

IRI SEADME VÕRDLUSMÕÕTMISED 2024 SUVEL

Tasasuse ja tekstuuri võrdlusmõõtmiste aruanne

Analüüs: Anti Kasuk

SISUKORD

1	Sissejuhatus.....	3
1.1	Seadme töö kirjeldus	3
1.2	Mõõtmiste ja analüüsi kirjeldus	3
2	IRI mõõtmised.....	5
2.1	Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad	5
2.2	Paralleelmõõtmiste võrdlus	6
2.3	Võrdlus eelnevate aastatega	8
3	Makrotekstuuri mõõtmised	10
3.1	Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad	10
3.2	Paralleelmõõtmiste võrdlus	12
4	Megatekstuuri mõõtmised	14
4.1	Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad	14
4.2	Paralleelmõõtmiste võrdlus	16
5	Kokkuvõte.....	18

1 SISSEJUHATUS

1.1 Seadme töö kirjeldus

Mõõteseadme LaserTextureMeter (LTM-1) on Eestis kasutusel olnud alates 2011. aastast. Seade on valmistatud firmas AL-Engineering Ltd. LTM-1 mõõdab teekatte pikiprofiili kasutades selleks sõiduki ette kinnitatud laser- ja vertikaalkiirendusandurit ning teepikkusandurit. Laser- ja kiirendusandurid registreerivad vähemalt iga 25 cm järel teekatte pikiprofiili iseloomustavad väärtused.

Lähtudes teekatte ebatasasuste lainepikkuste vahemikest jagatakse saadud tulemused erinevateks parameetriteks:

- Makrotekstuur: lainepikkus 0.5 - 50 mm;
- Megatekstuur: lainepikkus 50 - 500 mm;
- Ebatasasus: lainepikkus 500 mm - 100 m.

IRI-arv on rahvusvaheliselt väga laialdaselt kasutatav sõidumugavust kirjeldav väärtus. Ebatasasust kirjeldava parameetri IRI-arvu saamiseks pannakse saadud teekatte pikiprofiilile arvutusmudelisse sõitma kindlate vedrudega, massiga ja amortisaatoritega nn „standardsõiduk“ (Golden Car) ning seejärel arvutatakse, kuidas standardse sõiduki kere mõõdetaval teelõigul telje suhtes võngub kiirusel 80 km/h. IRI-arvu ühikuks on mm/m.

LTM-1 seade mõõdab kolme teekatte tekstuuri iseloomustavat parameetrit:

- Makrotekstuuri keskmine profiili sügavus MPD, mm;
- Makrotekstuuri ruutkeskmine väärtus RMS, mm;
- Megatekstuuri ruutkeskmine väärtus RMS, mm.

Seadet kalibreeritakse kord aastas tootja juures ja tulemuste kohta vormistatakse vastav tunnistus (Lisa 1). Nimetatud protsessi käigus kontrollitakse eelkõige seadme laseri ja kiirendusanduri töökorras olekut ja võrreldakse erinevate parameetrite muutumist.

IRI mõõtmistulemuste korrigeerimiseks kasutatakse järgnevat valemit.

$$IRI = 0.893 * IRI(LTM) + 0.061$$

1.2 Mõõtmiste ja analüüsi kirjeldus

Mõõtmised teostas AS Teede Tehnokeskuse Arenduse ja uuringute osakond. Mõõtmised viidi läbi 2024-07-04 järgnevas tabelis toodud lõikudel. Varasemate aastatega võrdluste puhul tuleb tähele panna, et nt. aastal 2023 muutusid IRI vahemike 3.5-4.5 ja $IRI > 4.5$ teelõigud ja aastal 2022 muutus IRI 2.5-3.5 teelõik.

Vastavalt hankelepingu tehnilisele kirjeldusele, tuli mõõtmised läbi viia lõikudel, kus IRI piirid on: $IRI < 1.5$, $1.5 < IRI < 2.5$, $2.5 < IRI < 3.5$, $3.5 < IRI < 4.5$, $IRI > 4.5$. Ühe testilõigu pikkus on 2 – 3 km. Mõõtmisi viidi mõlemas sõidusuunas läbi kolm korda. IRI ja tekstuuri mõõtmised on teostatud 5 meetrise sammuga. Mõõtmistulemusi analüüsitakse 20 meetrise sammuga.

IRI paralleelmõõtmiste võrdluste piiride seadmisel kasutati vastavalt tehnilisele juhendile kahte piirväärtust:

- Süstemaatiline erinevus, milleks arvestada 0.5 ühikut
- Lubatud erinevuse kasv, milleks arvestada 0.1 ühikut iga mõõdetud IRI täisarvulise väärtuse kohta.

Tekstuuri paralleelmõõtmiste võrdluste piiride seadmisel kasutati vastavalt tehnilisele juhendile kahte piirväärtust:

- Süstemaatiline erinevus, milleks arvestada 0.05 ühikut
- Lubatud erinevuse kasv, milleks arvestada 0.2 ühikut iga mõõdetud teekatte tekstuuri täisarvulise väärtuse kohta.

Paralleelmõõtmiste tulemuste väärtuste võrdlemisel jälgitakse järgnevat:

- Piirväärtuste sisse jäävate mõõtmistulemuste osa peab olema vähemalt 95.0%
- Mõõtmistulemuste süstemaatiline erinevus peab olema väiksem kui 0.05
- Kahe paralleelmõõtmise vahelise Pearsoni korrelatsiooni koefitsendi piirväärtus on 0.90.

Lisaks nõuetes toodud näitajatele vaadeldi ka lõikude kaupa tulemuste jaotust, et paremini selgitada tulemuste võimalikku varieeruvust erinevate IRI väärtuste juures. Samuti hinnati IRI mõõtetulemuste vastavust eelnevate aastate tulemustega samadel lõikudel. Selle kaudu hinnatakse valemis 1 toodud seose kehtivust.

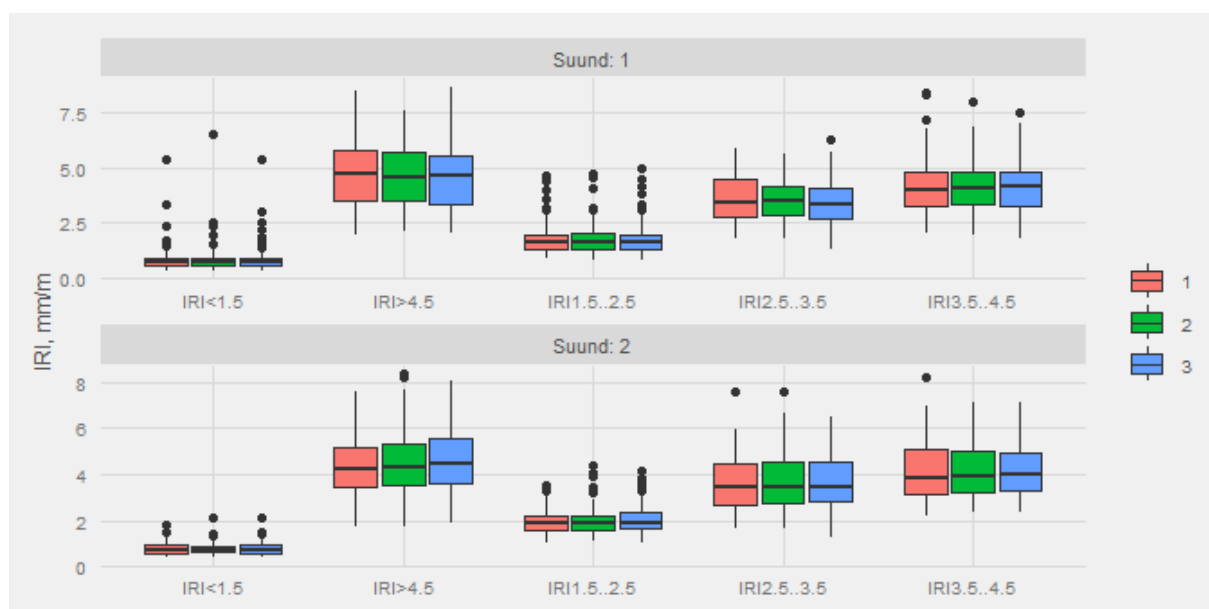
2 IRI MÕÕTMISED

2.1 Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad

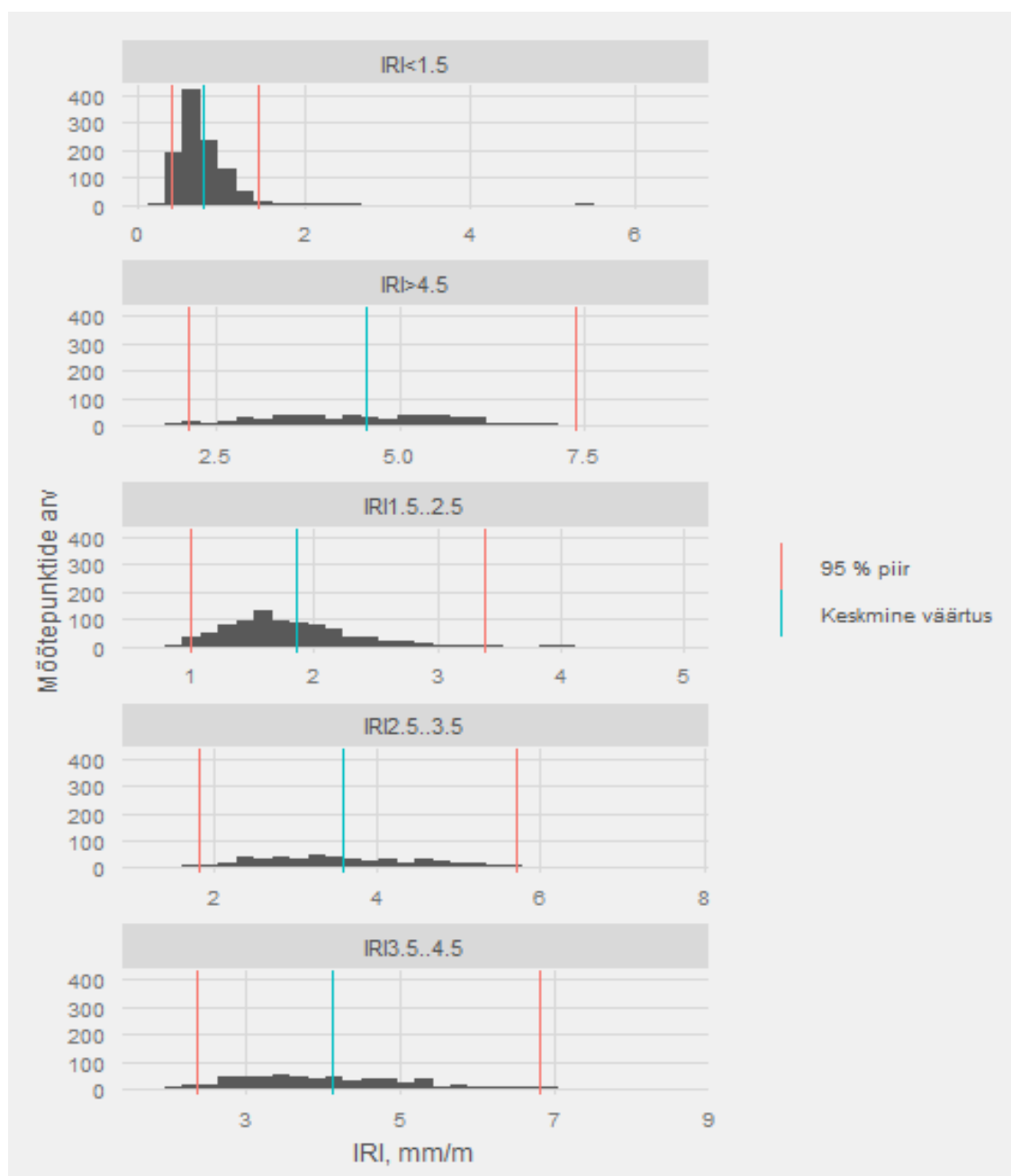
Järgnev tabel näitab mõõdetud lõikudel kõige väiksemat ja suuremat ja keskmist mõõtmistulemust, lõigu standardhälvet ja 95% protsendi mõõtetulemuste ulatuse alumist ja ülemist piiri. See iseloomustab kui hajusad on mõõtmistulemused antud lõigul.

Tabel 1: IRI mõõtmiste statistilised näitajad

Lõik	IRI min	IRI max	IRI keskmine	IRI hälve	Alumine 95%	Ülemine 95%
IRI1.5..2.5	0.78	4.97	1.86	0.61	1.00	3.39
IRI2.5..3.5	1.24	7.57	3.59	1.08	1.84	5.72
IRI3.5..4.5	1.77	8.47	4.13	1.18	2.38	6.82
IRI<1.5	0.28	6.54	0.77	0.29	0.40	1.41
IRI>4.5	1.70	8.72	4.55	1.37	2.14	7.40



Järgnev joonis kujutab IRI paralleelmõõtmiste väärtusi lõikude pikkuses suundade kaupa. Sellele järgneval joonisel on näidatud IRI väärtuste jaotus histogrammil koos vastava lõigu keskmise väärtuse ja 95% piiridega. Jooniselt on selgelt näha, et mida suurem on mõõdetud lõigu IRI väärtus, seda hajusamaks muutuvad IRI tulemused. Kui lõigul IRI < 1.5 on 95% tulemusi 1.5 ühiku sees, siis lõigul IRI < 4.5 on 95% tulemusi 7 ühiku sees. Ka tulemuste standardhälve suureneb koos lõigu keskmise mõõdetud väärtusega.



2.2 Paralleelmõõtmiste võrdlus

Paralleelmõõtmiste omavahelisel võrdlemisel vaadeldi kolme näitajat:

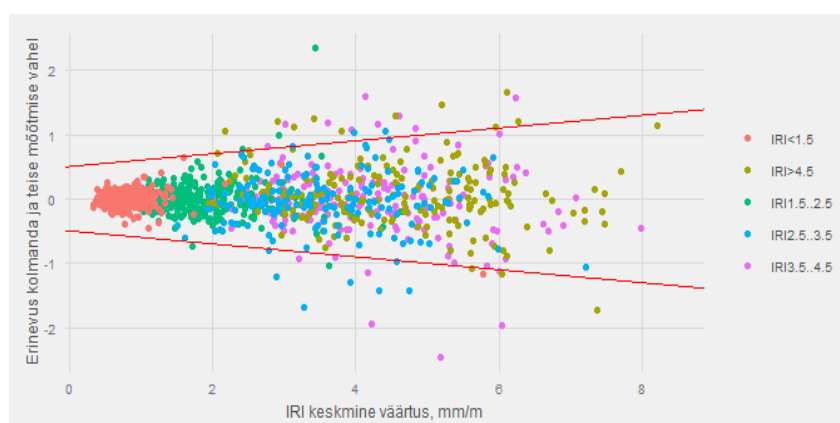
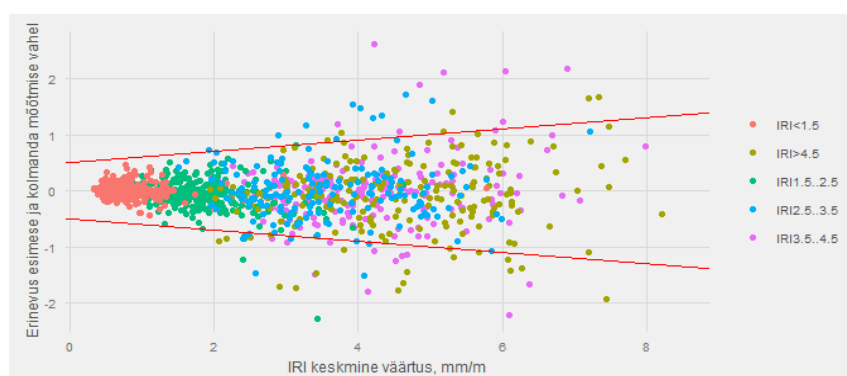
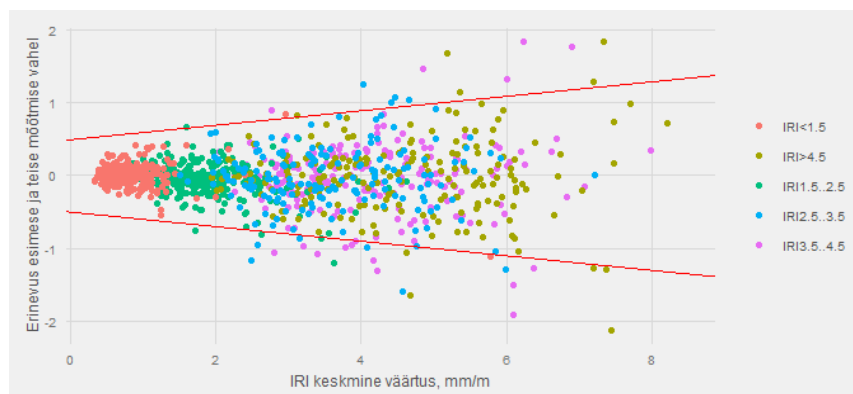
- Piiridesse jäävate mõõtmiste protsent
- Mõõtmiste omavaheline süstemaatiline erinevus
- Mõõtmiste vaheline korrelatsioon.

Järgnevas tabelis on kokkuvõtvalt esitatud eelmaitud näitajad koos vastava nõudega. On näha, et IRI mõõtmistulemused vastavad tehnilises kirjelduses esitatud nõuetele.

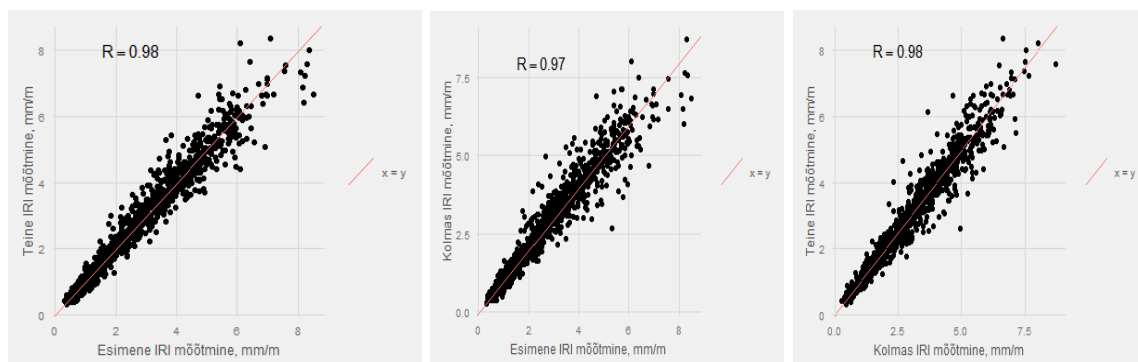
Tabel 2: IRI paralleelmõõtmiste vastavus

	Joonte sees	Süstemaatiline erinevus, mm/m	Korrelatsioon
1v2	0.97	-0.03	0.98
1v3	0.95	-0.03	0.97
2v3	0.96	0.00	0.98
Nõue	0.95	0.05	0.90

Järgnevad joonised näitavad graafiliselt paralleelmõõtmiste piiridesse jäämist suundade ja lõikude kaupa. Mida madalam on lõigu IRI väärtus, seda suurem hulk mõõtmistest jääb määratud piiridesse.



Allpool olevatel joonistel on kujutatud paralleelmõõtmiste vahelist korrelatsiooni suundade ja lõikude kaupa. Punane joon graafikul näitab joont, millel mõõtmistulemused oleks täielikult korrelatsioonil.

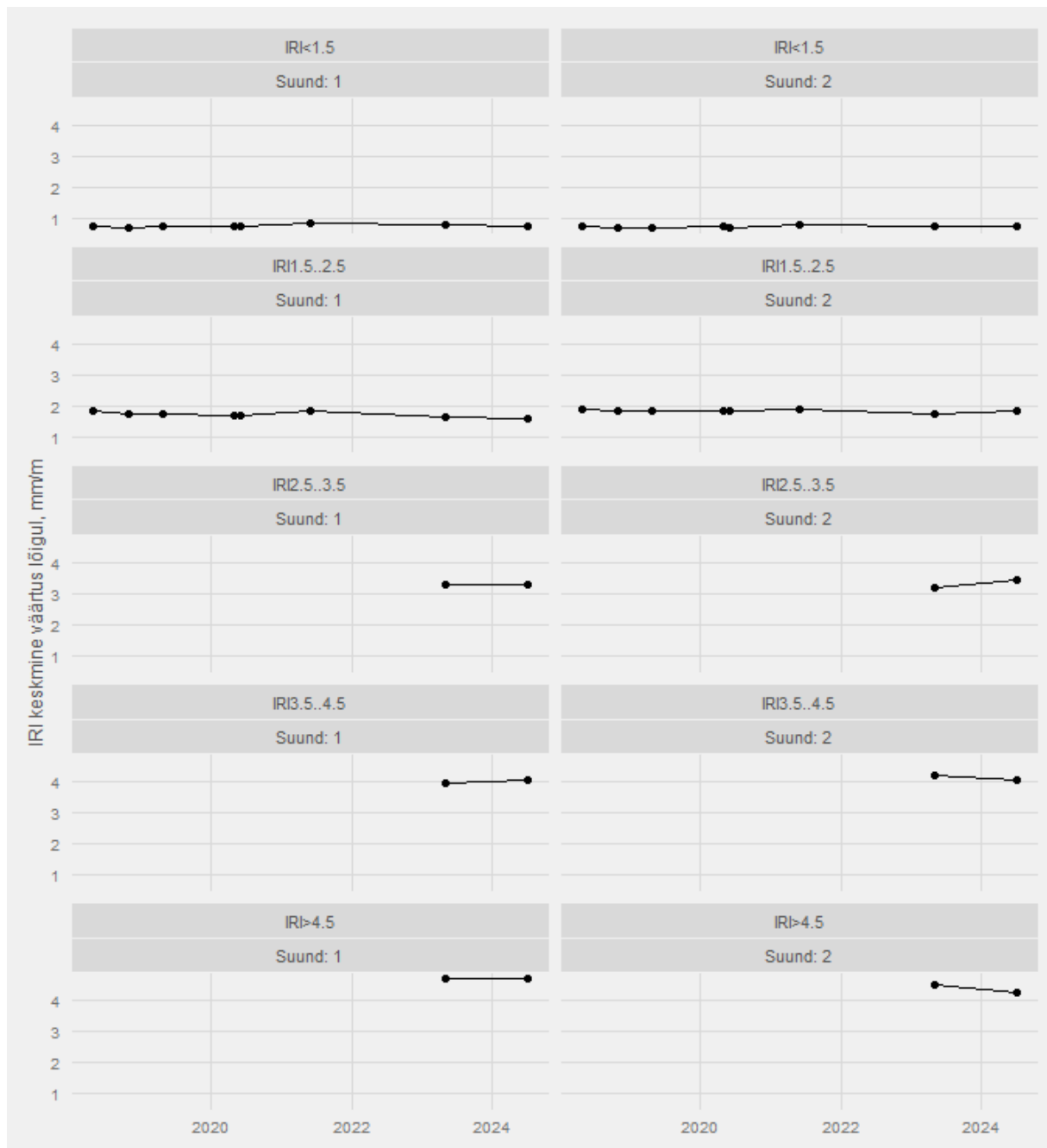


2.3 Võrdlus eelnevate aastatega

Mõõtmistulemuste eelnevate aastatega võrdlemisel võrreldi keskmisi näitajaid. Mõned lõigud on viimastel aastatel asendatud, tabelis on näidatud võrdluse huvides üksnes andmed pärast asendust.

Tabel 3: IRI lõigu keskmiste väärtuste võrdlus aastate lõikes

Lõik	Suund	mai.18	nov.18	mai.19	mai.20	juuni.20	juuni.21	mai.23	juuli.24
IRI<1.5	1	0.75	0.71	0.75	0.75	0.75	0.84	0.79	0.77
IRI<1.5	2	0.75	0.69	0.73	0.75	0.74	0.83	0.76	0.75
IRI1.5..2.5	1	1.84	1.77	1.75	1.72	1.69	1.84	1.67	1.62
IRI1.5..2.5	2	1.89	1.87	1.85	1.88	1.85	1.93	1.78	1.85
IRI2.5..3.5	1							3.30	3.33
IRI2.5..3.5	2							3.21	3.44
IRI3.5..4.5	1							3.93	4.07
IRI3.5..4.5	2							4.20	4.04
IRI>4.5	1							4.69	4.68
IRI>4.5	2							4.48	4.26



Andmete analüüsil on näha, et võrreldavate lõikude keskmised IRI tulemused on jäänud suurusjärguti samaks. Väikesed erinevused aastate vahel on seletatavad katte muutumise ja mõõtemääramatusega.

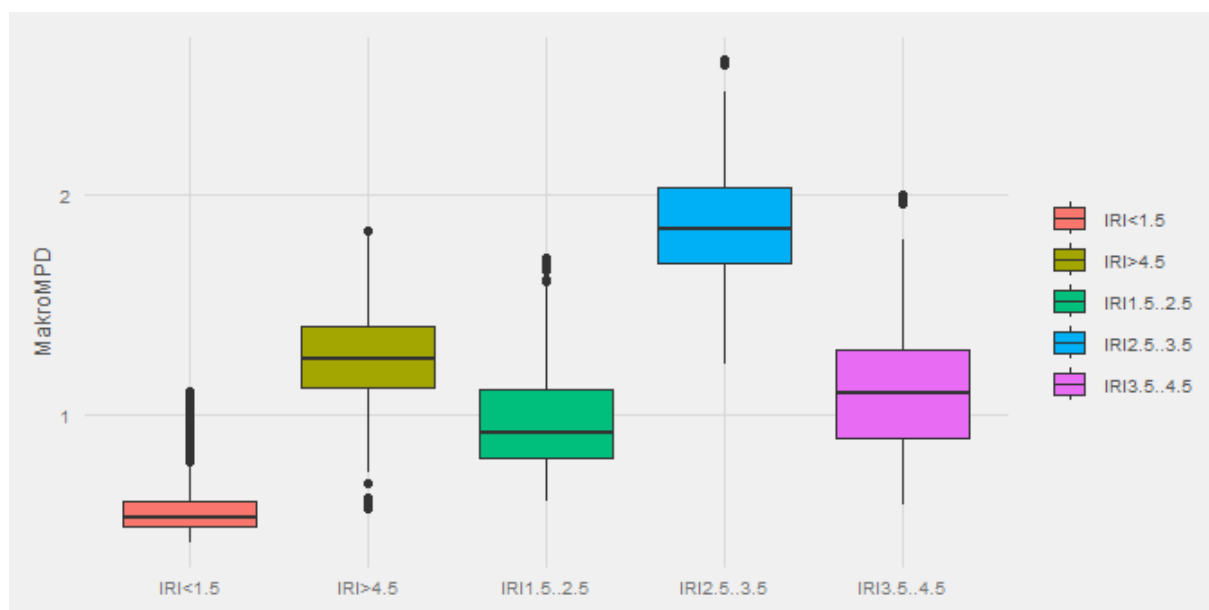
3 MAKROTEKSTUURI MÕÕTMISED

3.1 Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad

Järgnev tabel näitab mõõdetud lõikudel kõige väiksemat ja suuremat ja keskmist mõõtmistulemust, lõigu standardhälvet ja 95% protsendi mõõtetulemuste ulatuse alumist ja ülemist piiri. Andmed on jagatud klassidesse IRI väärtuste järgi.

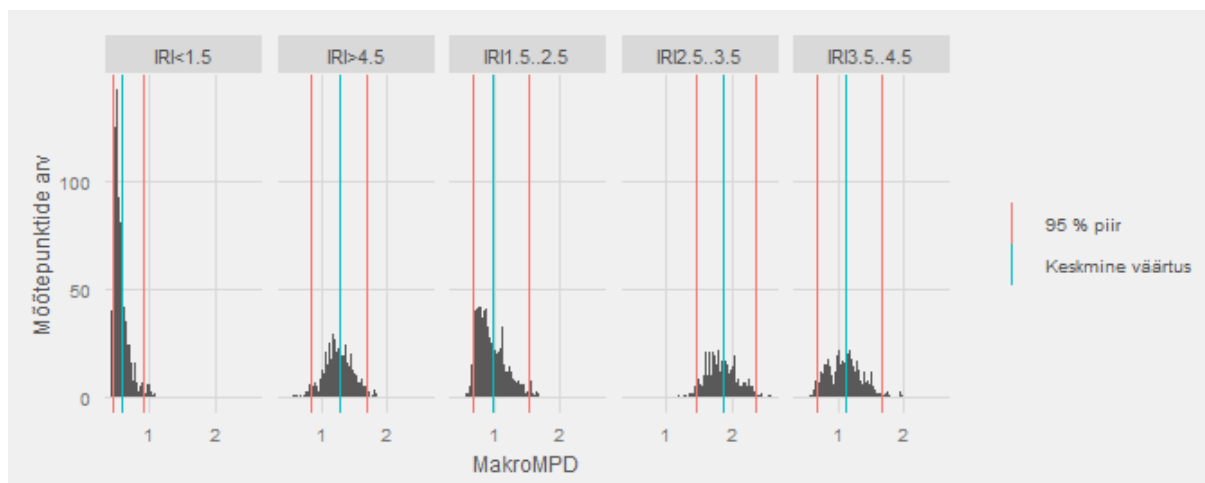
Tabel 4: MakroMPD mõõtmiste statistilised näitajad

Lõik	MakroMPD min	MakroMPD max	MakroMPD keskmine	MakroMPD hälve	Alumine 95%	Ülemine 95%
IRI1.5..2.5	0.60	1.71	0.98	0.21	0.69	1.53
IRI2.5..3.5	1.23	2.61	1.87	0.22	1.48	2.31
IRI3.5..4.5	0.59	1.99	1.11	0.26	0.70	1.60
IRI<1.5	0.42	1.10	0.57	0.10	0.45	0.80
IRI>4.5	0.58	1.83	1.26	0.18	0.86	1.61



Järgnev joonis kujutab makrotekstuuri paralleelmõõtmiste väärtusi lõikude pikkuses suundade kaupa. Sellel järgneval joonisel on näidatud makrotekstuuri väärtuste jaotus histogrammil koos vastava lõigu keskmise väärtuse ja 95% piiridega.





3.2 Paralleelmõõtmiste võrdlus

Paralleelmõõtmiste omavahelisel võrdlemisel vaadeldi kolme näitajat:

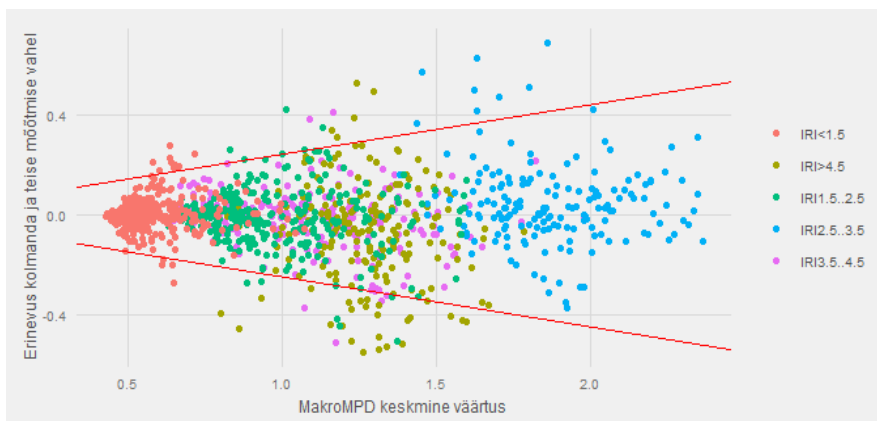
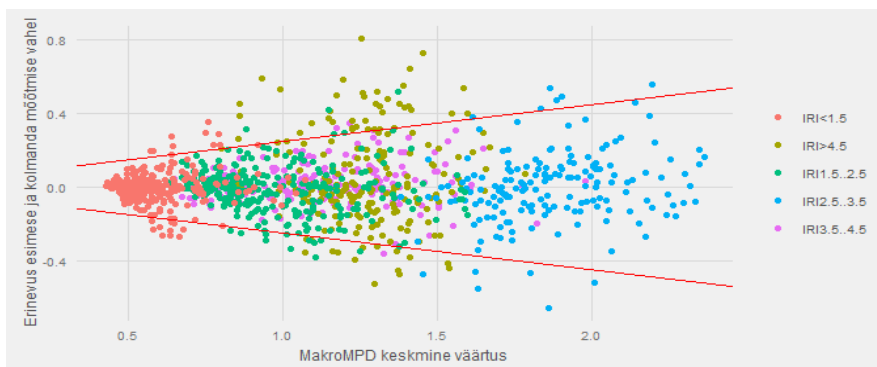
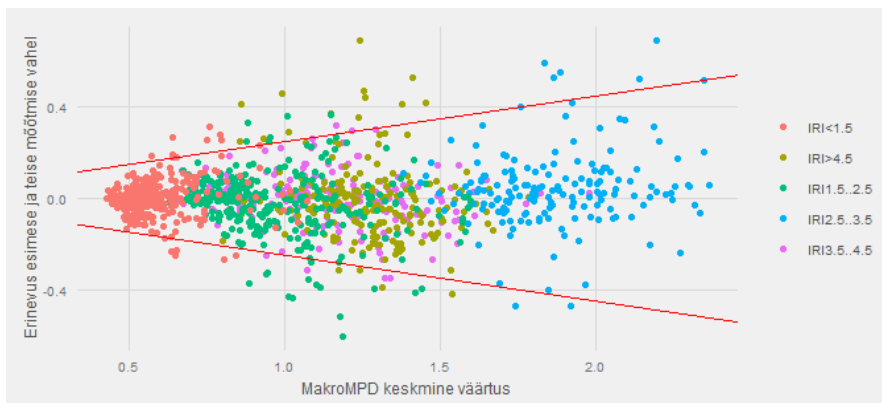
- Piiridesse jäävate mõõtmiste protsent
- Mõõtmiste omavaheline süstemaatiline erinevus
- Mõõtmiste vaheline korrelatsioon.

Järgnevas tabelis on kokkuvõtvalt esitatud eelmainitud näitajad koos vastava nõudega.

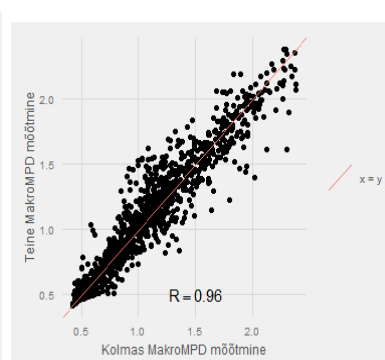
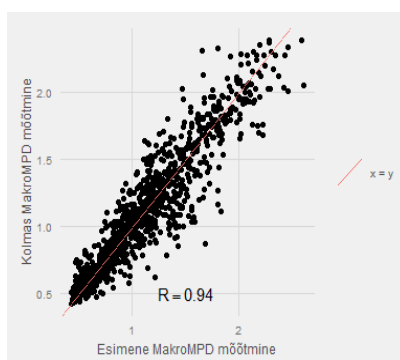
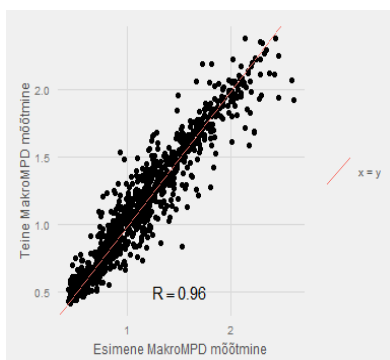
Tabel 5: MakroMPD paralleelmõõtmiste vastavus

	Joonte sees	Süstemaatiline erinevus, mm/m	Korrelatsioon
1v2	0.95	0.00	0.96
1v3	0.91	0.01	0.94
2v3	0.95	-0.01	0.96
Nõue	0.95	0.05	0.90

Järgnevad joonised näitavad graafiliselt paralleelmõõtmiste piiridesse jäämist suundade ja lõikude kaupa.



Allpool olevatel joonistel on kujutatud paralleelmõõtmiste vahelist korrelatsiooni.



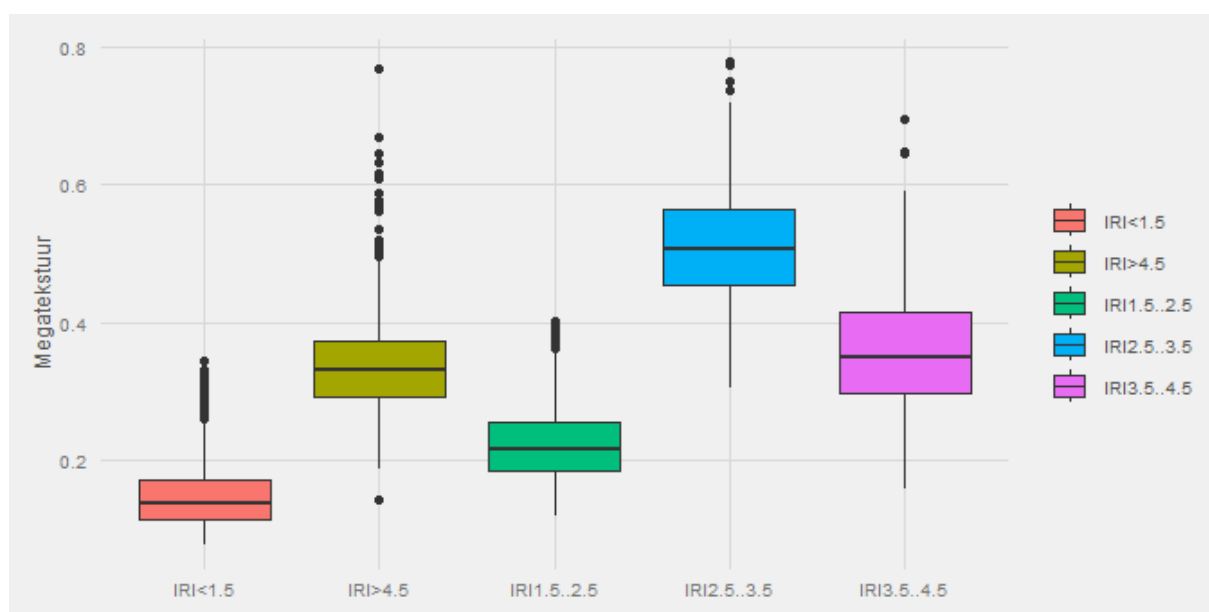
4 MEGATEKSTUURI MÕÕTMISED

4.1 Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad

Järgnev tabel näitab mõõdetud lõikudel kõige väiksemat ja suuremat ja keskmist mõõtmistulemust, lõigu standardhälvet ja 95% protsendi mõõtetulemuste ulatuse alumist ja ülemist piiri. Andmed on jagatud klassidesse IRI väärtuste järgi.

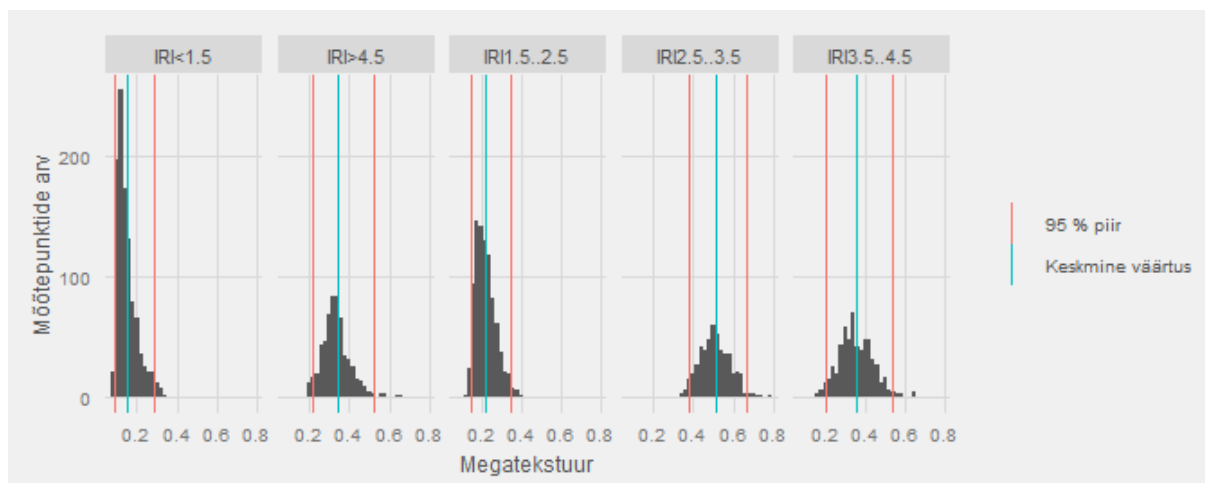
Tabel 6: MegaRMS mõõtmiste statistilised näitajad

Lõik	MegaRMS min	MegaRMS max	MegaRMS keskmine	MegaRMS hälve	Alumine 95%	Ülemine 95%
IRI1.5..2.5	0.12	0.40	0.22	0.05	0.16	0.33
IRI2.5..3.5	0.30	0.78	0.51	0.07	0.39	0.65
IRI3.5..4.5	0.16	0.70	0.36	0.08	0.21	0.53
IRI<1.5	0.08	0.34	0.15	0.04	0.10	0.25
IRI>4.5	0.14	0.77	0.34	0.07	0.23	0.51



Järgnev joonis kujutab megatekstuuri paralleelmõõtmiste väärtusi lõikude pikkuses suundade kaupa. Sellele järgneval joonisel on näidatud megatekstuuri väärtuste jaotus histogrammil koos vastava lõigu keskmise väärtuse ja 95% piiridega.





4.2 Paralleelmõõtmiste võrdlus

Paralleelmõõtmiste omavahelisel võrdlemisel vaadeldi kolme näitajat:

- Piiridesse jäävate mõõtmiste protsent
- Mõõtmiste omavaheline süstemaatiline erinevus
- Mõõtmiste vaheline korrelatsioon.

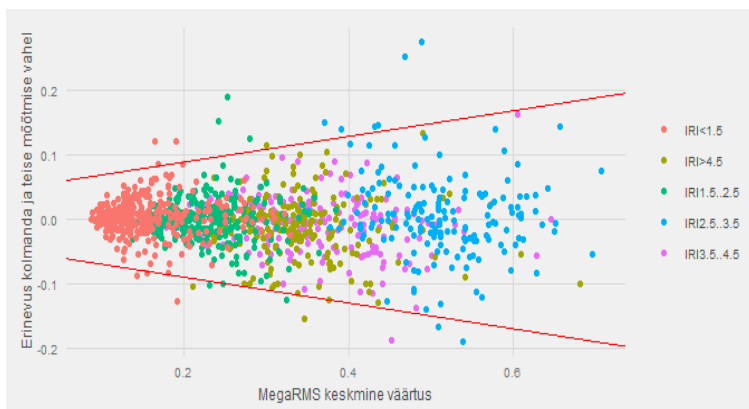
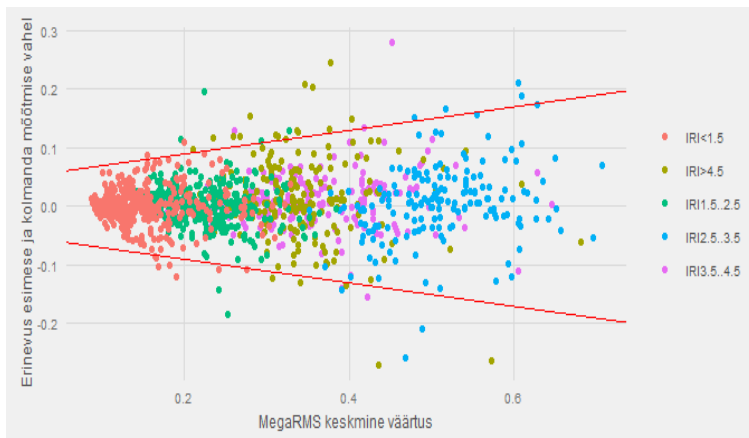
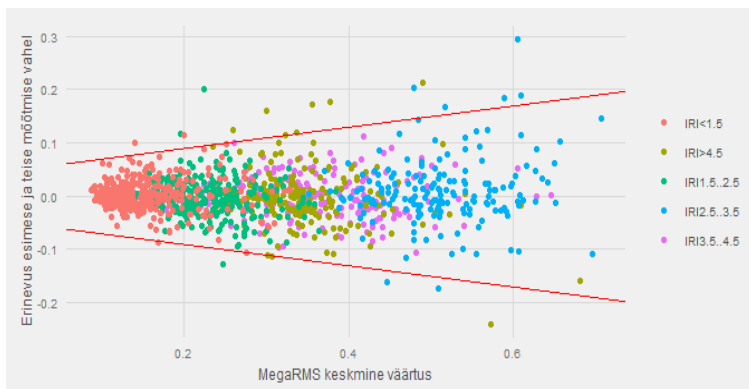
Järgnevas tabelis on kokkuvõtvalt esitatud eelmaitud näitajad koos vastava nõudega.

Tabel 7: MegaRMS paralleelmõõtmiste vastavus

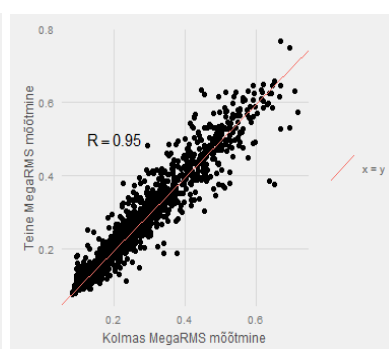
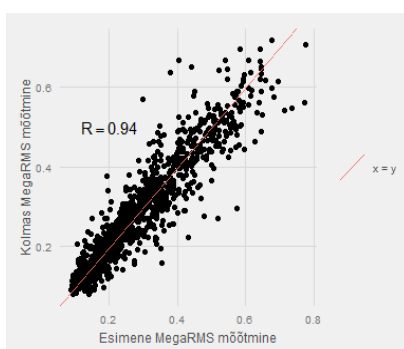
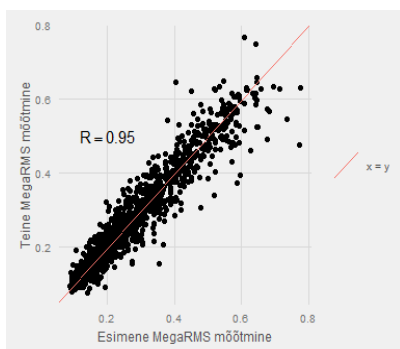
	Joonte sees	Süstemaatiline erinevus, mm/m	Korrelatsioon
1v2	0.98	0.00	0.95
1v3	0.96	0.00	0.94
2v3	0.98	0.00	0.95
Nõue	0.95	0.05	0.90

Järgnevad joonised näitavad graafiliselt paralleelmõõtmiste piiridesse jäämist suundade ja lõikude kaupa.

IRI seadme võrdlusmõõtmised 2024 suvel - Tasasuse ja tekstuuri võrdlusmõõtmiste aruanne



Allpool olevatel joonistel on kujutatud paralleelmõõtmiste vahelist korrelatsiooni.



5 KOKKUVÕTE

Mõõtmistulemuste analüüsil prooviti lahendada kaks küsimust:

- Kuidas vastavad IRI mõõtmistulemused eelnevate aastate mõõtmistele?
- Milline on mõõtmistulemuste korratavus LTM seadmega eri IRI väärtuste juures?

Selle ja eelmiste aastate mõõtmistulemuste põhjal võib väita, et mõõdetud väärtused ei erine üksteisest oluliselt. Sellest tulenevalt on põhjendatud kasutada IRI mõõtmistulemuste korrigeerimisel sama valemit (1), mida eelnevatel aastatel.

Paralleelmõõtmiste juures hinnatud piirväärtuste sisse jääv osa, mõõtmistulemuste süstemaatiline erinevus ja kahe paralleelmõõtmise vaheline korrelatsioon vastavad hankelepingu tehnilises kirjelduses seatud nõuetele nii IRI kui ka tekstuuri mõõtmisel.