

# HAARDETEGURI JA MAKROTEKSTUURI MÕÕTMISED KOOS AJAS MUUTUMISE ANALÜÜSIGA

Projektijuht: Erko Puusaag



Töö on koostatud Maanteeameti teede arengu osakonna tellimusel

Projektijuht:

Erko Puusaag

Töös osalesid:

Marek Truu (Teede Tehnokeskus)

Karmen Kütt (Teede Tehnokeskus)

Egon Horg (Teede Tehnokeskus)

© Maanteeamet, 2016

Töö tellija on Maanteeamet, kuid töö tulemus ei pea olema kooskõlas Maanteeameti seisukohaga ega väljenda Maanteeameti poolt heakskiidetud arvamusi. Vastutus antud dokumendis toodud informatsiooni ja esitatud arvamuste eest lasub täies mahus töö teostajal. Tööd võib vabalt tervikuna tasuta kasutamiseks välja anda või tsiteerida allikale viidates.

# Haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmised koos ajas muutumise analüüsiga

Projektijuht:

Erko Puusaag

Tallinn, 2016

Esikaanefoto: M

Haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmise koos ajas muutumise analüüsiga 2016.



## SISUKORD

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| SISUKORD .....                                                                   | 1  |
| SISSEJUHATUS .....                                                               | 2  |
| EESMÄRK .....                                                                    | 3  |
| 1. TEEKATTE TEKSTUURI JA HAARDETEGURI MÕÕTMISTULEMUSED .....                     | 5  |
| Teekatte haardeteguri mõõtmise seade .....                                       | 5  |
| Teekatte tekstuuri mõõtmise seade .....                                          | 6  |
| Mõõtmislõigud .....                                                              | 7  |
| Mõõtmistulemustest üldiselt .....                                                | 11 |
| Tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos .....                                    | 13 |
| Sesoonne mõju haardetegurile ja tekstuurile .....                                | 18 |
| 2. ENNUSTUSMUDELITE VÄLJATÖÖTAMINE JA RAKENDAMINE .....                          | 22 |
| Ennustusmodelite väljatöötamine .....                                            | 22 |
| Ennustusmodeli rakendamine teeregistri andmestikule .....                        | 31 |
| Haardeteguri mõõtmise vajadus .....                                              | 36 |
| 3. SÄILITUSREMONDI ANALÜÜSIS KASUTATAVAD TEKSTUURI PIIRVÄÄRTUSED ..              | 37 |
| .....                                                                            | 37 |
| Pindamise vanuse mõju haardetegurile .....                                       | 42 |
| 4. TEEKATTE TEKSTUUR, HAARDETEGUR JA LIIKLUSOHUTUS .....                         | 45 |
| Bussiõnnetused .....                                                             | 45 |
| Tekstuuri ja liiklusõnnetuste vahelised seosed .....                             | 50 |
| 5. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD .....                                               | 58 |
| 6. KOKKUVÕTE .....                                                               | 62 |
| KASUTATUD KIRJANDUS .....                                                        | 63 |
| 7. LISAD .....                                                                   | 64 |
| LISA 1. Teekatte haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmistulemused .....           | 65 |
| LISA 2. Teekatte haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmistulemuste graafikud ..... | 65 |
| LISA 3. Teekatte haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmislõikude fotod .....       | 65 |
| LISA 4. Matemaatiliste mudelitega saadud probleemsete teelõigud .....            | 65 |
| LISA 5. Haardeteguri mõõtevajadusega probleemsete teelõigud .....                | 65 |

## SISSEJUHATUS

Teekatte makrotekstuur on üks paljudest teguritest, mis mõjutab teekatte ja sõiduki rehvi vahelist vastasmõju. Nii Eestis kui mujal maailmas teostatud uuringud on leidnud seoseid teekatte makrotekstuuri ja haardeteguri vahel. Tulenevalt asjaolust, et võrreldes maanteekiirustel teostatava teekatte makrotekstuuri (MPD) mõõtmisega on teekatte haardeteguri mõõtmine kulukam ja aeganõudvam, oleks optimaalsem leida madala haardeteguriga teelõike makrotekstuuri mõõtmisandmete kaudu.

Makrotekstuuri ja haardeteguri vaheliste seoste leidmiseks ja täpsustamiseks teostati 2016. aastal Eesti riigimaanteedel paralleelselt MPD ja haardeteguri mõõtmised kokku üle 200 km teelõikudel. Mõõtmised teostati suvel ja sügisel erineva asfaltsegu, vanuse ja liikluskoormusega pinnatud ja pindmata teelõikudel.

Käesolev töö keskendub teostatud mõõtmiste analüüsile. Peamiste tulemustena leiti soovituslik haardeteguri mõõtmise aeg, täpsustati tekstuuri piirväärtusi ning tekstuuri ja haardeteguri vahelisi seoseid.

## EESMÄRK

Teekatte karedus (teekatte haardelised omadused ehk haardetegur) on üks teekatte liiklusohutuse peamine näitaja, mis iseloomustab rehvide haakumist teekattega.

Kõigil kattega riigimaanteedel mõõdetakse alates 2011. aastast lisaks teekatte tasasusele IRI (International Roughnes Index) ka tekstuuri (makro- ja megatekstuur). Tasasuse ja tekstuuri mõõtmiste maht aastas on 5000 km. Põhi, tugi- ja suurema liiklusega kõrvalmaanteedel teostatakse mõõtmisi kahe- ning väiksema liiklusega kõrvalmaanteedel (AKÖL<1000 autot/ööp) kolmeaastase intervalliga.

Teekatte tekstuur on defineeritud mõõdetud pikiprofiili ja ideaalse ühtlase profiili vahega vastaval lainepikkusel. World Road Association (PIARC) on kehtestanud standardi tekstuuri kategooriate jaotamiseks vastavalt lainepikkusele. Need kategooriad sisaldavad mikrotekstuuri (lainepikkustel alla 0,5 mm), makrotekstuuri (0,5-50 mm), megatekstuuri (50-500 mm) ja tasasust (lainepikkustel üle 500 mm). Mikrotekstuuri maanteekiirusel mõõta ei saa, kuna seadmed seda lihtsalt ei võimalda. Seega mõõdetakse makrotekstuuri ning megatekstuuri. Tulemustena saadakse arvvaartused, mis kirjeldavad erinevat tekstuuri 100 m pikkustel lõikudel.

2012. a viidi Maanteeameti tellimusel läbi uurimistöö teemal „Teekatte tekstuuri mõõtmisandmete kasutamise meetodid ja andmete piirvaartused“. Uurimistöö eesmärgiks oli kirjeldada teistes riikides teekatte tekstuuri mõõtmiste kasutamist ja piirvaartusi, kirjeldada Eesti jaoks vajalikud tekstuuri näitajad ning võimalikud piirmäärad erinevateks analüüsideks. Lisaks kirjeldati vastavalt lähteülesandele teiste riikide kogemuste põhjal teekatte tekstuuri ja teekatte haardeliste omaduste vahelisi seoseid, et tekstuuri andmete põhjal oleks võimalik leida probleemsete haardeliste omadustega teelõike. Tekstuuri on võimalik mõõta kogu kattega teedevõrgul koos tasasusega küllaltki kiirelt, kareduse mõõtmine on ressursimahukam ja seda tuleks teha juba eelnevalt täpsustatud teelõikudel. Uurimistöös leiti, et edasist analüüsi vajab haardeteguri ja tekstuuri vaheliste seoste leidmine lähtuvalt mõõtmistest ja põhirõhk peaks olema teekatte karedusel.

2014. a viidi Maanteeameti tellimusel läbi uurimistöö „Teekatte haardeliste omaduste võrdlusuuring“. Uurimistöö eesmärgiks oli teostatud mõõtmistulemuste alusel leida mõõtmiste täpsused ja kirjeldada mõõtmiste näitajaid, uurida tekstuuri ja kareduse näitajate vahelisi seoseid eesmärgiga tuvastada tekstuuri andmete põhjal tõenäolisi probleemse karedusega teelõike ning kolmandaks kirjeldada kareduse ja tekstuuri mõõtmiste kasutamist teistes riikides koos kehtestatud piirväärtustega.

Käesolevas uuringu lähtepunktiks on vajadus täpsustada teekatte tekstuuri ja haardeteguri vahelisi seoseid ning leida optimaalne haardeteguri mõõtmise teostamise aeg ja maht teedevõrgu tasandil.

Käesoleva Töö esimeseks eesmärgiks on mõõta teekatte tekstuuri ja haardetegurit 200 km mõõtejälje ulatuses ja analüüsida saadud tulemusi, et leida haardeteguri mõõtmiseks optimaalne sesoonne aeg ja määratlada minimaalse mõõtmise vajaduse kriteeriumid teedevõrgu tasandil tekstuuriväärtuste alusel.

Töö teiseks eesmärgiks on täpsustada Maanteeameti kattega teede säilitusremondi analüüsis kasutatavate tekstuuri näitajate piire ja nende sõltuvust haardetegurist.

Töö kolmandaks eesmärgiks on liiklusohutuse tagamise eesmärgil leida paremad seosed tekstuuri ja haardeteguri näitajate vahel, et tuvastada libedaid lõike suurema liiklusega pindamata teelõikudel, kus pindamist ei ole mõistlik teha. Lisaks tuleb analüüsida ka teeregistri andmete baasil erineva kivimaterjali terastikulise suurusega (12/16/20) katete seoseid õnnetuste jms vahel.

## 1. TEEKATTE TEKSTUURI JA HAARDETEGURI MÕÕTMISTULEMUSED

### Teekatte haardeteguri mõõtmise seade

Käesoleva töö raames teostati haardeteguri mõõtmised Norras valmistatud seadmega ViaFriction, mis võeti Eestis kasutusele 2014. aastal. Tegemist on teekatte haardeteguri mõõtmiseks ettenähtud seadmega, millega on võimalik teekatete haardetegurit hinnata nii suvistes kui talvistes tingimustes.



Joonis 1. Teekatte haardeteguri mõõteseade ViaFriction

ViaFriction seadmega teostatakse mõõtmisi vastavalt standardile CEN/TS 13036-2 ning vastavalt tehnilisele spetsifikatsioonile CEN/TS 15901-14.

Mõõtmisel kasutatakse pikisuunalist mõõteratast (ASTM 1551), mille libisemise määr on seadistatud 20% ning mõõtmise kiirus võimalikult lähedal 60 km/h. Mõõtmise ajal tekitatakse mõõteratta ning teekatte vahele 0,5 mm paksune veekile.

Mõõtmised teostatakse teekatte pinna temperatuuridel +5C°...+30C°.

## Teekatte tekstuuri mõõtmise seade

Teekatte tekstuuri mõõdeti AL Engineering OY poolt toodetud seadmega LTM-1.



**Joonis 2. Teekatte tekstuuri mõõteseade LTM-1**

LTM-1 seade kasutab 32 kHz laserit ning mõõdab makrotekstuuri vastavalt standardile EVS-EN ISO 13473-1:2004. Seade on Eestis kasutusel alates 2011. aastast.

Makrotekstuuri mõõtmise tulemusena saadakse 5 m pikkuste lõikude keskmised tekstuuri andmed. Andmete esitamisel on makrotekstuuri tulemused toodud 100 m kaupa ning lisaks 100 m keskmisele väärtusele on toodud ka minimaalne ja maksimaalne väärtus vastaval 100 m lõigul.

Tekkate makrotekstuuri lainepikkus on 0,5 mm – 50 mm ning see mõjutab eelkõige vee ärajuhtimist teekatte ja rehvi kontaktpinnast.



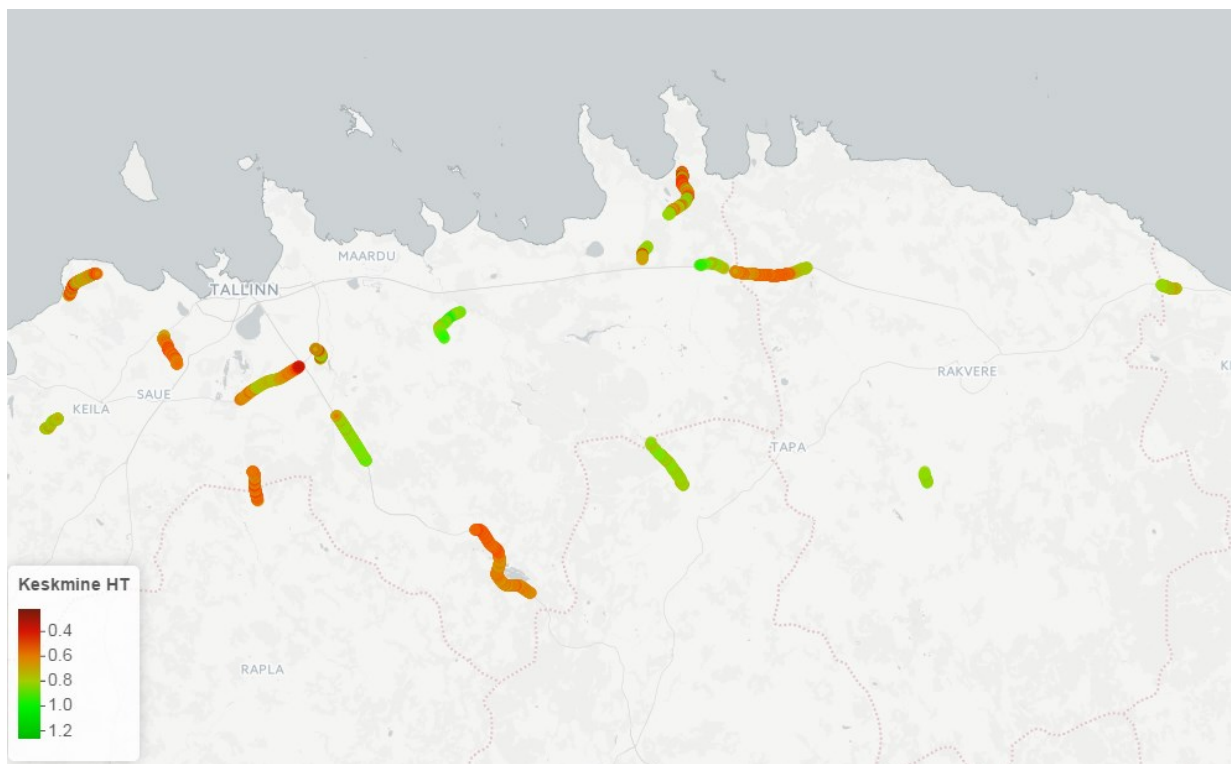
## Mõõtmislõigud

Teekatte tekstuuri ja haardeteguri mõõtmislõigud on valitud selliselt, et need kataksid laia spektri erinevaid kriteeriumeid, milleks on erinev katteseгу, pinnatud ja pindamata katted, erinev katte ja pindamise vanus ning erinev liiklussagedus. Liskas on valimisse võetud teelõigud, millel on toimunud viimase kahe aasta jooksul bussiõnnetused.

Tekstuuri ja haardeteguri mõõtmised (kokku 215 km) teostati kahel korral – suvisel ajal 8.-11.juuli ning sügisel 4.-6. oktoober.

Algselt valitud teelõikudest kolmel toimusid kahe mõõtmise vahelisel ajal remonttööd, millest tulenevalt võeti mõõtelõikude valimisse kaks 2016. aastal ehitatud teelõiku, mille kohta olid olemas kevadised või suvised mõõteandmed.

Tabelis 1 on toodud teelõigud, mille tekstuuri ja haardeteguri mõõtmistulemused on võetud edasise analüüsi aluseks.



**Joonis 3. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri mõõtmiste asukohad**

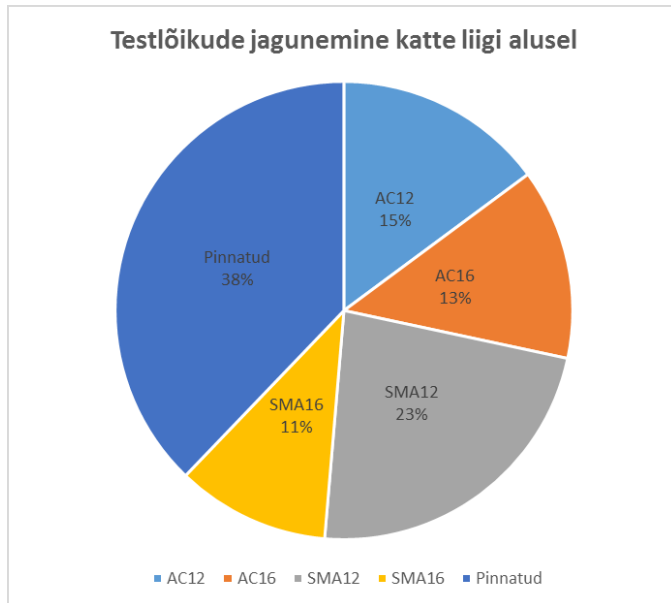
Tabel 1. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri mõõtmislõigud

| Nr | Mnt nr | Stee | Teeosa | Akaugus | Lkaugus | AlgKM   | LõppKM  | Pikkus | Mõlemad rajad kokku |
|----|--------|------|--------|---------|---------|---------|---------|--------|---------------------|
| 1  | 1      | 1    | 10     | 0       | 9334    | 63.600  | 72.934  | 9.334  | 18.668              |
| 2  | 1      | 1    | 31     | 0       | 2100    | 124.347 | 126.447 | 2.100  | 4.200               |
| 3  | 2      | 2    | 3      | 7900    | 8735    | 19.963  | 20.798  | 0.835  | 1.670               |
| 4  | 2      | 2    | 4      | 0       | 5078    | 20.798  | 25.876  | 5.078  | 10.156              |
| 5  | 2      | 2    | 5      | 0       | 1000    | 25.876  | 26.876  | 1.000  | 2.000               |
| 6  | 2      | 1    | 7      | 6600    | 10818   | 46.476  | 50.694  | 4.218  | 8.436               |
| 7  | 2      | 1    | 8      | 300     | 8300    | 50.994  | 58.994  | 8.000  | 16.000              |
| 8  | 11     | 1    | 1      | 0       | 1631    | 0.000   | 1.631   | 1.631  | 3.262               |
| 9  | 11     | 1    | 2      | 0       | 2500    | 1.631   | 4.131   | 2.500  | 5.000               |
| 10 | 11     | 1    | 4      | 700     | 4354    | 11.307  | 14.961  | 3.654  | 7.308               |
| 11 | 11     | 1    | 5      | 0       | 900     | 14.961  | 15.861  | 0.900  | 1.800               |
| 12 | 11     | 1    | 5      | 900     | 2500    | 15.861  | 17.461  | 1.600  | 3.200               |
| 13 | 11     | 1    | 5      | 2500    | 5265    | 17.461  | 20.226  | 2.765  | 5.530               |
| 14 | 13     | 1    | 7      | 0       | 563     | 40.674  | 41.237  | 0.563  | 1.126               |
| 15 | 13     | 1    | 8      | 0       | 6700    | 41.237  | 47.937  | 6.700  | 13.400              |
| 16 | 15     | 1    | 5      | 4600    | 8536    | 20.070  | 24.006  | 3.936  | 7.872               |
| 17 | 15     | 1    | 10     | 0       | 3385    | 24.006  | 27.391  | 3.385  | 6.770               |
| 18 | 15*    | 1    | 11     | 200     | 6282    | 27.591  | 33.673  | 6.082  | 12.164              |
| 19 | 15*    | 1    | 12     | 0       | 2200    | 33.673  | 35.873  | 2.200  | 4.400               |
| 20 | 17     | 1    | 3      | 0       | 2400    | 6.135   | 8.535   | 2.400  | 4.800               |
| 21 | 22     | 1    | 5      | 4000    | 6000    | 14.372  | 16.372  | 2.000  | 4.000               |
| 22 | 26     | 1    | 2      | 1500    | 3500    | 10.580  | 12.580  | 2.000  | 4.000               |
| 23 | 85     | 1    | 1      | 1100    | 3023    | 1.100   | 3.023   | 1.923  | 3.846               |
| 24 | 85     | 1    | 2      | 4700    | 7700    | 7.723   | 10.723  | 3.000  | 6.000               |
| 25 | 85     | 1    | 3      | 100     | 3600    | 11.099  | 14.599  | 3.500  | 7.000               |
| 26 | 11108  | 1    | 1      | 100     | 4786    | 0.100   | 4.786   | 4.686  | 9.372               |
| 27 | 11113  | 1    | 1      | 3300    | 5000    | 3.300   | 5.000   | 1.700  | 3.400               |
| 28 | 11251* | 1    | 1      | 1100    | 7300    | 1.100   | 7.300   | 6.200  | 12.400              |
| 29 | 11310  | 1    | 4      | 1000    | 6121    | 23.124  | 28.245  | 5.121  | 10.242              |
| 30 | 11390  | 1    | 3      | 4700    | 7670    | 14.004  | 16.974  | 2.970  | 5.940               |
| 31 | 11390  | 1    | 4      | 0       | 1900    | 16.974  | 18.874  | 1.900  | 3.800               |
| 32 | 11401  | 1    | 1      | 1400    | 5600    | 1.400   | 5.600   | 4.200  | 8.400               |

\* - täiendavalt valitud teelõigud

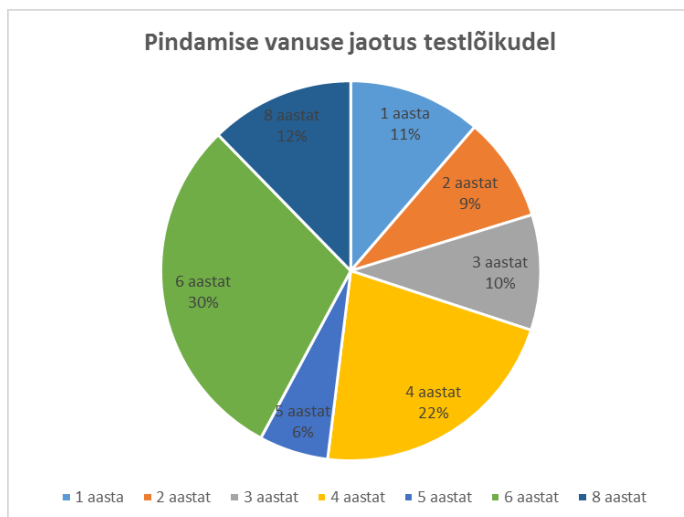
Mõõtmislõikude jagunemine katte liigi alusel on toodud joonisel 4. Mõõtmislõikudest 38 % moodustavad pinnatud katted, mis on väiksem kui algsest planeeritud 50 %. Põhjuseks on osadel pinnatud lõikudel teostatud remonttööd, mille tõttu need asendati uute 2016. a valminud asfaltkattega teelõikudega.





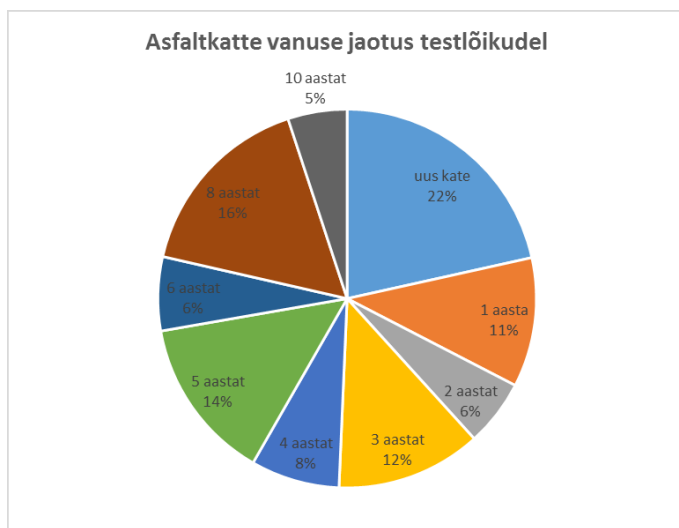
**Joonis 4. Testlõikude jagunemine katte liigi alusel**

Pinnatud testlõikude jagunemine pindamise vanuse alusel on toodud joonisel 5. Pindamislõikude vanus testlõikudel on 1...8 aastat. Pindamiskillustikuna on kõigil testlõikudel kasutatud killustikku fraktsiooniga 8-12 mm. Antud fraktsiooniga killustikuga on Teeregistri andmete alusel teostatud 73% riigimaanteede pindamistest.



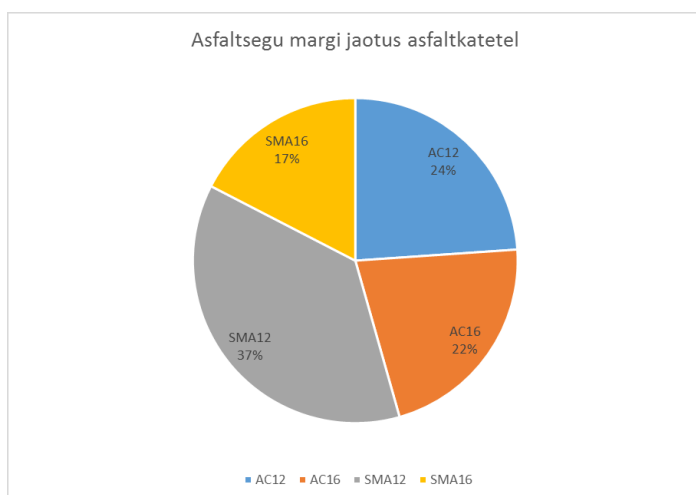
**Joonis 5. Testlõikude jagunemine pindamise vanuse alusel**

Asfaltkattega testlõikude jagunemine katte vanuse alusel on toodud joonisel 6. Asfaltkatete vanus on 1...10 aastat. Küllaltki suur uute katete osakaal 22% tulenes osadel testlõikudel teostatud remonttöödest.



**Joonis 6. Testlõikude jagunemine pindamise vanuse alusel**

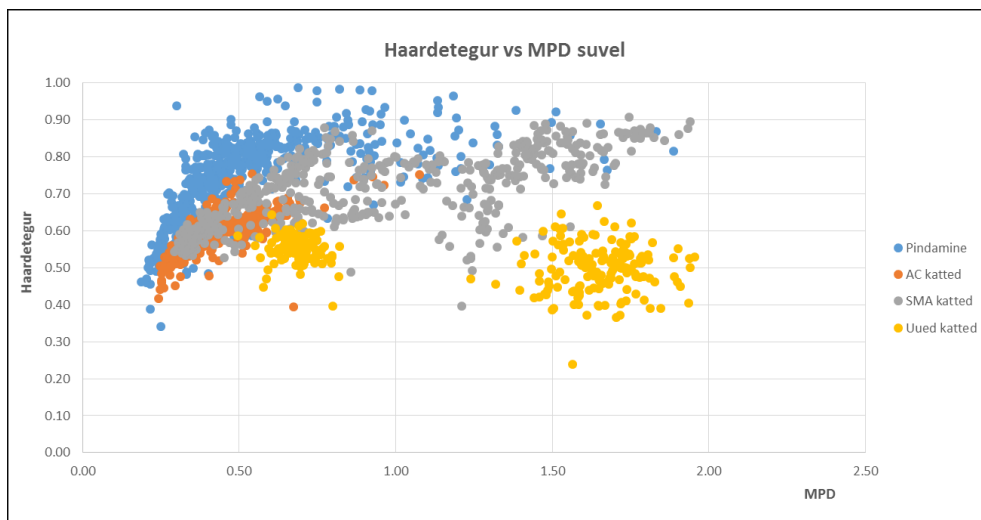
SMA-tüüpi asfaltsegu on kasutatud 54% asfaltkattega testlõikudel ning vastavalt 46% asfaltkatetest on AC-tüüpi.



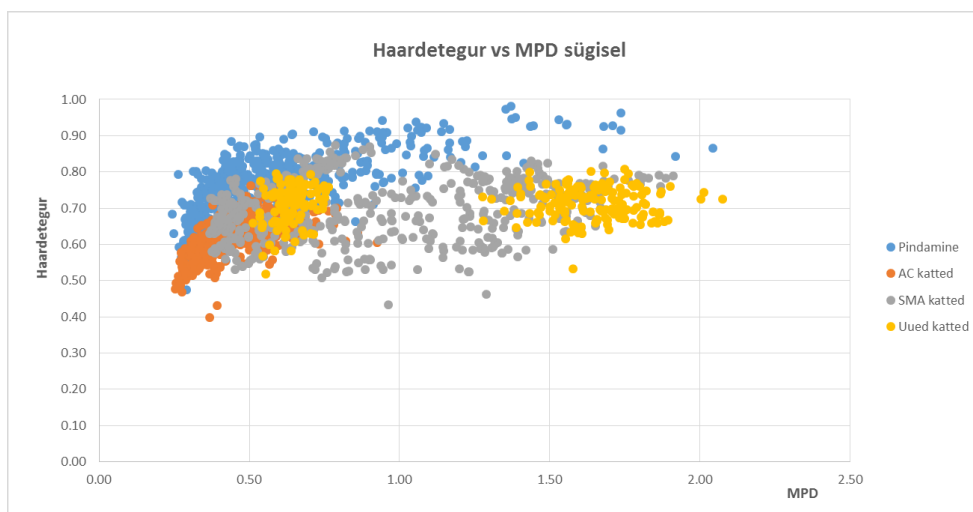
**Joonis 7. Testlõikude jagunemine pindamise vanuse alusel**

## Mõõtmistulemustest üldiselt

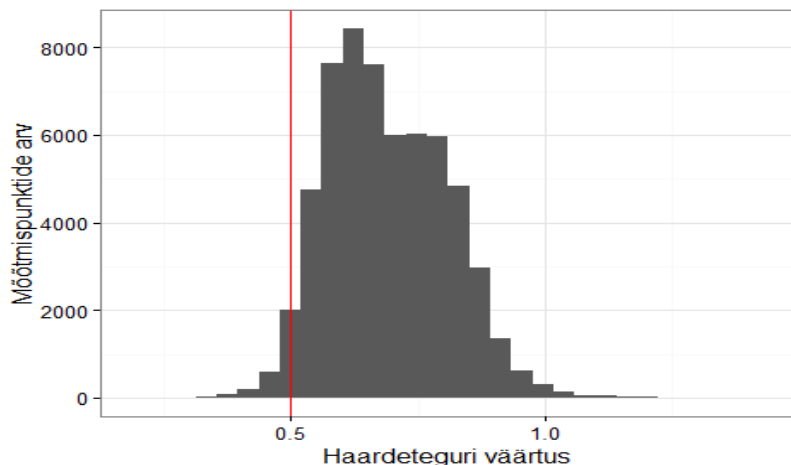
Teekatte tekstuuri ja haardeteguri mõõtmised teostati üheaegselt. Joonistel 8 ja 9 on toodud haardeteguri ja MPD võrdlus suvel ning sügisel. Graafikutelt on näha, et haardeteguri ja MPD vahelised seosed erineva kattega teedel eristuvad üksteisest ning need koonduvad graafikutel sarnastesse piirkondadesse. Selgelt erinevad ülejäänutest on 2016. aastal valminud uued asfaltkatted, kus suvisel ajal on ka suhteliselt suure MPD väärtuse korral haardetegur suhteliselt madalam. Eeltoodust tulenevalt on edasise analüüsi käigus vaadeldud uusi katteid eraldi. Mõõtmistulemused on toodud Lisas 1.



Joonis 8. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos suvel

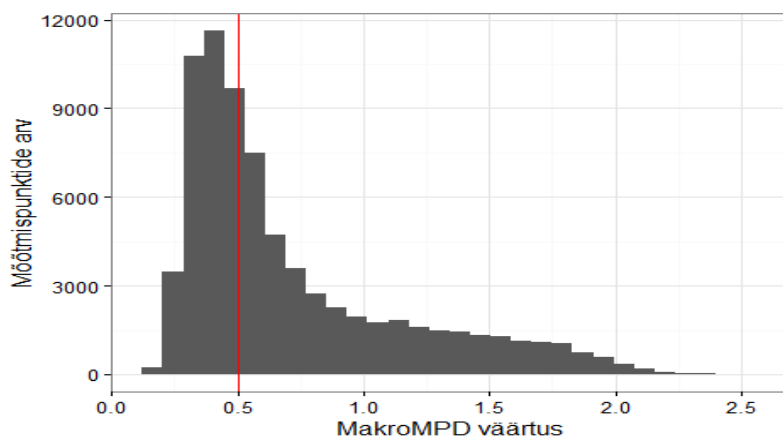


**Joonis 9. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos sügisel**



**Joonis 10. Haardeteguri mõõtmistulemuste jaotus**

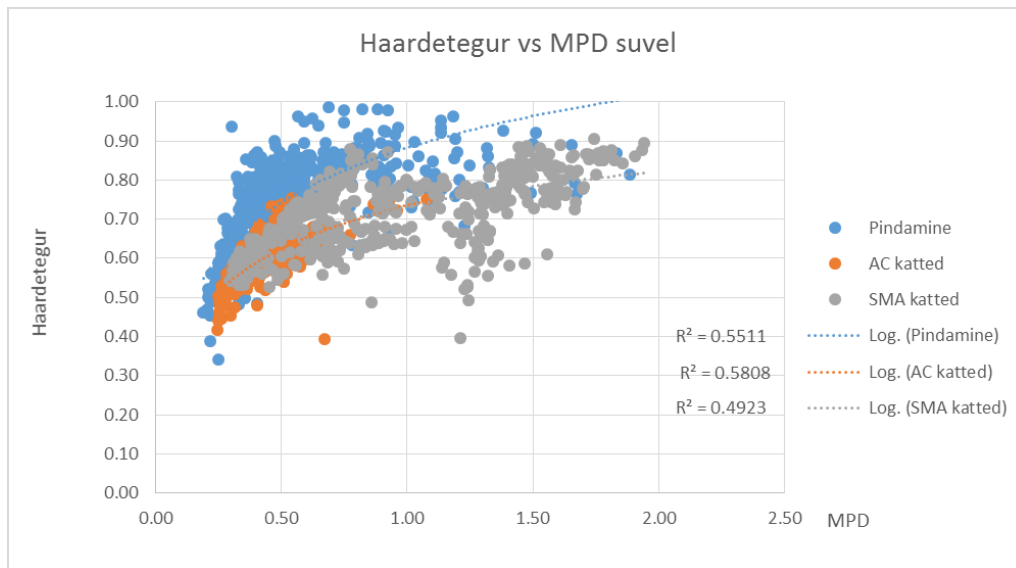
Mõõdetud andmetest on haardeteguri väärtus  $<0,5$  vaid 2,8%, samas kui makrotekstuuri MPD väärtus on  $<0,5$  43,5% andmetest. Seega saab siit järeldada, et madal makrotekstuur ei põhjusta ilmtingimata madalat haardetegurit. MPD ja haardeteguri mõõtmistulemuste jagunemine testlõikudel on toodud joonistel 10 ja 11.



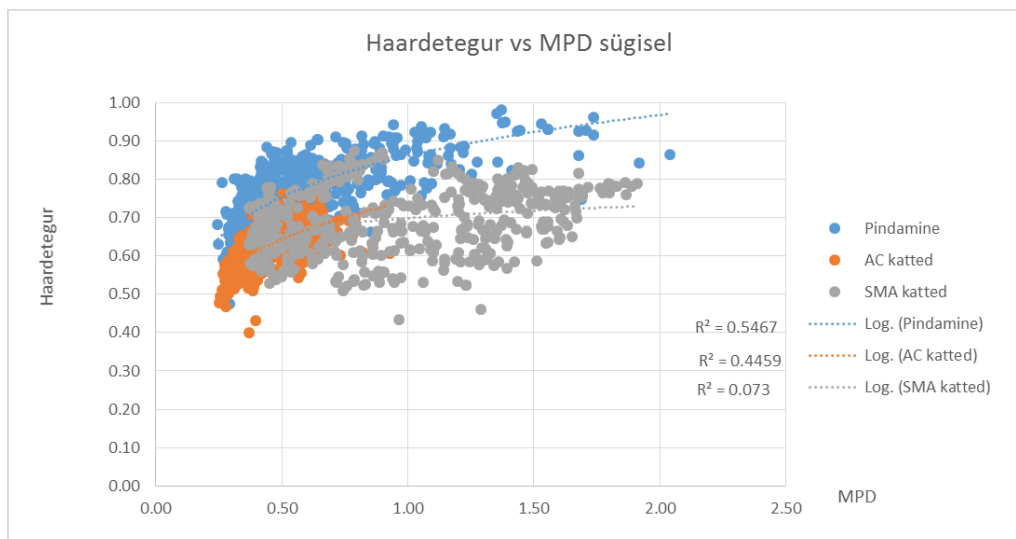
**Joonis 11. Makrotekstuuri mõõtmistulemuste jaotus**

## Tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos

Teekatte makrotekstuuri ja haardeteguri vaheliste seoste hindamiseks ja täpsustamiseks on kasutatud mõõtmislõikudelt saadud andmeid. Suviseid ja talviseid mõõtmisi on seejuures vaadeldud eraldi ning ka uute teekatete mõõtmistulemusi on vaadeldud eraldi. Joonistel 12 ja 13 on toodud MPD ja haardeteguri vahelised seosed suvel ja talvel. Lisaks on eraldi välja toodud SMA-, AC- ning pinnatud katted koos seose tugevust iseloomustava  $R^2$  väärtustega.

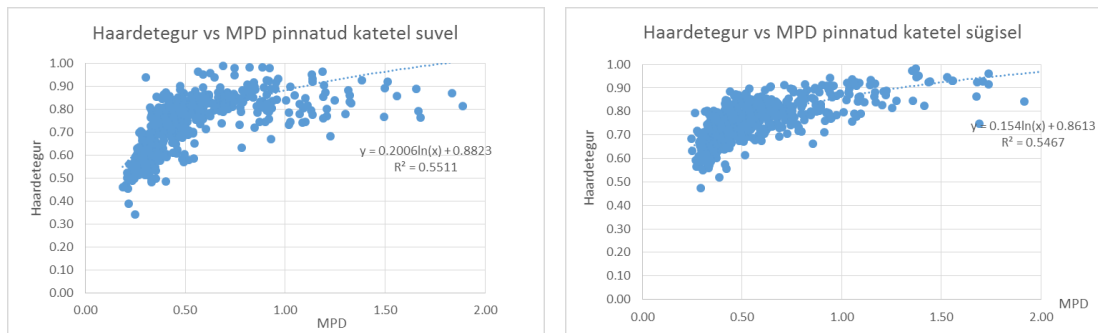


Joonis 12. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos suvel



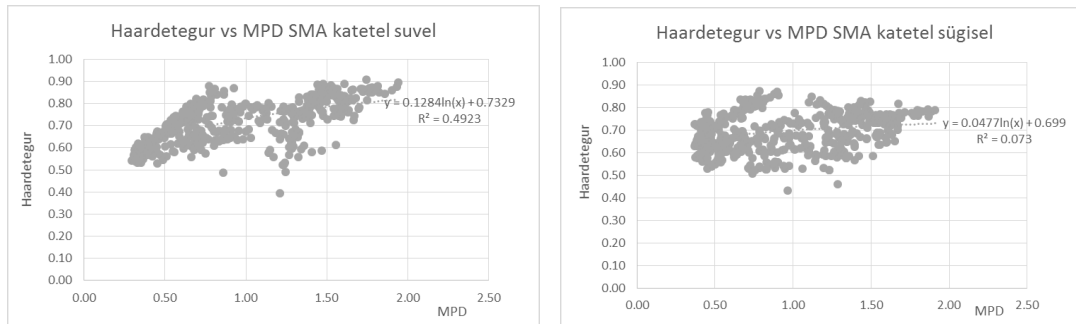
Joonis 13. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos sügisel

Graafikutelt on näha, et pinnatud katetel on suvisel ajal MPD ja haardeteguri seos keskmine ( $R^2=0,55$ ) ning MPD väärtused koonduvad võrreldes asfaltkatetega kõige enam madala tekstuuriga graafiku osasse. Seega kirjeldab madal MPD väärtus pinnatud katetel kõige vähem madalat haardetegurit võrreldes ülejäänud katteliikidega ning madala makrotekstuuriga teelõigul võib esineda küllaltki suur haardetegur. Probleeme on mõõdetud pinnatud katetel haardeteguriga vaid suvisel ajal, sügisel oli vaid üks 100 m mõõtelõik, mille haardeteguri väärtus oli alla 0,5 ühiku.



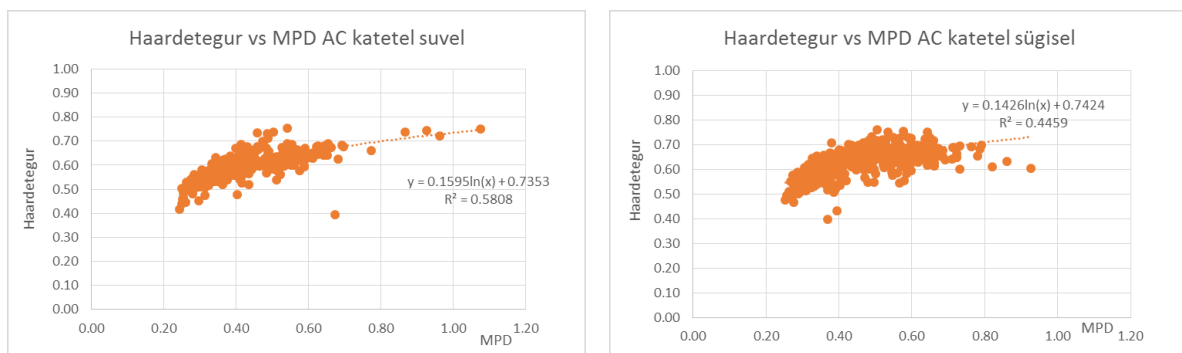
**Joonis 14. Teekatte tekstuuriga ja haardeteguri vaheline seos pinnatud katetel suvel ja sügisel**

Vaatluse alla võetud SMA-tüüpi katetel ei esine sisuliselt probleeme haardeteguriga ehk alla 0,5 väärtusega on vaid üksikud 100 meetrised mõõtelõigud. Seos haardeteguri ja MPD vahel on samas kõige rohkem hajuvam. SMA katete puhul on suurimaks erinevuseks, et sügisel muutub seos haardeteguri ja MPD väärtuste vahel sisuliselt olematuks –  $R^2=0,07$ . Seega ei iseloomusta makrotekstuuri suurus nendel katetel haardeteguri väärtuseid. Seejuures ei oma määravat tähtsust ka katte vanus.



**Joonis 15. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos SMA katetel suvel ja sügisel**

AC asfaltkatetel on suvisel ajal seos MPD ja haardeteguri vahel suurim ( $R^2=0,58$ ). Samas sügisel väheneb seose tugevus ning väheneb ka madala haardeteguri väärtustega lõikude arv. Ühtlasi suurenevad AC katetel haardeteguri väärtused keskmisena.



**Joonis 16. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos AC katetel suvel ja sügisel**

### Tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos uutel katetel

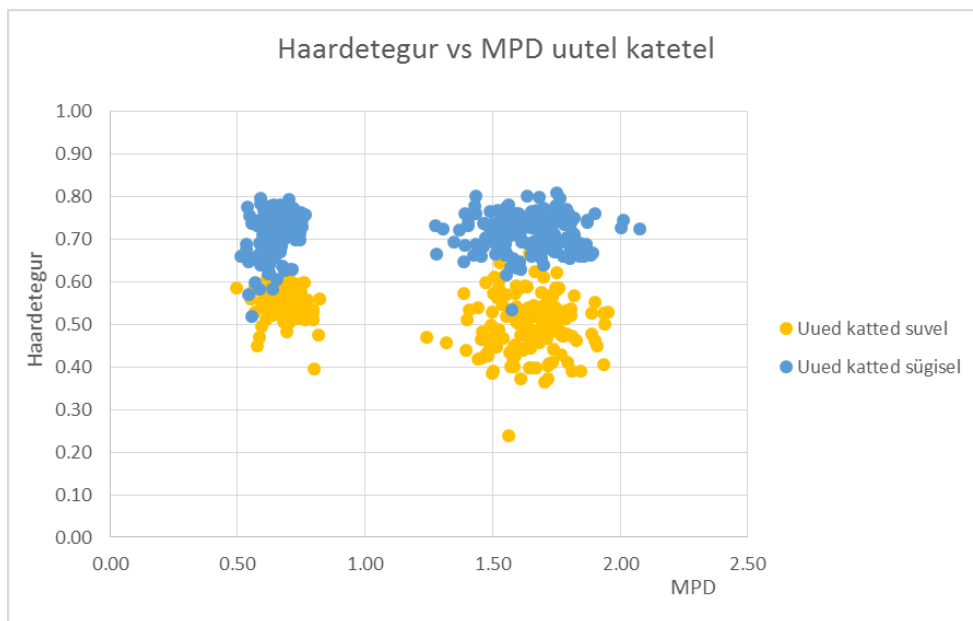
Haardeteguri ja makrotekstuuri seos uutel katetel on toodud joonisel 17. Kaks objekti eristuvad tulemuste poolest selgelt. Suurema tekstuuriga objektil on kasutatud SMA16 asfaltsegu ning väiksema tekstuuriga objektil AC16 segu.

Mõõdetud tekstuuri väärtused on nii suvel kui sügisel väga sarnased. Keskmiselt erinevad need 0,03 mm, samas kui haardeteguri erinevus on keskmiselt 0,19 ühikut. Seega on sisuliselt jäänud makrotekstuur muutumatuks ning haardeteguri väärtustes on küllaltki suur erinevus ning seda olenemata asfaltsegu tüübist.

Ülaltoodu viitab sellele, et makrotekstuur ei kirjelda vaatluse alla võetud uutel asfaltkatetel kuigi hästi teekatte karedust. Võttes arvesse, et teekatte haardelisi

omadusi mõjutavad teekatte mikrotekstuur ja makrotekstuur [2], siis võib eeldada, et haardeteguri muutuse tingib antud juhul muutus mikrotekstuuris.

Eeldatav põhjus on sideainekile, mis vahetult pärast katte ehitamist kattepinnal kivimaterjali ümbritseb, eraldub liikluse mõjul ning teekatte haardelised omadused seeläbi suurenevad.



**Joonis 17. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri vaheline seos uutel katetel**

### **Tekstuuri ja haardeteguri vaheliste seoste kokkuvõte**

Tulenevalt asjaolust, et uurimistöö raames teostatud mõõtmistega tuli 200 km mõõtemahu juures katta küllaltki suur valim erinevate kriteeriumitega teekatteid, siis on erinevate parameetrite mõju hindamine selle võrra komplitseeritum. Kõige selgem seaduspära ilmnes uutel katetel, kus haardeteguri muutumisel püsib makrotekstuur samal tasemel. Ülejäänud katetel ilmneb seos, et teekatte madala tekstuuri korral võib aga ei pruugi olla ka haardetegur väike ning sügisel teostatud mõõtmised SMA-katetel puudub üldse seos haardeteguri ja makrotekstuuri väärtuste vahel.



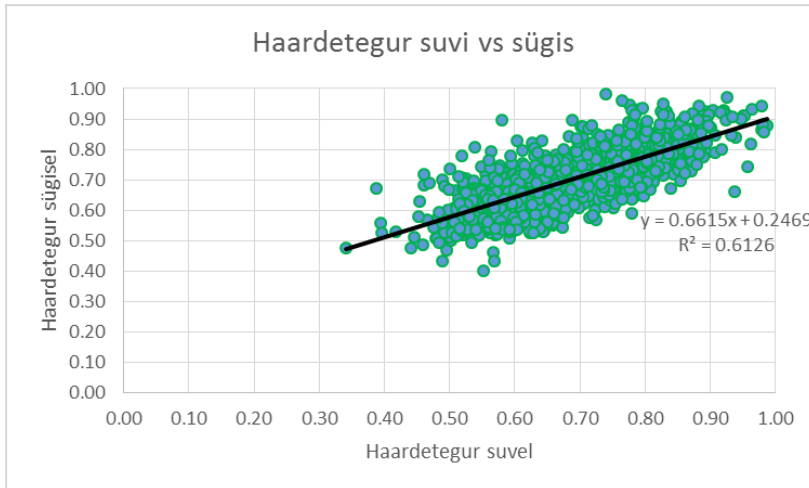
Rootsis 2015. aastal teostatud uuringus [1], kus vaadeldi sarnaselt käesolevale uuringule makrotekstuuri ja haardeteguri vahelisi seoseid, jõuti muuhulgas järeldustele, et:

- MPD väärtustega ei saa asendada haardeteguri mõõtmisi;
- madala haardeteguri risk on suurem madala MPD väärtuse juures;
- inimsilm on abiks teekatte madala haardeteguri tuvastamisel;
- peamiseks probleemiks Rootsis on „higistavad“ kohad pinnatud katetel.

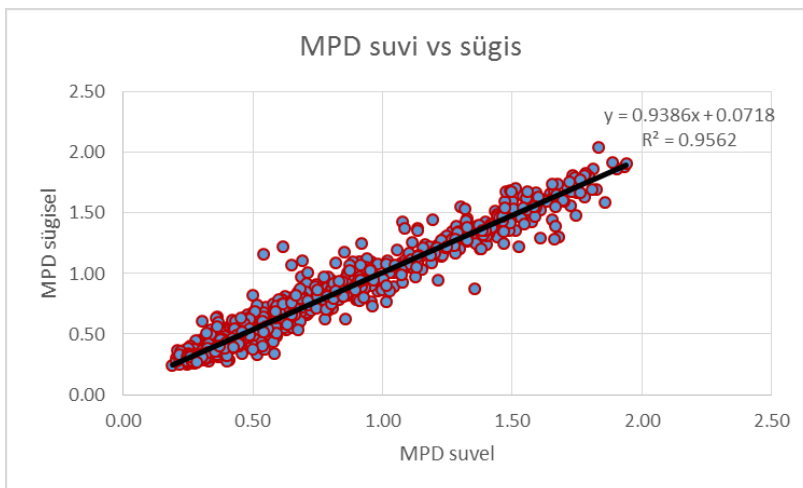
Käesoleva uurimistöö mõõtmistulemused näivad nendest esimest kahte järeldust kinnitavat ka Eesti teedel.

## Sesoonne mõju haardetegurile ja tekstuurile

Teekatte haardeteguri mõõtmise optimaalse sesoonse aja leidmiseks teostati uurimistöö raames mõõtmised kahel erineval aastaajal – suvel ja sügisel. Haardeteguri ja makrotekstuuri muutused on toodud joonistel 18 ja 19. Makrotekstuuri muutused on mõõtelõikudel tunduvalt suuremas seoses, kui haardeteguri muutused.



Joonis 18. Teekatte haardeteguri muutumine suvi vs sügis



Joonis 19. Teekatte makrotekstuuri muutumine suvi vs sügis

Tabel 2. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri erinevus suvel ja sügisel

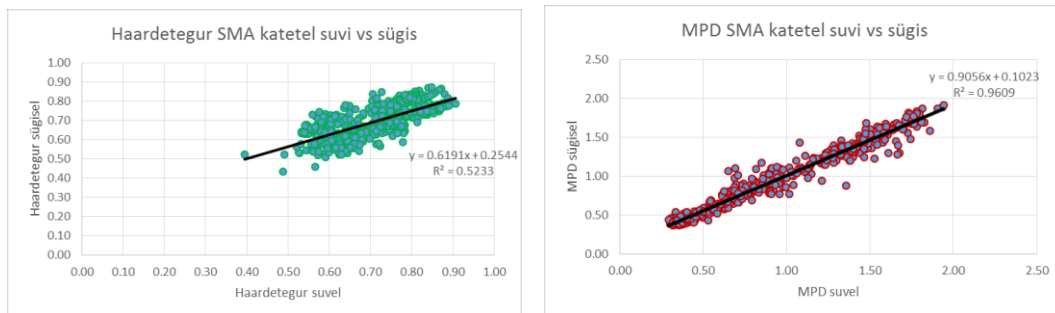
| Teenr  | Stee | Teeosa | Rada | $\mu_{\text{suvi}}$ | MPD <sub>suvi</sub> | $\mu_{\text{sügis}}$ | MPD <sub>sügis</sub> | Katte liik | Katte vanus, aastat | $\mu_{\text{erinevus}}$ | MPD erinevus |
|--------|------|--------|------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| 1      | 1    | 10     | 1    | 0.63                | 0.51                | 0.70                 | 0.56                 | SMA12      | 5                   | 0.07                    | 0.05         |
| 1      | 1    | 10     | 2    | 0.76                | 1.00                | 0.81                 | 0.98                 | SMA12      | 5                   | 0.05                    | -0.02        |
| 2      | 2    | 3      | 8    | 0.80                | 1.50                | 0.75                 | 1.51                 | SMA12      | 8                   | -0.05                   | 0.02         |
| 2      | 2    | 3      | 9    | 0.66                | 0.68                | 0.65                 | 0.78                 | SMA12      | 8                   | -0.01                   | 0.09         |
| 2      | 2    | 4      | 8    | 0.84                | 1.60                | 0.75                 | 1.56                 | SMA12      | 8                   | -0.09                   | -0.05        |
| 2      | 2    | 4      | 9    | 0.66                | 0.80                | 0.63                 | 0.84                 | SMA12      | 8                   | -0.04                   | 0.04         |
| 2      | 2    | 5      | 8    | 0.88                | 1.58                | 0.78                 | 1.51                 | SMA12      | 8                   | -0.10                   | -0.07        |
| 2      | 2    | 5      | 9    | 0.73                | 0.98                | 0.65                 | 0.98                 | SMA12      | 8                   | -0.08                   | 0.00         |
| 11     | 1    | 5      | 1    | 0.69                | 1.20                | 0.61                 | 1.21                 | SMA12      | 4                   | -0.08                   | 0.01         |
| 11     | 1    | 5      | 2    | 0.77                | 1.55                | 0.73                 | 1.53                 | SMA12      | 4                   | -0.04                   | -0.02        |
| 15     | 1    | 10     | 1    | 0.61                | 0.40                | 0.60                 | 0.44                 | SMA12      | 10                  | -0.01                   | 0.04         |
| 15     | 1    | 10     | 9    | 0.69                | 0.53                | 0.64                 | 0.56                 | SMA12      | 10                  | -0.05                   | 0.03         |
| 11     | 1    | 4      | 1    | 0.62                | 1.29                | 0.60                 | 1.28                 | SMA16      | 1                   | -0.03                   | -0.01        |
| 11     | 1    | 4      | 2    | 0.76                | 1.41                | 0.78                 | 1.39                 | SMA16      | 1                   | 0.02                    | -0.03        |
| 15*    | 1    | 11     | 1    | 0.48                | 1.63                | 0.71                 | 1.58                 | SMA16      | 0                   | 0.23                    | -0.05        |
| 15*    | 1    | 11     | 9    | 0.48                | 1.64                | 0.71                 | 1.69                 | SMA16      | 0                   | 0.23                    | 0.05         |
| 15*    | 1    | 12     | 1    | 0.51                | 1.70                | 0.73                 | 1.58                 | SMA16      | 0                   | 0.22                    | -0.11        |
| 15*    | 1    | 12     | 9    | 0.58                | 1.61                | 0.71                 | 1.63                 | SMA16      | 0                   | 0.13                    | 0.02         |
| 2      | 1    | 7      | 1    | 0.55                | 0.33                | 0.60                 | 0.34                 | AC12       | 6                   | 0.05                    | 0.01         |
| 2      | 1    | 7      | 9    | 0.62                | 0.40                | 0.67                 | 0.44                 | AC12       | 6                   | 0.06                    | 0.04         |
| 11     | 1    | 1      | 1    | 0.53                | 0.34                | 0.55                 | 0.37                 | AC12       | 8                   | 0.01                    | 0.03         |
| 11     | 1    | 1      | 9    | 0.59                | 0.41                | 0.60                 | 0.43                 | AC12       | 8                   | 0.01                    | 0.02         |
| 11     | 1    | 2      | 1    | 0.58                | 0.42                | 0.55                 | 0.41                 | AC12       | 8                   | -0.02                   | -0.02        |
| 11     | 1    | 2      | 9    | 0.55                | 0.39                | 0.61                 | 0.42                 | AC12       | 8                   | 0.06                    | 0.02         |
| 15     | 1    | 5      | 1    | 0.57                | 0.34                | 0.63                 | 0.40                 | AC12       | 1                   | 0.06                    | 0.06         |
| 15     | 1    | 5      | 9    | 0.62                | 0.40                | 0.65                 | 0.43                 | AC12       | 1                   | 0.02                    | 0.03         |
| 11401  | 1    | 1      | 1    | 0.59                | 0.38                | 0.63                 | 0.40                 | AC12       | 2                   | 0.04                    | 0.02         |
| 11401  | 1    | 1      | 9    | 0.57                | 0.35                | 0.56                 | 0.35                 | AC12       | 2                   | -0.01                   | 0.00         |
| 2      | 1    | 8      | 1    | 0.62                | 0.55                | 0.64                 | 0.61                 | AC16       | 3                   | 0.02                    | 0.06         |
| 2      | 1    | 8      | 9    | 0.62                | 0.50                | 0.67                 | 0.56                 | AC16       | 3                   | 0.05                    | 0.05         |
| 11251* | 1    | 1      | 1    | 0.55                | 0.69                | 0.74                 | 0.67                 | AC16       | 0                   | 0.19                    | -0.02        |
| 11251* | 1    | 1      | 9    | 0.55                | 0.67                | 0.67                 | 0.62                 | AC16       | 0                   | 0.12                    | -0.05        |
| 1      | 1    | 31     | 1    | 0.76                | 0.42                | 0.75                 | 0.46                 | pindamine  | 4                   | -0.01                   | 0.04         |
| 1      | 1    | 31     | 9    | 0.75                | 0.42                | 0.78                 | 0.44                 | pindamine  | 4                   | 0.02                    | 0.03         |
| 13     | 1    | 7      | 1    | 0.82                | 0.46                | 0.77                 | 0.51                 | pindamine  | 6                   | -0.05                   | 0.05         |
| 13     | 1    | 7      | 9    | 0.80                | 0.67                | 0.83                 | 0.83                 | pindamine  | 6                   | 0.03                    | 0.15         |
| 13     | 1    | 8      | 1    | 0.82                | 0.58                | 0.78                 | 0.61                 | pindamine  | 6                   | -0.04                   | 0.04         |
| 13     | 1    | 8      | 9    | 0.79                | 0.52                | 0.80                 | 0.61                 | pindamine  | 6                   | 0.01                    | 0.09         |
| 17     | 1    | 3      | 1    | 0.76                | 0.44                | 0.83                 | 0.46                 | pindamine  | 5                   | 0.07                    | 0.02         |
| 17     | 1    | 3      | 9    | 0.77                | 0.43                | 0.82                 | 0.48                 | pindamine  | 5                   | 0.05                    | 0.04         |
| 22     | 1    | 5      | 1    | 0.84                | 0.89                | 0.80                 | 1.05                 | pindamine  | 3                   | -0.04                   | 0.16         |

| Teenr | Stee | Teeosa | Rada | $\mu_{\text{suvi}}$ | MPD <sub>suvi</sub> | $\mu_{\text{sügis}}$ | MPD <sub>sügis</sub> | Katte liik | Katte vanus, aastat | $\mu_{\text{erinevus}}$ | MPD erinevus |
|-------|------|--------|------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------|---------------------|-------------------------|--------------|
| 22    | 1    | 5      | 9    | 0.82                | 0.84                | 0.80                 | 0.95                 | pindamine  | 3                   | -0.02                   | 0.11         |
| 26    | 1    | 2      | 1    | 0.85                | 0.66                | 0.79                 | 0.69                 | pindamine  | 3                   | -0.06                   | 0.03         |
| 26    | 1    | 2      | 9    | 0.83                | 0.63                | 0.80                 | 0.67                 | pindamine  | 3                   | -0.03                   | 0.03         |
| 85    | 1    | 1      | 1    | 0.75                | 0.60                | 0.73                 | 0.65                 | pindamine  | 2                   | -0.02                   | 0.05         |
| 85    | 1    | 1      | 9    | 0.86                | 0.61                | 0.87                 | 0.70                 | pindamine  | 2                   | 0.02                    | 0.09         |
| 85    | 1    | 2      | 1    | 0.74                | 0.48                | 0.71                 | 0.56                 | pindamine  | 4                   | -0.03                   | 0.08         |
| 85    | 1    | 2      | 9    | 0.76                | 0.42                | 0.80                 | 0.50                 | pindamine  | 4                   | 0.04                    | 0.08         |
| 85    | 1    | 3      | 1    | 0.59                | 0.27                | 0.70                 | 0.35                 | pindamine  | 4                   | 0.11                    | 0.08         |
| 85    | 1    | 3      | 9    | 0.61                | 0.27                | 0.73                 | 0.35                 | pindamine  | 4                   | 0.12                    | 0.08         |
| 11108 | 1    | 1      | 1    | 0.82                | 1.43                | 0.84                 | 1.56                 | pindamine  | 1                   | 0.02                    | 0.12         |
| 11108 | 1    | 1      | 9    | 0.81                | 1.33                | 0.93                 | 1.48                 | pindamine  | 1                   | 0.12                    | 0.15         |
| 11113 | 1    | 1      | 1    | 0.70                | 0.43                | 0.73                 | 0.45                 | pindamine  | 2                   | 0.03                    | 0.03         |
| 11113 | 1    | 1      | 9    | 0.70                | 0.41                | 0.74                 | 0.45                 | pindamine  | 2                   | 0.04                    | 0.04         |
| 11310 | 1    | 4      | 1    | 0.87                | 0.95                | 0.87                 | 0.99                 | pindamine  | 8                   | 0.01                    | 0.04         |
| 11310 | 1    | 4      | 9    | 0.89                | 0.95                | 0.90                 | 0.98                 | pindamine  | 8                   | 0.01                    | 0.02         |
| 11390 | 1    | 3      | 1    | 0.66                | 0.39                | 0.71                 | 0.38                 | pindamine  | 6                   | 0.05                    | -0.01        |
| 11390 | 1    | 3      | 9    | 0.57                | 0.31                | 0.63                 | 0.32                 | pindamine  | 6                   | 0.06                    | 0.01         |
| 11390 | 1    | 4      | 1    | 0.57                | 0.36                | 0.63                 | 0.34                 | pindamine  | 6                   | 0.05                    | -0.02        |
| 11390 | 1    | 4      | 9    | 0.62                | 0.38                | 0.64                 | 0.37                 | pindamine  | 6                   | 0.02                    | -0.01        |

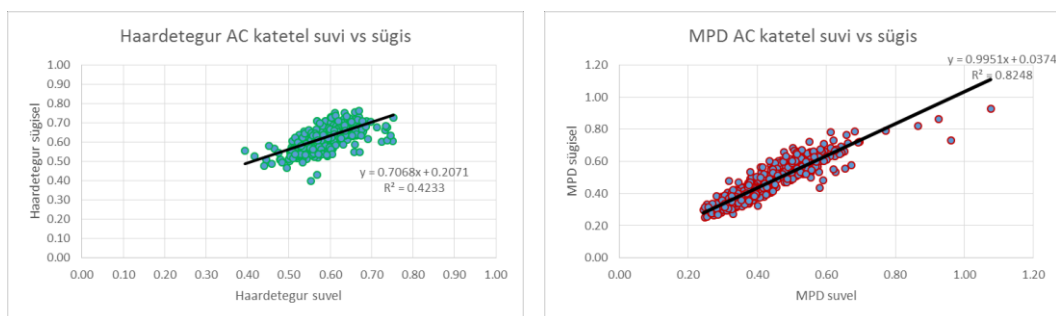
\* - uus kate

Tabelis 2 toodud mõõtmistulemustest on näha, et haardeteguri muutus aasta jooksul ei ole kõigil katte liikidel ühesuunaline. Selge haardeteguri vähenemine on tuvastatav uutel asfaltkatetel ning mõnevõrra väiksem haardeteguri vähenemine on toimunud SMA-tüüpi katetel. Samas kui AC ja pinnatud katetel muutub haardetegur võrreldes suvega suuremaks. See on vastuolus 2014. a teostatud uuringus [3] leituga, kus haardeteguri muutus oli selgelt halvenemise suunas. Peamine erinevus nende erinevate mõõtmiste juures on teekatte temperatuur, seda nii mõõtmiste teostamise hetkel, kui ka vahetult eelneval perioodil (nädalal). Ehk madalaima haardeteguriga on teekatted perioodil juuli-august, kui teekatted on soojad ning sideaine viskoossus on madal. Seega on madalaima haardeteguri tuvastamiseks sobiv mõõtmiste aeg suvi.

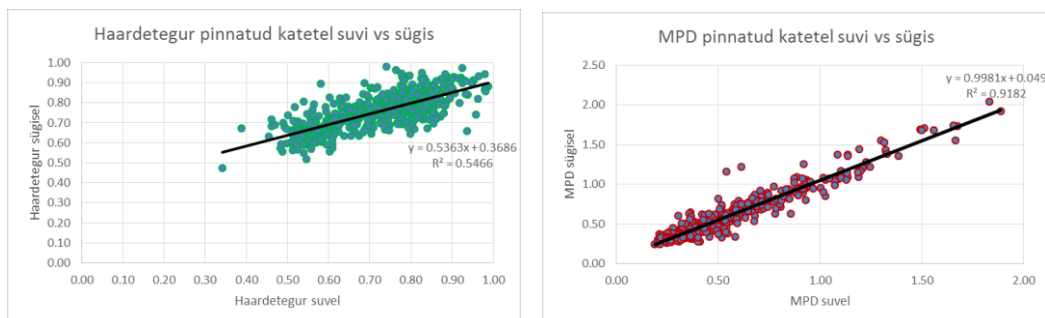
Haardeteguri ja tekstuuri muutused on toodud joonistel 20-23.



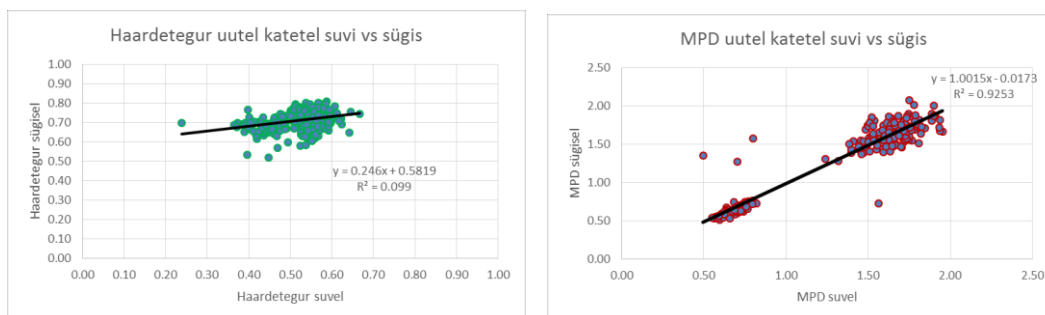
Joonis 20. Teekatte tekstuur ja haardetegur SMA katetel suvel vs sügisel



Joonis 21. Teekatte tekstuur ja haardetegur AC katetel suvel vs sügisel



Joonis 22. Teekatte tekstuur ja haardetegur pinnatud katetel suvel vs sügisel



Joonis 23. Teekatte tekstuur ja haardetegur uutel katetel suvel vs sügisel

## 2. ENNUSTUSMUDELITE RAKENDAMINE

## VÄLJATÖÖTAMINE

## JA

### Ennustusmodelite väljatöötamine

Makrotekstuuri ja teiste asjakohaste ning teadaolevate parameetrite mõju hindamiseks haardetegurile töötati välja matemaatilised mudelid. Andmestikuna on kasutatud käesoleva uurimistöö raames teostatud haardeteguri ja tekstuuri mõõtmisandmeid ning testlõikude kohta Teeregistris saadaolevat infot.

### Mõõtmisandmete puhastamine ja töötlus

LTM seadmega mõõdetud makrotekstuuri (MPD) ja ViaFriction seadmega mõõdetud haardeteguri ( $\mu$ ) andmestik töödeldi ja puhastati järgmiste etappidena:

- 5 meetri peale mõõdetud andmete tekstifailidest sisselugemine ja nendest ühtse andmestiku moodustamine;
- Tekstuuri andmete kontrolliks GPS koordinaatide järgi tee-aadresside lisamine;
- Haardeteguri ja tekstuuri andmetete kontroll mõõtmisplaani järgi;
- Andmete jaotamine kuupäeva järgi sügis ja suve perioodiks;
- Haardeteguri ja tekstuuriandmete kokkuviimine teeaadressi järgi, arvestades, et ViaFrictioniga registreeritud tulemused olid 10 m tagapool LTMiga registreeritud tulemustest;
- Pärast suvist mõõtmist remonti läinud mõõtmislõikude eemaldamine;
- Andmestikule teeregistri järgi Evaj, KAL, RASKP, VAAL, AR, segu tüübi, katte vanuse ja pindamise info lisamine;
- Andmestikust ekstreemsete väärtuste eemaldamine, kus  $\mu$  libisemise määr ei ole vahemikus 15 kuni 25 (seadistatud 20%) või kus MakroMPD väärtus on üle 2.5

Tulenevalt asjaolust, et kolm algselt andmestikku kaasatud ja suvel mõõdetud testlõiku ei olnud teostatud remonttööde tõttu analüüsis kasutatavad, asendati need 2016. aasta suvel valminud ja mõõdetud teelõikudega. Analüüsi käigus aga selgus, et haardeteguri jaotus nendel katetel on väga erinev üldisest

andmemahust. Nimelt olid 2016. aastal ehitatud katetel 15% lõikudest  $\mu$  väärtusega alla 0.5, samas kui ülejäänud andmestikust oli neid lõike vaid 2.8 %. Et 2016. aastal ehitatud katted ei mõjutaks liigselt ennustusmodelid, eemaldati need lõigud ennustusmodelite väljatöötamisest.

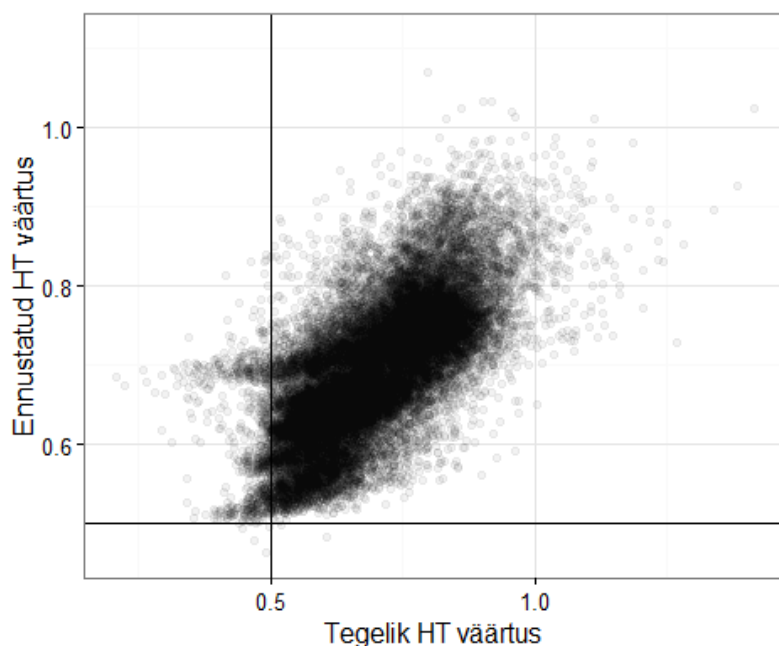
Välja töötati kahte tüüpi ennustusmodelid - regressioonmodelid ja klassifitseerimismudelid. Regressioonmodelitega ennustatakse  $\mu$ , kui sõltuva muutuja väärtust sõltumatute muutujate järgi. Sõltumatud muutujad olid nendel lõikudel mõõdetud tekstuuri näitajad ja teeregistri andmed. Klassifitseerimisel jagatakse ennustatav väärtus klassidesse ning luuakse mudel, millega leida vastava klassi väärtust sõltumatute muutujate järgi.  $\mu$  jagati kaheks klassiks, kus ühe klassi moodustasid väärtused allpoolt 0.5 ja teise klassi ülejäänud väärtused. Sõltumatud muutujad jäid klassifitseerimisel samaks, mis regressiooni puhul.

Mudelite väljatöötamiseks jaotati andmestik juhusliku valikuga pooleks. Üht osa andmestikust kasutati mudeli treenimiseks. Teist osa andmestikust kasutati mudeli testimiseks.

Mudelid töötati välja 5 m sammuga andmestiku peal.

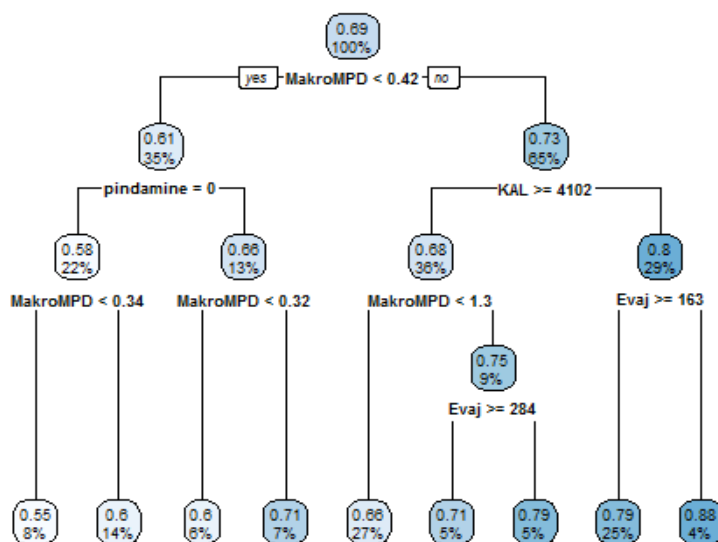
## **Regressioonanalüüsi tulemused**

Regressioonanalüüsis testiti nii mitme muutujaga lineaarregressiooni kui ka regressioonipuud. Lineaarsel regressioonil andis parimaid tulemusi mudel, mis võttis arvesse sõltumatute muutujatena MakroMPD, MegaRMS, MakroRMS, pindamine, SMA, AC, KAL, Periood, Evaj, RASKP, VAAB, AR ja Katvanus. Selle mudeli ennustustulemusi on näha alloleval joonisel. Mudeli  $R^2$  väärtus on 0.5.



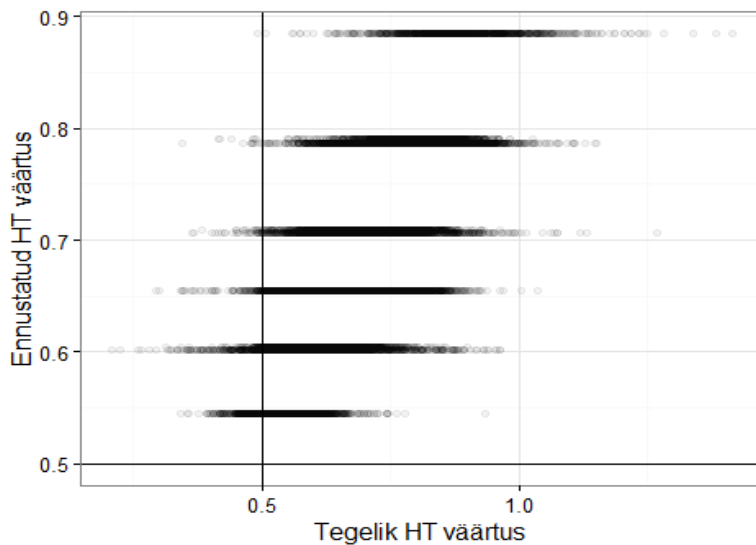
**Joonis 24. Lineaarregressiooni mudeli ennustustulemused**

Regressioonipuu mudel, mis võttis muutujatena arvesse lineaarse mudeliga samu näitajaid, andis ennustamisel veidi paremaid tulemusi. Mudeli väljundid on näha joonisel 25. Mudeli  $R^2$  väärtus on 0.57.



**Joonis 25. Regressioonipuu mudeli skeem**





**Joonis 26. Regressioonipuu mudeli ennustustulemused**

Siiski ei suuda kumbki mudel ennustada alla 0.5 olevaid  $\mu$  väärtusi. Selle põhjuseks on ilmselt nende väärtuste väga väike osakaal andmestikus (vaid 2.8%). Et neid väärtuseid paremini üles leida kasutati klassifitseerimist, kus ei ennustata mitte otseselt  $\mu$  väärtust, vaid seda, kas see väärtus on alla või üle 0.5.

### Klassifitseerimine

Klassifitseerimiseks jagati  $\mu$  väärtuse järgi andmestik kaheks:

- Lõigud, kus  $\mu$  väärtus oli alla 0.5 loeti probleemseteks (väärtus 0);
- Lõigud, kus  $\mu$  väärtus oli võrdne või üle 0.5 loeti korras olevaks (väärtus 1).

Samuti loodi klassid KAL ja Evaj väärtustele, et mudelit oleks parem rakendada kogu teeregistri andmestikule. Evaj väärtused jagati kolme klassi piiridega 120, 180 ja 250. KAL väärtused jagati samuti kolme klassi piiridega 1000, 4000 ja 10000.

Klassifitseerimisel testiti logit, otsustuspuu ja random forest mudeleid. Logit mudel annab tulemuseks sündmuse tõenäosuse 0 ja 1 vahel, kus 1 on kindel sündmus. Otsustuspuu puhul jõutakse läbi erinevate muutujate parameetrite väärtuseni vastava klassifikatsioonini, siinkohal 0 ( $\mu$  on probleemne) või 1 ( $\mu$  on korras).

Random forest tulem on sarnane otsustuspuule, kuid võttes mitu juhuvalikut andmestikus ning katsetades ja parendades iga kord loodud puu mudelit.

### Logistiline regressioon

Logistilise regressiooni puhul andis parimaid tulemusi samuti mudel, kus oli arvestatud kõiki võimalikke sõltumatuid muutujaid (MakroMPD, MegaRMS, MakroRMS, KAL, Evaj, SMA, AC, pindamine, PerioodSuvi, Katvanus, RASKP, VAAB, AR). Muutujate vähendamisel ennustustäpsus vähenes.

|                                           | Ennustatud_korras | Ennustatud_probleemne |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{probleemne}}$ | 165               | 629                   |
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{korras}}$     | 23363             | 5686                  |

Esimese mudeli ennustustulemused on näha üleval. Mudel suutis korrektselt leida 629 juhtu, kus haardeteguriga on probleeme. 165 juhtu jäi avastamata ja 5686 olid vale-positiivsed, ehk mudeli järgi probleemsed, kuid tegelikult korras. Seega suudab mudel tuvastada probleemseid teelõike 11% tõenäosusega.

Kasutades mudeli ehitamiseks klassidesse jaotatud KALi ja Evaj väärtusi on vale-positiivsete väärtuste arv suurem.

|                                           | Ennustatud_korras | Ennustatud_probleemne |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{probleemne}}$ | 162               | 632                   |
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{korras}}$     | 22098             | 6951                  |

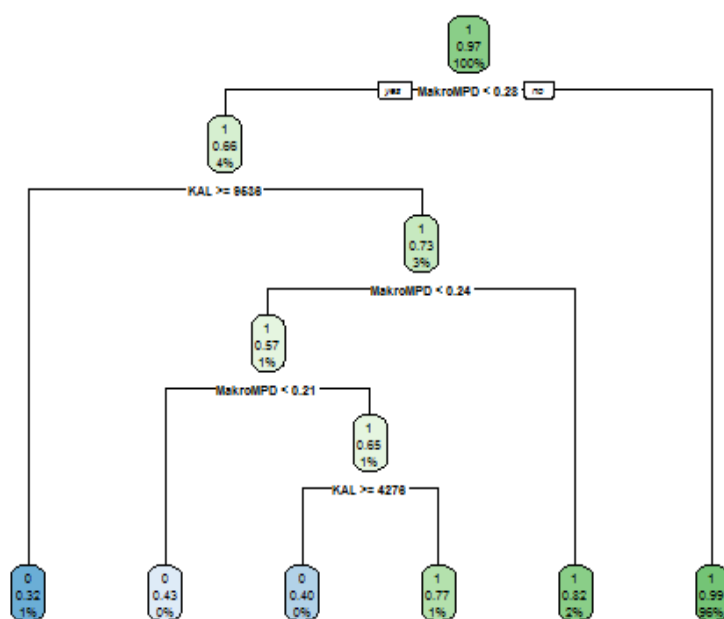
Mudel, mis kasutab ennustamiseks vaid tekstuuri väärtusi, mõõtmise perioodi ja pindamist ja AC ning SMA väärtusi, annab järgnevaid tulemusi. Suudetakse korrektselt ennustada rohkem probleemseid väärtusi, kui eelnevate mudelitega.

Samuti on vale-positiivsete väärtuste arv väiksem kui mudelitel, mis kasutavad klassidesse jagatud Evaj ja KAL väärtusi.

|                                           | Ennustatud_korras | Ennustatud_probleemne |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{probleemne}}$ | 145               | 649                   |
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{korras}}$     | 22423             | 6626                  |

### Otsustuspuu

Otsustuspuude puhul andis paremaid täpsemaid ennustusi järgnev puu. Kuigi otsustuspuu kaudu on vale-positiivsete ennustuste arv märgatavalt väiksem kui logit mudelitel, jäävad ligi pooled probleemsed kohad avastamata.



Joonis 27. Otsustuspuu mudeli skeem

|                                           | Ennustatud_korras | Ennustatud_probleemne |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{probleemne}}$ | 391               | 403                   |
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{korras}}$     | 28305             | 746                   |

Random forest ei anna paljulubavaid tulemusi. Põhiline probleem klassifitseerimisel on probleemsete kohtade vähesus andmestikus - alla 3%. Seega testiti kahte harva-juhtumi põhise lähenemist tulemuste ennustamisele, kus luuakse sünteetiliselt andmestikku juurde.

### Harva juhtumi põhine lähenemine ennustamisele

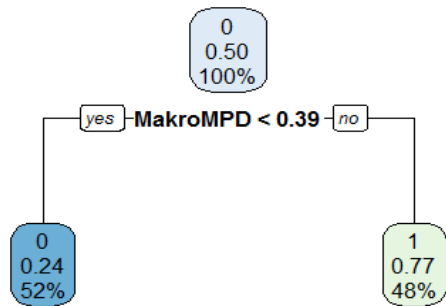
Harva juhtumi põhisel lähenemisel ennustamisel kasutatakse ennustusmudeleid algselt selleks, et luua andmeid juurde ja tekitada treenimisandmestikus olukord, kus kunstlikult on mõlema klassifikaatori (0 ja 1) kohta samapalju andmeid. Andmete genereerimiseks kasutatakse kahte meetodit SMOTE ja ROSE.

### SMOTE meetod

SMOTE on tehnika, mis võimaldab harvaesinevaid andmeid juurde genereerida, kasutades *bootstrappimist* (võetakse mitu korda uus juhuvalik andmetest) ja lähimate naabrite meetodit väärtuste ennustamiseks. (Rohkem infot <https://www.jair.org/media/953/live-953-2037-jair.pdf>).

Andmete SMOTE'imisel loodi kaks smote'itud testandmestikku. Esimesel kasutati andmete juurdegenereerimiseks muutujaid MakroMPD, pindamine, SMA, AC, KAL, Periood, RASKP, KAL, Evaj. Teisel kasutati vähem muutujaid - MakroMPD, pindamine, SMA, AC, Periood.

Mõlemal juhul oli võimalik leida üles enam probleemseid kohti, kui seda oli võimalik andmestikku laiendamata. Samas olid enamus loodud mudelitest liiga mõõdetud andmestiku spetsiifilised ja ei töötaks väga hästi varem nägemata andmete peal. Seega leidis siit rakendust mudel, mis teeb ennustused vaid enim mõju avaldava faktori järgi - MakroMPD. Kusjuures on MPD piirväärtuseks leitud 0.39 mm, mis annab 9% tõenäosusega madala haardeteguriga teelõigu.



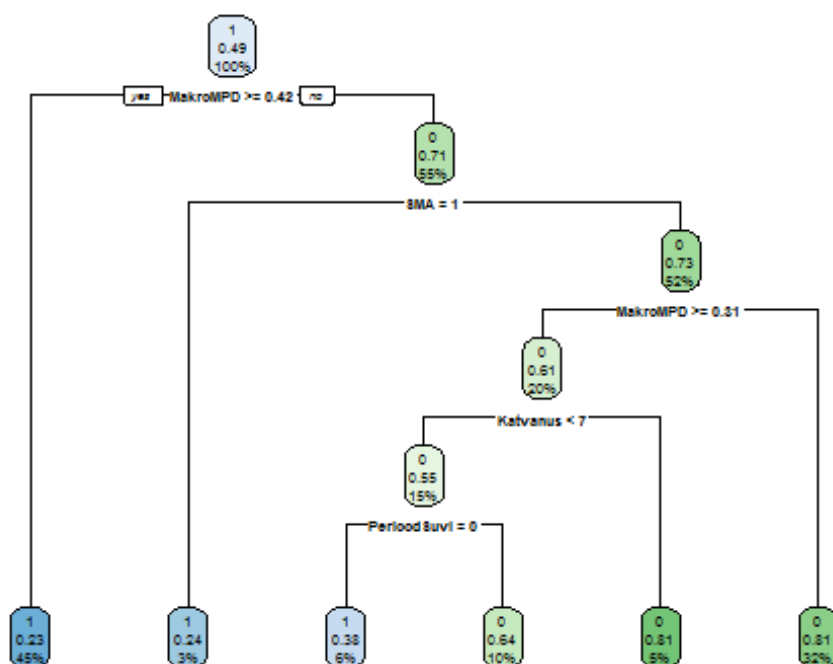
**Joonis 28. Smote tehnikaga saadud otsustuspuu skeem**

|                                   | Ennustatud_korras | Ennustatud_probleemne |
|-----------------------------------|-------------------|-----------------------|
| $\mu(\text{tegelik\_probleemne})$ | 126               | 668                   |
| $\mu(\text{tegelik\_korras})$     | 21870             | 7181                  |

## ROSE meetod

ROSE meetod kasutab andmete genereerimiseks bootstappimist ja juhuslikku andmevalikut. Täpsemalt saab meetodi kohta lugeda <https://journal.r-project.org/archive/2014-1/menardi-lunardon-torelli.pdf>. Andmestik genereeritakse muutujate MakroMPD, KAL, Evaj, KALKlass, EvajKlass, AC, SMA, pindamine, Katvanus ja PerioodSuvi järgi.

ROSE meetodil välja töötatud klassifitseerimise mudel annab suhteliselt häid tulemusi. Korrektselt suudetakse ennustada 652 juhtu, 142 juhtumit jääb mudelil probleemseks märkimata ja 5350 juhtumit on vale-positiivsed.



Joonis 29. ROSE meetodiga saadud otsustuspuu skeem

|                                           | Ennustatud_korras | Ennustatud_probleemne |
|-------------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{probleemne}}$ | 142               | 652                   |
| $\mu(\text{tegelik})_{\text{korras}}$     | 23701             | 5350                  |

### Ennustusmudelite kokkuvõte

Regressiooni kaudu ei olnud võimalik leida mudelit, mis võimaldaks leida lõike, kus  $\mu$  väärtus on alla 0.5. Klassifitseerimisel kaudu oli aga võimalik neid kohti üles leida. Tulemusi andsid logit mudel ning otsustuspuu mudel, kui seda rakendada täiendatud andmestikule.

Teeregistri andmetele rakendatakse logistilist regressiooni, ROSE otsustuspuu ja SMOTE otsustuspuu peal välja töötatud mudeleid. Nende tulemuste järgi on võimalik hinnata haardeteguri mõõtmisvajadust.

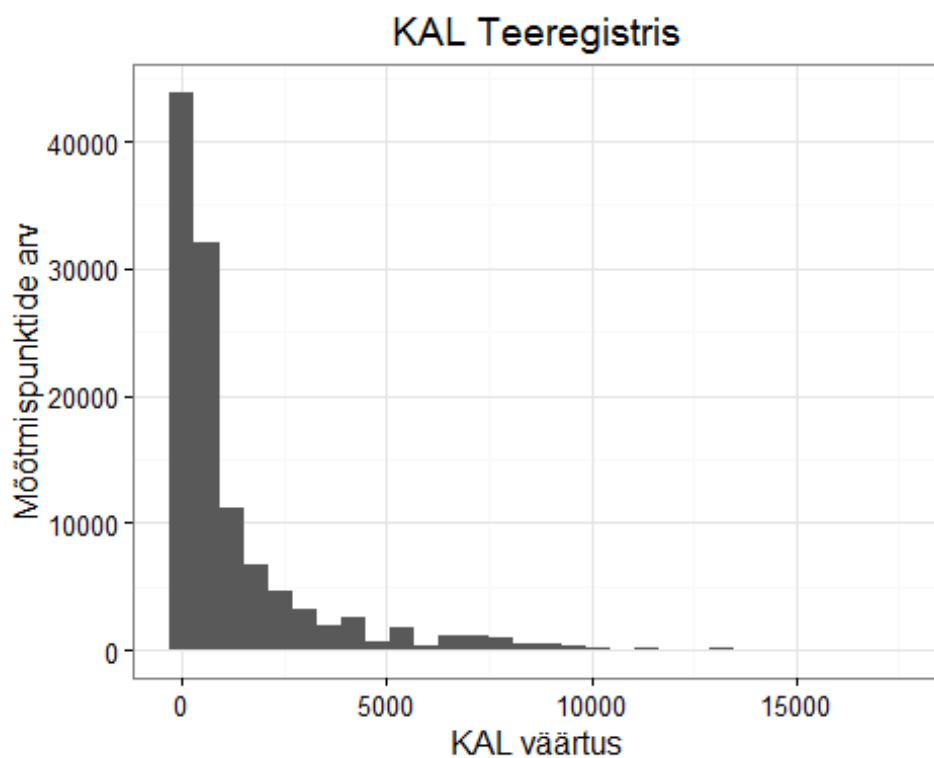
## Ennustusmudeli rakendamine teeregistri andmestikule

### Andmete puhastamine

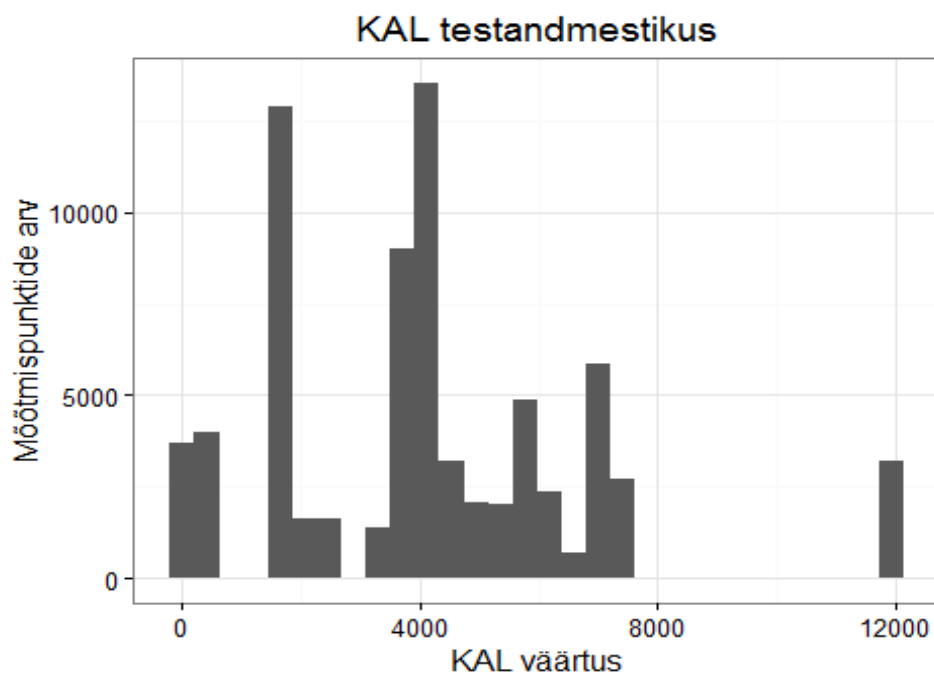
Teeregistri andmetest kaasati kõik riigimaanteed koos näitajatega MakroMPD, MegaRMS, MakroRMS, KAL, VAAB, AR, RASKP, PINDKP, TASKPV, EVAJALIK, KATVANUS, PINVANUS, KATEAASTA, KATVANUS, KATE, FRAKTS, SIDEAINE ja Segu.nimetus. Andmeid töödeldi järgmiste etappidena:

- Pindamise kuupäeva järgi leiti lõigud, kus on toimunud pindamine. Nendel lõikudel määrati katte vanuseks pindamise vanus tasasuse mõõtmise ajal, teistel lõikudel määrati katte vanuseks aeg katte vanus tasasuse mõõtmise ajal. Read, kus pindamine või katte remont oli tehtud pärast tasasuse mõõtmist, eemaldati andmestikust;
- Määrati lõikudel katteks pindamine, kui seal oli toimunud pindamine;
- Andmestikust eemaldati lõigud, mille kate ei olnud pindamine, SMA12, SMA16, AC12 või AC16;
- Vastavalt tasasuse mõõtmise kuupäevale määrati perioodiks suvi või sügis (mõõtmised alates septembrist loeti sügiseks);
- Kus võimalik asendati tekstuuri mõõtmisandmed 2016. aasta tekstuurmõõtmistega;
- Teeregistri andmestikule lisati KAL ja Evaj klassid samade piiridega, mis mõõdetud andmestikule.

Mudelite rakendamiseks võrreldi mõõdetud andmestikku ja teeregistri andmestikku iseloomustavaid näitajaid. Mõõdetud andmestikus on väga väike hulk lõike KAL-iga alla 1000, samas kui teeregistri andmestikus nende hulk märgatav (vt joonised 32 ja 33). Sarnast erinevust on näha ka MakroMPD juures. Kuna andmete jaotus mõjutab mudelite ehitamist, otsustati rakendada mudelid lõikudele, kus KAL on suurem kui 1000.

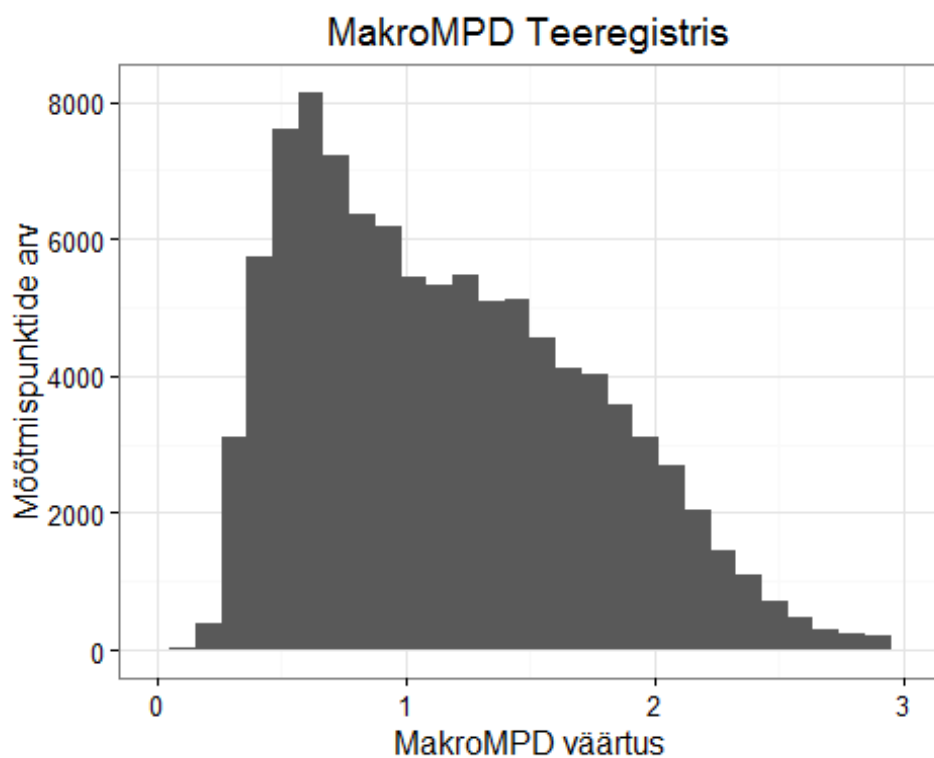


Joonis 30. Liiklussageduste jaotus Teeregistri andmetes

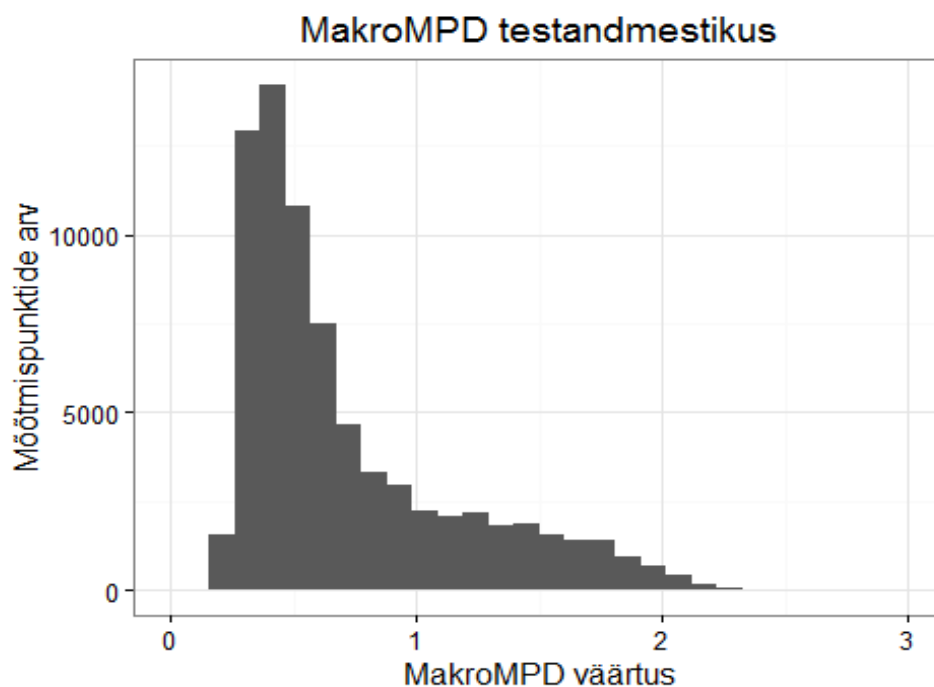


Joonis 31. Liiklussageduste jaotus testlõikude andmetes





Joonis 32. Makrotekstuuri MPD väärtuste jaotus Teeregistri andmetes

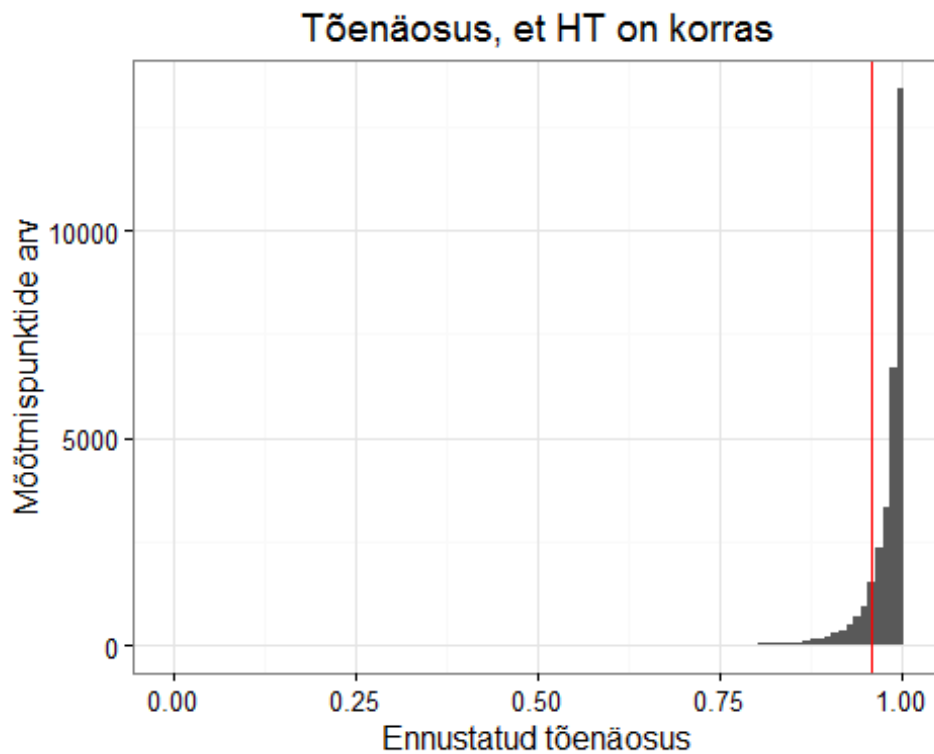


Joonis 33. Makrotekstuuri MPD väärtuste jaotus testlõikude andmetes

## Mudelite rakendamine

### Logit mudel

Logit mudel ennustab tõenäosust, et lõik on korras. Histogrammilt joonisel 34 on näha, kuidas jaotuvad ennustused kogu andmemahu ulatuses.

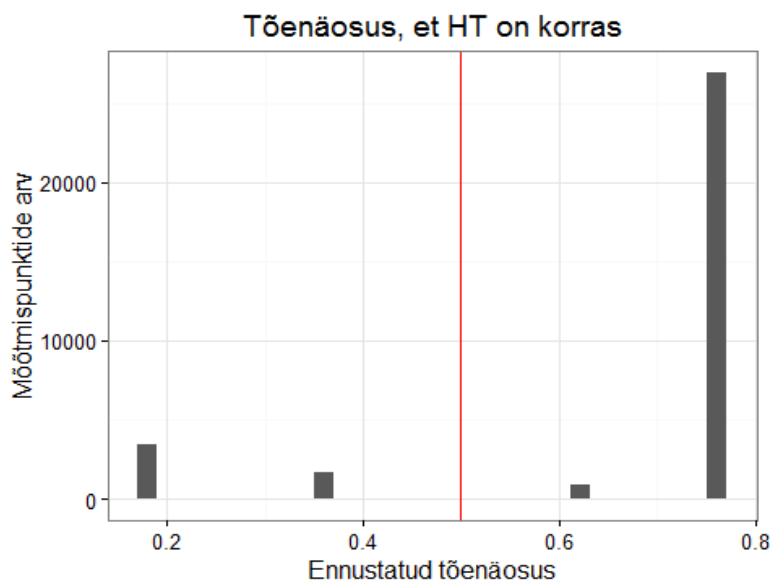


Joonis 34. Logit mudeli tulemuste jaotus

Lõigud, mille haardeteguriga võib olla probleeme on toodud Lisas 4. Nendel lõikudel andis mudel tõenäosuseks, et lõik on korras alla 90%. Lõigud on välja võetud teeosade kaupa, punktide arv näitab teeosal olevaid 100m lõike, kus võib olla probleem. Välja on filtreeritud need teeosad, kus punktide arv on alla viie.

### ROSE otsustuspuu mudel

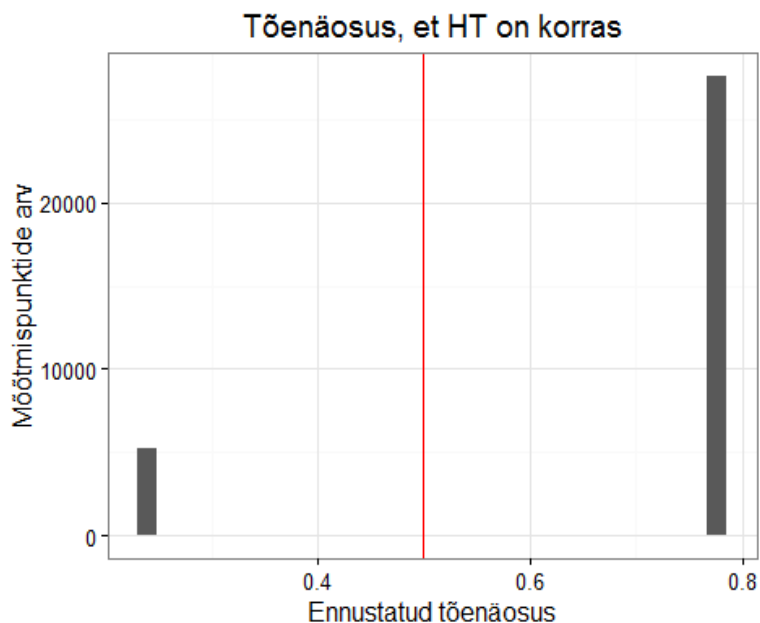
ROSE otsustuspuu mudel võttis arvesse MakroMPD, SMA, katte vanuse ja tasasuse mõõtmise perioodi. Ennustatud tulemused langesid otsustuspuu järgi nelja erinevasse klassi. Probleemseteks loeti mudeli lõigud tõenäosusega alla 0.5. ROSE mudeli järgi leitud lõigud on näha failis Lisa 4.



**Joonis 35. ROSE otsustuspuu tulemuste jaotus**

### SMOTE otsustuspuu ühe näitajaga

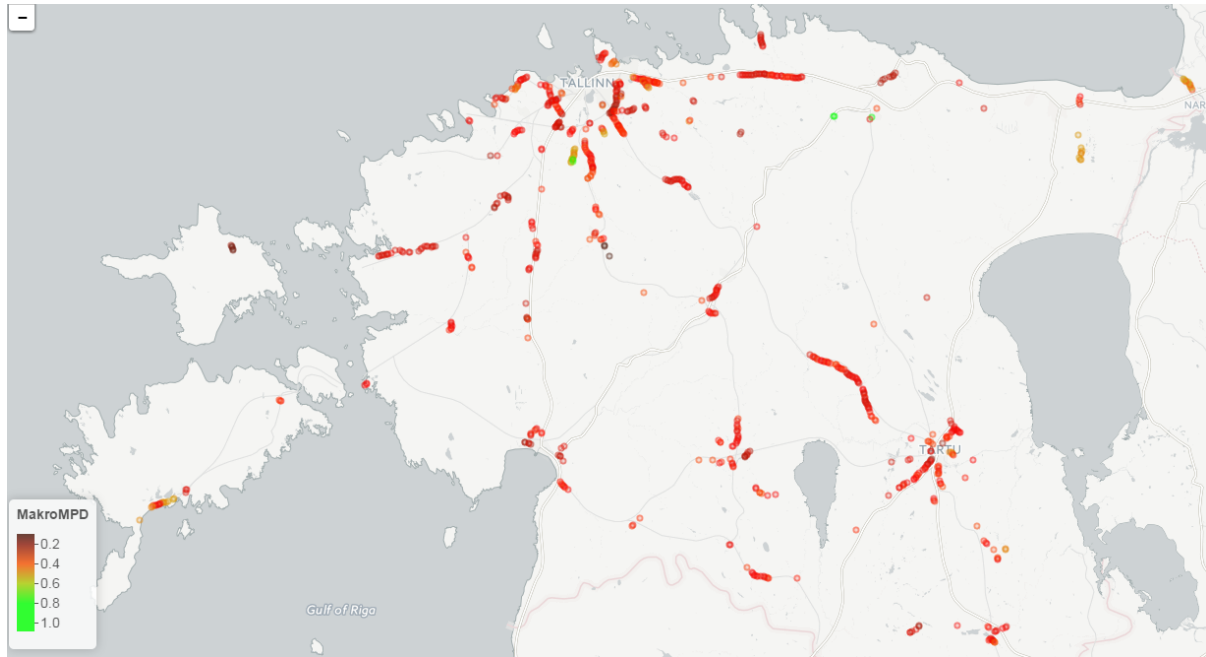
Viimaks testiti vaid ühe muutujaga mudelit teeregistri andmestiku peal. Selle kaudu leiti MakroMPD piiriks 0.39. Selle mudeliga oli probleemseteks määratud lõikude arv suurim. Lõigud on näha Lisas 4.



**Joonis 36. Smote otsustuspuu tulemuste jaotus**

## Haardeteguri mõõtmise vajadus

Järgnevalt leiti Teeregistri andmete alusel lõigud, kus kolmest mudelist lähtudes võib esineda haardeteguriga probleeme. Valitud on need lõigud, kus vähemalt kaks mudelit määrasid selle probleemseks. Ennustatud probleemsete lõikude kogupikkus on 193,5 km. Antud lõigud teesade kaupa on näha joonisel 37 ning tabelina lisas 5.



**Joonis 37. Ennustatud madala haardeteguriga teelõikude asukohad**

89%-l probleemsetest lõikudest on hinnangu aluseks asjaolu, et seal on MPD väärtus väiksem kui 0,39 mm ning 11% ennustatud madala haardeteguriga lõikudest on MPD väärtus sellest suurem. Seega on nendel 11%-l probleemseks liigitatud teelõikudest otsustuse aluseks mitte MPD väärtus, vaid mõni muu kriteerium.

### 3. SÄILITUSREMONTI ANALÜÜSIS KASUTATAVAD TEKSTUURI PIIRVÄÄRTUSED

Kattega riigiteede säilitusremonti objektide valikumetoodikas [4] on ühe kriteeriumina kasutusel teekatte makrotekstuuri MPD väärtused. Nimetatud metoodikas on teelõigud jagatud liiklussageduse alusel gruppidesse ning igale teegrupile on seatud erinevad piirväärtused. Teegruppide makrotekstuuri piirväärtused on toodud tabelis 3. Käesoleva töö üheks eesmärgiks on antud piirväärtuste täpsustamine.

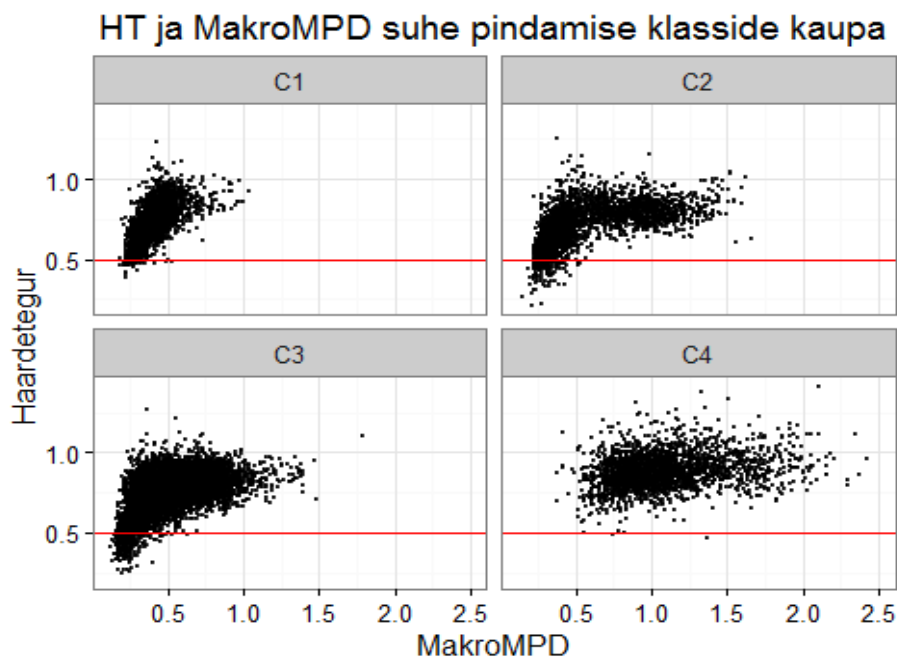
**Tabel 3. Säilitusremonti valikumetoodikas kasutatavad MakroMPD piirväärtused**

| Tee liik                       | Liiklussagedus, autot/ööp. |     |             |      |             |      |             |      |             |      |
|--------------------------------|----------------------------|-----|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
|                                | >4000                      |     | > 2000      |      | 501-2000    |      | 151-500     |      | <=150       |      |
| Põhi-, tugi- ja kõrvalmaanteed | Teegrupp C1                |     | Teegrupp C2 |      | Teegrupp C3 |      | Teegrupp C4 |      | Teegrupp C5 |      |
|                                | HP                         | KRP | HP          | KRP  | HP          | KRP  | HP          | KRP  | HP          | KRP  |
| MA_MPD <sub>min</sub>          | 0,45                       | 0,4 | 0,4         | 0,35 | 0,4         | 0,35 | 0,3         | 0,25 | 0,3         | 0,25 |

HP-hoiatuspiir

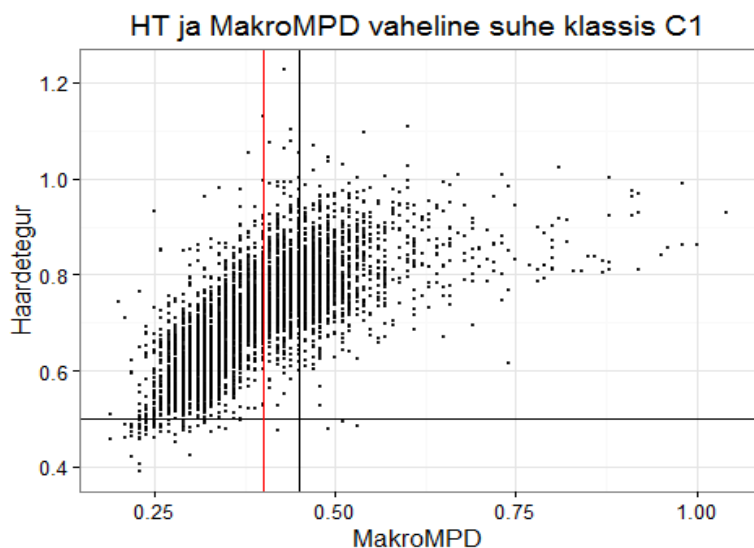
KRP- kriitiline piir

Piirväärtuste täpsustamiseks jagati mõõdetud pinnatud katted liiklussageduse alusel sarnastesse teegruppidesse nagu seda tehakse silitusremonti valikumetoodikas. Seejärel vaadeldi kuidas jagunevad nendel lõikudel mõõdetud MPD ja haardeteguri väärtused, et anda hinnang piirväärtuste asjakohasusele.



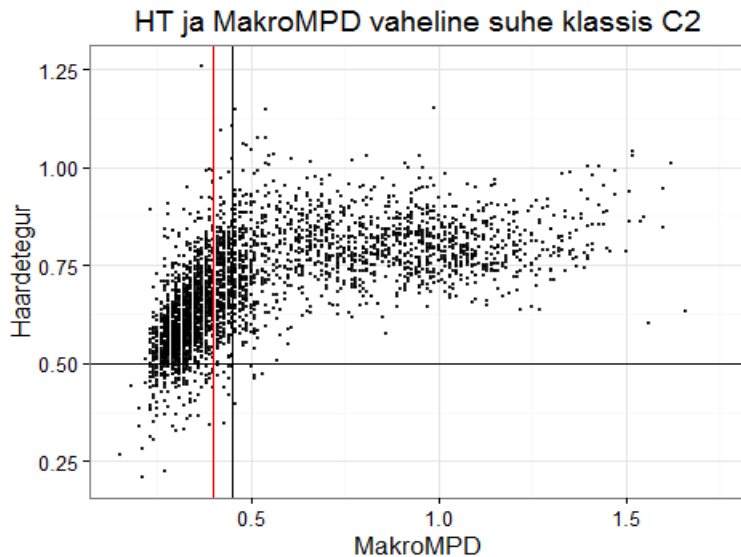
**Joonis 41. Haardeteguri ja MPD suhe teegruppide kaupa**

Joonisel 41 on näha, et klassis C4 ei ole mõõdetud andmestikus haardeteguriga probleeme. 75% MakroMPD väärtustest on suuremad kui 0.91 ja keskmine väärtus on 1.199. Vaid 5% MPD väärtused on alla 0.68. Seetõttu ei ole ka tekstuuri piirväärtust selles klassis võimalik hinnata.

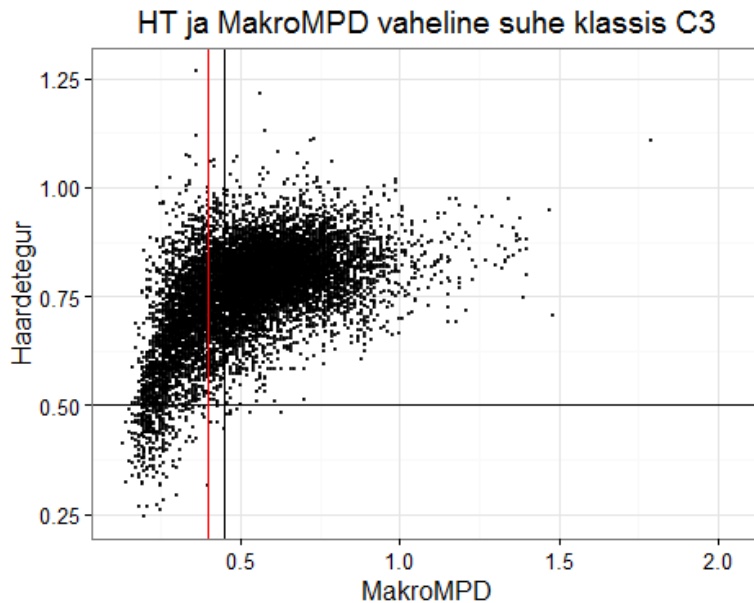


**Joonis 42. Haardeteguri ja MPD suhe teegrupis C1**

Kui vaadata kõiki ülejäänud teegruppe eraldi, siis on näha, et haardeteguri väärtused, mis on alla 0.5, jäävad taastusremondiks ettenähtud piiridest allapoole, samas jäävad nendest allapoole ka väga palju lõike, mille haardeteguri väärtus on üle 0.5.



Joonis 43. Haardeteguri ja MPD suhe teegrupis C2



Joonis 44. Haardeteguri ja MPD suhe teegrupis C3

Allpool on toodud tabelid, mis iseloomustavad MPD piiridel 0.5, 0.45, 0.4 ja 0.35 erinevates klassides neid lõike, mis kuuluksid vastavatel piiridel säilitusremondi alla. Lisaks on näidatud tabelis nende piiride juures olevate probleemsete haardeteguriga lõikude arv. Tabelis 4 on toodud 5 m mõõtelõikude hulk.

**Tabel 4. Teekatte tekstuur ja haardetegur erinevatel teegruppidel, km**

| Teegrupp | Kokku | MPD<br><0,5 | MPD<br><0,5 ja<br>$\mu < 0,5$ | MPD<br><0,45 | MPD<br><0,45<br>ja<br>$\mu < 0,5$ | MPD<br><0,4 | MPD<br><0,4 ja<br>$\mu < 0,5$ | MPD<br><0,35 | MPD<br><0,35<br>ja<br>$\mu < 0,5$ |
|----------|-------|-------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| C1       | 4726  | 4161        | 70                            | 3409         | 69                                | 2535        | 68                            | 1763         | 66                                |
| C2       | 3183  | 1959        | 160                           | 1728         | 157                               | 1386        | 146                           | 979          | 128                               |
| C3       | 10608 | 4665        | 284                           | 3539         | 278                               | 2636        | 274                           | 1853         | 265                               |
| C4       | 2306  | 8           | 0                             | 5            | 0                                 | 2           | 0                             | NA           | NA                                |

**Tabel 5. Teekatte tekstuur ja haardetegur erinevatel teegruppidel protsentsuaalselt**

| Teegrupp | MPD<br><0,5 | MPD<br><0,5 ja<br>$\mu < 0,5$ | MPD<br><0,45 | MPD<br><0,45<br>ja<br>$\mu < 0,5$ | MPD<br><0,4 | MPD<br><0,4 ja<br>$\mu < 0,5$ | MPD<br><0,35 | MPD<br><0,35<br>ja<br>$\mu < 0,5$ |
|----------|-------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------------|-------------|-------------------------------|--------------|-----------------------------------|
| C1       | 88,0%       | 1,5%                          | 72,1%        | 1,5%                              | 53,6%       | 1,4%                          | 37,3%        | 1,4%                              |
| C2       | 61,5%       | 5,0%                          | 54,3%        | 4,9%                              | 43,5%       | 4,6%                          | 30,8%        | 4,0%                              |
| C3       | 44,0%       | 2,7%                          | 33,3%        | 2,6%                              | 24,8%       | 2,6%                          | 17,4%        | 2,5%                              |
| C4       | 0,3%        | 0,0%                          | 0,2%         | 0,0%                              | 0,1%        | 0,0%                          | NA           | NA                                |

Tabelist on näha, et määrates säilitusremondile hetkel kehtivad piirid, siis jääb väga suur hulk lõike, kus haardetegur ei ole probleemne, nendesse piiridesse. Klassil C1 võib antud andmetiku järgi MakroMPD piiri nihutada 0.4-ni ilma, et ükski probleemse haardeteguriga lõik jääks avastamata. Samas tasub märkida, et



vaadeldud andmestikus on klassis C1 väga vähe lõike, kus haardeteguriga on probleeme.

Klassi C2 juures on võrreldes C1-ga protsentuaalselt rohkem lõike, kus haardeteguriga oleks probleeme ja liigutades piiri 0.4-lt 0.35-le väheneb 0.6 protsendipunkti jagu võrra probleemsete haardeteguriga kohtade avastamine. Klassis C3 juures ei ole piiri langetamisel probleemsete HT kohtade avastamisele antud andmestiku järgi mõju.

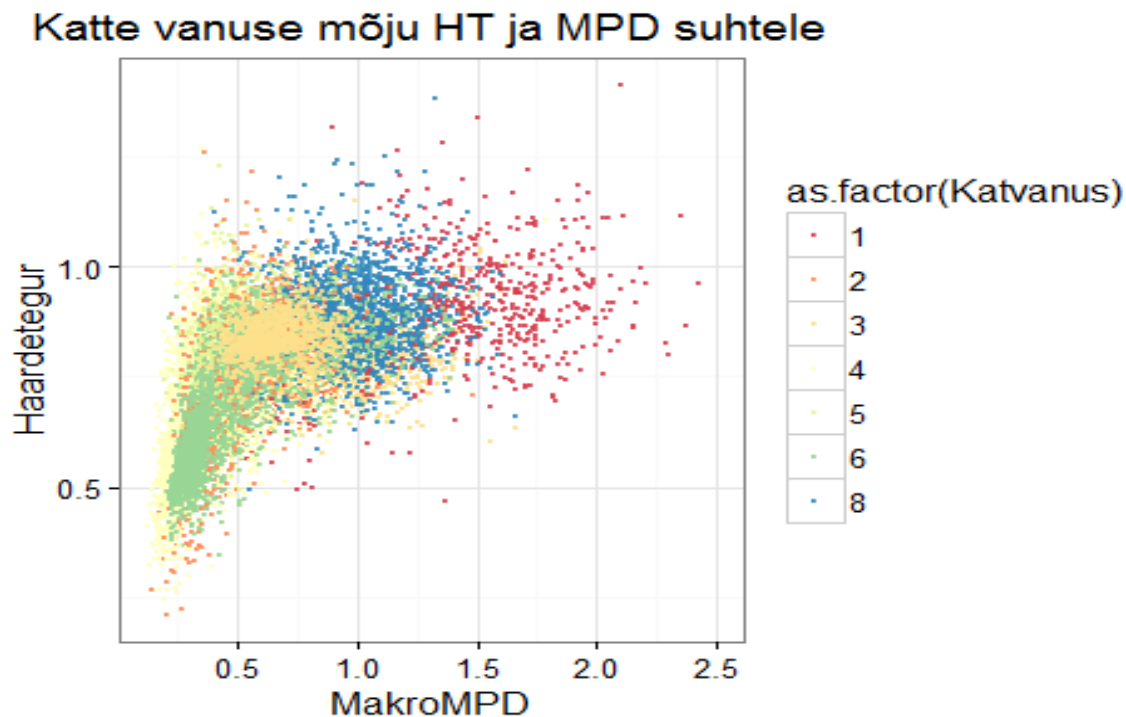
Antud analüüsile ja eelnevalt koostatud ennustusmodelite piiridele tuginedes võib MakroMPD piire langetada ilma, et jääks leidmata märkimisväärne hulk probleemse haardeteguriga lõike. Samas tasub märkida, et andmestik, mille pealt seda järeldust teha, on suhteliselt väike. Klassis C4 ei jäänud ühtegi lõiku varasematest piiridest allapoole ja ükski mõõdetud lõik ei olnud klassis C5, seega ei saa konkreetselt nende lõikude kohta andmestiku põhjal midagi järeldada. Ülejäänud klassides oli küll lõike, kuid lõikude väikese koguarvu tõttu on seal suur objektist tingitud varieeruvus. Seda ilmestab asjaolu, et klassis C2 on märgatavalt rohkem probleemse HT-ga lõike kui ülejäänud klassides. Kui lähtuda eelnevast analüüsist, kus probleemse haardeteguri indikaatoriks toodi MakroMPD väärtus alla 0.39 ja loogikast, et igas järgnevas klassis on MakroMPD piirväärtus eelmisest 0.05 võrra madalam, võib soovitada piirväärtuste üleüldist langetamist 0.05 võrra. Seejuures on oluline rõhutada, et soovitus on antud käesoleva uuringu raames teostatud mõõtmistulemuste põhjal, mis on suhteliselt väike andmemaht ning ei kajasta tingimataolukorda kogu pinnatud teedevõrgul.

**Tabel 6. Säilitusremondi valikumetoodikas kasutatavate MakroMPD piirväärtuste ettepanek**

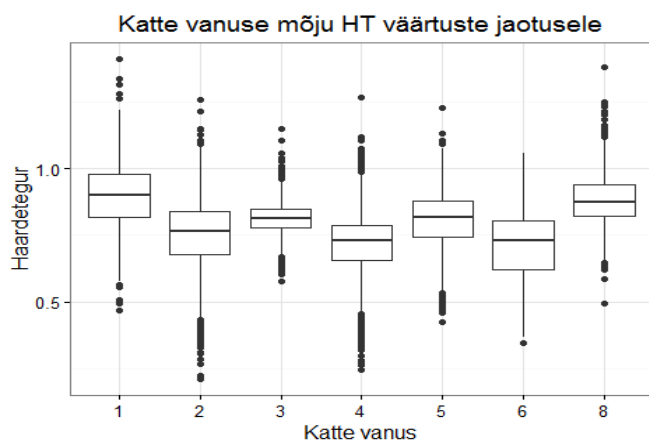
| Tee liik                                              | Liiklussagedus, autot/ööp. |      |             |      |             |      |             |      |             |      |
|-------------------------------------------------------|----------------------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
|                                                       | >4000                      |      | > 2000      |      | 501-2000    |      | 151-500     |      | <=150       |      |
| Põhi-, tugi- ja kõrvalmaanteed                        | Teegrupp C1                |      | Teegrupp C2 |      | Teegrupp C3 |      | Teegrupp C4 |      | Teegrupp C5 |      |
|                                                       | HP                         | KRP  | HP          | KRP  | HP          | KRP  | HP          | KRP  | HP          | KRP  |
| Soovitsuliku uued piirväärtused MA_MPD <sub>min</sub> | 0,40                       | 0,35 | 0,35        | 0,30 | 0,35        | 0,30 | 0,25        | 0,20 | 0,25        | 0,20 |
| Seni kasutusel olnud MA_MPD <sub>min</sub>            | 0,45                       | 0,4  | 0,4         | 0,35 | 0,4         | 0,35 | 0,3         | 0,25 | 0,3         | 0,25 |

**Pindamise vanuse mõju haardetegurile**

Pinnatud katete analüüsimiseks filtreeriti mõõdetud andmestikust välja pinnatud katted. Järgnevalt on näha joonis, mis kujutab pinnatud katete haardeteguri ja MakroMPD vahelist seost ja selle sõltuvust katte vanusest. Joonise järgi on seost keeruline tuletada, kuna kõige vanemad ja kõige nooremad katted annavad kõige kõrgema haardeteguri väärtuse. Probleemsed on vaid kahe kuni viie aastased pindamised. Lisaks on probleemsed lõigud suhteliselt väike osa kogu andmestikust.



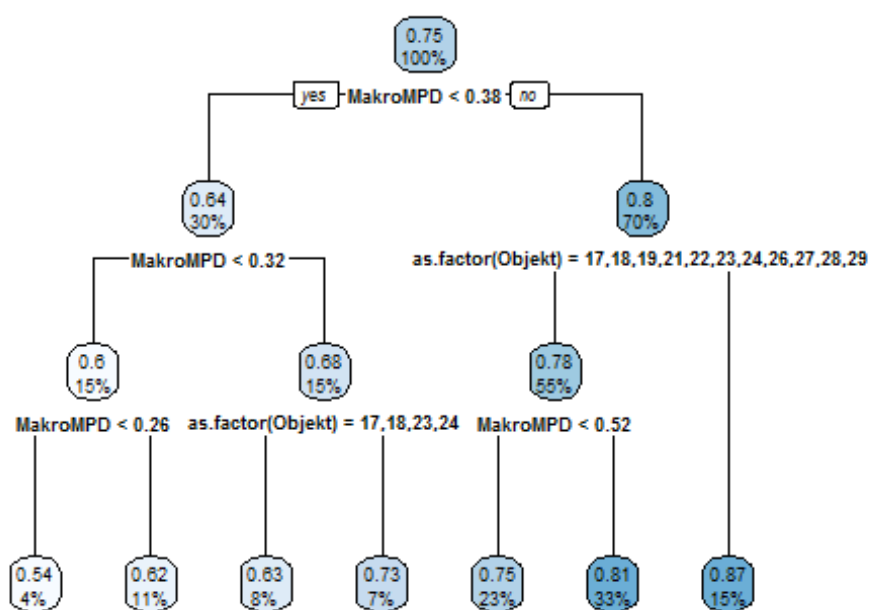
**Joonis 38. Haardeteguri ja MPD mõõtmistulemuste suhe pinnatud katetel**



**Joonis 39. Haardeteguri ja pindamise vanuse suhe pinnatud katetel**

Pindamise vanuse mõju selgitamiseks koostati mitme muutujaga lineaarne mudel ja otsustuspuu, kus mõlemal juhul võeti sõltumatuteks muutujateks MakroMPD, pindamise vanus, KAL, Evaj ja objekti kood. Mitme muutujaga regressiooni ega regressioonipuu järgi ei saa öelda, et pindamise vanus omaks mõju haardetegurile.

Samas võib see olla tingitud piiratud andmestikust. Otsustuspuu pealt on näha, et üheks kõige olulisemaks faktoriks haardeteguri määramisel on objekti kood. Kuna sarnased objektid käituvad ilmselt ühtemoodi võib siin olla haardeteguri mõjuriks mõni objektispetsiifiline muutuja. Seega osutus vaatluse alla võetud pinnatud teekatete valim ebasobivaks, et hinnata pindamise mõju haardetegurile ja tekstuurile



Joonis 40. Regressioonipuu mudeli skeem pinnatud katetel

## **4. TEEKATTE TEKSTUUR, HAARDETEGUR JA LIIKLUSOHUTUS**

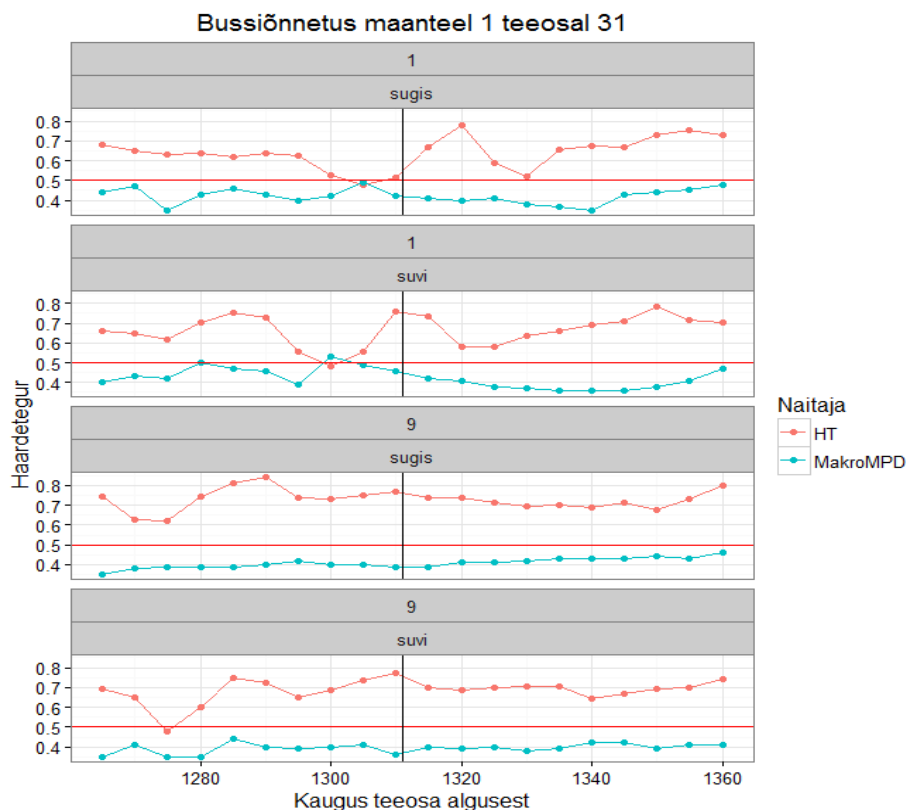
### **Bussiõnnetused**

Selgitamaks seoseid teekatte haardeteguri ja makrotekstuuri vahel viimastel aastatel toimunud suuremate bussiõnnetuste toimumiskohtades valiti mõõtmislõikude hulka neli sellist kohta teedevõrgul:

- Mnt nr 1 teeosa 31, km 125,658 – 2015. a;
- Mnt nr 22 teeosa 25, km 15,350 – 2016. a;
- Mnt nr 26 teeosa 2, km 11,093 – 2014. a;
- Mnt 85 teeosa 3, km 13,102 – 2014. a.

Algselt võeti valimisse viis õnnetuste toimumiskohta, kuid kuna maanteel nr 11390 oli pärast õnnetuse toimumist teostatud teekatte uuendustööd, siis loobuti sellest mõõtmislõigust.

Järgnevalt on vaadeldud kõiki uurimistöösse kaasatud nelja bussiõnnetust eraldi. Bussiõnnetuse asukohast lähtuvalt on mõõdetud andmestikust eraldatud 100 m lõik. Kuna ei ole teada, kummal sõidusuunal õnnetus toimus, on vaadeldud mõlemat sõidurada (rada 1 on suunal 1, rada 9 on suunal 2). Samuti on eraldi vaadeldud mõõtmise perioode (suvi ja sügis). Joonistel on vertikaalse joonena kujutatud liiklusõnnetuse asukoht. Joonise all olevas tabelis on näidatud haardeteguri keskmised väärtused 100m õnnetuse lõigule ja 15m enne õnnetuse asukohta (sõidusuunas). Andmestikust ei ole eemaldatud haardeteguri väärtusi, mille libisemise määr on alla 15 või üle 25.

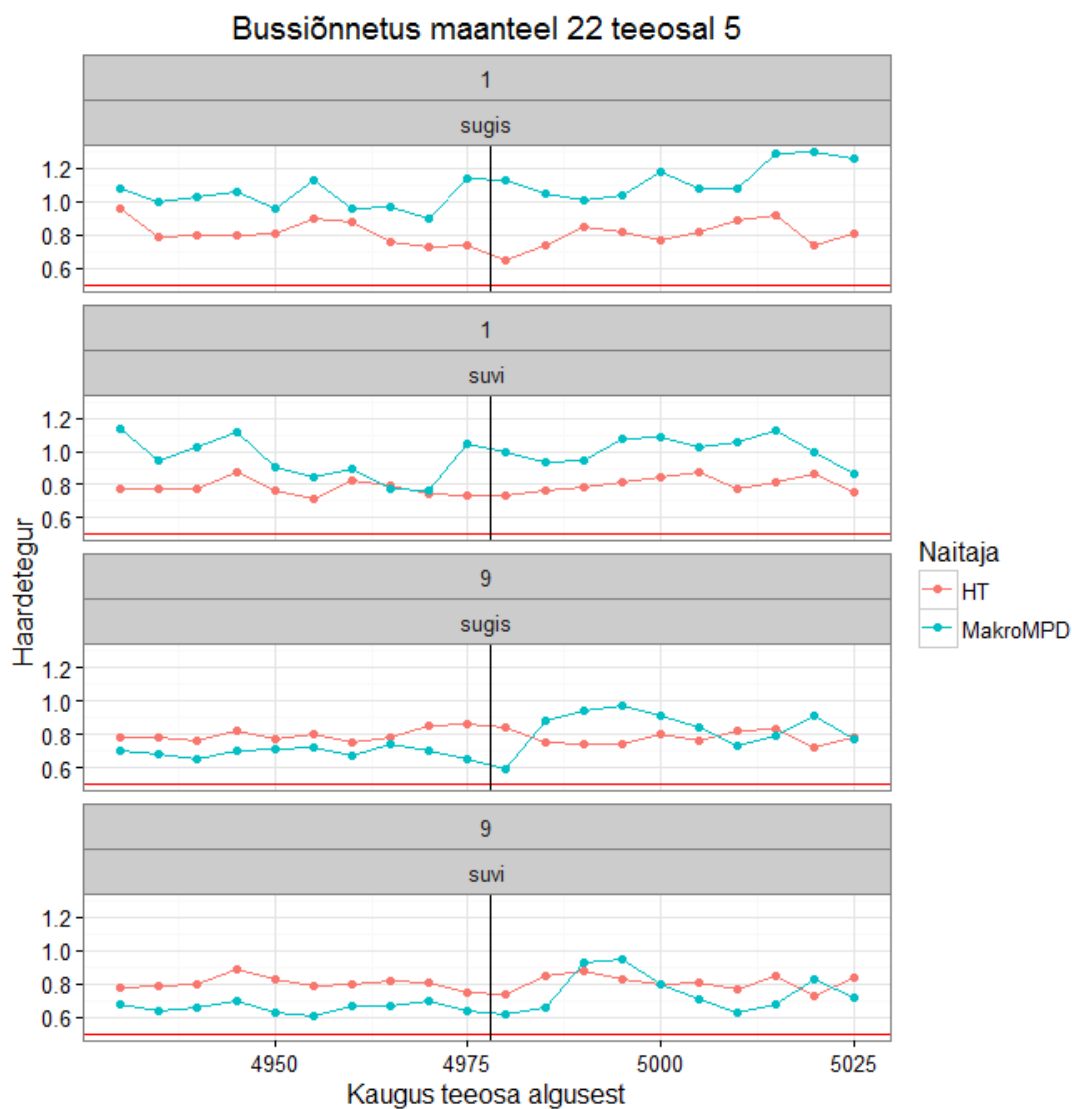
**Õnnetus 1 – mnt nr 1 teeosa 31****Joonis 45. Haardetegur ja MPD bussiõnnetuse 1 toimumiskohas**

Analüüsi on võetud mõlemad rajad, kuna lähteandmestikus ei olnud täpsustatud, kummal rajal õnnetus juhtus. Rajal 1 on punktides, kus haardetegur on madal, libisemisemäär nii suvel kui ka sügisel alla 15.

**Tabel 7. Haardeteguri ja MPD väärtused bussiõnnetuse 1 toimumiskohas**

| Rada | Periood | $\mu_{100m}$ | MakroMPD100m | $\mu_{15mEnne}$ | MakroMPD15mEnne |
|------|---------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1    | sugis   | 0.63840      | 0.4215       | 0.5053333       | 0.4433333       |
| 1    | suvi    | 0.66250      | 0.4235       | 0.5983333       | 0.4933333       |
| 9    | sugis   | 0.72925      | 0.4080       | 0.7300000       | 0.4033333       |
| 9    | suvi    | 0.68395      | 0.3935       | 0.6950000       | 0.3966667       |

## Õnnetus 2 – mnt nr 22 teeosa 5

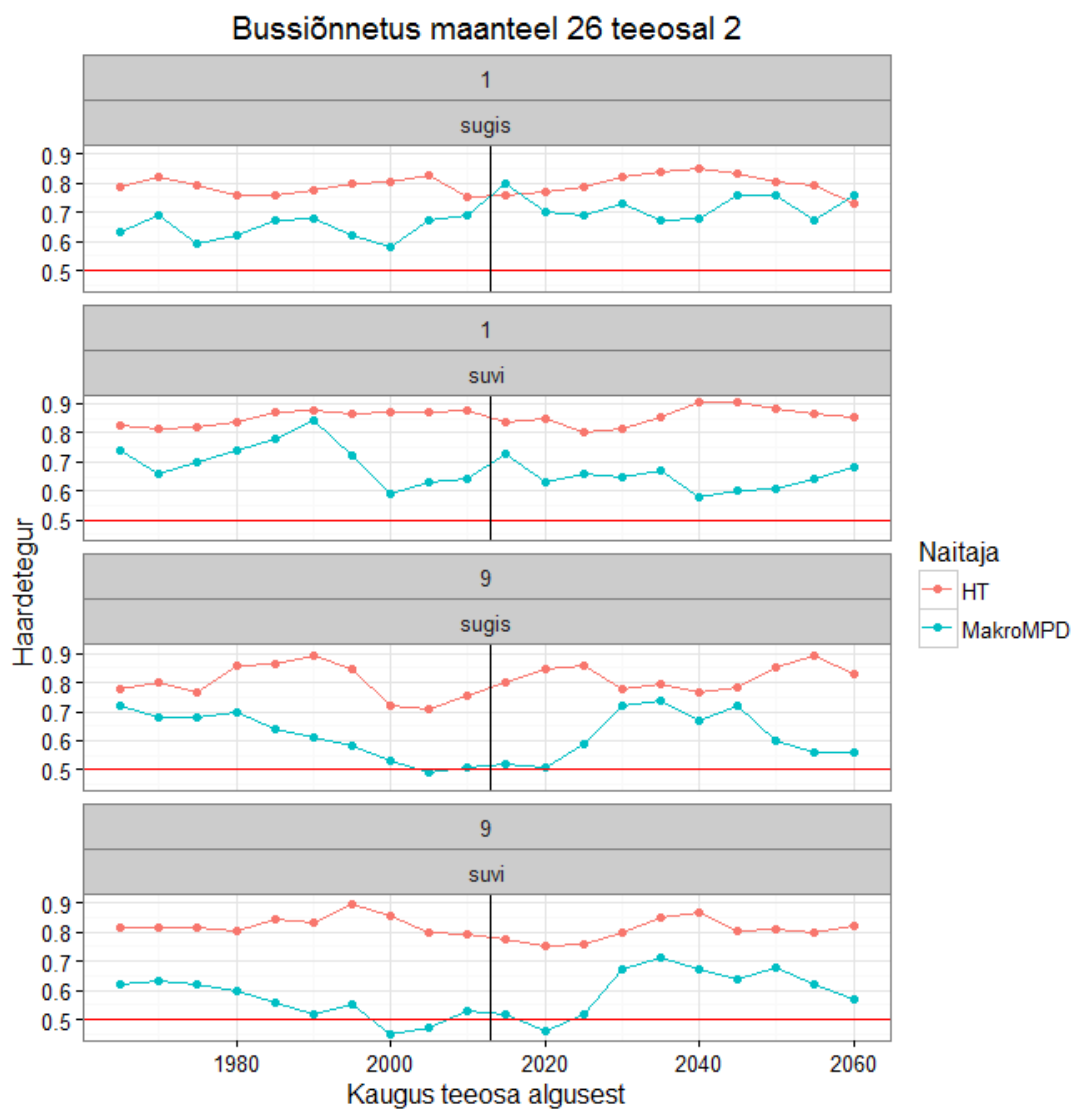


Joonis 46. Haardetegur ja MPD bussiõnnetuse 2 toimumiskohas

Tabel 8. Haardeteguri ja MPD väärtused bussiõnnetuse 2 toimumiskohas

| Rada | Periood | $\mu_{100m}$ | MakroMPD100m | $\mu_{15mEnne}$ | MakroMPD15mEnne |
|------|---------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1    | sugis   | 0.80775      | 1.0825       | 0.7423333       | 1.0033333       |
| 1    | suvi    | 0.79025      | 0.9815       | 0.7576667       | 0.8600000       |
| 9    | sugis   | 0.78855      | 0.7625       | 0.7800000       | 0.8033333       |
| 9    | suvi    | 0.80510      | 0.7065       | 0.8206667       | 0.7366667       |

## Õnnetus 3 mnt nr 26 teeosa 2



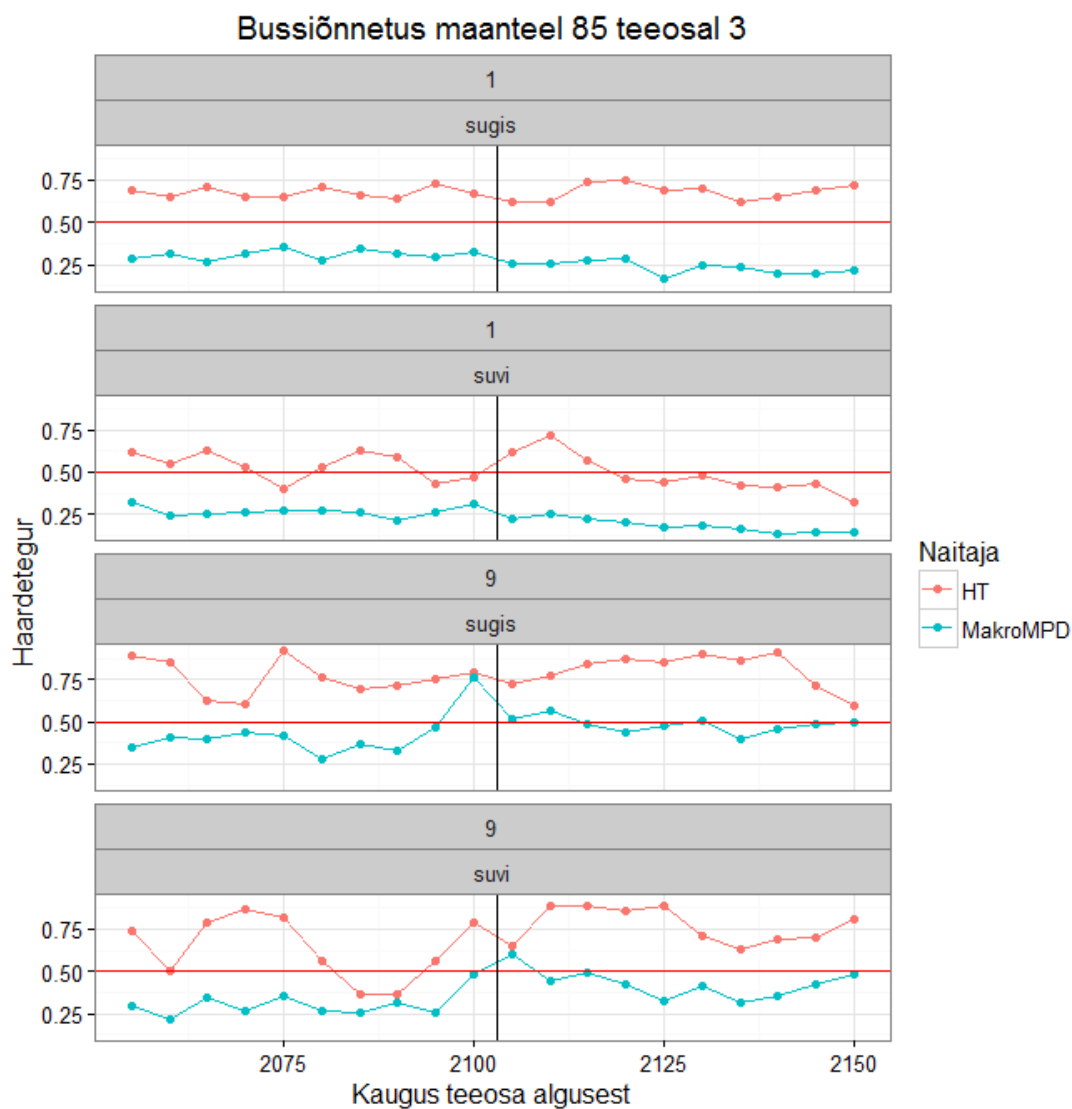
Joonis 47. Haardetegur ja MPD bussiõnnetuse 3 toimumiskohas

Tabel 9. Haardeteguri ja MPD väärtused bussiõnnetuse 3 toimumiskohas

| Rada | Periood | $\mu_{100m}$ | MakroMPD100m | $\mu_{15mEnne}$ | MakroMPD15mEnne |
|------|---------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1    | sugis   | 0.79315      | 0.6830       | 0.7953333       | 0.6466667       |
| 1    | suvi    | 0.85405      | 0.6745       | 0.8726667       | 0.6200000       |
| 9    | sugis   | 0.80940      | 0.6165       | 0.8340000       | 0.5400000       |
| 9    | suvi    | 0.81505      | 0.5805       | 0.7620000       | 0.5000000       |



## Õnnetus 4 – mnt nr 85 teeosa 3



Joonis 48. Haardetegur ja MPD bussiõnnetuse 4 toimumiskohas

Tabel 10. Haardeteguri ja MPD väärtused bussiõnnetuse 4 toimumiskohas

| Rada | Periood | $\mu_{100m}$ | MakroMPD100m | $\mu_{15mEnne}$ | MakroMPD15mEnne |
|------|---------|--------------|--------------|-----------------|-----------------|
| 1    | sugis   | 0.67760      | 0.2725       | 0.6816667       | 0.3100000       |
| 1    | suvi    | 0.51100      | 0.2230       | 0.4953333       | 0.2600000       |
| 9    | sugis   | 0.78180      | 0.4540       | 0.7770000       | 0.5233333       |
| 9    | suvi    | 0.70335      | 0.3665       | 0.8113333       | 0.5100000       |

## **Bussiõnnetuste kokkuvõte**

Enne õnnetuste kohta on madalamat haardetegurit näha õnnetus 1 juures (Mnt 1, teeosa 31) suunal 1 ning õnnetus 4 juures (Mnt 85, teeosa 3). Teistel juhtudel haardeteguriga probleeme ei esine. Küll on kohati küllaltki madalad makrotekstuuri väärtused.

## **Tekstuuri ja liiklusõnnetuste vahelised seosed**

### **Andmestike kokkuviimine ja puhastamine**

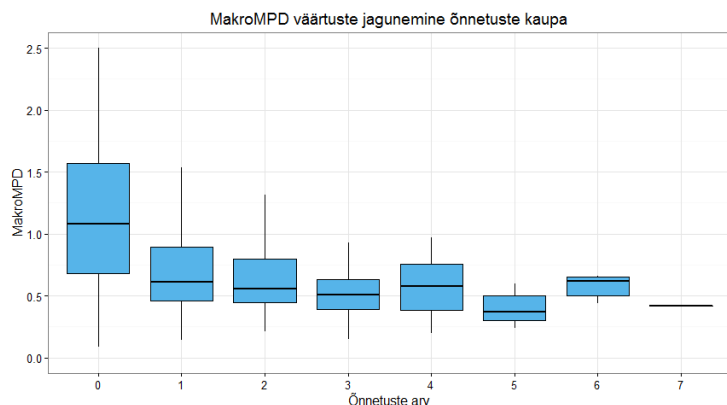
Liiklusõnnetuskohtade analüüsiks kasutati Teeregistri liiklusõnnetuste, katete ja pindamiste andmeid. Liiklusõnnetuste andmetele lisati tee andmetega kokkuviimiseks teeosa ja kauguse väärtused. Kauguse väärtus taandati eelneva täis saja meetrini. Tee numbri, sõidutee, teeosa ja 100 meetrini taandatud kauguse väärtuse kaudu lisati liiklusõnnetustele teeandmestik. Liiklusõnnetuste hulgast eemaldati need read, kus õnnetus oli toimunud enne katte uuendamist (pindamist või remonti). Seejärel summeeriti igal sajal meetril liiklusõnnetuste arv ja lisati see teeandmestikule. Lõpptulemusena valmis kaks andmestikku:

- Andmestik riigitee lõikudega, kus on veerg selle rea õnnetuste arvuga;
- Andmestik kõigi liiklusõnnetustega, mis on toimunud pärast katte uuendamist, koos nende täpsete asukohtade ja katte infoga selles kohas.

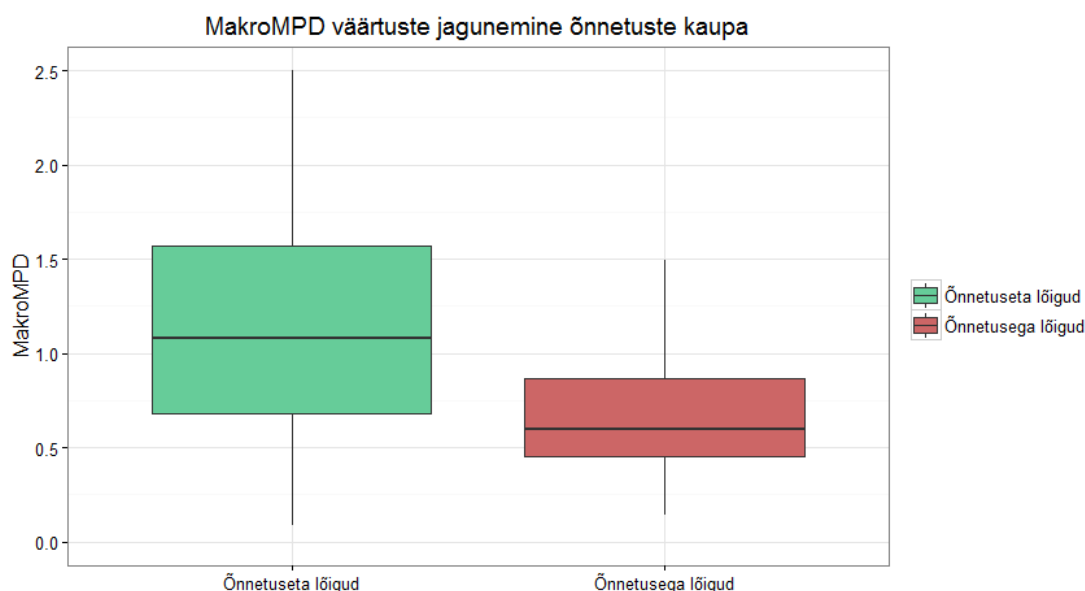
Kivimaterjali fraktsioon leiti vastavalt kattele kahte moodi. Pinnatud katetel võeti vastav informatsioon Teeregistrist. Pindamata katetel eraldati fraktsioon segu nimetusest.

### **Kivimaterjali ja MPD vaheline seos**

Järgneva joonisel on näha, et õnnetuskohtades on MakroMPD väärtus madalam, kui kohtades, kus õnnetusi ei ole toimunud.



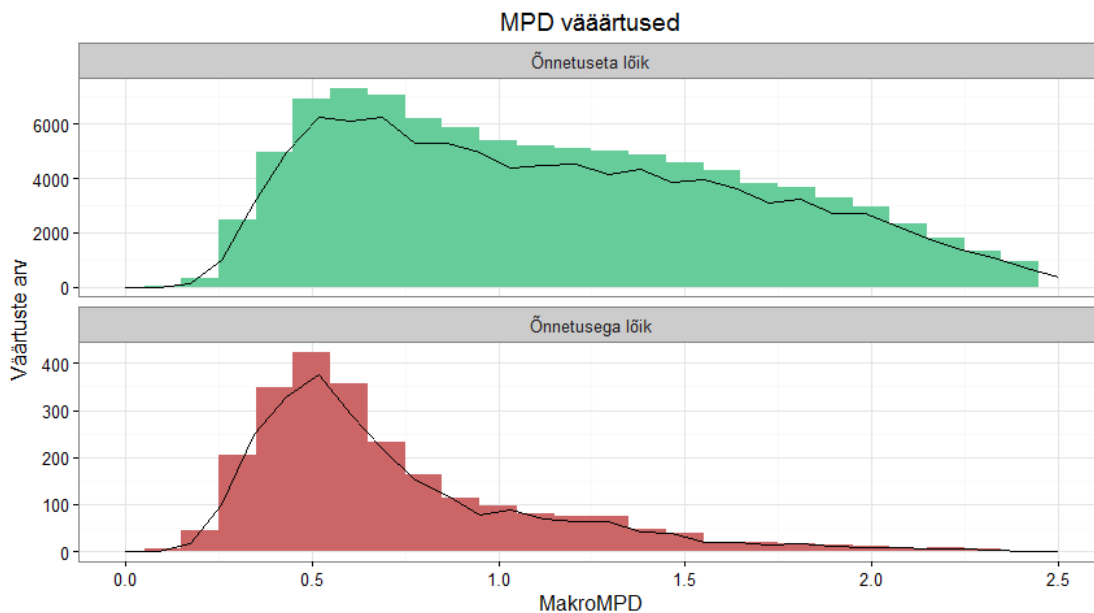
**Joonis 49. MPD väärtuste jagunemine liiklusõnnetuste arvu järgi**



**Joonis 50. MPD väärtuste jagunemine õnnetustega ja õnnetusteta lõikudel**

Ka histogrammilt on näha, et MakroMPD väärtuste jaotus kohtades, kus on toimunud õnnetused, on erinev. Lõikudel, kus ei ole toimunud õnnetusi, on enam kõrgema MakroMPD väärtusega kohti. MakroMPD mõju liiklusõnnetustele on seletatav läbi MakroMPD mõju haardetegurile. MakroMPD seos haardeteguriga ei ole ühene, see tähendab, et madal MakroMPD väärtus võib indikeerida madalat haardeteguri väärtust, kuid ei vasta sellele alati (MakroMPD ja haardeteguri seos joonisel 14). Samas kõrgele MakroMPD väärtusele vastab üldjuhul ka kõrge haardeteguri väärtus. See seletab nii asjaolu, miks on vähe õnnetusi toimunud

kõrge MakroMPD-ga lõikudel, kui ka seda, miks osadel madala MakroMPD-ga lõikudel ei ole õnnetusi toimunud.

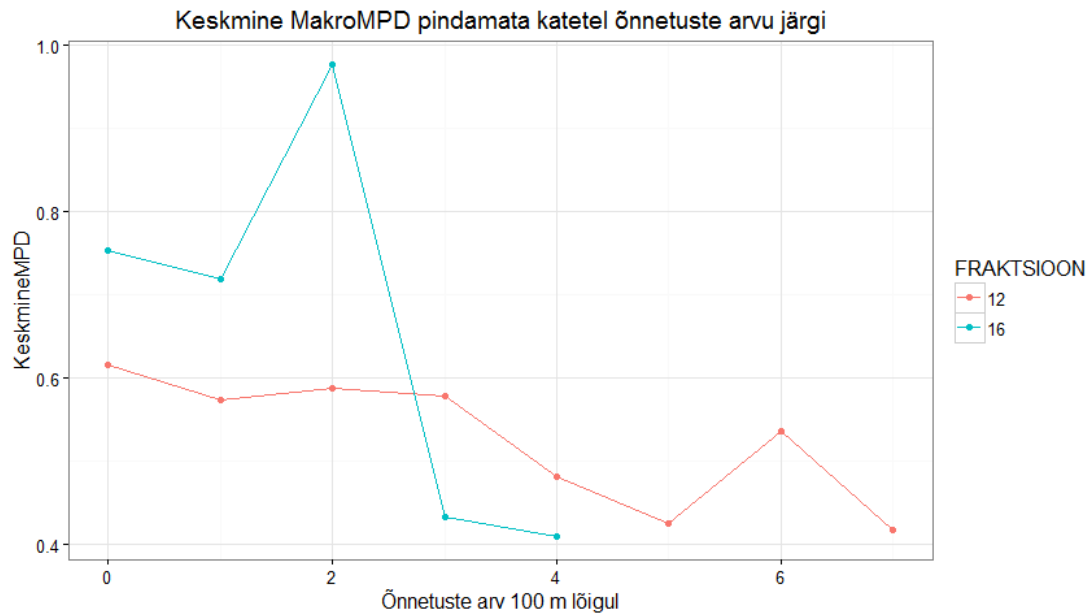


**Joonis 51. MPD väärtuste jagunemine õnnetustega ja õnnetusteta lõikudel**

Otsustuspuu ei näita, et kivimaterjalil ja MakroMPD-I oleks väga selge mõju õnnetuste tekkimisele, kuid siinkohal võib põhjuseks olla õnnetuskohtade madal osakaal koguandmestikus. Logit mudel näitab, et MakroMPD avaldab mõju õnnetuste tekkimisele, teiste näitajate mõju ei ole aga eristatav.

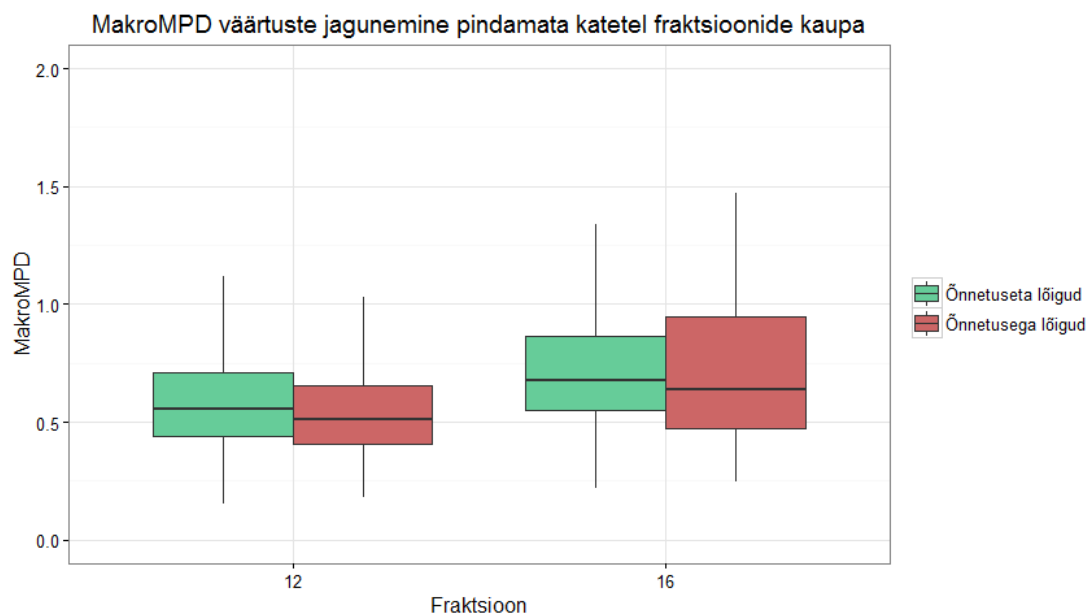
### **Pindamata katted**

Kui analüüsida vaid pindamata katteid, siis logit mudel näitab kivimaterjali fraktsioonil isegi suuremat kaalu, kui MakroMPD-I. Ka jooniselt on näha, et suurema kivimaterjaliga lõikudel on MPD kõrgem. Ka on näha, et 16 mm fraktsiooni korral on lõikudel, millel on tekstuuri väärtus kõrgem vähem õnnetusi. 12mm kivimaterjali korral seda seost ei ilmne.



**Joonis 52. MPD väärtused pindamata katetel liiklusõnnetuste kohtades**

Järgnev joonis näitab MakroMPD väärtuste jaotust fraktsioonide ja õnnetuse toimumise kaupa. Kasti sisse jäävad 50% väärtustest, kastist välja joontele ülejäänud 50%. Joon kasti keskel näitab kõigi väärtuste keskmist. Selle joonise pealt on näha, et 16 mm fraktsiooniga katete MPD jaotus on selget kõrgemal 12 mm fraktsiooniga katetest. Lõigud, kus on toimunud õnnetused, on selgelt madalama MakroMPD väärtusega, kui need, kus ei ole toimunud õnnetusi. Ehk teisiti öeldes, avaldub MakroMPD ja liiklusõnnetuste vahel seos. Võttes arvesse asjaolu, et MakroMPD on suurem täitematerjali suurema terasuuruse juures, võib sellest kaudselt tuletada, et suurema kivimaterjaliga katetel on liiklusõnnetusi vähem.



**Joonis 53. MPD väärtused pindamata katetel killustiku fraktsioonide kaupa**

Allolev tabel iseloomustab fraktsioonide kaupa õnnetuste hulka nii nominaalarvudes, kui ka 100m lõigu peale taandatuna. Ka siin ilmneb selgelt, et suurema kivimaterjali korral on õnnetuste hulk väiksem. Fraktsiooniga 16 mm on 100 m peale taandatuna toimunud 5 korda vähem õnnetusi kui 12 mm fraktsiooni korral.

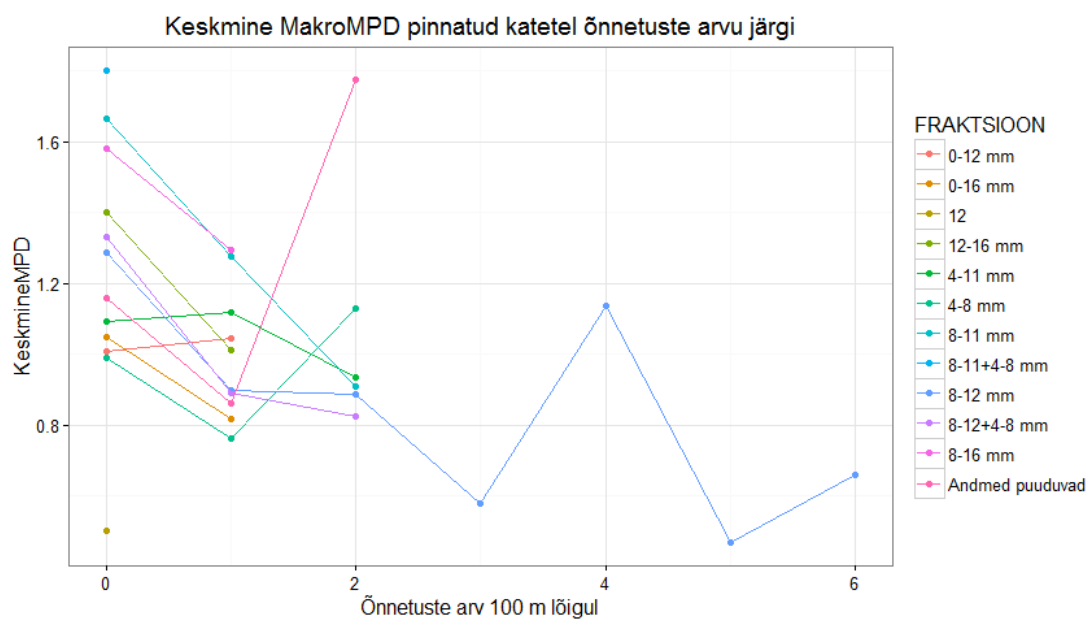
**Tabel 11. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri mõõtmislõigud**

| FRAKTSIOON | ÕnnetusteArv | VäärtusteArv | ÕnnetusteArvPer100m | MakroMPD  |
|------------|--------------|--------------|---------------------|-----------|
| 12         | 1583         | 15105        | 0.1047997           | 0.6114489 |
| 16         | 113          | 5486         | 0.0205979           | 0.7523293 |

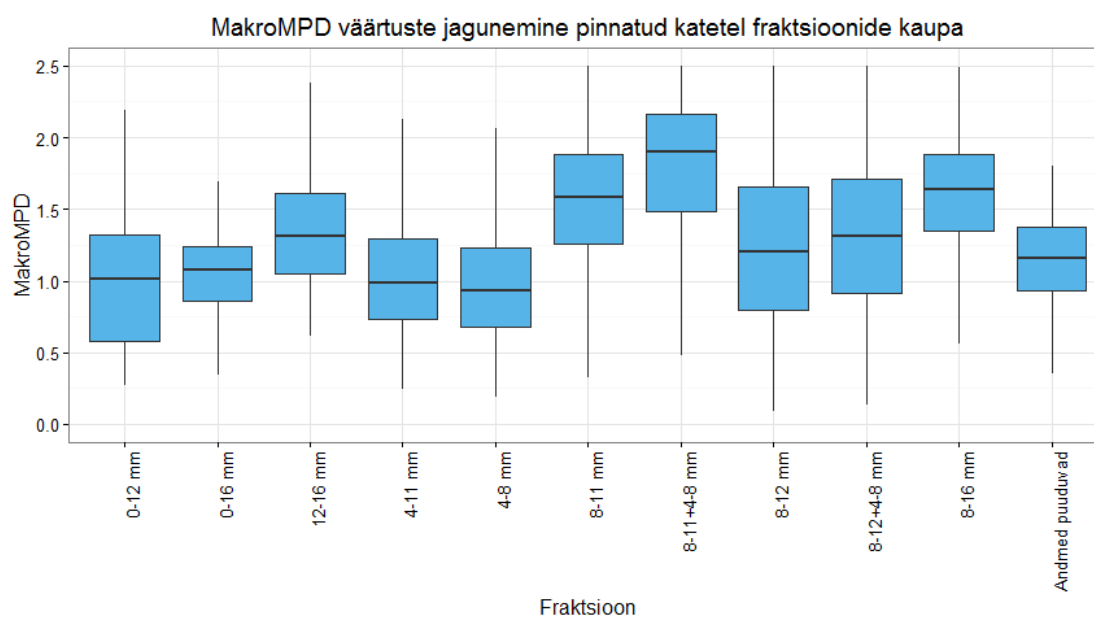
## Pinnatud katted

Pinnatud katetel ei ole näha fraktsiooni mõju liiklusõnnetustele. Logit mudel näitab vaid MakroMPD mõju, kuid mudeli analüüsist on näha, et sellega on võimalik põhjendada vaid väga väikest osa muutusest. Nagu on näha allolevatelt joonistelt, siis ka MakroMPD vahelised erinevused ei tule erineva kivimaterjali puhul väga selgelt välja. Samuti ei ole õnnetusi, fraktsiooni ja tekstuuri koos vaadates selget

seost. Osaliselt võib see olla tingitud asjaolust, et suuremat killustiku on väga vähestel objektidel kasutatud.



Joonis 54. MPD väärtused pinnatud katetel liiklusõnnetuste kohtades

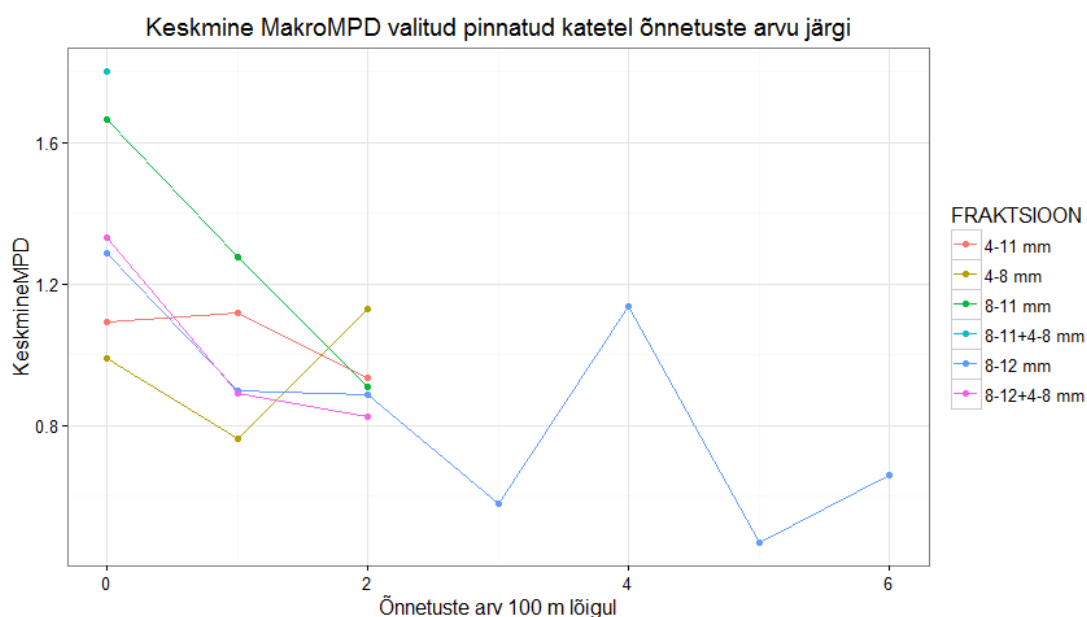


Joonis 55. MPD väärtused erineva killustikuga pinnatud liiklusõnnetuste kohtades

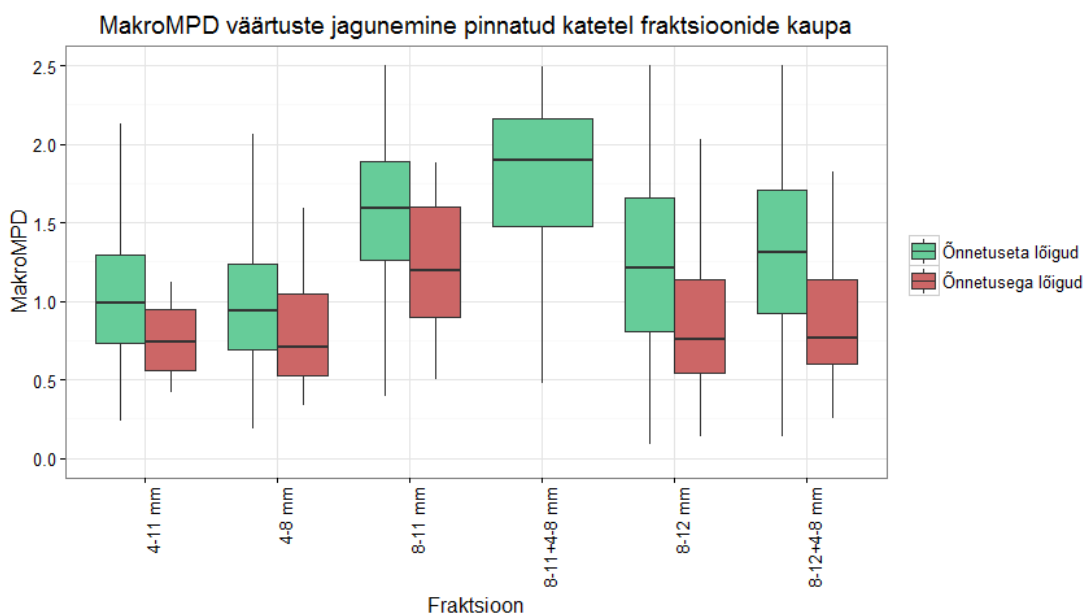
**Tabel 12. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri mõõtmislõigud**

| FRAKTSIOON      | ÕnnetusteArv | VäärtusteArv | ÕnnetusteArvPer100m | MakroMPD  |
|-----------------|--------------|--------------|---------------------|-----------|
| Andmed puuduvad | 4            | 97           | 0.0412371           | 1.1598936 |
| 8-12 mm         | 1110         | 58879        | 0.0188522           | 1.2797477 |
| 4-8 mm          | 65           | 4605         | 0.0141151           | 0.9870713 |
| 0-12 mm         | 3            | 252          | 0.0119048           | 1.0094715 |
| 12-16 mm        | 2            | 239          | 0.0083682           | 1.3986931 |
| 0-16 mm         | 1            | 145          | 0.0068966           | 1.0483677 |
| 4-11 mm         | 14           | 2275         | 0.0061538           | 1.0931085 |
| 8-16 mm         | 5            | 814          | 0.0061425           | 1.5767590 |
| 8-12+4-8 mm     | 40           | 10056        | 0.0039777           | 1.3273429 |
| 8-11 mm         | 8            | 4298         | 0.0018613           | 1.6643455 |
| 8-11+4-8 mm     | 0            | 1213         | 0.0000000           | 1.7996916 |

Järgnevalt eraldati väga väikese andmete hulgaga fraktsioonid analüüsitavast andmemahust, et näha, kas seeläbi ilmnevad võimalikud seosed. Järele jäid fraktsioonid 8-12 mm, 4-8 mm, 4-11 mm, 8-12+4-8 mm, 8-11 mm ja 8-11+4-8 mm. Allolevatelt tabelitelt ja joonistelt on näha, et siiski märgatavat seost pinnatud katetel MakroMPD, kivimaterjali fraktsiooni ja liiklusõnnetuste vahel ei ole. Kastijoonise kaudu võib vaid täheldada, et üldjuhul on õnnetused toimunud lõikudel, mille MakroMPD on madalam.





**Joonis 56. MPD väärtused pinnatud katetel liiklusõnnetuste kohtades**

**Joonis 57. MPD väärtused erineva killustikuga pinnatud liiklusõnnetuste kohtades**
**Tabel 13. Teekatte tekstuuri ja haardeteguri mõõtmislõigud**

| FRAKTSIOON  | ÕnnetusteArv | VäärtusteArv | ÕnnetusteArvPer100m | MakroMPD  |
|-------------|--------------|--------------|---------------------|-----------|
| 8-12 mm     | 1110         | 58879        | 0.0188522           | 1.2797477 |
| 4-8 mm      | 65           | 4605         | 0.0141151           | 0.9870713 |
| 4-11 mm     | 14           | 2275         | 0.0061538           | 1.0931085 |
| 8-12+4-8 mm | 40           | 10056        | 0.0039777           | 1.3273429 |
| 8-11 mm     | 8            | 4298         | 0.0018613           | 1.6643455 |
| 8-11+4-8 mm | 0            | 1213         | 0.0000000           | 1.7996916 |

## 5. JÄRELDUSED JA ETTEPANEKUD

Käesoleva uurimistöö peamised järeldused võib tinglikult jaotada kolmeks:

- Uued katted (alla 1 aasta)
- Vanemad katted (alates 1 aasta)
  - Pinnatud katted
  - Pindamata katted

Uute katete osas on järeldused ja soovitused järgmised:

- Uute katete osakaal mõõtmistes oli väga väike ja ei pruugi kajastada tegelikkust. Uute katete mõõtmiste osakaal kogu valimis oli 13,4% ning madala haardeteguriga<sup>1</sup> katete osakaal 2,2%. Uute katete puhul puudub seos MPD ja haardeteguri (HT) vahel. Reeglina on uute katete MPD väga hea kuid HT on kohati madal. See tähendab, et uute katete tekstuur on hea, kuid bituumeniga kaetuse tõttu on need ikkagi libedad. Mõõdetud uutel katetel on 16,3% juhtudest  $HT < 0,5$ . Seega on mõistlik jätkata uute katete haardeteguri mõõtmist, et mittevastavuse korral saaks võtta tarvitusele sobivad meetmed (karestamine, kiiruspiirang vms).
- Uute katete osas soovitame analüüsida 2016 valminud uute katete haardeteguri mõõtmiste tulemusi ning selgitada välja tegelik probleemsete katete hulk ning planeerida kordusemõõtmised probleemsetel objektidel võimalusel iga 2 kuu järel naastrehvide perioodil ning ca kord kuus pärast naastrehvide perioodi lõppu ja **analüüsida makrotekstuuri ja haardeteguri muutumist eeldatavalt naastrehvide ja muude rehvide toimel**. Selline uuring annab hea ülevaate, millised tingimused Eesti oludes soodustavad libeduse teket uutel katetel ja kuidas neid tingimusi tulevikus vältida. Samuti annab uuring võimaluse selgitada, kui kiiresti teekatte karedus liidluse all taastub ning võimaluse seeläbi hinnata, kas teekatet on otstarbekas karestada või oodata karestamist liidluse poolt.

---

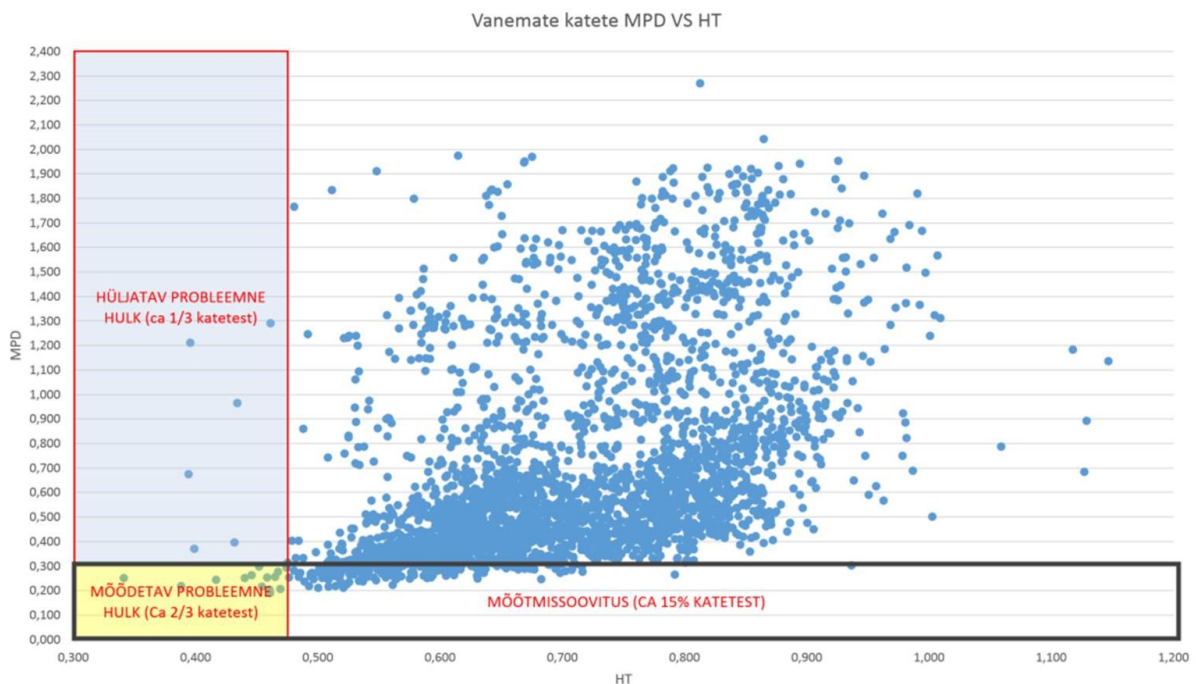
<sup>1</sup> Üldistavalt loetakse madalaks haardeteguri väärtusi alla 0,5 kuid sõltuvalt lubatud liikluskiirusest loetakse sageli ohutuks ka madalamaid haardeteguri väärtusi

- Jätkata mõõtmisi katetel, mis on ka kevadel madala haardeteguriga ja uurida selle võimalikke põhjuseid. Vajadusel teha kindlaks kasutatud täitematerjali omadused.

Vanemate katete osas on järeldused ja soovitusel järgmised:

- Vanematel katetel esineb madalaid tekstuuriväärtusi protsentuaalselt suhteliselt vähem, kokku vaid 0,9% valimis olnud katetest. Kui arvestada, et vanade katete osakaal valimis oli 86,6%, saame, et vanematest katetest võivad olla probleemsed **vaid 1,1%**, mistõttu on vaja kriteeriumit, mis võimaldaks haardeteguri kontrollimise mahtu oluliselt vähendada. Ainult uuringulõikudel põhinev andmete analüüs näitab, et optimaalseks on MPD piirväärtus 0,3. Kui MPD väärtustel üle 0,3 esines madalat HT väärtust ( $<0,5$ ) vaid ca 0,5% juhtudest siis MPD väärtustel alla 0,3 on ebapiisava HT esinemistõenäosus **juba 14,6%**, mis on samas suurusjärgus puuduliku HT osakaaluga uutel katetel. Allolevalt jooniselt on näha, et valides HT kontrollmõõtmiste piiriks 15%, on võimalik saada kätte 2/3 madala haardeteguriga lõikudest. Seega tuleb arvestada, et ülejäänud 1/3 jaoks ei ole võimalik mõistlikku algoritmi käesoleva uuringu põhjal tuletada.
- Tuleb arvestada, et need seosed on leitud valimist, milles madala HT-ga vanemate katete lõike on kokku vaid 1,1%. Järgnevad uuringud ongi vajalikud selleks, et täpsustada piire, mille puhul on otstarbekas viia läbi haardeteguri mõõtmised. Vanemate katete osas on soovitatav jätkata käesolevat analüüsi, viies mõõtmiste baasi 100m asemel 20m'le, mis suurendaks andmete mahtu ja täpsust 5 korda. Seejärel täpsustada haardeteguri mõõtmisteks allutatavad objektid valitud MPD väärtuse alusel. Käesoleva töö põhjal tähendaks see ca 1500 km ülemõõtmist. Arvatavasti ei ole mõistlik minna igat lühikest lõiku eraldi mõõtma, ehk jätta uuringu läbiviijale võimalus teha logistiliselt mõistlik valik eelnevalt valitud kriteeriumitele vastavate teelõikude hulgast, kattes vähemalt 50%.  
**Teadustöö tulemusena täpsustatakse MPD ja muude kriteeriumite piirid (näiteks kasutatud täitematerjal), millest lähtuvalt valitakse edaspidi objekte HT mõõtmisteks.**
- Võttes arvesse nii 2014. a teostatud uurimistöö tulemusi [3], kui käesoleva töö tulemusi, on katete haardetegur enamasti kõige kõrgem kevadel,

hakkab seejärel vähenema ja saavutab miinimumi suvel, misjärel hakkab haardetegur taas kasvama. Arvatavasti põhjustab väiksemaid haardeteguri väärtusi suvistel kõrgetel kattetemperatuuridel bituumeni paisumine kattes ja kandumine katte täitematerjali pinnale. Katte jahenedes kulutatakse bituumen täitematerjali teradelt ning paljandub täitematerjali enda tekstuur. **Seetõttu on haardeteguri mõõtmise soovituslik aeg suvi (juuli-august).**



**Joonis 58. Vanemate katete MPD ja HT seos**

Lisaks eeltoodule hinnati vanemate katete haardeteguri mõõtmisvajadust ennustusmodelite põhjal.

- Ennustusmodelite põhjal on madala haardeteguri väärtuste esinemise tõenäosus on suurim makrotekstuuri MPD väärtuste juures, mis on madalamad kui 0,39 mm. Mõõdetud haardeteguri ja makrotekstuuri andmete alusel loodud ennustusmodelite põhjal, mis võtavad arvesse lisaks katte liiki ja katte või pindamise vanust, on soovituslik haardeteguri mõõtmise maht kokku 193,5 km. Tõenäosus, et nendel lõikudel esineb madala haardeteguriga väärtusi, on seejuures ca 10%. Välja töötatud ennustusmodelite tulemuste paikapidavuse hindamiseks on soovituslik teostada haardeteguri mõõtmised ennustatud madala haardeteguriga

teelõikudel kokku 193,5 km ulatuses. Ka siin on mõistlik puudulikust andmehulgast tulenevalt teha täpsustavad uuringud 20 m baasil ja suurendada sellega analüüsitavate väärtuste hulka ning vähendada andmemüra võimalike seoste suhtes (HT vs MPD). Selle tulemusena saab märkimisväärselt täpsustada reaalselt mõõtmisvajadust.

Liiklusõnnetuste ja makrotekstuuri seoste selgitamisel ilmnes, et liiklusõnnetuste kohtades on makrotekstuur keskmiselt madalam võrreldes lõikudega, kus õnnetusi ei ole toimunud. Asfaltsegu fraktsioonide järgi on valitud lõikudes ligi viis korda rohkem toimunud õnnetusi asfaltkatetel kus segu fraktsiooniks on 12 võrreldes asfaltkatetega kus segu fraktsiooniks on 16.

## 6. KOKKUVÕTE

Haardeteguri ja makrotekstuuri koos mõõdetud tulemused näitasid, et nende parameetrite vahelised seosed erinevad sõltuvalt teekatte tüübist ja haardeteguri mõõtmise ajast. Üldiselt muutuvad teekatted suve keskpaigaks kõige libedamaks ja sügisel taas karedamaks. Killustikmastiksfaldist ehitatud katete puhul ei erine sügisesed kareduse väärtused keskmiselt oluliselt suvistest.

Uutel asfaltkatetel toimub esimeste ekspluatatsioonis oldud kuude jooksul selge haardeteguri paranemine, mida selgitab sideainekile eemaldumine kivimaterjali pinnalt. Seejuures püsib katte makrotekstuur muutumatuna.

Madal makrotekstuur ei pruugi põhjustada madalat haardetegurit, kuid loodud matemaatiliste mudelite alusel on suurim oht madala haardeteguri esinemiseks väärtustel  $MPD < 0,39$  mm. Selleks rakendatud matemaatilistes ennustusmudelites rühmitati teelõigud erinevate kriteeriumite alusel: erinev kattesegu, pinnatud ja pindamata katted, erinev katte ja pindamise vanus, erinev liiklussagedus. Sellest tulenevalt on iga kriteeriumi mõju hindamiseks suhteliselt väike hulk andmeid. Mõõdetud haardeteguri ja makrotekstuuri andmete ning Teeregistri andmete alusel loodud mudelite kohaselt on ennustuslikult madala haardeteguriga ligi 200 km teid. Seejuures tõenäosus, et nendel kriitilistel lõikudel on ka tegelikult madal haardetegur, on ca 10%.

Selleks, et tuvastada madala karedusega kohti teekatetel, on soovitatav teostada haardeteguri mõõtmised **suvisel perioodil**, kui madal haardetegur ilmneb kõige suurema tõenäosusega.

Käesolevas töös mõõtmisteks kasutatud väga piiratud valimi põhjal võib esialgsel hinnangul osutada otstarbekaks säilitusremondi analüüsis klassis C1 kasutatavat piirväärtust langetada 0,05 mm võrra ilma, et väheneks madala HT-ga lõikude arv.

Liiklusõnnetuste ja makrotekstuuri seoste selgitamisel ilmnes, et liiklusõnnetuste kohtades on makrotekstuur keskmiselt madalam võrreldes lõikudega, kus õnnetusi ei ole toimunud. Asfaltsegu fraktsioonide järgi on valitud lõikudes ca. viis korda rohkem toimunud õnnetusi asfaltkatetel, kus segu fraktsiooniks on 12mm võrreldes asfaltkatetega, kus segu fraktsiooniks on 16mm.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] The Potential to Identify Low Friction from Macrottexture. Condition Assessment of Road Surface, 2015
- [2] Teekatte tekstuuri mõõtmisandmete kasutamise meetodid ja andmete piirväärtused, Maanteeamet 2012
- [3] Teekatte haardeliste omaduste võrdlusuuring, Maanteeamet 2014
- [4] Kattega riigiteede säilitusremondi objektide valikumetoodika, Maanteeamet 2016

## **7. LISAD**



**LISA 1. Teekatte haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmistulemused (ainult elektroonne)**

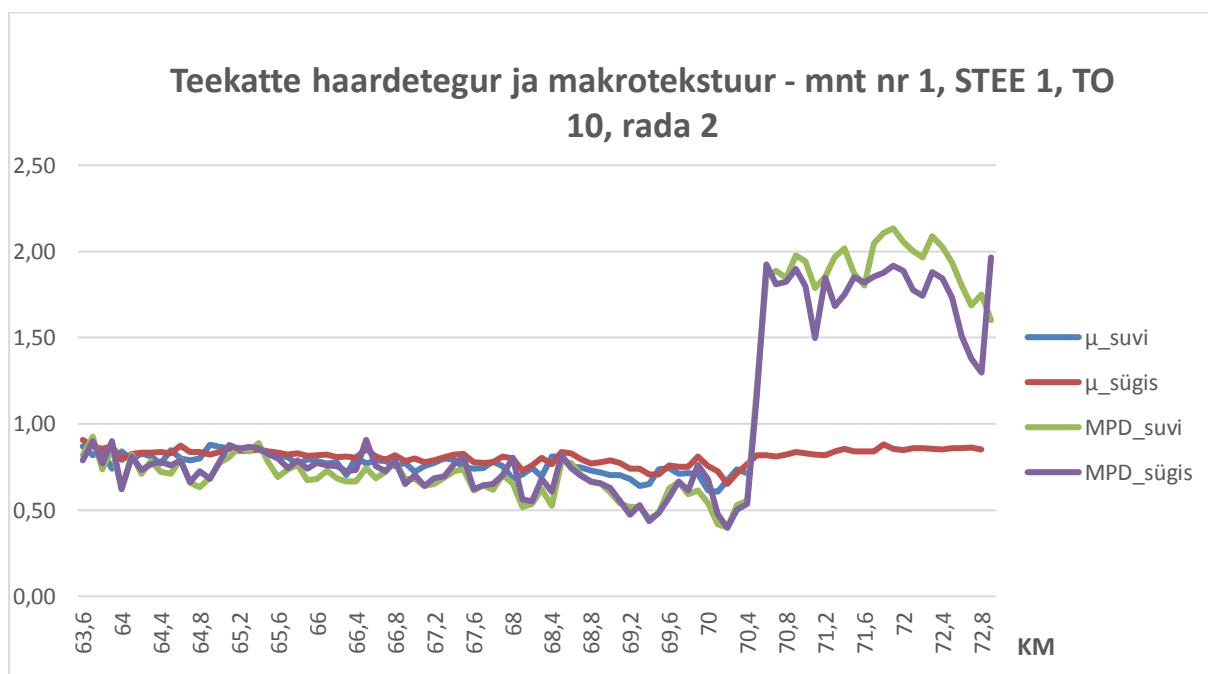
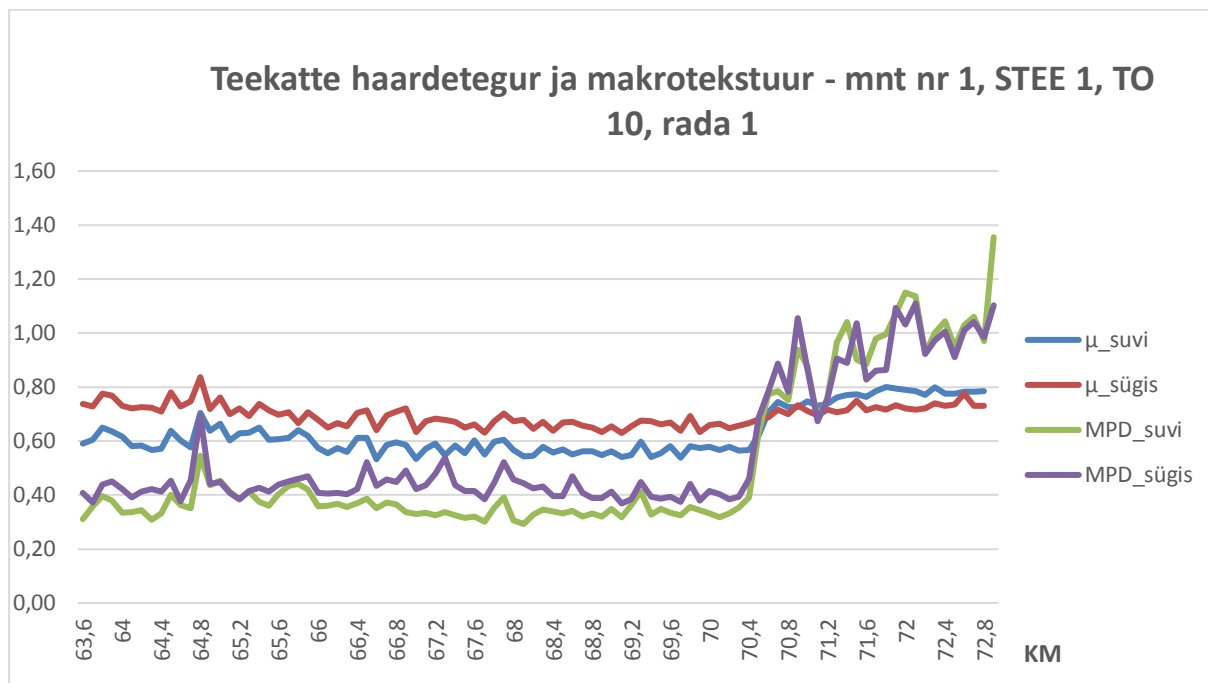
**LISA 2. Teekatte haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmistulemuste graafikud**

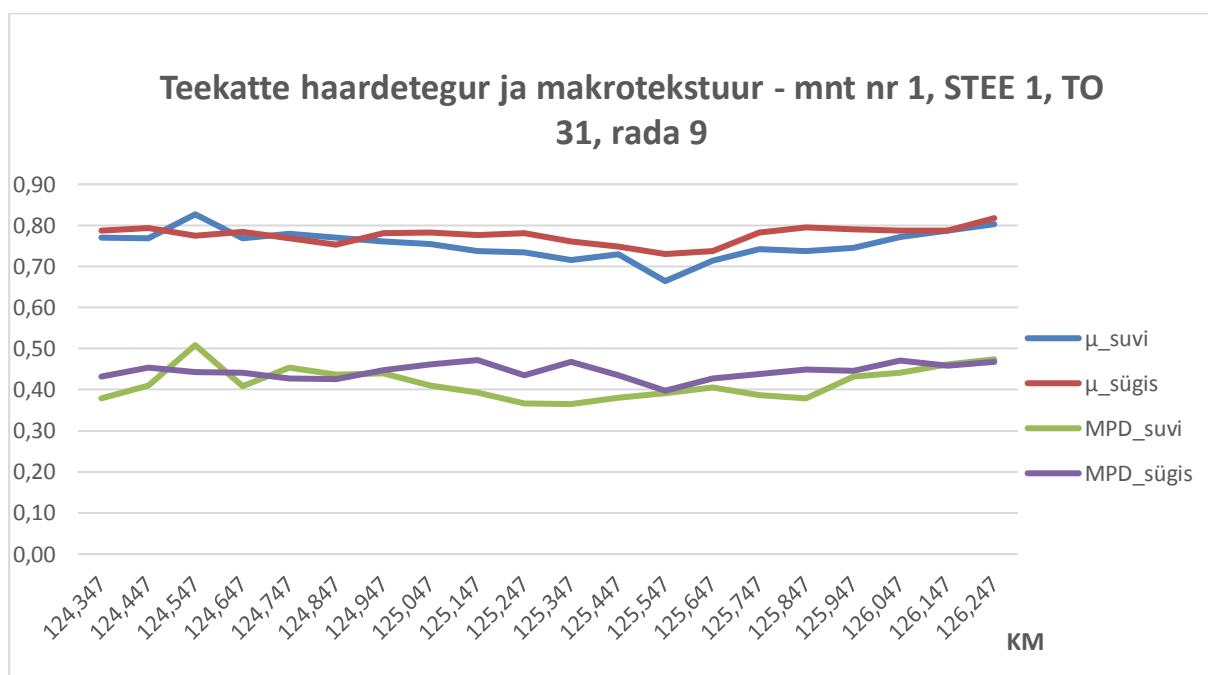
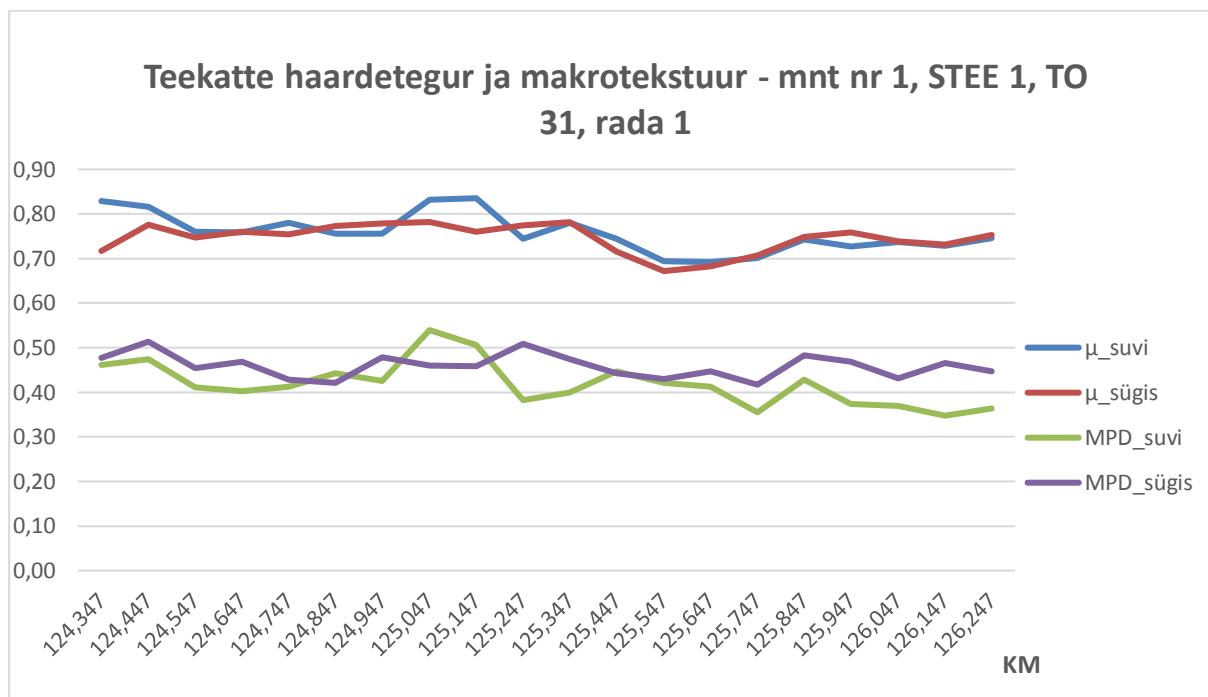
**LISA 3. Teekatte haardeteguri ja makrotekstuuri mõõtmislõikude fotod**

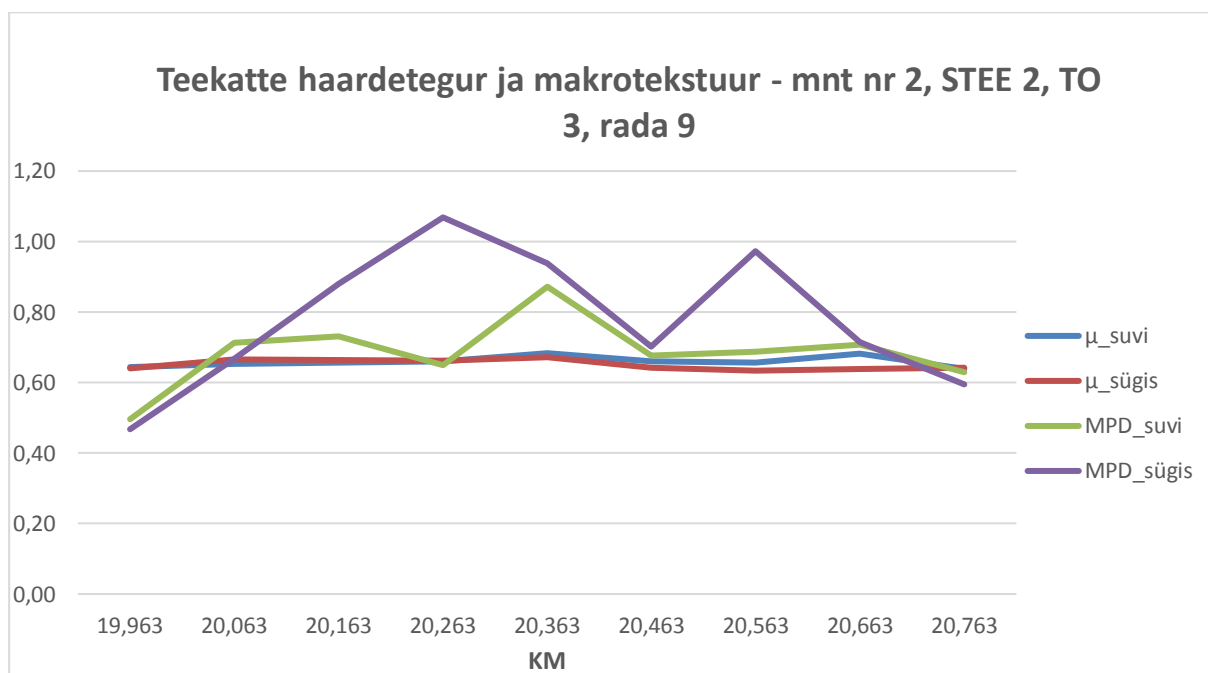
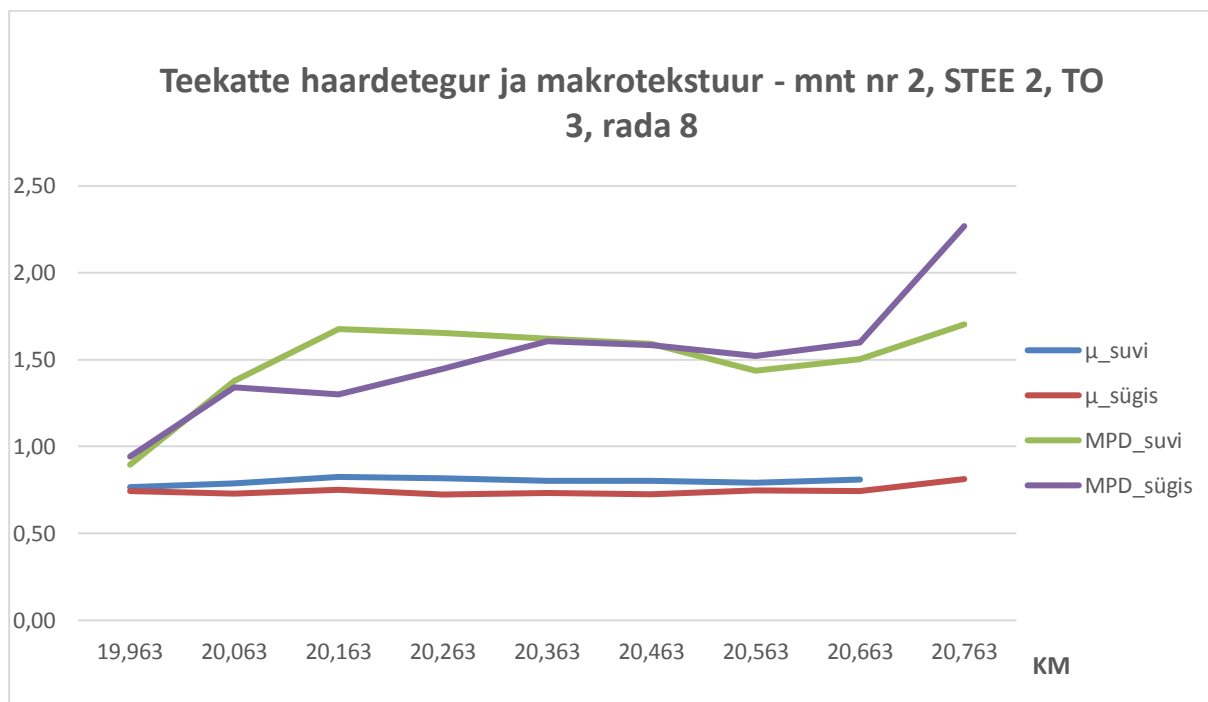
**LISA 4. Matemaatiliste mudelitega saadud probleemsed teelõigud (ainult elektroonne)**

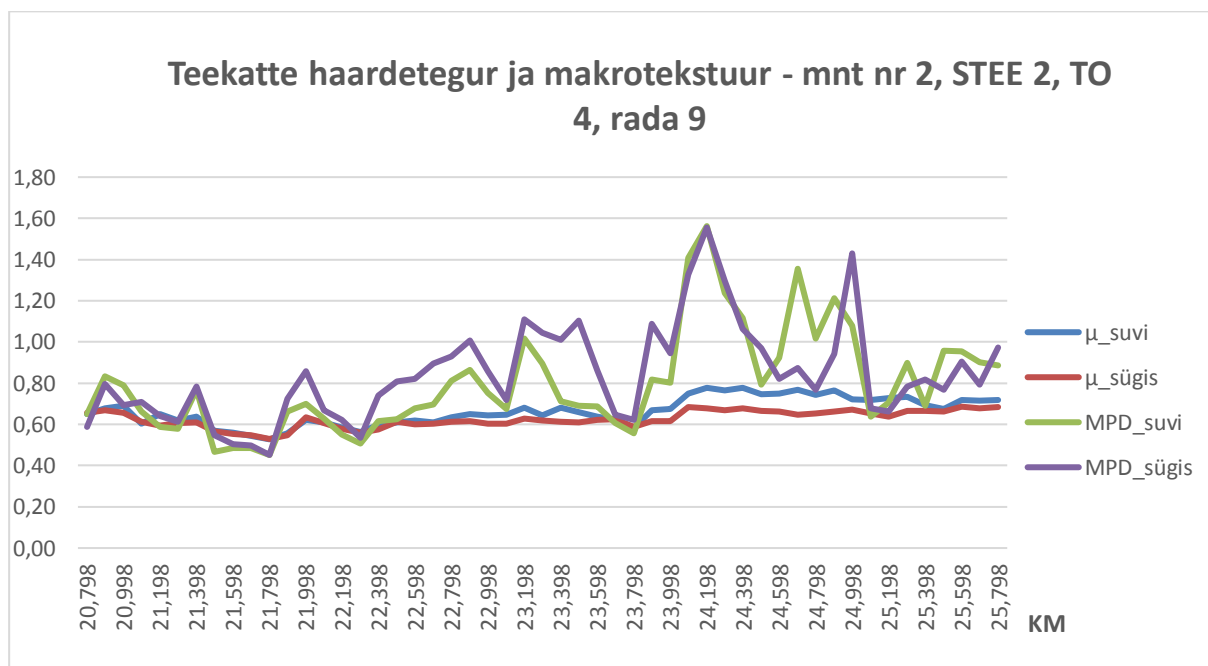
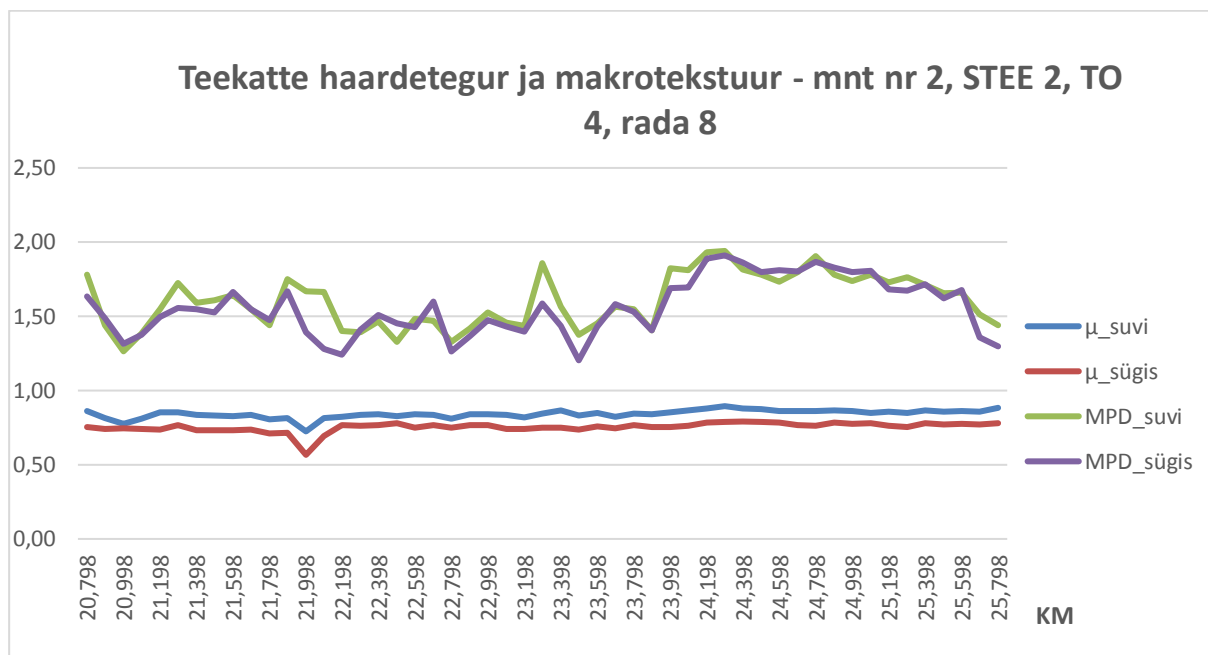
**LISA 5. Haardeteguri mõõtevajadusega probleemsed teelõigud (ainult elektroonne)**

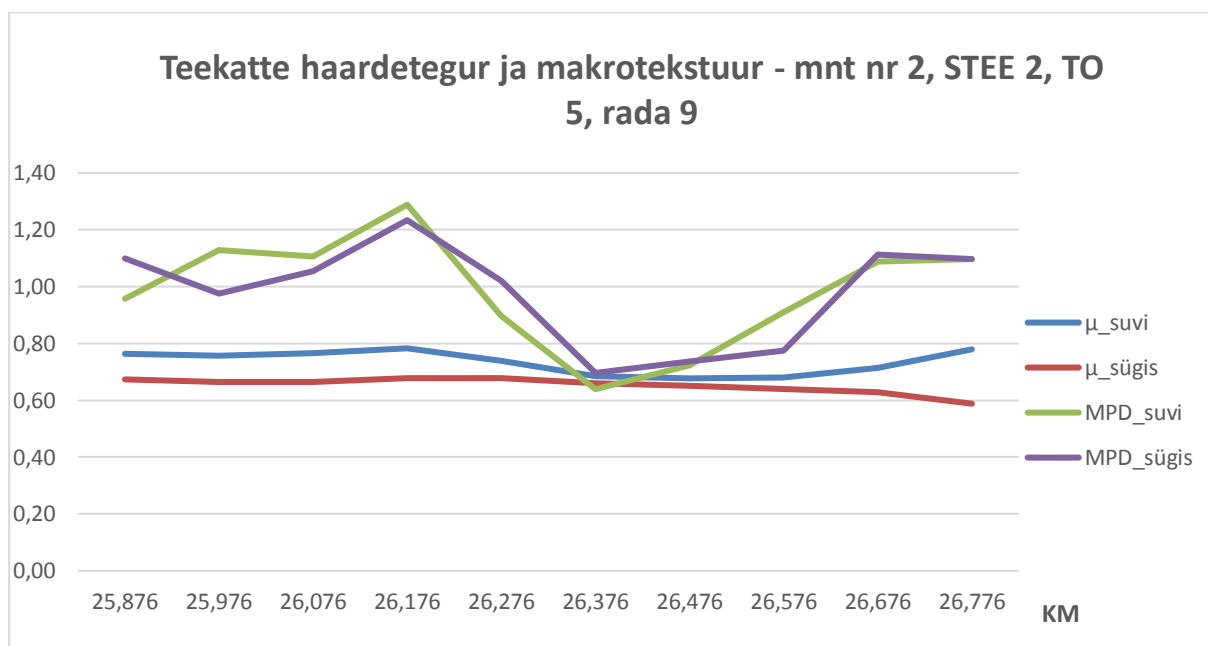
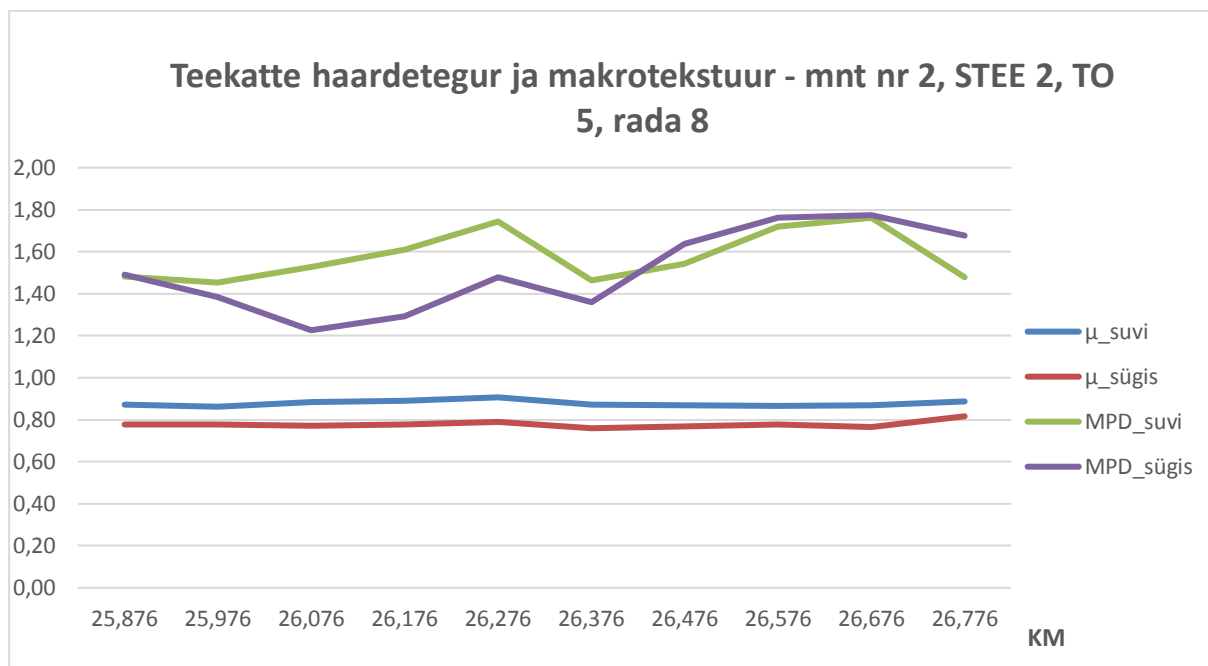
## LISA 2. Mõõtmistulemuste graafikud

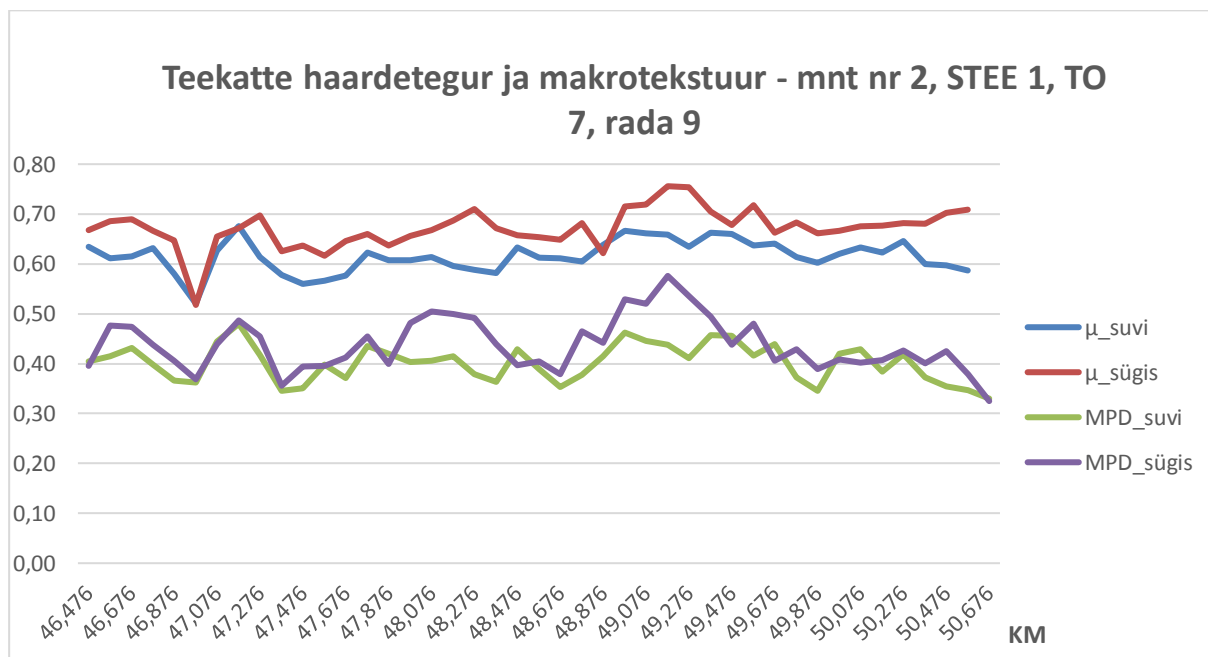
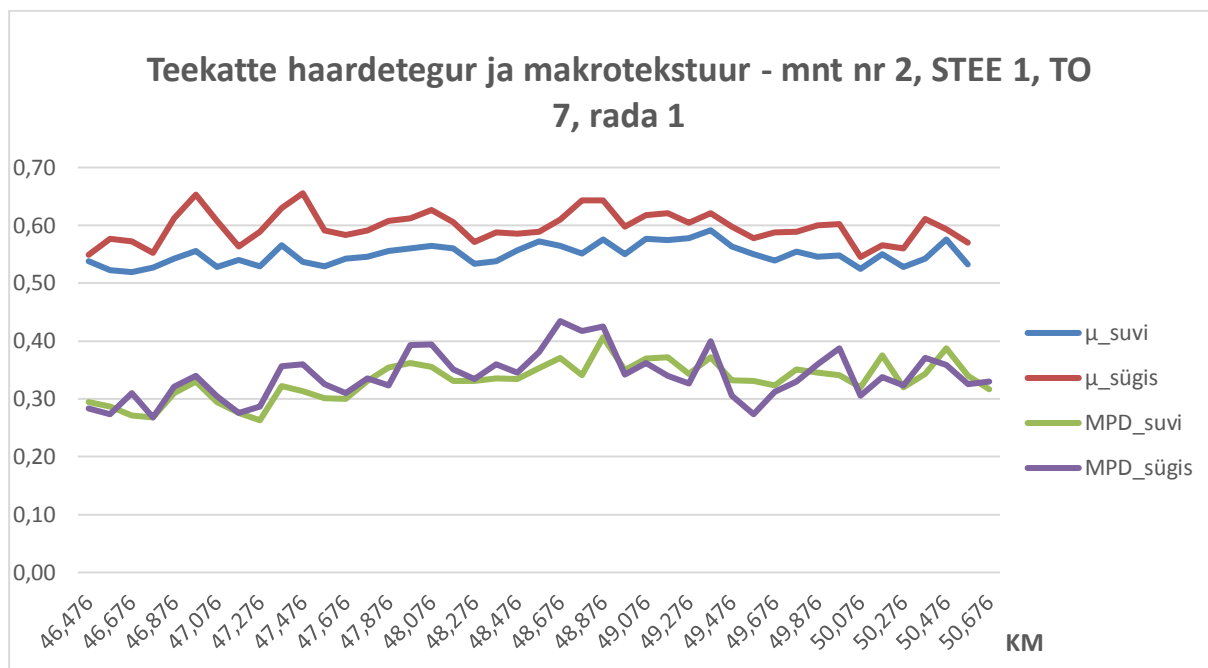


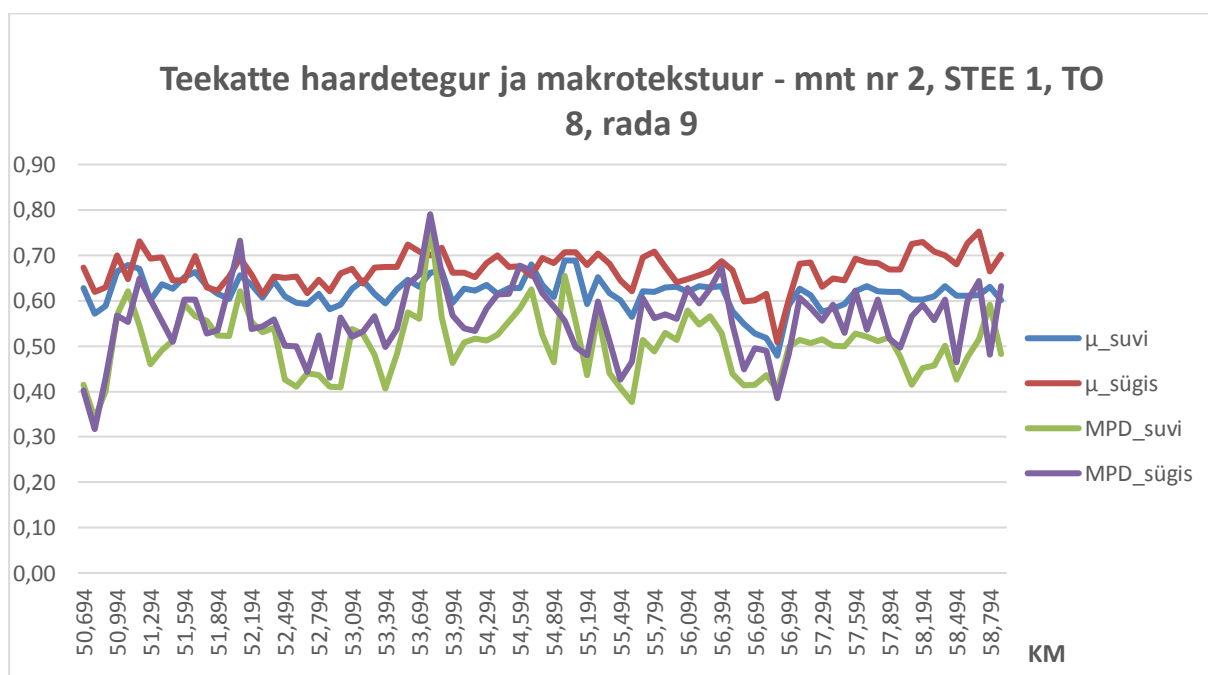
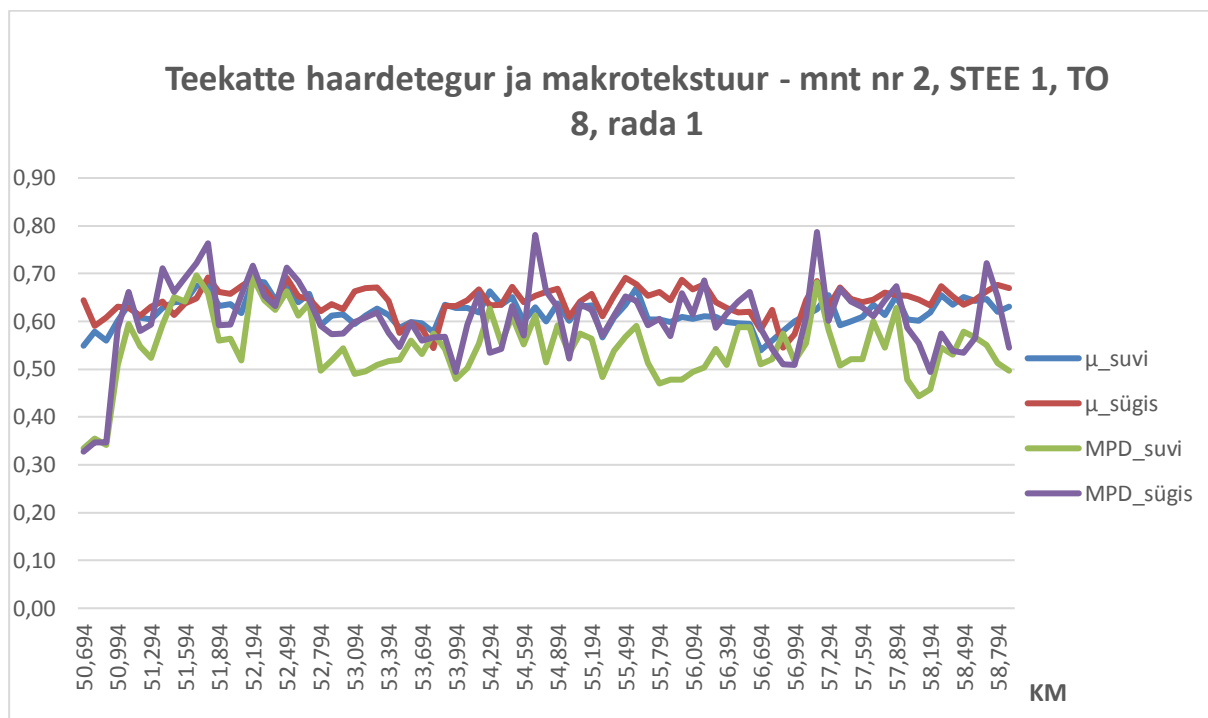




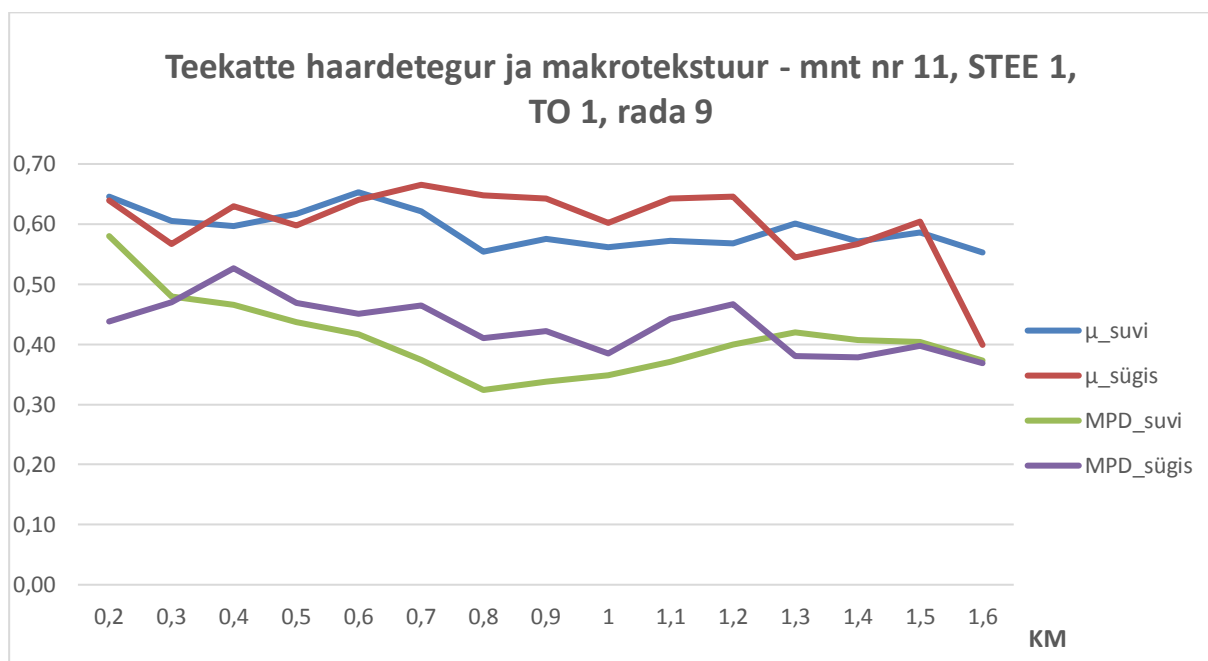
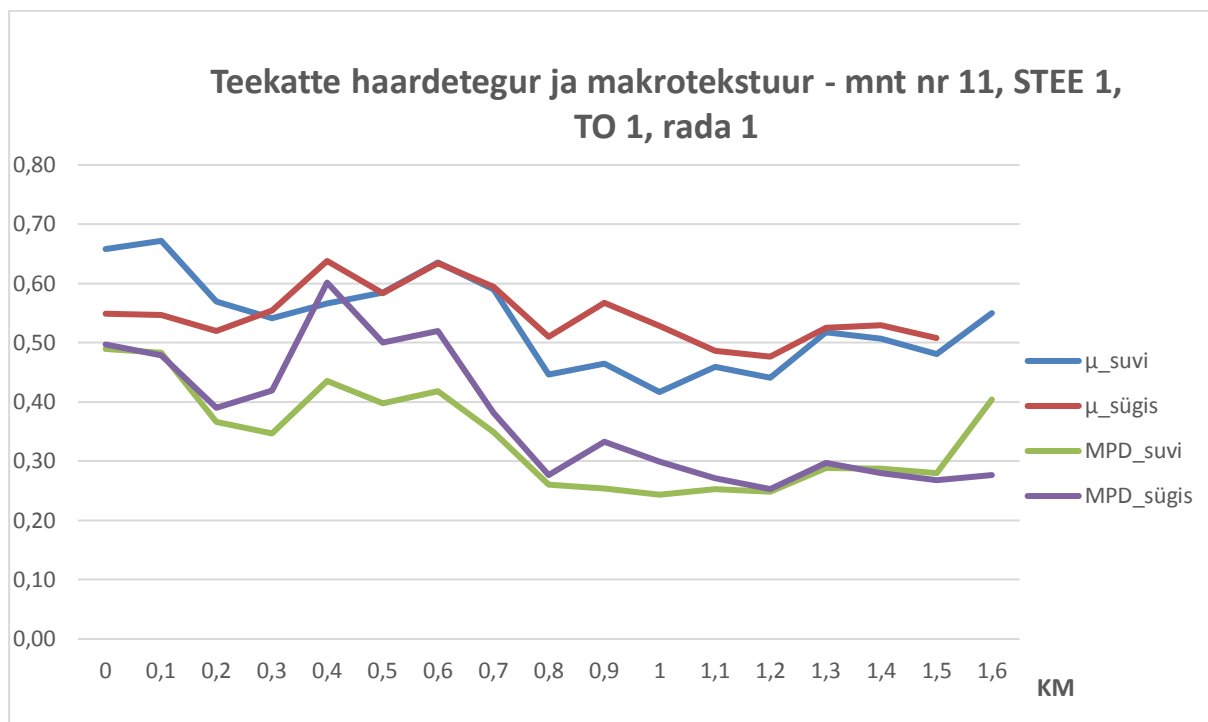


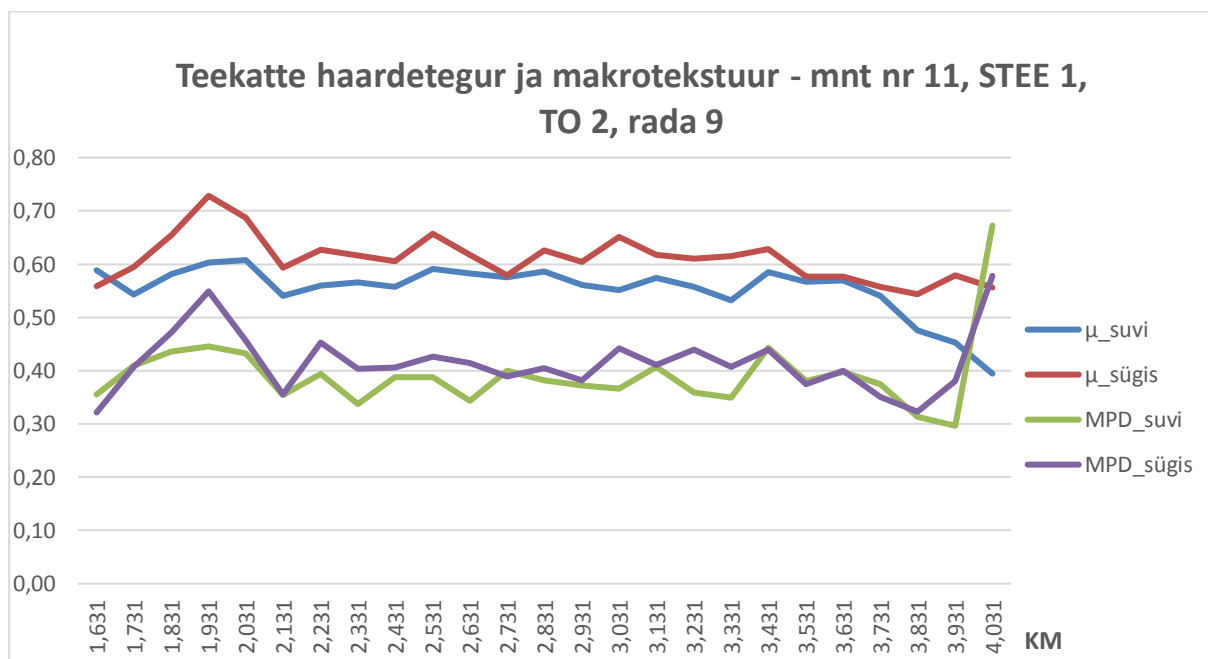
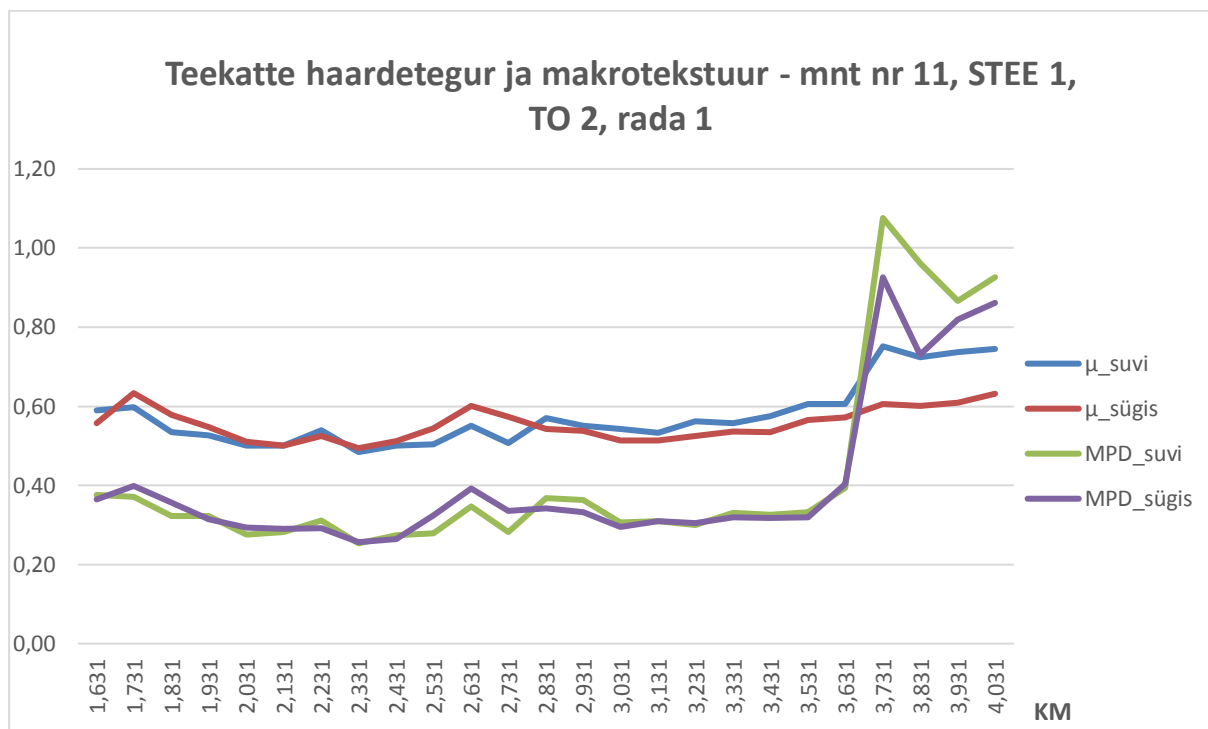


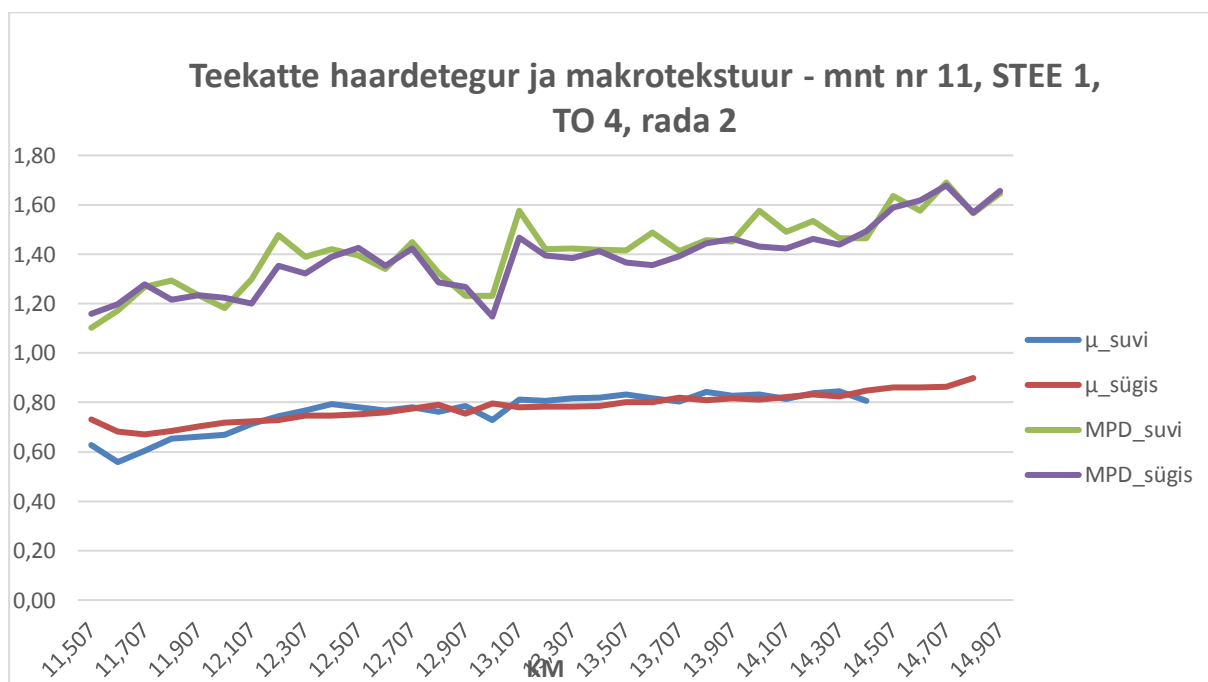
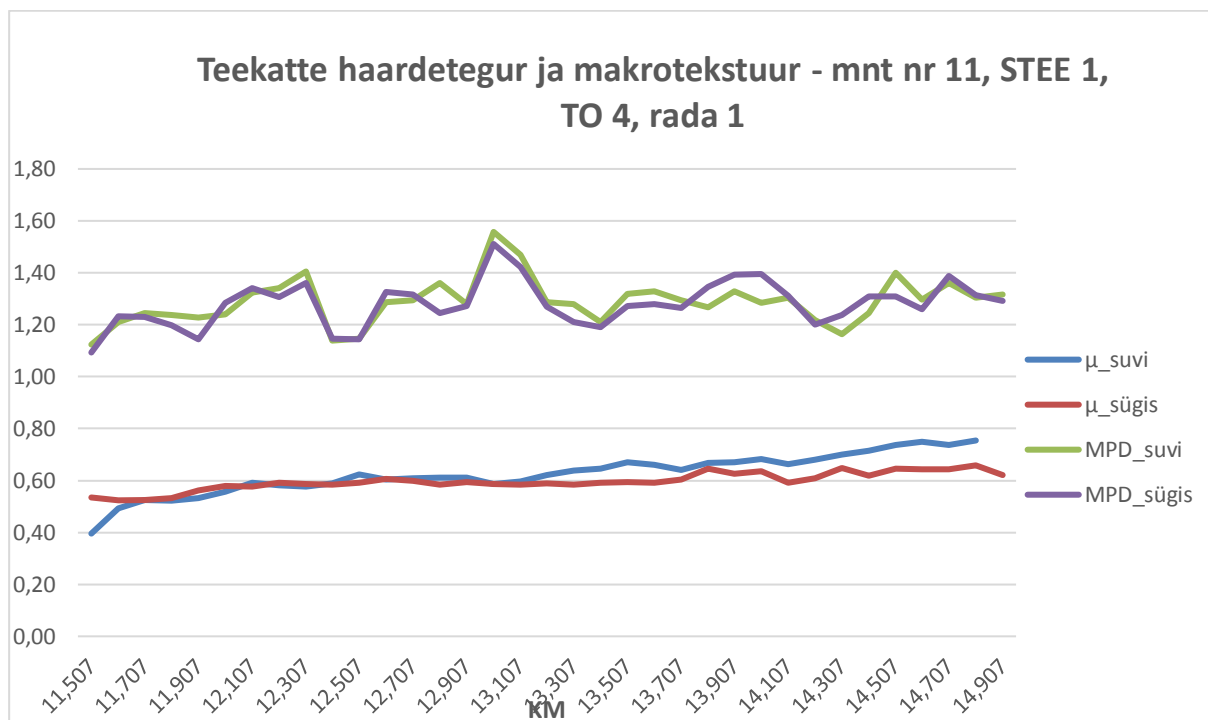


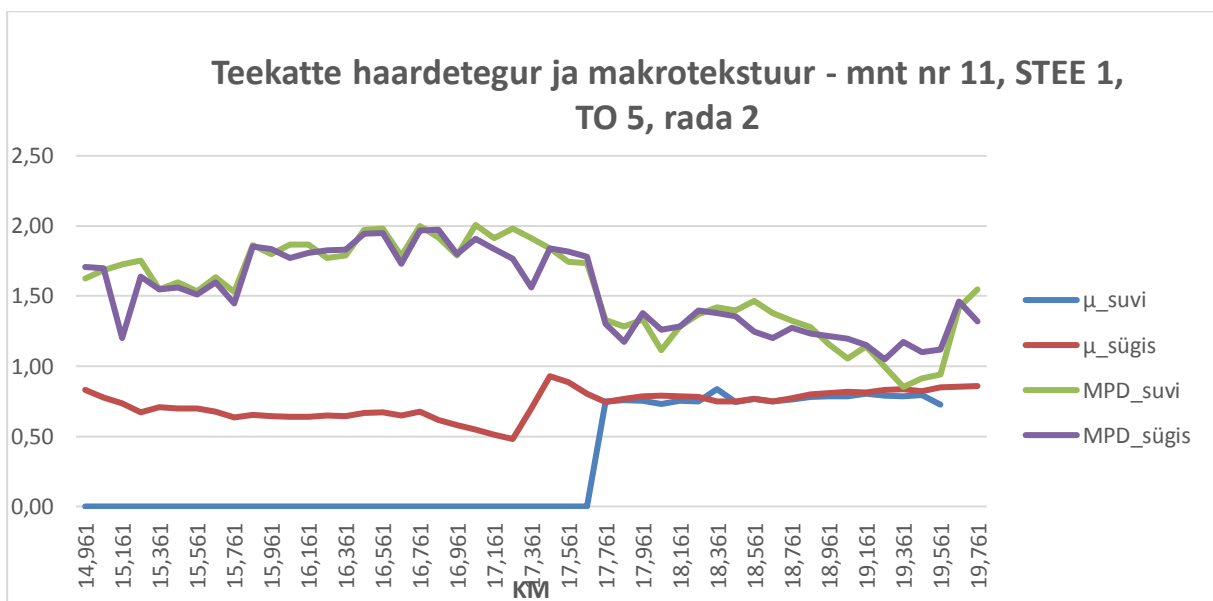
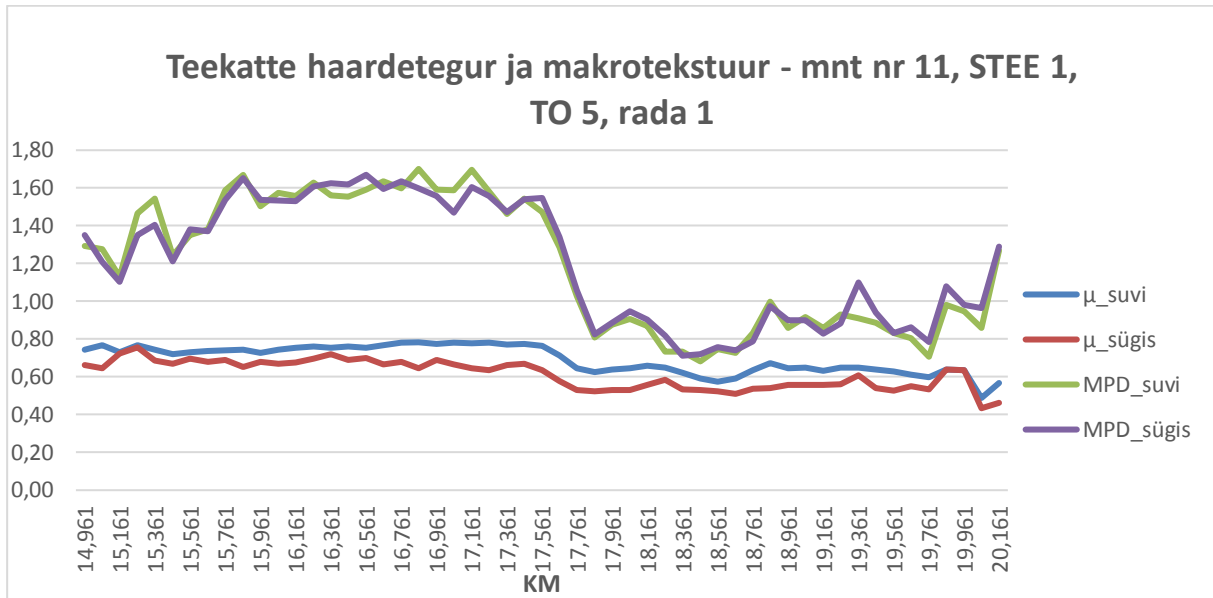


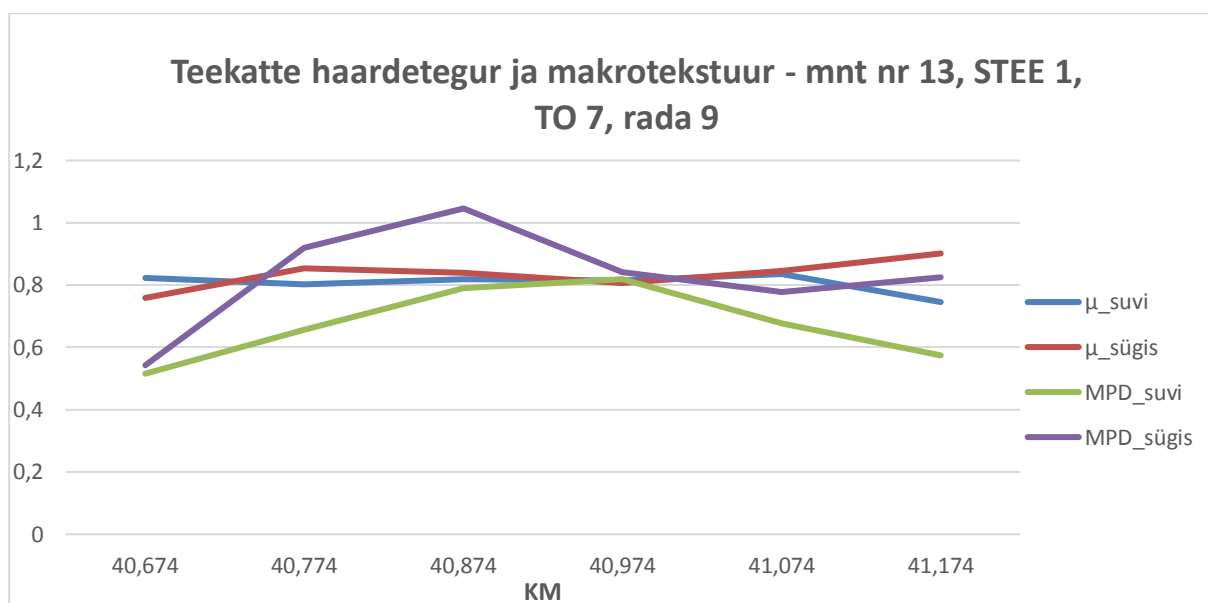
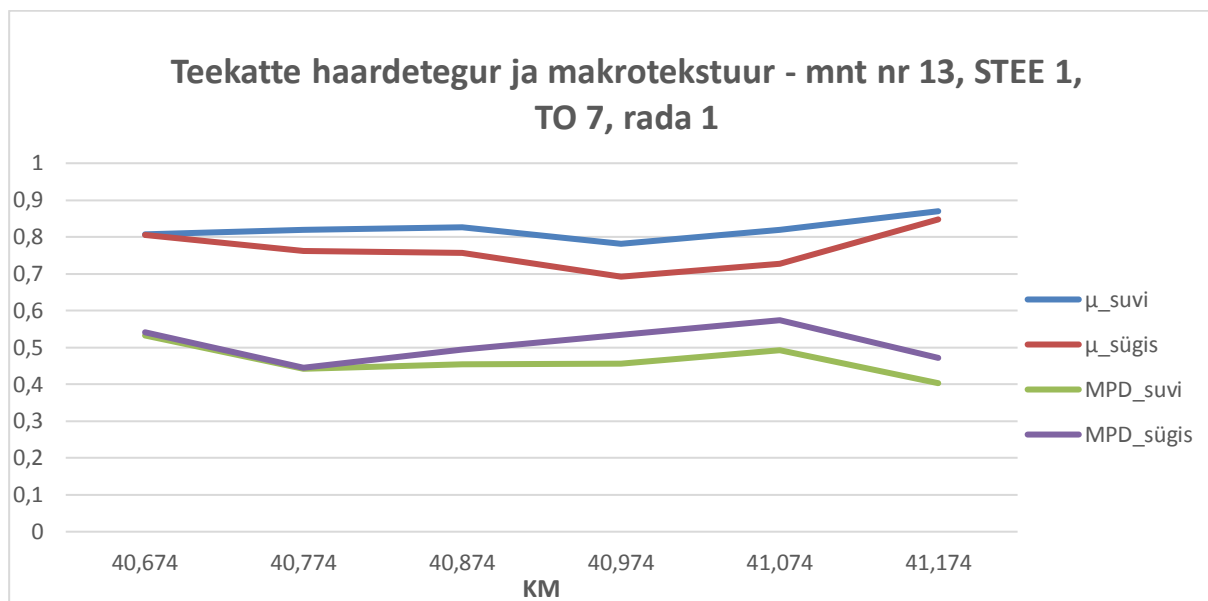


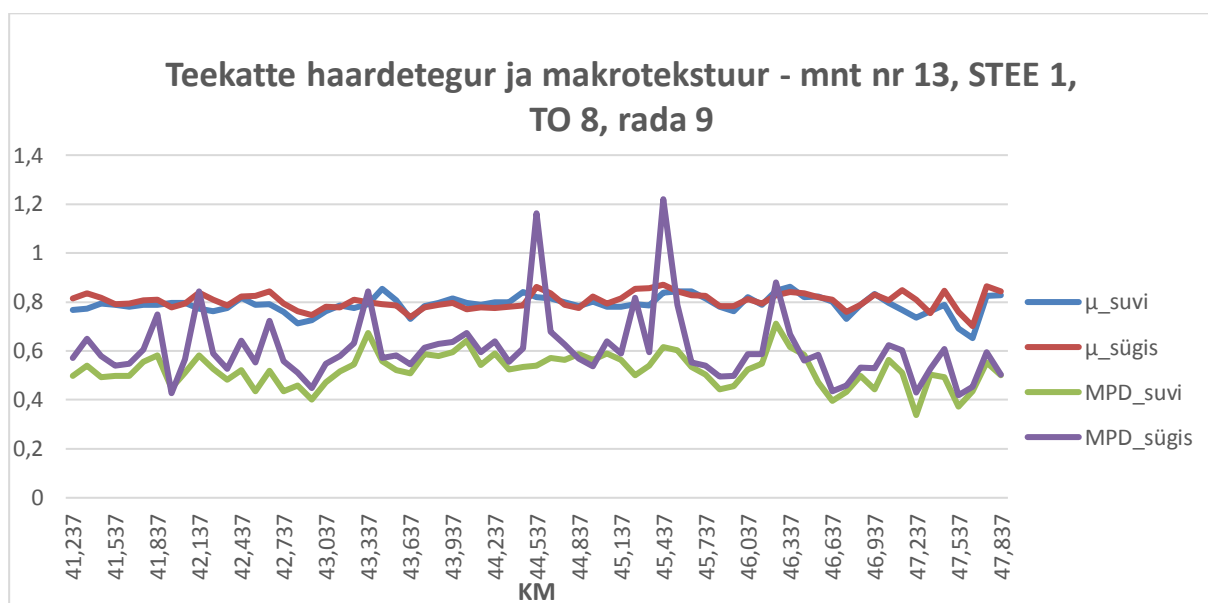
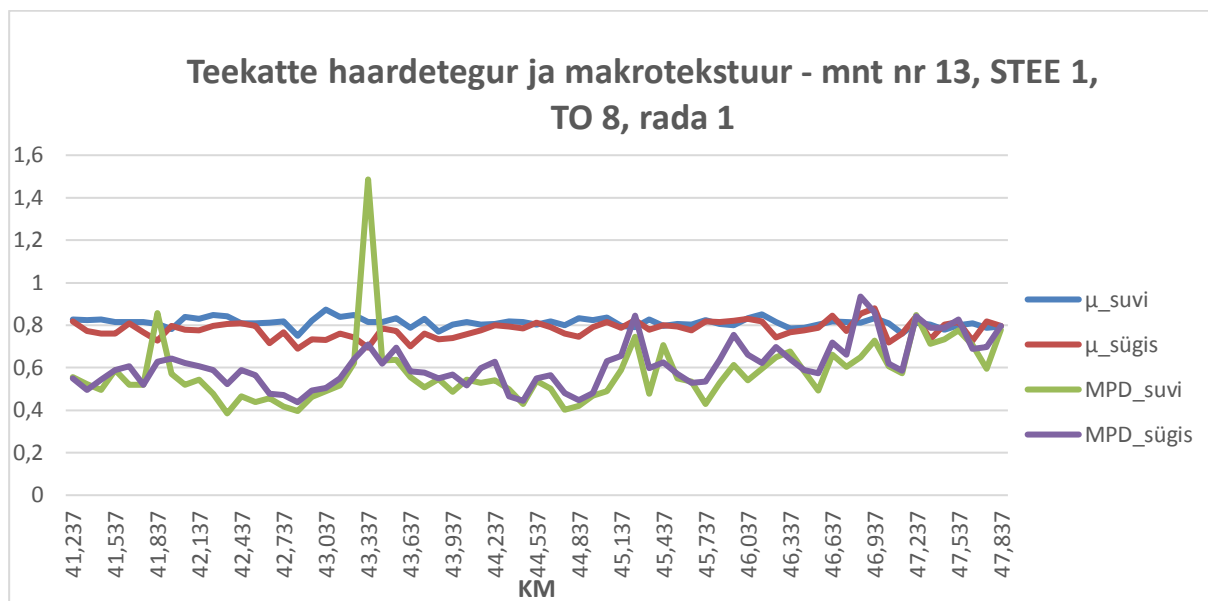


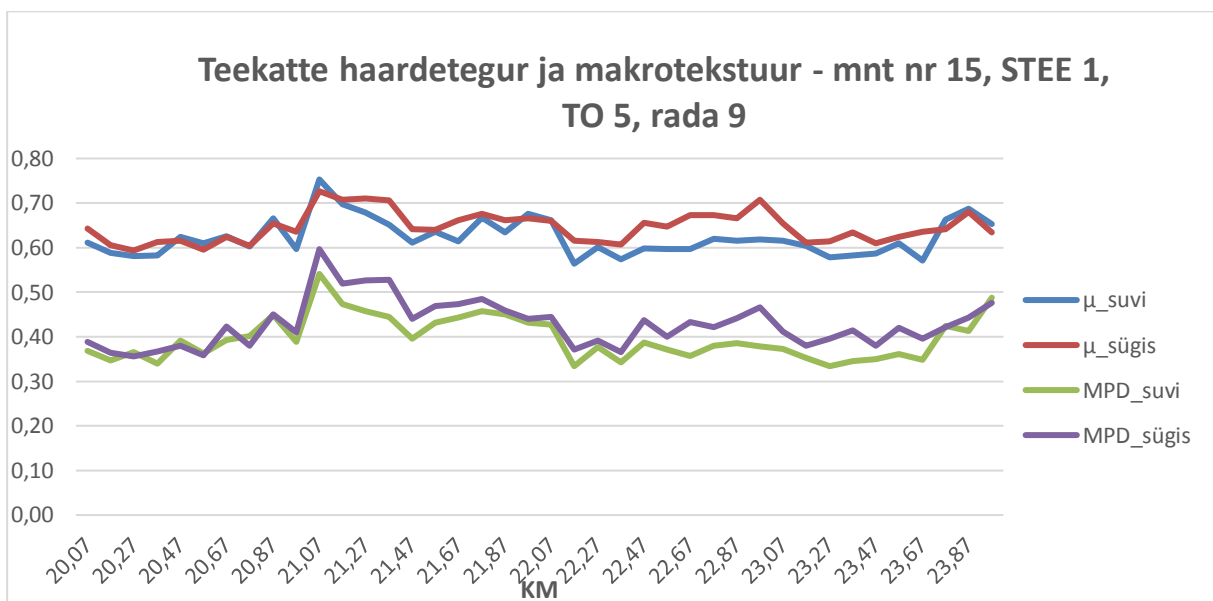
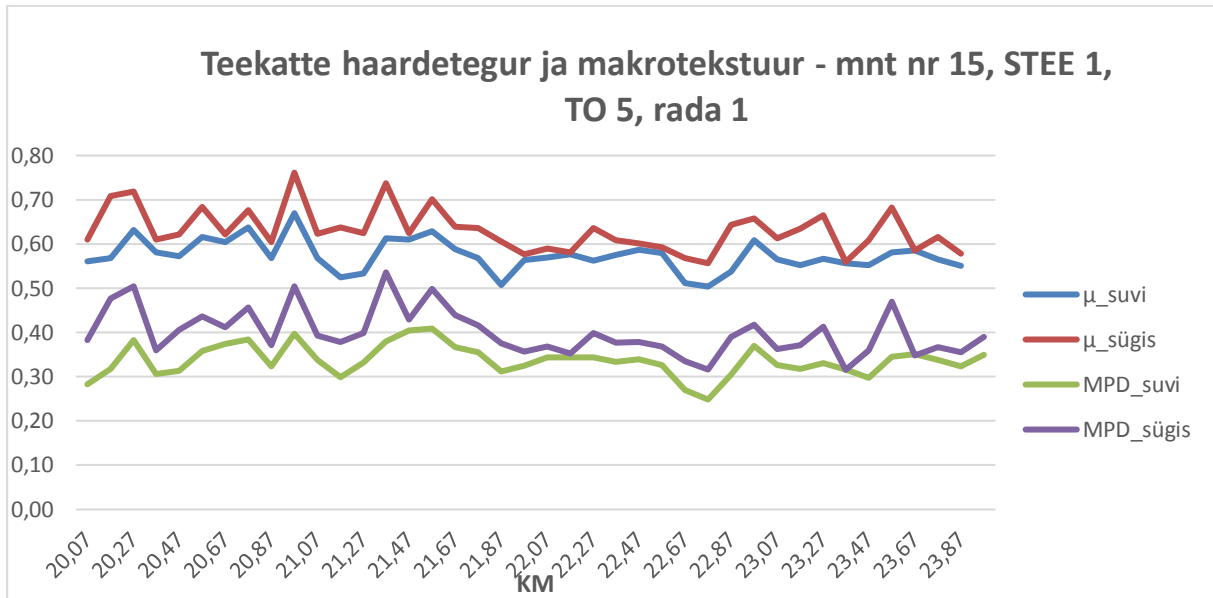


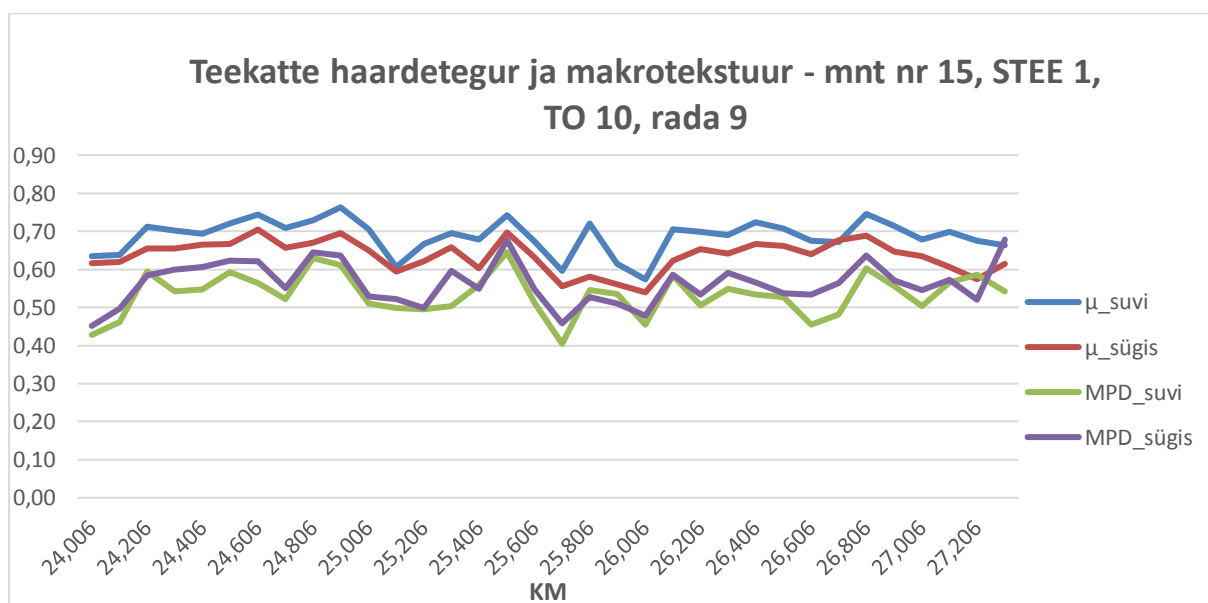
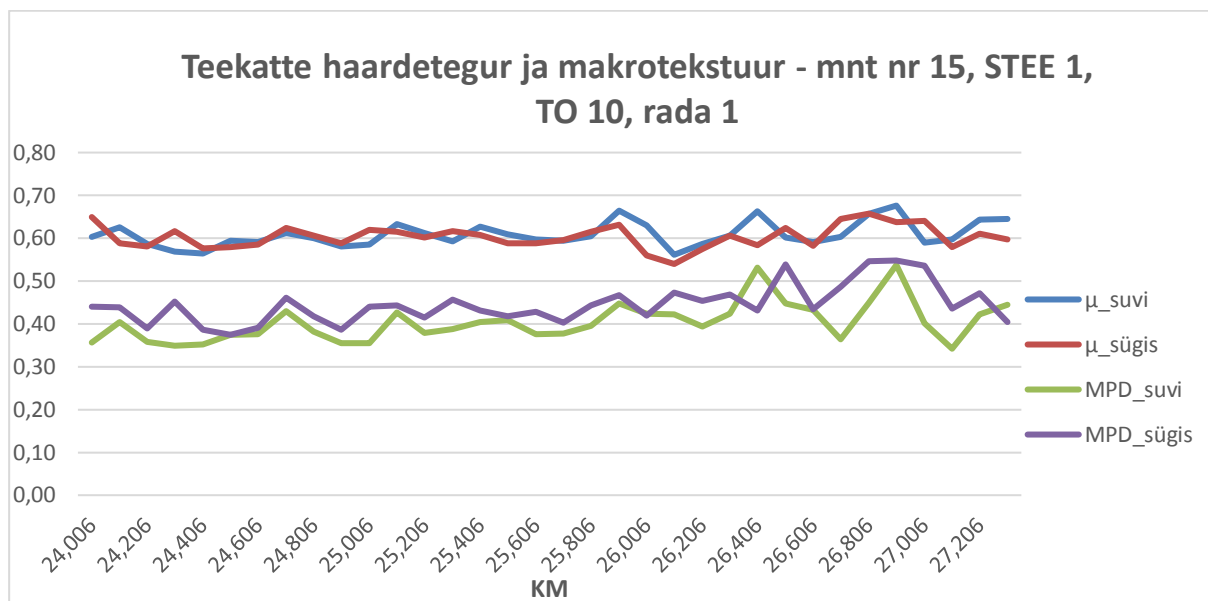




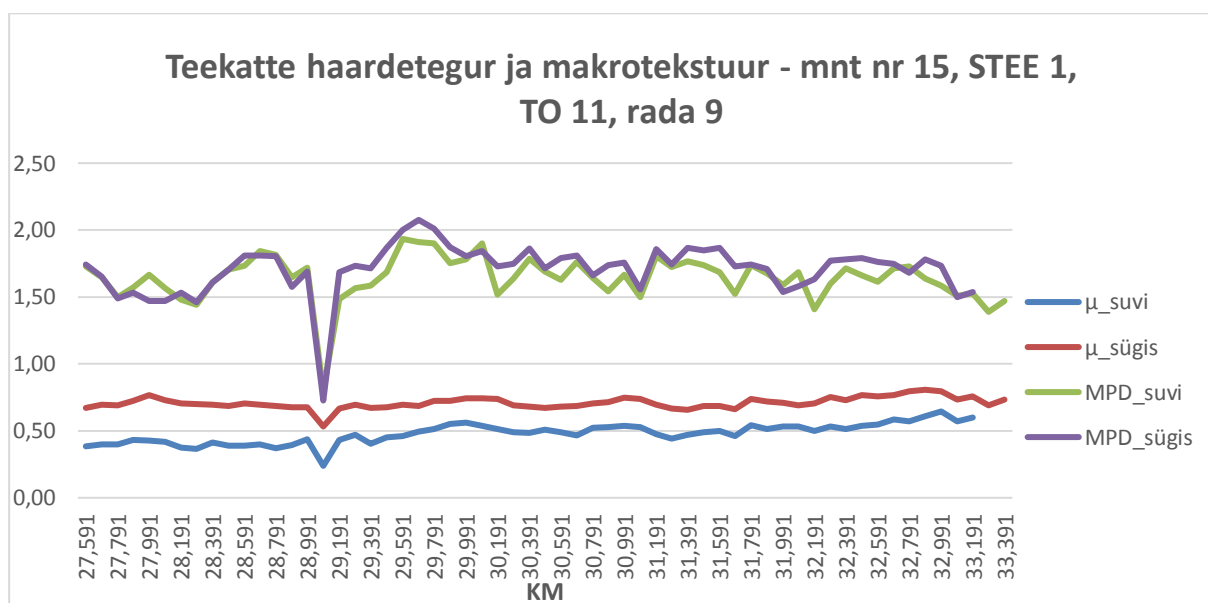
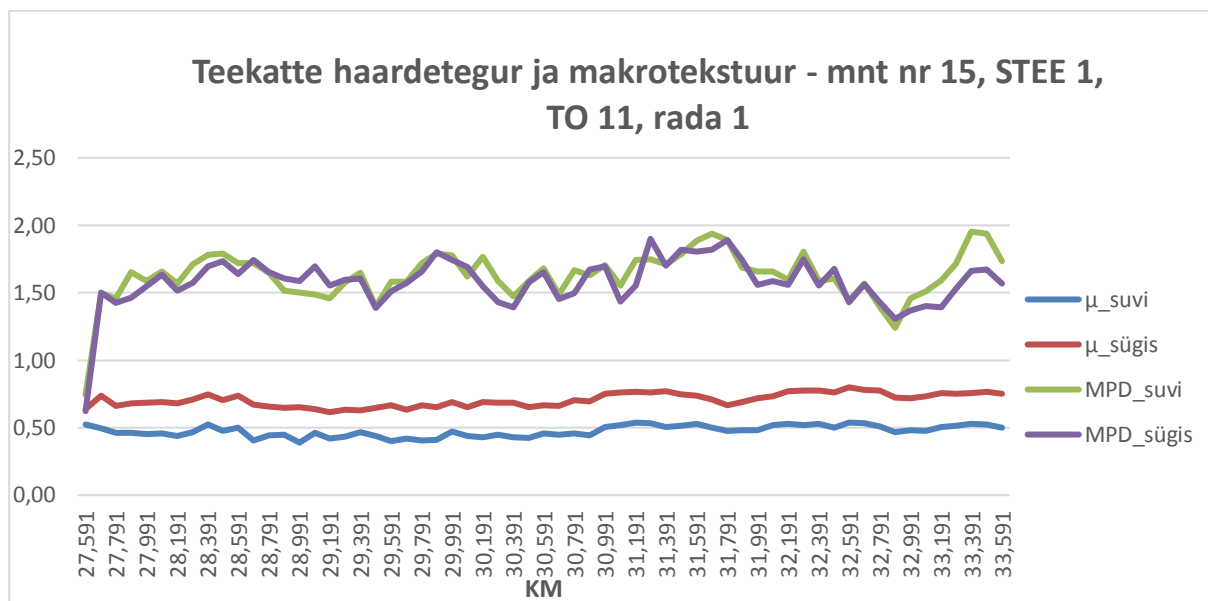


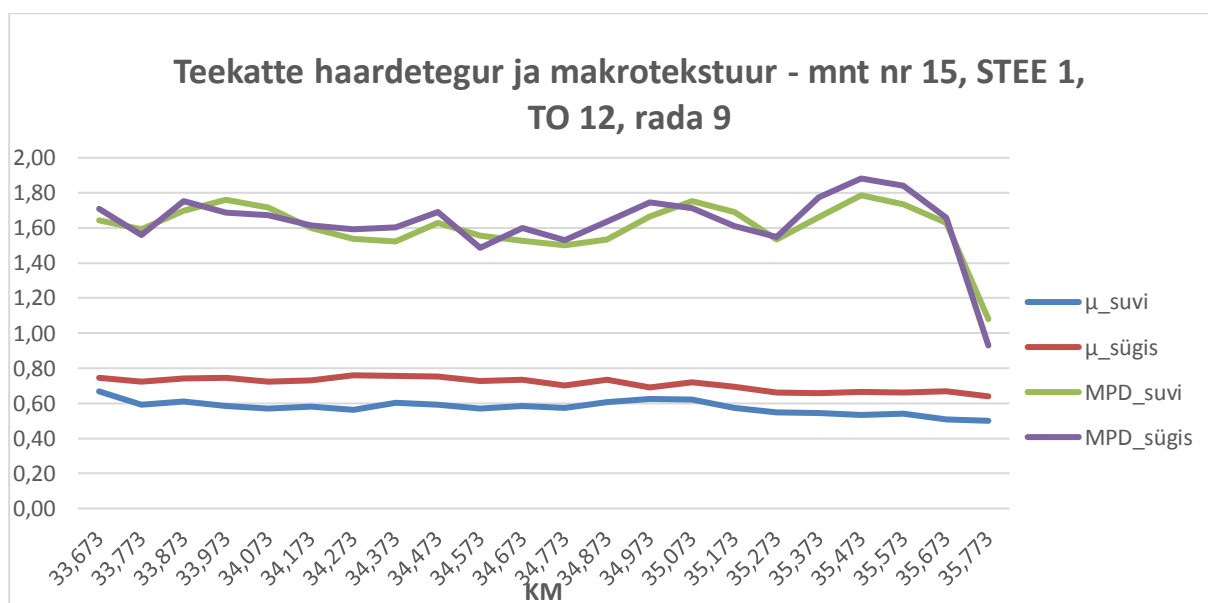
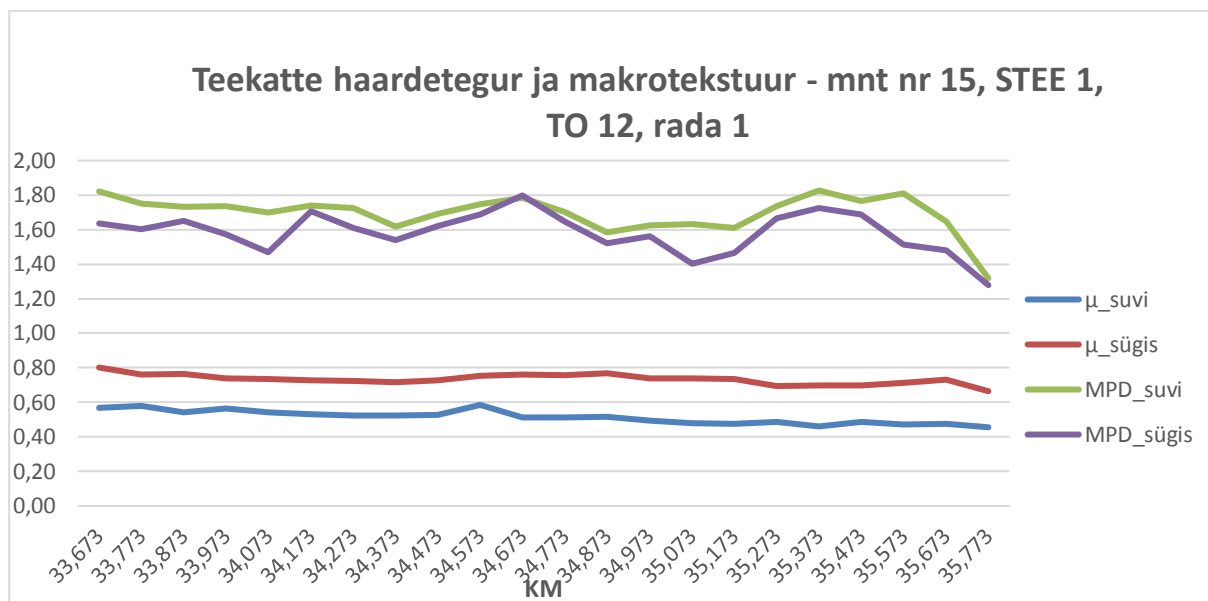


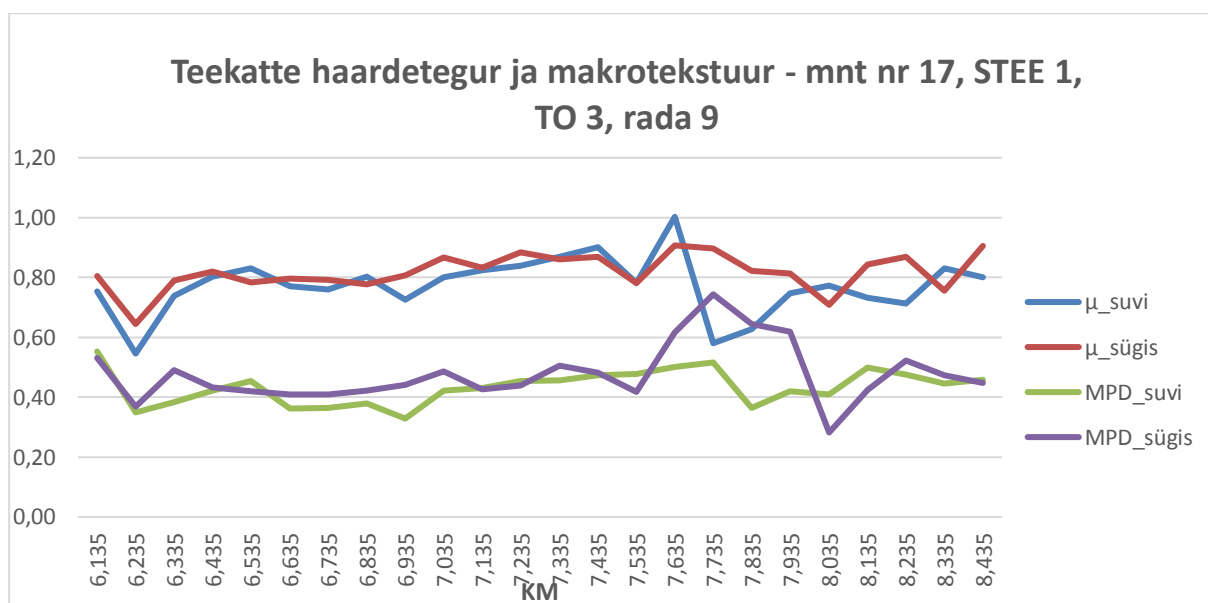
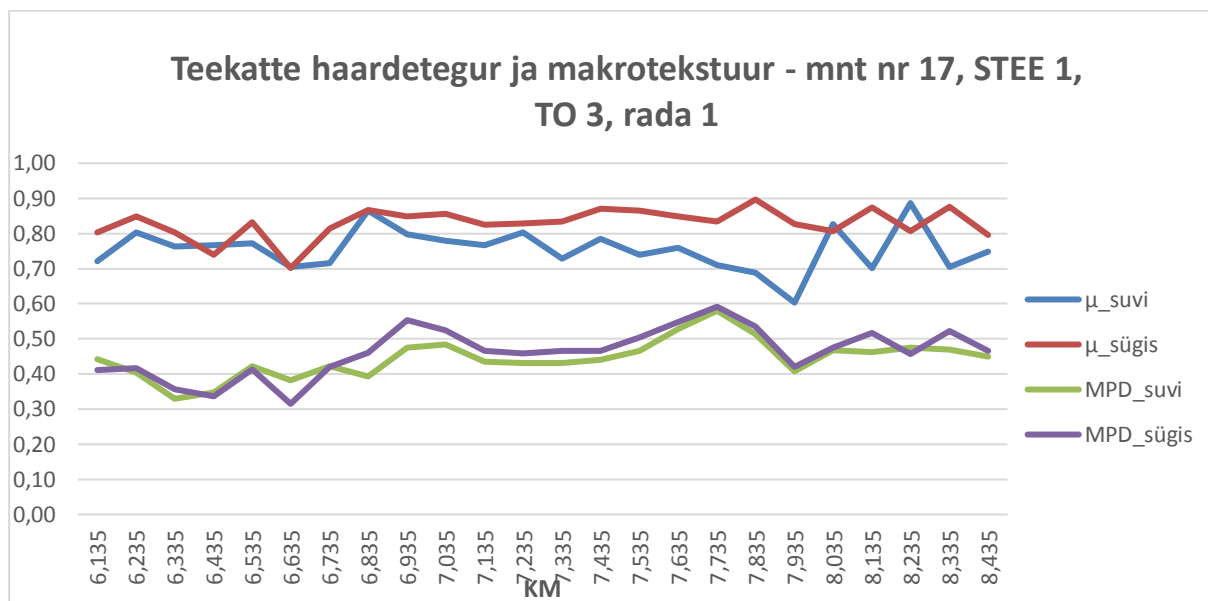


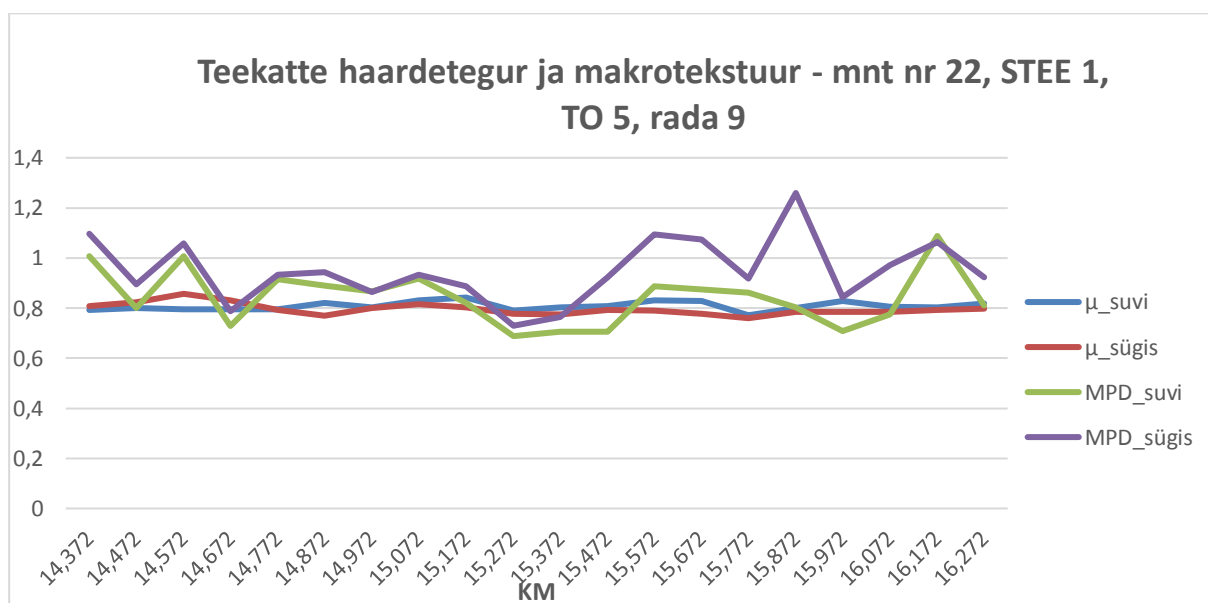
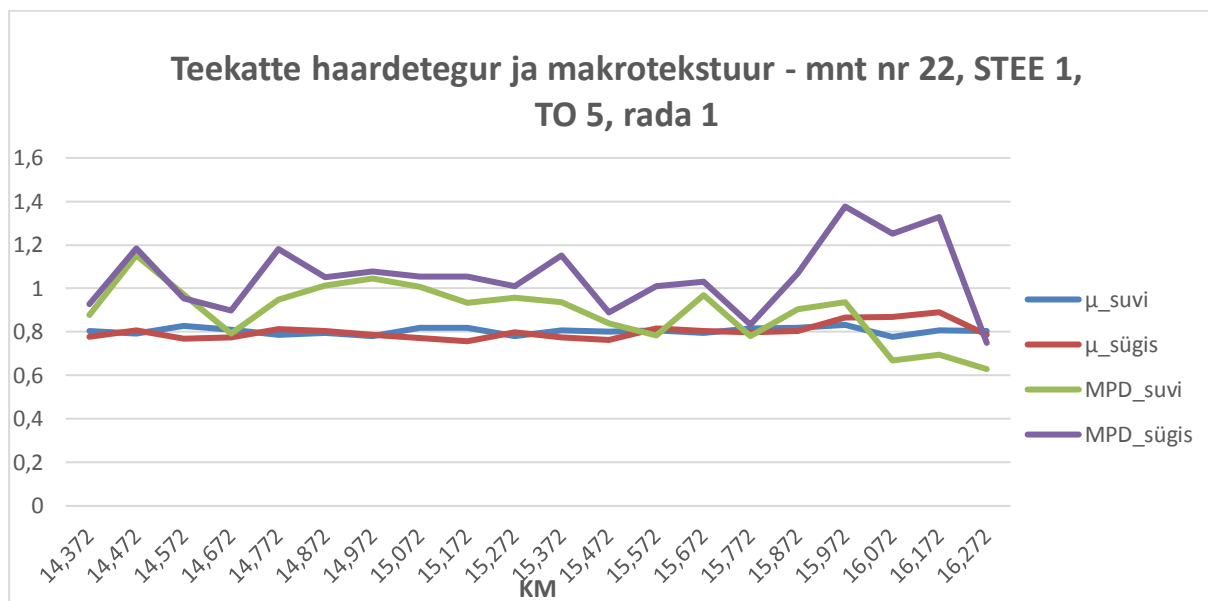


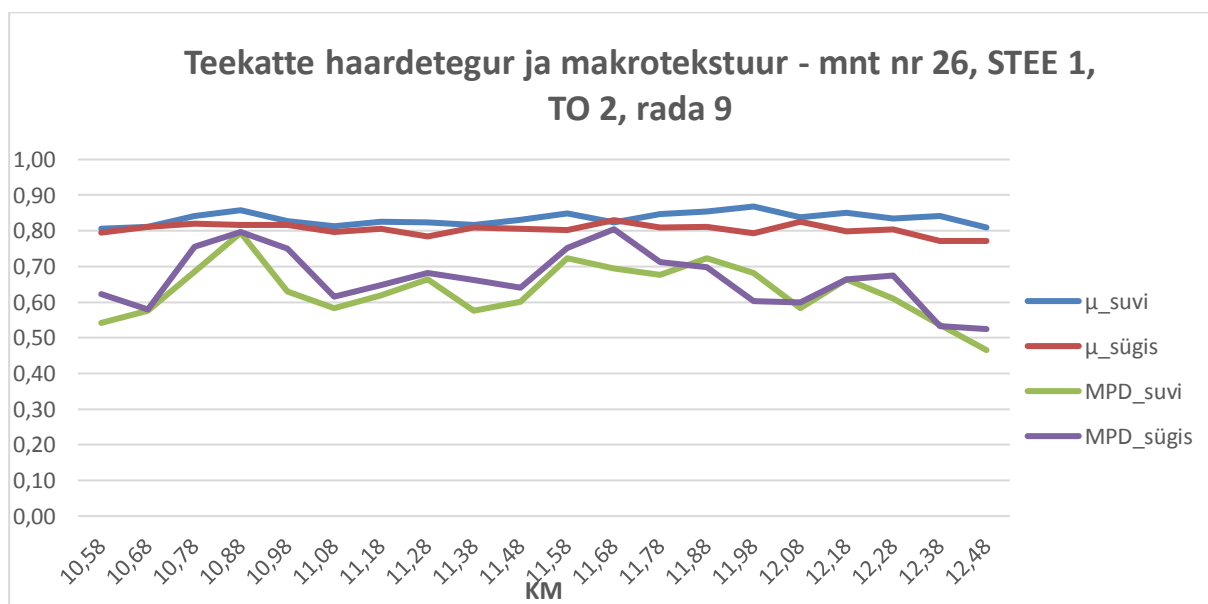
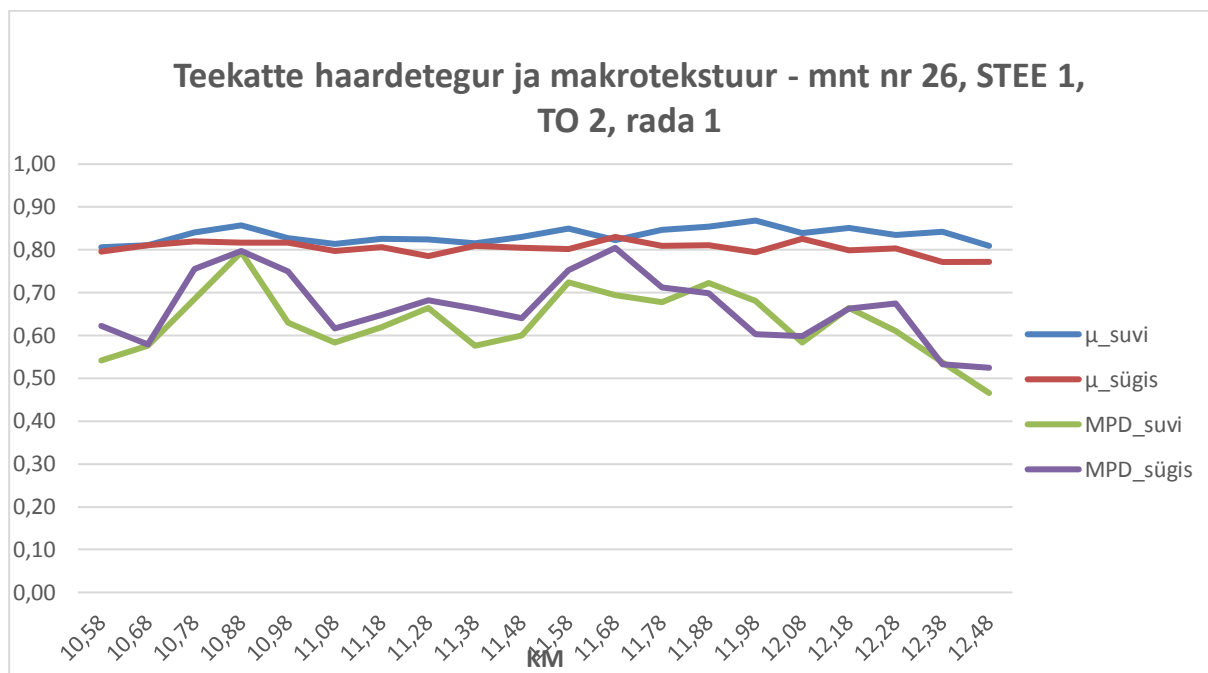


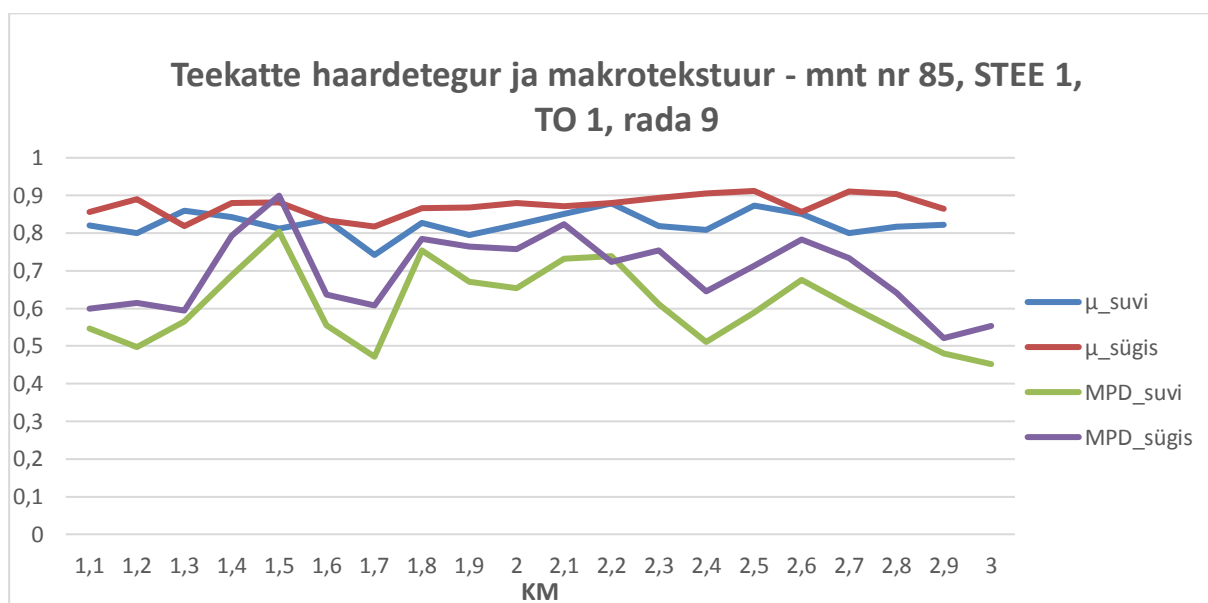
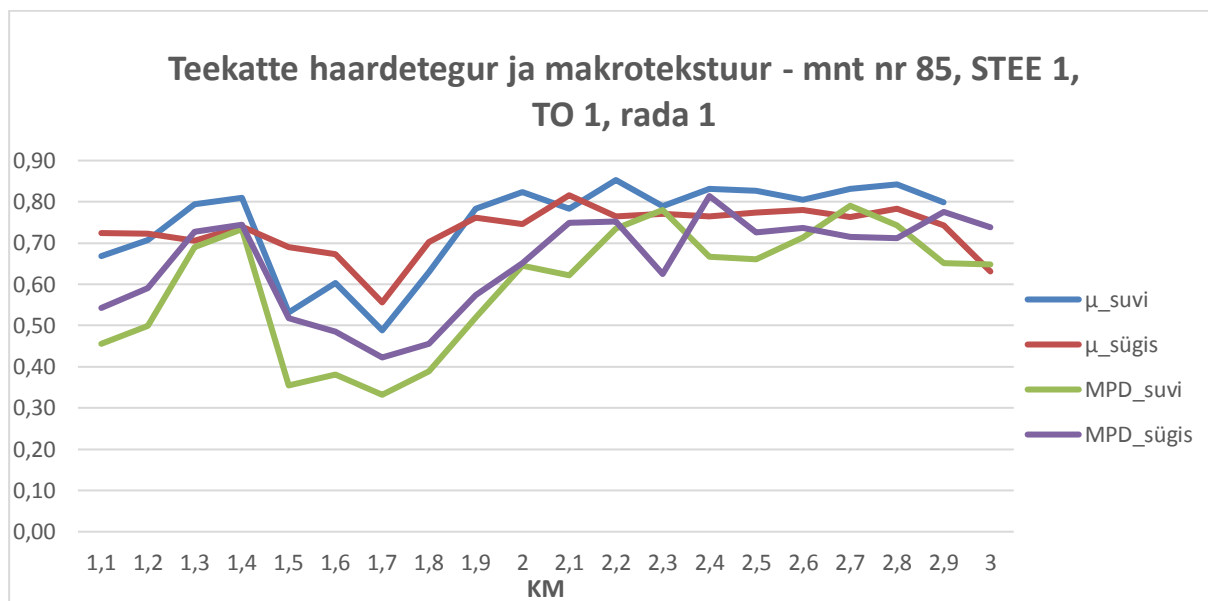


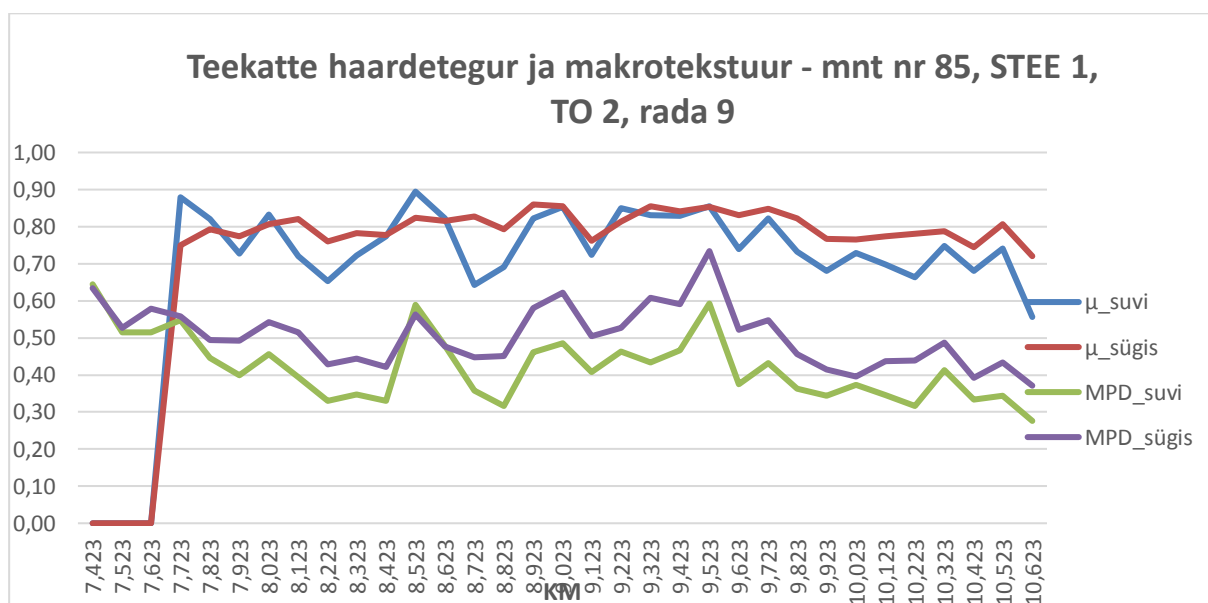
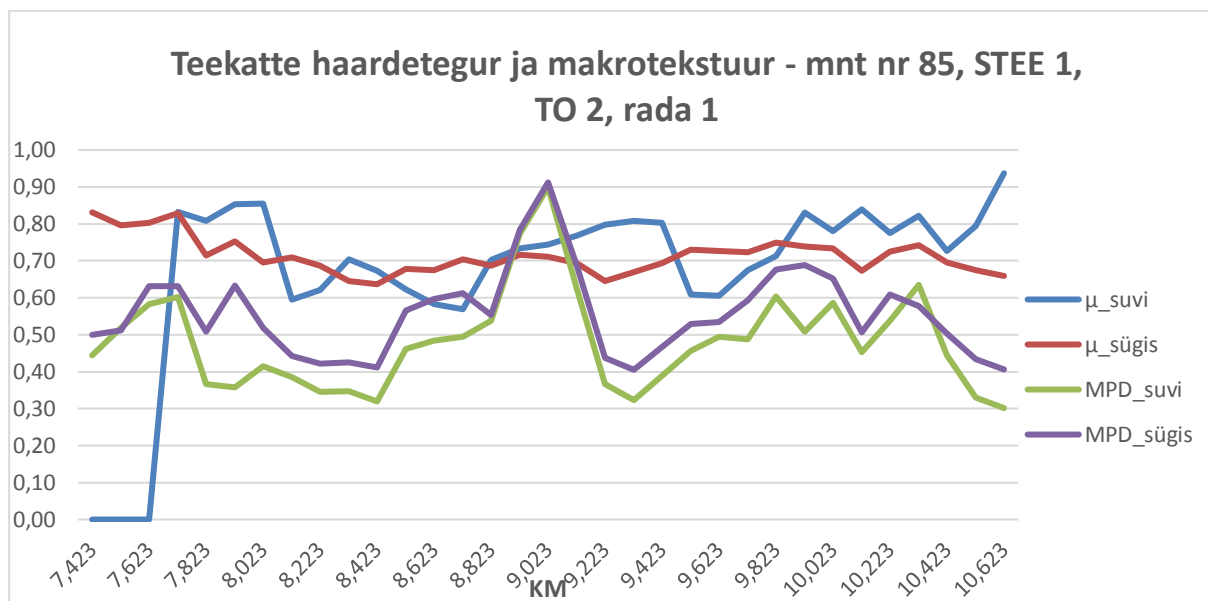


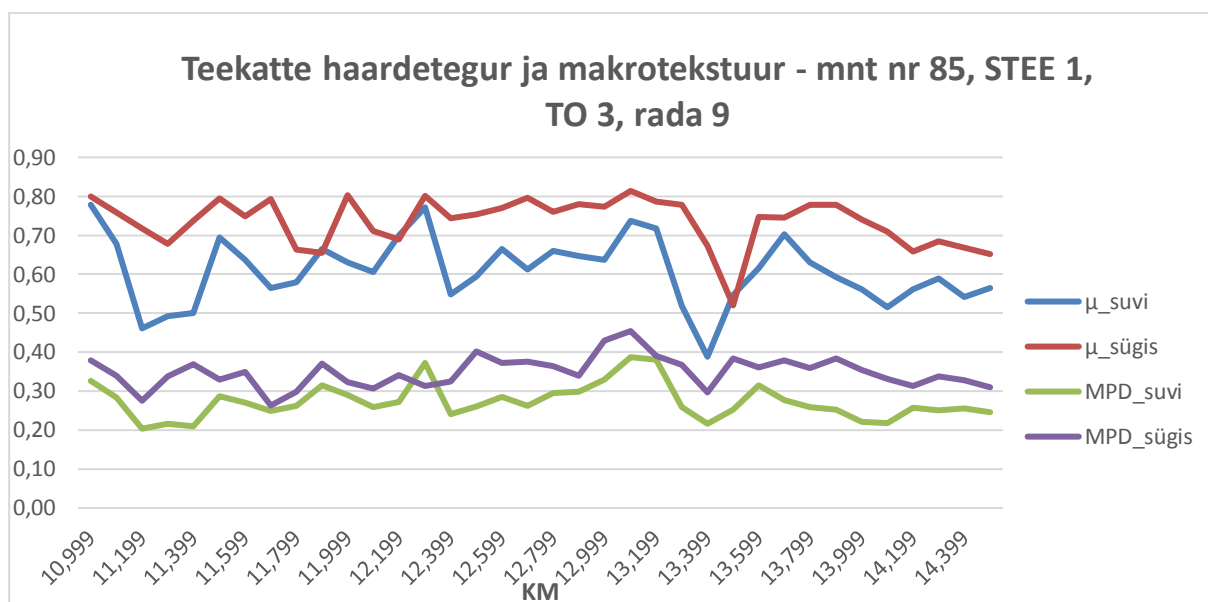
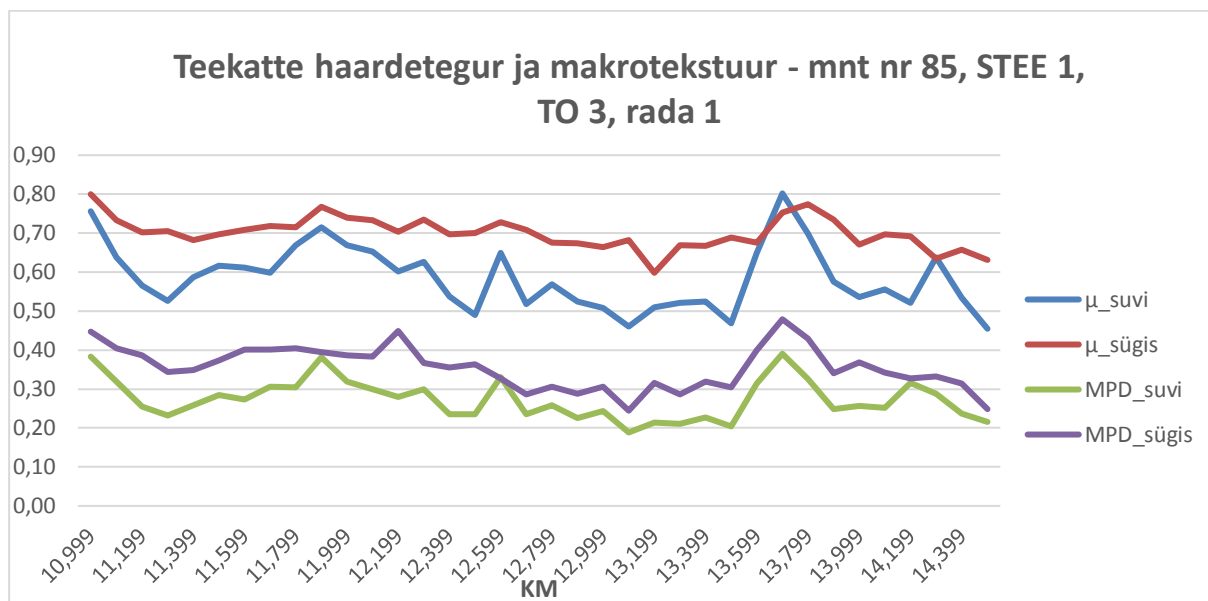




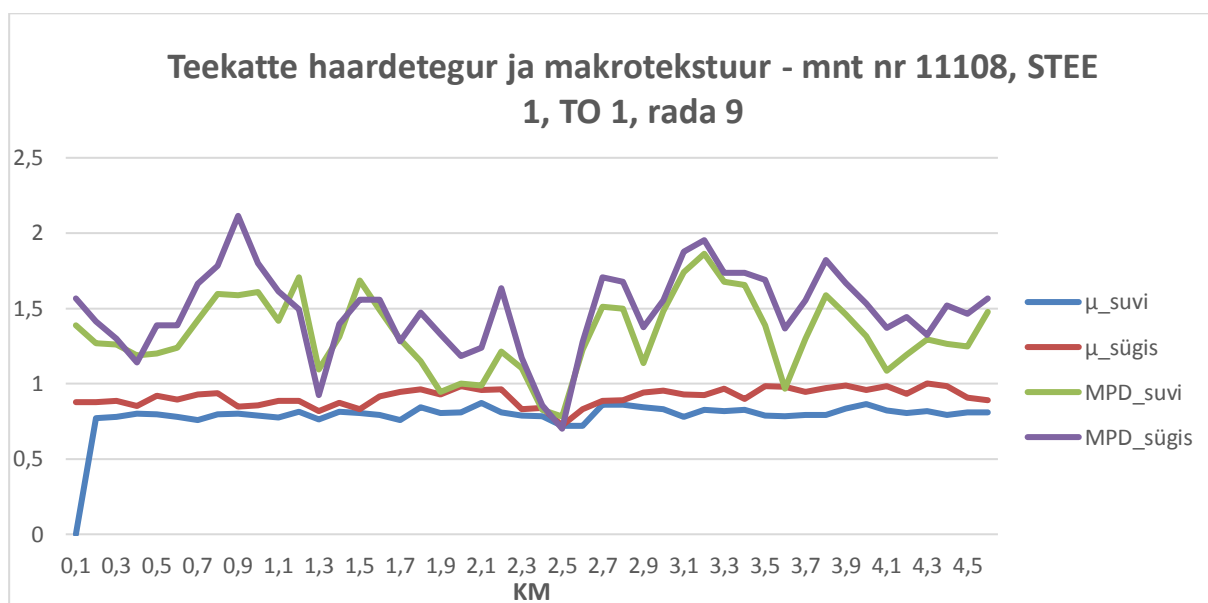
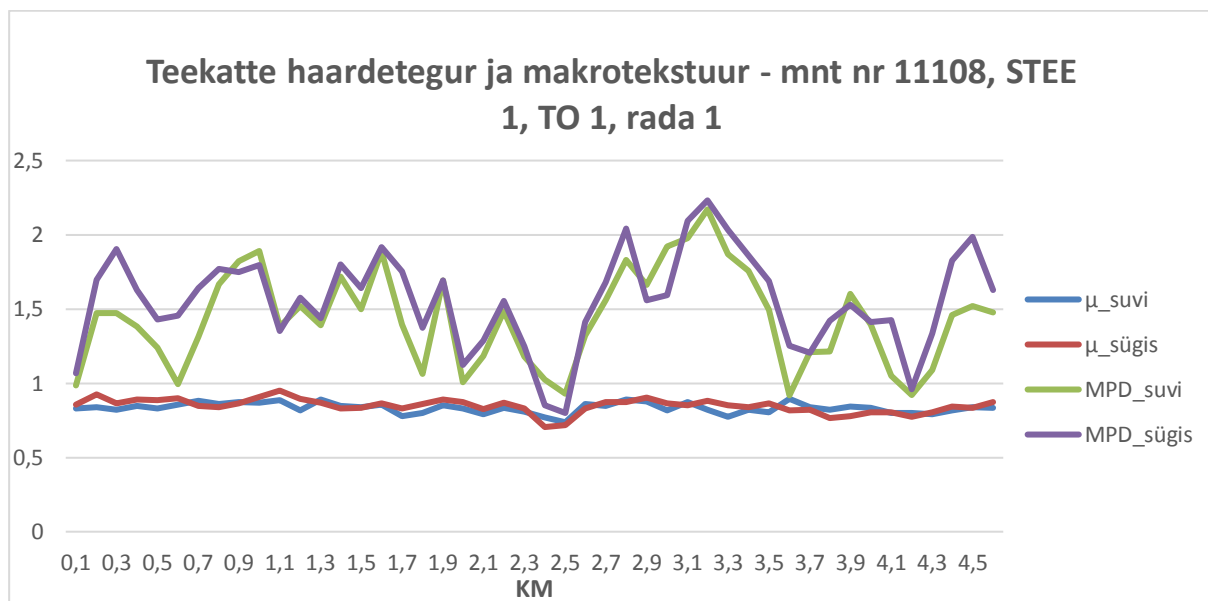


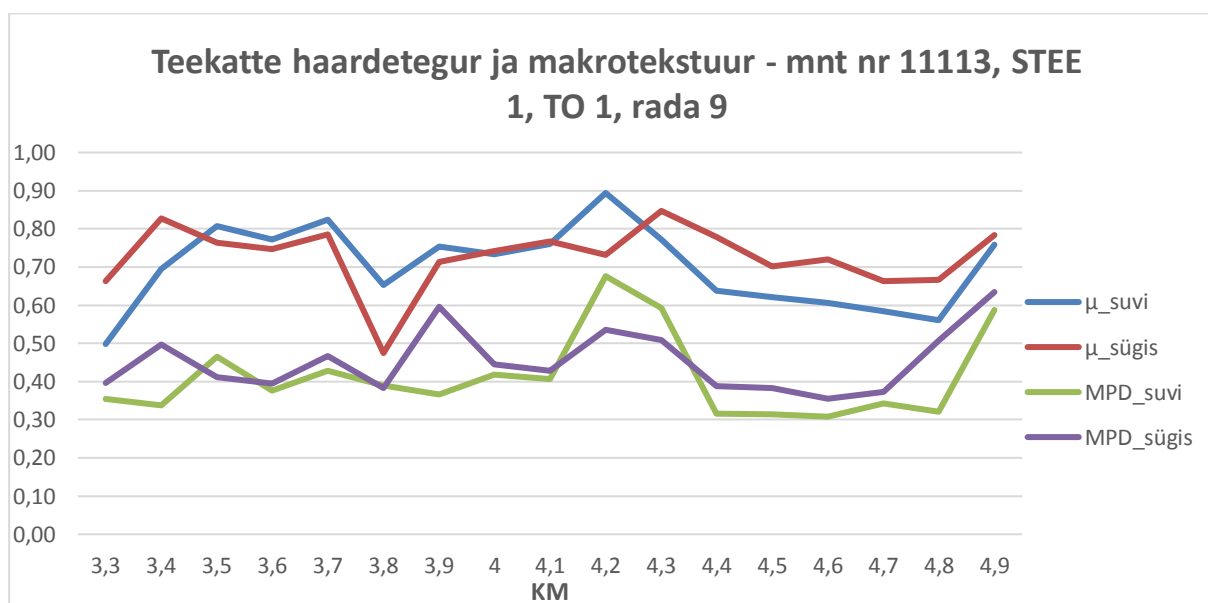
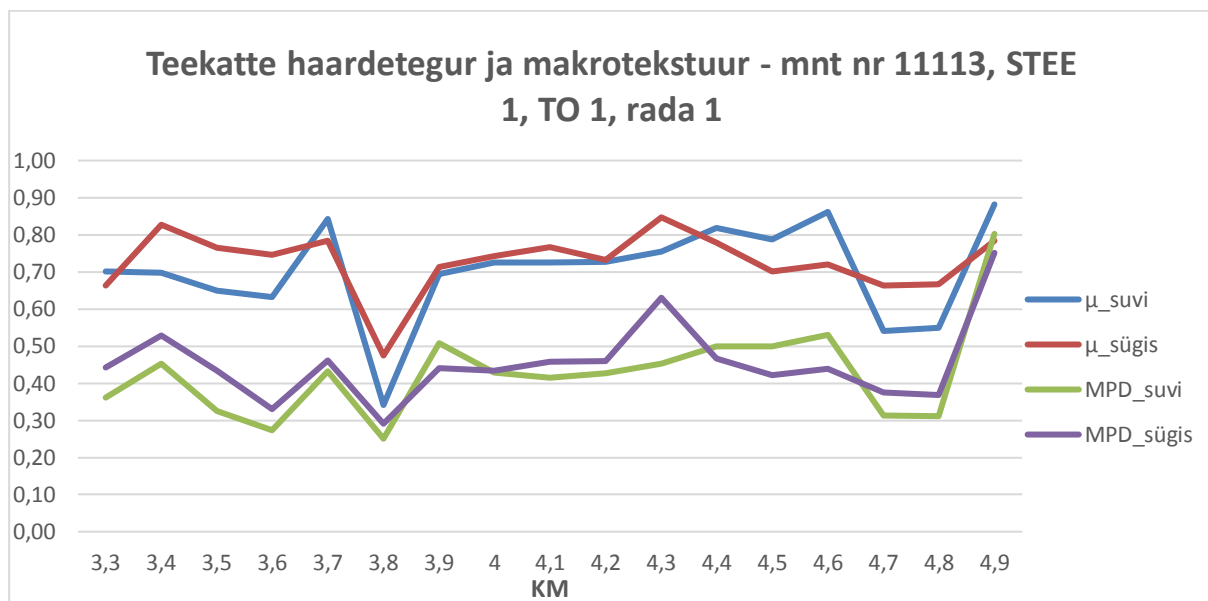


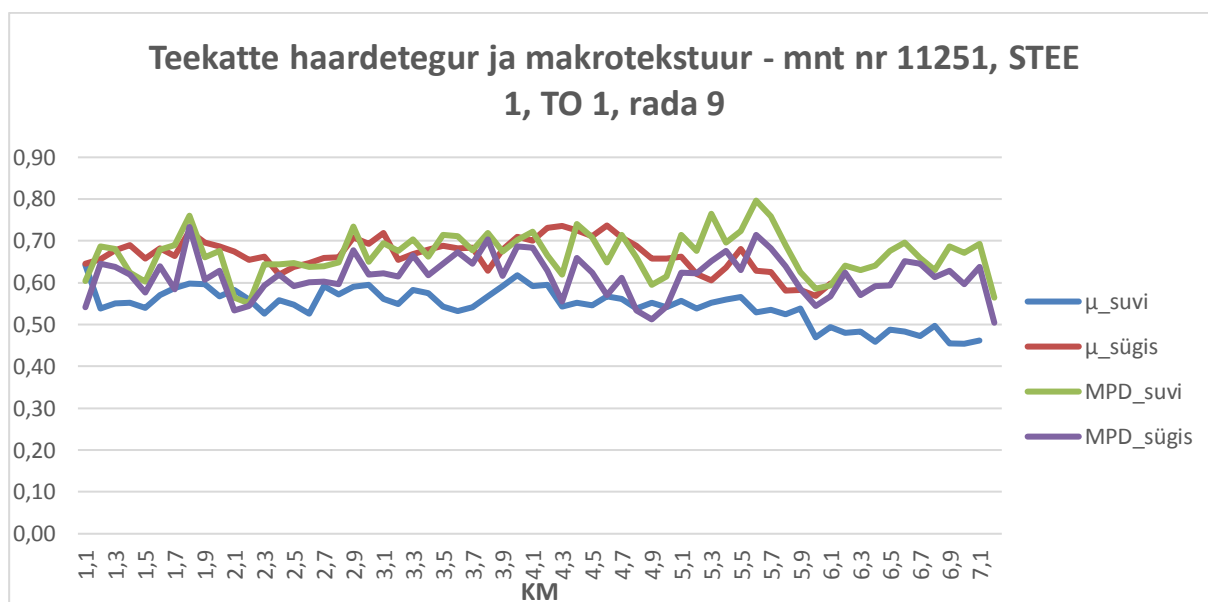
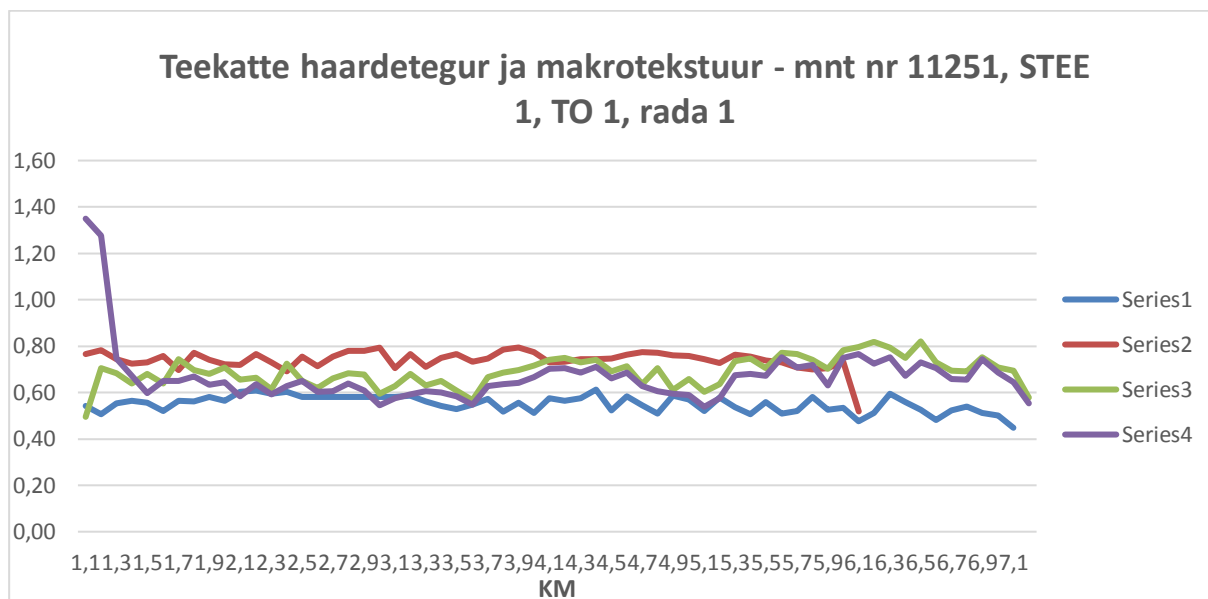


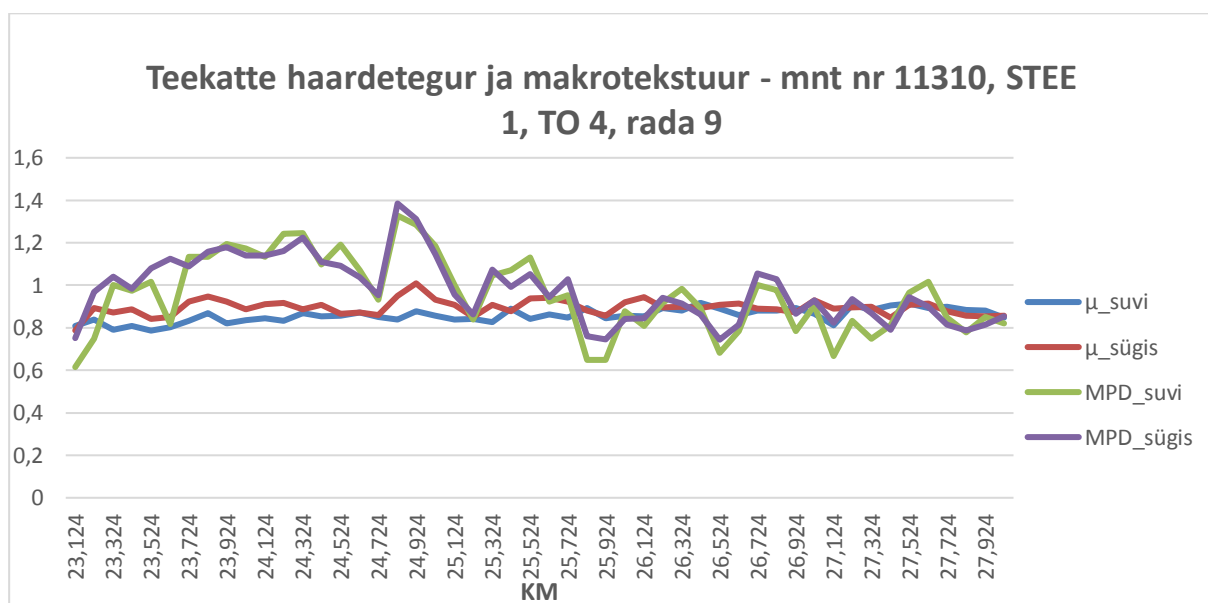
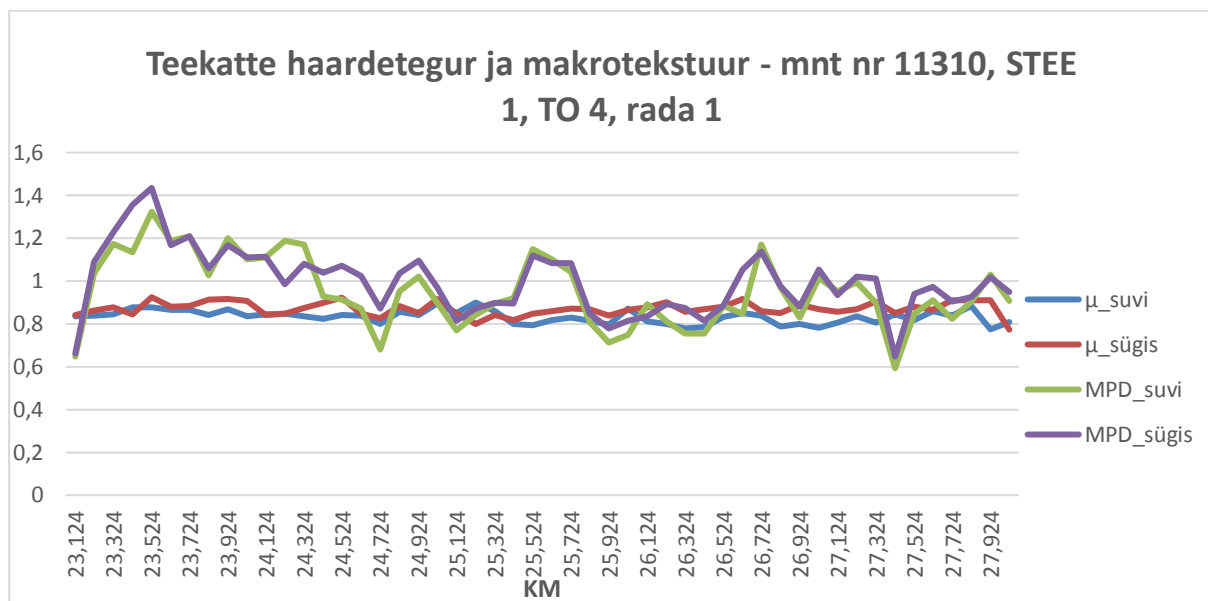


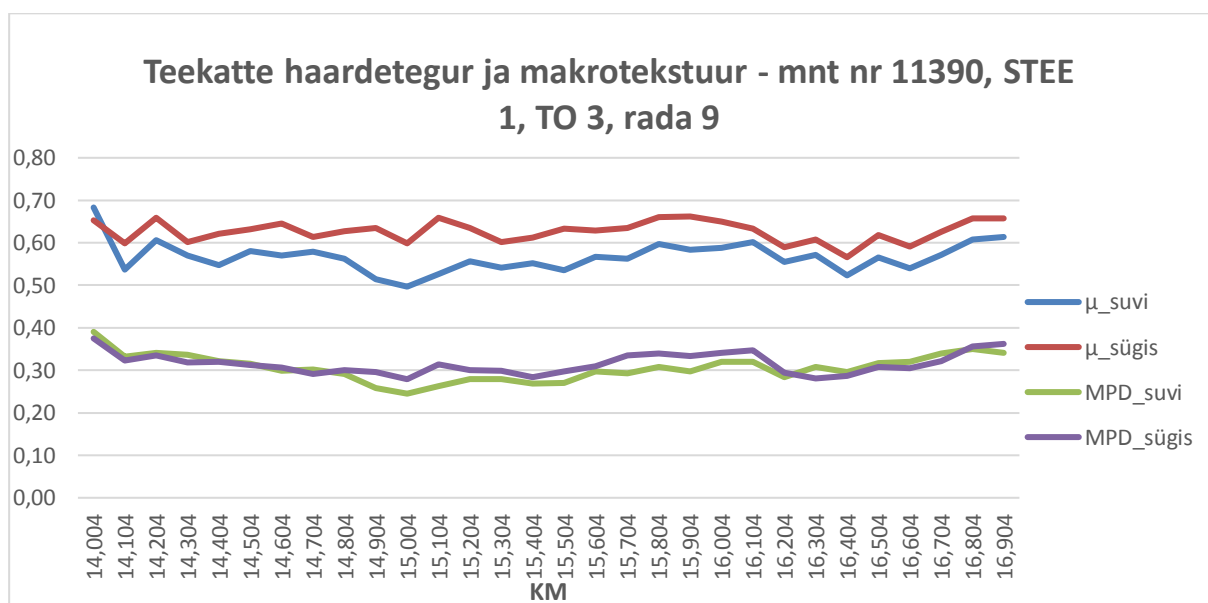
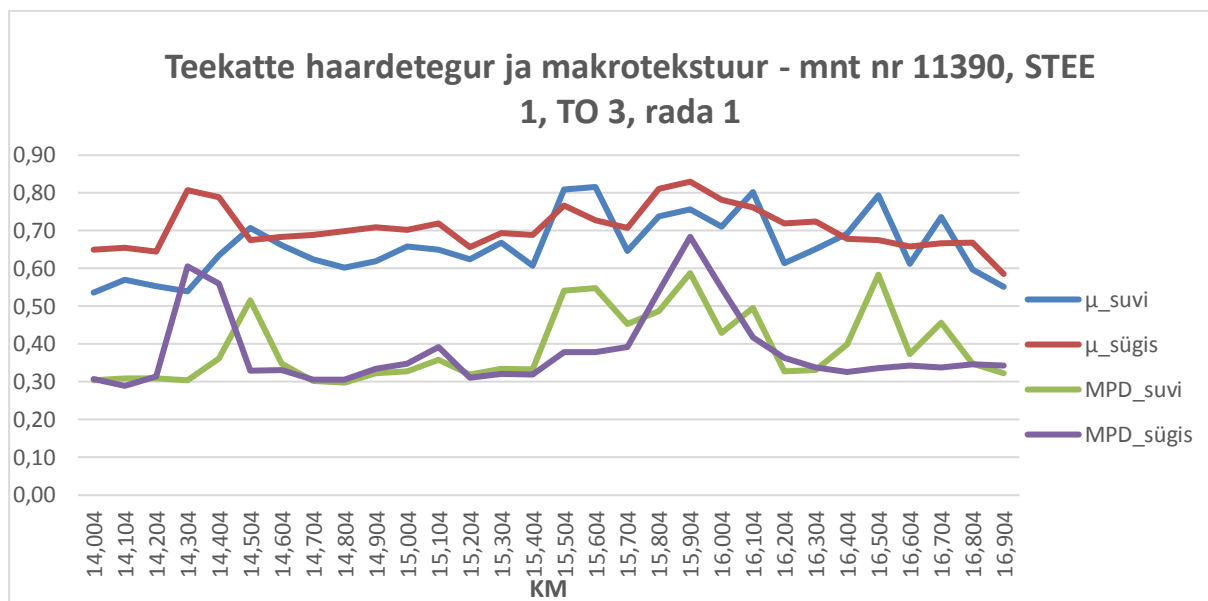


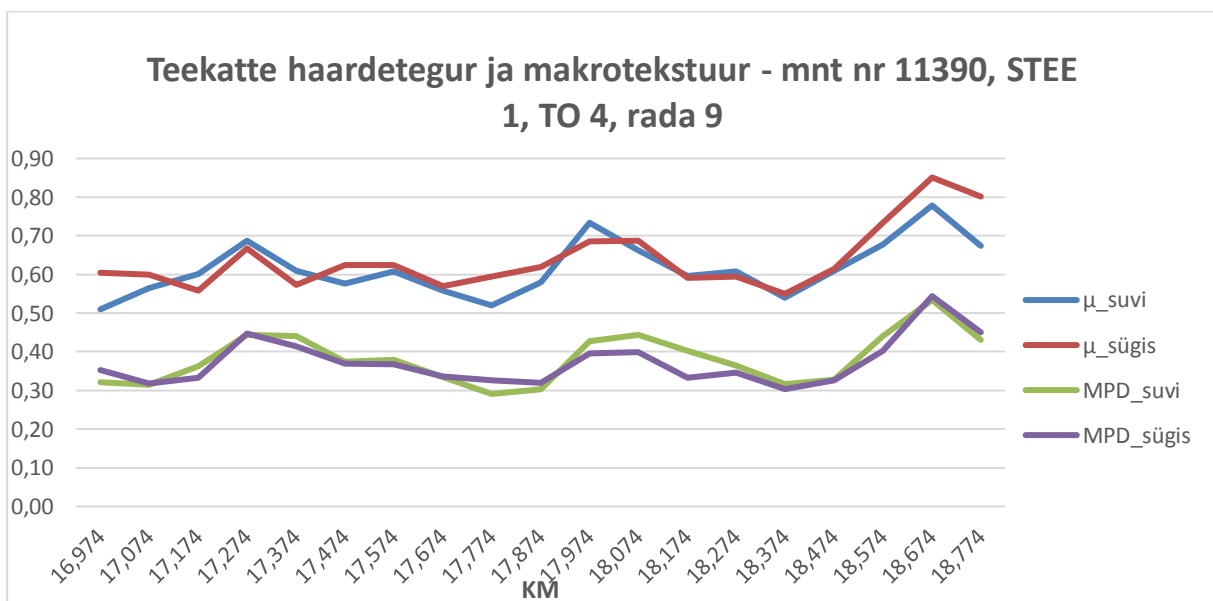
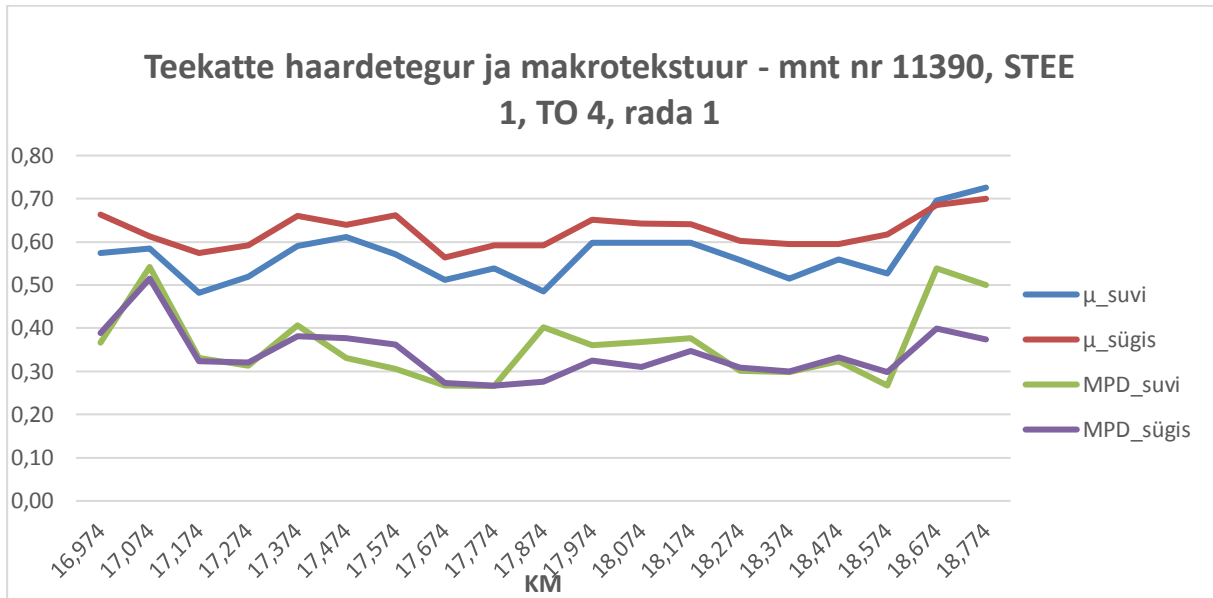


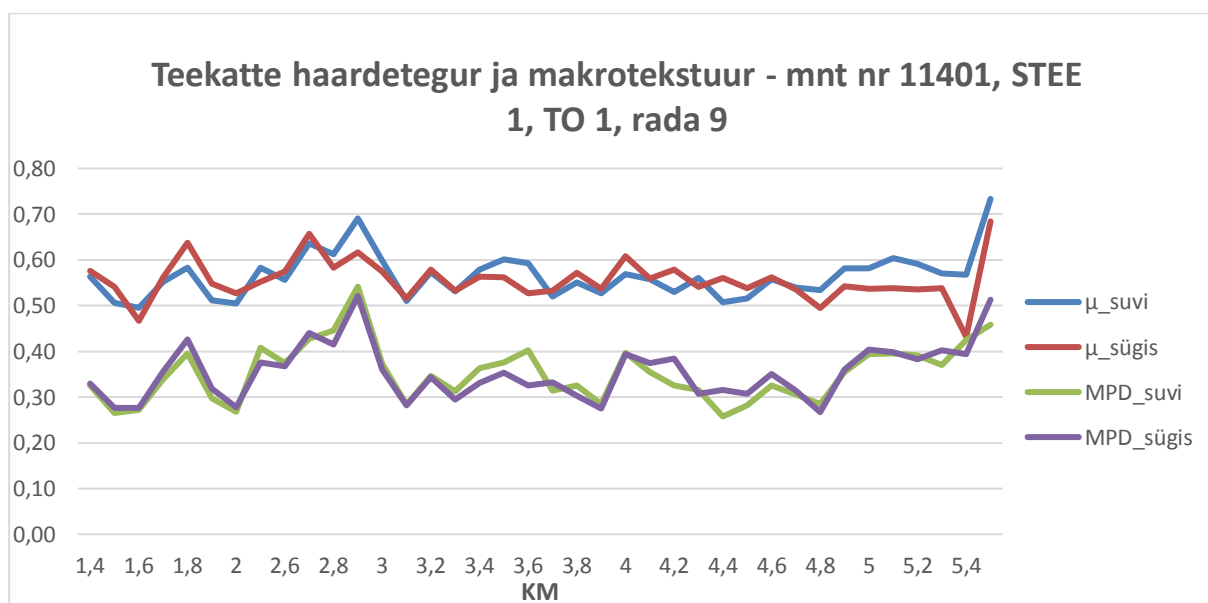
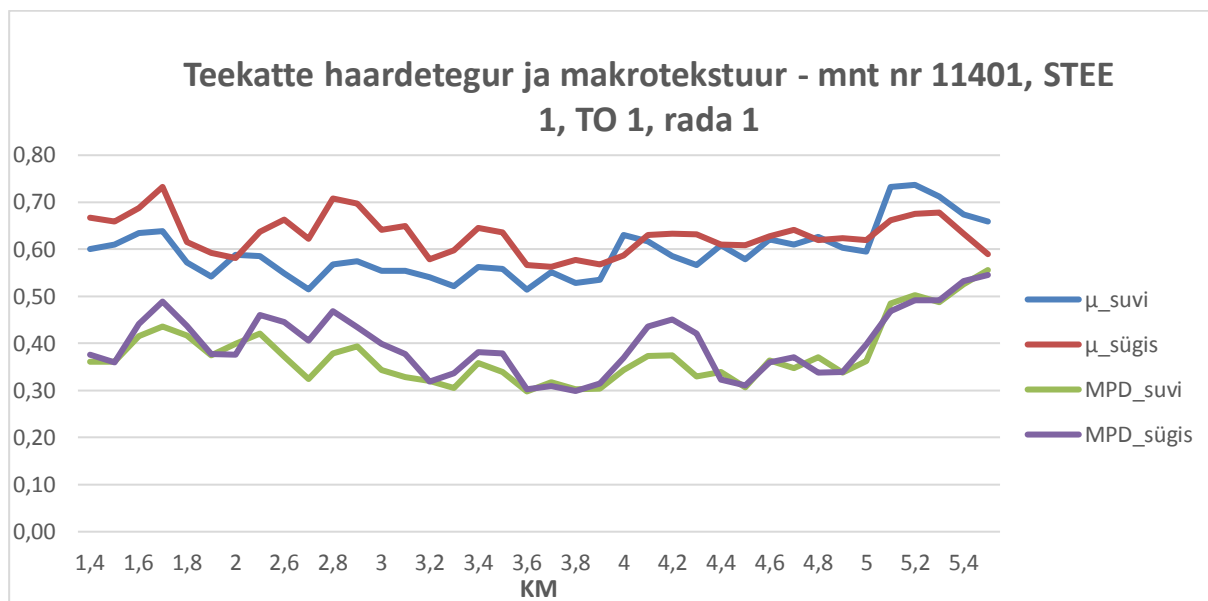












### **Lisa 3. Valik fotosid**





**Joonis 1. Maantee 1 teeosa 10, SMA12 seguga objekti üldvaade**



**Joonis 2. Maantee 1 teeosa 10, SMA12 seguga katte tekstuur**





**Joonis 3. Maantee 11 teeosa 4, SMA16 seguga objekti üldvaade**



**Joonis 4. Maantee 1 teeosa 4, SMA16 seguga katte tekstuur**





**Joonis 5. Maantee 2 teeosa 8, AC16 seguga objekti üldvaade**



**Joonis 6. Maantee 2 teeosa 8, AC16 seguga katte tekstuur**





**Joonis 7. Maantee 2 teeosa 7, AC12 seguga objekti üldvaade**



**Joonis 8. Maantee 2 teeosa 7, AC12 seguga katte tekstuur**





**Joonis 9. Maantee 1 teeosa 31, pinnatud kattega objekti üldvaade**



**Joonis 10. Maantee 1 teeosa 31, pinnatud katte tekstuur**