 3-5 hlutasýni við mismunandi rakastig. Tíminn sem fer í það verður því sá sami í báðum prófum.

Heimildir

- ¹ Ping, M.V. o.fl. (2003a): Laboratory Simulation of Field Compaction Characteristics (Phase I). Final report. For the Florida Department of Transportation. (Report BB890). --
http://www.dot.state.fl.us/Research-Center/Completed_Proj/Summary_CN/FDOT_BB890_1_rpt.pdf
- ² Ping, M.V. o.fl. (2003b): Laboratory Simulation of Field Compaction Characteristics (Phase II). Final report. For the Florida Department of Transportation. (Report BB890). --
http://www.dot.state.fl.us/research-center/Completed_Proj/Summary_CN/FDOT_BB890_2_rpt.pdf
- ³ Brynhildur Magnúsdóttir, Sigurður Erlingsson (2003): Stífni og CBR-gildi burðarlaga. Prófanir á steinefnabanka BUSL. Áfangaskýrsla 1. Verkfræðistofnun / Vegagerðin. – Í skýrslunni er gerð grein fyrir hluta proctor prófanna sem stuðst var við. Einnig voru notuð gögn úr prófunum sem unnar voru á R.b. vegna verkefnis þeirra.
- ⁴ prEN 12697-31 DRAFT, Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 31: Specimen preparation gyratory compactor. Nóvember 2002.
- ⁵ Gunnar Bjarnason, Pétur Pétursson, Sigurður Erlingsson (2001): Niðurbrot steinefna. Í ráðstefnugögnum um lokaráðstefnu BUSL, 6. apríl 2001.

**Prófun á óbundnum efnum
í gyroþjöppu**

Viðauki I

Línurit

Rannsóknastofnun byggingariðnaðarinnar

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyrobjöppu

Björgun

Bjöppun í ICT 150RB gyrobjöppu.

Brýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Þvermál móts: 150 mm.

Hæð sýna að jafnaði 102 mm.

Kornarúþyngd: 2930 kg/m³

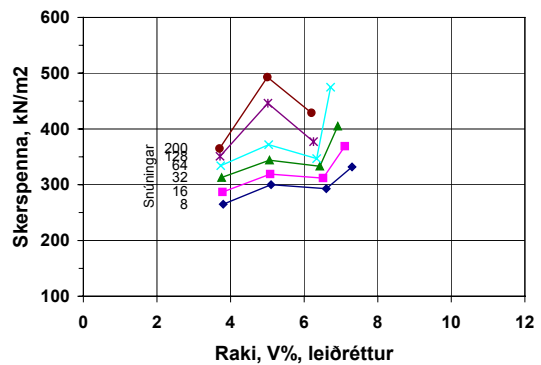
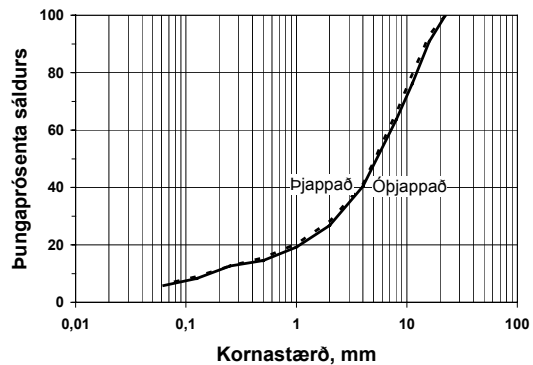
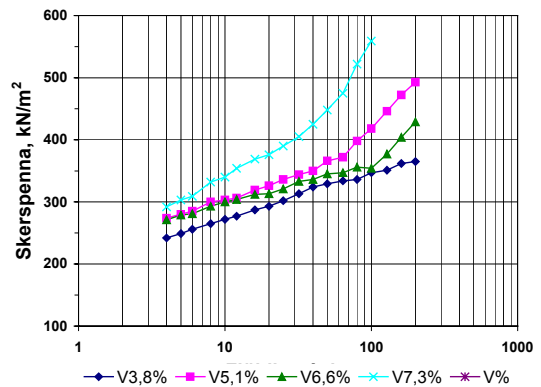
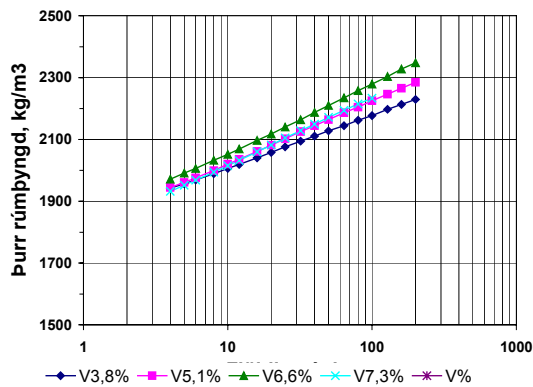
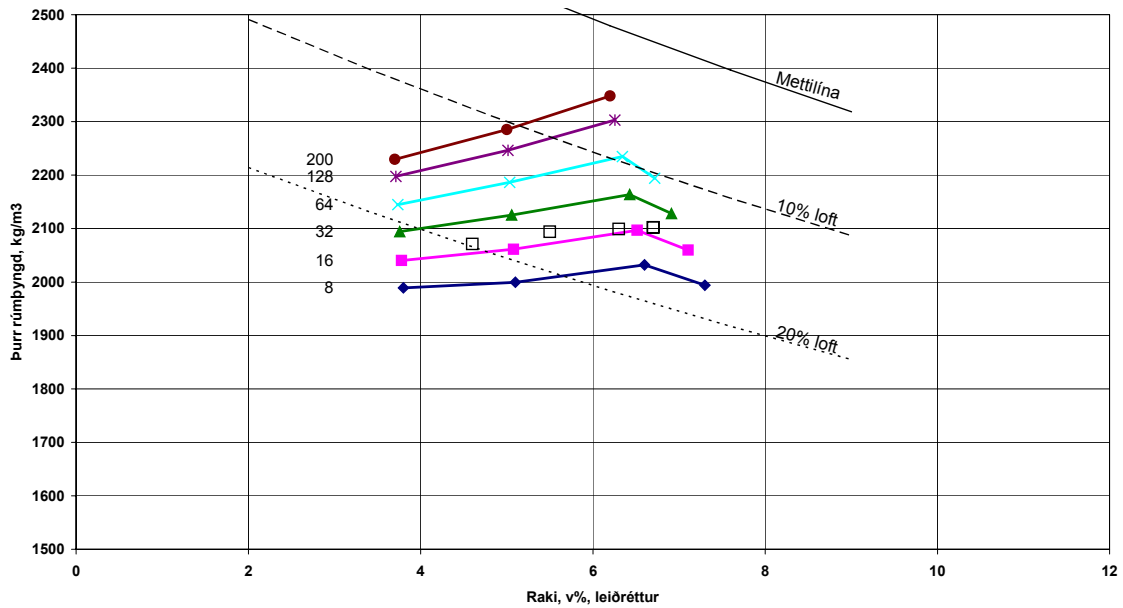
Próf á sýnahluta <20,0 mm.

Reiknaður hluti heildarsýnis: 96%

Fínefni <0,063mm: 5,9%

Þurr rúþyngd við mismarga snúninga

Mettílna og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarinnar

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Broddadalsá

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Þvermál móts: 150 mm.

Hæð sýna að jafnaði 144 mm.

Kornarúþpyngd: 3004 kg/m³

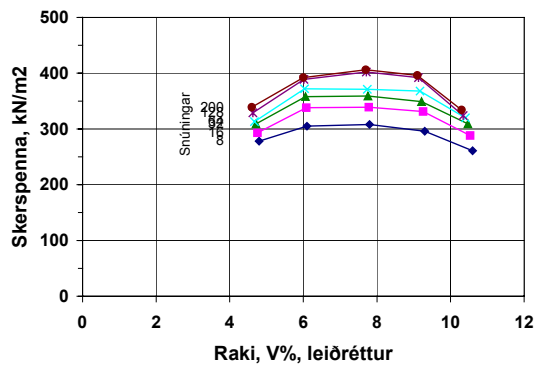
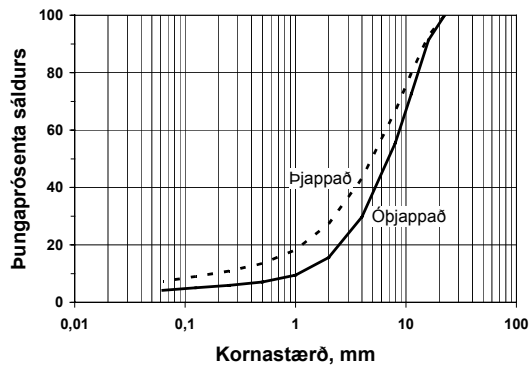
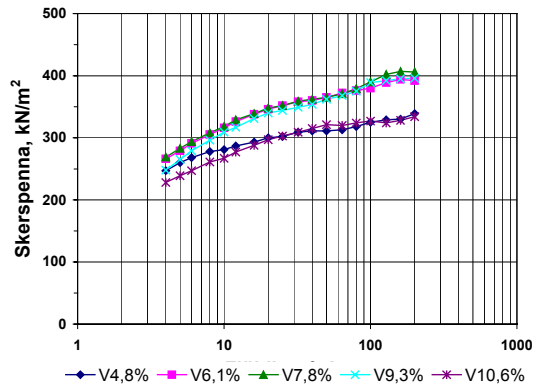
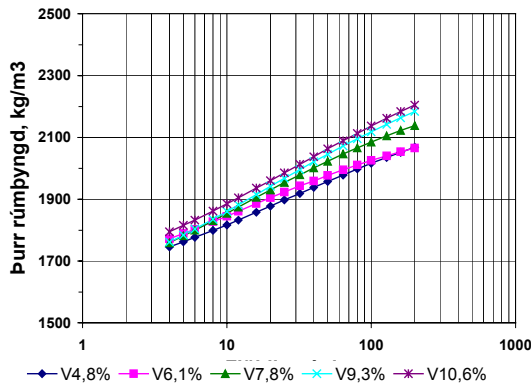
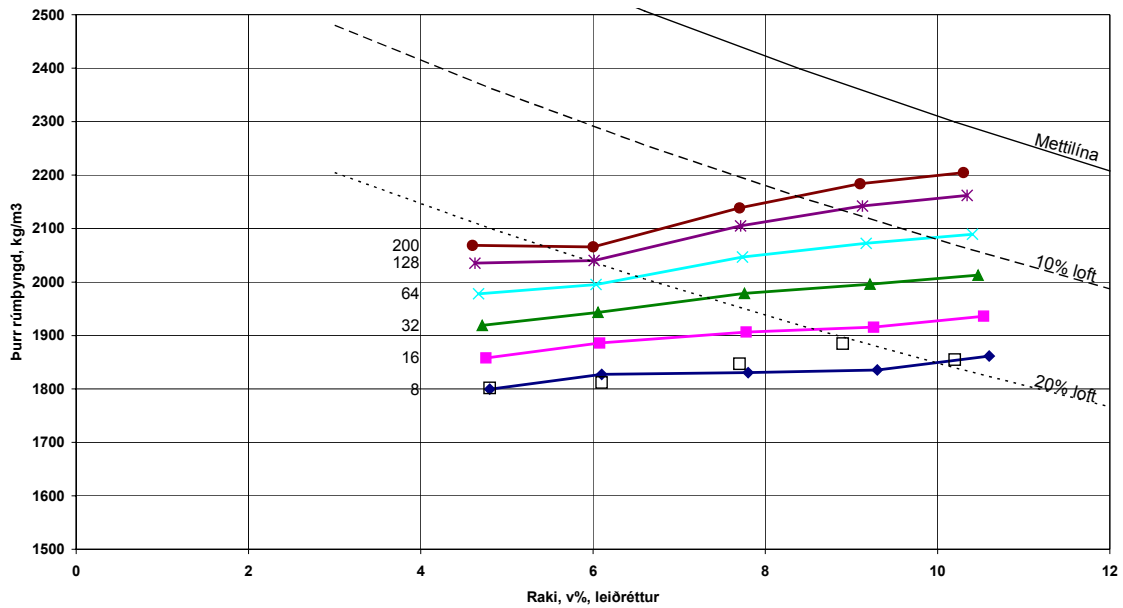
Próf á sýnahluta <20,0 mm.

Reiknaður hluti heildarsýnis: 96%

Fínefni <0,063mm: 4,2%

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettíllína og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarinnar

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Eldhestar

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúþpyngd: 2854 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <20,0 mm.

Þvermál móts: 150 mm.

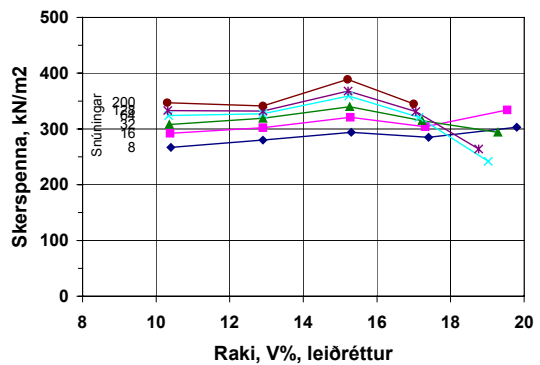
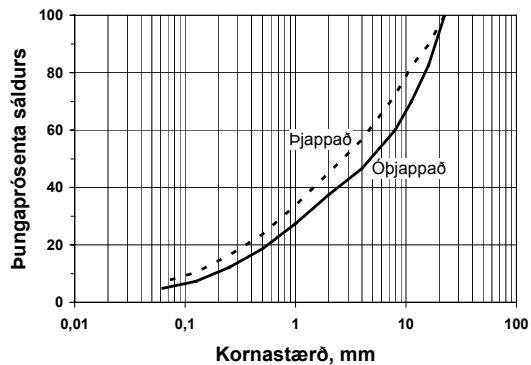
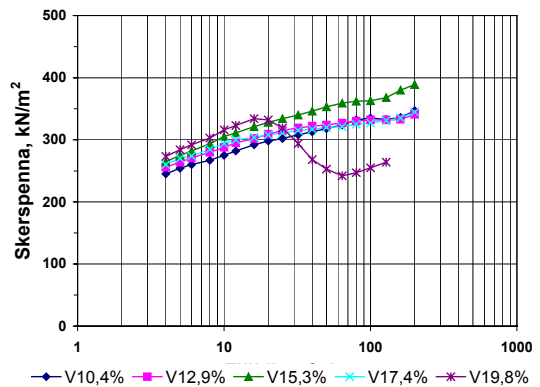
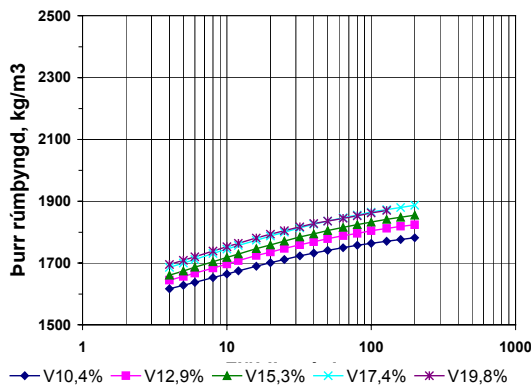
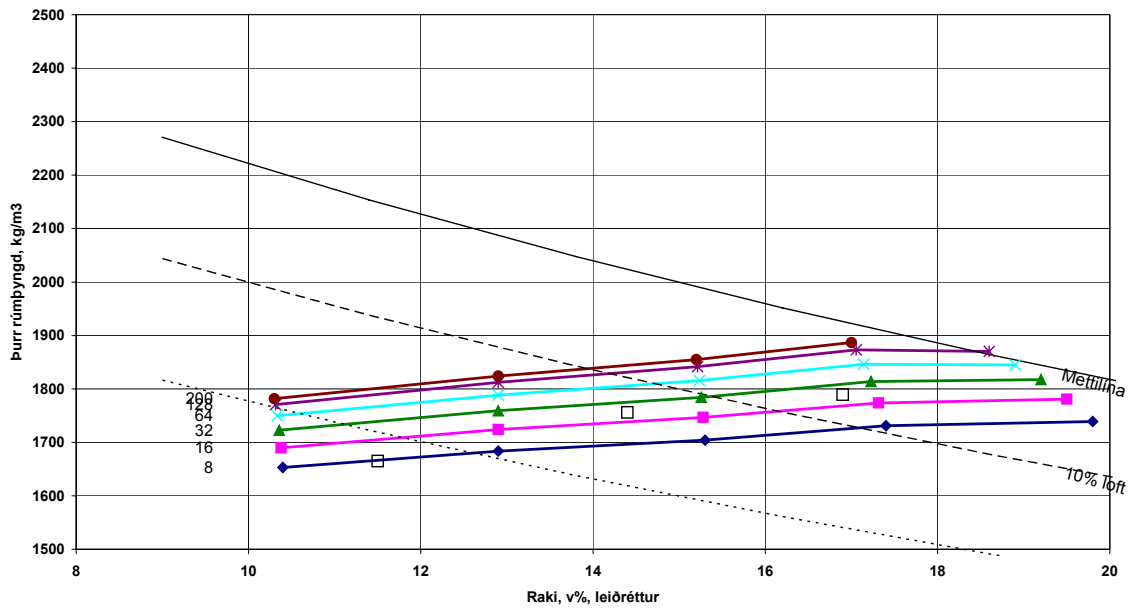
Reiknaður hluti heildarsýnis: 81%

Hæð sýna að jafnaði 149 mm.

Fínefni <0,063mm: 4,9%

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettillína og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Glerá

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúþpyngd: 2760 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <20,0 mm.

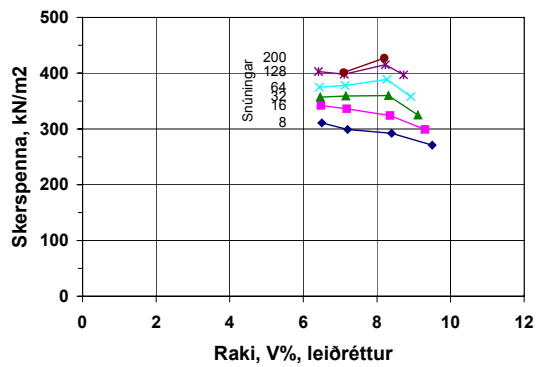
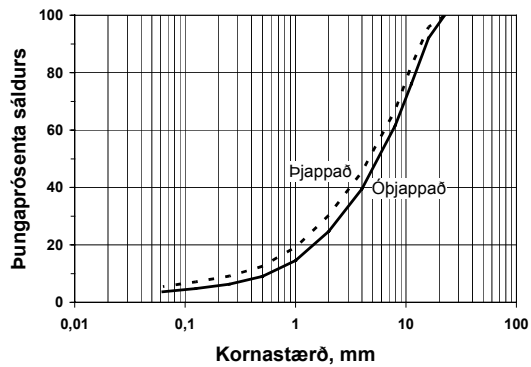
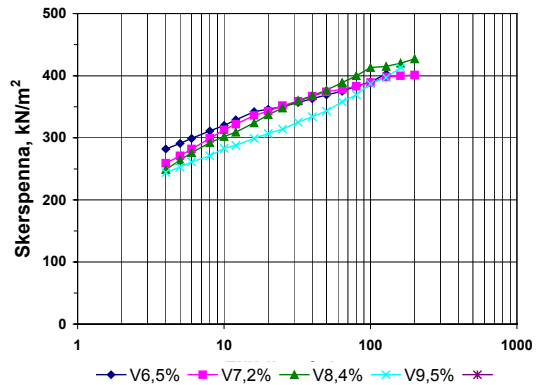
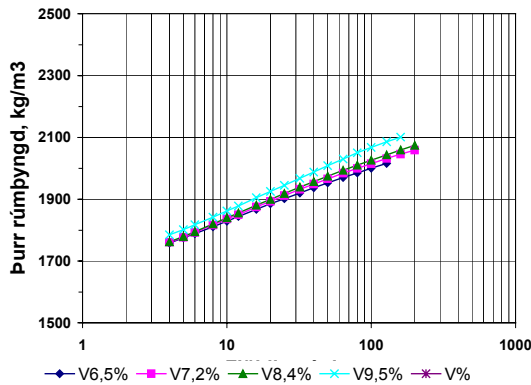
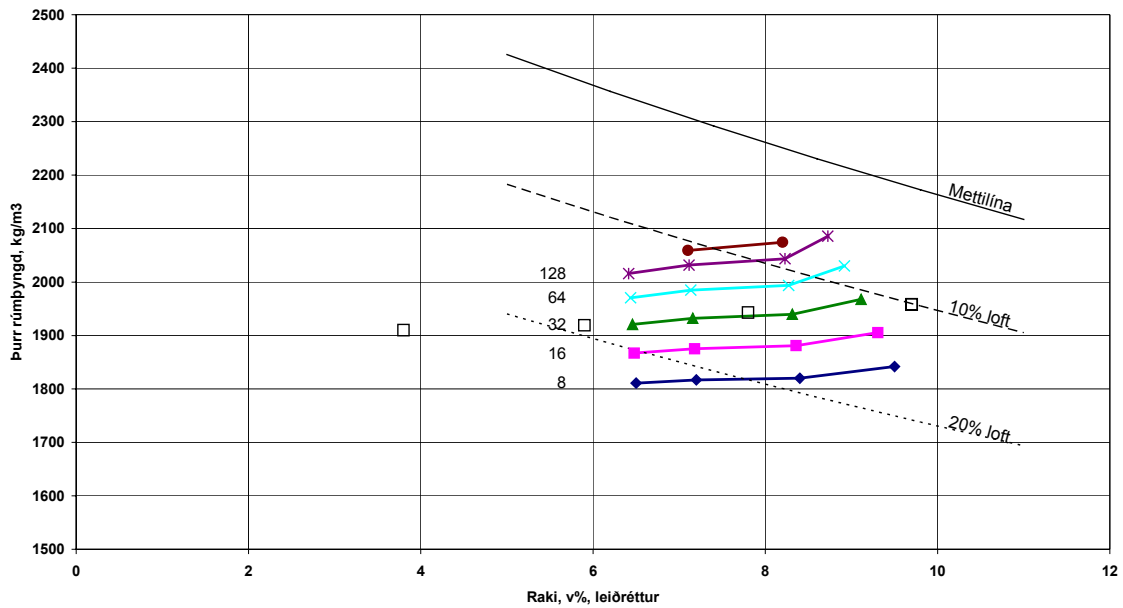
Þvermál móts: 150 mm.

Fínefni <0,063mm: 3,7%

Hæð sýna að jafnaði 151 mm.

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettíllína og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarinnar

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Haukadalsá

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúþpyngd: 3023 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <22,4 mm.

Þvermál móts: 150 mm.

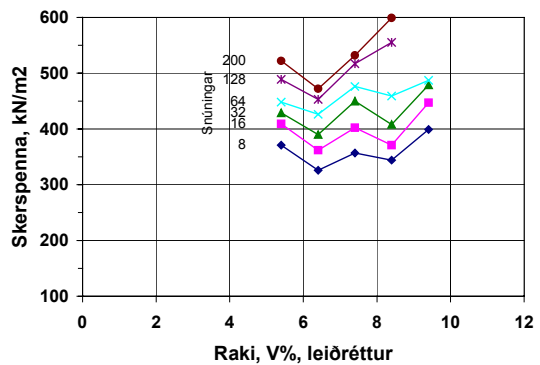
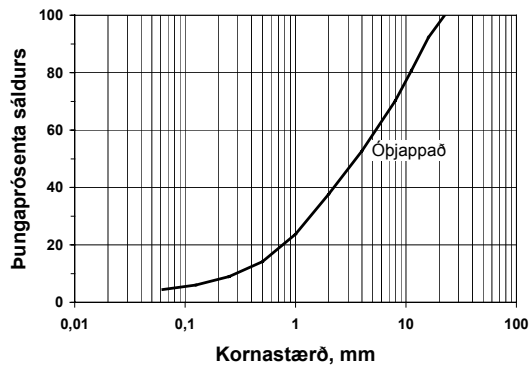
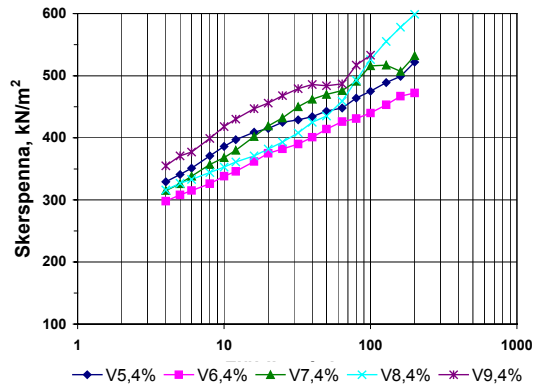
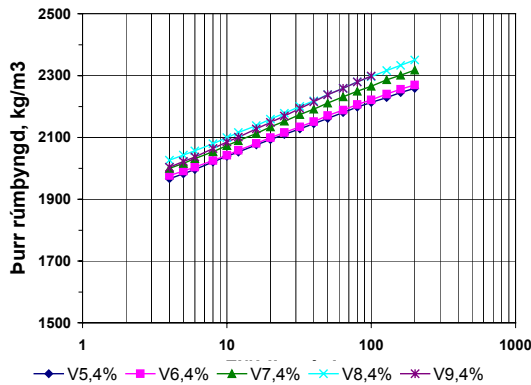
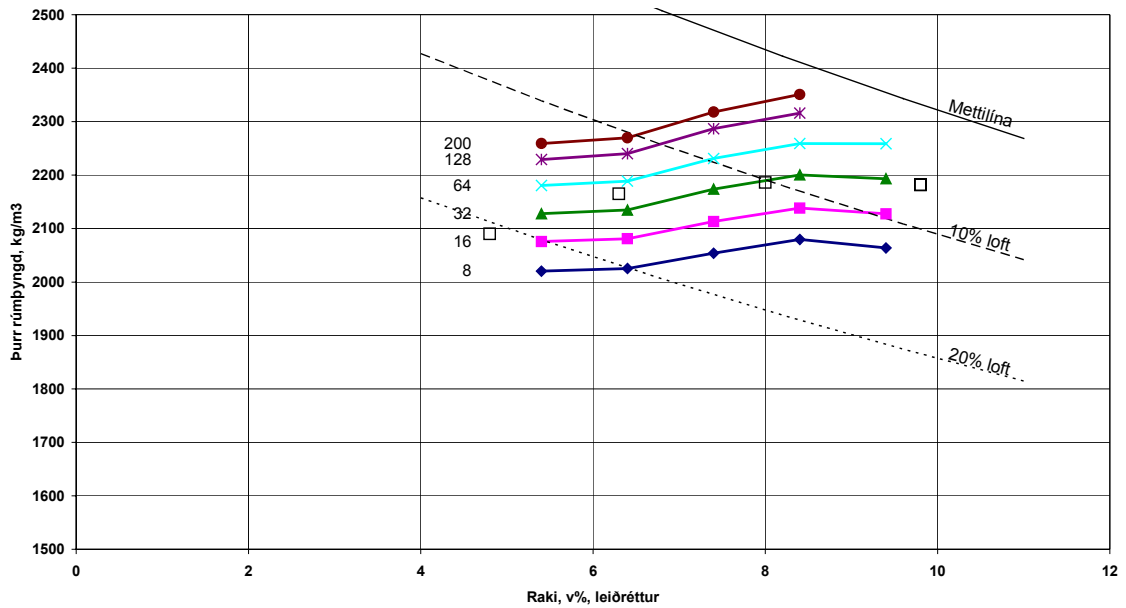
Reiknaður hluti heildarsýnis: 100%

Hæð sýna að jafnaði 100 mm.

Fínefni <0,063mm: 4,5%

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettillína og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Hestfjarðarkot

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúþpyngd: 3021 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <20,0 mm.

Þvermál móts: 150 mm.

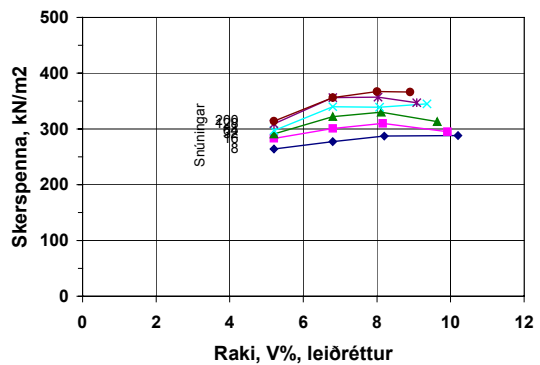
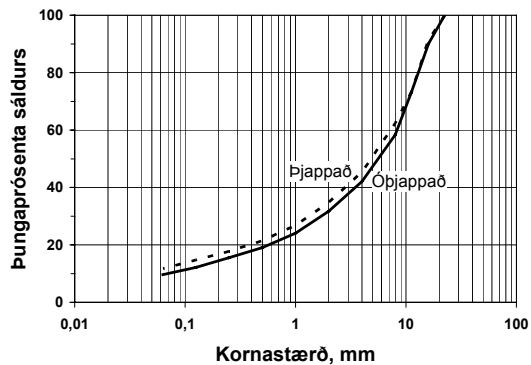
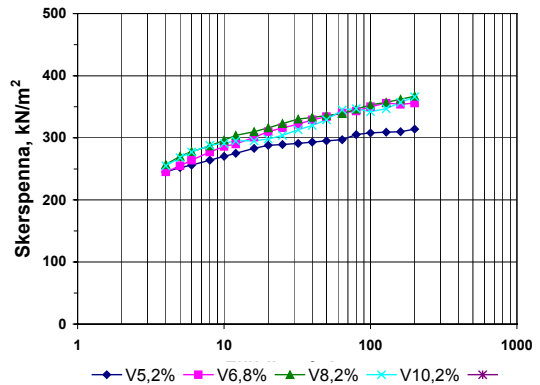
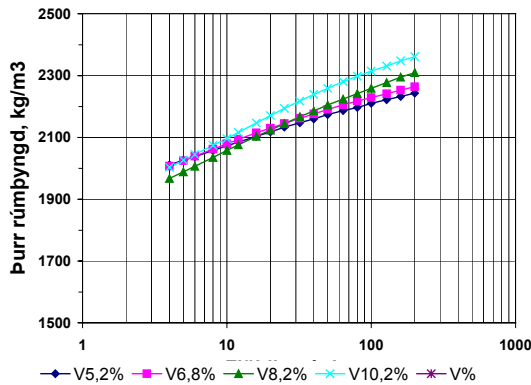
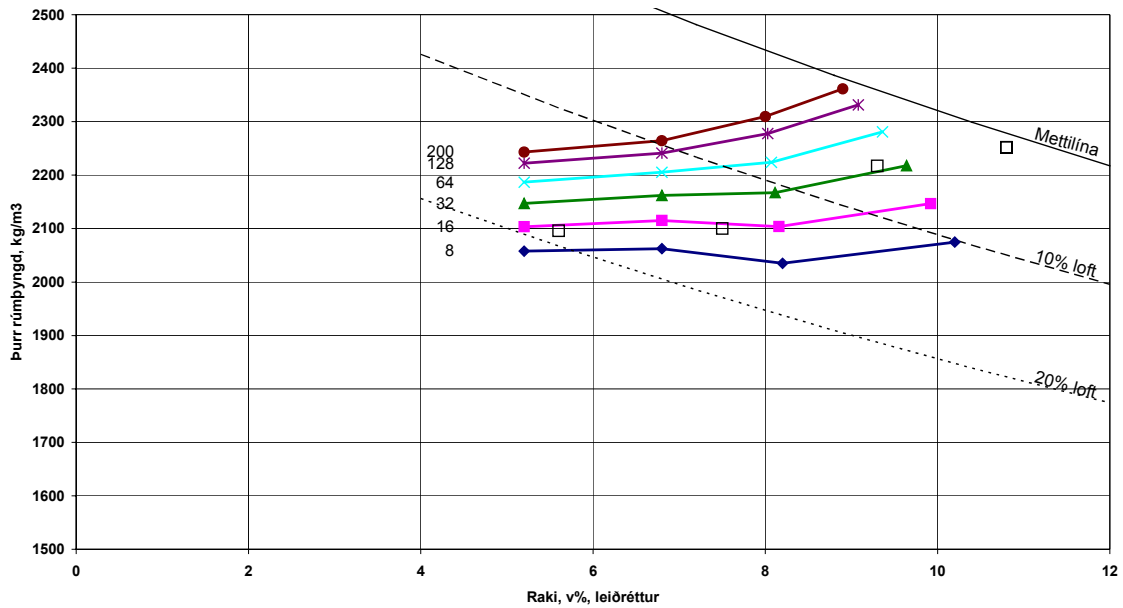
Reiknaður hluti heildarsýnis: 97%

Hæð sýna að jafnaði 153 mm.

Fínefni <0,063mm: 9,6%

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettlína og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarinnar

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Hraunaós

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúþpyngd: 3044 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <20,0 mm.

Þvermál móts: 150 mm.

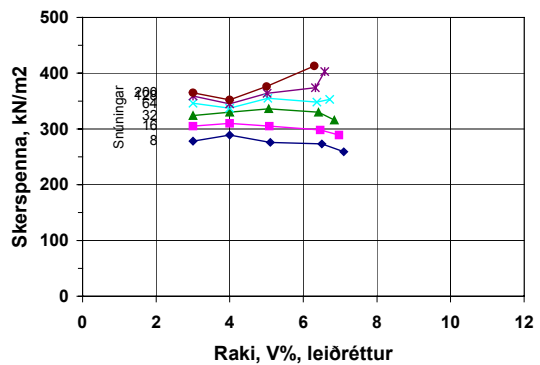
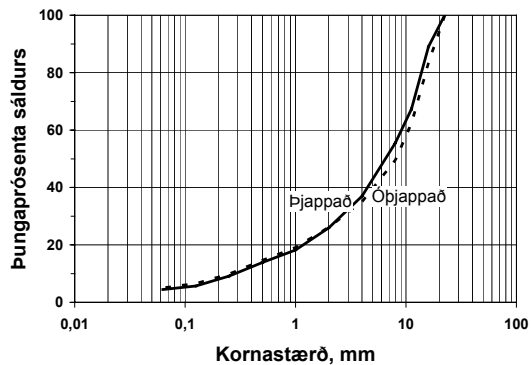
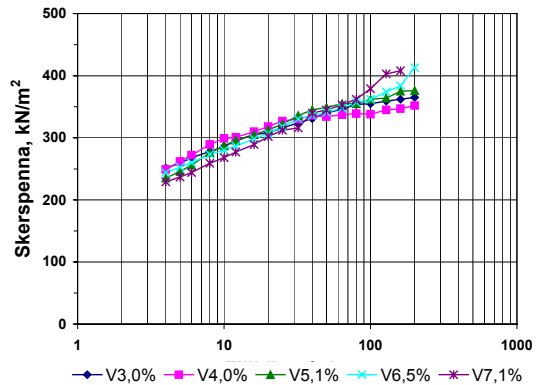
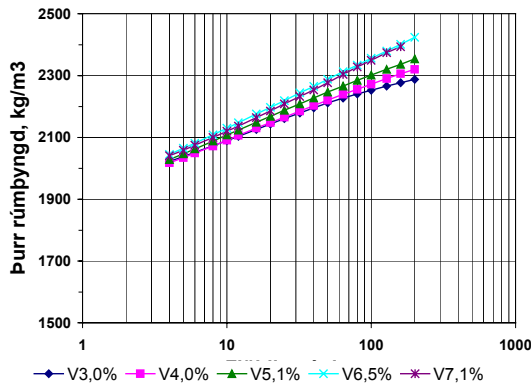
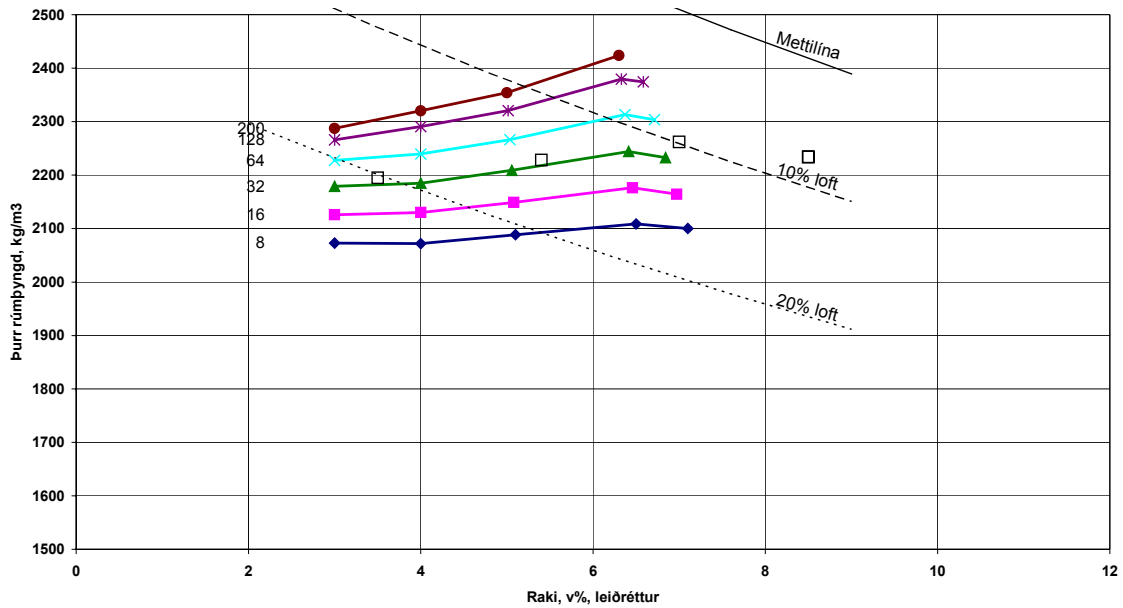
Reiknaður hluti heildarsýnis: 89%

Hæð sýna að jafnaði 155 mm.

Fínefni <0,063mm: 4,5%

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettílna og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Lárkot

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúþpyngd: 2890 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <20,0 mm.

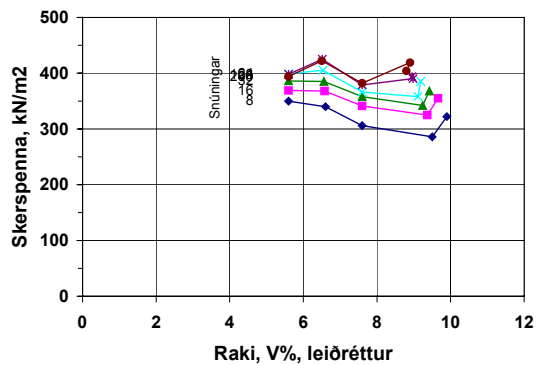
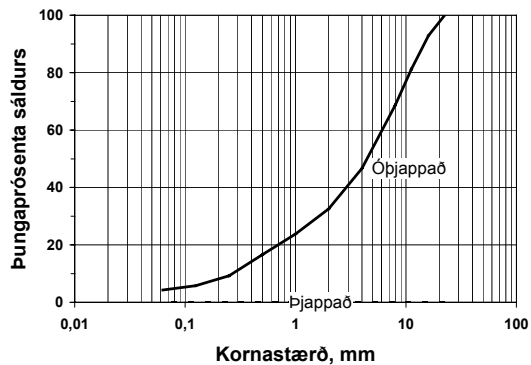
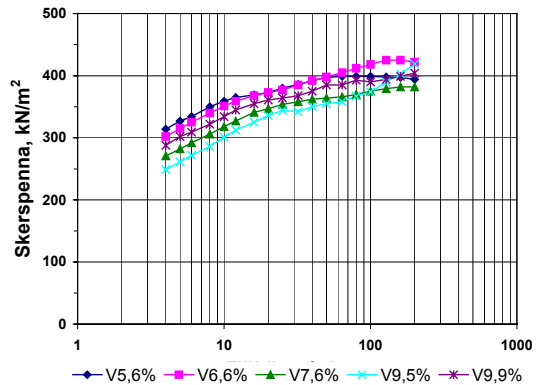
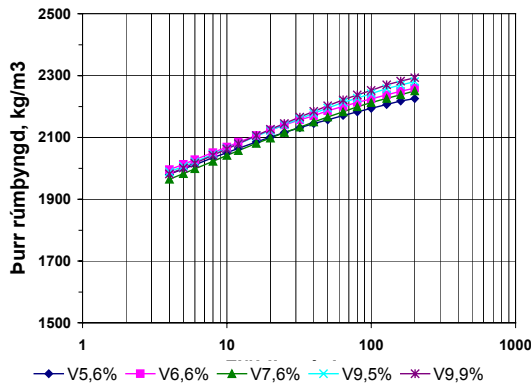
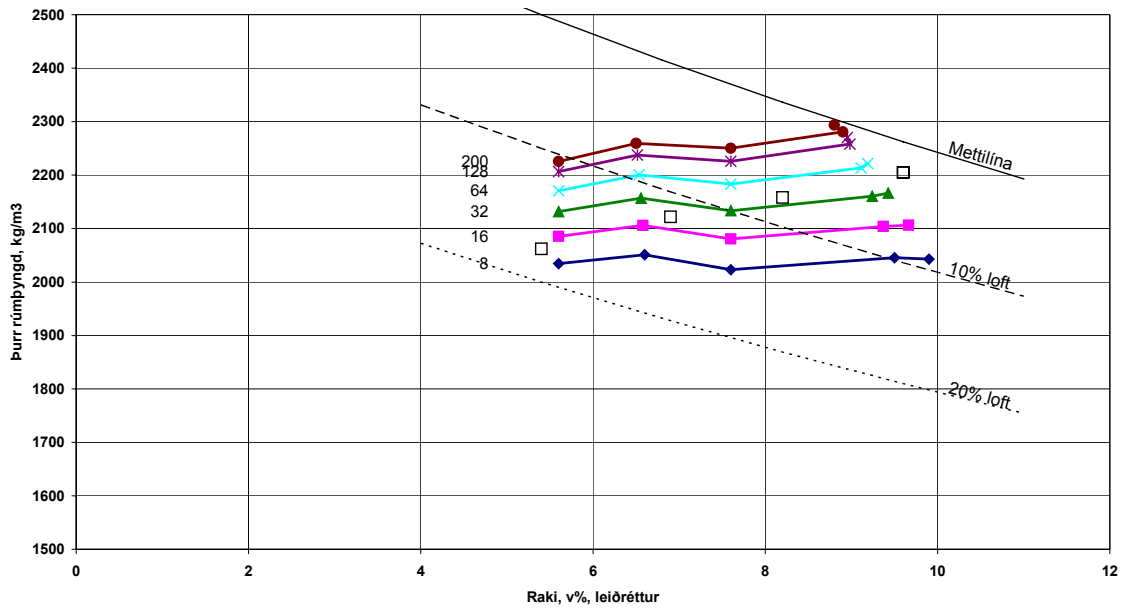
Þvermál móts: 150 mm.

Fínefni <0,063mm: 4,3%

Hæð sýna að jafnaði 147 mm.

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettillína og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarinnar

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Seljadalsvatn

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúþpyngd: 2956 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <20,0 mm.

Þvermál móts: 150 mm.

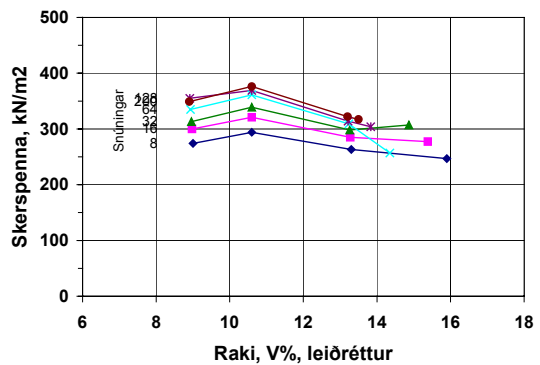
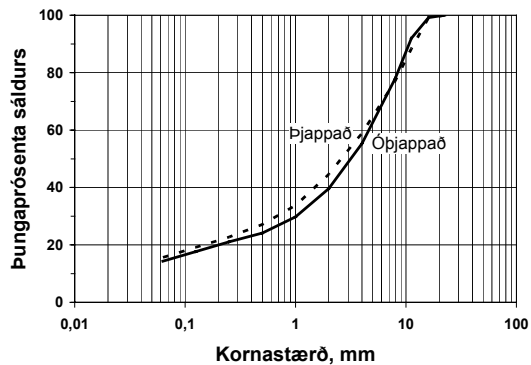
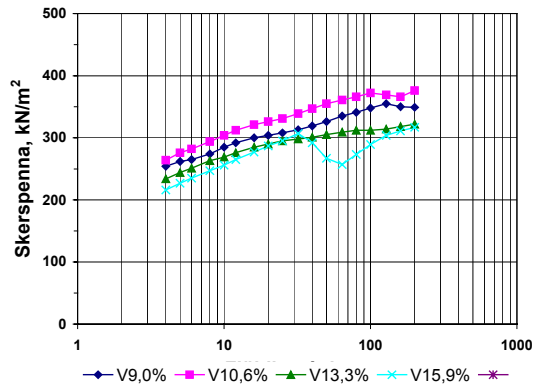
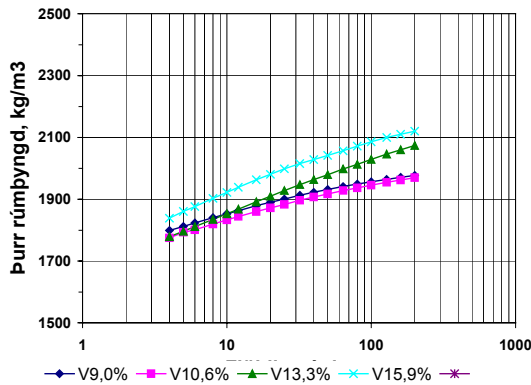
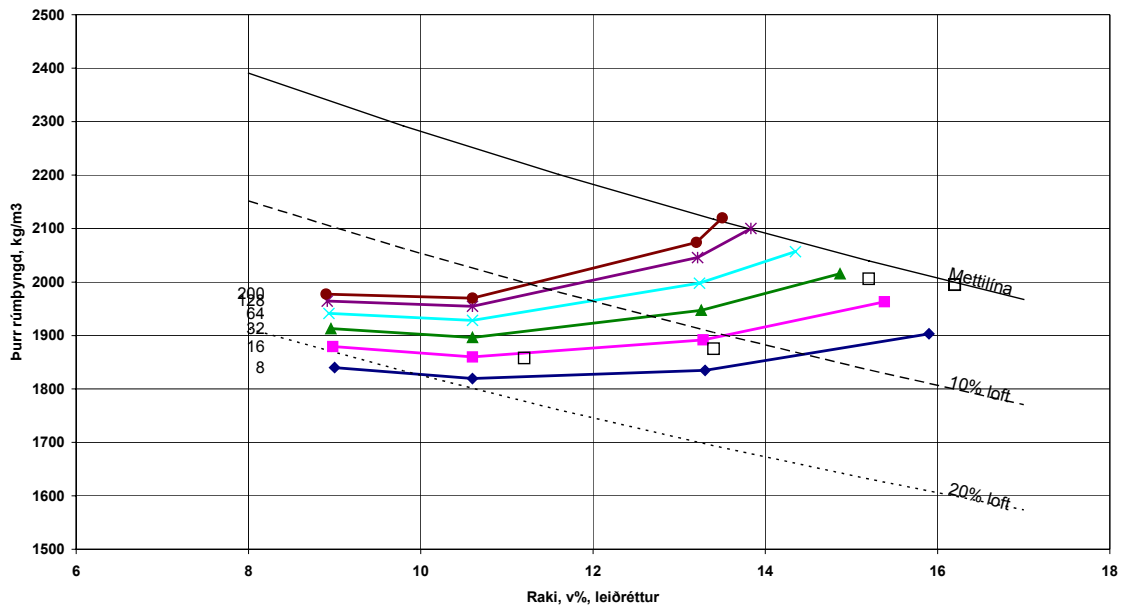
Reiknaður hluti heildarsýnis: 99%

Hæð sýna að jafnaði 157 mm.

Fínefni <0,063mm: 14,4%

Þurr rúþpyngd við mismarga snúninga

Mettílna og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor



Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins

V0407: Prófun á óbundnum efnum í gyroþjöppu

Ystu-Víkurhólar

Þjöppun í ICT 150RB gyroþjöppu.

Kornarúmpyngd: 3000 kg/m³

Þrýstingur: 600 kPa. Halli: 16 mrad. Hraði: 30 sn/mín.

Próf á sýnahluta <20,0 mm.

Þvermál móts: 150 mm.

Reiknaður hluti heildarsýnis: 97%

Hæð sýna að jafnaði 154 mm.

Fínefni <0,063mm: 12,0%

Þurr rúmpyngd við mismarga snúninga

Mettilína og línur fyrir 10 og 20% loft eru sýndar. Ferningar eru mælingar úr Standard Proctor

