

Kiudainelisandiga asfaltbetoonisegude katsetamine

Ramboll Eesti AS

2007-20



Maanteeamet

Tallinn 2007

SISUKORD

1.	KOKKUVÕTE	3
1.1.	Eesmärk	3
1.2.	Teostus	3
1.3.	Materjalid	3
1.4.	Tulemused	3
2.	SISSEJUHATUS	4
2.1.	Taustainfo	4
2.2.	Eesmärk	4
3.	MATERJALID JA MEETODID	5
3.1.	Asfaltbetoonsegu koostis	5
3.2.	Proovikehade valmistamine	5
3.3.	Proovikehade uurimine	6
3.4.	Fotod	7
4.	TULEMUSED	9
4.1.	Segu koostis	9
4.1.1.	Optimaalse bituumenisalduse valik	10
4.2.	Asfaltbetooni omadused	11
4.2.1.	Üldosa	11
4.2.2.	Kaudne tõmbetugevus	11
4.2.3.	Külmakindlus	12
4.2.4.	Deformatsioonikindlus rattakatses	13
4.2.5.	Marshall-stabiilsus ja voolavus	14
4.2.6.	Rattakatse ja Marshalli katse tulemuste võrdlus	14
4.2.7.	Kiu bituumenisidumisvõime (Dekka-katse)	15
5.	JÄRELDUSED	17
5.1.	Ekspert Mats Reihe arvamus VTT laboratoorsete katsete tulemustest	18
5.1.1.	Hinnang uuringu tulemustele	18
5.1.2.	Hinnang töö kvaliteedile	18
5.1.3.	Järgmised sammud	18
5.1.4.	Võrdlus Hiina tulemustega	18
6.	LISAD (laboratoorsete katsete aruanded)	20
6.1.	Kivimaterjali koostis	20
6.2.	Segu koostise optimeerimine (ilma kiudaineta)	21
6.3.	Segu koostise optimeerimine (kuisisaldus 0,1%)	22
6.4.	Segu koostise optimeerimine (kuisisaldus 0,2%)	23
6.5.	Segu koostise optimeerimine (kuisisaldus 0,3%)	24
6.6.	Segu koostise optimeerimine – jätk (kiudaine 0,3%)	25
6.7.	Kaudse tõmbetugevuse määramine	26
6.8.	Proovikehade deformatsioonitestid (PANK-4205)	27
6.9.	Proovikehade külmakindlus (PANK-4302)	28
6.10.	Proovikehade Marshall-stabiilsus ja voolavus	29

1. KOKKUVÕTE

1.1. Eesmärk

Käesoleva projekti eesmärgiks on uurida Hiina päritolu kiudainelisandi mõju asfaltbetooni kvaliteedinäitajatele. Teaduskirjanduses on viiteid sellest, kuidas Hiinas on saavutatud paremad asfaltbetooni kvaliteedinäitajad vähendades teekattematerjali voolavust ja parandades külmakindlust. Et Eestis on mõlemad probleemid vägagi olulised, raskeliikluse all vajuvad teekattesse roopad ja kate mureneb vähese külmakindluse tõttu, siis on Tellija otsustanud uurida, kas Hiinas kasutatud kiudaine võiks anda efekti ka meie tingimustes.

1.2. Teostus

Ramboll Eesti AS on käesoleva lepingu raames koostöös VTT-ga 2007 aasta juuni ja juulikuus uurinud Tellija poolt katsetamiseks valitud Hiina päritolu fiiberkiu lisamise mõju asfaltbetooni kvaliteedinäitajatele. VTT on partneriks valitud seetõttu, et lähialadel paiknevatel teistel laboritel puudub vastav seadmestik adekvaatsete testide läbiviimiseks. VTT poolt vastutas tööde eest uurija Kyösti Laukkanen, Ramboll Eesti AS poolt töö vastutav täitja Ain Kendra, keda abistas mittekoosseisuline ekspert Mats Reihe.

1.3. Materjalid

Kasutati Tellija poolt asfaldinormidele ALST 1-02 vastavat TAB-12-I segu millele lisati kolm erinevat kogust kiudainet. Kivimaterjal pärineb Ruduse Inkoo karjäärast (sama materjali kasutatakse ka Eestis), bituumeniks on kasutusel Nynäs tehase bituumen mida tarnitakse ka Eestisse ning ka lisand Wetfix on sama mis Eestis kasutusel. Seega on materjalid valitud maksimaalselt lähedased Eestis tegelikult kasutatavatega.

1.4. Tulemused

Kõik katsete käigus valmistatud proovikehad vastavad reeglina Asfaldiliidu normidele, ainsaks erandiks tuleb mainida voolavus, mis ühe kiudainesisalduse korral ületas normi.

Katsete käigus ei saavutatud uuritud näitajate olulist paranemist.

Ekspertid on avaldanud arvamust, et tõenäoliselt võidaks paremaid tulemusi saavutada võrreldes lisandita seguga, kui muuta kivimaterjali koosseisu. Käesoleva töö käigus katsetatud segudel on suhteliselt kõrge bituumenisisaldus, juhul kui otsustatakse katseid mingil kujul jätkata, tuleks kaaluda meetmeid bituumenisisalduse langetamiseks (fillerisisalduse vähendamine), kuna tõenäoliselt just kõrge bituumenisisaldus võib olla põhjuseks miks proovikehade voolavus ja deformatsioonikindlus ei paranenud. Samas, kivimaterjali koostise muutmisel võib segu koostis väljuda asfaldinormides sätestatust, kuid antud töö eesmärgiks oli leida lahendusi asfaldinormidele vastava koostise raames.

2. SISSEJUHATUS

2.1. Taustainfo

Uuringu käigus sooviti arendada Eesti teedevõrgule sobivat maanteeliikluse tee kulumiskihti, mille vastupidavust on parandatud lisades bituumenile nakke parandamiseks Wetfix lisandit ja asfaltbetoonsegule polüesterkiudu. Uuritud asfaltbetoonsegu erineb tavapärasest seega lisaainete võrra mis peaksid parandama segu omadusi. Eriti on uurimus suunatud asfaltbetooni deformatsioonikindluse ja külmakindluse parandamisele.

Kiulisandina kasutati hiina päritolu polüesterkiudu, mis erineb Soomes kasutatavast lisandist nii koostiselt kui kiupikkuselt. Naelrehvide kasutamise osas on Eestis veel vaidlused, kuid seni on naelrehvide kasutamine talvehooajal lubatud, mistõttu käesolevas töös naelrehvide teemat ei käsitletud (kuigi töö teostajatel on selleks olemas tehnilised võimalused). Uuringu tehnilise teostuse on läbi viinud VTT – *Valtiollinen Tiete- ja Tutkimuslaitos*. Tehnilise teostuse eest vastutas Kyösti Laukkanen vastavalt Ramboll Eesti AS ja VTT vahelisele allhankelepingule. Käesolev aruanne põhineb valdavalt VTT aruandel nr VTT-S-06437-07 (11.07.2007).

2.2. Eesmärk

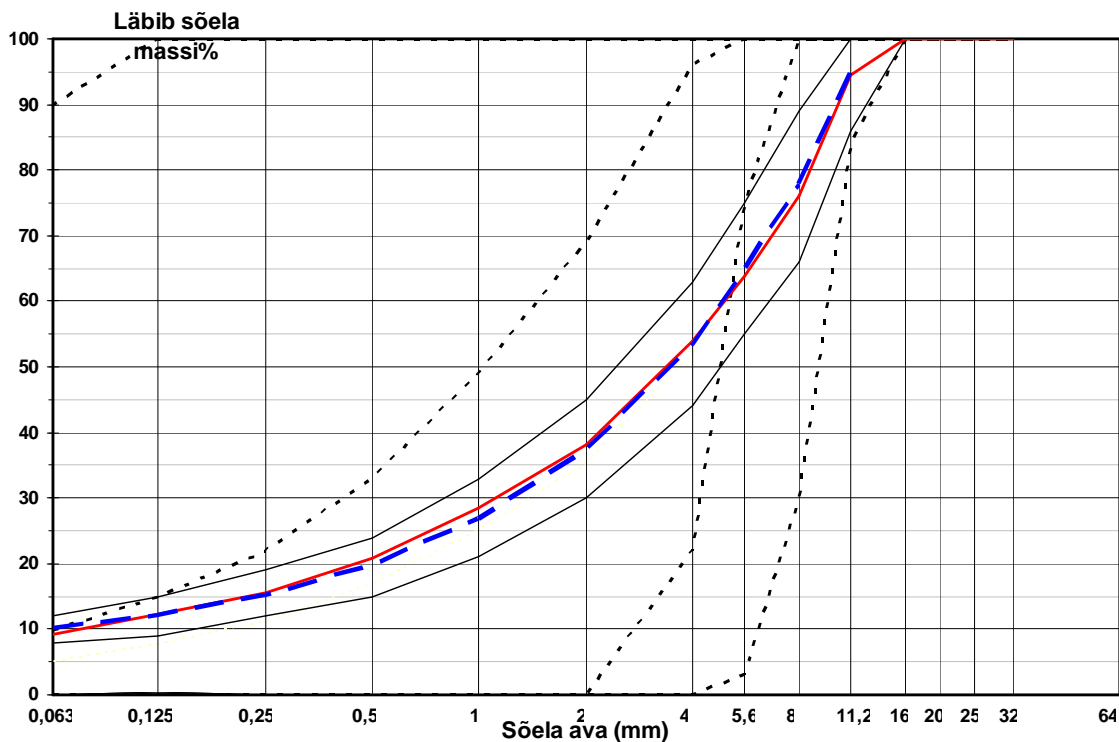
Uurimuse eesmärgiks on asfaltbetoonsegu (TAB 12-I) koostise arendamine lisatehnoloogia abil ja segu valitud funktsionaalsete omaduste uurimine.

3. MATERJALID JA MEETODID

3.1. Asfaltbetoonsegu koostis

Asfaltbetoonsegu koostisse kuuluvad killustik, lubjakivitäidis-jahu (filler), lisand Wetfix, hiina päritolu polüesterkiud ja Nynäs OY bituumen.

- kivimaterjal – Lohja Rudus Inkoo killustik. Koostis vastab Eesti Asfaldinormide järgi TAB-12-I nõuetele. Kivimaterjali koostist on detailsemalt kirjeldatud lisas (P 6.1):



Graafik 1 – Kivimaterjali koostis

- filler – Lohja Rudus lubjakivijahu
- Bituumen – Nynäs B 70/100
- Lisand – Wetfix, sisaldus 0,4% bituumeni massist
- Kiudaine – hiina polüesterkiud (erinevad kiudaine sisaldused 0%, 0,1%, 0,2% ja 0,3% segu massist).
Kiudaine tootja on kiudaine omadustest teatanud alljärgnevat:
 - 100% polüester
 - Kiu pikkus 3 kuni 50 mm, antud juhul 6 mm
 - Tihedus 1,36 kuni 1,38 g/cm³
 - Venivus vähemalt 15%
 - Sulamispunkt 240-260°C
 - Lühiajaline temperatuurikindlus – 2 tundi 220°C ei põhjusta jäävdeformatsioone

3.2. Proovikehade valmistamine

Materjali tühemikesisalduse (pooride täitvuse aste) alusel valiti asfaltbetoonsegu sideainesisaldus, millise koostise juures uuritakse deformatsioonikindlust, külmakindlust ja Marshall-stabiilsust.

Sideainesisalduse kindlaksmääramiseks kasutati laboratoorset asfaltbetoonisegistit, milles segati üks segu korraga ja proovikehad tihendati güratoriga (102 pööret), seade pildil 1.

Proovikehad valmistati nelja eri kiusisaldusega (kiusisaldus 0%, 0,1%, 0,2% ja 0,3%).

Koostisekatsete alusel valitud segust valmistati Marshalli proovikehad, mis tihendati Marshalli-vasaraga (50 lööki), rattakatse (Wheel-Tracking) deformatsioonikatsete asfaltbetoonplaadid tihendati labori tihendusrulliga (pendelseade), seade pildil 2, ning külmakindluse katsekehad valmistati asfaltbetoonplaadist puurimismeetodil.

3.3. Proovikehade uurimine

Proovikehadest uuriti:

- Kaudne tõmbetugevus (halkaisuvetolujuus) 11°C juures (valitud koostise juures), (EN-12697-23)
 - Kaudne tõmbetest (Indirect tensile test), silinderjas (diameeter 100 mm, kõrgus 60 mm) katsekeha poolitatakse pikisuunaliste sirgete lõugade vahel. Koormuskiirus on 50 mm/min. Tulemuseks saadakse katsekeha poolitav jõud, millest tuletatakse katsekeha tõmbetugevus MPa. Kuivana säilitatud katsekehad tempereeritakse külmkapis.
- külmakindlus (tõmbetugevusel -2°C juures põhinev meetod PANK-4302), MTS-seade
- Marshall-stabiilsus ja voolavus (60°C, meetod SFS-EN 12697-34/PANK-4203), MTS-seade, pilt 3
 - Marshalli katsel (EN 12697-34) leitakse asfaltbetooni stabiilsus ja voolavus määratud meetodil valmistatud proovikeha koormamisel katseseadmest püsiva kiirusega.
- deformatsioonikindlus (rattakatse e Wheel-Tracking meetod PANK-4205), pilt 4
 - Deformatsioonikatse rattaseadmest (EN 12697-22) tehakse selliselt, et standardsuuruses 60 mm paksusel tihendatud katsekehal liigub kummiratas. Katses koormatakse katsekeha 10kN jõuga ratta kiirusel 0,7m/s. Seade paigutatakse termokappi kus hoitakse +30°C temperatuuri. Katsekeha koormatakse 14 000 korda ehk umbes 7 tunni jooksul. Katsekeha pinnakuju muutused mõõdetakse kolmes kohas etteantud intervalliga. Deformatsioonijälje lõplik sügavus kirjeldab konkreetse asfaltbetoonisegu deformatsioonikindlust. Esimese deformatsioonikindlusklassi asfaltbetoonil ei tohi jälje sügavus ületada 4 mm.
- Poorsus (standardne katseteetodika)

3.4. Fotod



Pilt 1 – proovikehade valmistamisel kasutatud güraator (pöördtihendaja) ja kaalud



Pilt 2 – Proovikehade tihendamisel kasutatud pendelseade (kiikrull)



Pilt 3 – Marshalli katses ja külmakindluskatses kasutatud MTS-press (pilt tehtud Marshalli katse käigus)



Pilt 4. Deformatsioonikatsel kasutatud rattaseade (Wheel-Tracking)

4. TULEMUSED

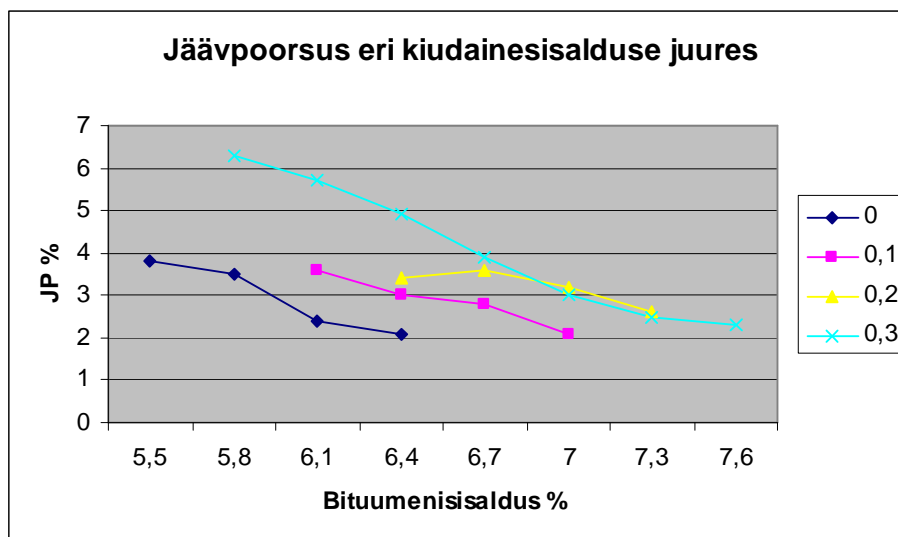
4.1. Segu koostis

Asfaltbetoonsegu koostis määrati Soome Asfaldinormide kohaselt mahumeetodil. Poorsuse määramise proovikehade keskmised näitajad on esitatud tabelis 1 ja graafikutes 2 ning 3. Üksikute katsete tulemused on esitatud lisas (p.6.2-6.6)

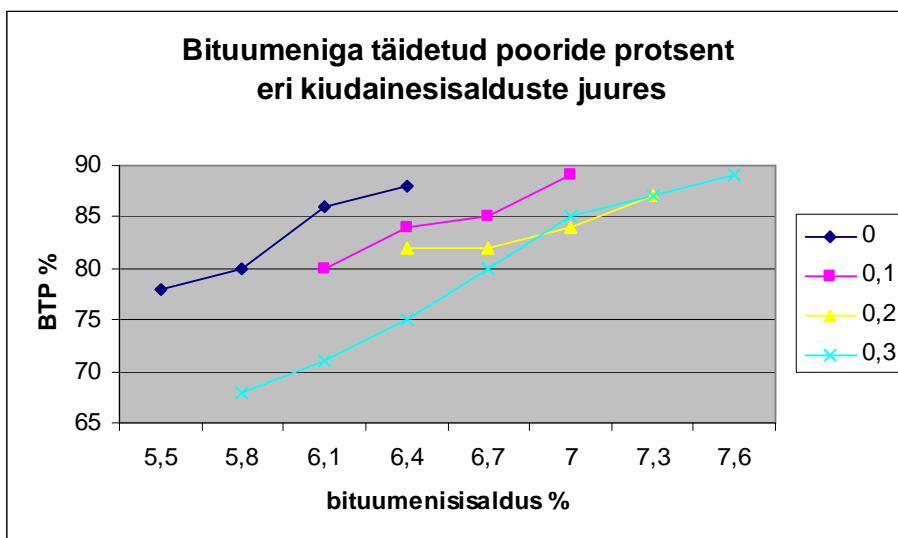
Tabel 1. Mahumeetodi tulemuste keskväärtused

(bituumen Nynäs 70/100 ja lisand Wetfix 0,4% bituumeni massist)

Bituumeni-sisaldus	Kiudaine sisaldus	Jäävpoorsus	Skeletipoorsus	Täiteaste
%	%	%	%	%
5,5	0	3,8	17	78
5,8	0	3,5	17	80
6,1	0	2,4	17	86
6,4	0	2,1	17	88
6,1	0,1	3,6	18	80
6,4	0,1	3,0	18	84
6,7	0,1	2,8	19	85
7,0	0,1	2,1	19	89
6,4	0,2	3,4	19	82
6,7	0,2	3,6	19	82
7,0	0,2	3,2	20	84
7,3	0,2	2,6	20	87
5,8	0,3	6,3	20	68
6,1	0,3	5,7	20	71
6,4	0,3	4,9	20	75
6,7	0,3	3,9	20	80
7,0	0,3	3,0	19	85
7,3	0,3	2,5	20	87
7,6	0,3	2,3	20	89



Graafik 2. Asfaltbetooni jäävpoorsuse sõltuvus segu koostisest



Graafik 3. Asfaltbetooni tühimike täiteaste sõltuvus bituumeni- ja kiudaine sisaldusest

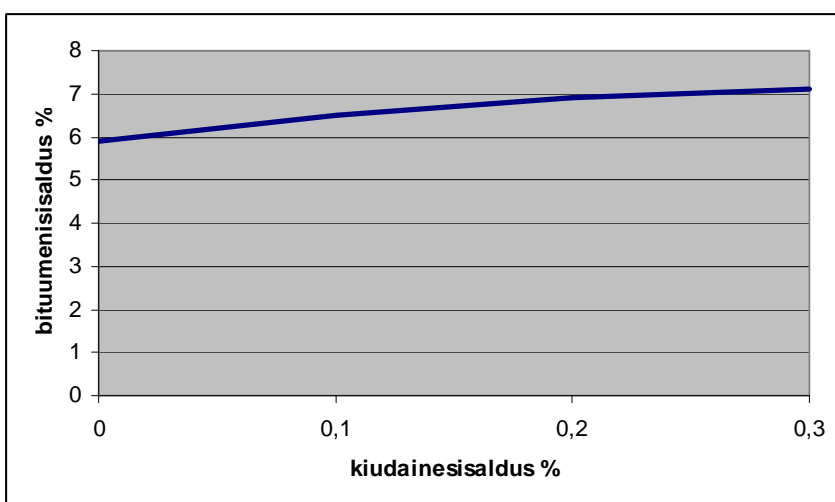
Asfaltbetooni TAB 12-I segu tühimikesisalduse nõuded on esitatud Eesti Asfaldinormides 2002 (tabel 4.b) ja analoogsed nõuded Soome Asfaldinormides 2000 (tabel 20).

4.1.1. Optimaalse bituumenisisalduse valik

Poorsuskatse põhjal valiti edasisteks uuringuteks tabeli 2 ja graafiku 4 kohased bituumenisisaldused. Valitud bituumenisisaldused täidavad hästi Eesti Asfaldinormide Tabel 4.b sätestatud nõuded asfaltbetooni TAB 12 I segu kivimaterjali skeletipoorsusele ja bituumeniga täidetud pooride protsendile.

Tabel 2 Erinevatele kiudainesisaldustele vastavad optimaalsed bituumenisisaldused

Kiudaine sisaldus	bituumenisisaldus
%	%
0	5,9
0,1	6,5
0,2	6,9
0,3	7,1



Graafik 4. Optimaalse bituumenisisalduse seos kiudainesisaldusega

4.2. Asfaltbetooni omadused.

4.2.1. Üldosa

Poorsuskatsete baasil valitud segu koostistega valmistati asfaltbetoonsegust katsekehad vastavuses punktis 3.2 fikseeritud nõuetele

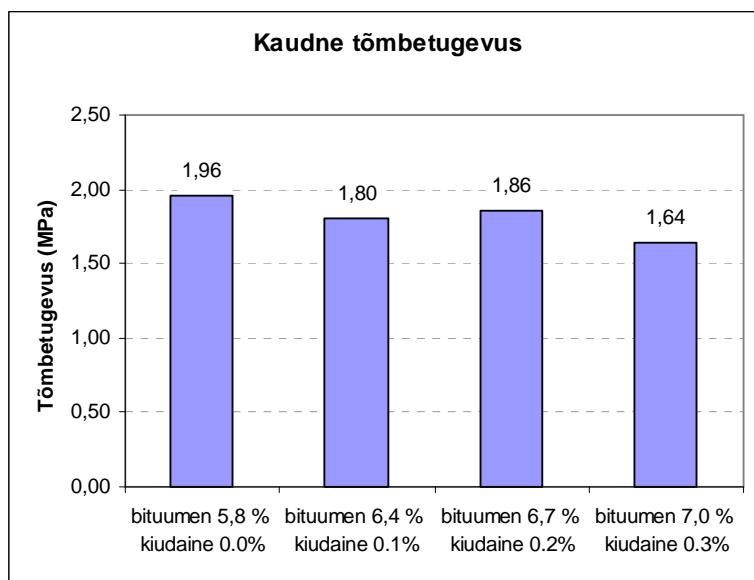
4.2.2. Kaudne tõmbetugevus

Murdumiskatse (kaudne tõmbetugevus) tehti kasutades poorsuskatseks valmistatud proovikehasid, millised valiti sedasi, et nende bituumenisisaldus oli optimaalseks valitud bituumenisisaldusele lähedaseim. Sel põhjusel oli katsekehade bituumenisisaldus veidi optimaalsest madalam, vahe 0,1-0,2 %-ühikut.

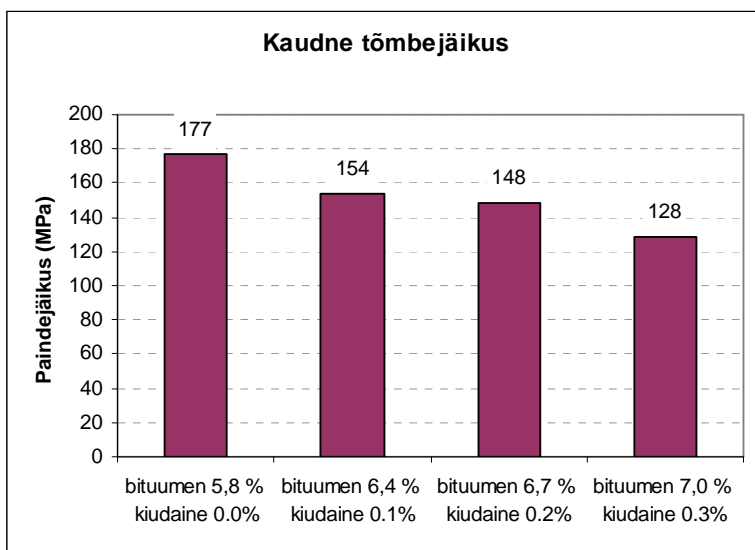
Asfaltbetooni murdumiskatse tulemuste keskvärtused on esitatud tabelis 3 ja graafikus 5. Katsetulemuste baasil arvutatud asfaltbetoonsegu jäikus on esitatud graafikus 6. Üksikute katsete tulemused on toodud lisas (P 6.7).

Tabel 3. Asfaltbetooni vastupidavus ja jäikus 11°C juures (EN-12697-23)

Bituumenisisaldus	Kiuisaldus	Vastupidavus	Jäikus
%	%	Mpa	Mpa
5,8	0,0	1,96	177
6,4	0,1	1,80	154
6,7	0,2	1,86	143
7,0	0,3	1,64	128



Graafik 5. Asfaltbetooni tõmbetugevuse sõltuvus koostisest (T=11°C)



Graafik 6. Asfaltbetooni tõmbejäikuse sõltuvus koostisest (T=11°C)

Kiudaine sisalduse tõus tõstab bituumenisisaldust, kuna kiud seob endaga bituument. Asfaltbetooni vastupidavus ja jäikus kahanevad kiu- ja bituumenisisalduse tõusuga.

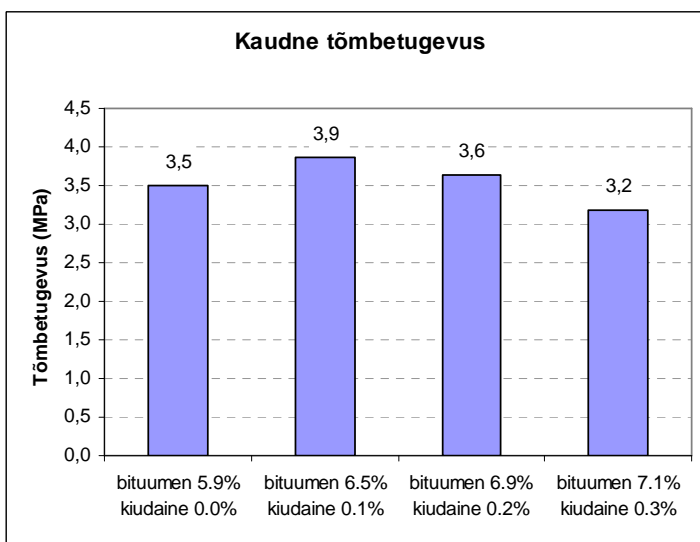
4.2.3. Külmakindlus

Külmakindluse tulemuste keskväärtused on esitatud tabelis 4 ja graafikutes 7 ning 8. Detailsemad katsetulemused on toodud lisa (P 6.9).

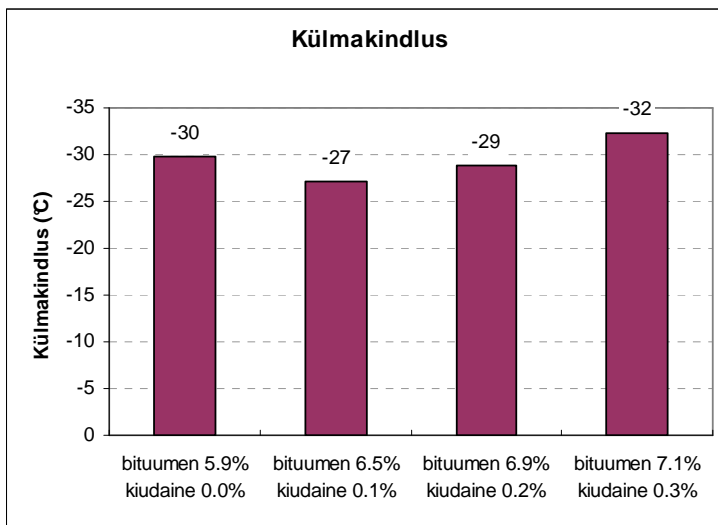
Külmakindluse määramine meetodil PANK-4302 tugineb silinderjate katsekehade murdekatsel -2°C juures. Sellele tuginedes arvutatakse asfaltbetooni külmakindlus.

Tabel 4. Asfaltbetooni külmakindlus (PANK-4302)

Bituumenisisaldus	Kiuisaldus	Kaudne tõmbetugevus -2°C juures	Külmakindlus
%	%	(MPa)	(C)
5,9	0,0	3,51	-29,8
6,5	0,1	3,87	-27,1
6,9	0,2	3,65	-28,8
7,1	0,3	3,18	-32,3



Graafik 7 Asfaltbetooni vastupidavus murdekatsel -2°C juures



Graafik 8 Asfaltbetooni külmakindlus (PANK-4302)

Kõigil uuritud TAB 12 segudel on hea külmakindlus. Soome Asfaldinormide (1995, hilisemas väljalaskes näitajat ei normeerita) külmakindlusnõuded Lõuna-Soomes paigaldatavale asfaldile PANK 4302 meetodil -2°C juures mõõdetuna vastavad jäikusele mitte üle 4,1 Mpa.

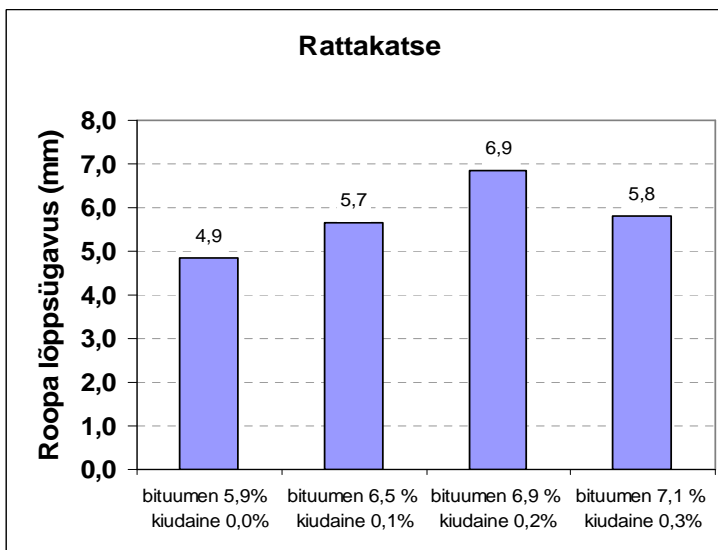
4.2.4. Deformatsioonikindlus rattakatses

Asfaltbetooni rattakatses saavutatud deformatsioonikindluse keskväärtused on esitatud tabelis 5 ja graafikus 9. Detailed katsetulemused on toodud lisas (P 6.8)

Tabel 5 – Asfaltbetoonimassi deformatsioon rattakatses (PANK-4205)

Bituumenisisaldus	Kiuisisaldus	Roopa algsügavus	Roopa lõppsügavus
%	%	(mm)	(mm)
5,8	0,0	2,3	4,9
6,4	0,1	2,8	5,7
6,7	0,2	3,7	6,9
7,0	0,3	2,8	5,8

Rattakatse roopa lõppsügavus on Soome Asfaldinormide (2000) alusel deformatsioonikindluse määramisel hindamiskriteeriumiks, roopa algsügavus on vaid soovitusliku tähtsusega.



Graafik 9. Roopa sügavus rattakatsel eri kiudainesisalduse juures.

Nii kiudainesisaldusega kui ilma selleta valmistatud asfaltbetoonsegust TAB-12 proovikehad täidavad Soome Asfaldinormide (2000) rattatestimeetodi kohased II deformatsiooniklassi nõuded (roopa lõppsügavus ei tohi ületada 8 mm). Enim deformeerub 0,2% kiudainesisaldusega asfaltbetoon.

Roopa alg sügavused olid uuritud koostistel suhteliselt suured võrreldes Asfaldinormide soovituslike väärtustega.

4.2.5. Marshall-stabiilsus ja voolavus

Asfaltbetooni Marshall-stabiilsuse ja voolavuse keskväärtused on esitatud tabelis 6 ja detailsemad katsetulemused lisas (6.10).

Marshall-katse käigus saavutati parim stabiilsus suurima kiudainesisalduse korral, segu madalaim tihendatavus ilma kiudainelisandita ja suurim tihendatavus 0,2% kiudainesisaldusel.

Tabel 6. Asfaltbetooni Marshall-katse tulemuste keskväärtused (PANK-4203)

Bituumenisisaldus	Kiusisaldus	Jäävpoorsus	Marshall-stabiilsus	Voolavus
%	%	%	(kN)	mm
5,8	0,0	3,9	8,1	4,3
6,4	0,1	3,2	8,1	4,6
6,7	0,2	3,0	8,1	4,8
7,0	0,3	3,4	6,9	4,5

Eesti Asfaldinormide 2002 (AL ST 1-02, tabel 2.c) kohaselt TAB-asfaltbetooni, mille bituumeni näitaja on vahemikus 70-100, Marshalli stabiilsus ei tohi olla alla 5,5 kN ning voolavus 1,5-4 mm. Kõik uuritud proovikehad täitsid stabiilsusnõuded, kuid ületasid voolavuse lubatud ülempiiri. Kiudainesisaldusega segudest valmistatud proovikehade voolavus oli suurem kui ilma kiudainelisandita segudel. Eesti Asfaldinormide tabel 2.d kohaselt täitis ilma kiulisandita segu nõuded teedele liiklusintensiivsusega KVL 1500-5000 sõidukit ööpäevas ning kiudainesisaldusega segu nõuded teedele mille liiklusintensiivsus ei ületa 1500 sõidukit ööpäevas.

Soomes ei ole kehtestatud Marshall-katse põhiseid stabiilsuse või voolavuse nõudeid avalikel teedel kasutatavatele asfaltbetoonisegudele.

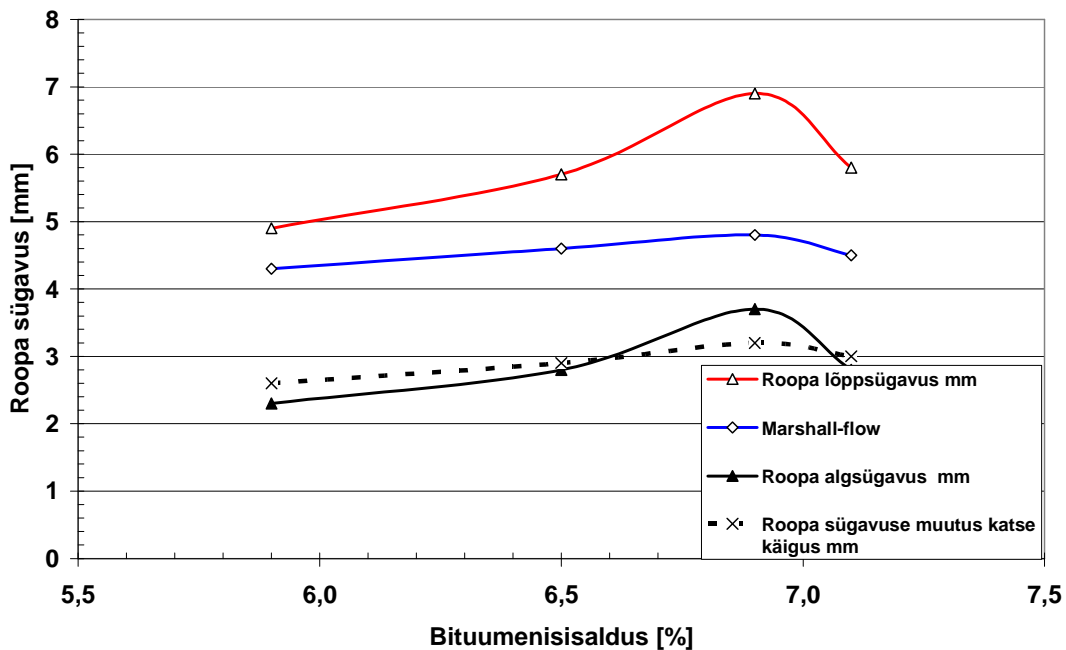
USA teedevalitsuse juhendi (T5040 27/1998) alusel 50 löögiga Marshalli meetodil tihendatud proovikehade kasutamisel keskmise raskusega liikluses nõutakse stabiilsust üle 3,3 kN ja voolavust vahemikus 2,0-4,6 mm ning tühikuisaldust 3-5%. Stabiilsuse ja tühikutesisalduse alusel täitsid kõik proovikehad USA nõuded, 0,2% kiusisalduse korral ületati kergelt lubatud voolavuspiir.

Tühimikesisalduse osalt täitsid kõik proovikehad Eesti Asfaldinormide 2002 tabeli 4.b kohased TAB-12-I vastavad tühimikesisalduse nõuded (2-4,5%).

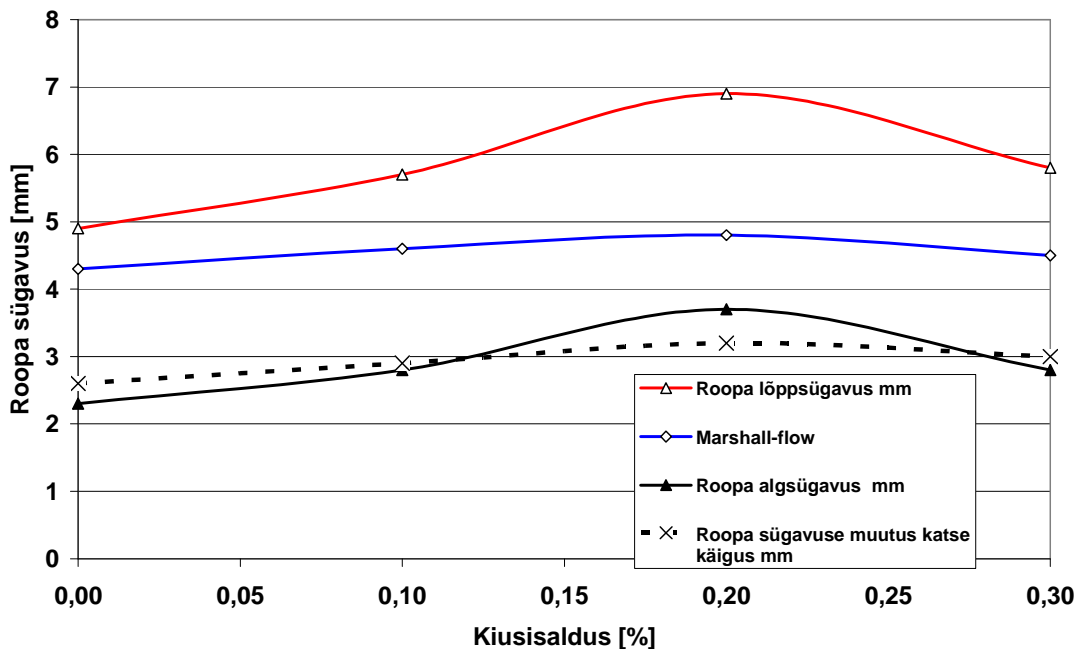
4.2.6. Rattakatse ja Marshalli katse tulemuste võrdlus

Nii rattakatse roopasügavus kui Marshalli katse voolavus mõõdavad mõlemad asfaltbetooni kujumuutust koormuse all. Mõlemal meetodil leiti suurimad kujumuutused 0,2% kiudainesisalduse korral. Kujumuutused 0,1% ja 0,3% korral olid samas suurusjärgus, nagu nähtub graafikutest 10 ja 11.

Käesoleva töö ulatus ei ole piisav absoluutseks hinnanguks rattakatse ja Marshalli katse järgi mõõdetud tulemuste sõltuvuse kohta, kuigi mõlemad meetodid andsid samasuunalised tulemused. Deformatsiooniomadusi mõjutab siiski enam bituumeni kõvadusklass ja asfaltbetoonisegu kivimaterjali koostis.



Graafik 10. Kujumuutuse sõltuvus bituumenisisaldusest rattatestil ja Marshalli testil.



Graafik 11. Kujumuutuse sõltuvus kiudainesisaldusest rattatestil ja Marshalli testil.

4.2.7. Kiu bituumenisidumisvõime (Dekka-katse)

Kiudaine omadust siduda bituumenit uuriti meetodil PANK-3101 (sidumiskatse, Dekka-katse). Meetodil kontrolliti valitud kolme kiudainesisaldusega asfaltbetoonisegu kiudaine ja bituumenisisalduse vastavust. Soomes SMA-segudel kasutatava tellulooskiu korral on bituumenikadu üldiselt vahemikus 0,08 – 0,15%.

Antud katse bituumenikadu 0,05-0,07 oli sellest veidi madalam, kuid see vahe võib tuleneda erinevast kiust ja massi koostisest. Dekka-katse tulemustest võib küll järeldada, et kiudainesisaldusega segu bituumenisisaldus ei ole liialt kõrge võrreldes valitud segude kiu ja filleri sisaldustega.

Tabel 7. Bituumenikadu Dekka-katses

Bituumenisisaldus	Kiusisaldus	Bituumenikadu
%	%	%
6,5	0,1	0,07
6,9	0,2	0,05
7,1	0,3	0,05

5. JÄRELDUSED

Uuringu käigus valmistatud lisandita TAB-12-I asfaltbetoonil oli hea Marshall-stabiilsus ja külmakindlus, samuti asfaltbetoonile tüüpiline deformatsioonikindlus.

Hiina polüesterkiu käitlemises asfaltbetooni valmistamisprotsessis ei olnud erilisi probleeme. Kiudaine lisamisega siiski ei saavutatud oluliselt paremaid deformatsioonikindluse, külmakindluse või Marshall-katse väärtuseid ja suurema kiudainelisandiga TAB-12 segude tulemused olid isegi halvemad, kui ilma kiulisandita valmistatud segudel.

Osaliselt tuleneb see asjaolust, et uuritud segud täitsid nimetatud nõuded ka ilma kiudainelisandita. Kiu lisamine toob endaga kaasa segu bituumenisisalduse tõusu, kuna kiud seob bituumenit. Sel viisil bituumenisisaldused kujunesid suhteliselt kõrgeks, mis kahandas segu deformatsioonikindluse omadusi.

Deformatsioonikindlust võiks tõenäoliselt tõsta muutes segu koostist drenasfaltbetooni suunas. Sel juhul võiks saada kiudaine kasutamisest ka kasu, kuna kiud lisab massi sitkust ja ilma kiudaineta valmistatud drenasfaldisegude külmakindlus on tavaliselt oluliselt nõrgem. Drenasfaltbetooni kasutamine vähendaks segu sideainekulutusi, kuid Eesti ja ka teiste põhjamaade tingimustes seni drenasfaltbetoonisegusid madala külmakindluse tõttu üldjuhul ei kasutata.

Saadud uurimistulemusi võiks täpsustada katselõikude rajamisega. Enne võimaliku katsetee rajamist tuleks laboratoorsel teel selgitada, kas kiviaine petrograafilise koostise muutmise saavutatakse selline segu koostis, millel oleks piisavalt avatud kõver hea deformatsioonikindluse saavutamiseks ja kus kiudaine ja seda siduva bituumenmastiksi abil parandataks avatuma segu sitkuse ja külmakindluse omadusi. Katsetee segud tuleks eelnevalt koostada ja uurida laboris, et saada võimalikust katseteest maksimaalset kasu.

Kui segu kulumiskindlusele esitatakse suuremaid nõudeid (naelrehvid), tasub kasutada tugevama kivimaterjali ja suurema terasuurusega materjali. Kui kivimaterjal tuuakse kaugelt ja transpordikulud on olulised, tasub eelnevalt testida kivimaterjali kvaliteeti ja kasutada kõrgkvaliteetset kivimaterjali.

5.1. Ekspert Mats Reihe arvamus VTT laboratoorsete katsete tulemustest

5.1.1. Hinnang uuringu tulemustele

Töö põhiliseks järelduseks on: Kiu kasutamisega ei saavutata oluliselt paremaid deformatsioonikindluse, külmakindluse ega Marshall-testi tulemusi. Kiudu sisaldavate TAB-12-I asfaltbetooniproovide tulemused olid nõrgemad, kui vastavate kiusisalduseta võrdlusproovikehade näitajad.

Teisiti öeldes, seda hiina kiudu ei tasu TAB-12-I asfaltbetoonisegudes üldse kasutada.

Tulemus on selge, kuna kiudu sisaldava segu maksumus kujuneb kõrgemaks, kui ilma kiusisalduseta segu. Segu hinda tõstab kiusisaldusest tulenev suurem bituumeni hulk. Kui kiudu kasutatamse 0,3%, siis tõuseb segu bituumenisaldus 1,2% ühikut (7,1-5,9=1,2), mis tõstab segu hinda umbes 10%.

5.1.2. Hinnang töö kvaliteedile

Laboratoorsed katsed ja uuringuaruanne on teostatud vastavalt lähteülesandele ja plaanidele. Töö kvaliteet on hea.

5.1.3. Järgmised sammud

Antud situatsioonis on kaks võimalust:

- 1) Jätkata laboratoorseid katseid
- 2) Lõpetada katsed

Kui soovitakse uurida kiu mõju teistele asfaltbetoonisegudele (KMA, PAB), oleks põhjendatud laboratoorsete katsete jätkamine. Kui puudub vajadus teiste segude uurimiseks, on otstarbekas antud teema laboriuuringute lõpetamine.

Kui jätkata uuringuid, võiks võrrelda hiina kiudainet saksa ja soome kiududega KMA-segus.

Isiklik prognoos on siiski pessimistlik. Ei usu, et uute katsetega saaks hiina kiuga piisavaid tulemusi KMA-segus, kuid ma võin selles ka eksida.

Omaette teemaks on katselõigu valmistamine. Käesoleva uuringu tulemuste põhjal ei ole mõistlik katselõigu tegemine, kuna hind tõuseb ja tulemused ei parane. Võimalik katselõik hiina kiudaine lisandiga KMA-segu kasutamisel võiks olla mõeldav. Kas KMA-segu käesoleval aastal on veel plaanis kasutada? Kui sellist katselõiku rajada, tuleks katsetee segude koostis eelnevalt laboris määratleda.

5.1.4. Võrdlus Hiina tulemustega.

Võrdlesin VTT katsete ja uuringu lähteülesandega lisatud Hiina katsetulemusi omavahel.

Leidsin järgmised erisused:

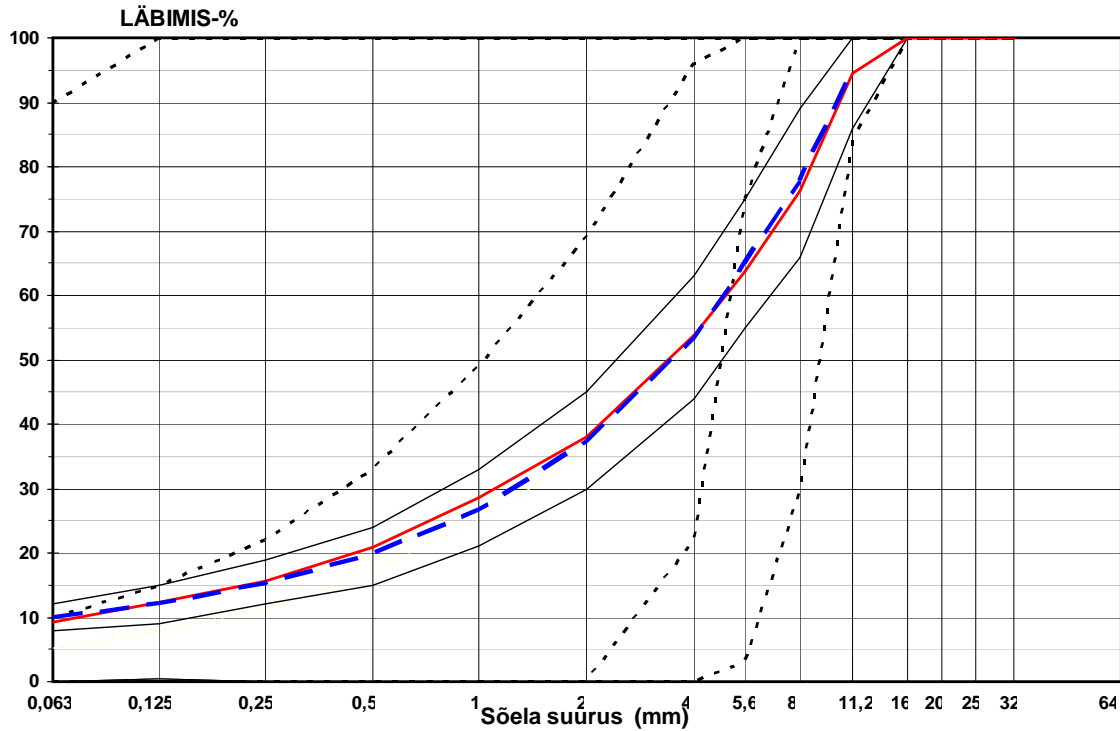
- VTT kasutas pehmemat bituumenit (70/100) kui hiinlased (65)
- VTT kasutas teistsugust kivimaterjali (Inkoo) kui Hiina (basalt)
- VTT kasutas enam fillerit (0,063 sõela läbis 9,2% segust kui Hiina (0,074 sõelas 6,4%)
- VTT segu oli tihedam (VMA 17-20 ja saturation ca 85%) kui Hiinas (VMA 14-15 ja saturation ca 75%)
- VTT sai väiksemad Marshalli väärtused (ca 8) kui Hiinas (ca 11)
- VTT sai suurema flow-väärtuse (ca 4,5) kui Hiinas (ca 3,5)
- VTT sai suurema maksimaalse deformatsiooni (5-7 mm) kui Hiinas (3-4 mm)

NB! Hiina tulemustes Marshalli väärtuse tõus kiu lisamisel tuleneb põhiliselt sellest, et bituumenisisaldus kasvas vaid 0,4 %-ühikut ($5,2 - 4,8 = 0,4$), kui vastav muutus VTT katsetes oli 1,2 %-ühikut ($7,1 - 5,9 = 1,2$).

Mats Reihe
Helsingis.
12.07.2007

6. LISAD (laboratoorsete katsete aruanded)

6.1. Kivimaterjali koostis

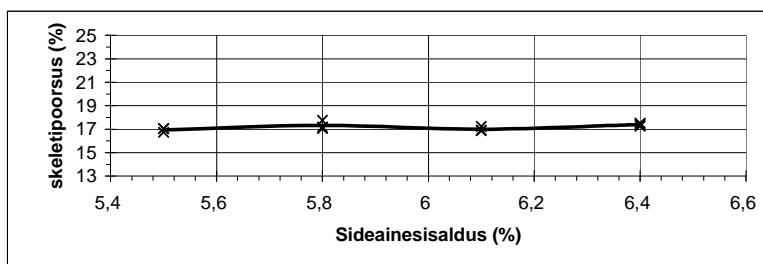
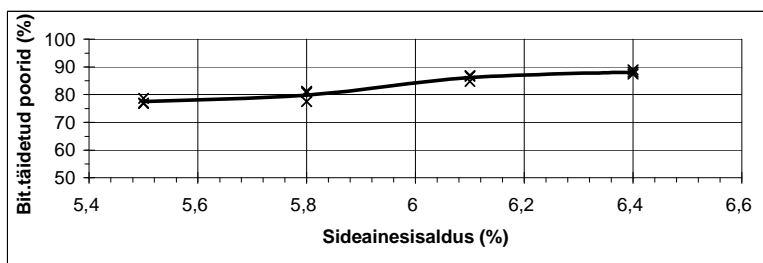
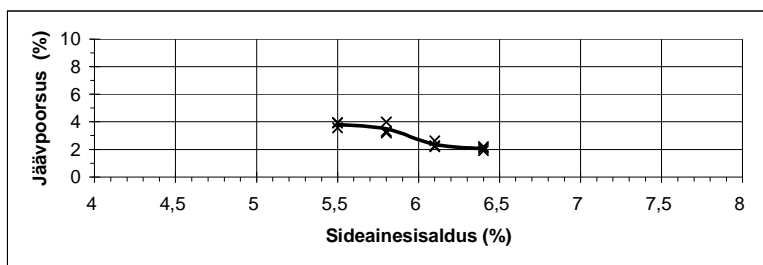


Sõel	Alapiir	Tihedused:		Osakaal:				
		Ülapiir	eesmärk	100,0 %	5,0 %	48,0 %	13,0 %	34,0 %
				%	filler	fr 0-4	fr 3-6	fr 6-12
0,063	8	12	10	9,2	90	9,8	0	0
0,125	9	15	12	12,2	100	15	0	0
0,25	12	19	15,1	15,6	100	22	0	0
0,5	15	24	19,7	20,8	100	33	0	0
1	21	33	26,7	28,5	100	49	0	0
2	30	45	37,4	38,1	100	69	0	0
4	44	63	53,5	53,9	100	96	22	0
5,6	55	75	65	63,8	100	100	75	3
8	66	89	77,9	76,2	100	100	100	30
11,2	86	100	95	94,6	100	100	100	84
16	100	100		100,0	100	100	100	100
20	100	100		100,0	100	100	100	100
25	100	100		100,0	100	100	100	100
32	100	100		100,0	100	100	100	100

6.2. Segu koostise optimeerimine (ilma kiudaineta)

Poorsuse arvestusala	Segu: AB12		Päev: 8.6.2007
	Sideaine: 70/100	1020 kg/m ³	Teostus: JJS
	Kivimaterjal: lnkoo	2774 kg/m ³	
Katsetee ilma kiudaineta	Filler: Kf	2700 kg/m ³	
Tihendusmeetod	Lisandid: Wetfix	0,4 %	

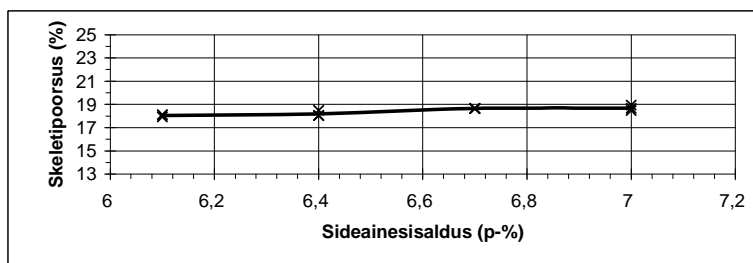
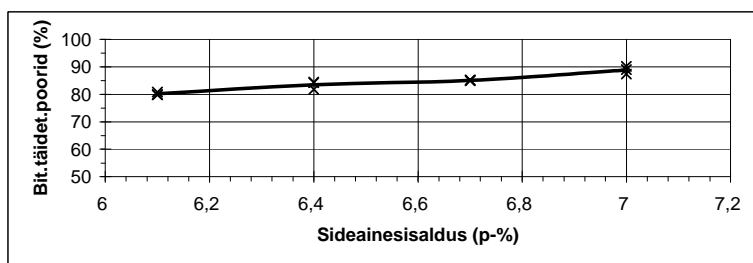
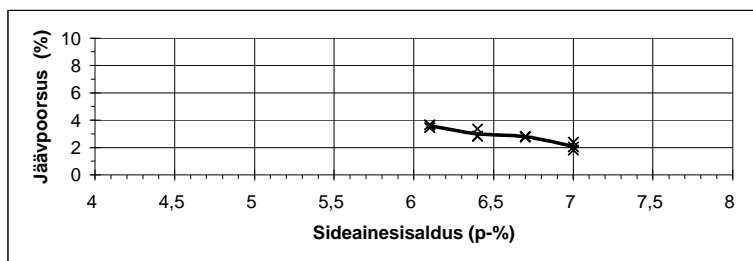
Nr	Segu	bituumen (%)	filler (%)	Teor. tih. (kg/m ³)	õhk (g)	vesi (g)	mass (g)	Tihedus (kg/m ³)	JP (%)	SKP (%)	BTP (%)	Keskväärtused		
												JP (%)	SKP (%)	BTP (%)
1	AB12	5,5	5	2531	4587,2	2700,2	4587,2	2431	4,0	17,1	76,8			
2	AB12	5,5	5	2531	4617,8	2718,8	4617,8	2432	3,9	17,0	77,0			
3	AB12	5,5	5	2531	4596,5	2713	4596,5	2440	3,6	16,7	78,6	3,8	16,9	77,5
4	AB12	5,8	5	2519	4628,2	2730,3	4628,2	2439	3,2	17,1	81,3			
5	AB12	5,8	5	2519	4631,5	2730	4631,5	2436	3,3	17,2	80,7			
6	AB12	5,8	5	2519	4640,5	2721,9	4640,5	2419	4,0	17,7	77,5	3,5	17,3	79,8
7	Ab12	6,1	5	2507	4640	2747,7	4640	2452	2,2	16,9	86,9			
8	AB12	6,1	5	2507	4642,2	2747,9	4642,2	2451	2,3	16,9	86,6			
9	AB12	6,1	5	2507	4664,8	2754,3	4664,8	2442	2,6	17,2	84,8	2,4	17,0	86,1
10	AB12	6,4	5	2496	4645,4	2744,8	4645,4	2444	2,1	17,4	88,1			
11	AB12	6,4	5	2496	4666,4	2760,3	4666,4	2448	1,9	17,3	88,9			
12	AB12	6,4	5	2496	4663	2752,6	4663	2441	2,2	17,5	87,4	2,1	17,4	88,2



6.3. Segu koostise optimeerimine (kuisisaldus 0,1%)

Seegu:	AB12		Päev: 20.6.2007
Sideaine:	70/100	1020 kg/m ³	Teostus: JJS
Kivimaterjal:	Inkoo	2774 kg/m ³	
Filler:	Kf	2700 kg/m ³	
Lisandid:	Wetfix	0,4 %	

Nr	Segu	bituumen (%)	filler (%)	Teor. tih. (kg/m ³)	õhk (g)	vesi (g)	mass (g)	Tihedus (kg/m ³)	JP (%)	SKP (%)	BTP (%)	Keskväärtused		
												JP (%)	SKP (%)	BTP (%)
1	AB12	6,1	5	2507	4620,4	2708,2	4620,4	2416	3,6	18,1	79,9			
2	AB12	6,1	5	2507	4642,4	2720,5	4642,4	2416	3,7	18,1	79,8			
3	AB12	6,1	5	2507	4663	2737,1	4663	2421	3,4	17,9	80,8	3,6	18,0	80,2
4	AB12	6,4	5	2496	4645,2	2719,1	4645,2	2412	3,4	18,5	81,8			
5	AB12	6,4	5	2496	4667,2	2742,9	4667,2	2425	2,8	18,0	84,4			
6	AB12	6,4	5	2496	4586,8	2695,2	4586,8	2425	2,8	18,1	84,2	3,0	18,2	83,5
7	Ab12	6,7	5	2484	4709,5	2758,9	4709,5	2414	2,8	18,7	84,9			
8	AB12	6,7	5	2484	4693,8	2750,8	4693,8	2416	2,8	18,6	85,2			
9	AB12	6,7	5	2484	4689,5	2747,5	4689,5	2415	2,8	18,7	85,0	2,8	18,7	85,0
10	AB12	7	5	2473	4701,5	2760,5	4701,5	2422	2,0	18,7	89,0			
11	AB12	7	5	2473	4642,4	2719,2	4642,4	2414	2,4	19,0	87,4			
12	AB12	7	5	2473	4695,3	2761,5	4695,3	2428	1,8	18,5	90,2	2,1	18,7	88,9

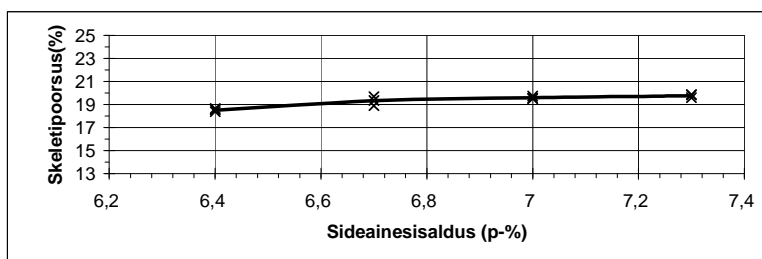
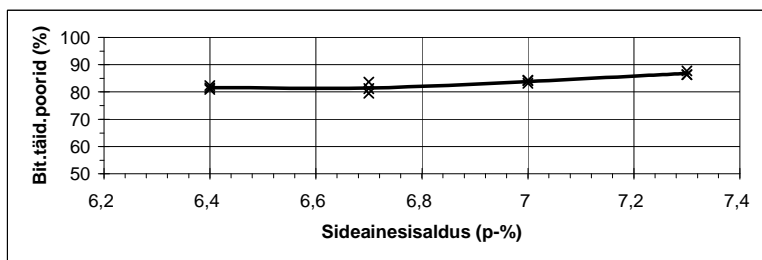
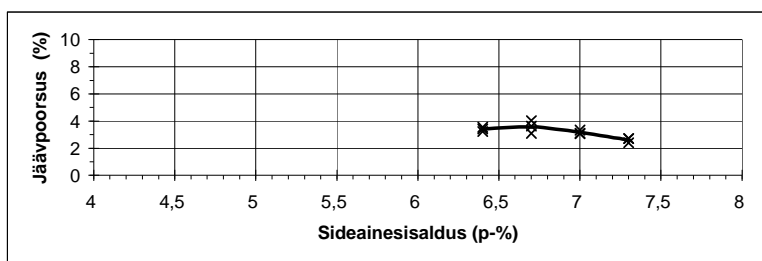


6.4. Segu koostise optimeerimine (kuisisaldus 0,2%)

Poorsuse	Segu:	AB12	
arvestusalus	Sideaine:	70/100	1020 kg/m ³
	Kivimaterjal:	Inkoo	2774 kg/m ³
Katset kiud 0,2	Filler:	Kf	2700 kg/m ³
Tihendusmeetod	Lisandid:	Wetfix	0,4 %

Päev: 19,6,2007
Teostus: JJS

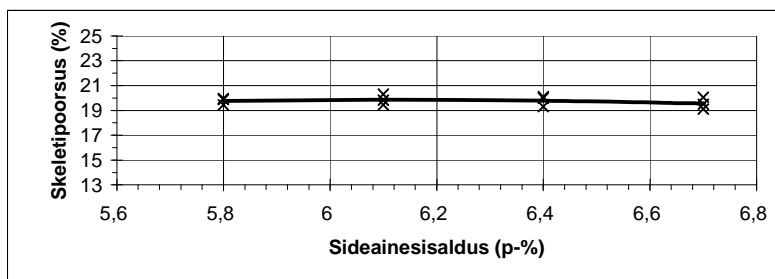
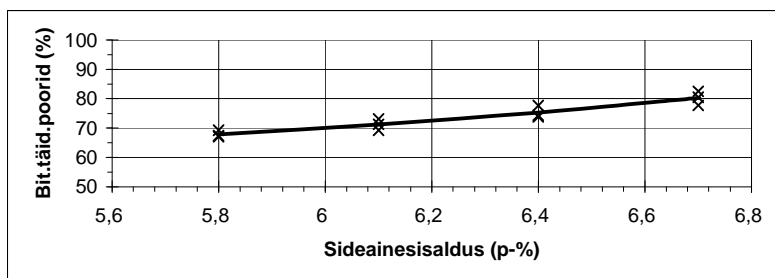
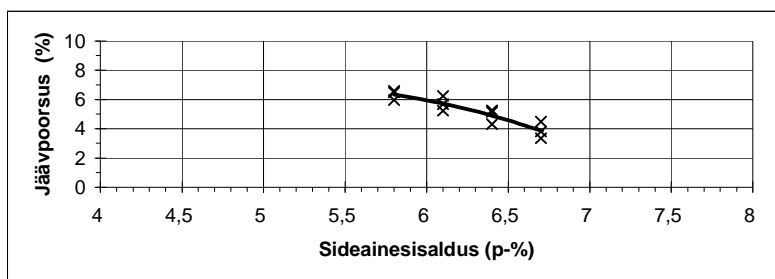
Nr	Segu	bituumen (%)	filler (%)	Teor. tih (kg/m ³)	õhk (g)	vesi (g)	mass (g)	Tihedus (kg/m ³)	JP (%)	SKP (%)	BTP (%)	Keskvaärtused		
												JP (%)	SKP (%)	BTP (%)
1	AB12	6,4	5	2496	4651,7	2719,5	4651,7	2407	3,5	18,6	81,0			
2	AB12	6,4	5	2496	4669,3	2735,8	4669,3	2415	3,2	18,4	82,4			
3	AB12	6,4	5	2496	4668,4	2731,7	4668,4	2410	3,4	18,5	81,6	3,4	18,5	81,7
4	AB12	6,7	5	2484	4686,5	2739,9	4686,5	2408	3,1	18,9	83,7			
5	AB12	6,7	5	2484	4674,9	2714,1	4674,9	2384	4,0	19,7	79,5			
6	AB12	6,7	5	2484	4682,8	2726,8	4682,8	2394	3,6	19,4	81,2	3,6	19,3	81,5
7	Ab12	7	5	2473	4703,1	2740,2	4703,1	2396	3,1	19,6	84,1			
8	AB12	7	5	2473	4705	2736,9	4705	2391	3,3	19,7	83,1			
9	AB12	7	5	2473	4704,3	2741,8	4704,3	2397	3,1	19,5	84,3	3,2	19,6	83,8
10	AB12	7,3	5	2462	4701	2744,3	4701	2403	2,4	19,6	87,8			
11	AB12	7,3	5	2462	4720,5	2749,5	4720,5	2395	2,7	19,8	86,4			
12	AB12	7,3	5	2462	4741,4	2761,7	4741,4	2395	2,7	19,8	86,4	2,6	19,8	86,8



6.5. Segu koostise optimeerimine (kiusisaldus 0,3%)

Poorsuse arvestusalus	Segu:	AB12	Päev:	12.6.2007
	Sideaine:	70/100	1020 kg/m ³	Teostus: JJS
Katseti kiud 0,3%	Kivimaterjal:	Inkoo	2774 kg/m ³	
Tihendusmeetod	Filler:	Kf	2700 kg/m ³	
	Lisandid:	Wetfix	0,4 %	

Nr	Segu	bituumen (%)	filler (%)	Teor. tih. (kg/m ³)	õhk (g)	vesi (g)	mass (g)	Tihedus (kg/m ³)	JP (%)	SKP (%)	BTP (%)	Keskväärtesed		
												JP (%)	SKP (%)	BTP (%)
13	AB12	5,8	5	2519	4637,3	2668,9	4637	2356	6,5	19,9	67,4			
14	AB12	5,8	5	2519	4656	2677,6	4656	2353	6,6	20,0	67,0			
15	AB12	5,8	5	2519	4655,9	2690,4	4656	2369	6,0	19,4	69,3	6,3	19,8	67,9
16	AB12	6,1	5	2507	4662,9	2679,5	4663	2351	6,2	20,3	69,3			
17	AB12	6,1	5	2507	4639	2686,8	4639	2376	5,2	19,4	73,1			
18	AB12	6,1	5	2507	4608,3	2659,5	4608	2365	5,7	19,8	71,3	5,7	19,9	71,2
19	Ab12	6,4	5	2496	4673,8	2697,3	4674	2365	5,3	20,1	73,8			
20	AB12	6,4	5	2496	4687,2	2724,5	4687	2388	4,3	19,3	77,6			
21	AB12	6,4	5	2496	4649,2	2685,4	4649	2367	5,1	20,0	74,3	4,9	19,8	75,3
22	AB12	6,7	5	2484	4720,6	2754,7	4721	2401	3,3	19,1	82,5			
23	AB12	6,7	5	2484	4705,3	2722,5	4705	2373	4,5	20,1	77,7			
24	AB12	6,7	5	2484	4703,8	2735,4	4704	2390	3,8	19,5	80,5	3,9	19,6	80,2



6.6. Segu koostise optimeerimine – jätk (kiudaine 0,3%)

Seegu:	AB12	
Sideaine:	70/100	1020 kg/m ³
Kivimaterjal:	Inkoo	2774 kg/m ³
Filler:	Kf	2700 kg/m ³
Lisandid:	Wetfix	0,4 %

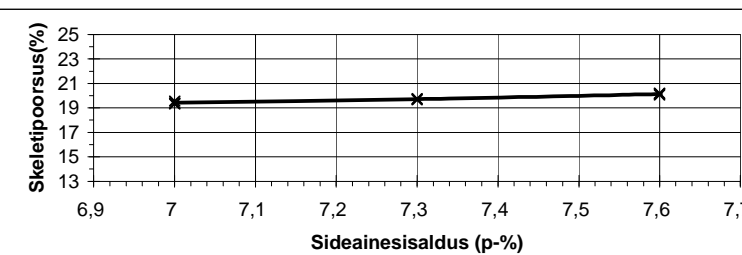
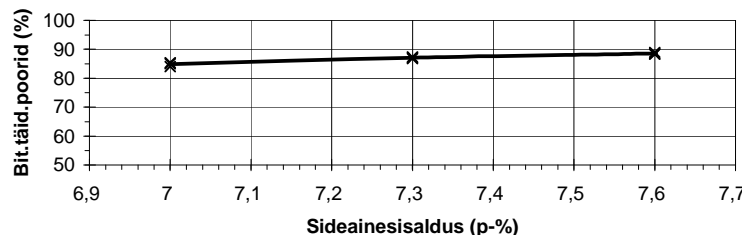
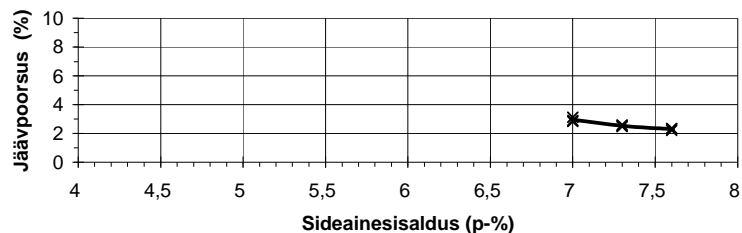
Päev: 15.6.2007

Teostus: JJS

Katset kiud 0,3% (jätk)

Tihendusmeetod

Nr	Segu	bituumen (%)	filler (%)	Teor. tih. (kg/m ³)	õhk (g)	vesi (g)	mass (g)	Tihedus (kg/m ³)	JP (%)	SKP (%)	BTP (%)	Keskväärtused		
												JP (%)	SKP (%)	BTP (%)
25	AB12	7	5	2473	4645,7	2710,9	4645,7	2401	2,9	19,4	85,0			
26	AB12	7	5	2473	4758	2777,8	4758	2403	2,8	19,3	85,3			
27	AB12	7	5	2473	4667,3	2719,2	4667,3	2396	3,1	19,6	84,1	3,0	19,4	84,8
28	AB12	7,3	5	2462	4706	2744,4	4706	2399	2,5	19,7	87,1			
29	AB12	7,3	5	2462	4704,9	2744,8	4704,9	2400	2,5	19,7	87,3			
30	AB12	7,3	5	2462	4737,9	2761,9	4737,9	2398	2,6	19,8	86,9	2,5	19,7	87,1
31	Ab12	7,6	5	2450	4746,3	2765,3	4746,3	2396	2,2	20,1	88,9			
32	AB12	7,6	5	2450	4691,3	2730,5	4691,3	2393	2,4	20,2	88,3			
33	AB12	7,6	5	2450	4712,9	2743,9	4712,9	2394	2,3	20,2	88,5	2,3	20,1	88,6



6.7. Kaudse tõmbetugevuse määramine

	Katsekeha	Kaudne tõmbetugevus (MPa)	Kaudne tõmbejäikus (MPa)
bituumen 5,8 % kiudaine 0.0%	4	1,95	172
	5	2,02	187
	6	1,91	173
	ka	1,96	177
bituumen 6,4 % kiudaine 0.1%	50	1,82	163
	51	1,79	152
	52	1,81	146
	ka	1,80	154
bituumen 6,7 % kiudaine 0.2%	38	1,86	145
	39	1,84	151
	40	1,87	148
	ka	1,86	148
bituumen 7,0 % kiudaine 0.3%	25	1,63	128
	26	1,71	134
	27	1,59	124
	ka	1,64	128

6.8. Proovikehade deformatsioonitendid (PANK-4205)

	Katse nr	Testipäev	Algsügavus (mm)	Lõppsügavus (mm)
bituumen 5,9% kiudaine 0,0%	1	21.06.2007	2,2	4,6
	2	26.06.2007	2,3	5,1
	ka		2,3	4,9
bituumen 6,5 % kiudaine 0,1%	5	11.07.2007	2,6	5,6
	6	9.07.2007	3,0	5,7
	ka		2,8	5,7
bituumen 6,9 % kiudaine 0,2%	7	6.07.2007	3,8	7,1
	8	10.07.2007	3,5	6,6
	ka		3,7	6,9
bituumen 7,1 % kiudaine 0,3%	3	27.06.2007	2,9	5,8
	4	28.06.2007	2,7	5,8
	ka		2,8	5,8

6.9. Proovikehade külmakindlus (PANK-4302)

	Katse nr	Kaudne tõmbetugevus (MPa)	Külmakindlus (°C)
bituumen 5.9% kiudaine 0.0%	1	3,37	-30,9
	2	3,38	-30,8
	3	3,45	-30,3
	4	3,63	-28,9
	5	3,71	-28,3
	ka	3,51	-29,8
bituumen 6.5% kiudaine 0.1%	6	3,77	-27,9
	7	3,76	-27,9
	8	3,79	-27,7
	9	4,20	-24,6
	10	3,81	-27,6
	ka	3,87	-27,1
bituumen 6.9% kiudaine 0.2%	11	3,36	-30,9
	12	3,31	-31,3
	13	3,21	-32,1
	14	4,24	-24,4
	15	4,11	-25,3
	ka	3,65	-28,8
bituumen 7.1% kiudaine 0.3%	16	3,01	-33,6
	17	2,67	-36,1
	18	3,46	-30,2
	19	3,26	-31,7
	20	3,48	-30,0
	ka	3,18	-32,3

6.10. Proovikehade Marshall-stabiilsus ja voolavus

Meetod SFS-EN 12697-34

Tihendusmeetod EN12697-30 järgi mõlemalt poolt 50 lööki

Katse	Bituumeni- sisaldus	Kiu- sisaldus	AB tihedus	Jääv- poorsus	Marshall- stabiilsus	Marshall- voolavus
nr	%	%	kg/m ³	%	kN	mm
1	5,9	0	2402	4,3	7,5	4,1
2			2418	3,7	8,7	4,1
3			2417	3,7	9,7	4,8
4			2403	4,3	7,4	4,1
5			2420	3,6	7,4	4,5
			2412	3,9	8,1	4,3
6	6,5	0,1	2399	3,6	7,4	4
7			2405	3,3	7,4	5,4
8			2404	3,4	8,7	4,4
9			2416	2,9	8,6	4,7
10			2420	2,7	8,7	4,4
			2409	3,2	8,1	4,6
11	6,9	0,2	2405	2,7	7,3	5
12			2403	2,8	7,9	4,7
13			2401	2,9	8,6	5,4
14			2400	3,5	7,6	4,7
15			2402	2,8	8,8	4,3
			2402	3	8,1	4,8
16	7,1	0,3	2398	2,7	7,8	5,1
19			2386	3,2	6,1	4,5
20			2379	3,5	6,9	5,4
21			2380	3,5	7,6	3,6
22			2366	4	6,1	3,9
			2382	3,4	6,9	4,5

Marshall-stabiilsus = survetugevus (survejõu maksimaalne väärtus)

Voolavus = survetugevusele vastav deformatsioon