



# TAL TECH

## LÕPPARUANNE

Kustutatud lubja ja tsemendi kasutamine asfaltsegudes I etapp

08.2024

## **Tellijad – Transpordiamet ja Tallinna Keskkonna- ja Kommunaalamet**

### **Aruande koostajad**

- **Karli Kontson**
- **Kristjan Lill**

### **Tallinna Tehnikaülikool**

Telefon: 620 2002

E-post: [info@taltech.ee](mailto:info@taltech.ee)

Ehitajate tee 5, 19086 Tallinn

# SISUKORD

Sissejuhatus .....	4
Fillerite mõju asfaltsegu omadustele .....	5
Praktika Põhja-Ameerikas ja Euroopas .....	7
Fillerite kasutamine lähiriikides .....	9
Katseplaani I osa - lähtematerjalid ja tulemused .....	11
Täitematerjalid .....	11
Fillerid .....	12
Lubjakivifillerid .....	12
Tsemendid .....	12
Kustutatud lubjad .....	13
Auvere filtrituhk .....	13
Fillerite tulemuste kokkuvõte .....	13
Bituumenid .....	15
Katseplaani II osa - segude retseptid ja tulemused .....	16
Asfaltsegude poorsusnäitajad .....	17
Veepüsivus .....	20
Deformatsioonikindlus .....	22
Tihendatavus .....	25
Fillerite ja segust eraldatud peenosiste mineraloogiline ja keemiline koostis .....	26
Eesti teekatete temperatuurid .....	33
Objektidelt võetud asfaltsegude deformatsioonikindluse analüüs .....	35
Liiva mõju asfaltsegu deformatsioonikindluse tulemusele .....	39
Kokkuvõte .....	41
Soovitused .....	42
Viidatud allikate loetelu .....	45

# SISSEJUHATUS

Eestis on kehtestatud nõuded asfaltsegude deformatsioonikindlusele, eesmärgiga vältida kergesti deformeeruvate segude kasutamist avalikel teedel. Siiani on deformatsioonikindluse katset teostatud laboris temperatuuril 50°C. Katsete tulemused on üldjuhul olnud korras ja probleemidele ei viita. Teeilmajaamade poolt mõõdetud teekatete temperatuuride andmed näitavad, et reaalsed teekatete temperatuurid tõusevad suvel kuni 60°C kraadini ning teedel on paiguti näha aina suuremaid ning kiiremini arenevaid deformatsiooniroopaid. Roobaste teke ja nende arengu kiirus mõjutab teede eluiga ning võib tingida vajaduse kihid lühema ajaperioodi jooksul taastada või välja vahetada. See omakorda ei toeta suuremaid eesmärke teehoiu keskkonnajalajälje vähendamise osas ning suurendab rahalisi kulutusi teede korrashoiule.

Käesoleva uuringu peamine eesmärk on võrrelda erinevate fillerite mõju kõrgetest teekatete temperatuuridest põhjustatud deformatsioonidele ning korrigeerida riiklikke nõudeid tellitavatele asfaltsegudele. Uuringuga võrreldakse tavapäraselt toodetud asfaltsegu omadusi nende asfaltsegudega, millesse on lisatud kustutatud lubja, tsementi ja Auvere esimese elektrivälja filtrituhka. Eelkõige keskendutakse rattarooma tulemustele erinevate kustutatud lubja, tsemendi ja Auvere tuha sisaldustele täitematerjalide massist. Uuringus võrreldakse rattarooma tulemusi katsetemperatuuride 50°C ja 60°C juures. Samuti teostatakse võrdlus asfaltsegudele rattarooma katsete tulemuste osas, kui kasutatakse erinevaid sideaine marke. Lisaks vaadeldakse, kuidas mõjutavad erinevad fillerid asfaltsegude vastupidavust niiskusele (veepüsivus) ja tihendatavusele.

# FILLERITE MÕJU ASFALTSEGU OMADUSTELE

Asfaltsegude koostises olev filler on peeneteraline mineraalne täitematerjal, mis pärineb täitematerjalidest (nn tolm) või toodetakse ja lisatakse seda spetsiaalselt asfaltsegudesse. Standardis EVS-EN 13043 on filleri määratluseks „täitematerjal, millest suurem osa läbib 0,063 mm sõela ja mida võib lisada ehitusmaterjalidele teatud omaduste saavutamiseks.“ Standardi mõistes on filleriks materjal, millest vähemalt 70% läbib 0,063 mm avaga sõela. Standardis EVS-EN 13043 on välja toodud kaks erinevat filleri liigitust – segatud filler ning lisand-filler. Esimene nendest sisaldab kaltsiumhüdroksiidi (kustutatud lupja). Lisand-filler on mineraalse päritoluga filler, mida spetsiaalseks otstarbeks eraldi toodetakse. [1]

Filleri funktsiooniks on asfaltsegu koostisesse doseeritud sideainega moodustada mastiks, mis annab asfaltsegudele soovitud jäikuse ja stabiilsuse ning aitab tagada asfaltsegude poorsusnäitajaid [2]. Üldiselt kasutatakse fillerina lubjakivifillerit, aga vahest ka kustutatud lupja või tsementi. Eesti rahvuslikus standardis EVS 901-3:2021 on öeldud, et kustutatud lupja või tsementi on lubatud kasutada erandjuhtudel [3]. Lubjakivifillereid kasutatakse nende suhteliselt odava hinna ja parema kättesaadavuse tõttu, kuid samas on erinevate uuringute ja kogemustega tõendatud, et kustutatud lubjal ja tsemendil on suurem positiivne mõju asfaltsegu vastupidavust mõjutavatele omadustele [2]. Allikas [2] on loetletud üles peamised asfaltsegude koostises kasutatavad fillerid, millega on olnud positiivsed kogemused:

- Kustutatud lubi;
- Tsement;
- Lubjakivifiller (kõrge kaltsiumkarbonaadi sisaldusega);
- Segatud filler (kõrge kaltsiumhüdroksiidi sisaldusega).

Kuigi tavaliselt eeldatakse, et filler käitub bituumenis inertse täitematerjalina, siis juba eelmise sajandi alguses teati, et filleri kasutamisega mõjutatakse bituumeni füüsikalisi ja keemilisi omadusi soovitud suunas [4], [5]. Lisaks mõjule bituumeni omadustele, mõjutab mastiksi omadus erinevad fillerite omadused, näiteks tera kuju, tera pinna tekstuur, terastikuline koostis ja terade suurus, eripind, tihedus.

Peamised omadused, mida kustutatud lubja ja tsemendi kasutamisega soovitakse parandada, on deformatsioonikindlus ehk vastupidavus jäävdeformatsioonidest põhjustatud pikiroobastele ning veepüsivus ehk vastupidavus niiskusest tingitud täitematerjali ja bituumeni vahelise nakke halvenemisele. Õigesti valitud filleritega saab parandada mastiksi ja täitematerjalide vahelise nakke teket, tugevust ja vastupidavust. Hea nakke tekkel mängib rolli asjaolu, et kõrge karbonaadisaldusega täitematerjalide nagu lubjakivifilleri katmine bituumeniga on lihtsam kui kõrge ränisisaldusega täitematerjalide. See on tingitud räni sisaldavate täitematerjalide kõrgest hüdroksüülrühmade sisaldusest kivimi pinnal, millel on hea afiinsus (külgetõmme) karboksüülhapete ja veega. Bituumenis sisalduvad karboksüülhapped moodustavad täitematerjali pinnaga küll nakke, kuid tekkinud nakke vastupidavus vees on nõrk (ei ole

püsiv). Seda saab suuremal ja vähemal määral parandada, kui segu koostises kasutatakse vastavalt kustutatud lubja, tsementi või lubjakivifillerit. [2], [6], [7], [8], [9]

### **Tsement**

Allikas [9] uuriti tsemendi kasutamise mõju asfaltsegu omadustele. Uuringuga leiti, et tsemendi kasutamine asfaltsegude koostises parandab segu deformatsioonikindlust ja vastupidavust niiskusele (veepüsivus). Samas leiti viidatud uuringus, et liiga kõrge tsemendi sisalduse korral mõjutab see asfaltsegu vastupidavust pärast pikaajalist vanandamist negatiivselt. Liiga kõrge tsemendi sisalduseks oli 50-50% tsemendi osakaal segu peenosiste hulgas. Sama uuringuga leiti, et liiga suure tsemendi osakaaluga segud muutuvad rabedaks, mistõttu on nende vastupidavus madalatel temperatuuridel pärast pikaajalist vanandamist nõrgem (vastupidavust pragude tekkele langeb). Allikas [10] käsitletud uuringu eesmärgiks oli välja selgitada tsemendi lisamise mõju asfaltsegude deformatsioonikindlusele 60°C juures. Uuringus kasutati tsemendi sisaldusi alates 0% kuni 6%. Uuringu tulemusena leiti, et kõrgematel tsemendi sisaldustel paraneb asfaltsegu deformatsioonikindlus. Allikas [11] võrreldi lubjakivifilleri ja tsemendi mõju bituumenifilleri mastiksitele. Fillerite sisaldus mastiksis oli 35% ja 65% massist. Uuringuga järeldati, et tsemendi mõju mastiksi jäikusele on suurem kui lubjakivifilleril. Lisaks järeldati, et tsemendiga mastiksiste vastupidavus korduvast koormamisest tekkivale väsimusele on parem, kui lubjakivifilleritega mastiksitel.

### **Kustutatud lubi**

Allikas [7] tuuakse välja, et kustutatud lubja kasutamine hoogustus Ameerika Ühendriikides 1970-ndatel aastatel, kui tekkisid probleemid asfaldist rajatud teekatete veepüsivusega ja pragunemisega madalatel temperatuuridel. Probleemid olid tingitud bituumeni kvaliteedi langusest turul ning kustutatud lubja kasutamisega saadi probleeme ennetada. Allikates [12], [13], [14], [15], [16] käsitletud tulemuste põhjal on allikas [7] tehtud kokkuvõtte, et kustutatud lubja kasutamisega saab potentsiaalselt:

- Parandab teekatte vastupidavust niiskusest tingitud defektidele;
- Parandab teekatte vastupidavust madalatel temperatuuridel tekkivatele pragudele;
- Aeglustab asfaltsegu koostises oleva bituumeni oksüdeerumist;
- Parandab asfaltsegu mehaanilisi omadusi (jäikus/elastsusmoodul, stabiilsus/deformatsioonikindlus, väsimus- ja pragunemiskindlus).

# PRAKTIKA PÕHJA-AMEERIKAS JA EUROOPAS

Allikas [7] tuuakse välja, et Põhja-Ameerikas kasutatakse kustutatud lubja 1 kuni 1,5% täitematerjalide kuivmassist. Lisaks väidetakse viidatud allikas, et kustutatud lubja kasutamisega saab tõsta asfaltkatte eluiga 2 kuni 10 aasta võrra, ehk 20-50% võrra. Euroopa Lubja Liit (EuLA – European Lime Association) on kaardistanud kustutatud lubja kasutamist Euroopas. Aruandes [12] on öeldud, et Euroopas kasutatakse kustutatud lubja oluliselt väiksemas mahus, kui Ameerika Ühendriikides. Kui Ameerika ühendriikides sisaldavad üle 10% toodetud asfaltsegudest kustutatud lubja, siis aruande koostamise hetkel oli Euroopas vaid üks riik (Holland), kus kustutatud lubja kasutamine oli üle 5% toodetud asfaltsegude hulgas. Teistes riikides jäi aruande publitseerimise hetkel kustutatud lubja kasutamine kuni ühe protsendini asfaltsegude tootmise mahust. Ülevaade riikide kasutamiskogemustest ja eesmärkidest on välja toodud tabelis 1.

*Tabel 1. Kustutatud lubja kasutamine Euroopas (Allikas [12])*

Riik	Kasutamise algus	Sisaldus	Eesmärk	Segud
<b>Austria</b>	2003	1,5-3%	Veepüsivus, deformatsioonikindlus	AC, SMA ja PA
<b>Belgia</b>	1980ndad	1,5%	Veepüsivus	SMA ja PA
<b>Tšehhi</b>	1996	1,5%	Veepüsivus, deformatsioonikindlus	AC ja PA
<b>Taani</b>	1990 keskel	1-1,5%	Veepüsivus	AC
<b>Soome</b>	Info puudub	1-2%	Veepüsivus, vananemine, muu	AC ja SMA ja külmsed
<b>Prantsusmaa</b>	Info puudub	1-1,5%	Veepüsivus, vananemine, muu	AC, PA ja külmsed, BBTM
<b>Saksamaa</b>	2000	1-3%	Veepüsivus, vananemine	AC ja SMA
<b>Ungari</b>	2009	2%	Veepüsivus, deformatsioonikindlus	AC
<b>Iirimaa</b>	2001	2%	Veepüsivus, vananemine, vastupidavus	
<b>Itaalia</b>	1990 keskel	1-2%	Veepüsivus	SMA, PA

Riik	Kasutamise algus	Sisaldus	Eesmärk	Segud
<b>Holland</b>	1990 keskel	2%	Veepüsivus, vananemine, vastupidavus	PA
<b>Poola</b>	1998	1-3%	Veepüsivus	AC
<b>Portugal</b>	2000 algusest	1-2%	Veepüsivus	PA
<b>Rumeenia</b>	2007	2%	Veepüsivus, deformatsioonikindlus	AC ja SMA
<b>Slovakkia</b>	2009	2%	Veepüsivus	
<b>Hispaania</b>	2004	1-2%	Veepüsivus	SMA
<b>Rootsi</b>	1998	1%	Veepüsivus, vananemine	AC
<b>Šveits</b>	2006	1,5%	Veepüsivus, vananemine, vastupidavus	AC, SMA ja PA
<b>Inglismaa</b>	2000 algus	1-2%	Veepüsivus	AC



# FILLERITE KASUTAMINE LÄHIRIIKIDES

## Rootsi

Rootsis käsitleb asfaltsegude koostist ja nõutavaid omadusi Rootsi Transpordiameti (Trafikverket) juhise „Bitumenbundna Lager“ (2020. a versioon 4.0). Juhises loetakse filleriteks lubjakivifiller, kustutatud lubi ja tsement. Lubjakivifillerit on kohustuslik kasutada vaid valuasfaldi koostises, kusjuures valuasfaldi peenosistest peab pool moodustama lubjakivifiller. Tegemist on sarnase nõudega, kui täna kehtivas Transpordiameti „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhises“. [17], [18]

Rootsis kasutatakse kustutatud lupja ja tsementi naket parandava lisandina asfaltsegu veepüsivuse tõstmiseks ja nõude tagamiseks. Nakkeparandajateks loetakse amiine, kustutatud lupja ja tsementi ning nende kasutamine on kohustuslik kõikides segudes. Otsest nõuet nende minimaalsele või maksimaalsele sisaldusele ette kirjutatud ei ole, kuid juhendis on öeldud, et asfaltsegud peavad täitma veepüsivuse nõude  $\geq 75\%$ . [17]

Siinkohal on oluline märkida, et Rootsis määratakse asfaltsegude veepüsivus lähtudes standardi EVS-EN 12697-12 põhimõtetest, kuid proovikehade konditsioneerimine on Eestis kasutatava 72 tunni asemel 7 päeva. Täiendavalt on meetodika kirjelduses täpsustatud proovikehade konditsioneerimist vaakumiga. [19]

## Norra

Sarnaselt Rootsile käsitleb Norras asfaltsegude koostist ja nõutavaid omadusi Norra Maanteeameti (Vegvesen) juhise „Vegbygging Handbok N200“ (2024. a versioon). Sarnaselt Rootsile loetakse kustutatud lupja ja tsementi naket parandavateks mineraalseteks lisanditeks. Kustutatud lubja ja tsemendi sisalduseks on piiritletud 1-2%. Eraldi on välja toodud, et mineraalsed lisandid on osaks asfaltsegu peenosistest, mistõttu tuleb nende kasutamisel korrigeerida ka segu projektset sõelkõverat. [20]

Nakkeparandajate efektiivsust ei kontrollita asfaltsegude veepüsivusega vaid rullpudeli katsemeetodiga (EVS-EN 12697-11). Nakke seisukohalt loetakse efektiivseteks neid lisandeid, millega saavutatakse referentsbituumeni ja -täitematerjaliga rullpudeli katsel tulemuseks  **$\geq 20\%$  pärast 72 tundi**. Katset teostatakse 160/220 penetratsioonimargiga bituumeniga (happearv  $3,5 \pm 0,5$  mg KOH/g) ning täitematerjaliga, mille rullpudeli nakke tulemus on ilma naket parandavate lisanditeta 0-5% pärast 24 tundi. [20]

## Läti

Lätis loetakse kustutatud lubi ja tsement naket parandavaks lisandiks. Sealjuures loetakse amiinid aktiivseteks nakkeparandajateks ning kustutatud lubi ja tsement passiivseteks nakkeparandajateks. Soovitav aktiivsete nakkeparandajate sisalduseks on 0,2 kuni 0,7% bituumeni massist. Passiivsete nakkeparandajate kohta on öeldud, et üldiselt on see 1% asfaltsegu massist. Kohustust ühtki eelistada ei ole, kuid asfaltsegudele on ette nähtud veepüsivuse nõuded, mis sõltuvad liiklussagedusest ja varieeruvad AC base, AC bin, AC surf ja SMA tüüpi segudel vahemikus 60 kuni 90%. [21]

Naket sideaine ja segu täitematerjalide vahel kontrollitakse ka standardi EVS-EN 12697-11 standardi põhimõtteid järgides, kuid omavahel on kombineeritud rullpudeli katset ja keetmismeetodit. Pärast bituumeniga kaetud täitematerjalide keetmist ei hinnata tulemust kvantitatiivselt nagu keetmismeetodi standardijärgne kirjeldus ette näeb, vaid visuaalselt sarnaselt rullpudeli katsemeetodiga. [21]

### **Soome**

Soomes käsitleb asfaltsegude ning nendes kasutatavate lähtematerjalide nõudeid PANK ry poolt koostatud juhise „Asfaltinormit 2023“. Viidatud dokumendis käsitletakse lubjakivifilleri, segatud filleri, tsemendi ja lendtuha kasutamist. Lubjakivifilleriteks loetakse fillereid, mille kaltsiumkarbonaadi sisaldus on üle 70% (EVS-EN 13043 järgi kategooria CC<sub>70</sub>). Segatud fillerites peab kaltsiumhüdroksiidi sisaldus vähemalt 10, 20 või 25%, ehk EVS-EN 13043 kategooriad vastavalt Ka10, Ka20 ja Ka25. Lendtuhas peab orgaanika sisaldus põletuskao meetodil jääma alla 7%. Juhis ei sea nõudeid eri tüüpi fillerite sisaldusele asfaltsegudes. Eraldi on käsitletud tsemendi kasutamist, lubades asfaltsegude koostises kasutada CEM I-III tsemente, et parandada katete vastupidavust ilmastikule (*säänkestavvyys*), mis ei ole veepüsivus (*vedenkestävyys*). Juhis annab võimaluse kontrollida ja tõendada asfaltsegude veepüsivust (*vedenkestävyys*) nii kattest puuritud proovikehade põhjal, segust või segus kasutatavatest lähtematerjalides laboratoorselt valmistatud drenasfaldile AA11 (PA11). Kattest võetud puurproovide või segu katsetamisel lähtutakse katsemeetodist EVS-EN 12697-12. Kattest puuritud proovikehade põhjal peab veepüsivuse näitaja ITSR olema vähemalt 75%, segust valmistatud proovikehadel peab ITSR olema vähemalt 80%. Segus kasutatavatest lähtematerjalidest laboratoorselt valmistatud drenasfaldi katsetamise korral peab ITSR olema 70%. [22]

# KATSEPLAANI I OSA - LÄHTEMATERJALID JA TULEMUSED

## TÄITEMATERJALID

Laboratoorselt valmistatavate asfaltsegu täitematerjalideks valiti Rudus AS-i poolt Eestisse imporditav **Inkoo tardskivikillustik**. Tegemist on Eestis ühe levinuima tardskivikillustikuga, mida kulumiskihtide asfaltsegude koostises kasutatakse. Varasemale kogemusele ja käesoleva uuringu raames tehtud katsete tulemustele tuginedes saab järeldada, et Inkoo materjal sobib kulumiskihtides kasutamiseks liiklussagedusteni kuni 12 000 autot ööpäevas. Suurematel liiklussagedustel piirab Inkoo materjali kasutamist nõuetest madalam vastupidavus naastrehvidest põhjustatud kulumisele. Uuringusse kaasati neli erinevat Inkoo täitematerjali fraktsiooni - 0/4; 2/6; 6/12 ja 10/20 mm.

Lisaks tardskivist täitematerjalidele kaasati uuringusse kaks kohalikku päritolu liiva – **Tammemäe** ja **Potsepa** karjääri liivad. Liiva kasutamine asfaltsegude koostises võib segude deformatsioonikindlusele mõjuda negatiivselt. Käesolevas uuringus kasutatakse liiva ainult **halva deformatsioonikindlusega** segude koostises. Segudes kasutamiseks osutus valik Potsepa liiva kasuks, kuna see on Tammemäe liivast peenema terakoostisega ning varasemast kogemusest on teada, et sellel liival on deformatsioonikindluse seisukohast negatiivne mõju.

Täitematerjalidele teostatud katsete tulemused ja terastikulised koostised on kirjeldatud tabelites 2 ja 3.

*Tabel 2. Täitematerjalide omadused*

Omadus	Meetod	Tammemäe	Potsepa	Inkoo 0/4	Inkoo 2/6	Inkoo 6/12	Inkoo 10/20
<b>Purunemis- kindlus LA</b>	EN 1097-2	-	-	-	21	18	18
<b>Külmakindlus F<sub>NaCl</sub></b>	EN 1367-6	-	-	-	-	0,2	-
<b>Plaatsustegur FI</b>	933-3	-	-	-	9	7	4
<b>MB<sub>f</sub></b>	933-9	-	-	1,3	-	-	-
<b>Näivtihedus ρ<sub>a</sub></b>	EN 1097-6	2,68	2,68	2,68	2,69	2,68	2,71
<b>Veeimavus</b>	EN 1097-6	0,1	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2

*Tabel 3. Uuringus kasutatud täitematerjalide terastikulised koostised*

Sõela ava mm	Tammemäe	Potsepa	Inkoo 0/4	Inkoo 2/6	Inkoo 6/12	Inkoo 10/20
<b>20</b>	-	-	-	-	-	100
<b>16</b>	-	-	-	-	100	78
<b>12,5</b>	100	-	-	100	94	24
<b>8</b>	99	-	100	97	33	5
<b>4</b>	98	-	92	21	4	3
<b>2</b>	96	100	59	5	2	2
<b>1</b>	86	99	36	3	2	2
<b>0,5</b>	61	92	24	2	1	2
<b>0,25</b>	14	32	16	2	1	2
<b>0,125</b>	2	3	11	2	1	1
<b>0,063</b>	0,9	1,5	7,5	1,2	0,9	1,1

## FILLERID

### LUBJAKIVIFILLERID

Uuringusse kaasati kaks kohalikku päritolu lubjakivifillerit – **Nordkalk Rakke** ja **KMG Vão** lubjakivifillerid. Pärast fillerite katsetamist langetati valik Nordkalk Rakke lubjakivifilleri kasuks, sest KMG Vão filleri katsetulemused viitasid deklareeritust hälbivale tootele (deklareeritust kõrgem eripind ja poorsus). Pärast tootjaga suhtlemist tagastati materjal tootjale ning Tootja poolt tehtud korduskatsetega tuvastati, et tegemist oli praakpartiiga.

### TSEMENDID

Uuringusse kaasati kaks EN 197-1 nõuetele vastavat CEM I tsementi – **Schwenk** ja **Heidelberg Materials (ehk KNC)**. Valik langetati CEM I tüüpi tsementide kasuks, sest tegemist on nn puhaste portlandtsementidega, mille koostises on vähemalt 95% ulatuses portlandtsemendi klinkrit. CEM II ja CEM III tsemendid võivad sisaldada varieeruvul määral teisi koostisosi.

Kahest tsemendist osutus valituks Schwenki tsement suurema eripinna ja poorsuse tõttu. Lisaks oli Schwenk CEM I tsement uuringu teostamise ajal Eesti turul KNC tootest ca 15-20€/t odavam.

## KUSTUTATUD LUBJAD

Uuringusse kaasati kahe erineva tootja kustutatud lubjad, mis vastavad standardile EN 459-1 – **Nordkalk** ja **Uninaks**. Pärast katsetamist osutus valik Nordkalki toote kasuks Uninaksi lubjast ca 100 m<sup>2</sup>/kg võrra suurema eripinna tõttu.

## AUVERE FILTRITUHK

Uuringusse kaasati Eesti Energia AS-i **Auvere esimese elektrivälja filtrituhk**. Uuringus katsetati tuhka ning tuhaga asfaltsegusid eesmärgiga saada hinnang tuha kasutatavuse osas asfaltsegude koostises EN 13043 lisandfillerina.

## FILLERITE TULEMUSTE KOKKUVÕTE

Kõikide uuringusse kaasatud fillerite omadused on kirjeldatud tabelis 4. Uuringusse kaasatud filleritest eristuvad suurte eripindade poolest kustutatud lubjad, mille eripinna tulemused on kordades suuremad lubjakivifilleritest, tsementidest ja Auvere tuhast. Ka KMG Vão lubjakivifilleril osutus eripinna tulemus suureks, kuid nagu eelpool selgitatud, oli tegemist praakpartiiga, mistõttu sellega asfaltsegusid ei valmistatud. Üldjuhul jäävad lubjakivifillerite eripinnad vahemikku 300-400 kg/m<sup>2</sup>. Auvere filtrituha eripind on oluliselt suurem, kui lubjakivifilleritel ning tsementidel.

**Rigdeni poorsuse seisukohast olid kõrgeimate tulemustega uuringusse kaasatud kustutatud lubjad ja Auvere tuhk.** Mida kõrgem on Rigdeni poorsus, seda jäigastavamalt efekti omab filler bituumenile. Seda seost kinnitavad ka pehmenemistäpi tõusu ( $\Delta R\&B$ ) tulemused tabelis 5.

Uuringusse kaasatud lubjakivifillerid ja tsemendid kuulusid EN 13043 tootestandardi alusel poorsuse järgi madalaimasse kategooriasse v<sub>28/38</sub>. **Rakke kustutatud lubi ning Auvere filtrituhk kuulusid kõrgeimasse kategooriasse v<sub>44/55</sub>.** Uninaksi kustutatud lubja poorsus (56%) ületab ühe ühiku võrra tootestandardi kõrgeima kategooria ülempiiri.

Tabel 4. Uuringusse kaasatud fillerite omadused ja terastikulised koostised.

Omadus	Meetod	Rakke lubjakivifiller	Väo lubjakivifiller	KNC CEM I tsement	Schwenk CEM I tsement	Rakke kustutatud lubi	Uninaks kustutatud lubi	Auvere filtrituhk
Eripind, m <sup>2</sup> /kg	EN 196-6	322	636	330	437	1450	1352	599
Tihedus ρ <sub>a</sub> Mg/m <sup>3</sup>	EN 1097-7	2,80	2,79	2,81	2,85	2,29	2,06	2,69
Rigdeni poorsus, %	EN 1097-4	24	35	28	34	55	56	52
<b>Terastikuline koostis (EN 933-10)</b>								
<b>Sõela läbindid, %</b>								
2 mm		100	100	100	100	100	100	100
0,125 mm		98	99	100	100	100	99	100
0,063 mm		86	94	98	100	90	96	96

Valituks osutunud filleritele teostati veel pehmenemistäpi tõus (EN 13179-1) ja nake rullpudeli meetodil koos filleriga (EN 12697-11). Pehmenemistäpi tõus ( $\Delta R\&B$ ) iseloomustab, kui palju standardse koguse filleri lisamisega tõuseb bituumeni (filleri ja bituumeni mastiksi) pehmenemistäpp. Mida kõrgem on pehmenemistäpi tõus, seda jäigastavamad efekti filler bituumenile omab. Pehmenemistäpi tõusu määramiseks kasutati Nynas 70/100 bituumenit, mille algne pehmenemistäpp oli 45,8°C.

Nake rullpudeli meetodil iseloomustab bituumeni ja täitematerjali vahelist naket. Nakkekatses tulemus iseloomustab täitematerjalide bituumeniga kaetust pärast 24 tunnist katse kestvust. Eestis kehtib nõue, et täitematerjali ja bituumeni nake peab rullpudeli katsel pärast 24 tunni möödumist olema vähemalt 50%. Nakke katsed teostati Nynas 70/100 bituumeni ja Inkoo tardsivikilustiku fraktsioonist 6/12 mm välja sõelutud fraktsioonile 8/11,2 mm. Lisamärkusena peab välja tooma, et katsestandard EN 12697-11 näeb enne bituumeni lisamist filleri lisamise. Käesolevas uuringus kasutati lähenemist, kus filler lisati enne täitematerjalidega segamist bituumenile, misjärel lisati fillerit ja bituumeni segu täitematerjalidele. Labori varasemast kogemusest on ilmnunud, et standardijärgne segamisprotsess ei anna tõepärast tulemust.

Fillerite mõju pehmenemistäpi tõusule ning bituumeni ja täitematerjali vahelisele nakkele on välja toodud tabelis 5. Tootestandardi EN 13043 kategooriate alusel liigituksid valituks osutunud lubjakivifiller ja tsement pehmenemistäpi tõusu alusel madalaimasse kategooriasse  $\Delta R\&B 8/16$ . Kustutatud lubi ja Auvere filtrituhk liigituks kõrgeimasse kategooriasse  $\Delta R\&B 25$ . Bituumeni ja täitematerjali nakke seisukohalt annavad valituks osutunud kustutatud lubi, tsement ning Auvere tuhk samaväärseid tulemusi, omades täitematerjali ja bituumeni naket parandavat mõju.

**Tabel 5. Valituks osutunud fillerite mõju bituumeni pehmenemistäpi tõusule ja nakkele täitematerjalidega.**

Omadus	Referents-proov	Rakke lubjakivi-filler	Rakke kustutatud lubi	Schwenk tsement	Auvere filtrituhk
<b>Pehmenemistäpi tõus (<math>\Delta R\&amp;B</math>), °C</b>	-	11	>25	14	>25
<b>Nake 24h</b>	10%	30	60	60	60

## BITUUMENID

Uuringusse kaasati Nynas 70/100 ja 160/220 penetratsioonimargiga teebituumenid, mis vastavad EN 12591 nõuetele.

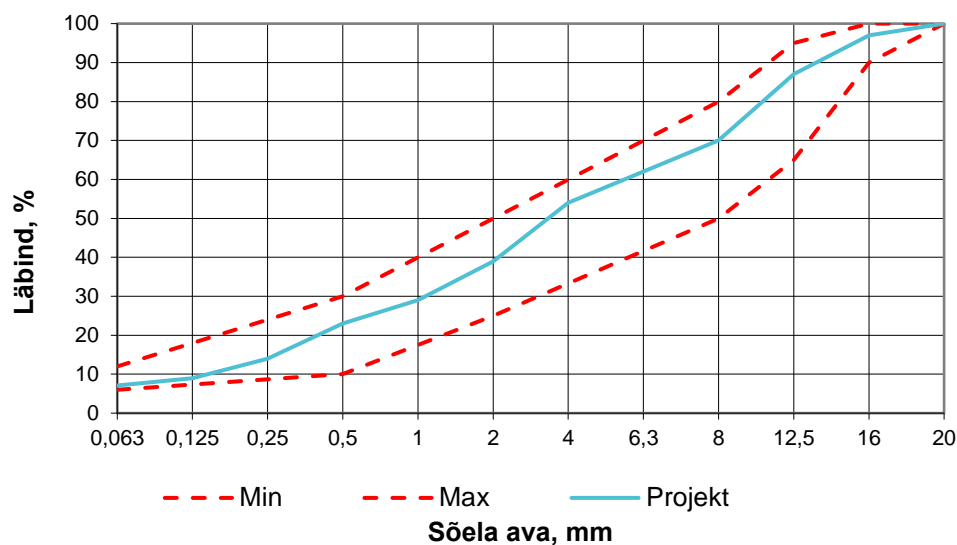
# KATSEPLAANI II OSA - SEGUDE RETSEPTID JA TULEMUSED

Uuringu jaoks valmistati erinevate tsemendi, kustutatud lubja ja Auvere tuha sisaldustega AC 16 surf 70/100 ja AC 16 surf 160/220 segud. Valituks osutunud lähtematerjalidest koostati kolm referentssegu retsepti – üks **halva ja teine hea deformatsioonikindlusega**. Halva deformatsioonikindlusega segu koostises kasutati 10% ulatuses Potsepa liiva. Halva ja hea deformatsiooniga referentssegude terastikulised koostised on näidatud joonistel 1 ja 2. **Käesolevas aruandes on halva (liivaga) ja hea deformatsioonikindlusega segud tähistatud vastavalt tähtedega A ja B.**

Segud valmistati laboratoorselt vastavalt standardile EN 12697-35. Segusid hoiti pärast segamist tund aega segamistemperatuuril labori ahjus, et teatud määral simuleerida bituumeni vananemist, mis toimuks segu transpordil asfalditehasest objektile.

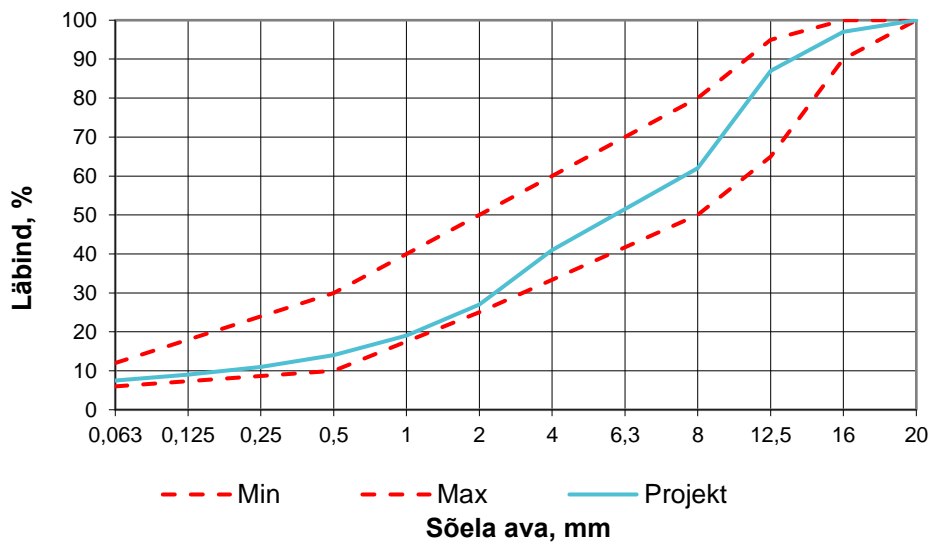
Laboratoorselt segatud segudele teostati alljärgnevad katsed:

- Sideaine sisaldus ja terastikuline koostis –EN 12697-1 ja EN 12697-2;
- Poorsusnäitajad – EN 12697-5, EN 12697-6 ja EN 12697-8;
- Veepüsivus pärast kahte nädalat vees hoiustamist – EN 12697-12;
- Deformatsioonikindlus PRD 50°C ja 60°C juures – EN 12697-22;
- Tihendatavus güratoriga – EN 12697-10 (jaotis 6.2);
- Segust eraldatud peenosiste keemiline ja mineraloogiline koostis XRF ja XRD meetoditega ning infrapunasppektrid ATR-FTIR meetodiga;
- Segust eraldatud sideaine penetratsioon ja pehmenemistäpp – EN 12697-3, 1426 ja EN 1427.



*Joonis 1. Halva deformatsioonikindlusega segu (segu A) referentssegu terastikuline koostis koos EVS 901-3 AC 16 surf sõelkõvera välja piiridega.*





*Joonis 2. Hea deformatsioonikindlusega (segu B) referentssegu terastikuline koostis koos EVS 901-3 AC 16 surf sõelkõvera välja piiridega.*

## ASFALTSEGUDE POORSUSNÄITAJAD

Laboratoorselt valmistatud segudele määrati alljärgnevad poorsusnäitajad:

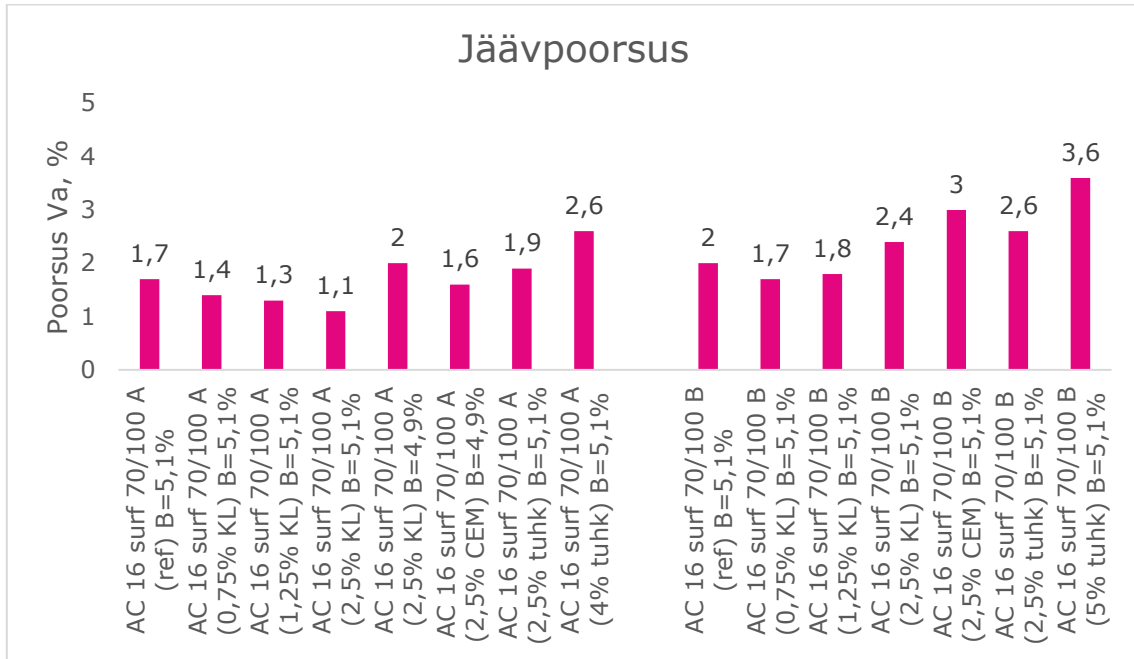
- jäävpoorsus ( $V_a$ );
- skeletipoorsus (VMA);
- bituumeniga täidetud pooride maht (VFB).

### Poorsusnäitajate tulemused on esitatud joonistel 3 kuni 8.

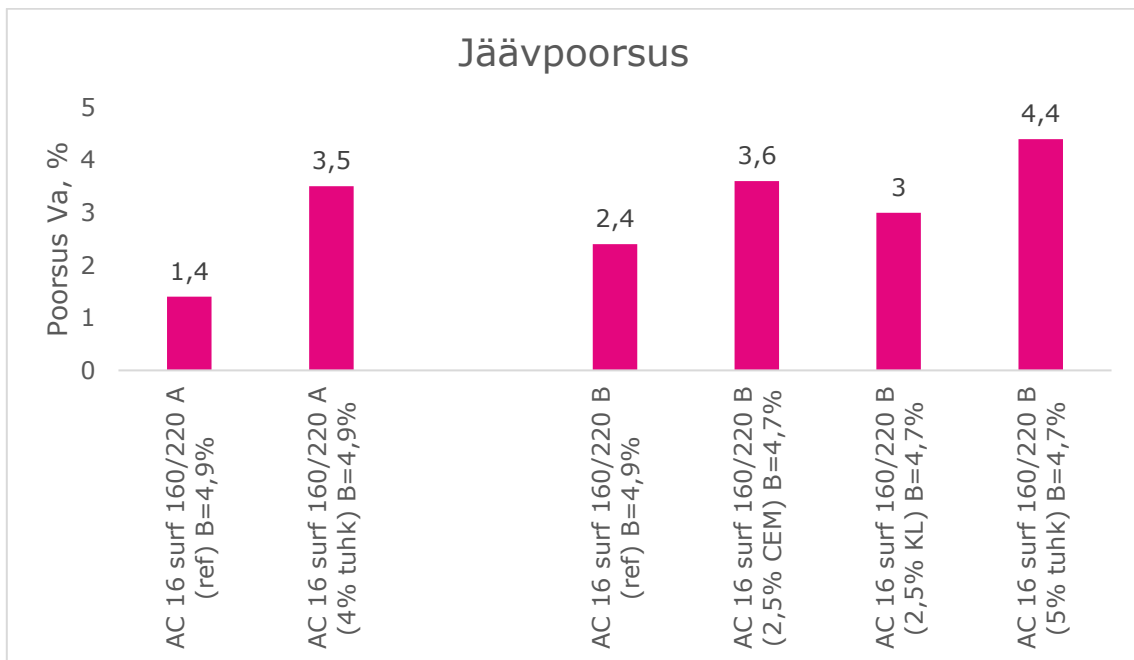
Poorsusnäitajad määrati katsestandardi EN 12697-8 järgi. Segu erimass katsetati vastavalt standardile EN 12697-5 ning segust valmistati proovikehad Marshalli lööktihendajaga 2x50 lööki vastavalt standardile EN 12697-30. Tihendatud proovikehadele määrati mahumass standardi EN 12697-6 järgi. VMA ja VFB arvutamisel võeti aluseks segust eraldatud katseline lahustuva sideaine sisaldus.

Kehva deformatsioonikindlusega ning 0,75 ja 1,25% kustutatud lubja sisaldusega segudel osutus probleemiks minimaalse poorsusnõude täitmine (1,5%). Auvere tuhaga segude poorsused olid nõuete piires.

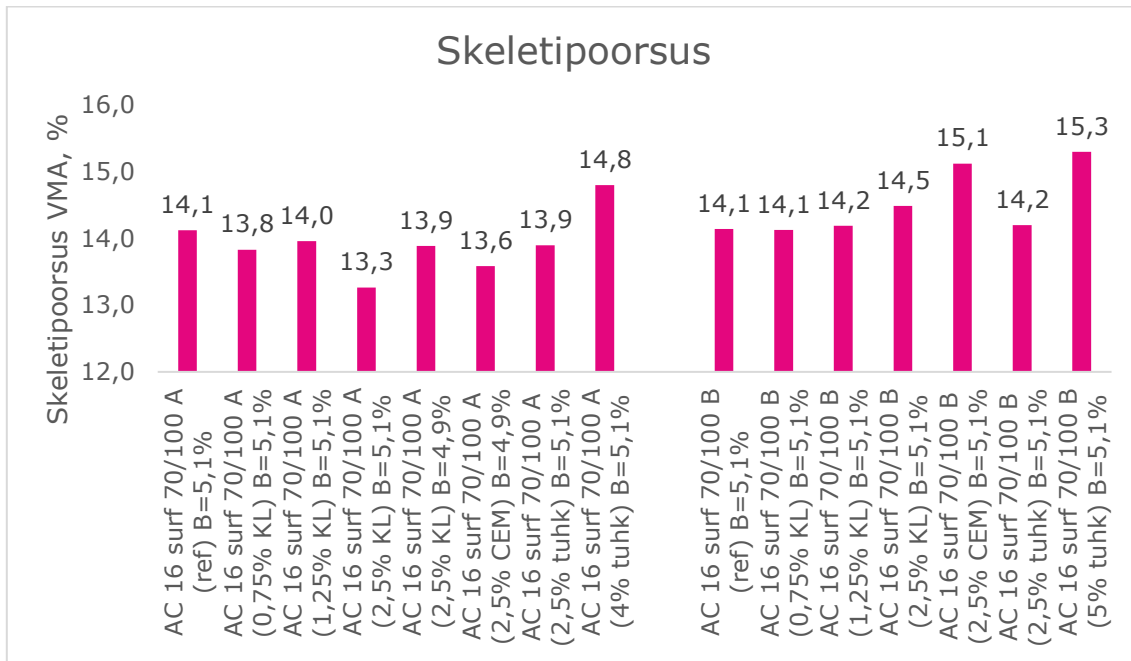
**Märkus** Segude algsete retseptide koostamisel lähtuti eeldusest, et kustutatud lubja või tsemendi lisamine muudab asfaltsegud raskemini tihendatavast, mistõttu eeldati, et tsemendi või lubja lisamisega kaasneb ka mõningane jäävpoorsuse kasv. Käesoleva uuringu käigus tehtud tihendatavuse katsete tulemustes ei leidu head seost tsemendi või kustutatud lubja sisalduse ja tihendatavuse vahel.



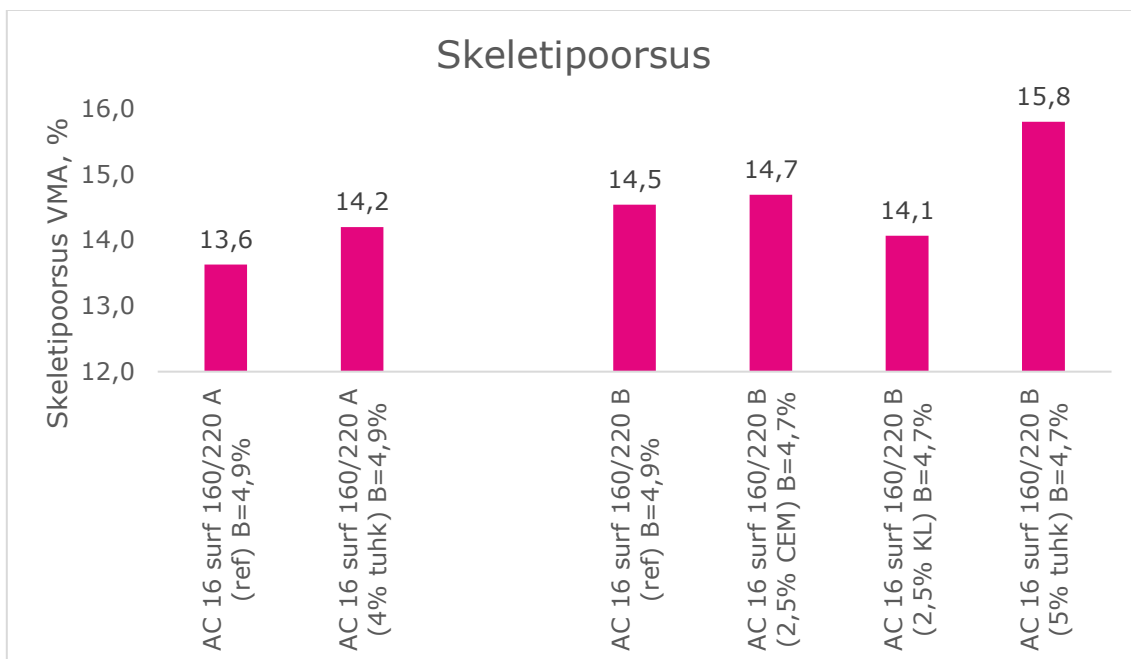
**Joonis 3. Erinevate filleritega AC 16 surf 70/100 segude jäävpoorsuste tulemused.**



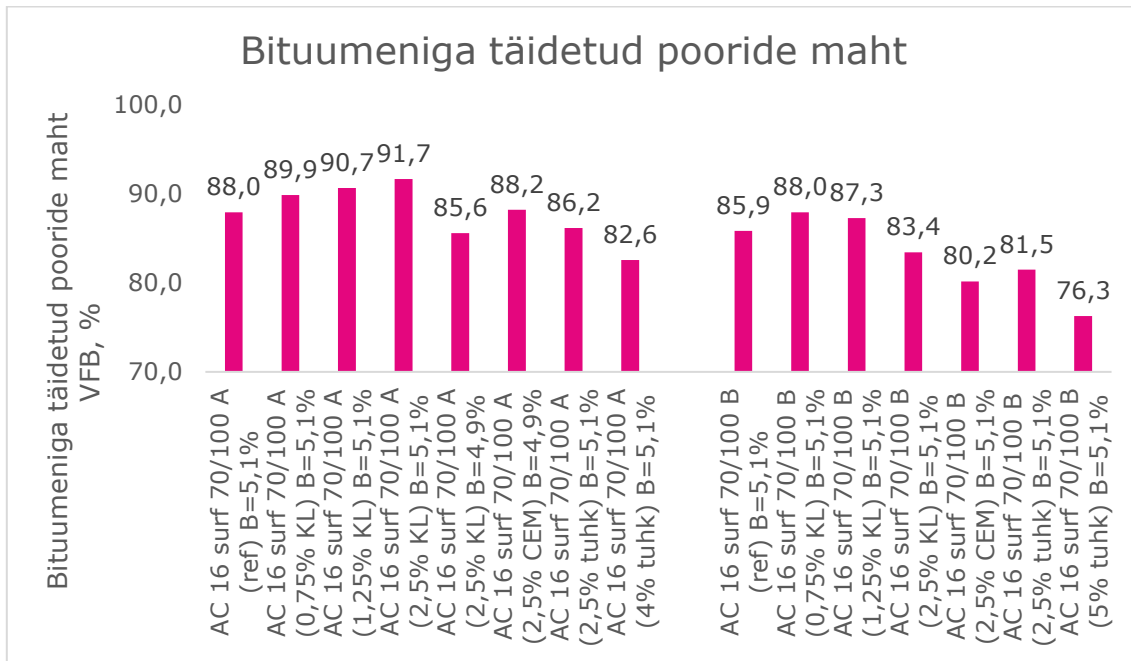
**Joonis 4. Erinevate filleritega AC 16 surf 160/220 segude jäävpoorsuste tulemused.**



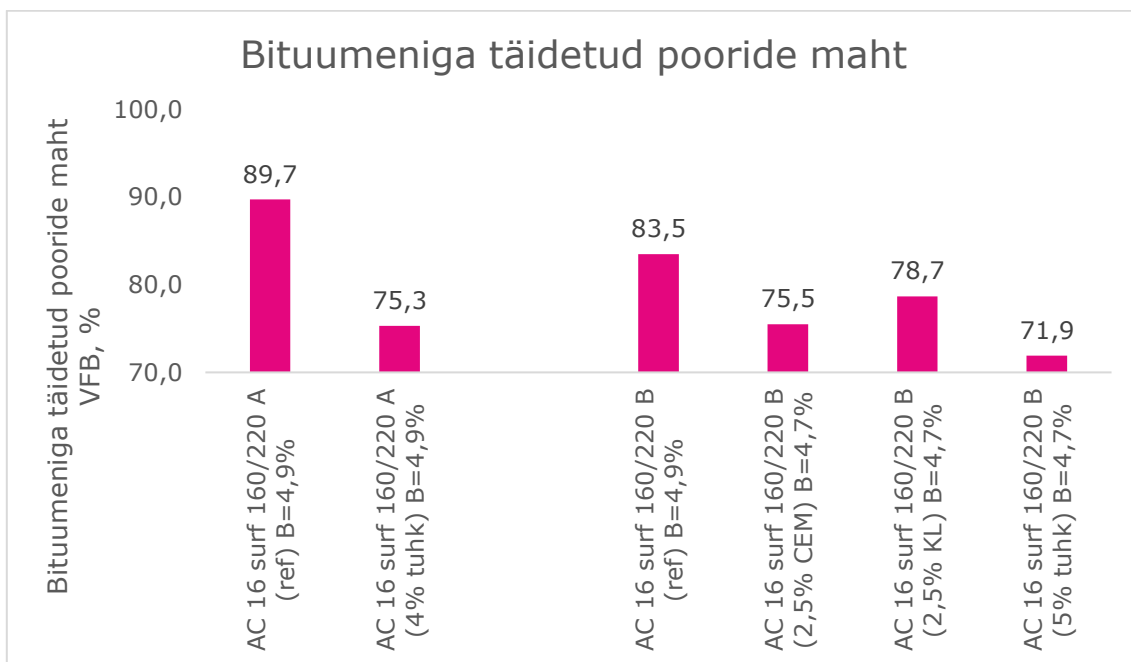
**Joonis 5. Erinevate filleritega AC 16 surf 70/100 segude skeletipoorsuste tulemused.**



**Joonis 6. Erinevate filleritega AC 16 surf 160/220 segude skeletipoorsuste tulemused.**



**Joonis 7. Erinevate filleritega AC 16 surf 70/100 segude bituumeniga täidetud pooride mahu tulemused.**



**Joonis 8. Erinevate filleritega AC 16 surf 160/220 segude bituumeniga täidetud pooride mahu tulemused.**

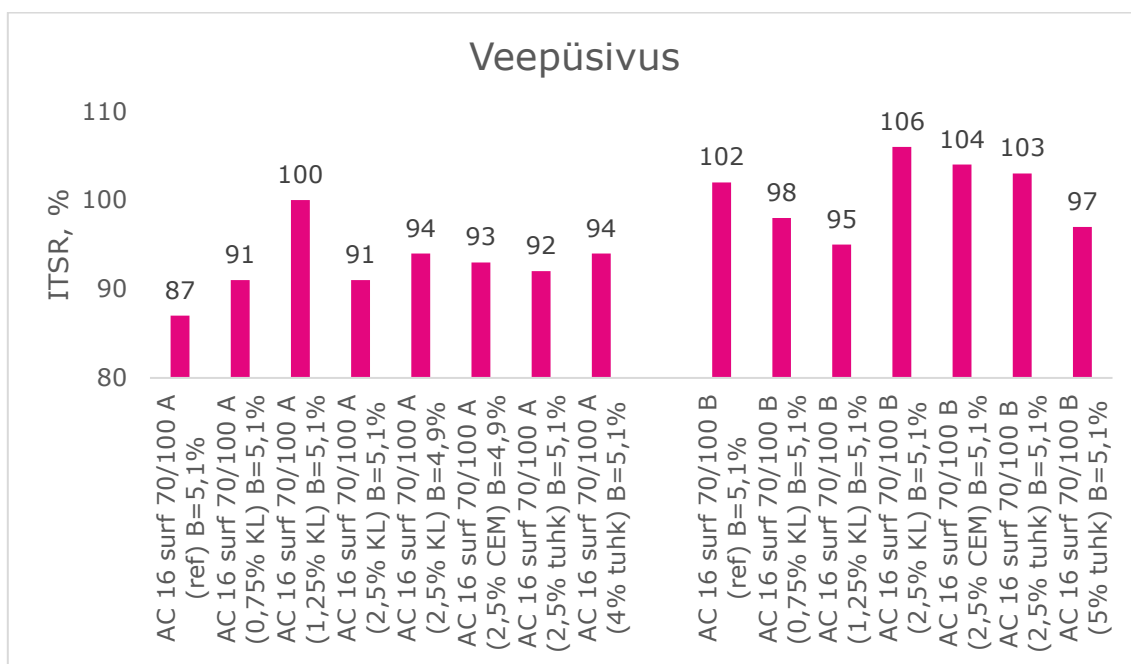
## VEEPÜSIVUS

Igale laboratoorselt valmistatud asfaltsegule määrati veepüsivus standardi EN 12697-12 järgi. Veepüsivuse katse eesmärgiks on kvantitatiivselt hinnata niiskuse mõju asfaltsegu vastupidavusele. Katse näeb ette kuivas hoiustatud (nn kuiva grupi proovikehad) ja vees

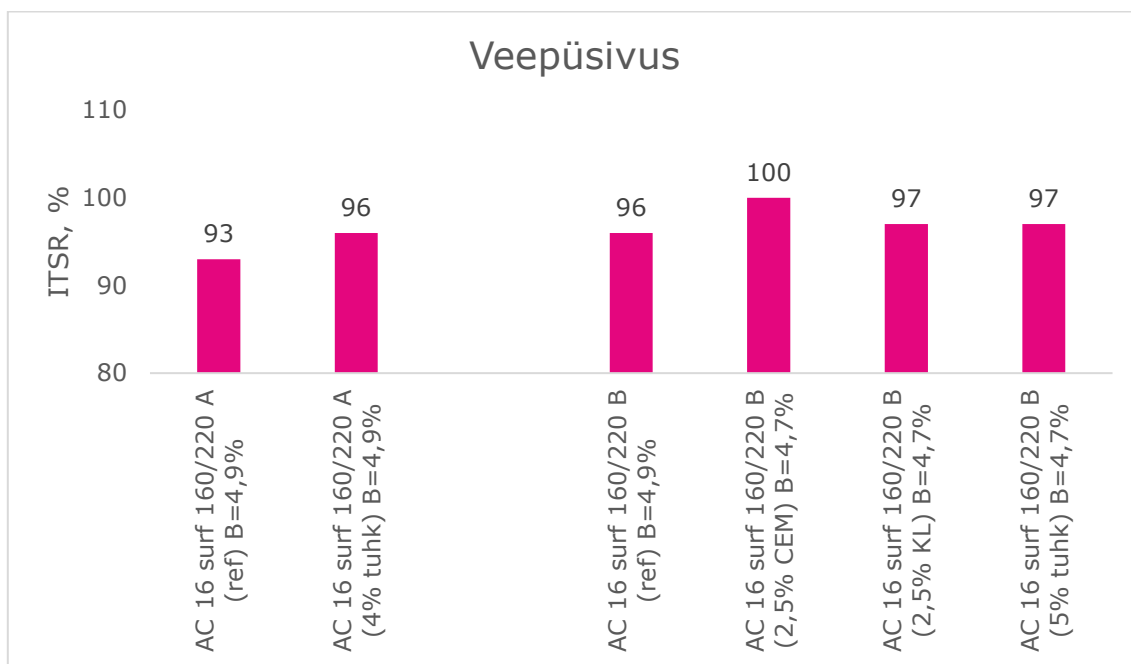
hoiustatud (nn märja grupi proovikehad) proovikehade lõhestustõmbetugevuse määramise. Kuiva ja märja grupi proovikehade keskmiste lõhestustõmbetugevuste suhe ITSR iseloomustab asfaltsegu vastupidavust niiskusele (veepüsivus).

**Tavapäraselt valmistatakse AC 16 surf segust proovikehad meetodi EN 12697-30 järgi Marshalli tambiga tihendusenergial 2×35 lööki. Antud uuringus valmistati proovikehad veepüsivuse määramiseks guraatortihendajaga vastavalt standardile EN 12697-31, et saavutada proovikehade poorsuseks 8%.** Selline poorsus iseloomustab kõrgeimat lubatavat kulumiskihi poorsust (kulumiskihi vuugid), mis on niiskusele kõige ligipääsetavamad teekatte kohad. Tihendamisel valiti pöörete arv konkreetsele segule lähtudes soovitud poorsusest 8%. **Valmistatud proovikehasid konditsioneeriti vees tavapärase 72 tunni asemel 2 nädalat (336 tundi).** Bituumenitega 70/100 ja 160/220 valmistatud asfaltsegude veepüsivuse ITSR tulemused on esitatud joonistel 9 ja 10.

EVS 901-3 sätestab AC surf tüüpi segudele veepüsivuse ITSR alampiiriks 90%. Antud uuringus ei täitnud seda piiri ära vaid üks referentssegu - AC 16 surf 70/100 A (ref). Tulemused on liiga varieeruvad, et nende põhjal järeldusi teha. Pigem viitab tulemuste varieeruvus veepüsivuse määramise meetodi suurele korduvusele ja korratavusele. **Tulemustest saab järeldada, et ükski uuringus segu koostisesse valituks osutunud filler ei mõjuta asfaltsegu veepüsivust negatiivselt. Samuti ei saa välja tuua, et ükski valitud filleritest parandaks veepüsivust märkimisväärselt rohkem, kui teised.**



**Joonis 9. Erinevate filleritega AC 16 surf 70/100 segude veepüsivuse tulemused.**



**Joonis 10. Erinevate filleritega AC 16 surf 160/220 segude veepüsivuse tulemused.**

## DEFORMATSIOONIKINDLUS

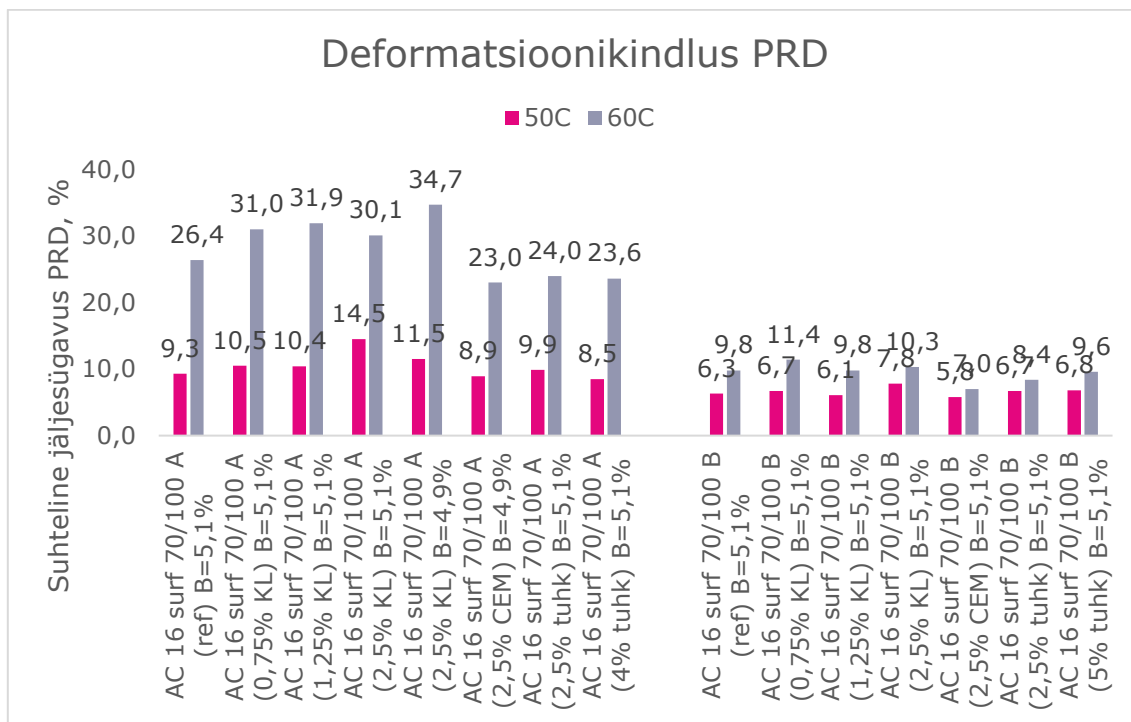
Laboratoorselt valmistatud asfaltsegude deformatsioonikindluse PRD (suhteline roopasügavus) ja WTS (roopasügavuse juurdekasv) omadused määrati standardi EN 12697-22 järgi (väike seade, õhus). Proovikehad valmistati vastavalt standardile EN 12697-33. Deformatsioonikindlus määrati nii 50 kui ka 60°C juures.

*Tüübikatsetuste standard EN 13108-20 näeb ette kolm temperatuuri, mille juures asfaltsegude deformatsioonikindlust võib määrata – 45, 50 ja 60°C. Eestis langetati 2009. aastal valik 50°C kasuks. Peamine põhjendus temperatuuri valikul oli asjaolu, et Teede Tehnokeskuse AS laboris katsetatud 98 asfaltsegu deformatsioonikindluse katse tulemused ei rahuldanud tootestandardis kirjeldatud kategooriate piirväärtusi. Viidatud uuringu põhjal tegi EVS 901 standardiseeria koostamise töörühm ettepaneku valida katse teostamise temperatuuriks 50°C ning analüüsida saadud tulemusi hiljem. Rahvusliku standardiga EVS 901-3:2009 muutus deformatsioonikindluse PRD ja WTS parameetrid toimivusdeklaratsioonil deklareeritavateks omadusteks.*

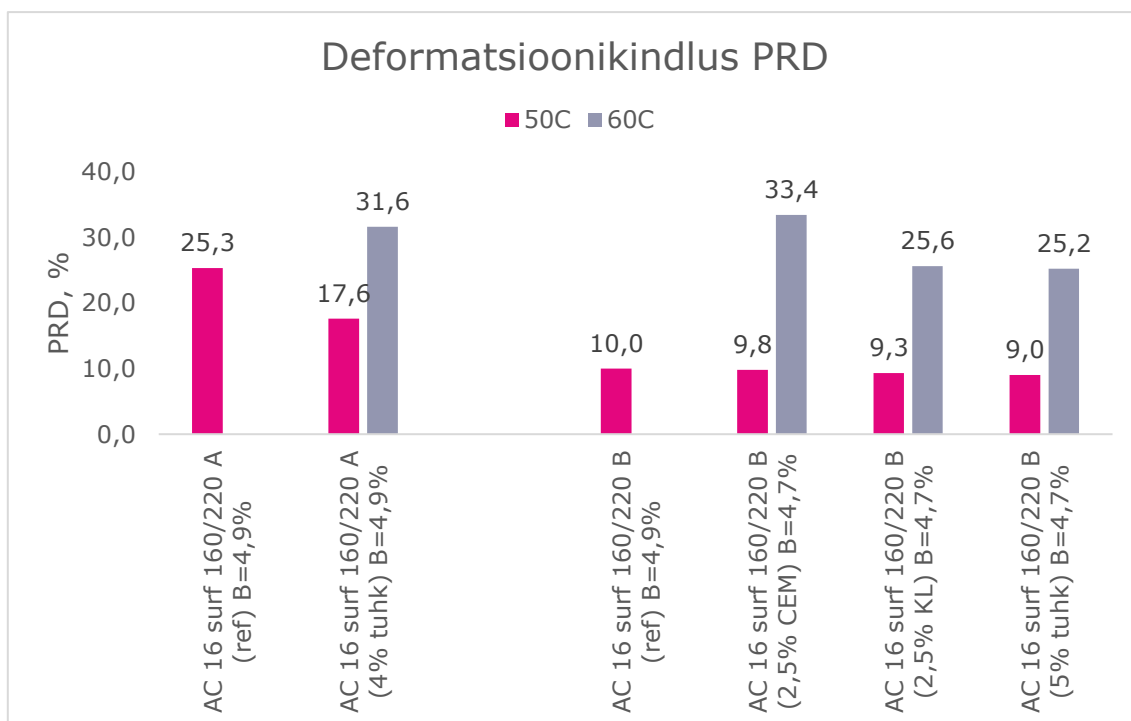
Käesoleva uuringu esimeses etapis koostatud seguretseptide eesmärgiks oli tagada hea ja halva deformatsioonikindlusega segude koostised ning see eesmärk sai ka täidetud. Eriti hästi tuleb segude omavaheline tulemuste erinevus välja 60°C juures. Kõige paremad deformatsioonikindluse tulemused saadi nende segudega, mille koostises kustutatud lupja, tsementi või Auvere tuhka. Samas ei eksisteeri selget seost kustutatud lubja sisalduse ja deformatsioonikindlust iseloomustavate parameetrite vahel.

Deformatsioonikindlust iseloomustava suhtelise jäljesügavuse PRD tulemused on esitatud joonisel 11 ja 12. Joonisel 12 kirjeldatud kahele referentssegule ei saanud

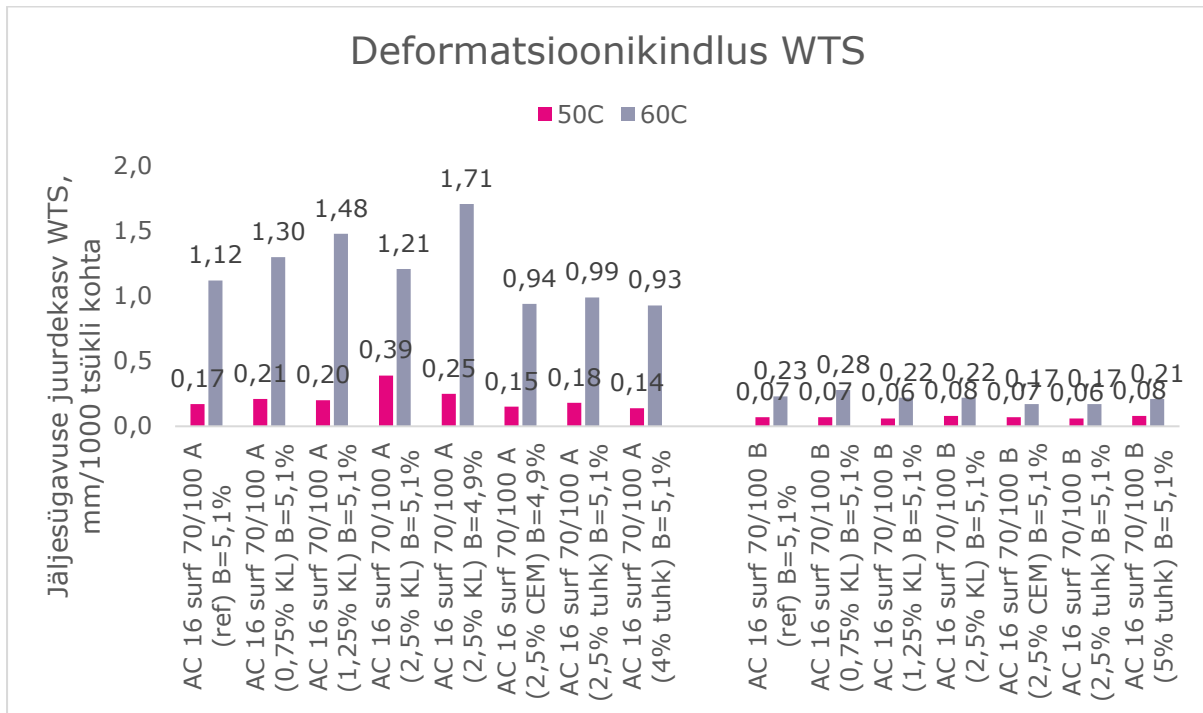
deformatsioonikindlust 60°C juures määrata, sest katse käigus vajusid seadme rattad läbi proovikehad rohkem, kui katse ülempiir ette näeb (s.o 20 mm).



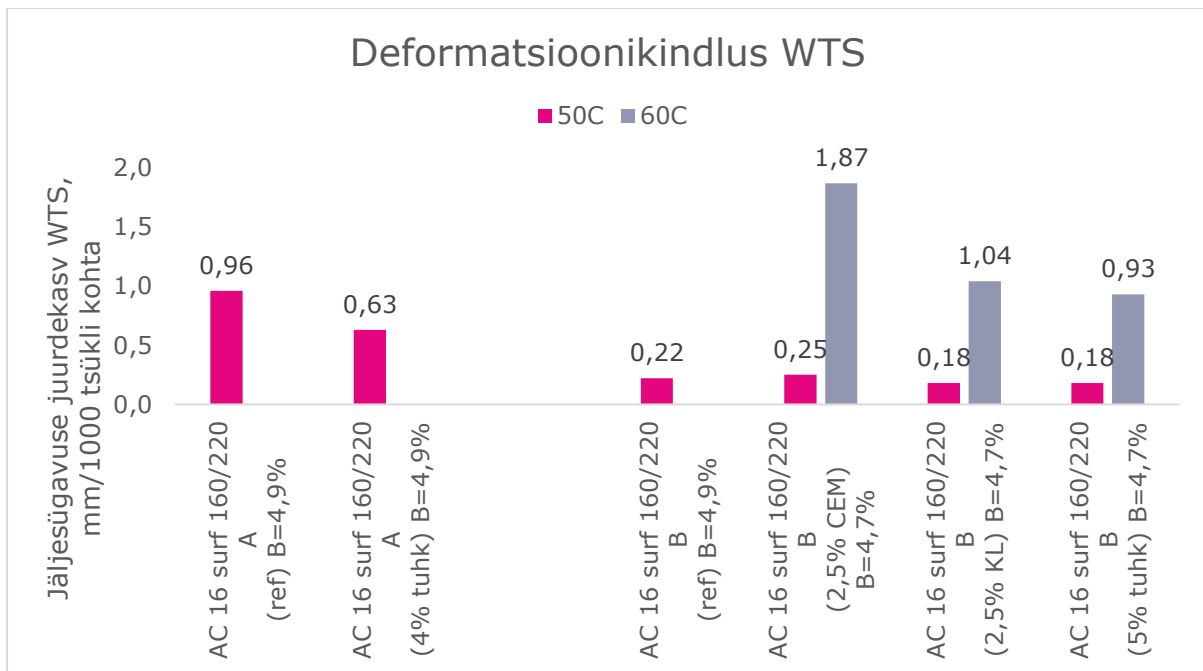
**Joonis 11. Erinevate filleritega AC 16 surf 70/100 segude deformatsioonikindluse PRD tulemused.**



**Joonis 12. Erinevate filleritega AC 16 surf 160/220 segude deformatsioonikindluse PRD tulemused. Kahel vaadeldud segul puudub tulemus 60°C juures, sest enne katse lõppu ületati maksimaalne jäljesügavus**



**Joonis 13. Erinevate filleritega AC 16 surf 70/100 segude deformatsioonikindluse WTS tulemused.**



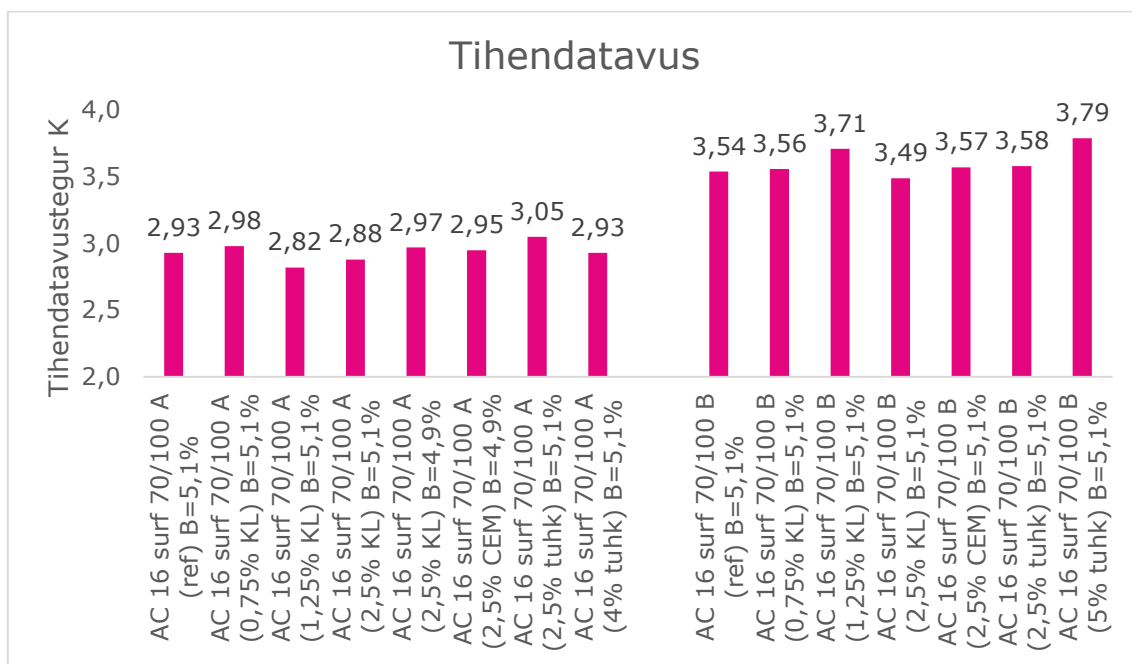
**Joonis 14. Erinevate filleritega AC 16 surf 160/220 segude deformatsioonikindluse WTS tulemused.**



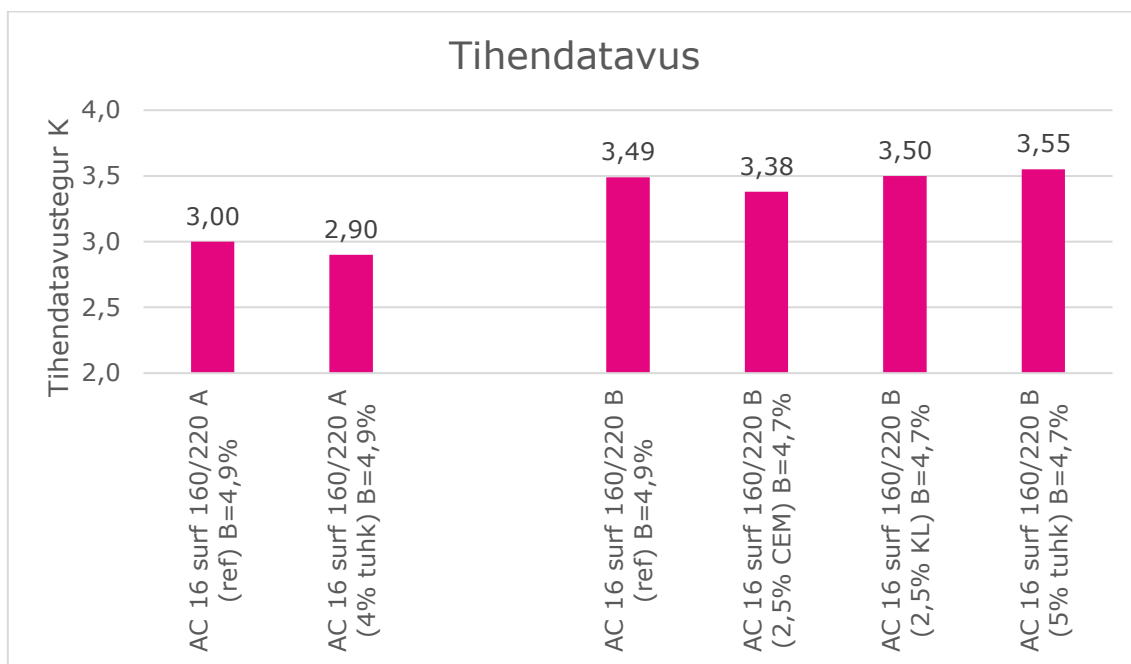
## TIHENDATAVUS

Asfaltsegude tihendatavus määrati güraatortihendajaga standardi EN 12697-10 jaotise 6.2 järgi. Segude tihendatavustegurid K on esitletud joonistel 13 ja 14. Suurem tihendatavustegur viitab raskemini tihendatavale asfaltsegule. Tulemustest on selgelt näha kehva ja hea deformatsioonikindlusega segude erinevused. Kui laboratoorselt segatud kehva deformatsioonikindlusega segude tihendatavustegur jäi vahemikku 2,82 kuni 2,97, siis hea deformatsioonikindlusega segude puhul olid tulemused vahemikus 3,49 kuni 3,79.

Kehva deformatsioonikindlusega segude tulemustest ei ole otseselt näha, et suure eripinna või kõrge poorsusega filleri lisamisega kaasneks segu tihendatavuse langus. Hea deformatsioonikindlusega ning 70/100 bituumeniga segude tulemuste osas on näha mõningane tihendatavuse langus (teguri K suurenemine) suurtel kustutatud lubja sisaldustel (2,5%) ja Auvere tuha sisaldustel (4-5%). Tulemus on ootuspärane ja kooskõlas nende materjalide eripinna ning Rigdeni poorsuse tulemustega, mida on kirjeldatud tabelis 4.



Joonis 15. Erinevate filleritega AC 16 surf 70/100 segude tihendatavustegurid.



Joonis 16. Erinevate filleritega AC 16 surf 160/220 segude tihendatavustegurid.

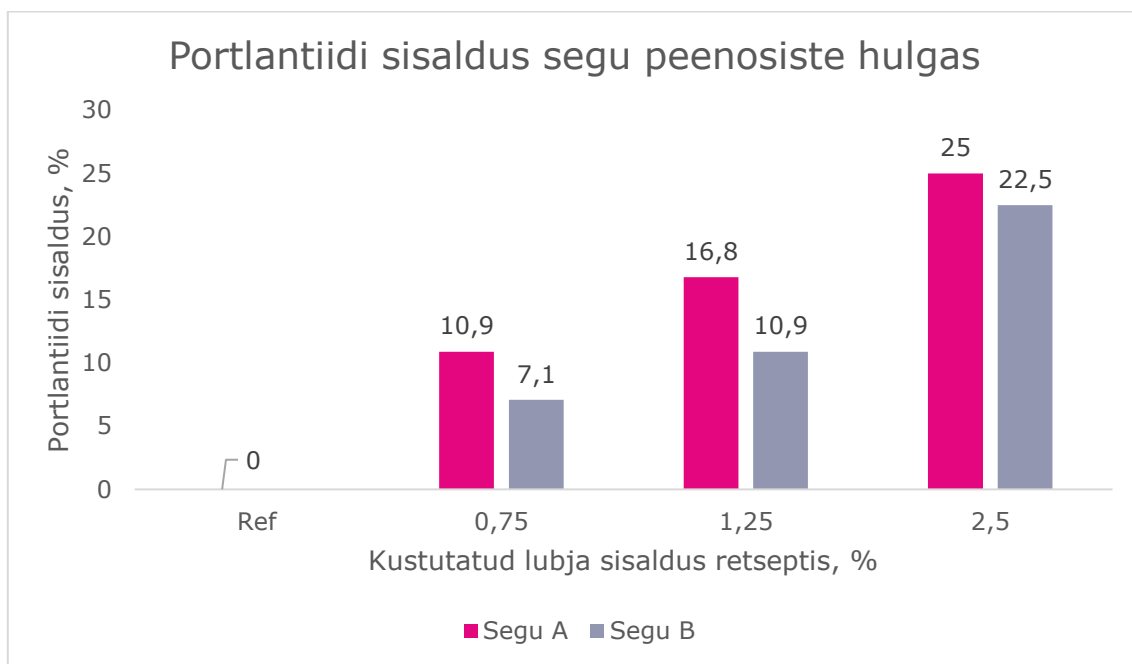
## FILLERITE JA SEGUST ERALDATUD PEENOSISTE MINERALOOGILINE JA KEEMILINE KOOSTIS

Uuringusse kaasatud ja valituks osutunud kustutatud lubja, tsemendi ja Auvere tuhaga valmistatud asfaltsegudest eraldati täitematerjalide hulgast peenosised (alla 0,063 mm suurusega osised), millele teostati põhielementide ja kristallfaaside proportsioonide määrangud röntgenfluorostsentsi XRF ja röntgendifraktsioonanalüüsi XRD meetoditega. Lisaks määrati peenosistele ka ATR-FTIR meetodiga infrapunaspektrid. Eesmärgiks oli leida seosed, kas pärast segu valmistamist on võimalik tuvastada töös kasutatud fillerite olemasolu ja sisaldust segu koostises. XRF ja XRD meetodi tulemused on kirjeldatud tabelites 6 ja 7.

Kõikide uuringusse kaasatud fillerite suurimaks põhielemendiks (XRF meetodil) oli CaO. Lubjakivifilleritel oli uuringusse kaasatud filleritest kõige väiksemad CaO sisaldused - 43,8% (Väo lubjakivifiller) ja 54,6% (Rakke lubjakivifiller). Suurimad CaO sisaldused olid kustutatud lupjades - 67,1% (Uninaks kustutatud lubi) ja 72,9 (Nordkalk kustutatud lubi).

Lubjakivifillerite eripäraks on kaltsiidi sisaldus, mida on võimalik kontrollida valmissegu peenosiste hulgas XRD meetodiga. Kuna teiste fillerite kasutamisega vähendati retseptis proportsionaalselt lubjakivifilleri sisaldust, siis on tuvastatav kustutatud lubja, tsemendi või Auvere tuha sisalduse kasvades ka kaltsiidi sisalduse vähenemine asfaltsegu peenosiste hulgas (tabel 7).

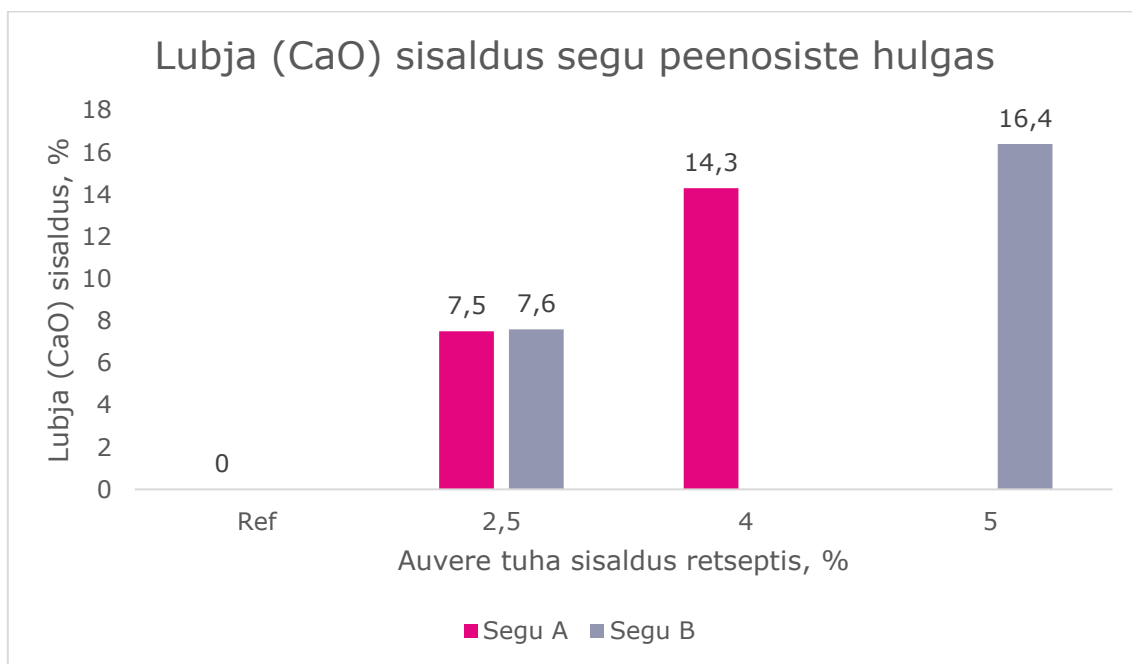
Kustutatud lupjade eripäraks on portlantiidi olemasolu. Asfaltsegust eraldatud peenosiste hulgas kasvab portlantiidi sisaldus retseptis kasutatud kustutatud lubja sisaldusega (joonis 17).



**Joonis 17. Kustutatud lubja sisalduse ja segu peenosiste hulgas sisalduva portlantiidi sisalduse omavaheline seos.**

Tsementide eripäraks on aliidi olemasolu, mida on võimalik tuvastada ka valmistatud asfaltsegu peenosiste hulgas XRD meetodiga. 2,5% tsemendi sisaldusega asfaltsegude peenosiste hulgas oli aliidi sisaldus 10,0-10,2% (tabel 7).

Auvere tuha sisalduse kasvades tõuseb asfaltsegu peenosiste hulgast lubja (CaO) sisaldus, mis on tuvastatav XRD meetodil (tabel 7). Teiste uuringusse kaasatud filleritega asfaltsegude peenosiste hulgast lubja sisaldust ei tuvastatud. Kui laboratoorsesse asfaltsegu doseeriti 2,5 massiprotsenti Auvere tuhka, saadi segu peenosiste hulgas olevaks lubja sisalduseks 7,5-7,6%. Tuha doseeritud koguste 4 ja 5% juures saadi lubja sisalduse tulemuste keskmiseks vastavalt 14,3% ning 16,4% (joonis 18).

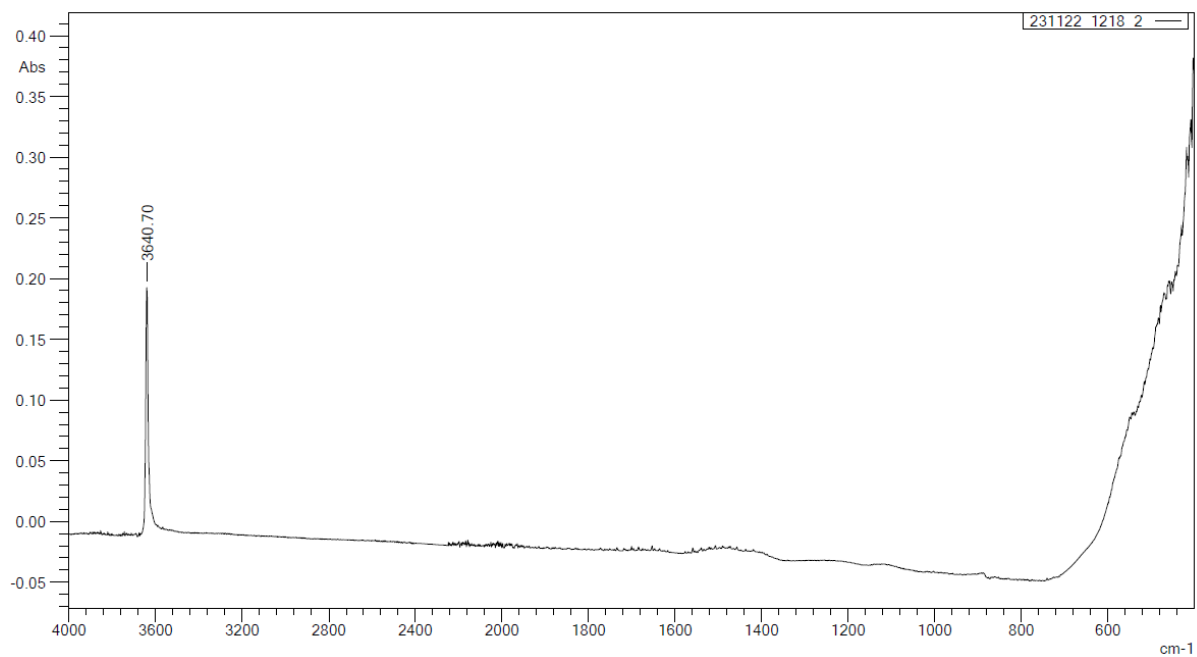


**Joonis 18. Auvere tuha sisalduse ja segu peenosiste hulgas sisalduva lubja (CaO) sisalduse omavaheline seos.**

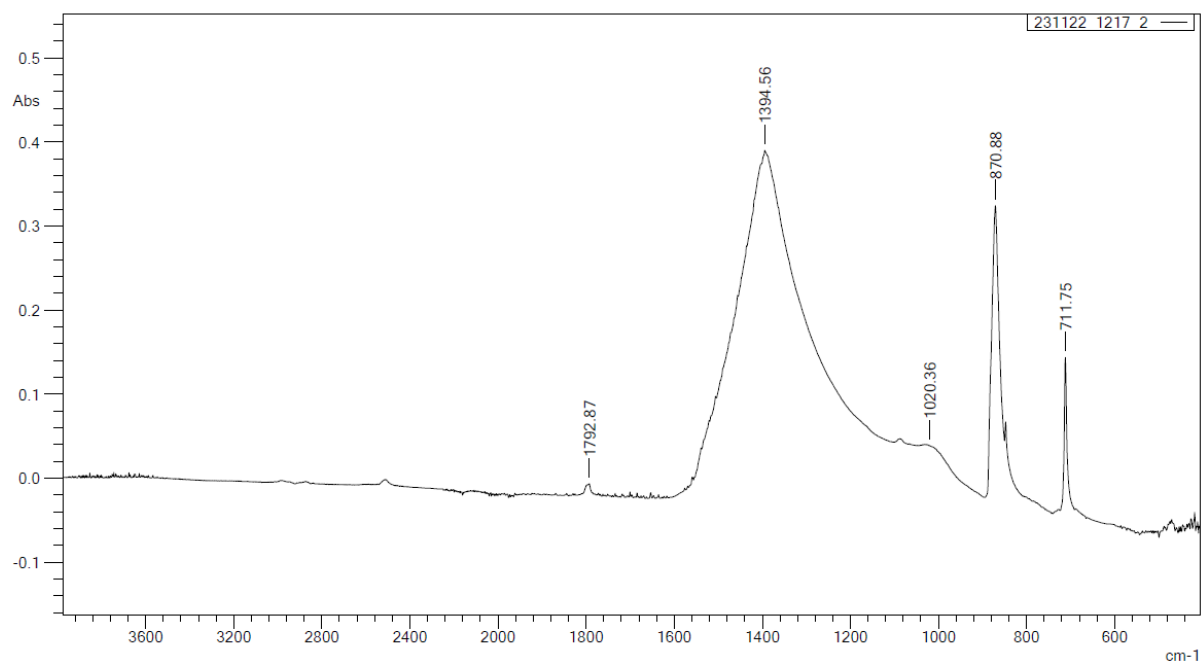
Täiendavalt teostati Auvere tuhale CaCO<sub>3</sub> sisaldus määramine tiitrimismeetodiga EN 196-2, mida kasutatakse riigimaanteede ehitusel lubjakivifilleri kasutamise nõudest kinnipidamise kontrollimiseks. Tiitrimisega saadakse arvutuslik CaCO<sub>3</sub> sisaldus läbi CaO sisalduse (üleminekutegur 1,7848). Tiitrimise tulemusena saadi CaO sisalduseks 46,36%, millest võiks järeldada, et Auvere tuha CaCO<sub>3</sub> sisaldus on 82,74%.

Lubjakivifilleritele on kehtestatud CaCO<sub>3</sub> sisalduse alampiiriks 70%. Tiitrimismeetodi piiranguks on asjaolu, et see võtab arvesse ka vaba CaO sisalduse, mistõttu teostati täiendavalt vaba CaO sisalduse määramine meetodiga EN 451-1 ning tulemuseks saadi 21,33%. Proovi tegeliku CaCO<sub>3</sub> sisalduse määramiseks tuleb vaba CaO üldisest CaO-st lahutada. Sellest tulenevalt on Auvere tuha tegelik CaCO<sub>3</sub> sisaldus  $(46,36 - 21,33) \times 1,7848 = 44,67\%$ , mis jääb alla lubjakivifilleritele kehtestatud alampiiri (70%).

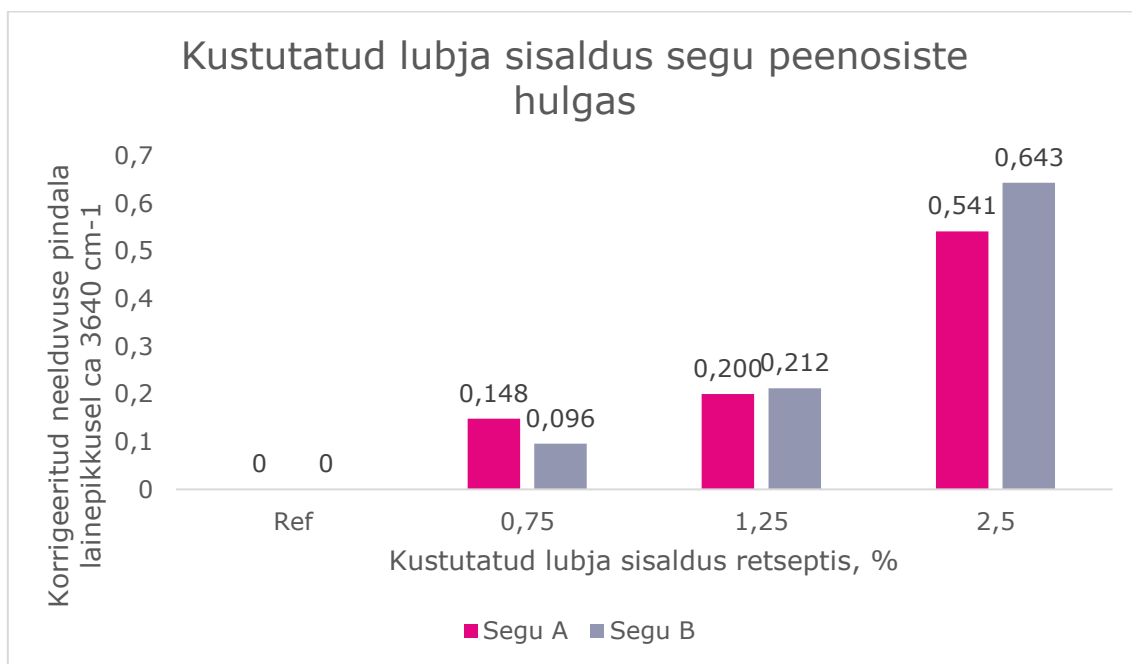
Lubjakivifillerite, tsementide ja Auvere tuha infrapunaspiktrid ei oma neelduvusi sellistel lainepikkustel, mille põhjal oleks võimalik tuvastada nende olemasolu ja sisaldust asfaltsegu peenosiste hulgas. Kustutatud lubjatel on unikaalne neelduvus lainepikkusel 3640 cm<sup>-1</sup>, mis vastab hüdroksiidi (O-H) sidemete olemasolule vaadeldud materjalis (joonis 19). See on tuvastatav ka asfaltsegust eraldatud peenosistest ning neelduvuse intensiivsuse alusel saab hinnata ka kustutatud lubja sisaldust asfaltsegu peenosiste hulgas (joonis 21).



**Joonis 19. Nordkalk kustutatud lubja FTIR spekter. Kustutatud lubjale omane hüdroksiidi sidemete neelduvus on tuvastatav lainepikkusel 3640  $\text{cm}^{-1}$ .**



**Joonis 20. Nordkalk rakke lubjakivifilleri FTIR spekter.**



**Joonis 21. Kustutatud lubja sisalduse ja neelduvuse (piigi) pindala seos lainepikkusel 3640 cm<sup>-1</sup>.**

**Tabel 6. Põhielementide sisaldus fillerites ning uuringu asfaltsegude peenosiste hulgas**

Filler/peenosised	Põhielemendi sisaldus proovis, %										
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>
Nordkalk lubjakivifiller	0,5628	0,0294	0,2335	0,1504		1,5554	54,546		0,1125	0,0016	
Nordkalk kustutatud lubi	0,0995	0,0237	0,0665	0,2887		1,5333	72,871		0,0728	0,0018	
Väo filler	10,024	0,1857	2,7152	1,4359		2,5967	43,799		1,3720	0,5722	0,4239
Uninaks kustutatud lubi		0,0619	0,2243	0,4125		0,427	67,1188		0,0803	0,0298	0,1126
KNC tsement	18,5306	0,3518	4,4874	2,364		3,8565	60,1614	0,1894	0,9095	0,1402	3,2335
Schwenk tsement	20,3656	0,2606	4,0692	2,7543		3,24498	59,3725	0,1767	1,0304	0,063	3,1825
Auvere tuhk	24,43	0,34	5,85	3,93	0,05	4,00	44,85	0,11	2,70	0,18	5,8
AC 16 surf 70/100 A (ref)	36,1	0,33	6,74	3,87	0,05	2,12	24,86	1,07	2,28	0,07	0,99
AC 16 surf 70/100 A (0,75% KL)	35,07	0,29	6,58	3,45	0,05	1,59	28,72	1,13	2,47	0,06	0,11
AC 16 surf 70/100 A (1,25% KL)	36,7	0,3	6,78	3,62	0,06	1,87	27,63	1,12	2,42	0,06	0,21
AC 16 surf 70/100 A (2,5% KL)	36,64	0,28	6,69	3,47	0,07	1,82	29,73	1,19	2,43	0,056	0,24
AC 16 surf 70/100 A (2,5% CEM)	41,22	0,36	7,74	4,42	0,06	2,39	28,89	1,19	2,6	0,08	1,1
AC 16 surf 70/100 A (2,5% tuhk)	41,88	0,39	8,34	4,52	0,062	2,49	24,45	1,12	3,24	0,11	1,61
AC 16 surf 70/100 A (4% tuhk)	45,53	0,46	9,00	5,23	0,073	2,81	23,41	1,19	3,61	0,15	2,24
AC 16 surf 160/220 A (4% tuhk)	45,55	0,46	9,08	5,18	0,072	2,85	23,63	1,18	3,59	0,13	2,3
AC 16 surf 70/100 B (ref)	36,21	0,29	6,73	3,49	0,05	1,77	23,92	1,18	2,44	0,06	0,08
AC 16 surf 70/100 B (0,75% KL)	32,78	0,26	6,32	3,22	0,05	1,53	29,3	1,08	2,33	0,05	0,2
AC 16 surf 70/100 B (1,25% KL)	33,83	0,27	6,31	3,26	0,05	1,5	29,27	1,09	2,29	0,06	0,17
AC 16 surf 70/100 B (2,5% KL)	32,39	0,249	5,78	3,09	0,064	1,48	32,38	1,01	2,14	0,05	0,27
AC 16 surf 70/100 B (2,5% CEM)	37,75	0,32	6,95	3,91	0,05	2,09	31,59	1,04	2,39	0,07	0,97
AC 16 surf 70/100 B (2,5% tuhk)	37,83	0,35	7,35	4,08	0,056	2,13	27,45	1,08	2,86	0,1	1,45
AC 16 surf 70/100 B (5% tuhk)	43,21	0,45	8,89	4,95	0,068	2,75	26,15	1,03	3,49	0,14	2,72
AC 16 surf 160/220 B (5% tuhk)	43,78	0,44	8,79	5,03	0,067	2,77	25,88	0,99	3,64	0,14	2,64

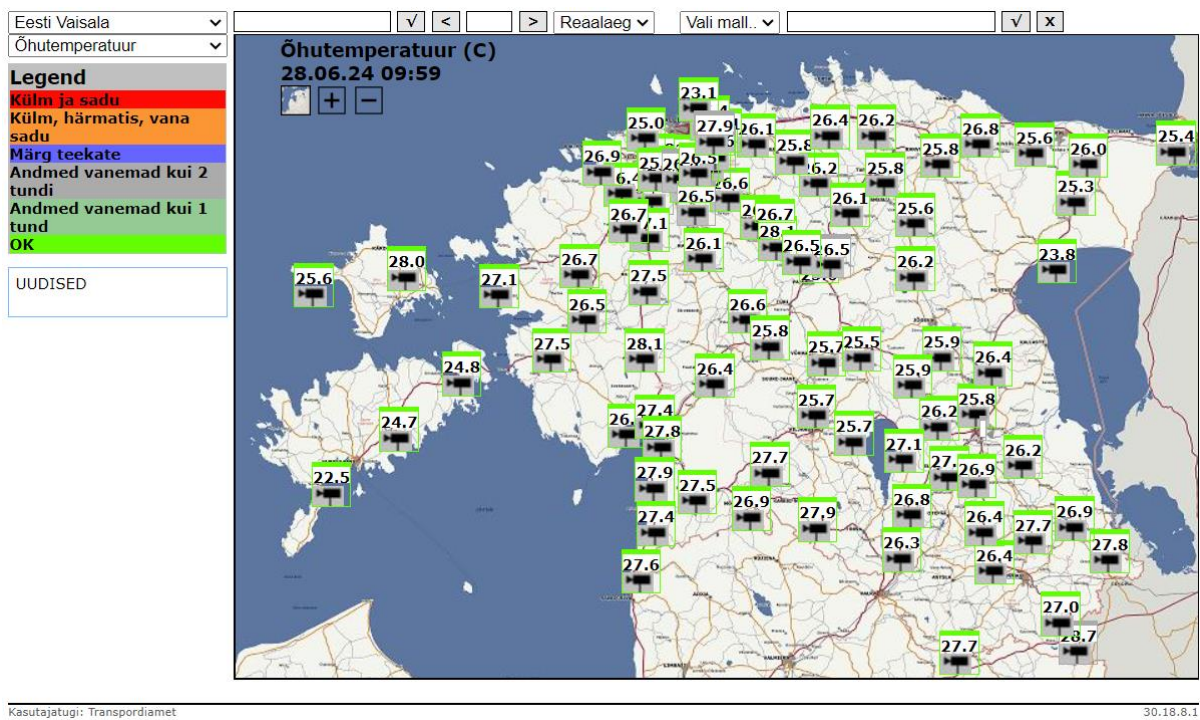
**Tabel 7. Kristallfaaside proportsioonid fillerites ning uuringu asfaltsegude peenosiste hulgas**

Filler/peenosised	Kristallfaasi sisaldus, %																			
	Calcite	Quartz	Plagioclase	Portlantide	Microcline	Biotite	Dolomite	K-Feldspar	Hatruurite	Periclase	Larnite	Phlogopite	Albite	Lime	Hematite	Anhydrite	Sylvite	Brownmillirite	Orthoglase	Melilite
Nordkalk lubjakivifiller	<b>93,54</b>	0,76					5,70													
Nordkalk kustutatud lubi	0,95			<b>98,08</b>					0,98											
Väo filler	<b>73,88</b>	4,23					13,29												6,31	
Uninaks kustutatud lubi	3,8			<b>96,2</b>																
KNC tsement									<b>65,7</b>	3,6	7,8			0,4					6,7	
Schwenk tsement									<b>51,2</b>	3,0	19,4			1,0		4,0			9,2	
Auvere tuhk	17,9	11,4								2,4	7,3			<b>29,1</b>	3,6	7,2	1,2	4,1	14,2	1,5
AC 16 surf 70/100 A (ref)	41,8	21	11,9	0	11,5	8,5	5,4													
AC 16 surf 70/100 A (0,75% KL)	33,6	21	14,1	10,9	8,2	8,5	3,7													
AC 16 surf 70/100 A (1,25% KL)	26,1	22,6	13,9	16,8	9,7	8	2,8													
AC 16 surf 70/100 A (2,5% KL)	18,4	23,2	12,6	25		8,2	3,8	8,4												
AC 16 surf 70/100 A (2,5% CEM)	18,8	25	16		11,6	9,8	3,6		10,2	0,7	4,2									
AC 16 surf 70/100 A (2,5% tuhk)	23,2	27,5	15			5,7	3,2	14,1		0,6				<b>7,5</b>	1,4	1,7	0,1			2,5
AC 16 surf 70/100 A (4% tuhk)	8,3	30,5	15,2			5,7	2,3	17,3		1,4				<b>13,9</b>	1,6	3,5	0,4			
AC 16 surf 160/220 A (4% tuhk)	8,7	29,8	16,3			6,8	1,9			1,4				<b>14,7</b>	1,7	3,2	0,5			
AC 16 surf 70/100 B (ref)	44,9	21,4	14,6	0	8,9	7,4	2,8													
AC 16 surf 70/100 B (0,75% KL)	39,4	19,5	13	7,1	9,3	8,2	3,6													
AC 16 surf 70/100 B (1,25% KL)	36,8	21,2	13,2	10,9	7,4	7,5	2,9													
AC 16 surf 70/100 B (2,5% KL)	26	22,2	9,5	22,2	10,8		2,1			0,4	1,6	4,6	2,7							
AC 16 surf 70/100 B (2,5% CEM)	28,7	24,3	14,7		9,4	9,5	1,4		10											
AC 16 surf 70/100 B (2,5% tuhk)	31,8	23,5	13			5,2	2,8	12,4		0,7				<b>7,6</b>	1,1	1,7	0,2			
AC 16 surf 70/100 B (5% tuhk)	9,6	27,1	14,2			6,3	0	17,9		1,5				<b>16,6</b>	1,5	4,3	0,9			
AC 16 surf 160/220 B (5% tuhk)	9	29,5	13,9			6,5	0	17		1,6				<b>16,1</b>	2	4	0,4			



# EESTI TEEKATETE TEMPERATUURID

2014. a analüüsis Teede Tehnokeskuse AS uuringus „A/b katete kvaliteedi arendusuuringud Deformatsiooni- ja kulumiskindluse katsete teaduslik analüüs“ teilmajaamade andmete põhjal Eesti teekatete temperatuure. Uuringu käigus tuvastati, et sellel ajal kasutusel olnud teilmajaamade temperatuuriandurid ei suutnud usaldusväärselt tuvastada 50°C lähedal ja üle selle olevaid temperatuure, mistõttu anti uuringuga Maanteeametile soovitus hakata tulevikus kasutama laiemat mõõtevahemikuga temperatuuriandureid, mis võimaldaksid teekatte temperatuure usaldusväärselt analüüsida. Eestis on järk-järgult üle mindud Vaisala teilmajaamadele, mille mõõtmisvahemik on -40 kuni +80°C.



Kasutajatüüpi: Transpordiamet

30.18.8.1

**Joonis 22. Transpordiameti teilmajaamade infosüsteem ning Vaisala jaamade asukohad.**

Käesolevas töös analüüsiti Eestisse paigaldatud Vaisala teilmajaamade andmeid, et selgitada välja, milliste temperatuurideni Eesti teekatete temperatuurid võivad suvel kerkida. Teilmajaamade andmed pärinevad Transpordiameti teilmajaamade infosüsteemist <https://teeilm.teeinfo.ee/uus/>. Valimi hulka kaasati vaid need Vaisala ilmajaamad, mis on temperatuure registreerinud alates 2022. a juunist. Käesolevas uuringus vaadeldud perioodi jäävad nii 2022 kui ka 2023. a suvised teekatete temperatuurid.

Valitud jaamade andmetest keskenduti õhu-, tee- ja kattetemperatuuridele. Teetemperatuur iseloomustab tee pinna temperatuuri (sügavusel h=0 cm).

Kattetemperatuur iseloomustab temperatuuri ca 6 cm sügavusel (h=6 cm). Valimi suuruseks on 78 teeilmajaama, millest madalaim maksimaalne teepinna temperatuur oli 46,2°C (Ainja teeilmajaam) ning kõrgeim 60,0°C (Mõisaküla). Ainja teetemperatuur oli ka ainus, mis jäi alla 50°C.

Tabelis 8 on välja toodud kümne kõige kõrgema teepinna temperatuuriga teeilmajaamad. Lisaks on välja toodud nendes jaamades registreeritud kõrgeimad temperatuurid teekattest ca 6 cm sügavusel.

**Märkus** Reaalsetes oludes võib katte temperatuur viidata väiksemale sügavusele teekatte pinnast kui 6 cm. Vaisala temperatuuriandurid on projekteeritud kuluma muu katte pinnaga sarnaselt. Naastrehvidest tingitud kulumise tõttu võib katte temperatuur iseloomustada ka temperatuuri 4,5-5 cm sügavusel teekatte pinnast.

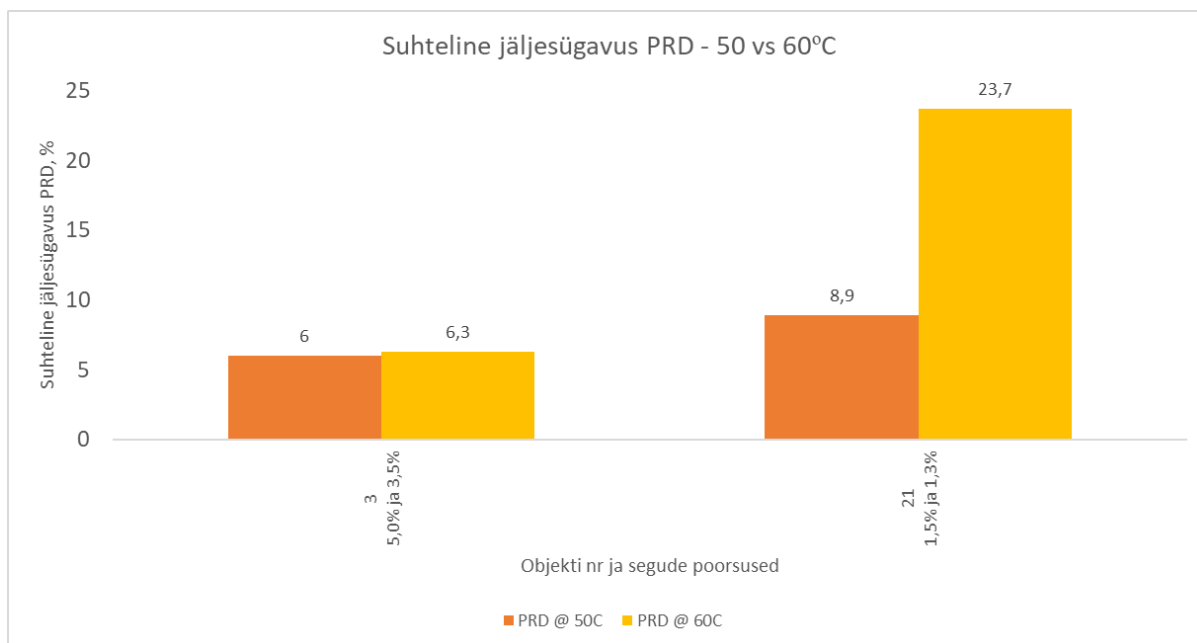
**Tabel 8. Kümme kõrgeima teepinna temperatuuriga teeilmajaama**

Teeilmajaam	Pinnatemperatuur, °C	Katte temperatuur (4-6 cm sügavusel), °C
Mõisaküla	60,0	47,8
Saru	59,9	46,0
Aegviidu	59,6	46,8
Käru	59,4	46,7
Vastseliina	59,1	47,9
Aranküla	58,9	47,5
Rae	58,9	46,7
Audru	58,3	46,7
Priipalu	58,3	45,9
Orgita	58,0	45,9

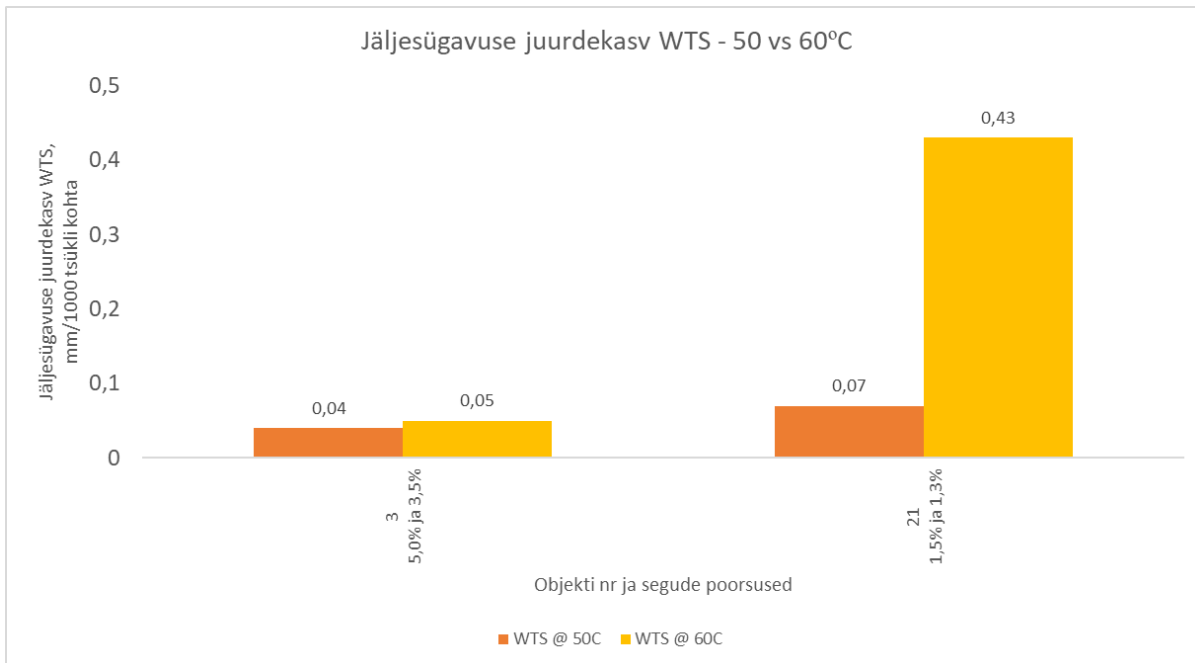
# OBJEKTIDELT VÕETUD ASFALTSEGUDE DEFORMATSIOONIKINDLUSE ANALÜÜS

Uuringu raames esitas Transpordiamet Tallinna Tehnikaülikoolile 2023. a ehitusobjektidelt võetud 30 kulumiskihi seguproovi deformatsioonikindluse katsete tulemused. Valimis olevatele segudele teostati deformatsioonikindluse PRD ja WTS omaduste määramine nii 50 kui ka 60°C juures. Valimisse kuulusid 2 AC 12 surf, 23 AC 16 surf ning 5 SMA 16 tüüpi segu. Objektilt nr 4 võetud segu kasutati 100/150 penetratsioonimargiga bituumenit. Kõikides ülejäänud segudes kasutati bituumenit 70/100. Ühtegi polümeermodifitseeritud bituumeniga segu vaadeldud segude hulgas ei olnud.

Objektidelt võetud kahe AC 12 surf suhtelise jäljesügavuse PRD ja jäljesügavuse juurdekasvu WTS tulemused on esitatud joonistel 23 ja 24. Objektilt nr 3 võetud segu PRD tulemus on 50 ja 60°C juures sisuliselt sama. Seevastu objektilt nr 21 võetud segu PRD tulemused erinevad viidatud temperatuuridel olulisel määral (PRD muutus 166%). Suur erinevus ilmneb ka WTS tulemustes (WTS muutus 514%). Objektilt nr 3 võetud segu poorsus on olulisel määral kõrgem, kui objektilt nr 21 võetud segu poorsus.

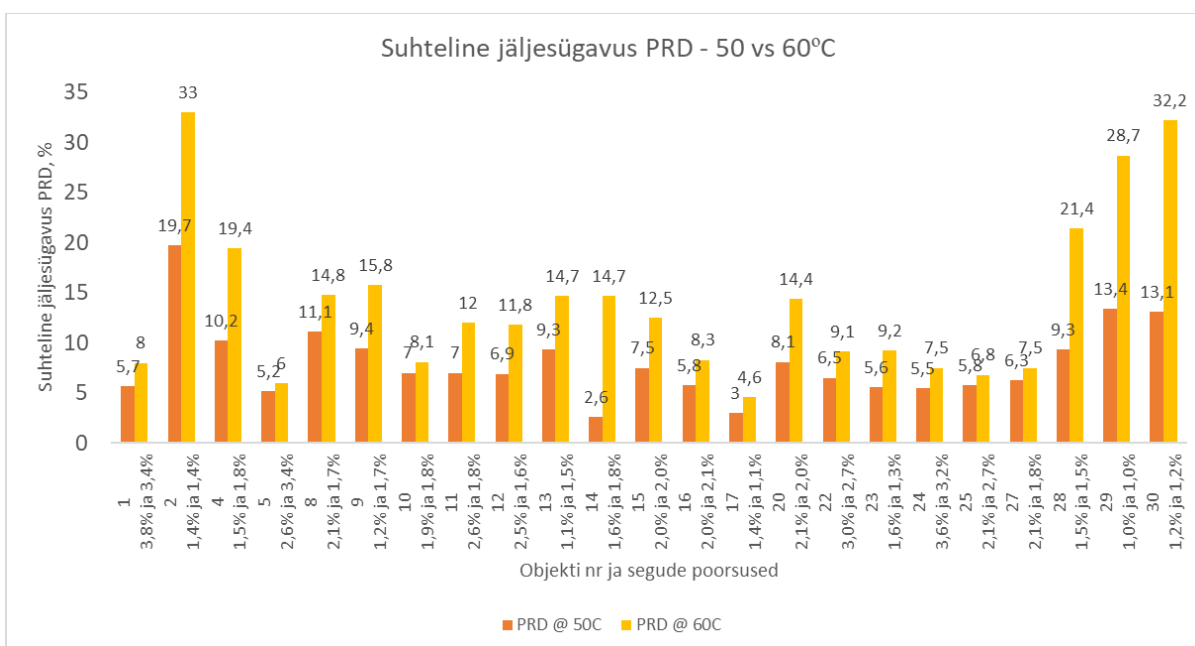


**Joonis 23. Transpordiameti objektidelt võetud AC 12 surf 70/100 segude PRD tulemused.**

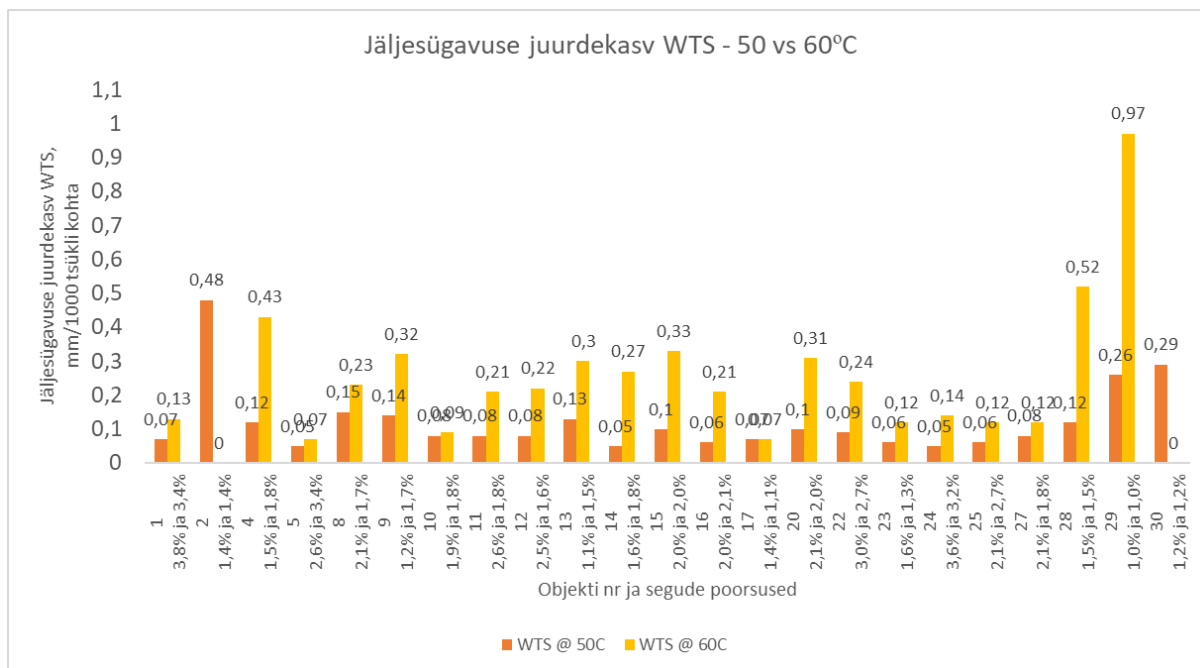


**Joonis 24. Transpordiameti objektidelt võetud AC 12 surf 70/100 segude WTS tulemused.**

AC 16 surf segude suhtelise jäljesügavuse PRD ja jäljesügavuse juurdekasvu WTS tulemused on esitatud joonistel 25 ja 26. Vaadeldud grupis tõusis segude PRD väärtus keskmiselt 78% ja WTS väärtus 161%, kui katsetemperatuuriks oli 60°C. Väikseim PRD kasv oli 15% (objekt nr 5) ja suurim 465% (objekt nr 14). Objektilt 4 võetud segu PRD ja WTS tulemused on vaatamata segus kasutatud pehmemale bituumenile (100/150) mitmest 70/100 bituumeniga valmistatud segust paremad, kuigi segu poorsused on miinimumi lähedased.

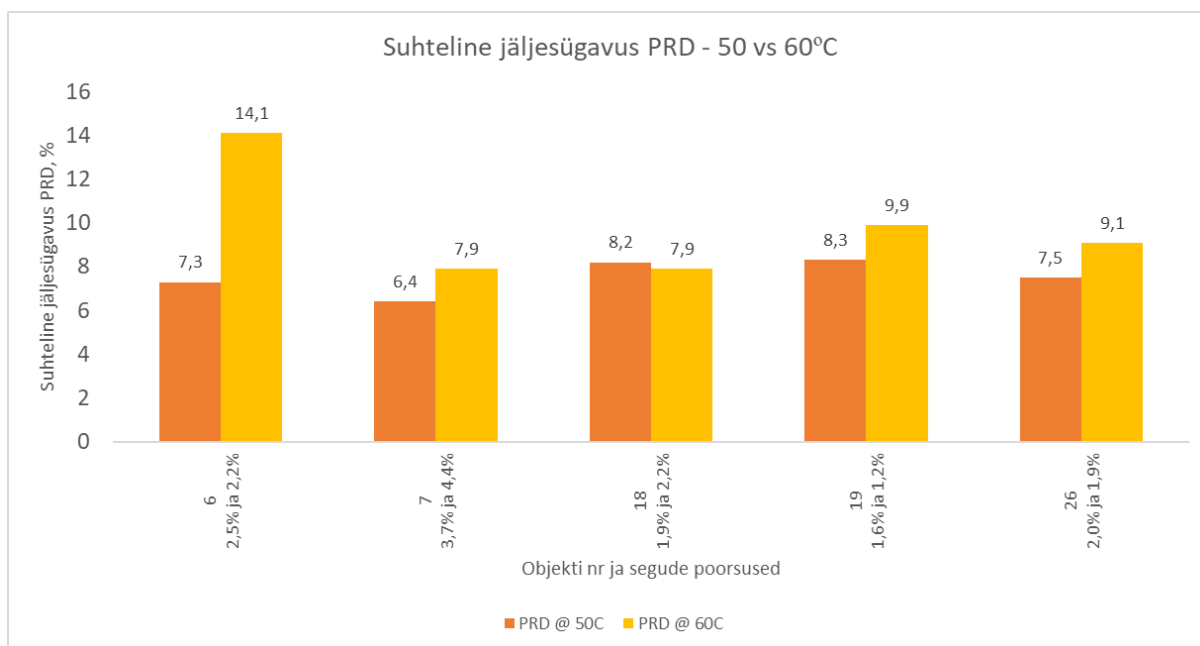


**Joonis 25. Transpordiameti objektidelt võetud AC 16 surf segude PRD tulemused.**

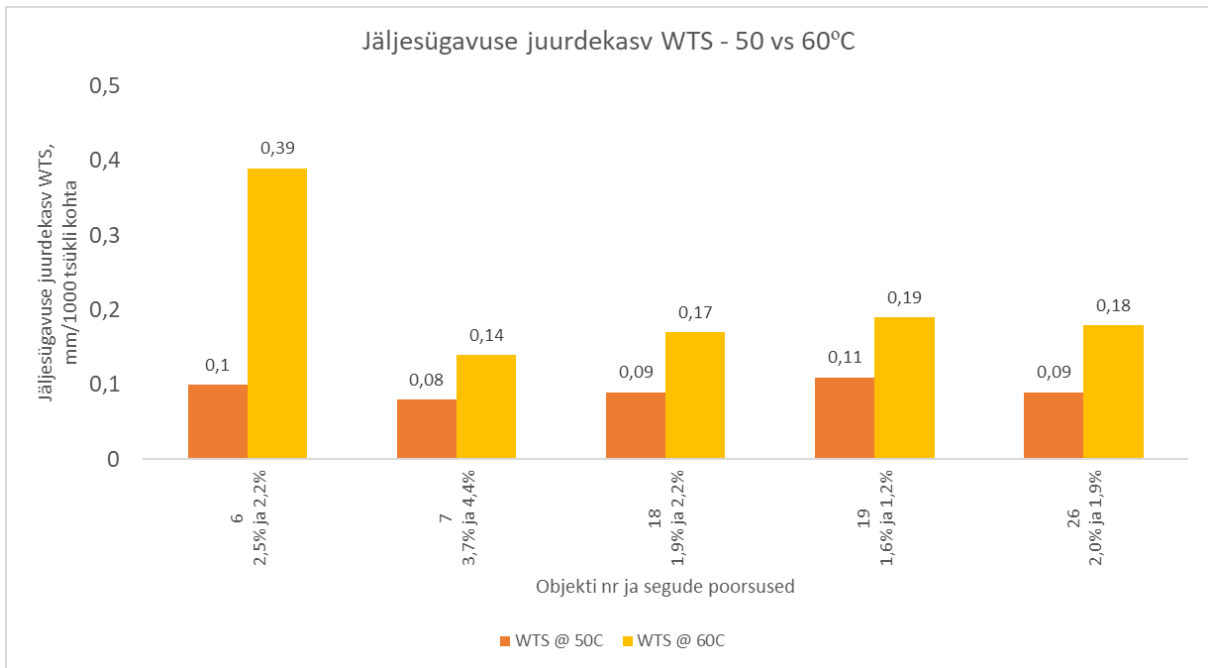


**Joonis 26. Transpordiameti objektidelt võetud AC 16 surf segude WTS tulemused.**

SMA 16 segude suhtelise jäljesügavuse PRD ja jäljesügavuse juurdekasvu WTS tulemused on esitatud joonistel 27 ja 28. Vaadeldud grupis tõusis PRD väärtus keskmiselt 31% ja WTS väärtus 125%, kui katsetemperatuuriks oli 60°C. Väikseim PRD kasv oli -4% (objekt nr 18) ja suurim 93% (objekt nr 6). WTS osas oli väikseim ja suurim muutus vastavalt 73% (objekt nr 19) ja 290% (objekt nr 6).



**Joonis 27. Transpordiameti objektidelt võetud SMA 16 70/100 segude PRD tulemused.**

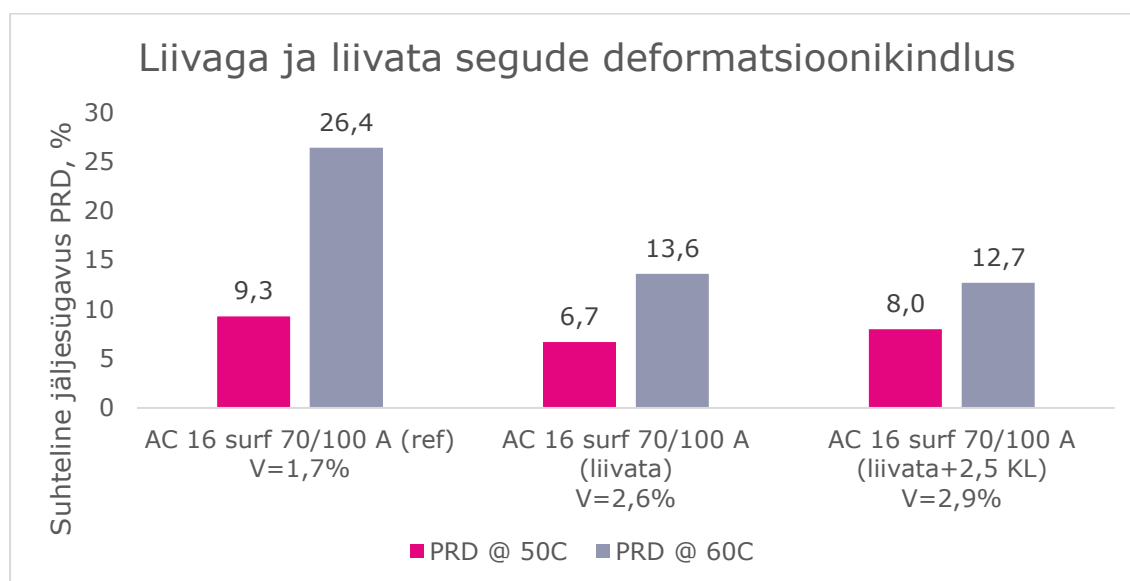


**Joonis 28. Transpordiameti objektidelt võetud SMA 16 70/100 segude WTS tulemused.**

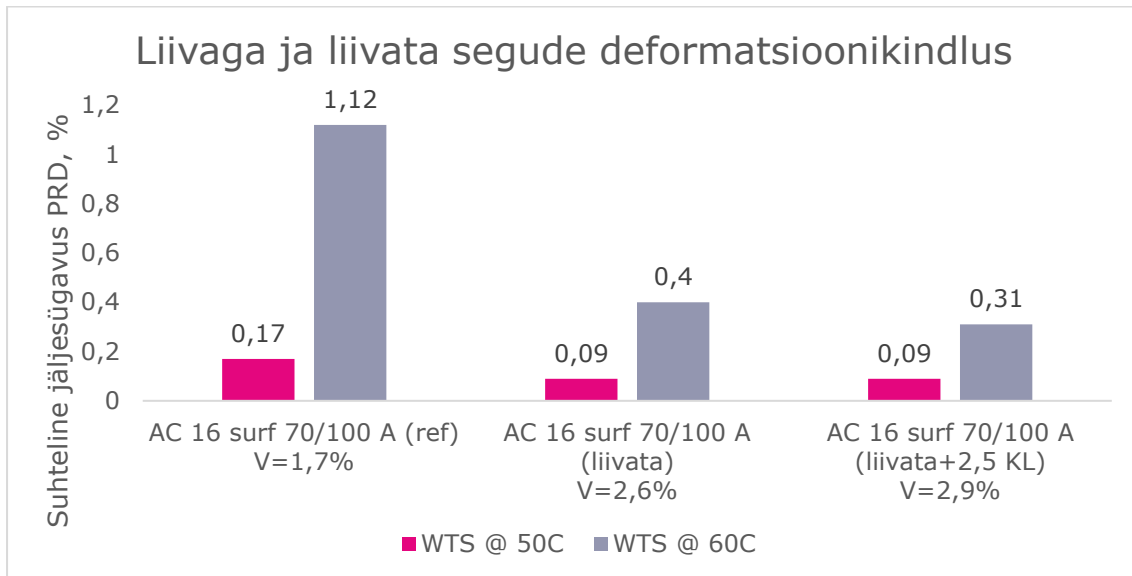
# LIIVA MÕJU ASFALTSEGU DEFORMATSIOONIKINDLUSE TULEMUSELE

Uuringu raames kontrolliti ka liiva potentsiaalset mõju asfaltsegu deformatsioonikindlust iseloomustavatele omadustele. Mõju analüüsimiseks võeti aluseks halva deformatsioonikindlusega (segu tähistus A) AC 16 surf 70/100 asfaltsegu retsept, mille koostises kasutati algselt 10% Potsepa liiva. Kõikides retseptides oli doseeritavaks bituumeni sisalduseks 5,1%. Retseptis asendati Potsepa liiv proportsionaalselt Inkoo fraktsiooniga 0/4 mm. Referentssegu (liivaga) ja liivata segude deformatsioonikindluse PRD ja WTS tulemused on esitatud joonistel 24 ja 25.

Vaadeldud seguretsepti kontekstis on liival väga suur mõju asfaltsegu deformatsioonikindlusele erinevatel temperatuuridel. Kui katsetemperatuuril 50°C ei oma liiv veel väga suur mõju, siis erinevused liivaga ja liivata segude vahel ilmnevad 60°C katsetemperatuuril ning on ca kahekordsed (joonis 29 ja 30).



**Joonis 29. Liivaga ja liivata AC 16 surf 70/100 (segu A) suhtelise jäljesügavuse PRD tulemused.**



**Joonis 30. Liivaga ja liivata AC 16 surf 70/100 (segu A) jäljesügavuse juurdekasvu tulemused.**



# KOKKUVÕTE

- Transpordiameti poolt hallatavate teeilmajaamade 2022. ja 2023. a andmete põhjal tõusevad Eesti maanteedel teekatete pinnatemperatuurid kuni 60°C-ni. Käesolevas töös vaadeldud 78-st jaamast vaid ühes jäi maksimaalne temperatuur alla 50°C. Ca 5-6 cm sügavusel on kõrgeimad temperatuurid ca 47-48°C.
- Asfaltsegude tüübikatssetuste standard EN 13108-20 annab võimaluse määrata deformatsioonikindlust 45, 50 ja 60°C juures. Eestis valiti 2009. aastal temperatuuriks 50°C, sest Teede Tehnokeskuse AS labori deformatsioonikindluse katseandmete analüüsimisel ilmnnes, et segudel oli probleeme tootestandardi kategooriate ülempiiride täitmisega, kui katsetemperatuuriks oli 60°C [23]. Tootestandardi ülempiirideks on AC tüüpi segudel PRD 9,0% ja SMA segudel 5,0%.
- Käesoleva uuringu käigus valmistatud asfaltsegude ning Transpordiameti 2023. a objektidelt võetud asfaltsegude deformatsioonikindluse katseandmetele tuginedes saab järeldada, et deformatsioonikindlust iseloomustavate suhtelise jäljesügavuse PRD ja jäljesügavuse juurdekasvu WTS väärtused võivad tõusta kordades, kui katsetemperatuur viia 50 kraadilt 60 kraadile. Samas ilmnnes nii laboris valmistatud segude kui ka Transpordiameti objektidelt võetud segude katseandmete põhjal, et teatud segudel ei mõjuta temperatuuri tõstmine olulisel määral deformatsioonikindluse tulemust. Katsetemperatuuri tõstmine 60 kraadini võimaldaks selliste segude kasutamist suurendada.
- Tulemused viitavad, et kuigi tsemendil, kustutatud lubjal ja Auvere tuhal on bituumenit jäigastav mõju, sõltub väga suur osa deformatsioonikindluse lõplikust tulemusest asfaltsegu retseptist ja poorsusnäitajatest. Parimad deformatsioonikindluse tulemused saadi nende segudega, mille koostises kasutati kas tsementi, kustutatud lupja või Auvere tuhka ning millel oli kõrgem poorsus, suurem skeletipoorsus ja väiksem bituumeniga täidetud pooride maht.
- Kustutatud lubja, tsemendi ning Auvere tuha olemasolu ja sisaldust asfaltsegu saab kontrollida XRD meetodiga. Kustutatud lubjale on iseloomulik portlandiidi olemasolu. Tsemendile on iseloomulik aliidi mineraalfaas. Auvere tuhale on iseloomulik lubja (CaO) sisaldus. Kustutatud lubja olemasolu ja sisaldust saab kontrollida ka asfaltsegu peenosistes ATR-FTIR meetodiga.
- Liiva kasutamine võib omada suurt mõju asfaltsegu deformatsioonikindlusele. Käesolevas uuringus vaadeldud Potsepa karjääri liivaga valmistatud segude põhjal ilmnnes, et deformatsioonikindlust iseloomustavad suhtelise jäljesügavuse PRD ja jäljesügavuse juurdekasvu WTS väärtused kasvasid mitmekordselt, kui katsetemperatuuriks valiti 60°C. Liivata segudel sellist juurdekasvu ei esinenud.

On oluline märkida, et liiva termini alla liigituvad mitmed materjalid, millel ei pruugi olla negatiivset mõju asfaltsegude deformatsioonikindlusele. Pigem tuleks liivadel nende terastikulist koostist ja nurgelisust näiteks meetodite EN 933-6 või ASTM C 1252 järgi. Tegemist oleks olulise sisendiga asfaltsegude projekterijatele.

# SOOVITUSED

Käesolevas jaotises on esitatud erinevad soovitused, millega saaks parandada teede ja ristmike vastupidavust jäävdeformatsioonidest põhjustatud pikiroobaste tekkele.

- **Kulumiskihi asfaltsegude deformatsioonikindluse katsetamise temperatuuri tõstmine 60 kraadini.** Eesti teedel tõusevad suvised teekatte temperatuurid tihti üle 50 kraadi, mis on senine deformatsioonikindluse katses kasutatav temperatuur. Nagu näitasid käesolevas uuringus käsitletud asfaltsegud, võib kümnekraadine erinevus avaldada märkimisväärset mõju laboratoorselt määratud deformatsioonikindlust iseloomustavatele näitajatele PRD ja WTS. Kõrgemal temperatuuril katsetamisega on võimalik eraldada segusid, millel on tegelikes oludes parem vastupidavus deformatsioonide tekkele. Katsetemperatuuri muutmata jättes kaasneb tõenäosus, et teedele satuvad segud, mille deformatsioonikindluse tulemus ei viita probleemile, kuid osutuvad teedel probleemseteks.

Samas tuleb üle vaadata senised deformatsioonikindlusele kehtestatud suhtelise jäljesügavuse PRD ja jäljesügavuse juurdekasvu WTS piirid. Käesoleva töö autorite ettepanek oleks enne nende kehtestamist analüüsida katseliselt 60 kraadi juures olemasolevaid rajatud teelõikude/ristmike segusid ja konstruktsioone, kus on tellijate hinnangul saadud häid ja halbu tulemusi. See võimaldab paremini seostada ja põhjendada nõuete kehtestamist.

- **Suure koormusega teedel ja ristmikel tuleks diferentseerida ja täpsustada segudele esitatavaid nõudeid.** Risk asfaltkatte deformeerumisele kasvab astmeliselt, kui asfaltsegu ja katte poorsus jäävad alla kriitilise piiri. Kriitiliseks piiriks loetakse poorsust alla 2-3% [24], [25]. Kulumiskihi SMA ja AC surf ning siduvkihi AC bin segude lubatav poorsusvahemik on 1,5-5,0%. Siinkohal tuleb märkida, et tegemist on vahemikuga, mis kehtib asfaltsegude projekteerimisel ja ka paigaldamisel. Samas toimub asfaltkatte deformeerumine tee peal kolmes etapis [2], [26]:

1. Etapp – asfaltkatte algne järeltihenemine liikluse toimele;
2. Etapp – lineaarne roopasügavuse juurdekasv (lineaarne järeltihenemine koos segu nihkumisega);
3. Etapp – roopasügavuse eksponentsiaalne juurdekasv (segu nihkumine).

Iga rajatud asfaldikiht läbib pärast paigaldamist järeltihenemise etapi, mis on segude, konstruktsioonis oleva asetuse ja koormuse tõttu varieeruv. Kui asfaltsegu on projekteeritud poorsusega 2-3%, siis pärast teekatte algset järeltihenemist see langeb. Sellest tulenevalt kasvab risk deformatsiooniroobaste tekkeks veelgi.

Lisaks, ekslikult arvatakse, et pikiroobaste teket saab ära hoida, kui keskenduda vaid kulumiskihi asfaltsegu omadustele ja deformatsioonikindlusele. Tihti jäetakse tähelepanuta asjaolu, et kõige suuremad raskeliiklusest tekitatud nihkepingsed avalduvad teekatte pinnast 6-8 cm sügavusel [27], [28], mis Eestis kontekstis jääb suurte koormustega ristmikel tihti AC bin kihti. Seni on Eestis AC bin kihti suhtunud

kui AC surf tüüpi asfaltsegusse, milles võib kasutada odavamaid täitematerjale ning 0,2% võrra vähem bituumenit. AC bin segudele pole seatud täiendavaid erinõudeid, v.a marginaalne deformatsioonikindluse nõuete erinevus võrreldes AC surf tüüpi segudega standardis EVS 901-3:2021. Samas on AC bin kihil väga suur roll teede ja ristmike deformatsioonikindlamaks muutmisel.

Suure koormusega teedel ja ristmikel tuleks üle vaadata segude projekteerimispõhimõtted. Võimalikud alternatiivid oleksid alljärgnevad:

- Kulumiskihi ja siduvkihi segude minimaalne poorsus ei tohi olla alla 3%. Et täita EVS 901-3 nõudeid, jääks projekteeritavaks segude poorsusvahemikuks 3-5%. Täiendava nõudena võiks kaaluda soovitud tagada kulumiskihtides bituumeniga täidetud pooride maht VFB alla 85% ning siduvkihtides alla 80%.
- Ristmikel lubada AC bin kihi asemel kasutada AC 16 base või AC 20 base segu tingimustel, et täidetud on AC bin täitematerjalidele esitatavad nõuded ning segu poorsus jääks vahemikku 4-7%. See võimaldab arvestada täna kehtivas standardis EVS 901-3:2021 kirjeldatud nõuetega.
- Täiendava alternatiivina tasuks katseliselt proovida segude projekteerimist Marshalli lööktihendajaga tihendamisenergiaga 2 korda 75 lööki, jättes projekteerimisel nõuded samaks, mis ülal kirjeldatud. Suurem tihendusenergia viib suurema tiheduseni ja väiksema järeltihenemiseni. Poorsusnõude 3-5% saavutamiseks on tõenäoliselt vaja korrigeerida ka sideaine sisaldust väiksemaks, kui on viidatud standardis EVS 901-3:2021. Marshalli algne segude projekteerimine nägi ette tihendamisenergia 2x75 suure liikluskoormusega teede katete segude projekteerimiseks. Eestis on seni ekslikult arvatud, et tihendamisenergia 2x75 on mõeldud ainult lennuvälja segude projekteerimiseks.
- Segude projekteerimise seisukohast on võimalik katseliselt proovida ka alternatiivset segude projekteerimist Põhja-Ameerikas rakendatavate põhimõtete järgi, kus ühegi kihi segu ei tohi pärast järeltihenemist langeda alla 2%. Järeltihenemist simuleeritakse güratortihendajaga laboratoorselt suurte pöörete arvu juures (näiteks 160 või 205 pööret).
- Eestis on harjutud kasutama polümeermodifitseeritud bituumeneid margiga PMB 65/105-65 või 75/130-65. Nende sideainete lähtebituumeniks on 100/150 või 160/220 penetratsioonimargiga bituumenid. Suure liikluskoormusega teedel ja ristmikel tasuks kaaluda selliste polümeermodifitseeritud bituumenite kasutamist, mille lähtebituumeniks on olnud 70/100 penetratsioonimargiga bituumenid (näiteks PMB 45/85-65 või 45/80-75).
- Liiva kasutamine asfaltsegude koostises ei ole seni olnud keelatud, kuid nagu näitasid uuringus läbi viidud katsed, võib liiva kasutamine avaldada negatiivset mõju asfaltsegude deformatsioonikindlusele. Suure liikluskoormusega teedel ja ristmikel tuleks liiva kasutamine keelata seniks,

kuni ei ole selgelt välja kujunenud kogemust, millised liivad ja millises ulatuses probleeme võivad põhjustada.

- **Staatilise koormusega alade nõuetest kinnipidamine.** Majandus- ja taristuministri määrus nr 106 „Tee projekteerimise normid“ lisa peatükk 4.6 nägi ette nõuded staatilise koormusega alade projekteerimisele. Seoses projekteerimisnormide uuendamisega tõsteti need nõuded üle Transpordiameti „Elastsete teekatendite projekteerimise juhendisse“ (pt 6.11.2). Nõue näeb, ette, et staatilise koormusega alas tuleb kaks ülemist asfaltkatte kihti projekteerida jäigemad, kasutades selleks näiteks vastavaid lisandeid ning kandevkihi alla näha ette kandevkihiga identne kiht (aluse ülaosa asendatakse asfaltbetooniga). Probleem seisneb asjaolus, et praktikas seda võimalust ei kasutata või kasutatakse osaliselt.

# VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

- [1] "EVS-EN 13043:2004 Asfaltsegude ning teede, lennuväljade ja muude liiklusalade pindamiskihtide täitematerjalid," 2004.
- [2] R. N. Hunter, A. Self, and J. Read, *The Shell Bitumen Handbook*. ICE Publishing, 2015. doi: doi:10.1680/tsbh.58378.
- [3] *EVS 901-3:2021 Tee-ehitus. Osa 3: Asfaltsegud*. 2021.
- [4] C. Richardson, *The modern asphalt pavement*. 1914. Accessed: Aug. 01, 2024. [Online]. Available: <https://www.loc.gov/resource/gdcmassbookdig.modernasphaltpav00rich/>
- [5] C. Richardson, *The theory of the perfect sheet asphalt surface*. 1915.
- [6] J.C. Petersen and H. Plancher, "Model studies and interpretative review of the competitive adsorption and water displacement of petroleum asphalt chemical functionalities on mineral aggregate surfaces," *Petroleum Science Technology*, no. 16(1-2), 1998.
- [7] D. Lesueur, J. Petit, and H.-J. Ritter, "The mechanisms of hydrated lime modification of asphalt mixtures: a state-of-the-art review," *Road Materials and Pavement Design*, vol. 14, no. 1, pp. 1-16, Mar. 2013, doi: 10.1080/14680629.2012.743669.
- [8] J. Wang, M. Guo, and Y. Tan, "Study on application of cement substituting mineral fillers in asphalt mixture," *International Journal of Transportation Science and Technology*, vol. 7, no. 3, pp. 189-198, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.ijtst.2018.06.002.
- [9] Z. Fan, X. Wang, Z. Zhang, and Y. Zhang, "Effects of cement-mineral filler on asphalt mixture performance under different aging procedures," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 18, Sep. 2019, doi: 10.3390/app9183785.
- [10] A. H. Guha and G. J. Assaf, "Effect of Portland cement as a filler in hot-mix asphalt in hot regions," *Journal of Building Engineering*, vol. 28, p. 101036, Mar. 2020, doi: 10.1016/j.jobbe.2019.101036.
- [11] M. C. Liao, G. Airey, and J. S. Chen, "Mechanical properties of filler-asphalt mastics," *International Journal of Pavement Research and Technology*, vol. 6, no. 5, pp. 576-581, 2013, doi: 10.6135/ijprt.org.tw/2013.6(5).576.
- [12] European Lime Association, "Hydrated lime. A proven additive for durable asphalt pavements. Critical literature review," 2011. [Online]. Available: [www.eula.eu](http://www.eula.eu)
- [13] P.E. Sebaaly, "Comparison of lime and liquid additives on the moisture damage of hot mix asphalt mixtures," 2007.
- [14] P.E. Sebaaly, D.N. Little, and J.A. Epps, "The benefits of hydrated lime in hot mix asphalt," 2006.

- [15] D.N. Little and J.C. Petersen, "Unique effects of hydrated lime filler on the performance-related properties of asphalt cements: Physical and chemical interactions revisited," *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 17, no. 2, pp. 207–218, 2005.
- [16] D.N. Little and J.A. Epps, "The Benefits of hydrated lime in hot mix asphalt," 2001.
- [17] Trafikverket, *Bitumenbundna lager*, Version 4.0. 2020.
- [18] Transpordiamet, *Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised*. 2021.
- [19] Trafikverket, *Bestämning av vattenkänslighet genom pressdragprovning*. 2020.
- [20] Vegvesen, "Vegbygging Handbok N200," 2024.
- [21] Latvijas Valsts Celi, "Autoceļu būvdarbu specifikācijas 2023," 2023.
- [22] Päälystealan neuvottelukunta PANK ry, "Asfalttinormit 2023," 2023.
- [23] S. Siht and P. Vahter, "Asfaltsegude katseandmete analüüs," 2009.
- [24] A. Saarela, *Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma, ASTO 1987-1994. Asfalttipäällysteet. Osa I: Suunnittelu*. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio, 1992.
- [25] G. Dore and H. K. Zubeck, *Cold Regions Pavement Engineering*, 1st ed. 2009.
- [26] O. V. Laukkanen, H. Soenen, T. Pellinen, S. Heyrman, and G. Lemoine, "Creep-recovery behavior of bituminous binders and its relation to asphalt mixture rutting," *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 48, no. 12, pp. 4039–4053, Dec. 2015, doi: 10.1617/s11527-014-0464-7.
- [27] K. Su and L. Sun, "ANALYSIS OF SHEAR STRESS IN ASPHALT PAVEMENTS UNDER ACTUAL MEASURED TIRE-PAVEMENT CONTACT PRESSURE," 2008.
- [28] J. Guo, S. Yang, Y. Sun, Z. Chao, R. Yang, and H. Cheng, "Analysis of Shear Stress and Rutting Performance of Semirigid Base Asphalt Pavement on Steep Longitudinal Slope," *Advances in Civil Engineering*, vol. 2021, 2021, doi: 10.1155/2021/4445653.