



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND
Ehituse ja arhitektuuri instituut

**ASFALTSEGU TERASTIKULISE KOOSTISE JA SIDEAINE
SISALDUSE KATSETE LABORISISENE VARIEERUVUS
NING SELLE MÕJU KVALITEEDI HINNANGULE**

**INTRALABORATORY VARIABILITY OF GRADATION AND
BINDER CONTENT TESTING OF BITUMINOUS MIXTURES
AND IMPACT TO QUALITY ASSESSMENT**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Karli Kannenberg

Üliõpilaskood 221532EAXM

Juhendaja: Karli Kontson, doktorant

Kaasjuhendaja: Kristjan Lill, doktorant

Tallinn 2024

(Tiitellehe pöördel)

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt.

Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud.

Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

"....." 20.....

Autor: Karli Kannenberg

/ allkiri /

Töö vastab magistritööle esitatud nõuetele

"....." 20.....

Juhendaja: Karli Kontson

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

"....."20... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

/ nimi ja allkiri /

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks¹

Mina Karli Kannenberg

1. Annan Tallinna Tehnikaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

„Asfaltsegu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse katsete laborisisene varieeruvus ning selle mõju kvaliteedi hinnangule“

mille juhendaja on Karli Kontson ja kaasjuhendajaks Kristjan Lill,

1.1 reprodutseerimiseks lõputöö säilitamise ja elektroonse avaldamise eesmärgil, sh Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogusse lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2 üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tallinna Tehnikaülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas Tallinna Tehnikaülikooli raamatukogu digikogu kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. Olen teadlik, et käesoleva lihtlitsentsi punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest ning muudest õigusaktidest tulenevaid õigusi.

_____ (kuupäev)

¹ Lihtlitsents ei kehti juurdepääsupiirangu kehtivuse ajal vastavalt üliõpilase taotlusele lõputööle juurdepääsupiirangu kehtestamiseks, mis on allkirjastatud teaduskonna dekaani poolt, välja arvatud ülikooli õigus lõputööd reprodutseerida üksnes säilitamise eesmärgil. Kui lõputöö on loonud kaks või enam isikut oma ühise loominguulise tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtajaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.

Ehituse ja arhitektuuri instituut

LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

Üliõpilane: Karli Kannenberg

Õppekava, peeriala: EAXM15/22 Teede- ja sillaehitus

Juhendaja: Karli Kontson, doktorant

Kaasjuhendaja: Kristjan Lill, doktorant

Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Asfaltsegu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse katsete laborisisene varieeruvus ning selle mõju kvaliteedi hinnangule*

(inglise keeles) *Intralaboratory variability of gradation and binder content testing of bituminous mixtures and impact to quality assessment*

Lõputöö põhieesmärgid:

1. Anda ülevaade asfaltsegu terastikulise koostise ja lahustuva sideaine sisalduse määramisest ja selle olulisusest kvaliteedi hindamisel
2. Teostada terastikulise koostise ja lahustuva sideaine sisalduse katsetusi korduvustingimustel
3. Anda hinnang katsetulemustele ning leida võimalusi erinevateks kvaliteedi hindamise võimalusteks

Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Ülesande püstitus ja sõnastus	30.06.23
2.	Kirjanduse otsimine ja läbitöötamine	30.09.23
3.	Laboratoorse katsete lõpetamine	31.10.23
4.	Töö kirjutamine	31.12.23
5.	Töö valmis retsenseerimiseks	02.01.24

Töö keel: eesti

Lõputöö esitamise tähtaeg: ".....".....20.....a

Üliõpilane: Karli Kannenberg ".....".....20.....a
/allkiri/

Juhendaja: Karli Kontson ".....".....20.....a
/allkiri/

Kaasjuhendaja: Kristjan Lill ".....".....20.....a
/allkiri/

Programmijuht: Simo Ilomets ".....".....20.....a
/allkiri/

SISUKORD

EESSÕNA	7
1 SISSEJUHATUS.....	8
2 TEOREETILINE ÜLEVAADE.....	9
2.1 Asfaltsegu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse projekteerimine.....	9
2.2 Terastikulise koostise ja sideaine sisalduse mõju asfaltsegu omadustele ja vastupidavusele	10
2.2.1 Deformatsioonikindlus	10
2.2.2 Vastupidavus naastrehvidest põhjustatud kulumisele.....	11
2.2.3 Vastupidavus niiskusele ja vananemisele.....	12
2.3 Asfaltsegu proovivõtt ja ettevalmistus sideaine sisalduse ja terastikulise koostise määramiseks.....	14
2.4 Asfaltsegu sideaine sisalduse ja terastikulise koostise katsemeetodite kirjeldused	17
2.5 Terastikulise koostise ja sideaine sisalduse lubatud hälbed asfaltsegudele..	21
2.5.1 Eesti nõuded.....	21
2.5.2 Lähiriikide nõuded	23
2.6 Ülevaade statistilise analüüsi meetodist	26
2.6.1 Mõõteteeooria alused	26
2.6.2 Standardhälve ja standardmääramatus	27
2.6.3 Korduvus ja korratavus.....	28
2.6.4 Laiendmääramatus.....	29
3 EKSPERIMENTAALNE OSA	30
3.1 Proovide päritolu ja proovivõtt.....	30
3.2 Standardi korduvuse ja korratavuse allikad	31
3.2.1 Eksperiment 1	31
3.2.2 Eksperiment 2	31
3.2.3 Eksperiment 3	32
3.2.4 Eksperiment 4	32
3.2.5 Eksperiment 5	33
3.2.6 Standardi täpsusandmete kokkuvõte	33
3.3 Uuringusse kaasatud segude tulemused	33
3.3.1 AC 4 surf 70/100.....	34
3.3.2 AC 8 surf 70/100.....	35
3.3.3 AC 12 surf 70/100.....	37

3.3.4	AC 16 surf 70/100.....	38
3.3.5	SMA 16 70/100.....	40
3.3.6	AC 16 base 70/100.....	41
3.3.7	AC 20 surf 70/100.....	43
3.3.8	AC 20 base 70/100.....	45
3.3.9	AC 32 base 70/100.....	47
3.4	Tulemuste üldine analüüs	49
4	JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD	52
	KOKKUVÕTE	54
	SUMMARY.....	55
	KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU	56
	LISAD	58

EESSÕNA

Asfaltkatete rajamisel võetakse teatava sagedusega asfaltsegude proove, et kontrollida nende terastikulise koostise ja sideaine sisalduse vastavust nõuetele. Kui tuvastatakse, et materjal hälbib rohkem, kui nõuded lubavad, siis rakendatakse praktikas üldjuhul kas töövõtjale makstavat tasu vähendamist või nõutakse tööde ringitegemist. Käesoleva magistritöö teema valik sai tehtud vajadusest anda teaduslik hinnang täna Eestis kehtivatel sideaine sisalduse ja terastikulise koostise lubatud hälvete piirmäärade kohta. Eesti asfalditootjad on aastaid olnud seisukohal, et seda teemat peaks süvitsi analüüsima, et tuvastada terastikulise koostise ja sideaine sisalduse katsete meetodid katsetäpsused. Teema lõplik valik sa tehtud koos Tallinna Tehnikaülikooli doktorantide Karli Kontsoni ja Kristjan Lillega.

Autor soovib tänada magistritöö juhendajaid Karli Kontsoni ja Kristjan Lille, kes aitasid ja juhendasid autorit töö kirjutamise ajal. Suur tänu Kristjan Lillele ja Tallinna Tehnikaülikooli Teede ja liikluse teadus- ja katselaboratooriumi personalile käesolevas töös kajastatud katsetulemuste jagamise eest.

Autor soovib tänada ka KMG OÜ-d ja selle labori liikmeid. Eraldi soovib autor tänada Andre Vinkelit, kes oli töös kajastatud KMG OÜ poolsete katsete teostaja.

Võtmesõnad: asfaltsegu, korduvustingimus, korratavustingimus, kvaliteet, mõõtemääramatus, magistritöö.

1 SISSEJUHATUS

Eesti Statistikaameti 2022. aasta andmetel on Eesti teedevõrgu kogupikkus on ca 45 000 km, riigimaanteed hulka kuulub 16 969 km ning mida haldab Transpordiamet. Riigimaanteedest üle poole moodustavad asfalt- ja mustkattega teed. Eesti Taristuehituse Liidu poolt avaldatava statistika põhjal on viimase viie aasta asfalditoodang vahemikus 1,2-1,7 miljonit tonni aastas ning alates 2015. aastast on asfalditoodangu maht olnud stabiilselt üle 1 tonni ühe elaniku kohta.

Asfaltsegu koosneb keskmiselt ca 95 massi-% täitematerjalidest ja 5 massi-% bituumenist. Asfaltsegu lõplik koostise valik sõltub mitmetest asjaolust, millest peamisteks on kasutuskohas määratletud nõuded, ehk tellija või kliendi ootused tulevase teekatte omadustele ja elueale ning asfaltsegu lähtematerjalide kättesaadavus ja nende maksumus. Lähtematerjalide vahekord, ehk retsept on asfaltsegude toimivuse ja vastupidavuse, ehk nõuete täitmise seisukohast üliolulise tähtsusega. Kõrvalekalded retseptiga ettenähtud koostisest võivad põhjustada kõrvalekaldumisi ka soovitud omadustest, mis võib vähendada rajatud teekatte eluiga. Hälbimine kokkuleppelisest kvaliteedist võib põhjustada lisakulutusi nii tee kasutajatele kui ka omanikele. Enne eeldatava tee eluea lõppu teostatavad defektide parandamised on ressursimahukad ja kallid.

Et tuvastada ja kontrollida retseptist lubatust suuremaid hälbumisi, kontrollitakse asfaltsegude tootmisel ja paigaldamisel selle terastikulise koostise ja sideaine sisaldust standardites või nõuetes ettenähtud sagedustega. Asfalditehase juurest tootmise käigus võetud proovide tulemused on sisendiks tootmise korrigeerimise. Objektilt võetavate proovide lubatust suuremate hälbumiste korral teostatakse üldjuhul kas mahaarvamine, ehk trahv või tööde ringitegemine.

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks on tuvastada, millised on asfaltsegu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse katsemeetodite juhuslik määramatus akrediteeritud laborites korduvustingimustel. Töös kasutatud andmed pärinevad nii Tallinna Tehnikaülikooli Teede ja liikluse teadus- ja katselaboratooriumis kui ka KMG OÜ laboris tehtud katsete tulemustest.

Töös on välja toodud ka lähiriikide praktika ja nõuded asfaltsegude terastikulise koostise ja sideaine sisalduse kontrollimiseks. Töö tulemusena on tehtud erinevaid ettepanekuid, kuidas üksiktulemuste juhuslikust varieeruvusest tingitud valenegatiivset kvaliteedihinnangut vältida. Töö üheks täiendavaks eesmärgiks on tõsta mõõtmistega ja töös kasutatud meetodite täpsusega seotud teadlikkust teedeehituse valdkonnas.

2 TEOREETILINE ÜLEVAADE

2.1 Asfaltsegu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse projekteerimine

Asfaltsegu terakoostise ja sideaine sisalduse laboratoorsed määrangud on esmasteks ja kõige kiiremateks katsemeetoditeks asfaltsegu kvaliteedi hindamisel. Eestis on iga asfaltsegu margi jaoks rahvuslikus standardis EVS 901-3 ära toodud maksimaalsed ja minimaalsed sõelkõvera välja piirid, kuhu vahemikku segu koostis peab mahtuma. Esmane asfaltsegu terakoostise projekteerimine toimubki asfaltsegu kasutatavate täitematerjalide terakoostiste järgi. Standardis EVS 901-3 Lisas 1 „Asfalt- ja mustsegu retsepti vorm“ on välja toodud tüüpiline asfaldiretsepti näidis ja see on leitav ka käesoleva töö lisas. Sisestades antud vormile kõikide asfaltsegu kasutatavate täitematerjalide terastikulised koostised ja nende eeldatavad protsentuaalsed osakaalud segus, saame esialgse asfaltsegu terastikulise normkoostise¹. Olenevalt täitematerjalidest, asfaltsegu kasutamistingimustest, majanduslikest kaalutlustest saab muuta täitematerjalide protsentuaalseid sisaldusi ja läbi selle muuta terastikulist normkoostist.

Kui täitematerjalidest normkoostis on valitud, on järgmiseks sammuks asfaltsegu sideaine, ehk bituumeni sisalduse valik. Segusse doseeritava sideaine optimaalse sisalduse valikul saab lähtuda laboratoorsetest katsetest (laboratoorne segu projekteerimine) või varasemast kogemusest sarnase asfaltsegu tüübiga kogemuslikult (kogemuslik segu projekteerimine). Eestis lähtutakse enamjaolt kogemuslikust segu projekteerimisest ja sideaine sisalduse valikust. Standard EVS 901-3 annab ette minimaalse sideaine sisalduse piirmäärad erinevatele segudele ning see on üks peamisi lähtepunkte asfaltsegu projektse sideaine sisalduse jaoks.

Tihti valmistatakse ka laboratoorseid proovisegusid, et veenduda asfaltsegu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse valiku paikapidavuses segu poorsusomaduste suhtes. Segu poorsusomaduste all mõistetakse segu jäävpoorsust, skeletipoorsust ja bituumeniga täidetud pooride mahtu. Nõuded konkreetsete segude poorsusomadustele on samuti ära toodud rahvuslikus standardis EVS 901-3. Alates 2021. aastast kehtima hakanud EVS 901-3 uuendus normeerib segu nõutava jäävpoorsuse, kuid sellele eelnenud versioonis (2009) olid ette nähtud ka nõuded skeletipoorsusele [EVS 901-

¹ Normkoostis on erinevatest täitematerjalide fraktsioonidest ja protsentuaalsest sisaldusest tulenev asfaltsegu terakoostis.

3:2009]. Tegelikult on nii jääpoorsus, skeletipoorsus kui ka bituumeniga täidetud pooride maht segu projekteerimise seisukohast olulise tähtsusega. Kui segu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse valik vastab standardi EVS 901-3 ja segu projekteerija nõuetele, viiakse läbi täiendavad katsetused, nt asfaltsegu veepüsivus (EN 12697-12), deformatsioonikindlus (EN 12697-22), kulumiskindlus (EN 12697-16) vms.

2.2 Terastikulise koostise ja sideaine sisalduse mõju asfaltsegu omadustele ja vastupidavusele

Asfaltsegud on viskoelastsed ehitusmaterjalid, mis koormamisel käituvad korraka nii elastselt (kuju taastavalt) kui ka viskoosselt, plastselt (kuju mitte-taastavalt). Asfaldi viskoelastsed omadused konkreetsetes olukorras sõltuvad teekatte rakendatud koormuse suurusest ja selle ajalisest kestvusest. Segu viskoelastsus tuleneb bituumeni omadustest ning elastsus ja plastsus tulenevad täitematerjalidest. [1]

Asfaltsegu terastikulisel koostisel ja bituumeni sisaldusel on märkimisväärne mõju segu ja sellest rajatud teekatte lõppomadustele ja vastupidavusele [2]. Asfaltsegu terastikuline koostis mõjutab peamiselt tulevase teekatte vastupidavust mehaanilistele ja keskkonnast tingitud teguritele. Eesti tingimustes on olulisteks mehaanilisteks teguriteks vastupidavus pikiroobaste tekkele (deformatsioonikindlus) ja naastrehvide kasutamisest tingitud kulumisele (kulumiskindlus) [3] ning keskkonnateguriteks vastupidavus niiskusele (veepüsivus) [3]. Tegelikult on neid tegureid teisigi, mida retseptiga soovitakse minimeerida. Näiteks vastupidavus korduvale koormamisele (väsimuskindlus), vastupidavus vananemisele (bituumeni oksüdeerumine) ja vastupidavus madalatel temperatuuridel tekkivale mahukahanelemisele [1].

Käesolevas jaotises on analüüsitud seguretsepti mõju peamistele teguritele, millega Eestis asfaltsegude projekteerimisel ja katete rajamisel tuleb arvestada.

2.2.1 Deformatsioonikindlus

Eestis võivad suvised teekatte temperatuurid tõusta üle +50°C. Sellistel temperatuuridel väheneb asfaltsegu oleva bituumeni viskoosus, mistõttu muutuvad teekatted vastuvõtlikuks plastsetele deformatsioonidele. Selle tulemusena kasvab risk, et teekattel avalduvad pikiroopad. [4]

Soomes 1980. a lõpus ja 1990. a alguses läbi viidud asfaltkatete uuringus ASTO järeldati, et asfaltsegu terastikulise koostise mõju asfaltsegu deformatsioonikindlusele on ca 30% [5]. Allikas [6] uuriti ehitusaegse segregerumise mõju asfaltsegu

lõppomadustele. Uuringu tulemusena leiti, et asfaltsegude deformatsioonikindlus võib terastikulisest koostisest sõltuda üle 40%, ehk rohkemgi, kui ASTO uuringus välja toodi. Uuringus [7] leiti, et terastikulist koostist muutes võib asfaltsegu deformatsioonikindlus, ehk vastupidavust pikiroobaste tekkele muutuda -41% kuni +306% võrra, võrreldes algse referentsseguga. Viidatud uuringus võrreldi rattarooma katsega saadud lõpproopa sügavust millimeetrites ning referentsseguks oli terastikulise koostise sõelkõvera välja keskele projekteeritud segu poorsusega 4%.

Artiklis [6] toodi välja, et kõrvalekalded segu projektsest koostisest mõjutavad negatiivselt teekatte vastupidavust koormustele, mis omakorda vähendab teekatte eluiga. Eraldi toodi välja, et jämedate terade osakaalu suurendamisega kasvab segu nihketugevus, kuid liiga suure osakaalu juures võib ilmned a vastupidine efekt, sest terade omavaheline nidusus ja kontakt langeb. Samuti toodi välja, et liiga suur peentäitematerjali osakaal vähendab segude nihketugevust.

Allikas [8] keskendus pideva terakoostisega AC-tüüpi asfaltsegude deformatsioonikindluse ja terastikulise koostise vaheliste seoste leidmisele. Uuringus on välja toodud, et segu nihkekindluse tagamiseks on vaja luua eeldused hea täitematerjalide omavaheliseks kontakt ning eriti olulist rolli täidab selle saavutamisel segu terastikuline koostis, eelkõige 4,75 mm suurusega terade osakaal asfaltsegus. Pideva terakoostisega AC 19 (20) mm tüüpi segu korral peaks see jääma ca 40% ligidale.

Kuid mitte ainult terastikuline koostis ei mõjuta asfaltsegude deformatsioonikindlust. Deformatsioonikindluse seisukohast on oluline tagada ka segu optimaalne jäävpoorsus. Uuringutega on leitud, et etteantud terastikulise koostise jaoks on asfaltsegu sideaine sisaldus liiga kõrge, siis langeb ka asfaltsegu jäävpoorsus. Liiga madala jäävpoorsuse juures ja liiga kõrge bituumeniga täidetud pooride mahu juures väheneb asfaltkatte vastupidavust nihkepingetest tingitud jäävdeformatsioonidele hüppeliselt [5], [9].

2.2.2 Vastupidavus naastrehvidest põhjustatud kulumisele

Põhjamaades ja teistes lähiriikides on küllaltki levinud naastrehvide kasutamine. Eestis läbi viidud viimaste loendusandmete põhjal on naastrehvide kasutamise osakaal sõiduautode hulgas üle 60% [10]. Naastrehvide kasutamine põhjustab küllaltki intensiivset teekatte kulumist, mis avalduvad pikiroobastena (kulumisroopad).

Eestis kontrollitakse asfaltsegude vastupidavust naastrehvidest põhjustatud kulumisele läbi kahe katsemeetodi [3], [11], [12]:

- a) kulumiskindluse määramine abrasiivsele hõõrdkulumisele naastrehvide toimel (nn Põhjamaade katse);
- b) vastupidavus naastrehvide toimele (nn Prall katse).

Esimene nendest võimaldab kvantitatiivselt hinnata asfaltsegu kasutatavate täitematerjalide vastupidavust mehaanilisele kulumisele. Pralli katse võimaldab kvantitatiivselt hinnata asfaltsegu vastupidavust naastrehvidest põhjustatud kulumisele.

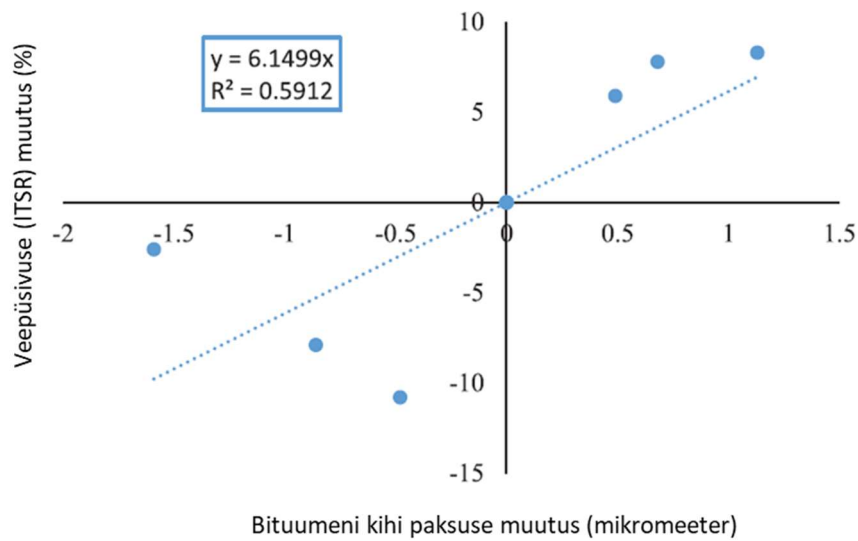
Uuringud, mis on keskendunud naastrehvide kulumist põhjustavate tegurite väljaselgitamisele, toovad üheselt välja, et teekatte vastupidavus naastrehvidest põhjustatud kulumisele sõltuvadki eelpool loetletud kahest tegurist – asfaltsegu kasutatud täitematerjali enda vastupidavus mehaanilisele kulutamisele ja asfaltsegu terastikulisest koostisest ehk retseptist. Retsepti seisukohast eksisteerib seos, et väiksema maksimaalse teramõõduga ning suurema alla 4 mm suurusega terade osakaaluga segude vastupidavus naastrehvidest tingitud kulumisele on märkimisväärselt väiksem. [13]–[16]

2.2.3 Vastupidavus niiskusele ja vananemisele

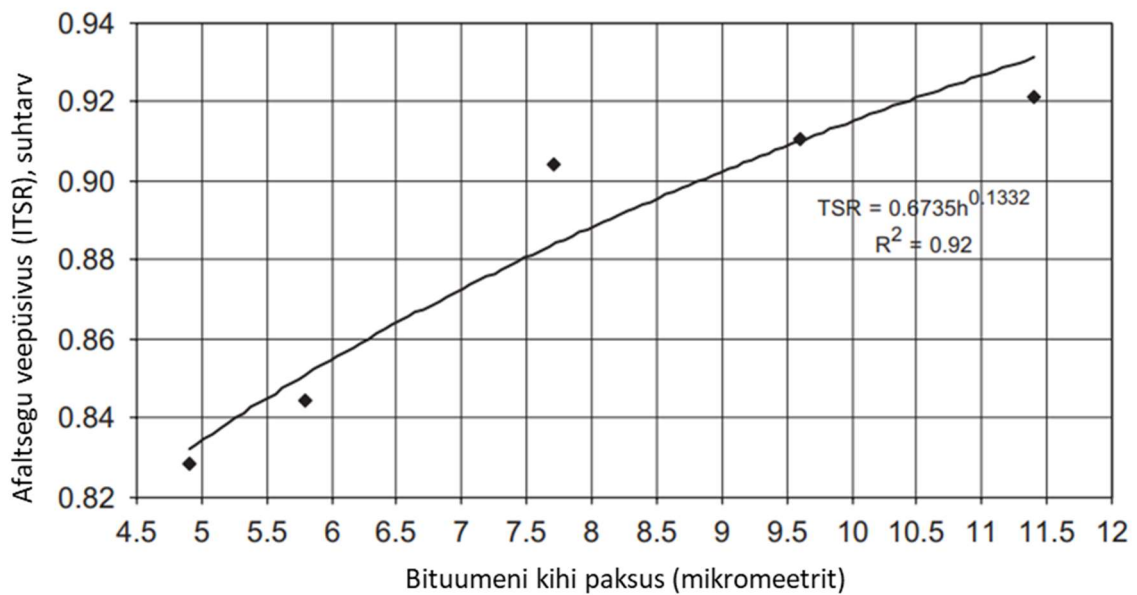
Asfaltkatete vastupidavuse seisukohalt on oluline tagada ajav püsiv nake täitematerjali ja bituumeni vahel. See sõltub kahest tegurist – täitematerjalide ja bituumeni omavaheline nake, mida määratakse laboratoorselt meetodiga EN 12697-12 ja segu enda vastupidavus niiskusele (veepüsivus), mida määratakse meetodiga EN 12697-16. [3]

Segu terastikulisel koostisel ja sideaine sisaldusel on suur mõju asfaltsegu jäävpoorsusele ja bituumeniga täidetud pooride mahule. Kui asfaltsegu projektne poorsus on liiga suur, pääseb vesi teekatte sisse, mistõttu muutub asfaltkate vastuvõtlikumaks niiskusest tingitud defektide tekkele [17]. Kriitiliseks piiriks, millest alates kasvab risk, et vesi pääseb teekattesse, on ca 6-8%. Pooride kuju ja nende jaotus asfaltkattes sõltuvad segu terastikulisest koostisest. Jämedama terastikulise koostisega segude korral eksisteerib suurem tõenäosus, et poorid on omavahel ühendatud ja juhivad vett. [18]

Asfaltsegude veepüsivuse seisukohast on terastikulist koostisest tähtsam bituumenikihi paksus täitematerjali ümber. Terastikulise koostise varieeruvus sama bituumeni sisalduse juures võib bituumenikihi paksust mõjutada määral, mis mõjutab veepüsivuse (TSR) tulemust kuni 30 %-punkti võrra (Joonis 2.1, Joonis 2.2). [7], [19]



Joonis 2.1. Asfaltsegu täitematerjale ümbritseva bituumeni kihi paksuse mõju asfaltsegu veepüsivusele (ITSR). Väiksema bituumeni kihi korral langeb asfaltsegu vastupidavus niiskusele [7].



Joonis 2.2 Asfaltsegu täitematerjale ümbritseva bituumeni kihi paksuse mõju asfaltsegu veepüsivusele (ITSR). Vertikaalteljel on ITSRI tulemus antud suhtarvuna, mitte protsentides [19].

Lisaks veepüsivusele mõjutab poorsus teekattes oleva bituumeni vananemist (oksüdeerumist). Sarnaselt veeläbilaskvuse seisukohast kriitilisele jäävpoorsusele, kasvab teekatte vananemine märgatavalt alates poorsusest 8%. Bituumeni vananemine sõltub otseselt poorsusest ja bituumenikihi paksusest. [20]

2.3 Asfaltsegu proovivõtt ja ettevalmistus sideaine sisalduse ja terastikulise koostise määramiseks

Iga asfaltsegude katsetamisega seonduv eeldab proovide võtmist. Usaldusväärsete katsetulemuste aluseks on korrektne proovide võtmine ja ettevalmistamine. Asfaltsegudest proovide võtmist käsitleb standard EVS-EN 12697-27, kus on välja toodud mitu erinevat viisi, kuidas proove tootmise ja paigalduse erinevatel etappidel võtta [21]. Enim kasutust leidvateks standardijärgseteks proovivõtu meetoditeks on proovi võtmine veoki koormast ja proovi võtmine laoturi tiguvõllide juurest. Esimest neist kasutatakse asfalditehases toote kvaliteedi regulaarseks kontrollimiseks. Laoturi tiguvõllide juurest võetavaid proove kasutatakse peamiselt objektile tarnitud asfaltsegu jooksvaks kvaliteedikontrolliks. Tiguvõllide juurest võetavad proovid on üldjuhul ka proovivõtumeetod, mida kasutatakse Transpordiameti objektidel tööde vastuvõtukatsetusteks võetavate seguproovide korral [22].

Asfaltsegu sideaine sisalduse ja terastikulise koostise määramiseks võetud proovid tuleb ette valmistada vastavalt standardile EVS-EN 12697-28. Standard kirjeldab erinevaid viise, kuidas proove ette valmistada ja laboratoorselt vähendada, et saada katsetamiseks sobiva homogeensusega ja kogusega proov (katseproov). Proovide korrektne vähendamine on asjakohane siis, kui proovi algne mass on suurem kui neljakordne katseks vajalik kogus. Kuigi proovide vähendamist tehakse üldjuhul laboris, võib praktikas vähendamise teostada ka objektil vahetult pärast proovivõttu [23]. Asfaltsegu terastikulise koostise ja sideaine sisalduse määramiseks annab standard võimaluse proovi vähendada kahel erineval moel. Kasutada võib nii kvarteerimist kui ka renniga jagamist. Esindusliku proovi saamiseks on proovi jagamise protsessi täpne läbi viimine olulise tähtsusega. Mida jämedama terastikulise koostisega asfaltseguga on tegemist, seda olulisemaks muutub proovi jagamise protsess. [24]

Enne proovi jagamist tuleb laboriproovi ahjus kuumutada, et jagamise protsess oleks võimalik. Standardis EVS-EN 12697-28 on viidatud ahju temperatuurid laboriproovi ülessoojendamiseks enne jagamist. Temperatuuri valik sõltub asfaltsegu kasutatavast sideaine margist, ehk penetratsioonist. Eestis kasutatakse asfaltsegudes sideainet penetratsiooniga 70/100. Vähesel määral on kasutusel ka 100/150 ja 160/220 penetratsiooniga sideaineid. Kõikide nende sideaine markide jaoks annab standard ahju temperatuuriks 120° C [24].

Joonis 2.3 on näha proovi jagamise renni. Üldjuhul jagatakse sellega sideainega sidumata täitematerjale, kuid standard lubab renniga jagada ka asfaltsegusid.

Praktilistel kaalutlustel on see võimalus väga harva kasutatav. Käesoleva töö autorile teadaolevalt Eestis täna renniga asfaltsegu jagamist laborites regulaarselt ei teostata.

Renni tööpõhimõte on täitematerjali jagamine kaheks võrdseks osaks. Täitematerjal valatakse ülevalt renni šahti. Šahti põhjas asuva luugi avamisega jaguneb materjal kahte erinevasse kasti. Seejärel saab ühe kasti materjali jagamisest eemaldada ning teise kasti sisu jagada uuesti protsessi korrates. Jagamist teostatakse kuni on saavutatud standardile vastav kogus materjali.



Joonis 2.3 Proovi jagamise renn.

Praktikas on peamiseks asfaltsegu proovide jagamise meetodiks kvarteerimine. Kvarteerimise protsess ja etapid on ära toodud Joonis 2.4 kuni Joonis 2.7. Joonis 2.4 iseloomustab laborisse toodud ja ahjus soendatud proovi ehk laboriproovi, mis vajab vähendamist. Joonis 2.5 on laboriproov jaotatud neljaks võrdseks osaks kvarteerimise teel. Joonis 2.6 on eraldatud kaks diagonaalset osa. Joonis 2.7 on eelneva protsessi käigus järele jäänud kaks osa kokku liidetud ja mis on lõplik katseproov.



Joonis 2.4. Laborisse toodud proov (laboriproov), mis vajab vähendamist.



Joonis 2.5. Laboriproov kvarteeritult neljaks osaks.



Joonis 2.6. Laboriproovist eraldatud kaks osa.



Joonis 2.7. Kahest osast moodustatud vähendatud katseproov.

Sarnaselt renniga jagamisele, saab kirjeldatud kvarteerimise protsessi korrata seni, kuni on saavutatud katseks vajalik proovi kogus. Asfaltsegu sideaine sisalduse ja

terastikulise koostise määramiseks vajalikud minimaalsed katsekogused on välja toodud tabelis 2.1.

Tabel 2.1 Asfaltsegu kogused terastikulise koostise ja sideaine sisalduse määramiseks [24].

Materjali liik	Minimaalne (kohustuslik), g	Maksimaalne (soovituslik), g
AC 32	3000	5000
AC 20	1500	2500
AC 16	1000	2000
AC 12	1000	2000
AC 8	800	1400

2.4 Asfaltsegu sideaine sisalduse ja terastikulise koostise katsemeetodite kirjeldused

Asfaltsegu sideaine sisalduse ja terastikulise koostise määramise esimeseks sammuks on sideaine eraldamine proovist ning seda saab üldjuhul teha kahel viisil. Sideainet saab asfaltsegust eraldada kas lahustiga (ekstraheerides) või põletamise teel.

Lahustiga eraldamise nimetatakse tihti ka ekstraheerimiseks ja seda käsitleb standard EVS-EN 12692-1. Põletamisel kasutatakse spetsiaalset laboratoorset ahju, mis võimaldab temperatuure tõsta piirini, kus orgaaniline aine (bituumen) põleb ära. Põletamismeetodit käsitleb standard EN 12697-39.

Põletamise vastu räägib asjaolu, et tegemist on aeglasema, tehniliselt ebamugavama ja rohkem ressursi nõudva protsessiga. Meetod vajab eelnevat kalibreerimist segus kasutatavate lähtematerjalide ja lisanditega, mis võivad kõrgel temperatuuril hakata termiliselt lagunema, avaldades mõju katse tulemusele ja täpsusele. See on ka üks põhjustest, miks seda meetodit pole Eesti laialdaselt kasutusele võetud. Uuringud on näidanud, et korrektsel kalibreerimisel ja teostamisel on põletusmeetod täpsem võrreldes lahustiga sideaine sisalduse määramise meetodist. [25]

Eestis kasutatakse sideaine eraldamiseks ekstraheerimise meetodit. Standard võimaldab sideaine eraldamiseks kasutada erinevaid lahusteid. Seni kuni puudub ühtne kokkuleppeline Euroopa Standardimiskomitee (CEN) poliitika kasutatavate lahustite osas, peavad kõik liikmesriigid lahusti ise valima, võttes seejuures arvesse Montreali

protokoll ning riiklike järelevalveorganite poolt seatud nõudeid [26]. Eestis on eranditult lahustina kasutusel metüleenkloriid.

Eestis kasutatakse nii täisautomaatsed kui ka poolautomaatsed ekstraktoreid. Joonis 2.8 on näha Tallinna Tehnikaülikooli teede labori poolautomaatset ekstraktorit. Joonis 2.9 on näha firma KMG OÜ täisautomaatset ekstraktorit. Autorile teadaolevalt kaustatakse Eestis ainult Infratest ekstraktoreid.



Joonis 2.8 Firma Infratest poolautomaatne ekstraktor.



Joonis 2.9 Firma Infratest täisautomaatne ekstraktor.

Sideaine sisalduse määramine läbi ekstraheerimise koosnes järgnevatest etappidest:

- Sideaine eraldamine lahustiga lahustamise teel;
- Täitematerjali eraldamine sideaine ja lahusti lahusest;
- Sideaine koguse määramine massierinevuste järgi (enne ja pärast sideaine eraldamist);
- Lahustuva sideaine sisalduse määramine (segu kogumassist).

Peale sideaine eraldamist ekstraheerimise teel määratakse järele jäänud täitematerjalile terastikuline koostis vastavalt standardile EVS-EN 12692-2. Antud standard kirjeldab, kuidas täitematerjaliga edasi käituda, kuid peamiselt viidatakse edasi standardile EVS-EN 933-1, mis käsitleb tavapäraselt terastikulise koostise määramist sõelumise teel.

Asfaltsegu terastikuline koostis määratakse pärast ekstraheerimist kuivõelumise teel. Sõelte komplekt ja raputi on näha Joonis 2.10. Joonis 2.11 ja Joonis 2.12 on näha asfaltsegu enne ja peale ekstraheerimist.

Sõelumise protsess koosneb kahest peamisest osast:

- Täitematerjali raputamine sõeltekomplektis;
- Sõeltele jäänud täitematerjali kaalumine.

Standard EVS-EN 12692-2 määratleb minimaalseks terastikulise koostise katsetamise koguseks 50 D g või 1000 g (neist väikseim), kus D tähistab asfaltsegu suurimat terasuuruse mõõtu millimeetrites. [27]



Joonis 2.10 Täitematerjali sõelumiseks kasutatav raputi ja sõelte komplekt.



Joonis 2.11 Asfaltsegu katseproov enne ekstraheerimist.



Joonis 2.12 Peale ekstraheerimist eraldatud täitematerjal.

Lahustuva sideaine sisalduse katsetulemus näidatakse labori katseprotokollil ümardatuna esimese komakohani. Terastikulise koostise puhul näidatakse ära katsetamise kaasatud sõeltest läbi läinud materjalide kogused (läbindid) protsentides. Läbindid näidatakse täisarvudena, välja arvatud 0,063 mm sõela läbind, mis ümardatakse esimese komakohani [26].

Lisas 2 on välja toodud üks KMG OÜ labori poolt väljastatud AC 32 base 70/100 katseprotokoll nr A3844B näidis, kus on näha, kuidas laborid asfaltsegu lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise katse tulemusi avaldavad. Informatiivsetel eesmärkidel on katseprotokollis välja toodud ka antud asfaltsegu sõelkõvera minimaalsed ja maksimaalsed väärtused (sõelkõvera välja piirid) ja projekteeritud terastikuline koostis (normkoostis). Eestis kasutatakse sõelkõvera välja piiridena standardis EVS 901-3 kirjeldatud piire. Samuti on väärtused kajastatud graafikul, et anda klientidele parem ja kiirem ülevaade katse tulemustest.

2.5 Terastikulise koostise ja sideaine sisalduse lubatud hälbed asfaltsegudele

2.5.1 Eesti nõuded

Käesoleva töö valmimise hetkel kehtivatest Eesti nõuetest saab välja tuua kaks Euroopa standardit, ühe määrase ja ühe juhise, mis käsitlevad asfaltsegude tootmisel ja tarnimisel lubatud hälbeid asfaltsegu sideaine sisaldusele ja terastikulisele koostisele.

Asfalditootja seisukohast on esmatähtsaks harmoniseeritud Euroopa standard EN 13108-21. Viidatud standardis on antud asfaltsegu lubatud lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise hälbed (Tabel 2.2). Standardis on välja toodud lubatud hälbed nii üksikproovidele ja ka nelja proovi keskmistele tulemustele. Nelja proovi keskmistele tulemustele rakendatakse oluliselt kitsamaid hälbepiire, kui üksikproovide tulemustele. [28]

Lisaks on standardites diferentseeritud hälbeid peeneteralistele ja jämedateralistele asfaltsegudele. Standardi kohaselt loetakse peeneteralisteks segudeks kõik kattekihi (AC surf ja SMA) segud ning siduv- ja kandevkihid (AC bin ja AC base) asfaltsegud, mille maksimaalne terasuurus D on väiksem kui 16 mm ($D < 16$ mm). Jämedateralisteks segudeks loetakse siduv- ja kandevkihi segud, mille maksimaalne terasuurus $D \geq 16$ mm.

Neid hälbeid kasutatakse asfaltsegu tootmise käigus tootmistaseme määramiseks. Tootmistase on viimase 32 asfaltsegu proovi tulemusi kajastav analüüs. Kui tulemus väljub lubatud hälvete piiridest, loetakse proov mittevastavaks. Olenevalt mittevastavuste arvust tekib tulemustele tootmistase. Tootmistasemeid tähistatakse tähtetega A kuni C ja tasemest sõltub tootmisohjes rakendatav katsetamise sagedus. Madalama tootmistaseme korral tuleb asfalditootjal katseid teostada tihedamini.

Tabel 2.2 EN 13108-21 ja EVS 901-3 asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise lubatud hälbed [3], [28].

Sõel	Üksikproovi hälve projektkoostisest		Nelja proovi keskmine hälve projektkoostisest. <i>Lubatud keskmine hälve projektkoostisest</i>	
	Peeneteralised segud	Jämedateralised segus	Peeneteralised segud	Jämedateralised segus
D	-8 +5	-9 +5	± 4	± 5
D/2 või iseloomulik jämesõel	± 7	± 9	± 4	± 4
2 mm	± 6	± 7	± 3	± 3
Iseloomulik peensõel	± 4	± 5	± 2	± 2
0,063 mm	± 2	± 3	± 1	± 2
Lahustuva sideaine sisaldus	± 0,5	± 0,6	± 0,3	± 0,3

Lisaks tootmisohje standardile kohaldub Eestis rahvuslik standard EVS 901-3, millesse võeti üle lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise hälbed standardist EN 13108-21. Lubatud hälbed on välja toodud Tabel 2.2. [3]

Eestis toodetakse enamuse asfaltsegusid vastavalt Transpordiameti juhendile „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhend“. Käesolevas töös on kasutatud juhendi 2021. aasta versiooni. Antud juhend on kehtiv kõikides Transpordiameti lepingutes. Juhendit rakendatakse tihti ka väljaspool Transpordiameti haldusala ning sellele juhendile tuginetakse ka paljudes kohalike omavalitsuste ehitus- ja hooldelepingutes. Viidatud juhendis on asfaltsegu sideaine sisaldusele ja terastikulisele koostisele rakendatud kitsamaid lubatavaid hälbeid, kui standardites EVS-EN 13108-21 ja EVS 901-3. Transpordiameti juhendi lubatavad hälbed langevad pigem kokku eelpool loetletud standardites nelja proovi keskmisele tulemusele rakendatud piiridega, kuid tööde vastuvõtmisel ja kvaliteedi hindamisel rakendatakse neid hälbeid ka üksikproovide tulemuste tõlgendamisel, ehk nende põhjal antakse lõpphinnang asfaltsegu kvaliteedile. Transpordiameti juhendi lubatavad hälbed on välja toodud Tabel 2.3 [23]. Suur erinevus võrreldes Tabel 2.2 tooduga eksisteerib lahustuva sideaine sisalduse hälvete osas.

Eestis kehtib avalikult kasutatavate teede ehitamisel Majandus- ja taristuministri määrus nr 101 „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“, mis sätestab miinimumnõuded tööde vastuvõtmisel. Viidatud määruses on asfaltsegu lahustuva sideaine sisalduse hälbepiirid identsed Transpordiameti juhendi piiridega, mis on välja toodud tabelis 2.3. [29]

Tabel 2.3 Asfaldist katendikihtide ehitamise juhendi (TA 2021) asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise lubatud hälbed [23].

Sõela ava, mm	SMA	AC surf	AC bin	AC base
0,063	± 2	± 2	± 2	± 2
0,5	± 4	± 4	± 4	± 4
2	± 5	± 5	± 5	± 5
D/2 või iseloomulik jämesõel	± 6	± 6	± 6	± 7
D	-8 + 5	-8 + 5	-8 + 5	-8 + 5
Lahustuva sideaine sisaldus	± 0,2	± 0,3	± 0,3	± 0,3

2.5.2 Lähiriikide nõuded

Järgnevalt on välja toodud meie lähiriikide nõuetes sätestatud terastikulise koostise ja lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälbed.

Läti asfaltsegude terastikulise koostise ja lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälbed on ära toodud Tabel 2.4. Lätis kasutatakse kahte erisust, mis tuleneb asfaltsegu maksimaalsest terasuurusest D. Kõik alla 16 mm maksimaalse terasuurusega segud jäävad ühte gruppi, mida tinglikult saab pidada peeneteralisteks segudeks ning 16 mm ja üle selle segud jäävad teise gruppi (jämedateralised segud). [30]

Lätis kasutatakse hilisemal tulemuste hindamisel ja kvaliteedi hinnangu andmisel ka statistilist lähenemist, kus objektilt võetud proovide tulemuste statistilisel analüüsil leitakse tõenäosuse määr, et tarnitud materjal vastab nõutud omadustele. See võimaldab üksikuid suuremaid hälbeid tõlgendada väiksem osakaaluga kvaliteedi lõpphinnangule. Samuti arvestatakse Lätis statistilise analüüsi käigus mõõtmistulemusi koos mõõtemääramatustega. [30]

Tabel 2.4 Läti asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise lubatud hälbed [30].

Sõela ava, mm	Asfaltsegu suurim teramõõt, mm	
	D < 16	D ≥ 16
	Lubatud hälbed	
1,4 D	-2	-2
D	-8 + 5	-9 + 5
4	± 7	± 9
2	± 6	± 7
0,5	± 4	± 5
0,063	± 2	± 3
Lahustuva sideaine sisaldus	± 0,5	± 0,6

Leedu asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälbed on ära toodud Tabel 2.5. Leedus on lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälbed seotud katsetatud proovide arvuga. Mida rohkem proove, seda väiksemaks muutub lubatud hälve. AC base segudel on mõne võrra suuremad hälbed kui ülejäänud segudel. Sarnaselt sideaine sisalduse lubatud hälvimisele on ka terastikulise koostise lubatavad hälvimised seotud võetud proovide arvuga. [31]

Tabel 2.5 Leedu asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälbed [31].

Asfaltsegu mark	Proovide arv					
	1	2	3-4	5-8	9-19	> 20
	Lubatud hälbed					
AC base	± 0,6	± 0,55	± 0,5	± 0,4	± 0,35	± 0,3
AC surf	± 0,5	± 0,45	± 0,4	± 0,35	± 0,3	± 0,25
AC bin						
SMA						
MA						
PA						

Rootsi asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälbed on ära toodud Tabel 2.6. Üldiselt on lubatud hälbed sarnased erinevate segude lõikes. AC bin segude puhul on erinevad hälbed olenevalt suurimast teramõõdust asfaltsegus. Rootsis on kasutusel üksikproovi tulemuse hindamine ja nelja ja enama proovi keskmise hindamine. Suurema

hulga võetud ja katsetatud proovide puhul on tulemuste keskmise lubatud hälve väiksem. Sarnaselt sideaine sisalduse lubatud hälvimisele on ka terastikulise koostise lubatavad hälvimised seotud võetud proovide arvuga. [32]

Tabel 2.6 Rootsi asfaltsegu lubatud lahustuva sideaine sisalduse hälbed [32].

Asfaltsegu mark	Proovide arv	
	1	≥ 4
	Lubatud hälbed	
AC surf	± 0,5	± 0,3
SMA	± 0,5	± 0,3
AC bin 11	± 0,5	± 0,3
AC bin 16 ja AC bin 22	± 0,6	± 0,3
AC base	± 0,6	± 0,3

Soome asfaltsegude terastikulise koostise ja lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälbed on ära toodud Tabel 2.7. Soomes on eristatud segud liikide ja suurima terasuuruse kaupa. Kõik kulumiskihi segud ning AC bin ja AC base segud, mille suurim terasuurus on kuni 16 mm, rakendub üks hindamiskriteerium. AC bin ja AC base segudele, mille suurim terasuurus $D \geq 16$ mm, rakenduvad mõnevõrra suuremad lubatud hälbed. [33]

Tabel 2.7 Soome asfaltsegude lubatud hälbed [33].

Sõela ava, mm	Asfaltsegu suurim teramõõt, mm	
	Kõik kulumiskihi segud ja AC bin ja AC base $D < 16$	AC bin ja AC base $D \geq 16$
1,4 D	-2	-2
D	-8 + 5	-9 + 5
D/2	± 7	± 9
2 ja 4	± 6	± 7
0,5	± 4	± 5
0,063	± 2	± 3
Lahustuva sideaine sisaldus	± 0,5	± 0,6

2.6 Ülevaade statistilise analüüsi meetodist

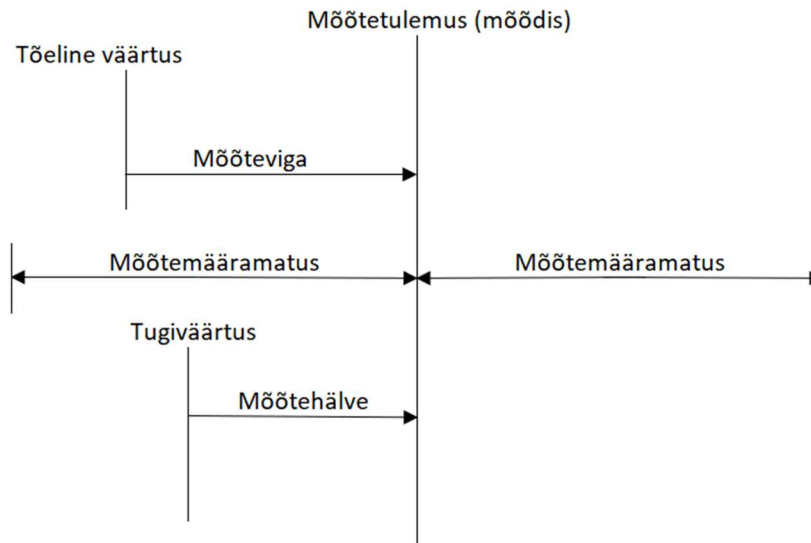
2.6.1 Mõõteteeoria alused

Suurust, mida on kavas mõõta, nimetatakse mõõtesuuruseks. Mõõtesuurus tuleb ära määratleda ja lahti mõtestada niivõrd üksikasjalikult, et mõõtetulemusel oleks ühtne ja ühene väärtus ning et selle tõlgendamisel ei tekiks kaksipidi mõistmist. Mõõtesuurusel on juhusliku suuruse omadused mida käsitletakse tõenäosusteoorias. [34]

Üks mõõteteeoria olulisemaid nüansse on mõõtesuuruse väärtuse leidmine. Mõõtesuuruse juhusliku iseloomu tõttu aga saab tulemusele anda vaid hinnangu. Mõõtetäpsuse on mõistetav kui tõelise väärtuse ja mõõdise lähedusaste. Mõõtehälbed kuuluvad alati juhuslike suuruste koossisu. Seega puudub nendel kindel väärtus ja neid pole võimalik täpselt teada saada. [34]

Mõõtetulemusel on alati mõõtemääramatus. Mõõtemääramatus iseloomustab olemasoleva info põhjal mõõtesuuruse väärtuse hajuvust. Tavaliselt on see jaotus lähedane normaaljaotusele. Mõõtemääramatus näitab mõõtehälbeid põhjustavate mõjude ulatust.

Joonis 2.13 on välja toodud mõõtemääramatuse, mõõtevea ja mõõtehälbe erinevused. Jooniselt on näha, et alati tekib mõõtetulemus. Mõõtehälve tuleneb mõõteriista täpsusest. Mõõteveaga on aga erinevus mõõtetulemuse ja tõelise väärtuse vahel. Mõõtemääramatus võtab kõiki neid nüansse arvesse ja on seega alati mõnevõrra suurem mõõtehälbest ja mõõteveast. Alati väljendatakse mõõtemääramatust kahe poolsest. Ehk tulemus võib hälbida mõlemale poole mõõdisest.



Joonis 2.13 Mõõtemääramatuse, mõõteviga ja mõõtehälbe erinevuse selgitamise skeem [34].

2.6.2 Standardhälve ja standardmääramatus

Peamine mõõtemääramatust iseloomustav suurus on standardhälve. Standardhälve $s(x_{ij})$ võib lugeda võrdseks standardmääramatusega $u(x_{ij})$. Standardhälve on arvutatav valemiga (2.1) [34]:

$$u(x_{ij}) = s(x_{ij}) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2} \quad (2.1)$$

x_{ij} - on i-nda mõõtesuuruse X_i j-es mõõdis

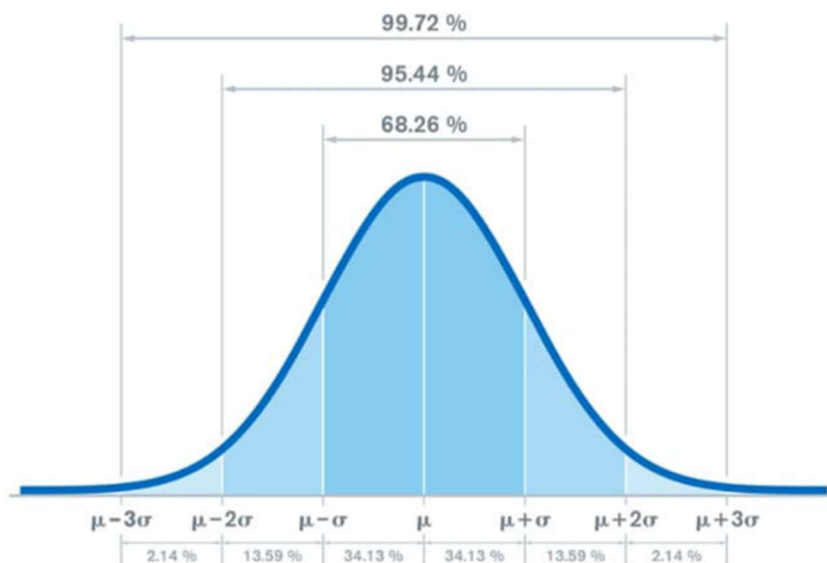
\bar{x}_i - i-nda mõõtesuuruse X_i mõõtmisel saadud mõõdiste aritmeetiline keskmine

n - mõõdiste arv

Mõõteprotseduuride iseloomustamiseks on peamised jaotised riskülikjaotis, sümmeetriline kolmnurkjaotis, sümmeetriline trapetsjaotis, arkussiinusjaotis ja normaaljaotis [34]. Enamjaolt saab mõõtmistulemusi kirjeldada normaaljaotuse järgi. See tähendab, et mõõtetulemused jagunevad kindla reegli järgi. Kõige rohkem on tulemusi keskmise tulemuse lähedal. Mida kaugemale jääb tulemus keskmisest väärtusest, seda väiksem on selle esinemise tõenäosus.

Joonis 2.14 on välja toodud normaaljaotise ja standardhälbe vahelised seosed. Joonise keskel on tähistusega μ keskmine väärtus. Keskmisest väärtusest +34,13 % ja -34,13 % on väärtused ühe standardhälbe kaugusel keskmisest väärtusest. Ehk 68,26 % tõenäosusega jäävad tulemused ühe standardhälbe kaugusele keskmisest väärtusest. Keskmisest väärtusest +47,7 % ja -47,7 % kaugusel on väärtused kahe standardhälbe kaugusel keskmisest väärtusest. Ehk 95,44 % tõenäosusega jäävad tulemused kahe standardhälbe kaugusele keskmisest väärtusest. Keskmisest väärtusest +49,7 % ja -

49,7 % kaugusel on väärtused kolme standardhälve kaugusel keskmisest väärtusest. Ehk 99,72 % tõenäosusega jäävad tulemused kolme standardhälbe kaugusele keskmisest väärtusest.



Joonis 2.14 Normaaljaotus ja standardhälbe vahelised seosed. Allikas [35].

2.6.3 Korduvus ja korratavus

Mõõtmise korduvustingimus, tähistusega r , sisaldab endas tingimuste kogumit, mis hõlmab üht ja sama mõõtjat, mõõteprotseduuri, mõõtesüsteemi, kohta ja sama või sarnase objekti kordusmõõtmist võimalikult lühikese aja jooksul [34]. Korratavustingimusel teostatud mõõtmiste tulemused saab labor võtta aluseks standardmääramatuse ja laiendmääramatuse kindlaks määramiseks ja rakendamiseks.

Antud töös kasutatud katsete tulemused on saadud korduvustingimusel, sest igale segule tehti katsed ühes konkreetses laboris ühe konkreetse isiku poolt lühikese aja jooksul. Korduvust on võimalik arvutuslikult tuletada katsetulemuste statistilise analüüsi põhjal. Antud töös on kasutatud asfaltsegude sideaine sisalduse korduvustingimustena standardis EVS-EN 12697-1 välja toodud andmeid ja ka arvutuslike andmeid.

Mõõtmise korratavustingimus, tähistus R , hõlmab eri asukohti, mõõtjaid, mõõtesüsteemi, aga ühe ja sama mõõtesuuruse või samasuguse objekti korduvat mõõtmist [34]. Üldjuhul rakendatakse korratavustingimust laborite vahelisel võrdluskatsetel. Antud töös meetodite korratavust ei käsitletud, kuid teada on, et korratavused on suuremad kui korduvustingimustes saadud tulemused.

2.6.4 Laiendmääramatus

Kui mõõtetulemuse esmane määramatuse väljendamise võimalus on läbi standardmääramatuse, siis paljudel juhtudel on vaja suuremat usaldatavust tulemuse osas. Selleks on võimalus mõõtetulemuse määramatuse väljendamiseks kasutada laiendmääramatust, tähistusega U . Laiendmääramatust väljendatakse standardmääramatuse korrutisena ühest suurema teguriga k (kattetegur). Katteteguri väärtus sõltub mõõtefunktsiooniga määratletud väljundsuuruse tõenäosusjaotise tüübist ja valitud kattetõenäosusest. Üldjuhul jääb kattetegur vahemikku 2 kuni 3. Mõõtesituatsioonide korral kus tõenäosusjaotis on ligikaudne normaaljaotusele võib eeldada, et kattetegur 2 annab väärtuste vahemiku usaldustasemega 95 % ja kattetegur 3 annab vahemiku mis ületab 99 %. Üldjuhul on kasutusel kattetegur 2. [34]

3 EKSPERIMENTAALNE OSA

3.1 Proovide päritolu ja proovivõtt

Käesolevas töös on käsitletud Tabel 3.1 kirjeldatud asfaltsegusid. Tabelis on välja toodud ka segude päritolu ja konkreetse proovi võtmise aasta. Kõik töösse kaasatud proovid võeti asfalditehase juurest veoki koormast vastavalt standardi EN 12697-27 punktile 4.1. Iga proovi algkoguseks oli 2×10 liitrit ehk ca 40 kg. Iga võetud proov pärineb ühest partiist¹, ehk tulemuste tõlgendamisel on välistatud hälvimised, mis võivad olla tingitud partiist, segamisest, tootmisajast vms.

Seguproovid viidi laborisse ja jagati laboris kvarteerimise teel fooliumist pannidesse (katseproovid). Igale katseproovile määrati sideaine sisaldus ja terastikuline koostis vastavalt standarditele EVS-EN 12697-1 ja EVS-EN 12697-2. Proovivõtt, kvarteerimine ja katsetamine teostati kummaski laboris ühe valitud inimese poolt.

Tabel 3.1 Proovide nimetus, võtmise aeg ja päritolu.

Asfaltsegu mark	Proovivõtt	Päritolu
AC 4 surf 70/100	2018	TalTech
AC 8 surf 70/100	2018	TalTech
AC 12 surf 70/100	2018	TalTech
AC 16 surf 70/100	2018	TalTech
AC 16 base 70/100	2023	KMG OÜ
SMA 16 70/100	2023	KMG OÜ
AC 20 surf 70/100	2018	TalTech
AC 20 base 70/100	2023	KMG OÜ
AC 32 base 70/100	2018	TalTech

¹ Partiiks on asfaltsegu tootmisel tavapäraselt 3000-4000 kg kogus, mis valmistatakse ühe korraga.

KMG OÜ laboris katsetatud asfaltsegude proovide ekstraheerimiseks kasutati Infratest-i täisautomaatset trummeltüüpi ekstraktorit. Tallinna Tehnikaülikooli teedelaboris kasutati asfaltsegude proovide ekstraheerimiseks Infratest-i poolautomaatset ekstraktorit. Mõlemas laboris kasutati sideaine eraldamiseks lahustit diklorometaani (metüleenkloriid).

3.2 Standardi korduvuse ja korratavuse allikad

Peamisteks võrdlusandmeteks on valitud korduvustingimus r . Korduvuse andmed pärinevad standardis EN 12697-1 kirjeldatud täpsuse eksperimentidele, millega määrati lahustuva sideaine sisalduse meetodi täpsused erinevatel katsetingimustel. Rõhutamaks korduvuse ja korratavuse olulisust, on allpool antud ülevaade viie erineva eksperimendi kohta.

3.2.1 Eksperiment 1

Lahustuva sideaine sisalduse katsemeetodi täpsuse määramiseks katsetati mustkillustikust võetud proove korduvus- ja korratavustingimustel. Meetodi täpsuseks antud materjaliga saadi korduvustingimustel $r=0,3\%$ ja korratavustingimustel $R=0,5\%$. Eraldi toodi välja, et nendel tingimustel on täpsus ühesugune nii 20 mm nominaalsuurusest suurema kui ka väiksema täitematerjaliga mustkillustiku korral. [26]

3.2.2 Eksperiment 2

Lahustuva sideaine sisalduse katsemeetodi täpsuse kirjeldamisel on kasutatud korduvuse ja korratavuse standardhälvet alljärgnevate seostega [26]:

$$S_r = (0,10 + 0,002 A)$$

$$S_R = (0,15 + 0,002 A)$$

S_r on korduvuse standardhälve

S_R on korratavuse standardhälve

A on ülemöödulise täitematerjali osa, määratud 11,2 mm testsõelaga

Korduvus $r = 2,77 \times S_r$

Korratavus $R = 2,77 \times S_R$

Eksperiment 2 seob meetodi täpsuse asfaltsegu terastikulise koostisest, täpsemalt 11,2 mm sõela läbindiga. Et ilmestada, kuidas need seosed mõjutaksid Eestis kasutatavate asfaltsegudega tehtavate katsete täpsust, võttis käesoleva töö autor aluseks KMG OÜ poolt toodetavate erinevate asfaltsegude katsete tulemuste statistilised andmed. Kuna Eestis ei kasutata 11,2 mm sõela, võeti teguri A sõelaks 12,5 mm testsõel. Tabel 3.2 on

välja toodud erinevate terasuurustega segude arvutuslikud korduvuse r ja korratavuse R piirid.

Tabel 3.2 Erinevad korduvuse ja korratavuse väärtused erinevate asfaltsegude terasuuruste korral eksperiment 2 põhjal.

Asfaltsegu maksimaalne terasuurus, mm	Korduvus, r	Korratavus, R
8	0,3	0,4
12	0,3	0,4
16	0,4	0,5
20	0,4	0,5
32	0,5	0,6

3.2.3 Eksperiment 3

Antud täpsuse katsed viidi läbi 1994/95 aastal 14 erinevas laboris AC 10 tüüpi asfaltseguga. Katsete tulemusel määratleti järgnevad meetodi täpsuspiirid [26]:

- Korduvus $r=0,23\%$
- Korratavus $R=0,34\%$

3.2.4 Eksperiment 4

2008 aasta jaanuaris viidi läbi meetodi täpsuse määratlemise katsed, mille käigus analüüsiti statistiliselt 41 erineva labori tulemusi. Täpsus määrati järgnevatele sideaine sisalduse määramise meetoditele: kuumeekstraheerimine, külmeekstraheerimine ja pideva vooluga tsentrifuugimine (sh automatiseeritud seadmed).

Katsete tulemustel saadi järgmised täpsuspiirid [26]:

- Korduvus $r=0,23\%$
- Korratavus $R=0,31\%$

On oluline märkida, et antud täpsuskatsete korral ei ole välja toodud, millist tüüpi ja millise maksimaalse terasuurusega segudega katsed teostati.

3.2.5 Eksperiment 5

Eksperiment 5 täpsusandmed pärinevad 2015. a ja 2016. a tsentraalselt koordineeritud ja 67 labori osalusel tehtud võrdluskatsete tulemustest. Eraldi on välja toodud, et enamuse kaasatud laboritest kasutasid automaatseid seadmeid. Täpsuse tulemused on saadud asfaltsegule, mille keskmiseks sideaine sisalduseks oli 5,47%. Muud täpsustusi segu omaduste kohta ei ole välja toodud. Tulemused on järgnevad [26]:

- Korduvus $r=0,188\%$
- Korratavus $R=0,269\%$

3.2.6 Standardi täpsusandmete kokkuvõte

Täpsuse määramise katsete (eksperimentide) tulemused on koondatud Tabel 3.3. Antud töö üks eesmärke on jämedateraliste asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse hälbimise tõendamise. Seega on võrdluseks hea võtta eksperiment 1 ja eksperiment 2 tulemused kus on asfaltsegu terasuuruse mõju arvesse võetud. Eksperiment 1 on tehtud eeldatavalt jämedateralise asfaltseguga ja eksperiment 2 võtab arvesse erinevaid terasuurusi.

Tabel 3.3 Standardis EN 12697-1 kirjeldatud eksperimentide tulemused.

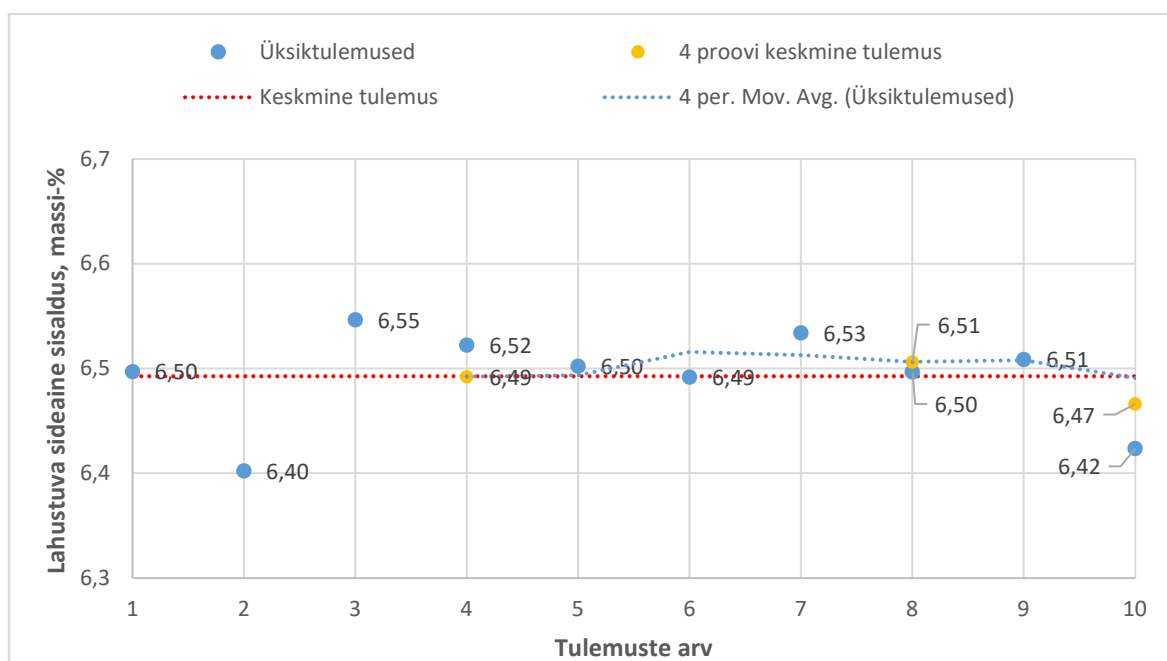
Eksperiment	Asfaltsegu terasuurus	r	R	Märkus
eksperiment 1	Puudub	0,3	0,5	Täpsus määratud mustkillustikule
eksperiment 2	8	0,3	0,4	Täpsus sõltub 11,2 sõela järgist
	12	0,3	0,4	
	16	0,4	0,5	
	20	0,4	0,5	
	32	0,5	0,6	
eksperiment 3	10	0,23	0,34	AC 10 tüüpi segu
eksperiment 4	Puudub	0,23	0,31	Puudub informatsioon katsetatud segu kohta
eksperiment 5	Puudub	0,188	0,269	Keskmine sideaine sisaldus 5,47%

3.3 Uuringusse kaasatud segude tulemused

Asfaltsegu lahustuva sideaine sisalduse statistilises analüüsis on kasutatud erinevaid väljenduse võimalusi. Illustreerimaks tulemuste erinevust on autor valinud lahustuva sideaine sisalduse väljendamiseks ühel joonisel üksiktulemused, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused, nelja järjestikuse proovi libisevad keskmised tulemused ning kõikide üksikproovide keskmine tulemus. Asfaltsegude terastikulise koostise osas on välja toodud iga segu üksiktulemused koos sõelkõvera välja piiridega ning suurimad üksikkatsete tulemuste vahed iga katsetamise kaasatud sõelal.

3.3.1 AC 4 surf 70/100

AC 4 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.1, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud kümne katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.1 välja toodud kõikide tulemuste keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused. AC 4 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,1 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,05 massi-% ja valemi (3.2) järgi arvatud korduvuspiiriks on 0,1 massi-%.



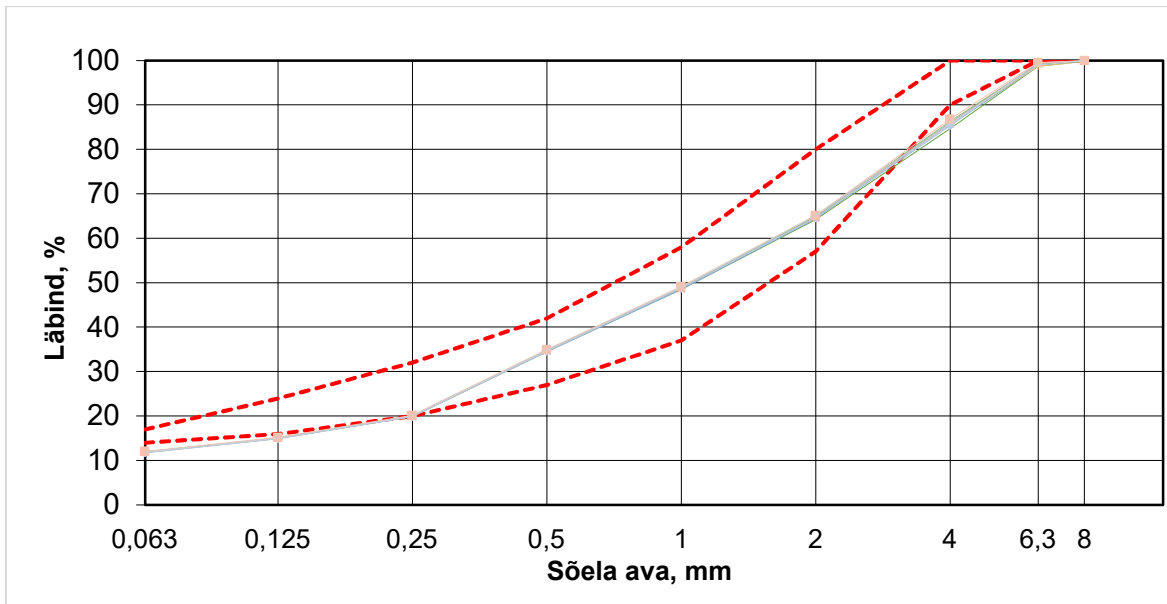
Joonis 3.1 AC 4 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 4 surf 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha

Tabel 3.4. Joonis 3.2 on graafiliselt kujutatud kümne üksikproovi tulemust. Suurim ja väikseim erinevus esines vastavalt 4 mm sõelal (2,2 massi-%) ja 8 mm sõelal (0,2 massi-%). Kokkuvõtlikult saab öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste omavahelised varieeruvused on väiksed ja tulemused on väga ühtlased.

Tabel 3.4 AC 4 surf 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

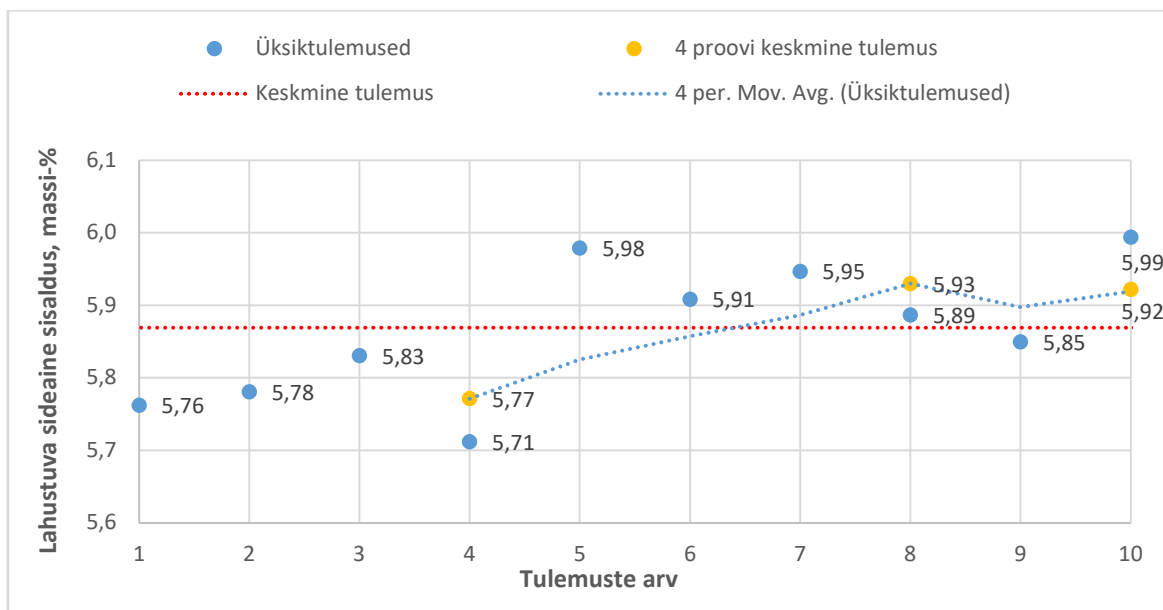
Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6,3	8
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist								
Max erinevus	0,3	0,3	0,3	0,5	0,7	1,0	2,2	0,8	0,2



Joonis 3.2 AC 4 surf 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.3.2 AC 8 surf 70/100

AC 8 surf 70/100 asfaltsegu lahustuva sideaine sisalduse tulemused on kirjeldatud Joonis 3.3, kus on ära toodud kõik kümme üksiktulemust. AC 8 surf 70/100 segu lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,3 massi-%. Samuti on Joonis 3.3 välja toodud kõikide tulemuste aritmeetiline keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused. Kümne tulemuse standardhälve on 0,10 massi-% ja valemi (3.2) järgi arvutatud korduvuspiiriks on 0,3 massi-%.

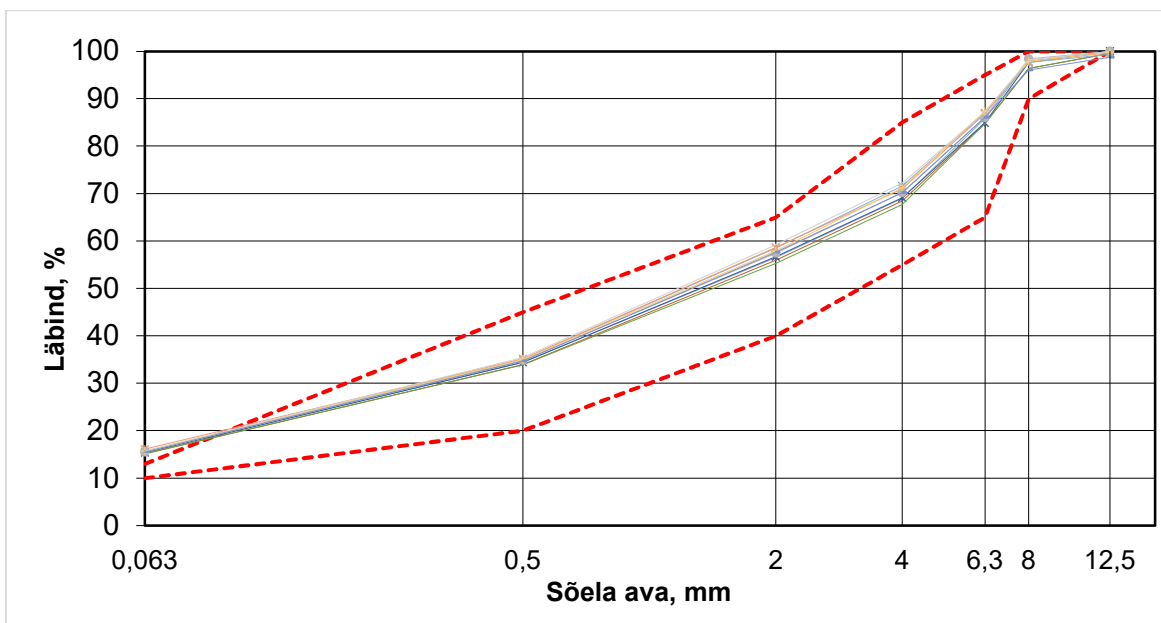


Joonis 3.3 AC 8 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 8 surf 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.5. Joonis 3.4 on graafiliselt kujutatud kümne üksikproovi tulemust. Suurim ja väikseim erinevus esines vastavalt 4 mm sõelal (4,5 massi-%) ja 0,063 mm sõelal (1,0 massi-%). Kokkuvõtlikult võib öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste omavahelised varieeruvused on väikesed ja tulemused on ühtlased.

Tabel 3.5 AC 8 surf 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

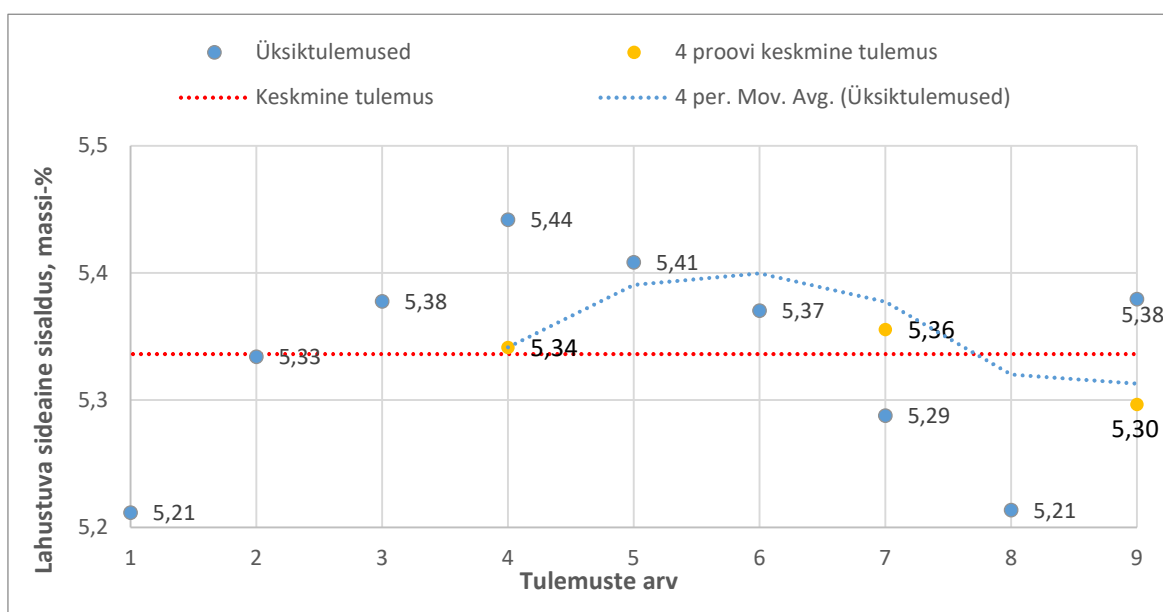
Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	4	6,3	8	12,5
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist						
Max erinevus	1,0	1,5	3,9	4,5	2,6	2,3	1,3



Joonis 3.4 AC 8 surf 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.3.3 AC 12 surf 70/100

AC 12 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.5, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud üheksa katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.5 välja toodud kõikide tulemuste keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused. AC 12 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,2 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,08 massi-% ja valemi (3.2) järgi arvatud korduvuspiiriks on 0,2 massi-%.

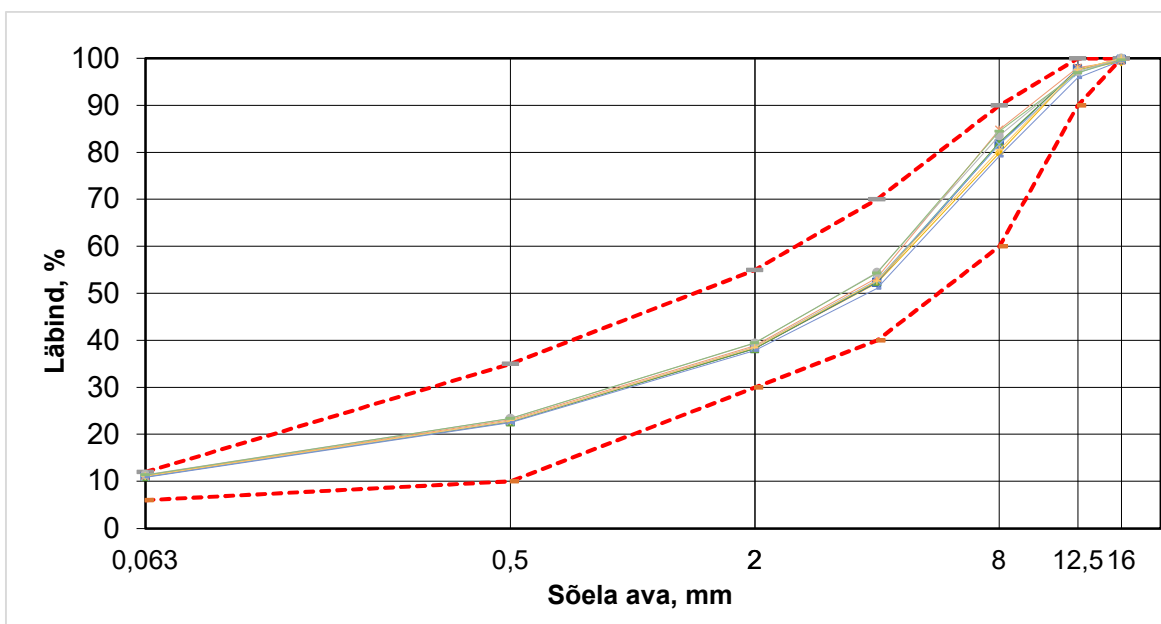


Joonis 3.5 AC 12 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 12 surf 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.6. Joonis 3.6 on graafiliselt kujutatud üheksa üksikproovi tulemust. Suurim ja väikseim erinevus esines vastavalt 8 mm sõelal (5,6 massi-%) ja 0,063 mm sõelal (0,5 massi-%). Kokkuvõtlikult saab öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste omavahelised varieeruvused on väikesed ja tulemused on pigem ühtlased.

Tabel 3.6 AC 12 surf 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

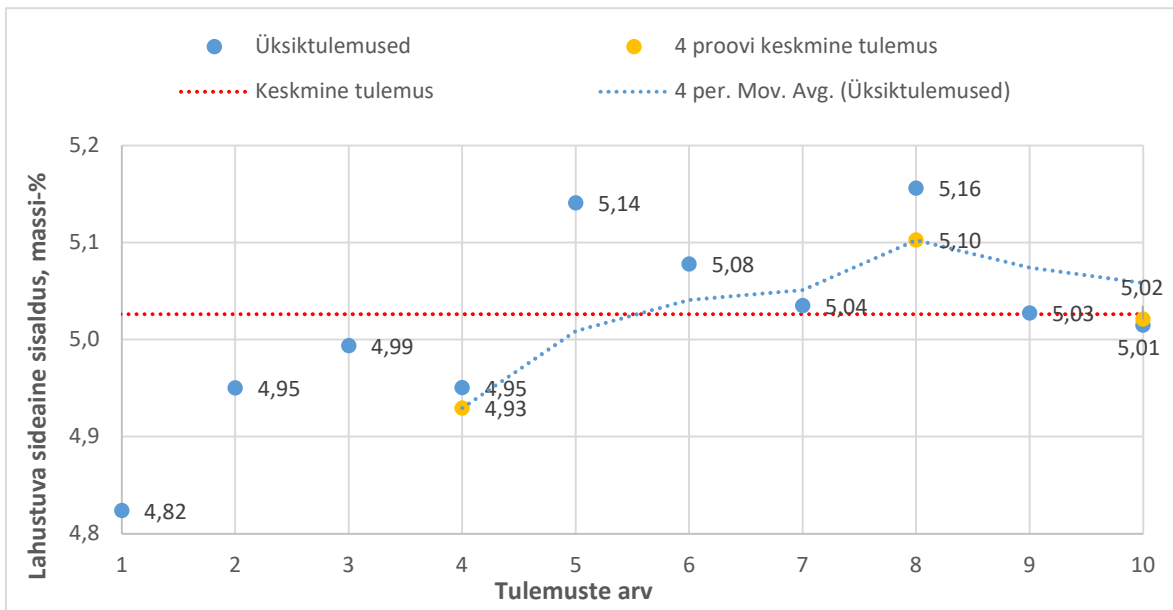
Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	4	8	12,5	16
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist						
Max erinevus	0,5	0,9	1,6	3,4	5,6	2,2	0,7



Joonis 3.6 AC 12 surf 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.3.4 AC 16 surf 70/100

AC 16 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.7, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud kümne katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.7 välja toodud kõikide tulemuste keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused. AC 16 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,3 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,10 massi-% ja valemi 3(2) järgi arvutatud korduvuspiiriks on 0,3 massi-%.

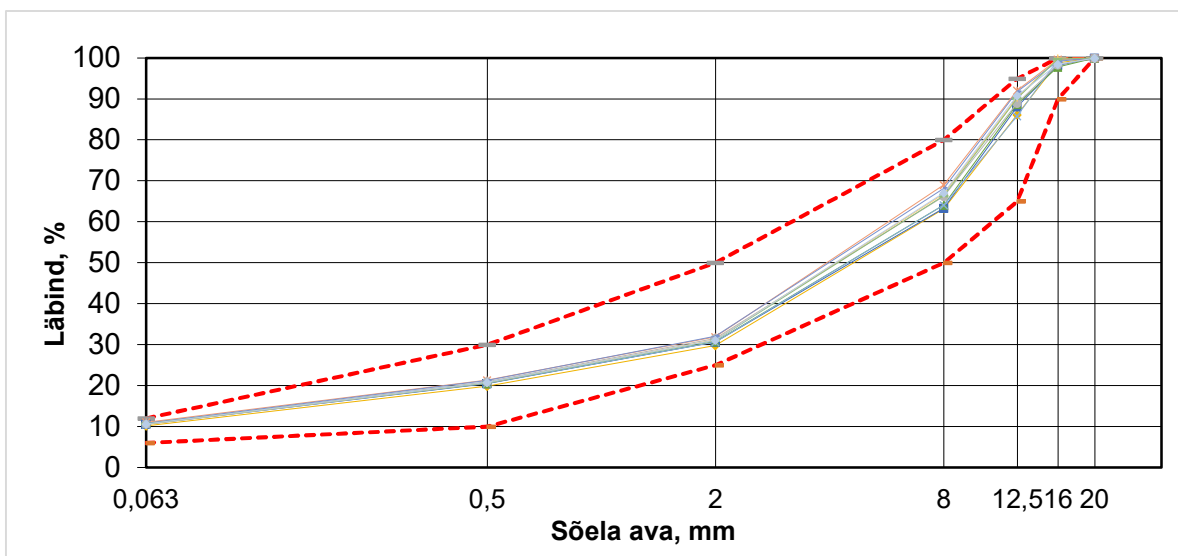


Joonis 3.7 AC 16 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 16 surf 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.7. Joonis 3.8 on graafiliselt kujutatud kümne üksikproovi tulemust. Suurim ja väikseim erinevus on vastavalt 12,5 mm sõelal (6,3 massi-%) ja 20 mm sõelal (0,0 massi-%). Kokkuvõtlikult saab öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste omavahelised varieeruvused on mõõdukad ja tulemused on ühtlased.

Tabel 3.7 AC 16 surf 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

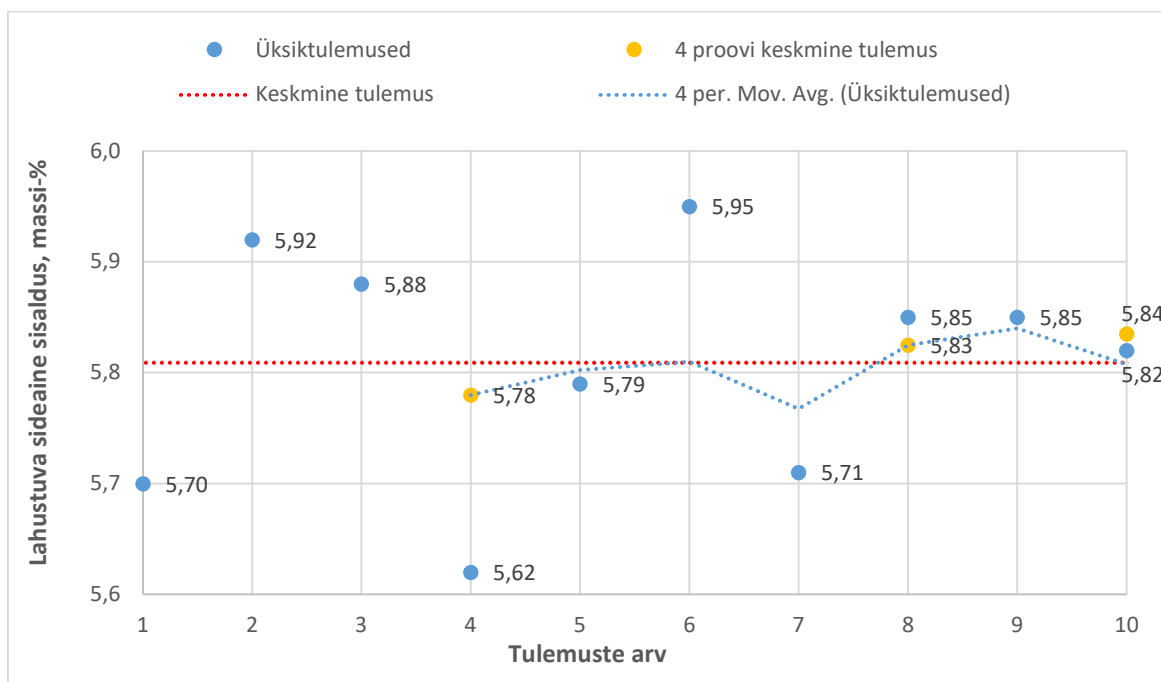
Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	12,5	16	20
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist						
Max erinevus	0,9	1,4	2,3	5,9	6,3	2,2	0,0



Joonis 3.8 AC 16 surf 70/100 terastikulise koostise tulemused graafilise.

3.3.5 SMA 16 70/100

SMA 16 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.9, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud kümne katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.9 välja toodud kõikide tulemuste keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused. SMA 16 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,5 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,15 massi-% ja valemi (3.2) järgi arvatud korduvuspiiriks on 0,4 massi-%. Antud korduvuspiir on suurem kui SMA tüüpi asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälve „Asfaldist katendikihtide juhendi TA 2021“ järgi.

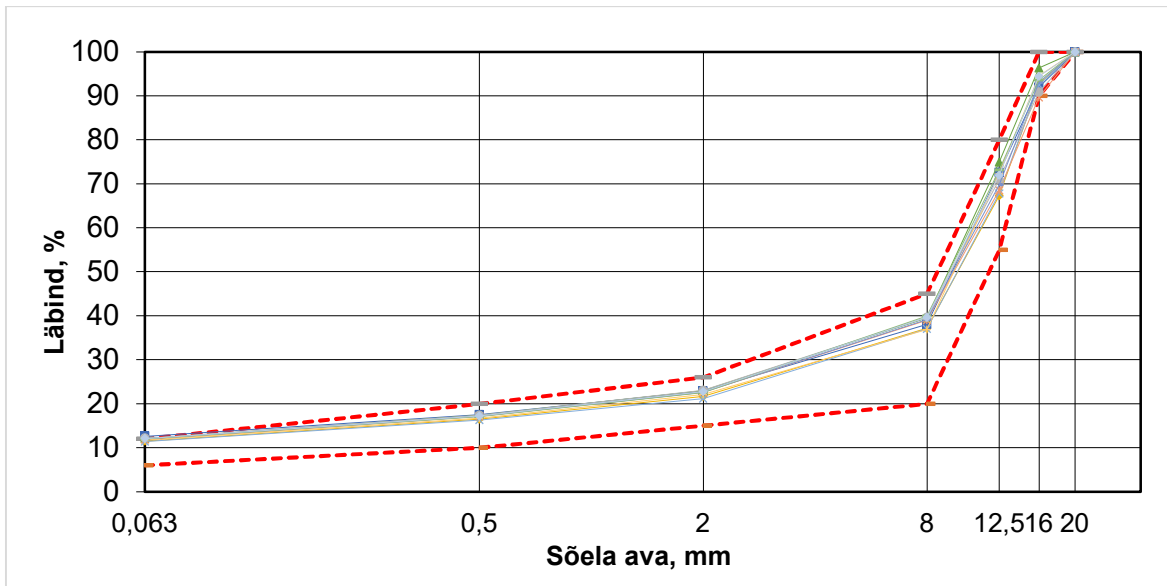


Joonis 3.9 SMA 16 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

SMA 16 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.8. Joonis 3.10 on graafiliselt kujutatud kümne üksikproovi tulemust. Suurim ja väikseim erinevus on vastavalt 12,5 mm sõelal (7,6 massi-%) ja 20 mm sõelal (0,0 massi-%). Kokkuvõtlikult saab öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste omavahelised varieeruvused on mõõdukad. Sõeltel 12,5 mm ja 16 mm on varieeruvus juba suurem kui varasemalt peenemateralistel segudel.

Tabel 3.8 SMA 16 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

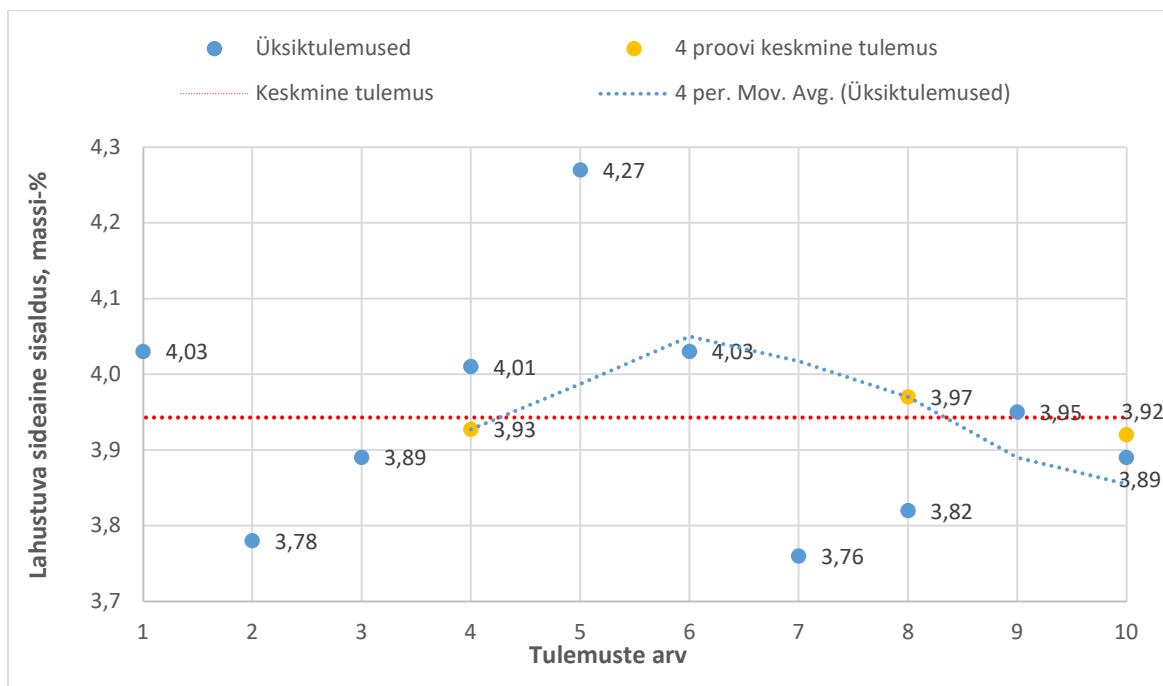
Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	12,5	16	20
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist						
Max erinevus	1,2	1,2	1,9	3,0	7,6	6,6	0,0



Joonis 3.10 SMA 16 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.3.6 AC 16 base 70/100

AC 16 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.11, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud kümne katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.11 välja toodud kõikide tulemuste keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused. AC 16 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,5 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,15 massi-% ja valemi (3.2) järgi arvutatud korduvuspiiriks on 0,4 massi-%. Saadud korduvuspiir on suurem kui AC base tüüpi asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälve „Asfaldist katendikihtide juhendi TA 2021“ järgi.

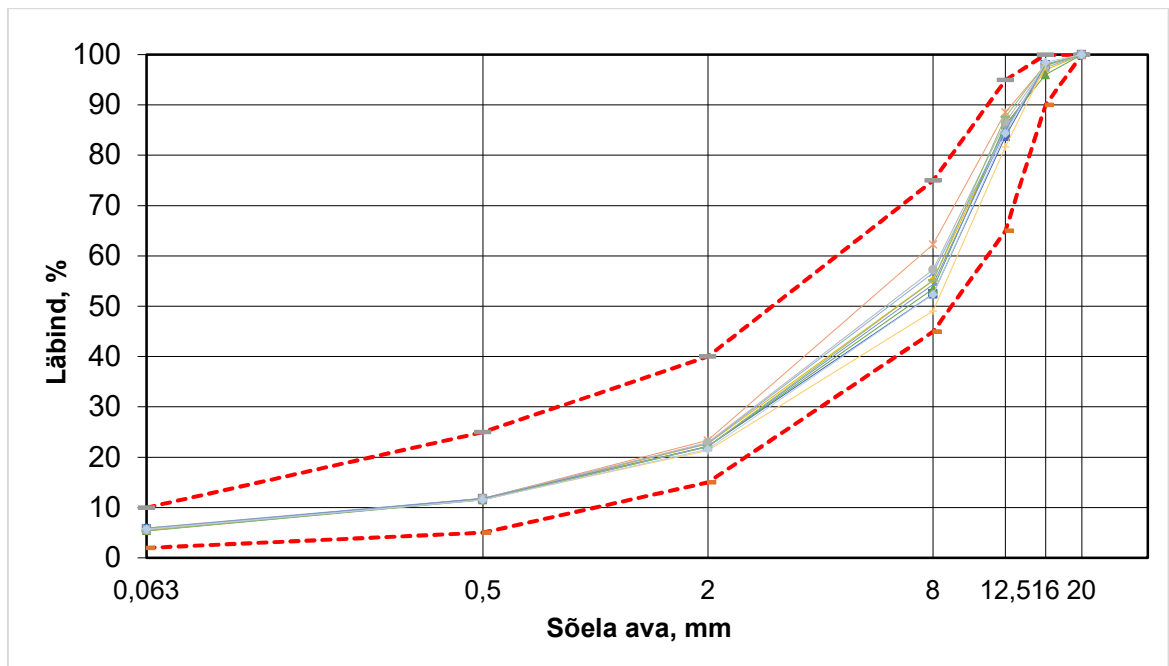


Joonis 3.11 AC 16 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 16 base 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.9. Joonis 3.12 on graafiliselt kujutatud kümne üksikproovi tulemust. Suurim ja väiksem erinevus on vastavalt 8 mm sõelal (13,2 massi-%) ja 20 mm sõelal (0,0 massi-%). Kokkuvõtlikult võib öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste tulemused erinevate sõelte läbindit puhul on suured. Kui üldiselt on varieeruvus mõõdukas, siis 8 mm sõela läbindi erinevus on juba märkimisväärselt suur.

Tabel 3.9 AC 16 base 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

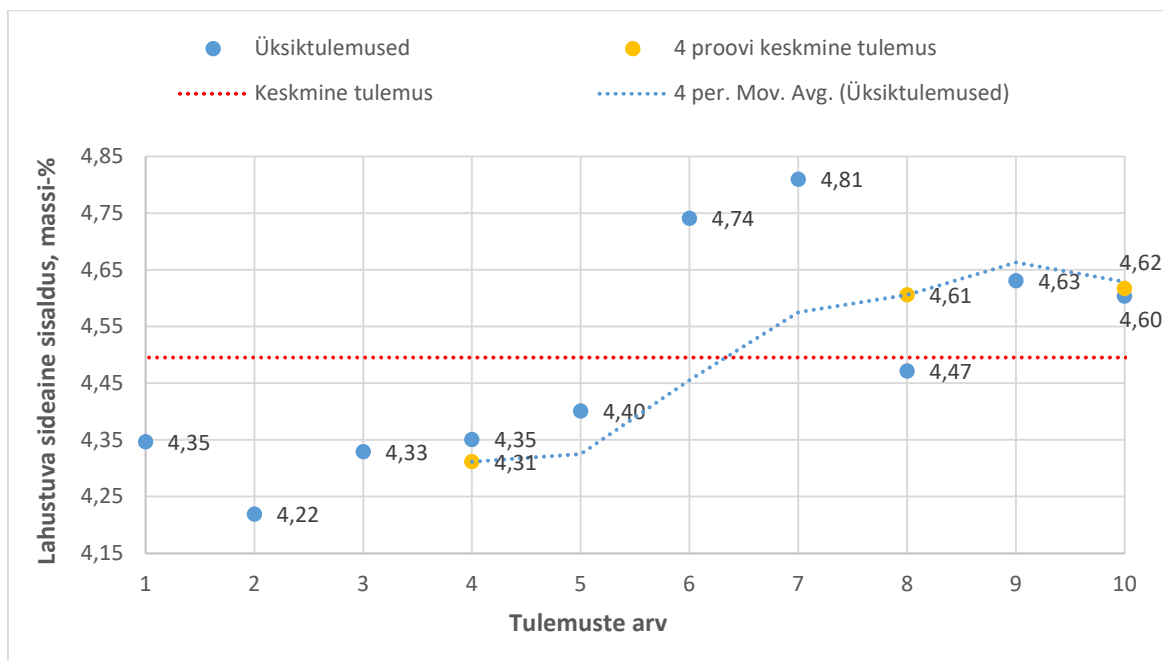
Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	12,5	16	20
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist						
Max erinevus	0,5	0,3	2,0	13,2	6,9	2,5	0,0



Joonis 3.12 AC 16 base 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.3.7 AC 20 surf 70/100

AC 20 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.13, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud kümne katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.13 välja toodud kõikide tulemuste keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused AC 20 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,6 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,20 massi-% ja valemi (3.2) järgi arvatud korduvuspiiriks on 0,5 massi-%. Saadud korduvuspiir on suurem kui AC surf tüüpi asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälve „Asfaldist katendikihtide juhendi TA 2021“ järgi.

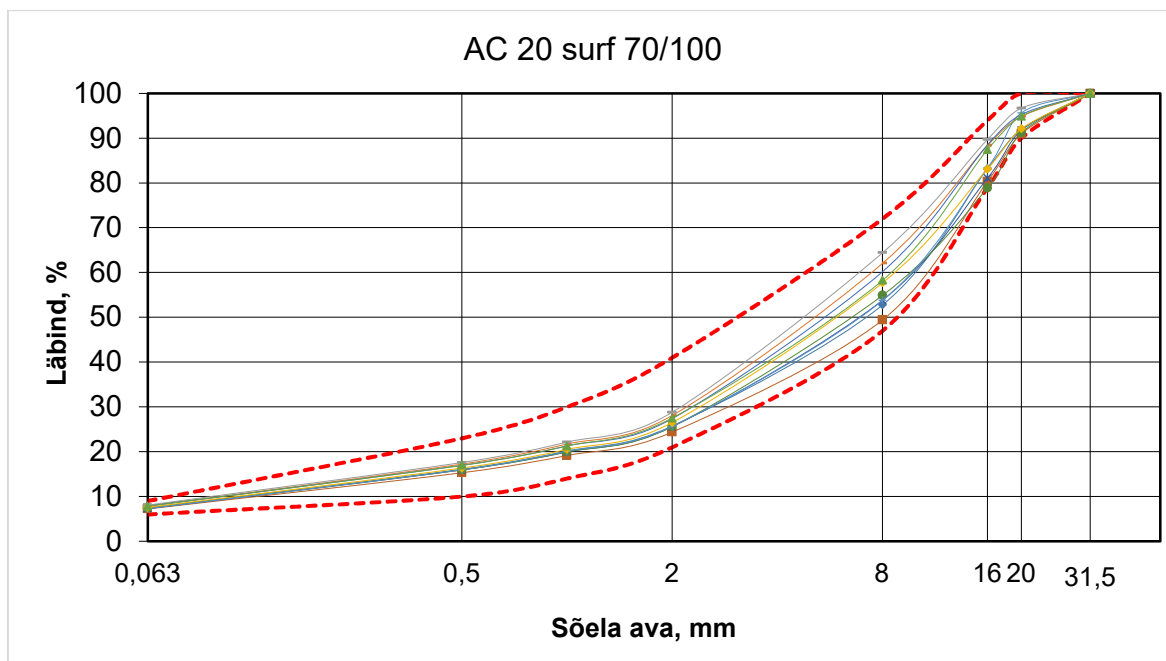


Joonis 3.13 AC 20 surf 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 20 surf 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.10. Joonis 3.14 on graafiliselt kujutatud kümne üksikproovi tulemust. Suurim ja väikseim erinevus on vastavalt 8 mm sõelal (15,0 massi-%) ja 31,5 mm sõelal (0,0 massi-%). Kokkuvõtlikult saab öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste tulemused erinevate sõelte läbindit puhul on suured. Kui üldiselt on varieeruvus mõõdukas, siis 8 mm sõela läbindi erinevus on juba märkimisväärselt suur ning 16 mm sõela läbindi erinevus pigem suur.

Tabel 3.10 AC 20 surf 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

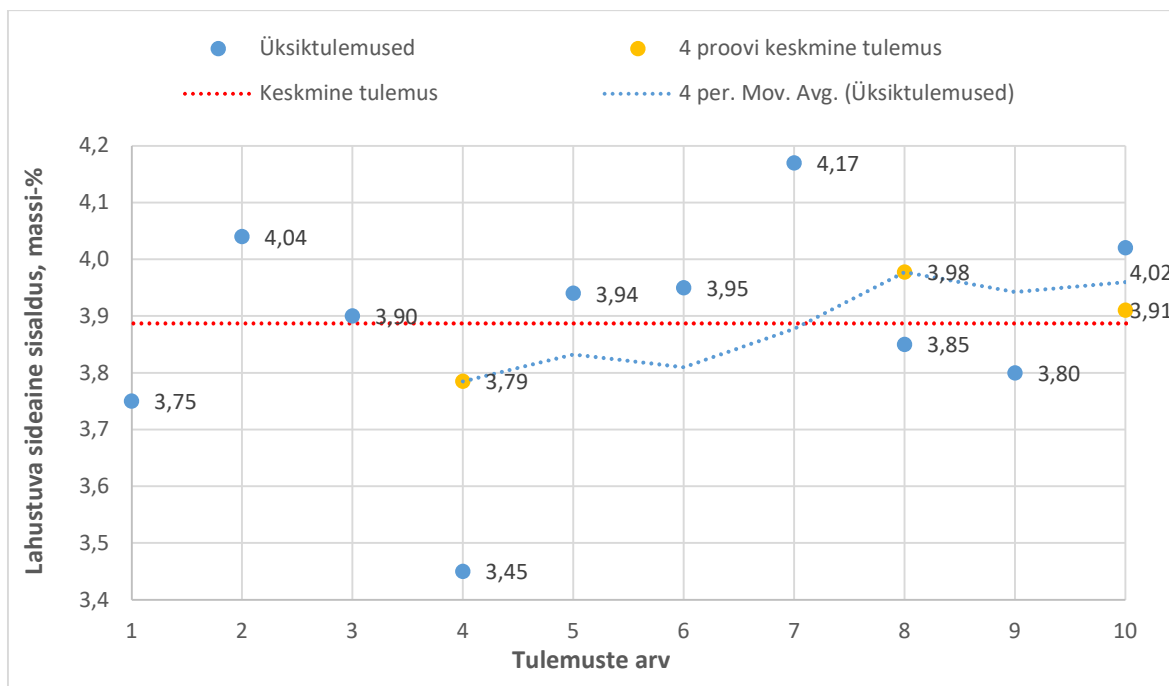
Sõela ava, mm	0,063	0,5	1	2	8	16	20	31,5
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist							
Max erinevus	0,9	2,3	3,0	4,4	15,0	10,8	5,7	0,0



Joonis 3.14 AC 20 surf 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.3.8 AC 20 base 70/100

AC 20 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.15, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud kümne katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.15 välja toodud kõikide tulemuste keskmise, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused AC 20 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,7 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,20 massi-% ja valemi (3.2) järgi arutatud korduvuspiiriks on 0,5 massi-%. Saadud korduvuspiir on suurem kui AC base tüüpi asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälve „Asfaldist katendikihtide juhendi TA 2021“ järgi.

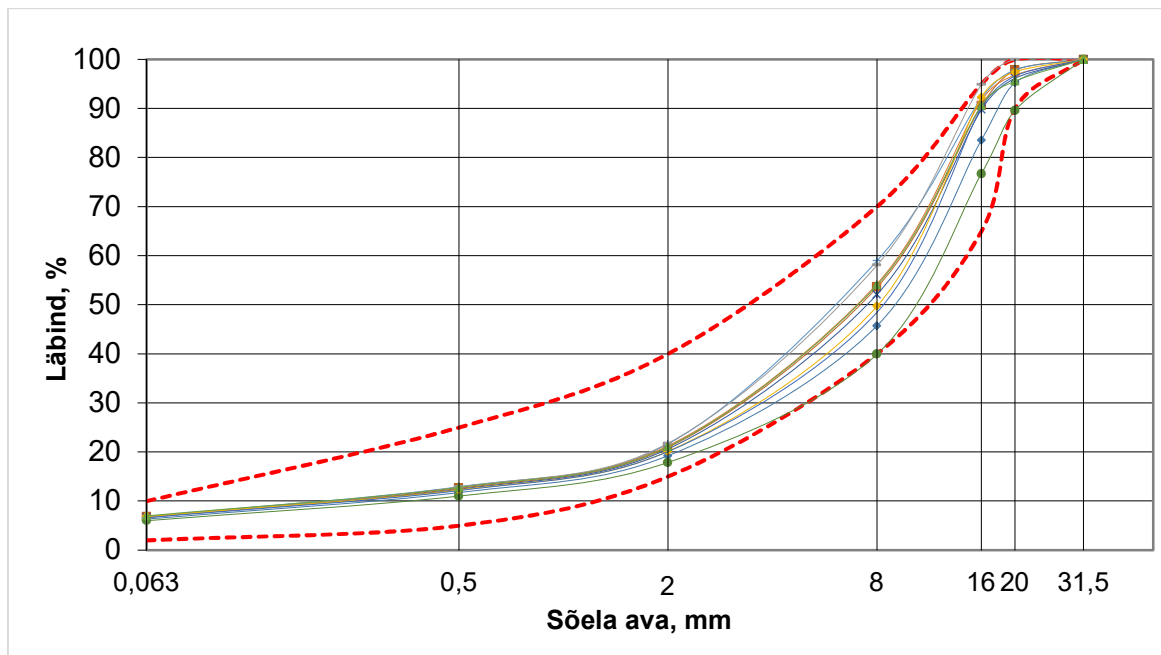


Joonis 3.15 AC 20 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 20 base 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.11. Joonis 3.16 on graafiliselt kujutatud kümne üksikproovi tulemust. Suurim ja väiksem erinevus on vastavalt 8 mm sõelal (19,0 massi-%) ja 31,5 mm sõelal (0,0 massi-%). Kokkuvõtlikult võib öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste tulemused erinevate sõelte läbindit puhul on suured. 8 mm ja 16 mm sõelte läbindate erinevused on väga suured.

Tabel 3.11 AC 20 base 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused

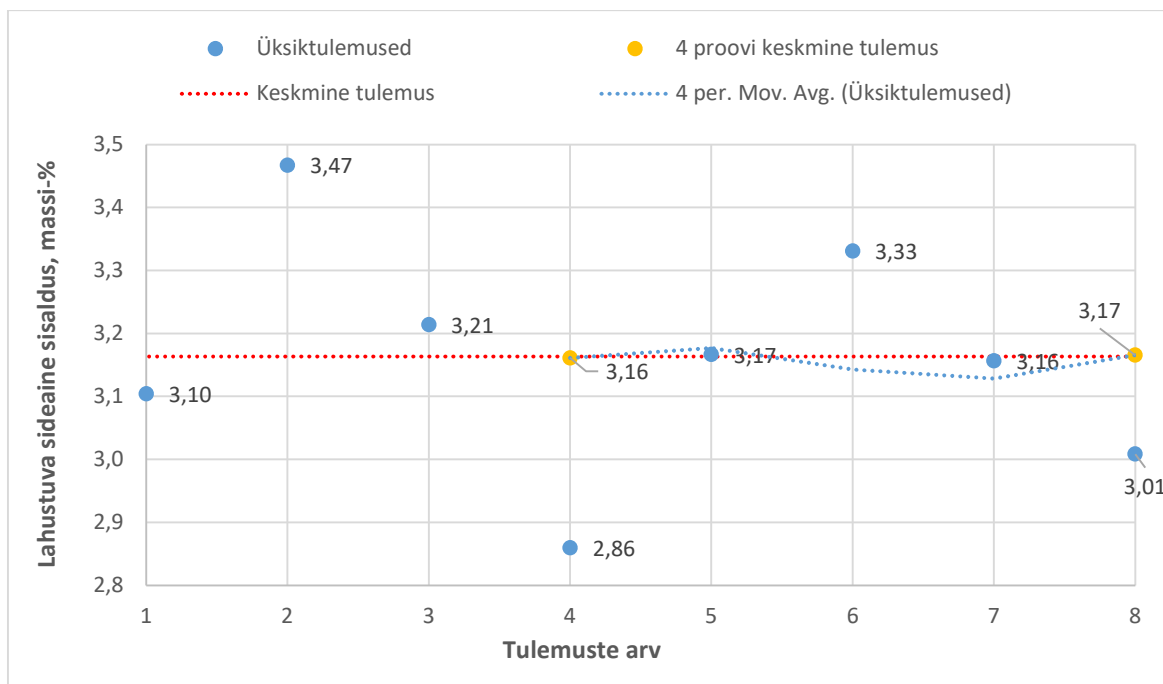
Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	16	20	31,5
Sõela läbind, % kivimaterjali massist							
Max erinevus	1,0	1,9	3,9	19,0	18,2	10,4	0,0



Joonis 3.16 AC 20 base 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.3.9 AC 32 base 70/100

AC 32 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused on näha Joonis 3.17, kus on kirjeldatud kõigi kaasatud üheksa katseproovi tulemused. Samuti on Joonis 3.17 välja toodud kõikide tulemuste keskmine, nelja järjestikuse proovi keskmised tulemused ja nelja järjestikuse proovi libiseva keskmise tulemused AC 32 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse maksimaalne erinevus kahe üksiktulemuse vahel oli 0,6 massi-%. Kümne tulemuse standardhälbeks on 0,19 massi-% ja valemi (3.2) järgi arvatud korduvuspiiriks on 0,5 massi-%. Saadud korduvuspiir on suurem kui AC base tüüpi asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse lubatud hälve „Asfaldist katendikihtide juhendi TA 2021“ järgi.

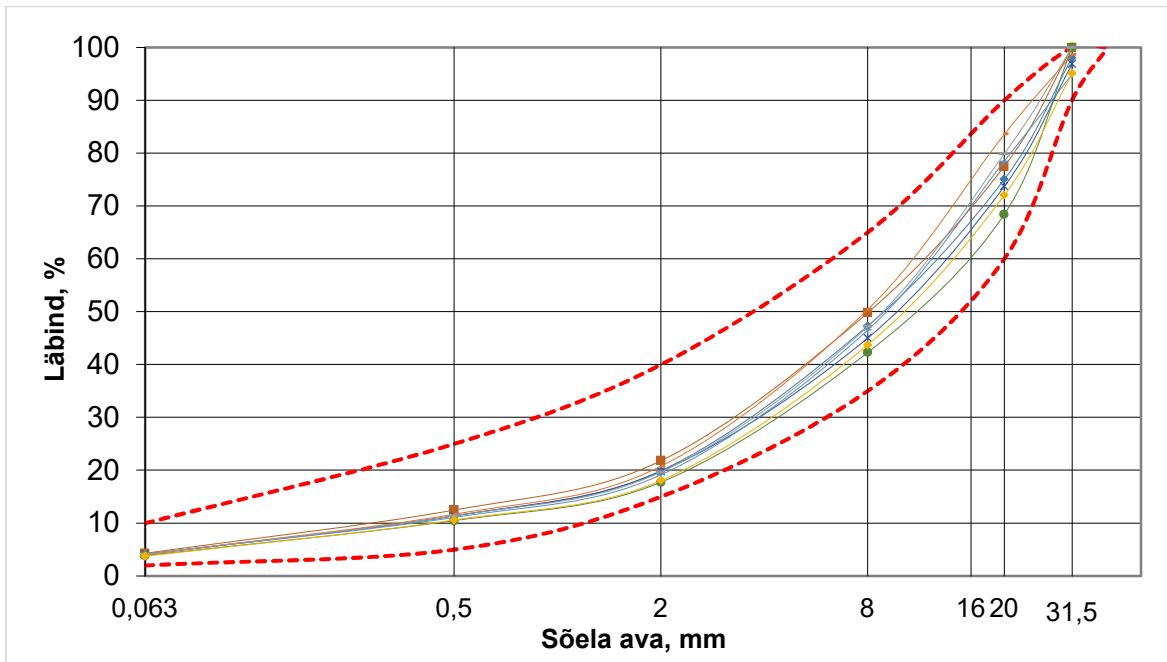


Joonis 3.17 AC 32 base 70/100 lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

AC 32 base 70/100 terastikulise koostise maksimaalsed erinevused kahe üksiktulemuse vahel erinevatel sõelte läbindite puhul on näha Tabel 3.12. Joonis 3.18 on graafiliselt kujutatud üheksa üksikproovi tulemust. Suurim ja väikseim erinevus on vastavalt 20 mm sõelal (15,2 massi-%) ja 0,063 mm sõelal (0,6 massi-%). Kokkuvõtlikult võib öelda, et üksikproovide terastikuliste koostiste tulemused erinevate sõelte läbindit puhul on suured. 8 mm sõela läbindi erinevus on suur ning 20 mm sõelte läbindate erinevus on väga suur.

Tabel 3.12 AC 32 base 70/100 terastikulise koostise sõelte läbindate maksimaalsed erinevused.

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	20	31,5
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist					
Max erinevus	0,6	2,0	4,1	8,1	15,2	5,0



Joonis 3.18 AC 32 base 70/100 terastikulise koostise tulemused graafiliselt.

3.4 Tulemuste üldine analüüs

Käesoleva töö raames katsetati 9 erinevat asfaltsegu ja 88 katseproovi. Tabel 3.13 on ära toodud proovide peamised andmed, mis on saadud statistilise analüüsi käigus. Standardhälve on arvutatud valemi (2.1) järgi. Arvutuslik korduvuspiir on arvutatud valemi (3.2) järgi ja annab 95% usaldustaseme [34]

$$r = 1,96\sqrt{2}s \approx 2,8s \quad (3.2)$$

s – standardhälve

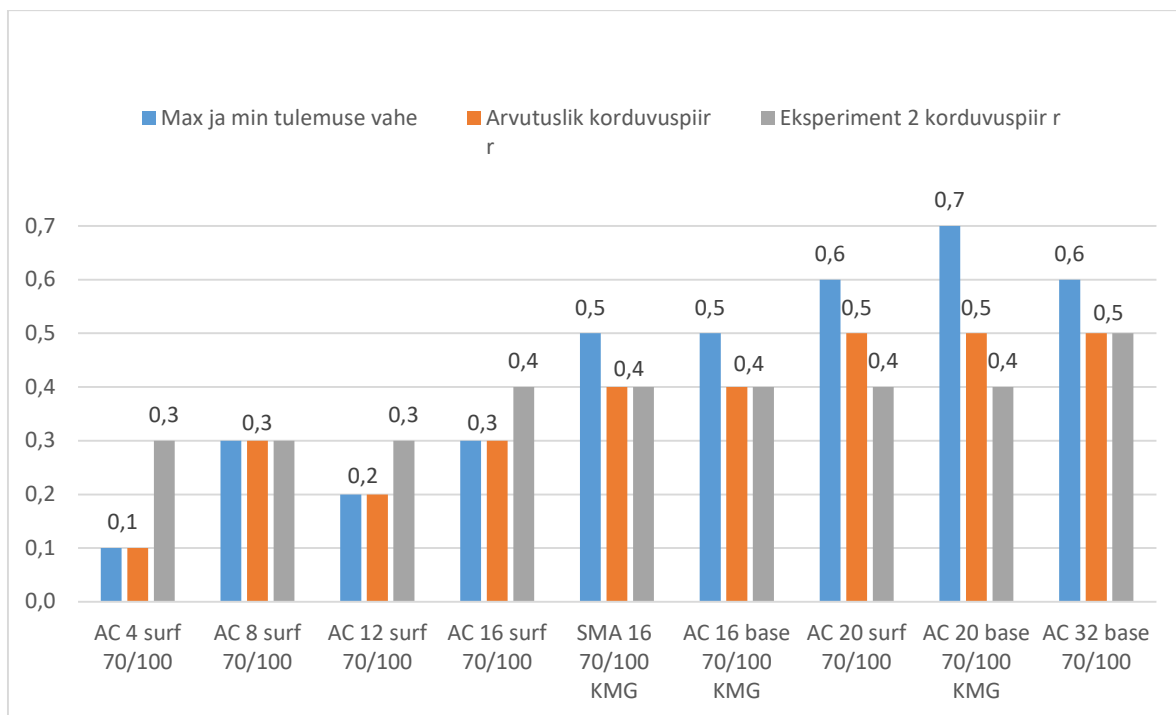
1,96 – kattetegur 95% usaldustaseme juures

$\sqrt{2}$ – kahe individuaalse mõõtmise varieeruvust arvestav tegur [36], [37]

Tabel 3.13 Katsetatud asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse tulemused.

Segu mark	Max tulemus	Min tulemus	Max ja min tulemuse vahe	Standardhälve s	Tulemuste arv n	Arvutuslik korduvuspiir r	Eksperiment 2 korduvuspiir r
AC 4 surf 70/100	6,55	6,40	0,1	0,05	10	0,1	0,3
AC 8 surf 70/100	5,99	5,71	0,3	0,10	10	0,3	0,3
AC 12 surf 70/100	5,44	5,21	0,2	0,08	9	0,2	0,3
AC 16 surf 70/100	5,16	4,82	0,3	0,10	10	0,3	0,4
SMA 16 70/100 KMG	4,27	3,76	0,5	0,15	10	0,4	0,4
AC 16 base 70/100 KMG	4,27	3,76	0,5	0,15	10	0,4	0,4
AC 20 surf 70/100	4,81	4,22	0,6	0,20	10	0,5	0,4
AC 20 base 70/100 KMG	4,17	3,45	0,7	0,20	10	0,5	0,4
AC 32 base 70/100	3,47	2,86	0,6	0,19	8	0,5	0,5

Joonis 3.19 on kajastatud asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse maksimaalse ja minimaalse tulemuse vahe. Samuti on selgelt näha erinevate asfaltsegude maksimaalsest terasuurusest tulenevat erinevust lahustuva sideaine sisalduse varieeruvuse koha pealt.



Joonis 3.19 Lahustuva sideaine sisalduse (massi- %) tulemuste vahe ja korduvuspiir r.

Korduvustingimus on täidetud siis, kui kahe üksiktulemuse vahe on väiksem või võrdne korduvusega [34]. Võttes aluseks eelnevalt kirjeldatud eksperimenti 1, näeme et korduvustingimuse $r=0,3\%$ korral ei vasta tulemustele kõik 16 mm ja suurema terasuurusega asfaltsegude tulemused. Võttes aluseks eksperiment 2 tulemused näeme samuti, et 16 mm ja suurema terasuuruse korral ei vasta tulemused tingimustele.

4 JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

Asfaltsegu sideaine sisalduse ja terastikulise koostise määramine on vajalik ja operatiivne tegevus asfaltsegude kvaliteedi hindamisel ja tööde vastuvõtmisel. Hälbimised ettenähtud terastikulisest koostisest ja sideaine sisaldusest avaldavad suurt mõju asfaltsegu omadustele, vastupidavusele ja nendest rajatud teekatete elueale.

Sellegipoolest tuleb arvestada, et igal laboratoorselt katsemeetodil on teatav täpsus, mis sõltub mitmest erinevast tegurist. Neid tegureid arvestamata võidakse saada ekslik hinnang asfaltsegu kvaliteedi osas. Üheks nendeks teguriteks on katsetatava objekti, ehk antud juhul asfaltsegu enda omadused. Ka standardis EVS-EN 12697-1 välja toodud sideaine sisalduse katse täpsust kirjeldavate täpsuseksperimentide tulemused, mis on saadud erinevatel tingimustel ja erinevate asfaltsegudega, on väga erinevad.

Käesoleva töö raames katsetati asfaltseguisid korduvustingimustel ning saadud katsetulemustele tuginedes saab öelda, et nii sideaine sisalduse kui ka terastikulise koostise katsetulemuste laborisisene varieeruvus on tugevas seoses asfaltsegu terastikulise koostisega ning eelkõige segu maksimaalse terasuureusega D. Mida suurem on asfaltsegu täitematerjali maksimaalne terasuurus D, seda suuremaks muutuvad sama seguga teostatud üksikkatsete tulemuste omavahelised hälbimised.

Katsete tulemuste põhjal eristub, et oluliseks piiriks on terasuurus 16 mm (kaasa arvatud). Asfaltsegude sideaine sisalduse katse varieeruvus on suurem nendel segudel, mille täitematerjali maksimaalne terasuurus D on 16 või enam millimeetrit. Nii asfaltsegude tootmise kvaliteedi ohjamist käsitlev Euroopa standard kui ka lähiriikide nõuetes on arvestatud, et üle 16 mm terasuureusega asfaltsegude terastikulise koostise ja sideaine sisalduse hindamisel on katsemeetodite täpsus väiksem (hälbed suuremad) ning õige kvaliteedi hinnangu saamiseks tuleb nendega arvestada.

Eestis kehtivates nõuetes on asfaltsegu terastikulise koostise kehtestatud lubatavad hälbed suures osas sarnased nii asfaltsegude tootmisohje standardis EN 13108-21 ja lähiriikides kehtestatud nõuetega. Praktikas ei ole asfaltsegu terastikulise koostise hälbimine üle nõuete piiride olnud suureks probleemiks asfaltsegu kvaliteedi hindamisel ja tööde vastuvõtmisel. Sellest tulenevalt ei ole käesoleva töö autoril ettepanekuid nende muutmise osas.

Transpordiameti „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhise“ ja Majandus- ja taristuministri määruses nr 101 „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ seab sideaine sisalduse lubatavateks hälbepiirideks SMA segudel $\pm 0,2\%$ ja AC tüüpi segudel $\pm 0,3\%$,

mis on rangemad, kui standardis EN 13108-21 ja lähiriikides kehtestatud nõuded. Käesoleva töö eksperimentaalne osa näitas, et kuni 16 mm terasuurusega segude laborisisene sideaine sisalduse määramise katse täpsus korduvustingimustel on $\pm 0,3\%$. Alates 16 mm (kaasa arvatud) terasuurusega asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse laborisisene varieeruvus 0,4-0,5%, ehk oluliselt suuremad kui Eestis praegu kehtivad normid sätestavad. On oluline rõhutada, et katsemeetodite korratavused on korduvustest suuremad.

Kui meetodi täpsus on väiksem, kui lubatavad hälbed, on suur tõenäosus, et üksiktulemuse põhjal saadakse ekslik hinnang segu kvaliteedile. Et vältida ekslikku hinnangut asfaltsegu sideaine sisaldusele, näeb käesoleva töö autor kahte võimalust:

1. Tööde kontrollimisel ja vastuvõtmisel arvestatakse segude omadusi (suurimat teramõõtu) ning nõuete seadmisel võetakse arvesse katsemeetodi täpsust. Täpsus tuleb statistiliselt välja selgitada, kaasates kõiki Eestis kasutatavaid segusid ja vastavat teenust pakuvad laborid.
2. Tööde kontrollimisel ja vastuvõtmisel hakatakse rakendama statistikal ja tõenäosusel tuginevat analüüsi, mis arvestab objektilt võetud mitme proovi katsete tulemustega enne lõpphinnangu andmist.

Soomes ja Lätis on nõuetes antud võimalus lähtuda kvaliteedi hindamisel proovide statistilisest analüüsist. Selline lähenemine võimaldab võtta arvesse objektilt võetud proovide varieeruvust ning selle põhjal arvutatud tõenäosust, et tarnitud materjal on nõuetele vastav. Sellega antakse kvaliteedi hinnangus väiksem osakaal nendele üksikutele tulemustele, mis teistest rohkem eristuvad ning asuvad kõikide proovide tulemuste keskmisest kaugemal. Rootsis ja Leedus on kasutusel lähenemine, kus üksikproovide tulemustele rakendatakse suuremaid lubatud hälbe piire, kui mitme proovi katsete keskmisele tulemusele.

Terastikulise koostise lubatud hälbed on autori hinnangul Eestis õiglased ja neid väärtuseid ei peaks suurendama, kuid kvaliteedi hindamise seisukohast tuleks õiglasema tulemuse huvides kaaluda ka nendele väärtustele keskmise tulemuse rakendamist.

KOKKUVÕTE

Käeoleva magistritöö eesmärgiks oli analüüsida asfaltsegu sideaine sisalduse ja terastikulise koostise katsete täpsusi korduvustingimustel ning saadud info põhjal anda hinnang Eestis kehtivatele lubatud hälvete piiridele. Töös on antud ülevaade asfaltsegude katsetamise etappidest alates asfaltsegu proovi võtmisest kuni katsetamise ja tulemuse väljastamiseni. Eraldi käsitleti sideaine sisalduse ja terastikulise koostise ning nende hälvete olulisust asfaltsegude omadustele. Samuti anti ülevaade mõõteteeoria alustest.

Töös võrreldi Eestis kehtivaid nõudeid Lätis, Leedus, Soomes, Rootsis kehtestatud nõuetega. Võrdlusest selgus, et Eestis kohaldatud nõuded on sideaine sisalduse osas kõige rangemad. Teiste riikide nõuetega tutvudes eristub, et üksiktulemustele rakendatakse oluliselt leebemaid hälbepiire, kui mitme proovi katsetulemuse keskmisele. Töö eksperimentaalses osas selgus, et kui asfaltsegu maksimaalne terasuurus on üle 16 mm, siis on katsemeetodi laborisisene varieeruvus suurem, kui Transpordiameti „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhise“ ja Majandus- ja taristuministri määruse nr 101 „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ nõuded.

Lähtudes metroloogia põhialustest, siis igal mõõtetulemusel on mõõtemääramatus. Mõõtemääramatus kirjeldab vahemikku, kuhu mõõtmise tulemus teatud tõenäosusega jääb. Mõõtemääramatus on osa mõõtetulemusest. Täna arvestatakse Eestis teedehituses kvaliteedi hindamisel ja tööde vastuvõtmisel enamjaolt ühte katsetulemust. Kui üksikproovi katsetulemusele rakendada katsemeetodi täpsusest kitsamaid vastuvõtupiire, kasvab tõenäosus, et selle põhjal tehakse vale järeldus asfaltsegu kvaliteedi osas. Seega tuleks tulemuste hindamisel arvestada meetodi täpsusega või enne lõplikku otsust arvestada mitme katse keskmist tulemust.

Töö autor peab väga oluliseks Eesti teedehituse valdkonnas teadlikkuse tõstmist mõõtetulemuste väljendamise ja tõlgendamise osas.

SUMMARY

The aim of this master's thesis was to analyze the accuracy of asphalt mixture binder content and gradation tests under repeatability conditions and, based on the information obtained, to give an assessment of the allowable deviation limits adopted in Estonia. The paper provides an overview of the stages of testing asphalt mixtures, from taking the samples to testing and reporting. The importance of binder content and gradation and their deviations on the properties of asphalt mixtures was discussed separately. An overview of the principles of metrology was also given.

The study compared the requirements in force in Estonia with the requirements established in Latvia, Lithuania, Finland, and Sweden. The comparison revealed that the requirements adopted in Estonia are the strictest regarding the binder content. Based on comparison with other countries, significantly broader acceptance limits are applied to individual test results than to the average test result of the samples. In the experimental part of the work, it was found that if the maximum grain size of the asphalt mixture is more than 16 mm, the intra-laboratory variability of the test method is greater than the requirements adopted in the Estonian Transport Agency's and other national guidelines.

Based on the fundamentals of metrology, every measurement result has measurement uncertainty. The measurement uncertainty describes the range in which the result of the measurement lies with a certain probability. Measurement uncertainty is an integral part of the measurement result. Currently, quality assessment and acceptance is determined based on single test result in Estonia. If the acceptance limits are narrower than the accuracy of the test method, the probability that it will lead to an incorrect conclusion regarding the quality of the asphalt mixture increases. Thus, the accuracy of the method should be taken into account when evaluating the results, or the average result of multiple determinations should be taken into account.

The author of the paper considers it very important to raise awareness in Estonia regarding the expression and interpretation of measurement results.

KASUTATUD KIRJANDUSE LOETELU

- [1] D. R. N. Hunter, A. Self, ja P. J. Read, *The Shell Bitumen Handbook*, Sixth. 2015.
- [2] M. Fang, D. Park, J. L. Singuranayo, H. Chen, ja Y. Li, „Aggregate gradation theory, design and its impact on asphalt pavement performance: a review“, *Int. J. Pavement Eng.*, kd 20, nr 12, lk 1408–1424, dets 2019, doi: 10.1080/10298436.2018.1430365.
- [3] „EVS 901-3:2021 Tee-ehitus. Osa 3: Asfaltsegud“. EVS, 2021.
- [4] K. Kontson, K. Lill, ja A. Aavik, „Superpave Pavement Design Temperatures in Estonia“, *Balt. J. Road Bridge Eng.*, kd 18, nr 2, lk 190–204, juuni 2023, doi: 10.7250/bjrbe.2023-18.603.
- [5] A. Saarela, *Asphalt pavements. DESIGN*. Espoo: Technical Reserch Center of Finland, 1993.
- [6] H. Yu, M. Yang, G. Qian, J. Cai, H. Zhou, ja X. Fu, „Gradation Segregation Characteristic and Its Impact on Performance of Asphalt Mixture“, *J. Mater. Civ. Eng.*, kd 33, nr 3, lk 04020478, märts 2021, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003535.
- [7] V. Radhakrishnan, M. Ramya Sri, ja K. S. Reddy, „Sensitivity of rutting and moisture resistance of asphalt mixes to gradation and design air void content“, *Int. J. Pavement Eng.*, kd 21, nr 9, lk 1035–1043, juuli 2020, doi: 10.1080/10298436.2018.1517875.
- [8] J.-S. Chen ja M.-C. Liao, „Evaluation of internal resistance in hot-mix asphalt (HMA) concrete“, *Constr. Build. Mater.*, kd 16, nr 6, lk 313–319, sept 2002, doi: 10.1016/S0950-0618(02)00037-5.
- [9] J. B. Sousa, J. Craus, ja C. L. Monismith, „Summary report on permanent deformation in asphalt concrete“, *Strateg. Highw. Res. Program*, 1991.
- [10] T. Väli, „Naastrehvide kasutmine Tallinnas ning sellest tulenevate probleemide vähendamise Soome, Rootsi ja Norra näitel“. TalTech, 2020.
- [11] „EVS-EN 1097-9:2014 Täitematerjalide mehaaniliste ja füüsikaliste omaduste katsetamine. Osa 9: Kulumiskindluse määramine abrasiivsele hõõrdkulumisele naastrehvide toimel. Põhjamaade katse“.
- [12] „EVS-EN 12697-16:2016 Asfaltsegud. Katsemeetodid. Osa 16: Vastupidavus naastrehvide toimele“.
- [13] T. Jacobson ja L.-G. Wågberg, „Utveckling och uppgradering av prognosmodell för beläggningsslitage från dubbade däck samt en kunskapsöversikt över inverkan faktorer“. VTI, 2003.
- [14] H. K. Zubeck ja G. Doré, *Cold regions pavement engineering*. McGraw-Hill; American Society of Civil Engineers, 2009.
- [15] B. Snilsberg, R. G. Saba, ja N. Uthus, „Asphalt pavement wear by studded tires – Effects of aggregate grading and amount of coarse aggregate“, *Proceedings of 6th Eurasphalt & Eurobitume Congress*, Czech Technical University in Prague, juuni 2016. doi: 10.14311/EE.2016.072.
- [16] H. Heikkinen, „Nastarenkaiden vaikutus päällysteiden kulumiseen taajamanopeuksissa“. Aalto-yliopisto, 2012.
- [17] S. Caro, E. Masad, M. Sánchez-Silva, ja D. Little, „Stochastic micromechanical model of the deterioration of asphalt mixtures subject to moisture diffusion processes“, *Int. J. Numer. Anal. Methods Geomech.*, kd 35, nr 10, lk 1079–1097, juuli 2011, doi: 10.1002/nag.943.
- [18] P. J. Vardanega, „State of the Art: Permeability of Asphalt Concrete“, *J. Mater. Civ. Eng.*, kd 26, nr 1, lk 54–64, jaan 2014, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000748.
- [19] B. Sengoz ja E. Agar, „Effect of asphalt film thickness on the moisture sensitivity characteristics of hot-mix asphalt“, *Build. Environ.*, kd 42, nr 10, lk 3621–3628, okt 2007, doi: 10.1016/j.buildenv.2006.10.006.
- [20] P. S. Kandhal ja S. Chakraborty, „Effect of Asphalt Film Thickness on Short- and Long-Term Aging of Asphalt Paving Mixtures“, *Transp. Res. Rec.*

- [21] „EVS-EN 12697-27:2017 Asfaltsegud. Katsemeetodid. Osa 27: Proovivõtmine”.
- [22] J. Hendrikson, „Proovide võtmine Maanteameti objektidel”, 21. aprill 2017. [Online]. Available at: <https://transpordiamet.ee/riigiteede-juhendid#valdkonnaulesed-norm--2>
- [23] Transpordiamet, „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised”. Transpordiamet, 2021.
- [24] „EVS-EN 12697-28:2020 Asfaltsegud. Katsemeetodid. Osa 28: Proovide ettevalmistamine sideainesisalduse, veesisalduse ja terastikulise koostise määramiseks”.
- [25] J. Neves, „Comparison of Binder Content Determination by Centrifuge Extractor and Ignition Test Methods for HMA”, *Airfield and Highway Pavements 2019*, Chicago, Illinois: American Society of Civil Engineers, juuli 2019, lk 29–38. doi: 10.1061/9780784482469.004.
- [26] „EVS-EN 12697-1:2020 Asfaltsegud. Katsemeetodid. Osa 1: Lahustuva sideaine sisaldus”.
- [27] „EVS-EN 12697-2:2015+A1:2019 Asfaltsegud. Katsemeetodid. Osa 2: Terastikulise koostise määramine”.
- [28] „EVS-EN 13108-21:2007 Asfaltsegud. Materjalide spetsifikatsioonid. Osa 21: Tehase tootmisohje”.
- [29] „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded”. Majandus- ja taristuminister, 2015.
- [30] „Autocelu buvdardu specifikācijas ABS 2021/1”. Latvijas Valsts Celi, 2022.
- [31] „Automobiliu keliu asfalto mišiniu bandymo nurodymai I dalis 'Risiklio kiekis' bn Asfaltas-1 22”. Lietuvos Automobiliu Keliu Direkcija, 2022.
- [32] „KRAV. Bitumenbundna lager. TDOK 2013:0529”. Trafikverket, 2020.
- [33] *Asfalttinormit 2023*. PANK ry, 2023.
- [34] R. Laaneots, O. Mathiesen, ja J. Riim, *Metroloogia*. Tallinn, 2012.
- [35] „Standard deviation”. [Online]. Available at: <https://www.sixsigmadaily.com/standard-deviation-6-steps-to-calculation/>
- [36] G. R. D. Jones, „Critical difference calculations revised: inclusion of variation in standard deviation with analyte concentration”, *Ann. Clin. Biochem. Int. J. Lab. Med.*, kd 46, nr 6, lk 517–519, nov 2009, doi: 10.1258/acb.2009.009083.
- [37] A. Pryseley, K. Mintiens, K. Knapen, Y. Van Der Stede, ja G. Molenberghs, „Estimating precision, repeatability, and reproducibility from Gaussian and non-Gaussian data: a mixed models approach”, *J. Appl. Stat.*, kd 37, nr 10, lk 1729–1747, okt 2010, doi: 10.1080/02664760903150706.

LISAD

Lisa 1 – Asfalt- ja mustsegu retsepti vorm vastavalt standardile EVS 901-3:2021

Lisa 2 – Asfaltsegu katseprotokoll A3844B

Lisa 3 – Kõikide katsetatud asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise tulemused

Lisa 1 – Asfalt- ja mustsegu retsepti vorm vastavalt standardile EVS 901-3:2021

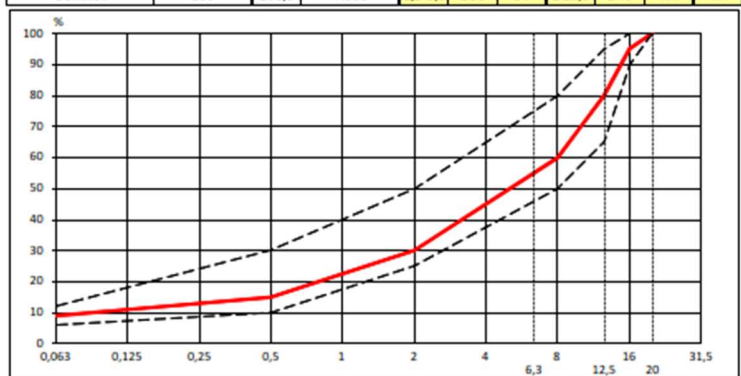
EVS 901-3:2021

Lisa A (normlisa) Asfalt- ja mustsegu retsepti vorm

Tootja: Asfalditootja AS **AC 16 surf 70/100** Vastavalt standardile: EVS 901-3:2021
 Tehas: Asfalditehas Seguretsept nr: 100

Objekti nimetus

Täitematerjalid													
Täitematerjali nimetus	fr	Deklaratsiooni number	Ter tih Mg/m ³	LA	A _N	FI	C	f	MB _f	F	F _{NACI}		
Liivalaia	L0-4	4/RL/043	2,73	NPD	NPD	NPD	NPD	3	NPD	NPD	NPD		
Jaani	0-4	2/21/2020	2,69	NPD	NPD	NPD	NPD	16	10	NPD	NPD		
Jaani	4-8	3/21/2020	2,69	15	10	25	100	2	NPD	1	4		
Jaani	8-11	4/21/2020	2,69	15	10	25	100	2	NPD	1	4		
Jaani	11-16	5/21/2020	2,69	15	10	25	100	2	NPD	1	4		
Jaani	16-22	6/21/2020	2,69	15	10	25	100	2	NPD	1	4		
Vao	filler	1X-16	2,75	NPD	NPD	NPD	NPD	NPD	10	NPD	NPD		
Kaalutud keskmine osakeste näivihedus p _s			2,695	Korrigeerimisegur α			0,983	Korrigeeritud β _{norm} %		4,9			
Sideaine													
Deklaratsiooni nr	05-70-2018			Nake, rullpudel 24h				≥ 50%					
Tootja	Nynas			Elastne taastuvus				NR					
Mark	70/100												
Muud tooted	Täitematerjali lisand			Sideaine lisand				Looduslik asfalt					
Deklaratsiooni nr	001/2017			10-04-2015				GIL/05/2016					
Toode	Viastop Premium			Wetfix BE				Gilsoniit					
Osakaal %	0,4			0,4				10					
Projekteeritud segu koostis						Segu terastikuline koostis							
Täitematerjali nimetus	fr	Materjali osakaal %		Sõela ava mm		Segu terastikuline koostis							
		Täitematerjal	Segu	Norm	min	max	0,063	0,5	2	8	12,5	16	20
Liivalaia	L0-4	3	2,8	Norm	min	max	6,0	10	25	50	65	90	100
Jaani	0-4	21	19,9	Normkoostis	9,0	15	30	60	80	95	100	100	
Jaani	4-8	23	21,8										
Jaani	8-11	23	21,8										
Jaani	11-16	23	21,8										
Jaani	16-22	1	0,9										
Vao	filler	6	5,7										
Doseeritav sideaine sisaldus		5,3											
Lahustuv sideaine sisaldus		5,2		2,398	2,507	4,3	97	0,04	4,0	38	NPD	NPD	
SUMMA		100		100,0	Nõue	1,5-5,0	≥ 90	DV	≤ 13,0	≤ 40	NR	NR	



Koostanud: Peeter Segumeister 01.07.2020
(nimi, allkiri, kuupäev)
/allkirjastatud digitaalselt/

Mõtme kasutaja litsents 2 kasutajale, Arve nr 435807, 10.02.2021.
Seile elektroonilise dokumendi kasutusõigus: YIT Eesti AS, paljundamis- ja levitamiseõigus kuulub Eesti Standardimis- ja Akrediteerimiskeskusele.

Lisa 2 - Asfaltsegu katseprotokoll A3844B



EN ISO/IEC 17025
1251

Lk 1/1
04.08.2023

Katseprotokoll nr A3844B

Tellija: KMG OÜ

Töö ülesanne: Asfaltsegu lahustuva sideaine sisalduse ja terakoostise määramine;

Kliendi poolt esitatud teave:

Proovi kirjeldus: AC 32 base 70/100 nr 3
 Proovivõtmise kuupäev: 04.08.2023
 Proovivõtmise kellaaeg: 11:25
 Proovivõtmise koht: auto kastid

Andmed laboris registreeritud proovi kohta:

Laboris registreeriti proov registreerimisnumbriga: B3844
 Proovi vastuvõtu kuupäev laborisse: 04.08.2023
 Katse sooritamise kuupäev(ad): 04.08.2023

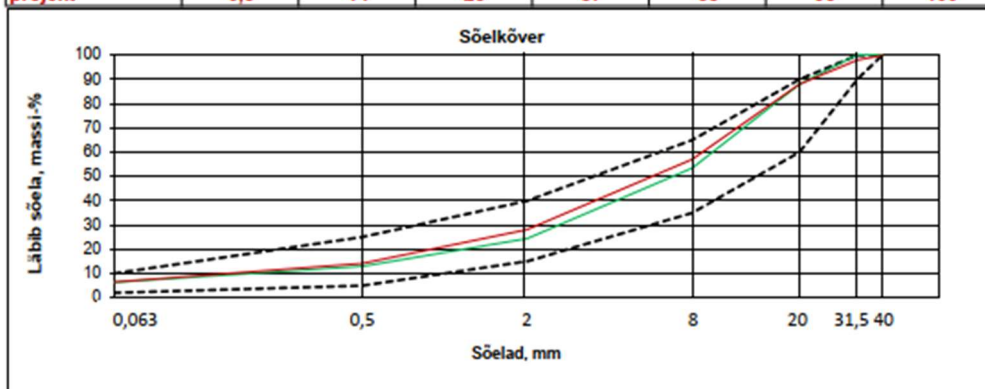
Katsetamine ja tulemused:

Lahustuv sideaine sisaldus EVS-EN 12697-1:2020 (massierinevuste meetod)

lahustuva sideaine sisaldus, massi-%	3,5
--------------------------------------	-----

Terakoostis EVS-EN 12697-2:2015+A1:2019 (sõela läbind, massi-%)

sõel, mm	0,063	0,5	2	8	20	31,5	40
min	2	5	15	35	60	90	100
max	10	25	40	65	90	100	100
TULEMUSED	6,4	13	24	53	88	100	100
projekt	6,5	14	28	57	88	98	100



MÄRKUSED:

Kliendi soovil on katseprotokollil esitatud standardi EVS 901-3:2021 kohane vastava asfaltsegu tüübi sõelkõvera välti (min ja max)

OBJEKT: Domus teed

Saadud tulemused kohalduvad ainult vastuvõetud ja katsetatud proovile.
 Protokollil osaliseks kopeerimiseks tuleb taotleda labori kirjalik luba.

Katseprotokollil kinnitaja: arendusosakonna juhataja, Karli Kannenberg /allkirjastatud digitaalselt/

KMG OÜ
 Betooni 28 Tallinn 13816 Harjumaa
 Registrikood 16196755

Telefon +372 605 7550
 info@kmg.ee
 www.kmg.ee

Lisa 3 - Kõikide katsetatud asfaltsegude lahustuva sideaine sisalduse ja terastikulise koostise tulemused

AC 4 surf 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	6,3	8	S, sisaldus (min 6,4 %)
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist									
Min	14,0	16,0	20,0	27,0	37,0	57,0	90,0	100,0	100,0	
Max	17,0	24,0	32,0	42,0	58,0	80,0	100,0	100,0	100,0	
1	11,9	15,0	19,9	34,5	48,5	64,2	84,6	98,7	99,9	6,50
2	11,8	15,0	19,8	34,4	48,4	64,4	85,3	98,7	100,0	6,40
3	11,9	15,0	20,0	34,7	48,7	64,6	85,8	99,3	100,0	6,55
4	11,8	14,9	19,9	34,6	48,8	64,7	85,7	98,9	99,9	6,52
5	12,0	15,0	19,9	34,6	48,9	64,9	85,9	98,8	99,8	6,50
6	12,0	15,0	19,9	34,6	48,8	65,0	85,8	98,9	99,9	6,49
7	12,0	15,0	20,0	34,7	49,0	64,9	86,3	99,1	99,9	6,53
8	11,7	14,9	19,9	34,6	48,8	64,6	85,4	99,4	100,0	6,50
9	12,1	15,2	20,2	34,9	49,1	65,1	86,8	99,5	99,9	6,51
10	11,9	15,1	20,0	34,8	49,0	65,1	85,8	99,0	100,0	6,42

AC 8 surf 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	4	6,3	8	12,5	S, sisaldus (min 5,8 %)
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist							
Min	10,0	20,0	40,0	55,0	65,0	90,0	100,0	
Max	13,0	45,0	65,0	85,0	95,0	100,0	100,0	
1	15,1	34,0	55,9	68,4	84,8	96,4	99,6	5,76
2	15,4	34,4	56,5	69,0	85,7	97,9	100,0	5,78
3	15,4	34,4	56,7	69,1	84,9	97,6	100,0	5,83
4	15,2	33,9	55,2	67,7	84,7	96,3	99,6	5,71
5	15,6	35,1	58,5	71,6	87,0	97,6	99,3	5,98
6	16,1	35,1	58,6	71,0	86,8	97,8	99,7	5,91
7	15,5	34,8	57,4	70,2	86,0	98,4	100,0	5,95
8	15,7	35,0	57,9	71,2	87,3	97,9	99,8	5,89
9	15,6	34,7	57,6	70,2	86,1	96,1	98,7	5,85
10	15,8	35,4	59,1	72,2	87,1	98,2	100,0	5,99

AC 12 surf 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	4	8	12,5	16	
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist							
Min	6,0	10,0	30,0	40,0	60,0	90,0	100,0	S, sisaldus (min 5,2 %)
Max	12,0	35,0	55,0	70,0	90,0	100,0	100,0	
1	11,3	22,8	38,3	52,2	79,9	97,6	99,3	5,21
2	11,0	22,7	38,2	52,3	81,8	97,8	99,6	5,33
3	11,0	22,6	38,2	52,5	82,1	97,5	100,0	5,38
4	10,9	22,8	38,6	52,8	81,7	96,9	100,0	5,44
5	11,2	23,1	38,9	53,3	84,8	98,0	99,5	5,41
6	11,4	23,4	39,4	54,4	83,5	97,2	100,0	5,37
7	11,1	22,8	38,5	52,7	80,5	97,6	100,0	5,29
8	10,9	22,5	37,8	51,0	79,1	95,8	99,5	5,21
9	11,4	23,4	39,4	54,3	84,5	96,9	99,7	5,38

AC 16 surf 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	12,5	16	20	
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist							
Min	6,0	10,0	25,0	50,0	65,0	90,0	100,0	S, sisaldus (min 5,0 %)
Max	12,0	30,0	50,0	80,0	95,0	100,0	100,0	
1	10,2	19,9	29,8	63,2	86,1	98,8	100,0	4,82
2	10,6	20,5	30,7	63,3	88,1	98,2	100,0	4,95
3	10,8	20,5	30,7	64,1	88,8	97,8	100,0	4,99
4	10,6	20,5	30,6	64,1	85,8	99,5	100,0	4,95
5	11,1	21,3	31,9	69,0	92,1	99,7	100,0	5,14
6	10,6	20,9	31,5	66,2	89,0	98,4	100,0	5,08
7	10,6	20,7	31,1	66,8	90,3	100,0	100,0	5,04
8	10,8	21,3	32,1	68,1	91,8	99,2	100,0	5,16
9	10,7	20,7	31,0	66,4	90,1	99,7	100,0	5,03
10	10,6	20,8	31,1	67,1	90,8	98,5	100,0	5,01

SMA 16 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	12,5	16	20	
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist							
Min	6,0	10	15	20	55	90	100	S, sisaldus (min 3,4 %)
Max	12,0	20	26	45	80	100	100	
1.	11,5	16	22	37	67	93	100	5,70
2.	12,6	17,5	22,9	38,0	72,6	92,0	100,0	5,92
3.	12,1	17,3	22,9	39,5	74,9	96,3	100,0	5,88
4.	11,4	16,3	21,1	37,0	67,8	92,4	100,0	5,62
5.	11,8	17,1	22,5	39,0	68,6	89,7	100,0	5,79
6.	12,2	17,3	23,1	39,7	71,0	90,9	100,0	5,95
7.	11,7	16,7	22,1	36,9	72,3	94,5	100,0	5,71
8.	12,0	17,1	22,6	39,1	69,7	93,1	100,0	5,85
9.	12,0	17,0	22,5	39,9	73,1	93,6	100,0	5,85
10.	12,1	17,2	22,7	39,6	72,0	94,5	100,0	5,82

AC 16 base 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	12,5	16	20	
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist							
Min	2,0	5	15	45	65	90	100	S, sisaldus (min 3,4 %)
Max	10,0	25	40	75	95	100	100	
1.	5,9	12	23	55	86	97	100	4,03
2.	5,8	11,7	22,1	52,4	83,7	97,9	100,0	3,78
3.	5,4	11,5	22,1	53,5	86,1	96,0	100,0	3,89
4.	5,9	11,8	22,7	56,6	85,3	97,4	100,0	4,01
5.	5,6	11,8	23,4	62,3	88,5	97,9	100,0	4,27
6.	5,5	11,7	22,9	57,2	86,6	97,8	100,0	4,03
7.	5,6	11,6	21,3	49,0	81,7	97,8	100,0	3,76
8.	5,8	11,7	22,1	54,3	84,9	97,9	100,0	3,82
9.	5,4	11,6	22,1	55,1	87,6	98,1	100,0	3,95
10.	5,8	11,5	21,6	52,4	84,4	98,5	100,0	3,89

AC 20 surf 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	1	2	8	16	20	31,5	
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist								
Min	6,0	10,0	14,0	21,0	47,0	79,0	90,0	100,0	S, sisaldus (min 4,8 %)
Max	9,0	23,0	30,0	41,0	72,0	94,0	100,0	100,0	
1	7,4	16,1	20,2	25,8	52,8	83,2	92,0	100,0	4,35
2	7,2	15,3	19,2	24,4	49,4	80,3	91,0	100,0	4,22
3	7,3	15,9	20,0	25,6	53,8	81,1	91,8	100,0	4,33
4	7,5	16,0	20,0	25,6	54,9	78,9	91,3	100,0	4,35
5	7,3	16,0	20,1	25,7	53,8	83,4	95,6	100,0	4,40
6	7,9	17,3	21,7	28,1	62,1	88,4	94,9	100,0	4,74
7	8,1	17,6	22,2	28,8	64,4	89,7	96,7	100,0	4,81
8	7,6	16,4	20,5	26,5	57,7	83,1	92,1	100,0	4,47
9	7,9	17,0	21,3	27,4	60,2	88,5	95,3	100,0	4,63
10	7,9	17,0	21,3	27,5	58,3	87,4	94,9	100,0	4,60

AC 20 base 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	16	20	31,5		
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist								
Min	2,0	5,0	15,0	40,0	65,0	90,0	100,0	S, sisaldus (min 3,4 %)	
Max	10,0	25,0	40,0	70,0	95,0	100,0	100,0		
1.	6,4	11,8	19,2	45,7	83,6	95,3	100,0	3,75	
2.	6,8	12,6	21,0	53,6	90,6	97,8	100,0	4,04	
3.	6,7	12,4	20,7	52,1	89,8	96,2	100,0	3,90	
4.	6,0	11,0	17,9	39,9	76,7	89,6	100,0	3,45	
5.	6,9	12,9	21,6	59,0	92,1	97,9	100,0	3,94	
6.	6,8	12,8	21,3	54,3	91,7	96,8	100,0	3,95	
7.	6,6	12,9	21,8	58,1	94,9	100,0	100,0	4,17	
8.	6,9	12,3	20,2	49,7	92,3	97,4	100,0	3,85	
9.	6,6	12,2	20,1	48,5	90,2	96,6	100,0	3,80	
10.	7,0	12,8	21,1	54,0	90,6	95,6	100,0	4,02	

AC 32 base 70/100

Sõela ava, mm	0,063	0,5	2	8	20	31,5	
	Sõela läbind, % kivimaterjali massist						
Min	3,0	6,0	14,0	34,0	62,0	90,0	S. sisaldus (min 3,2 %)
Max	8,0	16,0	31,0	57,0	85,0	100,0	
1	4,1	11,4	19,9	47,3	75,1	98,1	3,10
2	4,3	12,5	21,8	49,8	77,5	100,0	3,47
3	4,1	11,4	19,8	45,0	73,7	96,9	3,21
4	3,9	10,5	17,7	42,3	68,4	100,0	2,86
5	4,1	11,1	19,2	46,6	78,5	95,0	3,17
6	4,1	11,7	20,8	50,4	83,6	98,6	3,33
7	4,1	11,4	19,7	47,2	79,9	100,0	3,16
8	3,7	10,6	18,1	43,7	72,1	95,1	3,01