

# VIAPPS SEADME VÕRDLUSMÕÕTMISED 2024

## KEVADEL

*Roopa sügavuse, põikkalde ja kurvilisuse võrdlusmõõtmiste aruanne*

Projektijuht: Marek Truu

Analüüs: Sven Veschioja

Mõõtetööd: Veiko Tikas

## SISUKORD

1.	Sissejuhatus .....	3
	Seadme töö kirjeldus.....	3
	Mõõtmiste ja analüüsi kirjeldus .....	4
2.	Roopa sügavuse mõõtmised.....	5
	Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad .....	5
	Paralleelmõõtmiste võrdlus.....	8
3.	Põikkalde mõõtmised .....	16
	Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad .....	16
	Paralleelmõõtmiste võrdlus.....	17
4.	Kurvilisuse mõõtmised .....	21
	Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad .....	21
	Paralleelmõõtmiste võrdlus.....	22
	Mõõtmiste vaheline korrelatsioon .....	23
	Suundade vaheline kattuvus (peegelpildis) .....	26
5.	Kokkuvõte .....	28

# 1. SISSEJUHATUS

## Seadme töö kirjeldus

Teede Tehnokeskus AS kasutab alates 2014 aastast roobaste mõõtmiseks seadet ViaPPS (Pavement Profile Scanner), mis võimaldab mõõta ka teekatte põikkallet ja tee kurvilisust. Seade on valmistatud firmas ViaTech AS. ViaPPS skanneerib katte profiili, kasutades selleks sõiduki taha kinnitatud laserskannerit.

Teekatte roopa sügavus mõjutab otseselt liiklejate ohutust ja iseloomustab ilmekalt tee seisukorda. Roopad tekivad teedele põhiliselt kulumise ja teekonstruktsiooni nõrga kandevõime tõttu. Kui teekattele on roopad ühel neist põhjustest tekkinud on vee äravool katte pinnalt takistatud ning liiklemisel tekib vesiliu oht. Samuti võivad roopad põhjustada sõiduki juhitavuse kaotamist libeda teekatte puhul. Tee valdajal tuleb roobaste arengut hoolikalt jälgida.

ViaPPS seade mõõdab kolme tee geomeetriat iseloomustavat parameetrit:

- Roobaste sügavused, mm;
- Katte põikkalle, %;
- Tee kurvilisus, R.

Seade läbib iga-aastase võrdluskontrolli enne tööperioodi algust, lisaks jälgitakse regulaarselt korrasolekut mõõtmiste ajal. Enne igat mõõtmishooaega kontrollitakse seadme erinevate andurite töökorrasolekut seadme valmistaja poolt. Kalibreerimisdokumendid on toodud lisas (vaata lisa 1).

Seade osaleb regulaarselt rahvusvahelistel võrdlusmõõtmistel. Viimati osales seade Rootsis VTI (Rootsi riiklik teede ja transpordi uuringute instituut) poolt korraldatud rahvusvahelistel võrdlusmõõtmistel 2019a novembris. Võrdlusmõõtmised viidi läbi eesmärgiga veenduda seadme vastavuses rahvusvaheliste nõuetega ning tagada Eestis teostatavate roopa sügavuse mõõtmiste usaldusväärsus ning võrreldavus teiste riikide (eelkõige Põhjamaade) nõuetega ning ühtlasi täita Transpordiameti poolt kehtestatud nõuded teekatte roopa sügavuse mõõtmisel. Võrdlusmõõtmistel mõõdeti roobaste (sisemine ja välimine) sügavusi, põikkallet, kurvilisust ja mõõtmiste asukohta eesmärgiga hinnata mõõtmistulemuste vastavust referentsväärtusele, korratavust ja korduvust. 2019 mõõtmiste põhjal väljastati AS'ile Teede Tehnokeskus VTI poolt tunnistus, mis kinnitab teostatud mõõtmiste vastavust Rootsi nõuetele „Tekniskt godkännande för Objektmätning” (vaata lisa 2).

## Mõõtmiste ja analüüsi kirjeldus

Mõõtmised teostas AS Teede Tehnokeskuse Arendus ja uuringud peaspetsialist Veiko Tikas. Mõõtmised viidi läbi 27.03.2024 järgnevas tabelis toodud lõigul:

### Lõikude määratlus

Lõik	Teenr	Teeosa algus	Teeosa lõpp	Mõõtmiste algus, m	Mõõtmiste lõpp, m	Lõigu pikkus, m
1	11425	1	1	200	3700	3500

Vastavalt hankelepingu tehnilisele kirjeldusele, tuli testilõigul sooritada mõlemas sõidusuunas vähemalt 3 võrdlusmõõtmist. Nõuded testilõigule on järgmised:

- Roopa sügavuse kontrollimise testilõigu pikkus on vähemalt 1000 m ning keskmine roopa sügavus 15 -20 m
- Tee põikkalde kontrollimise testilõigu pikkus on vähemalt 1000 m
- Kurvilisuse kontrollimise testilõigu pikkus on 3000 – 5000 m ja lõik peab olema piisavalt kurviline (vähemalt 3 kurvi mõlemas suunas).

Lähtudes eelpool kirjeldatud nõudeid osutus valituks just tee nr 11425. Mõõtmised on teostatud kuni 1 m sammuga ja mõõtmistulemusi analüüsitakse 100 meetrise sammuga.

Paralleelmõõtmiste tulemuste väärtuste võrdlemisel jälgitakse järgnevat:

- Roopa sügavuse võrdluse vahelise korrelatsiooni piirväärtus peab olema kuni 0,95
- Põikkalde mõõtmistulemuste vahelise korrelatsiooni piirväärtus peab olema kuni 0,95 (regressioonimeetodil)
- Kurvilisuse võrdlusmõõtmiste vahelise korrelatsiooni piirväärtus peab olema kuni 0,95
- Erinevas suunas mõõdetud kurvilisuse väärtused on teineteisega võrreldes vastandmärgiga („+“ vs „-“)

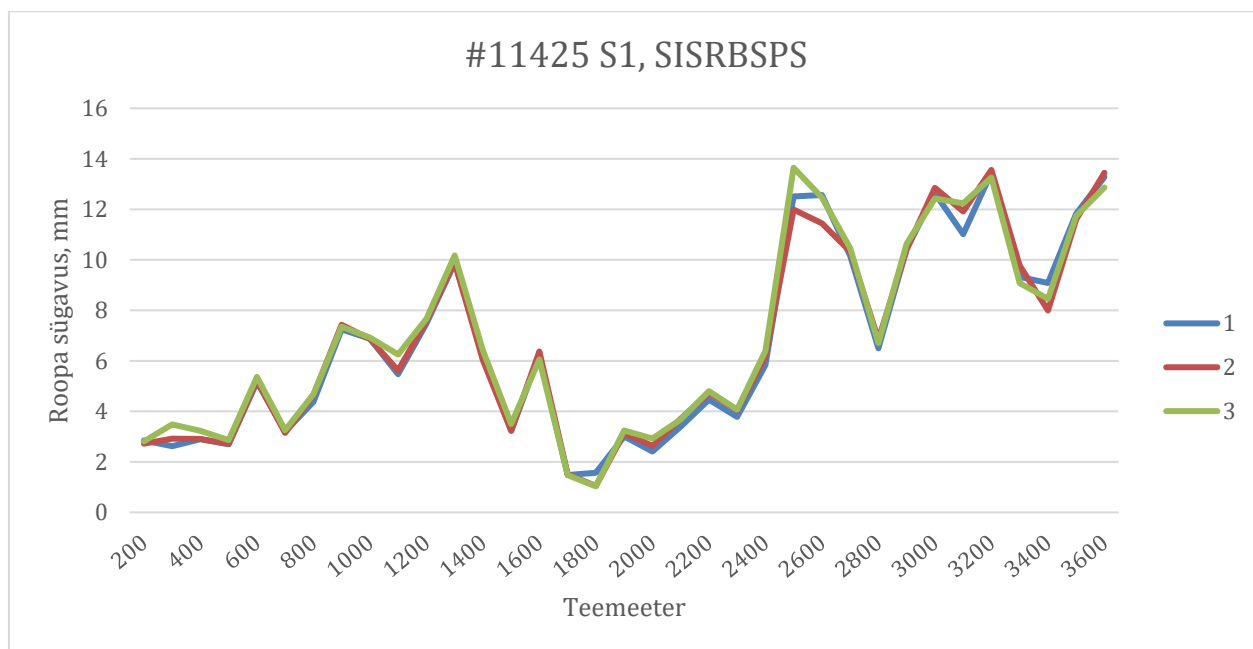
## 2. ROOPA SÜGAVUSE MÕÕTMISED

### Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad

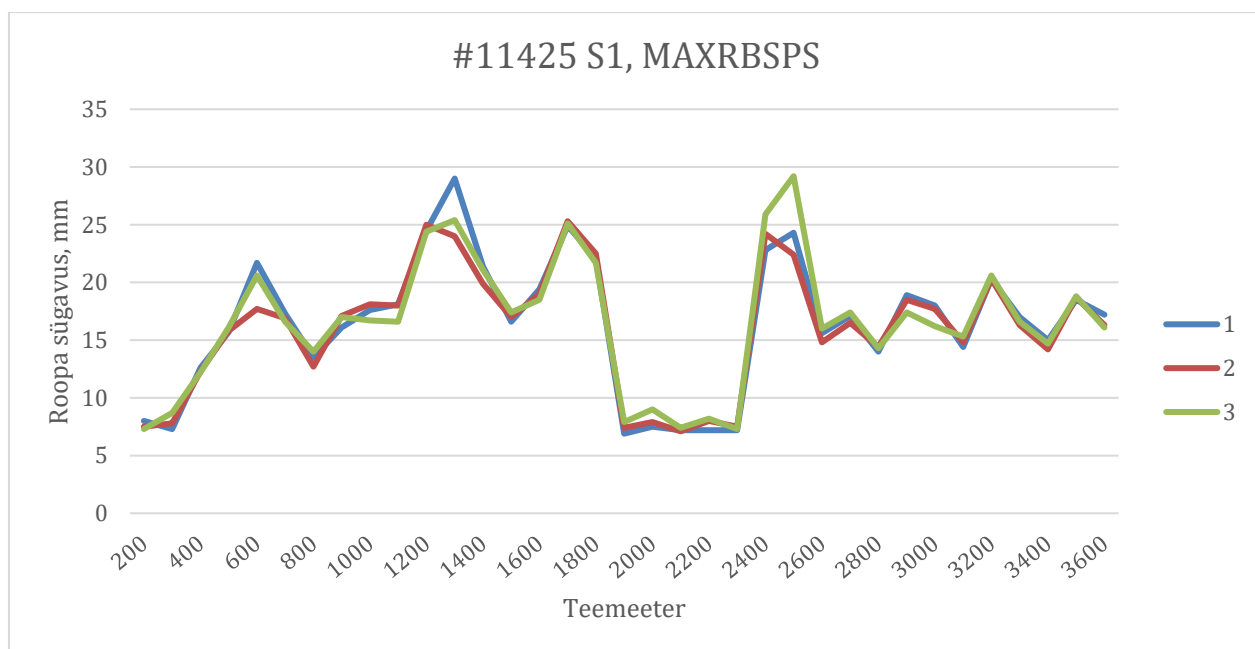
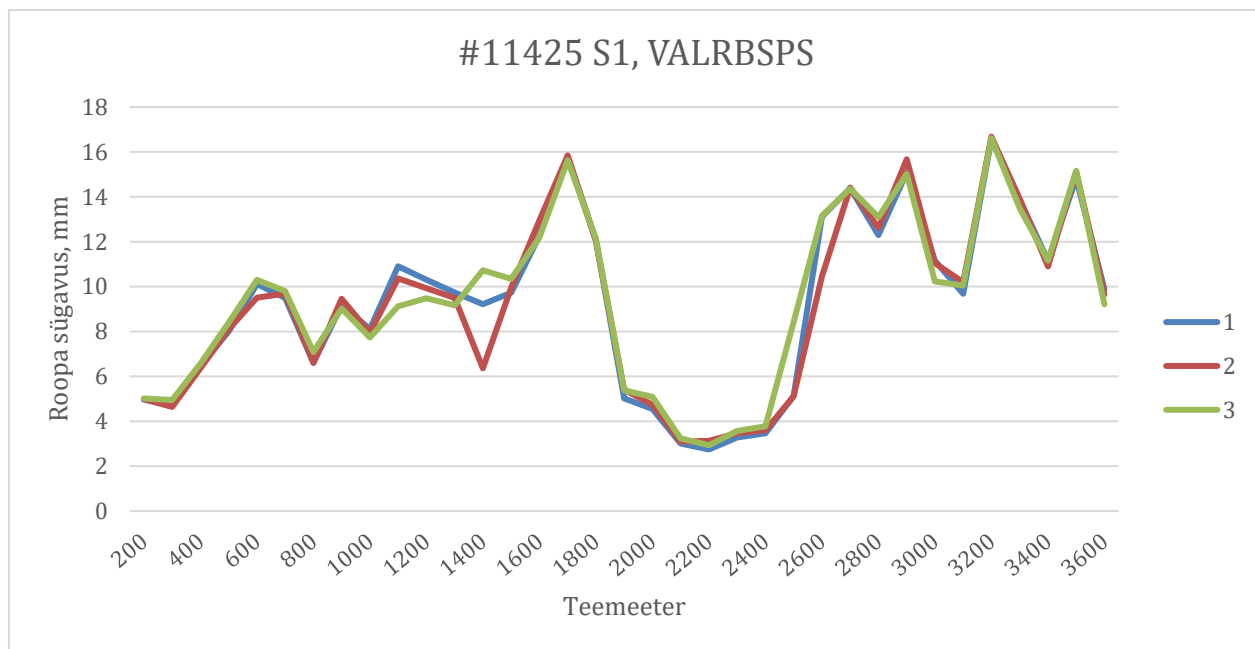
Tehnilises kirjelduses oli roopa sügavuse testilõigu pikkuse minimaalne nõue 1000 m. Objektiivsema tulemuse saamiseks teostati lõigud 3500 m pikkusel lõigul, kus esineb sisuliselt 3 erineva sügavusindeksiga lõiku:

- 11425 teemeeter 200-1700m keskmine roopa sügavus vahemikus 3-10 mm
- 11425 teemeeter 1700-2400m keskmine roopa sügavus vahemikus 1-6 mm
- 11425 teemeeter 2400-3700m keskmine roopa sügavus vahemikus 7-14 mm

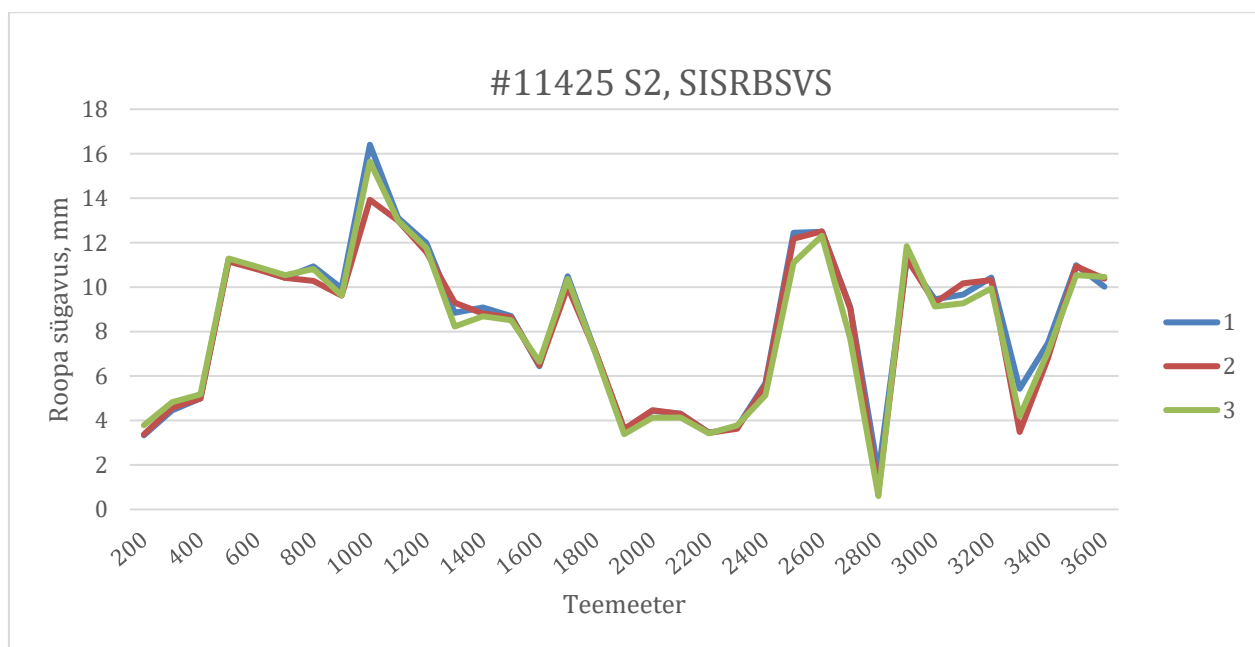
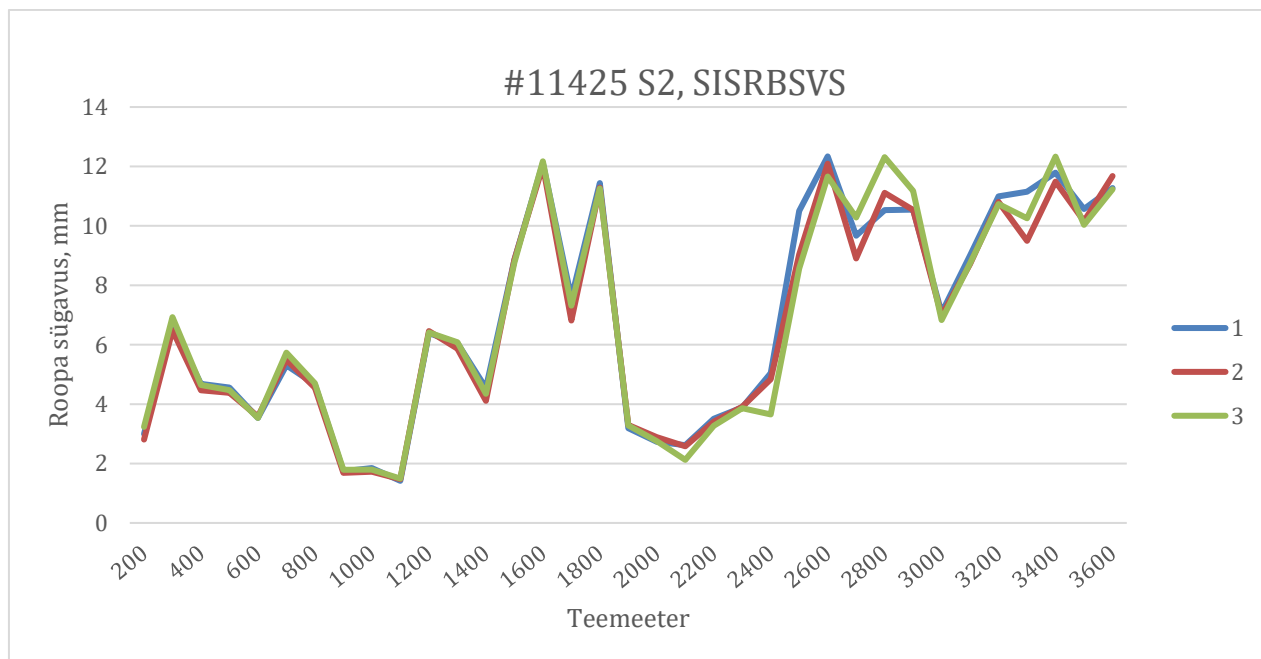
Järgnevad joonised kujutavad roopa sügavuse paralleelmõõtmiste väärtusi lõikude pikkuses suundade kaupa.

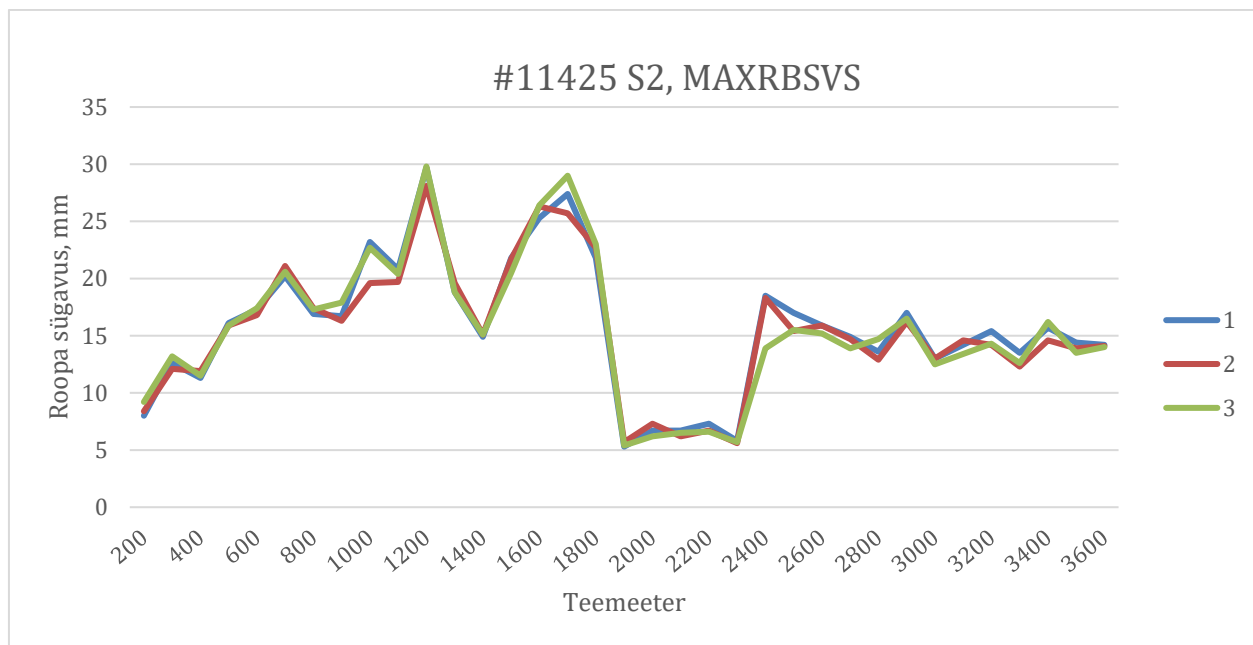


## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



# ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel





## Paralleelmõõtmiste võrdlus

Roopa sügavuse paralleelmõõtmiste omavahelisel võrdlemisel vaadeldi järgmist näitajat:

- Mõõtmiste vaheline korrelatsioon.

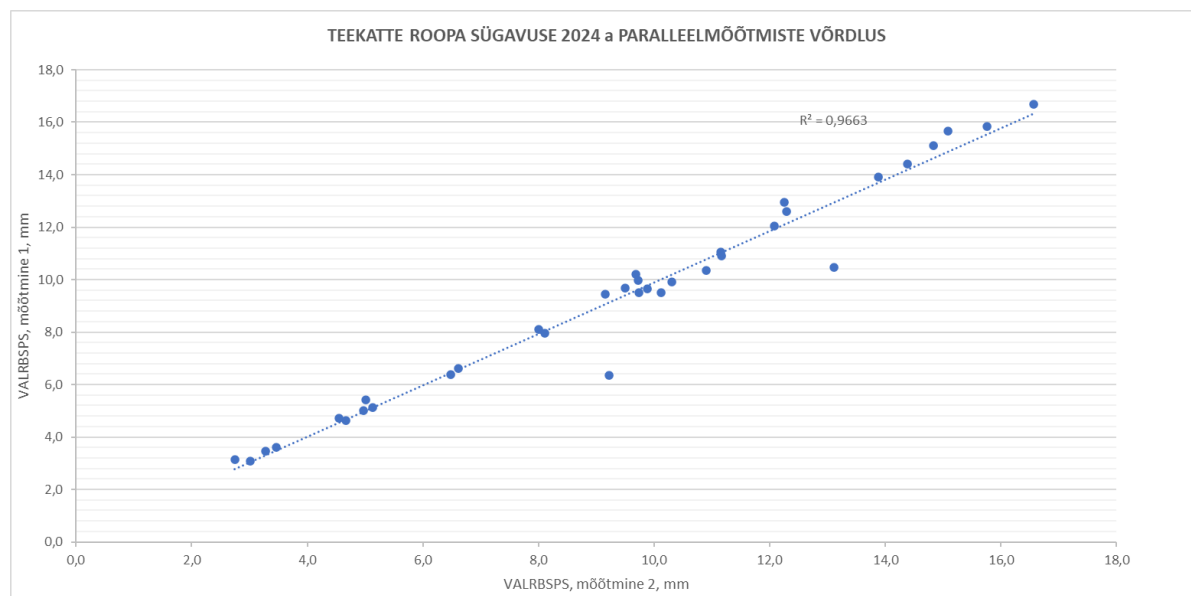
Korrelatsiooni arvutamiseks on kasutatud üldlevinud MS Exceli funktsiooni CORREL, mis näitab lineaarset seost kahe arvulise tunnuse vahel. Korrelatsioonikordaja absoluutväärtus on kõrge, kuna kahe tunnuse vahel koostatud hajuvusdiagrammide peal asuvad punktiparved on sirgjoonega hästi kokku võetavad. Korrelatsiooni piirväärtus (R) erinevate mõõtmiste vahel on vahemikus 0,96-0,99 (tabel 1). Seega saab öelda, et ViaPPS seadmega mõõdetud roopa sügavuse mõõtmistulemused vastavad tehnilises kirjelduses esitatud nõudele  $R > 0,95$ .



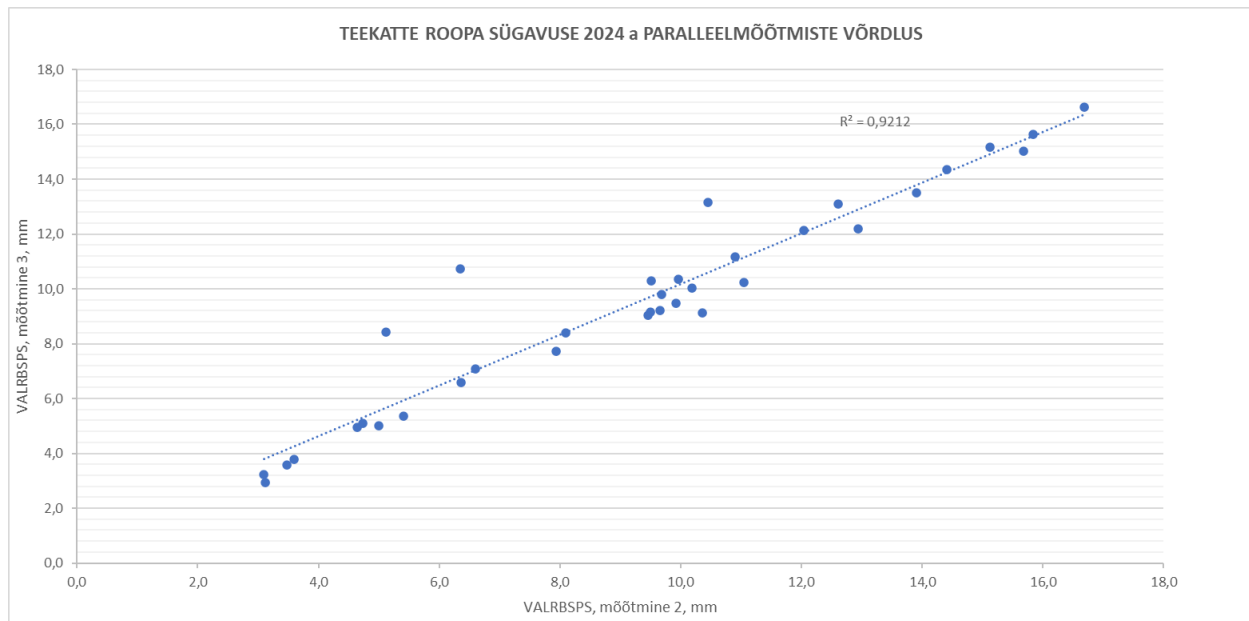
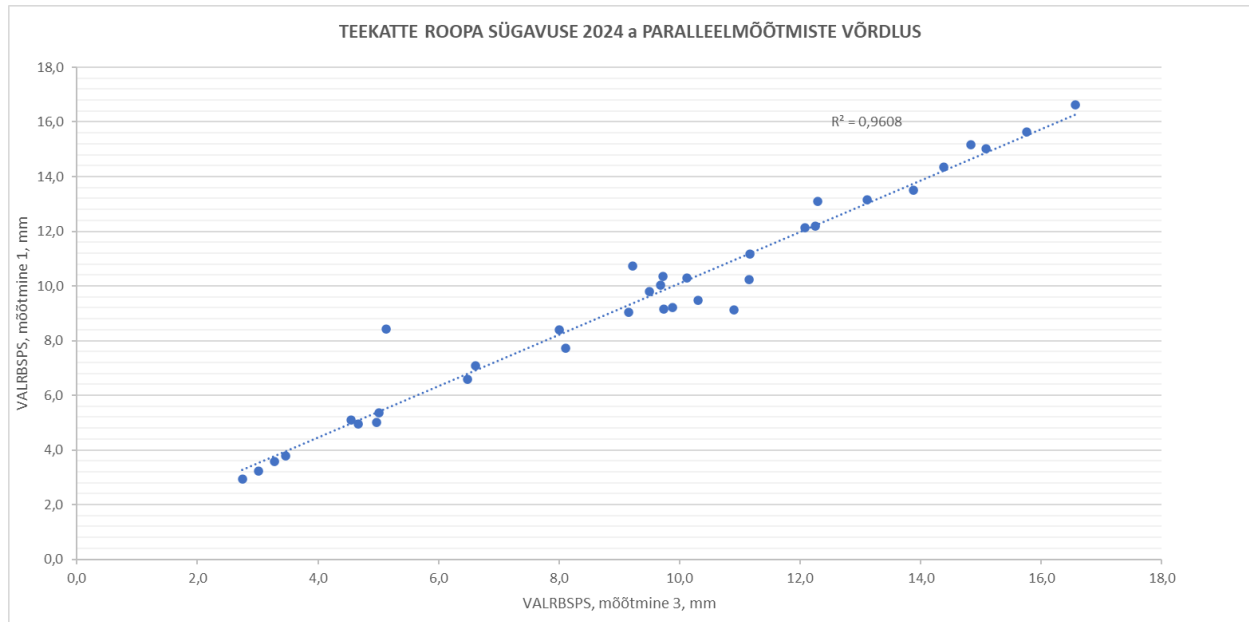
Tabel 1 Roopa sügavuse paralleelmõõtmiste vastavus nõuetele

Hinnatav roobas	Võrreldavad läbikud	Korrelatsioon (R)
Suund 1 välimine rbs	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	0,98
Suund 1 välimine rbs	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,98
Suund 1 välimine rbs	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,96
Suund 1 sisemine rbs	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	0,99
Suund 1 sisemine rbs	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
Suund 1 sisemine rbs	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
Suund 2 välimine rbs	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	0,99
Suund 2 välimine rbs	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
Suund 2 välimine rbs	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
Suund 2 sisemine rbs	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	0,99
Suund 2 sisemine rbs	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
Suund 2 sisemine rbs	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
	<b>Nõue:</b>	<b>0,95</b>

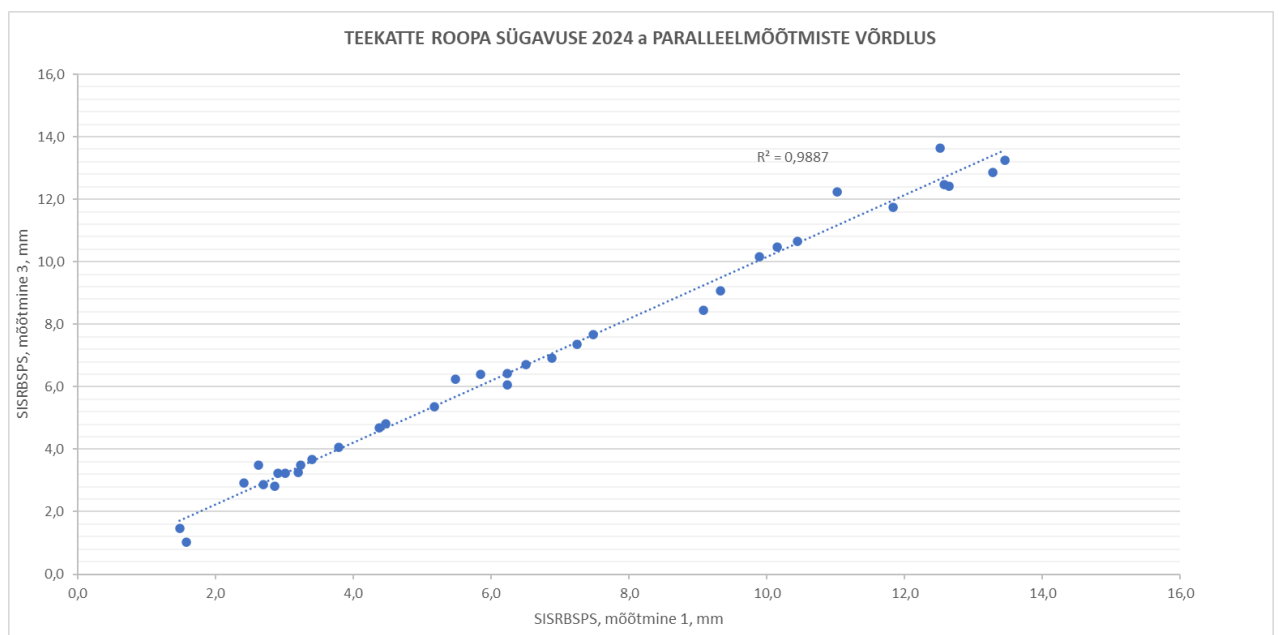
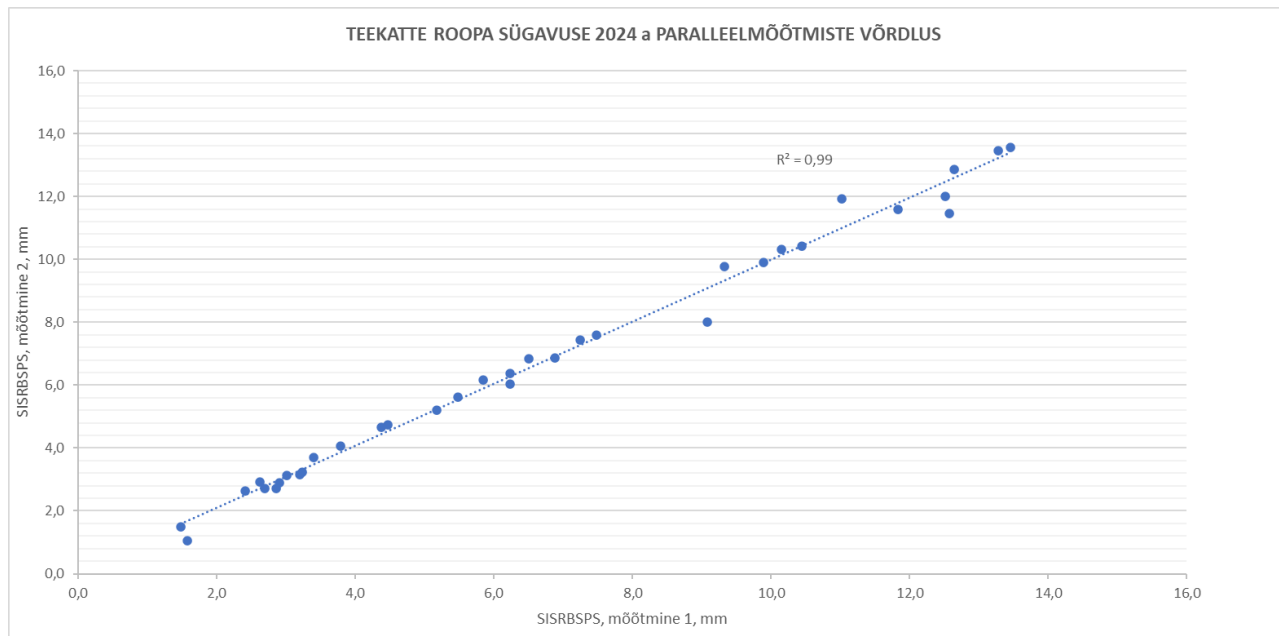
Allpool olevatel joonistel on kujutatud paralleelmõõtmiste vahelist korrelatsiooni suundade ja lõikude kaupa. Punktiirjoon graafikul näitab joont, millel mõõtmistulemused oleks täielikult korrelatsioonil. Graafikutele esitletud determinatsioonikoefitsient ( $R^2$ ) tähistab statistilist muutujat, mille tulemus võib varieeruda 0 ja 1 vahel. Mida lähemale on selle väärtus 1-le, seda paremini sobib mudel muutujaga.



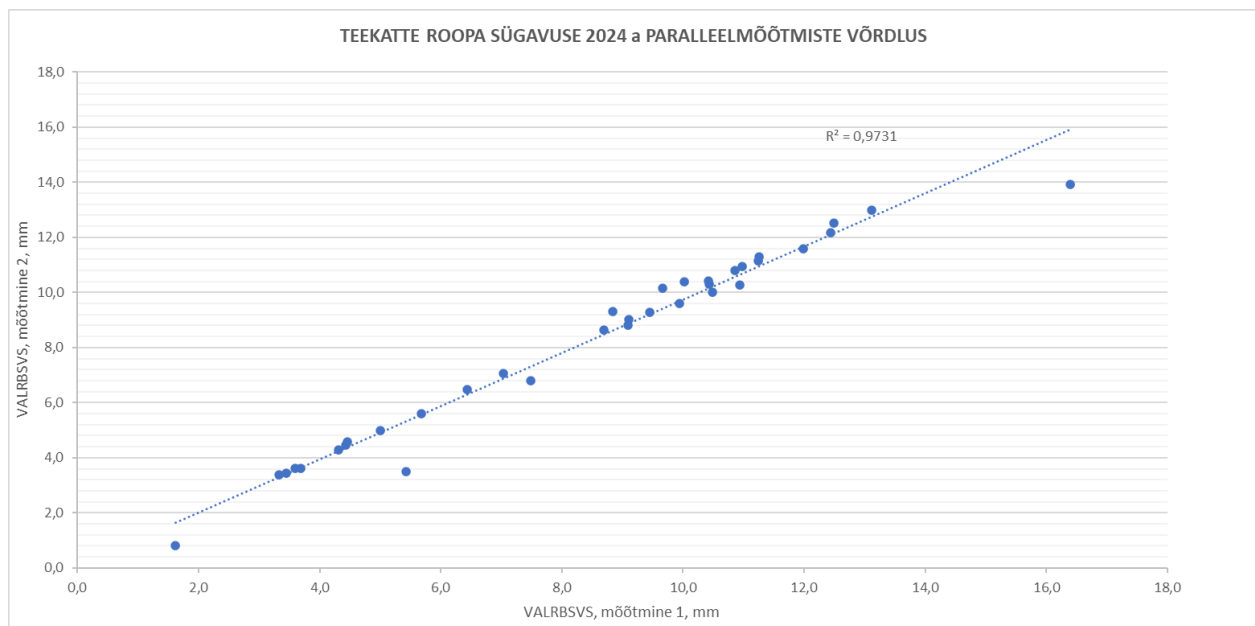
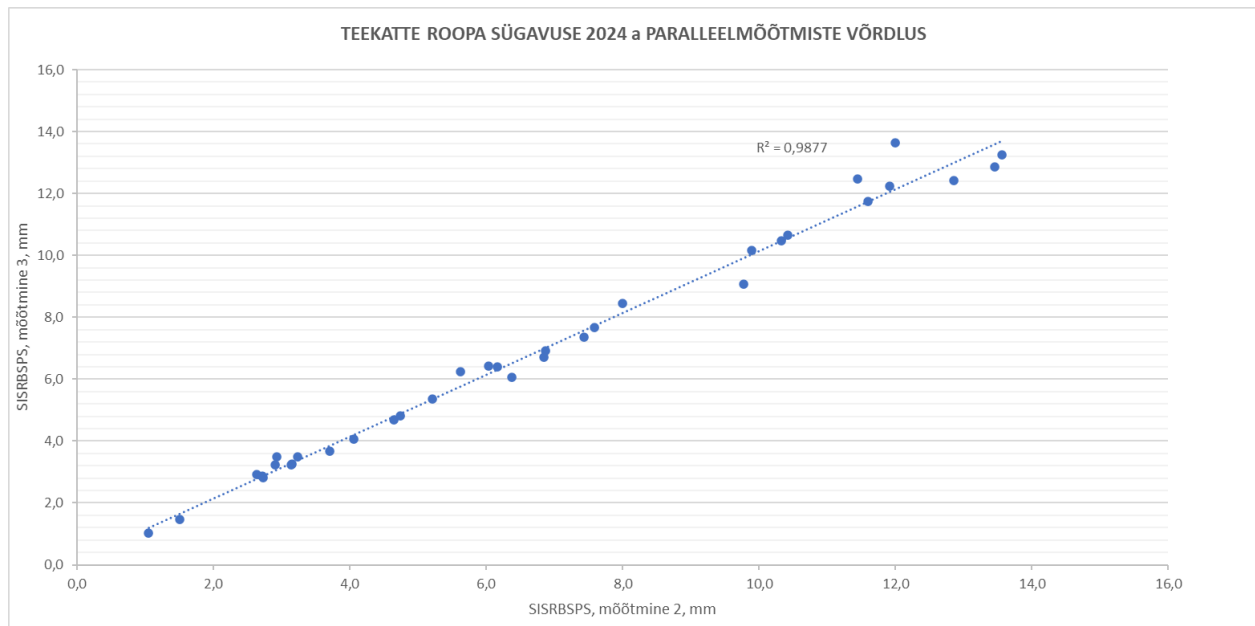
## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



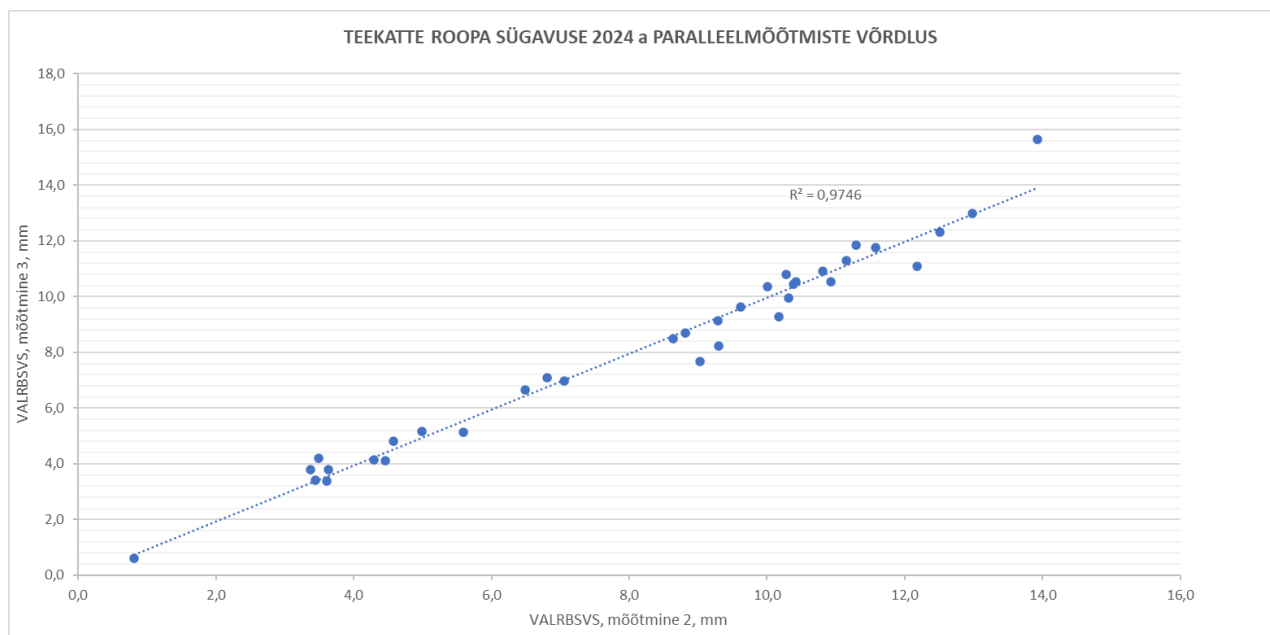
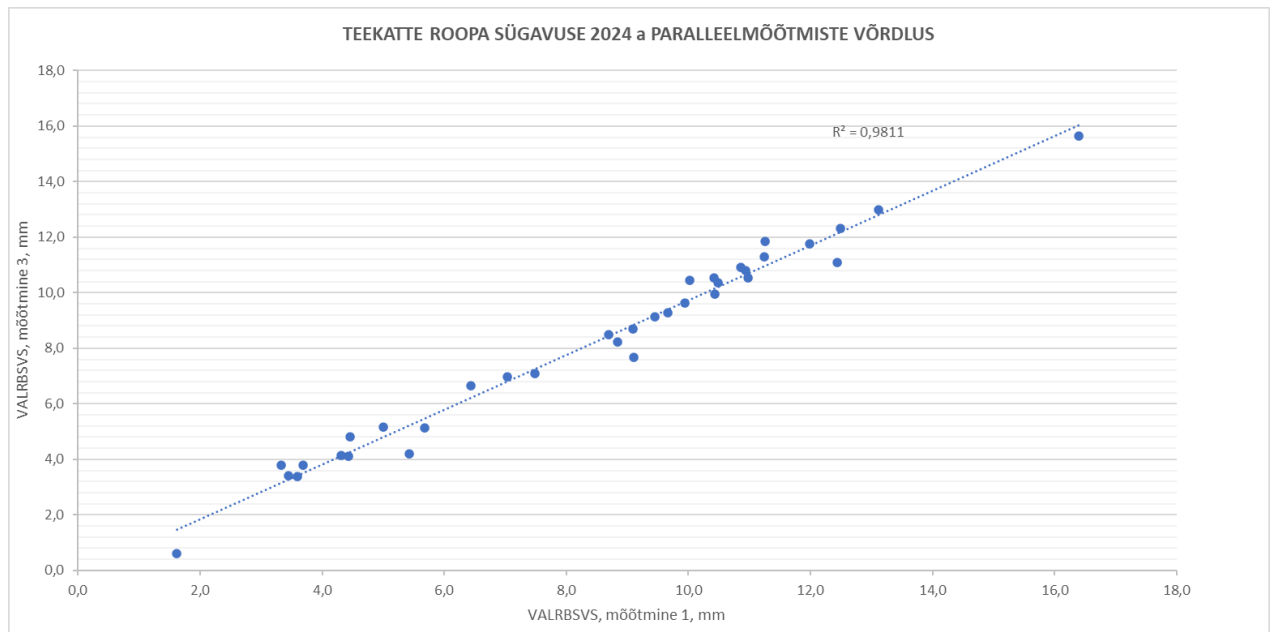
## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



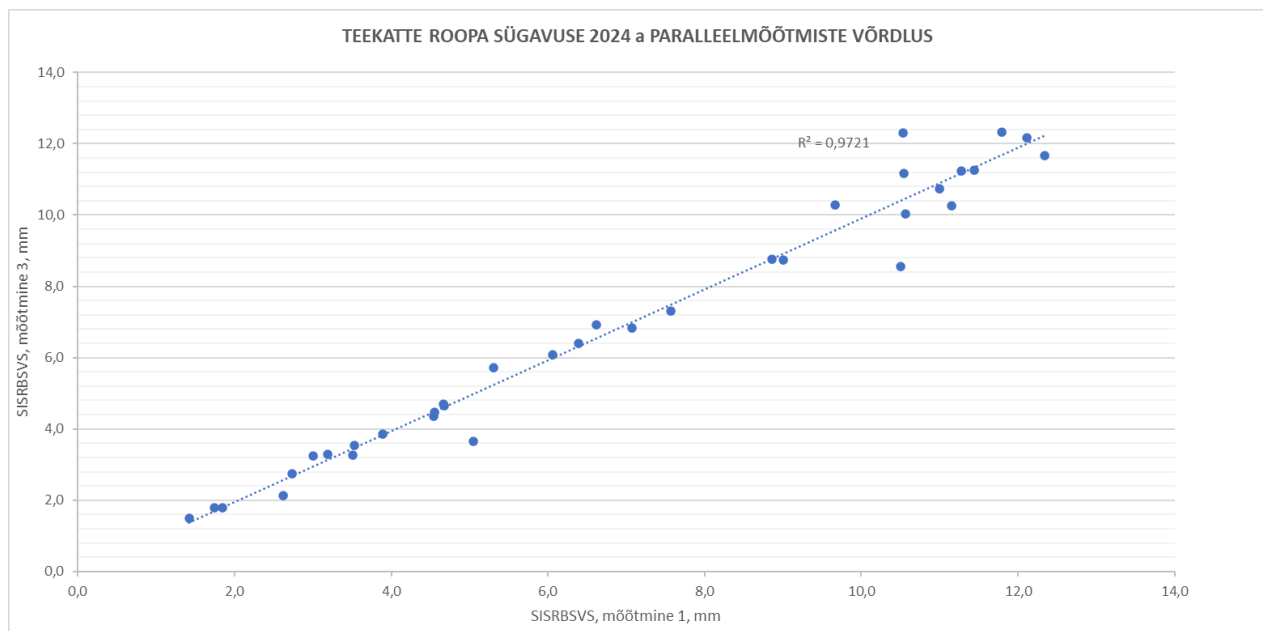
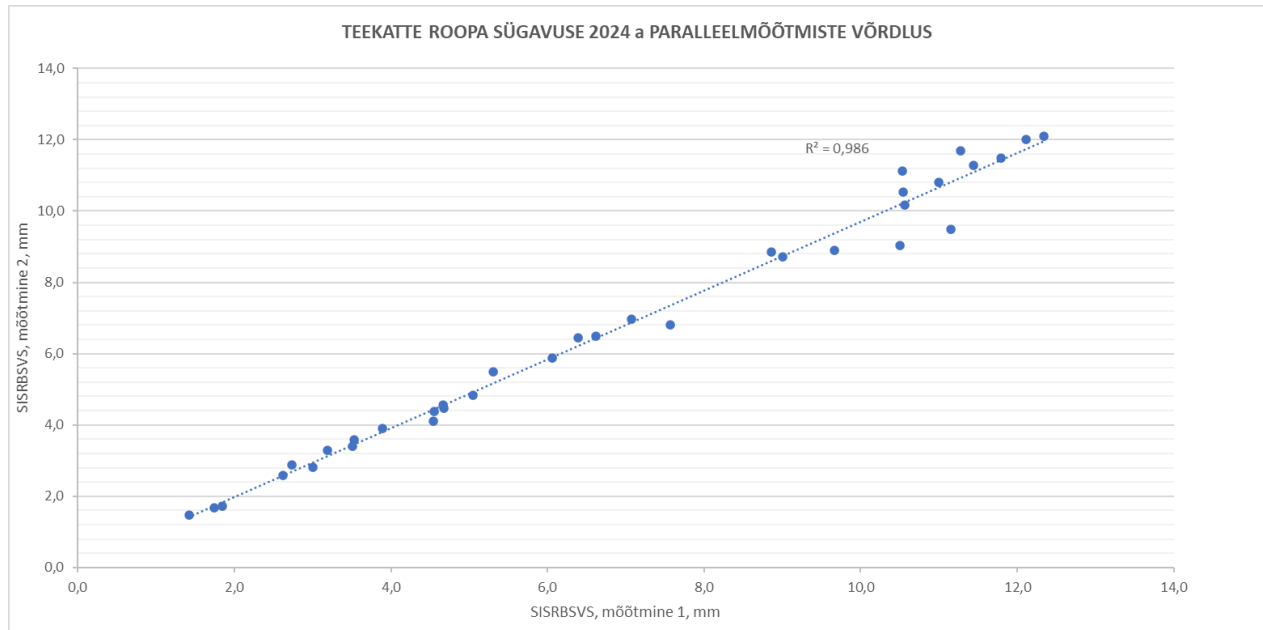
## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



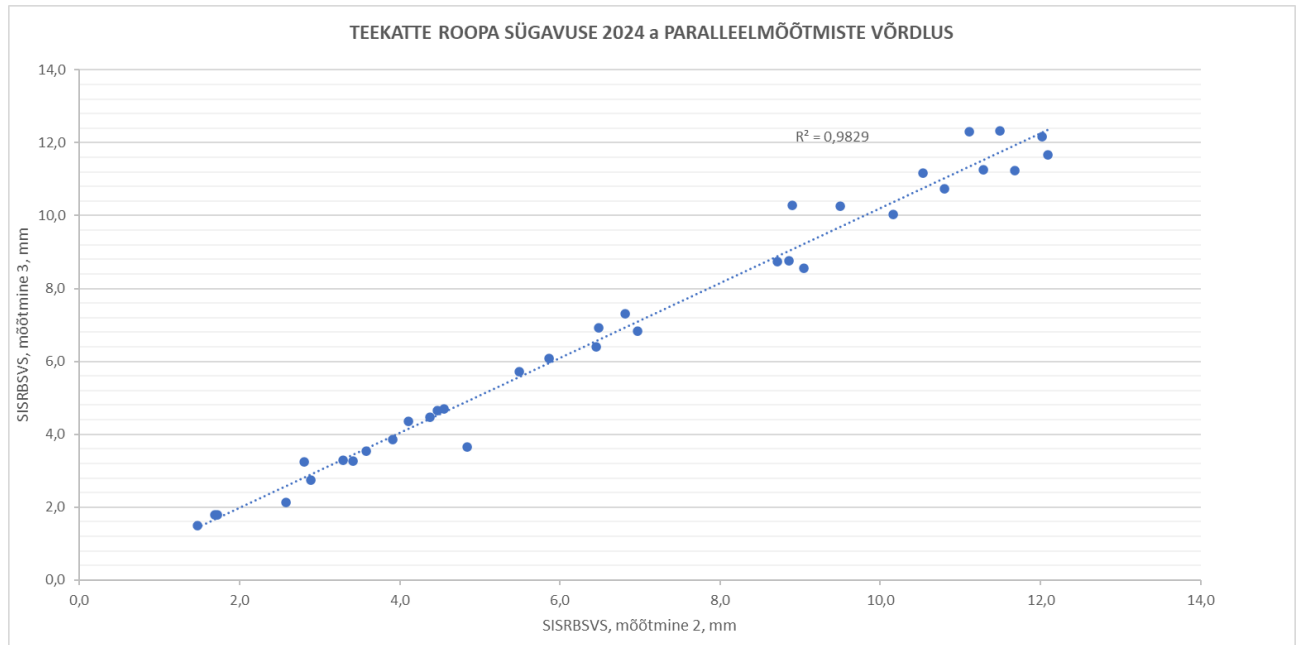
## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel

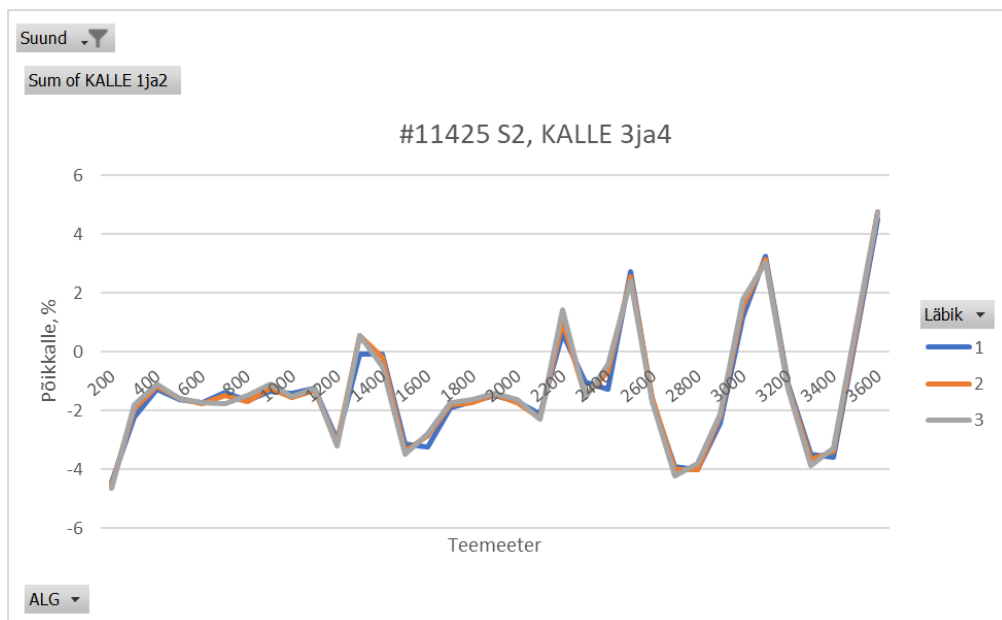
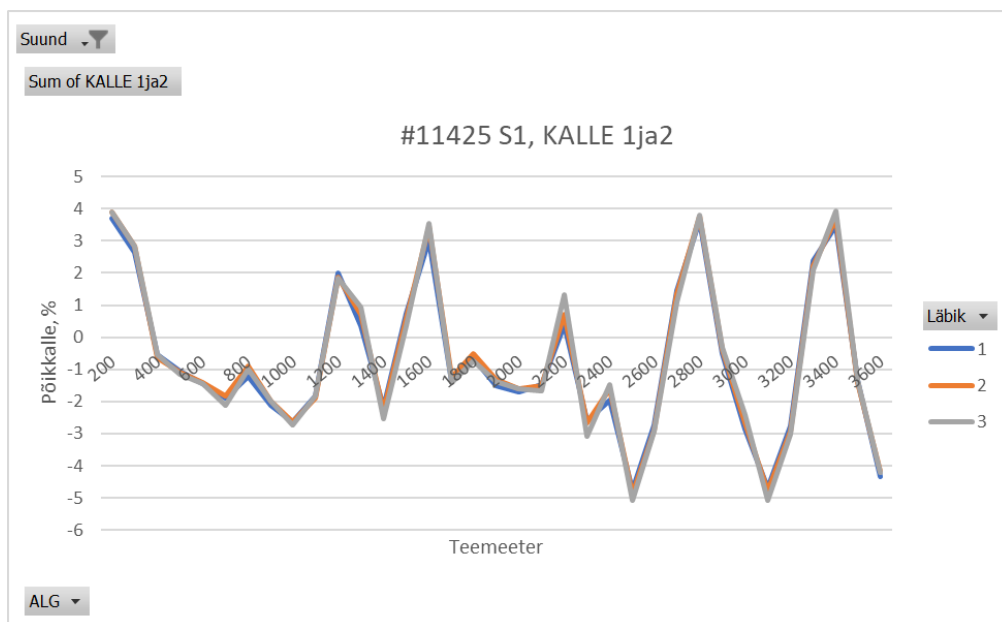


### 3. PÕIKKALDE MÕÕTMISED

#### Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad

Tehnilises kirjelduses oli roopa sügavuse testilõigu pikkuse minimaalne nõue 1000m. Mõõtmised teostati sarnaselt roopa sügavuse mõõtmisele pikemal, 3500m lõigul.

Järgnevad joonised kujutavad põikkalde paralleelmõõtmiste väärtusi lõikude pikkuses suundade kaupa. Tulemused on arvutatud regressioonimeetodil.





## Paralleelmõõtmiste võrdlus

Põikkalde paralleelmõõtmiste omavahelisel võrdlemisel vaadeldi järgmist näitajat:

- Mõõtmiste vaheline korrelatsioon.

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

Teekatte põikkalde paralleelmõõtmiste tulemuste võrdlemise tulemusena selgus, et samal teelõigul teostatud mõõtmiste kokkulangevus on suur ning korrelatsiooni piirväärtus erinevate mõõtmiste vahel on 0,99 – 1,00.

Põikkalde mõõtmistulemuste vaheline korrelatsiooni piirväärtus peab olema vähemalt 0,95.

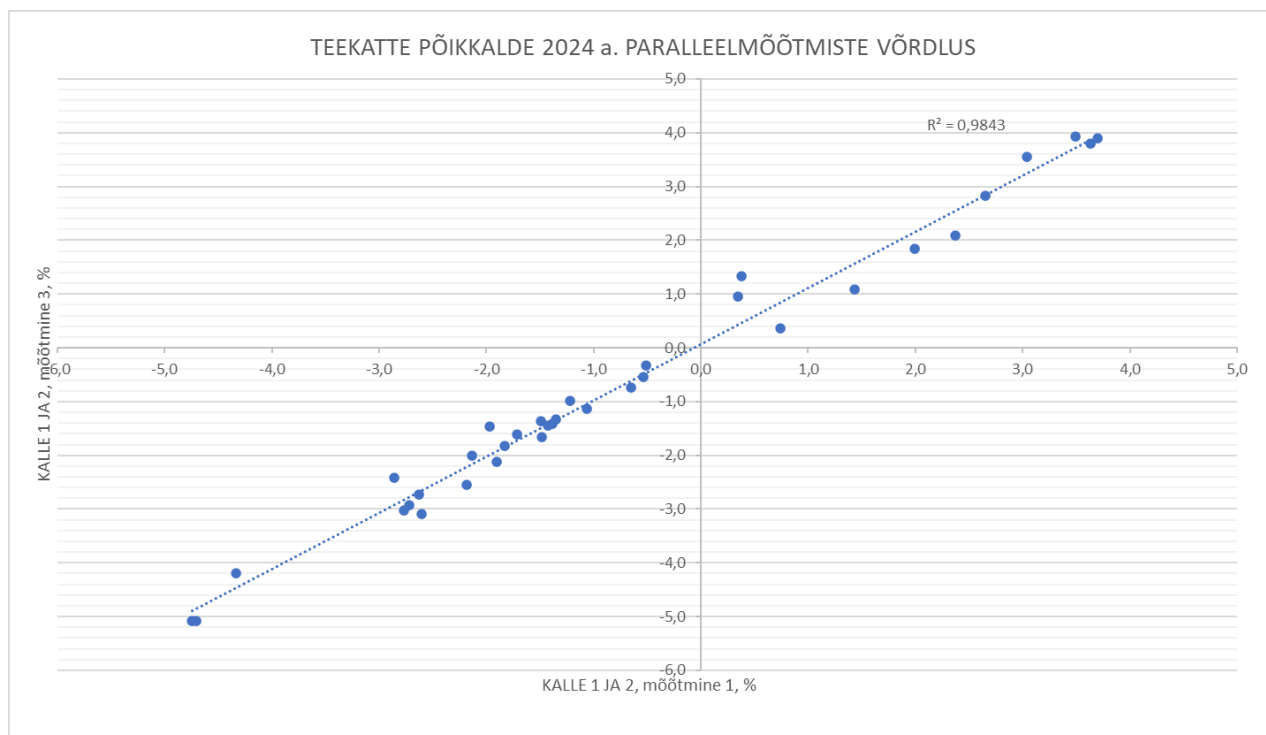
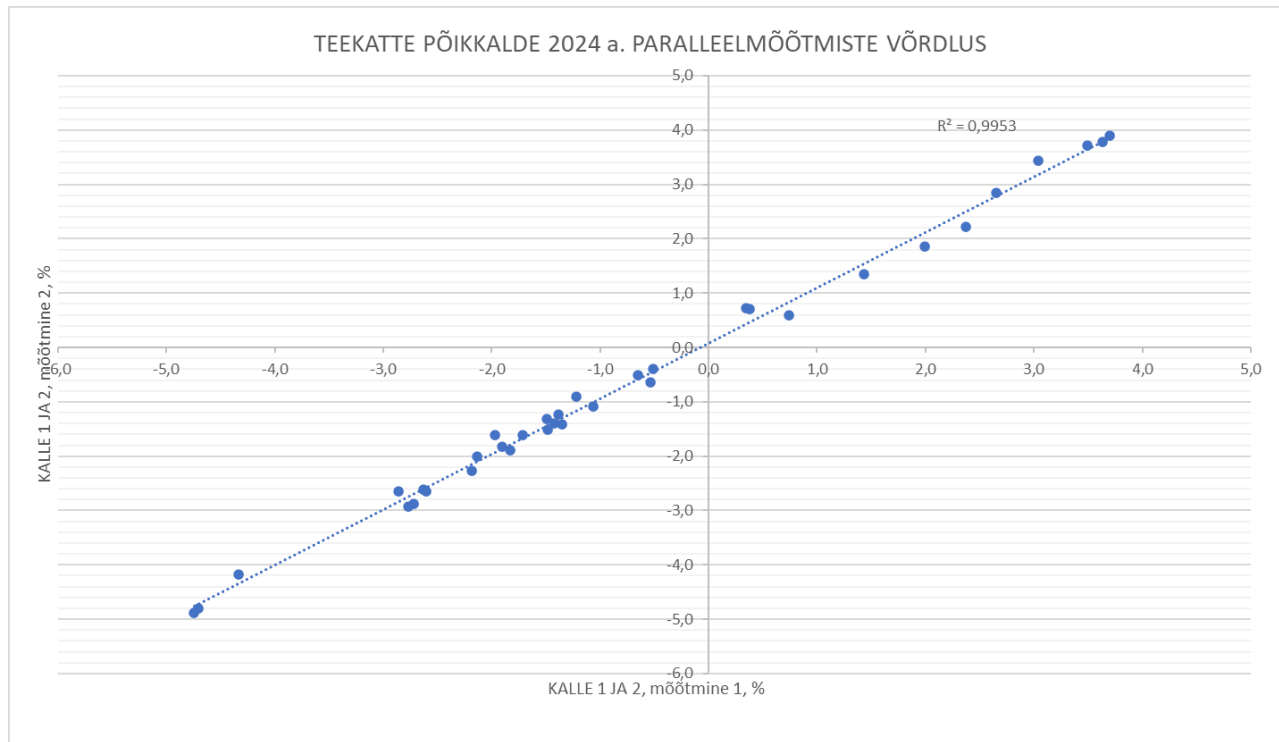
Järgnevas tabelis on kokkuvõtvalt esitatud eelmaitud näitajad koos vastava nõudega.

*Tabel 2 Põikkalde paralleelmõõtmise vastavus nõuetele*

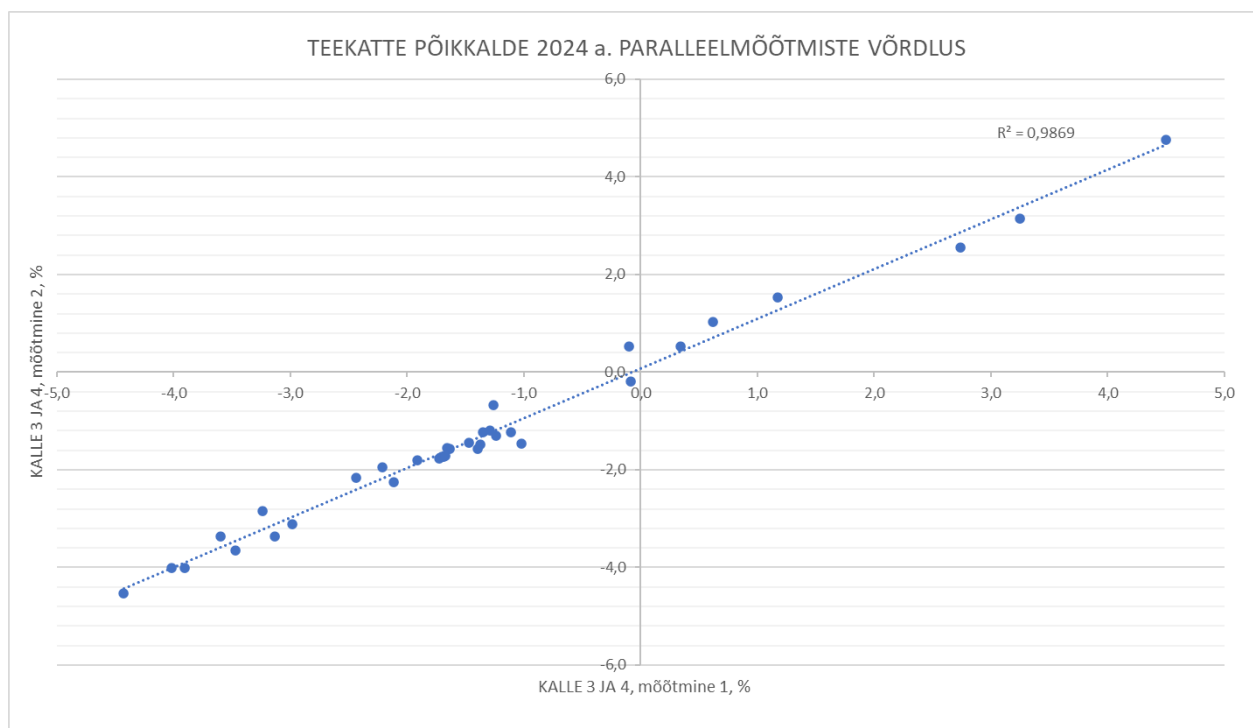
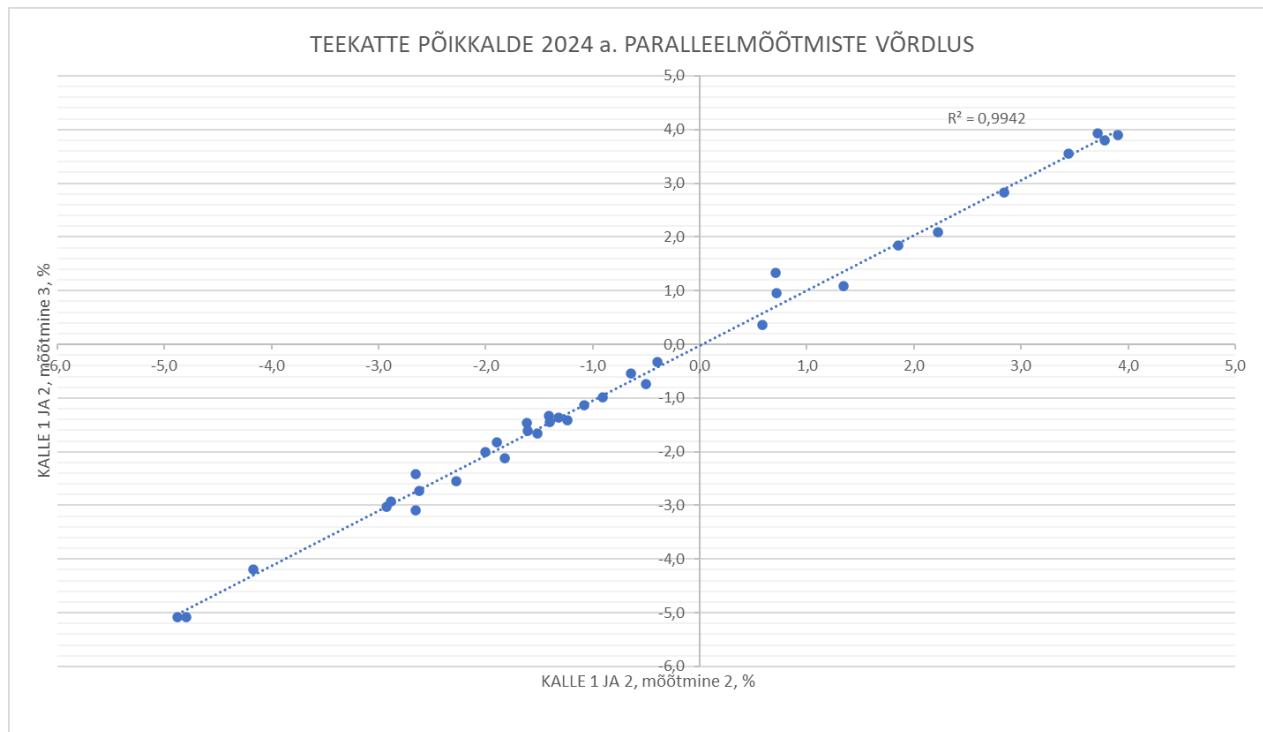
		Korrelatsioon
Suund 1	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	1,00
Suund 1	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
Suund 1	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	1,00
Suund 2	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	0,99
Suund 2	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	0,99
Suund 2	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	1,00
	<b>Nõue:</b>	<b>0,95</b>

## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel

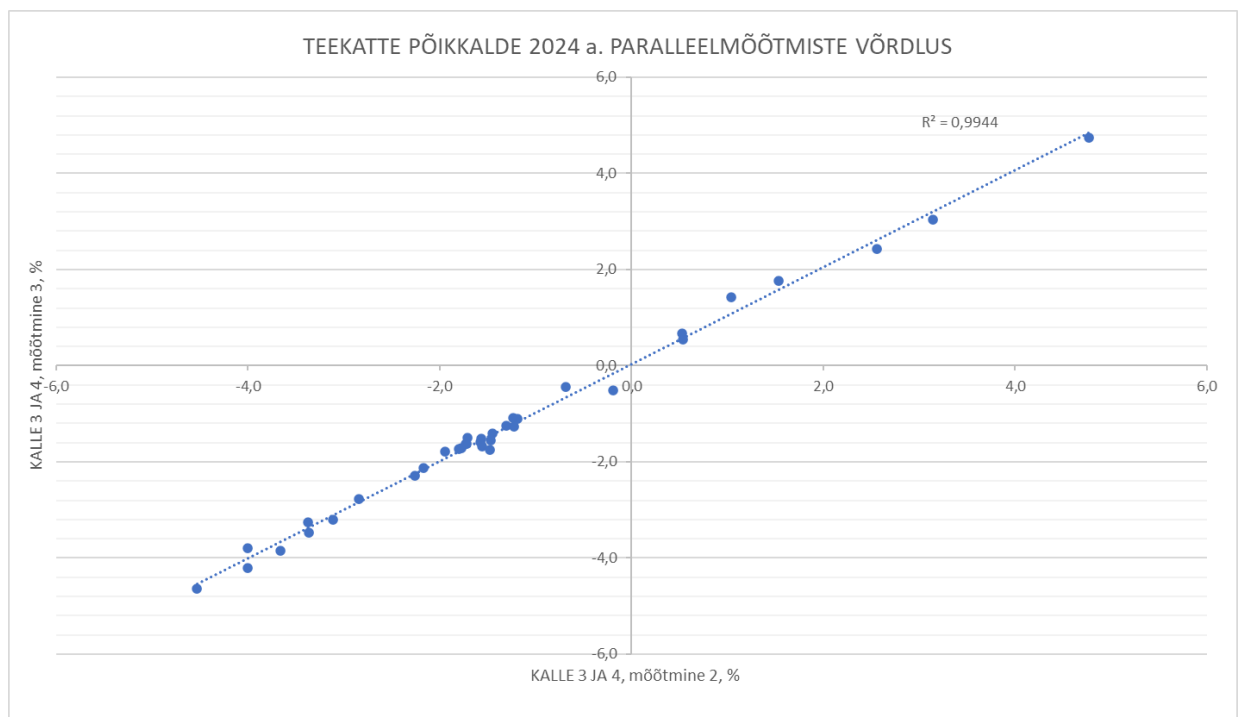
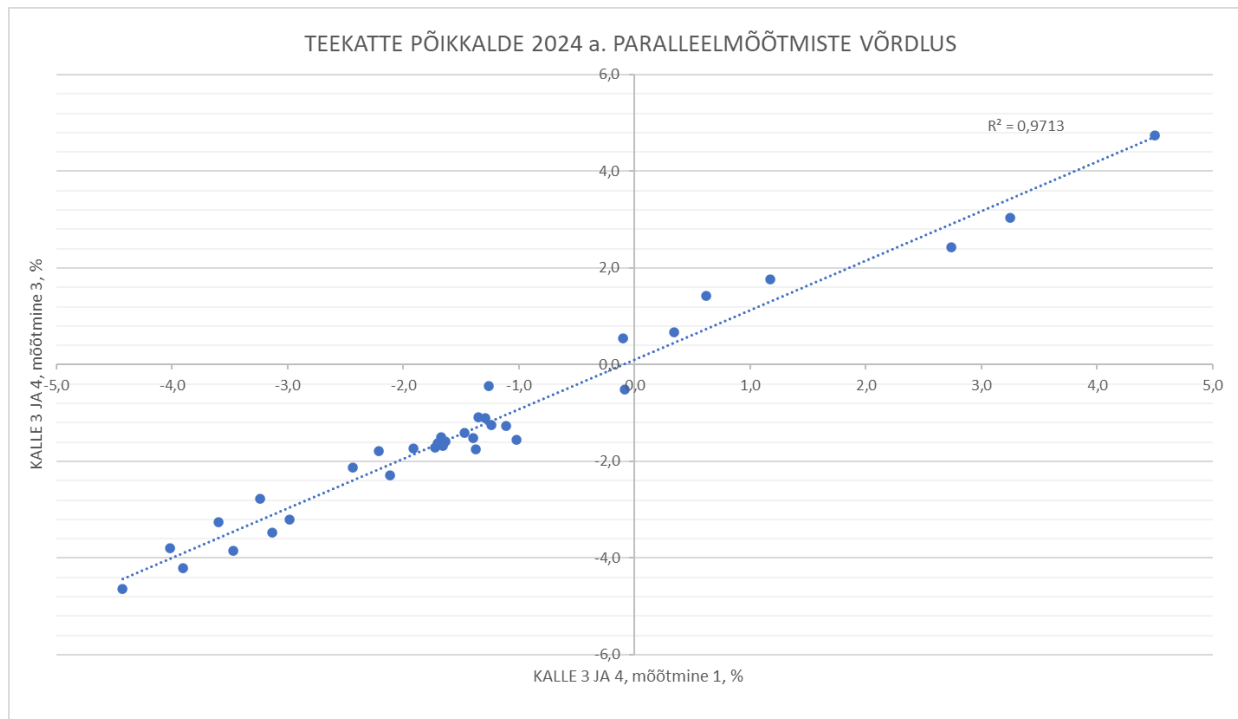
Allpool olevatel joonistel on kujutatud paralleelmõõtmiste vahelist korrelatsiooni.



## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel

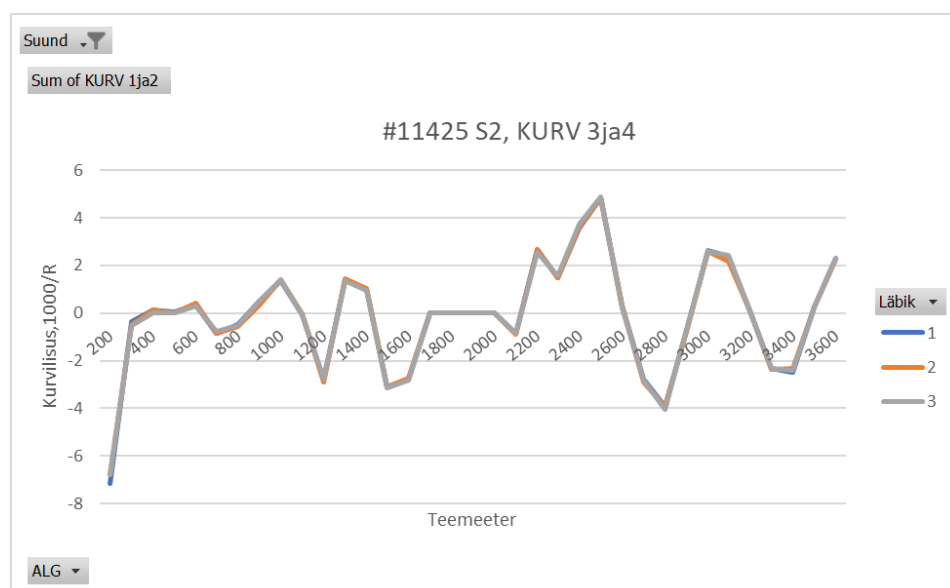
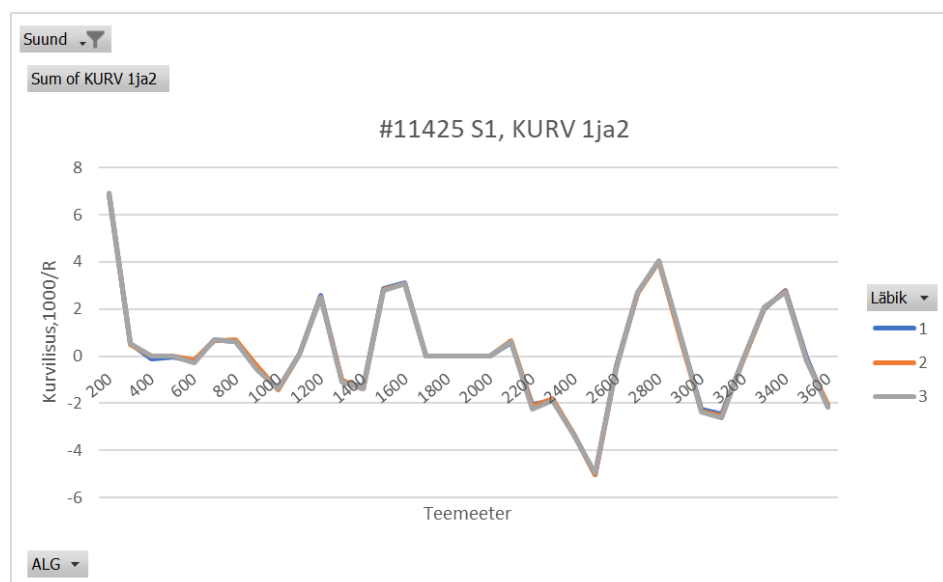


## 4. KURVILISUSE MÕÕTMISED

### Mõõtmiste põhilised statistilised näitajad

Maantee kurvilisuse paralleelmõõtmiste võrdlemiseks on teostatud 3500 m pikkuse teelõigu mõõtmised ViaPPS seadmega riigimaanteel nr 11425 Kanama-Saku km 0,2 – 3,7. Nimetatud testlõik on piisavalt kurviline ja seega sobib hästi võrdluse tegemiseks. Võrreldud on maantee kurvilisuse paralleelmõõtmisi, mis on tehtud mõõtmissammuga 100 meetrit.

Järgnevad joonised kujutavad kurvilisuse paralleelmõõtmiste väärtusi lõikude pikkuses suundade kaupa.



## Paralleelmõõtmiste võrdlus

Teekatte kurvilisuse paralleelmõõtmiste tulemuste võrdlemise tulemusena selgus, et samal teelõigul teostatud mõõtmiste kokkulangevus on suur ning korrelatsiooni piirväärtus erinevate mõõtmiste vahel on 1,00.

Tehnilise kirjelduse järgi peab kurvilisuse võrdlusmõõtmiste vahelise korrelatsiooni piirväärtus olema vähemalt 0,95.

*Tabel 3 Kurvilisuse paralleelmõõtmiste vastavus nõuetele*

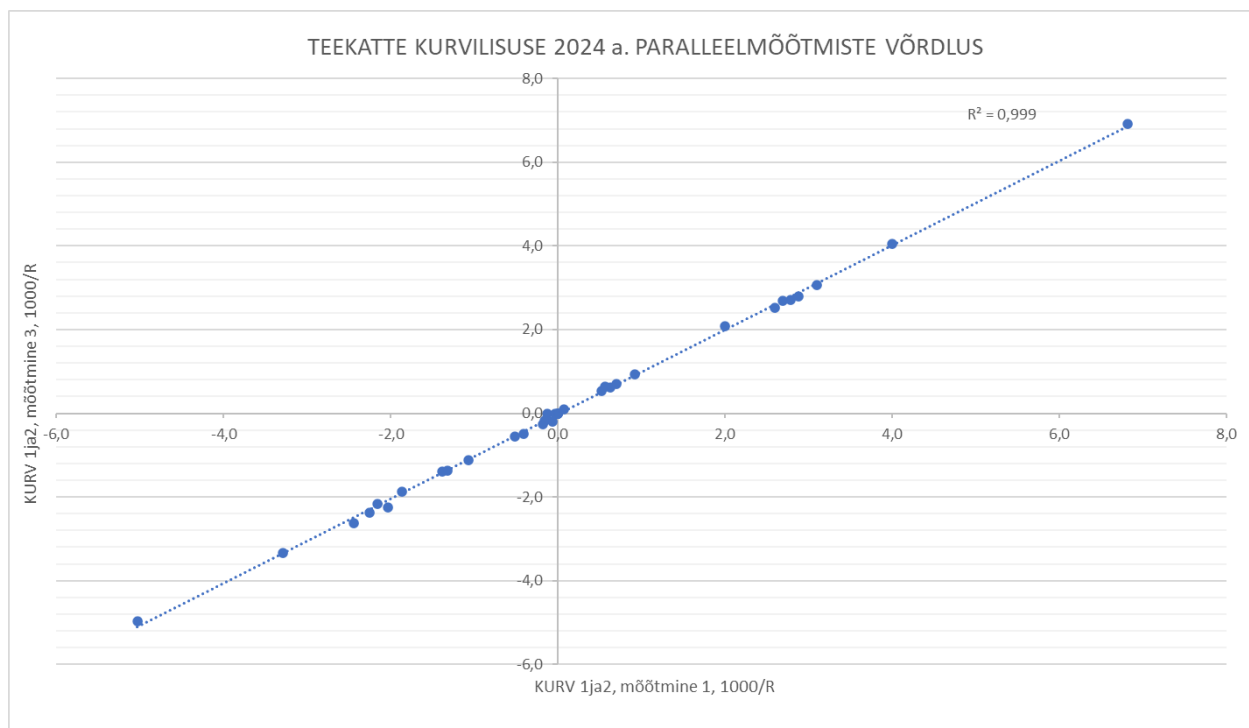
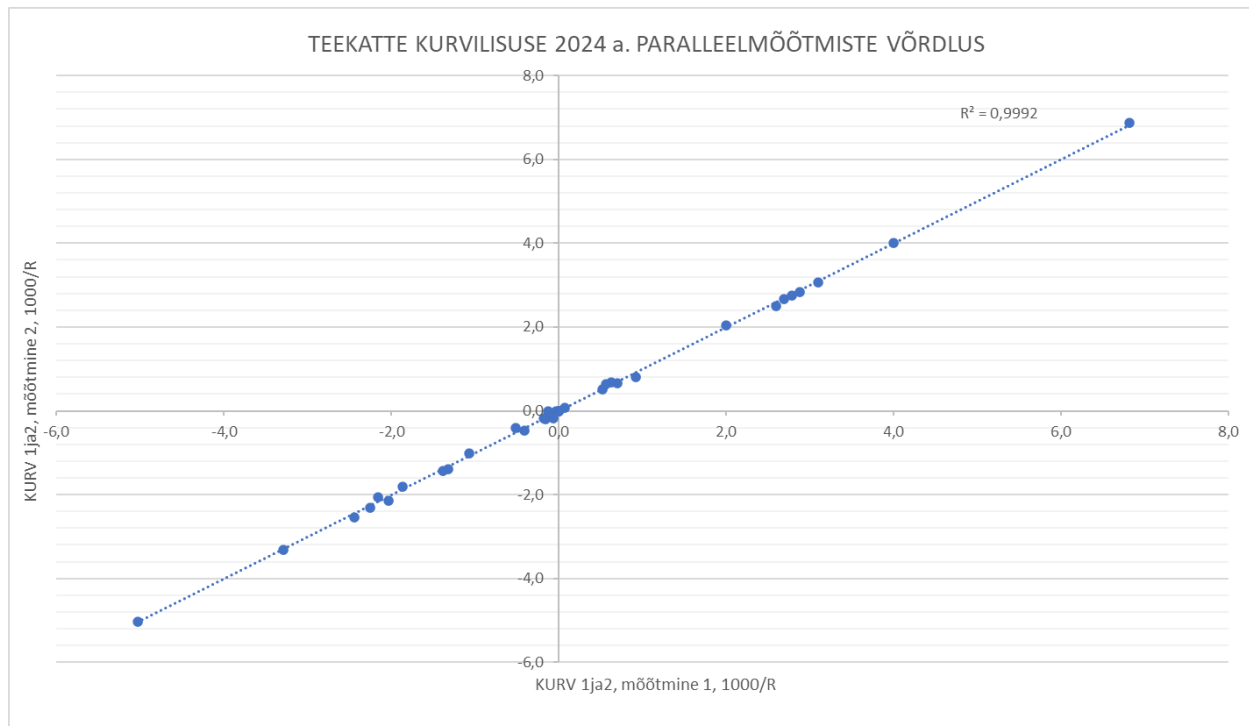
Suund	Võrreldavad läbikud	Korrelatsioon
Suund 1	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	1,00
Suund 1	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	1,00
Suund 1	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	1,00
Suund 2	1.mõõtmine vs 2.mõõtmine	1,00
Suund 2	1.mõõtmine vs 3.mõõtmine	1,00
Suund 2	2.mõõtmine vs 3.mõõtmine	1,00
	<b>Nõue:</b>	<b>0,95</b>

Paralleelmõõtmiste omavahelisel võrdlemisel vaadeldi kahte näitajat:

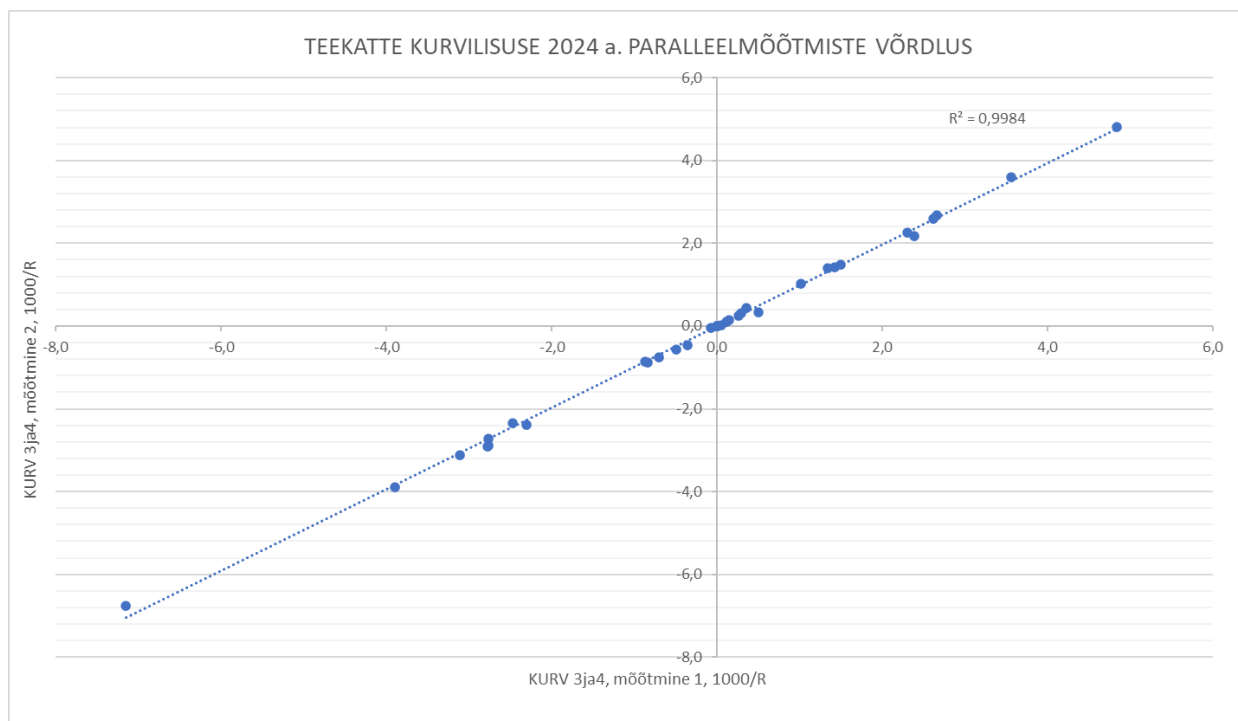
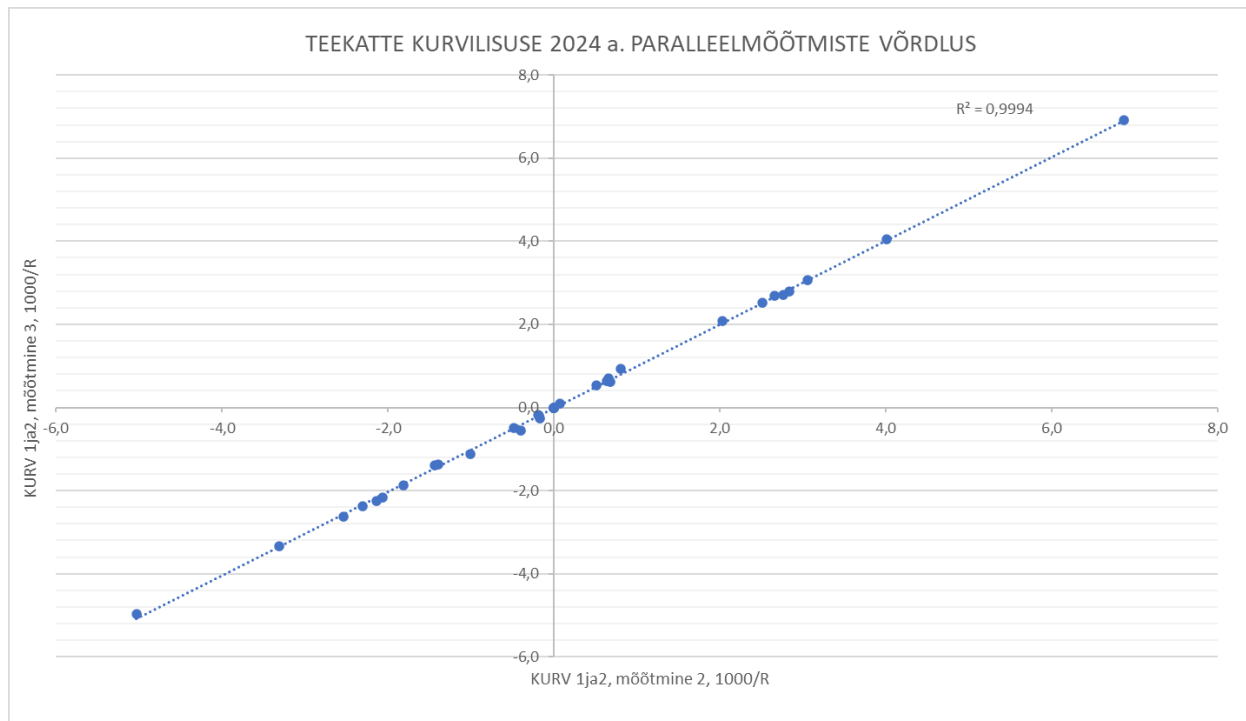
- Mõõtmiste vaheline korrelatsioon.
- Erinevas suunas mõõdetud kurvilisuse väärtused on teineteise peegelpildis, mistõttu kurvilisuse väärtuste liitmisel peab tulemuseks olema väärtus 0.

### Mõõtmiste vaheline korrelatsioon

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

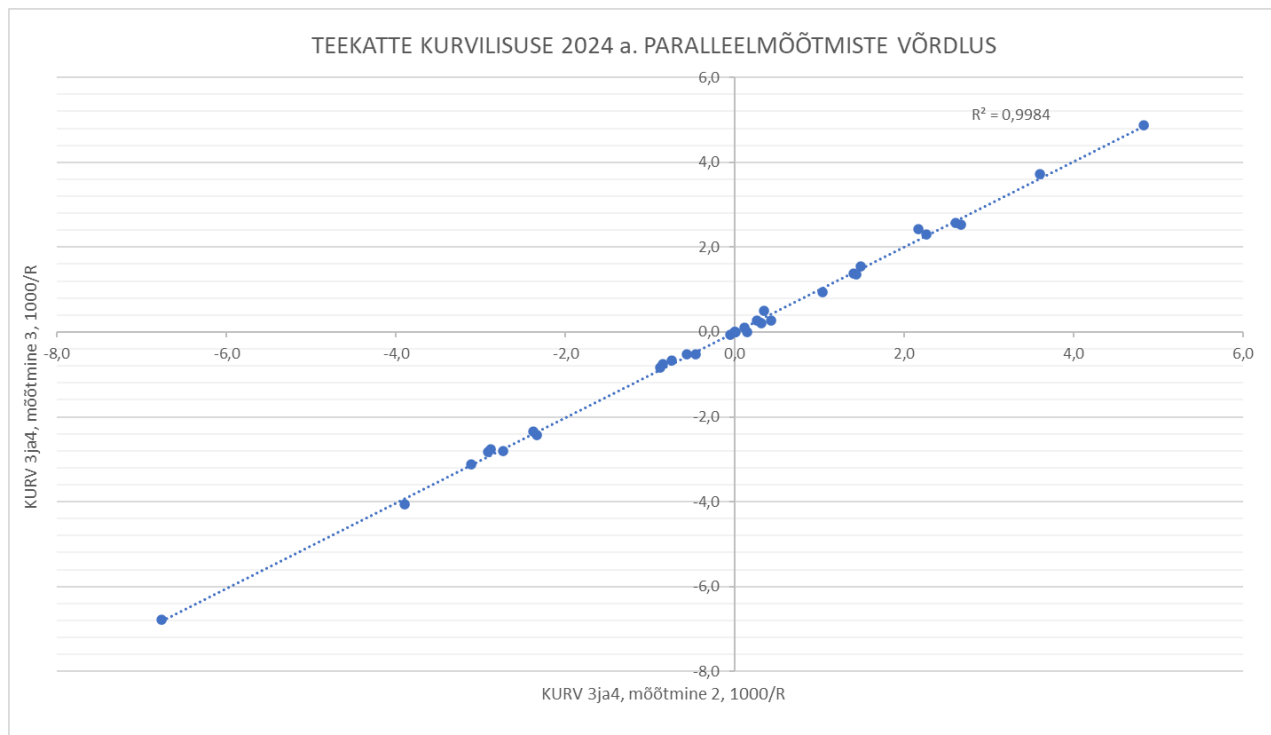
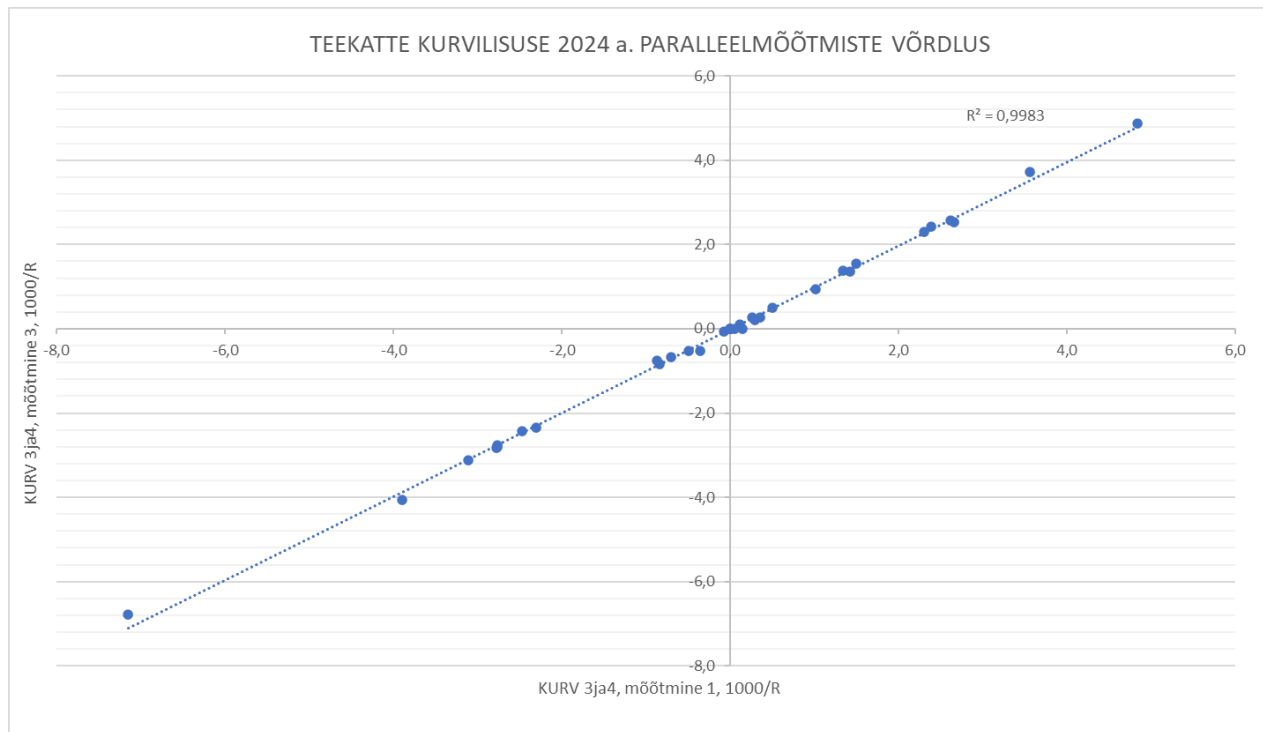


## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel





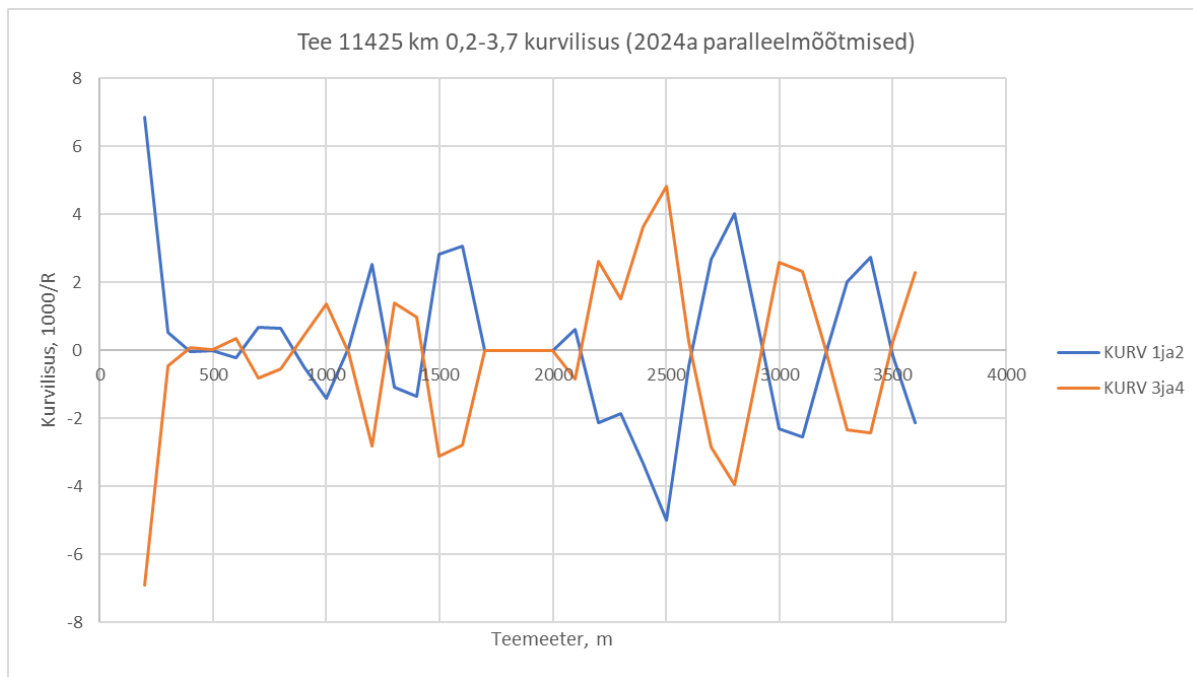
## ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel



### Suundade vaheline kattuvus (peegelpildis)

Tehnilises kirjelduses on nõue, et erinevas suunas mõõdetud kurvilisuse väärtuste liitmisel peab tulemuseks olema 0.

Paralleelmõõtmiste käigus tuli vastavus nõudele 100%.



Järgnevalt on toodud tabel detailsete tulemustega.

# ViaPPS seadme võrdlusmõõtmised 2024 kevadel

teemeeter	S1_1 vs S2_1	S1_1 vs S2_2	S1_1 vs S2_3	S1_2 vs S2_1	S1_2 vs S2_2	S1_2 vs S2_3	S1_3 vs S2_1	S1_3 vs S2_2	S1_3 vs S2_3
100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
700	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1700	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2700	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2800	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2900	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3000	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3200	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3300	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3400	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3500	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3600	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

## 5. KOKKUVÕTE

Mõõtmistulemuste analüüsil prooviti lahendada järgnevat küsimust:

- Milline on mõõtmistulemuste korratavus ViaPPS seadmega erinevate parameetrite väärtuste juures?

Paralleelmõõtmiste vaheline korrelatsioon vastavad hankelepingu tehnilises kirjelduses seatud nõuetele nii roopa sügavuse, tee pöikkalde kui ka kurvilisuse mõõtmisel.