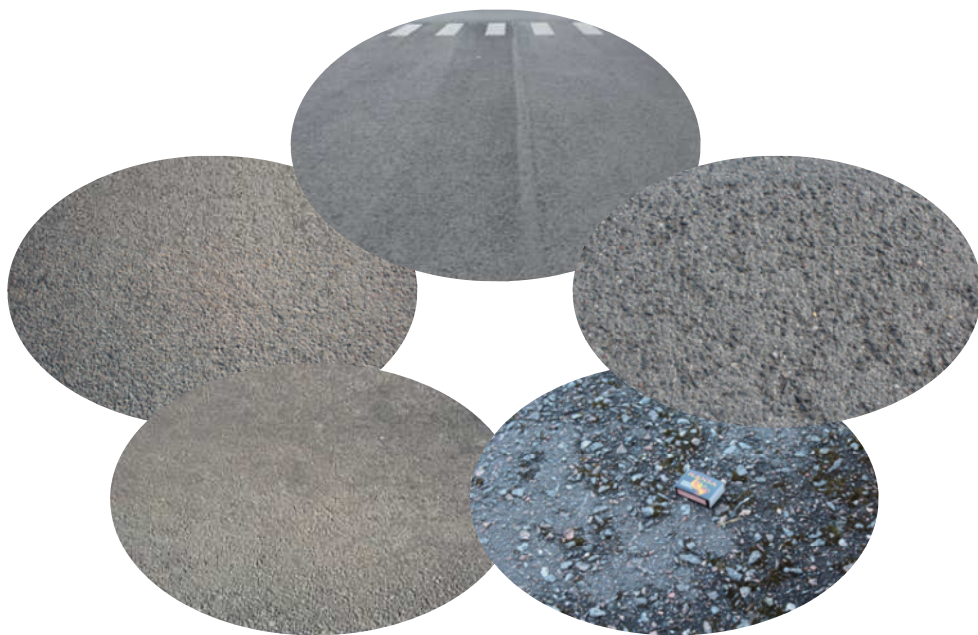


Teekatte tekstuuri mõõtmisandmete kasutamise meetodid ja andmete piirväärtused

Lõpparuanne

AS Teede Tehnokeskus / ERC Konsultatsiooni OÜ

2012-3



MAANTEEAMET

Tallinn 2012

Teekatte tekstuuri mõõtmisandmete kasutamise meetodid ja andmete piirväärtused

Lõpparuanne

Projekti juhtimine ja aruandlus:

Tiit Kaal,
ERC Konsultatsiooni OÜ
Konsultant

Töös osales:

Andrus Aavik
TTÜ Teedeinstituut
professor
Maret Jentson
AS Teede Tehnokeskus
A&U peaspetsialist
Marek Truu
AS Teede Tehnokeskus
A&U projektijuht

Tallinn, 2012

EESSÕNA

Käesolev uurimistöö on tehtud Maanteeameti tellimusel. Uurimistöö valmis AS Teede Tehnokeskuse ja ERC Konsultatsiooni OÜ koostöona.

Teekatte tekstuuri ei ole Eestis varasematel aastatel süstemaatiliselt teedevõrgu tasandil mõõdetud. Seetõttu puuduvad ka kogemused antud parameetri(te) kasutamiseks teede remondi- ja korrashoiutööde määratlemisel ning puuduvad ka kogemused nendest aru saamiseks. Mujal maailmas on teekatte tekstuuri mõõtmistega tegeletud juba aastaid.

Uurimistöö eesmärgiks on kirjeldada teistes riikides teekatte tekstuuri mõõtmiste kasutamist ja piirväärtusi, kirjeldada Eesti jaoks vajalikud tekstuuri näitajad ning võimalikud piirmäärad erinevateks analüüsideks. Lisaks on vastavalt lähteülesandele vajalik teekatte tekstuuri ja teekatte haardeliste omaduste vaheliste seoste leidmine ja nende kirjeldamine, et tekstuuri andmete põhjal oleks võimalik leida probleemsete haardeliste omadustega teelõike.

Uurimistöö on tehtud kahes etapis (vahearuanne ja lõpparuanne) ja see sisaldab lähteülesandes määratletud järgmiseid osasid:

- Teekatte tekstuuri erinevate näitajate kirjeldused;
- Teiste riikide kogemused ja teekatte tekstuuri analüüside piirväärtused.
- Soovitused kasutatavate näitajate ja nende piirväärtuste osas koos 2011. aasta mõõtmiste andmete analüüsiga;
- Soovituslikud analüüsid, kus on võimalik Eestis tekstuuri andmeid kasutada kas koos teiste teede andmetega või eraldi;
- Teekatte tekstuuri ja teekatte kareduse näitajate vaheliste seoste leidmine ja nende kirjeldamine, et tekstuuri andmete põhjal oleks võimalus leida probleemse karedusega teelõike.

Analüüsi algandmetena kasutatakse Riiklikus Teeregistris olevaid andmeid seisuga 01.01.2012.a.

ABSTRACT

Pavement texture has not been systematically evaluated on the Estonian national road network level. The appropriate knowledge and experience of using parameters, describing the pavement textural condition, for planning of pavement maintenance and repair work is currently insufficient. In several other countries pavement texture is evaluated and results are used for pavement maintenance and rehabilitation planning already for many years.

Consequently the current research is describing basic concepts of different pavement texture characteristics: micro-, macro- and megatexture. Experience of measuring and using those characteristics in 13 different countries is analyzed based on the information collected by e-mail survey.

Macrotexture is usually characterized using Mean Profile Depth (MPD) or Root Mean Square (RMS) values and megatexture using Root Mean Square (RMS) value. It's established based on the analysis of actual measurement results that MPD and RMS for macrotexture evaluation are well correlated ($R^2=0,993$) and as result of that only one characteristic (preferably MPD) is sufficient for macrotexture evaluation. Based on the conducted survey the preliminary limit values to be used for macro- (MPD_macro) and megatexture (RMS_mega) are suggested for Estonian conditions.

Based on the macro- (MPD_macro, RMS_macro) and megatexture (RMS_mega) measurements on Estonian national roadnetwork (about 4000 km or 38% of total road network) analysis of their dependence from road class, surface dressing material type, fraction and age, asphalt mix type and age were performed. Analysis did not show any remarkable correlation between abovementioned characteristics and pavement condition. That means it's not possible to determine, based on measured MPD_macro, RMS_macro and RMS_mega values, what type of asphalt concrete mix is used or what fraction of stone is used for surface dressing or what is the age of pavement or surface dressing.

During the research also pavement texture characteristics were compared with locations of traffic accidents and there was determined a good relationship which means that pavement texture characteristics are more related to traffic safety measures than for pavement repair and maintenance planning.

Suggestions for use of macro- and megatexture measurement results in Estonian conditions are presented.

SISUKORD

EESSÕNA.....	2
ABSTRACT	3
SISUKORD	4
1. SISSEJUHATUS	6
2. KATTE PINNA TEKSTUURI ISELOOMUSTAVAD NÄITAJAD	7
2.1. Üldist.....	7
2.2. Tekstuuriga seotud definitsioonid (EVS-EN ISO 13473-1:2004).....	9
2.3. Mikrotekstuur	11
2.4. Makrotekstuur	12
2.4.1. Üldist	12
2.4.2. Makrotekstuuri mõõtmine (EVS-EN ISO 13473-1:2004)	16
2.5. Megatekstuur	19
2.5.1. Üldist	19
2.5.2. Megatekstuuri mõõtmine (EVS-EN ISO 13473-5:2004)	20
2.6. (Eba-)tasasus.....	22
3. TEKSTUURI MÕÕTMISE KOGEMUSED TEISTES MAADES	24
3.1. Üldist.....	24
3.2. Edastatud küsimustik ja saadud vastused	24
3.2.1. Belgia	25
3.2.2. Leedu	26
3.2.3. Sloveenia.....	26
3.2.4. Norra	27
3.2.5. Prantsusmaa	28
3.2.6. Suurbritannia	30
3.2.7. Itaalia.....	32
3.2.8. Läti	32
3.2.9. Soome	33
3.2.10. Taani	34
3.2.11. Rootsi	35
3.2.12. Austraalia	36
3.2.13. Eesti	38
4. TEEKATTE TEKSTUURI MÕÕTMISTULEMUSED	40

4.1.	Soovitused teekatte tekstuuri näitajate ja nende piirväärtuste osas	40
4.1.1.	Teekatte makrotekstuuri näitaja ja piirväärtused	40
4.1.2.	Teekatte megatekstuuri näitaja ja piirväärtused	44
4.2.	Teekatte tekstuuri 2011 aasta mõõtmistulemuste analüüs	46
4.2.1.	Teekatte tekstuuri andmete üldine jaotus.....	46
4.2.1.1.	Jaotus teetüübiti.....	49
4.2.1.2.	Jaotus sõltudes teekatte pindamisest.....	51
4.2.2.	Teekatte tekstuuri pinnatud teekattel.....	53
4.2.2.1.	Tekstuuri sõltuvalt pindamise materjalist.....	54
4.2.2.2.	Tekstuuri sõltuvalt pindamistööde vanusest.....	64
4.2.3.	Teekatte tekstuuri pindamata teel.....	81
5.	SOOVITUSLIKUD ANALÜÜSID TEEKATTE TEKSTUURI ANDMETE KASUTAMISEKS.....	88
5.1.	Teekatte tekstuuri seos liiklusõnnetustega	88
5.2.	Tekstuuri seosed erinevate teekatte seisukorra andmetega.....	90
5.3.	Tekstuuri teekatte seisukorra ühe kriteeriumina	92
6.	TEEKATTE TEKSTUURI JA HAARDELISTE OMADUSTE VAHELISEST SEOSEST	93
6.1.	Tekstuuri teekatte haardeliste omaduste kirjeldajana.....	94
6.2.	Ettepanek teekatte tekstuuri ja teekatte haardeliste omaduste andmete uurimise ja kasutamise kohta Eestis.....	95
7.	KOKKUVÕTE	96
7.1.	Teekatte pinna tekstuuri iseloomustavad näitajad	96
7.2.	Tekstuuri näitajate mõõtmis- ja kasutamiskogemused teistes riikides	97
7.3.	Soovitused tekstuuri näitajatele ja nende piirväärtustele Eestis.....	99
7.4.	Teekatte tekstuuri 2011 aasta mõõtmistulemuste analüüs	100
7.5.	Teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste seos muude tee andmetega	109
7.6.	Teekatte tekstuuri ja haardeliste omaduste andmete uuring.....	110
7.7.	Teekatte tekstuuri andmete kasutusvõimalused Eestis	111
	KASUTATUD ALLIKAD:.....	113
	LISA 1. KOKKUVÕTE KÜSITLUSTULEMUSTEST	115
	LISA 2. TEKSTUURI VÄÄRTUSED SÕLTUVALT KIVIMATERJALIST VÕI KILLUSTIKU FRAKTSIOONIST	116

1. SISSEJUHATUS

Teekatete remondi- ja korrashoiutööde määratlemiseks on vaja teada teekatete seisukorda. Teekatte seisukorda iseloomustavad mitmed erinevad parameetrid, kusjuures igaüks nendest viitab teatud kindlatele probleemidele teekattes või -konstruktsioonis. Enim kasutatud parameetrid teekatte seisukorra iseloomustamiseks on seni olnud teekatte tasasus, defektid, roopa sügavus ja teekonstruktsiooni osas selle kandevõime. 2011 aastal otsustas Maanteeamet võtta kasutusele uue teekatte seisukorda iseloomustava parameetri – teekatte tekstuuri.

Teekatte tekstuuri iseloomustab katte pinda ja sellel on otsene seos nii liiklusohutusega (haardelised omadused), sõidumugavusega (müra ja ebatasasused), sõidukuludega (kütuse kulu) kui ka ehitustööde kvaliteediga (segregatsioon, higistamine). Kõigi katete pinnad hakkavad eksploatatsiooni käigus mingil hetkel kuluma, selle tekstuuri väheneb ja haardelised omadused halvenevad. Teatud tingimustes on samas võimalik ka tekstuuri suurenemine aja jooksul, näiteks mineraalmaterjali irdumine.

Teekatte tekstuuri mõõtmised tehakse Eestis järgmiste aastate jooksul kõigil riigimaanteedel kattega teelõikudel koos teekatte tasasuse mõõtmistega. Tekstuuri osas mõõdetakse nii makro- kui ka megatekstuuri ning mõõtmiste tulemusena saadakse erinevaid teekatte tekstuuri kirjeldavaid parameetreid.

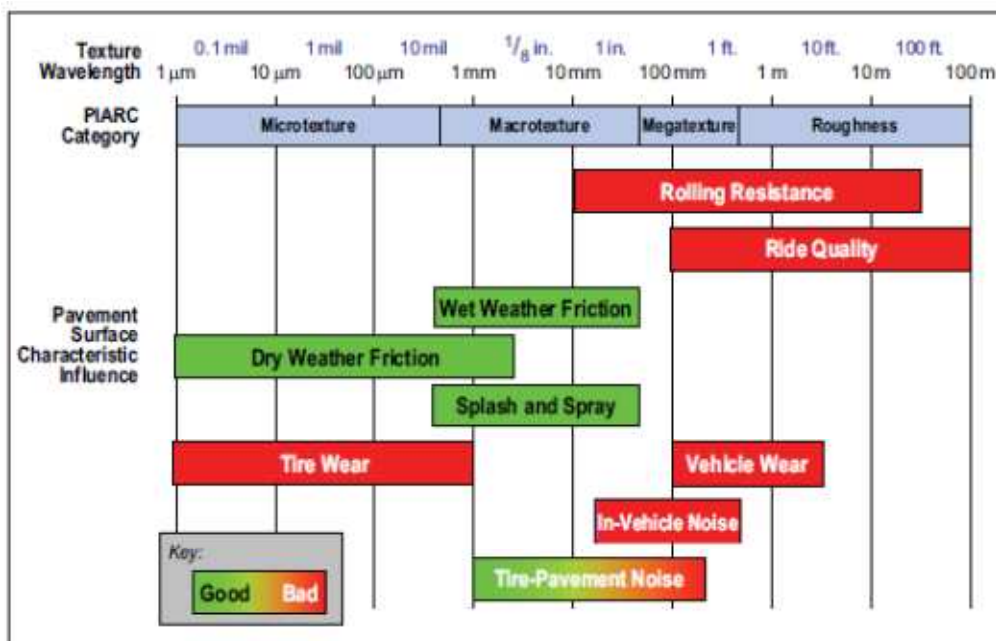
Kuna teekatte tekstuuri mõõtmistega on juba alustatud, siis on tekkinud selge vajadus teostada uuring tekstuuri otsustuskriteeriumite ehk piirväärtuste leidmiseks, et neid andmeid saaks kasutada erinevates analüüsides ning otsustusprotsessides. Samuti on vaja uurida teiste riikide kogemusi antud teemal, et vältida teiste riikide poolt tehtud vigade kordamist.

Eraldi tuleks välja tuua küsimus teekatte tekstuuri ja haardeliste omaduste andmete võimalikest puutepunktidest, et saaks teekatte tekstuuri abil hinnata võimalikke teelõike, kus on teekatetel probleeme haardeliste omaduste nõuete täitmisega. Teekatte tekstuuri on võimalik mõõta suhteliselt lihtsalt kogu kattega teedevõrgul, samas kui teekatte haardeliste omaduste mõõtmine on tunduvalt komplitseeritum ja seetõttu ka kallim. Seega oleks põhjendatud määratleda teekatte tekstuuri mõõtmistega võimalikud teekatte haardeliste omaduste probleemsed kohad, et seejärel haardeliste omaduste mõõtmise seadmega need kohad üle kontrollida.

2. KATTE PINNA TEKSTUURI ISELOOMUSTAVAD NÄITAJAD

2.1. Üldist

Katte tekstuuri defineeritakse absoluutselt tasase katte pinna vertikaalsuunaliste ebatahasustena. Maailma Teede Liit (PIARC) on kehtestanud lainepikkusel põhinevad tekstuuri standardkategoriad (*joonis 2.1.*).



Joonis 2.1. Maailma Teede Liidu (PIARC) tekstuuri definitsioonid ja nende mõju katte pinna karakteristikutele (Rasmussen et al, 2011)

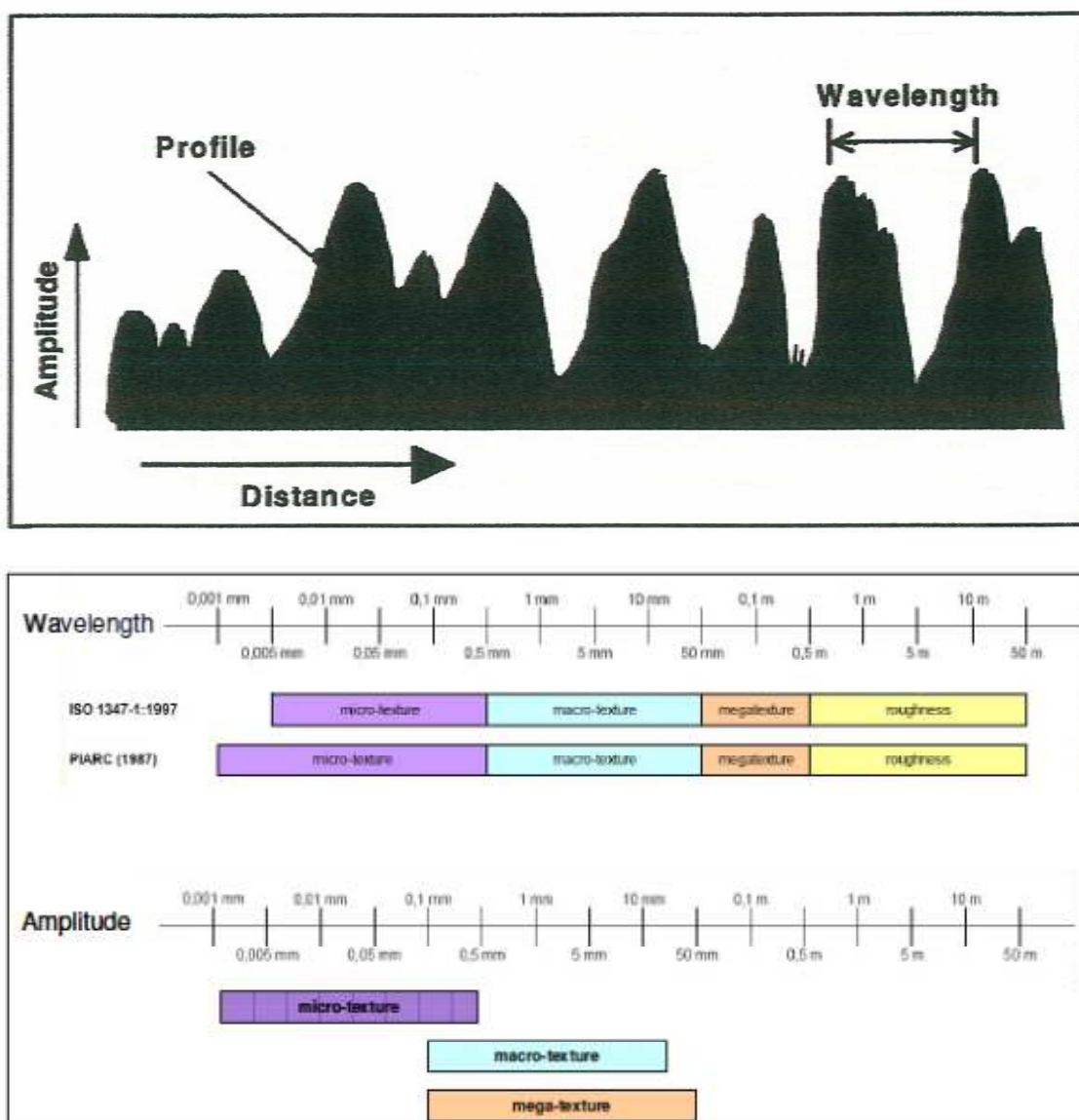
Katte tekstuur mõjutab paljusid teekasutaja ohutuse ja mugavuse näitajaid, selliseid nagu rehvi ja katte vaheline haare, veeretakistus, tasetasus, kattele kogunenud veega pritsimine jmt. *Joonisel 2.1* on tekstuuri alad, mis on positiivse mõjuga teatud näitajatele, kujutatud rohelise värviga ning kahjulik mõju punase värviga.

Tekstuuri iseloomustamiseks kasutatakse tavaliselt lainepikkust ehk füüsiliselt korduvate ebatahasuste vahelist kaugust. Katte pind kujutab endast sageli mitmete lainepikkuste kombinatsiooni. PIARC on kehtestanud neli tekstuuri iseloomustavat lainepikkuse standardkategoriat (Rasmussen et al, 2011):

- mikrotekstuur: lainepikkus 1 μm - 0,5 mm;
- makrotekstuur: lainepikkus 0,5 – 50 mm;
- megatekstuur: lainepikkus 50 – 500 mm;
- ebatahasus: lainepikkus > 500 mm - 100 m (EVS-EN ISO kuni 50 m).

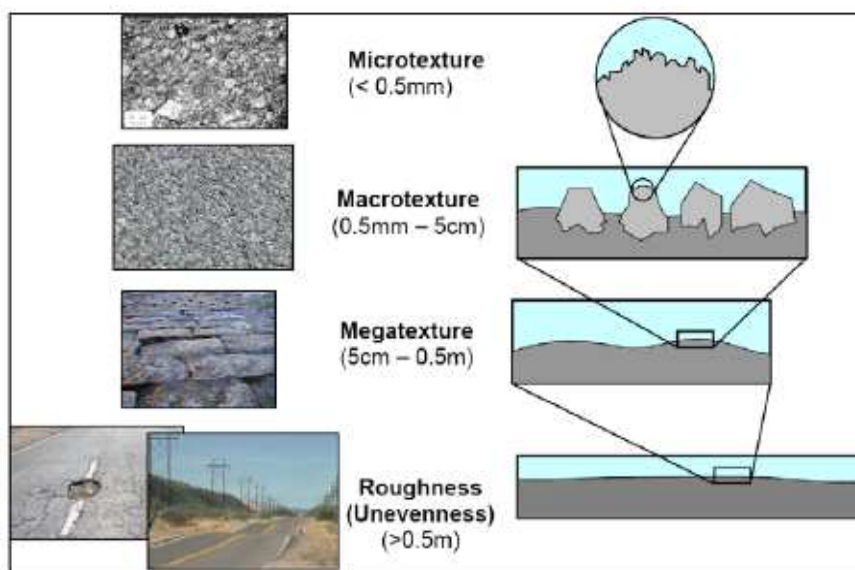
ISO 13473-1 määrab mikrotekstuuri lainepikkuse alguseks 5 μm (Nitsche Philippe, Spielhofer, 2009).

Lisaks lainepikkusele on AASHTO (AASHTO, 2008) kasutanud ka ebatasasuse amplituudi mõistet: mikrotekstuuril < 0,2 mm ja makrotekstuuril 0,1 – 20 mm. Samuti on amplituud määratletud teises allikas ka vahemikena mikrotekstuuril 0,001-0,5 mm, makrotekstuuril 0,1-20 mm ja megatekstuur 0,1-50 mm (Do, Kane, 2009).



Joonis 2.2. Katte pikisuunalise ebatasasuse jagunemine kategooriateks lähtudes lainepikkusest ISO ja PIARC'i määratluse alusel (Nitsche Philippe, Spielhofer, 2009) ning nende amplituudid (Do, Kane, 2009)

Joonisel 2.3. selgitatakse võrdlevalt erinevate tekstuuritüüpide mõõtkavasid pikiprofiili näitel. Mikrotekstuur on mineraalmaterjali tera pinna karedus. Makrotekstuur on mineraalmaterjali tera ja rehvi kummiosakeste mõõtkavas teekatte pinnast välja ulatuva mineraalmaterjali poolt moodustatud katte pinna tekstuur. Megatekstuur on rehvi ja teepinna vahelise kontaktpinna mõõtkavas oleva katte pinna ebatasasus. Kõik tekstuuri iseloomustavad näitajad mõjutavad tee ja rehvi vahelist kokkupuutepinda. (Liikennevirasto, 2010).



Joonis 2.3. *Pikisuunalise ebatasasuse erinevate näitajate võrdlevad mõõtkavad* (McGhee, Flintsch, 2003)

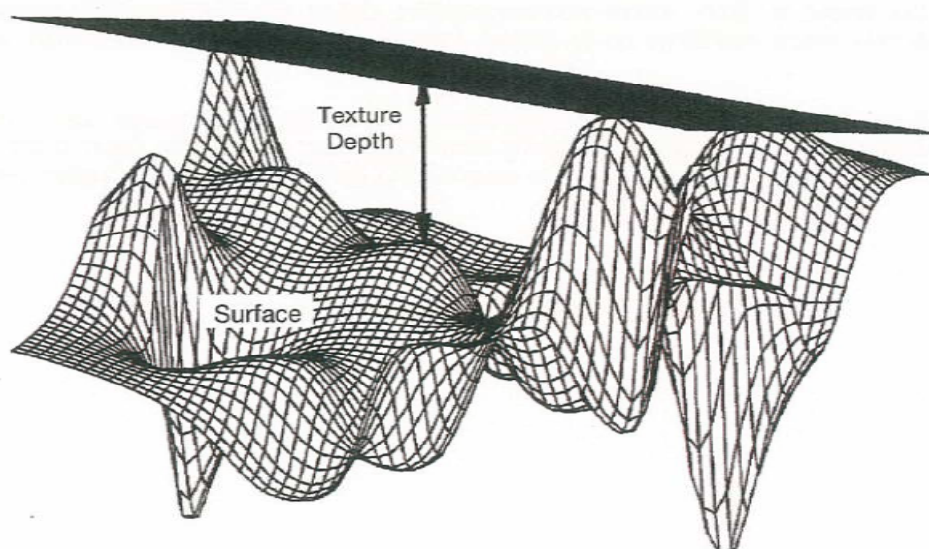
2.2. Tekstuuriga seotud definitsioonid (EVS-EN ISO 13473-1:2004)

Tekstuuri sügavus (Texture Depth, TD) – kolmemõõtmelises süsteemis katte pinna ja kolme kõige kõrgema osakese tippe ühendava tasapinna vaheline kaugus, kus tasapinna suurus vastab rehvi ja katte vahelisele kontaktpinna suurusele (*joonis 2.4.*).

Keskmine tekstuuri sügavus (Mean Texture Depth, MTD) – tekstuuri sügavus, mis on saadud liivalaigu meetodil määrares.

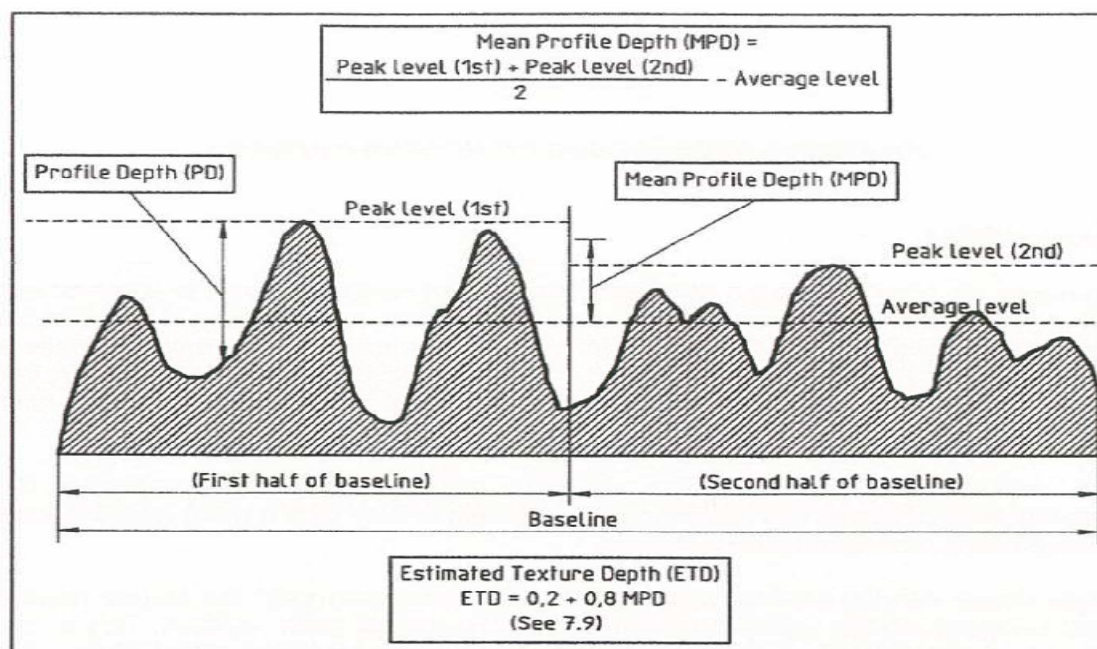
Profiili sügavus (Profile Depth, PD) – kahemõõtmelises süsteemis kaugus katte pinna ja selle kõrgema osakese tippu puutuva horisontaaltasapinna vahel rehvi ja katte vahelise kontaktpinna pikkusmõõdus (*joonis 2.5.*).

Keskmine profiili sügavus (Mean Profile Depth, MPD) – Profiili sügavuse keskväärtus teatud teepikkuse (baasjoone) kohta (*joonis 2.5.*).



Joonis 2.4. Tekstuuri sügavuse mõiste selgitus

Eeldatav tekstuuri sügavus (*Estimated Texture Depth, ETD*) – mõiste, mida kasutatakse juhul, kui keskmist profiili sügavust (MPD) kasutatakse keskmise tekstuuri sügavuse (MTD) määramiseks kasutades vastavat matemaatilist seost (*joonis 2.5.*).



Joonis 2.5. Baasjoone, profiili sügavuse (PD), keskmise profiili sügavuse (MPD) ja eeldatava tekstuuri sügavuse (ETD) mõistete selgitus (ETD ja MPD väljendatakse millimeetrites)

Tekstuuri spekter (*texture spectrum*) – spekter, mis saadakse profiilikõvera analüüsimisel kas Fourier'i tehnoloogiaga või vastava filtreerimisprotseduuriga määramaks kõvera spektraalkomponente (lainepikkuseid või ruumilisi sagedusi).

Liivalaigu meetod (*volumetric patch method*) (EVS-EN ISO 10844) - selle meetodi kasutamisel võetakse teatud kogus (25...50 ml) teatud lõimisega liiva või klaaskuulikesi (0,125...0,25 mm) ja hõõrutakse see võimalikult suure läbimõõduga sõõrina laiali.

Makrokaredus, ehk katte pealispinna ebatasasuste keskmine sügavus (MTD) leitakse valemist:

$$D=4V/d^2,$$

kus: D – makrotekstuuri sügavus e. liivakihi paksus;
 V - kasutatud liiva kogus;
 d - liivasõõri läbimõõt.

2.3. Mikrotekstuur

Mikrotekstuur on katte mineraalmaterjali pinna karedus. See iseloomustab, kui sile/kare on katte pinnas oleva kivimaterjali tera pind, mille määrab tema kristalliline struktuur või siis asfalt- või betoonkattes olev peenmaterjal (näiteks liiv). Liikluse kulutava/poleeriva mõju tulemusena katte mikrotekstuuri väärtus ajas väheneb, eriti piirkondades, kus kattele mõjuvad suured pinged kiirendusest, aeglustusest, manööverdamisest jmt. Mikrotekstuur tagab rehvi ja teekatte pinna vahelise haarduvuse nii kuiva kui ka märja teekatte puhul kõigil sõidukiirustel ning on peamine tekstuuri näitaja liiklusohutuse seisukohalt. Kui katte pind on märg, vähendab veekile rehvi ja mikrotekstuuri vahelist kontakti, mille tulemusena väheneb ka nende omavaheline haardumine ehk viimane on sõltuv mikrotekstuuri võimest ulatuda läbi veekile. Samas põhjustab just mikrotekstuur rehvi kulumist.

Teepinna mikrotekstuuri määramine on komplitseeritud, kuna puuduvad selleks otstarbeks spetsiaalselt konstrueeritud ja laialdast kasutamist leidnud seadmed. Nii on teepinna mikrotekstuuri mõõtmisel tihti kasutatud algselt masinaehitusliku vms. otstarbega optilisi, ultraheli ja stereofotogramm-meetrilisi mõõteseadmeid. Samas on viidatud, et Briti standardpendli (*British Pendulum Tester*) näitude abil võib kaudselt hinnata ka katte mikrotekstuuri.

Käesolevas uurimistöös mikrotekstuuriga seotut pikemalt ei käsitleta. Kuna mikrotekstuur koos makrotekstuuriga mõjutavad rehvi ja katte vahelist haardumist, siis on järgmises punktis lühidalt käsitletud nende mõlema tekstuuritüübi koosmõju haardumisele.

2.4. Makrotekstuur

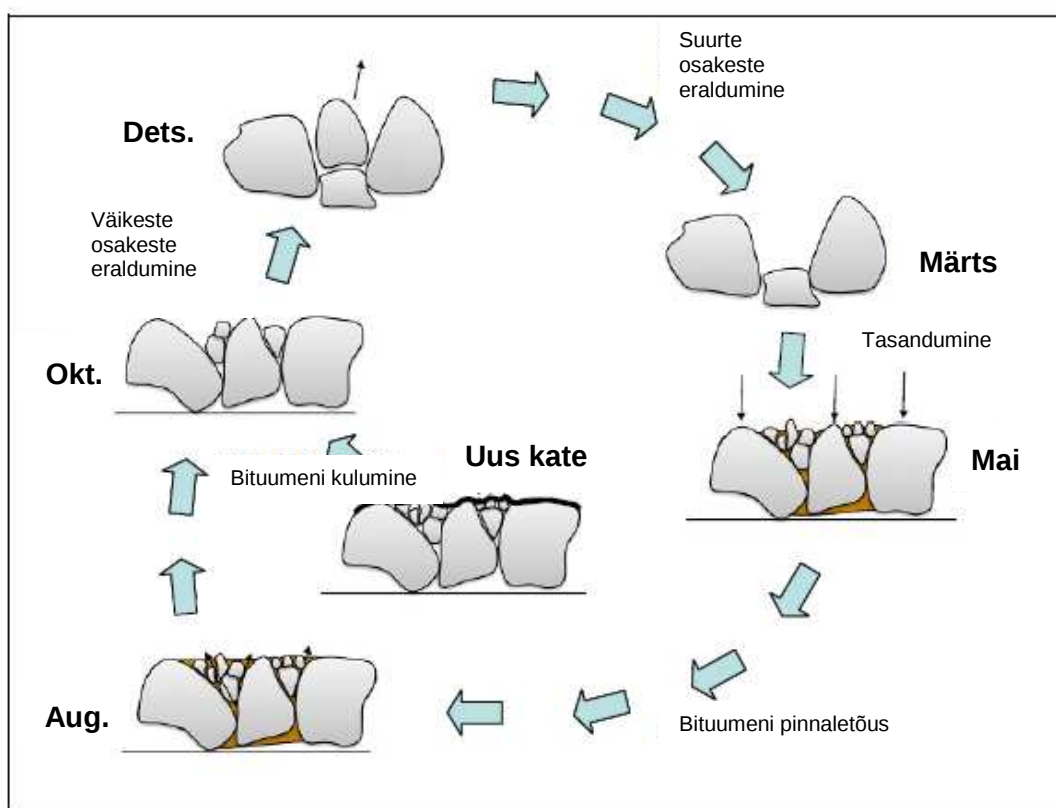
2.4.1. Üldist

Makrotekstuur on teekatte pinnast välja ulatuva mineraalmaterjali poolt moodustatud katte pinna tekstuur. Selle suurus on määratud peamiselt kattes sisalduva jämeda mineraalmaterjali terasuurusega ning on uute katete puhul nende valmimisel suur. Ajas ja ruumis ei jää teekatted muutumatuks. Autorataste all toimub teekatte tekstuuri muutumine, mille võib ajaliselt liigitada kahte etappi:

- Tee eksploatatsiooni algperiood, mil suhteliselt lühikesel ajavahemikul toimub makrokareduse ehk makrotekstuuri oluline vähenemine väljaulatuvate mineraalosakeste kattesse sissesurumise tagakärjel, s.o. toimub katte pealispinna tekstuuri lõplik formeerumine. Ajalise piiratud tõttu mineraalosakeste pealispindade lihvimise efekti ehk mikrotekstuuri (mikrokareduse) vähenemist sel etapil praktiliselt ei toimu;
- Tee eksploatatsiooni põhiperiood, mil sõidukite rataste all toimub nii makrotekstuuri, kui mikrotekstuuri vähenemine väljaulatuvate mineraal- osakeste kulumise ja nende pinna poleerimise tulemusel.

Naastrehvide kasutamine talvel võib katte makrotekstuuri, võrreldes sügisese väärtusega, suurendada. Naastud kisuva jämedama mineraalmaterjali vahelt välja peenemat katte materjali, mistõttu katte pinnast välja ulatuva jämedama mineraalmaterjali osakaal katte pinnal kasvab ([joonis 2.6.](#)).

Makrotekstuur põhjustab rehvi hüstereesikao tõttu veeretakistuse kasvu ja suurendab teatud tingimustes rehvimüra (*Liikennevirasto, 2010*). Kui mikrotekstuur mõjutab rehvi ja teekatte vahelist haarduvust otseselt, siis makrotekstuur mõjutab seda kaudselt. Makrotekstuur võimaldab märja katte korral sadevee paremat ärajuhtimist ehk drenimist ning seega kuiva (kuivemat) kontakti rehvi ja teepinna vahel. Sellest tulenevalt väheneb suurtel sõidukiirustel oluliselt nn vesiliu oht, mil katkeb vahetu kontakt rehvi ja sõidutee pinna vahel - rehvi ja katte vahele jääb vee kiht (veekile).

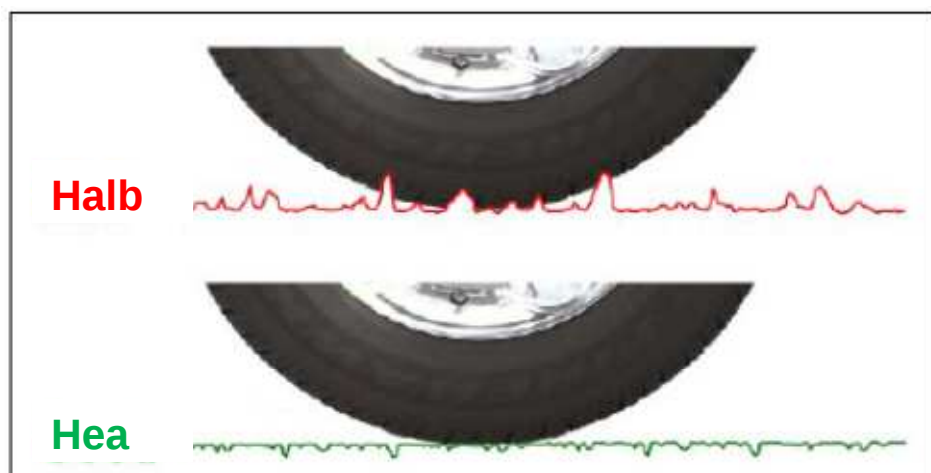


Joonis 2.6. *Katte kulumine, haarde suurenemine ja vähenemine ühe aasta kestel (Liikennevirasto, 2010)*

Makrotekstuuri sisaldab nii kasulikku kui ka kahjulikku karedust, mis sõltub selle lainepikkusest ja amplituudist. Makrotekstuurist on kasu vee eemaldamisel rehvi ja katte vaheliselt kontakttasapinnalt. Teatud makrotekstuur vähendab müra. (Liikennevirasto, 2010). Üldiselt, mida suurem on makrotekstuur, seda suurem on ka tema poolt põhjustatud rehvimüra ning seda väiksem on vesiliu oht.

Katte makrotekstuuri võib eristada tema vertikaalse suuna alusel positiivseks või negatiivseks tekstuuriks. Positiivse suunaga tekstuuril on pinna ebatasasused suunatud katte pinnast ülespoole ja negatiivse suunaga tekstuuril aga katte pinnast allapoole (joonis 2.7). Ebatasasuste suund ei ole tavaliselt üks või teine, vaid tavaliselt esineb katte pinnal nii positiivse kui ka negatiivse suunaga makrotekstuuri, kuid nende osakaal võib olla erinev.

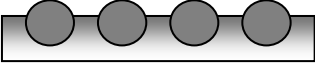
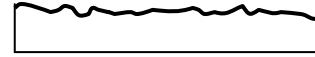
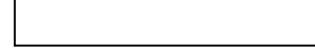
Negatiivse suunaga tekstuur toimib sarnaselt katte poorsusele ja vähendab tee ja rehvi vahelist müra. Tekstuuri suund mõjutab peamiselt müra ning mõju haardumisele ja veeretaksitusele arvatakse olevat samasuunaline (positiivne tekstuur). Haardumise ja veeretaksituse suhtes vajatakse täiendavaid uuringuid. (Liikennevirasto, 2010)



Joonis 2.7. Pinnatekstuuri jagamine positiivseks (katte pinnast ülespoole) ja negatiivseks (katte pinnast allapoole) kareduseks (FHWA, 2007)

Negatiivne tekstuur moodustub tavaliselt tasapinnaliselt paigaldatud jämedateralise materjali (näiteks dren- või killustikafaltbetoonist katte) vahelistest tühimikest.

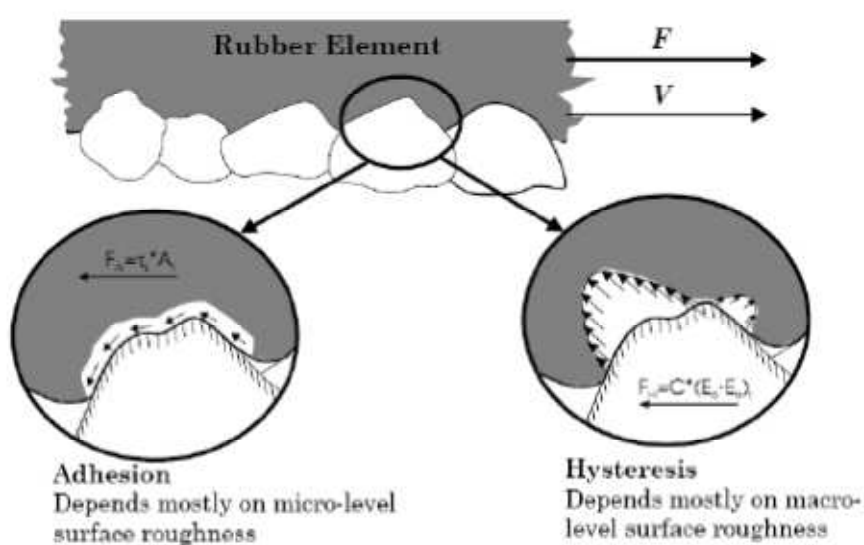
Olenevalt makro- ja mikrotekstuuri omavahelistest suhetest võib teekatete pinnatekstuuri jagada tinglikult nelja tüüpi (joonis 2.8.).

PINNATEKSTUURI TÜÜBID	MAKRO-/MIKROKAREDUS
	A SUUR / SUUR
	B SUUR / VÄIKE
	C VÄIKE / SUUR
	D VÄIKE / VÄIKE

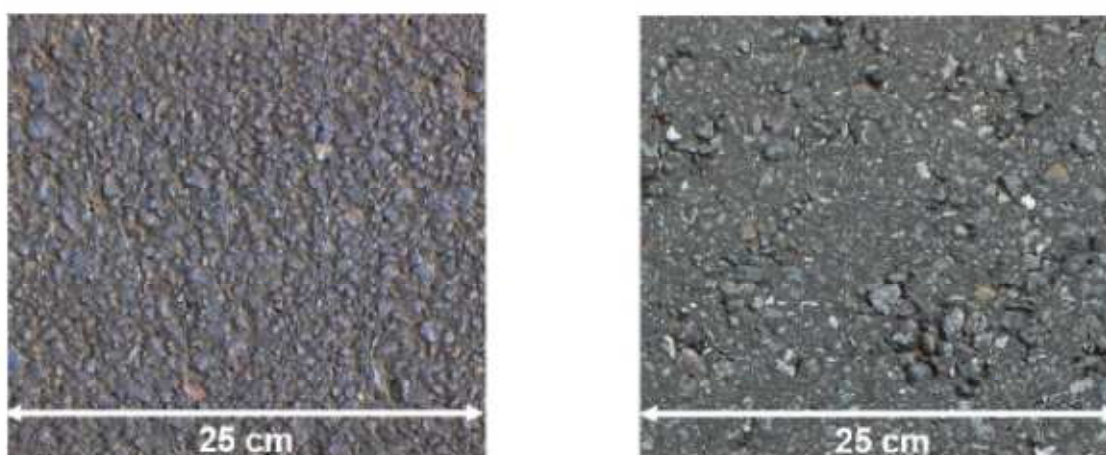
Joonis 2.8. Teekatete pinnatekstuuri jagunemine lähtudes makro- ja mikrotekstuuri omavahelisest suhtest

Parimaid haardeomadusi omab katte tekstuuritüüp A ja halvimaid D. Tüüp C on parem kui B.

Teekatte ja rehvi vaheline haardumine moodustub kahest osast: adhesioon ja hüsterees (*joonis 2.9*). Adhesioon takistab rehvi libisemist teepinna suhtes mõjudes puutepinna suunas. Hüsterees mõjub rehvi ja katte kontaktpinna suhtes vertikaalsuunas, tekitades survet rehvi ka katte mineraalmaterjali osakeste vahel ning suurendades sellega rehvi ja katte vahelist haardumist. Adhesioon sõltub peamiselt katte mikrotekstuurst ja mõjub rohkem väikestel sõidukiirustel. Hüsterees sõltub makrotekstuurst ja suureneb kiiruste kasvades. Mikrotekstuuri mõju avaldub eriti ristmikel ning linnatingimustes ja makrotekstuuri mõju vastavalt maanteedel.



Joonis 2.9. Katte ja rehvi vaheline haardemehhanism (Liikennevirasto, 2010)



Joonis 2.10. Väiksema (vasak) ja suurema (parem) haardumisega katted (Liikennevirasto, 2010)

Parempoolsel kattel [joonisel 2.10.](#) on teisigi häid omadusi: väiksem müra ja veeretakistus, selle tekstuuri suund on negatiivne.

2.4.2. Makrotekstuuri mõõtmine (EVS-EN ISO 13473-1:2004)

Makrotekstuuri mõõtmise levinuimaks traditsiooniliseks viisiks on liivalaigu meetod. Selle meetodi kohaselt määratakse makrotekstuuri sügavus kindla mahulise koguse peeneteralise liiva (või klaaskuulikeste) laotamisel katte pinnale. Makrotekstuuri põhinäitaja – tekstuuri (keskmine) sügavus (*Texture Depth*) saadakse liiva mahu ja laotatud pindala jagatisena. Sellise meetodi puuduseks on aga lisaks suurele sõltuvusele katse läbiviija oskustest peamiselt katse suhteliselt suur ajamahukus, milline ei võimalda katset suurtes mahtudes (nt. võrgu tasandil) teostada. Samas on aga selline vajadus täiesti ilmne, kuivõrd makrotekstuur mõjutab olulisel määral liiklusohutust, müra, veeretakistust ja rehvide kulumist.

Kaasaegsed mõõteseadmed suudavad makrotekstuuri mõõta pidevmeetodil maanteekiirustel. Sellisel meetodil saadakse mõõtmiste tulemusena tekstuuri profiil, mille põhjal leitakse tekstuuri iseloomustava näitajana profiili keskmine sügavus (*Mean Profile Depth*). Viimane on võimalik teisendada tekstuuri sügavuseks, võimaldades hinnata nii teelõigu kui laboratoorsete katteproovide makrotekstuuri. Kasutades sellist meetodit koos teiste katsetega, võimaldab see hinnata katte haardelisi ja akustilisi omadusi ning ka erinevate materjalide ja kattetöötlusmeetodite mõju nendele omadustele. Lisaks võimaldab meetod, näiteks koos mikrotekstuuri ja poorsusega, hinnata teekatte kvaliteeti.

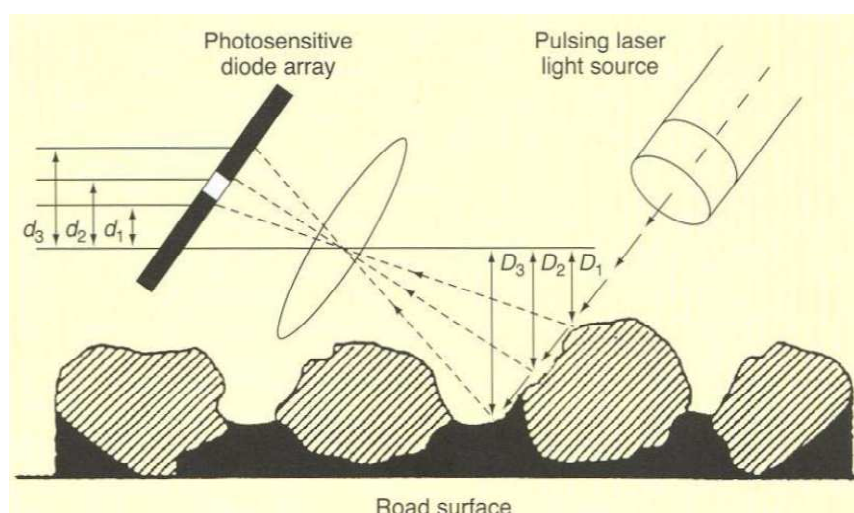
Mõõtmiste ajal peab kate olema kuiv ja puhas ning mõõtmisi ei või teostada sajuga (sh lumesajuga). Optiliste mõõteseadmete korral võib esineda probleeme värskelt paigaldatud, väga tumeda ja/või läikiva katte korral ning kui mõõtmisi teostatakse katte paigaldamise ajal, võivad temperatuuri erinevused põhjustada valesid lugemeid. Liikluse all olnud teedel võib tekstuur erineda tee põiklõikes. Sellisel juhul valitakse mõõtmisprofiil vastavalt mõõtmisandmete kasutuseesmärgile.

Ideaaljuhul tuleks mõõtmised teostada uuritaval teelõigul 100 % ulatuses. Minimaalselt peab standardi 13473-1 kohaselt mõõtma iga 100 m teelõigu kohta vähemalt 10 ühtlaste vahedega profiili, minimaalse pikkusega 100 mm/profiil. Ühtlase teelõigu korral on minimaalne mõõtmiste arv 16 profiili, sõltumata teelõigu pikkusest. Ebaühtlase teelõigu, vahelduva tekstuuri või spektraalanalüüsi korral võib mõõtmiste vajadus olla suurem.

Juhul kui mõõtmisteks kasutatakse laboratoorseid proovikehasid, peab minimaalselt mõõtma vähemalt 10 profiili minimaalse pikkusega 100 mm/profiil, kusjuures profiilid ei tohi üksteisega kattuda ega ristuda. Juhul kui proovikehad võetakse objektilt peavad need olema võetud vähemalt 4-st erinevast kohast.

Makrotekstuuri mõõtmiseseadmed

Meetodis kasutatakse profilomeetri süsteemi, mille poolt tekitatud elektrisignaali väljund on proportsionaalne mõõdetava kaugusega sensori tasapinna ja mõõdetava pinna vahel. Sensor võib olla näiteks mehaaniline, akustiline või optilis-elektriline või videokaamera.



Joonis 2.11. *Lasertehnoloogia kontseptsioon teekatte tekstuuri mõõtmisel (Guide to Asset Management Part 5G: Texture, Austroads 2009)*

Profilomeetri süsteem peab olema varustatud sensori liigutamise mehhanismiga, mis tagab sensori konstantse kauguse mõõdetavast pinnast vähemalt ühe mõõteprofiili ulatuses.

Mõõtmiste vertikaalne resolutsioon peab olema vähemalt 0,05 mm ja mõõtevahemik vähemalt 20 mm. Liikuvalt sõidukilt mõõtes on üldjuhul vajalik laiem mõõtevahemik.

Mõõtmispunkti diameeter mõõdetaval pinna ei tohi ületada 1 mm ning mõõtmispunktide intervall ei tohi ületada samuti 1 mm. Juhul kui mõõtmistulemusi kasutatakse spekteranalüüsiks, ei tohi intervalli kõikumine olla suurem kui 10%, st mõõtmise kiirus peab olema ühtlane.

Mehaanilise sensori korral ei tohi viimane olla mõõdetava pinna suhtes suurema nurga all kui 30 kraadi. Muudel juhtudel ei tohi mõõtmiskiire saatja ja vastuvõtja vaheline nurk ületada samuti 30 kraadi.

Andmetekogumise süsteem peab tagama ühtlase andmete kogumise lainepikkustel 5...50 mm ning vähendama müra, mis tuleneb spektri komponentidest lainepikkustel üle 100 mm ja alla 2,5 mm.

Seadme kalibreerimine viiakse läbi teadaoleva profiiliga kalibreerimispindadel. Kalibreerimise mõõtmistulemused ei tohi erineda pinna profiili teoreetilistest näitajatest üle 0,05mm.

Erinevatel põhjustel, näiteks kattepinna eriliste fotomeetriliste omaduste või varjude tõttu, võib tekkida lugemisvigu. Seetõttu on soovitatav, et mõõtesüsteem mõõdaks ka signaali tugevust. Juhul kui profilomeetri signaal osutub lugemisvigade tõttu väiksemaks või suuremaks kui normaalprofiili puhul, peab süsteem suutma sellised lugemid identifitseerida edasise töötamise võimaldamiseks.

Mõõtesüsteem peab tagama sensori püsivuse stabiilselt vertikaalses asendis vähemalt baasjoone (*baseline*) mõõtmisel (kaks üksikprofiili), kõikidel kiirustel, või vähemalt omama vertikaalse liikumise kompenseerimise süsteemi.

Mõõtmiste ja andmetöötlus protseduur koosneb 10 tegevusest:

1. Seadme kalibreerimine ja profiilide mõõtmine
2. Lugemisvigade menetlemine
3. Suuremate lainepikkuste filtreerimine (üle 100mm)
4. Väiksemate lainepikkuste filtreerimine (alla 2,5mm)
5. Baasjoonteks jagamine (100mm +- 10mm)
6. Kalde tuvastamine ja mõju elimineerimine
7. Laineharja tuvastamine
8. Profiili keskmise sügavuse (MPD) arvutamine
9. Profiili eeldatava sügavuse (ETD) arvutamine – $ETD = 0,2 \text{ mm} + 0,8 * MPD$
10. MPD ja ETD väärtuste keskmistamine

Mõõtmisprotokoll

Iga mõõteobjekti kohta koostatakse mõõteprotokoll, mis peab sisaldama alljärgnevat informatsiooni:

- Mõõtmiskuupäev
- Objekti tunnus ja asukoht
- Mõõdetava pinna tüübi kirjeldus

- Mõõtmistulemusi mõjutavate tegurite kirjeldus, mida ei ole võimalik puhastamisega eemaldada, sh niiskus, vuugid, praod kattes, löökaugud jms
- Mõõtmisjälje paiknemise kirjeldus objektis
- Mõõtmisseadme valmistaja ja mõõtmiste teostaja
- Mõõtmiskiirus
- Baasjoone arvutuslik pikkus
- Kalibreerimise tüüp ja aeg
- Mõõtmisvigade/interpoleeritud andmete maht
- Mõõtmiste arv ja maht objektil
- Objekti keskmine MPD, millimeetrites
- MPD standardhälve, millimeetrites
- ETD väärtused koos MPD väärtustega (vajadusel)

2.5. Megatekstuur

2.5.1. Üldist

Megatekstuur on rehvi ja teepinna vahelise kontaktpinna mõõtkavas oleva katte pinna ebatasasus, mis paigutub oma lainepikkuselt makrotekstuuri ja ebatasasuse vahele. Megatekstuur on katte pinna mittesoovitud omadus ja seda mõjutavad katte pinna üksikud defektid nagu näiteks:

- Augud;
- Sillavuugid;
- Katte murenemine;
- Kattetüübi muutumise kohad;
- Freesimised;
- Sõiduraja märgistus;
- Muud eeltooduga sarnased defektid ja jätkukohad.

Megatekstuuri spekter on *1/3-oktaavi lainealatekstuuri* spekter, mis hõlmab megatekstuuri lainepikkusi ja naaberlainepikkusi. Megatekstuuri spekter kirjeldab megatekstuuri võrdlemisi täielikult.

Megatekstuuri tasemeks L_{Me} nimetatakse näitajat, mis iseloomustab kompaktselt megatekstuuri kogu selle lainealas ühe väärtusena. Megatekstuuri indikaator L_{TX63} iseloomustab megatekstuuri lainepikkustel 50-80 mm (mõningane kattuvus makrotekstuuri lainepikkustega) ning megatekstuuri indikaator L_{TX500} iseloomustab

megatekstuuri lainepikkustel 400-630 mm (mõningane kattuvus ebatasasuse lainepikkustega). Viimased kaks indikaatorit leitakse spektraalanalüüsi käigus.

2.5.2. Megatekstuuri mõõtmine (EVS-EN ISO 13473-5:2004)

Megatekstuuri mõõtmiseks kasutatakse tavaliselt profilomeetrit (EVS-EN ISO 13473-5:2010). Sarnaselt makrotekstuuri mõõtmistele, ei tohi mõõtmisi teostada vihma või lumesajuga. Mõõtepind peab olema kuiv, va. juhul kui on selgelt põhjendatud, et seade toimib ühtviisi hästi nii märjal kui kuival kattel. Optiliste mõõtesüsteemide korral esineb sageli probleeme väga värskete katete korral, mis on tumedad ja läikivad. Kasutusel olnud teedel võib katte tekstuur erineda tee ristlõikes.

Soovitav on teha mõõtmised ja arvutused kogu lõigu pikkuses. Minimaalne mõõtmismäär on 5 mõõteprofiili iga 100 m lõigu kohta mõõteprofiili pikkusega 10 m. Statsionaarset tüüpi mõõteseadmete korral on minimaalsed mõõtepikkused vastavalt 3 m nii oktaavi laineala analüüsiks kui L_{Me} leidmiseks ning 9 m 1/3-oktaavi laineala analüüsiks. Mõõtmisandmete varieeruvust hinnatakse ja väljendatakse standardhälbe kaudu, mistõttu mõõtmised tuleb teostada minimaalselt hindamispikkuse ulatuses.

Meetodis kasutatakse profilomeetri süsteemi, millepoolt tekitatud elektrisignaali väljund on proportsionaalne mõõdetava kaugusega sensori tasapinna ja mõõdetava pinna vahel. Sensor võib olla näiteks mehaaniline, akustiline või optilis-elektriline või videokaamera. Profilomeetri süsteem peab olema varustatud sensori liigutamise mehhanismiga, mis tagab sensori konstantse kauguse mõõdetavast pinnast vähemalt ühe mõõteprofiili ulatuses. Profilomeetri süsteem peab vastama muuhulgas järgmistele nõuetele:

- Mobiilsusklass: mobiilne, kiire või aeglane;
- Tekstuuri lainepikkus: klass EF (63 mm ... 500 mm) või laiem;
- Minimaalne vertikaalse mõõtmise ulatus: 60 mm;
- Minimaalne horisontaalne katkematu mõõtmisulatus: 3 m (oktaavi laineala) või 9 m (kolmandik-oktaavi laineala);
- Vertikaalne resolutsioon: minimaalselt 0,04 mm;
- Horisontaalne resolutsioon: minimaalselt 20 mm;
- Maksimaalne mõõtmisintervall: 20 mm (soovitavalt 10 mm või väiksem).

Tausta või materjalide värvuse muutumisel heleda ja tumeda vahel ei tohi väljundprofiili signaali kõikumine kõikuda üle 0,1 mm.

Juhul, kui mõõtmisobjektile esineb üksikuid, üldisest megatekstuuri tasemest eristuvaid nähte, tuleneb need kajastada üksikhälvetena (*singularities*). Sellisteks üksikhälveteks võivad muuhulgas olla kaevukaaned, sillavuugid, löökaugud (mille omavaheline kaugus on suurem kui 10 m), ülekäiguraja markeering jne.

Lisaks tuleb hinnata mõõtmismääramatus, tõenäosusele 95% vastavalt ISO/IEC NP juhendile nr 98-3.

Mõõtmiste ja andmetöötluseprotseduur koosneb järgmistest tegevustest:

- Tundlikkuse testimine sõiduki vertikaalse liikumise suhtes;
- Profilomeetri süsteemi kalibreerimine;
- Katte pinnaprofiili mõõtmine;
- Mõõtmisprofiili eeltöötlamine spekteranalüüsi jaoks;
- Objekti tekstuurispektri ja indikaatori L_{Me} arvutamine megatekstuuri lainepikkustel (arvutus võib olla mittevajalik juhul kui L_{Me} saadakse sobivate filtrite kasutamisega juba mõõtmisel);
- Vajadusel arvutatakse indikaatorid L_{TX63} ja L_{TX500}

Mõned tüüpilised L_{Me} väärtused:

- Tihe asfaltbetoon – 44 dB;
- Väljapeetud täitematerjaliga uus tsementbetoonkate – 57 dB;
- Munakivitee kate – 66 dB.

Mõõtmisaruanne

Mõõtmisaruanandes kajastatakse minimaalselt järgmine info:

- Referentsandmed – mõõtmisi teostav organisatsioon ja mõõtmisüsteemi kirjeldus;
- Objekti kirjeldus – tee number või nimi, objekti asukoht (nt. algus ja lõpp), mõõtejoone asukoht (sõidusuund, sõidurada, paiknemine sõidurajal);
- Mõõdetava pinna kirjeldus – katte tüüp, maksimaalne terasuurus ja terakoostis;
- Andmed mõõtmise kohta – mõõtmiskuupäev, mõõtmistingimused.

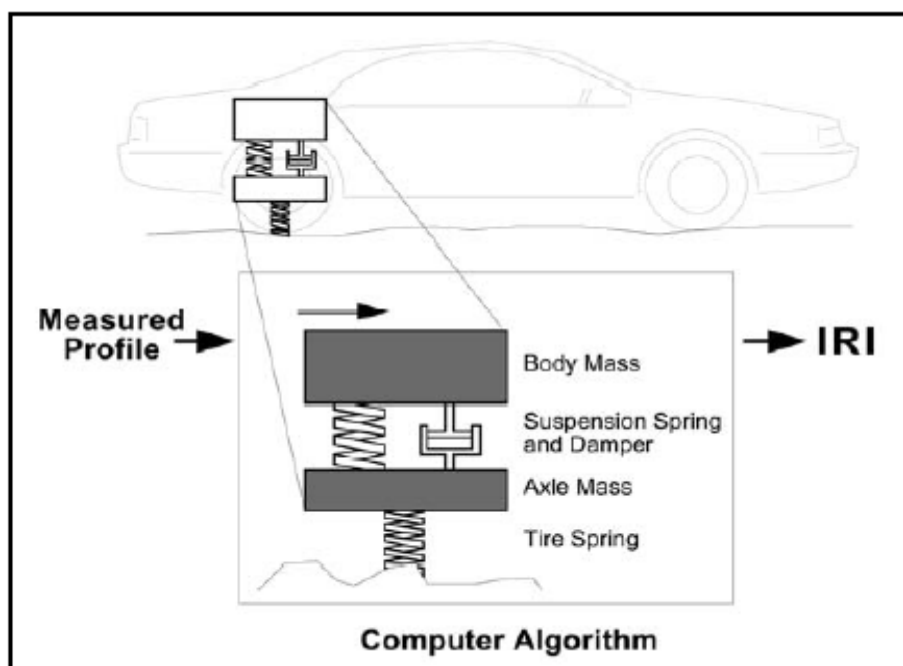
Mõõtmisandmed – hindamispikkus ja mõõtmisprofiili pikkus, mõõdetud L_{Me} koos aritmeetilise keskmise ja standardhälbega S_{Me} , üksikhälvete väärtused L_{sg} , laiendatud mõõtmismääramatus.

Megatekstuur ja ebataasasused mõjutavad katte haardelisi omadusi vähe, kui mitte arvestada, et pikema lainepikkuse ja auto vedrustuse omaduste koosmõju võib mõjutada rehvi ja teepinna vahelist kontakti. See omakorda määrab võimaliku tekkida võiva liiklusõnnetuse raskusastme. Megatekstuur ja ebataasasused mõjutavad mingil määral ka rehvimüra.

2.6. (Eba-)tasasus

Teekatte pinna ebataasasuse lainepikkus on vahemikus 500 mm – 50 (100) m. Pikema lainepikkuse korral võib tegemist olla juba tee pikiprofiili muutusega.

Ühte ja kindlat seadet ning meetodit, ehk nii öelda standardit tasasuse mõõtmiseks maailmas olemas ei ole. Kuigi IRI (*International Roughness Index*) on maailmas üsna levinud ja Maailma Pank (WB) ning teised finantsorganisatsioonid seda aktsepteerivad, ei ole ta ikkagi päriselt standardiks kinnitatud.



Joonis 2.12. IRI mõõtmiseks kasutatav nn veerandauto simulaatori põhimõte

Sõidutee pinna (pikisuunaliste) ebataasasuste mõju sõiduauto vertikaalsele liikumisele iseloomustatakse IRI-arvuga (*International Roughness Index*). IRI (mm/m või m/km) määratakse teoreetiliselt nii, et tee pikiprofiilile asetatakse arvutuslikult ühtlase

kiirusega 80 km/h liikuma teatud rehvi-, vedrustus- ja amortisatsiooniomadusi omav veerand-auto (*Quarter Car Simulator*) ([joonis 2.12.](#)). Veerand-auto vertikaalsetest liikumistest arvutatakse sõiduki vedrustatud (kere) ja vedrustamata (telg, rehvi) osa vaheline liikumiste erinevus, mis väljendatuna tee pikkusühiku kohta on IRI-arv. IRI väärtus iseloomustab ebatasasust, mille lainepikkus on vahemikus umbes 0,3 - 30 m. Antud lainepikkuste vahemik mõjutab teekasutajat kõige enam.

Käesolevas uurimistöös tasasusega seotud temaatikat pikemalt ei käsitleta.

3. TEKSTUURI MÕÕTMISE KOGEMUSED TEISTES MAADES

3.1. Üldist

Teekatte tekstuuri mõõtmine Eestis on küllaltki uus, sellega alustati alles 2011 aastal. Samas mujal Euroopas on seda teekatte seisukorra parameetrit määratletud juba aastaid ning selleks, et vältida teiste vigade kordamist on käesoleva uurimistöö raames ühe ülesandena määratletud teistest riikidest teekatte tekstuuri mõõtmise ning andmete kasutamise osas kogemuste ja informatsiooni kogumine ning selle kirjeldamine.

Käesoleva uurimistöö raames on informatsiooni teiste riikide kogemustest hangitud kahel erineval viisil. Esiteks on erinevatele kontaktisikutele (kokku 39 eksperti) saadetud e-postiga küsimustik. Vastuseid saadi kokku 12-lt erinevalt eksperdilt 12-st riigist. Lisaks on läbi töötatud vastava teemaga seotud kirjandus ning otsitud informatsiooni internetist.

3.2. Edastatud küsimustik ja saadud vastused

Teadaolevalt saab alati kõige ajakohasemat informatsiooni otse ekspertidelt. See on ka põhjus, miks käesoleva uurimistöö raames on otse võetud ühendust erinevate maade ekspertidega. Küsimustik, mis erinevate maade ekspertidele edastati, sisaldas järgmiseid küsimusi:

1. Kas teie riigis tehakse teekatte tekstuuri mõõtmist ning kas mõõtmisandmeid kasutatakse? Juhul kui mõõtmisi ei tehta, siis kas on plaanis mõõtmisi alustada tulevikus?
2. Juhul kui teekatte tekstuuri mõõdetakse, siis palun kirjelda lühidalt:
 - a. Mõõtmiste põhimõtted (sagedus, mahud, jne.);
 - b. Mis tekstuur on mõõdetud/kasutatud (mikro-, makro- ja/või megatekstuur);
 - c. Millised on otsuste tegemiseks kasutatavad erinevad tekstuuri parameetrid?
3. Kas teekatte tekstuuri parameetrid on kasutusel RAMS-s (*Road Asset Management System*), palun kirjelda erinevate teekatte tekstuuri parameetrite puhul kasutatavaid piirväärtusi.
4. Palun kirjelda oma kogemusi teekatte tekstuuri mõõtmiste tulemuste kasutamiselt.

Järgnevalt on toodud saadud vastuste ja muudest allikatest kogutud informatsiooni kokkuvõtteid riigiti. Lisas 1 on toodud kokkuvõttev tabel saadud vastustest.

3.2.1. Belgia

Teekatte tekstuuri mõõtmisel kasutatakse lasertehnoloogiat. Mõõtmisteks kasutatakse kolme laserit ja teekatte tekstuuri mõõdetakse mõlemas rattajäljes ning lisaks veel jälgede vahel. Mõõtmised tehakse kiirteedel (*motorways*) igal aastal ning tugimaanteedel (*secondary roads*) igal teisel aastal. Teekatte tekstuuri osas mõõdetakse ainult makrotekstuuri. Mõõdetakse 1 m teelõik iga 5 m tagant ja tulemustest leitakse keskmine väärtus igale 100 meetrisele teelõigule. Teekatte tekstuuri parameetritest on plaanis kasutada MPD-d, kuid hetkel uuritakse, kuidas seda teha. Teekatte tekstuuri parameetreid hetkel teede remondi- ja korrashoiutööde planeerimisel ei kasutata, aga töö selle teema kallal käib ning põhimõtteliselt nähakse kahte erinevat võimalust:

- Andmeid kasutada lisainformatsioonina otsuste tegemisel ja/või teekatte haardeliste omaduste asemel;
- Koos CPX (*Close Proximity Method* – seotud mürataseme mõõtmisega) mõõtmistega (see on hetkel uurimisel magistritööna Ghenti Ülikoolis).

CPX – *Close Proximity Method* on ISO tööühma TC43/SC1/WG33 poolt ettevalmistatav uus standard¹ (*ISO 11819-2: The Close-Proximity Method; CPX*). Antud meetod kirjeldab akustilist mõõtmismeetodit (vaata [joonis 3.1.](#)), millega saab määratleda teekatte akustilisi omadusi, mis on omakorda seotud teekatte tekstuuriomadustega.



Joonis 3.1. CPX-mõõtmisseade

¹ <http://www.silentroads.nl/index.php?section=measurements&subject=cpx>

3.2.2. Leedu

Teekatte tekstuuri mõõdetakse lasertehnoloogiaga. Mõõtesüsteemis RST28 ([joonis 3.2.](#)) kasutusel olevast 20 laserist kaks laserit mõõdavad teekatte tekstuuri samal ajal kui toimub ka muude teekatte piki- ja põikprofiili parameetrite mõõtmine (teekatte tasasus, roopa sügavus, jne.). Mõõtmistulemustest leitakse keskmised väärtused 20m teelõigule. Teekatte tekstuuri parameetritele ei ole määratletud piirväärtusi ja neid ei kasutata otsustusprotsessis teedele remondimeetodite määratlemisel.



Joonis 3.2. Leedus kasutatav RST28 mõõtmisseade teekatte erinevate omaduste mõõtmiseks

3.2.3. Sloveenia

Sloveenias kasutatakse teekatte tekstuuri mõõtmiseks laserit, mis on paigaldatud seadme SCRIM külge ([joonis 3.3.](#)). Koos teekatte haardeliste omaduste mõõtmisega mõõdetakse seega ka teekatte tekstuuri parameetreid. Lisaks on projekti tasemel teekatte tekstuuri mõõtmiseks kasutusel liivalaigu meetod.

Teedevõrgu tasemel on teekatte tekstuuriomaduste kirjeldamiseks kasutusel parameeter SMTD (*Sensor Measured Texture Depth*). SMTD põhineb tekstuuri sügavuse määramisele 300mm ± 15mm pikkusele teelõigule ja sellele vastava anduri poolt amplituudi standardhälbe arvutamisele. Sõiduki/haagise võnkumise mõju on eemaldatud kohandades kõige paremini sobiva parabool trendkõverat andmetele, mis on saadud 300mm pikkuselt teelõigult. Standardhälve on arvutatud kasutades tekstuuri profiili kõrvalekaldeid trendi kõverast. Tekstuuri sügavuse väärtuse (SMTD) saamiseks on 300mm pikkuste teelõikude standardhälbest võetud keskmine väärtus 10m pikkusele teelõigule.



Joonis 3.3. Sloveenias kasutatav seade SCRIM, millele on lisatud teekatte tekstuuri mõõtmiseks vastav laser

Projekti tasemel kasutatakse teekatte tekstuuri kirjeldamiseks MTD (*Mean Texture Depth*), mis arvutatakse liivalaigu meetodi põhimõttel. Kasutatavad teekatte tekstuuri piirväärtused on määratletud vastava spetsifikatsiooniga (*Technical Specifications for Roads 06.620: Pavement Surface Characteristics - Skid Resistance*) ja need on seotud kiiruspiirangu väärtustega ([tabel 3.1.](#)). Samas ei kasutata teekatte tekstuuri väärtusi kunagi üksi, vaid alati koos teekatte haardeliste omaduste väärtustega.

Tabel 3.1. Sloveenias kasutatavad teekatte tekstuuri piirväärtused

Kiiruspiirang (km/h)	MTD (mm)	SMTD (mm)
40	0.22	-
50	0.26	-
60	0.30	0.13
70	0.35	0.19
80	0.40	0.25
100	0.53	0.42
120	0.70	0.63

3.2.4. Norra

Norras tehakse süstemaatilisi teedevõrgu tasemel teekatte seisukorra mõõtmisi, kasutades lasertehnoloogiat ([joonis 3.4.](#)). Seni on põhiliselt mõõdetud teekatte põik- (roobas) ja pikitasasust (IRI). Neid mõõtmisandmeid kasutatakse ka laialdaselt teekatete remondi- ja korrashoiutööde planeerimisel. Samal ajal saadakse nende mõõtmiste käigus ka informatsiooni teekatte tekstuuri kohta. Seni on neid andmeid ainult salvestatud andmebaasi, kasutatud neid ei ole.

Käesoleval (2012) aastal on plaanis põhjalikumalt hakata uurima teekatte tekstuuri. Seda nii mõõtmiste protseduurilise poole pealt (laserite seadistus, paigaldus, kaugus teepinnast, jne.), kui ka andmete filtreerimise ja olemasolevate andmete uurimise osas. Kavas on korraldada erinev arv katseid erinevatel teedel ja teekatetel, millede tulemusena loodetakse saada informatsiooni teekatte vajaliku kvaliteedikontrolli parameetrite osas (mittepiisav homogeensus, praod, segregatsioon, higistamine, jne...). Käimas on ka doktoritööga seotud uuring, mille sisuks on siduda omavahel tekstuuri mõõtmine/pinna tekstuuri karakteristikud nende materjalide akustiliste omadustega/liikluse müraga.



Joonis 3.4. Norras kasutatav ViaTSC seade teekatte tekstuuri mõõtmiseks

Põhimõtteliselt ollakse Norras hetkel samas olukorras mis Eestis – hakatakse teekatte tekstuuri mõõtma ja uuritakse selle kasutamisevõimalusi. Käesoleva uurimistöö koostajad soovivad antud teema osas Norra Maanteeametiga sidet pidada, et oma kogemusi vahetada.

3.2.5. Prantsusmaa

Prantsusmaal mõõdetakse teekatte makrotekstuuri alati uuel teekattel (riigi teedevõrgul) ja nende mõõtmiste tulemuste hindamiseks on kehtestatud ka vastavad nõuded (vt [tabel 3.2.](#) ja [tabel 3.3.](#)). Makrotekstuuri mõõdetakse regulaarselt (vähemalt kord iga kolme aasta jooksul) riigi teedevõrgul teedehoolde ja –remondiga seotud otsuste tegemiseks. Samas ei ole kehtestatud kindlaid spetsifikatsioone nende andmete kasutamiseks hooldustööde määratlemisel.

Teekatte makrotekstuuri mõõtmisteks kasutatakse profilomeetrit RUGO (*joonis 3.5.*), milles paikneva laseri töösagedus on 32 000 Hz. Antud seadmega on võimalik määrata tekstuuri parameetrit MPD (*Mean Profile Depth*) vastavalt ISO EN 13473-1 nõuetele.



Joonis 3.5. RUGO seade teekatte tekstuuri mõõtmiseks²

Prantsusmaal mõõdetakse ka teekatte mikrotekstuuri. Selleks kasutatakse SCRIM-seadet või GRIPTESTER-seadet juhul kui SCRIM-seadmega ei ole võimalik mõõtmisi teha. Samas ei ole mikrotekstuurile sarnaselt makrotekstuuriga määratletud kindlaid nõudeid vajalike teehooldustööde hindamiseks. Iga teehaldaja (insener) kasutab otsuste tegemiseks enda määratud väärtusi.

Tabel 3.2. Teekatte makrotekstuuri nõuded uutele teekatetele Prantsusmaa maanteedel

Lubatud sõidukiirus, km/h	Maantee tüüp	Kurviliisus	Põikkalle	MPD _{spe}	MPD _{min}
V=90	1x1 maantee	Kõik juhud	<= 5%	>= 0.60 mm	0.40 mm
			> 5 %	>= 0.80 mm	0.60 mm
V=110	2x2 maantee		<= 5%	>= 0.60 mm	0.40 mm
			> 5 %	>= 0.80 mm	0.60 mm
V=130	2x2 maantee	R>=1000m	<= 5%	>= 0.60 mm	0.40 mm
	2x3 maantee jne	R>=600m		>= 0.70 mm	0.50 mm

² <http://www.lcpc.fr/english/products/catalogue-of-mlpc-r-equipment/fiche-268/article/rugo-1093>

Tabel 3.3. Teekatte makrotekstuuri nõuded uutele teekatetele Prantsusmaa linnatänavatel

Lubatud sõidukiirus, km/h	Tänav tüüp	Kirjeldus	MPD _{spe}	MPD _{min}
V≤50	1x1 tänav	Linnad	≥0.40 mm	0.30 mm
50<V<90			≥ 0.60 mm	0.40 mm
V≥90	2x2 tänav	Linna maanteed Põikkalle ≤5%	≥ 0.60 mm	0.40 mm
	2x3 tänav jne		≥ 0.70 mm	0.50 mm

3.2.6. Suurbritannia

Suurbritannias on teekatte tekstuuri mõõtmine rutiinne tegevus. Magistraalteedel (*trunk roads*) ja tähtsamatel kohalikel teedel (*principle local roads*) toimub tekstuuri mõõtmine igal aastal. Madalama klassiga teedel mõõdetakse teekatte tekstuuri harvemini. Peamine põhjus teekatte tekstuuri mõõtmiseks on teekatte haardeliste omaduste nõuetele vastamise kontrollimine. Kasutusel on mitmeid erinevaid mõõtmisseadmeid, kuid need on oma põhimõtelt sarnased. Inglismaal tehakse teekatte seisukorra mõõtmised lasertehnoloogial põhineva TRACS (*TRAfficspeed Condition Survey*) seadmega (joonis 3.6.). Mujal Suurbritannias kasutatakse SCANNER (*Surface Condition Assessment of the National Network of Roads*) süsteemi.



Joonis 3.6. TRACS seade teekatte seisukorra parameetrite, sh tekstuuri mõõtmiseks

TRACS-i poolt mõõdetud tekstuuri sügavus kuulub oma olemuselt jämedama osa hulka makrotekstuurst ja peenema osa hulka megatekstuurst. Teekatte tekstuuri mõõdetakse vasakus (välimises – arvestades, et liiklus on erinevalt muust Euroopast vasakpoolne) sõidujäljes tee pikisuunas orienteeruvalt 1 mm sammuga. Mõõtmistulemustest arvutatakse tekstuuri osas SMTD (*Sensor Measured Texture Depth*) väärtused (vaata punkti 3.2.3.), leitakse keskmised väärtused 10m pikkustele teelõikudele ja need sisestatakse HAPMS (*Highway Agency PMS*) andmebaasi. Tekstuuri sügavuse andmete põhjal leitakse võimalikud teelõigud, kus teekatte haardelised omadused ei pruugi nõuetele vastata (koos SCRIM-seadme mõõtmistulemustega). Lisaks näitavad tekstuuri andmed teatud tingimustel ka võimalikud teekatte lagunemise kohad.

Kõik mõõdetud teekatte seisukorra andmed jagatakse samadel põhimõtetel 4 klassi ([tabel 3.5.](#)). Igale teekatte seisukorra andmeliigile on kehtestatud omad seisukorra piirid. Teekatte tekstuurile kehtestatud piirväärtused on seotud teekatte tüübiga ([tabel 3.6.](#)). Kui mõõdetud teekatte tekstuuri piirväärtused on ületatud, nähakse ette teekatte haardeliste omaduste kontrollmõõtmised vastava metoodika ja seadmega.

Tabel 3.5. Teekatte seisukorralasside kirjeldused erinevatele parameetritele, sh tekstuurile

Kategooria	Kirjeldus
1	Veatu – ei ole nähtavaid defekte
2	Esineb mõningaid defekte – prioriteedilt madal tase. Seisukorra halvenemine ei ole tõsine ja põhjalikumate uuringute (projekti tasemel) teostamise vajadus puudub, eeldusel, et see tase ei ole püsinud väga pikka aega või mitu erinevat teekatte seisukorra parameetrit ei ole samas kategoorias.
3	Mõõdukas lagunemine – hoiatustase. Lagunemine on muutumas tõsiseks ja olukord vajab lisauuringuid. Lisauuringute prioriteet ja detailsus sõltuvad konkreetsetest seisukorra parameetrite ulatusest ja väärtustest.
4	Tõsine lagunemine – sekkumistase. See tase ei tohi ilmned kiirteedel ja teistel tähtsamatel maanteedel, kuna varasem teehoid peaks selle tekkimise vältima. Antud taseme tekkimisel on kindlasti vaja lisauuringuid (detailseid) ja need on vaja teostada esimesel võimalusel lagunenu teelõigu kogu pikkuses. Vajalikud remondimeetmed tuleb rakendada.

Tabel 3.6. Teekatte tekstuuri (SMTD) piirväärtused vastavalt seisukorra klassidele (100m pikkusele teelõigule)

Kategooria	Piirväärtus		Piirväärtus		Piirväärtus	
	1	2	3	4		
Karestatud teekate (HSF)		0.6		N/A		N/A
Kõik muud teekatted		1.1		0.8		0.4

3.2.7. Itaalia

Itaalias tehakse teekatte tekstuuri mõõtmisi ja selleks kasutatakse liivalaigu meetodit (*joonis 3.6.*) ning lasertehnoloogiat. Mõõtmiste käigus määratakse makrotekstuur ja selle iseloomustamiseks on laialdasemalt kasutusel pinna kõrgus SH (*Surface Height*) ja MPD, harvem ka tekstuuri tase TL (*texture level*) ning PSD³ (*Power Spectral Density*).

Teede remondi- ja hooldetööde lepingutes on tihti määratletud teekatte tekstuurile piirväärtused ja protseduurid. Kasutatakse ka ISO/EN standardites määratletut. Antud alal on teostatud ja hetkel on käimas mitmeid erinevaid uuringuid, mis on seotud ja hõlmavad tekstuuri mõõtmist lasertehnoloogiaga, müra, filtreeruvust, jne.



Joonis 3.6. Liivalaigukatse teekatte tekstuuri parameetrite määramiseks

3.2.8. Läti

Lätis teostatakse teedevõrgul regulaarselt teekatte tasasuse mõõtmisi laser profilomeetriga ning nende mõõtmiste ühe kõrvaltootena saadakse ka teekatte makrotekstuuri iseloomustav väärtus MPD (*Mean Profile Depth*), kuna mõõtesüsteem seda lihtsalt väljastab. Antud väärtustest on olemas suur andmebaas, aga praktikas ei kasutata neid andmeid hetkel mingil moel.

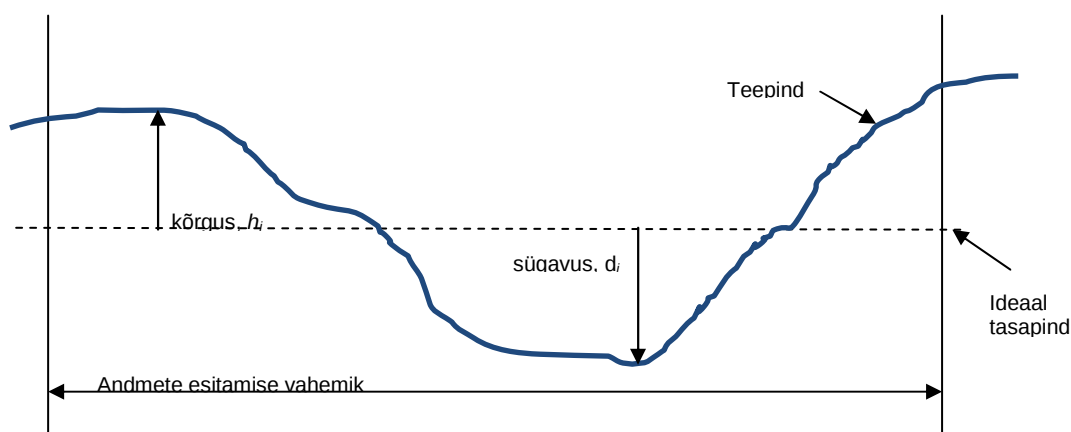
³ PSD – teekatte pikisuunalist ebatasasust iseloomustav suurus, mis hõlmab kogu ebatasasuste lainepikkuse ala. Kasutatakse näiteks autotehastes sõiduki ja tee vahelise mõju simuleerimiseks.

3.2.9. Soome

Soomes on mõõdetud teekatte tekstuuri regulaarselt koos teekatte roopa- ja tasasuse mõõtmistega, aga seni on selle andmeliigi kasutamine jäänud tagasihoidlikuks. Mõõdetud on makro- ja megatekstuuri, kuid tavapärasest veidi erineva määratlusega. Mõõtmistulemused (tekstuuri ruutkeskmised RMS-väärtused) salvestatakse teekatte seisukorra andmebaasi 100m teelõigu keskmiste väärtustena. RMS-väärtused leitakse järgmise valemiga:

$$RMS = \sqrt{\sum h_i^2 + \sum d_i^2}$$

kus: h_i on teepinna kõrgus võrreldes ideaalse tasapinnaga (joonis 3.7.)
 d_i on teepinna sügavus võrreldes ideaalse tasapinnaga (joonis 3.7.)
 i on iga laseriga saadud mõõtetulemus pikisuunas (1mm sammuga)



Joonis 3.7. Tekstuuri RMS-väärtuse arvutamise põhimõtte kirjeldus

Andmed teekatte tekstuuri kohta on pakkunud huvi eelkõige seoses võimalusega kasutada seda teekatte haardeliste omaduste kirjeldajana. Megatekstuuri nõudeid on üritatud lisada Asfaldinormidesse, kuid seni ei ole see õnnestunud. Küll on aga megatekstuur kasutusel pika-ajalistes hooldelepingutes ühe teekatte seisukorda iseloomustava parameetrina. Piirväärtuseks on megatekstuurile kehtestatud 0.9 mm, mille ületamise puhul järgnevad sanktsioonid. Teekatete remondi- ja korrashoiutööde planeerimisel tekstuuri parameetreid seni tööde teostamise aja ja tüübi määratlemiseks kasutatud ei ole. Soomes on viimaste aastate jooksul teostatud erinevaid uuringuid teekatte tekstuuri andmete kasutamiseks, kuid need ei ole andnud piisavalt häid tulemusi, selleks et neid andmeid saaks efektiivselt kasutada. Põhjuseks on ilmselt see, et teekatte roopad ja muud teekatte defektid on need

andmed, mille alusel põhilised otsused tehakse. Tehtud otsuste prioriteedi määrab teekatte tasasus.

3.2.10. Taani

Taanis mõõdetakse teekatte tekstuuri laser profilomeetriga (*joonis 3.8.*) ja tulemused esitatakse MPD-arvuna. Mõõtmised tehakse üldkasutatavatel teedel. Tekstuuri mõõtmistulemusi kasutatakse nende kohtade leidmiseks, kus võib esineda probleeme teekatte haardeliste omadustega. Leitud kohad (kuskil 10%) mõõdetakse üle eraldi teekatte haardeliste omaduste mõõtmise (*joonis 3.9.*) seadmega.



Joonis 3.8. Taanis kasutatav ARAN-seade teekatte seisukorra parameetrite mõõtmiseks



Joonis 3.9. Taanis kasutatav RoAR-seade teekatte haardeliste omaduste mõõtmiseks

Teekatte haardeliste omaduste mõõtmised (kasutatakse seadet RoAR) tehakse [tabelis 3.7](#) toodud kriteeriumite põhjal. Teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste põhjal valitakse teedevõrgult need kohad, kus haardelisi omadusi mõõdetakse. Haardeliste omaduste mõõtmine on vajalik juhul kui makrotekstuuri kirjeldava väärtuse MPD tulemustest 20% on alla 0.20 või 25% on alla 0.25 või 50% on alla 0.30.

Tabel 3.7. Teekatte haardeliste omaduste kontrollimise kriteeriumid teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste põhjal

	MPD<0.20 mm	MPD<0.25 mm	MPD<0.30 mm
Kriteeriumile vastava osa hulk mõõtmistulemustest	>= 20%	>=25%	>=50%

Taanis tehtud uuringute ja kogemuste põhjal saab tuua välja, et teekatte tekstuur (nii makro- kui mikrotekstuuri) mõjutab pidurdustee pikkust. Tekstuuri mõjutab ka veeretakistust ja seega ka sõidukite kütuse kulu.

3.2.11. Rootsi

Rootsis saadakse teekatte tekstuuri andmed kogu teedevõrgult paralleelselt teekatte tasasuse ja roopa sügavuse mõõtmistega. Mõõtmistulemused esitatakse 20m sammuga ja tekstuuri mõõdetakse mõlemast rattajäljest ning lisaks ka jälgede vahelt. Teekatte tekstuuri parameetritena on kasutusel makrotekstuuri (jagatud omakorda kaheks – peen ja kare) ja megatekstuuri. Kuni aastani 2005 oli kasutusel teekatte tekstuuri kirjeldav väärtus RMS. Hiljem on teekatte tekstuuri mõõtmistulemused esitatud MPD-arvuna. Makrotekstuuri on jagatud kahte erinevasse lainepikkuse alasse, 1-10mm ning 10-100mm. Megatekstuuri mõõdetakse lainepikkusvahemikust 100-500mm.

Vanu RMS-väärtusi ei ole eriti laialdaselt kasutatud ja hetkel on suund võetud rohkem MPD-väärtuse kasutamise suunas. Põhjuseks see, et MPD-väärtus vastab standardile ja selle abil on võimalik uurimistulemusi paremini kasutada. Samas nähakse endiselt vajadust ka MPD-arvu jagamine kahe erineva lainepikkusalaga kaheks 10mm juures.

Teekatte tekstuuri andmete kasutamine Rootsis on hetkel uurimisstaadiumis. Rootslased osalevad uurimisprogrammis, kus uuritakse teekatte tekstuuri ja haardeliste omaduste, müra ja veeretakistuse vahelisi seoseid. Ühes uurimistöös on eesmärgiks hinnata teekatte tekstuuri andmete põhjal teekatte homogeensust.

Käimas on ka uurimistöö, milles on eesmärgiks teekatte tekstuuri lühiajaliste arengumudelite väljatöötamine. Megatekstuuri andmete kasutamine on sirgjoonelisem, kuna selle mõju on reeglina ainult negatiivne. Makrotekstuuri andmete kasutamine on keerulisem, kuna selle mõju võib olla nii positiivne kui ka negatiivne. See on ka põhjus, miks ühe variandina nähakse ette makrotekstuuri jagamine kaheks lainepikkusevahemikuks. Rõhutatakse ka seda, et vaja oleks andmeid mikrotekstuuri kohta, kuid hetkel ei leidu tehnoloogilisi lahendusi selle parameetri kiireks teedevõrgu tasemel mõõtmiseks.

Tabel 3.8. Ettepanek makrotekstuuri (MPD) minimaalsete lubatud väärtuste kohta

AKÖL, autot/ööp	Lubatud suurim sõidukiirus, km/h							
	120	110	100	90	80	70	60	50
0-250	-	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
250-500	-	0.25	0.25	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20
500-1000	-	0.30	0.30	0.30	0.25	0.25	0.25	0.25
1000-2000	-	0.33	0.33	0.33	0.28	0.28	0.28	0.28
2000-4000	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30
4000-8000	0.35	0.35	0.35	0.35	0.30	0.30	0.30	0.30
>8000	0.40	0.40	0.40	0.40	0.35	0.35	0.35	0.35

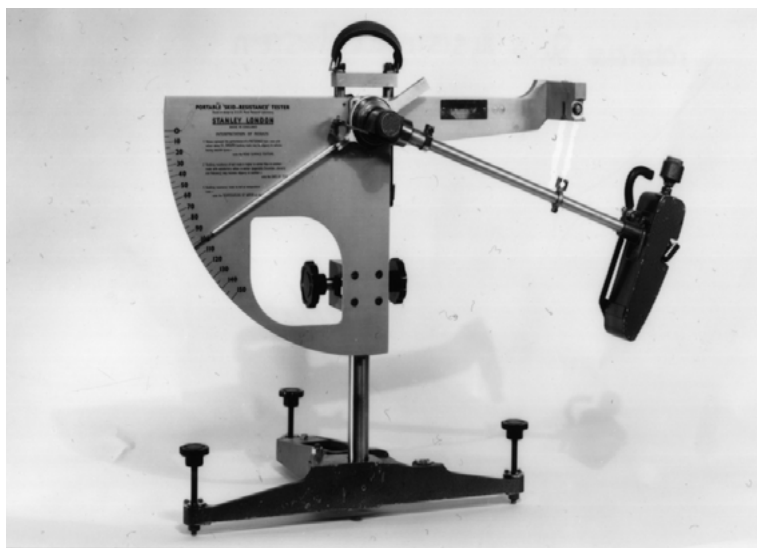
2011 aastal Austraalias toimunud konverentsil (3rd *International Surface Friction Conference, Safer Road Surfaces – Saving Lives*) esinenud Rootsi VTI ekspert Leif Sjögren tõi oma ettekandes välja võimaliku seose teekatte haardeliste omaduste ja makrotekstuuri vahel ning esitas makrotekstuuri (MPD) piirid, mis võiks kasutusele võtta ([tabel 3.8.](#)). Teekatte makrotekstuuri minimaalsed piirid on määratletud lähtuvalt liiklussagedusest ning lubatud suurimast sõidukiirusest.

3.2.12. Austraalia

Austraaliast vastas küsimustikule Queenslandi⁴ piirkonna spetsialist. Queenslandi piirkonnas mõõdetakse teekatte tekstuuri ja kasutatakse saadud andmeid teehooldustööde ja erinevate remondimeetmete määratlemisel.

⁴ Teistes piirkondades võib kasutatav mõõtmispraktika olla erinev

Teekatte mikrotekstuuri määratakse kaudselt teekatte haardeliste omaduste mõõtmise seadmetega. Kasutusel on mitmeid erinevaid seadmeid – SCRIM, RoAR, ViaFriction ja Briti Pendel (*British Pendulum*, [joonis 3.10.](#)). Mõõtmisi tehakse rutiinselt ja tulemusi võrreldakse vastavate tasemetega. Mõõtmistulemusi võrreldakse muude andmetega (näiteks liiklusõnnetuste kontsentreerumise kohtadega ja õnnetuste ajalooga), et määratleda ning prioritseerida vajalikke teehooldus- ja remondimeetmeid. Mõõtmised tehakse põhimaanteedel igal aastal, teistel teedel harvemini. Lisaks on kasutusel poleeritud mineraalmaterjali laboratoorne haardekats (polished aggregate friction lab test), et määratleda asfaltbetooni lisatava mineraalmaterjali omadused.



Joonis 3.10. Briti Pendel teekatte haardeliste omaduste mõõtmiseks

Teekatte makrotekstuuri määramiseks kasutatakse lasertehnoloogial põhinevaid mõõtmisi või liivalaigu katset. Mõõtmistulemusi võidakse kasutada projektipõhisteks uuringuteks (liiklusõnnetuste kohad). Geomeetriline projekteerimine arvestab makrotekstuuri sügavust, et tagada vajalik vee äravool teekattelt ja nõuetele vastav veekile paksus.

Teekatte megatekstuuri/tasasust mõõdetakse lasertehnoloogial põhinevate seadmetega ja mõõtmistulemuste põhjal prioriseeritakse erinevad remondiobjektid teekatete remondi- ja korrashoiutööde määramise süsteemis (*Asset Management System*). Teekatte tasasus on kasutusel ka remondi- ja ehitustööde vastuvõtu kriteeriumina. Ka makrotekstuuri andmed on kirjeldatud selles süsteemis, kuid nendele ei ole määratletud piirväärtusi või kriteeriume.

Lõuna Austraalia piirkonnas kasutusel olevad soovituslikud piirväärtused teekatte tekstuuri parameetritele MPD on toodud [tabelis 3.9](#). Lisaks salvestatakse andmebaasidesse tekstuuri kirjeldavatest erinevatest parameetritest SMTD, SPTD ning ETD väärtused.

Tabel 3.9. Tüüpilised soovituslikud piirväärtused teekatte tekstuurile (MPD)⁵

Maantee funktsioon	Tekstuuri sügavus, MPD (mm)
Kiirteed ja teised kõrgema klassiga teed, kus liiklusele ei ole takistusi	0.4
Maanteed, kus lubatud sõidukiirus on suurem kui 80km/h Teised suuremad põhimaanteed (rambid ja ühendusteel) peatumiseks ja sõidusuuna muutmiseks, kus lubatud sõidukiirus on alla 80km/h)	0.6
Teised maanteed (kattega)	0.4

3.2.13. Eesti

Eestis alustati teekatte tekstuuri mõõtmisega 2011. aastal. Tekstuuri mõõtmiseks on kasutusel lasertehnoloogial põhinev seade Laser Texture Meter LTM-1 ([joonis 3.11](#)).



Joonis 3.11. Teekatte tekstuuri ja tasasuse mõõtmise seade Laser Texture Meter LTM-1

Tekstuuri mõõdetakse koos teekatte tasasusega. Mõõtmisamm ja teepikkus millele tekstuuri erinevad parameetrid mõõdetakse või arvutatakse on hetkel lahtine. Selle

⁵ 'Guide to the selection of road surfacings', (2003), AP-63/03, Austroads, Sydney.

määratlemine on üks käesoleva uurimistöö ülesandeid. Kasutusel olev mõõtmisüsteem võimaldab teekatte tekstuuri kohta saada järgmiseid parameetreid:

- Makrotekstuuri ruutkeskmine RMS (*Root Mean Square*);
- Makrotekstuuri keskmine profiili sügavus MPD (*Mean Profile Depth*);
- Megatekstuuri ruutkeskmine RMS (*Root Mean Square*).

Käesoleval hetkel ei ole kindlalt määratletud, milliseid tekstuuri parameetreid tulevikus kasutama hakatakse. Käesolev uurimistöö peaks andma vastuse ka sellele probleemile. Ka ei ole hetkel täpselt määratletud teekatte tekstuuri kasutamine teekatete remondi- ja korrashoiutööde määratlemisel ning ka sellele küsimusele peaks vastuse andma käesolev uurimistöö.

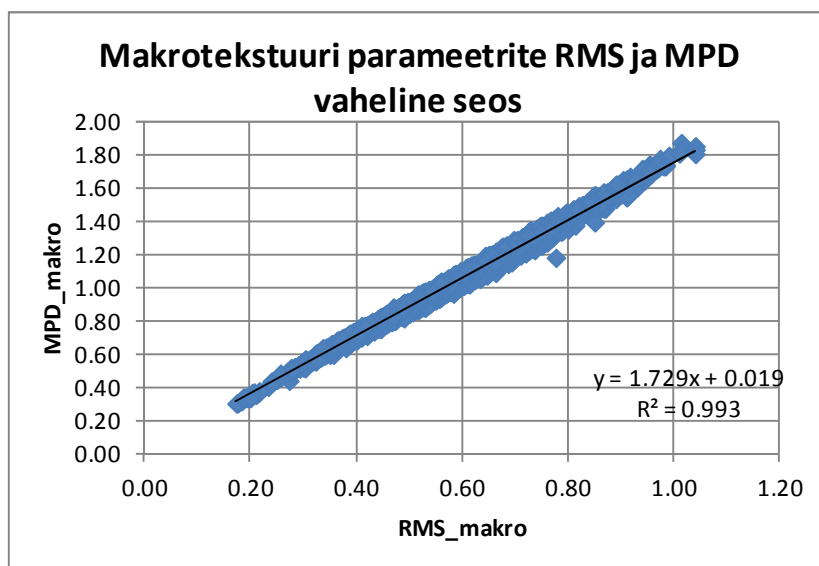
4. TEEKATTE TEKSTUURI MÕÕTMISTULEMUSED

4.1. Soovitused teekatte tekstuuri näitajate ja nende piirväärtuste osas

Soovitused teekatte tekstuuri näitajate kasutamise ja nende piirväärtuste osas Eestis põhinevad suurel osal rahvusvahelisel praktikal. Lisaks on arvestatud Eestis kasutusel oleva mõõtetehnika võimalustega ja esimeste teekatte tekstuuri mõõtmiste tulemustega.

4.1.1. Teekatte makrotekstuuri näitaja ja piirväärtused

Teekatte makrotekstuur on teekatte pinnast välja ulatuva mineraalmaterjali poolt moodustatud katte pinna tekstuur. Teekatte makrotekstuuri osas on uurijatel ettepanek edaspidi kasutada selle parameetri kirjeldamiseks ainult suurust MPD (*Mean Profile Depth*). Nimetatud parameeter on standardiseeritud, selle parameetri väljastamiseks on Eestis kasutusel oleval mõõtetehnikal valmidus ning see parameeter on kasutusel või seda on kasutusele võtnud mitmed teised riigid. Teise Eestis mõõdetava teekatte makrotekstuuri parameetri ruutkeskmise RMS (*Root Mean Square*) kasutamine ja eraldi piirväärtuste kehtestamine ei ole põhjendatud. Need mõlemad teekatte makrotekstuuri kirjeldavad parameetrid on arvutuslikud ja nende vahel on olemas kindel seos nagu on näha [jooniselt 4.1](#).



Joonis 4.1. Teekatte makrotekstuuri parameetrite MPD ja RMS omavaheline seos

Teekatte makrotekstuuri mõõtmine peaks toimuma võimalikult väikese mõõtmisammuga, et saadavad mõõtmistulemused kirjeldaksid teekatte seisukorda

võimalikult täpselt. Teeregistrisse tuleb mõõtmistulemustest sisestada makrotekstuuri kohta 100 meetri pikkuse teelõigu MPD keskmine väärtus ning sama teelõigu kohta MPD väärtuse standardhälve.

Teekatte makrotekstuuri MPD piirväärtused saavad põhineda käesoleval juhul eelkõige teiste riikide kogemusele. Eestis ei ole varem teekatte tekstuuri mõõdetud ja käesoleval hetkel ei ole piisavalt andmeid ning aega nende teaduslikuks põhjendamiseks. Üsna tõenäoliselt võimaldab aastate jooksul saadav kogemus nende andmete osas määratleda piirväärtuseid täpsemalt ning põhjendatumalt.

Piirväärtuse kehtestamiseks on kaks võimalust:

- Üks kindel piirväärtus, sõltumata ühestki teisest parameetrist;
- Piirväärtuste määramisel lähtuda teistest teede ja liikluse parameetritest.

Mitmed riigid on teekatte tekstuuri piirväärtuste määramisel lähtunud erinevatest parameetritest ja määratud piire võib olla üsnagi mitmeid. Äärmuslik näide selles osas on Rootsi, kus on teekatte makrotekstuurile piirväärtuste kehtestamisel mindud väga detailseks (vt. [tabel 3.8.](#)).

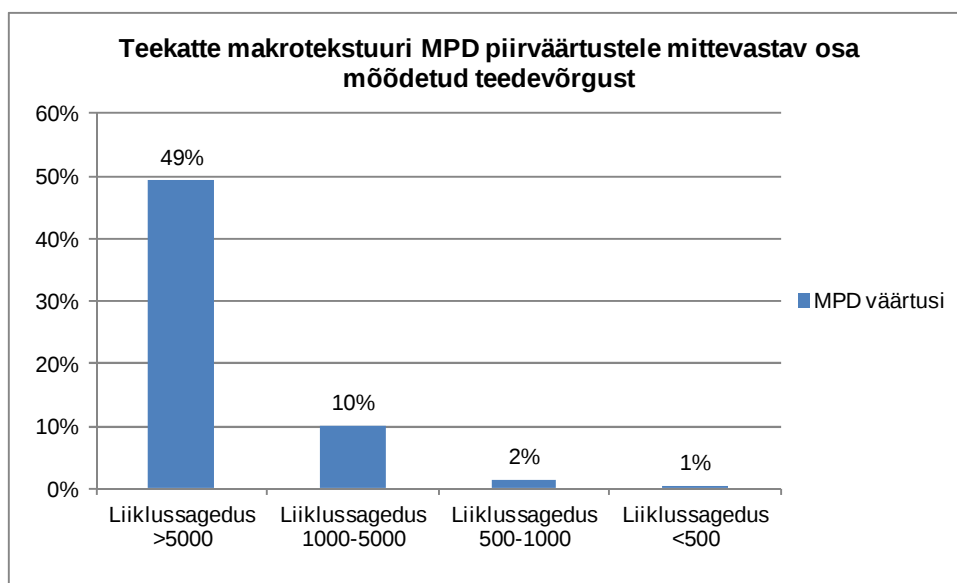
Tabel 4.1. *Ettepanek makrotekstuuri parameetri MPD piirväärtuste kehtestamise kohta Eesti maanteedel*

AKÖL, autot/ööpäevas	Lubatud suurim sõidukiirus, km/h			
	110	90	70	50
< 500	0.40		0.30	0.25
500 - 1000				
1000 - 5000		0.35		
> 5000				

[Tabelis 4.1.](#) on toodud uurijate ettepanek teekatte makrotekstuuri parameetritele MPD piirväärtuste kehtestamiseks praegusel etapil. Toodud piirväärtuste määratlemisel on lähtutud kahest erinevast tingimusest – lubatud sõidukiirus ja liiklussagedus. Sõidukiirusest lähtumise kasuks räägib see, et teekatte haardelised omadused peavad olema seda paremad, mida suuremad kiirused on lubatud. Teekatte haardelisi omadusi mõjutab aga teatud määral teekatte makrotekstuur. Liiklussageduse piiride kaasamise kasuks räägib see, et reeglina on maantee ja selle erinevad parameetrid ning nõuded just sellega seotud. Suurema liiklussagedusega teelõikudel on liiklustingimused pingelisemad ja seetõttu vajadus kiireteks reageeringuteks suurem. Seetõttu peab ka teekatte vastama kõrgendatud nõuetele.

Tabelis 4.1. toodud tingimustest tuleb kasutada ainult ühte, ehk siis teekatte tekstuuri väärtus MPD peaks olema suurem kui 0.4 mm nendel teelõikudel, kus lubatud sõidukiirus on ≥ 110 km/h või kus liiklussagedus ületab 5000 sõiduki/ööpäevas.

Joonisel 4.2. on toodud väljavõtte hetkel olemasolevatest teekatte tekstuuri andmetes. Graafikul on näidatud ettepanekuna esitatud nõuetele mittevastavate teelõikude pikkused lähtudes liiklussageduslikust jaotusest. Aruande järgnevates punktides on toodud andmed teekatte tekstuuri andmete hetkel kasutada olevatest mahtudest ning mõõtmistulemuste piirkondlikust jaotusest.



Joonis 4.2. Ettepanekuna esitatud teekatte makrotekstuuri parameetri MPD piirväärtusi ületav osa mõõtmisandmetega kaetud teedevõrgust

Jooniselt 4.2. on näha, et suurimad probleemid makrotekstuuri MPD väärtustega ettepanekuna väljapakutud piirväärtustega on suurima liiklussagedusega teelõikudel. Teekatte tekstuuri andmeid oli selles rühmas 287.1 kilomeetri kohta ja MPD väärtus oli alla 0.4 mm sellest 141.6 kilomeetril. Võrdluseks on vaadeldud olukordi, kus esiteks on muudetud makrotekstuuri piirväärtust 0.4 mm-lt 0.35 mm-ni ja teiseks on liiklussageduse piiri suurendatud 5000-lt 6000-ni. Analüüsi tulemused näitavad järgmist:

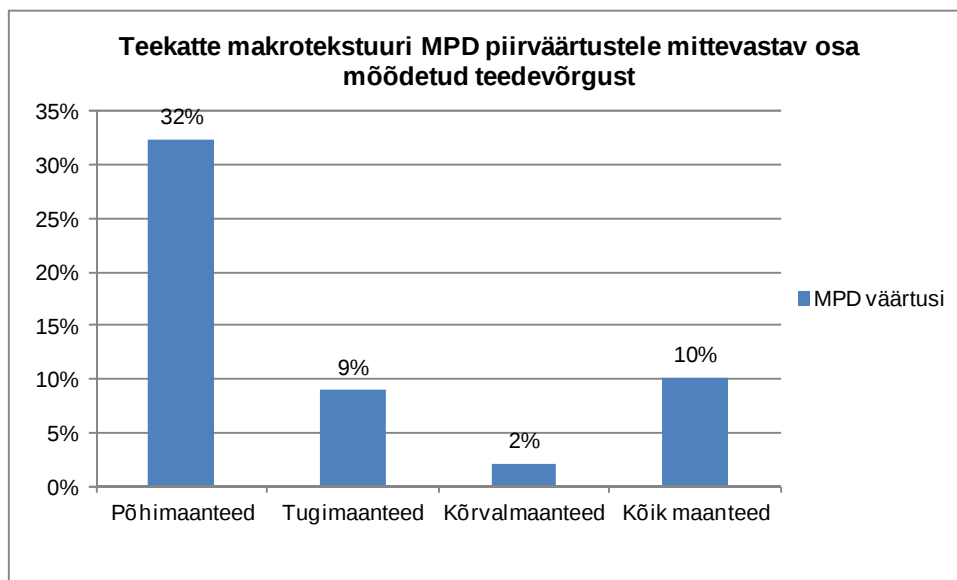
- Makrotekstuuri MPD piirväärtuse langetamine 0.35 mm-ni (liiklussageduse piiri muutmata) vähendaks mittenõutavate teelõikude pikkust 101.1 kilomeetrini, mis moodustaks 35% antud liiklussagedusega ja teekatte tekstuuri andmetega kaetud teedevõrgu pikkusest (35%);
- Liiklussageduse piiri suurendamine 5000-lt 6000-ni (MPD piiri muutmata) vähendaks mittenõutavate teelõikude pikkust 98.2 kilomeetrini, mis

moodustaks 54% antud liiklussagedusega ja teekatte tekstuuri andmetega kaetud teedevõrgu pikkusest.

Teine võimalus on kehtestada esialgu ainult üks piirväärtus teekatte makrotekstuuri parameetrile MPD. Lähtuda tuleks sellisel juhul suure liiklussageduse ja sõidukiirusega teelõikudest ning see piirväärtus oleks sellisel juhul 0.4 mm. Mõõtmistulemuste analüüs andis järgmised tulemused:

- Alla makrotekstuuri piirväärtuse 0.4 mm on mõõtmistulemusi kokku 404.1 km, mis moodustab 10% kõigist mõõtmistulemustes;
- Piirväärtuse muutmine väärtuseni 0.35 vähendab nõuetele mittevastava teedevõrgu pikkust 264.5 kilomeetrini, mis moodustab 7% kõigist mõõtmistulemustest.

Jooniselt 4.3. on toodud makrotekstuuri piirväärtusele mitte vastava osa jagunemine mõõdetud teedevõrgul. Esitatud andmetest on näha, et suurimad probleemid makrotekstuuriga tunduvad olevat põhimaanteedel. Põhjuseks üsna tõenäoliselt see, et nendel maanteedel on palju pindamata teelõike ja pindamata teelõikude makrotekstuur on tunduvalt väiksem kui pinnatud teekattel (vt. punkti 4.2).



Joonis 4.3. Ettepanekuna esitatud teekatte makrotekstuuri parameetri MPD piirväärtusele 0.4 mm mittevastav osa mõõtmisandmetega kaetud teedevõrgust

Makrotekstuuri piirväärtuste kehtestamisel ning nende tõlgendamisel tuleb arvestada sellega, et makrotekstuur jaguneb oma iseloomult kaheks (vt. [joonis 2.7.](#)):

- Positiivne, ehk halb makrotekstuur

- Negatiivne, ehk hea makrotekstuuri.

Seega ei pruugi kõik mõõdetud väikesed makrotekstuuri MPD väärtused olla tingimata veel nõuetele mittevastavad. Probleemiks on aga hetkel see, et mõõtmistehniliselt ei ole uurijatele teadaolevalt võimalik neid kahte erinevat makrotekstuuri üksteisest eristada.

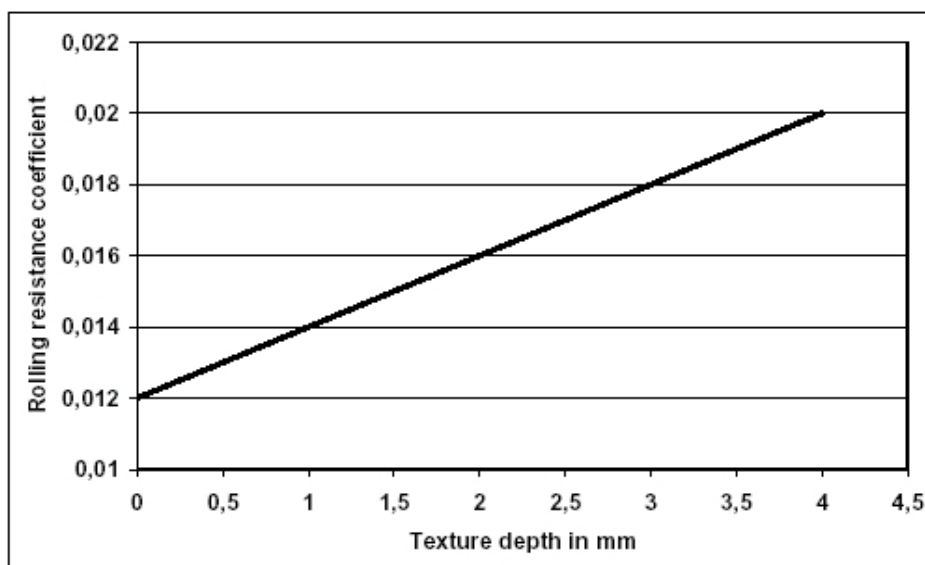
Ettepanekuna esitatud teekatte makrotekstuuri MPD piirväärtuste sobivust tuleb järgnevatel aastatel kontrollida ja selles osas annab väga head informatsiooni nende andmete võrdlemine teekatte haardeliste omadustega. Kuigi Eestis teekatte haardeliste omaduste mõõtmisi tehakse, siis hetkel ei toimu nende andmete süstemaatilist salvestamist ja andmebaasidesse lisamist. Seetõttu ei ole ka süstemaatiline andmete võrdlemine käesoleval hetkel teostatav. Täpsemalt on seda teemat käsitletud antud aruande punktis 6.

4.1.2. Teekatte megatekstuuri näitaja ja piirväärtused

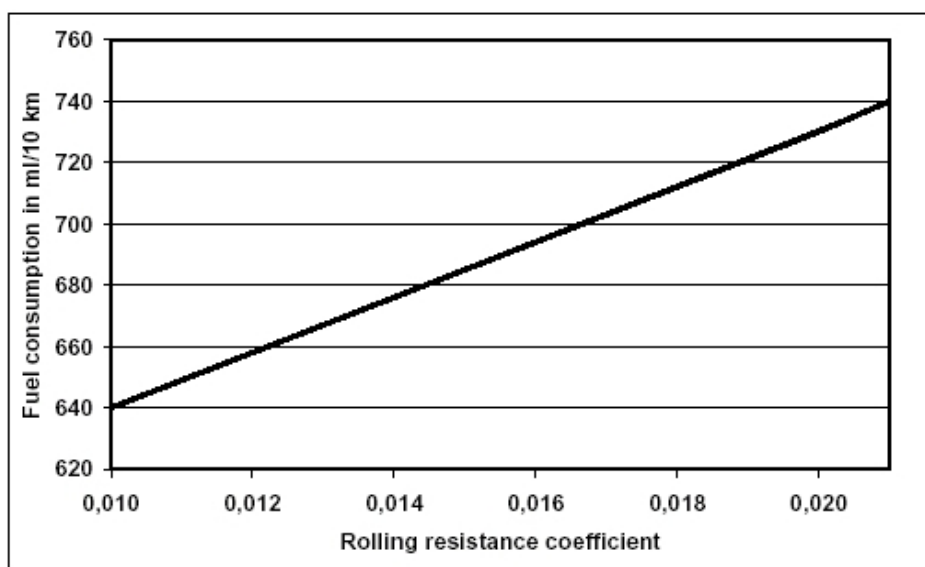
Megatekstuur on sõiduki rehvi ja teepinna vahelise kontaktpinna mõõtkavas oleva katte pinna ebatasasus, mis paigutub oma lainepikkuselt makrotekstuuri ja ebatasasuse vahele. Teekatte megatekstuuri kirjeldava näitajana on käesoleval hetkel võimalik Eestis kasutada ainult megatekstuuri ruutkeskmist väärtust RMS (*Root Mean Square*), kuna tekstuuri mõõtmiseks kasutatav seade muid parameetreid ei väljasta. Euroopas on standardiseeritud megatekstuuri taseme näitaja L_{Me} ja seetõttu on põhjendatud võimaluse uurimine selle parameetri lisamiseks mõõteseadme poolt väljastatavatesse tulemustesse. Seniks aga kui see võimalus ei ole kindel, tuleb lähtuda olemasolevatest võimalustest.

Teekatte megatekstuuri mõõtmine peab toimuma võimalikult väikese mõõtmisammuga, et saadavad mõõtmistulemused kirjeldaksid teekatte seisukorda võimalikult täpselt. Teeregistrisse sisestatakse mõõtmistulemustest megatekstuuri kohta 100 meetri pikkuse teelõigu RMS keskmine väärtus ning sama teelõigu kohta RMS väärtuse standardhälve.

Läbitöötatud rahvusvahelise kirjanduse põhjal on igasugune teekatte megatekstuur mitte soovitatav. Taanlaste uurimistöös (*Bendtsen, 2004*) on jõutud järelduseni, et teekatte ebatasasus ja megatekstuur avaldavad mõju veeretakistusele, tekitavad vibratsiooni vedrustussüsteemis ja läbi selle mõjutavad sõidukite kütusekulu. [Joonistel 4.3. ja 4.4](#) on kirjeldatud leitud seosed teekatte tekstuuri sügavuse, veeretakistuse ja kütusekulu vahel.



Joonis 4.3. Teekatte tekstuuri sügavuse ja veeretakistuse vaheline seos (Bendtsen, 2004)

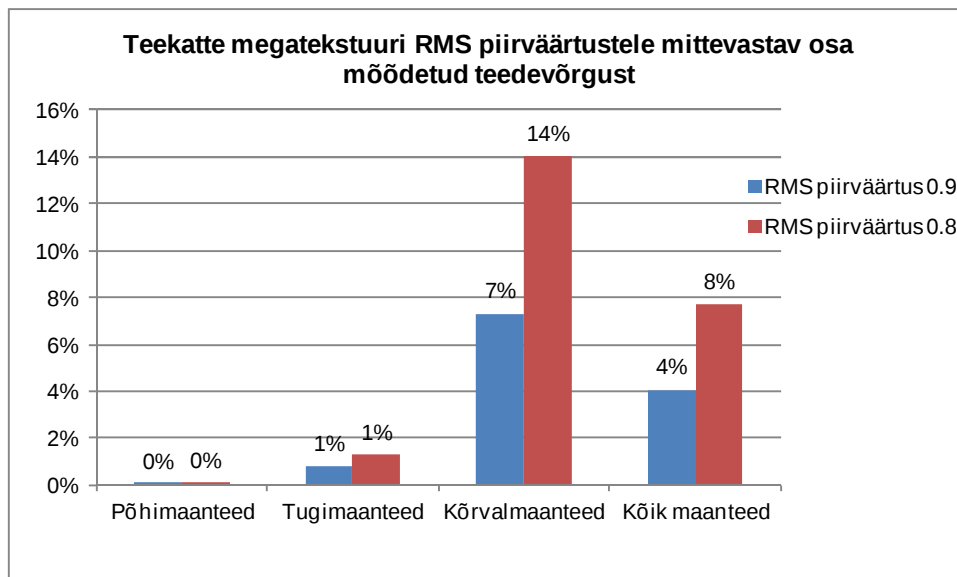


Joonis 4.4. Veeretakistuse ja kütusekulu vaheline seos (Bendtsen, 2004)

Toodud tulemustele toetudes saab väita, et on väga tähtis määratleda erinevate teekatete megatekstuur ja kontrollida selle vastavust nõuetele.

Megatekstuuri piirväärtuste osas on selle määratlenud soomlased, kes on kehtestanud megatekstuuri parameetrile RMS nõude, et see peab olema väiksem 0.9 mm-st. Otsest põhjendust selle väärtuse määratlemise kohta ei olnud võimalik leida. Kuna hetkel ei ole olemas muud informatsiooni millest lähtuda, siis on uurijate

ettepanek kehtestada Eestis megatekstuurile sarnane piirväärtus ilma täiendavate lisatingimuste või jaotusteta.



Joonis 4.5. Ettepanekuna esitatud teekatte megatekstuuri parameetri RMS piirväärtusele 0.9 mm ja 0.8 mm mittevastav osa mõõtmisandmetega kaetud teedevõrgust

Jooniselt 4.5. on toodud megatekstuuri piirväärtustele mittevastava osa jagunemine teedevõrgul. Vaadeldud on kahte olukorda:

- Piirväärtuseks 0.9 mm, nõudele ei vasta kokku 161.1 km, mis moodustab 4% mõõdetud teedevõrgust;
- Piirväärtuseks 0.8 mm, nõudele ei vasta 306.8 km, mis moodustab 8% mõõdetud teedevõrgust.

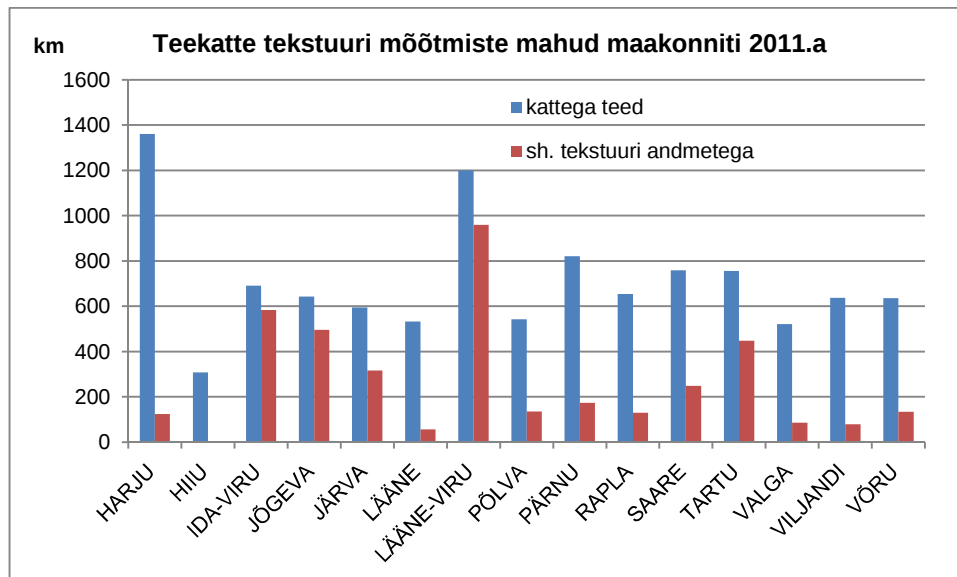
Toodud andmete põhjal on näha, et megatekstuuriga seotud probleemid tunduvad keskenduvat peamiselt kõrvalmaanteedele ja piirväärtuse 0.1 ühiku suurune muutus muudab nõuetele mittevastava teedevõrgu pikkust umbes 2 korda. Täpsem kirjeldus megatekstuuri väärtuste jagunemise osas on toodud antud aruande punktis 4.2.

4.2. Teekatte tekstuuri 2011 aasta mõõtmistulemuste analüüs

4.2.1. Teekatte tekstuuri andmete üldine jaotus

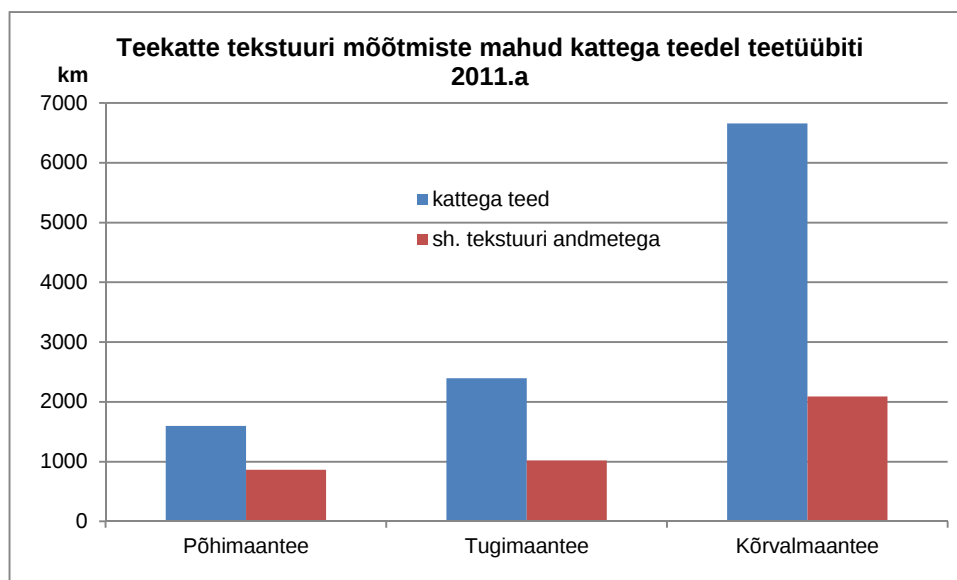
Teekatte tekstuuri mõõtmistega alustati Eesti riigimaanteedel 2011. aastal. Kogu kattega riigimaanteed võrgust teostati tekstuuri mõõtmisi pisut üle 4000 kilomeetri ehk 38%-l kattega teelõikudest. Piirkonniti olid teekatte tekstuuri mõõtmiste mahud

erinevad ([joonis 4.6.](#) ja [joonis 4.8.](#)), mõõtmistööde ala jäi suuremas osas Ida-Viru, Lääne-Viru ja Jõgeva maakonna piiridesse.

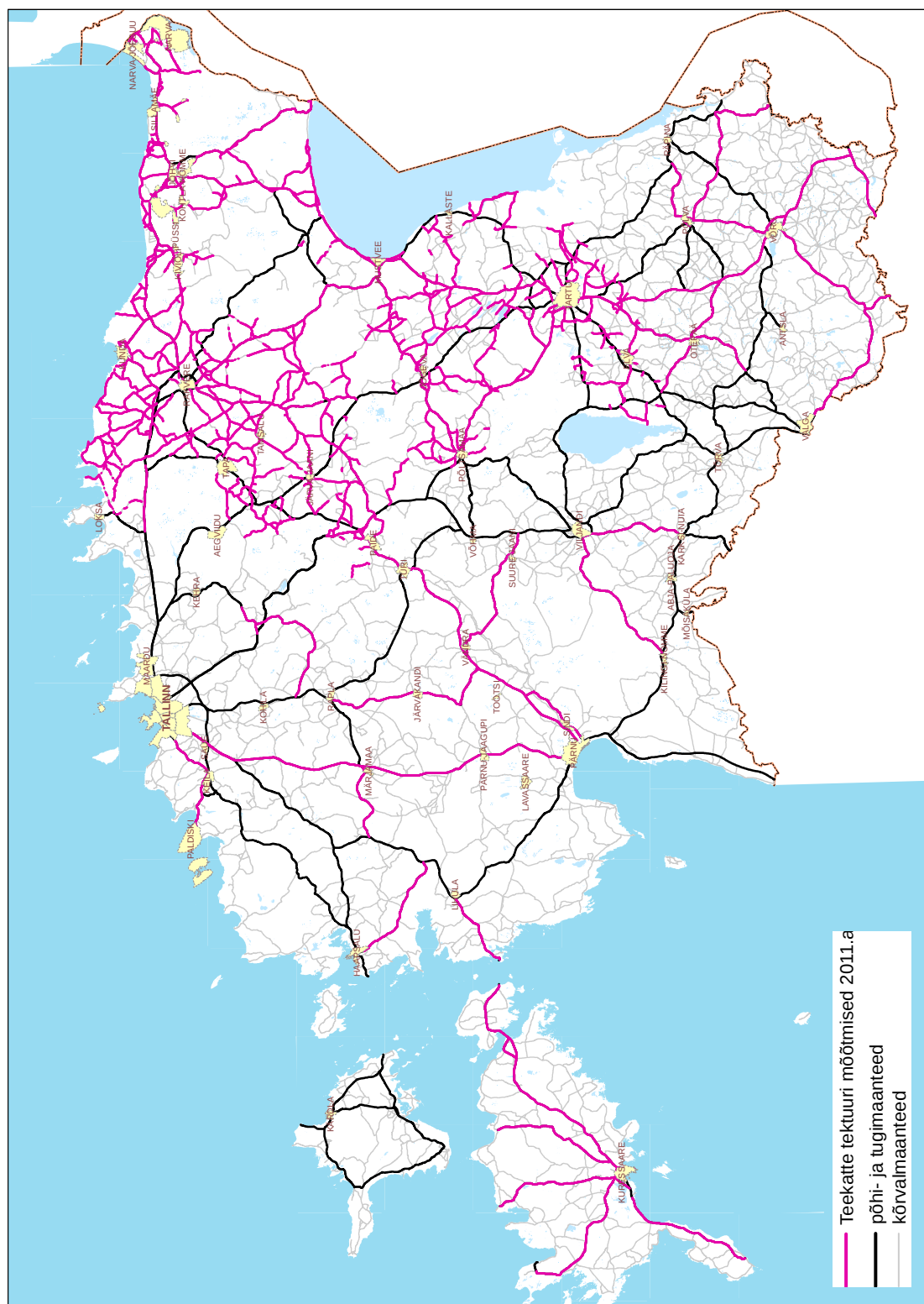


Joonis 4.6. Teekatte tekstuuri mõõtmiste mahud maakonniti 2011. a.

Põhi- ja tugimaantee osas mõõdeti 2011. aastal teekatte tekstuuri ligikaudu poolel osal teepikkusest (vastavalt 54% ja 43%), tugimaantee osas on tekstuuri mõõtmistulemused olemas 31%-l kattega teelõikudest ([joonis 4.7.](#)).



Joonis 4.7. Teekatte tekstuuri mõõtmiste mahud kattega teedel teetüübiti 2011.a.



Joonis 4.8. Teekatte tekstuuri mõõtmised 2011.a. riigimaanteedel

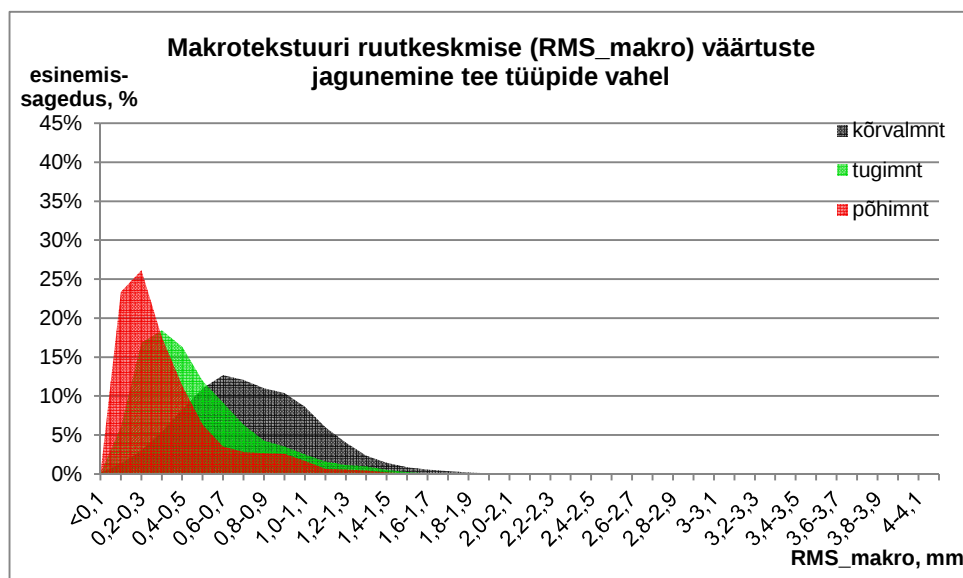
Teostatud mõõtmistega saadi teelõikude teekatte kohta kolm tekstuuri näitajat ehk parameetrit:

- Makrotekstuuri ruutkeskmine RMS (*Root Mean Square*);
- Makrotekstuuri keskmine profiili sügavus MPD (*Mean Profile Depth*);
- Megatekstuuri ruutkeskmine RMS (*Root Mean Square*).

Selleks et saada ülevaadet, mida iga saadud parameeter kajastab ja kus oleks tulevikus võimalik saadud tekstuuri andmeid kasutada, alustati esmalt olemasolevate mõõtmistulemuste väärtuste esinemissageduste leidmisega erinevatel teekatetel. Eesmärgiks oli leida tekstuuri väärtuste vahemikud, mis oleksid iseloomulikud näiteks pinnatud või pindamata teekattele, erineva materjaliga pinnatud teekattele, erineva killustiku fraktsiooniga pinnatud teekattele, erineva segu koostisega teekattele jne. Analüüsitavast andmehulgast jäeti konkreetsetel juhtudel välja teelõigud, kus teekatte tekstuuri mõõtmistulemused on küll olemas, kuid konkreetse situatsiooni andmed (näiteks killustiku fraktsioon) lünklikud või üldse puudu.

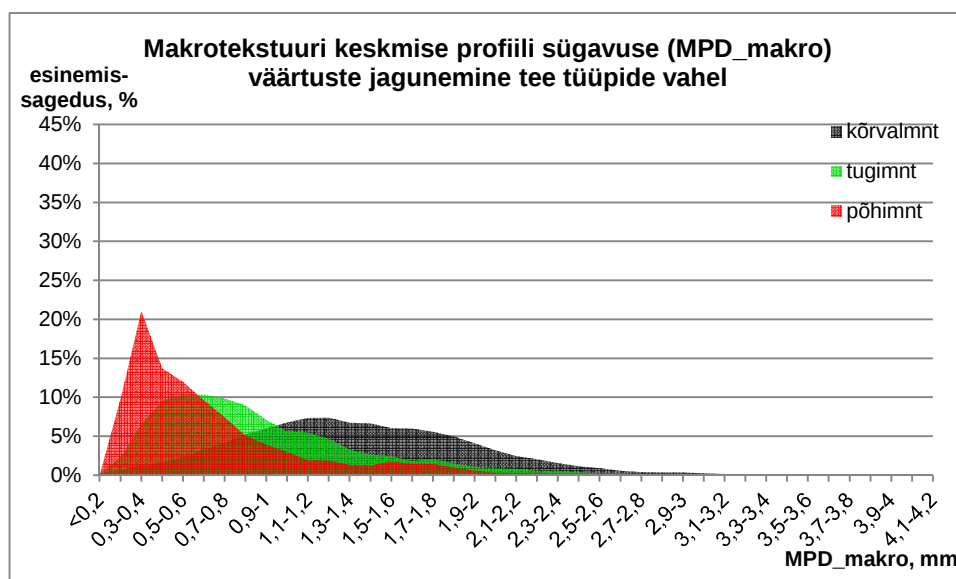
4.2.1.1. Jaotus teetüübiti

Teekatte tekstuuri näitajad iseloomustavad teekatte pinda. Järgnevalt on vaadatud tekstuuri kõigi kolme näitaja mõõtmistulemuste väärtuste koondumisi erinevate teetüüpide vahel.

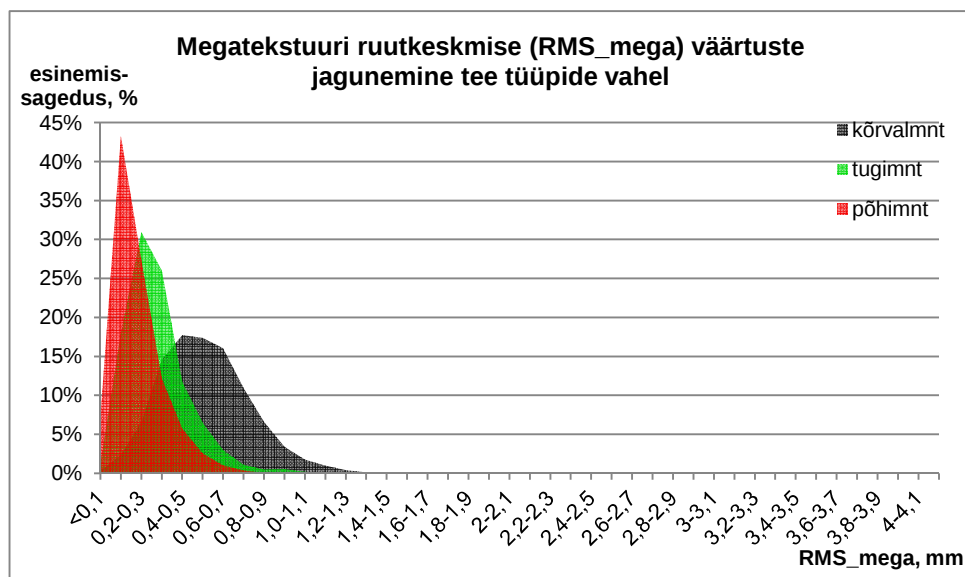


Joonis 4.9. Makrotekstuuri ruutkeskmise (RMS_makro) väärtuste jagunemine tee tüüpide vahel 2011.aasta mõõtmistulemuste põhjal

Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtused on vahemikus 0,08-2,3 mm, enamus nendest (84%) vahemikus 0,1 kuni 1,0 mm. Samas on aga RMS_makro väärtuste jagunemine erinevate teekatte tüüpide puhul erinev (joonis 4.9). Parema võrreldavuse saamiseks on siin tekstuuri näitajate kohta koostatud graafikutel kasutatud ühtset skaalat. Põhimaanteede puhul on suurem osa RMS_makro väärtusi vahemikus 0,1-0,6 mm, tugimaanteede puhul vahemikus 0,1-0,8 mm ja kõrvalmaanteede puhul 0,4-1,2 mm (kõige laiem väärtuste hajumise ala).



Joonis 4.10. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse (MPD_makro) väärtuste jagunemine tee tüüpide vahel 2011.aasta mõõtmistulemuste põhjal



Joonis 4.11. Megatekstuuri ruutkeskmise (RMS_mega) väärtuste jagunemine tee tüüpide vahel 2011.aasta mõõtmistulemuste põhjal

Sarnane väärtuste jaotus on ka makrotekstuuri keskmise sügavuse (MPD_makro) ja ka megatekstuuri ruutkeskmise (RMS_mega) mõõtmistulemuste väärtuste puhul. Vastavad väärtuste jagunemised on kujutatud [joonistel 4.10. ja 4.11.](#)

Suurem osa MPD_makro väärtusi (82%) asuvad vahemikus 0,3-1,8 mm ja RMS_mega väärtusi (84%) vahemikus 0,1-0,7 mm. Samas on kõigi kolme tekstuuri näitaja väärtuste vahemikud erinevate tee tüüpide puhul erinevad. Mida „olulisem“ on tee, seda väiksem on tekstuuri näitaja väärtus. Erinevad on ka tekstuuri näitajate koondumiste vahemikud – kõige laiem on väärtuste vahemik MPD_makro puhul ja kõige kitsamas väärtuste vahemikus on RMS_mega näitajad.

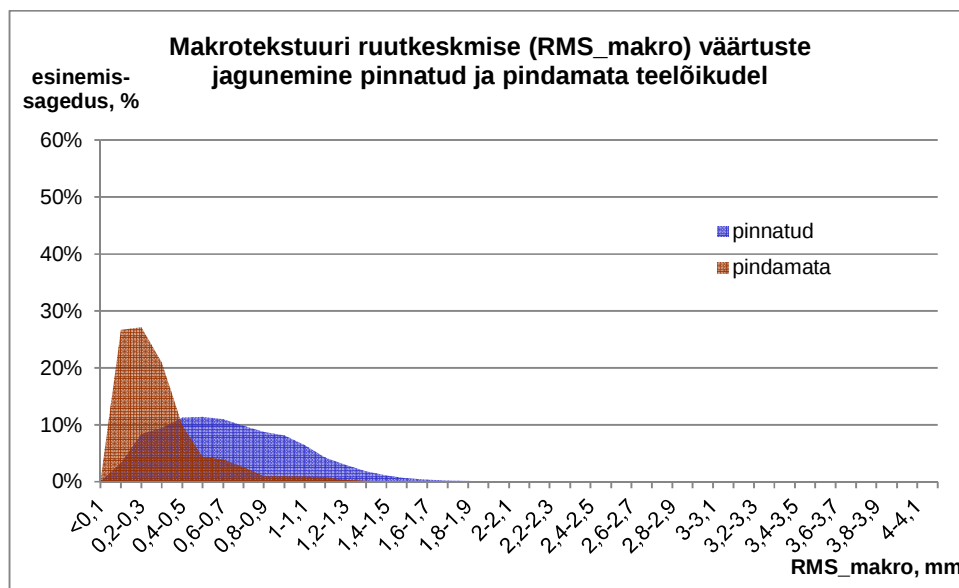
Maanteede ehituse, remondi ja hoolduse ajad ja tsüklid on erinevad, töödel kasutatud materjalid on erinevad, samuti tehnoloogiad. Seega võib olla väga palju erinevaid tegureid, mille tagajärjel teekatte tekstuur on kujunenud ja millest tekstuuri väärtused sõltuvad (või mida need näitavad). Järgnevalt on otsitud seoseid tekstuuri erinevate näitajate ja teekatetel kasutatud erinevate materjalide vahel.

4.2.1.2. Jaotus sõltudes teekatte pindamisest

Olenevalt teekatte materjalist, liiklussagedusest jt asjaoludest teostatakse teatud aja möödudes teekatetel pindamistöid. Samas on ka teekatteid, millel juba valmimisjärgselt pindamiskiht puudu ja ka hilisematel aastatel hooldetöödena teekatte korduspindamist ei kasutata. Reeglina on need teelõigud, kus on suur liiklussagedus. Nendel teelõikudel on teekatte ehitamisel kasutatud kestvamaid ja tugevamaid materjale (erineva koostisega tihedaid asfaltbetoone). Suuremal osal teelõikudest aga tehakse koheselt peale teekatte valmimist teekattele pindamine ja seda korratakse vastavalt vajadusele teatud aja möödudes.

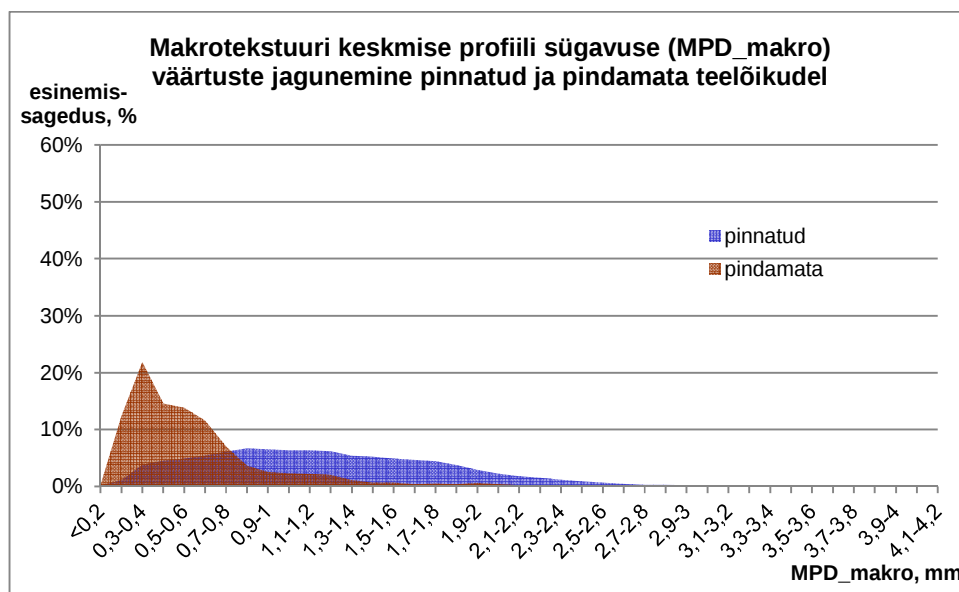
Järgnevalt on vaadatud teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste väärtuste suurusi ja väärtuste koondumisi pindamata ja pinnatud teekatetel. Nimetatud andmed on toodud [joonistel 4.12. – 4.14.](#) Et saada paremat ülevaadet erinevate tekstuuri näitajate esinemiste erinevusest, on kõigil graafikutel kasutatud ühesugust skaalat. Pindamata teelõikude pikkus moodustab 18% kõikidest tekstuuri andmetega kaetud teelõikude pikkusest.

Enamuse makrotekstuuri ruutkeskmise (RMS_makro) väärtusi on pinnatud teelõikude puhul vahemikus 0,2-1,1 mm ja pindamata teelõikude puhul vahemikus 0,1-0,5 mm. Pindamata teelõikudel on RMS_makro kitsamas väärtuste vahemikus, pinnatud teelõikudel laiemas vahemikus ja väärtused on suuremad.

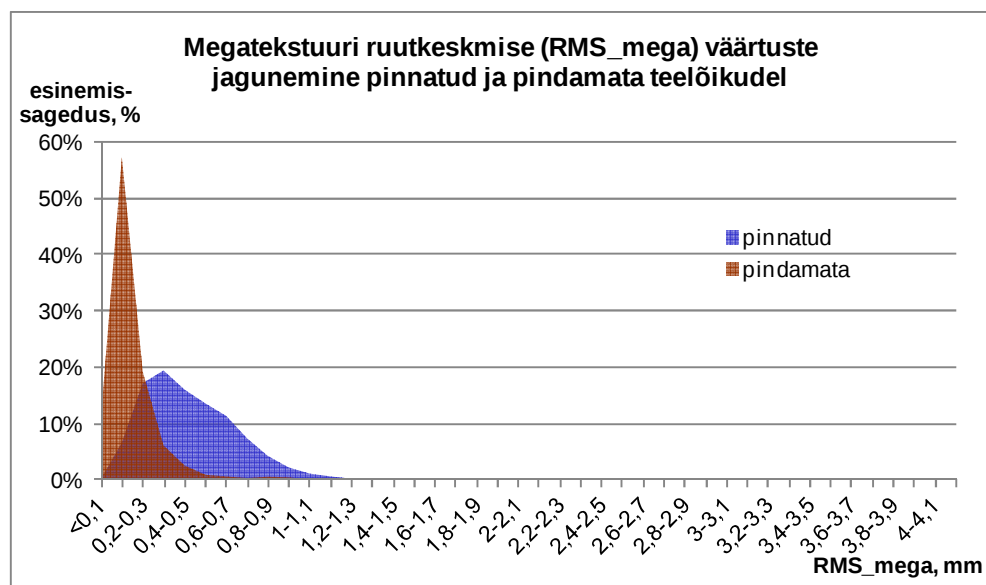


Joonis 4.12. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine sõltuvalt pindamise olemasolust teekattel.

Sarnaselt makrotekstuuri ruutkeskmise väärtustega on ka makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse (MPD_makro) ja megatekstuuri ruutkeskmise (RMS_mega) näitajad pindamata teekatete puhul kitsamas vahemikus kui pinnatud teekatete puhul ja väärtused on väiksemad. Pinnatud teelõikudel on enamus (82 %) MPD_makro väärtusi vahemikus 0,4-1,9 mm ja pindamata teelõikudel (81 %) vahemikus 0,2-0,8 mm. RMS_mega puhul on näitavad vahemikes vastavalt 0,1-0,8 mm ja 0,1-0,3 mm.



Joonis 4.13. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste jagunemine sõltuvalt pindamise olemasolust



Joonis 4.14. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine sõltuvalt pindamise olemasolust

Kõigi kolme tekstuuri näitaja puhul on konkreetse näitaja väärtused pindamata teelõikude puhul väiksemad ja kitsamas vahemikus kui pinnatud teelõikude puhul. See on ka loogiline, sest pindamiskihita teelõikudel on teekatte materjali struktuur peenem ja katte pind on siledam.

Samas aga kattuvad mõõtmistulemuste väärtused osaliselt pinnatud ja pindamata teelõikudel – see tähendab, et teekatte pind võib olla teatud juhtudel pinnatud ja pindamata teelõikudel sarnane. See võib olla tingitud pindamistöödel kasutatud materjalidest, võib olla pindamistööde vanusest või veel mingitest muudest teguritest. Seega ei saa lähtuvalt konkreetsest mõõtmistulemusest järeldada, kas mõõtmine on teostatud pindamata teelõigul või pinnatud teelõigul. Võib ainult oletada, et väiksema tekstuuri mõõtmistulemuse puhul on suurema tõenäosusega tegemist pindamata teelõiguga.

4.2.2. Teekatte tekstuur pinnatud teekattel

Teekatte tekstuuri andmetega kaetud teelõikude kogupikkusest on pinnatud teelõike pisut üle 3900 kilomeetri, see on 82% kogu tekstuuri andmebaasist. Järgnevasse võrdlusesse on võetud ainult need teelõigud, millel on Teeregistri andmebaasis olemas täielikud andmed, st et on teada nii killustikuks kasutatud materjali nimetus kui ka selle fraktsioon. Võrdlustest on välja jäetud teelõigud, kus konkreetset mineraalmaterjali on kasutatud väga vähe – konkreetse materjaliga teelõigu pikkus on alla 1 kilomeetri.

4.2.2.1. Tekstuur sõltuvalt pindamise materjalist

Sõltuvalt teelõigu liiklussagedusest, teekatte materjalist jms kasutatakse ka pindamistöodel erinevaid materjale. Kõige enam peaks mõjutama teekatte tekstuuri näitajate suurus pindamistöodel kasutatud kivimaterjal, eriti selle fraktsioon.

Järgnevas osas on võrreldud tekstuuri mõõtmistulemuste väärtuste sõltuvust pindamisel kasutatud killustikust ja killustiku fraktsioonist. Pindamistöid on tehtud nelja erineva kivimaterjaliga (killustikuga). Sõltuvalt pindamistöodel kasutatud kivimaterjalist jagunesid tekstuuri mõõtmistulemustega kaetud teelõikude pikkused järgmiselt:

- Graniitkillustik – pinnatud teelõike 1958 km (60%),
- Lubjakivi – pinnatud teelõike 486 km (15%),
- Kruuskillustik – pinnatud teelõike 835 km (25%),
- Bituumeniga töödeldud graniitkillustik – pinnatud teelõike 1 km (0,03%).

Nagu juba eelnevalt mainitud, siis arvestades bituumeniga töödeldud graniitkillustikuga tehtud pindamistöode väikest mahtu, on selle killustikuga pinnatud teelõigud võrdlusest välja jäetud.

Lisaks erinevale kivimaterjalile on kasutatud ka erinevaid killustiku fraktsioone. Pindamistöid on tehtud kuue erineva killustiku fraktsiooniga. Tabelis 4.2. on toodud tekstuuri andmetega kaetud teelõikude pikkused sõltuvalt pindamistöodel kasutatud killustikust ja killustiku fraktsioonist. Järgnevatest võrdlustest on andmete vähesuse tõttu osade killustiku fraktsioonidega teelõigud välja jäetud (toonimata väljad tabelis).

Tabel 4.2. Tekstuuri andmetega kaetud teelõikude pikkused kasutatud kivimaterjali ja killustiku fraktsiooni järgi

Pindamisel kasutatud killustik	Teelõikude pikkused sõltuvalt pindamisel kasutatud killustiku fraktsioonist, km						Kokku, km
	fr. 4-8	fr. 8-12	fr 12-16	fr. 8-16	fr. 0-12	fr. 0-16	
graniitkillustik	154	1776	15	0	5	1	1958
lubjakivi	11	40	4	413	0	0	486
kruuskillustik	6	603	156	56	0	14	835
bituumeniga töödeldud graniitkillustik	0	1	0	0	0	0	1

Kõige rohkem on tehtud teekatte pindamist graniitkillustikuga kivi fraktsiooniga 8-12 mm. Lubjakivi puhul on kasutatud valdavalt kivi fraktsiooniga 8-16 mm ja kruuskillustiku puhul 8-12 mm.

Makrotekstuur

Makrotekstuur on teekatte pinnast välja ulatuva mineraalmaterjali poolt moodustatud katte pinna tekstuur. Seega peaks makrotekstuuri mõõtmistulemused olema seotud ja sõltuvuses pindamisel kasutatud kivimaterjali fraktsioonist. Üheks makrotekstuuri näitajaks on makrotekstuuri ruutkeskmine (RMS_makro) ja järgnevalt on vaadeldud selle väärtusi, nende esinemissagedusi ja koondumisi sõltuvalt pindamistöödel kasutatud killustikust ja selle fraktsioonist.

Suurem osa (>80%, [tabelis 4.3](#) toonitud väljad) RMS_makro väärtusi on olenevalt kasutatud kivimaterjali fraktsioonist vahemikus 0,2-1,2 mm. Kui killustiku fraktsioonide 4-8 mm ja 8-16 mm puhul on RMS_makro väärtuste koondumiskohad loogilised – mida suurema kiviga on killustik, seda suurem on ka RMS-makro väärtus ja väärtuste vahemik, siis killustiku fraktsioonide 12-16 mm, 0-12 mm ja 0-16 mm nimetatud loogika enam ei kehti – fraktsiooni 12-16 mm koondumisala peaks olema kitsam kui fraktsiooni 8-16 mm ja 0-16 mm puhul ning fraktsiooni 0-16 mm koondumisala kõikide teiste fraktsioonide näitajate omadest kõige laiem. Sellest võib järeldada, et RMS_makro väärtus ei sõltu ainult pindamisel kasutatud killustiku fraktsioonist.

Tabel 4.3. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste esinemissagedused protsentides väärtuste vahemike kaupa sõltuvalt pindamistöödel kasutatud killustiku fraktsioonist

RMS_makro, mm	Pindamistöödel kasutatud killustiku fraktsioon, mm					
	fr. 4-8	fr. 8-12	fr. 12-16	fr. 8-16	fr. 0-12	fr. 0-16
<0.1		0%		0%		
0.1-0.2	5%	4%	1%	0%		3%
0.2-0.3	12%	10%	3%	1%		17%
0.3-0.4	18%	10%	6%	2%	16%	23%
0.4-0.5	17%	12%	9%	5%	67%	17%
0.5-0.6	18%	12%	9%	8%	10%	22%
0.6-0.7	16%	11%	12%	11%	4%	13%
0.7-0.8	8%	9%	11%	15%		5%
0.8-0.9	3%	8%	11%	16%		1%

RMS_makro, mm	Pindamistöödel kasutatud killustiku fraktsioon, mm					
	fr. 4-8	fr. 8-12	fr. 12-16	fr. 8-16	fr. 0-12	fr. 0-16
0.9-1.0	2%	7%	11%	14%		
1.0-1.1	1%	6%	9%	12%		
1.1-1.2	0%	4%	6%	6%	2%	
1.2-1.3	0%	3%	4%	3%		
1.3-1.4	0%	2%	2%	2%		
1.4-1.5	0%	1%	1%	2%		
1.5-1.6		0%	0%	2%		
1.6-1.7		0%	1%	1%		
1.7-1.8		0%	1%	0%		
1.8-1.9		0%	1%	0%		
1.9-2.0		0%	0%	0%		
2.0-2.1		0%	0%			
2.1-2.2		0%	0%			
>2.2						
RMS_makro andmetega teelõike kokku, km	170	2419	175	470	5	15

Märkus: tühjad väljad märgivad RMS_makro tulemuste puudumist märgitud vahemikus, väljad „0%“ – RMS-makro tulemuste esinemissagedust 0-0,5%.

Tabelis 4.4. on toodud RMS_makro väärtused sõltuvalt nii pindamistööl kasutatud killustiku fraktsioonist kui ka kivimaterjalist. Sõltumata killustiku materjalist peaks sama fraktsiooni puhul ka tekstuuri väärtused olema sarnastes vahemikes. Analoogselt eelmise võrdlusega ei tule aga ka antud juhul välja mingeid kindlaid seoseid makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste ja pindamisel kasutatud killustiku materjali ja selle fraktsiooni vahel. Kui killustiku fraktsiooni 4-8 mm puhul on makrotekstuuri ruutkeskmise väärtused erinevate kivimaterjalide puhul sarnastes vahemikes (0,1-0,8 mm), siis näiteks killustiku fraktsiooni 8-16 mm puhul on mõõtmistulemuste väärtuste vahemikud erinevate kivimaterjalide puhul erinevad – lubjakivikillustiku puhul on RMS_makro väärtused (üle 80%) vahemikus 0,5-1,2 mm, kruuskillustiku puhul aga 0,7-1,8 mm. Sarnane olukord on ka killustiku fraktsiooni 12-16 mm puhul. Eriti paistab selle fraktsiooni puhul erinevus silma lubjakivi ja kruuskillustiku osas (RMS_makro väärtused vahemikes vastavalt 0,2-0,6 mm ja 0,4-1,2 mm).

Tabel 4.4. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste esinemissagedused protsentides väärtuste vahemike kaupa sõltuvalt pindamistöödel kasutatud killustiku fraktsioonist ja kivimaterjalist

RMS_makro, mm	fr. 4-8			fr. 8-12			fr. 12-16			fr. 8-16			fr. 0-12			fr. 0-16		
	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	Kruus
<0.1				0		0					0							
0.1-0.2	5		4	5		2		8	0		0	0						4
0.2-0.3	11	6	60	12	1	6	3	18	3		1	1						18
0.3-0.4	18	11	9	11	2	9	7	40	5		2	3	16					24
0.4-0.5	18	11	5	12	3	14	20	20	8		4	8	67					18
0.5-0.6	19	18	4	11	12	13	12	13	9		8	4	10					23
0.6-0.7	16	25	2	10	14	14	12		13		12	2	4					12
0.7-0.8	8	9	9	8	21	11	12	3	11		17	4						1
0.8-0.9	3	5	5	7	14	9	9		11		18	5						
0.9-1.0	1	5	2	7	11	8	3		12		15	6						
1.0-1.1	1	3	2	6	6	6			10		12	5						
1.1-1.2	0	4		4	6	4	1		7		6	5	2					
1.2-1.3		2		3	7	3	5		4		3	7						
1.3-1.4		1		2	2	1	1		2		1	12						
1.4-1.5		1		1	1	1			1		0	11						
1.5-1.6				1	0	0			1		0	14						
1.6-1.7				0		0	1		1		0	8						
1.7-1.8				0			4		1		0	3						
1.8-1.9				0		0	2		1		0	1						
1.9-2.0				0			3		0			0						
2.0-2.1				0			3											
2.1-2.2				0			1											
2.2-2.3																		
>2.3				0														

Killustike puhul fraktsioonidega 0-12 mm ja 0-16 mm on kivi suurused materjalis kõige erinevamad (esineb nii väiksemaid kui suuremaid kive) ja seega peaks ka tekstuuri mõõtmistulemuste väärtused olema kõige laiemas vahemikus. Kuid vaadates olemasolevaid andmeid nimetatud fraktsioonide puhul, on RMS_makro väärtuste vahemikud just nende kahe fraktsiooni puhul kõige kitsamas väärtuste

vahemikus ja ka väikesed. Järelduste tegemisel tuleb aga nende andmete puhul olla ettevaatlik, sest olemasolev andmemahut on siin suhteliselt väike (*tabel 4.4.*, fraktsiooniga 0-12 mm 5 km teelõike ja fraktsiooniga 0-16 mm 15 km teelõike) ja seetõttu ei pruugi see kajastada õiget olukorda.

Vaadates tehtud võrdlusi on ebaloogilisi mõõtmistulemuste väärtuste jagunemisi rohkem kui loogilisi. Järelikult mõjutavad makrotekstuuri ruutkeskmise mõõtmistulemuse väärtusi mitte ainult pindamistööl kasutatud kivifraktsioon ja materjal, vaid veel mingid muud tegurid, mis muudavad katte pinna tekstuuri.

Tabel 4.5. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste esinemissagedused protsentides väärtuste vahemike kaupa sõltuvalt pindamistööl kasutatud killustiku fraktsioonist

MPD_makro, mm	Pindamistööl kasutatud killustiku fraktsioon, mm					
	fr. 4-8	fr. 8-12	fr 12-16	fr 8-16	fr 0-12	fr 0-16
<0.2	0%	0%		0%		
0.2-0.4	7%	6%	1%	0%		5%
0.4-0.6	13%	11%	5%	1%		26%
0.6-0.8	22%	13%	8%	4%	53%	18%
0.8-1.0	20%	14%	11%	7%	41%	28%
1.0-1.2	19%	13%	13%	11%	4%	15%
1.2-1.4	11%	11%	13%	17%		7%
1.4-1.6	4%	9%	13%	18%		1%
1.6-1.8	2%	8%	12%	16%		
1.8-2.0	1%	6%	10%	11%		
2.0-2.2	0%	4%	6%	4%		
2.2-2.4		3%	3%	3%		
2.4-2.6	0%	2%	1%	2%		
2.6-2.8		1%	1%	2%		
2.8-3.0		0%	1%	1%		
3.0-3.2		0%	1%	0%		
3.2-3.4		0%	1%	0%		
3.4-3.6		0%	0%	0%		
3.6-3.8		0%	0%			
3.8-4.0		0%				
4.0-4.2		0%				
MPD_makro andmetega teelõike kokku, km	2419	175	470	5	15	707

Lisas 2 on toodud samade andmete võrdlused graafiliselt tekstuurväärtuste vahemikud pindamisel kasutatud kivimaterjalide lõikes sõltuvalt kivi fraktsioonist ja ka kasutatud erinevate fraktsioonide lõikes sõltuvalt kivi materjalist.

Teekatte pinna makrotekstuuri teiseks näitajaks on makrotekstuuri keskmine profiili sügavus (MPD_makro). Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste võrdlemisel teekatte pindamisel kasutatud erineva kivi materjali ja kivi fraktsiooni puhul saame samasuguse olukorra nagu makrotekstuuri RMS väärtuste võrdlemisel.

Tabelis 4.5. on toodud MPD_makro väärtuste jagunemine erinevate väärtuste vahemike kaupa sõltuvalt pindamistöodel kasutatud kivimaterjali fraktsioonist. Enamus (>80%) MPD_makro väärtusi on vahemikus 0,2-1,8 mm. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse näitajate puhul on mõõtmistulemuste väärtuste esinemine sarnane makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse mõõtmistulemuste väärtuste omadega: killustiku fraktsiooni 4-8 mm ja 8-16 mm puhul on väärtused loogilise jaotusega (suurema fraktsiooni puhul väärtused suuremad), siis fraktsioonide 12-16 mm, 0-12 mm ja 0-16 mm on MPD_makro väärtused ebaloogiliste suurustega. Killustiku fraktsiooni 0-12 mm ja 0-16 mm puhul aga peab meeles pidama, et nende puhul võib tulemust mõjutada andmete vähesus (vastavalt 5 km ja 15 km teelõike). Kuigi ülejäänud killustike fraktsioonide puhul seletamatuid anomaaliaid ei esine, siis mingeid kindlaid erisuse jooni välja tuua samuti ei saa – erinevate killustiku fraktsioonide puhul on MPD_makro väärtuste kattuvusala liiga suur.

Järgnevalt on võrreldud MPD_makro mõõtmistulemuste väärtusi sõltuvalt nii kasutatud killustiku fraktsiooni kui ka materjali puhul (*tabel 4.6.*).

Killustiku fraktsiooni 4-8 mm puhul on makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtused erinevate kivimaterjalide puhul suhteliselt sarnastes vahemikes (0,2-1,4 mm), killustiku fraktsiooni 8-16 mm puhul on aga mõõtmistulemuste väärtuste vahemikud erinevate kivimaterjalide puhul erinevad – lubjakivikillustiku puhul on MPD_makro väärtused (üle 80%) vahemikus 1,0-2,0 mm, kruuskillustiku puhul aga 1,0-3,0 mm. Sarnane olukord on ka killustiku fraktsiooni 12-16 mm puhul. Eriti paistab selle fraktsiooni puhul erinevus silma lubjakivi ja kruuskillustiku osas (MPD_makro väärtused vahemikes vastavalt 0,4-1,0 mm ja 0,6-2,0mm).

Tabel 4.6. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste esinemissagedused protsentides väärtuste vahemike kaupa sõltuvalt pindamistööl kasutatud killustiku fraktsioonist ja kivimaterjalist

MPD_makro, mm	fr. 4-8			fr. 8-12			fr. 12-16			fr. 8-16			fr. 0-12			fr. 0-16		
	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	Kruus
<0.2	0			0		1				0								
0.2-0.4	7		18	7		2	1	8	1	1	0							6
0.4-0.6	12	10	49	13	1	7	5	33	4	1	1							27
0.6-0.8	23	16	9	13	2	12	14	38	7	4	8	53						19
0.8-1.0	21	18	5	14	8	16	17	15	10	8	5	41						30
1.0-1.2	19	28	2	11	17	16	16	5	13	12	3	4						15
1.2-1.4	11	10	9	9	21	13	12	3	14	18	4							3
1.4-1.6	4	4	5	8	18	10	11		13	20	6							0
1.6-1.8	1	6	2	8	11	8	3		14	18	6							
1.8-2.0	1	4	2	6	6	6	1		11	12	5							
2.0-2.2	0	4		4	8	4	1		6	4	7	2						
2.2-2.4				3	7	2	5		3	2	11							
2.4-2.6		2		2	1	1	1		2	0	16							
2.6-2.8				1	1	0			1	0	13							
2.8-3.0				1	0	0	2		1	0	9							
3.0-3.2				0		0	3		1	0	3							
3.2-3.4				0		0	4		0	0	1							
3.4-3.6				0			5				0							
3.6-3.8				0			1											
3.8-4.0				0														
4.0-4.2				0														

Killustiku fraktsioonide 0-12 mm ja 0-16 mm puhul tuleb aga, nagu ka eelpool mainitud, tulemuste võrdlemisel kujunenud pilti suhtuda teatud ettevaatlikkusega, kuna andmeid nimetatud olukorras on võrdlemiseks vähe.

Ka antud tekstuuri näitaja (MPD_makro) osas ei saa tehtud võrdluste alusel välja tuua mingeid kindlaid seaduspärasusi või seoseid. Järelikult peab olema peale pindamisel kasutatud killustiku fraktsiooni ja materjali veel teisi tegureid, mis mõjutavad antud mõõtmistulemuste väärtusi.

Makrotekstuuri mõlema näitaja puhul on ainult kahel juhul sarnaseid jooni:

- killustiku fraktsiooni 4-8 mm kasutamise puhul on kõikide materjalide puhul (graniit- lubjakivi- kui ka kruuskillustik) nii RMS_makro kui MPD_makro väärtused sarnastes vahemikes;
- nii RMS_makro kui ka MPD_makro väärtused kattuvad enam graniit- ja kruuskillustiku kasutamise puhul, lubjakivikillustiku puhul on väärtuste vahemikud erinevad.

Lisas 2 on toodud samade andmete võrdlused graafiliselt tekstuurväärtuste vahemikud pindmaisel kasutatud kivimaterjalide lõikes sõltuvalt kivi fraktsioonist ja ka kasutatud erinevate fraktsioonide lõikes sõltuvalt kivi materjalist.

Megatekstuur

Teekatte tekstuuri mõõtmisel on saadud üheks tekstuuri näitajaks megatekstuuri ruutkeskmise (RMS_mega). Megatekstuur on katte pinna mittesoovitud omadus ja seda mõjutavad katte pinna üksikud defektid. Megatekstuur on sõiduki rehvi ja teepinna vahelise kontaktpinna ebatasasus.

Järgnevalt on vaadatud RMS_mega väärtuste esinemissagedusi sõltuvalt pindmaitöödel kasutatud killustiku fraktsioonist ([tabel 4.7.](#)).

Tabel 4.7. *Megatekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste esinemissagedused protsentides väärtuste vahemike kaupa sõltuvalt pindamistöodel kasutatud killustiku fraktsioonist*

RMS_mega, mm	Pindamistöodel kasutatud killustiku fraktsioon, mm					
	fr. 4-8	fr. 8-12	fr. 12-16	fr. 8-16	fr. 0-12	fr. 0-16
<0.1		0%		0%		
0.1-0.2	11%	8%	0%	0%	4%	
0.2-0.3	27%	20%	5%	1%	57%	5%
0.3-0.4	27%	22%	11%	6%	35%	28%
0.4-0.5	21%	16%	17%	12%	2%	38%
0.5-0.6	8%	13%	19%	17%		22%
0.6-0.7	3%	10%	19%	19%	2%	7%
0.7-0.8	1%	6%	13%	15%		
0.8-0.9	1%	3%	8%	13%		
0.9-1.0	0%	1%	3%	8%		
1.0-1.1	0%	0%	2%	5%		

RMS_mega, mm	Pindamistöödel kasutatud killustiku fraktsioon, mm					
	fr. 4-8	fr. 8-12	fr. 12-16	fr. 8-16	fr. 0-12	fr. 0-16
1.1-1.2	0%	0%	1%	3%		
1.2-1.3	0%	0%	1%	1%		
1.3-1.4		0%	0%	0%		
1.4-1.5		0%	0%	0%		
1.5-1.6	0%	0%	0%	0%		
1.6-1.7	0%		0%	0%		
1.7-1.8			0%	0%		
1.8-1.9		0%	0%			
1.9-2.0			0%	0%		
2.0-2.1		0%	0%			
RMS_mega andmetega teelõike kokku, km	170	2419	175	470	5	15

Analoogiliselt RMS_makro ja MPD_makro samalaadse võrdluste puhul on ka RMS_mega väärtuste jagunemisel erinevate killustiku fraktsioonide puhul mingi loogilisuse jada fraktsioonide 4-8 mm, 8-12 mm, 12-16 mm ja 8-16 mm olemas – mida suurem kivi fraktsioon, seda suurem on RMS_mega väärtus. Samas on aga ka siin olemas küllaltki lai ala, kus kivi suurus ei kattu, kuid mõõtmistulemuse väärtused kattuvad. Täiesti ebaloogiline on aga fraktsioonide 0-12 mm ja 0-16 mm puhul RMS_mega väärtused: vaadeldud killustike fraktsioonid on laia alaga, samas aga RMS_mega väärtused on kõige kitsamas alas.

Järgnevas [tabelis 4.8.](#) on lisaks killustiku fraktsioonile lisatud võrdluse ka killustiku materjal. Sama kivi fraktsiooni puhul peaks, olenemata kasutatud killustiku materjalist, olema teekatte tekstuur samuti sarnane, st et mõõdetud tekstuuri väärtused peaksid olema samades piirides. Vaadates aga võrdluse tulemusi, siis sarnaselt RMS_makro ja MPD_makro väärtuste jagunemisega mõjutab ka RMS_mega väärtuste esinemisvahemikke killustiku materjal. Nimetatud erinevus tuleb esile just lubjakivi killustiku puhul, kus RMS_mega väärtuste vahemikud on graniit- ja kruuskillustikuga pinnatud teelõikude omadega võrreldes erinevad.

Tabel 4.8. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste esinemissagedused protsentides väärtuste vahemike kaupa sõltuvalt pindamistödel kasutatud killustiku fraktsioonist ja kivimaterjalist

RMS_mega, mm	fr. 4-8			fr. 8-12			fr. 12-16			fr. 8-16			fr. 0-12			fr. 0-16		
	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	Graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus	graniit	lubjakivi	kruus
<0.1			14	0		2			0		0							
0.1-0.2	12		40	10		12	1		3		0	2	4					6
0.2-0.3	28	4	14	24	0	23	22	8	9		1	8	57					30
0.3-0.4	29	10	9	22	5	21	24	43	16		5	5	35					40
0.4-0.5	22	19	4	15	20	17	17	38	20		13	6	2					20
0.5-0.6	7	24	4	11	33	13	9	10	21		19	10						4
0.6-0.7	2	19	11	9	19	8	5	3	14		21	7	2					0
0.7-0.8	0	6	4	5	10	4	6		9		16	10						0
0.8-0.9	0	7		2	5	1	1		3		13	16						0
0.9-1	0	5		1	4	0	1		2		7	17						0
1-1.1	0	3	2	0	1	0	5		1		3	12						0
1.1-1.2		1		0	1	0	6		0		1	2						0
1.2-1.3	0	2		0	1	0	3		1		1	1						0
1.3-1.4				0					0		0	2						0
1.4-1.5				0	0		1		0		0	1						0
1.5-1.6	0			0					0		0	1						0
1.6-1.7		1		0					0			0						0
1.7-1.8				0					0									0
1.8-1.9				0			2		0			1						0
1.9-2				0			3		0									0
2-2.1				0			3											
2.1-2.2				0			1											
>2.2				0														

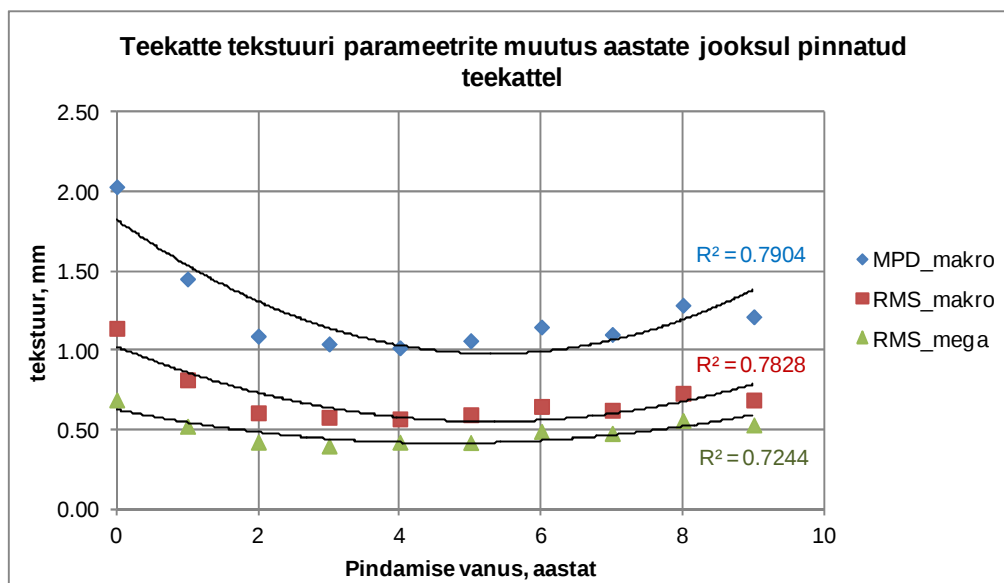
Kokkuvõtvalt saab tehtud võrdluste põhjal mõõdetud kolme tekstuuri väärtuse (RMS_makro, MPD_makro ja RMS_mega) osas järeldusena öelda vaid, et

- mida suurema kiviga on tehtud teekatte pindamine, seda suurem on tõenäoliselt ka mõõdetav tekstuuri väärtus;

- teekatte tekstuuri väärtus ei sõltu ainult pindamistöodel kasutatud kivi fraktsioonist ja materjalist.

4.2.2.2. Tekstuur sõltuvalt pindamistöode vanusest

Pärast pindamistöode teostamist satub teekate erinevate ilmastiku, keskkonna, liikluse jms mõjude alla ja nende mõjul algavad teekatte pinnal erinevad muutused. Nimetatud muutused peaksid mõjutama ka teekatte tekstuuri ja see peaks kajastuma ka tekstuuri mõõtmistulemuste väärtustes.



Joonis 4.15. Teekatte tekstuuri parameetrite muutus pinnatud teekattel

Joonisel 4.15. on näidatud teekatte tekstuuri parameetrite keskmiste väärtuste muutumine aastate jooksul. Joonisel näidatud andmete puhul ei ole eristatud pindamisel kasutatud mineraalmaterjale. Esitatud andmete põhjal on näha, et makrotekstuuri osas toimuvad esimese paari aasta jooksul pärast pindamist väga kiired muutused ja tekstuur väheneb märgatavalt. Alates teisest aastast aga makrotekstuur oluliselt ei muutu. Vaatlusperioodi lõpus tundub makrotekstuur mõnevõrra kasvavat.

Megatekstuuri osas on muutused väiksemad. Mõningast megatekstuuri väärtuse vähenemist on võimalik täheldada esimese paari aasta jooksul, samas edasiste aastate jooksul jääb megatekstuuri väärtus üsna vähemuutuvaks. Vaatlusperioodi lõpus megatekstuuri väärtus kasvab sarnaselt makrotekstuuriga.

Eeldada võib, et alates 6-7 aastast on tehtud pinnatud teelõikudele väiksemaid hooldus- ja remonditöid nende seisukorra säilitamiseks. Need tööd aga ei leia kajastamist andmebaasis.

Teelõikude esialgne pikkus, mille kohta nimetatud võrdlusi hakati tegema, oli kokku 3280 km. Esialgsest võrdlusest jäeti välja teelõigud, kus pindamisel oli kasutatud bituumeniga töödeldud graniitkillustikku (kokku 1 km). Pindamistööde keskmine vanus vaadeldavatel teelõikudel on 3,7 aastat.

Pindamistööde vanuseline vahemik varieerus vaadeldavatel teelõikudel 0 aastast kuni 22 aastani. Mingi aja möödudes peale pindamistööde teostamist aga vajavad teekatted kohati pisiremonti, mille tagajärjel muutub ka teekatte struktuur ja seega ka mõõdetavad tekstuuri väärtused. Kuna Teeregistris ei kajastata väiksemaid remonditöid, siis jäeti edasisse võrdlusse vaid teelõigud, mille pindamistööde vanus on kuni 9 aastat. Selliseid teelõike on kokku 3211 km.

Sõltuvalt pindamistööde vanusest (vanusega kuni 9 aastat) jagunesid teekatte tekstuuri mõõtmistulemustega kaetud teelõikude pikkused järgmiselt:

- graniitkillustikuga pinnatud teelõigud 1930 km (60% teelõikudest);
- lubjakivikillustikuga pinnatud teelõigud 455 km (14% teelõikudest);
- kruuskillustikuga pinnatud teelõigud 826 km (26% teelõikudest).

Makrotekstuur RMS

Järgnevalt vaadeldi makrotekstuuri ruutkeskmise väärtusi pindamisel kasutatud erinevate kivi materjalide ja killustiku fraktsioonide puhul sõltuvalt pindamistööde vanusest.

Värskelt pinnatud teekattel on RMS_makro väärtused vahemikus 0,1-2,2 mm, enamus (>80%) väärtustest on vahemikus 0,8-1,5 mm (*tabel 4.9.*, tühi väli tabelis tähistab väärtuste puudumist). Järgnevatel aastatel kuni pindamistööde vanuseni 4 aastat RMS_makro väärtused vähenevad. Ilmselt on selle põhjuseks katte pinna materjali kulumine erinevate mõjude tagajärjel. Peale neljandat aastat pindamistööde möödumisest algab RMS_makro väärtuste aeglane suurenemine. Põhjuseks võib siin olla näiteks hooldetööde käigus tehtavad ribapindamised või muud sarnased tööd, kuid nagu juba eelpool mainitud, sarnaseid töid Teeregistris ei kajastata.

Tabel 4.9. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

RMS_makro, mm	Pindamise vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.1			1%	0%	0%					
0.1-0.2	0%	0%	5%	6%	6%	3%	2%	3%	0%	3%
0.2-0.3	0%	2%	8%	13%	14%	12%	6%	13%	6%	8%
0.3-0.4	0%	5%	11%	12%	11%	12%	12%	13%	3%	9%
0.4-0.5	0%	9%	14%	12%	15%	15%	14%	10%	8%	11%
0.5-0.6	1%	12%	13%	13%	14%	13%	12%	10%	13%	11%
0.6-0.7	3%	12%	13%	12%	11%	12%	15%	11%	14%	11%
0.7-0.8	5%	10%	11%	10%	8%	10%	12%	12%	16%	12%
0.8-0.9	9%	12%	8%	8%	6%	8%	10%	10%	14%	9%
0.9-1.0	13%	11%	7%	6%	5%	7%	8%	8%	8%	8%
1.0-1.1	15%	9%	5%	4%	4%	5%	6%	5%	8%	10%
1.1-1.2	13%	7%	2%	2%	3%	2%	3%	3%	5%	6%
1.2-1.3	13%	4%	2%	1%	1%	1%	1%	2%	3%	2%
1.3-1.4	11%	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	1%
1.4-1.5	7%	2%	0%	1%	0%	0%	0%	0%		0%
1.5-1.6	4%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
1.6-1.7	3%	0%	0%	0%		0%	0%			
1.7-1.8	2%	0%		0%	0%	0%				
1.8-1.9	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%			
1.9-2.0	0%	0%	0%	0%		0%				
2.0-2.1	0%					0%				
2.1-2.2	0%	0%								
>2.3			0%							

Nagu juba öeldud, võib tekstuuri väärtuste muutus olla tingitud pindamismaterjalide kulumisest ja seda just esimesel neljal aastal peale pindamistööd. Põhiliseks kivimaterjaliks pindamistöödel on olnud graniitkillustik, lubjakivi ja kruuskillustik. Nendest kivimaterjalidest tugevaim on graniitkillustik. Järgnevalt on vaadatud makrotekstuuri ruutkeskmise väärtusi ja nende muutumisi peale pindamistööde teostamist järgneva 9 aasta jooksul erinevate kivimaterjalide kaupa.

Graniitkillustikuga pinnatud teelõike on kõige rohkem, üle poole vaatlusesse võetud teelõikudest – kokku 1930 km. RMS_makro väärtuste esinemissagedused sellistel

teelõikudel on näha [tabelis 4.10](#). Kõige rohkem on graniitkillustikuga pindamisel kasutatud kivi fraktsiooniga 8-12 mm.

Tabel 4.10. Makrotekstuuri RMS väärtuste jagunemine graniitkillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

RMS_makro, mm	Graniitkillustikuga pinnatud teelõikude pindamistööde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.1			0%	0%	0%					
0.1-0.2	0%	0%	5%	8%	12%	5%	5%	5%	1%	7%
0.2-0.3	0%	1%	8%	15%	23%	20%	13%	21%	20%	23%
0.3-0.4	0%	5%	11%	15%	13%	18%	23%	27%	10%	23%
0.4-0.5	0%	9%	14%	13%	17%	20%	17%	17%	17%	18%
0.5-0.6	1%	12%	14%	14%	15%	15%	9%	12%	21%	13%
0.6-0.7	3%	12%	14%	11%	9%	9%	12%	7%	9%	9%
0.7-0.8	7%	12%	10%	7%	5%	6%	8%	6%	10%	4%
0.8-0.9	11%	12%	8%	5%	2%	3%	3%	3%	10%	3%
0.9-1.0	15%	11%	8%	5%	2%	2%	2%	2%	2%	0%
1.0-1.1	16%	9%	5%	2%	1%	1%	3%	0%		
1.1-1.2	14%	6%	2%	1%	1%	0%	2%			
1.2-1.3	12%	4%	2%	1%		0%	1%			
1.3-1.4	9%	3%	0%	0%		0%	1%			
1.4-1.5	5%	2%	0%	1%		0%	1%			
1.5-1.6	2%	1%	0%	1%		0%	0%			
1.6-1.7	2%	0%	0%	0%		0%	0%			
1.7-1.8	1%	1%		0%		0%				
1.8-1.9	0%	0%	0%	0%		0%				
1.9-2.0	0%	0%	0%	0%		0%				
2.0-2.1	0%					0%				
2.1-2.2	0%	0%								
>2.3			0%							
RMS_makro andmetega teelõike kokku, km	256	308	342	317	225	251	142	502	174	217

Esimesel neljal aastal peale pindamistööde teostamist graniitkillustikuga on suurem osa RMS_makro väärtusi teelõikudel vahemikus 0,7-1,4 mm (83% tulemustest) ja mida vanem on teekatte pindamine, seda väiksemaks muutub RMS_makro väärtus:

- Pindamistööde vanus 0 aastat, RMS_makro väärtuste vahemik 0,7-1,4 mm;
- Pindamistööde vanus 1 aastat, RMS_makro väärtuste vahemik 0,4-1,2 mm;
- Pindamistööde vanus 2 aastat, RMS_makro väärtuste vahemik 0,2-1,0 mm;
- Pindamistööde vanus 3 aastat, RMS_makro väärtuste vahemik 0,1-0,8 mm;
- Pindamistööde vanus 4 aastat, RMS_makro väärtuste vahemik 0,1-0,7 mm.

Pindamistööde vanusega üle 4 aasta nimetatud muutus peatub ja RMS_makro väärtused jäävad suhteliselt sarnastesse vahemikesse. Järelduste tegemisel tuleb siin samuti arvestada asjaoluga et teelõikudel teostatakse vajadusel ka ribapindamisi, kohtlappimisi ja muid samalaadseid hooldetöid, mis muudavad teekatte pinda. Vajadus nimetatud tööde järele saabub teatud aja möödudes, seega mida vanem on pindamine seda tõenäolisem on, et sellel teelõigul on tehtud ka muid teekatte parandustöid peale pindamistööde. Muutused RMS_makro väärtustes pindamistööde vanusega üle nelja aasta ei pruugi olla tingitud ainult pindamistööde vananemisest.

Lubjakiviga pinnatud teelõike on suhteliselt vähe, kõigest 455 kilomeetrit (14% vaadeldavatest teelõikudest). Suuremal osal sellistest teelõikudest on kasutatud lubjakivi killustiku fraktsiooniga 8-16 mm. [Tabelis 4.11.](#) on näha RMS_makro väärtuste muutus sõltuvalt lubjakiviga pinnatud teelõikude pindamistööde vanusest.

Lubjakivikillustikuga ei ole viimasel aastal pindamistöid tehtud – teelõigud pindamistööde vanusega 0 puuduvad. Samuti on ka vähe teelõike, kus pindamistööde vanus on 1 aastat (5 km). Andmete vähesuse tõttu ei ole otstarbekas vaadata 1-aasta vanusega pindamislõike, kuna need ei pruugi kajastada tegelikku olukorda. Olemasolevate andmete põhjal on lubjakivi puhul RMS_makro väärtuste muutumine võrreldes graniitkillustikuga pinnatud teelõikudega pisut erinev: esimesel neljal aastal RMS_makro väärtused küll vähenevad kuid suhteliselt minimaalselt, edasi toimub väike suurenemine, kuid samuti mitte oluliselt.

Võrreldes graniitkillustikuga pinnatud teelõikudega on RMS_makro väärtused lubjakiviga pindamisel suuremad. Põhjuseks võib siin olla kivi fraktsioon – lubjakiviga pindamisel on kasutatud põhiliselt fraktsiooni 8-16 mm, graniitkillustiku puhul fraktsiooni 8-12 mm.

Tabel 4.11. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

RMS_makro, mm	Lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikude pindamistööde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.1										
0.1-0.2		6%		1%	1%					
0.2-0.3		13%	1%	5%	3%	0%	0%	1%		
0.3-0.4		28%	2%	6%	5%	1%	2%	2%		
0.4-0.5		17%	3%	10%	6%	3%	5%	2%	1%	0%
0.5-0.6		22%	13%	15%	9%	7%	8%	6%	10%	6%
0.6-0.7		7%	16%	14%	12%	10%	13%	15%	11%	8%
0.7-0.8		6%	25%	21%	17%	14%	15%	20%	16%	14%
0.8-0.9			16%	18%	14%	17%	20%	16%	18%	16%
0.9-1.0			8%	7%	14%	21%	16%	13%	15%	17%
1.0-1.1			5%	3%	9%	18%	11%	11%	14%	21%
1.1-1.2			5%	1%	6%	6%	5%	9%	9%	12%
1.2-1.3			5%	0%	3%	2%	2%	4%	6%	4%
1.3-1.4			0%		1%	1%	1%	1%	1%	1%
1.4-1.5		2%	1%		0%	0%	1%	0%		0%
1.5-1.6			0%		0%		0%	0%		
1.6-1.7						0%	0%			
1.7-1.8					0%					
1.8-1.9					0%		0%			
RMS_makro andmetega teelõike kokku, km	0	5	32	48	94	86	108	33	21	27

Kruuskillustikuga pinnatud teelõike on kokku 826 km, see on ligikaudu $\frac{1}{4}$ kõikidest pinnatud teelõikudest. Enamusel nendest teelõikudest on, sarnaselt graniitkillustikuga, kasutatud kivi fraktsiooniga 8-12 mm. Tabelis 4.12. on toodud RMS_makro väärtuste jagunemine nendel teelõikudel.

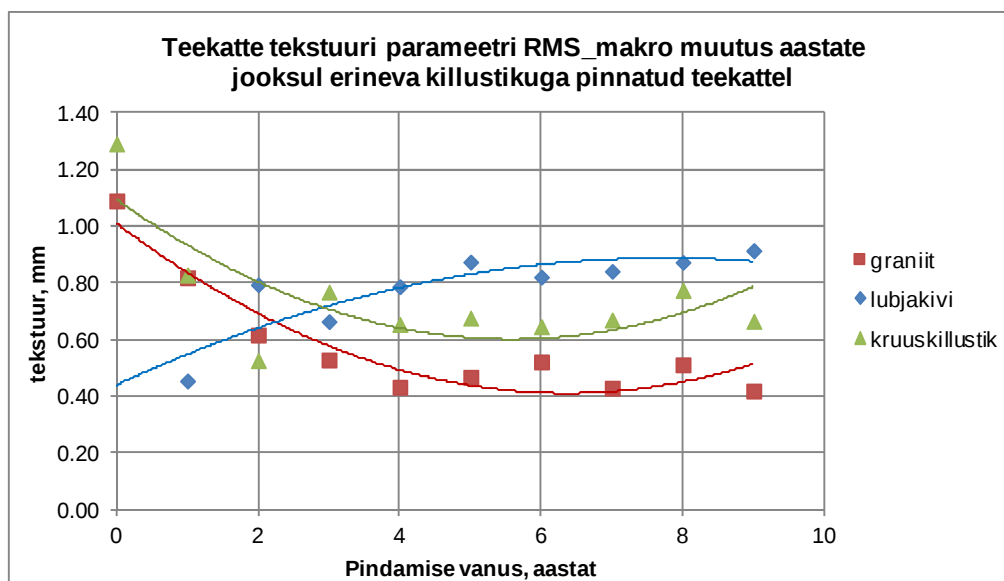
Pindamistööde vanuse 0-2 aastat puhul muutuvad RMS_makro väärtused analoogselt graniitkillustikuga pinnatud teelõikude RMS_makro väärtuste muutusega – mida vanem pindamine, seda väiksem on RMS_makro väärtus. Pindamistööde vanuse 3 ja 4 aastat puhul aga on kruuskillustiku puhul RMS_makro väärtuste muutus teistsugune – vanusega 3 aastat teelõikudel on RMS_makro väärtused sarnased vanuse 1 aastat omadega, vanusega 4 aastat aga jälle pisut vähenevad.

Vanematel kui 4 aastat, püsivad RMS_makro väärtused enam-vähem sarnastes suurustes.

Tabel 4.12. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides kruuskillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

RMS_makro, mm	Kruuskillustikuga pinnatud teelõikude pindamistööde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.1			2%							
0.1-0.2		1%	7%	2%	1%	0%	0%	2%		
0.2-0.3		5%	13%	7%	6%	3%	3%	12%	1%	1%
0.3-0.4		7%	13%	2%	13%	7%	9%	6%	2%	7%
0.4-0.5		8%	17%	6%	17%	13%	16%	8%	8%	19%
0.5-0.6		8%	12%	7%	16%	15%	17%	11%	10%	15%
0.6-0.7		9%	9%	13%	12%	19%	17%	13%	22%	20%
0.7-0.8	1%	5%	8%	15%	8%	15%	14%	12%	20%	18%
0.8-0.9	3%	12%	7%	14%	5%	11%	9%	13%	13%	6%
0.9-1.0	6%	13%	5%	14%	6%	10%	8%	10%	7%	4%
1.0-1.1	12%	13%	4%	11%	5%	6%	4%	6%	9%	2%
1.1-1.2	12%	10%	2%	5%	5%	2%	2%	3%	6%	2%
1.2-1.3	17%	3%	0%	1%	3%	1%	1%	2%	4%	3%
1.3-1.4	15%	1%		1%	2%		0%	0%	1%	1%
1.4-1.5	13%	1%		1%	1%			0%		1%
1.5-1.6	9%	3%			0%		0%			
1.6-1.7	6%	0%				0%				
1.7-1.8	3%	0%								
1.8-1.9	2%	0%								
1.9-2.0	0%									
RMS_makro andmetega teelõike kokku, km	87	64	109	65	131	105	173	59	20	14

Joonisel 4.16. on toodud kokkuvõtte teekatte makrotekstuuri ruutkeskmise parameetri RMS_makro keskmistest väärtustest erineva killustikuga ja erineva vanusega pinnatud teekatetel. Graniit- ja kruuskillustikuga pinnatud teekatete tekstuuri väärtused muutuvad aja jooksul üsna sarnaselt. Lubjakivikillustiku puhul on aga teekatte makrotekstuuri muutumine üsna juhuslik ja puudub kindel seos. Tekstuuri väärtus tundub vastupidiselt teistele materjalidele aja jooksul kasvavat.



Joonis 4.16. Teekatte tekstuuri parameetri RMS_makro muutus erineva killustikuga pinnatud teekattel

Makrotekstuuri MPD

Teekatte makrotekstuuri mõõtmisel saadav teine näitaja on makrotekstuuri keskmine profiili sügavus (MPD_makro). Järgnevalt on võrreldud MPD_makro väärtusi erineva kivimaterjaliga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest. Tabelis 4.13. on toodud MPD_makro väärtuste esinemine sõltuvalt pindamistööde vanusest.

Sarnaselt RMS_makro väärtustega vähenevad ka MPD_makro väärtused esimesel neljal aastal peale pindamistööde teostamist. Alates neljandast aastast MPD_makro väärtused jäävad kas samasse suurusjärku või pisut suurenevad. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtused teelõikudel pindamistööde vanusega kuni 4 aastat on suure tõenäosusega järgmised:

- Pindamistööde vanus 0 aastat, MPD_makro väärtuste vahemik 1,4-2,6 mm;
- Pindamistööde vanus 1 aastat, MPD_makro väärtuste vahemik 0,6-2,0 mm;
- Pindamistööde vanus 2 aastat, MPD_makro väärtuste vahemik 0,4-1,8 mm;
- Pindamistööde vanus 3 aastat, MPD_makro väärtuste vahemik 0,2-1,6 mm;
- Pindamistööde vanus 4 aastat, MPD_makro väärtuste vahemik 0,2-1,6 mm.

Nagu juba varem öeldud, siis makrotekstuuri väärtuste muutused pindamistööde vanuse kasvades üle 4 aasta, ei pruugi olla põhjustatud ainult pindamise

vananemisest vaid ka muudest teguritest nagu näiteks ribapindamised, aukude lappimised jms hooldetööd.

Tabel 4.13. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste jagunemine protsentides pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistöõde vanusest

MPD_makro, mm	Pindamistöõde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.2	0%		1%	0%	0%			0%		
0.2-0.4	0%	1%	6%	9%	9%	5%	3%	6%	1%	4%
0.4-0.6	0%	3%	10%	13%	14%	14%	7%	15%	6%	9%
0.6-0.8	0%	7%	13%	14%	14%	15%	16%	12%	6%	11%
0.8-1.0	1%	12%	16%	15%	17%	17%	14%	12%	14%	12%
1.0-1.2	2%	14%	15%	13%	14%	14%	16%	12%	15%	14%
1.2-1.4	5%	12%	13%	12%	10%	12%	14%	15%	19%	13%
1.4-1.6	10%	13%	10%	9%	7%	9%	11%	11%	15%	11%
1.6-1.8	15%	12%	8%	7%	6%	8%	8%	8%	10%	9%
1.8-2.0	16%	10%	5%	4%	4%	5%	6%	6%	8%	10%
2.0-2.2	15%	6%	2%	1%	2%	1%	2%	3%	4%	5%
2.2-2.4	15%	4%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	1%
2.4-2.6	10%	3%	0%	0%	1%	0%	0%	0%		0%
2.6-2.8	5%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		
2.8-3.0	4%	0%	0%	0%		0%	0%			
3.0-3.2	2%	1%		0%		0%	0%			
3.2-3.4	1%	0%	0%	0%	0%	0%				
3.4-3.6	0%	0%	0%	0%		0%				
3.6-3.8	0%			0%		0%				
3.8-4.0	0%	0%				0%				
4.0-4.2	0%		0%			0%				

Makrotekstuuri mõõtmistulemused võivad olla erinevad sõltuvalt pindamistöõdel kasutatud kivimaterjalist. Tabelis 4.14 on toodud MPD_makro väärtuste vahemikud ja esinemissagedused graniitkillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistöõde vanusest.

Tabel 4.14. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste jagunemine protsentides graniitkillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

MPD_makro, mm	Graniitkillustikuga pinnatud teelõikude pindamistööde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.2	0%		0%	0%			0%			
0.2-0.4	0%	0%	6%	12%	18%	8%	8%	9%	4%	12%
0.4-0.6	0%	2%	9%	16%	21%	23%	15%	29%	19%	24%
0.6-0.8	0%	7%	13%	17%	16%	20%	28%	25%	13%	25%
0.8-1	1%	12%	16%	16%	20%	22%	12%	15%	28%	18%
1-1.2	3%	15%	16%	13%	13%	12%	13%	9%	10%	13%
1.2-1.4	6%	13%	14%	10%	6%	8%	10%	8%	13%	5%
1.4-1.6	12%	14%	9%	6%	3%	4%	4%	3%	11%	3%
1.6-1.8	17%	12%	9%	5%	2%	2%	2%	2%	2%	0%
1.8-2	17%	10%	5%	3%	1%	1%	4%			
2-2.2	15%	6%	2%	1%	1%	0%	2%			
2.2-2.4	14%	4%	1%	1%	0%	0%	0%			
2.4-2.6	7%	3%	0%	0%	0%	0%	1%			
2.6-2.8	3%	1%	0%	0%		0%	1%			
2.8-3	2%	1%	0%	1%			0%			
3-3.2	1%	1%		0%		0%				
3.2-3.4	1%	0%	0%	0%		0%				
3.4-3.6	0%	0%	0%	0%		0%				
3.6-3.8	0%			0%		0%				
3.8-4	0%	0%				0%				
4-4.2	0%		0%			0%				
MPD_makro andmetega teelõike kokku, km	256	308	342	317	225	251	142	50	17	22

Sarnaselt RMS-makro väärtustega vähenevad ka MPD_makro mõõtmistulemused pindamistööde vanuse suurenedes esimesel neljal aastal graniitkillustikuga pinnatud teelõikudel. Viiendal aastal peale pindamistööde teostamist MPD_makro väärtused jäävad samale tasemele neljanda aasta omadega ja edasi need kord suurenevad, kord vähenevad.

Kui RMS_makro väärtused vaadeldavas ajavahemikus lubjakiviga pinnatud teelõikudel pärast pindamistööde teostamist kord suurenesid, kord vähenesid, siis

MPD_makro väärtused püsivad suhteliselt sarnastes suurustes (andmete vähesuse tõttu ühe aasta vanuse pindamistööga teelõike võrdluses ei arvesta) – MPD_makro väärtus püsib vahemikus 0,8-2,0 mm olenemata pindamistöö vanusest (*tabel 4.15.*).

Tabel 4.15. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste jagunemine protsentides lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

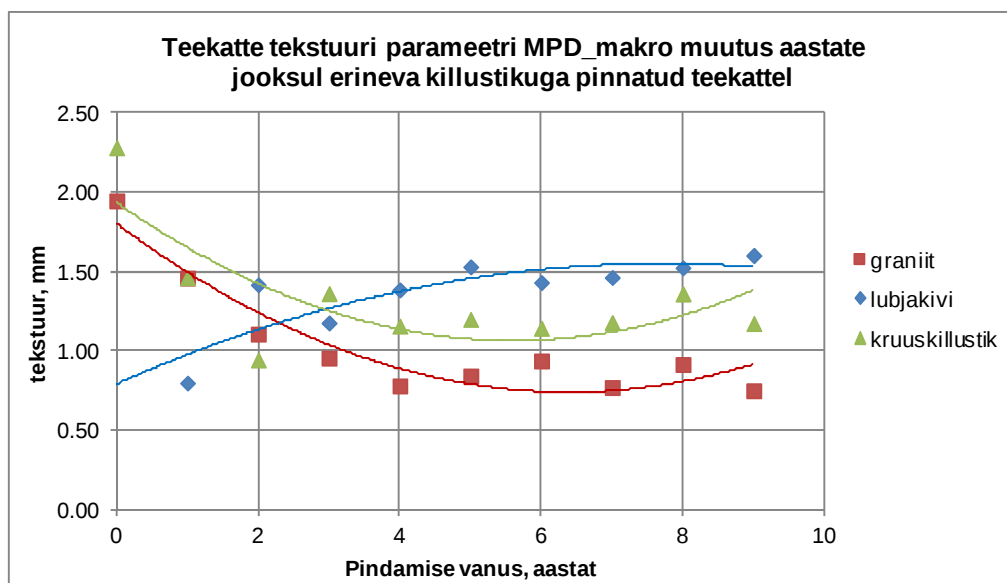
MPD_makro, mm	Lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikude pindamistööde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.2										
0.2-0.4		6%		1%	1%					
0.4-0.6		24%	2%	6%	3%	0%	1%	2%		
0.6-0.8		26%	2%	8%	7%	2%	5%	3%	0%	
0.8-1.0		22%	7%	16%	9%	5%	9%	5%	6%	4%
1.0-1.2		13%	19%	14%	12%	11%	14%	14%	14%	10%
1.2-1.4		7%	25%	24%	19%	15%	17%	24%	17%	15%
1.4-1.6			20%	19%	17%	21%	22%	16%	20%	19%
1.6-1.8			9%	8%	16%	24%	17%	15%	19%	19%
1.8-2.0			5%	3%	9%	16%	11%	12%	13%	22%
2.0-2.2			5%		5%	3%	3%	7%	6%	9%
2.2-2.4			5%	0%	2%	2%	1%	2%	4%	1%
2.4-2.6		2%	1%		1%	0%	1%	1%		0%
2.6-2.8			1%		1%	0%	0%	0%		
2.8-3.0			0%			0%	0%			
3.0-3.2							0%			
3.2-3.4					0%					
MPD_makro andmetega teelõikude pikkus, km	0	5	32	48	94	86	108	33	21	27

Tabelis 4.16. on toodud sarnased MPD_makro andmed kruuskillustikuga pinnatud teelõikudel. Kruuskillustikuga pinnatud teelõikudel esimestel aastatel pärast pindamistööde teostamist MPD_makro väärtused vähenevad. Kõige suurem on muutus vähenemise poole esimesel ja teisel aastal pärast pindamistööde teostamist. Alates kolmandast aastast MPD_makro väärtused kord suurenevad, kord vähenevad. Enam-vähem sarnane oli olukord ka RMS_makro väärtuste puhul samadel teelõikudel.

Tabel 4.16. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste jagunemine protsentides kruuskillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

MPD_makro, mm	Kruuskillustikuga pinnatud teelõikude pindamistööde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.2			4%							
0.2-0.4		1%	6%	3%	1%	0%	1%	7%		1%
0.4-0.6		7%	16%	5%	9%	4%	5%	10%	1%	1%
0.6-0.8		7%	17%	4%	17%	12%	15%	6%	6%	13%
0.8-1.0	0%	11%	16%	8%	19%	15%	20%	13%	10%	20%
1.0-1.2	0%	8%	11%	13%	16%	21%	19%	13%	22%	24%
1.2-1.4	1%	7%	9%	16%	10%	18%	16%	15%	25%	21%
1.4-1.6	4%	12%	8%	17%	7%	12%	11%	15%	13%	7%
1.6-1.8	8%	14%	6%	16%	7%	11%	8%	10%	8%	4%
1.8-2.0	14%	15%	4%	10%	6%	5%	4%	7%	11%	3%
2.0-2.2	16%	8%	1%	4%	4%	1%	1%	3%	5%	3%
2.2-2.4	18%	3%	0%	2%	3%	0%	0%	1%	2%	1%
2.4-2.6	18%	3%		1%	1%			0%		1%
2.6-2.8	10%	2%		0%	0%		0%	0%		
2.8-3.0	8%	0%				0%	0%			
3.0-3.2	3%	0%								
3.2-3.4	1%									
3.4-3.6	0%									
MPD_makro andmetega teelõike kokku, km	87	64	109	65	131	105	173	59	20	14

Joonisel 4.17. on toodud kokkuvõtte teekatte makrotekstuuri parameetri MPD_makro keskmistest väärtustest erineva killustikuga ja erineva vanusega pinnatud teekatetel. Graniit- ja kruuskillustikuga pinnatud teekatete tekstuuri väärtused muutuvad sarnaselt. Lubjakivikillustiku puhul on aga teekatte makrotekstuuri muutumine üsna juhuslik ja puudub kindel seos.



Joonis 4.17. Teekatte tekstuuri parameetri MPD_makro muutus erineva killustikuga pinnatud teekattel

Vaadeldud andmete põhjal saab teha ainult väga üldisi järeldusi, sest rohkem esineb ikkagi vasturääkivusi ja erinevusi kui sarnaseid jooni. Nii võib öelda, et suhteliselt tõenäoline on, et teelõikudel, mis on pinnatud graniit- või kruuskillustikuga, on makrotekstuuri väärtused (RMS_makro ja MPD_makro) peale pindamistööde teostamist suuremad kui hilisematel aastatel pärast pindamistööd ehk mida vanem on teostatud pindamine, seda väiksem on makrotekstuuri väärtus. Lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikude puhul aga ei saa välja tuua mingit kindlat seost – makrotekstuuri väärtustel ei tundu olevat seost pindamise vanusega. Tähelepanu tuleb siin aga juhtida asjaolule, et andmete vähesus ja nende regionaalsus võib tulemustes oma osa mängida ning seetõttu ei pruugi kujunenud pilt olla õige ja seda ei saa üldistada kogu teedevõrgule.

Megatekstuur RMS

Megatekstuur on sõiduki rehvi ja teepinna vahelise kontaktpinna ebatasasus. Järgnevalt on võrreldud megatekstuuri mõõtmistulemusi sõltuvalt pindamistööde vanusest (*tabel 4.17.*). Nagu ka eelnevalt, on andmete vähesuse tõttu võrdlustest välja jäetud bituumeniga töödeldud graniitkillustikuga pinnatud teelõigud.

Värskelt pinnatud teelõikudel on enamus (>80%) megatekstuuri ruutkeskmise (RMS_mega) väärtusi vahemikus 0,4-1,0 mm. Peale pindamistööde teostamist hakkavad RMS_mega väärtused aasta-aastalt vähenema kuni pindamistööde

vanuseni 5 aastat, hiljem kord suurenevad, kord vähenevad. Üldiselt on nimetatud muutused sarnased RMS_makro ja MPD_makro väärtuste muutustega.

Tabel 4.17. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistööde vanusest

RMS_mega, mm	Pindamistööde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.1			0%	0%	1%	0%	0%			0%
0.1-0.2	0%	1%	6%	10%	11%	11%	4%	7%	5%	9%
0.2-0.3	1%	10%	22%	24%	21%	22%	15%	20%	7%	15%
0.3-0.4	5%	23%	23%	22%	21%	20%	20%	17%	17%	14%
0.4-0.5	12%	18%	17%	16%	15%	16%	18%	12%	19%	11%
0.5-0.6	20%	16%	14%	13%	10%	11%	13%	14%	11%	13%
0.6-0.7	19%	15%	11%	8%	8%	9%	11%	13%	12%	12%
0.7-0.8	17%	10%	5%	3%	5%	5%	8%	8%	10%	10%
0.8-0.9	11%	3%	2%	1%	4%	3%	5%	5%	9%	7%
0.9-1.0	7%	2%	1%	0%	2%	2%	2%	2%	6%	5%
1.0-1.1	4%	1%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	3%	3%
1.1-1.2	3%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%
1.2-1.3	1%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
1.3-1.4	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%
1.4-1.5	0%	0%	0%		0%	0%	0%			
1.5-1.6	0%	0%	0%		0%			0%	0%	0%
1.6-1.7	0%	0%					0%			
1.7-1.8	0%	0%								
1.8-1.9	0%			0%						
1.9-2.0	0%	0%								
2.0-2.1	0%	0%								

Megatekstuuri ruutkeskmise väärtused esimesel neljal aastal peale pindamistööde teostamist on suure tõenäosusega järgmised:

- Pindamistööde vanus 0 aastat, RMS_mega väärtuste vahemik 0,4-1,0 mm;
- Pindamistööde vanus 1 aastat, RMS_mega väärtuste vahemik 0,2-0,7 mm;
- Pindamistööde vanus 2 aastat, RMS_mega väärtuste vahemik 0,2-0,7 mm;
- Pindamistööde vanus 3 aastat, RMS_mega väärtuste vahemik 0,1-0,6 mm;
- Pindamistööde vanus 4 aastat, RMS_mega väärtuste vahemik 0,1-0,7mm.

Pindamistöodel on kasutatud põhiliselt kolme materjali – graniitkillustikku, lubjakivikillustikku ja kruuskillustikku. Eelnevalt makrotekstuuri väärtuste võrdlemisel tuli ilmsiks, et muutused sõltuvalt pindamistöode vanusest võivad erineva killustiku kasutamise puhul olla erinevad. Järgnevalt on tehtud sarnane võrdlus ka megatekstuuri mõõtmistulemuste osas (*tabel 4.18*).

Tabel 4.18. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides graniitkillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistöode vanusest

RMS_mega, mm	Graniitkillustikuga pinnatud teelõikude pindamise vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.1			0%	0%	2%	0%	0%			0%
0.1-0.2	0%	1%	7%	13%	22%	19%	13%	14%	16%	25%
0.2-0.3	1%	12%	22%	29%	34%	36%	36%	42%	22%	38%
0.3-0.4	7%	25%	25%	26%	23%	25%	26%	29%	36%	28%
0.4-0.5	16%	18%	17%	15%	12%	13%	14%	10%	23%	7%
0.5-0.6	24%	15%	11%	9%	5%	4%	6%	3%	1%	1%
0.6-0.7	20%	14%	10%	5%	1%	2%	3%	1%	1%	0%
0.7-0.8	15%	8%	5%	2%	0%	1%	1%	1%	1%	0%
0.8-0.9	9%	3%	2%	1%	0%	0%	0%			
0.9-1.0	5%	2%	1%	0%	0%	0%				
1.0-1.1	2%	1%	0%	0%	0%	0%		0%	1%	0%
1.1-1.2	1%	1%	0%	0%		0%				
1.2-1.3	0%	0%			0%					
1.3-1.4	0%	0%	0%							
1.4-1.5	0%		0%							
1.5-1.6			0%		0%					
1.6-1.7										
1.7-1.8										
1.8-1.9				0%						
1.9-2.0										
2.0-2.1		0%								
RMS_mega andmetega teelõike kokku, km	256	308	342	317	225	251	142	50	17	22

Esimese kolme aasta jooksul peale graniitkillustikuga pindamistöde teostamist vähenevad RMS_mega väärtused suhteliselt ühtlaselt, alates pindamistöde vanusest 4 aastat jäävad RMS_mega väärtused muutumatuks.

Tabelites 4.19. ja 4.20. on toodud samad andmed nii lubjakivikillustiku kui ka kruuskillustikuga pinnatud teelõikude kohta.

Tabel 4.19. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistöde vanusest

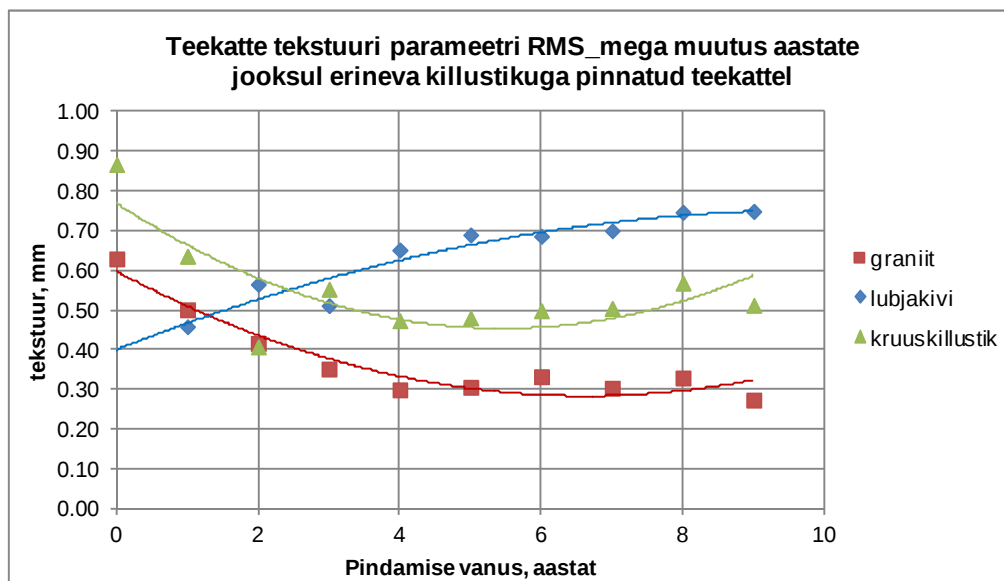
RMS_mega, mm	Lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikude pindamise vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
<0.1										
0.1-0.2				1%		0%				
0.2-0.3		6%	0%	8%	1%	0%	1%	1%		
0.3-0.4		30%	6%	12%	7%	2%	7%	2%	3%	0%
0.4-0.5		35%	23%	24%	15%	12%	10%	8%	9%	10%
0.5-0.6		24%	37%	27%	19%	19%	16%	22%	10%	15%
0.6-0.7		4%	21%	19%	20%	21%	21%	22%	19%	21%
0.7-0.8			9%	6%	14%	18%	18%	16%	19%	18%
0.8-0.9			3%	2%	12%	16%	15%	12%	17%	14%
0.9-1.0			1%		7%	8%	6%	8%	12%	11%
1.0-1.1					3%	3%	4%	4%	7%	6%
1.1-1.2					1%	1%	1%	2%	4%	3%
1.2-1.3					1%	0%	1%	1%	0%	1%
1.3-1.4						0%	0%	0%		0%
1.4-1.5		2%			0%		0%			
1.5-1.6					0%			0%		0%
1.6-1.7							0%			
1.7-1.8										
1.8-1.9										
RMS_mega andmetega teelõike kokku, km	0	5	32	48	94	86	108	33	21	27

Tabel 4.20. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides kruuskillustikuga pinnatud teelõikudel sõltuvalt pindamistöõde vanusest

RMS_mega, mm	Kruuskillustikuga pinnatud teelõikude pindamistöõde vanus, aastat									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.1-0.2			6%	2%	1%	0%		5%	1%	1%
0.2-0.3		3%	26%	8%	14%	7%	6%	12%	2%	7%
0.3-0.4	0%	12%	22%	12%	29%	23%	25%	16%	14%	20%
0.4-0.5	1%	16%	16%	15%	21%	27%	27%	16%	27%	20%
0.5-0.6	7%	18%	15%	25%	13%	21%	17%	19%	20%	26%
0.6-0.7	16%	20%	10%	19%	10%	14%	12%	17%	14%	13%
0.7-0.8	21%	19%	4%	9%	6%	5%	8%	9%	9%	9%
0.8-0.9	16%	5%	1%	4%	5%	1%	3%	5%	8%	2%
0.9-1.0	14%	1%	0%	1%	2%	0%	1%	1%	5%	1%
1.0-1.1	12%	0%		2%	1%	0%	0%	0%	1%	1%
1.1-1.2	7%	0%		2%	0%	0%	0%	0%		
1.2-1.3	2%	0%		0%	0%					
1.3-1.4	1%	1%			0%		0%			
1.4-1.5	1%	2%								
1.5-1.6	0%	1%							1%	
1.6-1.7	1%	1%								
1.7-1.8	1%	0%								
1.8-1.9	0%									
1.9-2.0	0%	0%								
2.0-2.1	0%									
RMS_mega andmetega teelõike kokku, km	87	64	109	65	131	105	173	59	20	14

Kui graniitkillustikuga pinnatud teelõikudel liikusid RMS_mega väärtused üheksa aasta jooksul pärast pindamistöõde teostamist vähenemise suunas, siis lubjakivikillustikuga pinnatud teelõikudel on olukord peegelpildis – RMS_mega väärtused aasta-aastalt suurenevad. Nimetatud muutused on RMS_mega väärtuste puhul ühtlasemad kui makrotekstuuri näitajate puhul. Sama aga ei saa öelda kruuskillustikuga pinnatud teelõikude tekstuuri andmete kohta – pindamistöõde vanuse kasvades RMS_mega väärtused kord vähenevad, kord suurenevad.

Joonisel 4.18. on toodud kokkuvõtte teekatte megatekstuuri ruutkeskmise parameetri RMS_mega keskmistest väärtustest erineva killustikuga ja erineva vanusega pinnatud teekatetel. Graniit- ja kruuskillustikuga pinnatud teekatete tekstuuri väärtused tunduvad muutuvat sarnasel. Lubjakivikillustiku puhul on aga teekatte megatekstuuri muutumine üsna juhuslik ja sarnaselt makrotekstuurile puudub selles kindel seos.



Joonis 4.18. Teekatte tekstuuri parameetri RMS_mega muutus erineva killustikuga pinnatud teekattel

Kokkuvõtvalt saab kõigi kolme tekstuuri näitaja (RMS_makro, MPD_makro ja RMS_mega) kohta järeldusena välja tuua vaid, et

- Graniit- ja kruuskillustikuga pinnatud teelõikudel on tekstuuri väärtus tõenäoliselt suurem värske pindamise korral;
- Lubjakivikillustikuga pinnatud teekatte tekstuur muutub aja jooksul teistest erinevalt ja selle põhjuste väljaselgitamine vajab lisauuringute teostamist;
- Lähtuvalt mõõdetud tekstuuri konkreetsest näitajast ja selle suurusest ei ole võimalik hinnata pindamistöode vanust.

4.2.3. Teekatte tekstuur pindamata teel

Pindamata teelõike, millel on olemas tekstuuri mõõtmistulemused on kokku 680 km. Suuremal osal nendest teelõikudest (655 km) on tihedast asfaltbetoonist või killustikmastiksasfaldist (mis oma iseloomult on samuti tihe asfaltbetoon) teekate.

Pindamata teelõikude ehitusel on kasutatud erinevaid teekatte segu tüüpe. Nende teelõikude pikkused on erinevad. Kõige rohkem on teekatte segu materjalina kasutatud tihedat asfaltbetooni AC 12 surf / TAB 12I – kokku 360 kilomeetrit teelõike. Andmed kasutatud segu tüübi kohta puuduvad 7 kilomeetril teelõikudest. Järgnevate tekstuuri andmete võrdluste tegemisel sõltuvalt teekatte segu tüübist on välja jäetud lisaks puudulikele andmetele ka ühesuguse segu tüübiga lühikesed teelõigud (teelõikude pikkus alla 1 km). Võrdlusse võetud teelõike on kokku 644 km, sõltuvalt kasutatud segu tüübist (segu tähistused vastavalt Teeregistri andmetele):

- Killustikmastiksfalt SMA 16 / KMA 16 – 38,7 km (segu kood 1);
- Killustikmastiksfalt SMA 12 / KMA 12 – 210 km (segu kood 2);
- Tihe asfaltbetoon AC surf / TAB 12I – 360 km (segu kood 12);
- Tihe asfaltbetoon AC 16 bin / TAB 16II – 22,7 km (segu kood 16);
- Kergasfaltbetoon KAB 12 – 12,7 km (segu kood 53).

Kõige laiemal väärtuste vahemikuga ja samas ka suhteliselt sarnastes väärtuste vahemikes on makrotekstuuri mõõtmistulemused killustikmastiksfaldist SMA 16 /KMA 16 ja tihedast asfaltbetoonist AC 16 bin / TAB 16II segu tüübiga teekatetel. Megatekstuuri väärtused on võrreldes makrotekstuuri väärtustega samadel teelõikudel tunduvalt kitsama väärtuste vahemikuga. Tekstuuri mõõtetulemuste enamuse (>80%) väärtuste vahemikud on sõltuvalt teekattes kasutatud segu tüübist toodud [tabelis 4.21](#).

Tabel 4.21. Analüüsiga hõlmatud segu tüübid ja teekatte tekstuuri väärtuste vahemikud nendel

Segu tüüp	Segu kood	RMS_makro vahemik, mm	MPD_makro vahemik, mm	RMS_mega vahemik, mm
Killustikmastiksfalt SMA 16 / KMA 16	1	0.3-1.0	0.6-1.8	0.2-0.6
Killustikmastiksfalt SMA 12 / KMA 12	2	0.1-0.4	0.2-0.8	0.1-0.3
Tihe asfaltbetoon AC surf / TAB 12I	12	0.1-0.4	0.2-0.8	0.1-0.2
Tihe asfaltbetoon AC 16 bin / TAB 16II	16	0.2-0.8	0.4-1.4	0.1-0.5
Kergasfaltbetoon KAB 12	53	0.5-0.8	1.0-1.4	0.2-0.4

Tekstuuri mõõtmistulemuste esinemissagedused igas väärtuste vahemikus on täpsemalt näha [tabelites 4.22. – 4.24.](#)

Tabel 4.22. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides sõltuvalt pindamata teekatte segu tüübist

RMS_makro, mm	Segu tüüp, kood				
	1	2	12	16	53
<0.1	0%		0%		
0.1-0.2	2%	39%	27%	1%	
0.2-0.3	5%	27%	33%	13%	
0.3-0.4	9%	15%	25%	35%	
0.4-0.5	9%	8%	11%	14%	5%
0.5-0.6	19%	3%	3%	2%	24%
0.6-0.7	17%	4%	1%	15%	41%
0.7-0.8	12%	2%	0%	13%	27%
0.8-0.9	8%	0%	0%	5%	3%
0.9-1.0	8%	0%	0%	2%	0%
1.0-1.1	6%	0%			0%
1.1-1.2	1%	1%			0%
1.2-1.3	3%	0%			0%
1.3-1.4	1%	0%			0%
1.4-1.5		0%		0%	0%
1.5-1.6		0%	0%		0%
1.7-1.8					
1.7-1.8		0%			0%

Tabel 4.23. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides sõltuvalt pindamata teekatte segu tüübist

MPD_makro, mm	Segu tüüp, kood				
	1	2	12	16	53
<0.2	1%	0%	0%		
0.2-0.4	3%	48%	35%	2%	
0.4-0.6	9%	25%	35%	25%	
0.6-0.8	11%	13%	22%	33%	1%
0.8-1.0	19%	4%	6%	4%	12%
1.0-1.2	20%	5%	1%	11%	46%
1.2-1.4	14%	3%	1%	17%	36%

MPD_makro, mm	Segu tüüp, kood				
	1	2	12	16	53
1.4-1.6	10%	0%	0%	7%	6%
1.6-1.8	9%	0%	0%	1%	
1.8-2.0	2%	0%	0%		
2.0-2.2	3%	0%			
2.2-2.4	1%	0%			
2.4-2.6		0%			
2.6-2.8		0%		0%	
2.8-3.0		0%	0%		
3.0-3.2		0%			
3.2-3.4		0%			

Tabel 4.24. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides sõltuvalt pindamata teekatte segu tüübist

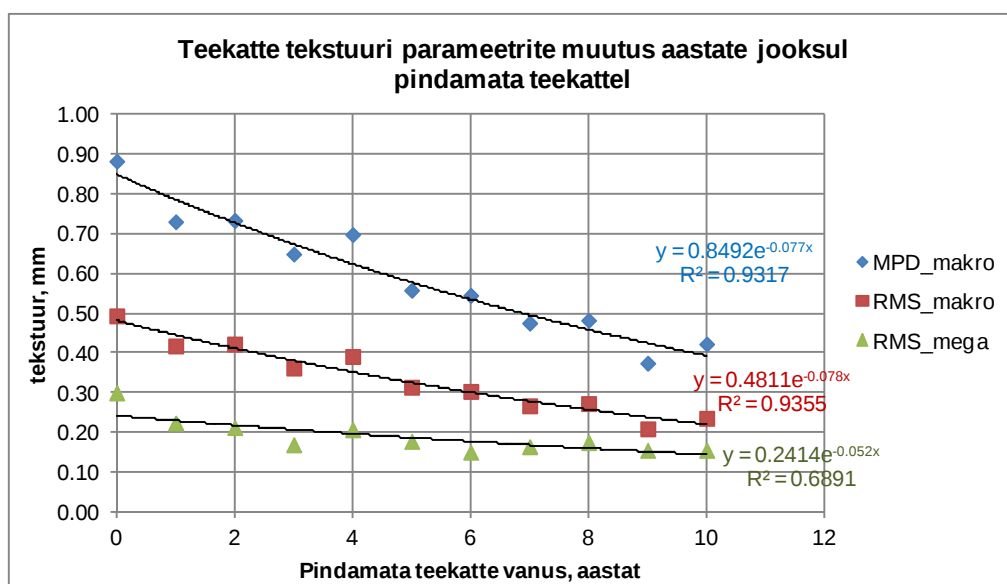
RMS_mega, mm	Segu tüüp, kood				
	1	2	12	16	53
<0.1	2%	9%	16%	1%	
0.1-0.2	6%	58%	68%	32%	
0.2-0.3	26%	25%	14%	30%	20%
0.3-0.4	36%	6%	1%	3%	70%
0.4-0.5	20%	1%	0%	19%	8%
0.5-0.6	6%	0%	0%	9%	2%
0.6-0.7	3%	0%	0%	4%	
0.7-0.8				2%	
0.8-0.9			0%	1%	
0.9-1.0				0%	
1.5-1.6			0%		

Sarnased on tekstuuri väärtuste vahemikud ka RMS_makro ja MPD_makro mõõtmistulemustel segu tüüpide killustikmastiksasfalt SMA 12 /KMA 12 ja tihe asfaltbetoon AC 12 surf / TAB 12 I puhul.

Erinevalt eelmistes osades tehtud tekstuuri mõõtmistulemuste võrdlemisel sõltuvalt pindamistöödest, pindamismaterjalidest jms on tekstuuri väärtustel sõltuvalt teekatte segu tüübist küllaltki konkreetseid ja eristatavad piirid. Kuna aga erinevate segu tüüpide korral esineb tekstuuri mõõtmistulemuste piirides ka kattuvusi, siis lähtuvalt konkreetsest mõõtmistulemuse väärtusest ei ole võimalik öelda, mis segu tüübiga

antud juhul on tegemist. Näiteks MPD_makro väärtuse puhul 1.2 mm võib olla teekattes kasutatud segu nii killustikmastiksfalt SMA 16 / KMA 16, tihe asfaltbetoon AC 16 bin / TAB 16II või kergasfaltbetoon KAB 12.

Pindamata teelõikude teekatte tekstuur võib sarnaselt pinnatud teelõikude teekatte tekstuurile ajas muutuda. Uusi pindamiseta teekatteid (vanus 0 aastat), kus on tehtud teekatte tekstuuri mõõtmised, on vähe – pisut üle 6 kilomeetri. Üle 10 aasta vanuseid pindamiseta teekatteid on samuti vähe ja selle tõttu on järgnevasse võrdlusesse jäetud teelõigud katte vanusega 1-10 aastat. Kokku on selliseid teelõike 651 km.



Joonis 4.19. Teekatte tekstuuri parameetrite muutumine pindamata teekattel

Joonisel 4.19. on toodud teekatte tekstuuri parameetrite keskmiste väärtuste muutumine aastate jooksul. Esitatud andmete puhul ei ole arvestatud erinevaid teekatte segu tüüpe. Makrotekstuuri osas on muutused selgelt suuremad kui megatekstuuri osas.

Tabelites 4.25 – 4.27. on toodud teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste (RMS_makro, MPD_makro ja RMS_mega) väärtuste esinemissagedused sõltuvalt teekatte vanusest.

Tabel 4.25. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides sõltuvalt pindamata teekatte vanusest

RMS_makro, mm	Pindamata teekatte vanus, aastat									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<0.1	1%							0%	0%	0%
0.1-0.2	24%	13%	19%	25%	23%	7%	19%	35%	58%	51%
0.2-0.3	21%	23%	26%	15%	20%	43%	49%	32%	34%	28%
0.3-0.4	18%	21%	28%	18%	35%	40%	28%	18%	7%	10%
0.4-0.5	10%	14%	13%	12%	19%	9%	4%	10%	0%	5%
0.5-0.6	3%	11%	5%	8%	2%	0%		3%		6%
0.6-0.7	6%	6%	5%	13%	0%			1%		1%
0.7-0.8	5%	4%	2%	8%		0%		0%	0%	0%
0.8-0.9	2%	2%	0%	1%		0%				
0.9-1.0	2%	2%	1%							
1.0-1.1	3%	1%								
1.1-1.2	4%	0%	1%							
1.2-1.3	0%	1%								
1.3-1.4	0%	0%								
1.4-1.5	0%									
1.5-1.6		0%								
1.7-1.8	0%									
RMS_makro andmetega teelõike kokku, km	97	104	44	44	46	72	11	121	47	67

Tabel 4.26. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste jagunemine protsentides sõltuvalt pindamata teekatte vanusest

MPD_makro, mm	Pindamata teekatte vanus, aastat									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<0.2	1%							0%		1%
0.2-0.4	29%	19%	23%	29%	28%	15%	31%	46%	77%	57%
0.4-0.6	24%	28%	31%	18%	24%	51%	55%	29%	21%	26%
0.6-0.8	17%	20%	26%	20%	39%	32%	15%	17%	2%	8%
0.8-1.0	5%	14%	8%	6%	9%	2%		5%		6%
1.0-1.2	6%	8%	6%	15%	0%	0%		2%		2%
1.2-1.4	6%	5%	3%	11%				0%	0%	1%
1.4-1.6	3%	3%		2%		0%				
1.6-1.8	2%	2%	1%							

MPD_makro, mm	Pindamata teekatte vanus, aastat									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.8-2.0	4%	1%	0%							
2.0-2.2	2%	1%	0%							
2.2-2.4	0%	0%	0%							
2.4-2.6	0%		1%							
2.6-2.8	0%		0%							
2.8-3.0	0%	0%	0%							
3.0-3.2			0%							
3.2-3.4	0%									
MPD_makro andmetega teelõike kokku, km	97	104	44	44	46	72	11	121	47	67

Tabel 4.27. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine protsentides sõltuvalt pindamata teekatte vanusest

RMS_mega, mm	Pindamata teekatte vanus, aastat									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<0.1	18%	8%	18%	25%	6%	10%	3%	10%	10%	9%
0.1-0.2	48%	53%	61%	29%	60%	79%	81%	57%	76%	71%
0.2-0.3	12%	20%	15%	20%	34%	10%	15%	29%	12%	17%
0.3-0.4	9%	12%	4%	23%	0%	1%	1%	4%	1%	2%
0.4-0.5	5%	5%	2%	3%		0%	1%	0%	0%	0%
0.5-0.6	2%	2%	1%	1%					0%	
0.6-0.7	0%	1%	0%							
0.7-0.8	2%									
0.8-0.9	2%			0%						
0.9-1.0	1%									
1.0-1.1										
1.1-1.2										
1.2-1.3										
1.5-1.6										
RMS_mega andmetega teelõike kokku, km	97	104	44	44	46	72	11	121	47	67

Tehtud võrdluste põhjal ei ole võimalik välja tuua mingeid kindlaid jooni tekstuuri mõõtmistulemustes – sõltumata pindamata teekatte vanusest on konkreetne tekstuuri näitaja sarnastes väärtuste vahemikes, konkreetsed väärtuste vahemikud on suhteliselt kitsad ja konkreetsed väärtused väikesed.

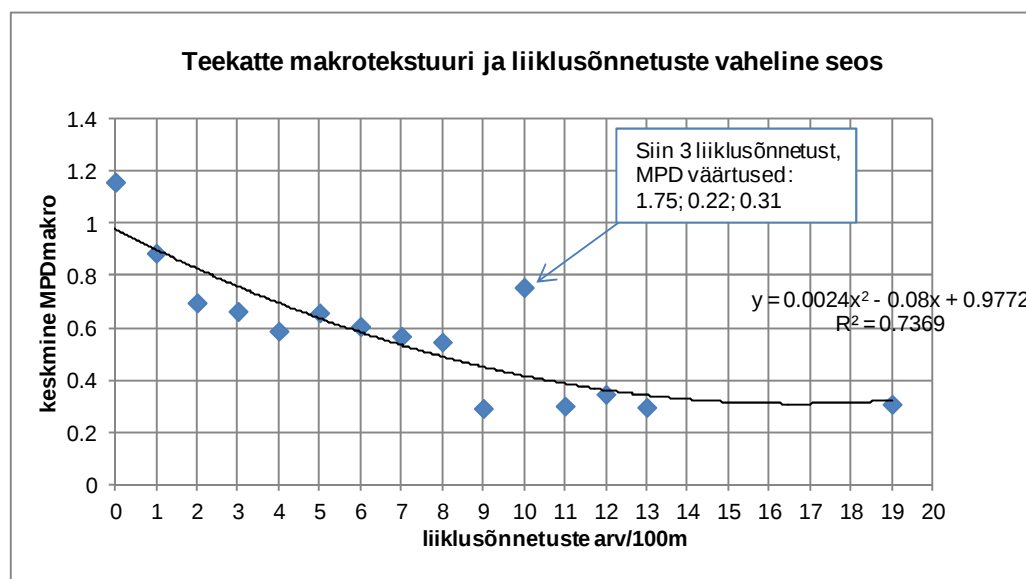
5. SOOVITUSLIKUD ANALÜÜSID TEEKATTE TEKSTUURI ANDMETE KASUTAMISEKS

Käesoleva uurimistöö üheks eesmärgiks oli tuua välja ja kirjeldada võimalikud analüüsid, kus oleks Eestis võimalik teekatte tekstuuri andmeid kasutada. Nende analüüside määratlemiseks on läbi töötatud ja omavahel võrreldud Teeregistris sisalduvaid erinevaid andmeid ja kokkuvõtte saadud tulemustest on esitatud alljärgnevatel punktides.

5.1. Teekatte tekstuuri seos liiklusõnnetustega

Teadadolevalt ei ole seniste teekatte seisukorda kirjeldavate andmete võrdlemisel liiklusõnnetuste esinemisega leitud otseseid seoseid. Kuna teekatte makrotekstuuri ja teekatte haardelistel omadustel on teatavalt olemas omavaheline seos, siis on omavahel võrreldud liiklusõnnetuste esinemist ja mõõdetud teekatte tekstuuri väärtusi. Siinkohal tuleb rõhutada, et see tehtud analüüs on üldine ja selle käigus saavutatud tulemusi tuleb võtta kui esialgseid ja suunda näitavaid.

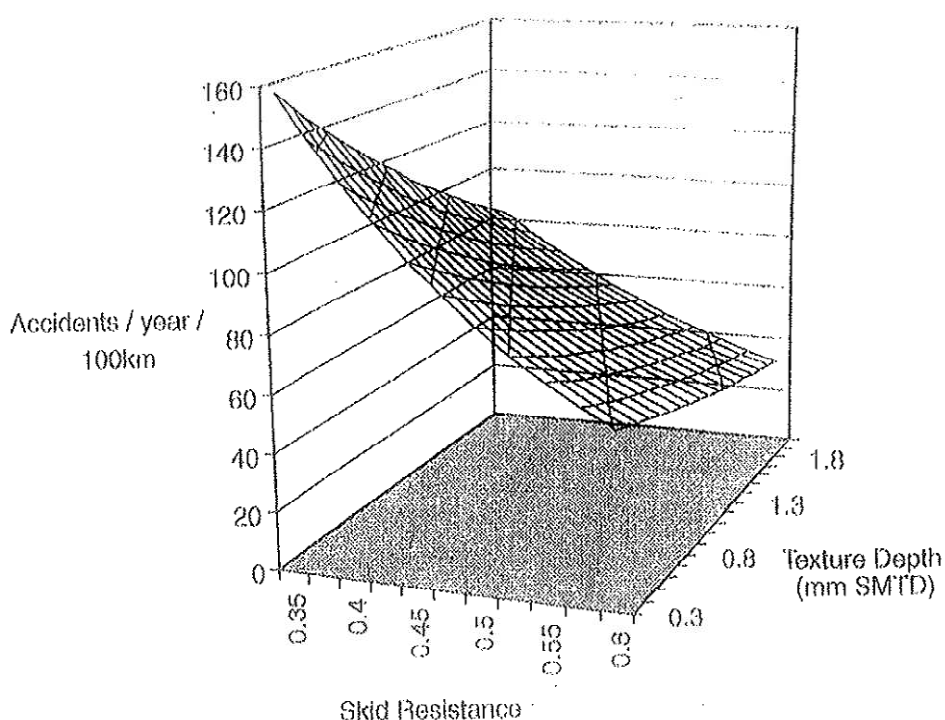
Analüüsi teostamiseks on omavahel võrreldud siis 100m pikkusel teelõigul toimunud liiklusõnnetusi viimase 10 aasta jooksul ning 2011 aastal mõõdetud teekatte tekstuuri väärtusi. Liiklusõnnetusi ei ole klassifitseeritud ei õnnetuse tüüpide ega ka valitsenud teeolude kaupa. Vahepealsetel aastatel toimunud teekatte remondi- ja ehitustöid ei ole analüüsis antud etapil arvestatud. Kokkuvõttes saadud võrdlustulemustest on esitatud [joonisel 5.1](#).



Joonis 5.1. Teekatte makrotekstuuri ja liiklusõnnetuste arvu vaheline seos

Jooniselt 5.1. on näha, et makrotekstuuri väärtuste vähenemisel liiklusõnnetuste toimumise võimalus kasvab. Toodud seos ei tähenda seda, et teatud makrotekstuuri väärtuse juures kindlasti toimub teatud arv liiklusõnnetusi, vaid seda, et esineb teatud suurusega risk liiklusõnnetuse toimumiseks.

Enam vähem sarnastele järeldustele jõudsid oma 2005 aastal tehtud uurimistöös „*Accidents and the skidding resistance standard for strategic roads in England*“ ka Suurbritannia uurijad Parry A.R. ja Viner H.E. *Joonisel 5.2.* on toodud kokkuvõte, mis iseloomustab seost teekatte haardeliste omaduste, tekstuuri sügavuse ja liiklusõnnetuste arvu vahel.



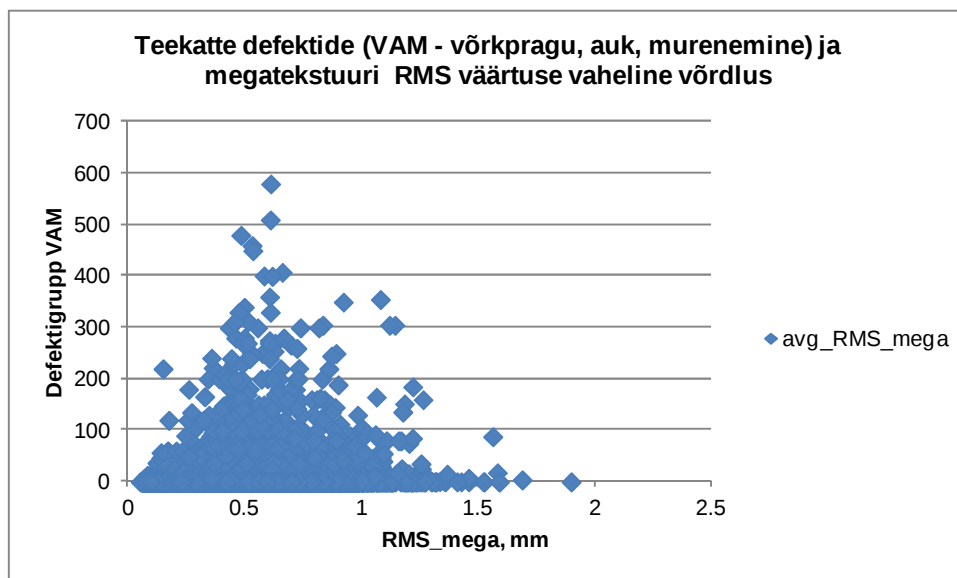
Joonis 5.2. Teekatte tekstuuri, haardeliste omaduste ja liiklusõnnetuste arvu vaheline seos (Parry, Viner 2005)

Liiklusohutuse tagamine liiklejatele on oluline aspekt ja töö tõhustamine selles valdkonnas on ühiskonna poolt oodatud. Arvestades eelpool toodut on üsna põhjendatud pärast kogu teedevõrgul teekatte tekstuuri mõõtmiste teostamist alustada uurimistööga, milles vaadeldakse põhjalikumalt liiklusõnnetuste toimumise ja teekatte tekstuuri parameetrite vahelisi seoseid. Võimalik, et selle töö ühe tulemusena täpsustuvad ka selles töös toodud teekatte tekstuuri erinevate parameetrite piirväärtused.

5.2. Tekstuuri seosed erinevate teekatte seisukorra andmetega

Vastavalt uurimistöö lähteülesandes toodud töö eesmärgile on uuritud teiste teekattega seotud andmete ja teekatte tekstuuri parameetrite omavahelisi seoseid, et leida võimalikke ühisosasid. Analüüsi käigus on otsitud seoseid mitmete erinevate parameetrite vahel.

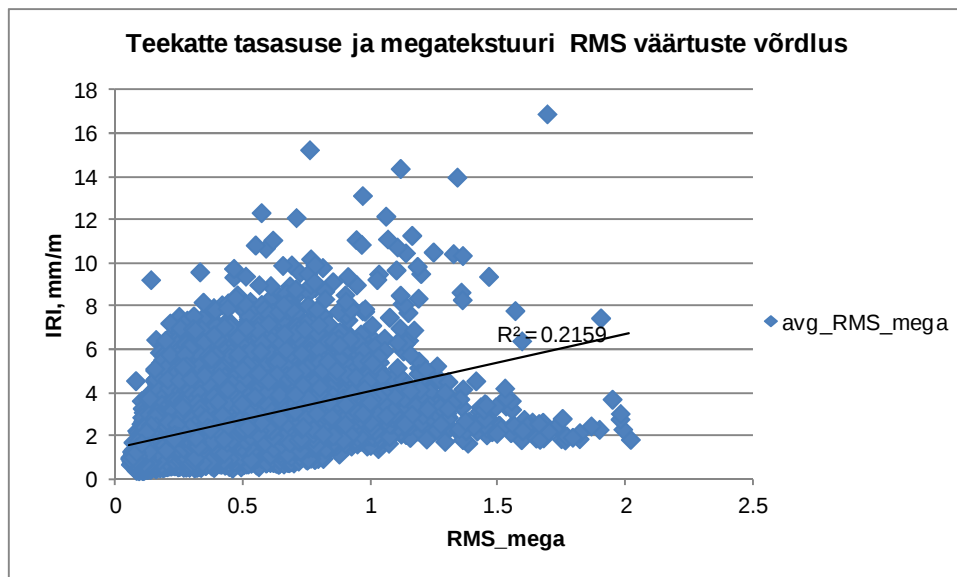
Teekatte defektide ja teekatte tekstuuri parameetrite vahel otseseid seoseid ei olnud võimalik täheldada. Näitena on kujutatud [joonisel 5.3](#) defektide grupi VAM (võrkprao, aukude ja murenemise summa) ja megatekstuuri RMS väärtuse vahelist seost. Kuigi ühelt pool võiks eeldada, et megatekstuur sõltuks ka näiteks otsestest defektidest (näiteks murenemine, augud,...), siis joonisel toodud tulemustest on näha, et sõltumata megatekstuuri väärtusest ei pruugi VAM defekte üldse esineda. Mõnevõrra omapärane on ka see, et suurimad VAM väärtused tunduvad sattuvat megatekstuuri RMS vahemikku 0.5 – 1.0 mm. Üsna sarnased tulemused andis ka teekatte defektide võrdlus makrotekstuuriga.



Joonis 5.3. Teekatte defektide (VAM) ja megatekstuuri (RMS) väärtuste omavaheline võrdlus

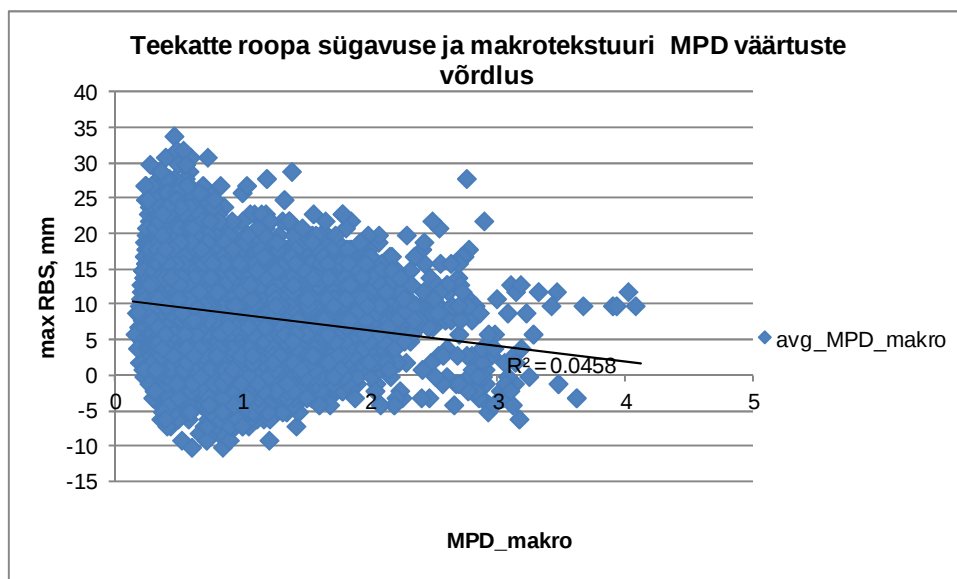
Teekatte tasasuse ja makrotekstuuri omavaheline võrdlus andis teekatte defektidega üsnagi sarnase tulemuse. Seos nende andmete vahel puudub. Seevastu teekatte megatekstuuri ja teekatte tasasuse vahel on võimalik täheldada mõningase seose olemasolu ([joonis 5.4](#)). See on ka oodatud tulemus, kuna teekatte tasasuse ja megatekstuuri lainealad üleminekupiirkonnas ilmselt teatud määral kattuvad ja lisaks

ei pruugi mõõteseadmed nende kahe andmeliigi muutumiskohta tingimata väga täpselt registreerida.



Joonis 5.4. Teekatte tasetasuse ja megatekstuuri (RMS) väärtuste võrdlus

Eraldi on vaadeldud veel teekatte tekstuuri ja roopa sügavuse omavahelist seost. Andmete võrdlemisel on roopa sügavuse osas vaadeldud maksimaalset roopa sügavust. Eeldada võib, et kulumisroopa tekkimisel kulutatakse mineraalmaterjali ja selle pinda ning seega ka teekatte tekstuurilised omaduste muutused võiksid olla sellega seotud.



Joonis 5.5. Teekatte roopa sügavuse (max RBS) ja megatekstuuri (RMS) väärtuste võrdlus

Joonisel 5.5. toodud tulemused näitavad, et tegelikult puudub seos roopa sügavuse ja teekatte makrotekstuuri väärtuste vahel. Sarnane olukord on ka teekatte megatekstuuri puhul.

Teekonstruktsiooni kandevõime ja teekatte tekstuuri vahel ei saa olla mingit seost ja seda näitas ka tehtud andmete võrdlus.

5.3. Tekstuur teekatte seisukorra ühe kriteeriumina

Kokkuvõtteks teostatud võrdluste kohta võib järeldada, et teekatte tekstuuri andmetega ei saa ühtegi teist teekatte seisukorra andmeliiki asendada ja ükski praegu Teeregistris kajastatud teekatte seisukorra andmeliik ei kirjelda otseselt teekatte tekstuurilisi omadusi.

Seega on ainsaks järelduseks see, et teekatte tekstuurilised omadused tuleb kasutusele võtta omaette parameetrina, mis annab lisaväärtust teostatavatele teekatte seisukorra analüüsidele ja saadud tulemustele. Praeguste andmete ja analüüside põhjal on teekatte tekstuur hea parameeter kirjeldamiseks võimalikke probleeme liiklusohutuse osas ja seda just teekatte seisukorrast lähtudes. Hetkel analüüsides kasutatakse teekatte seisukorra andmed (defektid, tasasus, roobas, kandevõime) ei anna liiklusohutuse seisukohast piisavalt lähteandmeid.

Uurijate ettepanek on lisada teekatte tekstuurilised omadused PMS-analüüsidesse. See eeldab vastavate hoiatus- ja kriitiliste piiride välja töötamist, mida saab teha lõplikult siis kui kogu teedevõrk on tekstuuri mõõtmistulemustega kaetud. Lisaks peab hakkama mõtlema ka vastavatele töömeetoditele, milledega on võimalik ühelt poolt saavutada nõutavad teekatte tekstuurilised väärtused juba kohe remondi- ja ehitustööde käigus ning milledega on teiselt poolt võimalik probleemsetes kohtades teedevõrgul parandada teekatte tekstuurilisi omadusi.

Käesolevas töös tehtud analüüsid on näidanud, et maanteede remondil ja korrashoiul peab teekatte tekstuuri osas olema eesmärgiks suure makrotekstuuriga ja väikese megatekstuuriga teekatte ehitamine ja selle säilitamine. Ühelt poolt on see seotud liiklusohutuse tagamisega (makrotekstuur ja teekatte haardelised omadused) ning teiselt poolt teekasutajate kulude optimeerimine sõidukikulude ja ka keskkonnale tekitatava müra vähendamisega (megatekstuur). Selle saavutamiseks on vaja lähiaastatel kindlasti teostada lisauuringuid õigete ja sobilike mineraalmaterjalide ning nende fraktsioonide määratlemiseks nii pindamistööde teostamisel, asfaltbetoonkatete ehitamisel, kui ka hilisemal korrashoiumeetmete rakendamisel.

6. TEEKATTE TEKSTUURI JA HAARDELISTE OMADUSTE VAHELISEST SEOSEST

Teekatte tekstuurilistest parameetritest on teekatte haardeliste omadustega otseselt seotud mikrotekstuur. Teekatte mikrotekstuuri mõõtmiseks teedevõrgu tasandil aga hetkel mõistlikud tehnilised lahendused puuduvad. Rahvusvahelise kirjanduse ja tehtud uuringute alusel on täheldatud seost ka teekatte makrotekstuuri ja teekatte haardeliste omaduste vahel. Uurijate hinnangul on see teema siiski suhteliselt vähe uuritud ja põhjapanevaid otsuseid selles osas olemasoleva informatsiooni põhjal on raske teha. Arvestada tuleb ka sellega, et teedeehituses kasutatavad materjalid ja remondimeetodid erinevad riigiti (juba kliimaatilised tingimused seavad omad piirid) ning seega ei ole kõik tulemused otse üle võetavad.

Eestis kasutatakse teedevõrgu korrashoiu meetodina palju korduspindamist, mis käesolevas töös tehtud analüüside põhjal mõjutab teekatte tekstuurilisi omadusi tuntavalt. Mõõdetud teekatte tekstuuri parameetrite väärtused on pinnatud teekattel tunduvalt suuremad kui pindamata teekattel (vt [joonis 4.11.](#)). Eeldada võib, et sama on olukord ka teekatte haardeliste omadustega, samas ei ole seda reaalse teekatte haardeliste omaduste mõõtmistega Eestis teedevõrgu tasandil seni kontrollitud.

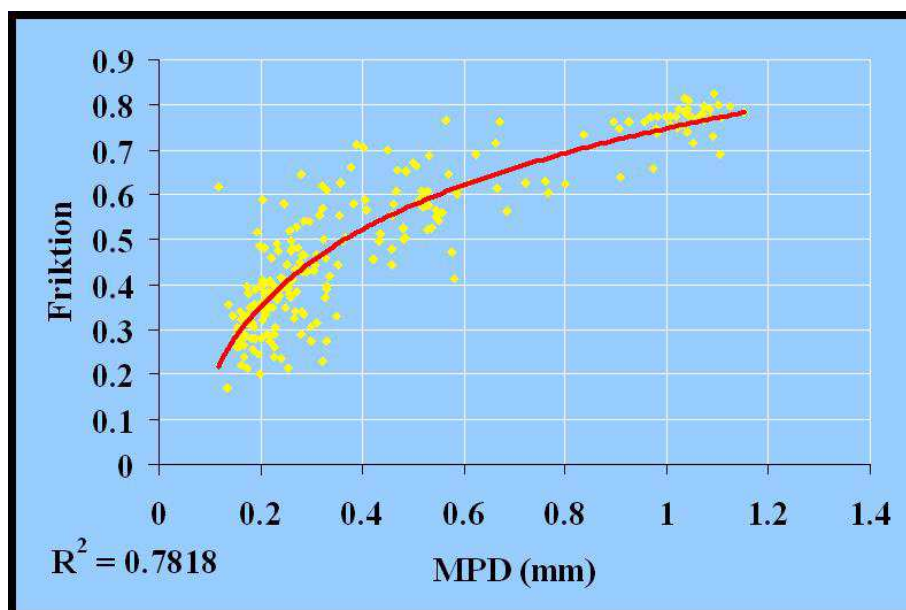
Teekatte haardeliste omaduste mõõtmiste teostamine teedevõrgu tasandil erineb riigiti üsna palju, kuid seda siiski tehakse. Samas on see suhteliselt aeganõudev ja seega ka kallis protseduur. Mõõtmistel vajatakse palju vett ja selle kaasa vedamine ning kohati ka saadavus on piirkonniti piiratud. Eestis seab omad piirid teekatte haardeliste omaduste mõõtmiste teostamisele lisaks veel ilmastik. Mõõtmiste ajal ei tohi teekatte olla märg (ka mitte niiske) ja õhutemperatuur (ka teekatte temperatuur) peab kindlalt olema pluss kraadides. Teekatte haardeliste omaduste mõõtmisel pritsitakse teekattele kindel kogus vett, et mõõtmistulemused oleksid võrreldavad. Miinuskraadide puhul on suur oht mõõteseadme külmumiseks ja lisaks võib tekkida oht kaasliiklejatele, kui teekattele pritsitud vesi jääb.

Seega on igati põhjendatud võimaliku muu seisukorraparameetri leidmine, mis võimaldaks kiirelt saada informatsiooni teekatte haardeliste omaduste kohta. Järgmises punktis kirjeldatud taanlaste poolt läbiviidud uurimistööde käigus saadud kogemuste põhjal on ühe sellise parameetrina eeldatavalt võimalik kasutada teekatte makrotekstuuri.

6.1. Tekstuur teekatte haardeliste omaduste kirjeldajana

Taani Maanteeamet kasutab teekatte tekstuuri mõõtmistulemusi teekatte haardeliste omaduste probleemsete kohtade kaardistamiseks teedevõrgul. Välja on töötatud vastavad teekatte makrotekstuuri kriteeriumid (vt tabel 3.7.), mille ületamisel tehakse teekatte haardeliste omaduste mõõtmise seadmega teelõikudel kontrollmõõtmised.

2005 aastal valmis Taani Maanteeameti Teedeinstituudil uurimistöö, milles uuriti teekatte makrotekstuuri parameetri MPD ja teekatte haardeliste omaduste vahelist seost. Mõõtmised hõlmasid Viborgi maakonnas kokku 50 erinevat testilõiku kogupikkuses 36.3 km. Nii teekatte haardelised omadused kui ka teekatte tekstuuri mõõtmisel oli mõõtmisammuks 5 meetrit. Saadud mõõtmistulemuste protsentuaalne jaotus vastas väga hästi Taani riigiteedelt saadud teekatte tekstuuri mõõtmistulemustele. Joonisel 6.1. on toodud mõõtmiste tulemuste võrdlus. Teekatte tekstuuri ja haardeliste omaduste vahel on olemas suhteliselt tugev seos. Samas on probleemiks andmete suhteliselt suur hajuvus ja seda just väiksemate MPD väärtuste juures, ehk siis väikese mõõdetud makrotekstuuri väärtuse põhjuseks ei pruugi tingimata olla probleemid teekatte haardeliste omadustega.



Joonis 6.1. Teekatte makrotekstuuri parameetri MPD ja teekatte haardeliste omaduste (Friktion) vaheline seos (Schmidt, Jensen, 2005)

Uurimistöö järeldustena on välja toodud, et teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste põhjal saab määratleda need teelõigud, kus tuleb teha teekatte haardeliste omaduste kontrollmõõtmised. Samas ei ole hetkel piisavalt andmeid, et asendada teekatte haardeliste omaduste mõõtmised täies mahus ainult teekatte tekstuuri mõõtmistega.

Taani põhimaanteedel esineb suhteliselt rohkem nõuetele mittevastavaid teekatte makrotekstuuri väärtusega teelõike, võrreldes kogu Taani riigiteedevõrguga. Üsna sarnane tulemus tuli välja ka käesolevas töös (vt [joonis 4.3.](#)) analüüsides seni Eestis tehtud teekatte tekstuuri mõõtmistulemusi.

6.2. Ettepanek teekatte tekstuuri ja teekatte haardeliste omaduste andmete uurimise ja kasutamise kohta Eestis

Arvestades taanlaste kogemusi teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste kasutamises teekatte haardeliste omaduste määratlemisel on igati põhjendatud sarnase metoodika rakendamine Eestis. Uurijad teevad ettepaneku lähimatel aastatel korraldada vastav uurimistöö. Ilma konkreetsete mõõtmistulemuste võrdlemiseta on võimatu teha olulisi otsuseid. Ainult teiste maade kogemustele tuginemine ei ole tingimata õige, kuna nii kliimaatilised tingimused kui ka kasutatavad ehitusmaterjalid ja ehitumetodid erinevad riigiti ja piirkonniti ning seega ei pruugi saadud nõuded ja tulemused alati igale poole sobida.

Nimetatud uurimistöö põhiliste tulemustena võib välja tuua järgmised olulised punktid:

- Määratletakse ja esitatakse kinnitamiseks suvised teekatete haardeliste omaduste nõuded;
- Määratletakse nõuded ja kriteeriumid, mille põhjal teedevõrgul tehakse teekatte haardeliste omaduste mõõtmisi ja kuidas saadud tulemusi kasutatakse;
- Saadakse kinnitus teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste kasutamiseks teekatte haardeliste omaduste määratlemisel Eestis.

Antud uurimistöö teostamine eeldab hetkel Eestis AS Teede Tehnokeskuse omanduses oleva teekatte haardeliste omaduste mõõtmise seadme uuendamise või välja vahetamise. Arvestama peab, et uurimistöö tulemusena kehtestatavaid põhimõtteid tuleb hakata seejärel ka kasutama, sest vastasel juhul ei ole majanduslikult põhjendatud olemasoleva teekatte haardeliste omaduste seadme uuendamine/välja vahetamine.

7. KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimistöö eesmärgiks oli:

- anda ülevaade teekatte pinna tekstuuri erinevatest näitajatest; teiste riikide kogemustest nende näitajate kasutamisel ja nende poolt kasutatavatest piirväärtustest;
- anda soovitused teekatte pinna tekstuuri näitajate ja nende piirväärtuste osas koos 2011.a. mõõtmistulemuste analüüsiga;
- teostada analüüs tekstuuri andmete seose kohta muude teede andmetega ning teha ettepanek, kus oleks Eestis võimalik tekstuuri andmeid kasutada.

Järgnevalt on toodud lühikokkuvõtted iga uuritud alamteema kohta.

7.1. Teekatte pinna tekstuuri iseloomustavad näitajad

Tekstuuri iseloomustamiseks kasutatakse tavaliselt lainepikkust ehk füüsiliselt korduvate ebataasasuste vahelist kaugust. Katte pind kujutab endast sageli mitmete lainepikkuste kombinatsiooni. *PIARC* on kehtestanud neli tekstuuri iseloomustavat lainepikkuse standardkategoriat (*Rasmussen et al, 2011*):

- mikrotekstuur: lainepikkus 1 μm - 0,5 mm (mineraalmaterjali tera pinna karedus);
- makrotekstuur: lainepikkus 0,5 – 50 mm (mineraalmaterjali tera ja rehvi kummiosakeste mõõtkavas teekatte pinnast välja ulatuva mineraalmaterjali poolt moodustatud katte pinna tekstuur);
- megatekstuur: lainepikkus 50 – 500 mm (rehvi ja teepinna vahelise kontaktpinna mõõtkavas oleva katte pinna ebataasasus);
- ebataasasus: lainepikkus >500 mm – 100 m (EVS-EN ISO kuni 50 m).

Mikrotekstuur tagab rehvi ja teekatte pinna vahelise haarduvuse nii kuiva kui ka märja teekatte puhul kõigil sõidukiirustel ning on peamine tekstuuri näitaja liiklusohutuse seisukohalt. Kui katte pind on märg, vähendab veekile rehvi ja mikrotekstuuri vahelist kontakti, mille tulemusena väheneb ka nende omavaheline haardumine ehk viimane on sõltuv mikrotekstuuri võimest ulatuda läbi veekile. Samas põhjustab just mikrotekstuur rehvi kulumist.

Makrotekstuur põhjustab rehvi hüstereesikao tõttu veeretakistuse kasvu ja suurendab teatud tingimustes rehvimüra. Kui mikrotekstuur mõjutab rehvi ja teekatte vahelist haarduvust otseselt, siis makrotekstuur mõjutab seda kaudselt.

Makrotekstuur võimaldab märja katte korral sadevee paremat ärajuhtimist ehk drenimist ning seega kuiva (kuivemat) kontakti rehvi ja teepinna vahel. Sellest tulenevalt väheneb suurtel sõidukiirustel oluliselt nn vesiliu oht. Üldiselt, mida suurem on makrotekstuur, seda suurem on ka tema poolt põhjustatud rehvimüra ning seda väiksem on vesiliu oht.

Megatekstuur on katte pinna mittesoovitud omadus ja seda mõjutavad katte pinna üksikud defektid nagu näiteks:

- Augud;
- Sillavuugid;
- Katte murenemine;
- Kattetüübi muutumise kohad;
- Freesimised;
- Sõiduraja märgistus;
- Muud eeltooduga sarnased defektid ja jätkukohad.

Kõik tekstuuri iseloomustavad näitajad mõjutavad tee ja rehvi vahelist kokkupuutepinda, kuid rehvi ja katte vahelist haardumist ning sellega seotud liiklusohutust, mõjutab otseselt ainult mikrotekstuur. Makrotekstuur tagab suurtel sõidukiirustel (peamiselt maanteedel) kuivema kontaktpinna rehvi ja katte vahel ehk vähendab vesiliu ohtu, aga samas suurendab rehvimüra.

7.2. Tekstuuri näitajate mõõtmis- ja kasutamiskogemused teistes riikides

Käesoleva uurimistöös on analüüsitud 12-st riigist saadud vastuseid konsultandi poolt e-postiga saadetud küsimustikule ja lisaks läbi töötatud vastava teemaga seotud kirjandust ning otsitud informatsiooni internetist. Analüüsi kokkuvõte on esitatud [tabelis 7.1](#).

Nagu kokkuvõttest selgub ([tabel 7.1](#)), teostavad kõik analüüsis osalenud riigid teekatte tekstuuri mõõtmisi ning 50% neist kasutab mõõtmistulemusi otsustusprotsessis ning ainult 30% on olemas neile ka kehtestatud piirväärtused. Andmetöötluses kasutatavad tekstuuri parameetrid on riigiti erinevad, kuid 2/3 riikidest keskendub keskmise profiili sügavuse (MPD - profiili sügavuse keskväärts teatud teepikkuse (baasjoone) kohta ([joonis 2.5](#))) kasutamisele.

Tabel 7.1. Kokkuvõtte tekstuuri näitajate mõõtmis- ja kasutamiskogemustest teistes riikides

Jrk nr	Riik	Vastaja	Teekatte tekstuuri mõõtmine / andmete kasutamine otsustusprotsessides	Andmetöötluses kasutatavad tekstuuri parameetrid	Piirväärtuste olemasolu tekstuuri parameetritele
1	Belgia	Margo Briessinck	jah / uuringu staadiumis	MPD	väljatöötamisel
2	Leedu	Vilhelmas Staskonis	jah / ei	MPD?	ei
3	Sloveenia	Bojan Leben	jah / jah	SMTD	jah
4	Norra	Joralf Aurstad	jah / uuringu staadiumis	-	väljatöötamisel
5	Prantsusmaa	Veronique Cerezo	jah / jah	MPD	jah
6	Suurbritannia	Helen Viner	jah / jah	SMTD	jah
7	Itaalia	Filippo Praticò	jah / jah	MPD ja SH (ka TL, PSD)	osaliselt olemas, osaliselt väljatöötamisel
8	Läti	Ervins Purins	jah / ei	MPD	ei
9	Soome	Juho Meriläinen	jah / uuringu staadiumis	RMS	väljatöötamisel
10	Taani	Kirjandus / Internet	jah / jah	MPD	jah
11	Rootsi	Ulf Sandberg	jah / uuringu staadiumis	MPD (varasemalt RMS)	osaliselt olemas, osaliselt väljatöötamisel
12	Austraalia	Peter N Bryant / Internet	jah / jah	MPD (sõltub piirkonnast)	osaliselt olemas, osaliselt väljatöötamisel
13	Eesti	Taivo Möll / Tiit Kaal	jah / uuringu staadiumis	MPD ja RMS	väljatöötamisel

MPD – *Mean Profile Depth*, keskmine profiili sügavus;

MTD – *Mean Texture Depth*, keskmine tekstuuri sügavus;

SMTD – *Sensor Measured Texture Depth*, anduriga mõõdetud tekstuuri sügavus;

SH – *Surface Height*, pinna kõrgus;

TL – *Texture Level*, tekstuuri tase;

PSD – *Power Spectral Density*.

Kuna nõuete kehtestamise põhimõtted teekatte pinna tekstuuri näitajatele on riigiti väga erinevad, siis neid üldistada ei ole võimalik ning vastav informatsioon iga riigi kohta on esitatud punktis 3.2:

- Sloveenias on kehtestatud MTD (*Mean Texture Depth*) ja SMTD (*Sensor Measured Texture Depth*) piirväärtused lähtudes kiiruspiirangust, mida kasutatakse alati koos teekatte haardeliste omaduste väärtustega;
- Prantsusmaal on kehtestatud makrotekstuuri nõuded uutele maanteedele lähtudes lubatud sõidukiirusest, maantee tüübist ja kurvilisusest;
- Suurbritannias hinnatakse teekatte seisukorda neljapallilises skaalas ja vastavalt on nendele kehtestatud SMTD (*Sensor Measured Texture Depth*) piirväärtused;

- Rootsis on ettepanek kehtestada MPD (*Mean Profile Depth*) minimaalsed lubatud väärtused lähtudes keskmisest ööpäevasest liiklussagedusest ja lubatud sõidukiirusest;
- Austraalis on ettepanek kehtestada MPD (*Mean Profile Depth*) soovituslikud piirväärtused lähtudes tee klassist.

7.3. Soovitused tekstuuri näitajatele ja nende piirväärtustele Eestis

Soovitused teekatte tekstuuri näitajate kasutamise ja nende piirväärtuste osas Eestis põhinevad suurel osal rahvusvahelisel praktikal. Lisaks on arvestatud Eestis kasutusel oleva mõõtetehnika võimalustega ja esimeste teekatte tekstuuri mõõtmiste tulemustega.

Teekatte makrotekstuuri kirjeldamiseks on ettepanek kasutada suurust MPD (*Mean Profile Depth*). Nimetatud parameeter on standardiseeritud, selle parameetri väljastamiseks on Eestis kasutusel oleval mõõtetehnikal valmidus ning see parameeter on kasutusel või seda on kasutusele võtmas mitmed teised riigid. Teeregistrisse tuleb mõõtmistulemustest sisestada makrotekstuuri kohta 100 meetri pikkuse teelõigu MPD keskmine väärtus ning sama teelõigu kohta MPD väärtuse standardhälve.

Tabelis 4.1. on toodud uurijate ettepanek teekatte makrotekstuuri parameetrile MPD piirväärtuste kehtestamiseks praegusel etapil.

Tabel 4.1. Ettepanek makrotekstuuri parameetri MPD piirväärtuste kehtestamise kohta Eesti maanteedel

AKÖL, autot/ööpäevas	Lubatud suurim sõidukiirus, km/h			
	110	90	70	50
< 500	0.40	0.35	0.30	0.25
500 – 1000				
1000 – 5000				
> 5000				

Teine võimalus on kehtestada esialgu ainult üks piirväärtus teekatte makrotekstuuri parameetrile MPD. Lähtuda tuleks sellisel juhul suure liiklussageduse ja sõidukiirusega teelõikudest ning see piirväärtus oleks sellisel juhul 0.4 mm.

Teekatte megatekstuuri kirjeldava näitajana on käesoleval hetkel võimalik Eestis kasutada ainult megatekstuuri ruutkeskmist väärtust RMS (*Root Mean Square*), kuna tekstuuri mõõtmiseks kasutatav seade muid parameetreid ei väljasta. Euroopas on standardiseeritud megatekstuuri taseme näitaja L_{Me} ja seetõttu on põhjendatud võimaluse uurimine selle parameetri lisamiseks mõõteseadme poolt väljastatavatesse tulemustesse. Teeregistrisse sisestatakse mõõtmistulemustest megatekstuuri kohta 100 meetri pikkuse teelõigu RMS keskmine väärtus ning sama teelõigu kohta RMS väärtuse standardhälve.

Megatekstuuri piirväärtuste osas on uurijate ettepanek kehtestada Eestis megatekstuurile Soomega sarnane maksimaalne piirväärtus 0.9 mm ilma täiendavate lisatingimuste või jaotusteta.

7.4. Teekatte tekstuuri 2011 aasta mõõtmistulemuste analüüs

Teekatte tekstuuri mõõtmistega alustati Eesti riigimaanteeedel 2011. aastal. Kogu kattega riigimaanteeade võrgust teostati tekstuuri mõõtmisi pisut üle 4000 kilomeetri ehk 38%-l kattega teelõikudest. Teostatud mõõtmistega saadi teelõikude teekatte kohta kolm tekstuuri näitajat ehk parameetrit:

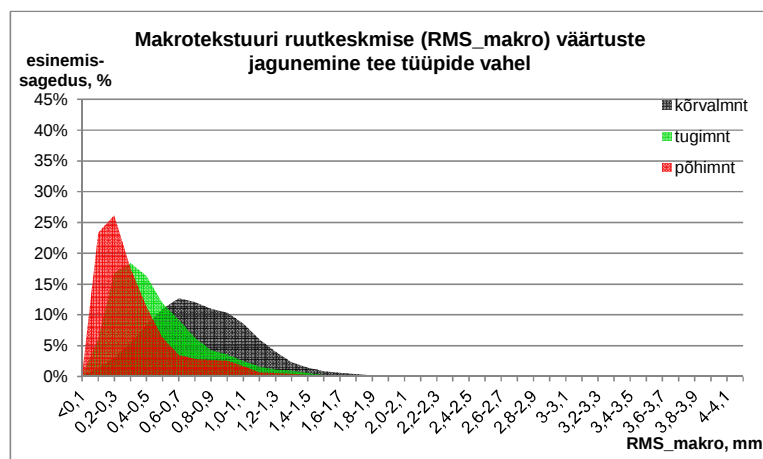
- Makrotekstuuri ruutkeskmise RMS (*Root Mean Square*);
- Makrotekstuuri keskmine profiili sügavus MPD (*Mean Profile Depth*);
- Megatekstuuri ruutkeskmise RMS (*Root Mean Square*).

Selleks, et saada ülevaadet, mida iga mõõdetud parameeter kajastab ja kus oleks tulevikus võimalik tekstuuri andmeid kasutada, analüüsiti mõõtmistulemuste väärtuste esinemissagedust erinevatel teekatetel. Eesmärgiks oli leida tekstuuri väärtuste vahemikud, mis on iseloomulikud näiteks erinevatele tee tüüpidele, pinnatud või pindamata teekattele, erineva materjaliga ja fraktsiooniga pinnatud teekattele, erineva asfaltsegu tüübiga teekattele jne.

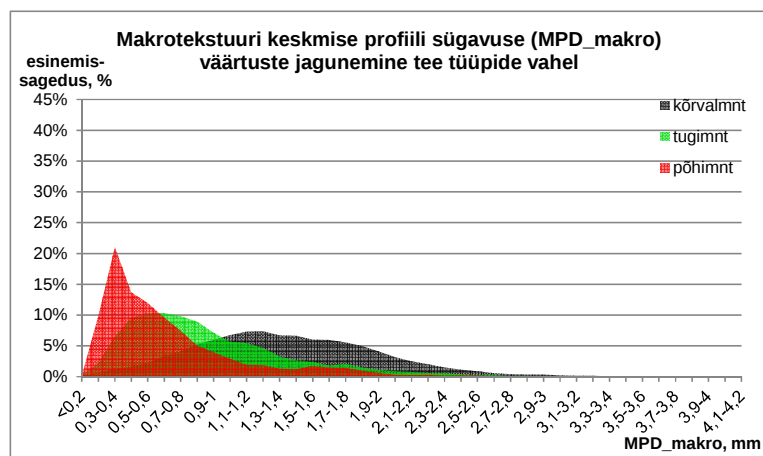
Tekstuuri näitajate mõõtmistulemuste jaotus tee tüübiti

Nagu nähtub [joonistelt 4.9.](#) ja [4.10.](#) on makrotekstuuri väärtused jaotunud põhi-, tugi- ja kõrvalmaanteeidel erinevalt. Suuremad makrotekstuuri väärtused on kõrvalmaanteeidel, keskmised tugimaanteeidel ning väiksemad makrotekstuuri väärtused on põhimaanteeidel. Kuna makrotekstuuri väärtust mõjutavad teekattest välja ulatuvad mineraalmaterjali (killustiku) osakesed, siis on sellisel makrotekstuuri väärtuste jaotusel ka põhjendus: kuna enamuse kõrvalmaanteed on pinnatud ja samuti

ka pindamise % on suurem tugimaanteedel võrreldes põhimaanteedega, siis on ka nende makrotekstuuri väärtused vastavalt suuremad. Põhimaanteedel uued katted on tavaliselt pindamata ja seetõttu ka nende makrotekstuuri väärtus on väiksem.



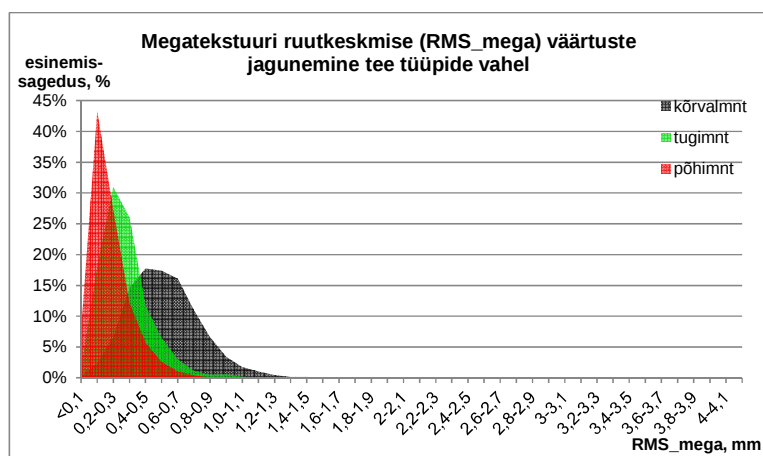
Joonis 4.9. Makrotekstuuri ruutkeskmise (RMS_makro) väärtuste jagunemine tee tüüpide vahel 2011.aasta mõõtmistulemuste põhjal



Joonis 4.10. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse (MPD_makro) väärtuste jagunemine tee tüüpide vahel 2011.aasta mõõtmistulemuste põhjal

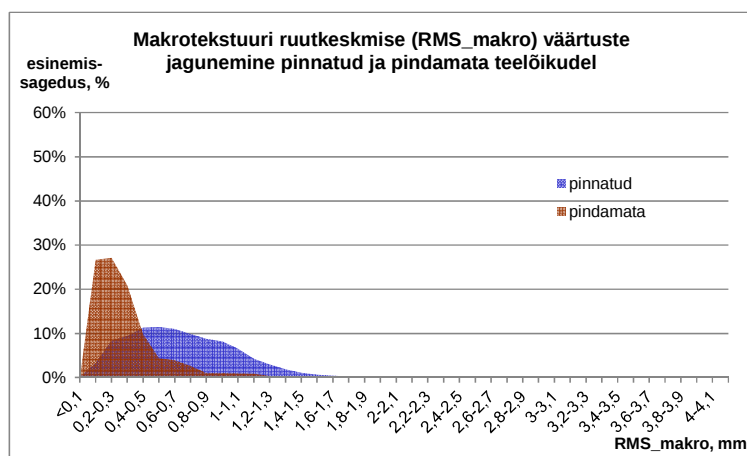
Kuna MPD ja RMS väärtused on omavahel väga heas seoses ($R^2=0,993$, [joonis 4.1.](#)), siis on ka nende väärtuste jaotused sarnased nii siin vaadeldud MPD ja RMS väärtuste jaotuse puhul tee tüübiti ([joonised 4.9. – 4.10.](#)) kui ka edaspidiste vastavate väärtuste jaotuse käsitlemisel lähtudes teistest teekatte parameetritest (pindamisest, segu tüübist jmt).

Megatekstuuri esinemine kattel on ebasoovitav ja seega, mida väiksemad on megatekstuuri mõõdetud väärtused, seda paremas seisukorras on ka meie katted ja seda näitavad ka meie mõõtmistulemused ([joonis 4.11.](#)).

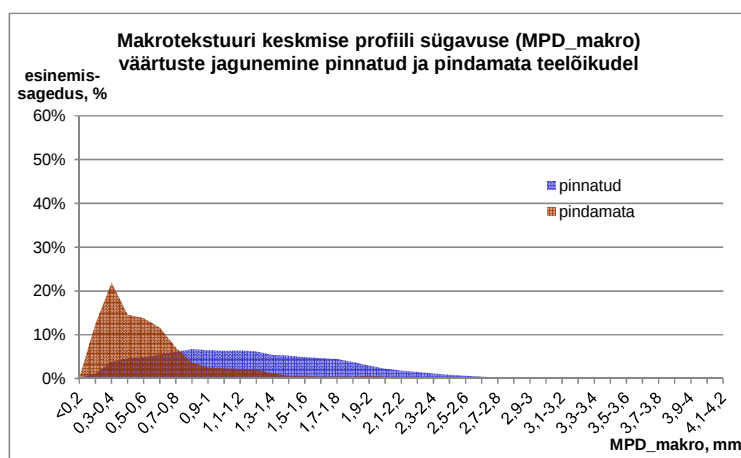


Joonis 4.11. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste (RMS_mega) jagunemine tee tüüpide vahel 2011.aasta mõõtmistulemuste põhjal

Tekstuuri näitajate mõõtmistulemuste jaotus sõltuvalt teekatte pindamisest

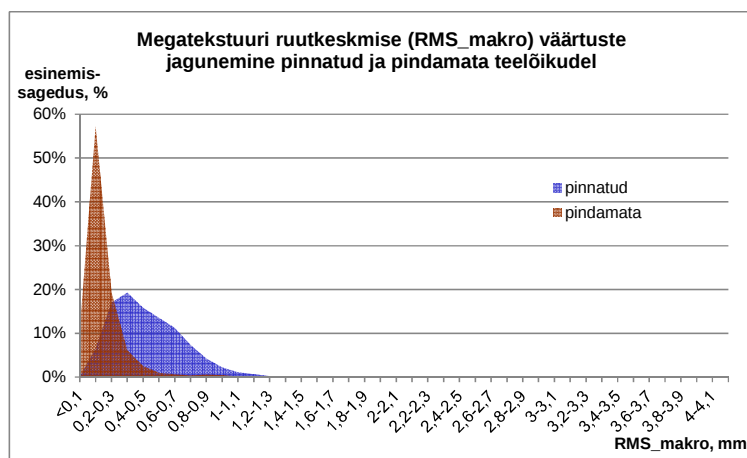


Joonis 4.12. Makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine sõltuvalt pindamise olemasolust teekattel.



Joonis 4.13. Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse väärtuste jagunemine sõltuvalt pindamise olemasolust

Makrotekstuuri väärtused pinnatud katete puhul on suuremad, kui pindamata katetel. Põhjust on käsitletud eespool makrotekstuuri väärtuste sõltuvuse juures tee tüübist.



Joonis 4.14. Megatekstuuri ruutkeskmise väärtuste jagunemine sõltuvalt pindamise olemasolust

Megatekstuur on jällegi suurem pinnatud katetel. Viimaste puhul on tegemist tavaliselt vanemate katetega, mille seisukorda on püütud parandada pindamisega, mis aga ei kõrvalda kõiki defekte, mis mõjutavad megatekstuuri väärtust.

Mõõtmistulemuste väärtused kattuvad osaliselt pinnatud ja pindamata teelõikudel – st, et teekatte pind võib olla teatud juhtudel pinnatud ja pindamata teelõikudel sarnane, mis võib olla tingitud erinevatest teguritest: pindamistöodel kasutatud materjalidest, pindamistöode vanusest vmt. Seega ei saa lähtuvalt konkreetsest mõõtmistulemusest järeldada, kas mõõtmise on teostatud pindamata teelõigul või pinnatud teelõigul. Võib ainult oletada, et väiksema tekstuuri mõõtmistulemuse puhul on suurema tõenäosusega tegemist pindamata teelõiguga.

Tekstuuri näitajate mõõtmistulemuste jaotus sõltuvalt pindamise materjalist ja pindamise vanusest

Sõltuvalt pindamistöodel kasutatud kivimaterjalist jagunesid tekstuuri mõõtmistulemustega kaetud teelõikude pikkused järgmiselt:

- Graniitkillustik – pinnatud teelõike 1958 km (60%),
- Lubjakivi – pinnatud teelõike 486 km (15%),
- Kruuskillustik – pinnatud teelõike 835 km (25%),
- Bituumeniga töödeldud graniitkillustik – pinnatud teelõike 1 km (0,03%).

Arvestades bituumeniga töödeldud graniitkillustikuga tehtud pindamistöode väikest mahtu, on selle killustikuga pinnatud teelõigud võrdlusest välja jäetud.

Lisaks erinevale kivimaterjalile on kasutatud ka erinevaid killustiku fraktsioone. Pindamistöid on tehtud kuue erineva killustiku fraktsiooniga ([tabel 4.2.](#)): 4/8 (171 km), 8/12 (2419 km), 12/16 (175 km), 8/16 (469 km), 0/12 (5 km), 0/16 (15 km).

Makrotekstuuri mõõtmistulemuste jaotus sõltuvalt killustiku fraktsioonist ja pindamismaterjalist

Suurem osa (>80%) RMS_makro väärtusi on olenevalt kasutatud kivimaterjali fraktsioonist vahemikus 0,2-1,2 mm ([tabel 4.3.](#)). Kui killustiku fraktsioonide 4-8 mm ja 8-16 mm puhul on RMS_makro väärtuste koondumiskohad loogilised – mida suurema kiviga on killustik, seda suurem on ka RMS-makro väärtus ja väärtuste vahemik, siis killustiku fraktsioonide 12-16 mm, 0-12 mm ja 0-16 mm nimetatud loogika ei kehti. Sellest võib järeldada, et *RMS_makro väärtus ei sõltu ainult pindamisel kasutatud killustiku fraktsioonist.*

Analüüsides RMS_makro väärtusi sõltuvalt nii pindamistööl kasutatud killustiku fraktsioonist kui ka kivimaterjalist ([tabel 4.4.](#)) peaksid sama fraktsiooni puhul, sõltumata killustiku materjalist, ka tekstuuri väärtused olema sarnastes vahemikes, mida nad aga ei ole. Analoogselt eelmise võrdlusega *ei tule ka antud juhul välja mingeid kindlaid seoseid makrotekstuuri ruutkeskmise väärtuste ja pindamisel kasutatud killustiku materjali ja selle fraktsiooni vahel.*

Makrotekstuuri keskmise profiili sügavuse (MPD_makro) väärtuste võrdlemisel teekatte pindamisel kasutatud erinevate materjalide ja fraktsioonide puhul ([tabelid 4.5. ja 4.6.](#)) saame samasuguse olukorra nagu ka makrotekstuuri ruutkeskmise (RMS_makro) väärtuste võrdlemisel. Ka antud tekstuuri näitaja (MPD_makro) osas ei saa tehtud võrdluste alusel välja tuua mingeid kindlaid seaduspärasusi või seoseid. Järelikult *peab olema peale pindamisel kasutatud killustiku fraktsiooni ja materjali veel teisi tegureid, mis mõjutavad makrotekstuuri keskmise profiilisügavuse mõõtmistulemuste väärtusi.*

Megatekstuuri mõõtmistulemuste jaotus sõltuvalt killustiku fraktsioonist ja pindamismaterjalist

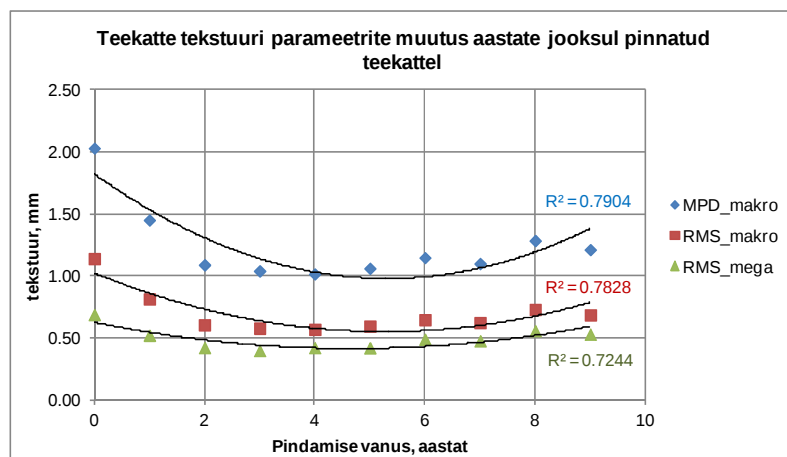
Analoogselt RMS_makro ja MPD_makro samalaadse võrdluste puhul on ka RMS_mega väärtuste jagunemisel erinevate killustiku fraktsioonide puhul mingi loogilisuse jada fraktsioonide 4-8 mm, 8-12 mm, 12-16 mm ja 8-16 mm olemas – mida suurem kivi fraktsioon, seda suurem on RMS_mega väärtus. Samas on aga ka siin olemas küllaltki lai ala, kus kivi suurus ei kattu kuid mõõtmistulemuse väärtused

kattuvad. (tabel 4.7.). Seos *RMS_mega* väärtuste ning pindamisel kasutatud materjali ja killustikufraktsiooni vahel (tabel 4.8.) puudub samuti.

Seose puudumine *RMS_mega* ja killustiku fraktsiooni ja tüübi vahel on loogiline, kuna megatekstuur iseloomustab suuremat lainepikkuste vahemikku ehk siiski mingeid kattel esinevaid defekte, mitte aga pindamist.

Tekstuuri näitajate mõõtmistulemuste sõltuvus pindamise vanusest

Joonisel 4.15. esitatud andmete põhjal on näha, et makrotekstuuri osas toimuvad esimese paari aasta jooksul pärast pindamist väga kiired muutused ja tekstuur väheneb märgatavalt. Alates teisest aastast aga makrotekstuur oluliselt ei muutu.



Joonis 4.15. Teekatte tekstuuri parameetrite muutus pinnatud teekattel

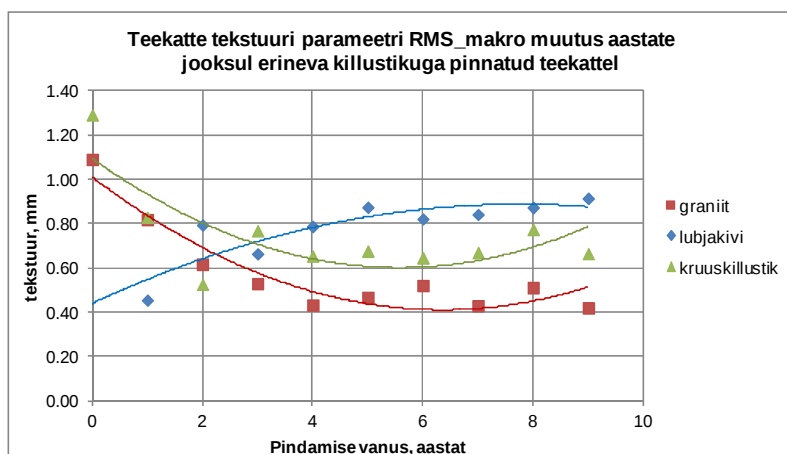
Tee eksploatatsiooni algperioodil toimub suhteliselt lühikesel ajavahemikul makrokareduse ehk makrotekstuuri oluline vähenemine väljaulatuvate mineraalosakeste kattes sissesurumise tagakärjel, s.o. toimub katte pealispinna tekstuuri lõplik formeerumine. Tee eksploatatsiooni põhiperioodil toimub sõidukite rataste all nii makrotekstuuri, kui mikrotekstuuri vähenemine väljaulatuvate mineraal-osakeste kulumise ja nende pinna poleerimise tulemusel.

Megatekstuuri osas on võimalik täheldada seda, alates pindamise teostamisest hakkab selle väärtus vähenema, kuid see vähenemine ei ole suur. Alates 6-7 aastast aga hakkab megatekstuuri väärtus uuesti kasvama. Saadud seos *RMS_mega* väärtuste vähenemise kohta on osaliselt loogiline. Loogiliselt peaks megatekstuur aja jooksul kasvama ehk megatekstuuri alla klassifitseeritavate defektide hulk kattel üldjuhul aja jooksul kasvab.

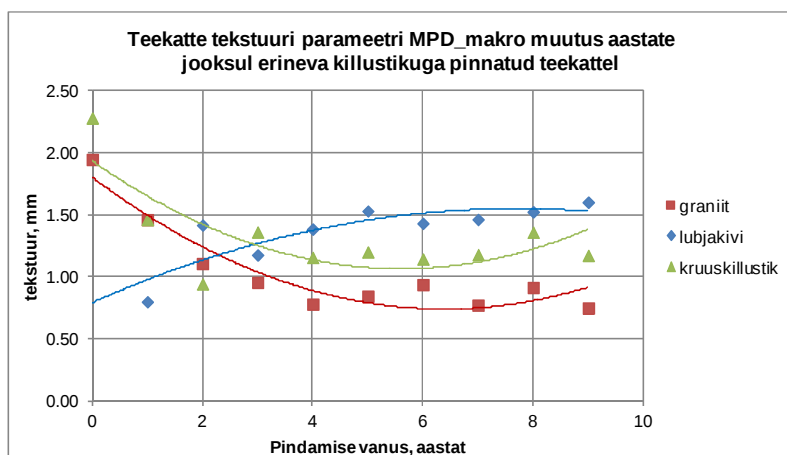
Makrotekstuuri mõõtmistulemuste jaotus sõltuvalt pindamise vanusest

Värskelt pinnatud teekattel on RMS_makro väärtused vahemikus 0,1-2,2 mm, enamus (>80%) väärtustest on vahemikus 0,8-1,5 mm (*tabel 4.9*). Järgnevatel aastatel, kuni pindamistöode vanuseni 4 aastat, RMS_makro väärtused vähenevad. Ilmselt on selle põhjuseks katte pinna formeerumine, materjali kulumine erinevate mõjude tagajärjel jmt. Peale neljandat aastat pindamistöode möödumisest algab RMS_makro väärtuste aeglane suurenemine. Põhjuseks võib siin olla näiteks hooldetööde käigus tehtavad ribapindamised või muud sarnased tööd, kuid sarnaseid töid Teeregistris ei kajastata ja kindlat põhjust välja tuua ei saa.

Sarnaselt RMS_makro väärtustega vähenevad ka MPD_makro väärtused esimesel neljal aastal peale pindamistöode teostamist. Alates neljandast aastast MPD_makro väärtused jäävad kas samasse suurusjärku või pisut suurenevad (*tabel 4.13*).



Joonis 4.16. Teekatte tekstuuri parameetri RMS_makro muutus erineva killustikuga pinnatud teekattel

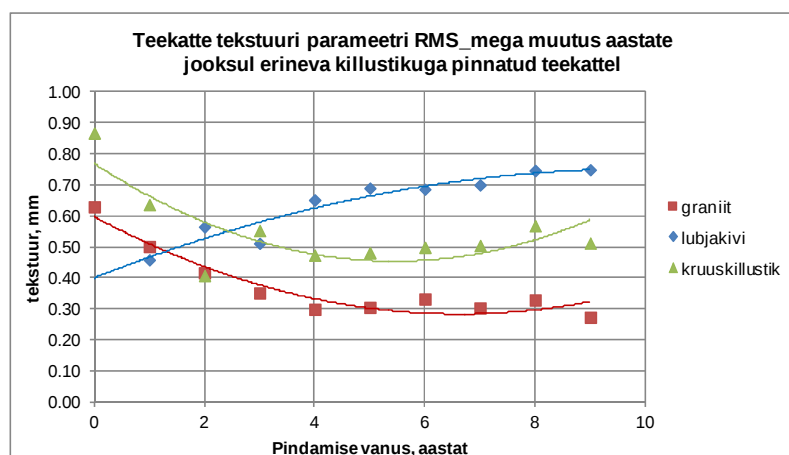


Joonis 4.17. Teekatte tekstuuri parameetri MPD_makro muutus erineva killustikuga pinnatud teekattel

Joonistel 4.16. ja 4.17. on toodud kokkuvõtte teekatte makrotekstuuri ruutkeskmise parameetri RMS_makro ja makrotekstuuri parameetri MPD_makro keskmistest väärtustest erineva killustikuga ja erineva vanusega pinnatud teekatetel. Graniit- ja kruuskillustikuga pinnatud teekatete tekstuuri väärtused muutuvad sarnaselt. Lubjakivikillustiku puhul on aga teekatte makrotekstuuri muutumine üsna juhuslik ja puudub kindel seos.

Megatekstuuri mõõtmistulemuste jaotus sõltuvalt pindamise vanusest

Joonisel 4.18. on toodud kokkuvõtte teekatte megatekstuuri ruutkeskmise parameetri RMS_mega keskmistest väärtustest erineva killustikuga ja erineva vanusega pinnatud teekatetel. Graniit- ja kruuskillustikuga pinnatud teekatete tekstuuri väärtused muutuvad sarnaselt. Lubjakivikillustiku puhul on teekatte megatekstuuri muutumine üsna juhuslik ja puudub kindel seos.



Joonis 4.18. Teekatte tekstuuri parameetri RMS_mega muutus erineva killustikuga pinnatud teekattel

Saadud analüüsi tulemusi võivad mõjutada ühelt poolt nii mõõtmisandmete vähesus kui ka nende regionaalsus (kõrvalmaanteede teekatte tekstuuri andmed on enamuses Kirde-Eestist).

Lähtuvalt mõõdetud tekstuuri konkreetsest näitajast ja selle suurusel ei ole võimalik hinnata pindamistööde vanust, kasutatud materjali tüüpi ega ka fraktsiooni.

Tekstuuri näitajate mõõtmistulemuste jaotus sõltuvalt katte segu tüübist ja katte vanusest

Pindamata teelõikude ehitusel on kasutatud erinevaid teekatte segu tüüpe. Võrdluse võetud teelõike on kokku 644 km, sõltuvalt kasutatud segu tüübist (segu tähistused vastavalt Teeregistri andmetele):

- Killustikmastiksfalt SMA 16 / KMA 16 – 38,7 km (segu kood 1);
- Killustikmastiksfalt SMA 12 / KMA 12 – 210 km (segu kood 2);
- Tihe asfaltbetoon AC surf / TAB 12I – 360 km (segu kood 12);
- Tihe asfaltbetoon AC 16 bin / TAB 16II – 22,7 km (segu kood 16).
- Kergasfaltbetoon KAB 12 – 12,7 km (segu kood 53).

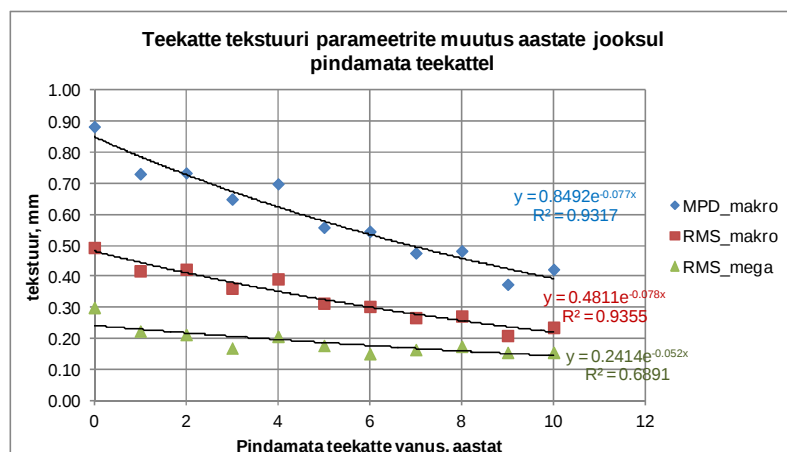
Tekstuuri mõõtetulemuste enamuse (>80%) väärtuste vahemikud on sõltuvalt teekattes kasutatud segu tüübist toodud [tabelis 4.21](#).

Tabel 4.21. Analüüsiga hõlmatud segu tüübid ja teekatte tekstuuri väärtuste vahemikud nendel

Segu tüüp	Segu kood	RMS_makro vahemik, mm	MPD_mega vahemik, mm	RMS_mega vahemik, mm
Killustikmastiksfalt SMA 16 / KMA 16	1	0.3-1.0	0.6-1.8	0.2-0.6
Killustikmastiksfalt SMA 12 / KMA 12	2	0.1-0.4	0.2-0.8	0.1-0.3
Tihe asfaltbetoon AC surf / TAB 12I	12	0.1-0.4	0.2-0.8	0.1-0.2
Tihe asfaltbetoon AC 16 bin / TAB 16II	16	0.2-0.8	0.4-1.4	0.1-0.5
Kergasfaltbetoon KAB 12	53	0.5-0.8	1.0-1.4	0.2-0.4

Tekstuuri väärtustel on sõltuvalt teekatte segu tüübist küllaltki konkreetsed ja eristatavad piirid. Kuna aga erinevate segu tüüpide korral esineb tekstuuri mõõtmistulemuste piirides ka kattuvusi, siis lähtuvalt konkreetsest mõõtmistulemuse väärtusest ei ole võimalik öelda, mis segu tüübiga antud juhul on tegemist. Näiteks MPD_makro väärtuse puhul 1.2 mm võib olla teekattes kasutatud segu nii killustikmastiksfalt SMA 16 / KMA 16, tihe asfaltbetoon AC 16 bin / TAB 16II või kergasfaltbetoon KAB 12.

[Joonisel 4.19](#) on toodud teekatte tekstuuri parameetrite keskmiste väärtuste muutumine aastate jooksul. Esitatud andmete puhul ei ole arvestatud erinevaid katte segu tüüpe. Makrotekstuuri osas on muutused ajas selgelt suuremad kui megatekstuuri osas.



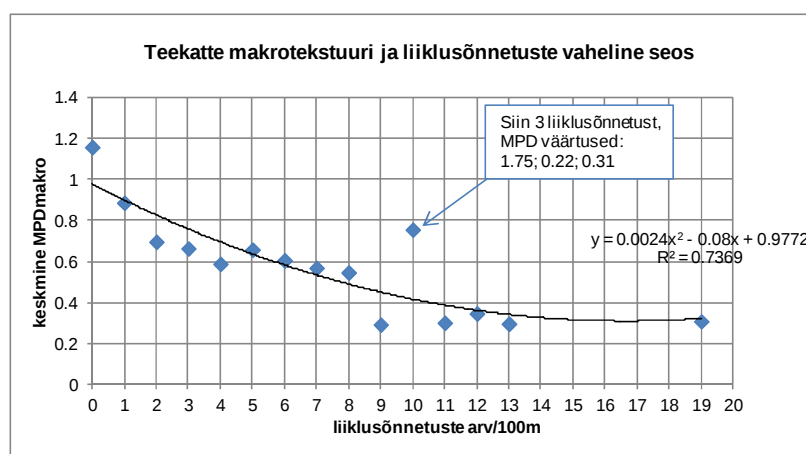
Joonis 4.19. Teekatte tekstuuri parameetrite muutumine pindamata teekattel

Lähtuvalt mõõdetud tekstuuri konkreetsest näitajast ja selle suurusel ei ole võimalik hinnata katte ehitamisel kasutatud asfaltsegu tüüpi ega ka katte vanust.

7.5. Teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste seos muude tee andmetega

Teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste seose analüüsimiseks muude teede andmetega on läbi töötatud ja omavahel võrreldud Teeregistris sisalduvaid erinevaid andmeid.

Kuna teekatte makrotekstuuri ja teekatte haardelistel omadustel on teatavalt olemas omavaheline seos, siis on omavahel võrreldud liiklusõnnetuste esinemist ja mõõdetud teekatte tekstuuri väärtusi.



Joonis 5.1. Teekatte makrotekstuuri ja liiklusõnnetuste arvu vaheline seos

Jooniselt 5.1. on näha, et makrotekstuuri väärtuste vähenemisel liiklusõnnetuste toimumise võimalus kasvab. Arvestades leitud seost teekatte makrotekstuuri ja

liiklusõnnetuste arvu vahel on põhjendatud pärast kogu teedevõrgul teekatte tekstuuri mõõtmiste teostamist alustada uurimistööga, milles vaadeldakse põhjalikumalt liiklusõnnetuste toimumise ja teekatte tekstuuri parameetrite vahelisi seoseid. Võimalik, et selle töö ühe tulemusena täpsustuvad ka selles töös toodud teekatte tekstuuri erinevate parameetrite piirväärtused.

Lisaks eeltoodule analüüsi seoseid alltoodud parameetrite vahel:

- Teekatte defektid ja tekstuuri parameetrid - otseseid seoseid ei olnud võimalik täheldada.
- Teekatte tasasus ja makrotekstuur - seos nende andmete vahel puudub.
- Teekatte tasasus ja megatekstuur - võimalik on täheldada mõningase seose olemasolu ($R^2=0,22$).
- Teekatte tekstuur ja roopa sügavus – seos puudub.

Kokkuvõtteks teostatud võrdluste kohta võib järeldada, et teekatte tekstuuri andmetega ei saa ühtegi teist teekatte seisukorra andmeliiki asendada ja ükski praegu Teeregistris kajastatud teekatte seisukorra andmeliik ei kirjelda mingil moel teekatte tekstuurilisi omadusi. Praeguste andmete ja analüüside põhjal on teekatte tekstuur hea parameeter kirjeldamiseks võimalikke probleeme liiklusohutuse osas ja seda just teekatte seisukorrast lähtudes.

Uurijate ettepanek on lisada teekatte tekstuurilised omadused PMS-analüüsidesse. See eeldab vastavate hoiatus- ja kriitiliste piiride välja töötamist, mida saab teha lõplikult siis kui kogu teedevõrk on tekstuuri mõõtmistulemustega kaetud.

7.6. Teekatte tekstuuri ja haardeliste omaduste andmete uuring

2005 aastal valmis Taani Maanteeameti Teedeinstituudil uurimistöö, milles uuriti teekatte makrotekstuuri parameetri MPD ja teekatte haardeliste omaduste vahelist seost. Uurimistöö järeldustena on välja toodud, et teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste põhjal saab määratleda need teelõigud, kus tuleb teha teekatte haardeliste omaduste kontrollmõõtmised. Samas ei ole hetkel piisavalt andmeid, et asendada teekatte haardeliste omaduste mõõtmised täies mahus ainult teekatte tekstuuri mõõtmistega.

Arvestades taanlaste kogemusi teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste kasutamisel teekatte haardeliste omaduste määratlemiseks on igati põhjendatud sarnase metoodika rakendamine Eestis. Uurijad teevad ettepaneku lähimatel aastatel

teostada vastav uurimistöö, mille põhiliste tulemustena võib välja tuua järgmised olulised punktid:

- Määratletakse ja esitatakse kinnitamiseks suvised teekatete haardeliste omaduste nõuded;
- Määratletakse nõuded ja kriteeriumid, mille põhjal teedevõrgul tehakse teekatte haardeliste omaduste mõõtmisi ja kuidas saadud tulemusi kasutatakse;
- Saadakse kinnitus teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste kasutamiseks teekatte haardeliste omaduste määratlemiseks Eestis.

7.7. Teekatte tekstuuri andmete kasutusvõimalused Eestis

Teekatte tekstuuri mõõtmistulemuste käigus saab korraga informatsiooni nii makrotekstuuri kui ka megatekstuuri kohta. Saadud parameetrid kirjeldavad teekatte ja sellel liikuvate sõidukite omavahelist mõju erinevast seisukohast lähtudes..

Makrotekstuur näitab teekatte pinnast välja ulatuva mineraalmaterjali poolt moodustatud katte pinna tekstuuri. Analüüsitud tulemuste põhjal ei ole sellel parameetril otsest seost teiste teekatte seisukorra andmetega, kuid teekatte makrotekstuuril on olemas seos liiklusõnnetuste toimumise riskiga. Seega on makrotekstuur, kui teekatte seisukorda iseloomustav andmeliik, kasutatav Eesti teedevõrgul (tolmuvaba kattega) selle liiklusohutuse taseme määratlemisel. Teadaolevalt ei ole see seni kasutusel olnud teekatte seisukorda iseloomustavate andmetega olnud otseselt võimalik. Seega saab makrotekstuuri mõõtmistulemuste põhjal hinnata teekatte seisukorda liiklusohutuslikust seisukohast. Samas vajab täiendavat uurimist positiivne ja negatiivne makrotekstuur ja makrotekstuuri seos teekatte haardeliste omadustega.

Megatekstuur kirjeldab juba teekatte suuremaid defekte (väiksemad augud, katte murenemine, sillavuugid, jne.) ja see mõjutab eelkõige liiklejate sõidukulusid (megatekstuuri väärtuse kasvuga kasvab kütusekulu) ja lisaks tekitab megatekstuur probleeme müraga (eelkõige asulavahelistel teelõikudel). Seda teekatte seisukorda kirjeldavat parameetrit tuleb edaspidi kasutada sarnaselt teekatte tasasusele. Vältida tuleb määratletud piirväärtusest suurema megatekstuuriga teelõikude ehitamist ja selliste teelõikude olemasolul tuleb nende kõrvaldamiseks ette näha vastavate remondimeetmete rakendamine.

Kindlasti vajab tulevikus uurimist makro- ja megatekstuuri koosmõju, ehk siis eesmärgiks peab olema Eestis teekatete ehitamisel, remondil ja korrashoiul võimalikult väikese megatekstuuri ja võimalikult suure makrotekstuuri saavutamine. See ei ole kindlasti lihtne ülesanne ja seniste analüüside põhjal tundub suur makrotekstuur põhjustavat ka suurt megatekstuuri ning vastupidi. Ilmselt tähendab see kompromisslahenduse leidmist ja nende määratlemist. Eraldi teemana vajab uurimist saavutatud tekstuuriliste väärtustega teekatte omaduste pikemaajaline säilimine. Tehtud analüüs näitas, et erinevate mineraalmaterjalide ja nende erinevate fraktsioonide kasutamisel pindamisel ja teekatete ehitamisel muutuvad teekatte tekstuuri väärtused aja jooksul erineva kiirusega. Liiklejate seisukohalt on aga oluline, et teekatte omadused ei muutuks väga kiiresti lühikese aja jooksul.

Teekatte tekstuur tuleb lisada üheks parameetriks, mida vastvalminud teekattel (ka pindamiste puhul) enne nende vastuvõtmist kontrollitakse. Ilma pindamiseta teekattel tuleb kontrollida makrotekstuuri väärtuse vastamist nõuetele ja pinnatud teekattel tuleb kontrollida megatekstuuri vastamist nõuetele. Nõuete väljatöötamisel tuleb määratleda tekstuuri parameetrite piirväärtused (esimeses lähenemises võib kasutada käesolevas töös väljapakutuid väärtusi), samas peab nõuetega olema määratletud ka see, et teekatte tekstuur oleks ühtlane ja et see säiliks pikema perioodi jooksul (regulaarsed kontrollmõõtmised garantiiaja jooksul).

KASUTATUD ALLIKAD:

Rasmussen Rober Otto, Sohaney Richard, Wiegand Paul, Harrington Dale. *Measuring and Analyzing Pavement Texture. Concrete Pavement Surface Characteristics Program.* National Concrete Pavement Technology Center; Iowa State University, Institute of Transportation, Tech Brief, January 2011

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). *Guide for Pavement Friction.* AASHTO Joint Technical Committee on Pavements, Washington, DC. 2008.

Smith Kelly L., Larson Roger. *ENGINEERING SAFER ROAD SURFACES TO HELP ACHIEVE U.S. HIGHWAY SAFETY GOAL.* Submitted to the 3rd International Conference on Road Safety and Simulation. September 14-16, 2011, Indianapolis, IN, USA

http://www.appliedpavement.com/RSS20113205_Smith.pdf 17.04.12

Nitsche Philippe, Spielhofer Roland. *Report on policies and standards concerning skid resistance, rolling resistance and noise emissions.* Deliverable D6. TYROSAFE, Feb 2009.

Do M. T., Kane M. *Physical model for the prediction of pavement polishing,* Wear 267, pp 81-85. 2009.

McGhee Kevin K., Flintsch Gerardo W. *High Speed Texture Measurement of Pavements.* Department of Civil and Environmental Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University. 2003.

Liikennevirasto. *Päällysteiden pintakarkeuden vaikutus tien käyttäjiin ja tienpitoon.* Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2010, Helsinki 2010

FHWA. *The Little Book of Quieter Pavements.* July 2007.

EVS-EN ISO 13473-1:2004. Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of Mean Profile Depth

EVS-EN ISO 13473-5:2010. Characterization of pavement texture by use of surface profiles – Part 1: Determination of Megatexture

COST Action 354. *Performance Indicators for Road Pavements.* Final Report http://cost354.zag.si/fileadmin/cost354/1fr/COST354_FinalReport_05062008.pdf

Leif Sjögren. *Do we need to monitor road friction in summertime?* 3rd International Surface Friction Conference, Australia 2011

<http://79.170.40.229/saferroads.org.uk/2011Papers/Skid%20Resistance%20Strategy%20&%20Objectives/Sjogren%20-%20Do%20We%20Need%20to%20Monitor%20Friction%20in%20Summertime.pdf>

Highways agency. *Design Manual for Roads and Bridges: Volume 7 Pavement Design and Maintenance*, Section 3 Pavement Maintenance Assessment, Part 1, Part 2, Part 3

<http://www.dft.gov.uk/ha/standards/dmr/vol7/section3.htm>

Trafikverket. *Underhållsstandard belagd väg 2011.*

Hans Bendtsen. *Rolling resistance, fuel consumption.* Vejdirektoratet, Vejteknisk Institut 2004.

<http://www.vejdirektoratet.dk/publikationer/VInot23/index.htm>

R. A. Rallings. *Road Surface and Traffic Accident Risk.*

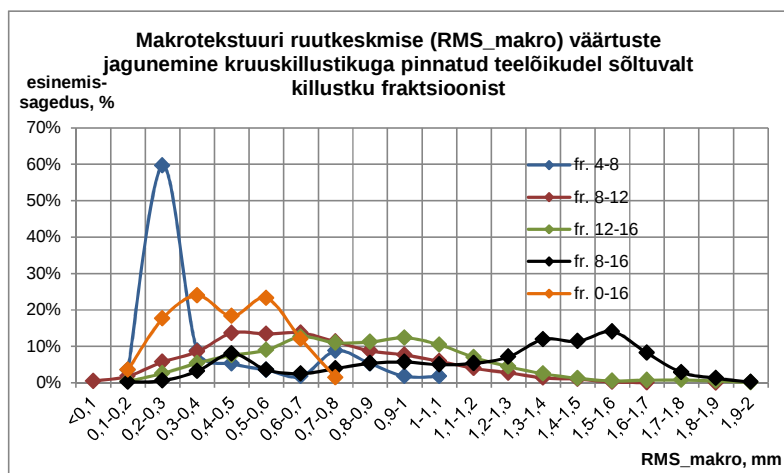
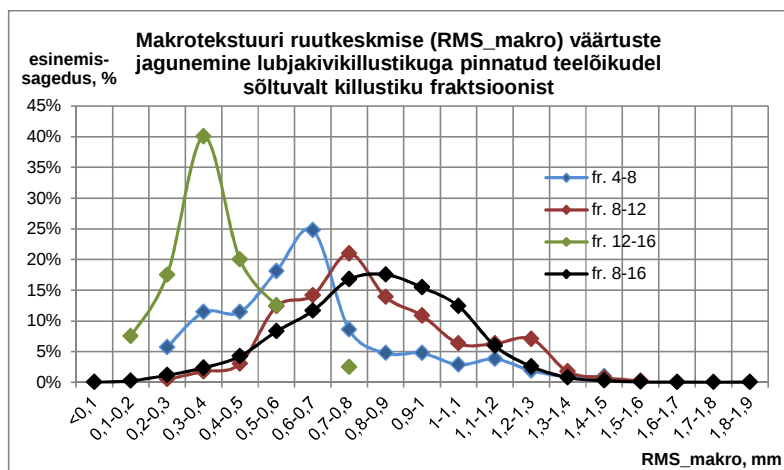
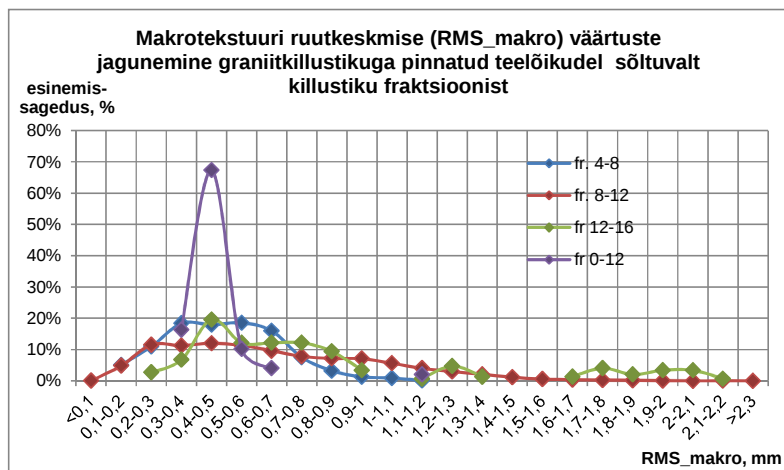
Bjarne Schmmidt, Birger Roland Jensen. *Friktion og MPD-tal.* Vejdirektoratet Vejteknisk Institut 2005.

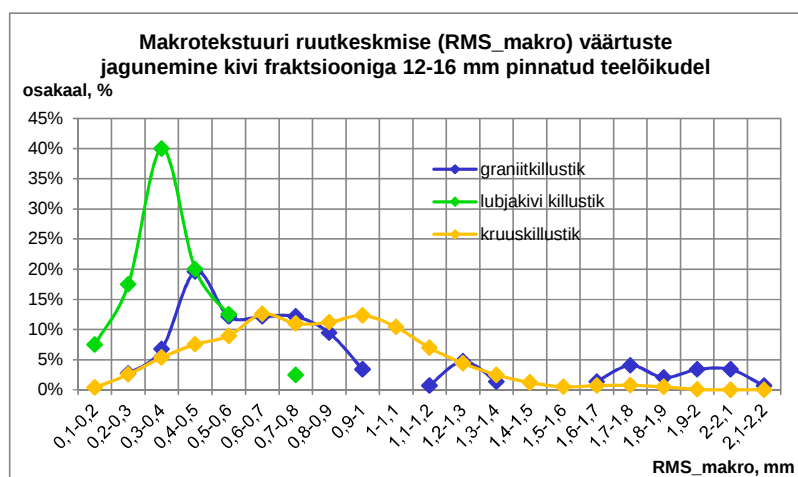
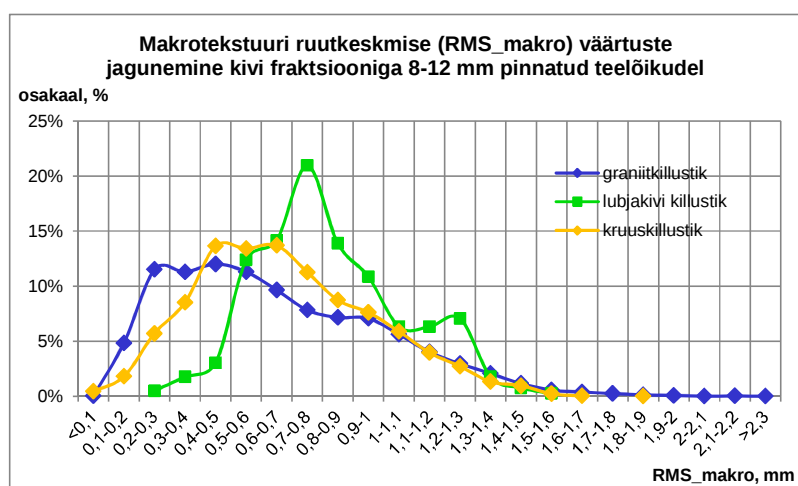
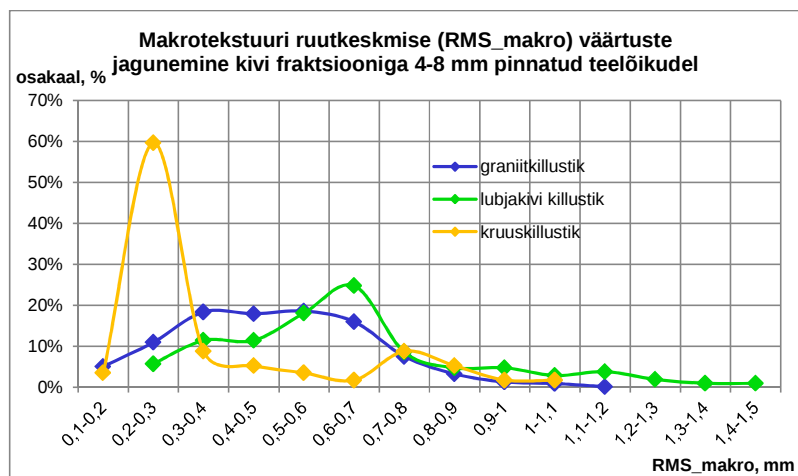
LISA 1. KOKKUVÕTE KÜSITLUSTULEMUSTEST

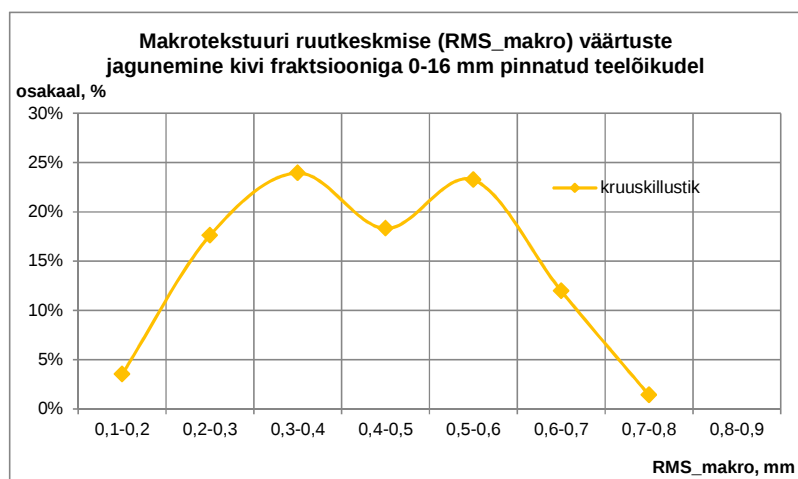
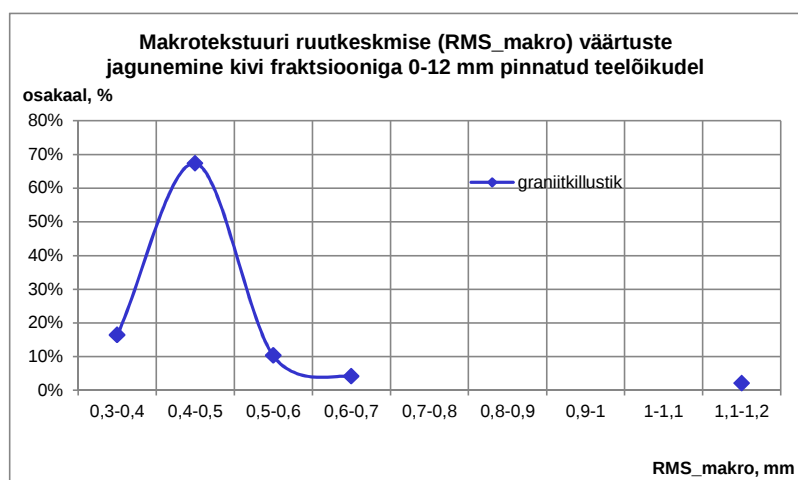
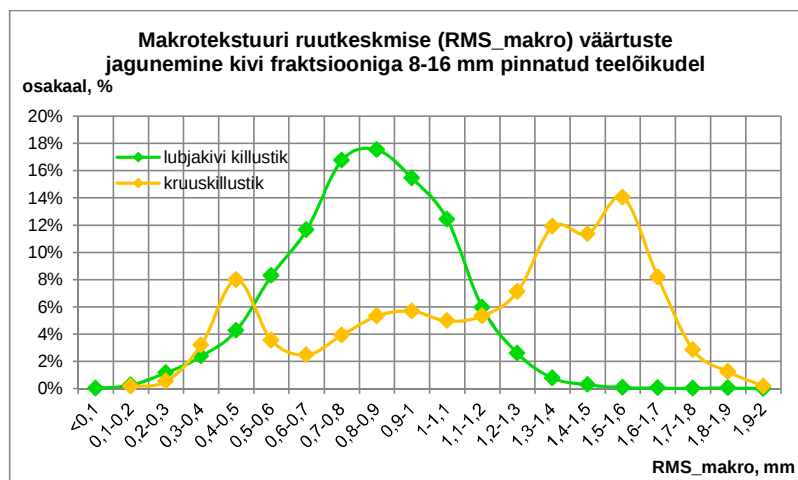
Jrk nr	Riik	Vastaja	Teekatte tekstuuri mõõtmise / andmete kasutamine otsustusprotsessides	Andmetöötlemises kasutatavad tekstuuri parameetrid	Piirväärtuste olemasolu tekstuuri parameetritele
1	Belgia	Margo Briessinck	jah / uuringu staadiumis	MPD	väljatöötamisel
2	Leedu	Vilhelmas Staskonis	jah / ei	MPD?	ei
3	Sloveenia	Bojan Leben	jah / jah	SMTD	jah
4	Norra	Joralf Aurstad	jah / uuringu staadiumis	-	väljatöötamisel
5	Prantsusmaa	Veronique Cerezo	jah / jah	MPD	jah
6	Suurbritannia	Helen Viner	jah / jah	SMTD	jah
7	Itaalia	Filippo Praticò	jah / jah	MPD ja SH (ka TL, PSD)	osaliselt olemas, osaliselt väljatöötamisel
8	Läti	Ervin Purins	jah / ei	MPD	ei
9	Soome	Juho Meriläinen	jah / uuringu staadiumis	RMS	väljatöötamisel
10	Taani	Kirjandus / Internet	jah / jah	MPD	jah
11	Rootsi	Ulf Sandberg	jah / uuringu staadiumis	MPD (varasemalt RMS)	osaliselt olemas, osaliselt väljatöötamisel
12	Austraalia	Peter N Bryant / Internet	jah / jah	MPD (sõltub piirkonnast)	osaliselt olemas, osaliselt väljatöötamisel
13	Eesti	Taivo Möll / Tiit Kaal	jah / uuringu staadiumis	MPD ja RMS	väljatöötamisel

LISA 2. TEKSTUURI VÄÄRTUSED SÕLTUVALT KIVIMATERJALIST VÕI KILLUSTIKU FRAKTSIOONIST

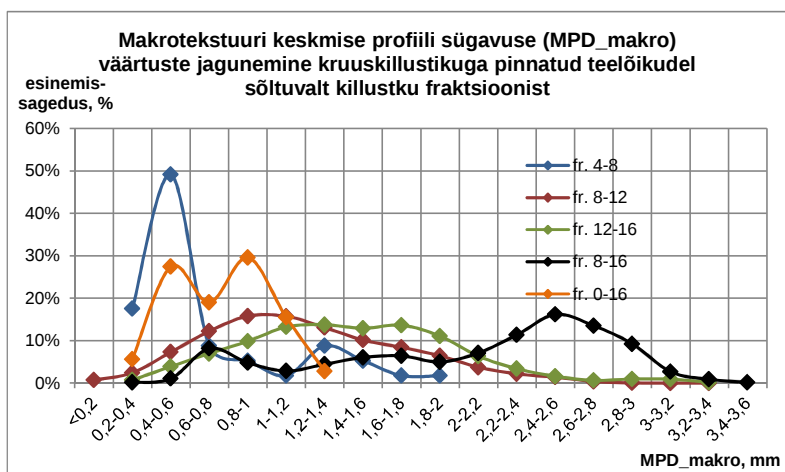
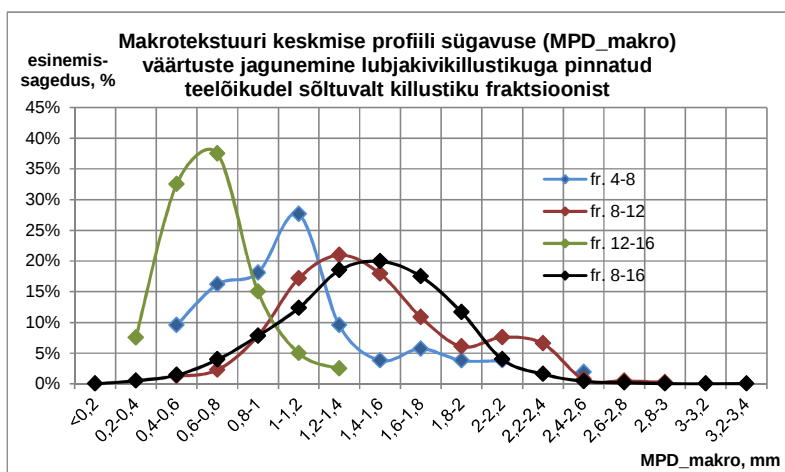
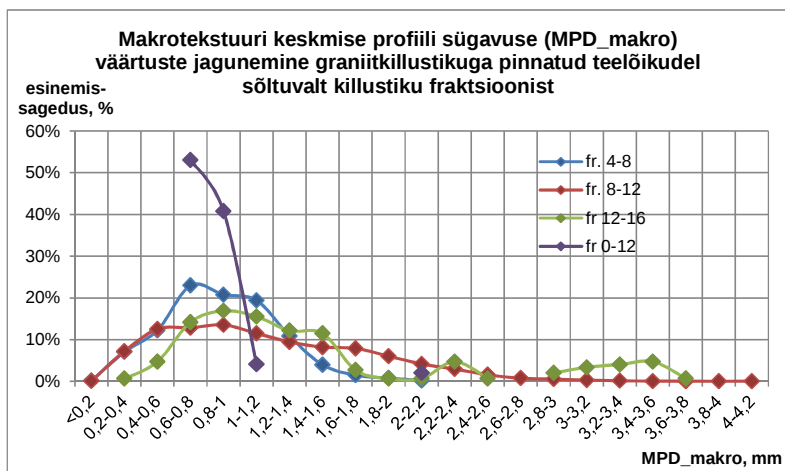
Makrotekstuuri ruutkeskmise (RMS_makro) sõltuvalt kasutatud kivimaterjalist või killustiku fraktsioonist:

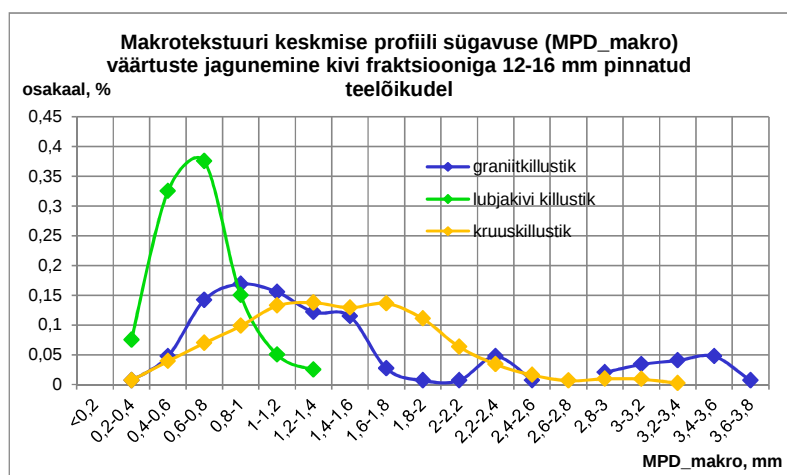
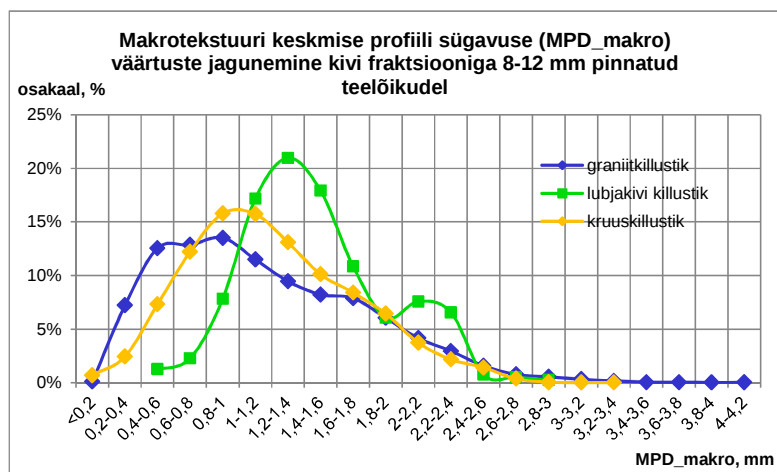
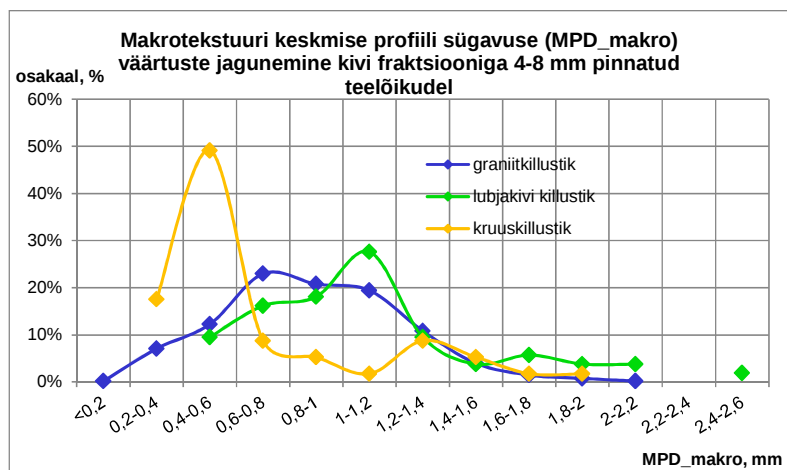


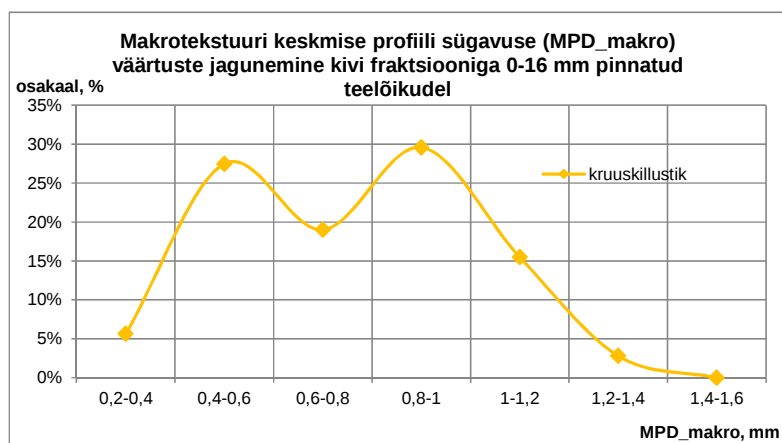
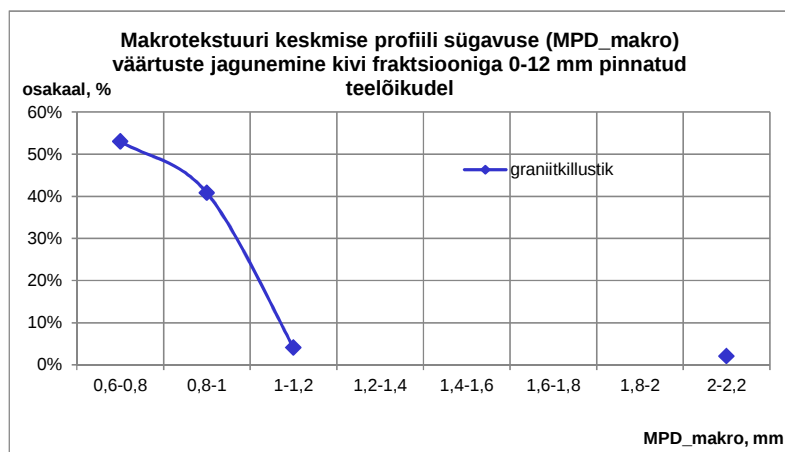
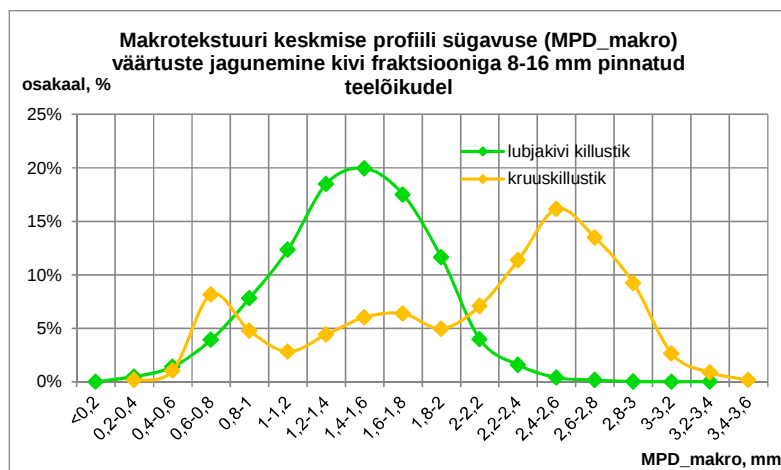




Makrotekstuuri keskmine profiili sügavus (MPD_makro) sõltuvalt kasutatud kivimaterjalist või killustiku fraktsioonist:







Megatekstuuri ruutkeskmise (RMS_mega) sõltuvalt kasutatud kivimaterjalist või killustiku fraktsioonist:

