



**TALLINNA TEHNICAÜLIKOOL**  
INSENERITEADUSKOND  
Ehituse ja Arhitektuuri Instituut

## **ASFALTKATTE KVALITEEDI HINDAMISMEETODITE ANALÜÜS**

### **ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF ASPHALT PAVEMENTS**

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Ralf Kalm

Üliõpilaskood: 176718EAXM

Juhendaja: Karli Kontson

Tallinn 2021

(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.

"....." ..... 2021

Autor: .....  
/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

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

Juhendaja: .....  
/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

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

Kaitsmiskomisjoni esimees .....  
/ nimi ja allkiri /

### **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks<sup>1</sup>**

Mina \_\_\_\_\_ (autori nimi) (sünnikuupäev: ..... )

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

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

(lõputöö pealkiri)

Mille \_\_\_\_\_ juhendaja \_\_\_\_\_ on

(juhendaja nimi)

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.

---

*<sup>1</sup>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 loomingu tegevusega ning lõputöö kaas- või ühisautor(id) ei ole andnud lõputööd kaitsvale üliõpilasele kindlaksmääratud tähtjaks nõusolekut lõputöö reprodutseerimiseks ja avalikustamiseks vastavalt lihtlitsentsi punktidele 1.1. ja 1.2, siis lihtlitsents nimetatud tähtaja jooksul ei kehti.*

\_\_\_\_\_ (allkiri)

\_\_\_\_\_ (kuupäev)

# Ehituse ja arhitektuuri Instituut

## LÕPUTÖÖ ÜLESANNE

**Üliõpilane:** Ralf Kalm, üliõpilaskood 176718EAXM  
Õppekava, peeriala: EAXM15/15 – Hooned ja rajatised, teedehitus  
Juhendaja(d): Karli Kontson, Taltech doktorant, tel: +372 504 7834  
Konsultant: Oliver Kiisler, Tariston AS, Tootmisosakonna Juhataja,  
[Oliver.Kiisler@tariston.ee](mailto:Oliver.Kiisler@tariston.ee), tel: +372 5912 5377

### Lõputöö teema:

(eesti keeles) *Asfaltkatte kvaliteedi hindamismeetodite analüüs*

(inglise keeles) *Analysis of methods for assessing the quality of asphalt pavements*

### Lõputöö põhieesmärgid:

1. Analüüsida, kas praegu kasutatavad asfaltkatte kvaliteedi hindamise meetodid iseloomustavad katet parimal viisil ja kas katsetulemused on vääramatult täpsed
2. Uurida, kui suur osa katsetulemustest jääb katse standardiga määratud korratavuspiiridesse.
3. Uurida, kas ebakvaliteetse töö eest rakendatavad mahaarvamised on õiglased ja kooskõlas katsetuste korratavuse määraga

### Lõputöö etapid ja ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Tähtaeg
1.	Laboratoorsete katsete teostamine	1.04.2019
2.	Tulemuste analüüsimine	1.05.2019
3.	Töö vormistamine	1.05.2021

**Töö keel:** Eesti keel

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

**Üliõpilane:** Ralf Kalm

..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Juhendaja:** Karli Kontson

..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Konsultant:** Oliver Kiisler

..... ".....".....20.....a  
/allkiri/

**Programmijuht:** ..... ".....".....20.....a

/allkiri/

*Kinnise kaitsmise ja/või lõputöö avalikustamise piirangu tingimused formuleeritakse pöördel*

## SISUKORD

EESSÕNA .....	6
SISSEJUHATUS .....	7
1. ASFALTKATTE KVALITEEDI HINDAMINE.....	10
1.1. Kihipaksus.....	13
1.2. Jäävpoorsus .....	16
1.2.1. Asfaltsegust mahumassi määramine .....	18
1.2.2. Asfaltsegust erimassi määramine .....	20
1.3. Tihendustegur.....	22
2. KIHIPAKSUS .....	28
2.1. Objekti A tulemused .....	28
2.1.1. AC 20 base tulemused .....	29
2.1.2. MUK 32 tulemused .....	32
2.2. Objekti B tulemused .....	35
2.3. Objekti C tulemused .....	38
2.4. Objekti D tulemused .....	40
2.4.1. AC 12 surf tulemused .....	40
2.4.2. AC 20 base tulemused .....	43
2.5. Mõõtmiskordade suurendamine laboris.....	45
2.6. Kokkuvõte .....	50
3. JÄÄVPOORSUS .....	54
3.1. Objekti A tulemused .....	54
3.2. Objekti B tulemused .....	57
3.3. Objekti C tulemused .....	60
3.4. Objekti D tulemused .....	61
3.5. Kokkuvõte .....	62
4. TIHENDUSTEGUR .....	67
4.1. Objekti A tulemused .....	67
4.2. Objekt B tulemused .....	70
4.3. Objekti C tulemused .....	71
4.4. Objekti D tulemused .....	73
4.5. Kokkuvõte .....	74
5. MAHAARVAMISED KIHIPAKSUSE VÄHENEMISEST .....	77
6. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD .....	81
KOKKUVÕTE .....	83
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU .....	88
LISAD .....	89

## EESSÕNA

Tahan tänada Tariston AS kollektiivi, ilma kellela ei oleks antud töö teoks saanud. Tänu juhatausele, kes finantseeris laborikatsetused, sai võimalikuks piisav hulk katsetulemusi, et teostada analüüs. Suurt abi ja tuge pakkusid laborandid, kes puurisid objektidel katsekehad ning andsid konstruktiivset tagasisidet katsete läbiviimiste ja nende tehniliste nüansside kohta.

Kõige suuremad tänud ja kiidusõnad juhendajatele, kes olid abiks alates uurimistöö teema leidmisest kuni tulemuste põhjal järelduste tegemiseni ning võimalike lahenduste sõnastamiseni. Koostöös eelpool mainitud inimestega valmis käesolev magistritöö.

Võtmesõnad: Asfalt, asfaltkate, asfaltkatte paksus, kihipaksus, jäävpoorsus, tihendustegur, asfaltkatte kvaliteet, magistritöö.

## SISSEJUHATUS

Autor on valinud lõputöö teema seoses igapäevatoos esilekerkivate probleemidega vastvalminud asfaltkatte kvaliteedi hindamisel. Riigiteede ehitustööde vastuvõtmisel kasutatakse kvaliteedi hindamise juhendit, kus mittekvaliteetse töö eest määratakse töö tegijale mahaarvamised. See tähendab, et tehtud töö eest saadavat tasu ei maksta täies ulatuses välja. Mahaarvamiste aluseks on asfaltkattest võetud katsekehade nõuetele mittevastavad katsetulemused. Töövõtjal on õigus katsetulemused vaidlustada ja tellida kordusproov ehk B-proov. Kordusproov võetakse objektile esimesest proovist kuni ühe meetri kauguselt ja selle kasutamisel arvestatakse kahe katsetulemuse aritmeetilist keskmist. Tulemus on lõplik ega kuulu vaidlustamisele.

Kirjeldatud asfaltkatte hindamise meetod võib tekitada olukorra, kus katsetamise käigus tehtud labori eksimus toob töövõtjale mahaarvamise, seda juhul, kui B-proov ei tasanda A-proovi katsetamisel tehtud eksimust. Sellise olukorra tekkimisel ei ole töövõtjal tulemuste apelleerimise õigust. Kvaliteedijuhend peaks olema koostatud eesmärgiga saavutada võimalikult kvaliteetne töö läbi õiglase hindamise, kuid praegu töötab see pigem töövõtja karistusmeetmena, kus mahaarvamised võivad tekkida juhusest tingituna. Nendes tingimustes puudub töövõtjal võimalus kontrollida mahaarvamiste suurust töö kvaliteedi muutmisel.

Vastvalminud riigiteede kvaliteedi hindamiseks kasutatakse Maanteeameti 2015. aastal väljastatud „asfaldist katendikihtide ehitamise juhist“ (edaspidi kasutatakse lühendit AKEJ). AKEJ sätestab riigiteede ehitamise kvaliteedi hindamiskriteeriumid ja nende arvulised suurused. Kui kvaliteedis ilmneb puudujääk, määratakse riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskirja (edaspidi vastuvõtueeskiri) järgi mahaarvamine ehk töö eest ei maksta kokkulepitud tasu täies ulatuses välja.

Asfaltkatete ja -segude kvaliteedi hindamiseks kasutatakse mitut parameetrit. Asfaltsegu koostis peab vastama projekteeritule ja selle kontrollimiseks katsetatakse igapäevaselt segu terastikulist koostist ja sideaine sisaldust. Lisaks katsetatakse segus  $\text{CaCO}_3$  (kaltsiumkarbonaat) sisaldust ning deformatsioonikindlust, kulumiskihi segul ka kulumiskindlust. Asfaltkate peab vastama juhendis etteantud tasetasuse-, jäävpoorsuse- ja tihendustegur nõuetele ning liiklusohutuse huvides peab olema tagatud nõuetekohane haardetegur. Kattekihi paksus peab vastama tellitule, seejuures vähenemise suunas lubatud hälbed puuduvad. Paigaldatud kattelt mõõdetakse laiused ja kalded ning katte geomeetria peab vastama tellitule. Siinses töös on eelpool loetletud nõuetest lähemalt uuritud kolme: kihipaksust, jäävpoorsust ja tihendustegurit. Kõik kolm näitajat määratakse asfaltkattest puuritud katsekehast (puurproovidest).

Tulenevalt ülaltoodust on uurimistöo eesmärkideks:

1. analüüsida, kas praegu kasutatavad asfaltkatte kvaliteedi hindamise meetodid iseloomustavad katet parimal viisil ja kas katsetulemused on vääramatult täpsed;
2. uurida, kui suur osa katsetulemustest jääb katse standardiga määratud korratavuspiiridesse;
3. uurida, kas ebakvaliteetse töö eest rakendatavad mahaarvamised on õiglased ja kooskõlas katsetuste korratavuse määraga;
4. tuginedes analüüsi tulemustele, pakkuda välja võimalikke muudatus- ja parendusettepanekuid katsetuste tegemise, nende tulemuste tõlgendamise ning hinnangute rakendamise osas.

Uurimuse tegemiseks ja andmete kogumiseks võeti neljalt objektilt puurkehad ja viidi kolme akrediteeritud ning ühte akrediteeringuta laborisse. Puurkehade katsetused tehti meetodil, mis võimaldab sama katset korrata kõikides töösse kaasatud laborites saamaks ülevaadet laboritevahelistest mõõtmistulemuste varieerumisest.

Saadud tulemused koondati andmetabelisse, mille analüüsimiseks kasutatakse kolme näitajat.

Esimene näitaja iseloomustab laboritulemuste varieeruvust. Selleks võrreldakse üksikute katsekehade tulemuste erinevust laborite vahel ning arvutatakse suurima ja väikseima tulemuse vahe. Tulenevalt katsestandardist, kehtivad laboritele katse korratavuse piirid, milles nad peavad suutma katset korrata. Laboritulemuste varieeruvust võrreldakse katse korratavuspiiridega ning arvutatakse nende vastavuse osakaal.

Teiseks näitajaks on katsetulemuste varieeruvus seeriates. Seeria koosneb kahest kuni kolmest puurkehast ning seeria tulemus on selles sisalduvate üksiktulemuste aritmeetiline keskmine. Saadud näitaja on oluline, kuna vastavalt Maanteeameti juhistele arvestatakse kahe või kolme katsekeha tulemuse pealt 500- meetrise teelõigu kvaliteet. Seega on iga üksik katsetus tähtis ja ühe katsekeha valesti määratud tulemus võib tingida ebaõiglaselt suure, 500 m pikkusele lõigule rakendatava mahaarvamise. Seeriaste tulemuste põhjal arvutatakse ka mahaarvamised.

Kolmandaks näitajaks on keskmise tulemuse võrdlemine objektide kaupa. Arvutatud on iga labori ja objekti keskmine tulemus, mille põhjal nähtub, kas ja millises suunas laborite tulemused üksteisest püsivalt erinevad. Näitaja annab ülevaate laborite töö täpsusest laiemas plaanis. Igapäevatoos on see teadmine vähetähtis, sest määravad on üksikkehade tulemused. Kuid kui ilmneb, et laborite tulemused erinevad üksteisest süsteemselt ühes või teises suunas, siis peavad katsetamisel eksisteerima fundamentaalsed vead. Või kui laboritulemuste keskmised näitajad on objektidel ühesugused, võiks küsida, kas ei oleks mõistlik kasutada tööde hindamisel objektide keskmist tulemust või vähendada üksiktulemuste osakaalu teisiti.



Töö on jagatud seitsmeks peatükiks. Esimeses peatükis kirjeldatakse asfaltkatte kvaliteedi hindamise meetodeid alates proovi võtmisest ja katsetuse tegemisest laboris kuni saadud tulemusest võimaliku mahaarvamise arvutamiseni.

Teisest kuni neljanda peatükini kirjeldatakse saadud katsetulemusi objektide kaupa, selgitatakse objektide ja nende asfaltkatete erinevusi, võrreldakse laborites mõõdetud tulemusi ja analüüsitakse nende erinevusi üksikkehade, seeriade ning objektide kaupa. Lisaks arvutatakse katsetulemuste varieeruvused, mida võrreldakse vastava katse tegemise korratavuse määraga. Arutletakse võimalike alternatiivsete meetodite vajaduse üle ning hinnatakse nende võimalikku mõju.

Viiendas peatükis selgitatakse finantsarvutuse põhimõtted, arvutatakse vastavalt vastuvõtueeskirjale mahaarvamised objektide- ja laborite kaupa, analüüsitakse saadud tulemusi ja hinnatakse nende mõju maantee ehitusobjekti näitel.

Kuuendas peatükis esitatakse tehtud uurimistöö põhilised järeldused ning ettepanekud laboritoimingute ja kehtivate juhendite muutmiseks ja täiendamiseks.

Magistritöös kasutatud katsekehad puurisid AS-i Tariston labori töötajad. Puurkehade identifitseerimiseks need nummerdati ja pildistati. Katsetulemused on anonüümsed ja ei viita konkreetselt ühelegi objektile ega laborile.

Et tabelid oleksid lugejale lihtsamini arusaadavad ja teksti ning tabelite vahel paremini navigeerida, on tabelite vormingus kasutatud värve. Kasutatud on kahte värvi- roheline ja punane, millest esimene omab positiivset ja teine negatiivset tähendust. Värv kasutamisel on see igakordselt tekstis viidatud. Tulpdiagrammide värvused näitavad kas vastav tulp iseloomustab katsetulemusi, mis vastavad standardi korratavustingimustele või mitte. Rohelisega tähistatud tulemused vastavad korratavustingimustele ning punase tähistusega arvud ületavad neid.

Antud uurimistöö koostamise ajal oli Eesti maanteede haldajaks Majandus- ja Kommunikatsiooni ministeeriumi valitsemisalas tegutsev Maanteeamet, mis alates 1.jaanuarist 2021 liideti koos Veeteede- ja Lennuametiga ühiseks Transpordiametiks. Töös viidatud õigusaktid ja normid on kuni töö valmimiseni kehtivad.

Töös kasutatud laborite katseprotokollid on paigutatud töö lisadesse.

# 1. ASFALTKATTE KVALITEEDI HINDAMINE

Asfaltkate on teekonstruktsiooni osa, mis koosneb asfaltsegust (ingl- *asphalt concrete*), mille lühendit AC kasutatakse asfaltsegude nimetähisena ka Eestis. Reeglina koosneb asfaltkatend mitmest kihist, millest kõige pealmine puutub otseselt kokku liiklusega. Seda nimetatakse kulumiskihiks ja selles kasutatavad asfaltsegud on killustikmastiksfalt (ingl *stone mastic asphalt*, edaspidi SMA) või AC surf tüüpi segud. SMA puhul on, tegemist väga kulumiskindla seguga, milles on jämetäitematerjali osakaal suurem kui AC surf tüüpi segudes. AC surf segud on oma nime saanud samuti inglise keelest ja tähendus on seotud segu kasutuskohaga asfaltkattes (ingl *surface course*). Asfaltkatte alumisi kihte, mis asetsevad reeglina killustik- või stabiliseeritud alusel, nimetatakse base- kihtideks (ingl *base course*). Kolmekihilise asfaltkatte puhul ehitatakse keskmine kiht bin- segust, mis on lühend ingliskeelsest sõnast *binder* ja tähendab siduvkihti.

Asfaltsegude nimetustes kasutatakse lisaks nende kasutuskohale kattes ka numbrilist väärtust. Number kirjeldab asfaltsegu kasutatava jämetäitematerjali suurimat teraläbimõõtu. Näiteks AC 12 surf on kulumiskihis kasutatav asfaltsegu, mille täitematerjal läbib vähemalt 90% ulatuses 12 mm avaga sõela. AC 32 base segu puhul läbib 90% segu materjalist 32 mm avaga sõela.

Kõik nimetatud segud ja nendest valmistatud katendikihid peavad Eestis avalikelt kasutatavatel teedel vastama kvaliteedinõuetele. Segude omadusi hinnatakse vastavalt majandus- ja taristuministri määruse „Tee- ehitusmaterjalide põhiomadused ja nende määramise meetodika“ järgi ning määratakse vastava EVS-EN standardse katse kohaselt. Allpool on toodud asfaltsegude hinnatavad omadused:

- lahustuva sideaine sisaldus,
- terastikuline koostis,
- poorsus,
- poorsus 10 güratsiooni järel,
- veepüsivus,
- kulumiskindlus,
- deformatsioonikindlus.

Lisaks tehakse SMA- tüüpi segudele sideaine väljanõrgumise katse.

Vastvalminud asfaltkatteid hinnatakse 10.08.2015 jõustunud majandus- ja taristuministri määruse „Tee ehitamise kvaliteedi nõuded“ järgi. Määruses nõutavaid katseid ja nende meetodikat reguleerivad Euroopa nõuetele toetuvad ja Eesti oludele kohandatud standardid EVS-901 (osad 1 kuni 3) ning EVS-EN-12697 seeria standardid. Täiendamaks ja täpsustamaks eelpool nimetatud määrust, on Maanteeamet 2015. aastal väljastanud omapoolse juhise „Asfaldist katendikihtide ehitamise juhise“ (edaspidi

kasutatakse lühendit AKEJ). Muu hulgas on selles juhises kirjeldatud katsetulemuste piirmäärade väärtused, millele riigiteede ehitustööd vastama peavad. Riigimaanteede ehitustöid võtab tellija vastu riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskirja järgi, mis sätestab mahaarvamised, kui tööd ei ole tehtud eelpool mainitud juhise või kvaliteedimääruse kohaselt.

Asfaltkatete hinnatavad omadused on:

- teekatte tasasus,
- haardelised omadused (ainult kulumiskihil),
- jäävpoorsus,
- tihendustegur,
- kihi paksus,
- katte geomeetrilised omadused.

Riigiteedel teostatavad ehitustööd peavad puudusteta vastama lepingu nõuetele. Juhul kui valminud ehitustöös ilmnevad siiski puudused, kuid töö ümbertegemiseks puudub otsene vajadus, saab rakendada vastuvõtueeskirjas viidatud reeglistikku, mille alusel arvutatakse ebakvaliteetse töö eest mahaarvamisi (töö hinna vähendamisi). Vastuvõtueeskirjas on paika pandud vahemikud, mille piires saab mahaarvamisi teha ilma, et tee kvaliteet ja funktsionaalsus oluliselt kannataks. [2]

Mahaarvamisi saab Maanteeameti juhise järgi rakendada järgmiste parameetrite kohta [2]:

- asfaltsegu terakoostis,
- asfaltsegu sideaine sisaldus,
- filleri sisaldus,
- asfaldist katte jäävpoorsus,
- asfaldist katte tihendustegur,
- katte vuukide tihendustegur,
- kattekihi paksus,
- asfaltsegu deformatsiooni- ja kulumiskindlus,
- teekatte tasasus,
- kasutatud segukogus.

Seega kontrollitakse vastvalminud asfaltkatet 11 erineva ja mahaarvamisi võimaldava parameetri järgi. Siinses töös vaadeldakse lähemalt kolme, milleks on asfaldist kattekihi paksus, jäävpoorsus ning tihendustegur.

Uurimistöö koostamiseks ja andmete analüüsimiseks on puurkehad võetud neljalt eri objektilt. Kokku puuriti 65 katsekeha ning kui arvestada kahekihilisi puurproove, siis on katsetusi tehtud kokku 98 proovikehal. Need on viidud nelja laborisse, millest kolm omavad nii labori kui antud töös uuritavate katsetuste akrediteeringut. Akrediteeringu

saamiseks peab labor vastama teatud tingimustele, muu hulgas on seatud kindlad täpsusmäärad, millistes piirides peab labor suutma teatud katsed teha. Neid piire nimetatakse korduvus- ja korratavuspiirideks.

Korduvuspiir on katse standardist tulenev tingimus, mille korral saadakse sõltumatuid tulemusi ja mille tegemisel on kasutatud sama meetodit ning identseid katsekehi, mille on lühikeste ajavahemike järel läbi viinud sama operaator samas laboris, kasutades samu seadmeid. Neid tingimusi järgides saadud kahe katsetulemuse maksimaalset absoluutset erinevust, mida võib oodata 95% tõenäosusega, nimetatakse korduvuse piirnormiks [2]. Kuna siinses uurimuses ei korratud katseid samas laboris, ei jää see tingimus vaatluse alla.

Korratavuspiiriks nimetatakse katsetulemusi, mis saadakse sama meetodit ja identseid katsekehi kasutades, kuid mille on läbi viinud eri operaatorid erinevates laborites. Nendele tingimustele vastavat kahe katsetulemuse maksimaalset absoluutset erinevust, mida võib oodata 95% tõenäosusega, nimetatakse korratavuse piirnormiks. [2]

Korduvus- (r) ja korratavuspiiride (R) vahemikud on kirjeldatud katse standardis. Siinses töös vaadeldakse kolme kvaliteedinäitajat, mille saavutamiseks vajalikud katsed on järgmised:

- kihipaksus – asfaltkatte paksuse määramine (vt tabel 1.1 rida 1);
- jäävpoorsus – tabel 1.1 katsed ridadel 2, 3, 4, 5;
- tihendustegur – tabel 1.1 katsed ridadel 2, 4, 5.

Uurimistöös vaadeldakse, kui suur osa katsetulemustest on lubatud korratavuspiirides ning uuritakse selles kontekstis Maanteeameti poolt väljastatud norme. Kuivõrd vastuvõtueeskiri ei arvesta korratavuspiiridega ega mõõtemääramatusega, siis vaadeldakse, millisel määral on kattekihi ehitustööde mahaarvamised Maanteeameti süsteemi sisse programmeeritud juhul kui laborite töö ei ole punktuaalselt täpne.

Tabel 1.1 Uurimistöös kajastatavad katsed, nende teostamise standardid ning korduvus- ja korratavuspiirid

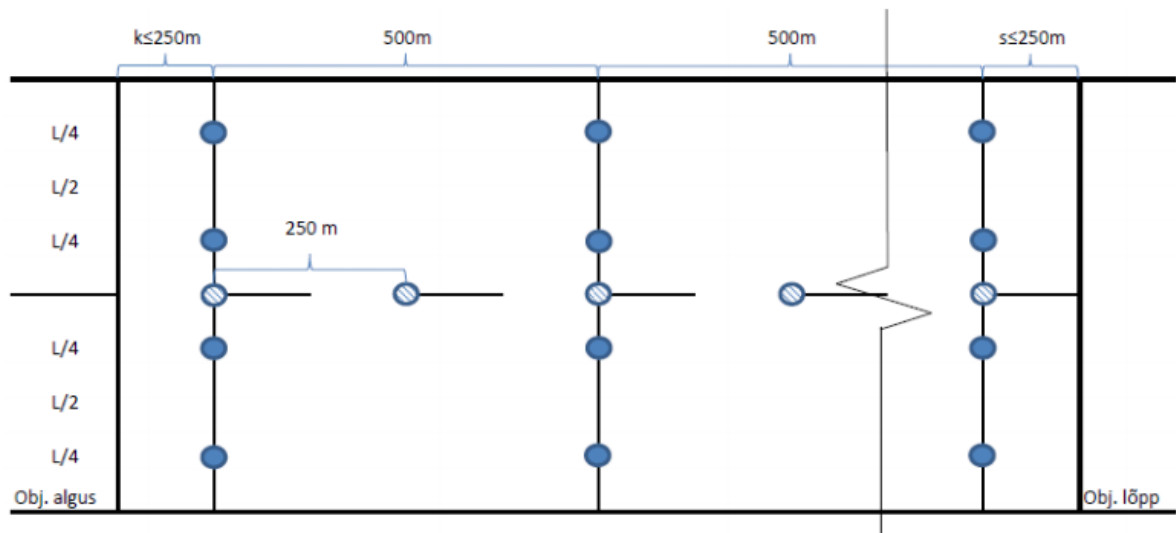
<b>Katse nr</b>	<b>Katse/Mõõtmine/Määratav näitaja</b>	<b>Meetod/Metoodika/Katse või mõõteprotseduur</b>	<b>Standardi Korduvuspiir</b>	<b>Standardi Korratavuspiir</b>
1	Asfaltkatte paksuse määramine	EVS-EN 12697-36:2003	1,2 mm	1,8 mm
2	Asfaltsegu poorsusnäitajad	EVS-EN 12697-8:2018	1,1%	2,2%
3	Asfaltsegu näiv erimass	EVS-EN 12697-5:2018 Meetod A, meetod B	0,011 Mg/m <sup>3</sup>	0,022 Mg/m <sup>3</sup>
4	Asfaltsegu proovikehade mahumass	EVS-EN 12697-6:2012	(17+0,3*A) Mg/m <sup>3</sup>	(22+0,6*A) Mg/m <sup>3</sup>
5	Asfaltsegust proovikehade mõõtmete määramine	EVS-EN 12697-29:2020	0,3 mm	0,8 mm

## 1.1. Kihipaksus

Asfaltkatted laotatakse kindla paksusega, kiht kihi haaval. Enne järgmise kihi paigaldamist peab veenduma eelmise kihi nõuetele vastavuses, milleks võetakse kattest puurkehad. Riigimaanteedehituses võetakse puurproovid omanikujärelevalve inseneri, töövõtja ja võimalusel ka tellija juuresolekul. Katsetuste asukoha juhuslikkuse tagamiseks fikseerib puurkehade võtmise sammu alguspunkti insener. Puurimise ajal koostatakse skeem, kus tähistatakse iga puurkeha asukoht tee ristlõikes ja piketiliselt. Kõikidele puurkehadele kirjutatakse markeriga unikaalne number, et neid laboris identifitseerida. [3]

Asfaldist kattekihi paksuse määramiseks on veel võimalusi. Vastavalt vastuvõtueeskirjale on võimalus arvutada kihipaksus ka tööde käigus kasutatud segukoguse kaudu, kuid seda võimalust kasutatakse reeglina tasandus- või profiilkihi paigaldatud koguse määramiseks, kus ühtlane kihipaksus ei ole nõutud. Lisaks saab kihipaksust määrata induktsiooni meetodiga. Selleks paigaldatakse asfalteerimise ajal asfalteeritavale pinnale reflektorid. Pärast asfalteerimist mõõdetakse elektromagnetlainetega reflektori kaugus katte pinnast, mis iseloomustabki asfaltkatte paksust. Induktsioonimeetod sobib kasutamiseks mitmekihilise asfaltkatte korral, sest reflektorid peavad olema paigaldatud siledale pinnale. Kuna seda meetodit ei saa kasutada kõikidel objektidel ning reflektorite paigaldamine on töövõtjale ebamugav, siis ei kasutata seda laialdaselt.

Puurkehad võetakse selliselt, et ühe laotamispaani ristlõiget jääks iseloomustama minimaalselt kaks puurkeha. Kui katte laotamine toimub maanteel kahes paanis, siis tehakse puurimine joonise 1.1 skeemi järgi. Lisaks kahele põhipaani katsekehale võetakse üks proov ka paane ühendavalt vuugilt ning ühe paani kihipaksust iseloomustatakse kolme puurkeha abil. Seega arvestatakse vuugi puurkeha paksust mõlemale paanile. Kirjeldatud skeemi järgi puuritakse katet iga 500 meetri tagant. Vuugi puurkeha võetakse täiendavalt 250 meetrise sammuga, kuid seda üksikut tulemust kihipaksuse arvestusse ei lisata. Kattest võetud puurkehad viib insener sõltumatusse akrediteeritud laborisse.

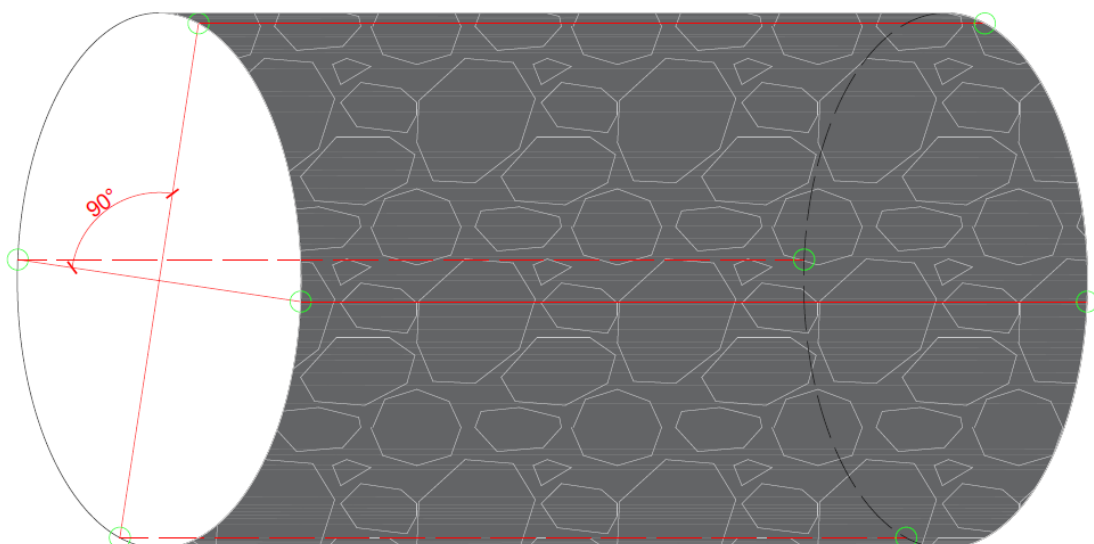


**Märkused:**

- k - objekti algusest kuni proovivõtukohtani ( $k \leq 250$  m)
- s - proovivõtukohtast kuni objekti lõpuni ( $s \leq 250$  m)
- - proov võetakse vuugi olemasolul sammuga 250 m sõltumata vuugi temperatuurist tihendamise ajal

Joonis 1.1 Kattest võetavate puurproovide skeem [3]

Kihipaksuse määramiseks toimib labor vastavalt kehtivale katsestandardile EVS-EN 12697-36:2003. Selle kohaselt mõõdetakse puurkeha või kihi paksust risti selle keha ülemise tasandi suhtes. Neli mõõtmist tehakse millimeetrise täpsusega punktides, mis asuvad võrdsetel kaugusel puurkeha välimisel perimeetril. Saadud väärtuste aritmeetiline keskmine ümardatakse 1 mm täpsuseni ja tulemus iseloomustabki puurkeha või mõõdetava kihi paksust. [4]



Joonis 1.2 Puurkeha paksuse määramise skeem

Laboritele on kehtestatud mõõtevõimed, mis kirjeldavad, millise täpsusega nad katseid tegema ja katsetulemusi esitama peavad. Need piirmäärad on toodud katsestandardites. Näiteks asfaltkatte kihipaksuse määramise katsestandard EVS-EN 12697-36:2003 sätestab katse korduvuspiiriks 1,2 mm ning korratavuspiiriks 1,8 mm. Kuna uurimus võrdleb samade katsekehade määranguid eri laborites, on selles kontekstis olulisem korratavuspiir ehk võrdlus, kas laboritevahelised mõõtmistulemused mahuvad 1,8 mm piiresse.

Puurkehade kihipaksuse määrangud on osa kattekihi kvaliteedi hindamisest ja selle kihi vastuvõtmiseks peavad katsetulemused vastama nõuetele. Juhul kui kahe kuni kolme puurkeha keskmine kihipaksus ei küüni tellitud suuruseni, tellitakse ristlõike korduspuurimine, mis tehakse A-proovidest ühe meetri kaugusel piketaaži kulgemise suunas. Kui ka korduskatsetused ei taga projektset kihipaksust, määratakse tööle mahaarvamine ja vastavalt selle suurusele vähendatakse katte ehituse eest makstavat tasu. Katte paksuse vähenemisele tolerantsid puuduvad, mis tähendab, et mahaarvamise arvutamist alustatakse projektse paksuse vähenemise esimesest millimeetrist.

Kui asfaltkatte kiht vaadeldaval teelõigul, ristmikul, laiendusel jms on väiksem lepinguga sätestatust, vähendatakse vastuvõtueeskirjas sätestatud pindalale paigaldatud teekatte maksumust summa võrra, mis arvutatakse järgmise valemiga: [1]

$$A = 0,01 * 0,3 * \left( \frac{h_{proj} - h_{keskm}}{h_{proj}} \right)^2 * H * F \quad (1.1)$$

Kus:

$h_{proj}$  – projekteeritud kihipaksus

$h_{keskm}$  – tee ristlõiget iseloomustavate katsekehade keskmine kihipaksus

$F$  – prooviga haaratud katte pindala (m<sup>2</sup>)

$H$  – katte hind (€/m<sup>2</sup>)

Kui ebakvaliteetse töö eest tehtava mahaarvestuse maksumus ületab lepingust tuleneva nõude korral 30% defektse ala maksumusest, siis on tellijal õigus nõuda kas tööde lepingule vastavusse viimist (st ümbertegemist) või täiendava kattekihi paigaldamist[1].

Kasutades eelpool toodud valemit, saabub 30% mahaarvamise määr kattekihi 10% vähenemise korral. Teisisõnu, kui projekteeritud 5 cm paksuse asfaldikihi asemele ehitatakse 4,5 cm, ületab mahaarvamise määr 30% künnise ning tellijal on õigus lasta töö ümber teha.

## 1.2. Jäävpoorsus

Jäävpoorsus iseloomustab tihendatud asfaltkatte õhupooride sisaldust protsentides. Jäävpoorsuse hindamine on katte kvaliteedi seisukohalt oluline seetõttu, et väljaspool optimaalset poorsusnäitajate piire lüheneb katte eluiga. Tihe, poorideta kate kaotab eksploatatsiooni käigus oma deformatsioonikindluse ja kattesse tekivad liikluskoormuse tõttu roopad. Liigselt poorne asfalt on aga vastuvõtlik ilmastiku mõjutustele, näiteks sulamis- ja külmumistsüklid lagundavad aegamisi katet. Liigselt poorse katte omadusteks on veel aja jooksul liikluskoormusest tingitud tihenemine ja poorsusnäitajate vähenemine. Selle käigus võivad aga kahjustuda katte struktuur ning tekkida defektid. Mõlemal juhul toimub katte deformeerumine selle varajases tsüklis ning seetõttu on jäävpoorsuse optimum väga tähtis, asudes väikeses vahemikus kahe äärmuse vahel. [12,13]

Tihendatud asfaltkattel jääb pooride hulk enamasti alla 10% ega jõua kunagi täielikult nulli. Erinevatel asfaldikihtidele on AKEJ-i järgi määratud erinevad lubatud jäävpoorsuse piirmäärad. Kulumiskihis kasutusel olevad tihedad asfaltsegud peavad saavutama madalama jäävpoorsuse ning mida kiht allapoole, seda suurem võib jäävpoorsuse näitaja olla. Selline nõuete erisus on tingitud asfaltsegude koostise erinevusest, peamiselt jämetäitematerjali suurusest, sideaine- ja peenosise sisalduse osakaalust ning kihtide erinevatest funktsioonidest kattes.

Tabel 1.2 Asfaltkatte jäävpoorsuse nõuded [3]

<b>Seguliik EVS 901-3</b>	<b>Katteproovi keskmine Jäävpoorsus % (AKEJ 2015)</b>	<b>Katteproovi keskmine Jäävpoorsus % (AKEJ 2021)</b>
AC 16 base	5,0-12,0	4,0-10,0
AC 20 base		
AC 32 base		
AC 4 surf	1,5-5,0	1,0 - 5,0
AC 8 surf		
AC 12/16/20 bin	1,5-5,0	2,0-5,0
AC 12/16/20 surf		1,5-5,0
SMA 8	2,0-6,0	1,5-5,0
SMA 12/16	2,0-5,0	1,5-5,0

Kattekihi jäävpoorsuse hindamiseks võetakse sellest puurkehad ja määratakse nende mahumass vastavalt standardile EVS-EN 12697-6:2012, mille kohaselt on mahumassi määramiseks neli meetodit [5]:

- meetod A: kuiva pinnaga proovikeha mahumassi määramine,



- meetod B: immutatud ja kuivatatud pinnaga (SSD) proovikeha mahumassi määramine,
- meetod C: hermetiseeritud proovikeha mahumassi määramine,
- meetod D: möötepõhine mahumassi määramine.

Levinuim meetod on B (SSD), kus kasutatakse puurkeha massi määramist vees, niiskelt ja kuivalt. Mahumasside määramise detailsem kirjeldus asub järgmisel leheküljel.

Pärast puurkehade mahumassi määramist valitakse esindusliku seguproovi saamiseks puurkehade hulgast vajalik kogus katsekehi, mis seejärel üles sulatatakse. Sulatamisel eemaldatakse katsekehalt puurimise või saagimise käigus kahjustunud täitematerjal. Selliseks materjaliks loetakse peamiselt jämetäitematerjali osakesi, mis on puurimise käigus poolitatud ja löikekohalt sideainest puhtad. Kirjeldatud osakestega segu katsetamine võib anda mahu- ja erimassi määramisel väärad tulemused. Puurkehadest sulatatud asfaltsegu segatakse kokku ning jäävpoorsuse määramiseks võetakse segust erimassi proov. Erimass määratakse vastavalt standardile EVS-EN 12697-5:2018. Standard lubab kasutada kahte erimassi määramise meetodit [6]:

- meetod A: mahuline,
- meetod B: hüdrostaatiline.

Levinum nendest on mahuline meetod. Kirjeldus erimassi laboratoorsest määramisest peatükis 1.2.2.

Pärast mahu- ja erimassi määramist arvutatakse katsekeha jäävpoorsus 0,1% täpsusega standardi EVS-EN 12697-8:2018 kohaselt alloleva valemi järgi, kusjuures katse korduvuspiir on 1,1% ja korratavuspiir 2,2% [7].

$$V_a = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} * 100 \quad (1.2)$$

Kus:

$V_a$  – asfaldist proovikeha poorsus 0,1% täpsusega (mahu järgi)

$\rho_m$  – segu erimass megagrammides kuupmeetri kohta (Mg/m<sup>3</sup>)

$\rho_b$  – proovikeha mahumass megagrammides kuupmeetri kohta (Mg/m<sup>3</sup>)

Kuna siinses uurimuses ei olnud puurkehade lõhkumine võimalik, võeti paigaldatavast asfaltsegust proovid, millest koostati laboris proovikehad (vastavalt standardile EVS-EN 12697-30). Proovikehade erimassi määrangud on võrdelised puurkehade omadega.

Kui vastvalminud riigitee kate ei vasta tabeli 1.2 jäävpoorsuse nõuetele, määratakse riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskirja järgi vastavate katsekehade mõjualale mahaarvamine alloleva valemi järgi [1]:

$$A = 0,03 * X * (V_{lubatud} - V_{tegelik})^2 * H * F \quad (1.3)$$

Kus:

$X$  – kordaja, mis võrdub surf, SMA ja bin tüüpi segude puhul neljaga ning base tüüpi segude korral kahega

$V$  - jäävpoorsus protsentides

$H$  - katte hind €/m<sup>2</sup>

$F$  – prooviga haaratud katte pindala, m<sup>2</sup>

Kui ebakvaliteetse töö eest tehtava mahaarvestuse maksumus ületab lepingust tuleneva nõude korral 30% defektse ala maksumusest, siis on tellijal õigus nõuda kas tööde lepingule vastavusse viimist (st ümbertegemist) või täiendava kattekihi paigaldamist [1]. Valemite 1.3 kasutades on arvatav jäävpoorsuse määr, kus mahaarvamised ületavad 30% katte maksumuse piiri. See piir ületatakse surf segude puhul 1,6% jäävpoorsuse väärtuse suurenemisega ehk jäävpoorsuse 6,6% juures.

### 1.2.1. Asfaltsegust mahumassi määramine

Asfaltsegu mahumass määratakse standardi EVS-EN 12697-6:2012 järgi ja seda saab teha nii kattest võetud puurkehadest kui ka segust valmistatud proovikehadest. Kuna siinses uurimuses on puurkehade purustamine välistatud, saab iga labor puurkehadega kaasa seguproovid- kokku 12 kg seguga. Laboris segu kuumutatakse ja segatakse ning valatakse 101,6 mm läbimõõduga silindrilisse vormi, vältides seejuures segu segregeerumist. Vorm suletakse tihenduskraega ning seejärel toimub segu tihendamine tihendusvasaraga. Kui proovikeha tehtud, saab sellest määrata segu mahumassi, ehk tihendatud asfaltsegu mahuühiku massi koos õhupooridega. [5]

Mahumassi määramiseks kasutatakse nelja meetodit:

- Meetod A – kuiv-märg kaalumine. Määratakse katsekeha mass kuivana ja veega immutatult. Mahumass (Mg/m<sup>3</sup>) arvutatakse valemiga [5]:

$$\rho_{bdry} = \frac{m_1}{m_1 - m_2} * \rho_w \quad (1.4)$$

Kus:

$m_1$  - kuiva katsekeha mass grammides

$m_2$  - immutatud katsekeha mass vees grammides

$\rho_w$  – vee tihedus katsetemperatuuril (Mg/m<sup>3</sup>).

Meetod ei sobi hästi poorsetele, hästi vett imavatele segudele.

- Meetod B – kuiv-märg-niiske kaalumine. Kuiva ja märja massi määramine tehakse sarnaselt meetodile A. Lisaks määratakse katsekeha mass niiskena pärast märja katsekeha pinna kuivatamist. Mahumass arvutatakse valemiga [5]:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} * \rho_w \quad (1.5)$$

Kus:

$m_3$  – immutatud katsekeha mass pärast pinna kuivatamist grammides

Meetod B on sarnaselt meetod A-le lihtsasti teostatav ning annab seejuures täpsema tulemuse, mistõttu on just see enim kasutatav meetod.

- Meetod C – suletud proovikeha. Esmalt määratakse katsekeha mass kuivalt. Seejärel suletakse katsekeha poorid parafiini või mõne muu selleks sobiva materjaliga. Katsekeha kastetakse vedela parafiini sisse nii, et parafiin sulgeks katsekeha poorid ning moodustaks selle ümber õhukindla kihi. Seejärel määratakse suletud katsekeha mass kuivalt ning vees. Mahumass arvutatakse valemiga:

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{\left(\frac{m_2 - m_3}{\rho_w}\right) - \left(\frac{m_2 - m_1}{\rho_{sm}}\right)} \quad (1.6)$$

Kus:

$m_1$  – kuiva katsekeha mass grammides

$m_2$  – suletud katsekeha mass grammides

$m_3$  – suletud katsekeha mass vees grammides

$\rho_{sm}$  – sulgemiseks kasutatava materjali tihedus katsetemperatuuril, Mg/m<sup>3</sup>

Meetod on täpne, kuid aeganõudev, mistõttu seda väga palju ei kasutata.

- Meetod D – geomeetiline meetod. Esmalt määratakse katsekeha mõõtmed – diameeter ja kõrgus. Pärast massi määramist saab mahumassi arvutada valemiga [5]:

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{\left(\frac{\pi}{4}\right) * h * d^2} * 10^3 \quad (1.7)$$

Kus:

$m_1$  – kuiva katsekeha mass grammides

$h$  – katsekeha kõrgus millimeetrites

$d$  – katsekeha diameeter millimeetrites

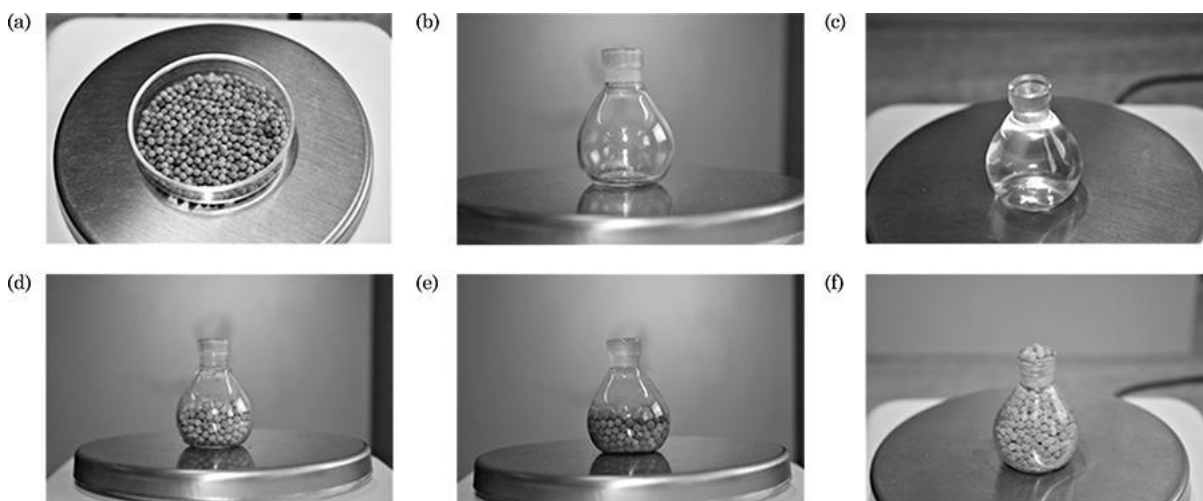
Meetod D on sobilik asfaltproovikehade mahumassi määramiseks selle poorsusest olenemata. Täpse katsetulemuse saamiseks peab proovikeha pind ja geomeetiline kuju olema korrapärased. Antud meetod on rakendatav ka drenasfaldi puhul.

## 1.2.2. Asfaltsegust erimassi määramine

Asfaltsegu erimass määratakse proovidest, mis on kogutud asfalteerimise ajal laotatavast segust. Laboris tuleb proovid kõigepealt kuivatada ja kobestada. Seejärel tuleb proov eraldada jämedateks osisteks ning aglomeraatideks, mille suurus ei tohi ületada 6mm. Erimassi määramine tehakse vastavalt standardile EVS-EN 12697-5:2018 mis lubab seda teha kahel meetodil [6]:

- Meetod A – mahuline

Tühi ja määratud massiga püknomeeter (vt joonis 1.3 pilt b) täidetakse kuiva seguprooviga (joonis 1.3-a) ning viiakse ümbritsevale temperatuurile, misjärel määratakse nende mass (joonis 1.3 -d). Seejärel täidetakse püknomeeter õhuvaba vee, demineraliseeritud vee või lahusega nii, et vedeliku tase jääb 30 mm või enam püknomeetri ülaosast allapoole (joonis 1.3 – c). Lisaks veele, täidetakse püknomeeter seguprooviga (joonis 1.3 -e) Et eemaldada õhk asfaltsegu osakeste vahelt, rakendatakse vaakumit rõhuga 4 kPa. Õhu eemaldamist hõlbustatakse püknomeetri väristamisega vibroalusel. Kui õhk on proovist eemaldatud, lisatakse vajalik kogus õhuvaba vett ning asetatakse kork püknomeetrile. Suletud püknomeeter asetatakse veevanni vähemalt 30 minutiks, et viia proovi ja püknomeetris oleva vee temperatuur samale tasemele, kuni  $\pm 1,0^{\circ}$  C. 30-180 minutit hiljem võetakse püknomeeter veevannist, kuivatatakse selle välispind ning mõõdetakse vee temperatuur, misjärel kaalutakse püknomeeter koos prooviga uuest.



Joonis 1.3 Erimassi määramine püknomeetriga [8]

Asfaltsegu näiv erimass arvutatakse järgneva valemiga[6]:

$$\rho_{mv} = \frac{m_2 - m_1}{10^6 * V_p - (m_3 - m_2)/\rho_w} \quad (1.8)$$

Kus:

$\rho_{mv}$  – asfaltsegu maksimaalne tihedus, Mg/m<sup>3</sup>

$m_1$  – püknomeetri mass koos korgiga, g.

$m_2$  – püknomeetri mass koos korgiga ja kuiva prooviga, g.

$m_3$  – püknomeetri mass koos korgi, proovi ja veega, g.

$V_p$  – püknomeetri maht, m<sup>3</sup>

$\rho_w$  – vee tihedus katsetemperatuuril, Mg/m<sup>3</sup>

- Meetod B – hüdrostaatiline

Kõigepealt määratakse tühja anuma mass õhus ning vees. Valatakse kuiv asfaltsegu proov anumasse, viiakse ümbritsevale temperatuurile ning kaalutakse ühiselt kuiva anuma ja proovi mass. Seejärel täidetakse anum õhuvaba veega. Proovi pooridesse jäänud õhu kättesaamiseks segatakse või vibreeritakse proovi ning õhk eemaldatakse vaakumiga, mille jääkrõhk on ligikaudu 4 kPa. Pärast õhu eemaldamist asetatakse anum veevanni vähemalt 30 minutiks, et viia proovi temperatuur veevanni temperatuurini. Seejärel määratakse anuma mass koos prooviga vees. Asfaltsegu näiv erimass arvutatakse valemiga [6]:

$$\rho_{mv} = \frac{m_3 - m_1}{(m_3 - m_1) - (m_4 - m_2)} * \rho_w \quad (1.9)$$

Kus:

$m_1$  – anuma mass õhus, g.

$m_2$  – anuma mass vees. g.

$m_3$  – anuma mass koos katsetatava prooviga õhus, g.

$m_4$  – anuma mass koos katsetatava prooviga vees, g.

$\rho_w$  – vee tihedus katsetemperatuuril, Mg/m<sup>3</sup>

Kui suurkehade individuaalsed mahumassid ning asfaltsegu näiv erimass on määratud, saab arvutada iga suurkeha jäävpoorsuse vastavalt valemile [7]:

$$V_m = \frac{\rho_{mv} - \rho_{bssd}}{\rho_{mv}} * 100 \quad (1.10)$$

Kus:

$V_m$  – suurkeha jäävpoorsus protsentides.

$\rho_{mv}$  – asfaltsegu erimass, Mg/m<sup>3</sup>

$\rho_{bssd}$  – suurkeha mahumass, Mg/m<sup>3</sup>

### 1.3. Tihendustegur

Tihendustegur iseloomustab asfaltkate tiheduse erinevust selles kasutatava asfaltsegu laboratoorselt tihendatud määrast. See avaldatakse numbrilise väärtusena nullist üheni või protsentuaalselt. Tihendustegur ja jäävpoorsus on omavahel korrelatsioonis- kui asfaltkate on alatihendatud, st tihendustegur on madal, siis on tõenäoliselt selle kate jäävpoorsus kõrge. Kui kate on 100% tihendatud, siis on selles kattes pooride osakaal suhteliselt väiksem.

Sarnaselt jäävpoorsusele, sõltuvad tihendustegurile määratud nõuded asfaltsegust. AC surf segudest kattel peab tihendustegur olema minimaalselt 98% ning AC base segudest katetel võib sama määr jääda protsendi võrra madalamale. Tihendustegurist tulenev mõju kate elueale toimub enamasti läbi jäävpoorsuse ja on määrav juhtudel, kus kate on ala või üle tihendatud. Nende piirid sõltuvad segust ja selle kasutuskohast. Kui kate on alatihendatud, on selles tõenäoliselt palju poore ning kate on ilmastikumõjudele vastuvõtlikum. Lisaks tekib alatihendatud kattel liikluskoormuse tõttu järeltihenemine, mistõttu võivad teekattele tekkida roopad.

Tabel 1.3 Asfaltkate tihendusteguri nõuded. Väljavõte AKEJ-st. [1]

<b>Seguliik EVS 901-3</b>	<b>Katteproovi keskmine tihendustegur (AKEJ 2015)</b>	<b>Katteproovi keskmine tihendustegur (AKEJ 2021)</b>
AC 16/20/32 base	≥ 0,97	≥ 0,97
AC 4/8 surf	≥ 0,97	≥ 0,98
AC 12/16/20 bin	≥ 0,98	≥ 0,97
AC 12/16/20 surf		≥ 0,98

Puurkeha tihendusteguri määramise protseduur sarnaneb jäävpoorsuse omaga. Esmalt eraldatakse katsekeha erinevad kattedehid ning määratakse puurkeha mahumass. Seejärel sulatatakse kehad, mille käigus eemaldatakse poolikud täitematerjali osakesed. Saadud asfaltsegust valmistatakse laboratoorsed katsekehad, millest määratakse segu mahumass.

Siinse töö jaoks koostati laboratoorsed katsekehad seguproovidest, mitte puurkehast. Laboratoorsete katsekehade valmistamisel valitakse vastavalt segu margile nõutud tihendamiseviis. Raskesti tihendatavate segude korral nagu SMA ja AC 32 base, kasutatakse vastavalt standardile EVS-EN 12697-31:2019 güratortihendamist. Ülejäänud segude korral kasutatakse lööktihendamise meetodit, järgides standardit EVS-EN 12697-30:2018. Laboratoorsete proovikehade mahumass määratakse vastavalt standardile EVS-EN 12697-6:2012, meetod B järgi. [7]

Tihendustegur arvutatakse eelpool mainitud kahe suuruse kaudu valemiga[7]:

$$T = \frac{\rho_{b.segu} - \rho_{bssd}}{\rho_{b.segu}} * 100 \quad (1.11)$$

Kus:

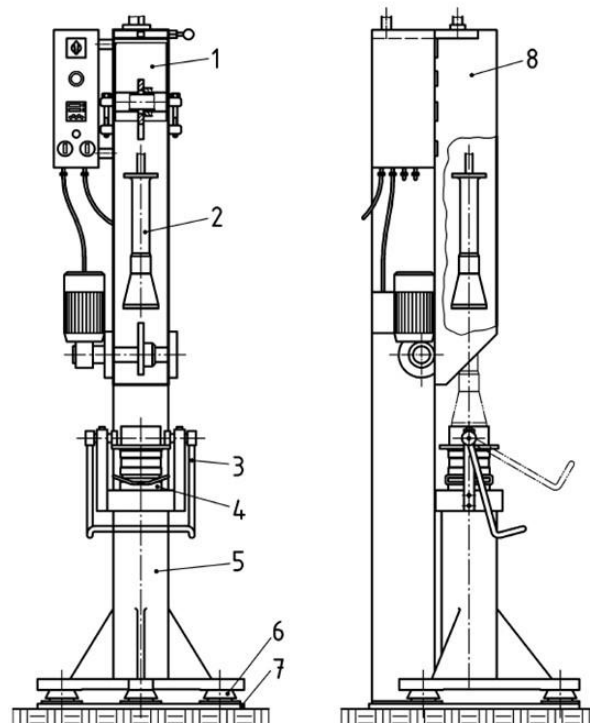
$\rho_{b.segu}$  – asfaltsegu mahumass Mg/m<sup>3</sup>

$\rho_{bssd}$  – puurkeha mahumass Mg/m<sup>3</sup>

- Lööktihendamine

Sobib kasutamiseks asfaltsegudele, mille massist kuni 15% jääb 22,4 mm sõelale ning läbib täielikult 31,5 mm avamõõduga sõela. Kasutatakse enamasti surf ja bin tüüpi segude puhul ning tehakse vastavalt standardile EVS-EN 12697-30 [9].

Seguproov kuumutatakse ja paigutatakse spetsiaalsesse terasest silindrilisse tihendusvormi, mille läbimõõt on 101,6 ± 0,1 mm. Segu kogus tuleb valida selliselt, et saadava vormi kõrgus oleks 63,5 ± 2,5 mm. Vormi komplekt koos seguga ja tihendamiseks kasutatav taldmik viiakse ettenähtud tihendamise temperatuurile. Seejärel alustatakse tihendamist kindla raskuse ja korduste arvuga. Enamlevinud tihendamise viis on Marshalli tamp, kus tihendusvasar massiga 4550 ± 20 grammi langetatakse 460 ± 3 mm kõrguselt kindel arv kordi, misjärel fikseeritakse katsekeha paksus, pööratakse see ümber ning tihendatakse uuesti. Rakendatakse 2 korda 50 lööki ning tihendamine tuleb lõpule viia seitsme minuti jooksul. Tihendatud proovi mahumass arvutatakse vastavalt peatükis 1.2.1 kirjeldatule. [9]



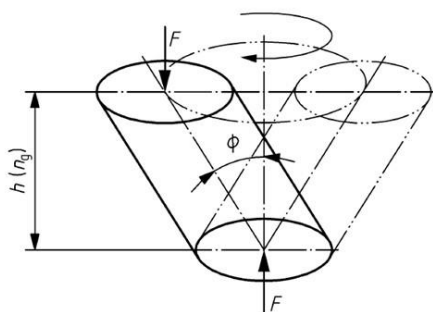
Joonis 1.4 Skeem - Marshalli tamp [9]

Selgitused joonisele 1.4:

1. põhiseade, mis on varustatud langevat raskust üles tõstva jõuajamiga ja löökide loenduriga,
2. tihendusvasar koos langeva raskuse juhtvardaga,
3. ekstsentrilukusti vormi kinnitamiseks,
4. vormipõhi koos kinnitatud tihendusvormiga,
5. tihendamisalasi,
6. taldmikud,
7. terasest alusplaat,
8. kate.

- Guraatortihendamine

Meetod sobib asfaltsegudele, mille täitematerjali suurim teramõõt ei ületa 31,5 mm. Tihendamine teostatakse vastavalt standardile EVS-EN 12697-31. Katsetamiseks peavad segu ja vormid olema viidud tihendamiseks sobiva temperatuurini  $\pm 5$  °C. Seejärel kinnitatakse vorm guraatortihendajaga, mis keerutab vormi ühtlase pöörlemiskiirusega (32 p/min  $\pm 10\%$ ) ja kordade arvuga mis sõltub segu margist. Näiteks SMA puhul 120 pöoret, AC 32 base puhul 60 pöoret. Tihendada tuleb selliselt, et seadmed ja segu oleksid kogu katse käigus ettemääratud piiridesse jääval konstantsel temperatuuril. Tööpõhimõte seisneb selles, et madala staatilise surve ning nihkedeformatsioonide samaaegsel mõjumisel saavutatakse tihendamine.[10]



Joonis 1.5 Guraatortihendaja tööpõhimõte [10]

Kus:

$F$  – teljesuunaline resultaattjõud, njuutonites (N)

$h (n_g)$  – proovikeha kõrgus teatava arvu pöörete järel, (mm)

$\phi$  – proovikeha telje kaldenurk, kraadides (°)

Peale katsekeha valmimist määratakse mahumass vastavalt alapeatükis 1.2.1 väljatoodule.

Kui kattekihi tihendustegur on väiksem tabelis 1.3 toodud nõuetest, siis määratakse vastuvõtueeskirja järgi proovi mõjuala ulatuses kattele mahaarvamine, mis arvutatakse valemiga [1]:



$$A = 0,03 * X * (T_{\text{lubatud}} - T_{\text{tegelik}})^2 * H * F \quad (1.12)$$

Kus:

$X$  - kordaja, mis võrdub surf, SMA ja bin asfaltsegu puhul neljaga ning base tüüpi segude puhul kahega

$T_{\text{lubatud}}$  - tihendusteguri lubatud piirväärtus protsentides

$T_{\text{tegelik}}$  – puurkeha tegelik tihendustegur protsentides

$H$ - katte hind €/m<sup>2</sup>

$F$  – prooviga haaratud katte pindala, m<sup>2</sup>

Kuna tihendustegur ja jäävpoorsus on omavahelises seoses, kehtib vastuvõtueeskirja mahaarvamine neile ühiselt ja see omistatakse näitajale, mis võimaldab määrata suurema mahaarvamise.

Tihendusteguri on arvutuslik suurus ja määratakse läbi kahe näitaja – katsekeha mahumass ning katsekehas kasutatud segu mahumass. Seetõttu ei ole tihendusteguri määramiseks katsestandardit ega katse korratavuspiire ning ei saa laborite katsetulemusi läbi ühe näitaja võrrelda. Antud töö eesmärk on võrrelda laborite katsetulemusi ning vaadelda katsestandardi lubatud korratavuspiiride täitmist ja nende mõju katte kvaliteedi hindamisele.

Kuna tihendustegurile ei ole määratud katse sooritamise korratavuspiire, arvutatakse see antud töös läbi mahumasside määramise katse korratavuspiiride. Mahumass määratakse standardi EVS-EN 12697-6:2012 järgi, mille kohaselt on katse korratavusmäär arvutatav valemiga [5]:

$$R = (22 + 0,6 * A) * 10^{-3} \text{ Mg/m}^3 \quad 1.13.$$

Kus:

$A$  - 11,2 millimeetrist suurema mõõduga mineraalse täitematerjali sisaldus asfaltsegu massiprotsentides.

Kõikidel asfaltsegu markidel on erinev sõelkõver ja 11,2 millimeetrist suurema mõõduga täitematerjali hulk on erinev, mistõttu tingib valemis muutuja  $A$  segumargist sõltuvad korratavuse piirid. Allolevas tabelis on välja toodud mahumassi määramise katse korratavuspiir segu tüüpide kaupa kasutades arvutusvalemit 1.13.

Tabel 1.4 Mahumassi määramise katse korratavuspiirid sõltuvalt asfaltsegu tüübist

Segu mark	A	R (Mg/m <sup>3</sup> )
AC 16 base	25	0,037
AC 20 base	25	0,037
AC 32 base	45	0,049
AC 12 surf	5	0,025
AC 16 surf	25	0,037

Kus:

A - on 11,2 millimeetrist suurema mõõduga mineraalse täitematerjali sisaldus asfaltsegu massiprotsentides

R – katsestandardi EVS-EN 12697-6:2012 mahumassi määramise korratavuspiir

Puurkeha tihendustegur arvutatakse puurkehas kasutatud asfaltsegu mahumassi ja puurkeha mahumassi jagatisena ning kui on teada mahumasside määramise katse korratavuspiir, saab nende kaudu tuletada teoreetilise tihendusteguri katse korratavuse määra. Allpool näide AC 16 base segu puhul kui selle mahumassiks on täpselt 2,3 Mg/m<sup>3</sup>. Mahumassi mõõtemääramatus annab tihendusteguri määramiseks neli võimalikku stsenaariumi. Esimesel juhul on asfaltsegu mahumass katse maksimaalsel korratavuspiiril ning katsekeha mahumass samal maksimaalsel määral. Eeldusel, et katsekeha ja selle segu mahumass on täpselt üks suurus, on ka selle katsekeha tihendustegur võrdeline ühega ehk 100% tihendusega.

Teise stsenaariumi korral on asfaltsegu mahumass määratud täpselt ehk hälve reaalsest mahumassist on null ning katsekehale määratud mahumass on maksimaalsel lubatud katse korratavuspiiril. Tulemuseks on tihendustegur 0,98.

Sarnast arvutust eri stsenaariumitega jätkates, on saadud tihendusteguri arvutuslik korratavuspiir AC 16 base segu puhul, mille segu ja katsekeha mahumassid on 2,3 Mg/m<sup>3</sup> ning A=25%, võrdeline 0,03 Mg/m<sup>3</sup>.

Tabel 1.5 Tihendusteguri arvutused erinevate mahumassidega. Tabelis B=asfaltsegu mahumass, A=katsekeha mahumass

	Võimalikud stsenaariumid	Arvutuslik tihendustegur
1	$(B+0,037)/(A+0,037)$	1,00
2	$(B+0)/(A+0,037)$	0,98
3	$(B+0)/(A+0)$	1,00
4	$(B+0,037)/(A+0)$	1,02
<b>Varieeruvus</b>		0,03

Sarnaselt eelpool toodud arvutusega on arvutatud ka teiste käesolevas töös kajastavate asfaltsegude tihendusteguri arvutuslikud korratavuspiirid. Base segude puhul on kasutatud mahumassi 2,3 ning surf segude puhul 2,4.

Tabel 1.6 Tihendusteguri määramise katse arvutuslikud korratavuspiirid

<b>Segu mark</b>	<b>Korratavus Mg/m<sup>3</sup></b>
AC 16 base	0,03
AC 20 base	0,03
AC 32 base	0,04
AC 12 surf	0,02
AC 16 surf	0,03

Tabelist nähtub, et laborid tohivad tihendusteguri määramisel tulemustes varieeruda kuni 0,04 ühikut. AKEJ.-s määratud asfaltkatte minimaalne tihendustegur on base segudega kattel 0,97 ning surf- segude puhul 0,98.

## **2. KIHIPAKSUS**

Käesolevas peatükis on välja toodud kihipaksuse mõõtmistulemused ning võrreldud laborites saadud tulemusi. Lisaks on uurimistöö autor mõõtnud katsekehad eksperimentaalsel meetodil, mille tulemusi võrreldakse laborite omadega.

Andmetabel koosneb neljalt objektilt võetud puurkehade mõõtmistulemustest, mida on katsetatud neljas laboris. Kokku võeti 65 puurkeha ning kuna osa puurkehi koosnesid kahest katted kihist, mõõdeti kihipaksust 98 katsekehal. Puurimised tegi AS-i Tariston laborant, kes on katsekehade puurimise protseduuridega kursis ning teostab neid ka riigiteede ehitusobjektidel. Puurkehad säilitati ja tarniti laboritesse plastikust konteinerites. Sarnane transpordiviis kehtib ka Maanteeameti objektidel. Puurkehad viidi kordamööda nelja laborisse, kus teostati katted kihtide mõõtmine vastavalt katsestandardile EVS-EN 12697-36:2003 mis muuhulgas sätestab antud katse korratavuse piirmääraks 1,8 mm.

Kuna katsekehad puuriti eri objektidelt, kus on kasutatud erinevaid segusid, siis peab objekte käsitlema eraldi. Seepärast on peatükk jagatud objektide järgi neljaks alapeatükiks.

### **2.1. Objekti A tulemused**

Puurkehad võeti värskelt paigaldatud kahekihiliselt kattelt. Kokku võeti 18 puurkeha. Esimesed kümme puurkeha võeti kahes seerias meetrise vahega. Ühe seeria suuruseks oli viis puurkeha ning puuraukude kaugus üksteisest ligikaudu 50 cm. Samalt objektilt võeti 50 m eemalt veel kaheksa puurkeha, mis moodustati kahest seeriast, kummaski neli puurkeha.

Puuritud katendi konstruktsioon koosnes kahest kihist, millest pealmine oli AC 20 base ja alumine mustkillustik MUK32. Mustkillustik ei ole asfaltsegu ja sellest ehitatud katted kihile ei rakendu asfaldinormid, aga kuna sarnase suurusega jämetäitematerjalist toodetakse ka AC 32 base asfaltsegu, sobib MUK seguga katted kiht kihipaksuse mõõtmise katsesse iseloomustamaks suuremate täitematerjali terade mõju katsetulemuste varieerumisele.



Joonis 2.1 Objekti A puurkehade (1 - 10) võtmise asukohad.

Puurkehad viidi laboritesse ning telliti kihipaksuse mõõtmine mõlemale kihile eraldi. Tulemused lisati andmetabelisse (vt tabel 2.1), kus kõikide puurkehade mõõtmistulemused on esitatud laborite kaupa. Lisaks on arvutatud laborite keskmine mõõtetulemus vastava puurkeha kohta ning iga katsekeha suurima ja vähima mõõtmistulemuse vahe ehk hälve.

Vastavalt kihipaksuse mõõtmise katsestandardile peab labor esitama tulemuse millimeetrise täpsusega ning katse korduvuspiiriks on 1,2 mm ja korratavuspiiriks 1,8 mm. Kuid kuna tulemuste esitamine toimub tervik millimeetriga, saab korratavuspiiriks lugeda ümardatult 2 mm.

### **2.1.1. AC 20 base tulemused**

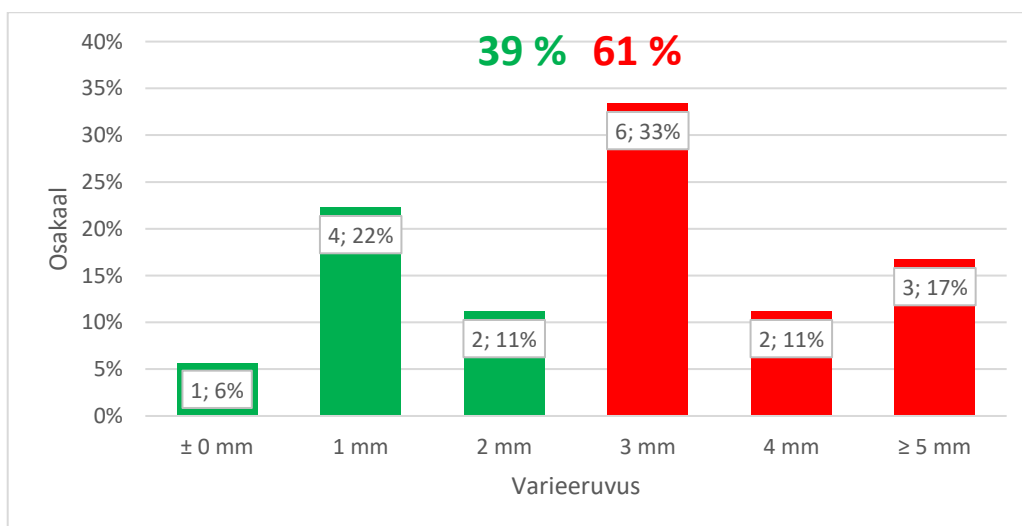
Kattekiht AC 20 base lasub MUK 32 kihil ja mõlemad on paigaldatud asfaldilaoturiga, seejuures järjestikustel päevadel, mis välistab alumise kihi deformatsiooni või ebatasasuse. Puurimised tehti AC base kihi paigaldamisele järgneval päeval. See annab eelduse, et puurkehal joonistuvad kihtide-vahelised jooned selgelt ja sirgjooneliselt ning laboril täpse mõõtmise teostamine suhteliselt lihtne.

Allolevat tabelit analüüsides selgub mõõtmistulemuste märkimisväärselt suur kõikumine. Keskmine varieeruvus ehk mõõtmistulemuste erinevus on keskmiselt 3,44 mm.

Tabel 2.1 Objekti A AC 20 base kihi katsekehade kihipaksuse mõõtmistulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1	42	46	45	46	44,75	4
2	45	42	42	43	43,00	3
3	50	44	45	44	45,75	6
4	48	45	46	46	46,25	3
5	50	46	47	47	47,50	4
6	49	47	47	48	47,75	2
7	59	47	46	46	49,50	13
8	49	47	46	47	47,25	3
9	47	45	45	45	45,50	2
10	47	46	47	49	47,25	3
11	50	49	49	49	49,25	1
12	44	44	44	44	44,00	0
13	54	45	45	47	47,75	9
14	48	45	45	46	46,00	3
15	47	47	47	48	47,25	1
16	46	45	46	45	45,50	1
17	49	47	46	47	47,25	3
18	44	44	45	45	44,50	1
<b>Keskmine</b>	<b>48,22</b>	<b>45,61</b>	<b>45,72</b>	<b>46,22</b>	<b>46,44</b>	<b>3,44</b>

Vaadeldes üksikkehade tulemusi, on näha, et 18 proovikehast on sarnane mõõtmistulemus saavutatud vaid ühel juhul, seda katsekehal nr 12 (vt tabelis 2.1 rohelisega markeeritud rida), mille paksuseks hindasid kõik laborid võrdselt 44 mm. 1 mm erinevusega on mõõdetud neli puurkeha ning 2 mm erinevusega kaks katsekeha. Seega mahuvad korratavuspiiridesse (1,8 ~ 2,0 mm) seitsme katsekeha tulemused, mis moodustab 39% antud objekti katsekehadest. On tähelepanuväärne, et 28% tulemustest ületavad korratavuspiire rohkem kui kahekordselt (vt tabel 2.2).



Joonis 2.2 Objekti A AC 20 base kihipaksuse mõõtmistulemuste varieeruvus

83% tulemuste erinevustest jäävad kuni 4 mm piiresse, kuid esineb kolm ekstreemumit, kus tulemused erinevad üksteisest üle 5 mm. Puurkehade nr 3, 7 ja 13 puhul on mõõtmiserinevused vastavalt 6 mm, 13 mm ja 9 mm.

Katsekeha nr 7 keskmiseks paksuseks on mõõdetud 49,5 mm. Kõige suurema mõõtmistulemuse sellele kehale on esitanud labor number 1, milleks on 59 mm, samas ülejäänud laborid on hinnanud katsekeha võrdselt vahemikus 46-47 mm. Selline ekstreemumi esinemine võib tuleneda sellest, et katsekeha kihtide muutumise joon ei ole selgelt eristatav. Jooniselt 2.3 võib näha, nagu oleks AC 20 base kiht puurkeha keskel (joonisel tähistatud noolega nr 2) paksem kui vasakus ja paremas servas (joonisel tähistatud nooltega nr 1 ja 3) ning võibolla on labor 1 mõõtja segregeerunud MUK kihi arvestanud base kihi hulka.

Objekti keskmiseks kihipaksuseks on laborid 2, 3 ja 4 hinnanud võrdselt 46 mm, samas katsekehade üksiktulemused varieeruvad kuni 3 mm. See näitab, et nende laborite tulemuste varieeruvus on juhuslik ning ühelgi laboril ei eksisteeri süstemaatilist viga.

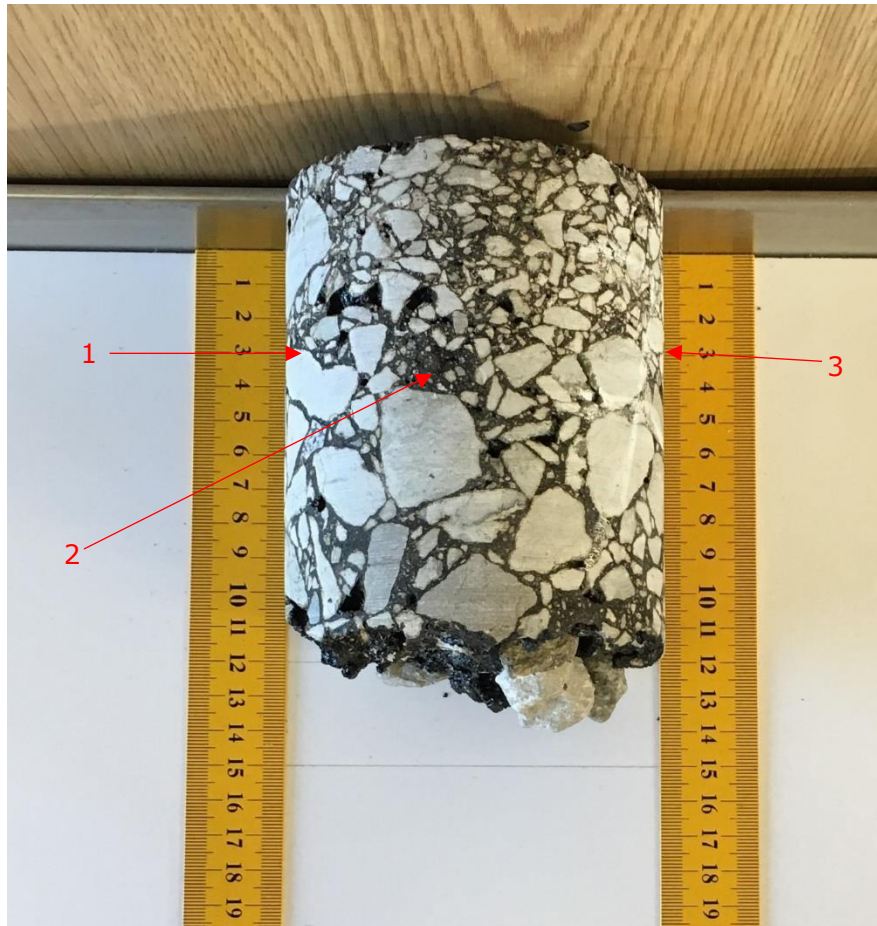
AKEJ-i kohaselt võetakse laotatava paani kihipaksuse iseloomustamiseks kattest kaks kuni kolm puurkeha iga 500 meetri kohta. Seetõttu ei ole katsekehade üksiktulemused määravad. Allolevas tabelis on esitatud seeriaste, praegusel juhul kahe katsekeha keskmised tulemused. Tulemuste analüüs kinnitab eelpool kirjeldatud tasandumise efekti. Viiel juhul üheksast ehk 55% seeriastest on laboritevahelised erinevused 1 mm piirides. Laboritulemuste keskmine hajuvus ehk määr, mille ulatuses tulemused keskmiselt erinevad, on 2,8 mm. Üksikkehade puhul oli sama näitaja 3,4 mm.

Tabel 2.2 Objekti A AC 20 base kihi seeriaste keskmised kihipaksused

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1-2	44	44	44	45	44,25	1
3-4	49	45	46	45	46,25	4
5-6	50	47	47	48	48,00	3
7-8	54	47	46	47	48,50	8
9-10	47	46	46	47	46,50	1
11-12	47	47	47	47	47,00	0
13-14	51	45	45	47	47,00	6
15-16	47	46	47	47	46,75	1
17-18	47	46	46	46	46,25	1
<b>Keskmine</b>	<b>48,44</b>	<b>45,89</b>	<b>46,00</b>	<b>46,56</b>	<b>46,72</b>	<b>2,78</b>

Tabel 2.3 Objekti A AC 20 base kihi laboritulemuste võrdlus seeriastes

	± 0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	≥ 5 mm
<b>Seeriaste arv</b>	1	4	0	1	1	2
<b>Osakaal</b>	11%	44%	0%	11%	11%	22%



Joonis 2.3 Objekti A puurkeha nr 7

### 2.1.2. MUK 32 tulemused

Kui base kiht asetseb siledapinnalisesel MUK kihil, siis MUK kiht on laotatud killustikalusele, mille suhteliselt ebatasane pind on kopeeritud MUK kihi alumisel tasapinnal. Kuivõrd kihi aluspind ei ole ideaalselt tasapinnaline (vt joonis 2.2), siis on kihipaksuse mõõtmine raskendatud.

Lisaks killustikaluse mõjutustele määrab katsekeha tasapinnalisuse selles kasutatud segu terastikuline koostis. MUK kihis kasutatavad suurimad osised võivad olla kuni 63 mm, kuid kehtib nõue, et terasid, mille suurus ületab 31,5 mm, võib olla kuni 25% kogu mahust. Arvestades, et puurkeha alumises tasapinnas esinevad sellise suurusega kivid, võib ühe kivi mõõtmine või mittemõõtmine anda puurkeha paksuse tulemusele suuri erinevusi. Selle kattekihi puhul mängib olulist rolli, millisest punktist mõõtmisi alustatakse. Juhend määrab mõõtmiste arvu, milleks on neli, ning nende asukohtade võrdse kauguse üksteise suhtes, aga mitte seda, millisest punktist puurkehal mõõtmisi alustada. Eelnevat silmas pidades võib eeldada, et antud kihi mõõtmistulemuste erinevused on suuremad kui base kihi puhul.



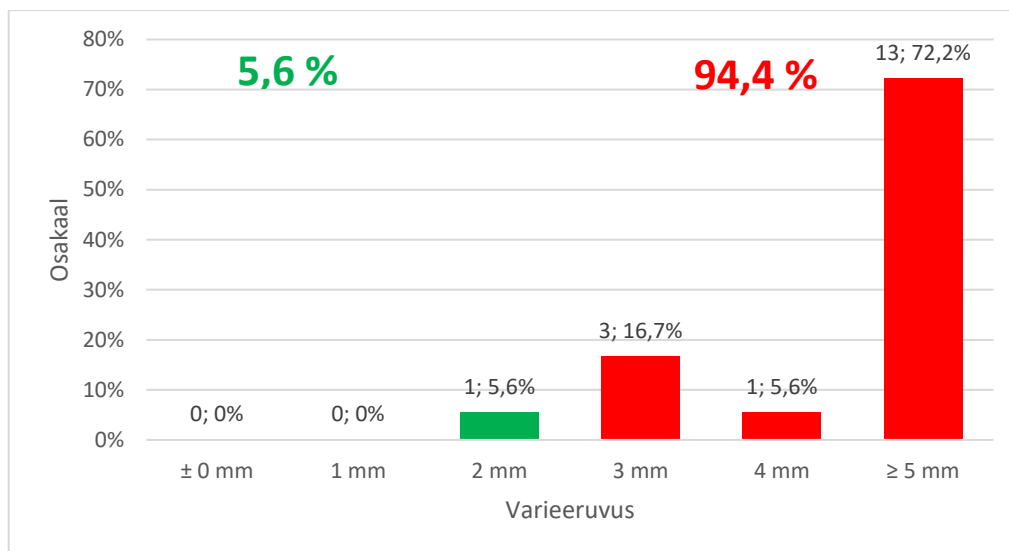
Allolevas tabelis on koondatud objekti A MUK kattekihi mõõtmistulemused. Andmete analüüs näitab, et laboritulemuste keskmine varieeruvus on üksikkehade puhul on 6,89 mm. Objekti keskmiseks kihipaksuseks on arvutuslikult 68 mm. Samaväärset objekti keskmist kihipaksust ei ole ühelgi laboril eraldiseisvalt, kuid laboritel 3 ja 4 on kõnealune näitaja kõigest 1 mm võrra erinev. Laborite 1 ja 2 tulemuste keskmine on 2 mm võrra üldisest keskmisest erinev. Seetõttu saab väita, et hoolimata suurtest varieeruvustest üksikkehade puhul, on objekti keskmine kihipaksus hinnatud suhteliselt võrdselt.

Tabel 2.4 Objekti A MUK32 kihi katsekehade kihipaksuse mõõtmistulemused

<b>Katsekeha nr</b>	<b>Labor 1 (mm)</b>	<b>Labor 2 (mm)</b>	<b>Labor 3 (mm)</b>	<b>Labor 4 (mm)</b>	<b>Keskmine (mm)</b>	<b>Varieeruvus (mm)</b>
1	78	76	73	74	75,25	5
2	74	77	76	77	76,00	3
3	64	74	69	69	69,00	10
4	64	68	63	63	64,50	5
5	58	67	64	62	62,75	9
6	71	75	71	65	70,50	10
7	58	76	69	70	68,25	18
8	61	66	65	64	64,00	5
9	54	61	60	58	58,25	7
10	55	58	55	50	54,50	8
11	62	64	63	59	62,00	5
12	70	79	75	74	74,50	9
13	66	77	73	70	71,50	11
14	70	71	74	72	71,75	4
15	66	67	66	60	64,75	7
16	72	74	74	75	73,75	3
17	70	70	69	71	70,00	2
18	73	74	76	75	74,50	3
<b>Keskmine</b>	<b>65,89</b>	<b>70,78</b>	<b>68,61</b>	<b>67,11</b>	<b>68,10</b>	<b>6,89</b>

Tabelist 2.4 on näha, et ühelgi juhul 18st ei ole katsekeha paksuseks määratud sama väärtust. Väikseim erinevus on puurkeha nr 17 puhul, kus mõõtmistulemused varieeruvad 69-71 mm vahel, mis teeb varieeruvuseks 2 mm. Kuivõrd laboritele määratud kihipaksuse mõõtmise katse korratavuspiirid lubavad neil üksteisest erineda maksimaalselt 1,8 mm, siis kõnealuse objekti MUK kattekihi korral on tingimus täidetud ühel juhul 18st ehk ligikaudu 6% mõõtmistest.

Tähelepanuväärne on puurkeha nr 7 mõõtetulemuste varieeruvus 18 mm võrra. Samas suurusel erinevus oli nimetatud katsekehal ka base kihi mõõtmistulemuses. Ilmselt on labor 1 eksinud purkeha kattekihtide vahelise joone määramisel, sest katsekeha kogupaksuseks on saadud 117 mm, mis on identne katsekeha keskmise paksusega arvestades kõikide laborite tulemusi.



Joonis 2.4 Objekti A MUK32 kihipaksuse mõõtmistulemuste varieeruvus

Keskmine mõõtetulemuste varieeruvus ehk suurima ja vähima tulemuse erinevus üksikkehadel on 6,9 mm, mis moodustab 10% katte keskmisest paksusest. Seeriates võrdluses on sama näitaja 5,4 mm ehk 8% katte paksusest.

Tabel 2.5 Objekti A MUK32 kihipaksuse mõõtmistulemused seeriates

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1-2	76	77	75	76	76,00	2
3-4	64	71	66	66	66,75	7
5-6	65	71	68	64	67,00	7
7-8	60	71	67	67	66,25	11
9-10	55	60	58	54	56,75	6
11-12	66	72	69	67	68,50	6
13-14	68	74	74	71	71,75	6
15-16	69	71	70	68	69,50	3
17-18	72	72	73	73	72,50	1
<b>Keskmine</b>	<b>66,11</b>	<b>71,00</b>	<b>68,89</b>	<b>67,33</b>	<b>68,33</b>	<b>5,44</b>

Seeriaste koondatuna ühtlustavad üksikehade tulemused laboritevahelisi erinevusi. Selle kinnituseks on tabelis 2.7 toodud seeriates võrdlus, kus hälbeks (puurkehad nr 17-18) on 1 mm. Sama seeria üksikehade mõõtmistulemused mahtusid kuni 3 mm sisse. Seeriates arvutamine vähendab tulemuste varieeruvust, tuues katse korratavuse piiridesse 22% seeriates ning vähendades üle 5 mm hälbed 72%-lt 67%-ni.

Tabel 2.6 Objekti A MUK 32 kihi laboritulemuste varieeruvus seeriates

	± 0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	≥ 5 mm
<b>Seeriates arv</b>	0	1	1	1	0	6
<b>Osakaal</b>	0%	11%	11%	11%	0%	67%

## 2.2. Objekti B tulemused

Objekt B katsekehad puuriti AC 16 base kihilt, mis olid paigaldatud killustikalusele. Asfaltkate asetsemine killustikalusel loob olukorra, kus asfaltkate ja seega ka katsekeha alumine pind ei ole tasapinnaline. Ebaühtlase tasapinnaga katsekeha mõõtmete määramine on raskendatud. Objektilt puuriti 22 katsekeha kahes seerias. Esimene seeria koosnes 12 puurkehast, mis võeti kahes reas- esimeses reas viis, teises seitse puurkeha. Kahe rea vahe oli üks meeter. Teises seerias puuriti kahes reas meetrise vahega kokku kümme puurkeha. Lähestikku asetsevad puurimised peaksid tagama ühtlasemad katsetulemused.



Joonis 2.5 Objekti B puurkehade võtmise skeem. Ülemisel pildil esimene seeria

Puurkehade mõõtmistulemuste erinevused laborite vahel on märkimisväärsed, maksimaalsel juhul 11 mm. Selline erinevus esines puurkehal nr 5, mis mõõdeti laboris 2 66 mm paksuseks, laboris 4 aga 55 mm paksuseks. Nimetatud puurkeha on kujutatud joonisel 2.6. Jooniselt nähtub, et puurkeha alumine tasapind ei ole sirge. Pildil olev katsekeha vasak külg on väiksema kihipaksusega kui parem ning katsekeha on kergelt koonilise kujuga. Sellise puurkeha puhul on äärmiselt tähtis, et mõõtmise teostaja valiks mõõtmiste alguspunkti kõrgendatud tähelepanuga. Lisaks võib sellise katsekeha puhul tekkida olukord, kus mõõtmise teostaja teeb mõõtmise mitte katsekeha pinnalt vaid liigutab mõttelise joone katsekeha tsentri suunas, põhjendusega, et serv on murenenud.



Joonis 2.6 Objekti B puurkeha nr 5, mille mõõtmistulemused varieerusid 55-66 mm.

Tulemusi analüüsidest selgub, et erinevus ei ole suur mitte ainult ühe katsekeha puhul, vaid terve objekti ulatuses. Keskmine varieeruvus ehk puurkehade suurima ja vähima mõõtmistulemuse vahe on 6,3 mm ning ühelgi juhul ei ole laborites mõõdetud sama paksust. Väikseim erinevus ühe puurkeha kohta on 4 mm, mis tähendab, et ühelgi juhul ei ole laborid suutnud tagada 2 mm korratavuspiiri.

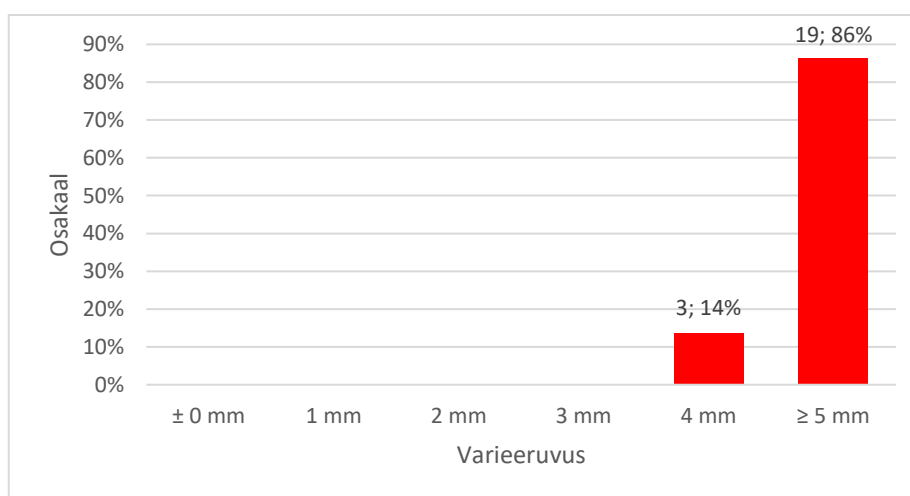
Tabel 2.7 Objekti B AC 16 base katsekehade kihipaksuse mõõtmistulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1	62	66	60	57	61,25	9
2	61	66	61	59	61,75	7
3	52	60	52	51	53,75	9
4	53	58	54	50	53,75	8
5	59	66	58	55	59,50	11
6	50	56	50	48	51,00	8
7	51	56	54	51	53,00	5
8	58	63	61	58	60,00	5
9	55	59	57	55	56,50	4
10	54	57	56	53	55,00	4
11	53	58	53	52	54,00	6
12	50	54	50	49	50,75	5
13	44	49	46	46	46,25	5
14	48	52	50	46	49,00	6
15	45	49	45	44	45,75	5
16	49	56	50	48	50,75	8
17	43	50	46	44	45,75	7
18	47	51	49	45	48,00	6
19	48	52	47	48	48,75	5
20	47	51	48	48	48,50	4
21	50	54	51	48	50,75	6
22	47	52	48	47	48,50	5
<b>Keskmine</b>	<b>51,18</b>	<b>56,14</b>	<b>52,09</b>	<b>50,09</b>	<b>52,38</b>	<b>6,27</b>

Ilmselt on selline tulemuste hajuvus tingitud asjaolust, et asfaldikiht asetseb killustikalusel ja seega ei ole katsekeha alumine tasapind sile.

Kõikide katsetuste keskmiseks kujunes 52 mm ning samaväärse objekti keskmise tulemuseni jõudis ka labor 3. Labor 1 keskmine tulemus oli 51 mm ning labori 4 oma sellest 1 mm võrra väiksem. Labor 2 keskmine tulemus, 56 mm, on kõikide objektide keskmisest 8% suurem.

Allolevasse graafikusse (vt joonis 2.7) on koondatud iga puurkeha suurima ja vähima mõõtetulemuse vahe. Analüüsist nähtub, et 100% tulemustest ei mahu katse korratavuse piiridesse ja ületavad seda isegi kaks või enam korda.



Joonis 2.7 Objekti B AC 16 base katsekehade mõõtmistulemuste varieeruvus

Uurimistöös on vaatluse all Maanteeameti loodud kvaliteedi hindamise põhimõtted, mille järgi ei kehti nõuded üksikutele puurkehadele. Teekatet iseloomustavad alati vähemalt kaks katsekeha ühe ristlõike kohta, mistõttu on puurproovid seeriatesse jagatud. Katsekehad on seeriatesse koondatud selliselt, et ühte seeriat iseloomustab kolm katsekeha. Näiteks seeria 1 tulemus esindab katsekehade 1-3 mõõtmistulemuse keskmist ning 3 katsekeha nr 3 on esindatud ka teises seerias, sarnaselt Maanteeameti juhisele, kus vuugil asetsev katsekeha asetatakse kahte seeriasse.

Tabel 2.8 Objekti B AC 16 base kihipaksuse mõõtmistulemused seeriates

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1-3	58	64	58	56	59,00	8
3-5	55	61	55	52	55,75	9
6-8	53	58	55	52	54,50	6
8-10	56	60	58	55	57,25	5
11-13	49	54	50	49	50,50	5
13-15	46	50	47	45	47,00	5
16-18	46	52	48	46	48,00	6
18-20	47	51	48	47	48,25	4
21-22	49	53	50	48	50,00	5
<b>Keskmine</b>	<b>51,00</b>	<b>55,89</b>	<b>52,11</b>	<b>50,00</b>	<b>52,25</b>	<b>5,89</b>

Seeriapõhine meetod annab objekti keskmiseks kihipaksuseks samaväärse tulemuse nagu üksikkehade puhul, milleks on 52 mm. Erinevus kahe meetodi vahel ei ilmne ka mõõtetulemuste hajuvuste võrdlemises. Üksikkehade puhul esinevad üle 5 mm erinevused 86% juhtudest ja seeriade võrdlemisel on sama näitaja 89%. Samuti on sarnane keskmine hälve, mis on seeriade puhul 5,9 mm ning üksikkehade puhul 6,3 mm.

Tabel 2.9 Objekti B AC 16 base kihi labe mõõtetulemuste varieeruvus

	± 0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	≥ 5 mm
<b>Seeriade arv</b>	0	0	0	0	1	8
<b>Osakaal</b>	0%	0%	0%	0%	11%	89%

## 2.3. Objekti C tulemused

Objekt C on valikusse võetud, kuna selle alumises kihis on kasutusel asfaltsegu AC 32 base, mis tähendab, et segus kasutatava jämetäitematerjali suurim terasuurus on 32 mm läbimõõduga ja tegemist on kõige jämedateralisema igapäevaselt kasutusel oleva asfaltseguga. Sellise segu puhul on katte paksuse mõõtmine raskendatud, sest sellelt puuritud katsekeha alumine pind ei ole tasapinnaline.

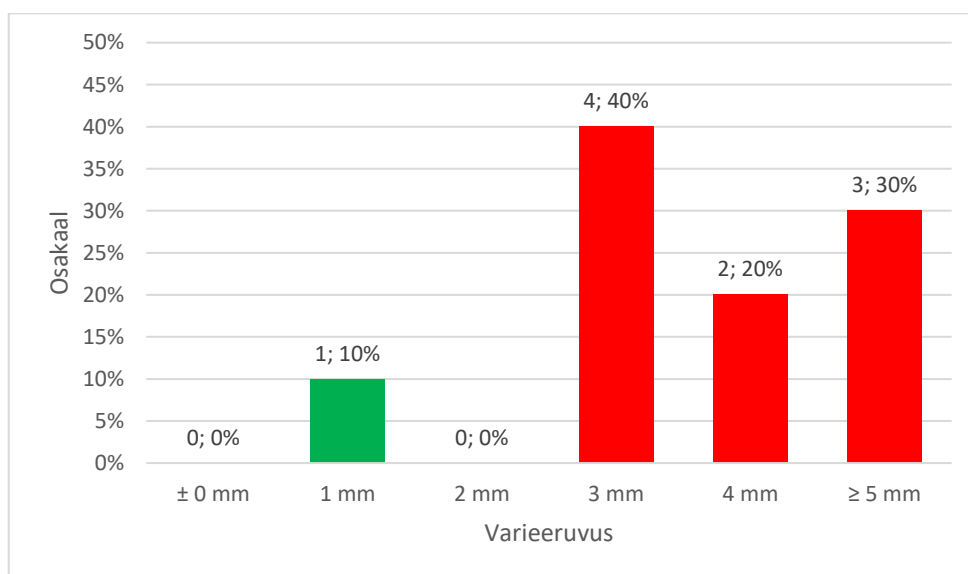
Tabel 2.10 Objekti C AC 32 base katsekehade kihipaksuse mõõtmistulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1	53	72	70	67	65,50	19
2	66	65	65	63	64,75	3
3	64	65	64	62	63,75	3
4	68	68	68	67	67,75	1
5	66	69	67	65	66,75	4
6	78	78	78	75	77,25	3
7	65	68	65	67	66,25	3
8	64	64	63	59	62,50	5
9	60	60	58	56	58,50	4
10	59	57	58	54	57,00	5
<b>Keskmine</b>	<b>64,30</b>	<b>66,60</b>	<b>65,60</b>	<b>63,50</b>	<b>65,00</b>	<b>5,00</b>

Kui puurkeha nr 1 tulemuste suur erinevus kõrvale jätta, oleks mõõtmiste keskmine hälve 3,4 mm, mis oleks võrdne objekti A base kihi tulemuste hälbega. Lisades arvestusse katsekeha nr 1, suureneb objekti keskmine hälve 5 millimeetrini. Objekti kümne katsekeha kohta ei mõõdetud ühelgi korral nelja samaväärset tulemust.



Katsekeha nr 4 paksus on kõige ühtlasemalt määratud, kolmel juhul 68 mm ning ühel juhul 67 mm. See on ainukene katsekeha, mille tulemus vastab labori korratavuse piirmääradele. Seega vastab selle objekti puhul korratavuse tingimusele 10% katsekehadest.



Joonis 2.8 Objekti C laboritulemuste varieeruvus

Kõikide laborite keskmine on objektil 65 mm ja kõige sarnasema tulemuse saavutas labor 3, saades objekti keskmiseks 65,6 ≈ 66 mm.

Kuna kattekihi paksust hinnatakse AKEJ-i kohaselt kahe- kuni kolme puurkeha järgi, on mõõtmistulemused jagatud seeriatesse. Ühe seeria tulemus saadakse kolme katsekeha aritmeetilise keskmisena. Esimene seeria koosneb katsekehadest 1-3, kusjuures katsekeha nr 3 asub ka teises seerias. Samasugune muster kehtib ka AKEJ-s, kus tee teljevuugi katsekeha tulemust arvestatakse kahes seerias.

Üksikmõõtmiste seeriasse jagamisel (vt tabel 2.11) on seeriade keskmiseks hälbeks 4 mm, mis on üksikkehadega võrreldes 1 mm võrra täpsem tulemus. Samas ei paranenud korratavuspiiridesse mahtuvate katsekehade osakaal, mis jäi sarnaselt üksikkehadetele ca 10% piirimaile.

Tabel 2.11 Objekti C seeriade kihipaksused

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1-3	61	67	66	64	64,50	6
3-5	66	67	66	65	66,00	2
6-8	69	70	69	67	68,75	3
8-10	61	60	60	56	59,25	5
<b>Keskmine</b>	<b>64,25</b>	<b>66,00</b>	<b>65,25</b>	<b>63,00</b>	<b>64,63</b>	<b>4</b>

Tabel 2.12 Objekti C seeriade mõõtetulemuste hälbed

	± 0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	≥ 5 mm
<b>Seeriade arv</b>	0	0	1	1	0	2
<b>Osakaal</b>	0%	0%	25%	25%	0%	50%

## 2.4. Objekti D tulemused

Objekt D on siinses uurimistöös kahes mõttes erandlik. Sellel objektil on katsetatud katendi kulumiskihi AC surf tüüpi segu ning nimetatud asfaldikiht on ehitatud viis aastat tagasi. Seega on katte omadused mõjutatud liikluskoormusest ja ilmastikust. Liikluskoormus on katet aja jooksul tihendanud ning naastrehvide toimel on katte pealispind kulutatud.

Katsekehad on puuritud kolmes seerias ligi viie meetrise vahega, igas seerias viis puurkeha.



Joonis 2.9 Objekti D puurkehade võtmise skeem

### 2.4.1. AC 12 surf tulemused

AC 12 surf on tegu siinses uurimistöös kõige peeneteralisema seguga. Segumargi nimetuses sisalduv number 12 iseloomustab selles segus kasutatavat suurima läbimõõduga täitematerjali, milleks praegusel juhul on 12 mm. Kuna AC surf on peeneteraline segu, mis asub teise asfaldikihi peal, peaksid katte paksuse mõõtmistulemused laborite vahel minimaalselt varieeruma. Probleemiks võib osutuda puurkeha kahe kihi vahelise joone fikseerimine. Kui eri kihtide segus kasutatud



jämetäitematerjalid on sarnase värviga tardkivist nagu siinsel juhul, siis on kihtide vaheline joon vaid aimatav (vt joonis 2.10). Väidet kinnitab mõõtmistulemuste tabel 2.13. Kolm laborit on esimese puurkeha surf- kihi paksuseks mõõtnud 33 mm, kuid neljas labor on saanud tulemuseks 43 mm. 10 mm erinevus on tõenäoliselt tekkinud kihtide eraldusjoone vale tuvastamise pärast, sest alumise base kihi paksus on määratud 10 mm keskmisest väiksemaks.



Joonis 2.10 Objekti D puurkeha nr 1. Surf ja base kattekihi vaheline joon on vaevumärgatav

Objekti koondaruanne (vt tabel 2.16) näitab, et tegemist on siiani kõige ühtlasemate tulemustega. Ühel juhul 15st ehk puurkeha nr 9 puhul on kõik neli laborit saanud võrdse tulemuse. Objekti keskmiseks hälbeks on 2,9 mm, aga kui jätta arvestusest välja katsekeha nr 1, oleks keskmine hajuvus 2,4 mm.

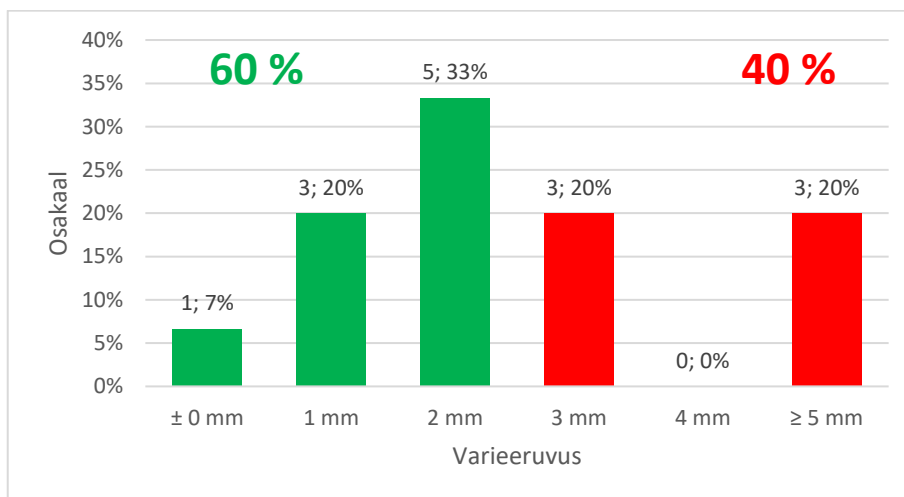
Objekti keskmine kihipaksus on 36 mm, olles samaväärselt hinnatud laborite 2, 3 ja 4 poolt. Labori 1 objekti keskmine kihipaksus on määratud teistest 1 mm võrra suuremaks.

Tabel 2.13 Objekti D AC 12 surf katsekehade kihipaksuse mõõtmistulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1	43	33	33	33	35,50	10
2	38	32	32	34	34,00	6
3	37	34	35	36	35,50	3
4	39	37	36	37	37,25	3
5	35	39	38	40	38,00	5
6	37	39	39	38	38,25	2
7	33	35	35	36	34,75	3

<b>Objekti D AC 12 surf katsekehade kihipaksuse mõõtmistulemused</b>						
<b>Katsekeha nr</b>	<b>Labor 1 (mm)</b>	<b>Labor 2 (mm)</b>	<b>Labor 3 (mm)</b>	<b>Labor 4 (mm)</b>	<b>Keskmine (mm)</b>	<b>Varieeruvus (mm)</b>
8	37	37	38	38	37,50	1
9	40	40	40	40	40,00	0
10	39	40	39	40	39,50	1
11	35	34	33	33	33,75	2
12	33	33	31	31	32,00	2
13	34	33	35	33	33,75	2
14	36	35	35	35	35,25	1
15	40	38	39	38	38,75	2
<b>Keskmine</b>	<b>37,07</b>	<b>35,93</b>	<b>35,87</b>	<b>36,13</b>	<b>36,25</b>	<b>2,87</b>

Kui võrrelda üksikute katsekehade tulemuste varieeruvust, siis kuni 2 mm ehk korratavuspiirides olevaid tulemusi on üheksa. See teeb 60% katsetustest. Tegemist on ainukese objektiga, kus korratavuse piiridesse jääb enamik tulemusest. Kuid siinkohal on tarvilik meelde tuletada, et katse tegelik korratavuspiir on 1,8 mm ning ilma piirmäära ümardamiseta, oleks korratavuspiirides 27% katsetustest.



Joonis 2.11 Objekti D AC 12 surf laboritulemuste varieeruvus

Jagades tulemused kolmestesse seeriatesse, on saadud alljärgnevad tulemused (vt Tabel 2.18). Seeriade keskmine varieeruvus on 2,2 millimeetrit ning kuni 2 mm hälbega seeriad moodustavad 83% katsetustest.

Tabel 2.14 Objekt D AC 12 surf kihipaksuse mõõtmistulemused seeriates

<b>Katsekeha nr</b>	<b>Labor 1 (mm)</b>	<b>Labor 2 (mm)</b>	<b>Labor 3 (mm)</b>	<b>Labor 4 (mm)</b>	<b>Keskmine (mm)</b>	<b>Varieeruvus (mm)</b>
1-3	39	33	33	34	34,75	6
3-5	37	37	36	38	37,00	2
6-8	36	37	37	37	36,75	1
8-10	39	39	39	39	39,00	0
11-13	34	33	33	32	33,00	2
13-15	37	35	36	35	35,75	2
<b>Keskmine</b>	<b>37,00</b>	<b>35,67</b>	<b>35,67</b>	<b>35,83</b>	<b>36,04</b>	<b>2,2</b>

Tabel 2.15 Objekti D AC 12 surf kihipaksuse mõõtetulemuste varieeruvused seeriates

	± 0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	≥ 5 mm
<b>Seeriite arv</b>	1	1	3	0	0	1
<b>Osakaal</b>	17%	17%	50%	0%	0%	17%

## 2.4.2. AC 20 base tulemused

Objekti D alumise kattekihi ehk base kihi mõõtmistulemuste tabelist (vt tabel 2.16) nähtub, et suurkeha nr 1 kihipaksus on esimesel laboril samaväärselt õhem kui oli surf kihil paksem. See on tingitud sellest, et kahe- ja enamakihilise katendi kihipaksuse mõõtmistulemused arvutatakse kumulatiivsel meetodil. Esmalt mõõdetakse katsekeha kogupaksus, seejärel pealmine kiht ning alumise kihi paksus arvutatakse kogupaksusest pealmise kihi lahutamise teel. Isegi kui asfaltkatte kogupaksus vastab projekteeritud paksusele, on ühe kihi õhenemine ehitajale suur probleem, sest vastavalt vastuvõtueeskirjale antakse kattekihid tellijale üle kiht kihi haaval, seega rakendatakse mahaarvamisi samal põhimõttel.

Maantee asfaldikihi paksust iseloomustab ühes ristlõikes reeglina kolm katsekeha. Kui üks nendest katsekehade on teistest oluliselt õhem, nagu katsekeha nr 1 puhul, siis on kogu ristlõike keskmine kihipaksus samuti õhem ja rakendub mahaarvamine 500 meetrisel teelõigule. Kuna asfaldikihid antakse üle kiht-kihi haaval, siis ei saa siin kasutada kihtide summeerimismeetodit.

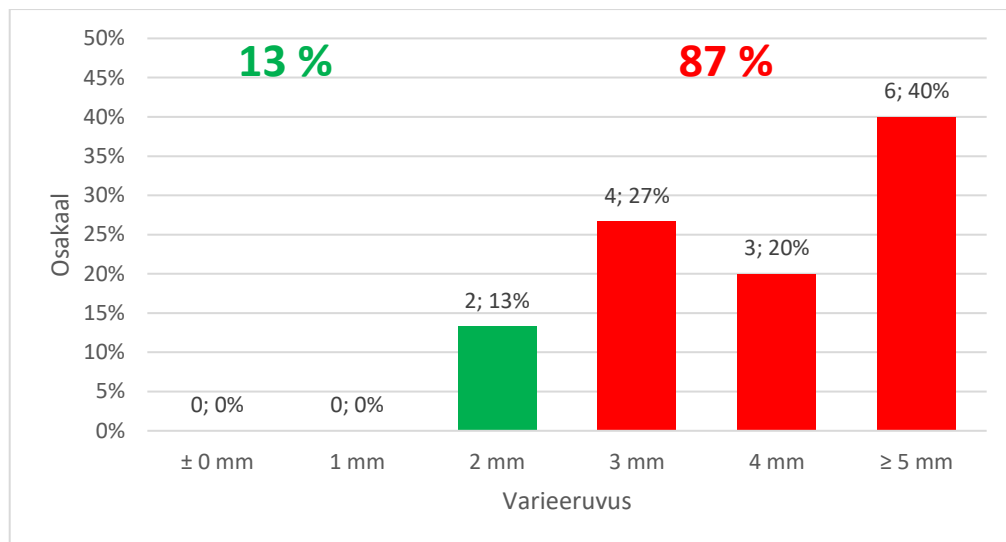
Allolevast tabelist nähtub, et üldine hajuvus on palju suurem kui surf- kihi puhul. Üksiktulemused ei ole ühelgi juhul millimeetri sees. Kõige ühtlasem tulemus on saavutatud katsekehade 4 ja 13 puhul, kus suurima ja vähima tulemuse erinevus on 2 mm. Objekti laboritulemuste keskmine varieeruvus on 4,9 mm.

Objekti keskmiseks kihipaksuseks on 56 mm. Sama paksuse saavutas labor 1. Teised laborid hälbisid objekti kogupaksuse määramisel selle keskmisest kuni 2 mm. Selline tulemus kinnitab, et olenemata üksiktulemuste suurest hajuvusest on objekti koondtulemused suhteliselt täpsed ja võrreldavad. Järelkult tasandab suurem andmekogu üksiktulemuste varieeruvuse ja koondandmetega on võimalik teha täpsemad järeldused.

Tabel 2.16 Objekti D AC 20 base kihipaksuse mõõtmistulemused

<b>Katsekeha nr</b>	<b>Labor 1 (mm)</b>	<b>Labor 2 (mm)</b>	<b>Labor 3 (mm)</b>	<b>Labor 4 (mm)</b>	<b>Keskmine (mm)</b>	<b>Varieeruvus (mm)</b>
1	51	63	61	60	58,75	12
2	52	62	58	54	56,50	10
3	54	55	55	52	54,00	3
4	55	57	55	55	55,50	2
5	56	55	55	52	54,50	4
6	63	64	61	62	62,50	3
7	62	58	57	56	58,25	6

8	57	58	55	54	56,00	4
9	56	56	54	53	54,75	3
10	53	55	51	51	52,50	4
11	57	60	58	55	57,50	5
12	54	54	53	46	51,75	8
13	52	53	52	51	52,00	2
14	56	56	54	53	54,75	3
15	55	58	53	53	54,75	5
<b>Keskmine</b>	<b>55,53</b>	<b>57,60</b>	<b>55,47</b>	<b>53,80</b>	<b>55,60</b>	<b>4,93</b>



Joonis 2.12 Objekti D AC 20 base kihipaksuse mõõtmistulemuste varieeruvus

Üksiktulemuste kandmine seeriatesse vähendab objekti keskmist kihipaksust 0,3 mm võrra. Seeriade keskmine varieeruvus on 4,5 mm. Kui arvestusest välja jätta esimese seeria ekstreemselt suur varieeruvus, oleks objekti keskmine seeriade hälve 4,0 mm, mis ületaks siiski kihipaksuse mõõtmiskatse korratavuspiiri kahekordselt.

Tabel 2.17 Objekti D AC base kihipaksuse mõõtmistulemused seeriates

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	Keskmine (mm)	Varieeruvus (mm)
1-3	52	60	58	55	56,25	8
3-5	55	56	55	53	54,75	3
6-8	61	60	58	57	59,00	4
8-10	55	56	53	53	54,25	3
11-13	54	56	54	51	53,75	5
13-15	54	56	53	52	53,75	4
<b>Keskmine</b>	<b>55,17</b>	<b>57,33</b>	<b>55,17</b>	<b>53,50</b>	<b>55,29</b>	<b>4,5</b>

Objektil ei mahtunud korratavuspiiridesse mitte üksi seeria. Tabelist 2.21 võib näha, et seeriade varieeruvused jagunesid võrdseks 3 mm, 4 mm ning enam kui 5 mm vahel.

Tabel 2.18 Objekti D AC base kihi seeriade hälbed protsentuaalselt

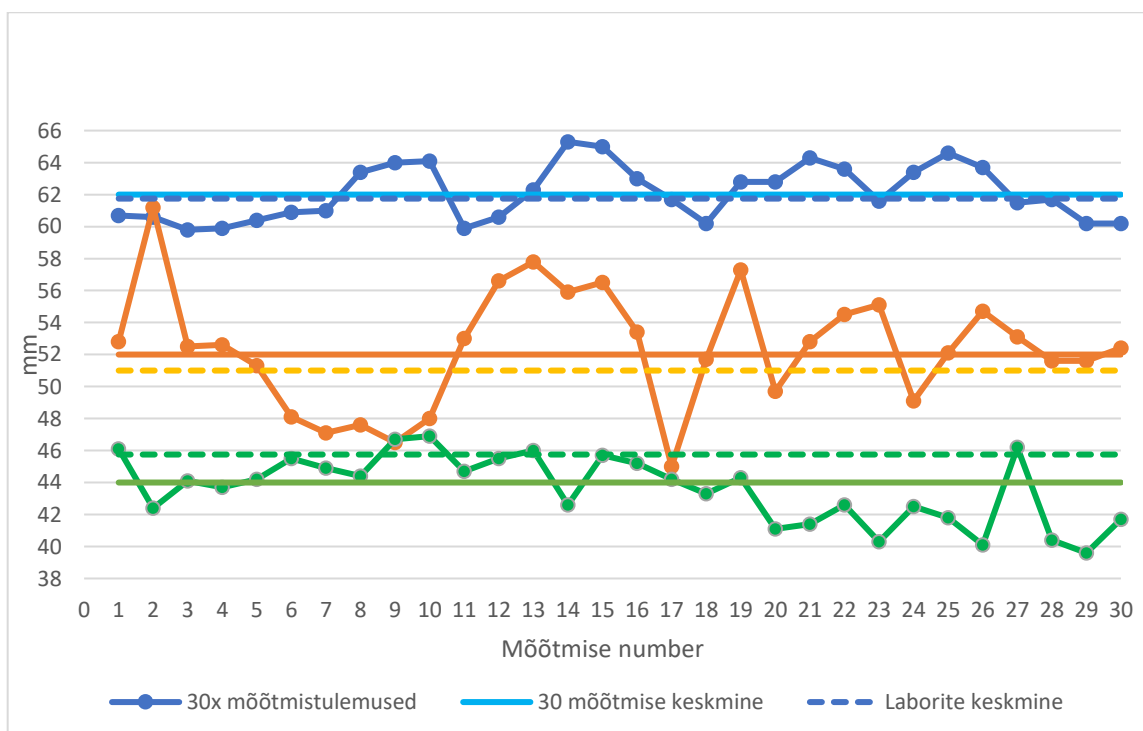
	± 0 mm	1 mm	2 mm	3 mm	4 mm	≥ 5 mm
<b>Seeriade arv</b>	0	0	0	2	2	2
<b>Osakaal</b>	0%	0%	0%	33%	33%	33%

## 2.5. Mõõtmiskordade suurendamine laboris

Puurkehade mõõtmete määramine toimub laboris vastavalt standardile EVS-EN 12697-36:2003, mille kohaselt mõõdetakse katsekeha neljas punktis ja kihi paksust jääb iseloomustama nende nelja mõõtmistulemuse aritmeetiline keskmine.

Selle peatüki eelpool analüüsitud laboritulemused näitasid mõõtmistulemustes suuri varieeruvusi. Selle üheks tekkepõhjuseks võib olla katsekeha ebaühtlane pind, mille korral ei ole neli mõõtmist täpse tulemuse saamiseks piisav. Katsekeha übermõõt on ligikaudu 30 cm. Nelja mõõtmise korral ja juhul, kui üks mõõtmine iseloomustab 1 cm laiust ala katsekeha pinnast, toimub paksuse hindamine kõigest 14% katsekeha pinna põhjal. Mõõtmiskatse tegija kohustus on valida selline nelja mõõtmise alguspunkt, et tulemus iseloomustaks katsekeha paksust võimalikult täpselt. Kui katsekeha alumine tasapind ei ole sile, on mõõtmiste alguspunkti määramine keerukas.

Võibolla oleks alumiste asfaldikihtide korral mõistlik mõõtmiste arvu suurendada kaheksale või kümnele korrale. Saamaks selgust millisel määral mõjutab mõõtmiskordade suurendamine lõpptulemuse täpsust, tehti katse, mille käigus mõõdeti 22 puurkeha paksust 30 punktis ehk katsekeha perimeetri igal sentimeetril. Saadud tulemuste põhjal arvutati iga katsekeha keskmine paksus, jagades mõõdetud summad mõõtmiste arvuga. Tulemusi võrreldi laborites määratud paksustega.



Joonis 2.13 Võrdlus laborites määratud ning 30 mõõtmise tulemusel saavutatud kihipaksustes kolme puurkeha näitel.

Eksperimendiks valiti objekti B AC 16 base segust suurkehad, mille laboritulemused ja nende analüüs olid kirjeldatud peatükis 2.2. Tulemused on lisatud allolevasse tabelisse (vt tabel 2.19). Kogu objekti keskmine kihipaksus 30 mõõtmise puhul on 53 mm, mis on võrdne laborites määratud keskmisega.

Kui võrrelda üksikkehade määranguid laborite keskmiste suhtes, siis 30 mõõtmise puhul on hälbumine keskmisest tulemusest 1,9 mm, mis on täpsem kui laboritel 2 ja 4, kellel on sama näitaja vastavalt 3,7 mm ja 2,4 mm, kuid on suurem kui laboritel 1 ja 3, kus tulemused olid vastavalt 1,3 mm ning 0,9 mm.

Objekti keskmise kihipaksuse määramisel oli keskmisele tulemusele kõige lähemal labor 3 ning üksikkehade tulemuste varieeruvuste arvestuses oli madalaim varieeruvus samuti laboril 3. Samas ei saa väita, et labor 3 tulemused on täpsed ja vastavad katsekehade tegelikele suurustele, sest võrdlusandmed on kõikide laborite mõõtmistulemuste keskmised ja need suurused sõltuvad võrdselt kõikide laborite määrangutest, isegi kui nende erinevus on suur. Näiteks labori 2 mõõtmistulemused on oluliselt suuremad kui teistel ning see viib keskmise väärtuse kõrgemale.

Tabel 2.19 Objekti B kihipaksuse laborite ja 30 korduse mõõtmistulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)	30x (mm)	Laborite keskmine (mm)
1	62	66	60	57	66	61
2	61	66	61	59	62	62
3	52	60	52	51	57	54
4	53	58	54	50	57	54
5	59	66	58	55	62	60
6	50	56	50	48	52	51
7	51	56	54	51	55	53
8	58	63	61	58	62	60
9	55	59	57	55	60	57
10	54	57	56	53	58	55
11	53	58	53	52	53	54
12	50	54	50	49	50	51
13	44	49	46	46	43	46
14	48	52	50	46	46	49
15	45	49	45	44	44	46
16	49	56	50	48	48	51
17	43	50	46	44	43	46
18	47	51	49	45	46	48
19	48	52	47	48	51	49
20	47	51	48	48	50	49
21	50	54	51	48	52	51
22	47	52	48	47	50	49
<b>Keskmine</b>	<b>51,0</b>	<b>56,0</b>	<b>52,0</b>	<b>50,0</b>	<b>53,0</b>	<b>53,0</b>

30 kordusega mõõtmise tulemuste võrdlus labori nelja korduse mõõtmistulemustega ei kinnitanud 30 mõõtmise suuremat täpsust, kuid peab arvestama, et tõenäoliselt on

laborite mõõtmised tehtud erinevatelt punktidelt, seega laborite keskmise tulemuse näol tegemist 16 kordusega mõõtmisega.

Mõõteandmete põhjal koostati analüüs, kus arvutati katsekeha paksus erineva arvu mõõtmiste abil. Analüüsi tegemiseks kasutati 30 mõõtmise tulemusi. Katsekeha paksused arvutati erinevate korduste juures, milleks valiti korduste 30, 15, 10, 7-8, 6, 5 ja 4 mõõtmiste tulemused. Iga korduse juures arvestati, et sama mõõtetulemus ei satuks andmetabelisse kaks korda. Seega, kui katsekeha paksust hinnati kuue mõõtmisega, siis kasutati selleks 30 mõõtmise andmetabeli tulemusi iga 5 cm tagant, arvestades, et mõõtmised oleks teostatud võrdsete vahedega puurkeha perimeetril.

Kirjeldus mõõtmiste teostamisest kuue korduse näitel; esimene seeria mõõtmisi on tehtud katsekeha perimeetril sentimeetritel 1, 6, 11, 16, 21, 26 ning teisel korral 2, 7, 12, 17, 22, 27 (vt tabel 2.20). Sarnase skeemi alusel saab ühte katsekeha mõõta viis korda ilma et lähteandmed korduksid. Allolevast tabelist on näha, et kuue mõõtmisega hinnati ühe katsekeha paksust viiel korral ning puurkeha nr 3 puhul saadi tulemuseks 56- 58 mm, mis teeb varieeruvuseks 2 mm.

Tabel 2.20 Puurkeha nr 3 paksuse määramine 6 mõõtmistulemuse põhjal

Mõõtmise nr	30x (mm)	6x – I (mm)	6x -II (mm)	6x – III (mm)	6x – IV (mm)	6x – V (mm)
1	61	61				
2	60		60			
3	58			58		
4	60				60	
5	59					59
6	57	57				
7	57		57			
8	58			58		
9	60				60	
10	57					57
11	59	59				
12	54		54			
13	53			53		
14	52				52	
15	52					52
16	48	48				
17	59		59			
18	55			55		
19	56				56	
20	56					56
21	60	60				
22	58		58			
23	51			51		
24	48				48	
25	57					57
26	58	58				
27	59		59			
28	60			60		
29	61				61	
30	60					60
<b>Keskmine</b>	<b>57</b>	<b>57</b>	<b>58</b>	<b>56</b>	<b>56</b>	<b>57</b>

Tulemuste analüüsimiseks on koostatud tabel, kus on arvatud mõõtmistulemuste varieeruvused eri mõõtmiste arvu juures. Kuna 30-kordseid mõõtmisi on ainult üks seeria, võrdub selle veeru varieeruvus nulliga ja nende mõõtmiste keskmine tulemus on selle katsekeha täpne kihipaksus ehk etalon paksus. 15-kordseid mõõtmisi tehti kaks seeriat ning nende kahe mõõtmise vahe on veeru mõõtmiste varieeruvus, mis võrdub keskmiselt 0,5 mm. Tabelis 2.21 on nurksulgudes tähistatud seeria kordamiste arv.

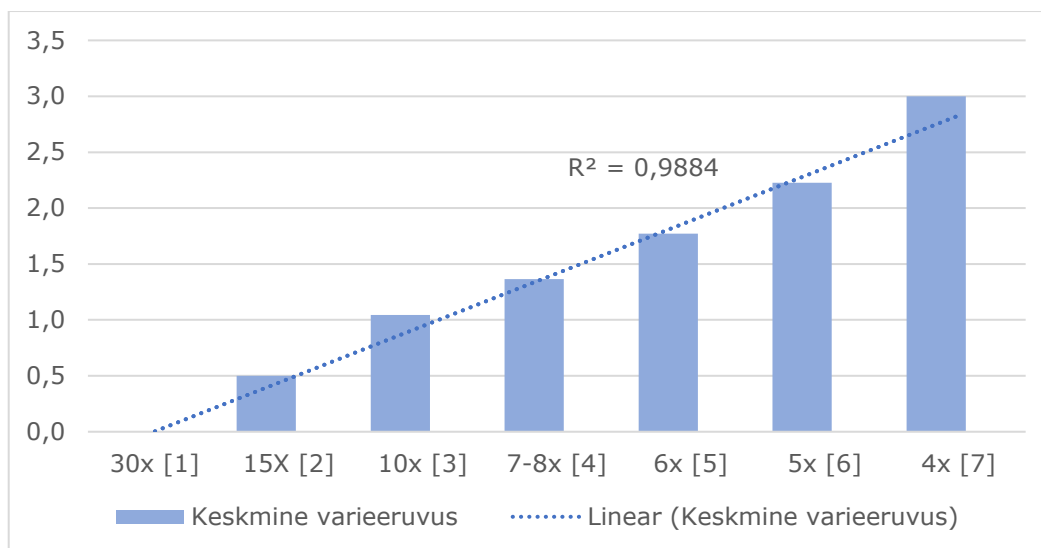
Tabel 2.21 Katsekeha mõõtmistulemuste varieeruvused millimeetrites erinevate mõõtmiste arvu juures. Tabeli päises mõõtmiste arv ühe suurkeha kohta x-ga ning nurksulgudes ühe suurkeha paksuse määramise mõõtmiskordade arv

<b>Katsekeha nr</b>	<b>30x [1]</b>	<b>15x [2]</b>	<b>10x [3]</b>	<b>7-8x [4]</b>	<b>6x [5]</b>	<b>5x [6]</b>	<b>4x [7]</b>
1	0	0	1	3	1	1	4
2	0	0	0	0	1	2	2
3	0	1	1	4	2	3	4
4	0	1	0	3	2	1	3
5	0	2	2	2	2	4	4
6	0	0	1	3	1	3	4
7	0	1	1	1	2	4	3
8	0	0	0	1	1	1	4
9	0	1	1	1	2	3	4
10	0	0	1	1	3	1	4
11	0	0	2	0	2	2	3
12	0	0	1	3	2	2	3
13	0	1	2	2	2	2	2
14	0	1	1	1	1	2	2
15	0	1	2	1	1	3	2
16	0	0	1	1	2	3	1
17	0	0	1	0	2	2	2
18	0	1	1	1	2	1	1
19	0	0	1	1	3	2	4
20	0	0	2	0	1	2	4
21	0	1	1	1	2	3	4
22	0	0	0	0	2	2	2
<b>Keskmine varieeruvus</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>1,0</b>	<b>1,4</b>	<b>1,8</b>	<b>2,2</b>	<b>3,0</b>

Tabeli 2.21 viimase rea keskmised tulemused iseloomustavad seaduspära, et vähemate mõõtmiste korral suureneb ka katsekeha mõõtmete määramise hälve etalonist. Samade andmete visualiseerimiseks on kujundatud graafik (vt joonis 2.14). Eeldusel, et ühe katsekeha 30- kordne mõõtmine on selle täpse paksuse määramiseks piisav ja saadud tulemus on antud katsekeha etalonväärtus, saab siinsete andmete põhjal väita, et igapäevases praktikas kasutuses olev meetod ehk neljakordne mõõtmine annab keskmise tulemuse täpsuseks 3 mm võrreldes etaloniga, mis teeb katsekeha keskmise paksuse 53 mm puhul 5,6% kattedihi paksusest. Tõenäoliselt mõõdetava kihi paksuse suurenedes tulemuste varieeruvus ei suurene, jäädes 3 mm piiresse. Kuid ilmselt muutub tulemuste varieeruvus sõltuvalt katsekehas kasutatavast segu margist. Antud peatüki analüüsis kasutatud suurkehad koosnesid suhteliselt peeneteralisest AC 16 base segust, mille peene struktuur moodustab katsekehal tasapinnalise kuju. Seevastu

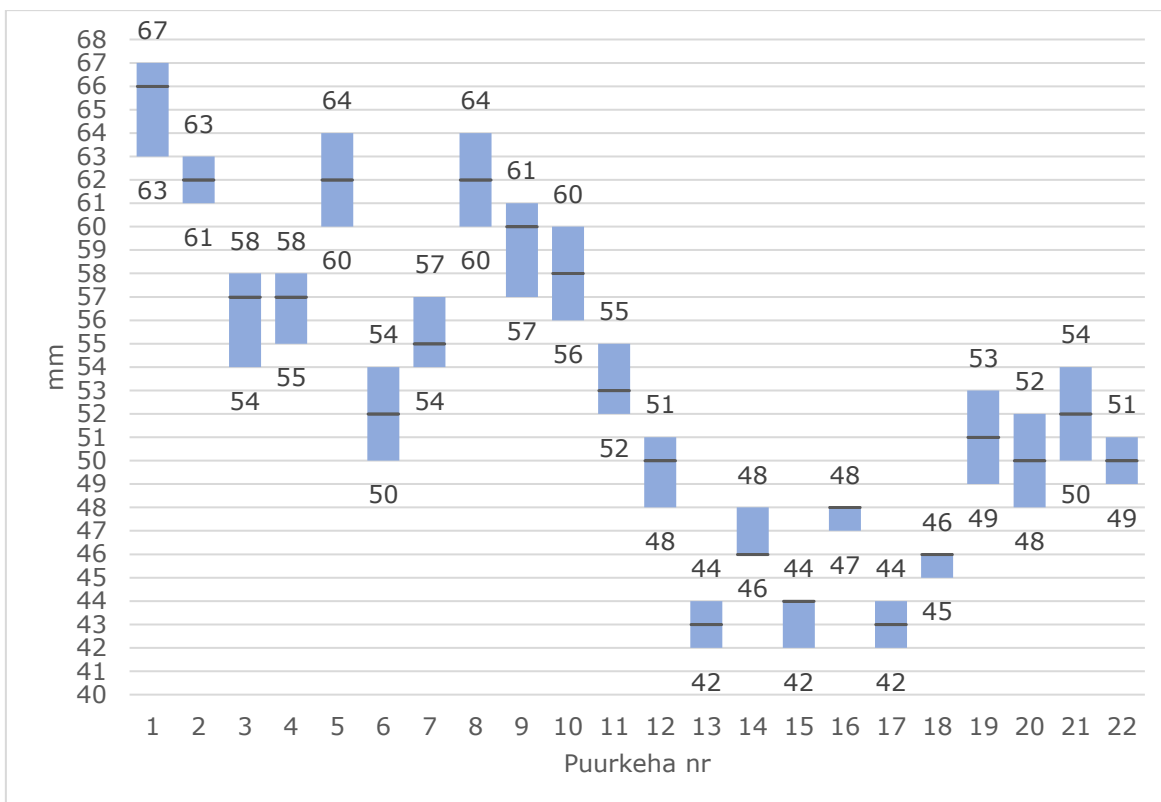


näiteks AC 32 base segu puhul on katte pind ebaühtlasem ja täpne mõõtmine raskendatud ning see suurendaks mõõtmistulemuste varieeruvust.



Joonis 2.14 Mõõtmistulemuste varieeruvus millimeetrites erinevate mõõtmiste arvu juures.

Eksperimenti tulemustest järeldub, et mõõtmiskordade suurendamine suurendab ka mõõtmistulemuse täpsust. Asfaltkatte kihipaksuse määramise katsestandard EVS-EN 12697-36:2003 määrab katse korratavuspiiriks 1,8 mm, kuid tehtud eksperiment tõestas, et ühekihilise katte korral ei ole see piir praktikas igakordselt saavutatav. Tulemuste analüüs näitas, et 4 mõõtmise seerias saavutati korratavuspiir kahel korral 22st. Kui arvestada korratavuspiiriks 2 mm, siis see saavutati 8 korral ehk 36% katsetustest. Alloleval joonisel on kujutatud kihipaksuse mõõtmistulemused 4 mõõtmise seeriana. Tulbad joonisel näitavad katsekeha nelja mõõtmise kõrgeimat ja madalimat väärtust ning horisontaalne joon selle katsekeha etalon kihipaksust ehk 30 mõõtmistulemuse keskmist.



Joonis 2.15 Katsekehade nelja mõõtmise seeria suurim-, väikseim- ja etalon kihipaksus

## 2.6. Kokkuvõte

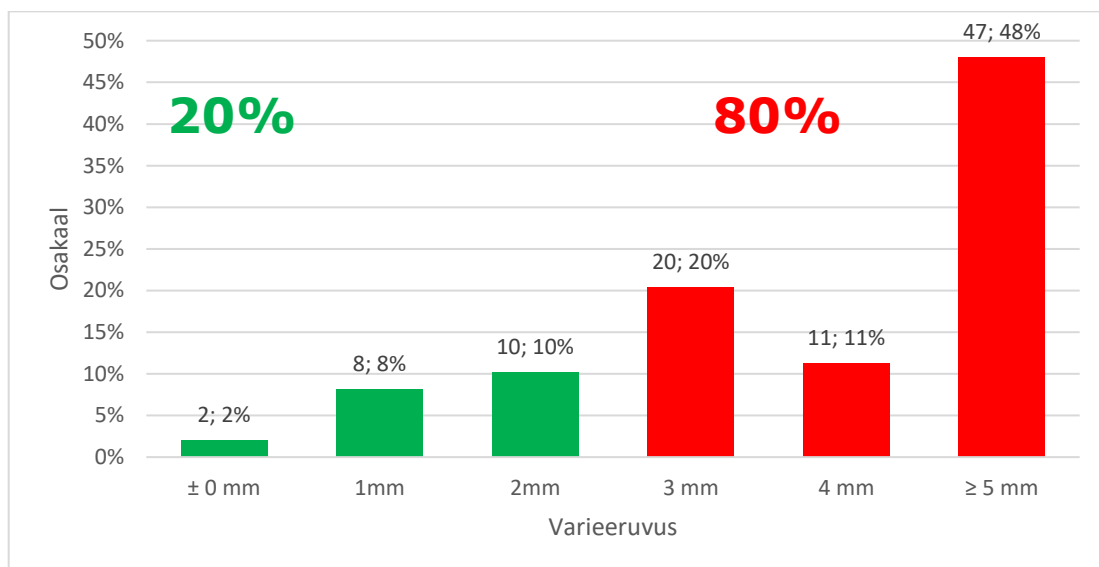
Uurimistöös tehti 98 katsekeha kihipaksuse mõõtmised neljas laboris, seega koosneb andmetabel 392 mõõtmistulemusest. Saadud mõõtmistulemused on lisatud koondtabelisse ja arvutatud iga katsekeha maksimaalne ja minimaalne paksus ning nende suuruste vahe. Näiteks kui nelja labori peale oli katsekeha suurim kihipaksus 72 mm ja vähim 60 mm, siis on selle katsekeha laboritulemuste varieeruvus 12 mm. Mõõtmistulemuste erinevuse võrdlemine on oluline, kuna laboritele kehtib katse standardist tulenev piirnorm- teostada katsed, mille tulemused erinevad üksteisest maksimaalselt 1,8 mm. Seda lubatud tulemuste varieeruvust nimetatakse korratavuspiiriks. Kuna katte kihipaksuse mõõtmistulemus esitatakse millimeetri täpsusega, võib katse korratavuse piiriks lugeda ümardatult 2,0 mm. Arvutatud varieeruvused lisati andmetabelitesse ning joonistele kuue kategooria järgi:

- varieeruvus 0 mm ehk kõik laborid mõõtsid katsekehale sama paksuse,
- varieeruvus 1 mm ehk laborite-vahelised tulemused erinesid üksteisest maksimaalselt 1 mm võrra,
- 2 mm,
- 3 mm,

- 4 mm,
- $\geq 5$  mm ehk laborite-vahelised tulemused erinesid 5mm või enam.

Allolevalt jooniselt on näha, et 98 katsekehal mõõdeti kõikides laborites ühesugune tulemus vaid kahel juhul. Mõlemal korral oli tegemist asfaldikihiga, mis asetseb teise asfaldikihi peal. Ühe millimeetrise varieeruvusega mõõdeti kaheksa puurkeha, millest 7 olid kahekihilise katte pealmised kihid. Katsetulemusi mis erinesid üksteisest 2 mm võrra oli kümme. Seega katse korratavuse nõue, mõõta sama puurkeha erinevates laborites maksimaalselt 1,8 mm erinevusega, on rangelt võttes tagatud vaid 10% juhtudest. Ümardades korratavuse nõude piirmäära täisarvu millimeetriteni, vastab nõudele 20% katsetulemustest.

Peaaegu pooled (48%) tulemustest hälbisid vähemalt 5 mm võrra, mis on rohkem kui kahekordne lubatud katse korratavuse piirmäär.

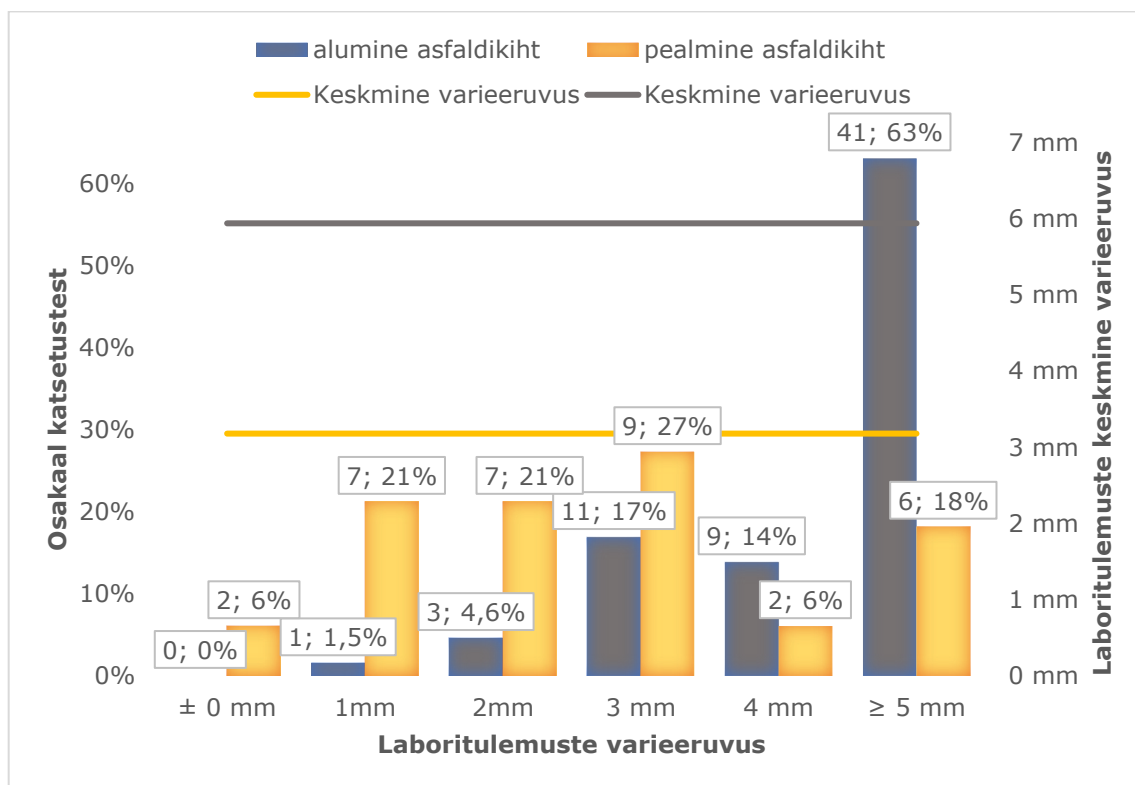


Joonis 2.16 Puurkehade kihipaksuse mõõtmistulemuste varieeruvused

Allolev joonis (vt joonis 2.17) ilmestab mõõtmistulemuste erinevust kattekihtide kaupa. Kui viia alumise asfaldikihi puurkeha nelja laborisse ja katsetada kihipaksust, siis tõenäosus, et mõõtmistulemused saavutatakse samaväärsed, on null. Siinses töös leidis see kinnitust 65 korral 65st. 1,5 % juhtudest oli tulemuste erinevus 1 mm piires. Katse korratavuse piiridesse mahtus 6,2% tulemustest. 63% juhtudest erinesid laborite tulemused vähemalt 5 mm võrra, seejuures suurim erinevus oli 19 mm.

Pealmise asfaldikihi korral on mõõtmistulemuste hälbed väiksemad. Samaväärne tulemus on saavutatud kahel korral 33-st. 1 mm ja 2 mm hälbeid on võrdselt seitsmel korral. Seega mahuvad korratavuse piiridesse 16 katsekeha mõõtmised, mis teeb 48% katsetustest. Keskmine varieeruvus esimese kattekihi puhul (kattekiht mis asetseb

killustikust või kompleksstabiliseeritud alusel) oli 6 mm. Alates teisest asfaldikihist oli keskmine varieeruvus 3 mm.



Joonis 2.17 Puurkehade kihipaksuse mõõtmistulemuste varieeruvus erinevatel kattekihtidel

Laborite mõõtmistäpsuse paremusjärjestuse väljatoomiseks ja veendumaks, et suured tulemuste varieeruvused ei ole tingitud ühe labori ebatäpsest tööst, on arvatud nelja mõõtmistulemuse keskmine iga katsekeha kohta ning iga labori erinevus selle keskmise suhtes. Analüüsist nähtub, et laborite keskmiste mõõtmistulemustega võrreldes, on kõige täpsem olnud labor 3 (vt tabel 2.22). Labor 3 keskmine hälve oli 1,0 mm ning suurim 5 mm. Kõige suuremad hälbed keskmise suhtes on laboril 2, olles alumise kihi puhul 2,9 mm.

Tabel 2.22 Laborite mõõtmistulemuste varieeruvused nende keskmise tulemuse suhtes

	Labor 1 (mm)	Labor 2 (mm)	Labor 3 (mm)	Labor 4 (mm)
<b>Erinevus keskmisest</b>	2,1	2,2	1,0	1,7
<b>Erinevus keskmisest alates teisest kihist</b>	2,1	1,0	0,9	0,8
<b>Erinevus keskmisest alumisel kihil</b>	2,1	2,9	1,1	2,2
<b>Suurim erinevus keskmisest</b>	13	8	5	6

1 mm täpsus on laboritele määratud korratavuspiirides, kuid see ei ole piisav riigiteede vastuvõtjuhise järgi, kus mahaarvamisi arvestatakse esimesest millimeetrist. Juhul kui kihi tegelik paksus objektile vastab projektsele ja labor eksib 1 mm võrra vähenemise suunas, määratakse töö tegijale mahaarvamine. Lisaks peab arvestama, et arvatud

erinevus iseloomustab labori erinevust keskmisest 98 katsekeha keskmisena, kuid mahaarvamisi määratakse kahe- või kolme katsekeha keskmisena.

Kokkuvõttes saab väita, et laborite poolt määratud kihipaksuste tulemused varieeruvad märkimisväärselt suuremal määral vastava katsestandardi korratavuspiirist. Korratavuspiiriks on 1,8 mm ning antud töös kasutatavate laboritulemuste varieeruvus on keskmiselt 5 mm.

Otsides alternatiivseid võimalusi kuidas kattekihi mõõtmist täpsemaks muuta, tehti katse ja mõõdeti objekti B puurkehade paksused nende perimeetri 30 punktis ning nende 1 cm vahedega mõõtmiste aritmeetiline keskmine esitati puurkeha paksusena. Joonisel 2.13 on näited kolme puurkeha mõõtmistulemustest. Joonis ilmestab, kuivõrd varieeruv on katsekeha paksus, näiteks katsekeha nr 6 puhul varieerub kihipaksus 16 mm võrra. Sellise puurkeha puhul on nelja mõõtmise keskmise tulemuse vastavus tegelikkusele küsitav. Kõnealuse katsekeha laborite poolt määratud keskmine kihipaksus on 51 mm ja 30 mõõtmise keskmine 52 mm, kuid laborite tulemused varieeruvad 48 mm kuni 56 mm. Eksperiment, katsekeha paksust hinnata 30 mõõtmise tulemusega, tõestas et mõõtmiste arvu suurendamine, suurendab ka tulemuse täpsust. Sellest järeldades, võiks kattekihi paksuse määramine toimuda minimaalselt läbi 8 mõõtmise kui kattekiht asub ebaühtlasel tasapinnal nagu näiteks killustikalusel.

Üks võimalik meetod kihipaksuse määramiseks on arvutada see läbi paigaldatud segu koguse. See meetod ei anna küll täpset kihipaksust tee igas ristlõikes, vaid koondab keskmise kihipaksuse kogu vahetuse jooksul paigaldatud pindalale. Teisalt, puurkeha annab kihipaksuse ühe konkreetse tee ristlõike kohta ning koondab selle 500 meetrise lõigu keskmiseks, mis ei ole samuti katte paksuse kohta täpne järeldus. Võimalus oleks rakendada segu koguse arvestamist koos puurkehade võtmisega. Näiteks lubada puurkehade tulemustele hälbed vähenemise suunas kuni 5% juhul kui sama vahetuse jooksul paigaldatud segukogus vastab projekteeritule.

Uurimistöö tulemused osutavad kahele probleemile. Kehtiva kihipaksuse määramise katsestandardi EVS-EN 12697-36:2003 korratavuspiiri ei õnnestunud laboritel reeglina täita ning kehtiv „Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskiri“ määrab töövõtjale mahaarvamised asfaltkatte kihipaksuse vähenemisest alates esimesest millimeetrist. Seega ei ole määrus kooskõlas katse sooritamise mõõtemääramatusega, võimaldades katte ehitajat trahvida ka juhul kui tegelik kattekihi paksus on objektil tagatud.

Riigimaanteede vastuvõtu eeskiri 2006-2 (kehtis aastatel 2006 – 2014) arvestas mahaarvamisi alates 5% projektse kihipaksuse vähenemisest. 5% moodustab 53 mm (objekti B keskmine kihipaksus 30 mõõtmise tulemusel) kattekihi puhul 2,65 mm, mis on peaaegu võrdne eksperimendi varieeruvuse tulemusega milleks oli 3,0 mm. Seega annulleeriks 5% hälbe lubamine ebaõiglaselt määratud mahaarvamised. [11]

### **3. JÄÄVPOORSUS**

Peatükis on välja toodud katsekehade jäävpoorsuse mõõtmistulemused, võrreldud tulemuste erinevusi laborite vahel ning vaadeldud tulemuste vastavust korratavuspiiridele.

Jäävpoorsuse kontrolliks kasutati kokku 60 katsekeha, mis puuriti neljalt objektilt. Katsekehade jäävpoorsuse määramiseks on vajalik teada kasutatud asfaltsegu erimassi. Kuna selle määramiseks peab katsekehad üles sulatama, saab ühte puurkeha katsetada vaid korra. Uurimistöö eesmärk oli laborite katsetulemuste võrdlemine, oli proovikehade sulatamine välistatud. Probleemi lahendamiseks võeti asfaltsegude paigaldamise ajal segust proovid, mille puhul lähtuti standardi EVS-NE 12697-27:2017 punkti 4.3 juhistest, mis kirjeldavad proovide võtmist laoturi tiguvõlli juurest. Objektide A ja B katsetuste tegemiseks sai iga labor kaks 6 kg seguproovi. Objekti C puhul said kaks laborit kaks seguproovi ning kolmas labor pidi erimassi määramiseks kasutama puurkehasid. Objekti D puhul seguproove ei kasutatud, sest kate oli ehitatud viis aastat tagasi. Seguproovi saamiseks sulatas iga labor viis katsekeha ning määras selle järgi segu erimassi.

Objektide A ja D katsekehad koosnesid kahest asfaldikihist. Kahe ja enama kihiga puurkehade korral tuleb need üksteisest eraldada. Pärast kihtide eraldamist, katsetati AC base segudest ehitatud kihte.

Katsekeha jäävpoorsust iseloomustatakse katsekeha pooride mahuga protsentuaalselt ja tulemus esitatakse kümnendikprotsendi täpsusega. Maanteeameti normide kohaselt peab paigaldatud base segust asfaldikihi poorsus jääma vahemikku 5-12%. Katsekehade jäävpoorsuse määramine laboris toimub standardi EVS-EN 12697-8:2018 järgi, mis sätestab muu hulgas katsele korratavusepiiri 2,2%. See tähendab, et sama katsekeha jäävpoorsuse tulemus ei tohiks laborite vahel erineda üle 2,2%.

Järgenvalt vaadeldakse laborite katsetulemuste erinevusi, analüüsitakse tulemuste varieerumist ning hinnatakse laborite töö täpsust jäävpoorsuse määramisel. Lisaks analüüsitakse katsekehadele määratud mahumasside tulemusi.

#### **3.1. Objekti A tulemused**

Objektilt A võeti kahekihilisest kattest 18 puurkeha. Esimesed kümme katsekeha puuriti skeemiga viis puurkeha ühelt teepoolelt, kusjuures kehade vahekauguseks oli ligikaudu 50 cm ning teised viis katsekeha puuriti ühe meetri kauguselt piketaaži liikumise suunas. Seega on esimesed kümme katsekeha võetud kattelt, mille ligikaudne pindala on 2 m<sup>2</sup>. Lähestikku asetsevad puurimised peaksid tagama ühtlased katsetulemused, sest segu

koostis ei saa palju varieeruda ning kate tihendamise tingimused peaksid olema paigaldamise ajal ühesugused.

Kate koosnes kahes kihist- alumine asfaldikiht oli MUK32 ning pealne AC 20 base. MUK32 kiht eemaldati puurkehalt ning jäävpoorsust katsetati ainult base kihil, sest MUK32 kihile asfaldinormid ei rakendu ning jäävpoorsuse katsetusi ei tehta. AC base kihi jäävpoorsus peab AKEJ-i järgi olema vahemikus 5 -12%.

Allolevas tabelis on välja toodud objekti A jäävpoorsuse katsetulemused. Kokku 72 katsetusest on nõuetele vastav tulemus saadud 71 korral. Objekti keskmiseks jäävpoorsuseks on saadud 7,5%. Sellest järeldub, et asfaltsegu enda poorsusnäitajad on ettenähtud vahemikus ning kate on korrektelt paigaldatud ja tihendatud.

Tabel 3.1 Objekti A AC 20 base katsekehade jäävpoorsuse laboritulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (%)	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
1	7,5	8,2	7,8	7,5	7,8	0,7
2	7,4	8,1	7,8	7,1	7,6	1,0
3	5,7	6,2	6,1	5,8	6,0	0,5
4	6,5	6,8	6,7	6,2	6,6	0,6
5	8,7	8,9	9,0	8,5	8,8	0,5
6	8,5	8,9	8,9	13,0	9,8	4,5
7	7,9	8,3	8,2	7,9	8,1	0,4
8	6,2	6,5	6,4	6,0	6,3	0,5
9	6,9	7,3	7,1	6,5	7,0	0,8
10	8,1	8,6	8,2	7,7	8,2	0,9
11	7,9	8,3	8,4	7,6	8,1	0,8
12	6,3	6,7	6,8	6,2	6,5	0,6
13	7,3	7,4	7,4	7,0	7,3	0,4
14	6,8	7,1	7,2	6,8	7,0	0,4
15	7,8	8,4	8,4	7,7	8,1	0,7
16	6,3	6,9	6,8	6,5	6,6	0,6
17	8,3	8,7	8,6	8,1	8,4	0,6
18	6,9	7,4	7,5	7,0	7,2	0,6
<b>Keskmine</b>	<b>7,3</b>	<b>7,7</b>	<b>7,6</b>	<b>7,4</b>	<b>7,5</b>	<b>0,8</b>

Objekti keskmiseks jäävpoorsuseks on laborid hinnanud 7,3 -7,7%. Keskmine tulemuse varieeruvus katsekeha kohta on 0,8%, mis jääb katse lubatud korratavuspiiridesse (2,2%). Madalamad keskmised väärtused on laboritel 1 ja 4 ning kõrgemad väärtused laboritel 2 ja 3. Sarnane erinevus ilmneb laborite määratud erimassi väärtustel. Laborid 2 ja 3 on saanud sarnase erimassi ning laborid 1 ja 4 on saanud madalama erimassi. Erimass on jäävpoorsuse arvutamise aluseks. Iga katsekeha kohta määratakse mahumass ja kõikide katsekehade peale kokku määratakse segu erimass. Seega mõjutab erimassi määramise tulemus kogu objekti jäävpoorsuse tulemust. Erimass

määratakse vastavalt standardile EVS-EN 12697-5:2018 ning laboritele määratud katse korratavuspiir on 0,022 Mg/m<sup>3</sup>. Tabelis 3.2 välja toodud andmed kinnitavad laborite ühtlast segu erimassi määramist. Suurima ja väikseima tulemuse vahe on 0,008 Mg/m<sup>3</sup>, mis muudab jäävpoorsuse väärtust 0,3% võrra. Sama seos on näha ka tabelis 3.2.

Tabel 3.2 Objekti A laborite määratud erimassi ja jäävpoorsuse võrdlus

	<b>Labor 1</b>	<b>Labor 2</b>	<b>Labor 3</b>	<b>Labor 4</b>
<b>Segu erimass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,509	2,514	2,514	2,506
<b>Keskmine jäävpoorsus %</b>	7,3	7,7	7,6	7,4

Sel objektil on ühel juhul 18-st ületatud katse korratavuspiir. Eri laborid on katsekeha nr 6 jäävpoorsuseks hinnanud 8,5-13%, mis teeb tulemuste varieeruvuseks 4,5% ja ületab seega katse korratavuspiiri kahekordselt. Ekstreemse tulemuse on saanud akrediteeritud labor 4. Kuna laborid 1 - 3 on selle puurkeha jäävpoorsust hinnanud sarnaselt, siis on tõenäoline, et labori 4 tulemus on ekslik. Jäävpoorsuse arvutamine toimub läbi mahu- ja erimassi ning kuna eelnevalt on võrreldud erimassi väärtusi, mis olid laborite vahel sarnased, siis on eksitus juhtunud tõenäoliselt katsekeha mahumassi määramisel või selle väärtuse sisestamisel arvutusvalemisse. Allolevas tabelis on kõnealuse katsekeha mahumassi väärtused.

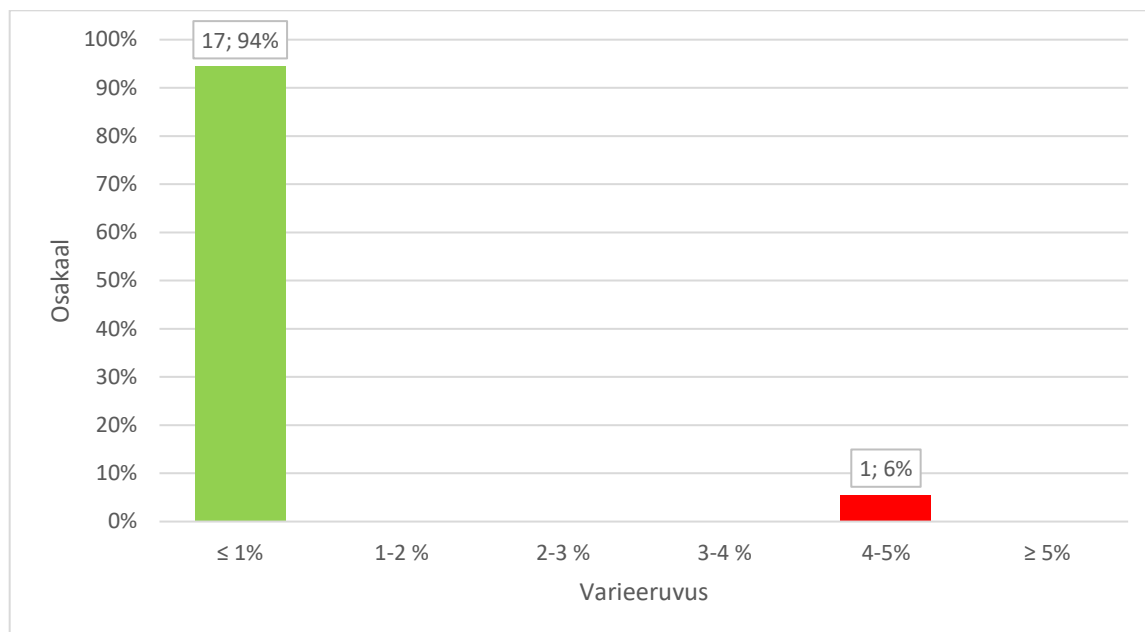
Tabel 3.3 Objekti A katsekeha nr 6 mahumassi väärtused

	<b>Labor 1</b>	<b>Labor 2</b>	<b>Labor 3</b>	<b>Labor 4</b>
<b>Katsekeha nr 6 mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,295	2,289	2,290	2,181

Tabelist nähtub, et labori 4 määratud katsekeha nr 6 mahumass on oluliselt väiksem võrreldes teiste laboritega, mistõttu on selle puurkeha jäävpoorsus suur. Vaadeldes labori 4 ülejäänud katsekehade määratud mahumasse, jäävad need vahemikku 2,294 - 2,361 Mg/m<sup>3</sup>, mis sarnanevad teiste laboritega.

Objekti A jäävpoorsuse mõõtmistulemustest vastasid katse korratavuspiiridele 94%. Ühe katsekeha puhul 18-st oli tulemuste varieerumine suurem kui katse korratavuspiir, olles 4,5%.





Joonis 3.1 Objekti A AC 20 base katsekehade jäävpoorsuse laboritulemuste varieeruvus

### 3.2. Objekti B tulemused

Objektilt B puuriti 22 katsekeha AC 16 base kihilt, mis asetses killustikust alusel. Sellest segust asfaltkatte jäävpoorsuse lubatud piirmäärad on AKEJ-i kohaselt 5 -12%. Katsekehad puuriti kahes seerias. Esimene koosnes 12 puurkehast, mis võeti kahes reas: esimesest reast viis, teisest seitse puurkeha. Kahe rea vahe oli 1 m. Teises seerias puuriti kahes reas meetrise vahega kokku kümme puurkeha. Lähestikku asetsevad puurimised peaksid tagama ühtlased katsetulemused, sest segu koostis ei saa palju varieeruda ning katte tihendamise tingimused peaksid olema paigaldamise ajal ühesugused.

Puuritud katsekehad viidi laboritesse ja saadud jäävpoorsuse tulemused on toodud tabelis 3.5. Laborid on objekti keskmiseks jäävpoorsuseks hinnanud 11,0 -12,9%, kusjuures laboritel 2, 3 ja 4 jääb vastav näitaja vahemikku 11,0 -11,5%. Keskmine hälve katsekehade kohta on 2,1%. Katse lubatud korratavuspiir on 2,2%, mis ületatakse kaheksal korral 22-st ehk 36% katsetustest (vt joonisel 3.5 punasega tähistatud ridu).

Allolevast tabelist nähtub, et mitmete katsekehade jäävpoorsuse väärtus jääb normi ülemise piiri lähedale ning seitsmel juhul ületab seda. Kõigil seitsmel korral on osa laboreid hinnanud jäävpoorsuse normi piiresse, st alla 12%, ning teised üle selle. Kuna lubatud piiri ületamisel rakendab Maanteeamet sanktsioone, tõstavad sellised piirilähedased tulemused labori punktuaalselt täpse töö väga oluliseks.

Tabel 3.4 Objekt B AC 16 base katsekehade jäävpoorsuse laboritulemused (punased read tähistavad katse lubatud varieeruvuse piiri ületamist)

Katsekeha nr	Labor 1 (%)	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
1	13,0	11,1	12,0	12,4	12,1	1,9
2	13,7	11,8	11,9	12,2	12,4	1,9
3	13,4	11,9	11,6	11,2	12,0	2,2
4	12,7	10,8	11,7	12,9	12,0	2,1
5	13,8	11,4	12,1	13,0	12,6	2,4
6	13,8	11,6	10,4	11,1	11,7	3,4
7	14,1	12,6	11,7	12,4	12,7	2,4
8	13,6	11,4	11,8	12,0	12,2	2,2
9	12,3	10,9	10,3	10,8	11,1	2,0
10	11,9	10,9	10,8	11,2	11,2	1,1
11	13,2	11,4	11,1	11,6	11,8	2,1
12	12,6	10,0	10,9	11,2	11,2	2,6
13	13,7	12,4	12,1	11,8	12,5	1,9
14	11,5	10,5	10,8	10,5	10,8	1,0
15	12,3	10,7	10,5	10,2	10,9	2,1
16	12,9	11,5	11,6	11,8	12,0	1,4
17	12,3	12,3	11,9	11,8	12,1	0,5
18	13,9	10,5	11,9	11,8	12,0	3,4
19	12,5	10,1	11,3	11,0	11,2	2,4
20	11,6	9,2	10,4	10,5	10,4	2,4
21	11,5	9,3	10,6	10,3	10,4	2,2
22	12,6	9,4	11,7	11,3	11,3	3,2
<b>Keskmine</b>	<b>12,9</b>	<b>11,0</b>	<b>11,3</b>	<b>11,5</b>	<b>11,7</b>	<b>2,1</b>

Tabelist 3.4 on näha, et labori 1 tulemused on püsivalt kõrgemad kui teistel ning objekti keskmine jäävpoorsus on 1,6% kõrgem kui ülejäänud laboritel. Selline tulemuste erisus võib olla tingitud sellest, et labori 1 määratud segu erimassi väärtus on suurem kui teistel laboritel. Suurem erimass suurendab jäävpoorsuse tulemust. Näiteks erimassi suurenemine 0,008 ühiku võrra suurendab jäävpoorsust ligikaudu 0,3%. Erimassi tulemused jagunevad laborite vahel kaheks (vt tabel 3.5), kuid suurima ja vähima tulemuse vahe jääb kindlalt katse lubatud korratavuspiiridesse (0,022 Mg/m<sup>3</sup>). Erimassi muutumine 0,022 võrra muudaks katsekeha jäävpoorsust 0,8%.

Tabel 3.5 Objekt B erimassi tulemused

	Labor 1	Labor 2	Labor 3	Labor 4
<b>Segu erimass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,521	2,524	2,514	2,516

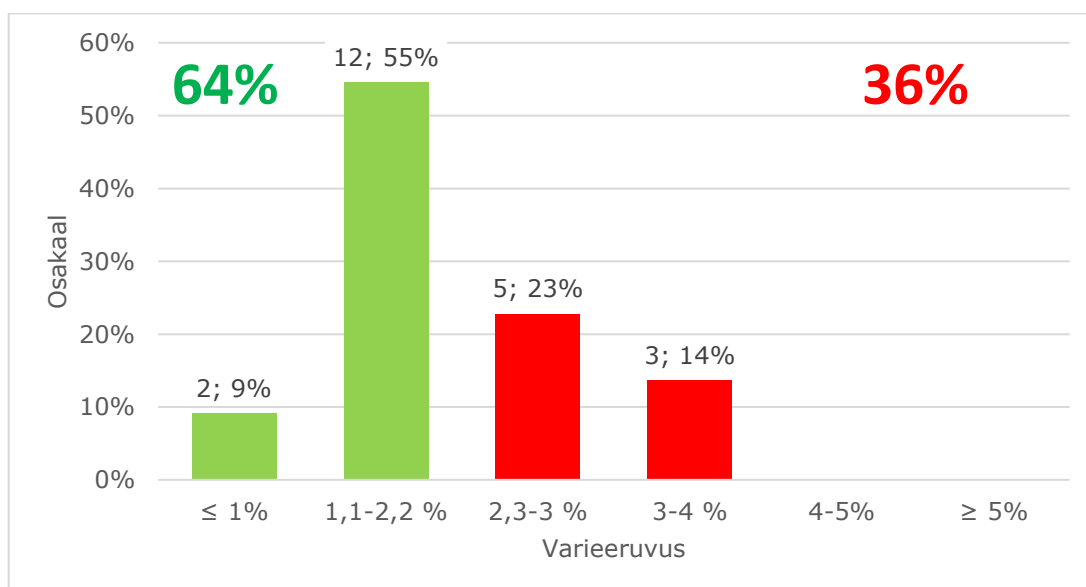
Kuna laborite erimassi määrangud on sarnased, siis labori 1 suhteliselt kõrgemad jäävpoorsuse tulemused on tingitud puurkehade mahumassi tulemustest. Allpool on väljavõtte puurkehadele määratud mahumassist (vt tabel 3.6), mis selgitab eelpool kirjeldatud tulemuste erinevusi jäävpoorsuste osas. Labori 1 objekti keskmine mahumass on kõikide laborite keskmisest mahumassist 0,028 võrra väiksem. Selline

erinevus muudab jäävpoorsuse näitajat objekti keskmise erimassi puhul arvutuslikult 1,1%. Määratud mahumasside suured varieeruvused on tingitud katsekehade suurest jäävpoorsusest. Keskmine jäävpoorsus ületab kindlalt 10% piiri, mille puhul on soovituslik kasutada mahumassi määramisel katsestandardi EVS-EN-12697-6:2012 meetodit C või D. Uurimistöös kajastatud mahumasside määramised on tehtud meetod B järgi.

Tabel 3.6 Objekt B AC 16 base katsekehade mahumassi keskmised tulemused

	Labor 1	Labor 2	Labor 3	Labor 4	Laborite Keskmine
<b>Katsekehade keskm. mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,197	2,247	2,229	2,227	2,225
<b>Erinevus keskmisest Mg/m<sup>3</sup></b>	-0,028	0,022	0,005	0,002	

Objekti B jäävpoorsuse tulemused erinevad laboriti oluliselt. Selle ilmetamiseks on alloleval joonisel välja toodud iga puurkeha suurima ja vähima tulemuse erinevus ehk katsetulemuste varieeruvus ning vastavalt varieeruvuse suurusele on see tõstetud vastavasse tulp. Kui üks labor määras puurkeha jäävpoorsuseks 10%, teine 12,5% ning kahes ülejäänus 12%, siis on puurkeha katsetulemuse varieeruvus 2,5% ning see tulemus asetseb graafikus kolmandasse tulp. 64% tulemustest jäävad katse korratavuspiiridesse.



Joonis 3.2 Objekti B AC 16 base jäävpoorsuse laboritulemuste varieeruvused

Kokkuvõttes on objekti B tulemused rohkem varieeruvad kui objekti A puhul. 36% katsetustest on ületanud katse korratavuse piirmäära. Kui labori 1 tulemused

andmetabelist eemaldada, oleks objekti laboritulemuste keskmine varieeruvus 1,0% ning korratavuse piirmäära ületamist esineks vaid ühel korral.

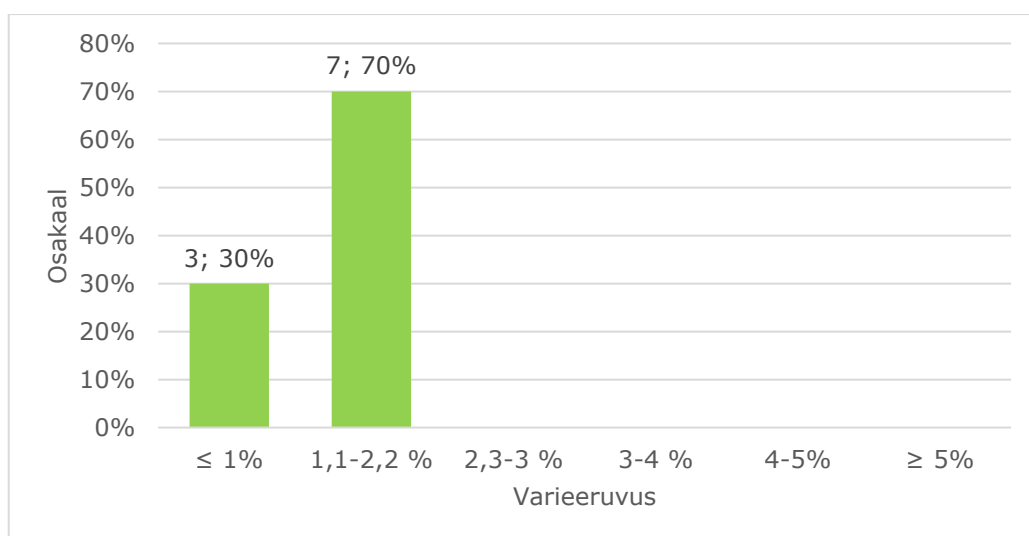
### 3.3. Objekti C tulemused

Sellel objektil katsetati jäävpoorsust kümnel katsekehal, mis olid puuritud AC 32 base seguga kattekihilt. Jäävpoorsuse määramiseks on vajalik teada asfaltsegu erimassi ning selle määramiseks kasutati segust võetud proove. Laborid 2 ja 4 said puurkehadega kaasa 12 kg asfaltsegu ning labor 3 sulatas puurkehad ja määras erimassi saadud massist. Kuna laborile 1 ei jagunud seguproove ega ka katsekehi selle koostamiseks, ei osalenud see labor katses.

Tabel 3.7 Objekti C AC 32 base katsekehade jäävpoorsuse laboritulemused

Katsekeha nr	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
1	9,3	8,9	8,0	8,7	1,3
2	8,7	8,4	7,5	8,2	1,2
3	8,0	8,0	7,1	7,7	0,9
4	7,2	7,2	6,2	6,9	1,0
5	7,9	8,1	7,2	7,7	0,9
6	8,6	8,6	7,2	8,1	1,4
7	9,5	9,6	7,9	9,0	1,7
8	8,2	8,1	7,0	7,8	1,2
9	8,0	8,0	6,8	7,6	1,2
10	7,9	8,0	6,6	7,5	1,4
<b>Keskmine</b>	<b>8,3</b>	<b>8,3</b>	<b>7,2</b>	<b>7,9</b>	<b>1,2</b>

Tabelist on näha, et laborite tulemustes suuri erinevusi ei ole. Keskmine tulemuste varieeruvus on 1,2% ning suurim 1,7%. Katse korratavuse piirmäär on 2,2%, seega on kõik katsetused antud piirides.



Joonis 3.3 Objekti C AC 32 base jäävpoorsuse laboritulemuste varieeruvused

Labor 4 on kogu objekti keskmiseks jäävpoorsuseks hinnanud 7,2%, samal ajal teised kaks laborit võrdselt 8,3%. Jäävpoorsus arvutatakse läbi segu erimassi ning katsekeha mahumassi. Tulemuste erinevusi saab seletada läbi nende kahe muutuja. Selgitamaks labori 4 erinevat jäävpoorsuse määrangut, võrreldakse saadud erimassi väärtusi.

Tabel 3.8 Objekti C AC 32 base segu erimasside tulemused

	<b>Labor 2</b>	<b>Labor 3</b>	<b>Labor 4</b>
<b>Segu erimass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,539	2,533	2,528

Labor 4 on saanud segu erimassi väärtuse väiksema kui teised laborid (vt tabel 3.8). Erimassi erinevus 0,01 ühiku võrra annab jäävpoorsuse erinevuseks ligikaudu 0,4%. Kuna objekti keskmine tulemus erines laboril 4 võrreldes teistega üle 1%, siis peavad tulemuste erinevustes rolli mängima ka mahumasside määrangud. Allolevast tabelist selgub, et labori 4 määratud mahumasside keskmine väärtus on suurem kui teistel ja sellisel määral, mis muudab katsekeha jäävpoorsuse väärtust ligikaudu 0,8% (vt tabel 3.9). Kuna puurkeha mahumassi määramine käib otseselt katsekeha kaudu, siis on antud juhul tegemist labori eksimusega.

Tabel 3.9 Objekti C AC 32 base katsekehade mahumassid

<b>Katsekeha Nr</b>	<b>Labor 2</b>	<b>Labor 3</b>	<b>Labor 4</b>
1	2,304	2,308	2,326
2	2,319	2,319	2,338
3	2,337	2,331	2,348
4	2,356	2,351	2,371
5	2,338	2,329	2,346
6	2,321	2,316	2,345
7	2,297	2,290	2,328
8	2,332	2,329	2,352
9	2,335	2,331	2,356
10	2,338	2,330	2,361
<b>Keskmine</b>	<b>2,328</b>	<b>2,323</b>	<b>2,347</b>

### 3.4. Objekti D tulemused

Objekt D valmis viis aastat enne puurkehade võtmist. Seega on kate olnud kaua liikluskoormuse all ja sellelt võetud puurkehad peaksid olema ühtlase jäävpoorsusega. Kokku puuriti objektilt 15 kahekihilist katsekeha. Kulumiskiht on AC 12 surf ning alumine AC 20 base. Kuna kate oli paigaldatud varem, siis ei saanud selle objekti katsetamisele seguproove kaasa anda. Seega sai jäävpoorsust arvutada ainult katsekehade

sulatamisest saadud segule määratud mahu- ja erimasside põhjal. Erimassi saamiseks piisas viiest katsekehast. Laborisse 2 viidi kõik 15 katsekeha, kus määrati segu erimass katsekehade 1-5 sulatamisel saadud segust. Labor 2 sai arvutada kõigi 15 katsekeha jäävpoorsuse tulemused. Allesjäänud kümme katsekeha jagati kahe labori vahel, kus mõlemad määrasid segu erimassi kehade sulatamisel saadud segust. Selliselt tekkis tulemuste põhjal andmetabel kümne katsekeha kohta, kokku 20 laboritulemusega.

Allolevas tabelis kajastatud laboritulemused näitavad, et sel objektil on tulemuste hajuvus väike. Kõik laborid on objekti keskmiseks jäävpoorsuseks hinnanud ümardatult 4%. Keskmine varieeruvus on kõigest 0,1%, mis teeb sellest kogu uurimistöö kõige ühtlasemate tulemustega objektiks.

Objekti AC 20 base segust katte jäävpoorsus peab AKEJ-i järgi jääma vahemikku 5 - 12%. Katsetulemuste keskmine jäävpoorsus on 4,2%. Seega on kattes liigselt vähe poore ja see ei vasta kvaliteedinõuetele. Ilmselt ei olnud kate sellise poorsusega peale ehitamist, vaid on selle omaduse saanud liikluskoormuse mõjul. Asfaltkatte järeltihenemine toimub peale katte valmimist liikluskoormuse surve- ja nihkepingete tõttu. Aja jooksul muutuvad tihedamaks just base segust ehitatud kihid kuna nende jäävpoorsus on algselt suurem ja nad ei ole liiklusele ega ilmastikule avatud. [13]

Tabel 3.10 Objekti D katsekehade AC 20 base jäävpoorsused

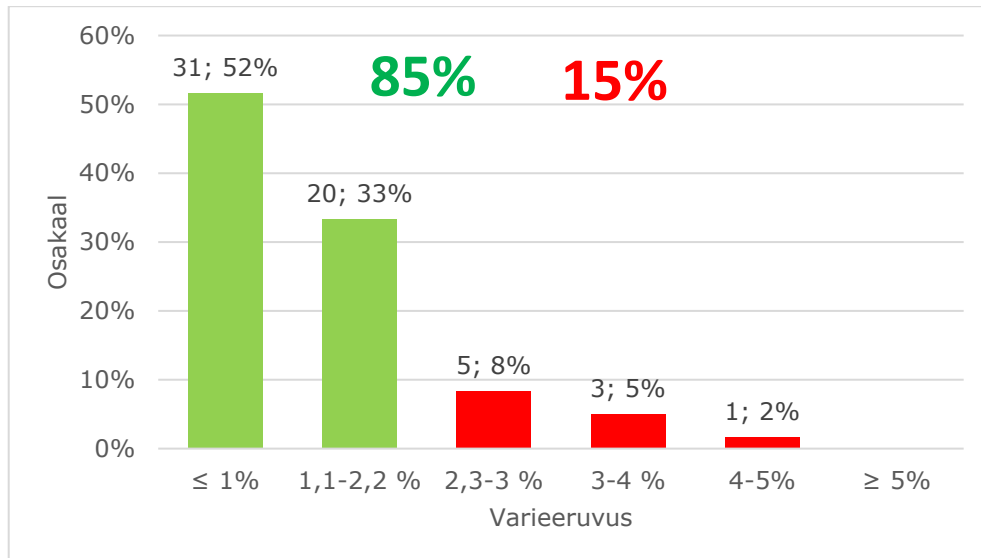
Katsekeha nr	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
6	3,3		3,3	3,3	0,0
7	4,9		4,9	4,9	0,0
8	4,7		4,8	4,8	0,1
9	4,9		4,6	4,8	0,3
10	4,0		4,1	4,1	0,1
11	3,7	3,8		3,8	0,1
12	5,2	5,4		5,3	0,2
13	5,2	5,3		5,3	0,1
14	3,5	3,7		3,6	0,2
15	3,9	4,0		4,0	0,1
<b>Keskmine</b>	<b>4,2</b>	<b>4,4</b>	<b>4,3</b>	<b>4,2</b>	<b>0,1</b>

### 3.5. Kokkuvõte

Jäävpoorsus määrati kokku 60 puurkehale neljalt objektilt. Objektide A ja B katsekehasid testiti neljas laboris ning objektide C ja D katsekehasid vastavalt kolmes ja kahes laboris. Kokku koosneb jäävpoorsuse andmestik 210 katsetulemusest. Need tulemused koondati tabelisse ning arvutati iga katsekeha suurima ja vähima tulemuse

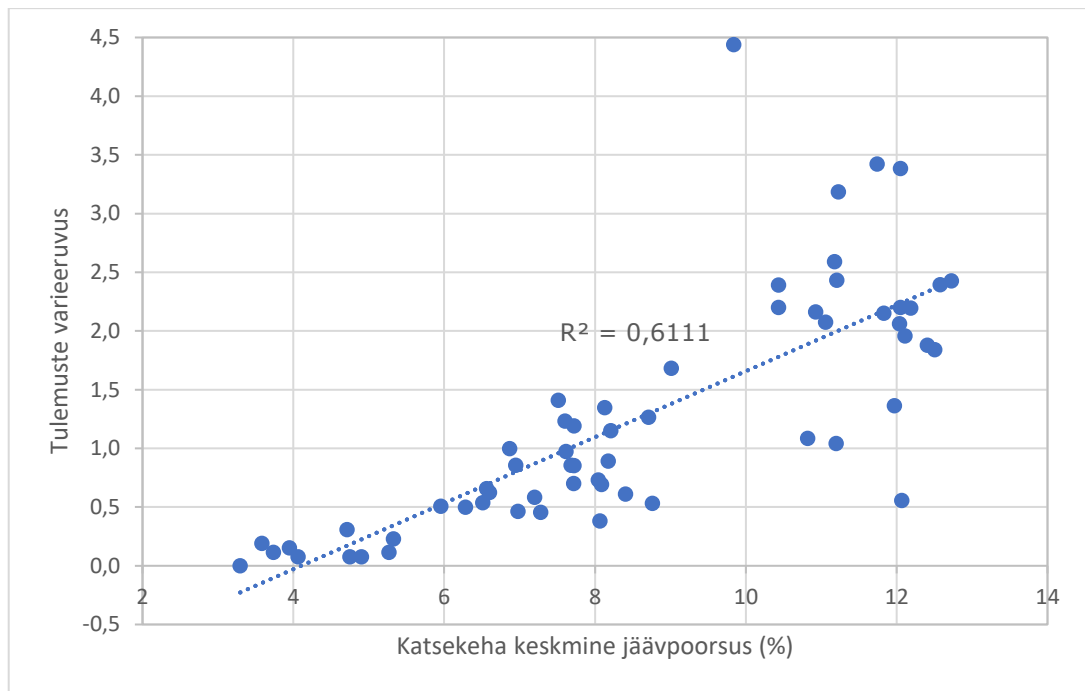
vahe, mis iseloomustab katsetulemuste varieerumist. Tulemused on esitatud alloleval joonisel (vt joonis 3.4) tulpdiaagrammina.

60 katsekeha jäävpoorsuse tulemused varieerusid keskmiselt 1,3%. Lubatud korratavuspiiri 2,2% ületati kokku kümnel korral ehk 15% katsetustel. Standardi korratavuspiiride täitmiseks oleks võinud korratavuspiiride ületamisi olla kuni 5% katsetustest, seega saab antud töös kasutatud andmete põhjal väita, et jäävpoorsuse määramisel ei täitnud laborid katse korratavuse tingimusi.



Joonis 3.4 Katsekehade jäävpoorsuse määramise katsetulemuste varieeruvus

Võrreldes jäävpoorsuse tulemusi katsetulemuste varieeruvusega, ilmneb seos- mida poorem on katsekeha, seda suurem on selle laboritulemuste varieeruvus (vt. joonis 3.5) Kasutades joonisel determinatsioonikordajat  $R^2$ , on näha, et seos jäävpoorsuse ja katsetulemuste varieerumise vahel on suur  $R^2=0,61$ . Jäävpoorsuse 6 -10% vahemikus on katsetulemuste keskmine varieeruvus 1,0%, jäävpoorsuse üle 10% puhul on sama näitaja keskmiselt 2,1%.



Joonis 3.5 Katsekehade keskmise jäävpoorsuse ja tulemuste varieerumise vaheline seos

Seos jäävpoorsuse ja katsetulemuste varieerumise vahel on selgitatav läbi mahumassi määramise protseduuri. Siinses töös on kõik mahumassi määramised tehtud katsestandardi EVS-EN 12697-6:2012 meetodi B järgi. See sobib kõige paremini asfaltsegude puhul, mille jäävpoorsus on alla 7%. Meetod B puhul kaalutakse katsekeha kuivalt, vees ning immutatult. Immutatud katsekeha tähendab kuiva pealispinnaga keha, mille poorid on veega täidetud. Kui immutatud katsekeha mõõtmine ei toimu piisavalt kiiresti ja katsekeha poorid jõuavad tühjaks valguda, ei anna mõõtmine loodetud tulemust. Seepärast on suuremate jäävpoorsuste korral kasutamiseks sobilikumad meetodid C või D. Meetodit C ei kasutata, kuna kuuma parafiiniga katsekeha katmine on ajakulukas protseduur ning parafiini aurude eemaldamiseks ruumidest oleks vaja täiendavaid ventilaatoreid. Lisaks ei oleks see meetod igal ajahetkel nõ stardivalmis, sest parafiin peab olema vedelas olekus. Ameerikas on nn suletud proovikeha ehk meetod C mugavamaks läbiviimiseks kasutusel seade, mis lubab katsetuse teostada ilma parafiiniga. Sel puhul kasutatakse katsekeha pooride täitmiseks kilekotti, kuhu sisse katsekeha asetatakse ja misjärel õhk kilekotist vaakumiga välja imetakse. Ülejäänud protseduurid – kaalumised kuivalt, suletud katsekeha ja vees jäävad samaks. Kõnealune *corelok* seade muudab meetodi C teostamise kiiremaks ja mugavamaks. [14,15]





Joonis 3.6 Vasakul Corelok seade, paremal kile ja vaakumiga suletud katsekehaga [14]

Kuna siinne töö neid meetodeid C ja D ei käsitle, ei saa järeldusi ühegi meetodi kasuks teha, kuid katsekeha jäävpoorsuse ja selle mahumassi vahelist seost peaks põhjalikumalt uurima katsetades võimalikult suurt hulka katsekehi erinevate meetoditega. Lisaks võiks katsetustesse kaasata corelok seadme ja standardikohaste katsetustega võrreldavate tulemuste saamisel oleks uus lahendus suuremate jäävpoorsustega segude katsetamisel olemas.

Tabel 3.11 Väljavõte standardist EVS-EN 13108-20:2016, Tabel B1 [15]

Omadus	Katsemeetod
Poorsus, sh pooride bituumeniga täidetus (VFB) ja skeletipoorsus (VMA) kui $V_{max} \leq 7\%$	Kasutades mahumassi määramisel standardi EN-12697-6 protseduuri B, immutatud ja kuiva pinnaga proovikeha mahumass
Poorsus, sh pooride bituumeniga täidetus (VFB) ja skeletipoorsus (VMA) kui $7\% < V_{max} \leq 10\%$	Kasutades mahumassi määramisel standardi EN-12697-6 protseduuri C, hermetiseeritud proovikeha
Poorsus, sh pooride bituumeniga täidetus (VFB) ja skeletipoorsus (VMA) kui $V_{max} \geq 10\%$	Kasutades mahumassi määramisel standardi EN-12697-6 protseduuri D, mõõtmepõhine mahumass

Kui vaadelda laboritulemuste varieeruvust segumarkide kaupa, siis erinesid kõige rohkem AC 16 base tulemused. See on üllatav, sest too segu on siinses tabelis kõige peeneteralisem. Suure tulemuste varieerumise on tinginud katte suur jäävpoorsus. Järelikult on töö katsetulemusi arvestades määravam just katsekeha jäävpoorsus, mitte selles kasutatud segu täitematerjali omadused.

Tabel 3.12 Jäävpoorsuse laboritulemused ja nende varieeruvused sõltuvalt segu margist

<b>Segu mark</b>	<b>Keskmine varieeruvus (%)</b>	<b>keskmine jäävpoorsus (%)</b>
AC 16 base	2,1	11,7
AC 20 base	0,6	6,4
AC 32 base	1,2	7,9

Kui arvestada iga katsekeha täpselt jäävpoorsuseks nelja labori keskmine tulemus, siis saab hinnata laborite töö täpsust. Allolevas tabelis on objektide kaupa arvutatud labori keskmise tulemuse ja kogu keskmise vahe. Andmeid analüüsesid järeldub, et laborid 2,3 ja 4 hõlbivad keskmisest suhteliselt võrdsel määral. Keskmisele kõige lähedamad on labori 3 tulemused, nende erinevus keskmisest tulemusest on 0,26%. Laborite 2 ja 4 sama näitaja on vastavalt 0,33% ja 0,29%. Ühtlase pildi rikuvad labori 1 objekti B tulemused, mis erinevad teistest laboritest kardinaalselt. Selline erinevus oli tingitud valest mahumassi väärtusest.

Tabel 3.13 Laborite katsetulemuste erinevused nende keskmise suhtes

<b>Nr</b>	<b>Labor 1 (%)</b>	<b>Labor 2 (%)</b>	<b>Labor 3 (%)</b>	<b>Labor 4 (%)</b>
<b>Objekt A erinevus keskmisest</b>	0,22	0,21	0,12	0,11
<b>Objekt B erinevus keskmisest</b>	1,20	0,68	0,35	0,17
<b>Objekt C erinevus keskmisest</b>		0,40	0,36	0,76
<b>Objekt D erinevus keskmisest</b>		0,02	0,23	0,11
<b>Keskmine</b>	0,71	0,33	0,26	0,29

Kokkuvõttes võib järeldada, et katsestandardist lähtuvalt lubatud 2,2%-line katse korratavuspiir on reeglina laborites saavutatav, kuid see valmistab probleeme katte suuremate jäävpoorsuste puhul. Uurimistöös kasutatud andmete põhjal joonistub selgelt seos jäävpoorsuse ja laboritulemuste varieerumise vahel. Sellest tulenevalt saab väita, et suuremate jäävpoorsuste korral peaks mahumassi määramise meetodi valikul lähtuma poorsusest nagu on kirjeldatud standardis EVS-EN 13108-20:2016.

## 4. TIHENDUSTEGUR

Selles peatükis on välja toodud katsekehade tihendusteguri laboritulemused ning koostatud nende võrdlusanalüüs. Tihendusteguri määramiseks on puuritud katsekehad neljalt objektilt. Laborites määratakse katsekeha- ja selles kasutatud segu mahumassid ning nende kahe väärtuse suhe annab tihendusteguri. Seda saab esitada numbrilise väärtusena nullist üheni, kus 1 tähistab arvutuslikku maksimaalset segu tihendatust, või protsentuaalselt, kus 1=100%. Siinses töös kasutatakse protsentuaalseid väärtusi. Lisaks tihendustegurile võrreldakse katsekehade mahumasside tulemusi.

Mahumassi määramine toimub standardi EVS-EN 12697-6:2012 järgi, mille kohaselt on katse sooritamise korratavuspiir arvutatav alloleva valemiga[5]:

$$R = (22 + 0,6 * A) * 10^{-3} \text{ Mg/m}^3 \quad 4.1.$$

Kus:

A - 11,2 millimeetrist suurema mõõduga mineraalse täitematerjali sisaldus asfaltsegu massiprotsentides

Valemi põhjal tehtud arvutused on välja toodud peatükis 1.3 ning tihendusteguri määramise arvutuslikud korratavuspiirid tabelis 1.6. Kuna korratavuspiirid on objektiti erinevad, tuuakse need välja iga objekti analüüsis eraldi.

Katte tihendusteguri määramiseks on vajalik teada selles kasutatud segu mahumassi. Et laboritel oleks segu, mille mahumassi määrata, viidi laboritesse lisaks puurkehadele ka asfaltsegu proovid. Proovid viidi objektidest A, B ja C, mis võeti asfaltsegu laotamise ajal. Objekti D puhul seguproovide võtmise võimalust ei olnud, sest kate laotati viis aastat tagasi. Seetõttu kasutati segu mahumassi määramiseks puurkehasid. Need sulatati laboris ja saadud massist koostati seguproov.

### 4.1. Objekti A tulemused

Objektilt puuriti kahekihilisest asfaltkattest 18 katsekeha. Esimesed kümme katsekeha puuriti skeemiga viis puurkeha ligikaudu 50 cm vahedega ühelt teepoolelt ning teised viis katsekeha puuriti eelmisest seeriast ühe meetri kauguselt piketaaži liikumise suunas. Seega said esimesed kümme katsekeha võetud kattelt, mille ligikaudne pindala on 2 m<sup>2</sup>. Alumine asfaldikiht on MUK32 ning pealmine AC 20 base. MUK32 kiht eemaldati puurkehalt ning tihendusteguri määramine toimus ainult base kihile. Base segust kattekihi tihendustegur peab normide järgi olema vähemalt 97%.

Allolevas tabelis on välja toodud objekti A tihendusteguri katsetulemused. Kokku 72 katsetusest on kattekihi tihendusteguri nõuetele vastav tulemus saadud 71 korral. Objekti keskmiseks tihendusteguriks on hinnatud 99,5%, millest järeldub, et selle kate on tihendatud nõuetele vastavalt.

Kolm laborit neljast hindasid objekti keskmiseks tihendusteguriks 99% ning üks labor 101%. Sarnaselt objekti keskmisega on väga ühtlased ka üksikkehade tulemused, varieerudes keskmiselt 1,5% ja maksimaalselt 2%, kui välja jätta katsekeha nr 6 anomaalselt suur erinevus (vt tabelis 4.1 punasega markeeritud lahtrit), mille tihendusteguriks on labor 4 määranud 93%, samas kui teiste laborite sama katsekeha tulemused varieerusid 98-99% vahel. Labori 4 objekti keskmine tihendustegur on võrreldav teiste laboritega, seega on katsekeha nr 6 ekstreemne tulemus tingitud puurkeha mahumassi erinevast tulemusest laborite keskmise suhtes. Labori katseprotokollis on kõnealuse katsekeha mahumass 2,181 Mg/m<sup>3</sup>, kusjuures objekti keskmine tulemus samal laboril on 2,329 Mg/m<sup>3</sup>. Tagantjärele on võimatu hinnata, kuidas selline mahumass on saadud või kas tegemist võib olla trükiveaga andmete arvutusvalemisse sisestamisel, aga on suhteliselt kindel, et arvatud tihendustegur 93% ei vasta katsekeha tegelikule tihendustegurile.

Tabel 4.1 Objekti A AC 20 base katsekehade tihendusteguri laboritulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (%)	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
1	99	99	100	99	99	1
2	99	99	100	99	99	1
3	101	101	102	101	101	1
4	100	100	102	100	101	2
5	98	98	99	98	98	1
6	98	98	99	93	97	6
7	99	99	100	99	99	1
8	100	101	102	101	101	2
9	100	100	101	100	100	1
10	98	98	100	99	99	2
11	99	99	100	99	99	1
12	100	101	101	100	101	1
13	99	100	101	100	100	2
14	100	100	101	100	100	1
15	99	99	100	99	99	1
16	100	100	101	100	100	1
17	98	98	99	98	98	1
18	100	100	101	100	100	1
<b>Keskmine</b>	<b>99,3</b>	<b>99,4</b>	<b>100,5</b>	<b>99,2</b>	<b>99,5</b>	<b>1,5</b>

Laborid on objekti keskmist tihendustegurit väga ühtlaselt määranud, erinedes kuni 1,3%, seejuures jäävad kolme labori määrangud 0,2% sisse. Teistest eristub labor 3,

kes on püsivalt hinnanud tihendusteguri ülejäänud laboritest suuremaks. Selline erisus saab tekkida kahel juhul:

- 1) Asfaltsegu mahumassi määramisel on eksitud. See mõjutab kõikide katsekehade tihendustegurit.
- 2) Puurkehade mahumasside määramisel on eksitud. Kuna puurkehade mahumassid määratakse igale puurkehale eraldi, peab see eksimus olema kordunud kõikide katsekehade puhul ning selline süsteemne eksimine ei ole tõenäoline.

Allpool olevas tabelis on laborite määratud segu mahumasside tulemused. Tabelis punasega tähistatud lahtris on näha labori 3 tulemus, mis on võrdluses teiste laboritega väiksem. Mida väiksem on segu mahumassi väärtus, seda suurem on katsekeha tihendustegur. Seega on labori 3 keskmisest suuremad tihendusteguri väärtused tingitud segu mahumassi tulemusest. Mahumassi määramise katsestandard annab katse korratavuseks sel objektil kasutatud AC 20 base segu puhul 0,037 Mg/m<sup>3</sup> (vt tabel 1.4). Objekti asfaltsegu katsetulemused varieeruvad kuni 0,033 ühikut ning katsekehade mahumasside tulemused 0,006 Mg/m<sup>3</sup>. Mahumasside katsetulemused vastavad katse korratavuspiiridele.

Tabel 4.2 Objekti A AC 20 base katsekehade ja seguproovide mahumassid

	Labor 1	Labor 2	Labor 3	Labor 4	Keskmine
<b>Segu mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,344	2,332	2,311	2,340	2,332
<b>Katsekehade keskmine mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,326	2,320	2,322	2,321	2,322
<b>Keskmine tihendustegur</b>	<b>99,2%</b>	<b>99,5%</b>	<b>100,5%</b>	<b>99,2%</b>	<b>99,6%</b>

Tihendustegur on arvutuslik suurus ja sõltub katsekeha ning selles kasutatava asfaltsegu mahumasside suhtest. Mahumasside määramise katsestandardi korratavuspiiri järgi on võimalik arvutada teoreetiline tihendusteguri määramise korratavuspiir. Selleks tuleb arvutada tihendustegur läbi mahumasside maksimaalse ja minimaalse lubatud varieerumise. See arvutus on tehtud (vt tabel 1.6) ning tulemuseks on 0,03 Mg/m<sup>3</sup> ehk 3%. Allolevast tabelist on näha, et 17 katsekeha 18-st vastavad katse korratavuspiiridele.

Tabel 4.3 Objekti A AC 20 base katsekehade tihendusteguri laboritulemuste varieeruvused

	≤1%	2%	3%	4%	5%	> 5%
<b>Puurkehade arv</b>	13	4	0	0	0	1
<b>Osakaal</b>	72%	22%	0%	0%	0%	6%

## 4.2. Objekt B tulemused

Sarnaselt objektile A, on ka objekti B puurimised tehtud kahes seerias ning puuraukude vahekaugused on risti tee suunaga 30- 50 cm ning piketaaži kulgemise suunas 1 m. Seega puuriti mõlema seeria katsekehad alla 3 m<sup>2</sup> suuruselt pinnalt ning nii väiksel pinnal peaks kate olema ühtlane ja katsetulemused väikese varieeruvusega. Laborite katseprotokollid aga eelnevat ei kinnita. Katsekehade suurima ja vähima tulemuse vahe on keskmiselt 3%. Objektile ei ole ühtegi katsekeha, mida oleksid kõik laborid sarnaselt hinnanud, ning vaid ühel juhul on laboritulemuste erinevuseks olnud kuni 1%. Objekti keskmiseks tihendusteguriks on hinnatud 98%- kaks laborit 99% ning teised kaks 97% ja 96%.

Katsetatav ühekihiline asfaltkate koosneb AC 16 base segust, mille tihendusteguri minimaalne väärtus tohib AKEJ-i järgi olla 97%. Kolme labori keskmised tulemused vastavad tihendusteguri nõudele, kuid labori 1 tulemused mitte. Nende katsekehade tulemustest ei vasta tihendusteguri nõuetele 12 katsekeha (vt tabel 4.4 punasega märgitud lahtreid), mis teeb objekti kogukatsetustest 55%. Laboril 4 on sama näitaja 18% ning laboritel 2 ja 3 on nõuetele vastavad tihendustegurid saadud kõikide katsekehade puhul.

Tabel 4.4 Objekti B AC 16 base katsekehade tihendusteguri laboritulemused

Katsekeha nr	Labor 1 (%)	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
1	96	99	98	96	97	3
2	95	98	98	97	97	3
3	96	98	98	98	98	2
4	96	99	98	96	97	3
5	95	99	98	96	97	4
6	95	98	100	98	98	5
7	95	97	98	96	97	3
8	95	99	98	97	97	4
9	97	99	100	98	99	3
10	97	99	99	98	98	2
11	96	99	99	97	98	3
12	97	100	99	98	99	3
13	95	98	98	97	97	3
14	98	100	99	98	99	2
15	97	100	99	99	99	3
16	96	99	98	97	98	3
17	97	98	98	97	98	1
18	95	100	98	97	98	5
19	97	100	99	98	99	3
20	98	101	100	98	99	3
21	98	101	99	99	99	3
22	97	101	98	98	99	4
<b>Keskmine</b>	<b>96,3</b>	<b>99,2</b>	<b>98,6</b>	<b>97,4</b>	<b>98,0</b>	<b>3,1</b>

Tihendusteguri väärtus sõltub otseselt segu ja puurkeha mahumassist. Tihendusteguri määramise arvutuslik korratavuspiir on 0,037 Mg/m<sup>3</sup>, arvutades seda läbi mahumassi määramise katsestandardi korratavuspiiri (vt peatükk 1.3 tabel 1.4). Objektil on asfaltsegu mahumass määratud vahemikus 2,263- 2,289 Mg/m<sup>3</sup>, mis teeb varieeruvuseks 0,026 Mg/m<sup>3</sup> ehk segu mahumassi määrangud mahuvad lubatud katse korratavuspiiridesse. Puurkehade mahumasside tulemused on vahemikus 2,197- 2,247 Mg/m<sup>3</sup>. See teeb varieeruvuseks 0,05 Mg/m<sup>3</sup> ning ületab katse korratavuspiire 0,013 Mg/m<sup>3</sup> võrra.

Tabel 4.5 Objekti B AC 16 base segu ja katsekehade mahumassid

	Labor 1	Labor 2	Labor 3	Labor 4	Keskmine
<b>Segu mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,283	2,265	2,263	2,289	2,275
<b>Katsekehade keskmine mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,197	2,247	2,229	2,227	2,225
<b>Arvutuslik tihendustegur</b>	<b>96,2%</b>	<b>99,2%</b>	<b>98,5%</b>	<b>97,3%</b>	<b>97,8%</b>

Katsetulemuste suure varieeruvuse tingis labori 1 väga madal tulemus. Mida madalam on katsekehale määratud mahumass, seda väiksem on keha tihendustegur. Katsekeha mahumassi 0,03 Mg/m<sup>3</sup> võrra muutudes muutub katsekeha tihendustegur siinse objekti puhul 1,3%.

Objekti B puhul vastasid tihendusteguri katse arvutuslikule korratavuspiirile 78% tulemustest.

Tabel 4.6 Objekti B AC 16 base katsekehade tihendusteguri laboritulemuste varieeruvused

	≤1%	2%	3%	4%	5%	> 5%
<b>Puurkehade arv</b>	1	3	13	3	2	0
<b>Osakaal</b>	5%	14%	59%	14%	9%	0%

### 4.3. Objekti C tulemused

Sel objektil katsetati tihendustegurit kümnel katsekehal, mis puuriti AC 32 base seguga kattekihilt. Tihendusteguri määramiseks on vajalik teada katsekeha mahumassi ja selles kasutatud asfaltsegu mahumassi. Viimase määramiseks võeti objektil katte paigaldamise ajal seguproovid, mis viidi koos puurkehadega laboritesse. Laborid 2 ja 4 said puurkehadega kaasa 12 kg asfaltsegu, labor 3 sulatas puurkehad ning määras saadud massist erimassi. Kuna laborile 1 ei jagunud segu proove ega ka katsekehi segu proovi koostamiseks, siis nemad katses ei osalenud.

Allolevast tabelist on näha, et laborid on hinnanud katsekehade tihendustegurit suhteliselt võrdselt. Maksimaalne varieeruvus on 1% ning objekti keskmine varieeruvus 0,4%. Objekti keskmiseks tihendusteguriks on määratud 99% ning sellest erineb ainult labori 3 keskmine tulemus, olles 98%.

Tabel 4.7 Objekti C AC 32 base katsekehade tihendusteguri laboritulemused

Katsekeha nr	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
1	98	98	98	98	0
2	98	98	98	98	0
3	99	99	99	99	0
4	100	99	100	100	1
5	99	98	99	99	1
6	98	98	98	98	0
7	97	97	98	97	1
8	99	98	99	99	1
9	99	99	99	99	0
10	99	99	99	99	0
<b>Keskmine</b>	<b>98,6</b>	<b>98,3</b>	<b>98,7</b>	<b>98,6</b>	<b>0,4</b>

Objekti asfaltsegu AC 32 base tihendusteguri määramise arvutuslik korratavuspiir on 0,04 Mg/m<sup>3</sup> ehk 4%. Objektile C vastavad sellele kõik katsetused.

Tabel 4.8 Objekti C AC 32 base katsekehade tihendusteguri laboritulemuste varieeruvused

	≤1%	2%	3%	4%	5%	> 5%
<b>Puurkehade arv</b>	10	0	0	0	0	0
<b>Osakaal</b>	100%	0%	0%	0%	0%	0%

Mahumassid määratakse katsestandardi EVS-EN 12697-6:2012 järgi, mille tegemise korratavuspiir on 0,049 Mg/m<sup>3</sup>. Objekti C segu mahumasside määratud tulemused jäävad vahemikku 2,363- 2,381 Mg/m<sup>3</sup>, mis teeb katsetulemuste maksimaalseks erinevuseks 0,018 Mg/m<sup>3</sup> ning see tulemus mahub lubatud korratavuse piiridesse. Katsekehade mahumasside määrangud jäävad vahemikku 2,323- 2,347 Mg/m<sup>3</sup> ning ka nende tulemuste varieeruvus jääb kindlalt katse korratavuse piiridesse.

Tabel 4.9 Objekti C AC 32 base katsekehade ja segu mahumassid

	Labor 2	Labor 3	Labor 4	Keskmine
<b>Segu mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,363	2,365	2,381	2,370
<b>Katsekehade keskmine mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,328	2,323	2,347	2,333
<b>Arvutuslik tihendustegur</b>	<b>98,5%</b>	<b>98,2%</b>	<b>98,6%</b>	<b>98,4%</b>



## 4.4. Objekti D tulemused

Objekt D valmis viis aastat enne puurkehade võtmist. Kuna kate on olnud pikalt liikluskoormuse all, peaksid sellelt võetud puurkehad olema ühtlase tihendusteguriga, sest kui tööde käigus oleks üks lokaalne koht halvasti tihendatuks jäänud, oleks see liikluskoormusest järeltihendatud. Kokku puuriti objektilt 15 kahekihilist katsekeha. Kulumiskiht oli AC 12 surf ning alumine kiht AC 20 base. Kuna kate oli paigaldatud varem, siis ei saanud selle objekti puhul katsetamisele seguproove kaasa saata. Seega sai tihendustegurit määrata ainult katsekehade sulatamisest saadud segu mahumasside põhjal. Segu proovi saamiseks piisas viiest katsekehast. Laborisse 2 viidi kõik 15 katsekeha, kus määrati segu mahumass katsekehade 1-5 sulatamisel saadud segust. Labor 2 sai määrata kõigi 15 katsekeha jäävpoorsuse tulemused, kuid katsekehade 1-5 tulemusi töö ei kajasta, sest nendele ei oleks võrdlusandmeid. Allesjäänud kümme katsekeha jagati kahe labori vahel, kus mõlemad määrasid segu erimassi kehade sulatamisel saadud segust. Kokkuvõttes tekkis tulemuste põhjal andmete võrdlustabel kümne katsekeha kohta, kokku 20 tulemusega.

Objekti D keskmiseks tihendusteguriks on laborid määranud 101,5%. AC 20 base segust asfaltkate peab ehitamisel saavutama tihedusteguri 97%. Tihedustegur üle 100% viitab katte ületihendamisele kuid antud juhul ei ole seda teinud teerullid, vaid kate on oma tiheduse saavutanud peale valmimist liikluskoormuse mõjul. Asfaltkate järeltihenedamine toimub peale katte valmimist liikluskoormuse surve- ja nihkepingete tõttu. Aja jooksul muutuvad tihedamaks just base segust ehitatud kihid kuna nende jäävpoorsus on algselt suurem ja nad ei ole liiklusele ega ilmastikule avatud. [13]

Tabel 4.10 Objekti D AC 20 base katsekehade tihendusteguri laboritulemused

Katsekeha nr	Labor 2 (%)	Labor 3 (%)	Labor 4 (%)	Keskmine (%)	Varieeruvus (%)
6	103		101	102,00	2,00
7	101		100	101,00	1,00
8	101		100	101,00	1,00
9	101		100	101,00	1,00
10	102		101	102,00	1,00
11	102	101		102,00	1,00
12	101	99		100,00	2,00
13	101	99		100,00	2,00
14	102	101		102,00	1,00
15	102	101		102,00	1,00
<b>Keskmine</b>	<b>101,7</b>	<b>100,2</b>	<b>100,4</b>	<b>101,5</b>	<b>0,9</b>

AC 20 base puhul on katte mahumassi määramise katse korratavuspiir 0,037 Mg/m<sup>3</sup>. Sel objektil on segu mahumassid määratud vahemikus 2,433- 2,487 Mg/m<sup>3</sup>. See teeb

varieeruvuseks 0,054 Mg/m<sup>3</sup>, mis ületab katsele lubatud korratavust 1,5-kordselt. Puurkehade mahumasside tulemused varieeruvad 0,006 Mg/m<sup>3</sup> ja see tulemus mahub katse korratavuspiiridesse.

Tabel 4.11 Objekti D mahumasside tulemused

	<b>Labor 2</b>	<b>Labor 3</b>	<b>Labor 4</b>	<b>Keskmine</b>
<b>Segu mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,458	2,433	2,487	2,459
<b>Katsekehade keskmine mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	2,500	2,494	2,497	2,497
<b>Arvutuslik tihendustegur</b>	<b>101,7%</b>	<b>102,5%</b>	<b>100,4%</b>	<b>101,5%</b>

Objekti D base segust katte arvutuslik tihendusteguri varieeruvus tohib olla 0,03 Mg/m<sup>3</sup>. Sellele tingimusele vastavad kõik kümne katsekeha laboritulemused.

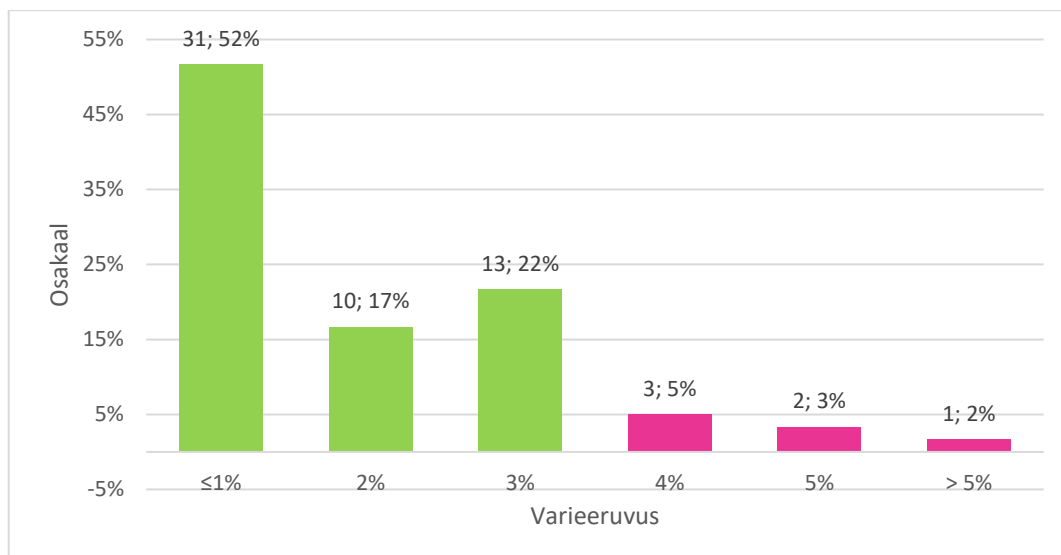
Tabel 4.12 Objekti D AC 20 base katsekehade tihendusteguri laboritulemuste varieeruvused

	<b>≤1%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>5%</b>	<b>&gt; 5%</b>
<b>Puurkehade arv</b>	7	3	0	0	0	0
<b>Osakaal</b>	70%	30%	0%	0%	0%	0%

## 4.5. Kokkuvõte

Uurimistöös tehti kokku 60 puurkeha tihendusteguri katsetused neljas laboris ning kokku analüüsiti 155 laboritulemust. Peatükk jagati objektide kaupa neljaks, sest kõikidel oli teekate ehitatud erinevast asfaltsegust. Laboritulemuste võrdlus käib kahe näitaja, tihendusteguri ja mahumassi alusel. Kuna tihendustegur on arvutuslik suurus, ei ole selle määramiseks katsestandardit ega norme mille järgi laborite tööd hinnata. Seetõttu on arvutatud tihendusteguri määramise arvutuslik korratavuspiir läbi mahumassi määramise korratavuspiiri. Mahumassi määratakse standardi EVS-EN 12697-6:2012 järgi, mis kirjeldab ka katse korratavuspiiri. See piir on sõltuv segutüübist. Siinses töös kasutatavate segude mahumassi korratavusepiirid on arvutatud peatükis 1.3.

Tihendusteguri määramise laboritulemuste keskmine varieeruvus on 1,9%. Arvutuslikku korratavuse piiri on ületatud 10% katsekehade puhul. Suhteliselt ühtlased tulemused, aga tuleb meeles pidada, et AKEJ-i kohaselt peab base segust katte tihendustegur olema vähemalt 97% ning reeglina jäävad nad vahemikku 97%-101% ehk 4% piiresse.

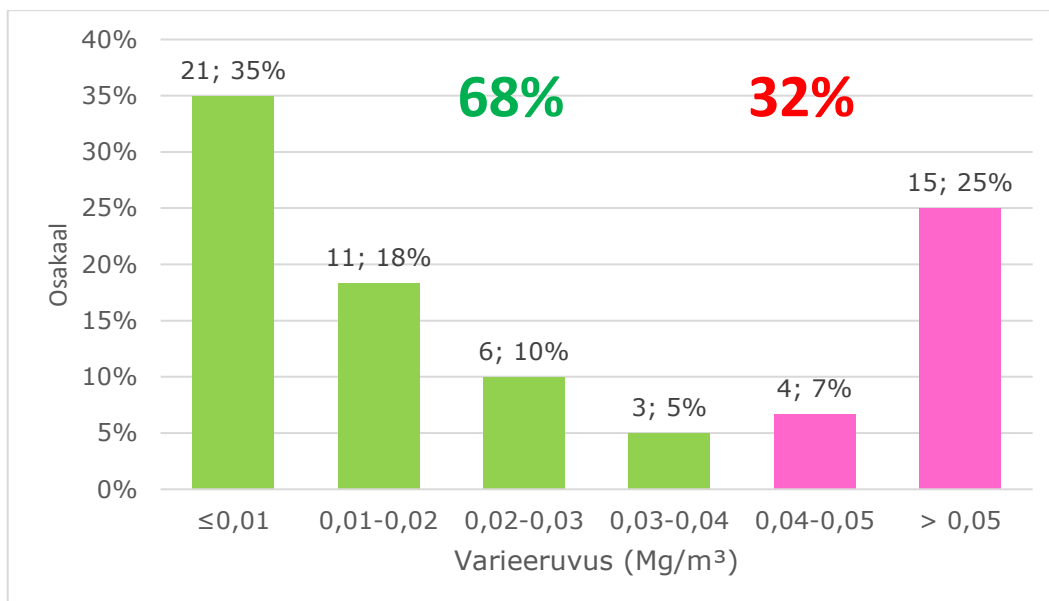


Joonis 4.1 Tihendusteguri laboritulemuste varieeruvus

Kuna tihendustegur arvutatakse katsekeha mahumassi ja selles kasutatud segu mahumassi alusel ning mahumasside määramiseks on katsestandardist tulenevad korratavuspiirid, on tehtud võrdlused mahumasside määrangute kohta. Puurkehade mahumass on määratud kokku 60 katsekehale ja kogu katsetuste arv on 155. Mahumassi määramise katsestandardi kohaselt on katse korratavuspiir olenevalt segumargist 0,025- 0,050 Mg/m<sup>3</sup>. Siinses uurimistöös vaatluse all olevate asfaltsegude vastavad väärtused on AC 16/20 base segu puhul 0,037 Mg/m<sup>3</sup> ning AC 32 base segu puhul 0,049 Mg/m<sup>3</sup>. Lihtsuse huvides on töös katse korratavuspiirideks arvestatud kuni 0,04 Mg/m<sup>3</sup> ning sellele tulemusele vastab 68% tulemustest. 15 katsekeha puhul on määratud mahumassi tulemuste varieeruvus üle 0,05 Mg/m<sup>3</sup>. Kõige suuremad katsetulemuste varieeruvused on AC 16 base segus puhul, mis on katses osalenud segudest kõige peeneteralisem kuid kõige mille kate on kõige väiksema tihendusteguriga. Madala tihendusteguri tõttu on 16 base kattel kõrge jäävpoorsus ning sellest omakorda on tingitud suured laboritulemuste erinevused mahumasside määramisel, sest meetod B, mille järgi katsekehade mahumassid määratakse, ei sobi üle 7% jäävpoorsusega katte mahumassi määramiseks. Peatükis on antud probleemi täpsemalt kirjeldatud (vt lk 66).

Tabel 4.13 Mahumassi määramise katsetulemuste varieeruvus segutüübist ja tihendustegurist sõltuvalt. Kus R- määratud mahumasside keskmine varieeruvus

Segumark	R (Mg/m <sup>3</sup> )	Lubatud R (Mg/m <sup>3</sup> )	keskmine tihendustegur
AC 16 base	0,054	0,037	98
AC 20 base	0,011	0,037	100
AC 32 base	0,024	0,049	99



Joonis 4.2 Katsekehade mahumasside laboritulemuste varieeruvus

## 5. MAHAARVAMISED KIHIPAKSUSE VÄHENEMISEST

Riigiteedel teostatavad ehitustööd peavad puudusteta vastama lepingu nõuetele. Juhul kui valminud ehitustöös ilmnevad puudused, kuid töö ümbertegemiseks puudub otsene vajadus, saab rakendada vastuvõtueeskirjas viidatud reeglistikku, mille alusel arvutatakse ebakvaliteetse töö eest mahaarvamisi (töö hinna vähendamisi), Vastuvõtueeskirjas on erinevatele katte omadustele sätestatud vahemikud, mille piires saab mahaarvamisi teha ilma, et tee kvaliteet ja funktsionaalsus oluliselt kannataks [1]. Ilmestamaks laboritulemuste tähtsust tööde üleandmise ja vastuvõtmise protseduuride juures, koostati töös kasutatavate laboritulemuste põhjal mahaarvamiste tabel. Nende arvutamiseks koondati katsekehad seeriatesse sarnaselt AKEJ-le, kus vuugi puudumisel arvutatakse katte keskmine paksus 500 m lõigul kahe puurkeha kaudu. Seeriad koondati ühes ristlõikes puuritud katsekehade, mistõttu on osa seeriates kaks, osades kolm puurkeha. Kokku moodustati 43 seeriat. Selline kogus puurkehade seeriaid vastab 5,5 kilomeetrisele kahekihilise või 11-kilomeetrisele ühekihilise asfaltkattega teelõigule. Seeria keskmine kihipaksus on võrdeline selles sisalduvate katsekehade kihipaksuste aritmeetilise keskmisega ja tulemus ei ole ümardatud.

Andmete analüüsimiseks arvutati iga objekti keskmine kihipaksus, millest lahutati 2% ning tulemus ümardati täisarvu millimeetrini. Saadud tulemusest sai objekti projektne kihipaksus ja sellest väiksema kihipaksusega seeriale arvutati mahaarvamine. Eesmärgiks oli luua olukord, kus igale objektile tekivad mahaarvamised, saamaks võrrelda laboritevahelisi erinevusi. Tulemuseks on 60 mahaarvamist 172 seeria kohta, mis teeb trahviliste seeriade osakaaluks 35%.

Seeria ulatuseks on AKEJ-le sarnaselt 500-meetrine teelõik ning teekatte laiuks on määratud 9 m, mis teeb ühe seeria mõjualaks 2250 m<sup>2</sup>. Et mahaarvamisele tekiks rahaline mõõde, on kattele antud ruutmeetri maksumus 6 eurot.

Mahaarvamiste arvutamine toimus vastavalt vastuvõtueeskirja punktile 3.3.4, mis ütleb, et kui kattekihi paksus mingil teelõigul, ristmikul, laiendusel vm on väiksem projekteeritust, vähendatakse katteprooviga haaratud pindala ulatuses makstavat tasu summa võrra, mille suurus arvutatakse järgmise valemiga [1]:

$$A = 0,01 * 0,3 * \left( \frac{h_{proj} - h_{keskm}}{h_{proj}} \right)^2 * H * F \quad (5.1)$$

Kus:

$h_{proj}$  – projekteeritud kihipaksus

$h_{keskm}$  – tee ristlõiget iseloomustavate katsekehade keskmine kihipaksus

F – prooviga haaratud katte pindala m<sup>2</sup>

H – katte hind €/m<sup>2</sup>

Tehtud arvutustulemused on välja toodud tabelis 5.1, kus on laborite kaupa näha mahaarvamiste summad objekti katsekehade seeriatele. Tabelist nähtub, et laboritevahelised erinevused on väga suured, olles labori 2 kohta kokku ca 11 000 eurot, kuid ulatudes labori 4 puhul kuni 45 000 euroni. Neljakordne erinevus on tekkinud peamiselt MUK kihi katsekehade nr 9 ja 10 erinevast määrangust, kus seeria kihipaksuse erinevus 5,5 mm tingib mahaarvamise suurima erinevuse, milleks on ca 10 000 eurot (tabelis 5.1 punased lahtrid). Kõnealuse seeria mahaarvamise summa erinevus on samas suurusjärgus labori 2 kogu objekti mahaarvamisest. Labori 2 mõõtmistulemuste põhjal saab mahaarvamisi rakendada kümnel juhul 34-st ning labori 4 puhul peaaegu poole rohkem, 19 juhul.

Tabel 5.1 Laboritulemuste põhjal arvatatud mahaarvamised

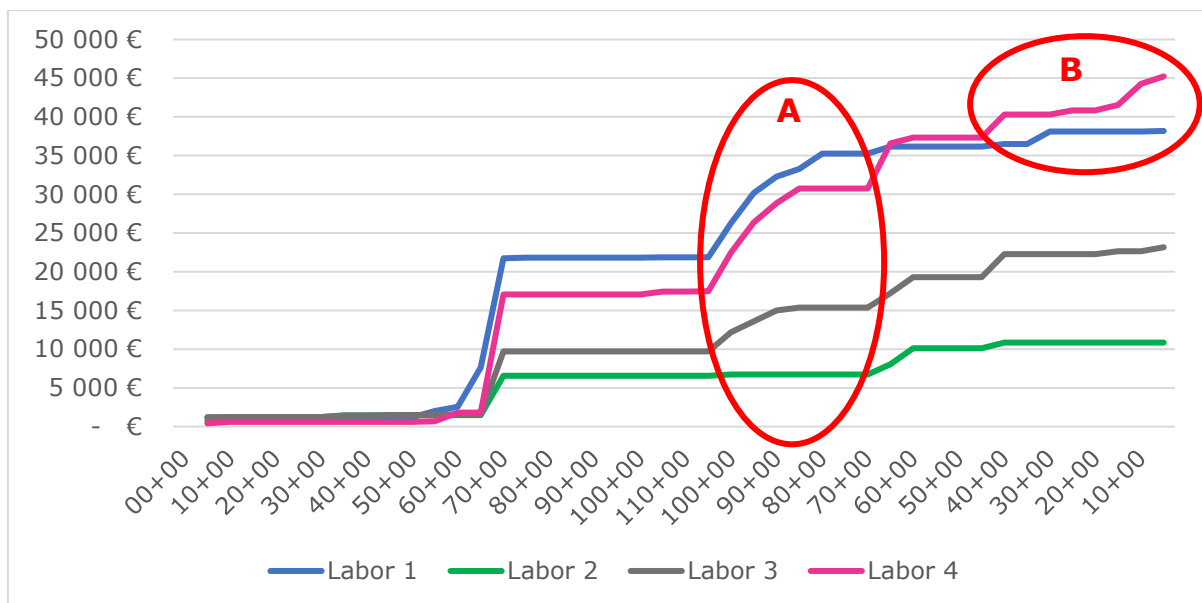
Objekt, kattekiht	puurkeha nr	Seeria mahaarvamised (€)			
		Labor 1	Labor 2	Labor 3	Labor 4
A, base	1,2	1 196	766	1 196	431
A, base	3,4	0	431	48	191
A, base	4,6	0	0	0	0
A, base	7,8	0	0	0	0
A, base	9,10	0	48	0	0
A, base	11,12	0	0	0	0
A, base	13,14	0	191	191	0
A, base	15,16	0	0	0	0
A, base	17,18	0	48	48	0
A, MUK	1,2	0	0	0	0
A, MUK	3,4	812	0	90	90
A, MUK	4,6	564	0	0	1 105
A, MUK	7,8	5 075	0	0	0
A, MUK	9,10	14 097	5 075	8 142	15 247
A, MUK	11,12	90	0	0	23
A, MUK	13,14	0	0	0	0
A, MUK	15,16	0	0	0	0
A, MUK	17,18	0	0	0	0
B, base	1,2	0	0	0	0
B, base	3,4,5	0	0	0	0
B, base	6,7	39	0	0	350
B, base	8,9,10	0	0	0	0
B, base	11,12	0	0	0	39
B, base	13,14,15	4 429	156	2 491	5 000
B, base	16,17	3 893	0	1 401	3 893
B, base	18,19,20	2 093	0	1 401	2 491
B, base	21,22	973	0	350	1 907
C, base	1,2	2 002	0	0	0
C, base	3,4,5	0	0	0	0
C, base	6,7	0	0	0	0
C, base	8,9,10	890	1 329	1 857	5 812
D, surf	1,2	0	2 066	2 066	744
D, surf	3,4,5	0	0	0	0

D, surf	6,7	0	0	0	0
D, surf	8,9,10	0	0	0	0
D, surf	11,12	331	744	2 976	2 976
D, surf	13,14,15	0	0	0	0
D, base	1,2	1 640	0	0	0
D, base	3,4,5	0	0	0	536
D, base	6,7	0	0	0	0
D, base	8,9,10	0	0	372	729
D, base	11,12	0	0	0	2 711
D, base	13,14,15	60	0	536	952
<b>Mahaarvamised kokku (€)</b>		<b>38 184</b>	<b>10 854</b>	<b>23 166</b>	<b>45 227</b>
<b>Mahaarvamiste osakaal katte maksumusest</b>		<b>6,6%</b>	<b>1,9%</b>	<b>4,0%</b>	<b>7,8%</b>

Kujuteldava 11 km teelõigu asfaltkatte kogupindala on 96 750 m<sup>2</sup> ning asfaltkatte kogumaksumus 580 500 eurot. Mahaarvamiste osakaal kogu katte maksumusest jääb vahemikku 1,9- 7,8%.

Alloleval graafikul on kujutatud eri laborite mahaarvamisi kumulatiivselt 11-kilomeetrisel teelõigul. Horisontaalteljeks objekti piketaaž mõlemale sõidusuunale eraldi ning vertikaalteljel mahaarvamiste kumulatiivne summa. Jooniselt nähtub, et trahvisummat kujutav joon liigub laboritel suhteliselt samaaegsete astmetega kuid astme kõrgus on erinev. Laboritel 1 ja 4 on astmed püsivalt suuremad kui laboritel 2 ja 3, millest järeldeb, et laboritevahelised erinevused kihipaksuse mõõtmisel alluvad teatud seaduspärale. Graafik ilmestab laboritevahelist mõõtetulemuste erinevuste seaduspärasust- ühe labori tulemused on püsivalt samas suunas erinevad kui teisel, näiteks labori 2 mõõtmistulemused on püsivalt suuremad kui teistel laboritel.

Joonisel on kaks piirkonda kus mahaarvamiste summad ei suurene kõikidel laboritel samaaegselt. Kuni esimese sõidusuuna lõpuni on laborite mahaarvamisi kujutav joon suhteliselt ühetaktiline, kuid vahemikus PK 100+00 kuni PK 70+00, tõusevad kõikidel laboritel trahvisummad peale labori 2, kes hindab kõnealust 3 km lõiku täielikult kvaliteetseks (vt joonisel 5.1 piirkond A). Teine piirkond asub objekti lõpus viimasel kolmel piketil, kus labori 4 mõõtmistulemuste põhjal kujuneb mahaarvamise suuruseks üle 4000 euro, kusjuures teistel laboritel selles piirkonnas mahaarvamised praktiliselt puuduvad (vt joonisel 5.1 B).



Joonis 5.1 Samade suurkehade erinevates laborites katsetatud kihipaksuse mõõtmistulemuste põhjal kalkuleeritud mahaarvamiste kumulatiivne kujutamine 11 kilomeetrisel maanteelõigul

See eksperiment on tehtud kujuteldavale objektile ning projektne kihipaksus on tuletatud laborite keskmisest tulemusest. Seepärast ei saa mahaarvamise osakaalu katte maksumuse suhtes reaalse eluga võrrelda, kuid laboritevahelisi mahaarvamiste erinevusi saab vaadelda küll. Arvutustulemused näitasid, et Maanteeameti juhistes laborikatsetuse mõõtemääramatuse mitteamestamine võib katte ehitajale maksma minna tuhandeid eurosid ühe kilomeetri ehitatud asfaltkatte kohta.



## 6. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

Antud peatükis on esitatud autori järeldused ning ettepanekud toetudes uurimistöös tehtud analüüsidele.

1. Kihipaksuse laboritulemuste võrdluses selgus, et kehtiva puurkehadest asfaltkatte paksuse määramise standardi EVS-EN 12697-36:2003 korratavuspiirid (1,8 mm) ei ole laborite poolt reeglina saavutatavad. Surf kihist katte puhul on katsetuste korratavuspiir ületatud 51%, base kihist katte puhul 94% katsetustest. Sama järeldus ka eksperimendist, kus katsekeha mõõdeti neljast punktist vastavalt kehtivale standardile ning tehti seda seitse korda selliselt, et mõõtmispunktid ei kordunud. Need seitse tulemust varieerusid 4mm piires, keskmiselt 3mm. Laborite poolt mõõdetud 98 katsekeha tulemuste keskmine varieeruvus oli 5 mm, seejuures kõige alumise asfaldikihi korral 6 mm ning alates teisest asfaldikihist 3mm. Uurimusest järeldus, et kattekihi puhul mis asetseb ebatasasel alusel, ei tohiks kihipaksuse määramise katse korratavuspiir olla väiksem kui 4mm. Arvestades töös kasutatud laboritulemusi, peaks antud piir olema veelgi suurem, olenevalt asfaltsegust kuni 6mm. Nii standardis kui vastuvõtu toimingutes käsitletakse kattekihte sõltumata nende asukohast kattes, kuid töö järeldusena ei saa sellist lähenemist õigeks lugeda. Järgnevalt loetelu võimalike parandusettepanekutega;
  - Arvestada riigiteede ehitustööde vastuvõtmisel kattekihi paksuse määramise katse teostamise mõõtemääramatusega. Hetkel on katsestandardi korratavuspiir 1,8 mm kuid vastuvõtujuhises lubatud tolerantsid puuduvad. Võimalus oleks mõõtemääramatusega arvestamine juhendisse sisse viia selliselt, et juhul kui vahetuse jooksul paigaldatud segukogus vastab projekteeritud kogusele, arvestatakse üksikute puurkehade või seeriade puhul 5% tolerantsi. Asfaltkatte kihipaksuse vähenemise lubatud tolerants 5% kehtis kuni aastani 2014, kuid juhiste uute redaktsioonidega kaotati hälvete lubamine.
  - Asfaltkatte paksuse määramise Standard EVS-EN 12697-36:2003 korratavuspiirid tuleks viia vastavusse arvestades tegelikke katsetulemusi. Muuta katse korratavuspiirid kattekihist sõltuvaks ning lisada alumise asfaldikihi paksuse mõõtmisprotseduurile täiendavalt 4 mõõtmist. Andmete analüüs näitas, et kõige alumise asfaldikihi puhul, mis asetseb killustikalusel või mõnel muul ebatasasel pinnal, määratakse kihipaksus keskmise varieeruvusega 6 mm (vt joonis 2.17). Mõõtmiskordade suurendamine kaheksale muudaks katsetulemuste varieerumise ligi kaks korda väiksemaks (vt joonis 2.14).

2. Jäävpoorsuse määramise katsetulemustest selgus, et standardist EVS-EN 12697-8:2018 tulenev katse korratavuspiir on täidetud madalamate jäävpoorsuste korral kuid katte üle 10% poorsusnäitajate juures ületavad selle. Ilmnes selge seos katsekeha jäävpoorsuse ja sellele määratud mahumasside tulemuste varieeruvuse vahel (vt joonis 3.5). Üle 10 % jäävpoorsusega puurkehasid katsetati 22 korral, neist 8 juhul ületati katse korratavuspiir (2,2%) ning katsetuste keskmine varieeruvus oli 2,1%. Antud töös kasutatavate andmete põhjal saab väita, et mahumassi määramine katte suuremate jäävpoorsuste  $\geq 10\%$  puhul standardi EVS-EN 12697-6:2012 meetod B järgi on ebatäpne või suurema mõõtemääramatusega. Selliste omadustega katsekehade korral peaks kasutama meetodeid C või D. Meetodite rakendamist vastavalt katte poorsusele kirjeldab standard EVS-EN 13108-20:2016, kuid reeglina kasutatakse Eestis meetodit B. Täiendavate uuringute ja katsetustega võiks analüüsida teiste meetoditega saadud tulemusi, kuid kuni täiendavaid uuringuid ei ole, tuleks lähtuda katsetuste teostamisel EVS-EN 13108-20:2016 standardist ning katte kvaliteedi hindamisel valida meetod vastavalt kattekihi poorsusele.
- Kui meetod C ehk suletud katsekeha meetod muudab katse teostamise keerukaks ja aeganõudvaks, võiks katsekeha sulgemiseks kasutada *Corelok* seadet (vt joonis 3.6). Ameerikas laialdasemalt kasutatava meetodi järgi suletakse katsekeha plastikkotti misjärel eemaldatakse kotist õhk vaakumiga. Seega on katsekeha poorid paari minutiga suletud ning saab teostada katsekeha kaalumise vees.
3. Tihendustegur on katsekeha ja selles kasutatud segu mahumassi suhe. Mahumassid määratakse vastavalt katsestandardile EVS-EN 12697-6:2012, mis määrab ka katse korratavuspiirid ja selle kaudu on võimalik arvutada tihendusteguri määramise korratavuspiirid. Selleks arvutati tihendustegur erinevate mahumassidega, varieerides nende väärtusi lubatud katse mõõtemääramatuse piires (vt tabel 1.5). Tulemuseks saadi tihendusteguri arvutuslikud korratavuspiirid base segude puhul 0,03-0,04 Mg/m<sup>3</sup> ehk 3-4% ning surf segude puhul 0,02-0,03 Mg/m<sup>3</sup> ehk 2-3%. AKEJ kohaselt on kattekihtide lubatud tihendustegurid alates 97% ja 98%. Seega on teoreetiliselt võimalik stsenaarium kus laborisse viiakse 98% tihendusteguriga katsekeha, millele määratakse laboris tihendusteguriks 95% ning seejuures on katse korratavuse tingimused täidetud. Olukorra muudab hullemaks asjaolu kui laborid ei suuda katsekeha mahumasse katse korratavuspiirides määrata – see juhtus käesolevas töös 32% katsekehade puhul. Eelnevast saab järeldada, et asfaltkatte tihendusteguri lubatud piirväärtused AKEJ-s ja kvaliteedimääruses on laborite mõõtemääramatust arvestades liiga kitsas vahemikus.

## KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli analüüsida laborite katsetulemusi asfaltkatte kvaliteedi hindamisel, uurida nende vastavust katse korratavuspiiridele ja arvutada tulemuste varieeruvusest tingitud katte mahaarvamised. Selleks puuriti katsekehad neljalt objektilt ja viidi katsetamiseks nelja laborisse. Laborites mõõdeti nende kihipaksused, määrati jäävpoorsused ja tihendustegurid. Kuna jäävpoorsuse ja tihendusteguri määramiseks on vaja teada katsekehas sisalduva materjali mahumass, viidi laboritesse katsekehadele lisaks ka seguproovid. Püstitatud eesmärkide saavutamiseks analüüsiti saadud katsetulemusi, arvutati nende varieeruvused ja mahaarvamiste suurused. Lisaks tehti kattekihi paksuse mõõtmine eksperimentaalsel meetodil, mis andis hea võrdluse laboritulemustega ja aitas mõista kihipaksuse mõõtmisprotseduuri. Sõltuvalt analüüsi tulemusest pakuti välja võimalikud muudatus- ja parandusettepanekud laborite tööprotsessides või juhistes.

Kihipaksuse katsetulemuste analüüsist selgus, et standardis sätestatud korratavuspiirid ei ole alati saavutatud. Töös kasutati kokku 98 katsekeha, mis neljas laboris katsetatuna andis kokku 392 mõõtmistulemust. Katse lubatud korratavuspiir on 1,8 mm. Antud piir saavutati kokku 10 katsekeha puhul. 20 katsekeha tulemused mahtusid 2,0 mm piiresse, kuid peaaegu pooltel kordadest- 48%, oli katsetulemuste varieeruvus vähemalt 5mm. Andmete analüüsist selgus, et katsetulemuste varieeruvus sõltus asfaltsegust ja mõõdetava kihi asukohast katendis. Alumiste base ja MUK segudest katete korral, mis asetsesid killustik või kompleksstabiliseeritud alusel, oli mõõtmistulemuste keskmiseks varieeruvuseks 5,9 mm. Sama näitaja alates teisest asfaldikihist oli 3,2 mm. Töös teostati eksperimentaalne kihipaksuse mõõtmine, kus puurkeha mõõdeti 30 punktis. Selle tulemus kinnitas standardikohase kattekihi tulemuse ebatäpsust ühekihilise katte korral, andes sama katsekeha 4 mõõtmise tulemuse varieeruvuseks läbi 7 korduse keskmiselt 3 mm ja maksimaalselt 4 mm. Eksperimenti korrati erinevate mõõtmiskordadega ja selle tulemusena järeldus, et mõõtmiskordade suurendamisega väheneb tulemuste varieeruvus. Suurendades mõõtmiste arvu neljalt kaheksale, vähenes tulemuste varieeruvus 3-lt 1,5-le mm. Kihipaksuse mõõtmistulemuste analüüsi järelduseks on: asfaltkatte paksuse määramine puurkeha nelja mõõtmistulemuse keskmisena ei taga katsestandardile vastavat täpsust alumiste asfaldikihtide korral ja nende kihtide puhul võiks laboris mõõtmiskordasid suurendada neljalt kaheksale, et saada õiglasem hinnang paigaldatud asfaltkatte paksusele.

Neidsamu kattekihi paksuse laboritulemusi kasutati katte mahaarvamiste ehk trahvide arvutamiseks, kasutades selleks riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskirjas olevat valemit. Kõikide laborite tulemustega arvutati 90 katsekeha tulemuse põhjal

mahaarvamiste summa ning suurima ja vähima trahvisumma erinevus oli rohkem kui neljakordne.

Jäävpoorsuse tulemuste analüüsimiseks kasutati kokku 60 katsekeha. Katsestandardi kohaselt on katse korratavuspiir 2,2%. Korratavuspiiridesse mahtus 73% katsekehade tulemustest ning katsetulemuste keskmine varieeruvus oli 1,3%. Kõige suuremad tulemuste varieerumised tekkisid AC 16 base segu puhul, kus korratavuspiir ületati 8 korral 22st ning keskmine varieeruvus oli 2,1%. Katsetulemusi analüüsidest ilmnes korrelatsioon katsekeha jäävpoorsuse ja sellele määratud tulemuste varieeruvuse vahel - mida suurem on katte poorsus, seda suurem varieeruvus laboritulemustes. Töö autori hinnangul on korrelatsioon seletatav läbi katsetamisprotseduuri, kus mahumassi määratakse Eesti laborites pea eranditult standardi EVS-EN 12697-6:2012 protseduur B järgi, olenemata katsekeha tegelikest omadustest. Vastavalt standardile EVS-EN 13108-20:2016 peaks mahumassi määramine toimuma arvestades katsekeha eeldatavat jäävpoorsust, valides protseduuride A,B,C või D vahel ning selle järgi peaks meetodit B kasutama nende katete puurproovide korral, mille jäävpoorsus jääb alla 7%. Antud töös määrati kõik mahumassid protseduur B järgi. Tulemuste täpsuse huvides, eesmärgiga anda vastvalminud asfaltkatele objektiivne hinnang, tuleks siiski EVS-EN 13108-20:2016 toodud piire arvestada ja poorsemate (üle 7% jäävpoorsusega) kihtide korral kasutada protseduure C või D. Autori hinnangul on need protseduurid vähekasutatavad, sest on aeganõudvad ja keerukad (eelkõige meetod C).

Tihendustegur määrati kokku 60 katsekehale ja saadud tulemuste keskmine varieeruvus oli 1,9%. Tihendusteguri määramiseks ei ole katsestandardit, sest tegemist on arvutusliku suurusega, aga et katsetulemuste võrdlus oleks numbriliselt hinnatav, tehti eksperiment ja arvutati teoreetiline tihendusteguri määramise korratavuspiir läbi mahumassi määramise katsestandardi korratavuspiiri. Saadud suurus on segu tüübist sõltuv ja jääb base segude puhul vahemikku 3-4%. Laboritulemused vastasid arvutuslikule korratavuspiirile 68% katsekehade puhul. Mittevastavad tulemused olid tingitud poorsemate katsekehade mahumassi tulemuste suurest varieeruvusest.

Töö autor sai hea ülevaate laborites tehtavate katsetuste ja neid reguleerivate standardite kohta. Asfaltkatte kvaliteedi hindamisel on laborite täpne töö ülimalt tähtis, kuid kõikidele katsetustele kehtivad mõõtemääramatused ja seepärast peaks kõigi osapoolte ühine huvi olema nõuete, eeskirjade viimine reaalse eluga vastavusse. Eesmärgiks peaks olema vastvalminud asfaltkatte kvaliteedi objektiivne hindamine, mitte ebausaldusväärsete andmete põhjal ehitaja trahvimine. Antud magistritöös käsitletud teemasid ja kasutatud andmeid on võimalik kasutada järgnevatel uurimistöodes või nende planeerimisel.

## **SUMMARY**

### **ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE QUALITY OF ASPHALT PAVEMENTS**

The objective of this thesis was to analyse different methodologies used to determine the quality of asphalt pavement, investigate conformity of these methods with reproducibility limits declared in the applicable test standards, and calculate the pavement price deductions (penalties) for the variability of these results. Test specimens (cores) were extracted by drilling from four different sites and delivered to four laboratories for testing. The laboratories then determined the thickness of each layer of the cores and determined their void contents and compaction degree. Bulk samples of the asphalt mixtures were also submitted to the laboratories in order to determine the void contents and compaction degree of the cores. Obtained test results from different laboratories were analysed, and their variability and resulting penalties were calculated. In addition, pavement layer thickness was measured with new experimental approach in order to provide more firm reference for analysing the results from different laboratories and to understand better the layer the layer thickness measurement procedure. Based on these results, the Author of this thesis proposed changes and amendments to the testing methodology and guidelines of the laboratories. The layer thickness test results showed that the reproducibility limits established by the relevant standard are not always achieved. A total of 98 test cores were used, giving a total of 392 measurement results to compare between four laboratories. The established test reproducibility limit is 1.8 mm. This was achieved for 10 test cores. For 20 test cores, the results were within 2.0 mm, but in nearly half of the measurements – 48% – , the test results varied by at least 5 mm. The analysis of the data showed that the variability of the test results is mostly affected by the type of asphalt mixture and its location within the pavement structure. In case of base and MUK- mixtures on a gravel or stabilised base, the average variability of the measurement results was 5.9 mm. The same value from the second asphalt layer onwards was 3.2 mm. The research also included the experimental measurement method to determine the thickness of layer which consisted of taking 30 measurements around the core's circumference. The results confirmed the inaccuracy of the results for a standard-compliant pavement layer in the case of single-layer pavements: the average variability of the results of four measurements performed on the same test core over seven repetitions was 3 mm, while maximum variability was 4 mm. The experiment was repeated with different numbers of measurements, which showed that the variability of the results decreases as the number of measurements increases. Increasing the number of measurements from four

to eight reduced the variability of the results from 3 to 1.5 mm. Based on the analysis of the layer thickness measurement results, it was concluded that determining the thickness by using the average value of four core measurement results does not guarantee the accuracy required under the testing standard in the case of lower asphalt layers, and that when performing measurements for these layers, the number of measurements should be increased to eight.

These same laboratory results for pavement layer thicknesses were then used to calculate the corresponding pavement price deductions or penalties on the basis of the formula set out in the Rules for Acceptance of Public Road Construction Work. Penalties were calculated for all the laboratories based on results of 90 test cores, and the difference between the calculated penalties was found to be more than four times (lowest vs highest).

The voids content test results were analysed based on total of 60 cores. The testing standard provides reproducibility limit of 2.2%. This aforementioned limit was met for 73% of the test cores, and the average variability of the test results was 1.3%. Variations in results were greatest for the AC 16 base mixture, where the repeatability limit was exceeded 8 times out of 22 and average variability was 2.1%. A correlation was noticed between the cores' voids content and the variability of the determined results: the higher the voids content of the pavement, the greater the variability between the laboratories. The author believes that the correlation can be explained by a testing procedure where bulk density is usually determined based on procedure B described in EVS-EN 12697-6:2012 regardless of the properties of core to be tested. According to EVS-EN 13108-20:2016, bulk density should be determined by choosing procedure A, B, C, or D based on the voids content of the test core, and method B should be used if the residual voids content of the pavement is less than 7%. In current study, all bulk densities were determined using procedure B as this is common practice in Estonia. However, in order to ensure the accuracy of the results and to assess newly constructed asphalt pavements more accurately, the limits set out in EVS-EN 13108-20:2016 should be respected and procedure C or D should be used for more pavement layers made with higher voids content asphalt mixtures. The author believes that these procedures are used less widely because they are time-consuming and complicated.

The compaction degree was determined for a total of 60 test cores, and the average variability of the results was 1.9%. There is no specific standard for determining compaction coefficients, as it is a calculated parameter, but in order to provide a numerical value to compare the test results, an experiment was performed and a theoretical reproducibility limit for the determination of the compaction degree was calculated through the repeatability limit of the bulk density testing standard. The resulting value depends on the type of mixture and ranges from 3 to 4% for base

mixtures. The laboratory results conformed with the calculated reproducibility limit in the case of 68% of the test cores. The source of non-conformities in results was driven by the high variability of the bulk density results for the more porous asphalt cores. The author gained a good overview of the tests performed in laboratories and the applicable standards. In order to correctly assess the quality of newly laid asphalt pavements, the accuracy of laboratories is extremely important, but nevertheless, the measurement uncertainties apply to all tests, and thus it should be in the common interest of all parties to align the requirements and rules with the acceptable variabilities. The aim should be to ensure that the quality of newly constructed asphalt pavements is assessed objectively, and not to issue penalties to contractors based on unreliable, highly variable data. The issues explored and the data used in this master's thesis can be used in future research or in the planning thereof.

## VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

- [1] Maanteeamet, Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskiri, Tallinn: Maanteeamet 2016
- [2] CEN, EVS-EN 12697-1:2012 „Asfaltsegud, Kuuma asfaltsegu katsemeetodid OSA 1: Lahustuva sideaine sisaldus“, Tallinn: Eesti Standardikeskus 2012
- [3] Maanteeamet, Asfaldist katendikihtide ehitamise juhised, Tallinn: Maanteeamet 2015
- [4] CEN, EVS-EN 12697-36:2003, „Bituminous mixtures – Test methods for hot mix asphalt – Part 36: Determination of the thickness of a bituminous pavement“, Tallinn, Eesti Standardikeskus 2003
- [5] CEN, EVS-EN 12697-6:2012, „Asfaltsegud, Kuuma asfaltsegu katsemeetodid, Osa 6: Asfaltproovikehade mahumassi määramine“, Tallinn, Eesti Standardikeskus 2012
- [6] CEN, EVS-EN 12697-5:2018, „Asfaltsegud, Katsemeetodid, Osa 5: Erimassi määramine“, Tallinn, Eesti Standardikeskus 2018
- [7] CEN, EVS-EN 12697-8:2018, „Asfaltsegud, Katsemeetodid, Osa 8: Asfaldist proovikehade poorsusomaduste määramine“, Tallinn, Eesti Standardikeskus 2018
- [8] „www.scielo.com“ [Veebimaterjal] Artikkel: „Experimental Method to Determine Some Physical Properties in Physics Classes“ [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832015000501507](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832015000501507) [Kasutatud 05.04.2021]
- [9] CEN EVS-EN 12697-30:2018, „Asfaltsegud, Katsemeetodid, Osa 30: Proovikehade valmistamine lööktihendajaga“, Tallinn, Eesti Standardikeskus 2018
- [10] CEN, EVS-EN 12697-31:2019, „Asfaltsegud, Katsemeetodid, Osa 31: Proovikehade valmistamine güratortihendamisega“, Tallinn, Eesti Standardikeskus 2019
- [11] Maanteeamet, Riigiteede ehitustööde vastuvõtueeskiri, Tallinn: Maanteeamet 2006
- [12] „The Shell Bitumen Handbook, 6th edition“ Autorid: Dr. Robert N. Hunter, Andy Self, Prof. John Read. Shell International Petroleum Company Ltd 2015
- [13] V. Mespak „Väike asfaldiraamat III, Asfaltkatete elukaar“, Tallinn: Eesti Asfaldiliit 2013
- [14] „[www.instrotek.com/products/corelok](http://www.instrotek.com/products/corelok)“ [Võrgumaterjal] [Kasutatud 18.05.2021]
- [15] CEN, EVS-EN 13108-20:2016, „Asfaltsegud, Materjalide spetsifikatsioonid, Osa 20:Tüübikatsetus“, Tallinn, Eesti Standardikeskus 2016



# LISAD

Lisa 1 Labori 1 katsetulemused objekt A

	AC 20 base	MUK 32	Puurkeha AC 20 base			Seguproov AC 20 base	
Puurkeha nr.	Kihi-paksus	Kihi-paksus	Mahumass Mg/m <sup>3</sup>	Jäävpoorsus %	Tihendus-tegur	mahumass Mg/m <sup>3</sup>	erimass Mg/m <sup>3</sup>
1	42	78	2322	7,5	0,99	2344	2509
2	45	74	2323	7,4	0,99		
3	50	64	2366	5,7	1,01		
4	48	64	2345	6,5	1,00		
5	50	58	2291	8,7	0,98		
6	49	71	2295	8,5	0,98		
7	59	58	2311	7,9	0,99		
8	49	61	2354	6,2	1,00		
9	47	54	2336	6,9	1,00		
10	47	55	2306	8,1	0,98		
11	50	62	2310	7,9	0,99		
12	44	70	2350	6,3	1,00		
13	54	66	2326	7,3	0,99		
14	48	70	2339	6,8	1,00		
15	47	66	2313	7,8	0,99		
16	46	72	2352	6,3	1,00		
17	49	70	2301	8,3	0,98		
18	44	73	2335	6,9	1,00		

**Lisa 2 Labori 2 katsetulemused objekt A**

	<b>AC 20 base</b>	<b>MUK32</b>	<b>Puurkeha AC 20 base</b>			<b>Seguproov AC 20 base</b>	
<b>Puurkeha nr</b>	<b>Kihi-paksus</b>	<b>Kihi-paksus</b>	<b>Mahu-mass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jääv-poorus %</b>	<b>Tihendus-tegur</b>	<b>Mahu-mass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	46	76	2309	8,2	0,99	2332	2514
2	42	77	2310	8,1	0,99		
3	44	74	2358	6,2	1,01		
4	45	68	2342	6,8	1,00		
5	46	67	2290	8,9	0,98		
6	47	75	2289	8,9	0,98		
7	47	76	2306	8,3	0,99		
8	47	66	2350	6,5	1,01		
9	45	61	2330	7,3	1,00		
10	46	58	2297	8,6	0,98		
11	49	64	2306	8,3	0,99		
12	44	79	2345	6,7	1,01		
13	45	77	2328	7,4	1,00		
14	45	71	2335	7,1	1,00		
15	47	67	2302	8,4	0,99		
16	45	74	2341	6,9	1,00		
17	47	70	2296	8,7	0,98		
18	44	74	2329	7,4	1,00		

**Lisa 3 Labori 3 katsetulemused objekt A**

	AC 20 base	MUK32	Puurkeha AC 20 base			Seguproov AC 20 base	
Puurkeha nr	Khipaksus	Khipaksus	Mahumass Mg/m <sup>3</sup>	Jäävpoorsus %	Tihendustegur	mahumass Mg/m <sup>3</sup>	erimass Mg/m <sup>3</sup>
1	45	73	2318	7,8	1,00	2311	2514
2	42	76	2318	7,8	1,00		
3	45	69	2360	6,1	1,02		
4	46	63	2346	6,7	1,02		
5	47	64	2288	9,0	0,99		
6	47	71	2290	8,9	0,99		
7	46	69	2309	8,2	1,00		
8	46	65	2353	6,4	1,02		
9	45	60	2335	7,1	1,01		
10	47	55	2307	8,2	1,00		
11	49	63	2304	8,4	1,00		
12	44	75	2344	6,8	1,01		
13	45	73	2327	7,4	1,01		
14	45	74	2332	7,2	1,01		
15	47	66	2304	8,4	1,00		
16	46	74	2343	6,8	1,01		
17	46	69	2298	8,6	0,99		
18	45	76	2325	7,5	1,01		

**Lisa 4 Labori 4 katsetulemused objekt A**

	<b>AC 20 base</b>	<b>MUK32</b>	<b>Puurkeha AC 20 base</b>			<b>Seguproov AC 20 base</b>	
<b>Puurkeha nr</b>	<b>Khipaksus</b>	<b>Khipaksus</b>	<b>Mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsus %</b>	<b>Tihendustegur</b>	<b>mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	46	74	2319	7,5	0,99	2340	2506
2	43	77	2327	7,1	0,99		
3	44	69	2361	5,8	1,01		
4	46	63	2351	6,2	1,00		
5	47	62	2294	8,5	0,98		
6	48	65	2181	13,0	0,93		
7	46	70	2307	7,9	0,99		
8	47	64	2355	6,0	1,01		
9	45	58	2344	6,5	1,00		
10	49	50	2312	7,7	0,99		
11	49	59	2315	7,6	0,99		
12	44	74	2350	6,2	1,00		
13	47	70	2331	7,0	1,00		
14	46	72	2336	6,8	1,00		
15	48	60	2312	7,7	0,99		
16	45	75	2344	6,5	1,00		
17	47	71	2304	8,1	0,98		
18	45	75	2331	7,0	1,00		

**Lisa 5 Labori 1 katsetulemused objekt B**

<b>Puurkeh a nr</b>	<b>Khipaksu s</b>	<b>Mahumas s Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsu s %</b>	<b>Tihendustegu r</b>	<b>mahumas s Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	62	2193	13,0	0,96	2283	2521
2	61	2175	13,7	0,95		
3	52	2182	13,4	0,96		
4	53	2200	12,7	0,96		
5	59	2173	13,8	0,95		
6	50	2172	13,8	0,95		
7	51	2165	14,1	0,95		
8	58	2178	13,6	0,95		
9	55	2210	12,3	0,97		
10	54	2222	11,9	0,97		
11	53	2188	13,2	0,96		
12	50	2204	12,6	0,97		
13	44	2176	13,7	0,95		
14	48	2230	11,5	0,98		
15	45	2210	12,3	0,97		
16	49	2196	12,9	0,96		
17	43	2211	12,3	0,97		
18	47	2170	13,9	0,95		
19	48	2206	12,5	0,97		
20	47	2228	11,6	0,98		
21	50	2230	11,5	0,98		
22	47	2204	12,6	0,97		

**Lisa 6 Labori 2 katsetulemused objekt B**

<b>Puurkeh a nr</b>	<b>Kihipaksu s</b>	<b>Mahumas s Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsu s %</b>	<b>Tihendustegu r</b>	<b>mahumas s Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	66	2245	11,1	0,99	2265	2524
2	66	2225	11,8	0,98		
3	60	2224	11,9	0,98		
4	58	2251	10,8	0,99		
5	66	2236	11,4	0,99		
6	56	2231	11,6	0,98		
7	56	2205	12,6	0,97		
8	63	2236	11,4	0,99		
9	59	2250	10,9	0,99		
10	57	2249	10,9	0,99		
11	58	2236	11,4	0,99		
12	54	2272	10,0	1,00		
13	49	2210	12,4	0,98		
14	52	2260	10,5	1,00		
15	49	2255	10,7	1,00		
16	56	2233	11,5	0,99		
17	50	2213	12,3	0,98		
18	51	2258	10,5	1,00		
19	52	2270	10,1	1,00		
20	51	2291	9,2	1,01		
21	54	2289	9,3	1,01		
22	52	2287	9,4	1,01		

**Lisa 7 Labori 3 katsetulemused objekt B**

<b>Puurkeh a nr</b>	<b>Kihipaksu s</b>	<b>Mahumas s Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsu s %</b>	<b>Tihendustegu r</b>	<b>mahumas s Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	60	2212	12,0	0,98	2263	2514
2	61	2216	11,9	0,98		
3	52	2222	11,6	0,98		
4	54	2219	11,7	0,98		
5	58	2210	12,1	0,98		
6	50	2252	10,4	1,00		
7	54	2220	11,7	0,98		
8	61	2218	11,8	0,98		
9	57	2256	10,3	1,00		
10	56	2242	10,8	0,99		
11	53	2236	11,1	0,99		
12	50	2239	10,9	0,99		
13	46	2211	12,1	0,98		
14	50	2243	10,8	0,99		
15	45	2249	10,5	0,99		
16	50	2222	11,6	0,98		
17	46	2215	11,9	0,98		
18	49	2215	11,9	0,98		
19	47	2230	11,3	0,99		
20	48	2252	10,4	1,00		
21	51	2247	10,6	0,99		
22	48	2221	11,7	0,98		

**Lisa 8 Labori 4 katsetulemused objekt B**

Puurkeha nr	Khipaksus	Mahumass Mg/m <sup>3</sup>	Jäävpoorsus %	Tihendustegur	mahumass Mg/m <sup>3</sup>	erimass Mg/m <sup>3</sup>
1	57	2205	12,4	0,96	2289	2516
2	59	2209	12,2	0,97		
3	51	2233	11,2	0,98		
4	50	2192	12,9	0,96		
5	55	2189	13,0	0,96		
6	48	2237	11,1	0,98		
7	51	2203	12,4	0,96		
8	58	2215	12,0	0,97		
9	55	2245	10,8	0,98		
10	53	2234	11,2	0,98		
11	52	2223	11,6	0,97		
12	49	2234	11,2	0,98		
13	46	2218	11,8	0,97		
14	46	2252	10,5	0,98		
15	44	2260	10,2	0,99		
16	48	2218	11,8	0,97		
17	44	2220	11,8	0,97		
18	45	2218	11,8	0,97		
19	48	2240	11,0	0,98		
20	48	2253	10,5	0,98		
21	48	2258	10,3	0,99		
22	47	2232	11,3	0,98		



**Lisa 9 Labori 1 katsetulemused objekt C**

<b>Puurkeha nr</b>	<b>Khipaksus</b>	<b>Mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsus %</b>	<b>Tihendustegur</b>	<b>mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	53					
2	66					
3	64					
4	68					
5	66					
6	78					
7	65					
8	64					
9	60					
10	59					

**Lisa 10 Labori 2 katsetulemused objekt C**

<b>Puurkeha nr</b>	<b>Khipaksus</b>	<b>Mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsus %</b>	<b>Tihendustegur</b>	<b>mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	72	2304	9,3	0,98	2363	2539
2	65	2319	8,7	0,98		
3	65	2337	8,0	0,99		
4	68	2356	7,2	1,00		
5	69	2338	7,9	0,99		
6	78	2321	8,6	0,98		
7	68	2297	9,5	0,97		
8	64	2332	8,2	0,99		
9	60	2335	8,0	0,99		
10	57	2338	7,9	0,99		

**Lisa 11 Labori 3 katsetulemused objekt C**

<b>Puurkeha nr</b>	<b>Khipaksus</b>	<b>Mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsus %</b>	<b>Tihendustegur</b>	<b>mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	70	2308	8,9	0,98	2365	2533
2	65	2319	8,4	0,98		
3	64	2331	8,0	0,99		
4	68	2351	7,2	0,99		
5	67	2329	8,1	0,98		
6	78	2316	8,6	0,98		
7	65	2290	9,6	0,97		
8	63	2329	8,1	0,98		
9	58	2331	8,0	0,99		
10	58	2330	8,0	0,99		

**Lisa 12 Labori 4 katsetulemused objekt C**

<b>Puurkeha nr</b>	<b>Khipaksus</b>	<b>Mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>Jäävpoorsus %</b>	<b>Tihendustegur</b>	<b>mahumass Mg/m<sup>3</sup></b>	<b>erimass Mg/m<sup>3</sup></b>
1	67	2326	8,0	0,98	2381	2528
2	63	2338	7,5	0,98		
3	62	2348	7,1	0,99		
4	67	2371	6,2	1,00		
5	65	2346	7,2	0,99		
6	75	2345	7,2	0,98		
7	67	2328	7,9	0,98		
8	59	2352	7,0	0,99		
9	56	2356	6,8	0,99		
10	54	2361	6,6	0,99		

Lisa 13 Labori 1 katsetulemused objekt D

Puurkeha nr	AC 12 surf	AC 20 base	Puurkeha AC 20 base			Seguproov AC 20 base	
	Khipakus	Khipakus	Mahumass Mg/m <sup>3</sup>	Jäävpoorsus %	Tihendustegur	mahumass Mg/m <sup>3</sup>	erimass Mg/m <sup>3</sup>
1	43	51	x	x	x	x	x
2	38	52	x	x	x		
3	37	54	x	x	x		
4	39	55	x	x	x		
5	35	56	x	x	x		
6	37	63	x	x	x		
7	33	62	x	x	x		
8	37	57	x	x	x		
9	40	56	x	x	x		
10	39	53	x	x	x		
11	35	57	x	x	x		
12	33	54	x	x	x		
13	34	52	x	x	x		
14	36	56	x	x	x		
15	40	55	x	x	x		

Lisa 14 Labori 2 katsetulemused objekt D

Puurkeha nr	AC 12 surf	AC 20 base	Puurkeha AC 20 base			Seguproov AC 20 base	
	Khipakus	Khipakus	Mahumass Mg/m <sup>3</sup>	Jäävpoorsus %	Tihendustegur	mahumass Mg/m <sup>3</sup>	erimass Mg/m <sup>3</sup>
1	33	63	2537	2,8	1,03	2458	2610
2	32	62	2491	4,6	1,01		
3	34	55	2496	4,4	1,02		
4	37	57	2506	4,0	1,02		
5	39	55	2504	4,1	1,02		
6	39	64	2524	3,3	1,03		
7	35	58	2483	4,9	1,01		
8	37	58	2487	4,7	1,01		
9	40	56	2483	4,9	1,01		
10	40	55	2505	4,0	1,02		
11	34	60	2514	3,7	1,02		
12	33	54	2474	5,2	1,01		
13	33	53	2474	5,2	1,01		
14	35	56	2519	3,5	1,02		
15	38	58	2509	3,9	1,02		

Lisa 15 Labori 3 katsetulemused objekt D

Puurkeha nr	AC 12 surf	AC 20 base	Puurkeha AC 20 base			Seguproov AC 20 base	
	Khipaksus	Khipaksus	Mahumass Mg/m <sup>3</sup>	Jäävpoorsus %	Tihendustegur	mahumass Mg/m <sup>3</sup>	erimass Mg/m <sup>3</sup>
1	33	61				2433	2597
2	32	58					
3	35	55					
4	36	55					
5	38	55					
6	39	61					
7	35	57					
8	38	55					
9	40	54					
10	39	51					
11	33	58	2511	3,8	1,01		
12	31	53	2468	5,4	0,99		
13	35	52	2471	5,3	0,99		
14	35	54	2514	3,7	1,01		
15	39	53	2505	4,0	1,01		

**Lisa 16 Labori 4 katsetulemused objekt D**

Puurkeha nr	AC 12 surf	AC 20 base	Puurkeha AC 20 base			Seguproov AC 20 base	
	Khipakus	Khipakus	Mahumass Mg/m <sup>3</sup>	Jäävpoorsus %	Tihendustegur	mahumass Mg/m <sup>3</sup>	erimass Mg/m <sup>3</sup>
1	33	60				2487	2610
2	34	54					
3	36	52					
4	37	55					
5	40	52					
6	38	62	2524	3,3	1,01		
7	36	56	2481	4,9	1,00		
8	38	54	2485	4,8	1,00		
9	40	53	2491	4,6	1,00		
10	40	51	2503	4,1	1,01		
11	33	55					
12	31	46					
13	33	51					
14	35	53					
15	38	53					