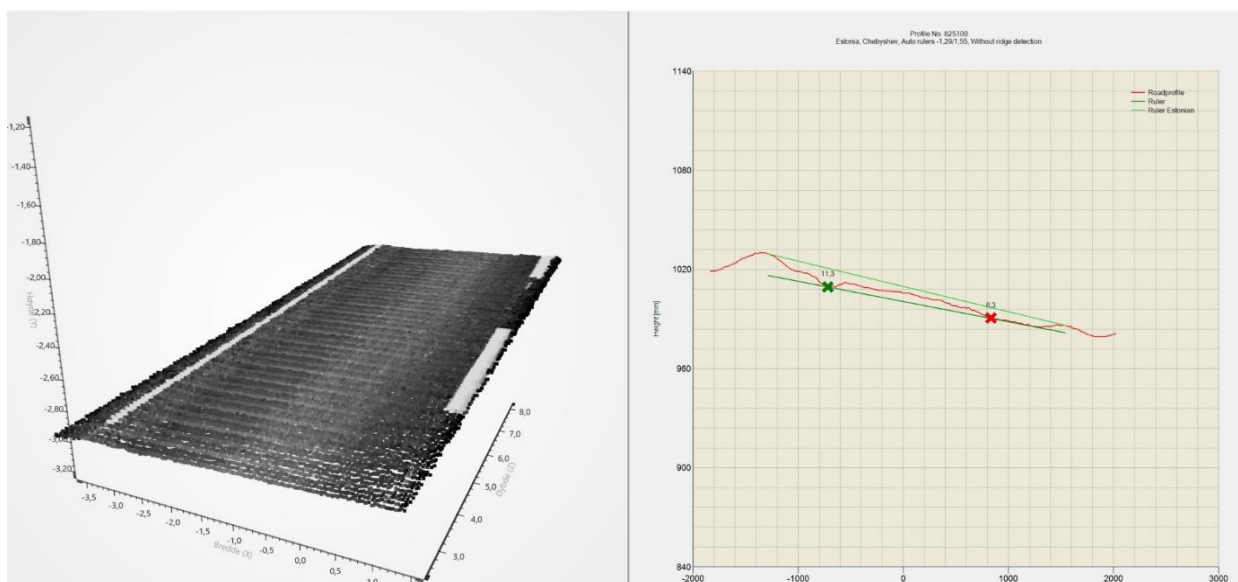


# PÕIKIEBATASASUSTE ARENGU ANALÜÜS VALITUD 2012, 2017 JA 2018 AASTA KATETE PÕHJAL

## LÕPPARUANNE

Projektijuht: Marek Truu



Töö on koostatud Maanteeameti teehoiu arendamise osakonna tellimusel

Tallinn  
2019

© Maanteeamet, 2019

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.

**Põikiebatasasuste arengu analüüs  
valitud 2012, 2017 ja 2018 aasta  
katete põhjal**

Lõpparuanne

**Töös osalesid:**

Marek Truu – projektijuht, Volitatud insener tase 8

Karmen Kütt - spetsialist

Maret Jentson – peaspetsialist

Veiko Tikas – peaspetsialist

Romet Raun – spetsialist

## Kasutatud lühendid

**AKÖL** – aasta keskmine ööpäevane liiklussagedus

**SA** – sõiduautode liiklussagedus

**VAAB** – veoautode ja autobusside liiklussagedus

**AR** – autorongide liiklussagedus

**Emod** - *FWD* seadmega mõõdetud E-moodul viiduna EÜld hindamiseks

**SCI** - katte kandevõime indeks (ka pinna kõversustegur, *Surface Curvature Index*), arvutatakse geofonide d300 ja d0 vahest

**BDI** - aluse kandevõime indeks (ka aluse vigastuse tegur, *Base Damage Index*), arvutatakse geofonide d600 ja d300 vahest

**BCI** - aluspinnase kandevõime indeks (ka aluspinnase kõversustegur, *Base Curvature Index*), arvutatakse geofonide d1200 ja d900 vahest

**RBS** – valitud arvestuslõigu (nt. 20m) keskmine roopa sügavus, mm

**RBSmax** – valitud arvestuslõigu suurim roopa sügavus

**Track Area** - Roopa ristlõike pindala, cm<sup>2</sup>, iseloomustab roobaste mahtu

**PPS** – *Pavement Profile Scanner*, katteprofiili skanner

**Bottom ruler** – põhjalati meetod põikkalde ja roopa sügavuse mõõtmiseks

**Cutting Wire** – profiili lõikav meetod põikkalde ja roopa sügavuse mõõtmiseks

**Wire** – profiili järgiv meetod põikkalde ja roopa sügavuse mõõtmiseks

**CEN-ruler** – CEN-meetod roopa sügavuse mõõtmiseks

Regression ruler – regressioonmeetod roopa sügavuse mõõtmiseks

**WTSAIR** – maksimaalne jäljesügavuse juurdekasv 103 koormustsükli kohta, mm

**PRDAIR** – maksimaalne suhteline jäljesügavus, %

**RDAIR** – maksimaalne jäljesügavus, mm

**AbrA** – vastupanu naastrehvide toimele e. kulumiskindlus, maksimaalne kulumismäär, ml

**R2** – determinatsioonikordaja, seose tugevust iseloomustav näitaja

**AIC** - *Akaike information criterion* – statistiline mudeli korrelatsiooninäitaja

**STDev** – standardhälve (*standard deviation*)

## SISUKORD

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Kasutatud lühendid                                                                               | 2  |
| SISUKORD                                                                                         | 3  |
| SISSEJUHATUS                                                                                     | 5  |
| Üldist                                                                                           | 6  |
| Katte põikprofiili mõõtmistest Eestis                                                            | 6  |
| Põikkalde ja roopa sügavuse määramise meetodid                                                   | 6  |
| Põikkalde leidmise meetodid                                                                      | 6  |
| Roopa sügavuse määramise meetodid                                                                | 8  |
| Roobaste areng 2012. a katetel                                                                   | 12 |
| Üldist                                                                                           | 12 |
| Roopa sügavuste andmed teeregistris                                                              | 14 |
| Roopa sügavuste areng ja hinnang algroopa suurusele                                              | 15 |
| Roobas vs. teekonstruktsiooni kandevõime                                                         | 22 |
| Roobas vs. deformatsioonikindlus                                                                 | 25 |
| Roobas vs kulumiskindlusest                                                                      | 27 |
| Roobas vs. liiklussagedus                                                                        | 28 |
| Roobs vs kasutatud segu mark                                                                     | 30 |
| Roopa sügavuse sõltuvuse regressioonanalüüs                                                      | 31 |
| 2012 objektide analüüsi kokkuvõte                                                                | 32 |
| 2017-2018. a valminud katete analüüs                                                             | 33 |
| 2017. a objektide analüüs                                                                        | 36 |
| 2018. a objektide analüüs                                                                        | 42 |
| Muutused 2018. a korduvmõõtmistega objektidel                                                    | 42 |
| Algroopa sügavuse regressioonanalüüs                                                             | 52 |
| Roopa sügavused ja katte põikkalded erinevate arvutusmeetodite puhul 2018 aasta mõõtmiste põhjal | 54 |
| 2018 mõõtmiste kokkuvõte                                                                         | 59 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Ettepanekud algroopa ja edasise roopa arengu pidurdamiseks mõõtmiste efektiivse rakendamise kaudu | 62 |
| Algroopa mõõtmised                                                                                | 62 |
| Algkandevõime mõõtmised                                                                           | 63 |
| Kohtumine Soome katteekspertidega                                                                 | 64 |
| Ettepanekud – mõõtmiste vajadus ja põhimõtted                                                     | 64 |
| Ettepanekud - motivatsiooni rakendamine töövõtjale väiksema roopa sügavuse saavutamiseks          | 65 |
| KOKKUVÕTE                                                                                         | 67 |
| KASUTATUD KIRJANDUS                                                                               | 69 |
| LISAD                                                                                             | 71 |

## SISSEJUHATUS

Käesolev töö sisaldab teekatete põikiebatasasuste arengu analüüsi valitud 2012, 2017 ja 2018 aasta katete põhjal. Töö on koostatud Maanteeameti tellimisel AS Teede Tehnokeskuse poolt.

Töö eesmärk on välja selgitada kas ja millistele seaduspärasustele on allunud põikiebatasasuste (sh. pikiroobaste) areng ehitusjärgsetel aastatel 2012. aastal valminud ja varasemasse uuringusse [1] kaasatud objektidel ning 2017 ja 2018 aastal uute nõuete järgi rajatud katetel. Uuringut ette võtma motiveeris ka 2018. aasta erakordselt soe suvi, mis peaks uute katete deformatsioonikindluse panema korralikult proovile. Analüüs hõlmab nii varasemalt teeregistri andmebaasi jaoks teostatud mõõtmiste tulemusi, kui ka uuringu teostaja poolt aastatel 2017-2018 pärast katte valmimist teostatud mõõtmiste tulemusi (algroopa mõõtmised) ning lisaks ka 2018 aastal teostatud algroopa mõõtmiste hilisemate kordusmõõtmiste tulemusi. Töö eesmärk on selgitada, kas ja mil määral esineb seoseid roopa sügavuse arengu ja seda potentsiaalselt mõjutavate tegurite vahel, s.h katteseu deformatsiooni- ja kulumiskindlus ning liiklus- ja koormussagedus, tarindi kandevõime jms, seda eriti katte valmimise järgselt kiiresti tekkiva nn. algroopa mõistes. Töö eesmärk on hinnata, kas selline algroobas eksisteerib ning kas selle vältimiseks on vaja rakendada senisest tõhusamaid meetmeid ning teha nende osas ettepanekud.

Roopa sügavuse määramiseks kasutatakse erinevaid meetodeid, mis mõjutavad mõõtmistulemust. Töö üheks eesmärgiks on välja tuua erinevatel meetoditel määratletud roopa sügavuse ja muude parameetrite (roopa maht ja kuju) erinevused, anda ülevaade erinevatest katte põikiebatasasuste/roopa sügavuse hindamise meetoditest ja leida meetmed roobaste arengu paremaks ohjamiseks.

Töö on jagatud kolme etappi. Töö esimene osa hõlmab vajalike andmete kogumist koos välitöödega ja saadud tulemuste analüüsikõlblikuks töötlemist. Töö teises osas viiakse läbi kõik analüüsid ja tulemused esitatakse koos ettepanekutega. Kolmandas osas arutatakse ettepanekud töö tellijaga läbi ning täiendatakse analüüse, järeldusi ja ettepanekuid.



## Üldist

### Katte põikprofiili mõõtmistest Eestis

Teedevõrgu tasemel on katte põikprofiili näitajaid mõõdetud aastast 2000. Kuni aastani 2013 teostati mõõtmisi ultrahelianduritel (13 tk) kui AS Teede Tehnokeskus hankis vastava seadme (Ura\_Roadmaster) Soome firmast AL-Engineering Ltd. Paljudes riikides olid samal ajal kasutusel täpsemad (aga ka kallimad) punktlaseritel põhinevad seadmed, nt. Soomes võeti teekatte mõõtmisteks kasutusele 17 laseril baseeruv nn. PTM-auto (*palvelutasomittaus*).

Aastal 2014 võeti teedevõrgu mõõtmistel kasutusele uue põlvkonna skaneerival laseril baseeruv mõõtebuss ViaPPS, mis mõõdab lisaks teekatte pikiprofiili näitajatele (makro- ja megatekstuur ning IRI) põikprofiili 540 punkti alusel sõiduraja laiusel detailselt põikprofiili näitajad – roopa sügavus paremas ja vasakus rattajäljes, põikkalle. Tänu uuele mõõteseadmele muutusid mõõtmised täpsemaks, samas muutus mõnevõrra roopa sügavuste tegelik väärtus, mistõttu roopasügavuse arengusse tekkis mitmel pool „hüpe“.

Aastatel 2017-2019 mõõdeti teedevõrgu põikprofiili näitajaid 17 punktlaseril baseeruva seadmega Greenwood Profilograph. Uue mõõteseadme kasutuselevõttuga tekkis mõningane „hüpe“ mõõtmistulemuste tasemes.

### Põikkalde ja roopa sügavuse määramise meetodid

Erinevused põikprofiili mõõtmises hõlmavad nii roopa sügavuse kui põikkalde leidmist, kuivõrd erinevad meetodid annavad mõlemal juhul erinevad väärtused. Väärtuste võrdluse seisukohalt, sh. teiste riikidega, on oluline, et mõõtmised oleks teostatud sama meetodiga. Vastasel korral pole tulemused võrreldavad.

### Põikkalde leidmise meetodid

Põikkalde väärtused saadakse eelnimetatutest 3 meetodi (*profiili lõikav, profiili jälgiv, põhjalatt*) korral nn. põhjalati meetodil, kus roobaste põhjad leitakse mõõtmisala vasaku ja parema poole sügavaimate kohtade ühendamisel sirgega (vt. allolev joonis).



**Joonis 1. Roopa põhjade ühendamine põikkalde leidmiseks põhjalati meetodiga**

Põikkalde teiseks määramise viisiks on regressioonmeetod, mille puhul lähtutakse põikkalde määramisel põikprofiili lineaarsest regressioonist, st. teekatte põikprofiili iseloomustavat punktisarve valitakse esindama selline sirge, millest kõikide üksikpunktide kauguste ruutude summa on minimaalne.



**Joonis 2. Põikkalde leidmine regressioonmeetodiga**

## Roopa sügavuse määramise meetodid

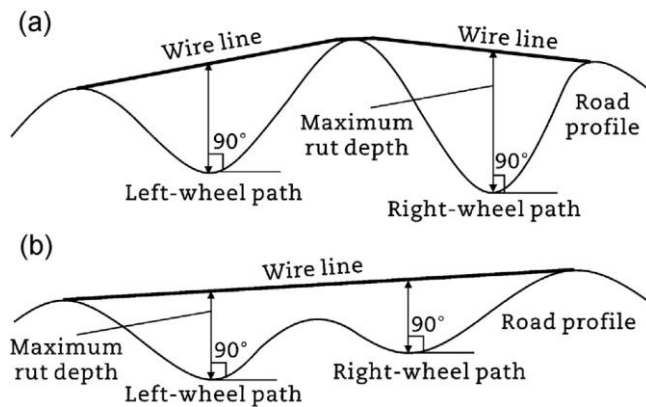
**Profiili lõikav (cutting wire) meetod** on olnud Eestis kasutusel roopa sügavuse mõõtmise juurutamisest. Selle meetodi (nii nagu ka „profiili jälgiva“ ja „põhjalati“) meetodi puhul leitakse põikkalle ja ühtlasi roopa põhja sügavamad kohad „bottom ruler“ meetodil.



### Joonis 3. Profiili lõikav meetod

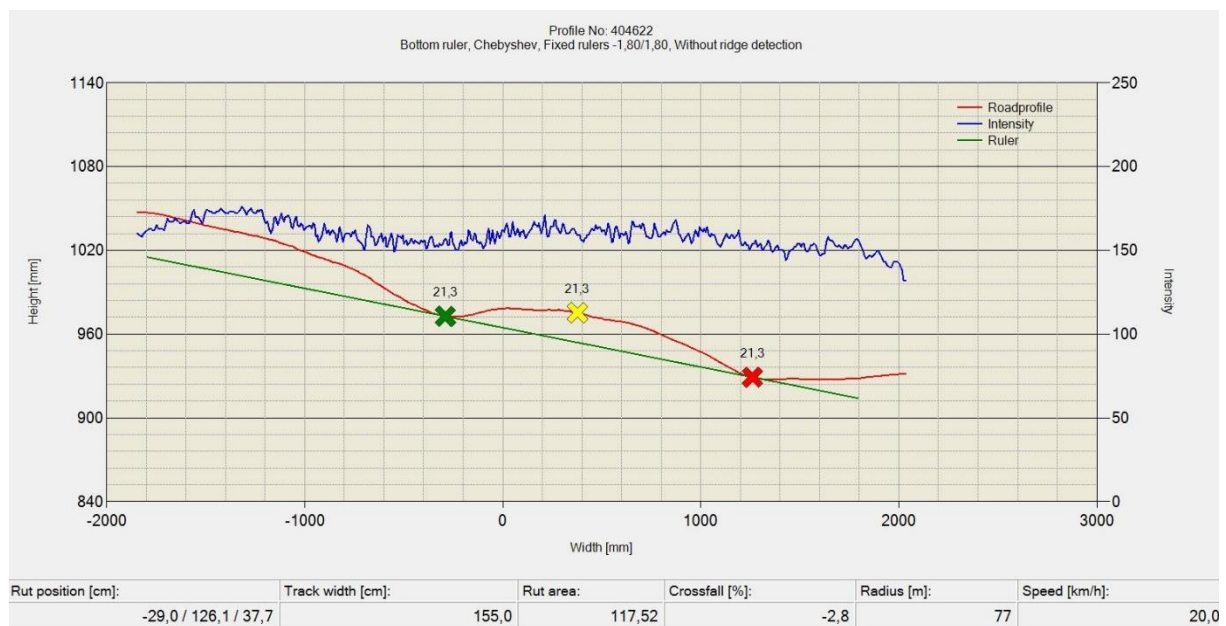
Mõõtmiste teljeks loetakse sõiduraja telg ning vasak ja parem pool võetakse mõõtmiste teljest võrdsest 1,8 m laiusel alal. Roopa sügavuse leidmiseks toetatakse ülemine latt (wire) profiili servades olevatele kätte kõrgematele punktidele. Antud meetodi puhul võib mõõtelatt „lõigata“ roobaste vahele jääval alal olevat kätte harja. Leitakse vasak ja parem roobas, mis on vastaval mõõtmiste teljest vasakul ja paremal leitud sügavaimatest punktidest mõõdetud kaugused kirjeldatud latini.

**Profiili jälgiv (wire) meetod** on kasutusel Põhjamaades, mille puhul nimetatud „lõikamist“ ei toimu, st. juhtudel kus „cutting wire“ meetodi puhul toimuks harja lõikamine, „paindub“ antud meetodi puhul mõõtelatt ümber „kätte harja“ nagu pingule tõmmatud traat.



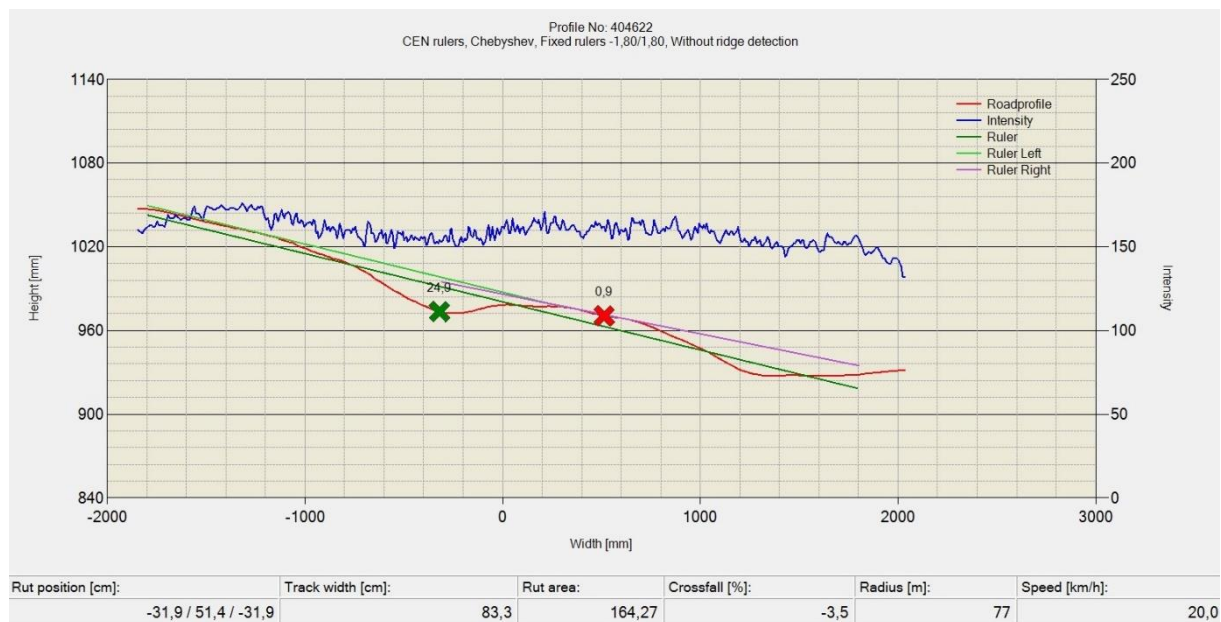
**Joonis 4. Roopa sügavuse leidmine „wire“ meetodiga erinevates situatsioonides [2]**

**Põhjalati (*bottom ruler*) meetodi** puhul leitakse roopa sügavus roobaste vahele jääva katte harja kõrgeima koha järgi roopa põhjasid ühendavast sirgest.



**Joonis 5. Põhjalati meetod**

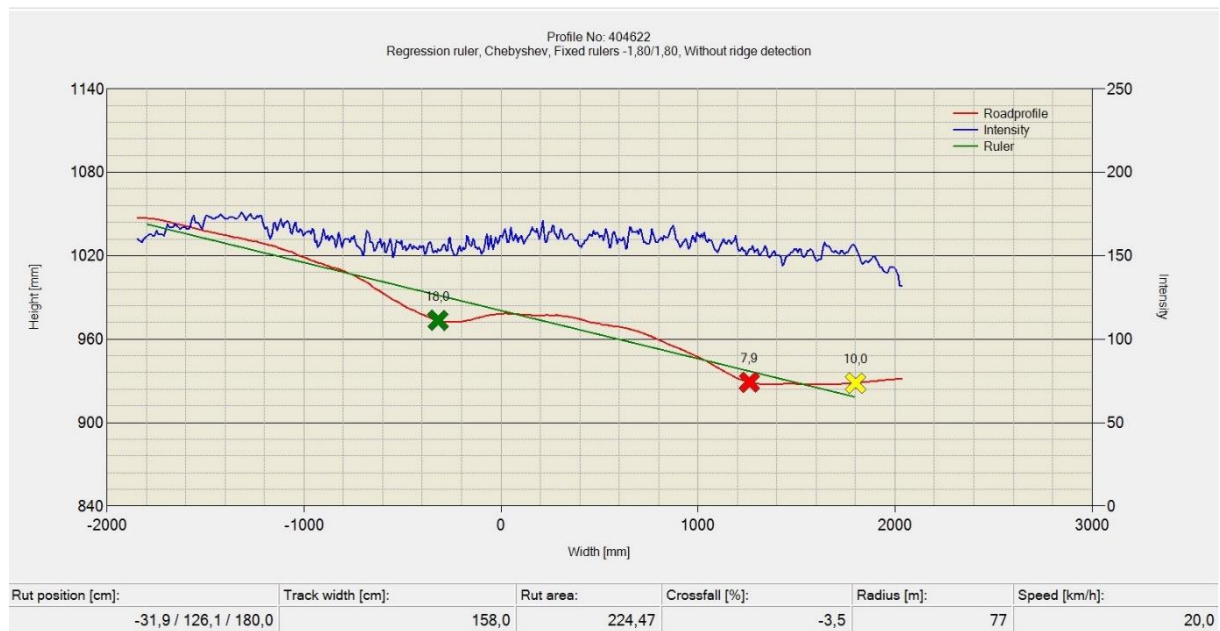
**CEN-meetodi** puhul leitakse roopa sügavus kummagi roopa jaoks eraldi latiga (vt järgnevad joonised). Kummagi lati pikkus on ca 60% mõõtmislaiusest. Piltlikult lastakse lattidel toetuda katte pinnale selliselt, et lattide välimised otsad paiknevad mõõteala välimiste servade vertikaalsel projektsioonil. Sõltuvalt katte profiili kujust on mõõtelatid erineva kaldega. Roopa sügavus mõõdetakse lati kahe toetuspunkti vahelisel alal roopa põhjast.



#### Joonis 6. CEN-meetod e. kahe lati meetod

**Regressioon-meetodi** puhul ei leita otseselt roopa sügavust vaid nn „roopa all“ mõistetakse profiili maksimaalset hälvet teekatte profiili üldistavast regressioonijoonest. Kuna hälbed esinevad sellisest joonest nii üles kui allapoole, saadakse antud meetodiga siin võrreldud meetoditest vähim „roopa sügavus“. Antud meetod võib anda siiski katte põikiebatasuste kohta objektiivsema info olukorras, kus roobast kui sellist ei esine.





Joonis 7. Regressioon-meetod

## Roobaste areng 2012. a katetel

### Üldist

AS Teede Tehnokeskuse poolt 2012-2014. a teostatud teadustöös „A/b katete kvaliteedi arendusuuringud. Deformatsiooni- ja kulumiskindluse katsete teaduslik analüüs“ võrreldi varasemate aastate katsetulemuste põhjal segude deformatsiooni- ja kulumiskindluse väärtusi ning tehti ettepanekud nõuete kehtestamiseks Eesti maanteede kattesegudel.

2012 aastal valminud objektide uuringusse kaasamise peamine eesmärk oli näha, milline on olnud roobaste areng ehitusjärgsetel aastatel ning kirjeldada seoseid roopa sügavuse arengu ja erinevate näitajate vahel – kandevõime, katte ülakihi deformatsioonikindlus, liiklussagedus. Kuna 2012 katetel algroobast ei ole mõõdetud, on üheks eesmärgiks kaudselt hinnata nende katete algroopa suurust.

Nendes töodes uuriti 2012. aastal valminud 12 objekti (vt järgnev tabel), millel katsetati katete asfaltsegusid, täitematerjale ja sideaineid ning kulumis- ja deformatsioonikindlusi.

**Tabel 1. 2012. a valminud a/b katete kvaliteedi arendusuuringu objektid**

| Objekt | Objekti kirjeldus                                               | Segu mark                | Kaasatud analüüsi |
|--------|-----------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|
| 1      | Pärnu ümbersõit ja läänepoolne ühendus                          | SMA 12 Pmb 65/105-65     | +                 |
| 2      | Haljala eritasandiline ristmik 2                                | SMA 16 Pmb 65/105-65     | +                 |
| 3      | Luige eritasandiline ristmik                                    | SMA 16 Pmb 65/105-65     | +                 |
| 4      | T-11390 Tallinn-Kloogaranna km 2,6-5,3                          | SMA 12 70/100            | +                 |
| 5      | Kroodi eritasandiline ristmik                                   | SMA 16 Pmb 65/105-65     | -                 |
| 6      | T-13 Jägala-Käravete (34,836,6) remont ja kergliiklustee ehitus | AC 12 surf 70/100        | +                 |
| 7      | Pärnu-Lihula km 3,45-6,30                                       | AC 12 surf 70/100        | +                 |
| 8      | T-11110 Nehatu-Loo-Lagedi km 0,3-1,5                            | AC 12 surf 70/100        | +                 |
| 9      | Luige eritasandiline ristmik                                    | AC 12 surf 70/100        | +                 |
| 10     | T-11202 Vaida - Urge ülekate                                    | AC 12 surf 70/100        | -                 |
| 11     | Haljala eritasandiline ristmik 11 (mahasõidud)                  | AC 12 surf 70/100        | +                 |
| 12     | Jõhvi liiklussõlm                                               | AC 12 surf Pmb 75/130-65 | +                 |

\* SMA 12 seguga objektide pikkus on 22,6 km, AC 12 seguga lõikudel 7,6 km.

Käesolevas töös töödeldi teeregistri andmebaasi põhjal analüüsikõlblikuks samade objektide katete andmed – teekatte roopa sügavus, katte konstruktsioon (kihtide paksused) ja teekonstruktsiooni kandevõime näitajad (E-moodul, SCI, BDI, BCI), liiklussagedused ja liikluse koosseis ning teekatte tasasus. Teeregistrist saadud andmete esmaanalüüsi põhjal kaasati analüüsi järgmised objektid:

**Tabel 2. Analüüsi kaasatud 2012. a objektide asukohad ja roopa sügavuse mõõtmiste aeg\***

| Obj. nr.<br>2012. a<br>uuringus | Lõigu ID | Tee nimetus                        | Stee | Algteeosa | algkaugus | Alg-km | lõppteeosa | lõppkaugus | Lõpp-km | Pikkus, m    | Segu mark                | RBS andmed, aasta |      |      |      |      |      |
|---------------------------------|----------|------------------------------------|------|-----------|-----------|--------|------------|------------|---------|--------------|--------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|
|                                 |          |                                    |      |           |           |        |            |            |         |              |                          | 2013              | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 |
| 1                               | 4_1      | Tallinn - Pärnu - Ikla             | 1    | 24        | 2062      | 124,9  | 25         | 5343       | 130,6   | 5655         | SMA 12 Pmb 65/105-65     | +                 | +    | +    | +    | +    | +    |
|                                 | 4_2      | Tallinn - Pärnu - Ikla             | 2    | 25        | 0         | 125,2  | 25         | 5343       | 130,6   | 5343         | SMA 12 Pmb 65/105-65     | +                 | +    | +    | +    | +    | +    |
| 2                               | 1_1      | Tallinn - Narva                    | 1    | 15        | 6308      | 87,3   | 16         | 1675       | 89,0    | 1722         | SMA 16 Pmb 65/105-65     |                   | +    | +    | +    | +    | +    |
|                                 | 1_2      | Tallinn - Narva                    | 2    | 16        | 0         | 87,3   | 16         | 1676       | 89,0    | 1676         | SMA 16 Pmb 65/105-65     |                   | +    | +    | +    | +    | +    |
| 3                               | 11_1     | Tallinna ringtee                   | 1    | 5         | 2585      | 17,6   | 5          | 5265       | 20,2    | 2680         | SMA 16 Pmb 65/105-65     | +                 | +    | +    | +    | +    | +    |
|                                 | 11_2     | Tallinna ringtee                   | 2    | 5         | 2572      | 17,7   | 5          | 5252       | 20,4    | 2680         | SMA 16 Pmb 65/105-65     |                   | +    | +    | +    | +    | +    |
| 4                               | 11390_1  | Tallinn - Rannamõisa - Kloogaranna | 1    | 2         | 0         | 2,6    | 2          | 2816       | 5,4     | 2816         | SMA 12 70/100            | +                 | +    | +    | +    | +    | +    |
| 6                               | 13_1     | Jägala - Käravete                  | 1    | 5         | 4481      | 34,7   | 5          | 6289       | 36,5    | 1808         | AC 12 surf 70/100        |                   | +    | +    |      | +    | +    |
| 7                               | 60_2     | Pärnu - Lihula                     | 2    | 3         | 623       | 3,47   | 3          | 3201       | 6,0     | 2578         | AC 12 surf 70/100        |                   | +    |      | +    | +    | +    |
| 8                               | 11110_1  | Nehatu - Loo - Lagedi              | 1    | 1         | 450       | 0,5    | 1          | 1635       | 1,6     | 1185         | AC 12 surf 70/100        |                   | +    | +    | +    | +    | +    |
| 9                               | 15_1     | Tallinn - Rapla - Türi             | 1    | 2         | 4024      | 8,6    | 4          | 748        | 9,8     | 1174         | AC 12 surf 70/100        | +                 | +    | +    | +    | +    | +    |
| 11                              | 17177_1  | Haljala - Käsmu                    | 1    | 1         | 0         | 0,0    | 1          | 287        | 0,3     | 287          | AC 12 surf 70/100        |                   | +    |      | +    |      | +    |
| 12                              | 3_2      | Jõhvi - Tartu - Valga              | 2    | 3         | 0         | 1,9    | 3          | 593        | 2,5     | 593          | AC 12 surf Pmb 75/130-65 |                   | +    | +    | +    | +    | +    |
|                                 |          |                                    |      |           |           |        |            |            |         | <b>30197</b> |                          |                   |      |      |      |      |      |

\* Saadud andmekogu esialgse analüüsi tulemusena jäeti analüüsist välja kaks objekti:

- Objekt nr. 5, Kroodi eritasandiline ristmik (11606 Vana-Narva maantee km 0,0-0,35) – põhjuseks andmete vähesus (objekt lühike) ning antud tee lisandumine riigiteede (ja mõõtmiste) nimekirja alles aastal 2016;
- Objekt nr. 10, 11202 Vaida-Urge ülekate (11202 Vaida-Urge km 11,9-12,6) – põhjuseks katte roopa sügavuse andmete puudumine vaadeldaval perioodil.



## Roopa sügavuste andmed teeregistris

Nagu teada, ei ole Eestis algroobast varasemalt mõõdetud. Analüüsitud andmetest vaid pooltel objektidel on esimesed roopa sügavuse mõõtmistulemused aastast 2013 (ehk aasta pärast ehitust), ülejäänutel on esimesed mõõtmised aastast 2014 (kaks aastat pärast ehitust). Lisaks sellele ei ole vaadeldava perioodi kõik aastad kaetud mõõtmistulemustega – lõigul 13\_1 puuduvad roopa sügavuse andmed aastast 2016 ja lõikudel 60\_2 ning 17177\_1 aastast 2015. Ka teekatte tasasuse mõõtmisi ei ole tehtud iga-aastaselt ühelgi objektil.

Teekatte roopa mõõtmiste tulemusena saadakse roopa sügavused põhisõiduradade rattajälgedes – sisemises ja välimises rattajäljes ehk vastavalt vasak ja parem roobas. Teeregistri andmebaasis toodud lisaks veel iga sõiduraja maksimaalne roopa sügavus ja katte suurim roopa sügavus (arvestades kõiki sõiduradu). Perioodil 2013-2018 on nimetatud andmete kajastamisel toimunud mõningased põhimõttelised muudatused:

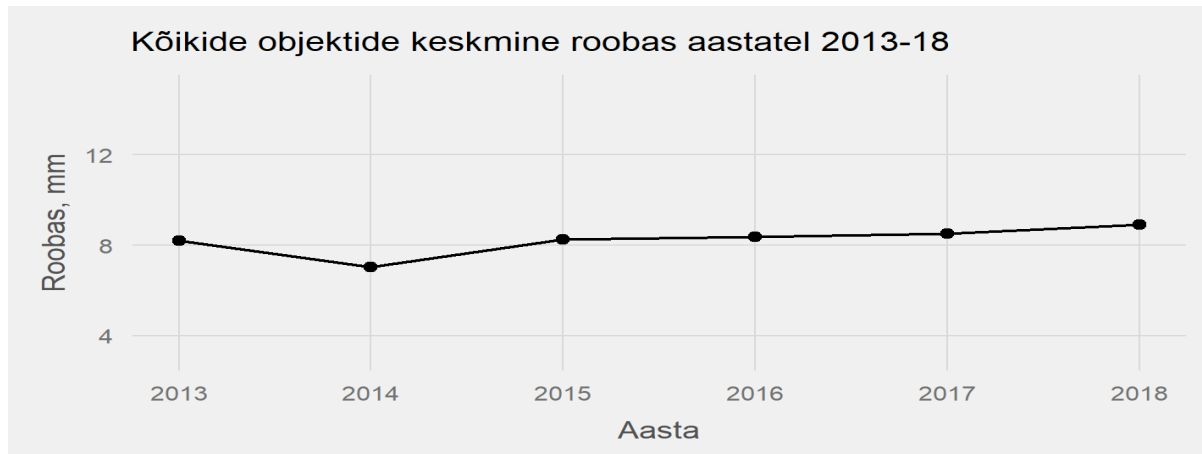
- Ühe rattajälje (vasak või parem) maksimaalset roopa sügavust kajastatakse teeregistris alles alates 2017. aastast ( $RBS_{\text{parmax}}$  = kahe rattajälje 5 m tulemustest suurim 100 meetrisel teelõigul); varasemad andmed puuduvad;
- maksimaalne roopa sügavus 100 meetrisel teelõigul kuni aastani 2017 leiti järgnevalt:  $RBS_{\text{max}}$  = nelja rattajälje 100 meetrise lõigu tulemuste keskmistest suurim, alates 2017. aastast  $RBS_{\text{max}}$  = nelja rattajälje 5 meetrise lõigu tulemuste keskmistest suurim.

Kirjeldatud muudatused andmete kajastamisel võivad mõjutada roopa arengu analüüsi tulemusi.

Analüüsi teostamiseks on andmetest eemaldatud üksikud ebareaalselt suured ja/või väga lokaalset mõju omavad roopa sügavuse väärtused ( $RBS > 25$  mm, ~20 andmeühikut) ja mõõtmistulemused, milliseid on vaadeldud teelõigu kohta vähe - teelõigu pikkusest on mõõtmistulemustega kaetud väike osa (2013. a objekt 15\_1, tulemusi  $< 25$  % lõigu pikkusest).

## Roopa sügavuste areng ja hinnang algroopa suurusele

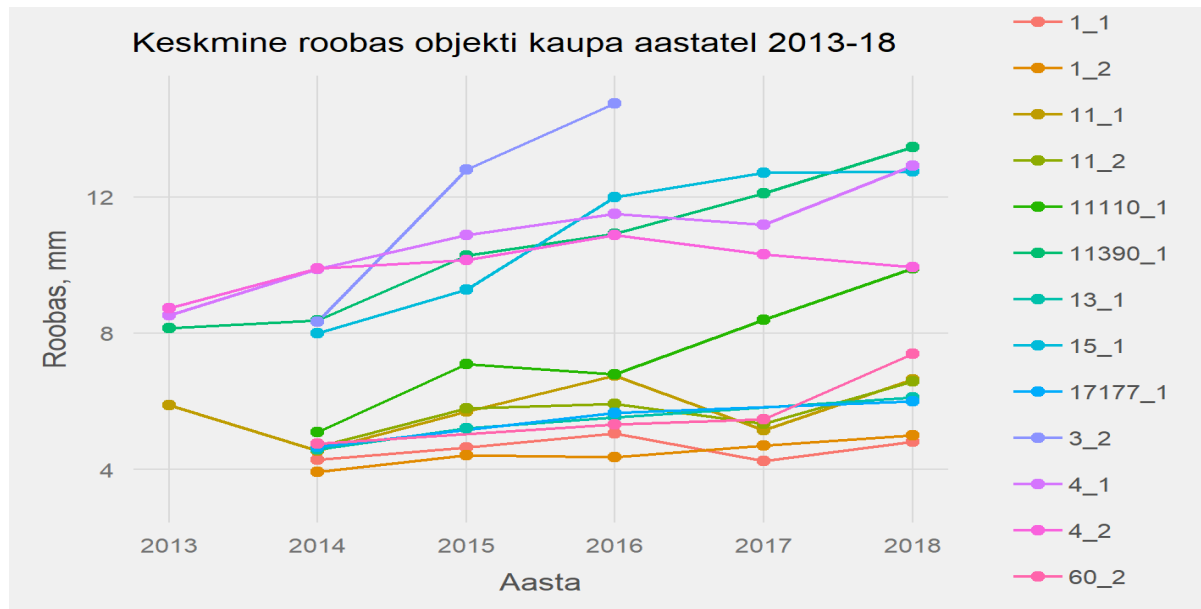
Järgnevatel joonistel on toodud analüüsitavate objektide keskmised teekatte roopa sügavused (nn. suur roobas) aastatel 2013-2018.



### Joonis 8. Roopa sügavuse üldine areng valitud 2012 a. Objektidel

Jooniselt on näha, et roopa sügavus on aastatel 2014-2016 kasvanud keskmiselt 0.9 mm/aastas ja 2017-2018 keskmiselt 0.7 mm aastas. Muude aastate võrdlus ei pruugi mõõteseadmete muutuse tõttu olla adekvaatne. Kõigi objektide keskmine roopa sügavus aastal 2014 oli 7.6 mm. **Võttes roobaste sügavuse keskmiseks kasvuks 0.8 mm/aastas ning eeldades, et ka esimesel kahel aastal kasvab roopa sügavus samamoodi, saame algroopa keskmiseks sügavuseks (objekti valmimisel 2012) lihtsa matemaatilise tehtega 6.0 mm.**

Allolev joonis, mis kujutab keskmist roobast objektiti aastate lõikes on võimalik suuremalt näha lisas 3.

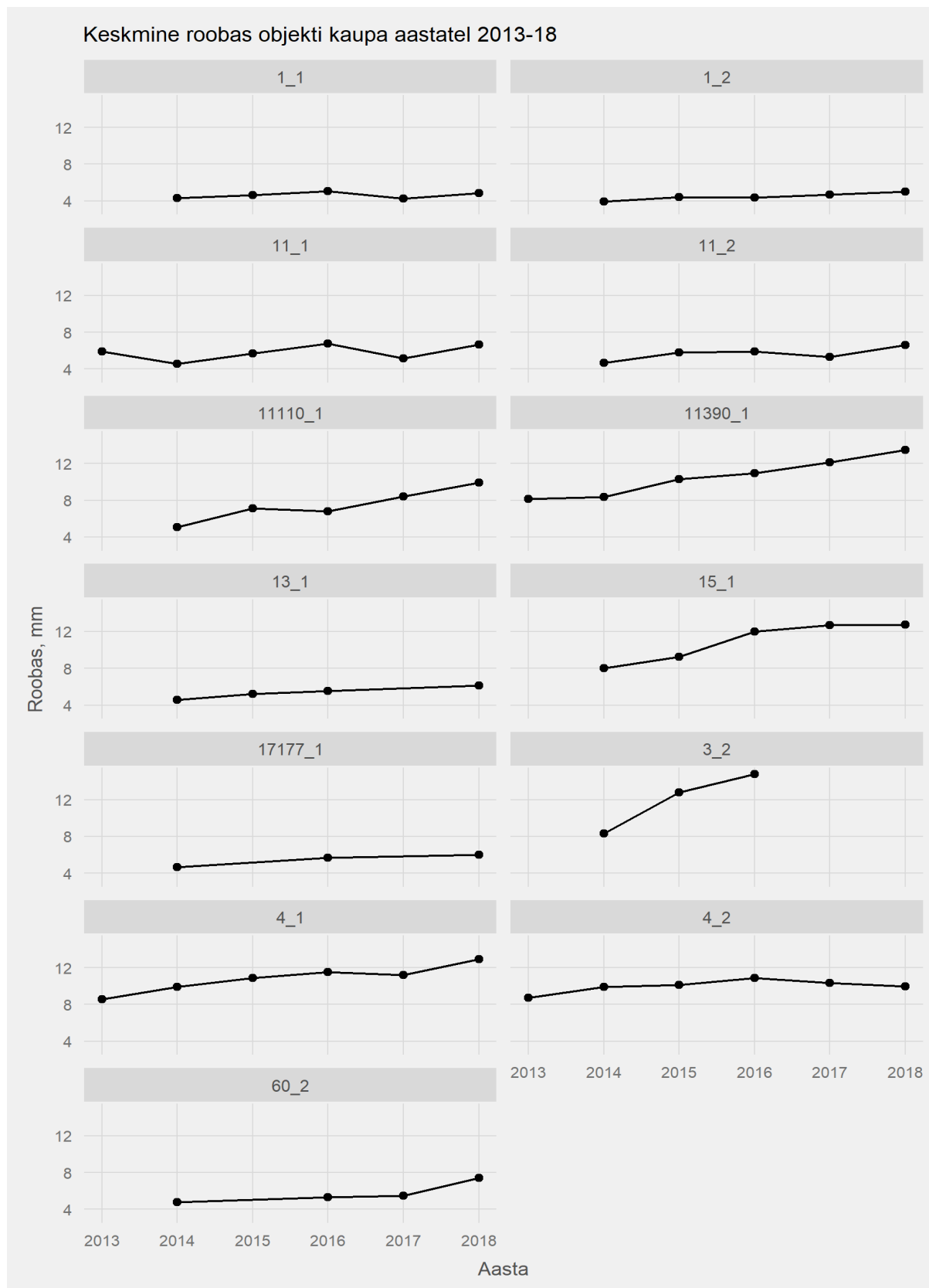


**Joonis 9. Keskmine roopa sügavus 2012. a valminud objektidel (kokku ja objektide kaupa, aastate lõikes)**

Objektiti vaadatuna on 2014 aastal roopa sügavus objektidel vahemikus 4.1...11.2 mm, 2018 aastal aga 4.9...22.2 mm.

Kõige vähem on roobas suurenenud riigimaantee nr 1 (objekt 2). Roopa sügavus on nimetatud aastatel kasvanud 4.1->4.9 mm, st keskmiselt 0.2 mm/aastas. Objekti iseloomustab vaadeldud objektide hulgas madalaim katte kandevõime indeks, SCI=35 ning paremuselt teine aluse kandevõime indeks, BDI = 43 ja üldine kandevõime  $E_{mod}=404\text{MPa}$ .

Kõige rohkem on roobas suurenenud riigimaantee nr 3 (objekt 12). Roopa sügavus on nimetatud aastatel kasvanud 8.3->22.2 mm, st keskmiselt 3.5 mm/aastas. Objektil kandevõimet mõõdetud ei ole (tegemist on viaduktiga) ning puudub infoalllevate kihtide kohta. Suuruselt järgmise roopa sügavuse kasvuga on riigimaantee nr 15 (objekt 9). Roopa sügavus on nimetatud aastatel kasvanud 8.0->16.5 mm, st keskmiselt 2.1 mm/aastas. Objekti iseloomustab vaadeldud objektide hulgas kõrgeim katte kandevõime indeks, SCI=121 ning aluse kandevõime indeks, BDI = 97 ja madalaim üldine kandevõime  $E_{mod}=268\text{MPa}$  aga ka suur liiklussagedus (AKÖL 2014 ca 7000).



Joonis 10. Keskmine roopa sügavus 2012. a objektidel aastate lõikes

Järgnevatel aastatel on muutused roopa sügavuses erinevatel objektidel erinevad, kuid mõningaid ühiseid jooni on võimalik esialgu välja tuua (vt järgnev tabel):

- Võrdluses 2013 vs 2014 vähenes keskmine roopa sügavus 2014. aastaks viiest objektist kolmel – põhjuseks 2014. aastast üleminek lasermõõteseadmele; 2013. aastal oli kasutusel piiratud arvul ultrahelianduritel põhinev seade RoobasRoadmaster (Soome), 2014. aastal tihedat punktipilve mõõtev ViaPPS laserskanner (Norra);
- Võrdluses 2016 vs 2017. aasta vähenes keskmine roopa sügavus aasta jooksul üheteistkümnest objektist kuuel – oletatavaks põhjuseks on taas mõõtmisseadme muutus, 2017. ja 2018. aastal teostati mõõtmisi üksiklaseritel (17) põhineva mõõteseadmega Greenwood Profilograph (Taani). Roopa sügavust vähendavaid meetmeid (nt. rooparemix vms) objektidel vaadeldava perioodi jooksul teostatud ei ole.

**Tabel 3. Keskmine roopa sügavus ja muutused aastate lõikes 2012. a objektidel**

|                         | Aasta\objekt | 1_1  | 1_2 | 11_1 | 11_2 | 11110_1 | 11390_1 | 13_1 | 15_1 | 17177_1 | 3_2  | 4_1  | 4_2  | 60_2 |
|-------------------------|--------------|------|-----|------|------|---------|---------|------|------|---------|------|------|------|------|
| keskmine roopa sügavus  | 2013         |      |     | 5,7  |      |         | 8,4     |      |      |         |      | 8,6  | 8,7  |      |
|                         | 2014         | 4,3  | 3,9 | 4,6  | 4,7  | 5,1     | 8,4     | 4,6  | 8,0  | 4,7     | 8,3  | 10,4 | 10,3 | 4,8  |
|                         | 2015         | 4,6  | 4,4 | 5,7  | 5,8  | 7,1     | 10,3    | 5,2  | 9,3  |         | 12,8 | 11,9 | 10,4 |      |
|                         | 2016         | 5,1  | 4,4 | 6,8  | 5,9  | 6,8     | 10,9    | 5,5  | 12,0 | 5,7     | 15,3 | 12,7 | 11,5 | 5,3  |
|                         | 2017         | 4,1  | 4,1 | 5,2  | 5,3  | 8,4     | 12,3    |      | 15,1 |         | 18,8 | 11,9 | 10,9 | 5,5  |
|                         | 2018         | 4,8  | 5,0 | 6,7  | 6,6  | 9,9     | 14,0    | 6,1  | 15,4 | 6,0     | 21,6 | 13,6 | 10,3 | 7,4  |
| Roopa sügavuse muutused | 2014/2013    |      |     | -20% |      |         | -1%     |      |      |         |      | 22%  | 18%  |      |
|                         | 2015/2014    | 8%   | 12% | 25%  | 24%  | 39%     | 23%     | 14%  | 16%  |         | 54%  | 14%  | 1%   |      |
|                         | 2016/2015    | 9%   | -1% | 18%  | 2%   | -4%     | 6%      | 6%   | 29%  | 11%     | 20%  | 7%   | 11%  | 6%   |
|                         | 2017/2016    | -19% | -7% | -24% | -10% | 24%     | 13%     |      | 26%  |         | 23%  | -6%  | -5%  | 3%   |
|                         | 2018/2017    | 17%  | 23% | 29%  | 23%  | 18%     | 14%     | 5%   | 2%   | 3%      | 15%  | 14%  | -6%  | 35%  |

Järgnevas tabelis on toodud roopa sügavuse ( $RBS_{max}$ ) keskmised väärtused ja standardhälbed teelõikudel aastate lõikes. Kõikidest tulemustest neljandikul juhtudest on varieeruvus suur (>25 %). Teelõigu keskmisest roopa sügavusest suurimate kõrvalekallete asukohad lõigul jäävad aastate jooksul samadesse asukohtadesse:

- Tee 1 Tallinn-Narva stee 1 ja stee 2 km 87,2-87,3, neljarealise teeosa algus;
- Tee 11110 Nehatu-Loo-Lagedi km 0,6, uue katte algus ringtee osal;

- Tee 11390 Tallinn-Rannamõisa-Kloogaranna km 3,8 ja km 4,8, mahasõitude juures tanklasse ja enne ringtee osa;
- Tee 15 Tallinn-Rapla-Türi km 9,4, Rapla-poolse ringtee osal peale viadukti;
- Tee 4 Tallinn-Pärnu-Ikla stee 1 ja stee 2, ~200 meetrit enne Raba tn, Niidu tn ja mnt 5 mahasõidu ristmikku.

**Tabel 4. Roopa keskmised sügavused ja standardhälbed 2012. a objektidel aastate lõikes**

| Lõigu ID | RBS <sub>2013</sub> | StdDev <sub>2013</sub> | % <sub>2013</sub> | RBS <sub>2014</sub> | StdDev <sub>2014</sub> | % <sub>2014</sub> | RBS <sub>2015</sub> | StdDev <sub>2015</sub> | % <sub>2015</sub> | RBS <sub>2016</sub> | StdDev <sub>2016</sub> | % <sub>2016</sub> | RBS <sub>2017</sub> | StdDev <sub>2017</sub> | % <sub>2017</sub> | RBS <sub>2018</sub> | StdDev <sub>2018</sub> | % <sub>2018</sub> |
|----------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|---------------------|------------------------|-------------------|
| 1_1      |                     |                        |                   | 4,3                 | 0,7                    | 16%               | 4,6                 | 0,9                    | 19%               | 5,1                 | 1,7                    | 34%               | 4,1                 | 0,9                    | 23%               | 4,8                 | 1,0                    | 21%               |
| 1_2      |                     |                        |                   | 3,9                 | 0,4                    | 11%               | 4,4                 | 0,9                    | 21%               | 4,4                 | 1,1                    | 24%               | 4,1                 | 1,7                    | 42%               | 5,0                 | 1,8                    | 37%               |
| 11_1     | 5,7                 | 1,4                    | 24%               | 4,6                 | 0,9                    | 19%               | 5,7                 | 0,9                    | 15%               | 6,8                 | 0,7                    | 11%               | 5,2                 | 0,7                    | 14%               | 6,7                 | 1,2                    | 18%               |
| 11_2     |                     |                        |                   | 4,7                 | 0,8                    | 17%               | 5,8                 | 0,9                    | 15%               | 5,9                 | 1,0                    | 17%               | 5,3                 | 0,9                    | 16%               | 6,6                 | 1,3                    | 20%               |
| 11110_1  |                     |                        |                   | 5,1                 | 1,7                    | 33%               | 7,1                 | 1,4                    | 20%               | 6,8                 | 1,5                    | 23%               | 8,4                 | 2,3                    | 27%               | 9,9                 | 2,5                    | 25%               |
| 11390_1  | 8,4                 | 2,6                    | 30%               | 8,4                 | 1,6                    | 19%               | 10,3                | 1,6                    | 15%               | 10,9                | 1,6                    | 15%               | 12,3                | 1,8                    | 15%               | 14,0                | 2,1                    | 15%               |
| 13_1     |                     |                        |                   | 4,6                 | 0,8                    | 18%               | 5,2                 | 0,9                    | 18%               | 5,5                 | 1,0                    | 17%               |                     |                        |                   | 6,1                 | 0,7                    | 12%               |
| 15_1     |                     |                        |                   | 8,0                 | 1,7                    | 22%               | 9,3                 | 2,0                    | 22%               | 12,0                | 2,1                    | 17%               | 15,1                | 4,2                    | 28%               | 15,4                | 2,9                    | 19%               |
| 17177_1  |                     |                        |                   | 4,7                 | 0,6                    | 12%               |                     |                        |                   | 5,7                 | 0,6                    | 10%               |                     |                        |                   | 6,0                 | 0,0                    | 0%                |
| 3_2      |                     |                        |                   | 8,3                 | 1,8                    | 21%               | 12,8                | 1,3                    | 10%               | 15,3                | 1,0                    | 7%                | 18,8                | 1,0                    | 5%                | 21,6                | 0,5                    | 3%                |
| 4_1      | 8,6                 | 2,7                    | 31%               | 10,4                | 2,7                    | 26%               | 11,9                | 3,2                    | 27%               | 12,7                | 3,2                    | 25%               | 11,9                | 3,0                    | 25%               | 13,6                | 2,2                    | 16%               |
| 4_2      | 8,7                 | 2,3                    | 26%               | 10,3                | 2,9                    | 29%               | 10,4                | 2,6                    | 25%               | 11,5                | 2,9                    | 25%               | 10,9                | 3,0                    | 27%               | 10,3                | 2,8                    | 27%               |
| 60_2     |                     |                        |                   | 4,8                 | 0,5                    | 11%               |                     |                        |                   | 5,3                 | 0,7                    | 14%               | 5,5                 | 0,9                    | 16%               | 7,4                 | 1,1                    | 15%               |

**Tabel 5. 2012 objektide keskmised näitajad (1)**

| Obj. nr. | Lõigu ID | Tee nimetus                        | Pikkus, m    | RBS<br>2014 | RBS 2018    | RBSdelta   | RBS<br>aastas | Emoodul    | SCI       | BDI       | BCI       | Segu mark                |
|----------|----------|------------------------------------|--------------|-------------|-------------|------------|---------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------------------------|
| 1        | 4_1      | Tallinn - Pärnu - Ikla             | 10998        | 11.2        | 13.2        | 2.0        | 0.5           | 367        | 52        | 52        | 15        | SMA 12 Pmb 65/105-65     |
| 2        | 1_1      | Tallinn - Narva                    | 3398         | 4.1         | 4.9         | 0.8        | 0.2           | 404        | 35        | 43        | 17        | SMA 16 Pmb 65/105-65     |
| 3        | 11_1     | Tallinna ringtee                   | 5360         | 4.6         | 6.6         | 2.0        | 0.5           | 296        | 98        | 56        | 18        | SMA 16 Pmb 65/105-65     |
| 4        | 11390_1  | Tallinn - Rannamõisa - Kloogaranna | 2816         | 8.4         | 14.0        | 5.6        | 1.4           | 310        | 105       | 81        | 15        | SMA 12 70/100            |
| 6        | 13_1     | Jägala - Käravete                  | 1808         | 4.6         | 6.1         | 1.5        | 0.4           | 374        | 67        | 55        | 13        | AC 12 surf 70/100        |
| 7        | 60_2     | Pärnu - Lihula                     | 2578         | 4.8         | 7.4         | 2.6        | 0.7           | 324        | 74        | 60        | 15        | AC 12 surf 70/100        |
| 8        | 11110_1  | Nehatu - Loo - Lagedi              | 1185         | 5.1         | 9.9         | 4.8        | 1.2           | 305        | 89        | 79        | 23        | AC 12 surf 70/100        |
| 9        | 15_1     | Tallinn - Rapla - Türi             | 1174         | 8.0         | 16.5        | 8.5        | 2.1           | 268        | 121       | 97        | 13        | AC 12 surf 70/100        |
| 11       | 17177_1  | Haljala - Käsmu                    | 287          | 4.7         | 6.0         | 1.3        | 0.3           | 413        | 65        | 17        | 15        | AC 12 surf 70/100        |
| 12       | 3_2      | Jõhvi - Tartu - Valga              | 593          | 8.3         | 22.2        | 13.8       | 3.5           |            |           |           |           | AC 12 surf Pmb 75/130-65 |
|          |          |                                    | <b>30197</b> | <b>7.6</b>  | <b>10.1</b> | <b>2.5</b> | <b>0.6</b>    | <b>345</b> | <b>70</b> | <b>58</b> | <b>16</b> |                          |

**Tabel 6. 2012 objektide keskmised näitajad (2)**

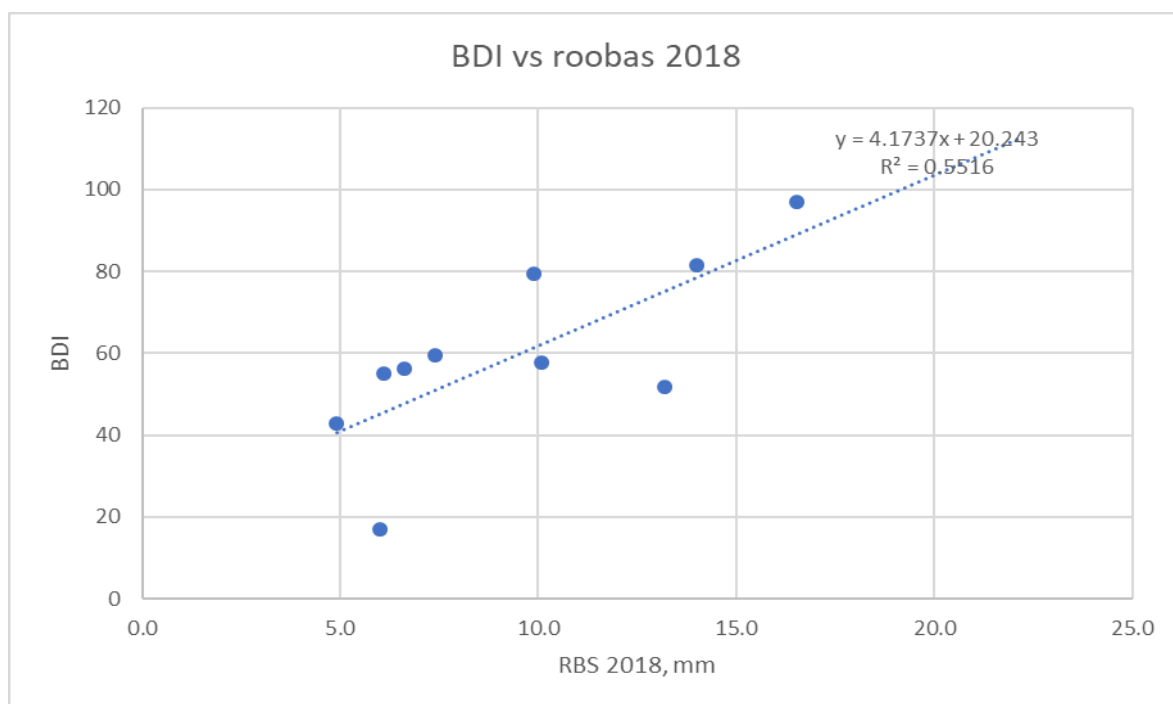
| Obj. nr. | Lõigu ID | Tee nimetus                        | Pikkus, m    | AKÖL<br>2014 | SAPA<br>2014 | VAAB<br>2014 | AR 2014    | VAAB+AR    | AbrA      | WTSAIR      | PRDAIR   |
|----------|----------|------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|------------|------------|-----------|-------------|----------|
| 1        | 4_1      | Tallinn - Pärnu - Ikla             | 10998        | 4845         | 3950         | 200          | 695        | 895        | 14        | 0.03        | 5        |
| 2        | 1_1      | Tallinn - Narva                    | 3398         | 2742         | 2300         | 113          | 330        | 443        | 14        | 0.05        | 6        |
| 3        | 11_1     | Tallinna ringtee                   | 5360         | 4511         | 3347         | 262          | 902        | 1163       | 14        | 0.07        | 8        |
| 4        | 11390_1  | Tallinn - Rannamõisa - Kloogaranna | 2816         | 15537        | 15213        | 264          | 60         | 324        | 16        | 0.34        | 14       |
| 6        | 13_1     | Jägala - Käravete                  | 1808         | 1451         | 1257         | 49           | 145        | 194        | 34        | 0.27        | 18       |
| 7        | 60_2     | Pärnu - Lihula                     | 2578         | 3360         | 3164         | 77           | 119        | 196        | 22        | 0.28        | 20       |
| 8        | 11110_1  | Nehatu - Loo - Lagedi              | 1185         | 4735         | 4504         | 142          | 89         | 231        | 24        | 0.09        | 12       |
| 9        | 15_1     | Tallinn - Rapla - Türi             | 1174         | 7329         | 6977         | 184          | 168        | 352        | 27        | 0.16        | 13       |
| 11       | 17177_1  | Haljala - Käsmu                    | 287          | 2212         | 2104         | 71           | 37         | 108        | 21        | 0.14        | 17       |
| 12       | 3_2      | Jõhvi - Tartu - Valga              | 593          | 8225         | 8100         | 125          | 0          | 125        | 19        | 0.09        | 12       |
|          |          |                                    | <b>30197</b> | <b>5370</b>  | <b>4720</b>  | <b>179</b>   | <b>471</b> | <b>650</b> | <b>17</b> | <b>0.12</b> | <b>9</b> |



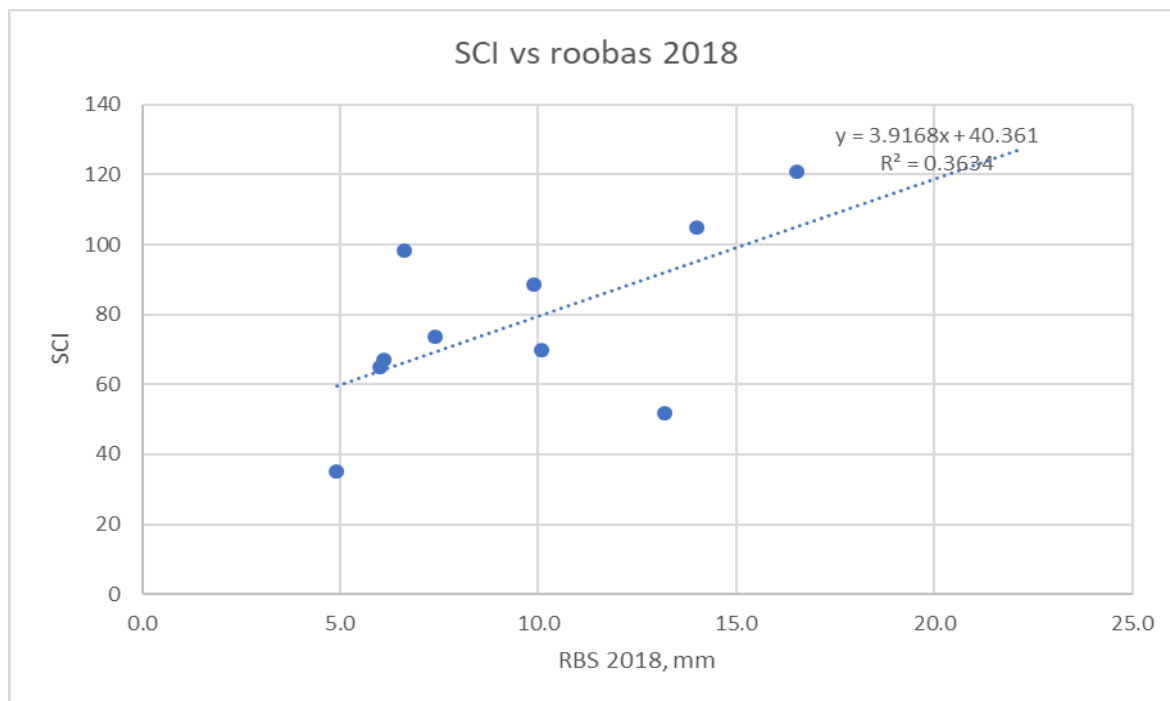
## Roobas vs. teekonstruktsiooni kandevõime

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmised analüüsitavatel 2012. a objektidel on tehtud perioodi 2012-2017 jooksul, kuid mitte kohe peale objekti valmimist (vt järgnev tabel). Kui üldiselt peetakse kandevõime muutusi ajas minimaalseteks, siis uute katete valmisjärgsetel aastatel ei pruugi see nii olla – toimub tarindi konsolideerumine järeltihenemise tulemusena. Varasemad uuringud on näidanud, et hilisematel aastatel omavad suuremat mõju sesoonsed muutused, nt. aluspinnaste veesisaldus ja katte ülakihtide plastsed deformatsioonid.

Kandevõime parameetrite ja roopa sügavuse arengu vahelise seose kontrollimiseks analüüsisime antud väärtusi objektide kaupa. Seosed ei ole statistiliselt tugevad kuid arvestades andmete statistilist vähesust, võib seost pidada väärtuslikuks – leid võib viidata ülakihtide kandevõimeprobleemidele.



Joonis 11. Seos roopa sügavuse ja BDI vahel



**Joonis 12. Seos roopa sügavuse ja SCI vahel**

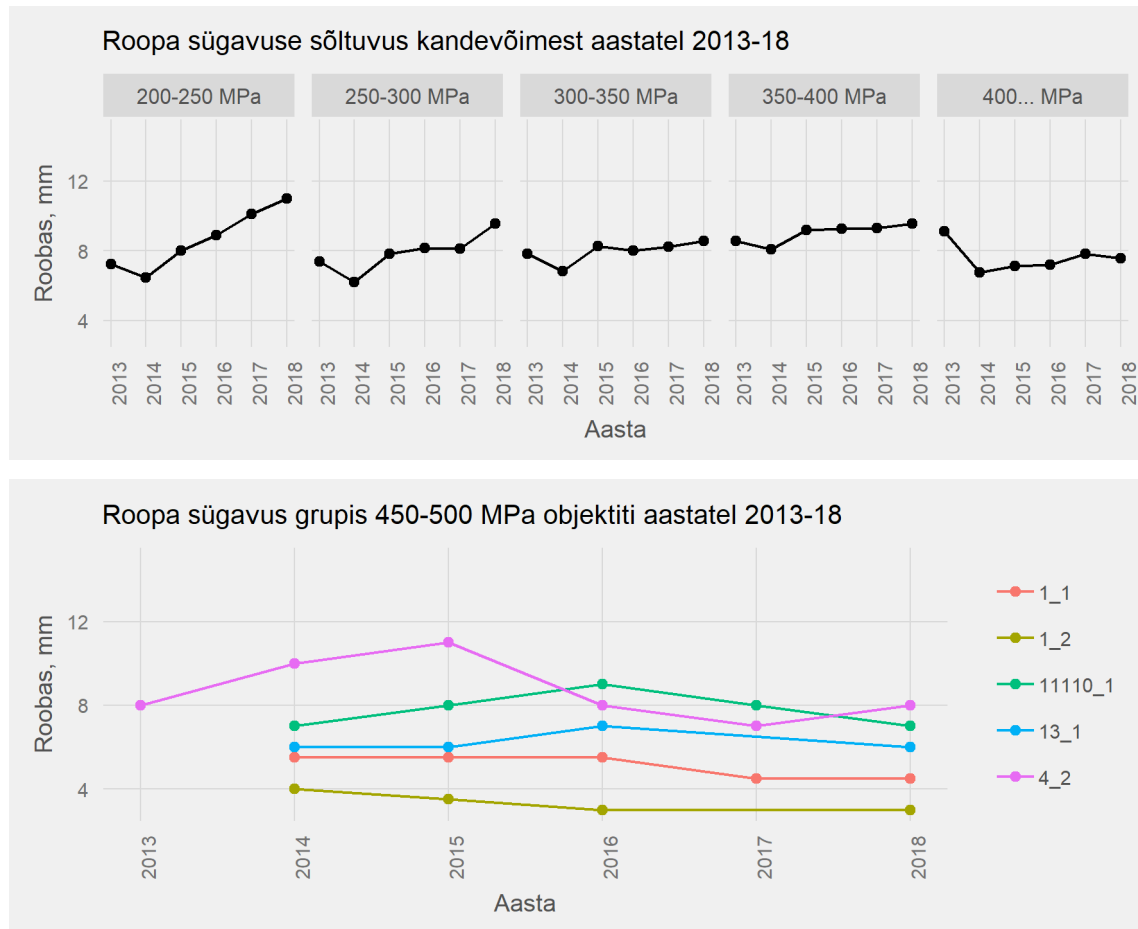
Objektil 3\_2 (3 Jõhvi-Tartu-Valga km 1,9-2,5) teekonstruktsiooni kandevõimet mõõdetud ei ole kuna antud teelõik on viadukt.

**Tabel 7. Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmise aastad 2012. a objektidel**

| Lõigu ID | Kandevõime mõõtmise aasta |      |      |      |      |      |
|----------|---------------------------|------|------|------|------|------|
| 1_1      |                           |      | 2014 |      |      |      |
| 1_2      |                           |      |      | 2015 |      |      |
| 11_1     |                           |      |      |      | 2016 |      |
| 11_2     |                           |      |      |      |      | 2017 |
| 11110_1  |                           |      | 2014 |      |      |      |
| 11390_1  |                           | 2013 |      |      |      | 2017 |
| 13_1     | 2012                      |      |      |      |      |      |
| 15_1     |                           |      |      | 2015 |      |      |
| 17177_1  |                           |      |      |      | 2016 |      |
| 3_2      | Mõõtmisi pole             |      |      |      |      |      |
| 4_1      |                           | 2013 |      |      |      |      |
| 4_2      |                           | 2013 |      |      |      |      |
| 60_2     |                           |      | 2014 |      |      |      |

Järgneval joonisel on teekatte roopa sügavuse (suur roobas) muutused ajas erinevate teekonstruktsiooni kandevõime vahemike puhul. Nimetatud andmete võrdlusel on selgelt näha, et madalama kandevõimega teedel on roopa sügavuse kasv kiirem. Nii on aastatel 2014-2018 roopa sügavuse kasv olnud 200...250 MPa

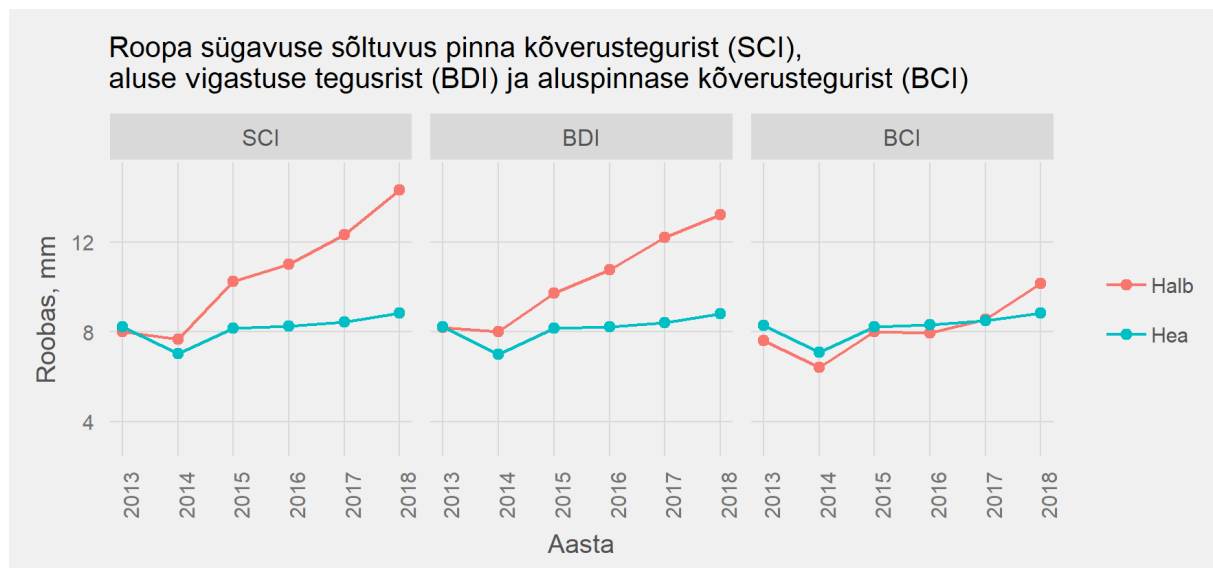
grupis ca 1 mm aastas, 250...300 MPa grupis ca 0.8 mm ja suurema kandevõimega gruppides ca 0.5 mm.



**Joonis 13. Roopa sügavuse muutused erinevates kandevõime väärtuste vahemikes ja grupis 450-500 MPa objektiti**

Teekonstruktsiooni kandevõime mõõtmistel saadakse erinevate konstruktsiooni kihtide osas näitajad, tunnusarvud, mida võib selle eelduse kontrolliks võrrelda:

- SCI seotud kihi pinna kõverustegur, tinglikult „hea“ < 150;
- BDI aluskihi aluse vigastatusse tegur, tinglikult „hea“ < 100;
- BCI aluspinnase kõverustegur, tinglikult „hea“ < 20.



**Joonis 14. Teekonstruktsiooni kihtide (tegurid SCI, BDI, BCI) mõju roopa sügavusele**

Joonistel on selgelt näha, et roopa sügavusele avaldavad tugevat mõju nii teekonstruktsiooni seotud kihi kui ka aluse seisukord, aluspinnase näitajaga roopa sügavusele on tagasihoidlikum. Samas tuleb mainida, et antud aastatel on roopa sügavuse kasvud olnud vaadeldud lõikudel tagasihoidlikud, mis võib viidata kas suhteliselt headele aluspinnastele vaadeldud lõikudel, heale veeviimarite lahendusele või erakorraliste aastate puudumisele.

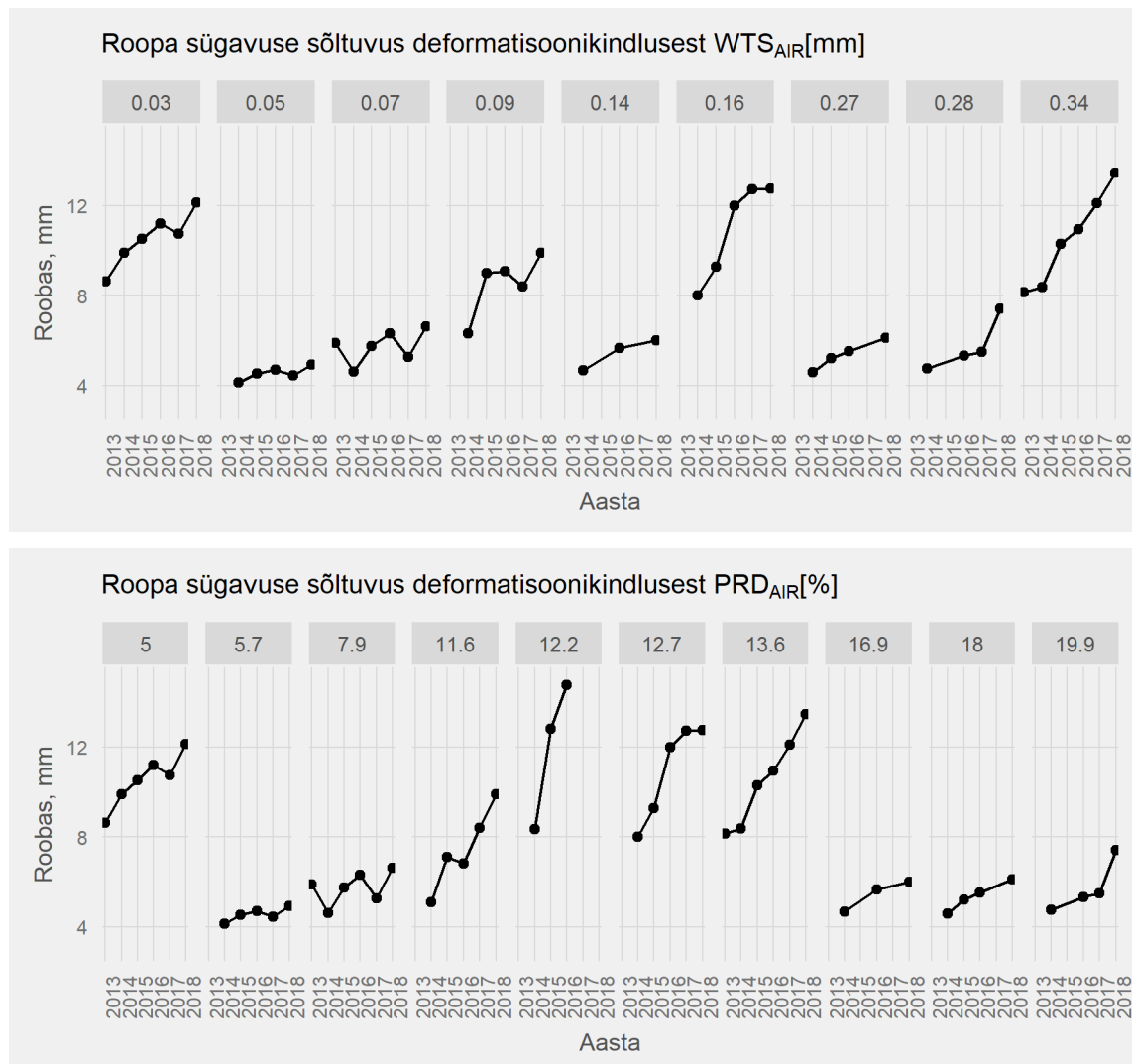
## Roobas vs. deformatsioonikindlus

Deformatsioonikindlus iseloomustab segu vastupanu jäävdeformatsioonile. Eestis on kasutusel väike rattaroopa seade (meetod B õhus) ja katset viiakse alates 2009. aastast läbi 50° C juures EVS-EN 12697-22 (WTT – WheelTracking Test) järgi. Laboratoorsed proovikehad valmistatakse EVS-EN 12697-33 järgi.

Katse lühikirjeldus – asfaltsegude vastuvõtlikkust deformatsioonile hinnatakse läbi vajumise, mida põhjustatakse korduvate ratta läbikutega (10000 tsüklit e. 20 000 läbikut) kindla raskuse (70 kg) ja temperatuuri juures (50C). Deformatsioonikindluse katse tulemusena määratakse järgmised näitajad:

- WTSAIR – maksimaalne jäljesügavuse juurdekasv 103 koormustsükli kohta, mm;
- PRDAIR – maksimaalne suhteline jäljesügavus, %;
- RDAIR – maksimaalne jäljesügavus, mm.

Töös võrreldi 2012 ehitatud katete ülakihi deformatsioonikindluse näitajate mõju roopa tekkele. Iga objekti iseloomustab siiski vaid üks proov.



**Joonis 15. Roopa sügavuse muutused sõltuvalt kattese gude deformatsioonikindlusest**

Graafikutelt võib näha, et antud andmete võrdluses ühene seos deformatsioonikindluse ja roopa sügavuse või selle kasvu vahel välja ei joonistud. Samas tuleb arvestada, et:

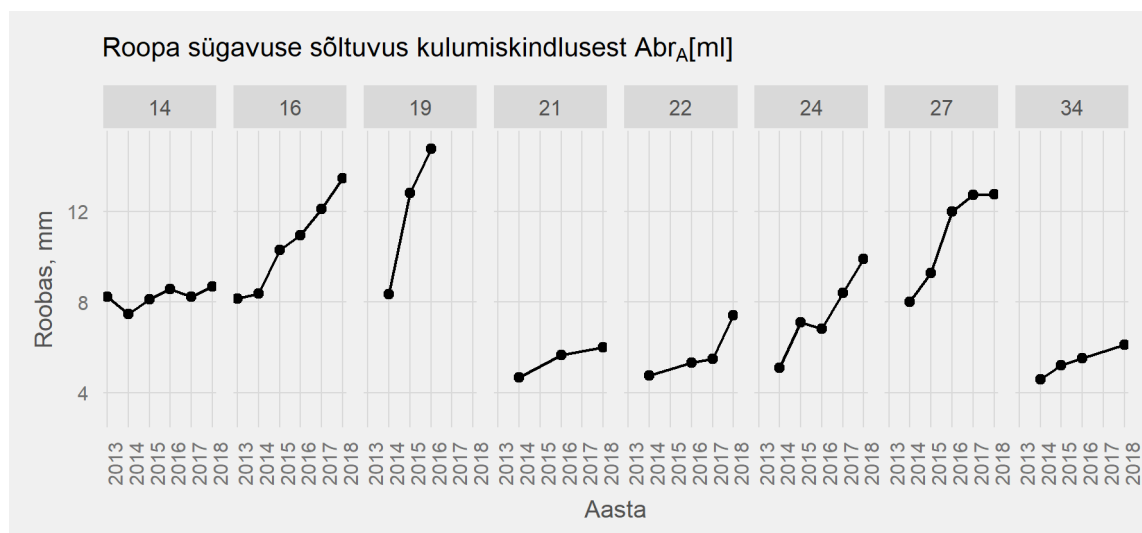
- vaadeldaval perioodil ei pruukinud esineda piisaval määral raskeliiklust kuuma ajal
- proovivõtukohtadest saadud segu näitajad ei pruugi iseloomustada kogu katet
- 10 proovi/objekti ei pruugi olla statistiliselt usaldusväärse tulemi saavutamiseks piisav
- muud mõjutegurid on summaarselt suuremad

## Roobas vs kulumiskindlusest

Kulumiskindlus iseloomustab segu vastupanu naastrehvide toimele. Kulumiskindlust määratakse Eestis EVS-EN 12697-16 meetod A järgi (Prall meetod). Katse lühikirjeldus – silindrilisi proovikehasid diameetriga 100 mm ja kõrgusega 30 mm kulutatakse 15 minuti jooksul 40 teraskuuli poolt keskkonnas temperatuuriga 5° C ja määratakse katsekeha massikadu milliliitrites. Kulumiskindluse katse tulemusena määratakse järgmine näitaja:

AbrA – vastupanu naastrehvide toimele e. kulumiskindlus, maksimaalne kulumismäär, ml.

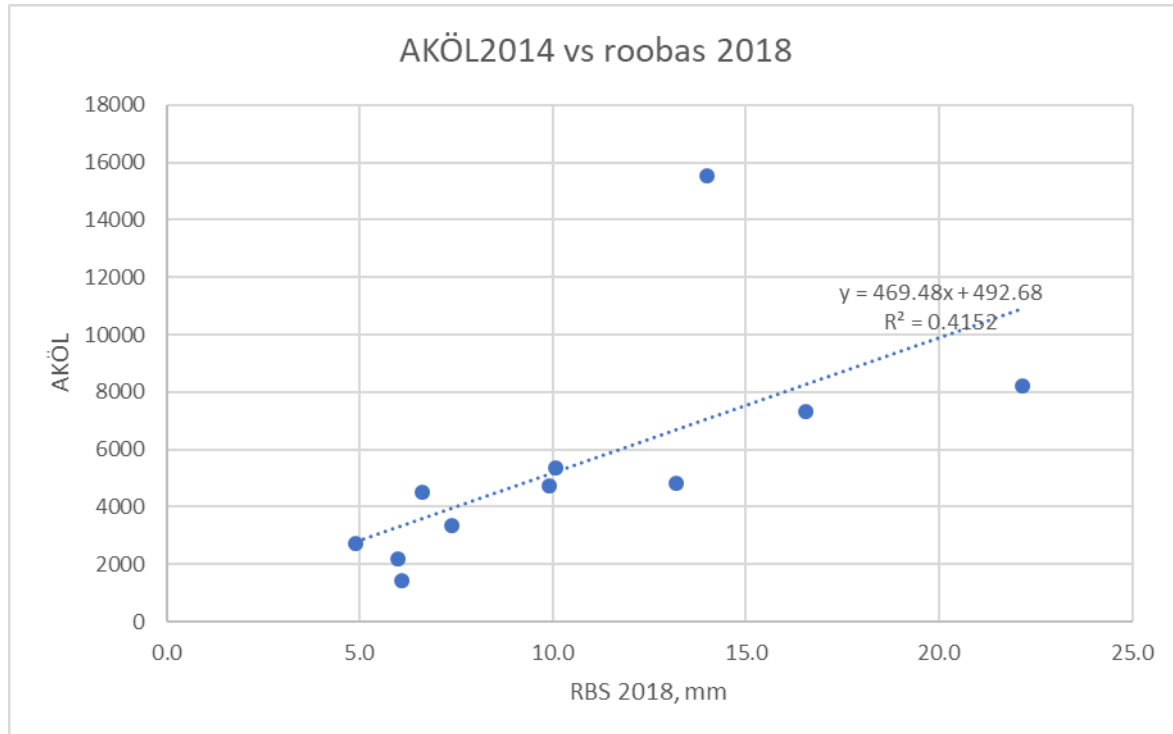
Mida väiksem on kulumiskindluse näitaja, seda vastupidavam on materjal naastrehvide toimele. Kui deformatsioonikindluse näitaja ebapiisavuse korral võib roobas tekkida sisuliselt ka ühe raskeveoki läbikuga, siis naastrehvide toimel tekib roobas ainult pikaajalise kulutamise tulemusel, mistõttu sõltub peamiselt liiklussagedusest. Seetõttu ei leitud ka 2012. a valminud objektide roopa sügavuse muutuste ja kasutatud segude kulumiskindluse näitajate vahel seost (vt järgnev joonis).



Joonis 16. Roopa sügavuse muutused sõltuvalt segude kulumiskindlusest

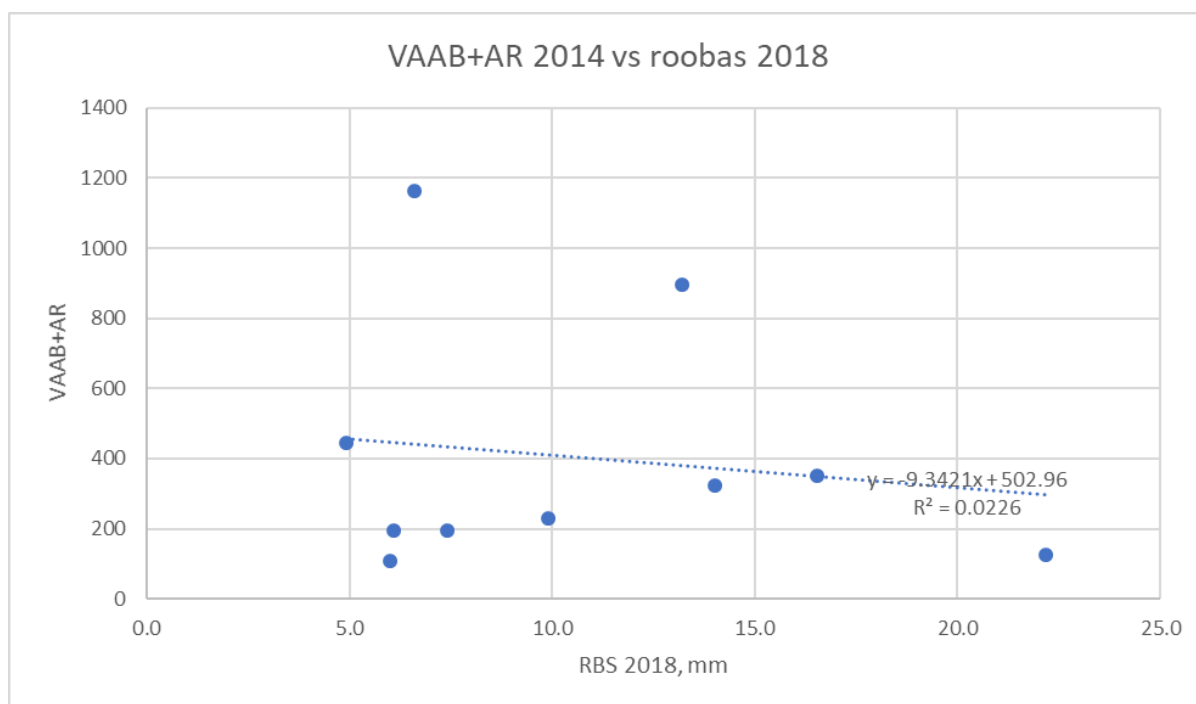
## Roobas vs. liiklussagedus

Vaadeldavate lõikude liiklussagedus on väga erinev, suurima ja väikseima liiklussageduse vahe on kümnekordne: väikseima liiklussagedusega objekt on 13\_1 (AKÖL<1500 auto/ööpäevas, Jägala-Käravete) ja suurima liiklussagedusega 11390\_1 (AKÖL>15000 auto/ööpäevas, Tallinn-Rannamõisa-Kloogaranna).



### Joonis 17. Roopa sügavuse muutused liiklussageduse vahemikes

Roopa sügavuse arengu ja liiklussageduse võrdlemisel on seos selgelt tuntav - mida suurem liiklussagedus, seda kiirem roopa sügavuse muutus ja suurem roobas. Lisaks vaadeldi seost ka raskeliikluse (veoautod+autobussid+autorongid) mõjurus roopa sügavusele (vt järgnev joonis), kuid seost ei leitud.

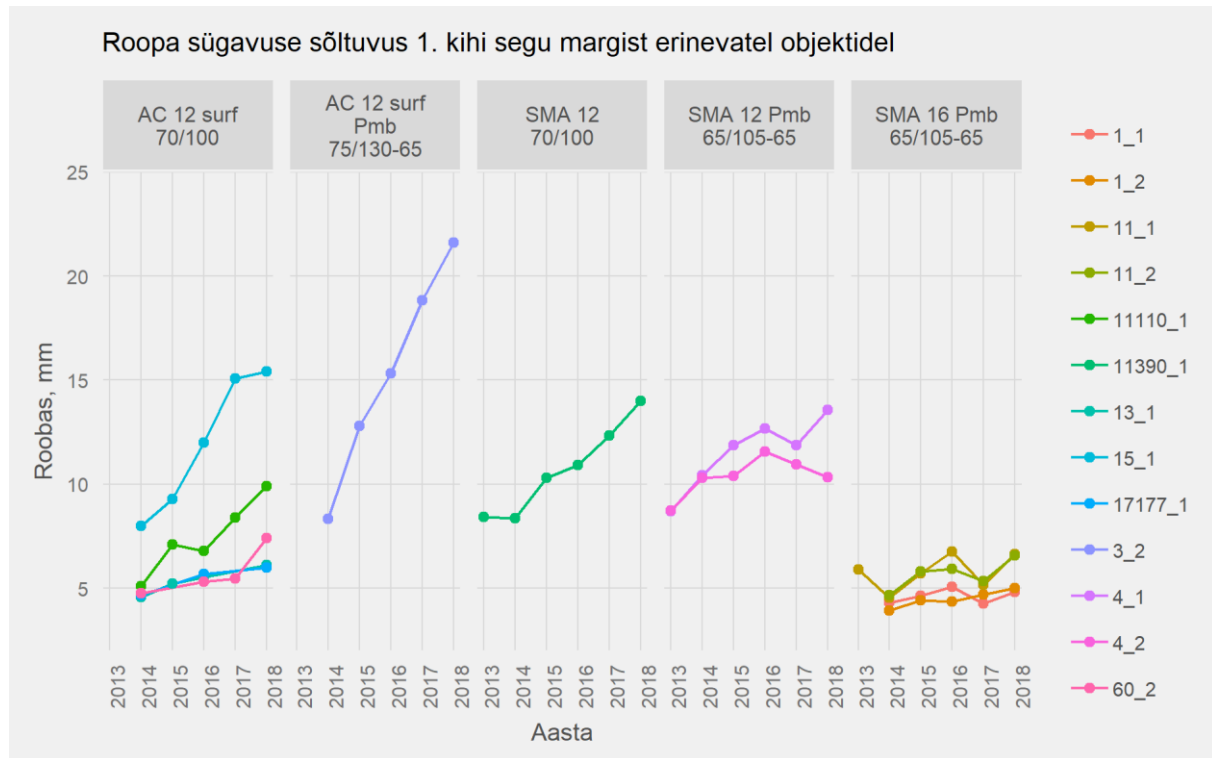


Joonis 18. Objektide roopa sügavuse ja raskeliikluse muutused ajas

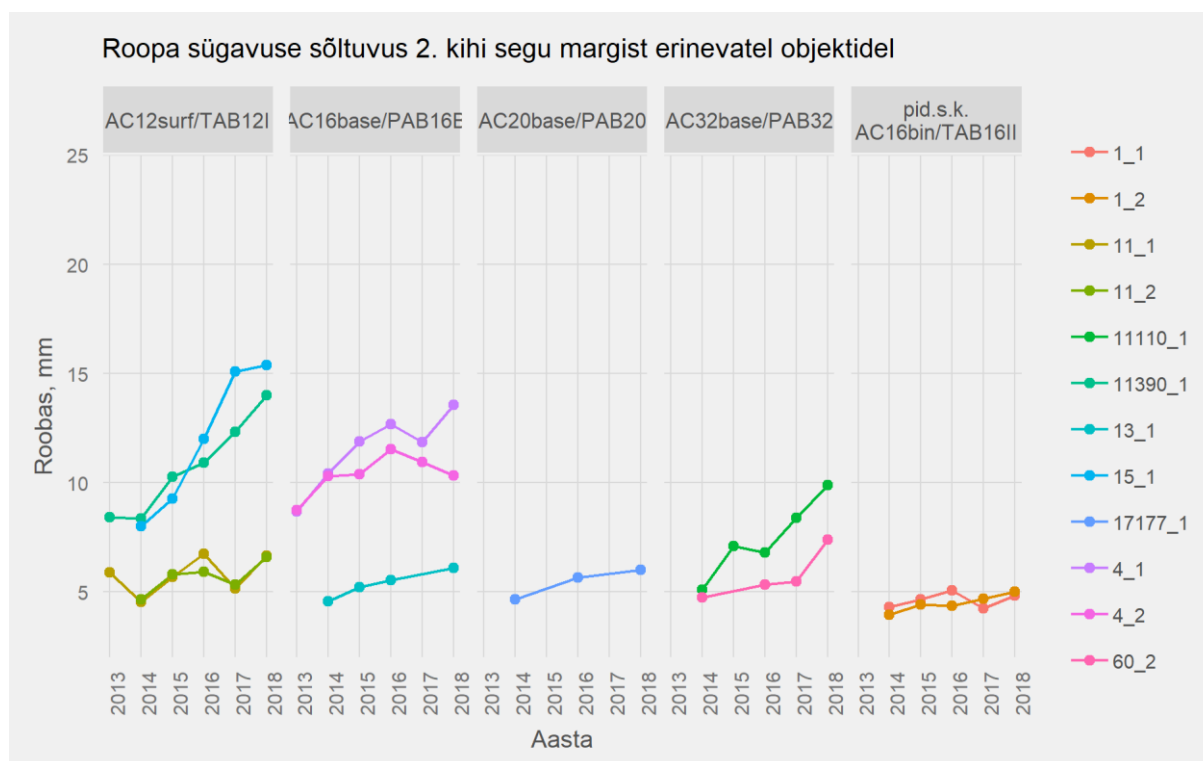


## Roobs vs kasutatud segu mark

Vaadeldavate 2012. aasta objektide ehitusel oli kasutusel kaks segutüüpi – AC ja SMA.



Ülakihi segude võrdluses hakkab silma, et suurema terasuurusega segude (16mm) roopa sügavus on väiksem kui väiksema terasuurusega (12mm) segudel. Samuti võib jooniselt näha, et polümeeride kasutamise positiivne mõju ei paista välja. Samas tuleb arvestada, et polümeere on kasutatud ilmselt raskemates tingimustes (suurem liiklus) olevatel katetel.



**Joonis 19. Roopa sügavuse muutused erinevate 1. ja 2. kihi segu markide puhul**

Suurema terasuurusega segude paremat vastupanu roopa tekkele võib täheldada kaudselt ka alakihisegude puhul.

## Roopa sügavuse sõltuvuse regressioonanalüüs

Erinevate roopa sügavust mõjutavate näitajate hindamiseks viidi läbi ka mitme näitajaga lineaarne regressioonanalüüs. Katsetati roopa sügavuse ennustamist erinevate varasemates peatükkides välja toodud näitajatega. Mudelite koostamisel arvestati, et mudelis olevad näitajad omavahel ei korreleeruks.

Mudel, mis andis kõige paremaid tulemusi võttis arvesse katte vanust, 1. kihi segu, 2. kihi segu, SCI, deformatsioonikindluse PRDAIR ja VAAB näitajaid. Selle mudeli  $R^2$  väärtus oli 0.4926 ja AIC 3466. All olevas tabelis on ära toodud erinevate katsetatud lineaarsete mudelite statistikute väärtused. Vastavate näitajate koefitsientide väärtused ja olulisus mudelis on ära toodud Lisas 5.

Mudelite koefitsiente hinnates on näha, et kõige olulisemaks näitajaks roopa kujunemisel peale vanuse on 1. ja 2. kihi materjalid. See ei tähenda, teised näitajad sarnastes oludes ei mõjutaks roopa tekkimist. Näiteks üks põhjusi, mis mudel Emoodulit ja AKÖLi välja ei toonud, on asjaolu, et seda juba arvestatud

katte projekteerimisel. Suurema koormusega teedele on juba projekteeritud suurema Emooduliga katted, mis tähendab, et olenemata suuremast liiklusest ei teki sinna suuremat roobast, kuna selle näitajaga on projekteerimisel juba osaliselt arvestatud.

| Mudel                                                                                                         | R <sup>2</sup> | AIC  | p-väärtus |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|------|-----------|
| roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal + SCI + VAAB + deformatsioonikindlus PRDAIR | 0.4926         | 3466 | < 2.2e-16 |
| roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal                                             | 0,5052         | 3641 | < 2.2e-16 |
| roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal + SCI + VAAB + deformatsioonikindlus WTSAIR | 0.4926         | 3466 | < 2.2e-16 |
| roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal + SCI + deformatsioonikindlus WTSAIR        | 0.4911         | 3468 | < 2.2e-16 |
| roopa sügavus ~ Emoodul                                                                                       | 0.0001968      | 4426 | 0,5968    |
| roopa sügavus ~ Emoodul grupp                                                                                 | 0.01022        | 4419 | 0.0050    |

## 2012 objektide analüüsi kokkuvõte

2012 objektide analüüs näitas ootuspäraselt, et roopa sügavuse areng on heas korrelatsioonis nii liiklussageduse kui kandevõime parameetritega (eelkõige SCI ja BDI) aga ka segu omadustega (nt. terasuurus) ning, et hinnanguliselt on keskmiseks algroopa sügavuseks 6.0mm ja keskmine kasv 0.5 mm/aastas. Täpsemate objektipõhiste analüüside jaoks on vaja rohkem algandmeid, nt. valmimisjärgne kandevõime ja tegelik algroopa sügavus ja kuju, samuti info iga katendikihi aga ka (mulde pealt) tugevusomaduste kohta ehituse ajal.

## 2017-2018. a valminud katete analüüs

2017. aastal valminud objektidest on teekatte seisukorda analüüsitud põikprofiili osas viiel rekonstrueerimis- ja kuuel taastusremondi objektil. Analoogselt nendega võeti analüüsiks ka 2018. aastal valminud objektidest kuus rekonstrueerimis- ja kümme taastusremondi objekti.

Nimetatud objektidel olid valmimisjärgselt tehtud teekatte seisukorra skaneerivad mõõtmised. Need andmed töödeldi ja analüüsiks tood välja järgmised andmed 20 m sammuga sõiduradade kaupa (keskmised):

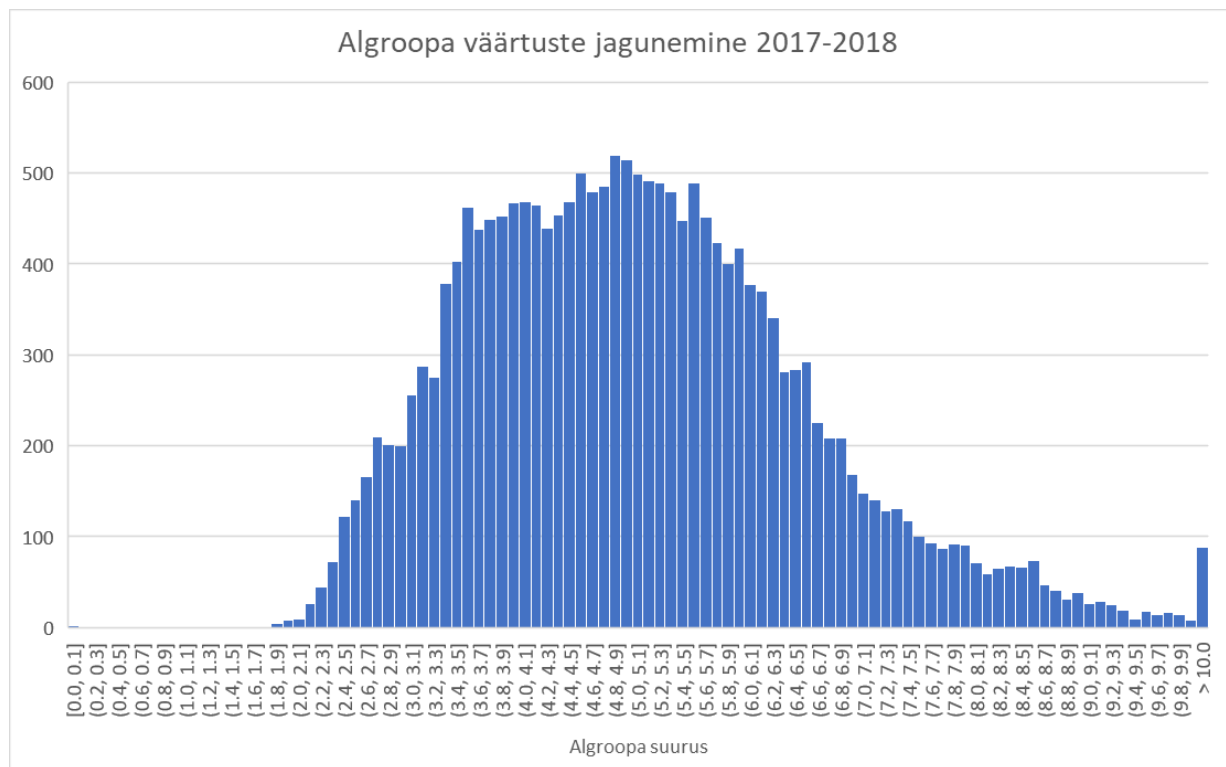
- vasaku roopa sügavus ja asukoht põiki teed
- parema roopa sügavus ja asukoht põiki teed
- suurim roopa sügavus
- roobaste vahekaugus
- roobaste maht (cm<sup>2</sup>)
- põikkalle
- lisaks koostati katte põikprofiilid (1 põikprofiil iga meetri kohta mõlemal sõidusuunal), mis andmete suure mahu tõttu visualiseeriti videovormingus

Mõõtmised viidi läbi tavapärasel 3.6 m laiusel.

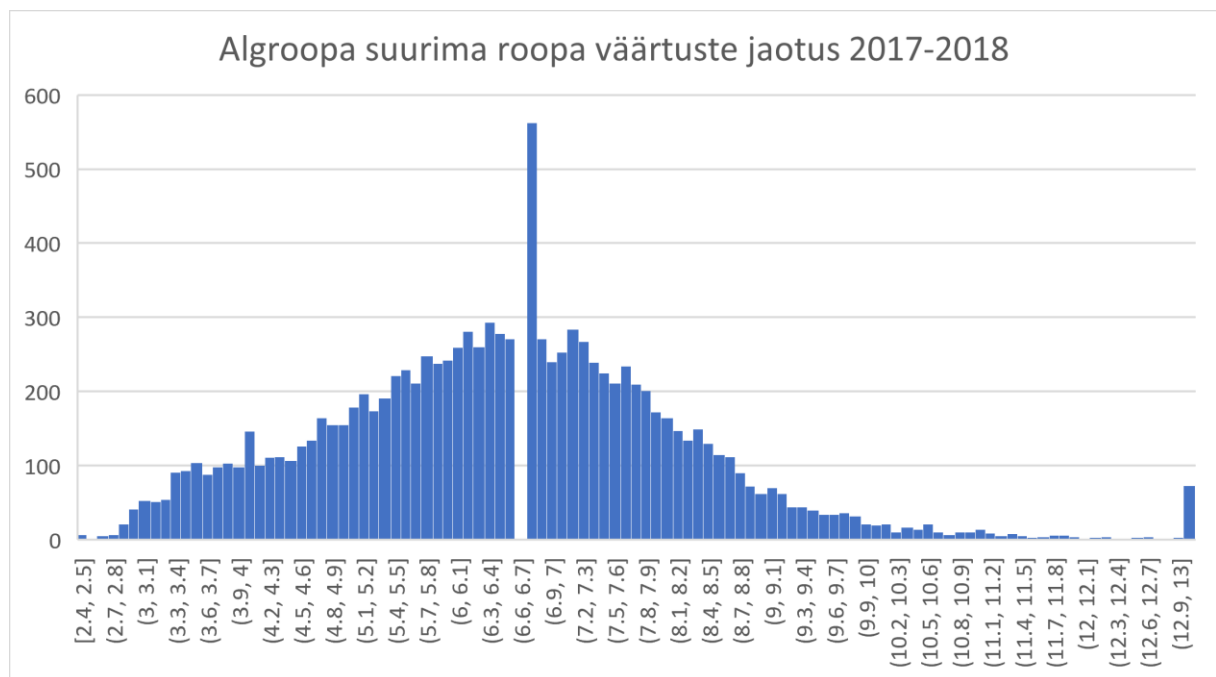
2017 aasta objektidel on teostatud 2018 aasta sügisel kandevõime mõõtmised, mis võimaldavad nendel lõikudel roopa sügavuse ja ka põikprofiili analüüsi kandevõimenäitajate suhtes. Samas tuleb arvestada, et aasta hiljem tehtud mõõtmised sisaldavad järeltihenemise tõttu arvestatava hulga ebatäpsust ning seos on tõenäoliselt moonutatud.

2018. aastal valminud objektidest teostati lisaks ka novembrikuus kaheksal objektil uued, täiendavad teekatte skaneerivad mõõtmised (kogumahu 54,3 km).

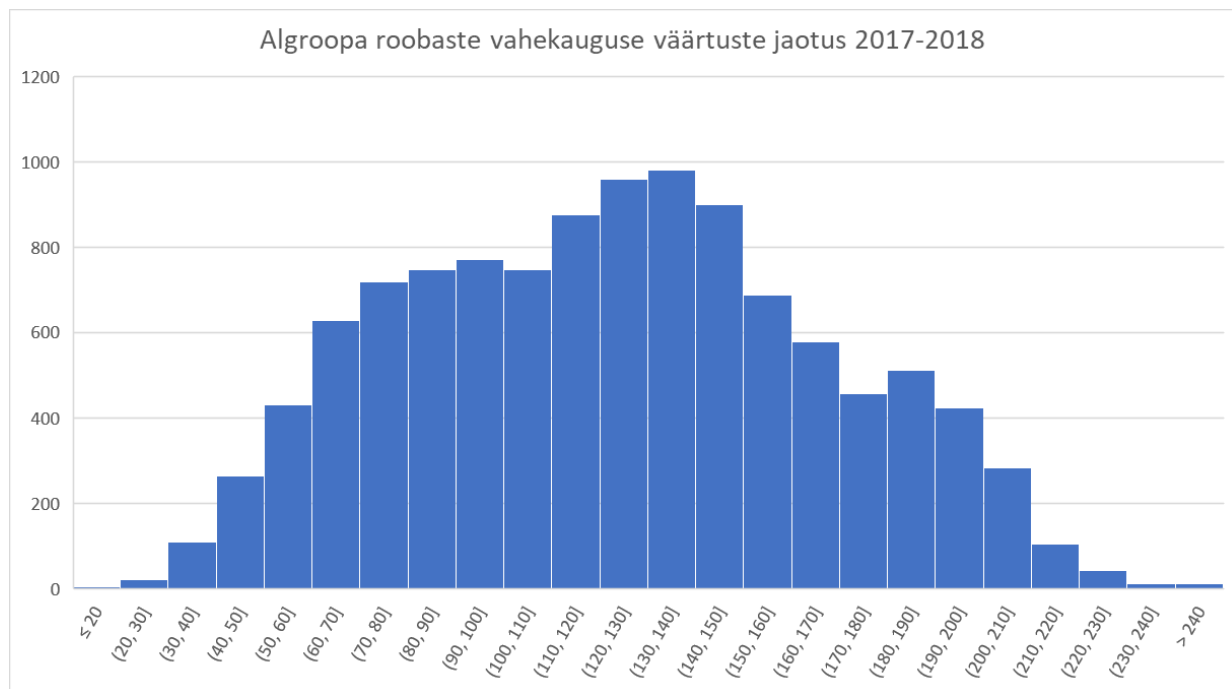
Alloleval joonisel on toodud 2017-2018 algroopade mõõtmistulemuste jaotus (käsitletud on ainult profiili lõikava meetodiga saadud tulemused, seejuures on sisse arvestatud kõik 2018 tehtud mõõtmised). Keskmise roopa sügavus mõõtmistel oli 5.1 mm.



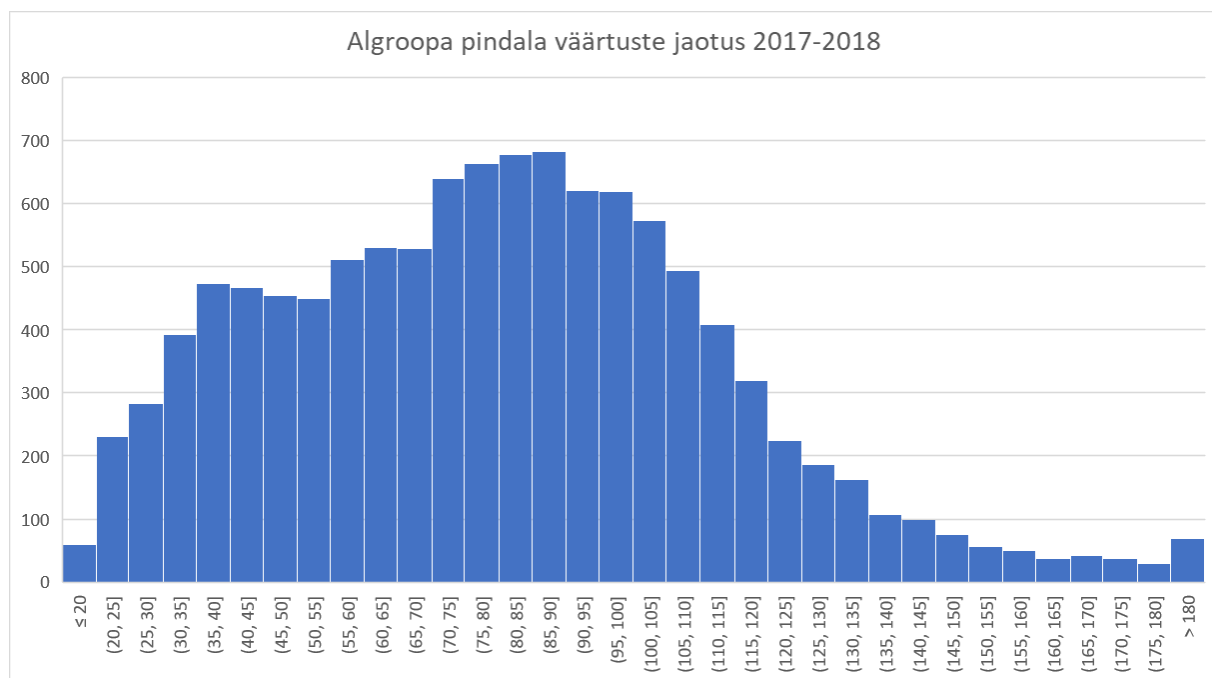
Joonis 20. 2017-2018 algroopa mõõtmistulemuste jaotus



Joonis 21. 2017-2018 algroopa suurima roopa mõõtmistulemuste jaotus



**Joonis 22. 2017-2018 algruupa roobaste vahekauguse mõõtmistulemuste jaotus**

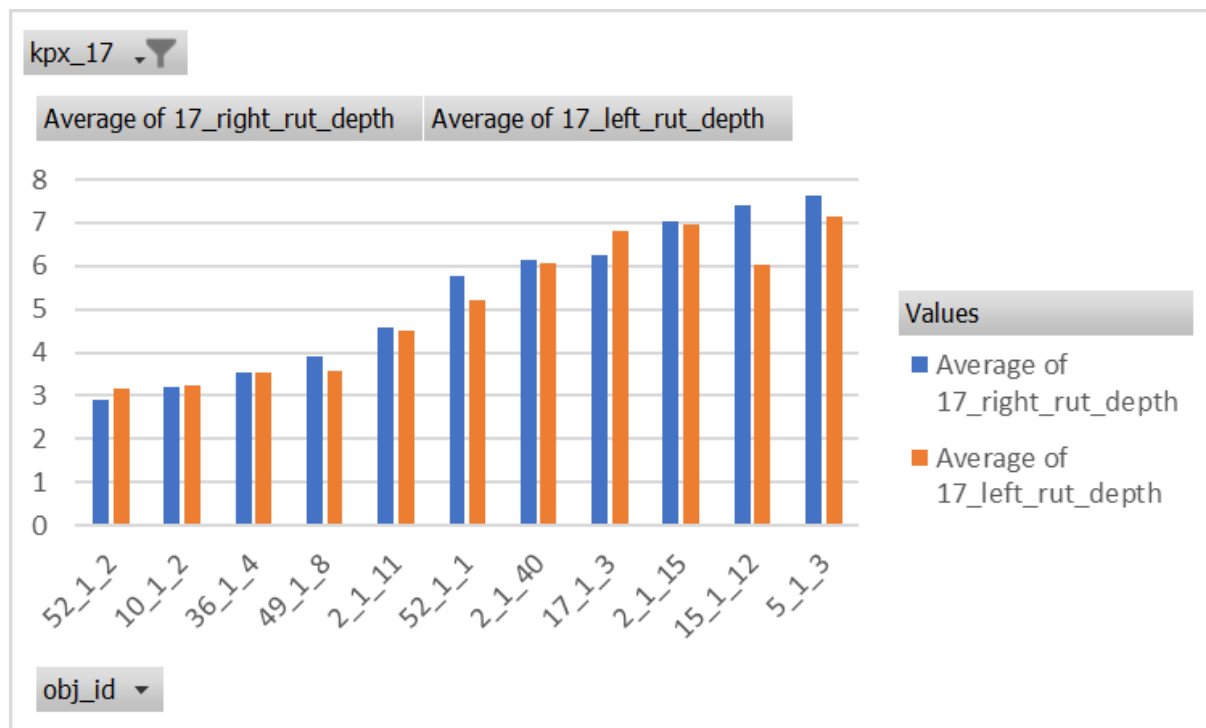


**Joonis 23. 2017-2018 algruupa pindala (cm²) mõõtmistulemuste jaotus**

Kõikide eelpool kirjeldatud objektide andmed on toodud järgnevides tabelites. Objektide analüüsikõlblikuks töödeldud mõõtmistulemused on esitatud elektroonselt.

## 2017. a objektide analüüs

2017. a valminud objekte on analüüsis kokku 11 (vt tabel allpool). Keskmised roopa sügavused objektidel on vahemikus 3-7,5 mm (vt järgnev joonis), keskmine roopa sügavus on 5.2 mm ja roopa pindala 81 mm. Detailsem analüüs on esitatud lisas 1.



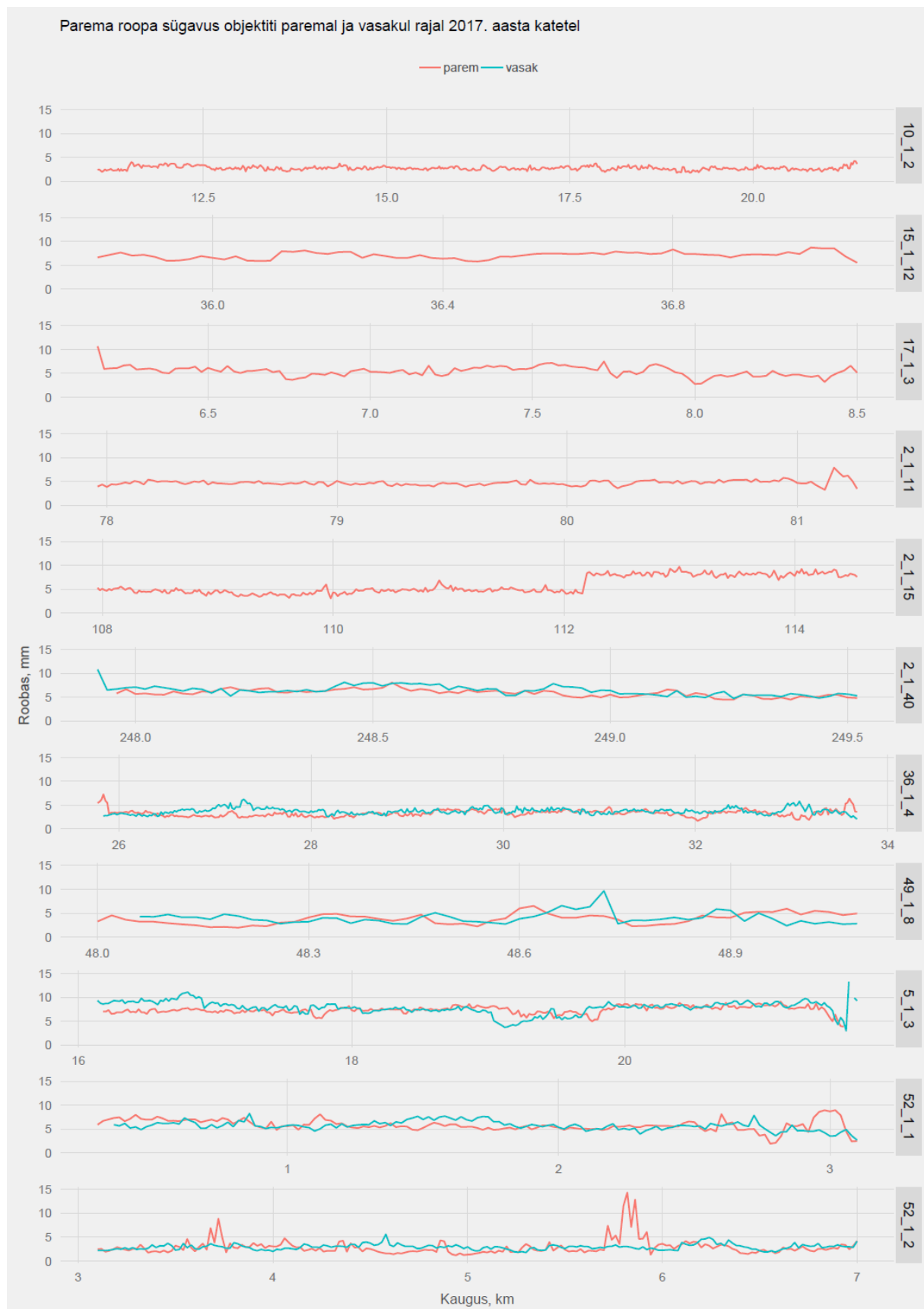
**Joonis 24. Keskmised roopa sügavused (paremas ja vasakus rattajäljes) 2017. a valminud objektidel**

Pea kõikide mõõdetud objektide algroobast iseloomustab klassikalise roopa puudumine – st. saame rääkida põiksuunalisest ebatasasustest (mida loomulikult võime nimetada pikiroobasteks kuid tegemist ei ole klassikalise pikiroopaga, mis tekib rattajäljes.

**Tabel 8. 2017. aastal valmimisjärgsete mõõtmistega objektid**

| Tee | Teenimi                                | stee | Alg-km  | Lõpp-km | Pikkus, m | TO | Alg-kaugus, m | TO | Lõpp-kaugus, m | Obj. kp    | Katte kirjeldus                          | Segu                 |
|-----|----------------------------------------|------|---------|---------|-----------|----|---------------|----|----------------|------------|------------------------------------------|----------------------|
| 5   | Pärnu - Rakvere - Sõmeru               | 1    | 16,097  | 28,16   | 12063     | 3  | 6520          | 4  | 6440           | 2017-11-06 | uus kate kompleksstabiliseeritud alusega | AC 16 surf / TAB 16I |
| 36  | Jõgeva - Mustvee                       | 1    | 25,737  | 33,68   | 7943      | 4  | 160           | 4  | 8103           | 2017-08-10 | uus kate kompleksstabiliseeritud alusega | AC 16 surf / TAB 16I |
| 49  | Imavere - Viljandi - Karksi-Nuia       | 1    | 47,98   | 49,098  | 1118      | 8  | 3888          | 8  | 5006           | 2017-07-07 | uus kate kompleksstabiliseeritud alusega | AC 12 surf / TAB 12I |
| 52  | Viljandi - Rõngu                       | 1    | 0,275   | 3,105   | 2830      | 1  | 275           | 2  | 319            | 2017-05-15 | uus kate kompleksstabiliseeritud alusega | AC 16 surf / TAB 16I |
| 52  | Viljandi - Rõngu                       | 1    | 3,105   | 7,016   | 3911      | 2  | 319           | 3  | 426            | 2017-06-15 | uus kate kompleksstabiliseeritud alusega | AC 20 bin / TAB 20II |
| 2   | Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa       | 1    | 77,964  | 81,278  | 3314      | 11 | 34            | 11 | 3348           | 2017-08-16 | uus pealmine kiht olemasolevale kattele  | AC 16 surf / TAB 16I |
| 2   | Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa       | 1    | 107,971 | 114,554 | 6583      | 15 | 7893          | 16 | 4557           | 2017-10-13 | uus pealmine kiht olemasolevale kattele  | AC 16 surf / TAB 16I |
| 2   | Tallinn - Tartu - Võru - Luhamaa       | 1    | 247,933 | 249,535 | 1602      | 40 | 6465          | 40 | 8067           | 2017-05-25 | uus pealmine kiht freesitud kattele      | AC 16 surf / TAB 16I |
| 10  | Risti - Virtsu - Kuivastu - Kuressaare | 1    | 11,062  | 21,435  | 10373     | 2  | 231           | 3  | 2243           | 2017-08-01 | uus pealmine kiht tasanduskihiga         | AC 16 surf / TAB 16I |
| 15  | Tallinn - Rapla - Türi                 | 1    | 35,803  | 37,127  | 1324      | 12 | 2130          | 13 | 226            | 2017-08-01 | uus pealmine kiht freesitud kattele      | SMA 12 / KMA 12      |
| 17  | Keila - Haapsalu                       | 1    | 6,177   | 8,519   | 2342      | 3  | 42            | 3  | 2384           | 2017-06-26 | uus pealmine kiht freesitud kattele      | AC 16 surf / TAB 16I |





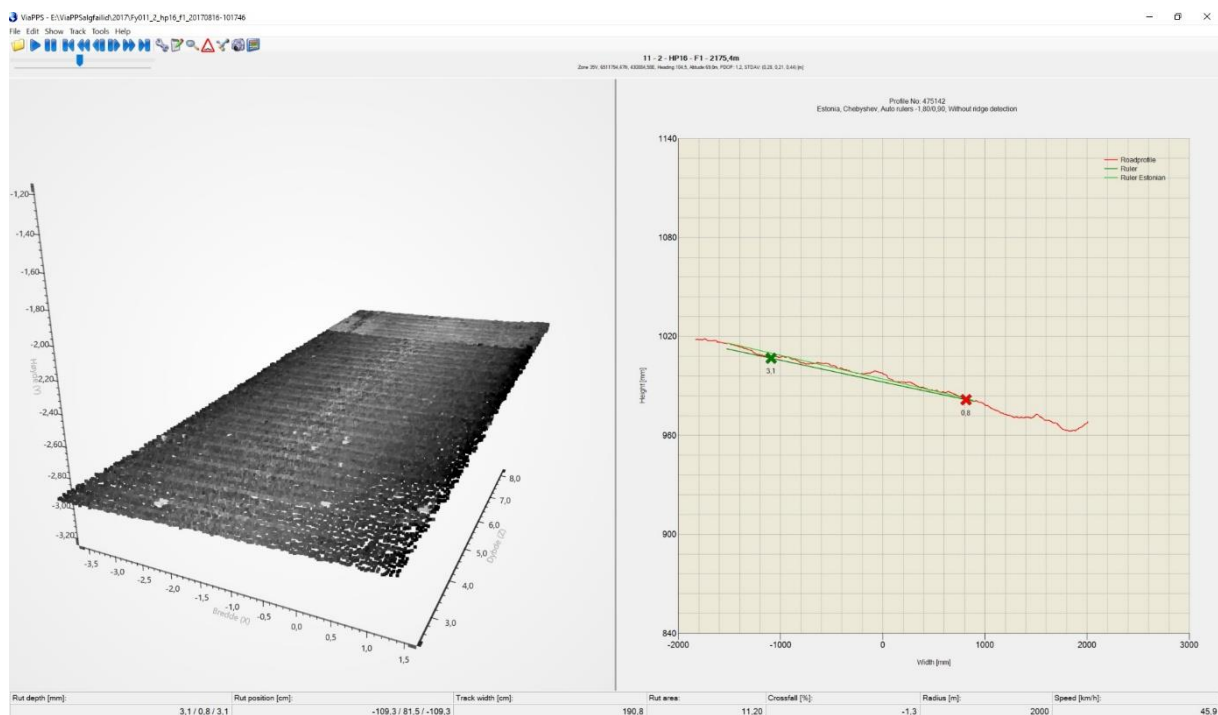
Joonis 25. Roopa sügavus 2017 aasta objektidel

Üldjuhul püsivad roopa sügavuse näitajad objekti piires samas suurusjärgus. Märkimisväärsed erisusi on paaril objektil: 2\_1\_15, 49\_1\_8 vasak, 52\_1\_2.

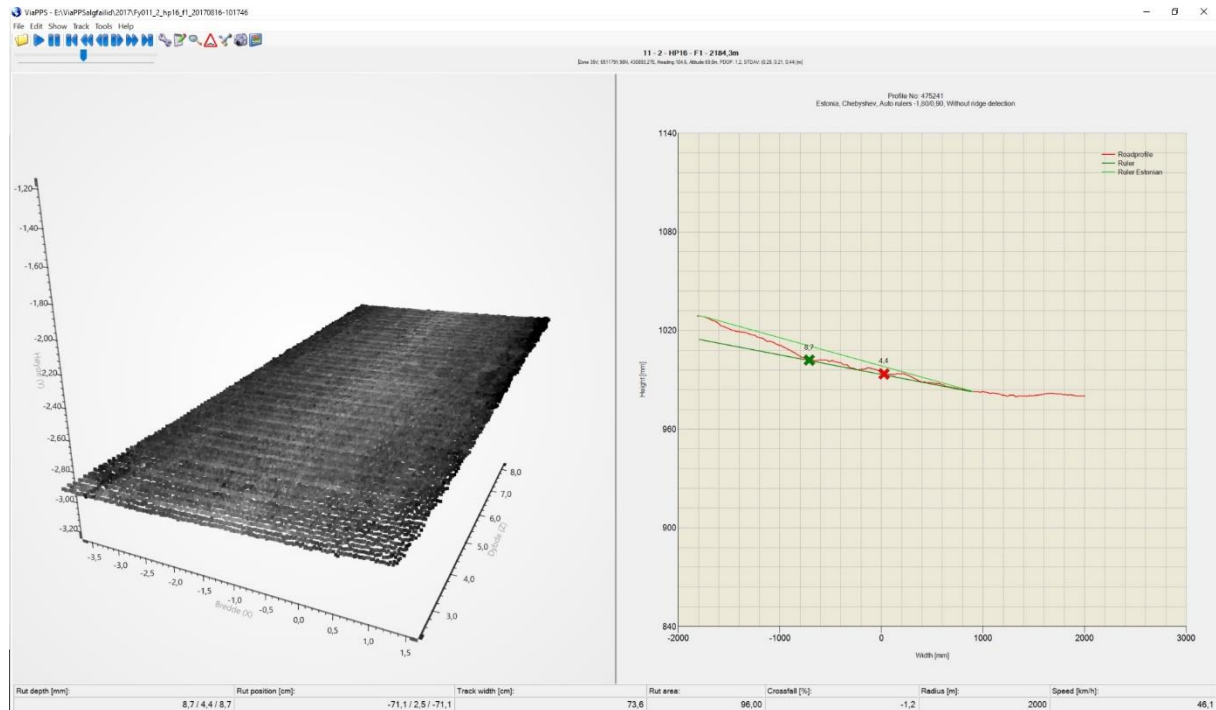
**2\_1\_15 ( 2 Tallinn–Tartu–Võru–Luhamaa km 107,949 - 114,531).** Roopa sügavus järsult suureneb alates kilomeetrilt 112,2 (vt Lisa 1 toodud graafikud). Nimetatud kohas on näha katte muutust (vt järgnev pilt), roopa sügavus suureneb keskmiselt 3 mm, näha on teekonstruktsiooni kandevõime vähenemist (seotud kihi pinna kõverustegur SCI vähenemine), jäävpoorsuse suurenemist.



Pilt 1. Objekt 2\_1\_15 km 122,2



Joonis 26. Objekt 2\_1\_15 km 122,2, ebatasasus ja roopa sügavus enne katte muute kohta



**Joonis 27. Objekt 2\_1\_15 km 122,2, ebatasasus ja roopa sügavus pärast katte muutekohta**

Põikiebatasuste ja roopa väärtuste muutused on põhjustatud katte muutustest. **49\_1\_8 rajal 1 (Imavere-Viljandi-Karksi-Nuia km 47,979-49,119).** Sarnaselt eelnevale objektile on katte muutekohast (põikvuuk) objektil kaugusel km 48,6 roopa sügavuse väärtuste järsk muutus (vt järgnev pilt ja graafikud lisa 1). Erinevalt objektist 2\_1\_15 on roopa sügavuse muutus hetkeline. Seost võib näha roopa sügavuse ja kandevõime vahel (nt. suurima roopa kohas on  $SCI > 100$  ja  $BDI > 80$ ) (vt graafikud lisa 1).



**Joonis 28. Objekt 49\_1\_8 rada 1 km 48,6**

**52\_1\_2 rajal 1 (52 Viljandi-Rõngu km 3,1-7,0).** Sarnased muutused on ka sellel objektil km 5,78-5,86, kus paigaldatud kate on visuaalselt ülejäänud teekatte pinnast erinev ja roopa mõõtmistulemused järsult suurenevad (4 mm-lt 10 mm-ni). Teekonstruktsiooni kandevõime, seotud katte kandevõime indeks, jäävpoorsus on objekti ulatuses stabiilsed (vt graafikud lisa 1).

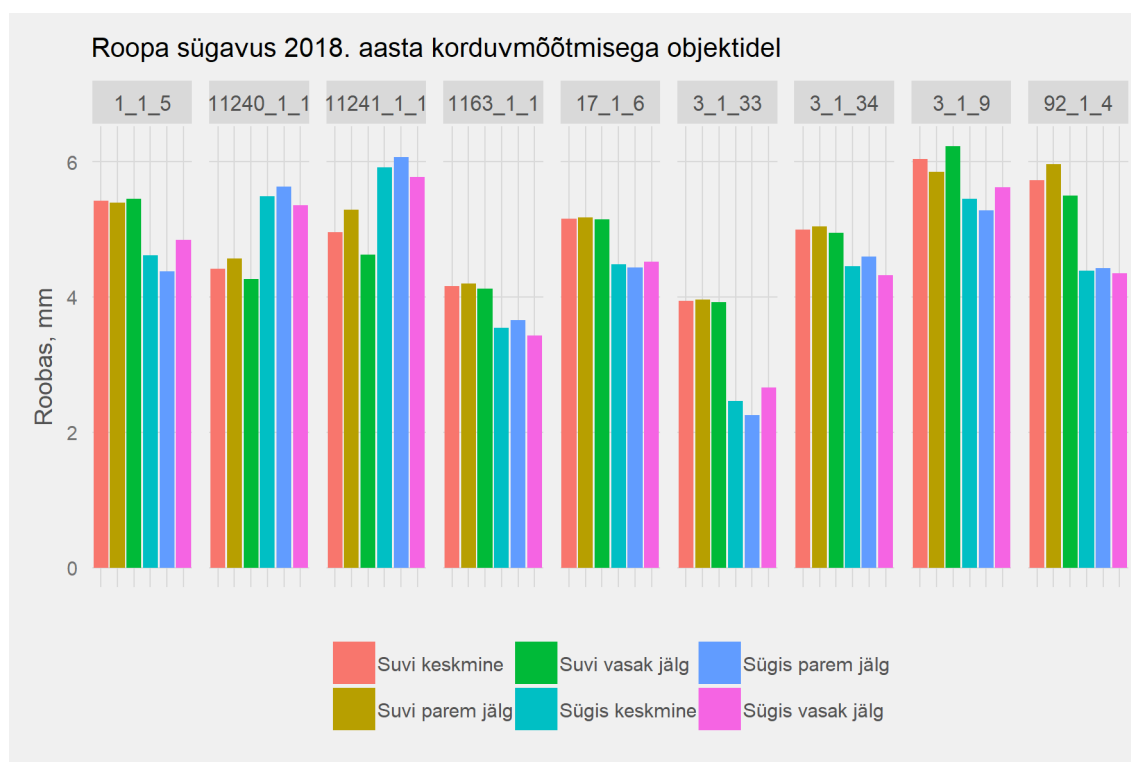
## 2018. a objektide analüüs

### Muutused 2018. a korduvmõõtmistega objektidel

Käesolevas töös on 2018. aastal valminud objektidel tehtud novembrikuus üheksal objektil korduvmõõtmised (tabel allpool), neist kaks on rekonstrueerimisobjektid, ülejäänutel paigaldati freesitud kattele uus pealmine kiht. Objekti valmimisel tehtud ja korduvmõõtmiste ajaline vahe on 2-5 kuud.

Roopa sügavuse korduvmõõtmiste tulemused on samas suurusjärgus objekti valmimisjärgsete mõõtmistega. Siiski võib öelda, valdaval osal lõikudest roopa sügavus teisel mõõtmisel mõnevõrra vähenes (v.a kahel objektil, vt järgnev joonis). Muutused tulemustes ei ole suured (maksimaalselt 1,5 mm) kuigi eeldustele vastupidised (eeldatavalt roobas areneb ja süveneb). Eri aegadel tehtud mõõtmistulemuste erinevused on seadme mõõtemääramatuse piirides.

Mõõtmistulemuste detailsem analüüs on näidatud lisas 2.



Joonis 29. 2018. a korduvmõõtmistega objektide roopa sügavused

**Tabel 9. 2018. a valmimisjärgsete ja korduvmõõtmistega objektid**

| Tee                              | Teenimi                          | stee | Alg-km  | Lõpp-km | Pikkus, m     | TO | Alg-kaugus, m | TO | Lõpp-kaugus, m | Obj. kpv   | Katte kirjeldus                     | Segu                 | 2018. a korduv-mõõtmine |
|----------------------------------|----------------------------------|------|---------|---------|---------------|----|---------------|----|----------------|------------|-------------------------------------|----------------------|-------------------------|
| 17                               | Keila – Haapsalu                 | 1    | 25,347  | 34,794  | 9447          | 6  | 557           | 6  | 10004          | 2018-08-10 | uus kate kompleksstab. alusega      | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
| 45                               | Tartu – Räpina – Värskä          | 1    | 78,36   | 85,275  | 6915          | 15 | 708           | 15 | 7623           | 2018-08-28 | uus kate kompleksstab. alusega      | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| 59                               | Pärnu – Tori                     | 1    | 6,175   | 12,252  | 6077          | 3  | 532           | 3  | 6609           | 2018-07-30 | uus kate kompleksstab. alusega      | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| 63                               | Karisilla – Petseri              | 1    | 0       | 3,225   | 3225          | 1  | 0             | 1  | 3225           | 2018-08-14 | uus kate kompleksstab. alusega      | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| 11125                            | Perila – Jäneda                  | 1    | 0       | 5,593   | 5593          | 1  | 0             | 1  | 5593           | 2018-09-03 | uus kate kompleksstab. alusega      | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
|                                  |                                  |      | 5,698   | 10,626  | 4928          | 1  | 5698          | 1  | 10626          | 2018-09-01 | uus kate kompleksstab. alusega      | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| (1163)                           | Loovälja lõunaringilt uus tee    | 1    | 0       | 1,915   | 1915          |    |               |    |                | 2018-06-05 | uus kate kompleksstab. alusega      | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
| 1                                | Tallinn – Narva                  | 1    | 38,992  | 40,186  | 1194          | 5  | 1996          | 5  | 3190           | 2018-08-06 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 12 surf / TAB 12I | 2018 II                 |
| 2                                | Tallinn – Tartu – Võru – Luhamaa | 1    | 207,611 | 210,996 | 3385          | 35 | 723           | 35 | 4108           | 2018-09-12 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| 3                                | Jõhvi – Tartu – Valga            | 1    | 18,007  | 18,841  | 834           | 6  | 3519          | 6  | 4353           | 2018-05-10 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| 3                                | Jõhvi – Tartu – Valga            | 1    | 50,298  | 61,28   | 10982         | 9  | 11417         | 11 | 4575           | 2018-07-27 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 20 surf / TAB 20I | 2018 II                 |
| 3                                | Jõhvi – Tartu – Valga            | 1    | 138,333 | 139,413 | 1080          | 21 | 708           | 22 | 954            | 2018-09-12 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| 3                                | Jõhvi – Tartu – Valga            | 1    | 203,924 | 209,689 | 5765          | 33 | 2865          | 34 | 550            | 2018-07-06 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
|                                  |                                  |      | 209,777 | 219,383 | 9606          | 34 | 638           | 35 | 1477           | 2018-05-29 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
| 39                               | Tartu – Jõgeva – Aravete         | 1    | 0       | 5,218   | 5218          | 1  | 0             | 1  | 5218           | 2018-05-26 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I |                         |
| 92                               | Tartu – Viljandi – Kilingi-Nõmme | 1    | 28,459  | 35,198  | 6739          | 4  | 6467          | 5  | 5224           | 2018-09-06 | uus pealmine kiht tasanduskihiga    | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
| 11240                            | Tõdva – Hageri                   | 1    | 3,494   | 4,675   | 1181          | 1  | 3494          | 1  | 4675           | 2018-06-10 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
|                                  |                                  |      | 4,792   | 9,545   | 4753          | 1  | 4792          | 5  | 67             | 2018-06-10 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
| 11241                            | Kasemetsa – Kiisa                | 1    | 0       | 2,766   | 2766          | 1  | 0             | 1  | 2766           | 2018-06-07 | uus pealmine kiht freesitud kattele | AC 16 surf / TAB 16I | 2018 II                 |
| <b>Korduvmõõtmised kokku, km</b> |                                  |      |         |         | <b>54,348</b> |    |               |    |                |            |                                     |                      |                         |



Suuremad muutused esimese ja teise mõõtmise vahel on seotud objektiga 3\_1\_34, vähem objektidega 3\_1\_33 ja 92\_1\_4.

**Objekt 3\_1\_34 Jõhvi-Tartu-Valga km 209,0 - 219,671.** Roopa andmed kaugusel 218,32-218,34 rada 9; ristmik, järsk pööre 90°, suvisel ja sügisel mõõtmisel roopa sügavustes suured erinevused

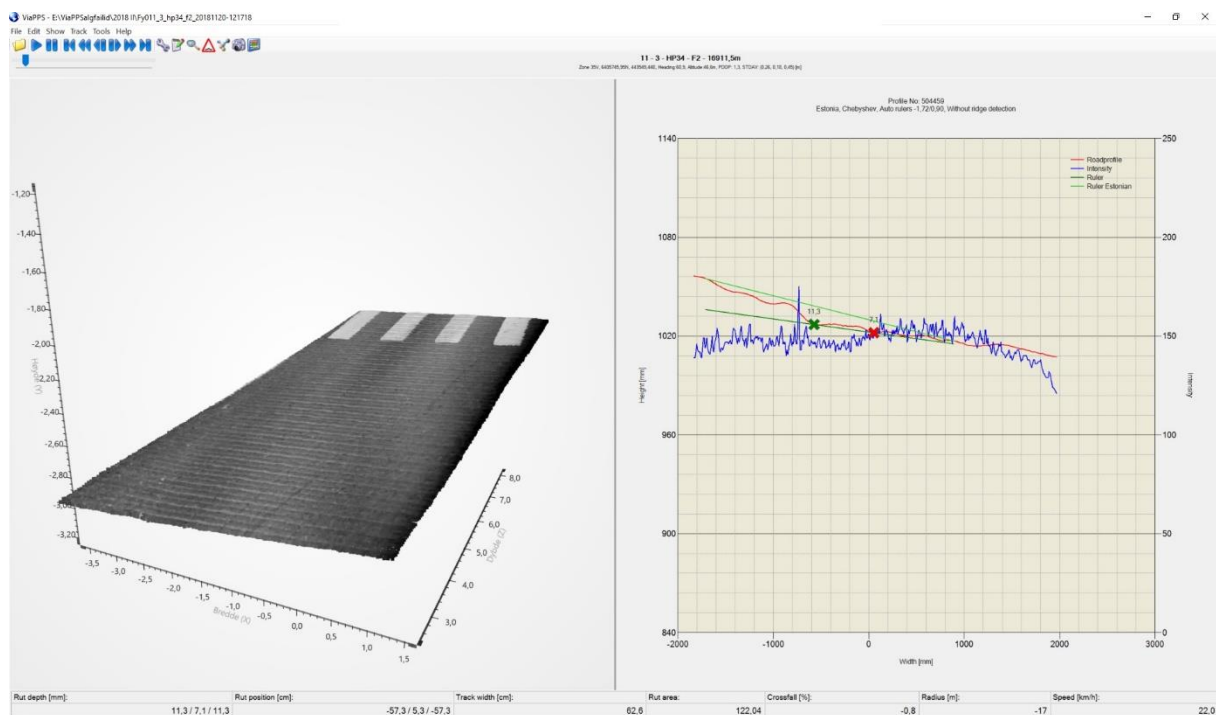


**Pilt 2. Objekt 3\_1\_34 km 218,34 rada 9 (suund 2, tee tuleb 90° vasakult)**

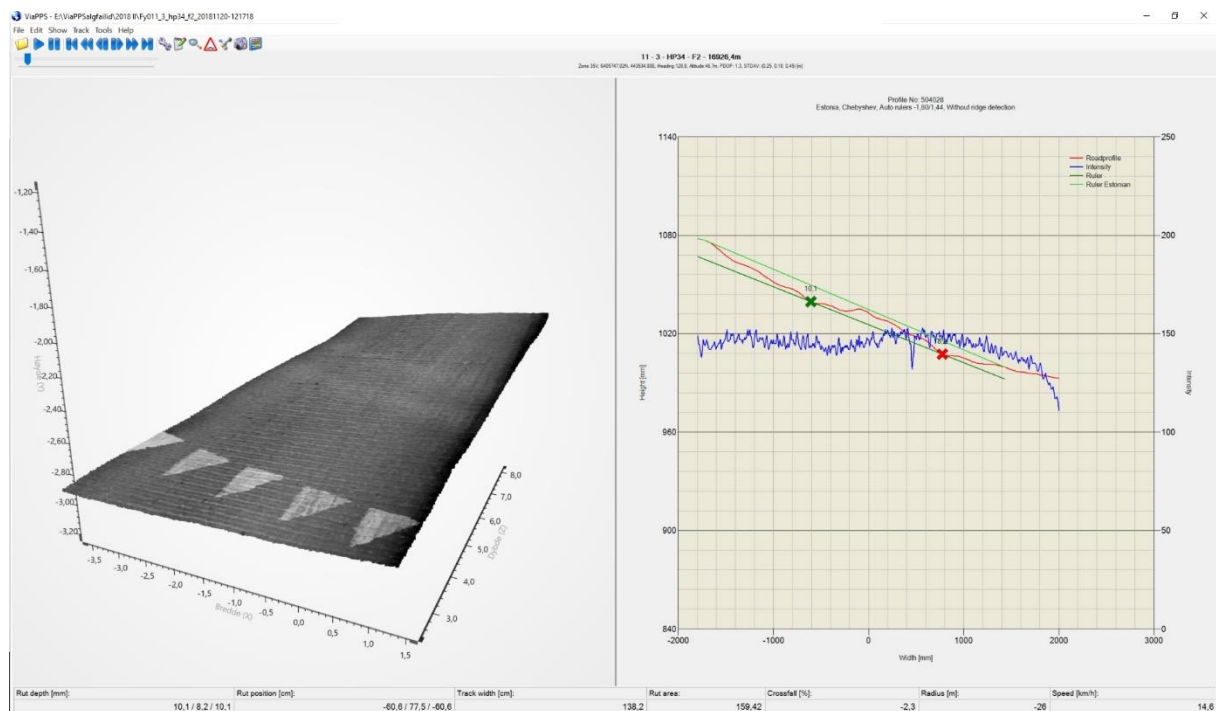
**Tabel 10. Objekt 3\_1\_34, roopa sügavus km 218,32-218,34 2018. a esmasel ja kordumõõtmisel**

| Objekti ID | rada | Algkm  | Lõppkm | mõõtmise kp | right_rut_position<br>, cm | right_rut_depth,<br>mm | left_rut_position,<br>cm | left_rut_depth,<br>mm | max_rut_position,<br>cm | max_rut_depth,<br>mm | track_width, cm | crossfall, % | track_area, cm <sup>2</sup> |
|------------|------|--------|--------|-------------|----------------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------|-----------------|--------------|-----------------------------|
| 3_1_34     | 9    | 218,32 | 218,34 | 17.07.2018  | 111                        | 10                     | -74                      | 9                     | 15                      | 19                   | 184             | 2            | 163                         |
| 3_1_34     | 9    | 218,32 | 218,34 | 20.11.2018  | 111                        | 12                     | -79                      | 13                    | 5                       | 28                   | 191             | -3           | 211                         |

## Põikiebatasuste arengu analüüs 2012, 2017, 2018 katete põhjal



**Joonis 30. objekt 3\_1\_34, 2018.a teine mõõtmine km 218,32 rada 9; enne tee pööret paremale ja ristmikku**



**Joonis 31. objekt 3\_1\_34, 2018.a teine mõõtmine km 218,34 rada 9; pärast tee pööret paremale ja ristmikku**



Roopa andmed kaugusel 218,24-218,28 rada 1; sirge lõik, roopa sügavus suvisugis mõõtmistel vahemikus 3-9mm, suvised suuremad, aga kõikumised sarnased, erinevused kaldes. Objektile on näha klassikalise roopa algeid.

**Tabel 11. Objekti 3\_1\_34, roopa sügavus 2018. a km 218,24-218,28 rada 1 esmasel ja kordumõõtmisel**

| Objekti ID | rada | Algkm  | Lõppkm | mõõtmise kp | right_rut_position, cm | right_rut_depth, mm | left_rut_position, cm | left_rut_depth, mm | max_rut_position, cm | max_rut_depth, mm | track_width, cm | crossfall, % | track_area, cm <sup>2</sup> |
|------------|------|--------|--------|-------------|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------------------|
| 3_1_34     | 1    | 218,24 | 218,26 | 17.07.2018  | 91                     | 6                   | -92                   | 7                  | -84                  | 9                 | 180             | -29          | 94                          |
| 3_1_34     | 1    | 218,26 | 218,28 | 17.07.2018  | 81                     | 10                  | -67                   | 9                  | 1                    | 15                | 145             | -28          | 175                         |
| 3_1_34     | 1    | 218,24 | 218,26 | 20.11.2018  | 102                    | 4                   | -96                   | 4                  | 37                   | 5                 | 200             | -3           | 48                          |
| 3_1_34     | 1    | 218,26 | 218,28 | 20.11.2018  | 98                     | 9                   | -72                   | 6                  | 75                   | 11                | 163             | -2           | 141                         |

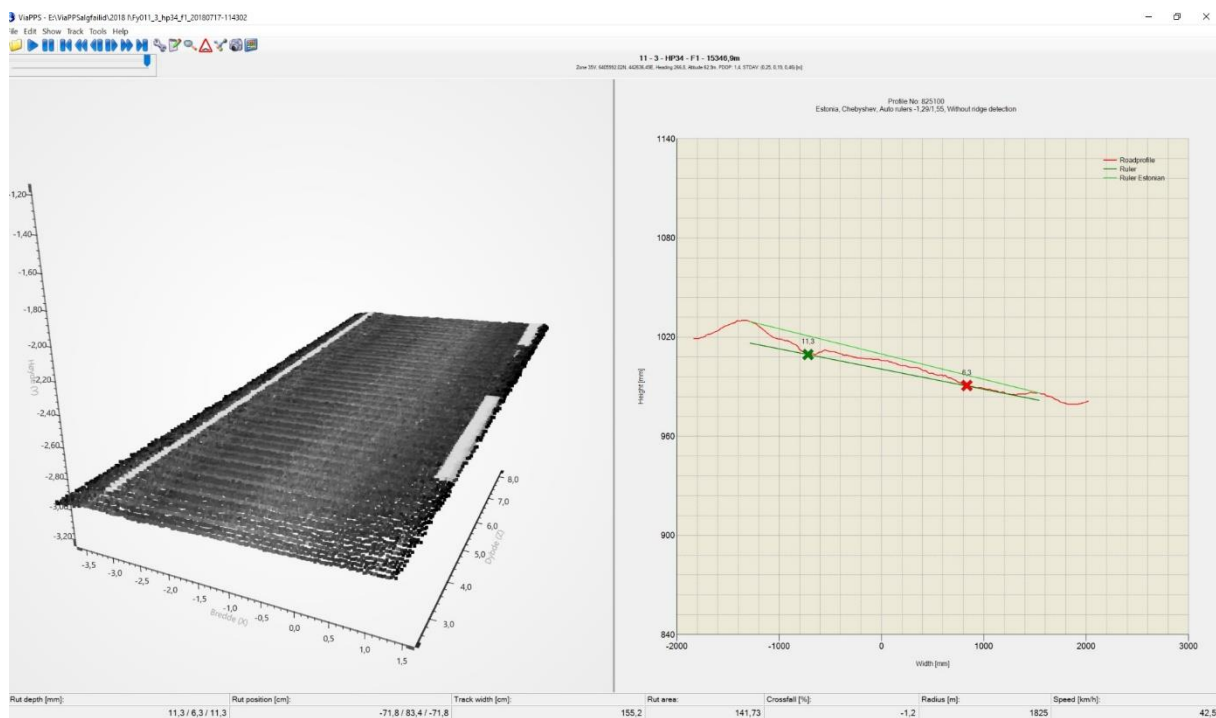


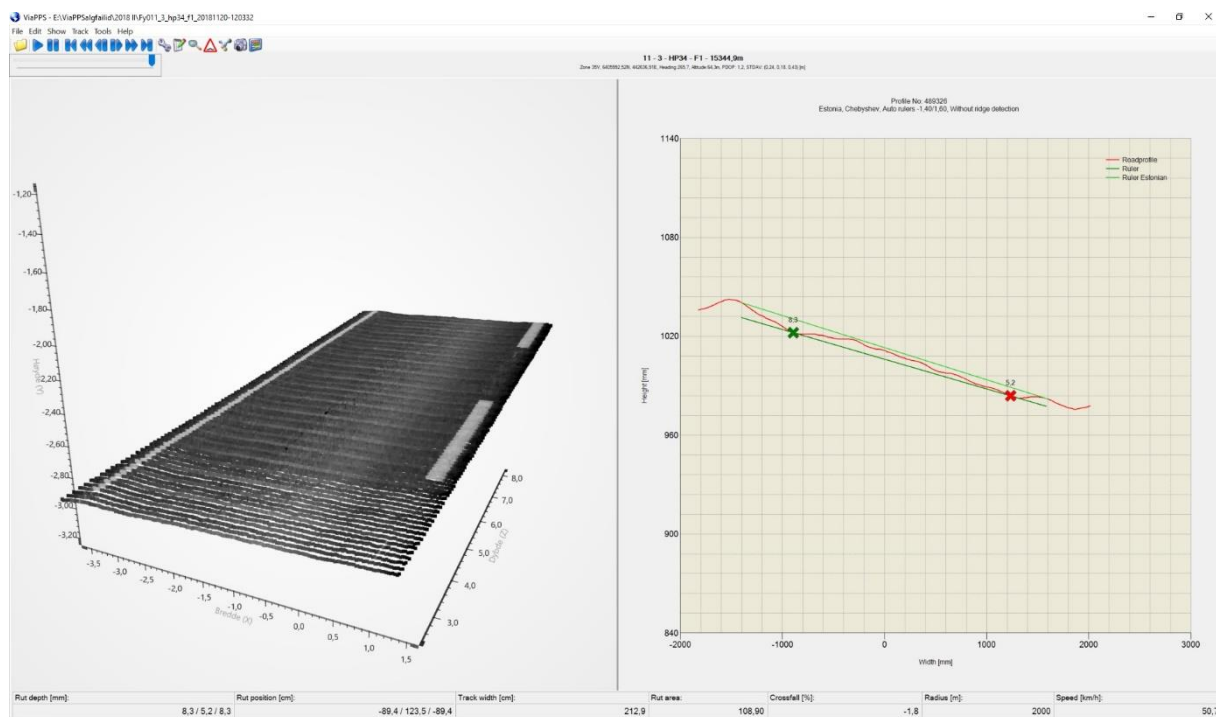
**Pilt 3. Objekt 3\_1\_34 km 218,24 rada 1**

Roopa andmed kaugusel km 219,28-219,3 rada 1; lõik Valga linnas, raskeliiklus, roobas kujunemas. Antud objekt on üks väheseid, kus võib näha klassikalise roopa algeid. Sellele viitab ka rattajälgede vahe – allolevatel piltidel 165...201cm.

**Tabel 12. Objekti 3\_1\_34, roopa sügavus 2018. a km 219,28-219,3 rada 1 esmasel ja korduvmõõtmisel**

| Objekti ID | rada | Algkm  | Löppkm | mõõtmise kp | right_rut_position, cm | right_rut_depth, mm | left_rut_position, cm | left_rut_depth, mm | max_rut_position, cm | max_rut_depth, mm | track_width, cm | crossfall, % | track_area, cm² |
|------------|------|--------|--------|-------------|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------|
| 3_1_34     | 1    | 219,28 | 219,3  | 17.07.2018  | 87                     | 6                   | -83                   | 10                 | -82                  | 13                | 165             | -1           | 143             |
| 3_1_34     | 1    | 219,28 | 219,3  | 20.11.2018  | 119                    | 7                   | -83                   | 11                 | -82                  | 13                | 201             | -2           | 157             |





Joonis 33. Objekt 3\_1\_34, 2018.a kordumõõtmine km 219,28 rada 1

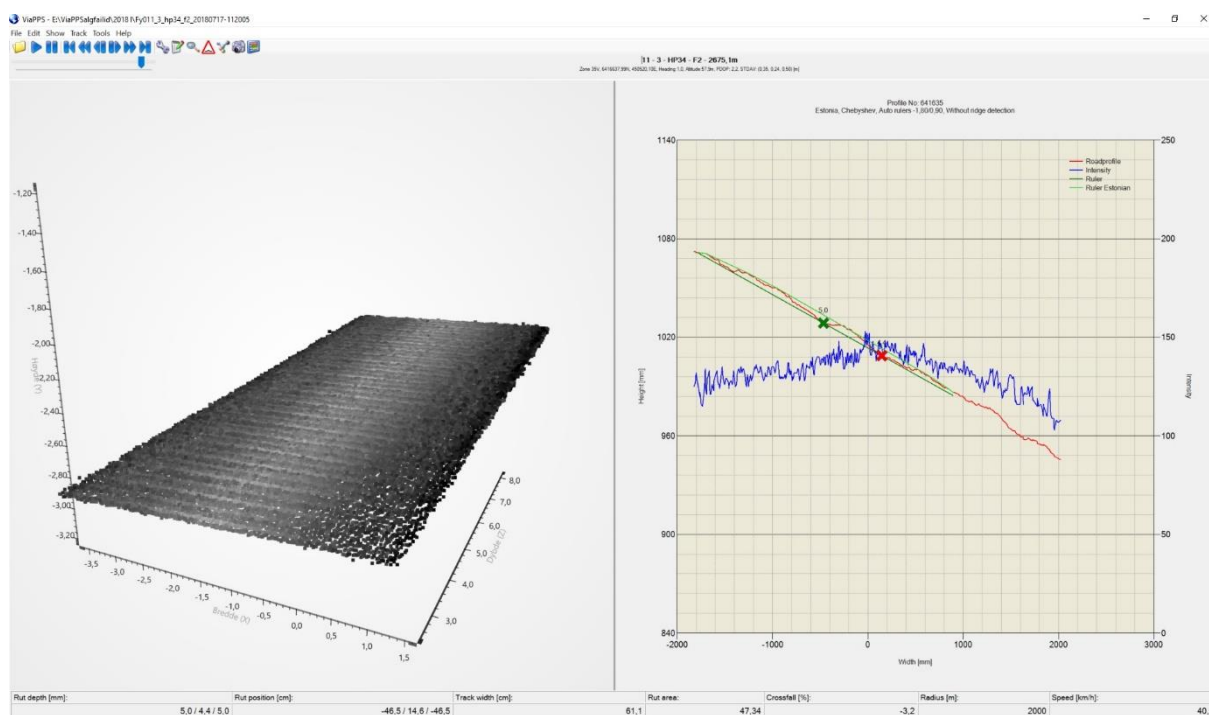
**Objekt 3\_1\_33 Jõhvi-Tartu-Valga km 204,0 - 209,0.** Roopa andmed kaugusel 205,04-205,06 rada 9; sirge lõik, roobas ühtlane mõlemal mõõtmisel, kordumõõtmisel vähenenud (4 mm-st 2 mm-ni)



Pilt 5. Objekt 3\_1\_33 km 205,04 rada 9

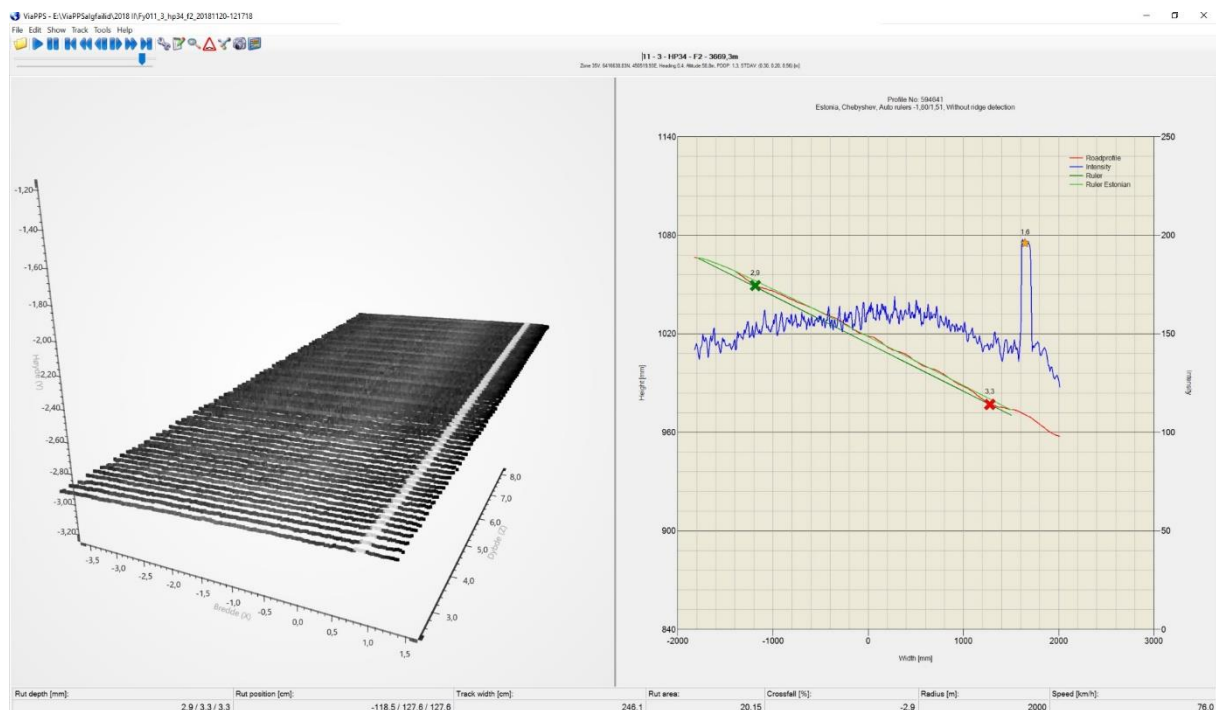
**Tabel 13. Objekti 3\_1\_33, roopa sügavus 2018. a km 204,0-209,0 rada 9 esmasel ja kordumõõtmisel**

| Objekti ID | rada | Algkm  | Lõppkm | mõõtmise kp | right_rut_position, cm | right_rut_depth, mm | left_rut_position, cm | left_rut_depth, mm | max_rut_position, cm | max_rut_depth, mm | track_width, cm | crossfall, % | track_area, cm <sup>2</sup> |
|------------|------|--------|--------|-------------|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------------------|
| 3_1_33     | 9    | 205,04 | 205,06 | 17.07.2018  | 117                    | 4                   | -83                   | 4                  | 39                   | 6                 | 197             | -3           | 38                          |
| 3_1_33     | 9    | 205,04 | 205,06 | 20.11.2018  | 83                     | 2                   | -95                   | 3                  | -51                  | 3                 | 178             | -3           | 25                          |



**Joonis 34. Objekt 3\_1\_33, 2018.a esmane mõõtmine km 205,04 rada 9**





Joonis 35. Objekt 3\_1\_33, 2018.a kordumõõtmine km 205,04 rada 9

**Objekt 92\_1\_4 Tartu-Viljandi-Kilingi=Nõmme km 28,26-35,193.** Roopa andmed kaugusel km 29,3-29,32 rada 9; sirge lõik, roopa sügavus suvi-sügis mõõtmistel vahemikus 3-9mm, suvised suuremad, aga kõikumised sarnased

Tabel 14. Objekti 92\_1\_4, roopa sügavus 2018. a km 29,3 rada 9 esmasel ja kordumõõtmisel

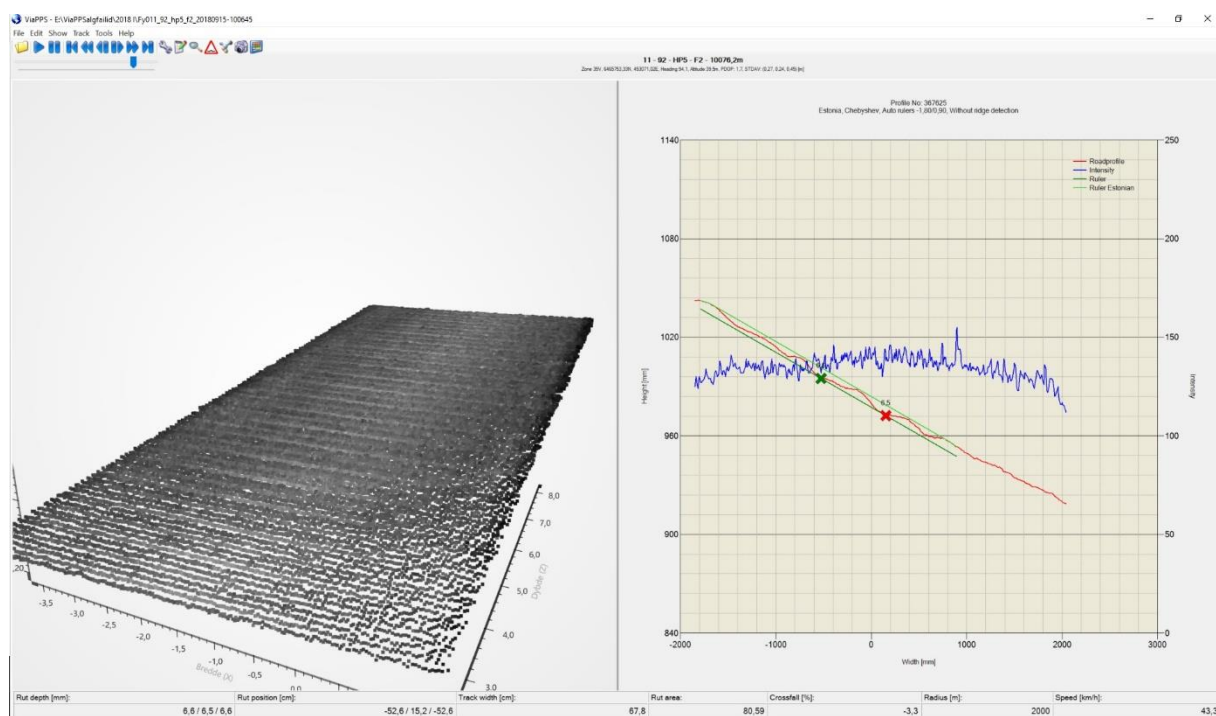
| Objekti ID | rada | Algkm | Lõppkm | mõõtmise kp | right_rut_position, cm | right_rut_depth, mm | left_rut_position, cm | left_rut_depth, mm | max_rut_position, cm | max_rut_depth, mm | track_width, cm | crossfall, % | track_area, cm <sup>2</sup> |
|------------|------|-------|--------|-------------|------------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------|--------------|-----------------------------|
| 92_1_4     | 9    | 29,3  | 29,32  | 15.09.2018  | 46                     | 7                   | -27                   | 6                  | 44                   | 8                 | 78              | -3           | 132                         |
| 92_1_4     | 9    | 29,3  | 29,32  | 20.11.2018  | 25                     | 5                   | -33                   | 5                  | 16                   | 7                 | 57              | -3           | 87                          |



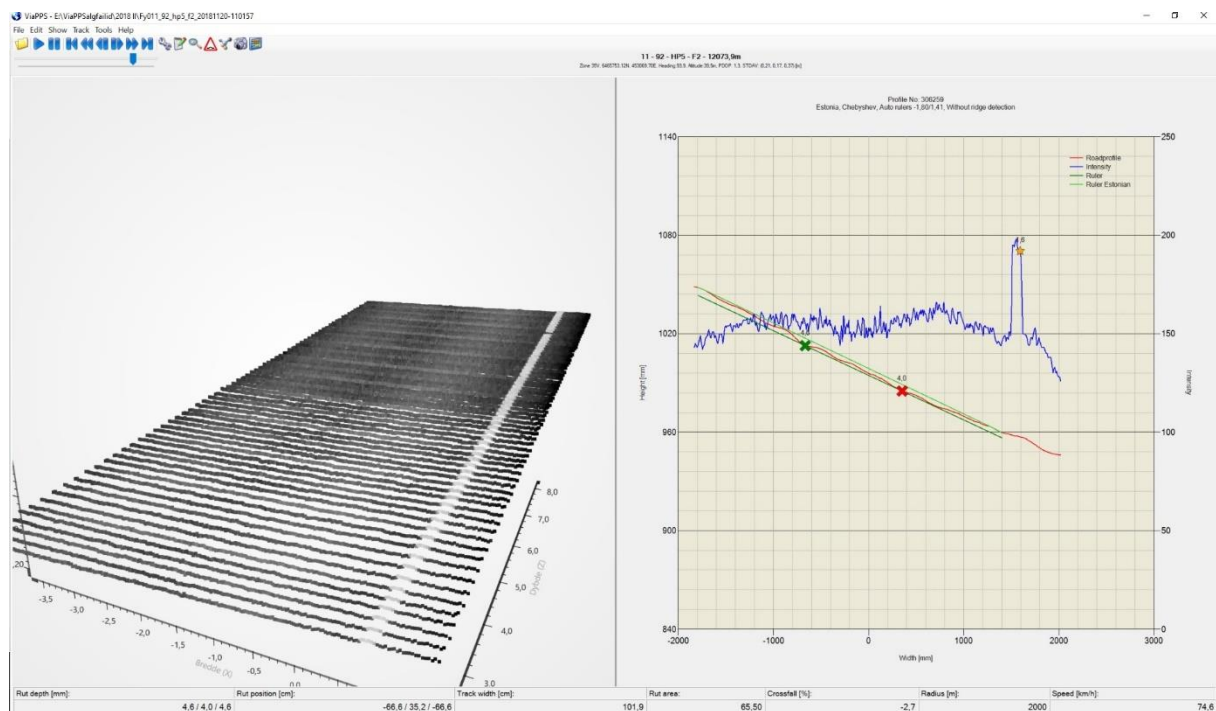
Pilt 6. Objekt 92\_1\_4 km 29,3 rada 9, 2018. a esmane mõõtmine



Pilt 7 Objekt 92\_1\_4 km 29,3 rada 9, 2018. a kordumõõtmine



Joonis 36. Objekt 92\_1\_4, 2018.a esmane mõõtmine km 29,3 rada 9



Joonis 37. Objekt 92\_1\_4, 2018.a korduvmõõtmine km 29,3 rada 9

## Algroopa sügavuse regressioonanalüüs

2017. aasta kate juures oli võimalik läbi viia regressioonanalüüs, et uurida kui palju mõjutavad algroobast kandevõime, segu tüübi, jäävpoorsuse ja liikluse näitajad. Selleks liideti mõõdetud roopa andmetele juurde 2018. aasta kandevõime mõõtmiste tulemused koos projekteeritud vajaliku kandevõime väärtustega. Iga objekti kohta on neid näitajaid graafiliselt koos võimalik näha Lisas 1.

Mudelite koostamisel hinnati erinevate näitajate mõju mudeli kvaliteedile. Kvaliteeti hinnati statistikute  $R^2$ , AIC ja p-väärtuse abil. Mudeli koostamisel välditi selliste näitajate valikut, mis omavahel korreleeruvad. Näiteks on vajaliku kandevõime ja liiklussageduse vahel korrelatsioon 0.81, mistõttu neid ei ole ühes mudelis koos kasutatud. Koostatud mudelid koos statistikutega on näha all olevas tabelis. Mudelite muutujate koefitsiendid on välja toodud Lisas 10.

Mudelitest on näha, et kandevõime, kandevõime puudujäägi ja algroopa vahel on olemas tugev seos. Need kaks näitajat koos annavad  $R^2$  väärtuseks 0.38 (mudel 4). Samuti on algroopa sügavusel tugev lineaarne seos jäävpoorsusega (mudel 5).

| <b>Mudel</b> |                                                                                                            | <b>R<sup>2</sup></b> | <b>AIC</b> | <b>p-väärtus</b> |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|------------------|
| <b>1</b>     | algruupa sügavus ~ Kandevõime erinevus protsent + segu + jäävpoorsus + SCI + liiklussagedus                | 0.733                | 430        | < 2.2e-16        |
| <b>2</b>     | algruupa sügavus ~ Kandevõime erinevus protsent + mõõdetud kandevõime + jäävpoorsus + SCI + liiklussagedus | 0.734                | 425        | < 2.2e-16        |
| <b>3</b>     | algruupa sügavus ~ mõõdetud kandevõime + vajalik kandevõime + jäävpoorsus + SCI + segu                     | 0.719                | 549        | < 2.2e-16        |
| <b>4</b>     | algruupa sügavus ~ mõõdetud kandevõime + kandevõime erinevus protsent                                      | 0.383                | 2269       | < 2.2e-16        |
| <b>5</b>     | algruupa sügavus ~ jäävpoorsus                                                                             | 0.455                | 2846       | < 2.2e-16        |



## **Roopa sügavused ja katte põikkalded erinevate arvutusmeetodite puhul 2018 aasta mõõtmiste põhjal**

Roopa sügavuse arvutusmeetodite erinevuste näitlikustamiseks teostati vastavad arvutused 2018. aastal valminud seitsme objekti mõõtmistulemustega. Roopa sügavuse mõõtmised on vaadeldavatel objektidel tehtud objektide valmimise ajal.

Valitud lõikude mõõtmised on tehtud erinevate põikiebatasasuste ja roopa sügavuse määramise meetoditega: profiili lõikav (*cutting wire*), profiili jälgiv (*wire*), põhjalatt (*bottom ruler*), regressioon ja CEN.

Eelpool nimetatud roopa sügavuse määramise meetodite kasutamine on piirkonniti/riigiti erinev ja saadavad tulemused on loomulikult erinevad. Igal meetodil on omad plussid ja miinused, kuid tulemuste võrreldavuse tagamiseks erinevate mõõtmiste vahel on oluline teostada mõõtmisi sama meetodiga. Samuti tuleb meetodite rakendamisel arvestada roopa põhja ja põikkalde mõõtmise iseärasustega, mistõttu lisaks roopa sügavusele annavad erinevad meetodid ka erineva põikkalde. Samuti mõjutab nii põikkalde kui roopa sügavuse mõõtmistulemust olulisel määral mõõtelati (või lattide) laius ning paigutus mõõtmisel. Lisaks sõltub mõõtmistulemus kasutatavast mõõteseadmest, sh mõõtmisel registreeritavate punktide arvust ja paiknemisest sõiduraja ristlõikes. Väikese punktitiheiduse korral (<50 punkti/meetri kohta) mõjutab mõõtmistulemust ka sõidutrajektoor.

Käesolevas uuringus on teostatud mõõtmised erinevate meetoditega võrreldavuse huvides sama mõõtelaiuse juures, milleks on Eestis kasutatav 3,6 m (Põhjamaades sageli 3,2 m), kusjuures joonitud teedel võetakse arvesse sõiduraja joonte vaheline laius.

Käesolevas töös ei ole käsitletud põikkalde ja roopa sügavuse mõõtmist Eestis tavapärase 3m lati ja kiilu abil – järgnevad selgitused näitavad, et selle mõõtmise tulemused ei ole võrreldavad alltoodud mõõtmiste tulemustega, seda nii lati pikkuse kui asetuse erinevuse tõttu, mistõttu antud meetod ei sobi ka tulemuste võrdlemiseks ja kontrollimiseks.

Järgnevas tabelis on toodud erinevate arvutusmeetoditega saadud keskmised roopa sügavused vaadeldavatel objektidel. Kõikide meetodite puhul arvestati ühesuguse mõõtelaiusega 3,6 m (1,8 m + 1,8 m).

**Tabel 15. Keskmised roopa sügavused erinevate arvutusmeetoditega, mõõtelaius 3,6 m**

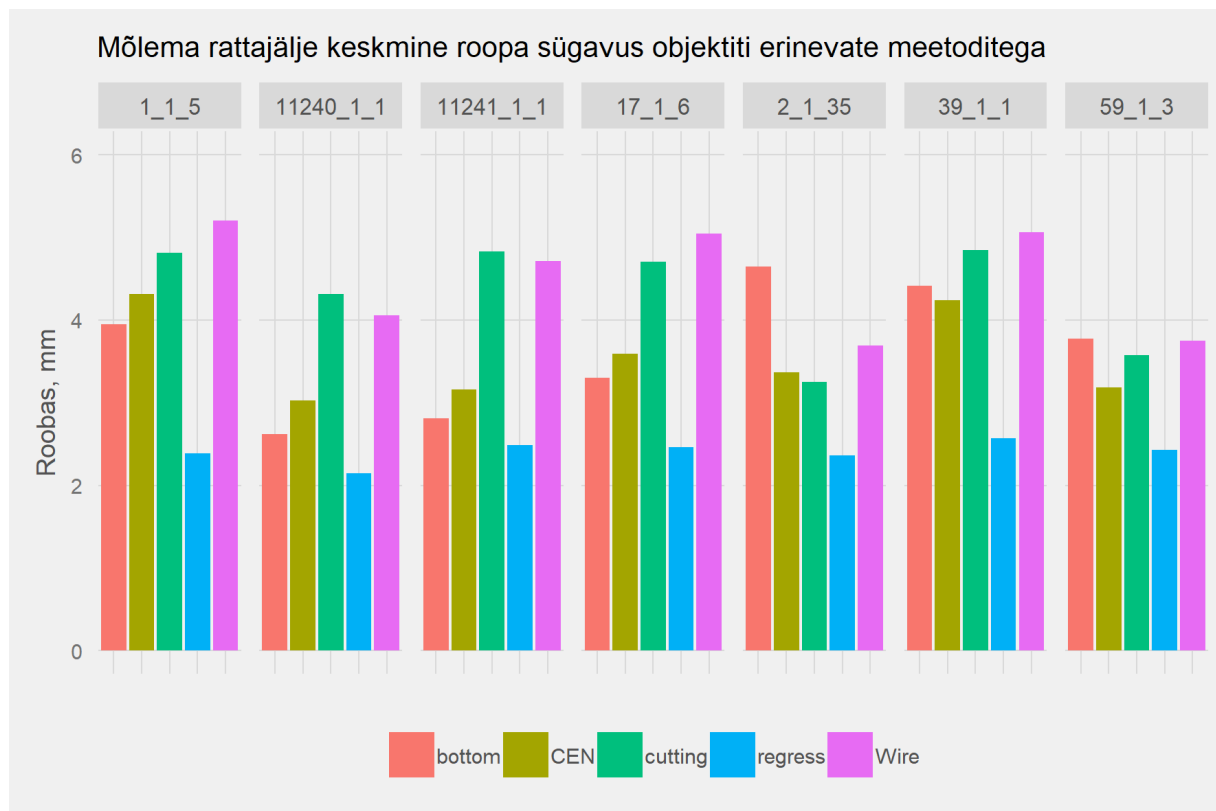
| Objekti ID                        | Objekti kirjeldus                             | remondi liik  | Roopa sügavused erinevate meetodite puhul, mm |             |             |             |             |
|-----------------------------------|-----------------------------------------------|---------------|-----------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                                   |                                               |               | cutting                                       | regression  | wire        | bottom      | CEN         |
| 1_1_5                             | 1 Tallinn – Narva km 39,02-40,2               | pealmine kiht | 5,35                                          | 2,38        | 5,42        | 4,01        | 4,37        |
| 2_1_35                            | 2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 207,61-210,99 | pealmine kiht | 3,25                                          | 2,34        | 3,70        | 4,65        | 3,37        |
| 17_1_6                            | 17 Keila-Haapsalu km 25,36-34,8               | uus kate      | 5,13                                          | 2,46        | 5,19        | 3,35        | 3,59        |
| 39_1_1                            | 39 Tartu- Jõgeva- Aravete km 0-5,201          | pealmine kiht | 4,88                                          | 2,60        | 5,11        | 4,73        | 4,24        |
| 59_1_3                            | 59 Pärnu-Tori km 5,9-12,1                     | uus kate      | 3,65                                          | 2,74        | 3,83        | 5,03        | 3,18        |
| 11240_1_1                         | 11240 Tõdva-Hageri km 3,796-4,675             | pealmine kiht | 4,43                                          | 2,31        | 4,48        | 3,55        | 3,04        |
| 11241_1_1                         | 11241 Kasemetsa-Kiisa km 0-2,773              | pealmine kiht | 4,96                                          | 2,51        | 5,03        | 3,69        | 3,16        |
| <b>Keskmine roopa sügavus, mm</b> |                                               |               | <b>4,51</b>                                   | <b>2,50</b> | <b>4,66</b> | <b>4,08</b> | <b>3,50</b> |

Roopa sügavused on viidud lõigu pikkusele 20 meetrit. Nendes tulemustes esineb ühtlasest tasemest kõrvalekaldeid enim *bottom* meetodi tulemustes (vt järgnev tabel).

**Tabel 16. Roopa sügavuse standardhälbed erinevate meetodite puhul**

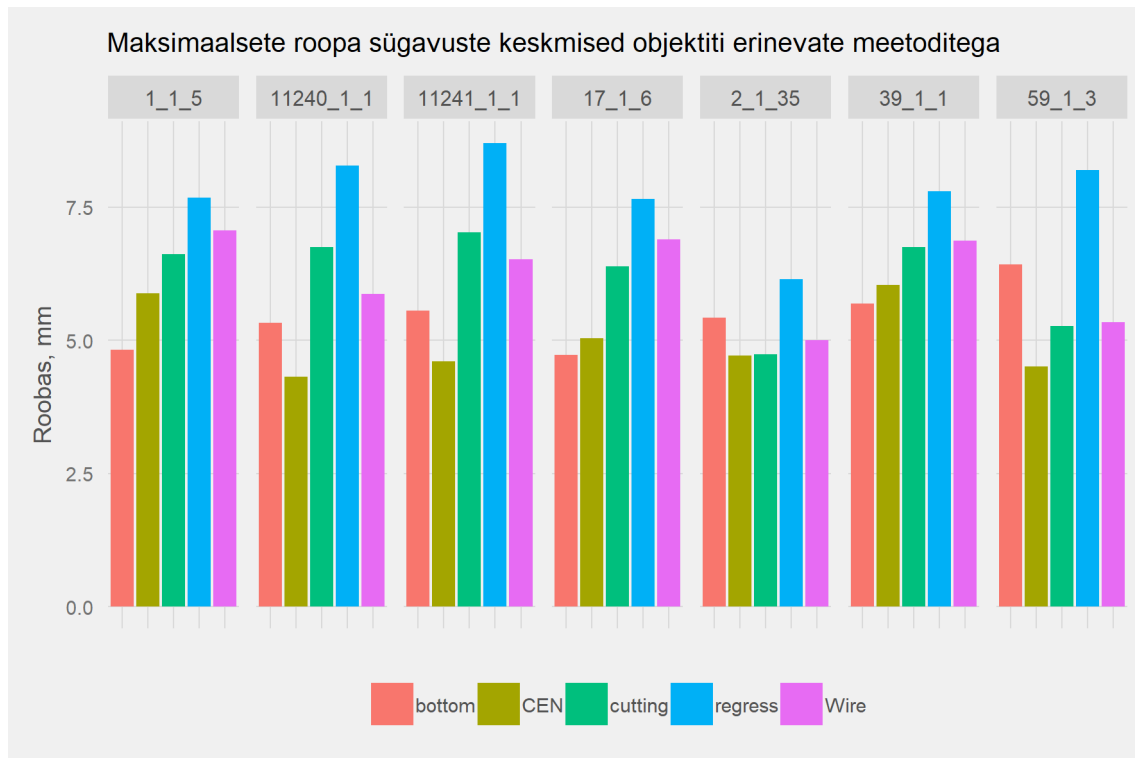
| Objekti ID | Meetodite tulemuste standardhälbed |     |         |            |      |
|------------|------------------------------------|-----|---------|------------|------|
|            | bottom                             | CEN | cutting | regression | wire |
| 1_1_5      | 0,8                                | 0,8 | 0,6     | 0,3        | 0,6  |
| 11240_1_1  | 2,9                                | 0,3 | 1,2     | 1,3        | 1,2  |
| 11241_1_1  | 2,4                                | 0,4 | 1,1     | 0,9        | 1,0  |
| 17_1_6     | 0,7                                | 0,4 | 0,7     | 0,3        | 0,7  |
| 2_1_35     | 0,4                                | 0,2 | 0,3     | 0,2        | 0,2  |
| 39_1_1     | 1,4                                | 0,6 | 0,5     | 0,6        | 0,5  |
| 59_1_3     | 3,4                                | 0,5 | 1,0     | 1,8        | 0,9  |

Kõige väiksema roopa sügavuse annab regressioon arvutusmeetod. Suhteliselt sarnased on uute katete korral tulemused profiili lõikava (*cutting*) ja profiili jälgiva (*wire*) meetodi kasutamisel.



**Joonis 38. Keskmsed roopa sügavused erinevate arvutusmeetodite puhul, mõõtelaius 3,6 m**

Roopa sügavuste erinevus erinevate arvutusmeetodite kasutamisel võib olla väga suur. Vaadeldavate objektide puhul on objektil 59\_1\_3 *bottom* meetodi puhul suurim roopa sügavus kuni 35 mm, *wire* meetodi kasutamisel kuni 6 mm (vt järgnev joonis).



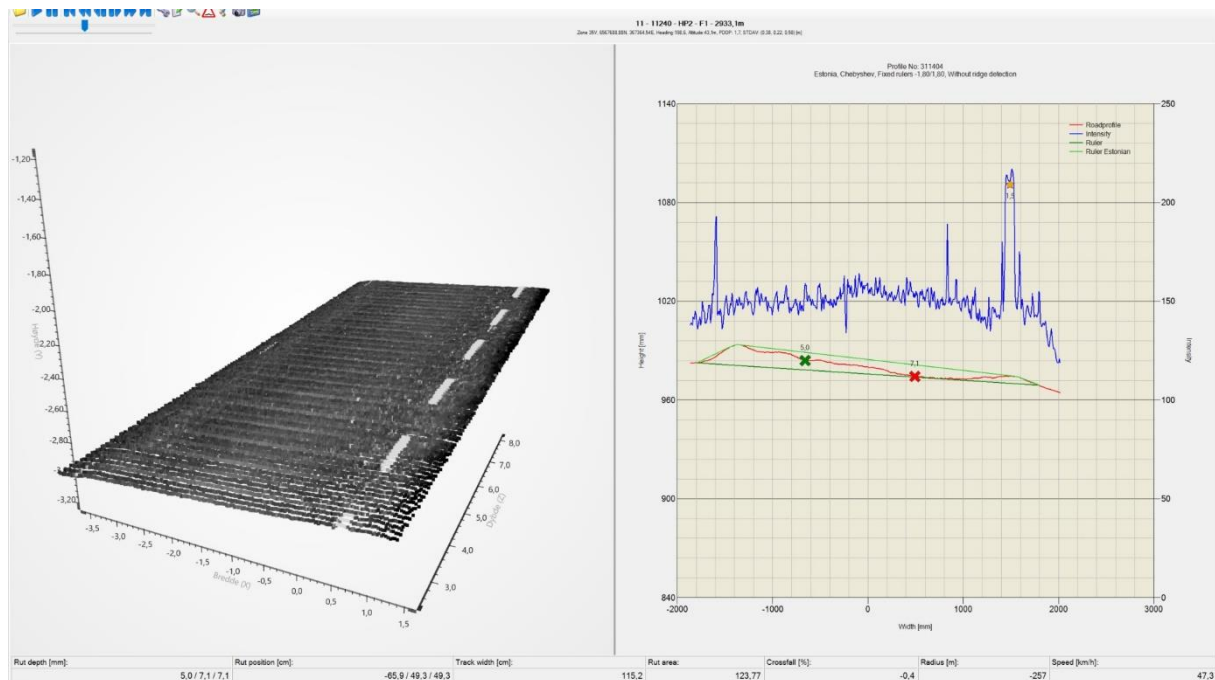
**Joonis 39. Suurimad roopa sügavused erinevate arvutusmeetodite puhul, mõõtelaius 3,6 m**

Vaadeldavad objektid on uued. Klassikaline roobas (rattajälgedes) nendel katetel üldjuhul tekkinud veel ei ole. Mõõtmistulemustena saadav roopa sügavused väljendavad katete põikiebatasasusi. Eestis kasutatava mõõtelaiuse korral arvestab nii *bottom* kui regressioon meetod roopaks ka katte paigalduse vuugi kohta, *cutting* meetod aga mitte (vt järgnevad joonised ja pilt).

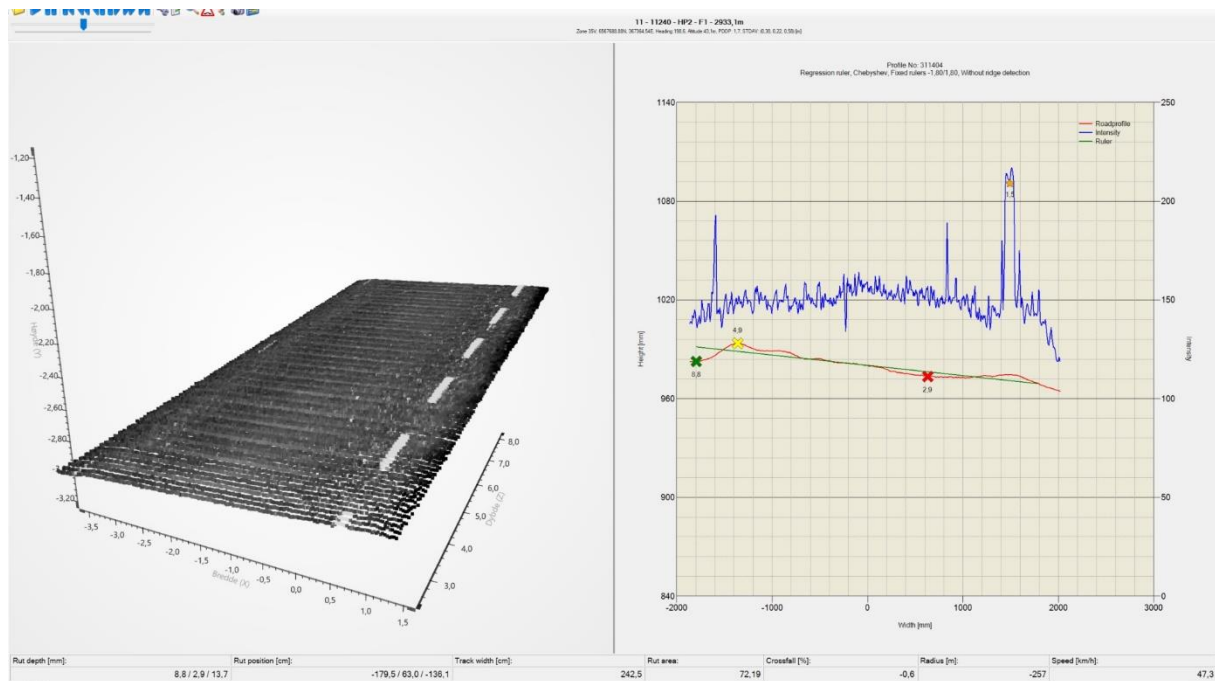


**Pilt 8. Objekt 11240\_1\_1 kaugusel 6830 m**

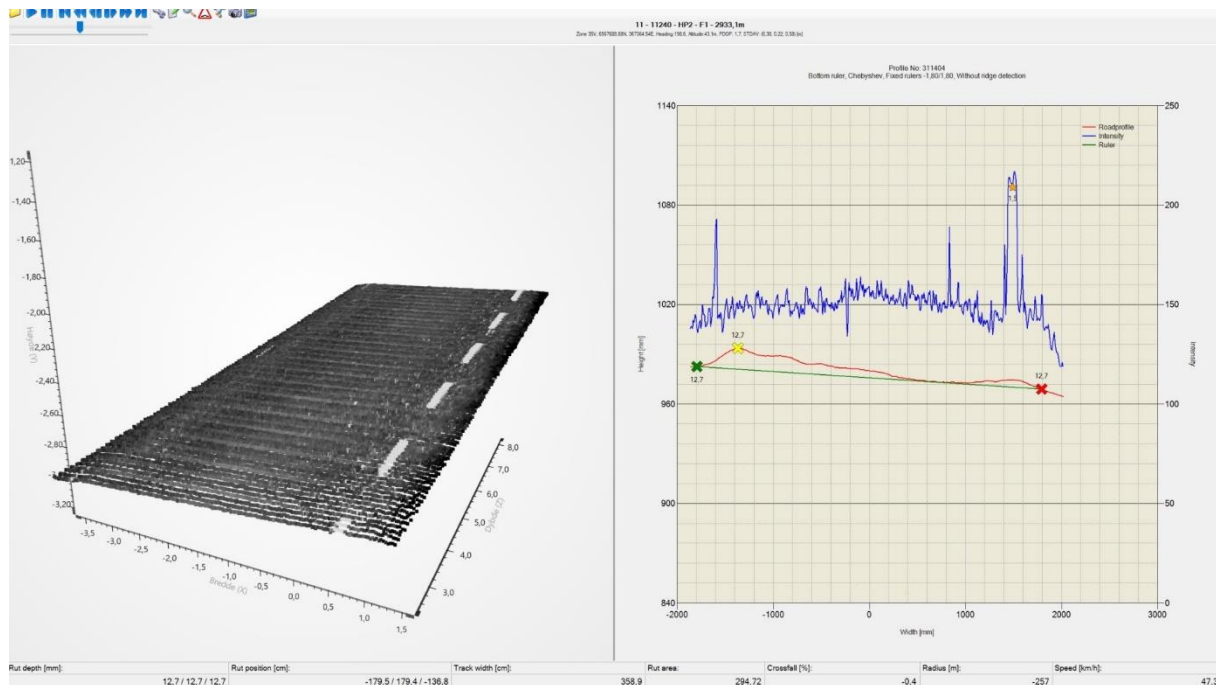
## Põikiebatasuste arengu analüüs 2012, 2017, 2018 katete põhjal



Joonis 40. Roopa sügavus *cutting* meetodiga objektil 11240\_1\_1

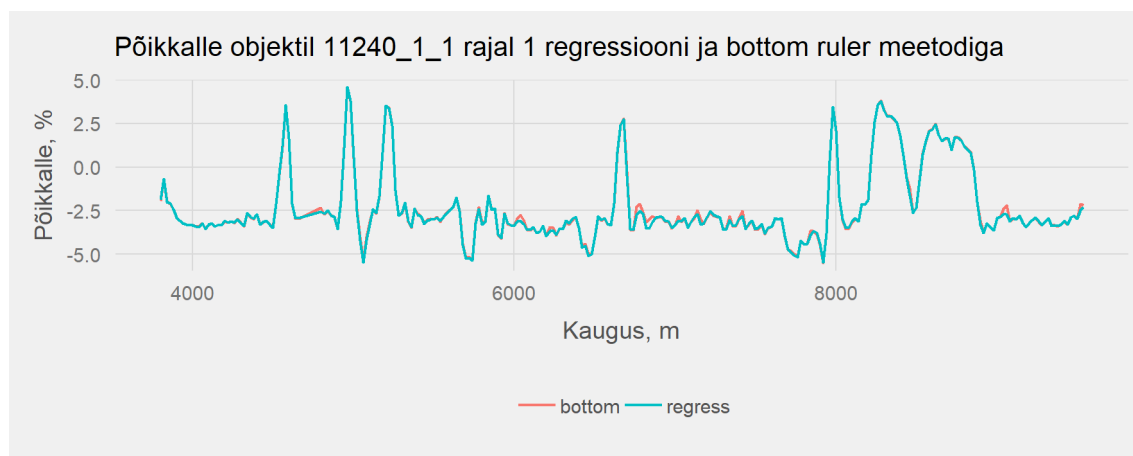


Joonis 41. Roopa sügavus *regression* meetodiga objektil 11240\_1\_1



**Joonis 42. Roopa sügavus *bottom* meetodiga objektil 11240\_1\_1**

Põikkalded on nii põhjalati kui regressioonmeetodiga arvatatuna sarnased, erinevused on minimaalsed (vt järgnev joonis).



**Joonis 43. Objekti 11240\_1\_1 *bottom* ja *regression* meetodiga leitud põikkalded**

## 2018 mõõtmiste kokkuvõte

2018 mõõtmised näitasid, et mõõtmiste ajahetke mõju algroopa suurusele on samal aastal minimaalne. Samuti näitas analüüs, et erinevad meetodid võivad anda väga erinevad roopa sügavuse väärtused, st. tulemuste võrreldavuse huvides tuleb mõõtmismeetod väga täpselt kirjeldada.

# Põikiebatasasuste arengu analüüs 2012, 2017, 2018 katete põhjal

**Tabel 17. 2017 -2018 aasta andmete tabel (1)**

| Obj nr | Obj_ID    | Obj kirjeldus                                                  | stee | km1   | km2   | piikus  | TO1  | kaugus1 | TO2  | kaugus2 | JOONITUD | MOOTM_KPV 2017 | JP_R1_radar | JP_R2_radar | TIH_R1_radar | TIH_R2_radar | MAHUM_radar | ERIM_radar | SEGU            |
|--------|-----------|----------------------------------------------------------------|------|-------|-------|---------|------|---------|------|---------|----------|----------------|-------------|-------------|--------------|--------------|-------------|------------|-----------------|
| 2      | 2_1_11    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 77,96 - 81,27                 | 1    | 78.0  | 81.3  | 3314.0  | 11.0 | 34.0    | 11.0 | 3348.0  |          | 16.08.2017     | 3.6         | 3.4         | 1.0          | 1.0          | 2480.0      | 2546.0     | AC16surf 70/100 |
| 3      | 2_1_15    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 107,949 - 114,531             | 1    | 108.0 | 114.6 | 6583.0  | 15.0 | 7893.0  | 16.0 | 4557.0  |          | 16.08.2017     | 3.6         | 3.5         | 1.0          | 1.0          | 2488.0      | 2549.0     | AC16surf 70/100 |
| 4      | 2_1_40    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 247,984-249,599               | 1    | 247.9 | 249.5 | 1602.0  | 40.0 | 6465.0  | 40.0 | 8067.0  |          | 28.06.2017     | 2.7         | 2.8         | 1.0          | 1.0          | 2476.0      | 2521.0     | AC16surf 70/100 |
| 5      | 5_1_3     | #5 Pärnu-Rakvere-Sõmeru km 16,1-21,7                           | 1    | 16.1  | 21.7  | 5623.0  | 3.0  | 6520.0  | 3.0  | 12143.0 |          | 08.07.2017     | 5.3         | 5.3         | 1.0          | 1.0          | 2465.0      | 2514.0     | AC16surf 70/100 |
| 6      | 10_1_2    | #10 Risti - Virtsu - Kuivastu - Kuressaare, km 11,062 - 21,435 | 1    | 11.1  | 21.4  | 10373.0 | 2.0  | 231.0   | 3.0  | 2243.0  | 1.0      | 09.08.2017     | 3.1         | 3.0         | 1.0          | 1.0          | 2456.0      | 2507.0     | AC16surf 70/100 |
| 7      | 15_1_12   | #15 Tallinn-Rapla-Türi km 35,8-37,126                          | 1    | 35.8  | 37.1  | 1324.0  | 12.0 | 2130.0  | 13.0 | 226.0   |          | 10.08.2017     | 2.7         | 3.0         | 1.0          | 1.0          | 2444.0      | 2489.0     | AC16surf 70/100 |
| 8      | 17_1_3    | #17 Keila - Haapsalu km 6.1 - 8.5                              | 1    | 6.2   | 8.5   | 2342.0  | 3.0  | 42.0    | 3.0  | 2384.0  |          | 10.06.2017     | 3.1         | 3.2         | 1.0          | 1.0          | 2462.0      | 2521.0     | AC16surf 70/100 |
| 9      | 36_1_4    | #36 Jõgeva - Mustvee km 25,7 - 33,7                            | 1    | 25.7  | 33.7  | 7943.0  | 4.0  | 160.0   | 4.0  | 8103.0  |          | 28.08.2017     | 3.0         | 2.9         | 1.0          | 1.0          | 2440.0      | 2501.0     | AC16surf 70/100 |
| 10     | 49_1_8    | #49 Imavere-Viljandi-Karksi-Nuia km 47,979-49,119              | 1    | 48.0  | 49.1  | 1118.0  | 8.0  | 3888.0  | 8.0  | 5006.0  |          | 21.07.2017     | 2.4         | 2.7         | 1.0          | 1.0          | 2450.0      | 2494.0     | AC16surf 70/100 |
| 11     | 52_1_1    | #52 Viljandi-Rõngu km 0,1-3,1                                  | 1    | 0.3   | 3.1   | 2830.0  | 1.0  | 275.0   | 2.0  | 319.0   | 0.5      | 21.07.2017     | 3.3         | 3.1         | 1.0          | 1.0          | 2435.0      | 2496.0     | AC16surf 70/100 |
| 12     | 52_1_2    | #52 Viljandi-Rõngu km 3,1-7,0                                  | 1    | 3.1   | 7.0   | 3911.0  | 2.0  | 319.0   | 3.0  | 426.0   | 0.5      | 21.07.2017     | 1.8         | 1.8         | 1.0          | 1.0          | 2490.0      | 2527.0     | AC20surf160/220 |
| 13     | 1_1_5     | #1 Tallinn - Narva km 39,02-40,2                               | 1    | 39.0  | 40.2  | 1194.0  | 5.0  | 1996.0  | 5.0  | 3190.0  | 0.5      | 03.08.2018     | 2.4         | 2.5         | 1.0          | 1.0          | 2486.0      | 2542.0     | AC16surf 70/100 |
| 14     | 2_1_35    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 207,61-210,99                 | 1    | 207.6 | 211.0 | 3385.0  | 35.0 | 723.0   | 35.0 | 4108.0  |          | 20.09.2018     | 3.4         | 3.2         | 1.0          | 1.0          | 2411.0      | 2466.0     | AC16surf 70/100 |
| 15     | 3_1_6     | #3 Jõhvi-Tartu-Valga teelõigu km 18,0-18,8                     | 1    | 18.0  | 18.8  | 834.0   | 6.0  | 3519.0  | 6.0  | 4353.0  | 0.5      | 21.05.2018     | 3.6         | 3.3         | 1.0          | 1.0          | 2424.0      | 2475.0     | AC16surf 70/100 |
| 16     | 3_1_9     | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 50,3 - 61,3                            | 1    | 50.3  | 61.3  | 10982.0 | 9.0  | 11417.0 | 11.0 | 4575.0  | 1.0      | 04.08.2018     | 1.5         | 1.4         | 1.0          | 1.0          | 2437.0      | 2479.0     | AC16surf 70/100 |
| 17     | 3_1_21    | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 138.300-139.90                         | 1    | 138.3 | 139.4 | 1080.0  | 21.0 | 708.0   | 22.0 | 954.0   |          | 15.09.2018     | 2.9         | 2.6         | 1.0          | 1.0          | 2492.0      | 2538.0     | AC16surf 70/100 |
| 18     | 3_1_33    | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 204,0 - 209,00                         | 1    | 203.9 | 209.0 | 5055.0  | 33.0 | 2865.0  | 33.0 | 7920.0  |          | 17.07.2018     | 2.1         | 2.2         | 1.0          | 1.0          | 2482.0      | 2521.0     | AC16surf 70/100 |
| 19     | 3_1_34    | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 209,0 - 219,671                        | 1    | 209.0 | 219.4 | 10404.0 | 33.0 | 7920.0  | 35.0 | 1477.0  | 1.0      | 17.07.2018     | 2.2         | 2.4         | 1.0          | 1.0          | 2469.0      | 2516.0     | AC16surf 70/100 |
| 20     | 17_1_6    | #17 Keila-Haapsalu km 25,36-34,8                               | 1    | 25.3  | 34.8  | 9447.0  | 6.0  | 557.0   | 6.0  | 10004.0 | 0.5      | 09.08.2018     | 3.7         | 3.9         | 1.0          | 1.0          | 2437.0      | 2474.0     | AC16surf 70/100 |
| 21     | 39_1_1    | #39 Tartu- Jõgeva- Aravete km 0-5,201                          | 1    | 0.0   | 5.2   | 5218.0  | 1.0  | 0.0     | 1.0  | 5218.0  |          | 29.05.2018     | 3.3         | 3.3         | 1.0          | 1.0          | 2491.0      | 2529.0     | AC16surf 70/100 |
| 22     | 45_1_15   | #45 Tartu - Râpina - Vârska km 78,252 - 85,613                 | 1    | 78.4  | 85.6  | 7253.0  | 15.0 | 708.0   | 15.0 | 7961.0  | 1.0      | 14.09.2018     | 3.3         | 3.1         | 1.0          | 1.0          | 2419.0      | 2473.0     | AC16surf 70/100 |
| 23     | 59_1_3    | #59 Pärnu-Tori km 5,9-12,1                                     | 1    | 6.2   | 12.3  | 6077.0  | 3.0  | 532.0   | 3.0  | 6609.0  |          | 11.07.2018     | 2.5         | 2.6         | 1.0          | 1.0          | 2449.0      | 2472.0     | AC16surf 70/100 |
| 24     | 63_1_1    | #63 Karisilla - Petseri km 0,0 - 3,18                          | 1    | 0.0   | 3.2   | 3225.0  | 1.0  | 0.0     | 1.0  | 3225.0  | 1.0      | 14.09.2018     | 3.8         | 3.6         | 1.0          | 1.0          | 2413.0      | 2472.0     | AC16surf 70/100 |
| 25     | 92_1_4    | #92 Tartu - Viljandi - Killingi-Nõmme km 28.260-35.193         | 1    | 28.5  | 35.2  | 6739.0  | 4.0  | 6467.0  | 5.0  | 5224.0  |          | 15.09.2018     | 3.7         | 2.9         | 1.0          | 1.0          | 2457.0      | 2484.0     | AC16surf 70/100 |
| 26     | 1163_1_1  | #1163 km 18 Iõunapoolne kogujatee (1.915km)                    | 1    | 0.0   | 1.9   | 1915.0  | 1.0  | 0.0     | 1.0  | 1915.0  |          | 05.06.2018     | 3.4         | 3.5         | 1.0          | 1.0          | 2462.0      | 2521.0     | AC16surf 70/100 |
| 27     | 11125_1_1 | #11125 Perila-Jäneda km 0-5,7                                  | 1    | 0.0   | 10.6  | 10626.0 | 1.0  | 0.0     | 1.0  | 10626.0 |          | 17.08.2018     | 3.1         | 3.0         | 1.0          | 1.0          | 2445.0      | 2507.0     | AC16surf 70/100 |
| 28     | 11240_1_1 | #11240 Tõdva-Hageri km 3,796-4,675                             | 1    | 3.8   | 9.5   | 5745.0  | 1.0  | 4792.0  | 5.0  | 67.0    | 1.0      | 28.06.2018     | 2.6         | 2.5         | 1.0          | 1.0          | 2425.0      | 2472.0     | AC16surf 70/100 |
| 29     | 11241_1_1 | #11241 Kasemetsa-Klisa km 0-2,773                              | 1    | 0.0   | 2.8   | 2766.0  | 1.0  | 0.0     | 1.0  | 2766.0  | 1.0      | 28.06.2018     | 2.5         | 2.5         | 1.0          | 1.0          | 2425.0      | 2472.0     | AC16surf 70/100 |

# Põikiebatasasuste arengu analüüs 2012, 2017, 2018 katete põhjal

**Tabel 18. 2017 -2018 aasta andmete tabel (2)**

| Obj nr | Obj_ID    | Obj_kirjeldus                                                  | MAHUM_r<br>etsept | ERIM_r<br>etsept | VMA_re<br>tsept | V_retse<br>pt | VFB_r<br>etsept | V10G_r<br>tsept | WT<br>S_r<br>etsept | PRD_ret<br>sept | Abr_retse<br>pt | An_retsept | cutting    | wire       | bottom     | regr       | CEN        | 2018_II    | Töö           |
|--------|-----------|----------------------------------------------------------------|-------------------|------------------|-----------------|---------------|-----------------|-----------------|---------------------|-----------------|-----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| 2      | 2_1_11    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 77,96 - 81,27                 | 2490.0            | 2553.0           | 15.9            | 3.7           | 77.1            | 13.2            | 0.0                 | 4.2             | 22.0            | 7.0        | 16.08.2017 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 3      | 2_1_15    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 107,949 - 114,531             | 2490.0            | 2553.0           | 15.9            | 3.7           | 77.1            | 13.2            | 0.0                 | 4.2             | 22.0            | 7.0        | 16.08.2017 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 4      | 2_1_40    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 247,984-249,599               | 2524.0            | 2574.0           | 14.1            | 1.9           | 86.2            | 12.8            | 0.1                 | 6.1             | 21.0            | 10.0       | 28.06.2017 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 5      | 5_1_3     | #5 Pärnu-Rakvere-Sõmeru km 16,1-21,7                           | 2455.0            | 2518.0           | 15.3            | 2.5           | 83.7            | 11.2            | 0.1                 | 7.9             | 34.0            | 14.0       | 08.07.2017 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 6      | 10_1_2    | #10 Risti - Virtsu - Kuivastu - Kuressaare, km 11,062 - 21,435 | 2401.0            | 2471.0           | 15.6            | 2.8           | 81.8            | 8.1             | 0.1                 | 5.1             | 32.0            | 14.0       | 16.08.2017 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 7      | 15_1_12   | #15 Tallinn-Rapla-Türi km 35,8-37,126                          | 2456.0            | 2546.0           | 16.1            | 3.6           | 77.9            | 13.7            | 0.1                 | 4.8             | 37.0            | 10.0       | 10.08.2017 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 8      | 17_1_3    | #17 Keila - Haapsalu km 6.1 - 8.5                              | 2416.0            | 2520.0           | 17.2            | 4.1           | 76.0            | 15.4            | 0.0                 | 3.9             | 34.0            | 14.0       | 10.06.2017 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 9      | 36_1_4    | #36 Jõgeva - Mustvee km 25,7 - 33,7                            | 2425.0            | 2464.0           | 13.7            | 1.6           | 88.4            | 8.3             | 0.1                 | 7.5             | 43.0            | 19.0       | 28.08.2017 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 10     | 49_1_8    | #49 Imavere-Viljandi-Karksi-Nuia km 47,979-49,119              | 2492.0            | 2531.0           | 14.7            | 1.5           | 89.6            | 9.5             | 0.1                 | 8.6             | 31.0            | 10.0       | 21.07.2017 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 11     | 52_1_1    | #52 Viljandi-Rõngu km 0,1-3,1                                  | 2492.0            | 2531.0           | 14.7            | 1.5           | 89.6            | 9.5             | 0.1                 | 8.6             | 31.0            | 10.0       | 21.07.2017 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 12     | 52_1_2    | #52 Viljandi-Rõngu km 3,1-7,0                                  | 2455.0            | 2495.0           | 13.4            | 1.6           | 87.9            | 8.3             | 0.1                 | 6.1             | 30.0            |            | 21.07.2017 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 13     | 1_1_5     | #1 Tallinn - Narva km 39,02-40,2                               | 2457.0            | 2550.0           | 15.9            | 3.7           | 77.1            | 13.2            | 0.1                 | 5.5             | 21.0            | 7.0        | 03.08.2018 | 03.08.2018 | 03.08.2018 | 03.08.2018 | 03.08.2018 | 22.11.2018 | pealmine kiht |
| 14     | 2_1_35    | #2 Tallinn-Tartu-Võru-Luhamaa km 207,61-210,99                 | 2462.0            | 2508.0           |                 | 1.9           |                 |                 | 0.2                 | 9.9             | 38.0            | 14.0       | 20.09.2018 | 20.09.2018 | 20.09.2018 | 20.09.2018 | 20.09.2018 |            | pealmine kiht |
| 15     | 3_1_6     | #3 Jõhvi-Tartu-Valga teelõigu km 18,0-18,8                     | 2488.0            | 2573.0           | 15.4            | 1.9           | 87.4            | 9.6             | 0.2                 | 12.3            | 24.0            | 14.0       | 21.05.2018 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 16     | 3_1_9     | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 50,3 - 61,3                            | 2428.0            | 2480.0           | 14.2            | 2.1           | 85.3            | 10.9            | 0.1                 | 8.8             | 30.0            | 14.0       | 04.08.2018 |            |            |            |            | 21.11.2018 | pealmine kiht |
| 17     | 3_1_21    | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 138.300-139.90                         | 2524.0            | 2574.0           | 14.1            | 1.9           | 86.2            | 12.8            | 0.1                 | 6.1             | 21.0            | 7.0        | 15.09.2018 |            |            |            |            |            | pealmine kiht |
| 18     | 3_1_33    | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 204,0 - 209,00                         | 2457.0            | 2525.0           | 15.7            | 2.7           | 82.9            |                 | 0.1                 | 7.1             | 27.0            | 14.0       | 17.07.2018 |            |            |            |            | 20.11.2018 | pealmine kiht |
| 19     | 3_1_34    | #3 Jõhvi-Tartu-Valga km 209,0 - 219,671                        | 2457.0            | 2525.0           | 15.7            | 2.7           | 82.9            |                 | 0.1                 | 7.1             | 27.0            | 14.0       | 17.07.2018 |            |            |            |            | 20.11.2018 | pealmine kiht |
| 20     | 17_1_6    | #17 Keila-Haapsalu km 25,36-34,8                               | 2439.0            | 2476.0           | 14.4            | 1.5           | 89.7            | 7.8             | 0.1                 | 8.2             | 38.0            | 19.0       | 09.08.2018 | 09.08.2018 | 09.08.2018 | 09.08.2018 | 09.08.2018 | 22.11.2018 | uus kate      |
| 21     | 39_1_1    | #39 Tartu- Jõgeva- Aravete km 0-5,201                          | 2490.0            | 2528.0           | 14.0            | 1.5           | 89.2            | 12.8            | 0.1                 | 5.8             | 25.0            | 10.0       | 29.05.2018 | 29.05.2018 | 29.05.2018 | 29.05.2018 | 29.05.2018 |            | pealmine kiht |
| 22     | 45_1_15   | #45 Tartu - Rõpina - Varska km 78,252 - 85,613                 | 2392.0            | 2477.0           | 16.1            | 3.5           | 78.6            | 10.9            | 0.1                 | 5.2             |                 | 19.0       | 14.09.2018 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 23     | 59_1_3    | #59 Pärnu-Tori km 5,9-12,1                                     | 2423.0            | 2462.0           | 14.2            | 1.6           | 88.9            | 9.8             | 0.1                 | 5.9             | 40.0            | 14.0       | 11.07.2018 | 11.07.2018 | 11.07.2018 | 11.07.2018 | 11.07.2018 |            | uus kate      |
| 24     | 63_1_1    | #63 Karisilla - Petseri km 0,0 - 3,18                          | 2392.0            | 2477.0           | 16.1            | 3.5           | 78.6            | 10.9            | 0.1                 | 5.2             |                 | 19.0       | 14.09.2018 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 25     | 92_1_4    | #92 Tartu - Viljandi - Kilingi-Nõmme km 28.260-35.193          | 2482.0            | 2519.0           | 13.7            | 1.5           | 88.8            | 7.4             | 0.1                 | 8.5             | 34.0            | 14.0       | 15.09.2018 |            |            |            |            | 22.11.2018 | pealmine kiht |
| 26     | 1163_1_1  | #1163 km 18 Iõunapoolne kogujatee (1.915km)                    | 2456.0            | 2511.0           | 15.2            | 2.2           | 85.7            | 10.5            | 0.1                 | 5.4             | 38.0            | 14.0       | 05.06.2018 |            |            |            |            | 22.11.2018 | uus kate      |
| 27     | 11125_1_1 | #11125 Perila-Jäneda km 0-5,7                                  | 2456.0            | 2511.0           | 15.2            | 2.2           | 85.7            | 10.5            | 0.1                 | 5.4             | 38.0            | 14.0       | 17.08.2018 |            |            |            |            |            | uus kate      |
| 28     | 11240_1_1 | #11240 Tõdva-Hageri km 3,796-4,675                             | 2441.0            | 2478.0           | 13.9            | 1.5           | 89.4            |                 | 0.1                 | 8.0             | 36.0            | 14.0       | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 22.11.2018 | pealmine kiht |
| 29     | 11241_1_1 | #11241 Kasemetsa-Kiisa km 0-2,773                              | 2441.0            | 2478.0           | 13.9            | 1.5           | 89.4            |                 | 0.1                 | 8.0             | 36.0            | 14.0       | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 28.06.2018 | 22.11.2018 | pealmine kiht |



## Ettepanekud algroopa ja edasise roopa arengu pidurdamiseks mõõtmiste efektiivse rakendamise kaudu

### Algroopa mõõtmised

Algroopa mõõtmised näitasid valimisse sattunud objektide põhjal, et üldjuhul ei ole katte valmimisjärgselt mõõdetud põiksuunalised ebatasasused käsitletavad klassikalise roopana – st. roobas ei paikne ilmtingimata rattajäljes. See on ka arusaadav, sest sageli ei ole katte esmase formeerumise perioodil kattel teemarkeeringut, mistõttu liiklus kulgeb erinevaid trajektoore pidi ja roopad tekivad vastavalt. Samas võib roopa sügavus olla kohati üsna suur – mitmel objekti keskmisena koguni 6-8 mm, suuremad roopa sügavuse väärtused aga küünivad lokaalselt üle 10 mm. Üks sellistest kohtadest on objekt 3\_1\_34, 2018.a esmane mõõtmine km 219,28 rada 1 andis vasaku roopa sügavuseks 11,3 mm, mis roopa kuju arvestades (suuremad roopad rattajälgedes) võib viidata kandevoime-/deformatsiooniprobleemidele.



**Joonis 44. Objekt 3\_1\_34, kus katte profiil viitab ülakihtide kandevoime-/deformatsiooniprobleemidele**

2018 objektidel (sh. eelnimetatul) viidi läbi ka teine mõõtmine, seda siis ca paar kuud pärast esimest mõõtmist. Need kordusmõõtmised näitasid, et roobaste sügavus katte formeerumise perioodil pigem väheneb (nii ka eelnimetatud juhul, tõsi küll, enamasti marginaalselt). Vaid üksikutel juhtudel võis täheldada roopa sügavuse vähest suurenemist. **Seetõttu puudub objektiivne vajadus seada väga rangeid piirangud algroopa sügavuse mõõtmise ajale kuid soovitav on need läbi viia paari kuu jooksul katte valmimisest.**

## Algkandevõime mõõtmised

Uuringu läbiviimisel olid 2017 aasta katete osas kasutada ka uuritud objektid kandevõime andmed.

Suurte roopa sügavuse väärtuste ja teekonstruktsiooni kandevõime vahel objektidel paraku ei tuvastatud seost isegi kohtades kus roopa kuju sellele selgelt viitab (nt. objekt 2\_1\_15 km 122,2, kus kate vajunud kausikujuliseks). Siinjuures tuleb arvestada, et kandevõime mõõtmised 2017 objektidel viidi läbi alles ca aasta pärast roobaste tekkimist ja mõõtmisi. Tõenäoliselt on aastaga toimunud katendi järeltihenemine liikluse all ning teiseks on kandevõime mõõtmiselt ilmselt toimunud „kuival“ ajal, st. aastaga on ehitusel potentsiaalselt konstruktsiooni sattunud liigniiskus haihtunud. Kandevõime mõõtmisi ei ole võimalik teha tagantjärele ning nende alusel hinnata algroopa teket. **Seetõttu teeme ettepaneku tuua kandevõime mõõtmised tagasi katte valmimise/vastuvõtu perioodi, mis võimaldab objektiivselt hinnata katendi tugevusomadusi selle vastuvõtmisel koos roopa mõõtmise andmetega.**

Ka algkandevõime mõõtmiste aeg ei pea olema rangelt piiratud, soovitav on need teha siiski paari kuu jooksul pärast katte paigaldust aga kindlasti enne katte jahtumist talve saabudes.

Samas, ka ca aasta pärast ehitust tehtav kandevõimemõõtmisel on oma roll – juhul kui algne kandevõime ei olnud piisav, peaks see andma kindluse, et et katend on „ära tihenenud“ ja edasine aktiivne roopa areng peatunud.



Joonis 45. Objekt 2\_1\_15 km 122,2, kausikujuline roobas viitab kandevõimeprobleemidele

## Kohtumine Soome katteekspertidega

Kohtumine Soome tunnustatud katteekspertidega, Katri Eskola, toimus 14.03 2019.

Kohtumise kokkuvõte on esitatud töö lisas. Kohtumisel selgus, et Soome on pea 20 aastat kasutanud 17 laseril põhinevat nn. PTM-autot kuid paari aasta jooksul soovitakse üle minna skaneerivatele mõõtmistele. Paar uuringut on selles osas tehtud kuid ettevalmistusi jätkatakse. Peamise kasuna nähakse usaldusväärsemat ja kontrollitavamat teavet roopa kuju kohta. Täna kasutatakse algroopa mõõtmisi A ja B-tüüpi kvaliteedinõuete korral motivatsioonisüsteemi osana mahaarvamiste tegemisel – 100m lõigu korral vähendatakse katte maksumusest 22.5% iga mm 100 m keskmise roopa sügavuse pealt, mis ületab 4mm ning kogu objekti korral vähendatakse katte maksumusest 30% iga mm keskmise roopa sügavuse pealt, mis ületab 3mm. Kohtumise kokkuvõte on esitatud lisas 4.

## Ettepanekud – mõõtmiste vajadus ja põhimõtted

Tehtavad algroopa sügavuse ja algkandevõime mõõtmised vajavad ka kohest analüüsi – sõltuvalt selle analüüsi tulemusest võib osutuda vajalikuks täiendavate proovide (nt. deformatsioonikindlus) võtmine kattest. Et käesolevas töös polnud võimalik teha kandevõimemõõtmisi katte valmimisel, ei tehtud ka ettepanekut proovivõtuks vaid on piiratud teoreetilise analüüsiga ning soovistega protseduuri täiendamiseks, et asjakohased analüüsid oleks üldse võimalik läbi viia.

Analüüs peab igal objektil sisaldama põhisõiduradadel 20 m lõikudena (mõõtaja teostab):

- roopa sügavuse ja kandevõime (Eüld, SCI, BDI, BCI) mõõtmistulemuste jaotusgraafikud (histogramm) ja joongraafikud ja kaardivaates lõikudena, eristades, kus roopa sügavus on alla 5 mm (hea), 5...7 mm (rahuldav) ja üle 7 mm (halb)
- Mõõdetud põikprofiilid iga 20 m tagant koos asukohainfoga

Hinnangud „hea“, „rahuldav“ ja „halb“ on antud tinglikult lähtudes väärtuste jaotusest (tertsiilides).

Juhul kui roopa või kandevõime mõõtmised näitavad potentsiaalset puudujääki (roopa sügavus > 7 mm või Eüld < Evajalik) esineb üle 100 m pikkuseid lõike, tuleb lisaks analüüsida, kas erinevate kihtide kandevõime ja tiheduse mõõtmised (plaatkoormus, inspektor jne) antud piirkonnas on nõuetekohaselt teostatud ja

dokumenteeritud ning kas need kinnitavad vastavate kihtide nõuetekohasust. Taastusremondi puhul on analüüsi kohustus tellijal.

**Kohtades, kus roopa sügavus >7mm ja kuju viitab pigem ülakihtide deformatsioonidele (puudub nn. kausi kuju), teeme ettepaneku suurema roopa sügavusega piirkonnas võtta töövõtja poolt paigaldatud kattekihtide proovid ja teostada deformatsioonikindluse nõuetele vastavuse täiendav kontroll vastava katse (EN) akrediteeringut omavas laboris.**

Proovivõtu pikett valitakse tüüpiliselt valitud piirkonna keskelt, mitme ala korral kõige suurema roopa sügavusega ala keskelt, kattega peenrast (ekspluatatsioonis kõige vähem mõjutatud ala) ca 5 m sammuga.

**Ettepanek:** nii kihtide kandevõime- ja tiheduse mõõtmise kui ka deformatsioonikindluse laboratoorsete mõõtmiste osas mittevastavuste leidmisel sätestada nõue täiendavate kandevõime- ja roopa sügavuse kontrollmõõtmiste läbiviimiseks garantiiperioodi keskel ja minimaalselt 2-6 kuud enne garantiiaja lõppu (arvestada ilmastikust tingitud piiranguid). Mõõtmine peab sisaldama võrdlust algse (katte valmimisjärgse mõõtmisega ja välja tooma muutused nii tabelina kui graafiliselt.

## **Ettepanekud - motivatsiooni rakendamine töövõtjale väiksema roopa sügavuse saavutamiseks**

Ainult tagajärgedega tegelemine ei ole süsteemse parendamise seisukohalt siiski piisav – kandevõime ja deformatsioonikindluse ning kihtide tiheduse tagamine võib nõuda töövõtjalt erakorraliste meetmete rakendamist ja kulude tegemist. Seetõttu tuleks perspektiivis kaaluda kas Soome-Rootsi eeskujul mahaarvamiste sisseseadmist või motiveerida läbi boonussüsteemi. **Allpool kirjeldatud motivatsioonisüsteemi rakendamine eeldab siiski laialdasemaid uuringuid – täna ei ole täiesti selge, millised on töövõtja võimalused roopa sügavust mõjutada ning motivatsioonisüsteem ei hakkaks soovitud kujul toimima.**

Juhul kui tulevikus uuringud näitavad töövõtja võimalust tulemust mõistlikult mõjutada, võiks motivatsioonisüsteem olla ca alljärgnev: nt. rakendada algroopa tulemustel alla 5 mm alljärgnevat boonuse/trahvi mudelit:

$$B_{RBS} (\%) = 5 - RBS_A, \text{ kus}$$

$B_{RBS}$  (%) – boonuse/trahvi protsent rajatavate kihtide maksumusest

$RBS_A$  – algroopa keskmine sügavus (20m lõikudena), mm

Teoreetiliselt on seega võimalik, et samal objektil esinevad nii suured roopa väärtused kui boonuse võimalus (mitte küll samal 20m lõigul), mistõttu suured väärtused tasandavad trahvi näol saadud boonust.

Uuringus vaadeldud 2017-2018 mõõtmiste põhjal oleks boonust saavaid lõike ca 30% ning keskmine boonuse suurus 1.5% rajatud kihtide maksumusest (ilma trahvi komponenti arvstamata).

Roopa sügavuse mõõtmisel objektiivsuse ja andmete võrreldavuse tagamiseks tuleb täiendada tagataks mõõtmise metoodika täpne kirjeldus ja nõuded ning kontroll mõõtjate üle võrreldavate tulemuste saamiseks.

## KOKKUVÕTE

Töö eesmärk oli välja selgitada, **millistele seaduspärasustele on allunud põikiebatasasuste e. roobaste areng Eesti katetel ehitusjärgsetel aastatel ning teha ettepanekud roobaste arengu senisest tõhusamaks ohjamiseks.**

Kui seni on Eestis hinnatud põikiebatasasuste puhul parameetrina vaid roobaste sügavust, siis käesolevas uuringus teostati uudsed skaneerivad mõõtmised, mis võimaldasid analüüsida ka roobaste kujuga seonduvat. Teise uue teemana käsitleti põhjalikumalt algroopa temaatikat. Töös on kirjeldatud erinevad roopa sügavuse ja põikkalde mõõtmise meetodid ning teostati Eestis kasutatava meetodiga saadud tulemuste võrdlus teistega. Lisaks korraldati kohtumine Soome ekspertidega. Käesolev töö sisaldab teekatete roobaste arengu analüüsi valitud 2012, 2017 ja 2018 aasta katete põhjal ning töö järeldused baseeruvad mõõtmistega saadud teabel.

2012 valminud objektide põhjal tehtud analüüs näitas, et **roopa sügavuse arengus on suurim roll tee kandevõimel ja liiklussagedusel.** Praktiliselt kõigi kandevõimeparameetrite puhul täheldati, et puudulike kandevõime näitajate ( $SCI > 150$  või  $BDI > 100$ ) puhul kasvas roopa sügavus aastast aastasse kiiresti (keskmiselt 1 mm/aastas), samas kui heade kandevõime näitajate korral püsis roopa sügavus peaaegu muutumatuna. Liiklussageduse mõju hinnates selgus, et liiklussagedusel AKÖL alla 5000 oli roopa sügavus keskmiselt 5 mm, suurema liiklussageduse (sh. raskeliikluse) korral aga keskmiselt 8 mm juba paar aastat pärast katte valmimist.

Kattekihtide deformatsioonikindluse mõju roobaste arengule on käsitletud maailmas mitmetes uuringutes, mille alusel on välja töötatud asfaltsegude deformatsioonikindluse katsemeetodid. Eestis on teemat käsitletud Maanteeameti varasemates uuringutes (nt. „A/b katete kvaliteedi arendusuuringud. Deformatsiooni- ja kulumiskindluse katsete teaduslik analüüs. Maantee 4 roopauuringud. 2014-05“). Arvestades, et kattekihtide deformatsioonikindluse määramine on aeganõudev kohtkatse, oli käesoleva uuringu üheks sooviks muuhulgas kontrollida, kas selliste kohtkatsete ning kaasaegsete roopa mõõtmise pidevmeetodite kõrvutamisel saab tuua seose kattekihtide deformatsioonikindluse ja katteroopa sügavuse ja kuju alusel. Käesolevas töös eeldatud seost ei leitud, mis oli ilmselt tingitud selliste seoste uurimiseks kasutada olnud

deformatsioonikindluse katsete vähesusest (nt. 2012 objektidel vaid 10 katset 10 objekti kohta) ning muude mõjurite suurest varieeruvusest sellise piiratud katsete mahu tingimustes.

Erinevate aastate mõõtmistulemuste (roopa sügavuse) kõrvutamisel on näha suuremad hüpped aastatel, mil muutusid mõõtmisteks kasutatavad seadmed. Seega ei pruugi kõik mõõtmised olla omavahel väga hästi võrreldavad kuid dünaamikat on võimalik hinnata.

2017 ja 2018 tehti mõõtmised uutel katetel ehk nn. algrüüpa mõõtmised. Mõõtmised teostati skaneeriva seadmega (ViaPPS), millega mõõdeti üles tiheda sammuga terve põikprofiil (ca 500 punkti 3,6m kohta). Mõõtmised viidi läbi reeglina paari nädala jooksul pärast katte valmimist, mil teemarkeeringut polnud veel rajatud ja liiklus polnud rattajälgedesse suunatud. Need mõõtmised tõid välja skanneeriva mõõtmise olulise plussi – **need mõõtmised (erinevalt senistest mõõtmistest) ei eelda, et suurim roobas tekib tingimata rattajälgedes ja sobivad seetõttu uute katete roobaste hindamiseks**. Mõõtmised näitasid, et katte põikprofiil võib tekkida vägagi erineva kujuga, mis omakorda võimaldab hinnata roobaste tekkepõhjuseid.

2017 katetel tehtud mõõtmiste tulemusi oli võimalik võrrelda kandevõimemõõtmistega, mis näitasid, et nn. **kausikujuliseks vajunud katete puhul on tõenäoliselt ebapiisavast tihendatusest tingitud kandevõimeprobleemidega**. See on uus informatsioon, mida tuleb käsitleda järgnevates uuringutes, toetudes uute katete mõõtmistel saadavale infole. **Muudel juhtudel võivad suuremad roopa sügavuse väärtused viidata kattekihtide madalale deformatsioonikindlusele.**

2017-2018 mõõtmised näitasid, et ca 1/3 mõõtmistulemustest (20m lõikudest ja täismillimeetrini ümardatult) on roopa keskmine sügavus alla 6 mm (hea), 1/3 on 6...7 mm (rahuldav) ja 1/3 on üle 7 mm (halb). Hinnangud „hea“, „rahuldav“ ja „halb“ on antud tinglikult lähtudes väärtuste jaotusest (tertsiilides).

Soome Maanteeameti (Väylä) ekspertide sõnul loodetakse Soomes minna skaneerivale roopa mõõtmisele minna üle hiljemalt kahe aasta jooksul. Soomes mõõdetakse roopa sügavust profiili jälgiva meetodiga 3,2 m laiuse latiga, mistõttu ei saa mõõtmistulemusi ja nõudeid üks-ühele üle kanda.

Hindamaks, kuidas areneb algroobas kate valmimise järgsetel kuudel, tehti 2018 aasta katetel hilissügisel kordusmõõtmised (üldjuhul 2-3 kuud pärast esimesi mõõtmisi). Selgus, et objekte, kus toimus roopa sügavuse vähenemine (kuni 1,5 mm), on rohkem kui neid kus toimus selle suurenemine. Muutus jääb küll mõõtemääramatuse lähedale kuid näitab siiski, et **tee ekspluatatsiooni esimestel kuudel kate nõ. formeerub ning roobas ilmtingimata ei suurene.**

Töös analüüsiti erinevatel meetoditel määratletud kate kallete, roopa sügavuse ja muude parameetrite (roopa maht ja kuju) vahelisi erinevusi ning anti ülevaade erinevatest roopasügavuse hindamise meetoditest. Töö üheks eesmärgiks oli kirjeldada erinevaid levinud roopa sügavuse ja põikkallete määramise meetodeid ning näidata kuidas mõjutab erinevate meetodite kasutamine tulemusi võrdluses Eestis kasutatava profiili järgiva meetodiga. Selgus, et uutel katetel annavad üsna sarnased tulemused profiili lõikav ja profiili jälgiv meetod (profiili jälgiv meetod annab mõnes olukorras veidi suurema tulemuse), regressioonmeetod annab ca 2 x väiksema tulemuse ning CEN- ja põhjalati meetod annavad reeglina ca 1,5 x väiksema tulemuse. Seega on **mõõtmistulemuste võrreldavuse tagamiseks äärmiselt oluline teha mõõtmised sama meetodiga.**

Töös tehti ettepanek teiste Põhjamaade eeskujul **viia sisse uute katete algroopa mõõtmised koos algkandevõime mõõtmistega objektide valmimisel.** Need mõõtmised võimaldavad hinnata tarindi püsivust ja vastavust soovitud kate valmimisel, samuti on tehtud ettepanekud jätkuanalüüsiks ning garantiiperioodi toiminguteks. Samuti kirjeldati ettepanekuna perspektiivse motivatsioonisüsteemi põhimõtted roopa sügavuse mõõtmiste alusel kuid selle rakendamiseks on vaja esmalt selgitada töövõtja võimalused algkandevõime saavutamiseks ja algroopa ohjamiseks. Selleks on vaja asjakohaseid kandevõime uuringuid.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] A/b katete kvaliteedi arendusuuringud. Deformatsiooni- ja kulumiskindluse katsete teaduslik analüüs. 2013, AS Teede Tehnokeskus
- [2] Influence of computation algorithm on the accuracy of rut depth measurement. 2017, Journal of Traffic and Transportation Engineering, [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)
- [3] Uusien päällysteiden laadunosoitusmittaukset, 1/2019, Väylä 2019



- [4] Poikkisuuntainen tasaisuus, lanka-ura, PTM-auto, PANK Ry 2004
- [5] P.Virtala, P.Alanlaatu, E.-H.Snicker, Uramittausten mittaustekniikoiden vertailu, Tosimitta- ja tuotantomittastesti, 17/2018, Liikennevirasto 2018
- [6] Thomas Lundberg, Peter Andrén, Thomas Wahlman, Olle Eriksson, Leif Sjögren, Peter Ekdahl, New technology for road surface measurement, Transverse profile and rut depth, VTI rapport 961A , VTI 2018
- [7] T.Kaal, L.Kaal, E.Horg, Sõidutee roopa sügavuse mõõtmistulemuste kasutamine, Teede Tehnokeskus 2007
- [8] T.Kaal, E.Horg, T.Murd, T.Varik, Teekattel esineva roopa kuju, asukoha ja tegeliku sügavuse määramine ning saadud tulemuste võrdlus seadme Roobas\_Roadmaster mõõtmistulemustega, Teede Tehnokeskus 202

## LISAD

Lisa 1. Roopa sügavuse väärtused 2017. aasta objektidel

- Roopas sügavus paremas rattajärjes, objektide võrdlus
- Erinevate parameerite võrdlus objektide kaupa: parem roobas, vasak roobas suurim roobas, roopa pindala, roopa laius (rattajälgede vahekaugus, cm), Emod, SCI, BDI, AKÖL

Lisa 2. Roopa sügavuse väärtused 2018. aasta objektidel:

- 5 erineva meetodi võrdlus objektide kaupa, *boxplot*
  - 5 erineva meetodi võrdlus objektide kaupa, *joongraafik*
  - objektide võrdlus meetodi kaupa, *boxplot*
  - mõõtmistulemuste võrdlus suvel ja sügisel objektide kaupa, *joongraafik*

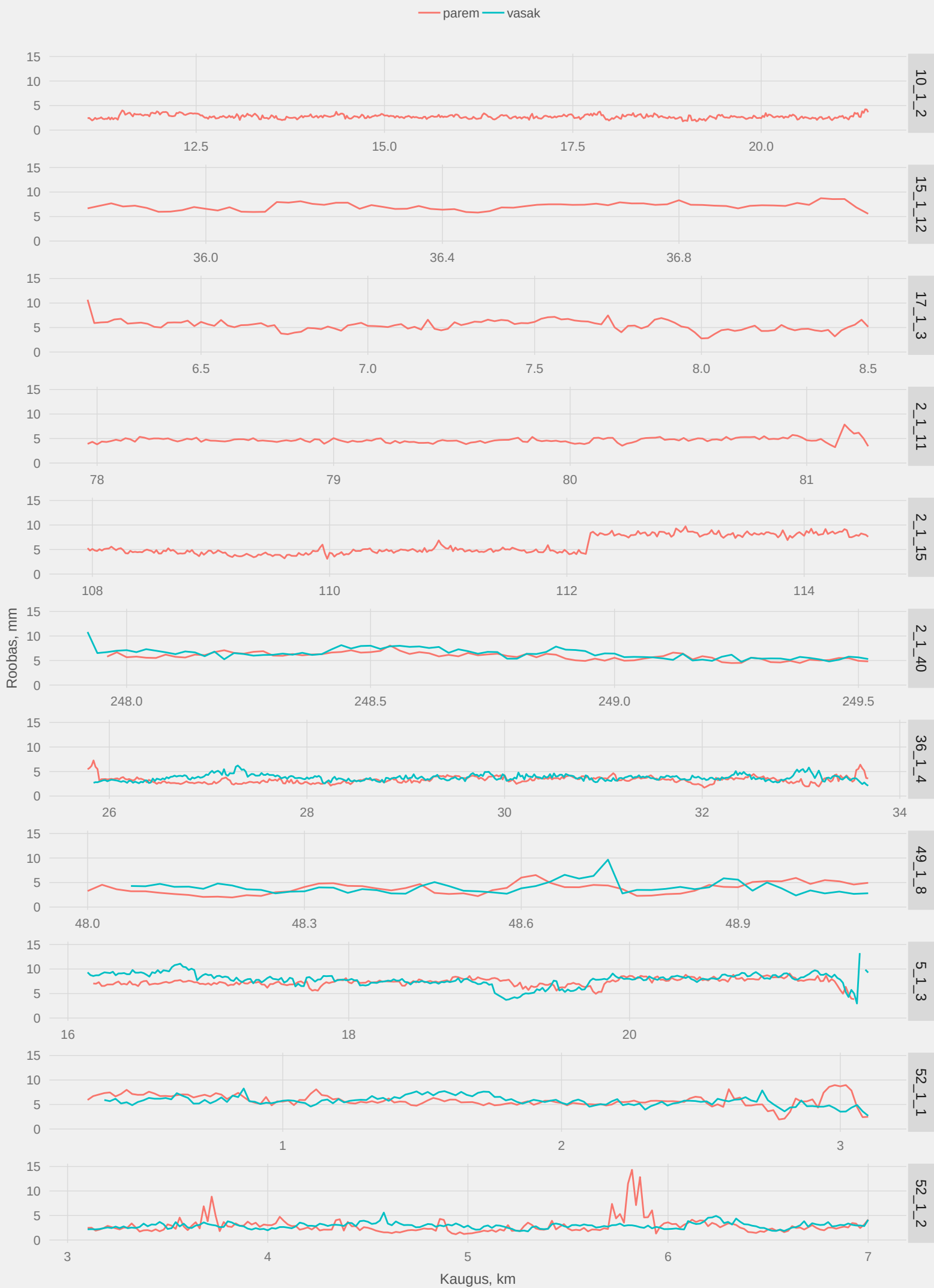
Lisa 3. Roopa sügavuse väärtuste areng 2012. aasta objektidel

Lisa 4. Kokkuvõtte kohtumisest Soome katteekspertidega

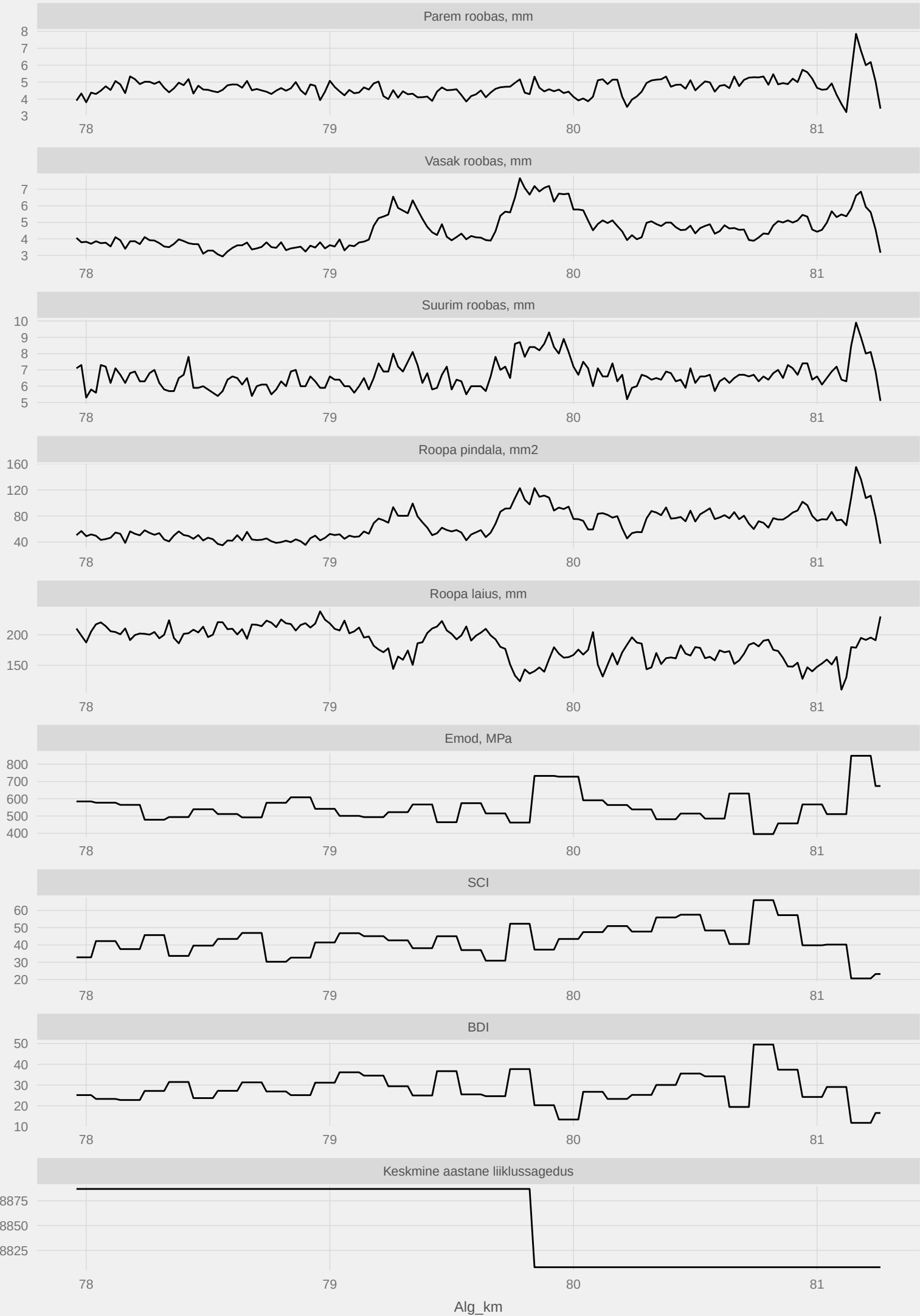
Lisa 5. Regressioonimudelite parameetrid

**LISA 1**

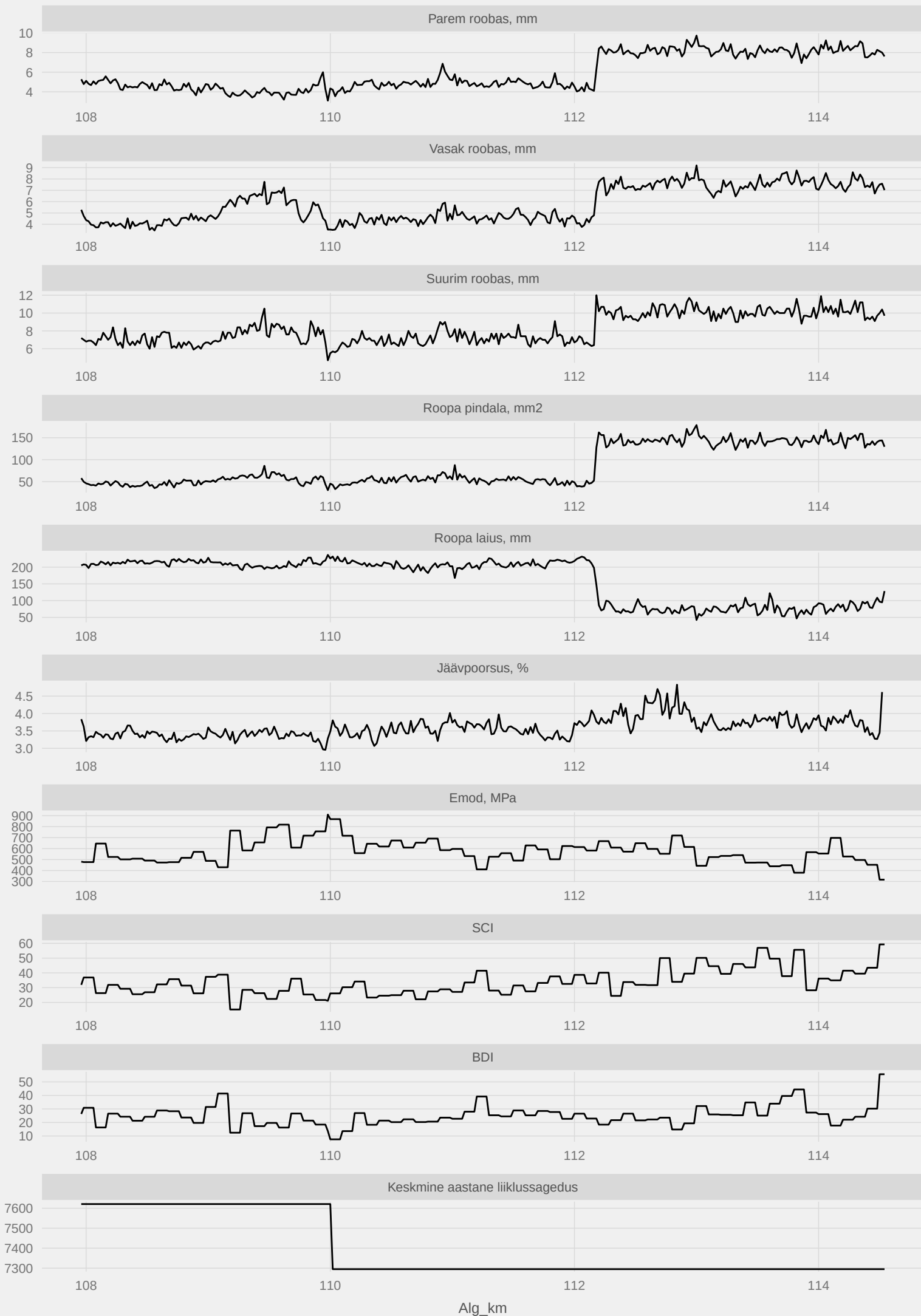
Parema roopa sügavus objektiti paremal ja vasakul rajal 2017. aasta katetel



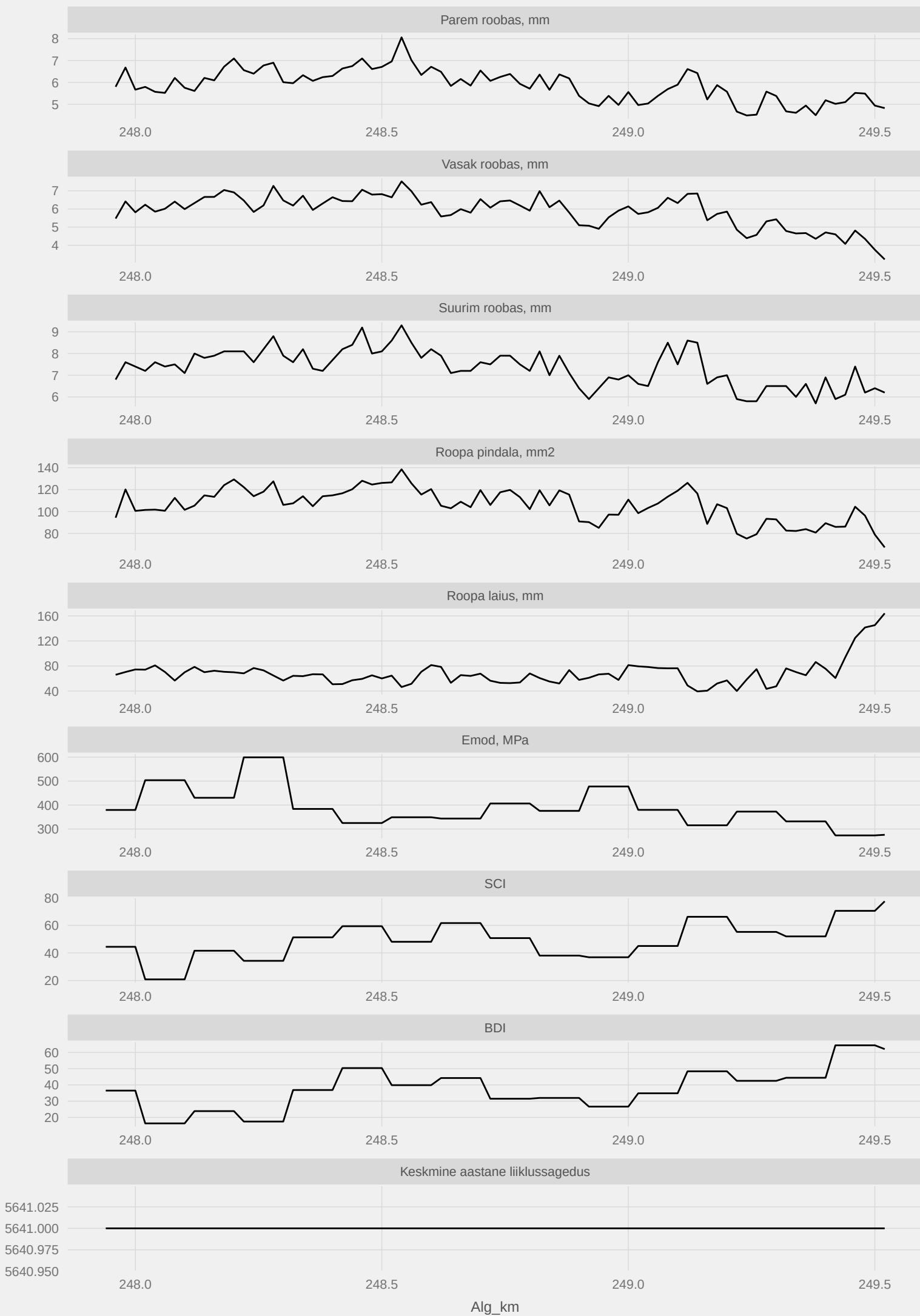
Katte näitajad objektil 2\_1\_11 rajal 1



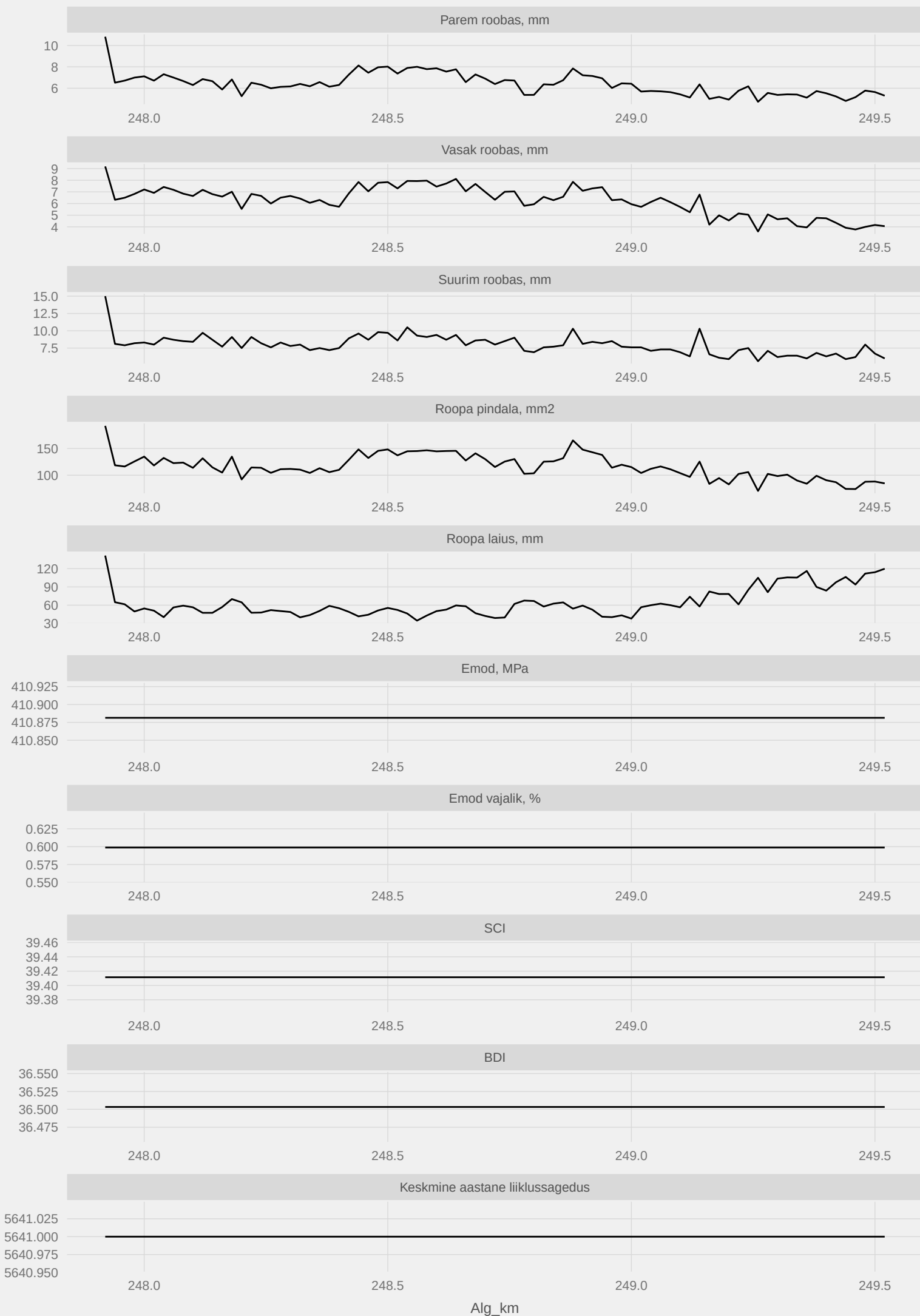
Katte näitajad objektil 2\_1\_15 rajal 1



# Katte näitajad objektil 2\_1\_40 rajal 1

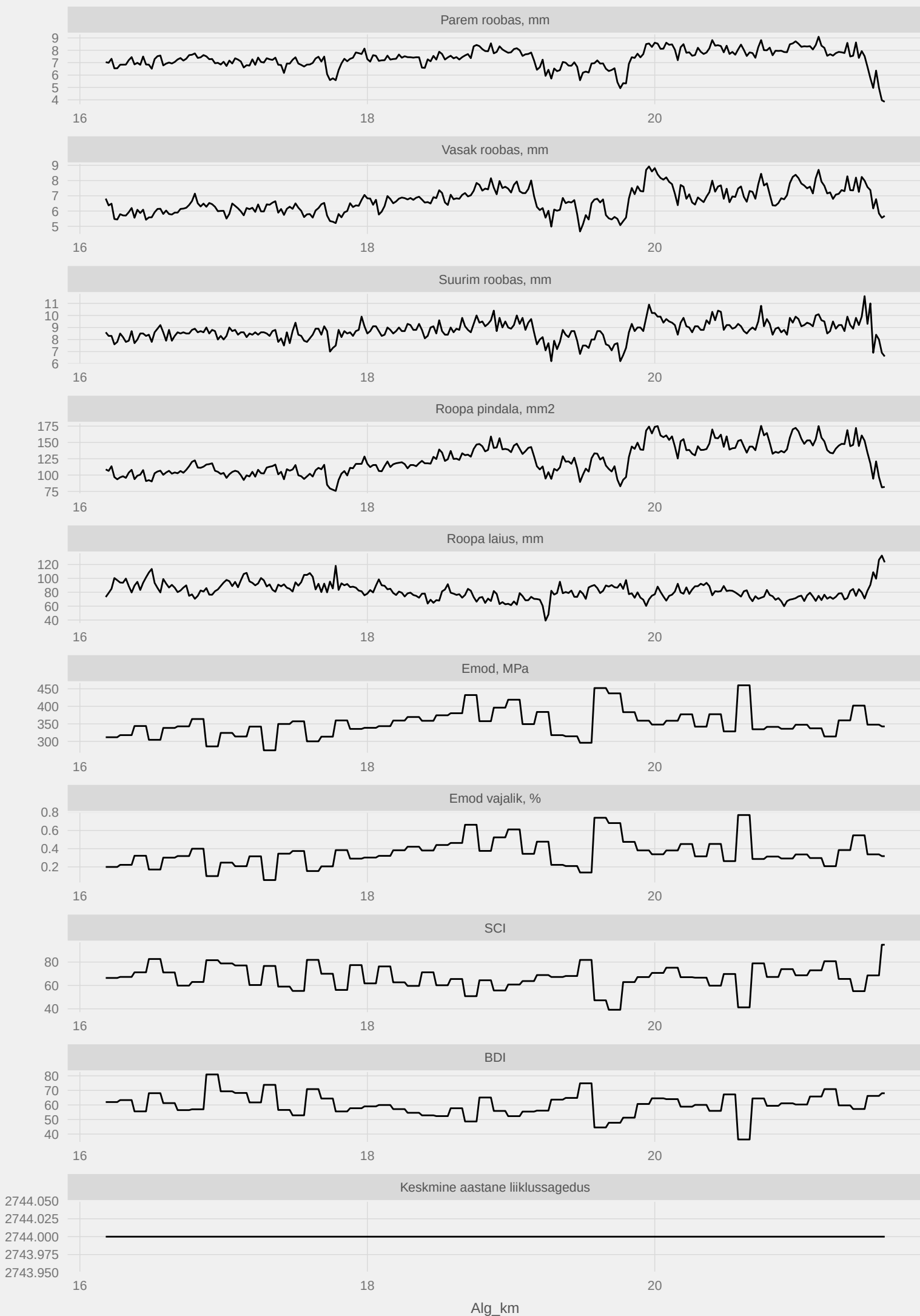


# Katte näitajad objektil 2\_1\_40 rajal 9

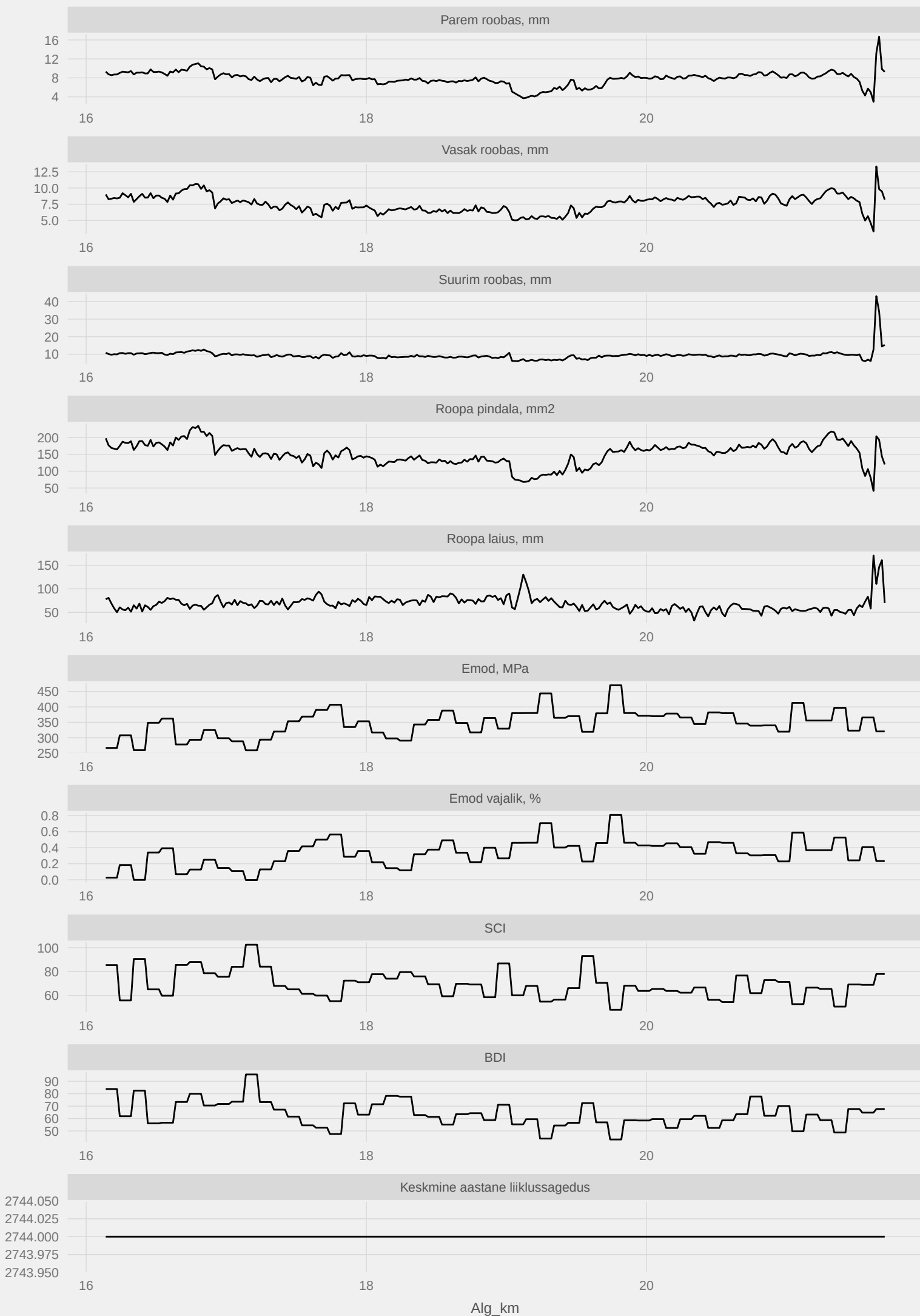




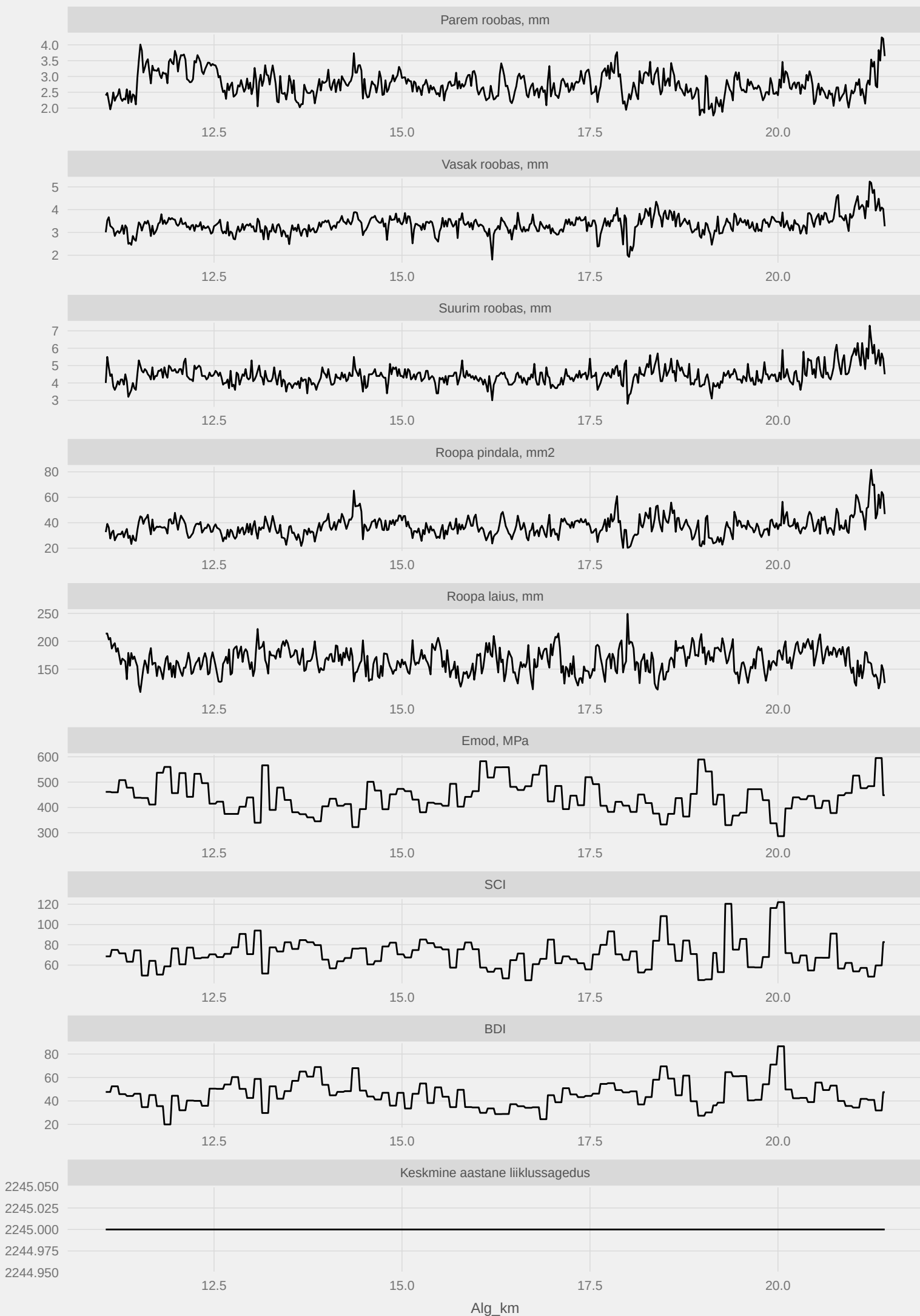
# Katte näitajad objektil 5\_1\_3 rajal 1



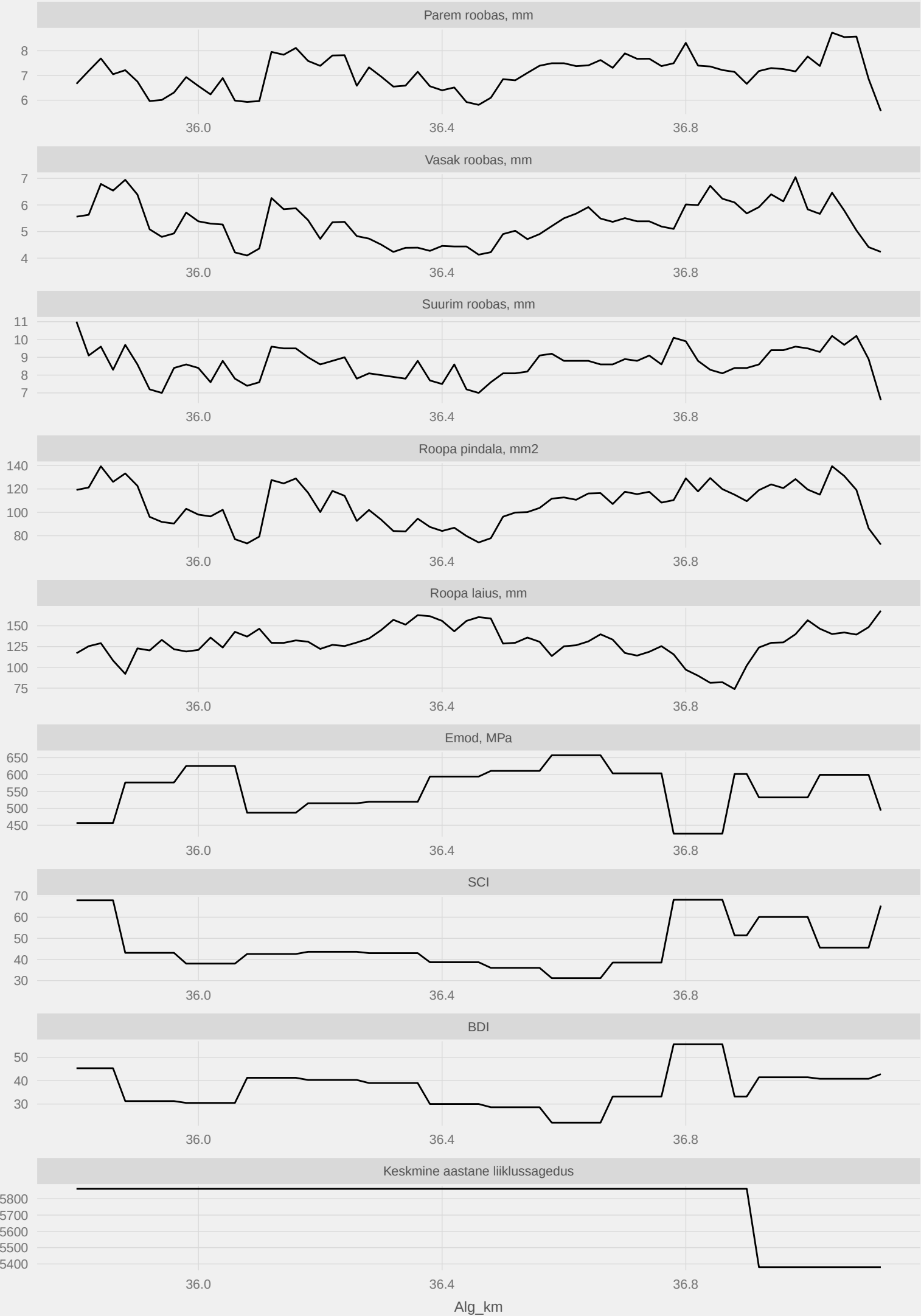
# Katte näitajad objektil 5\_1\_3 rajal 9



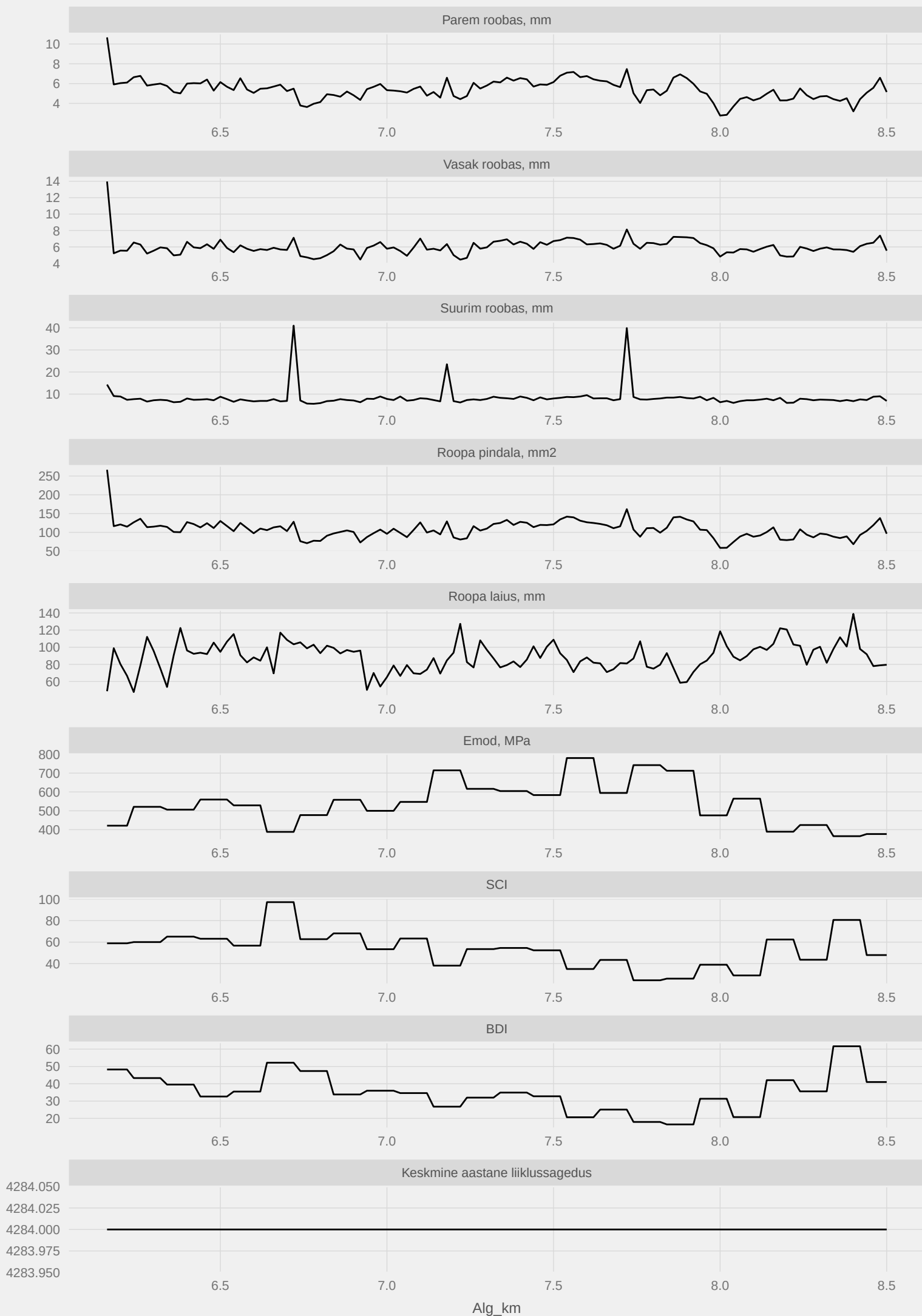
Katte näitajad objektil 10\_1\_2 rajal 1



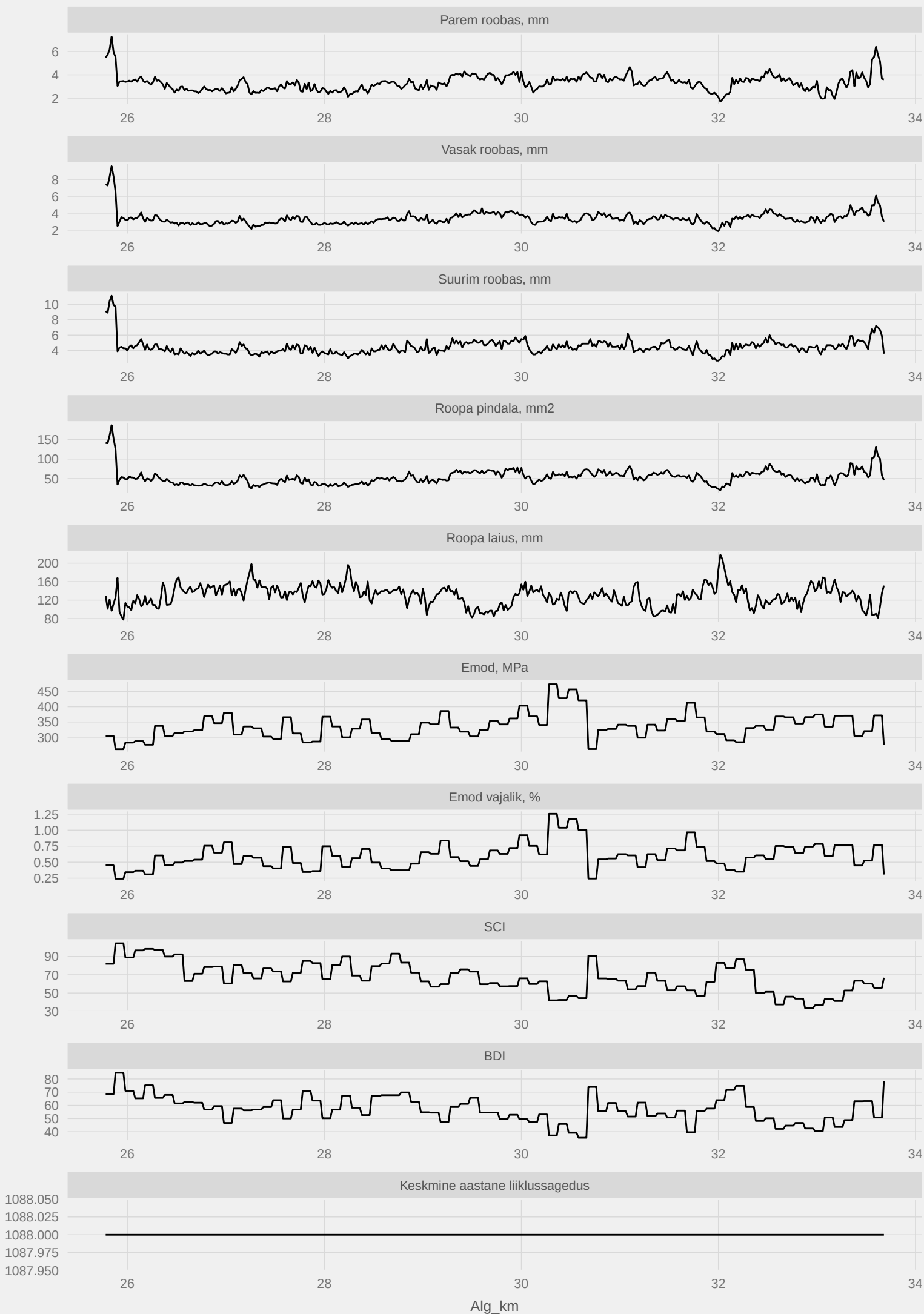
Katte näitajad objektil 15\_1\_12 rajal 1



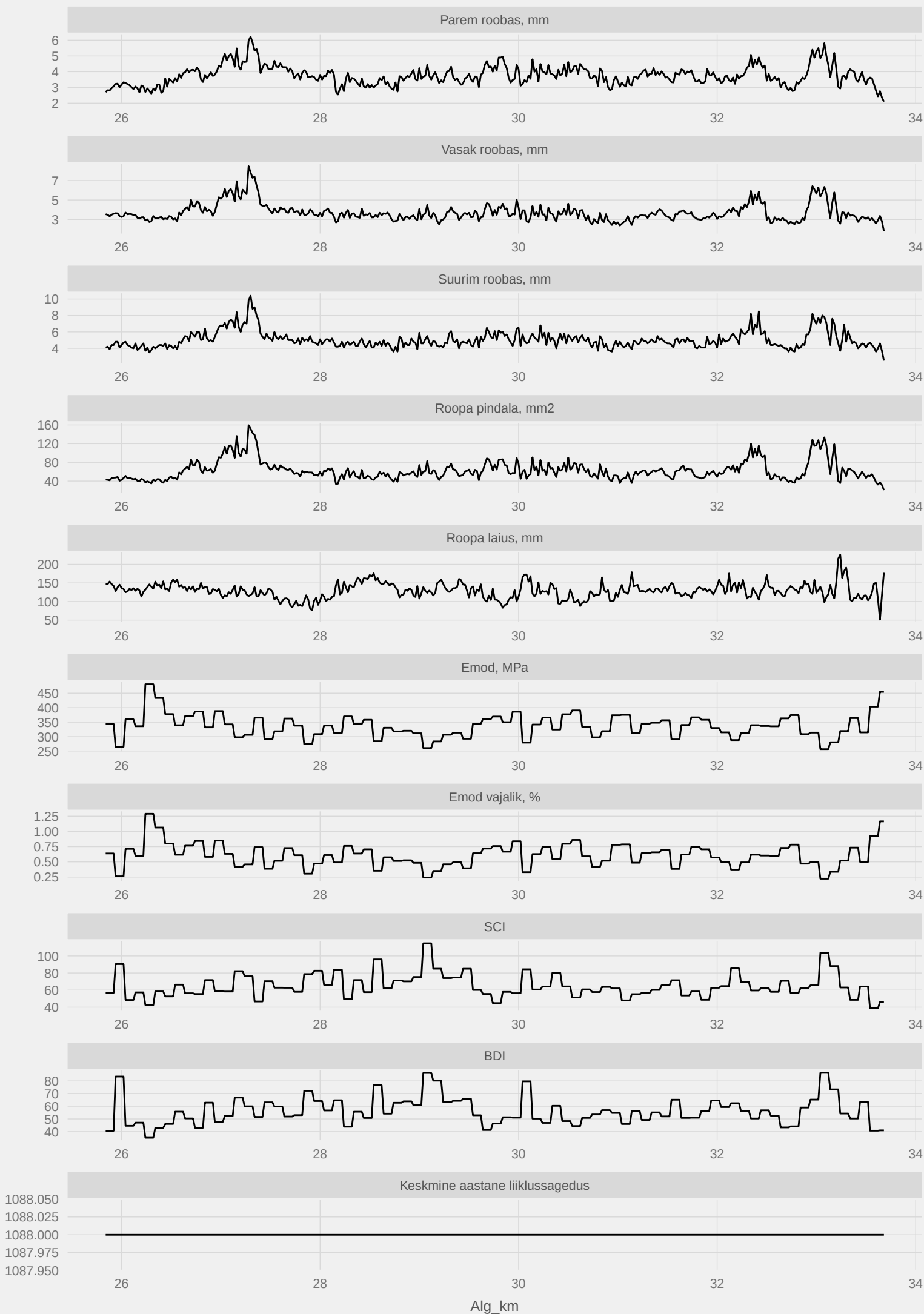
# Katte näitajad objektil 17\_1\_3 rajal 1



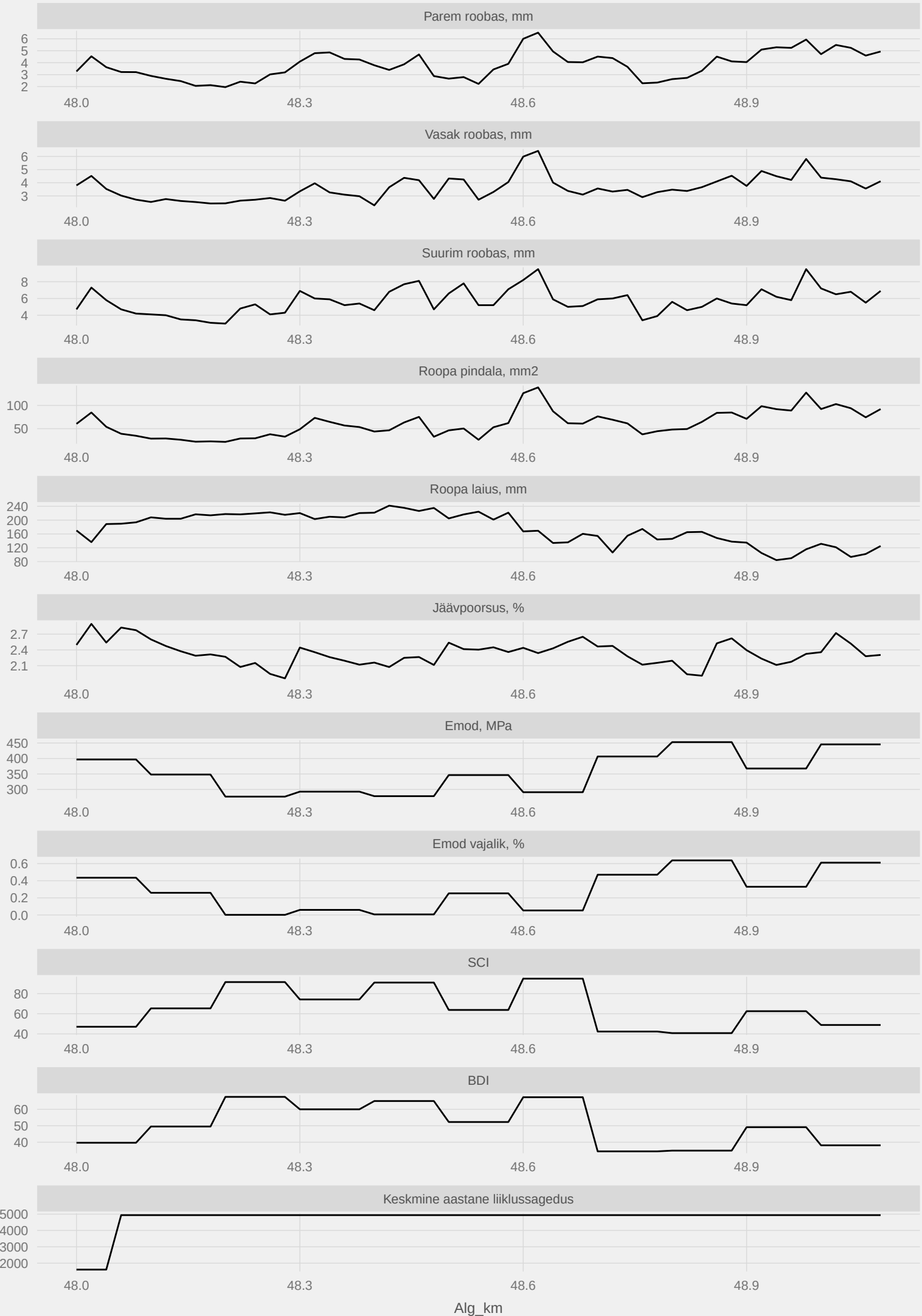
# Katte näitajad objektil 36\_1\_4 rajal 1



Katte näitajad objektil 36\_1\_4 rajal 9

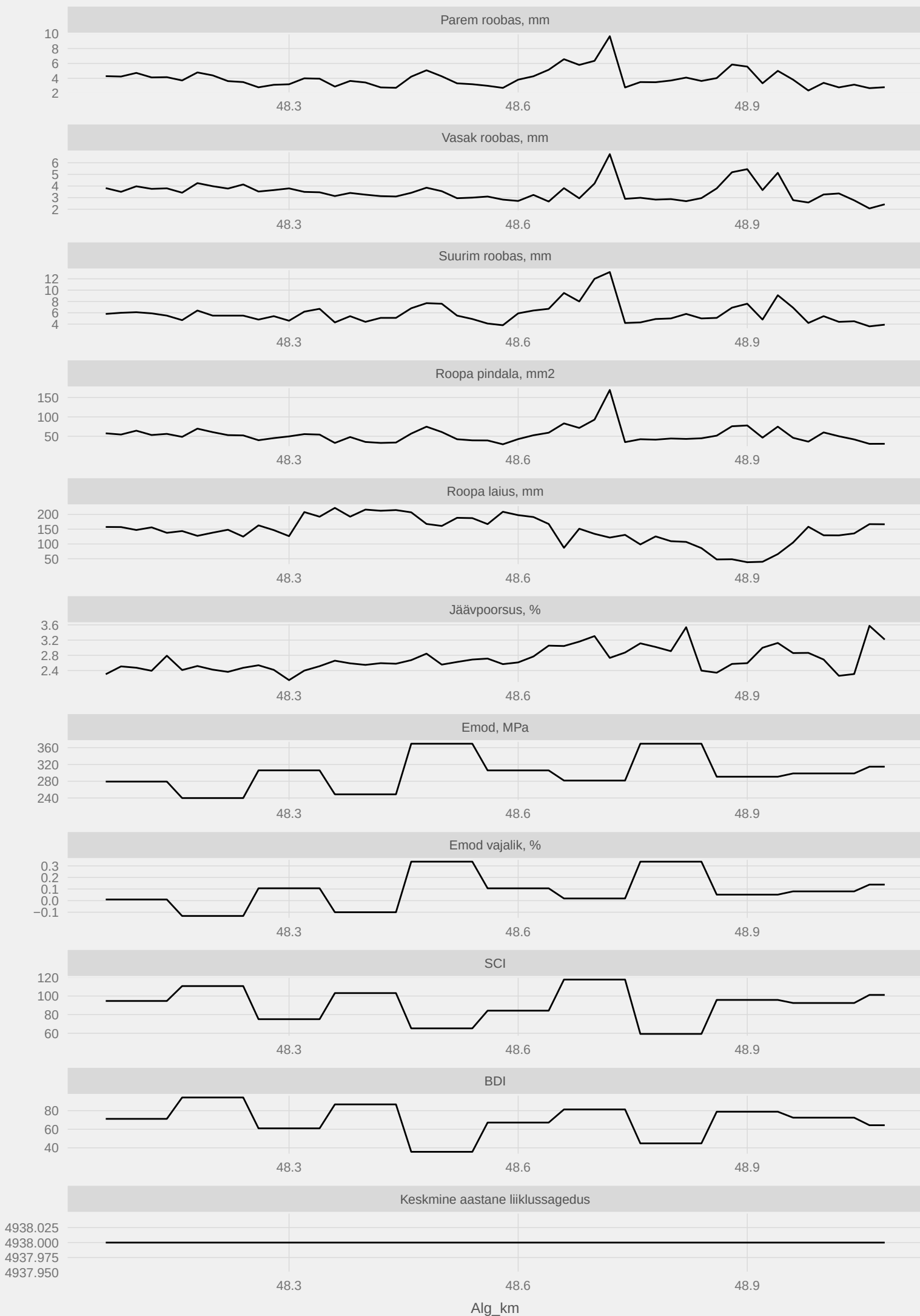


Katte näitajad objektil 49\_1\_8 rajal 1

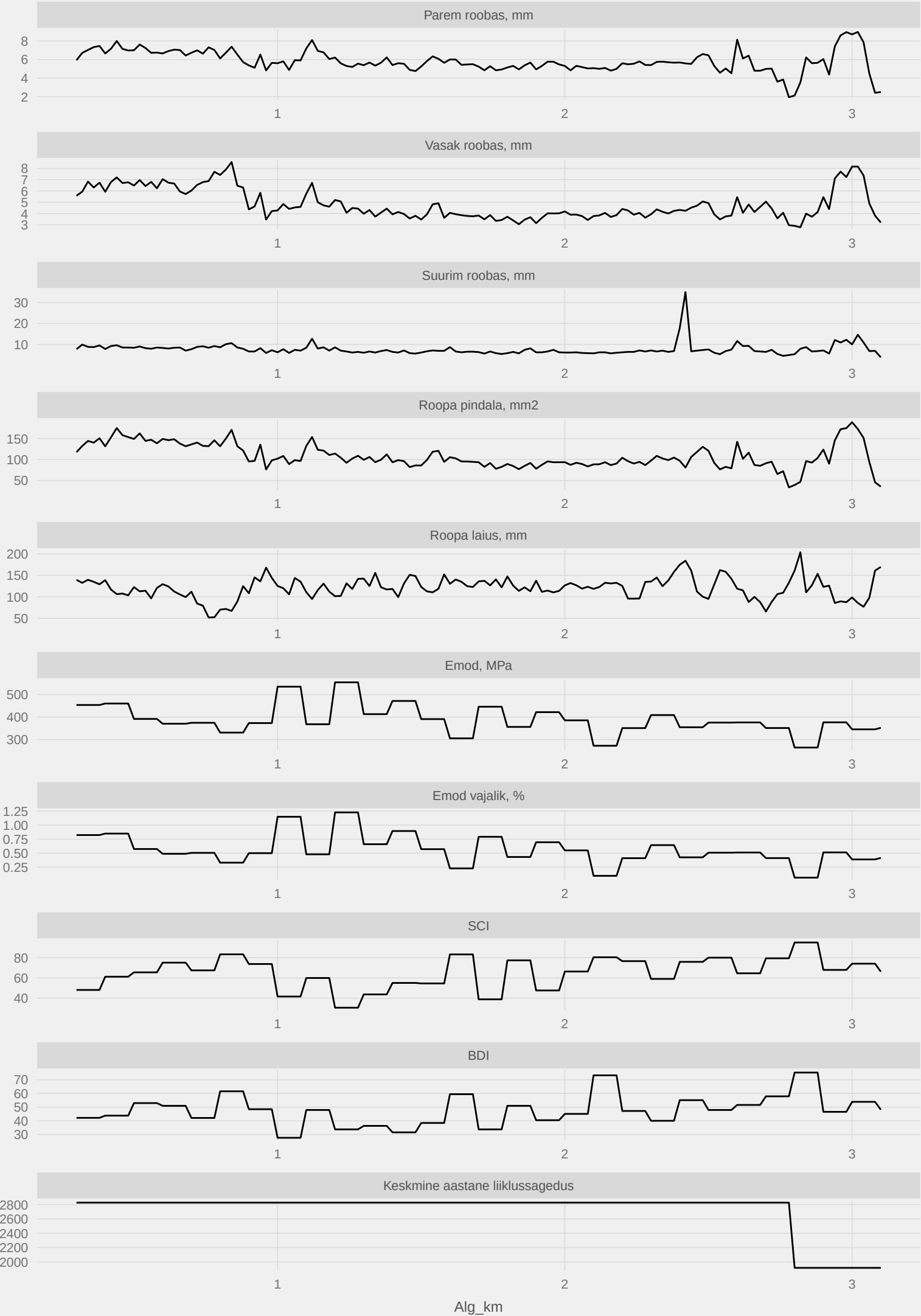




# Katte näitajad objektil 49\_1\_8 rajal 9



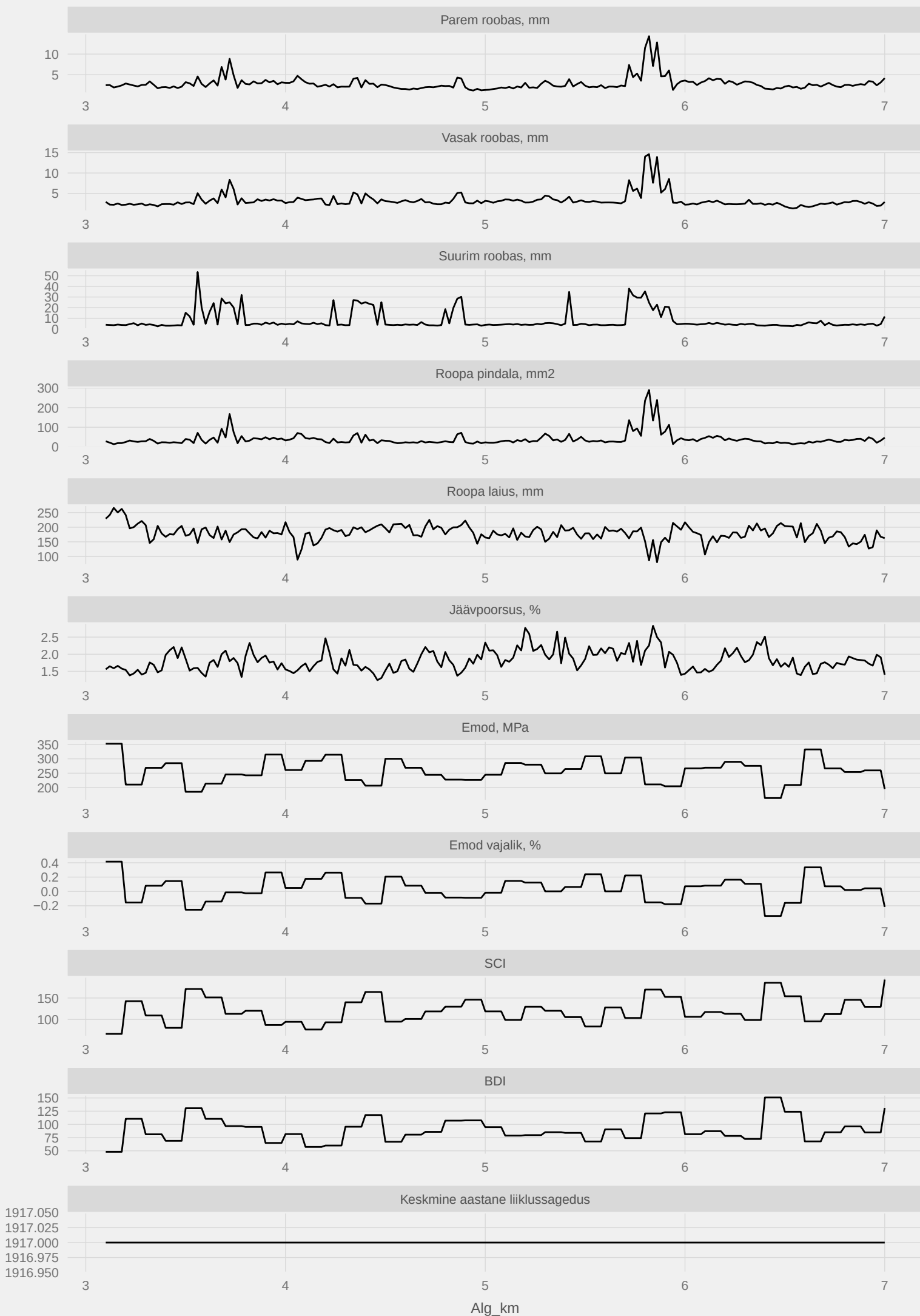
Katte näitajad objektil 52\_1\_1 rajal 1



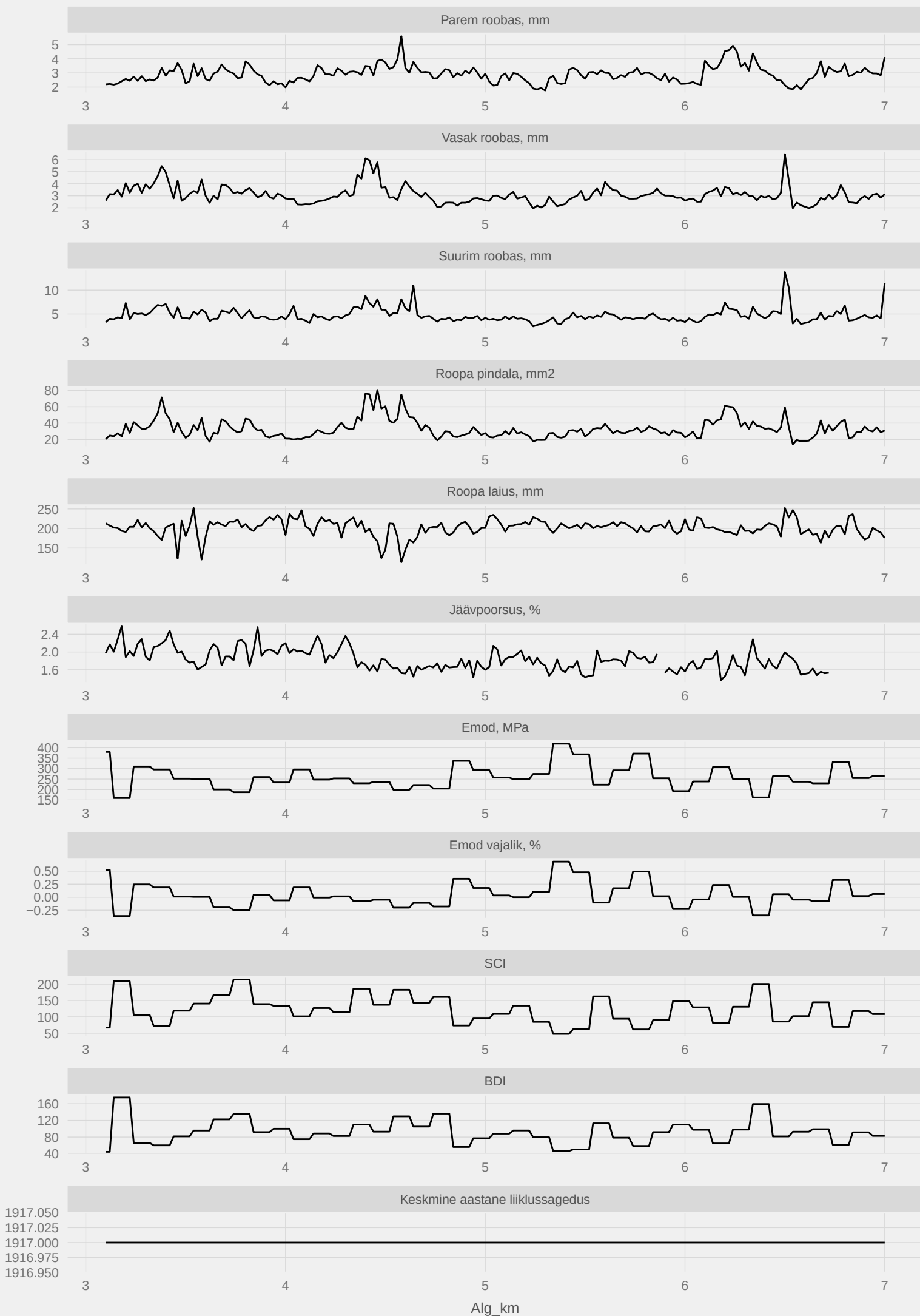
Katte näitajad objektil 52\_1\_1 rajal 9

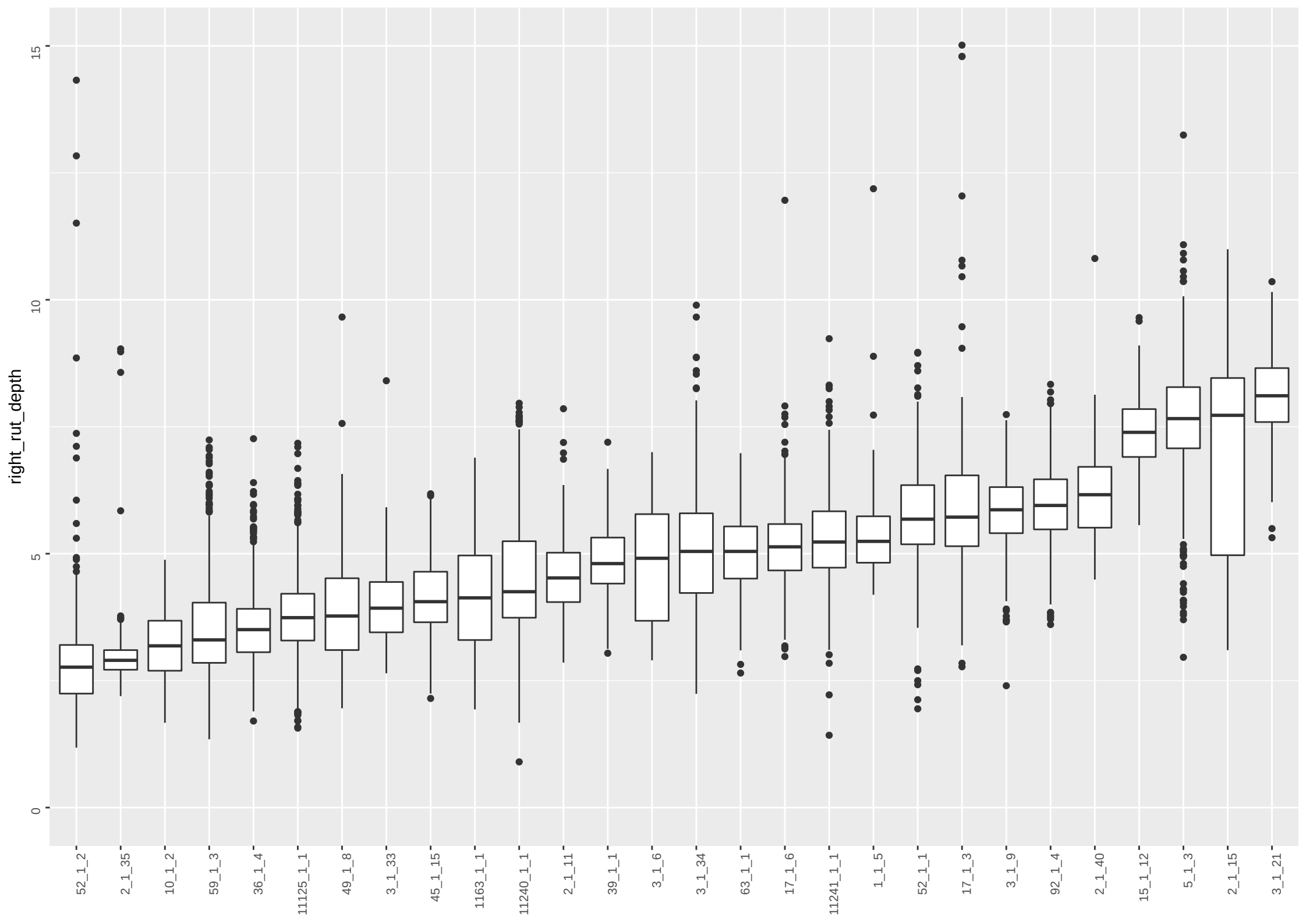


# Katte näitajad objektil 52\_1\_2 rajal 1



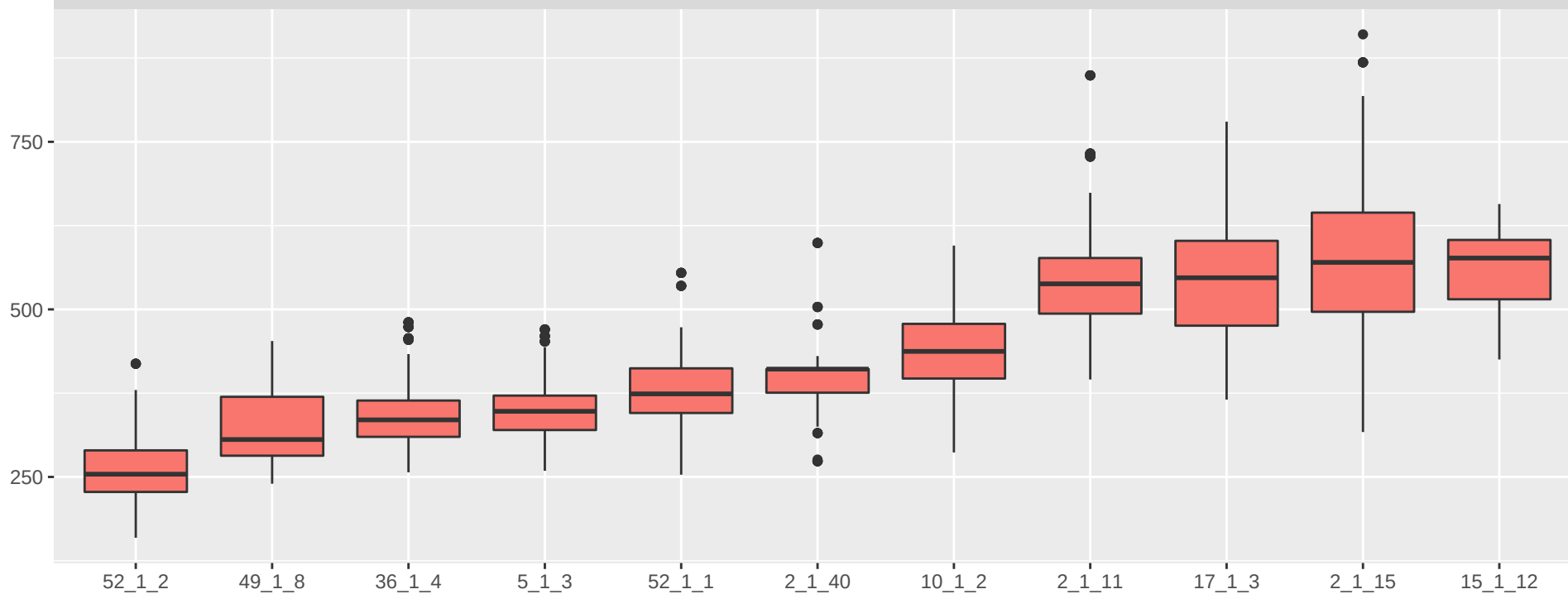
# Katte näitajad objektil 52\_1\_2 rajal 9



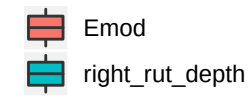


Väärtus

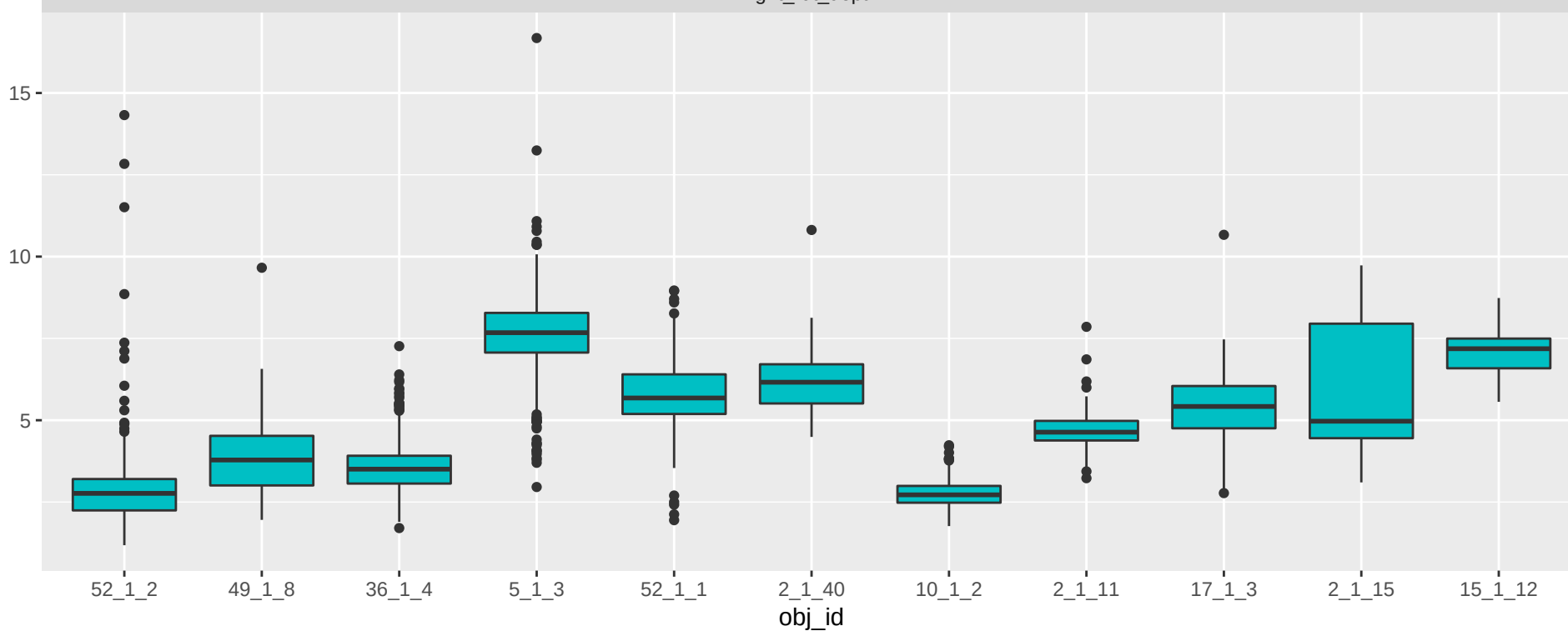
Emod



Key



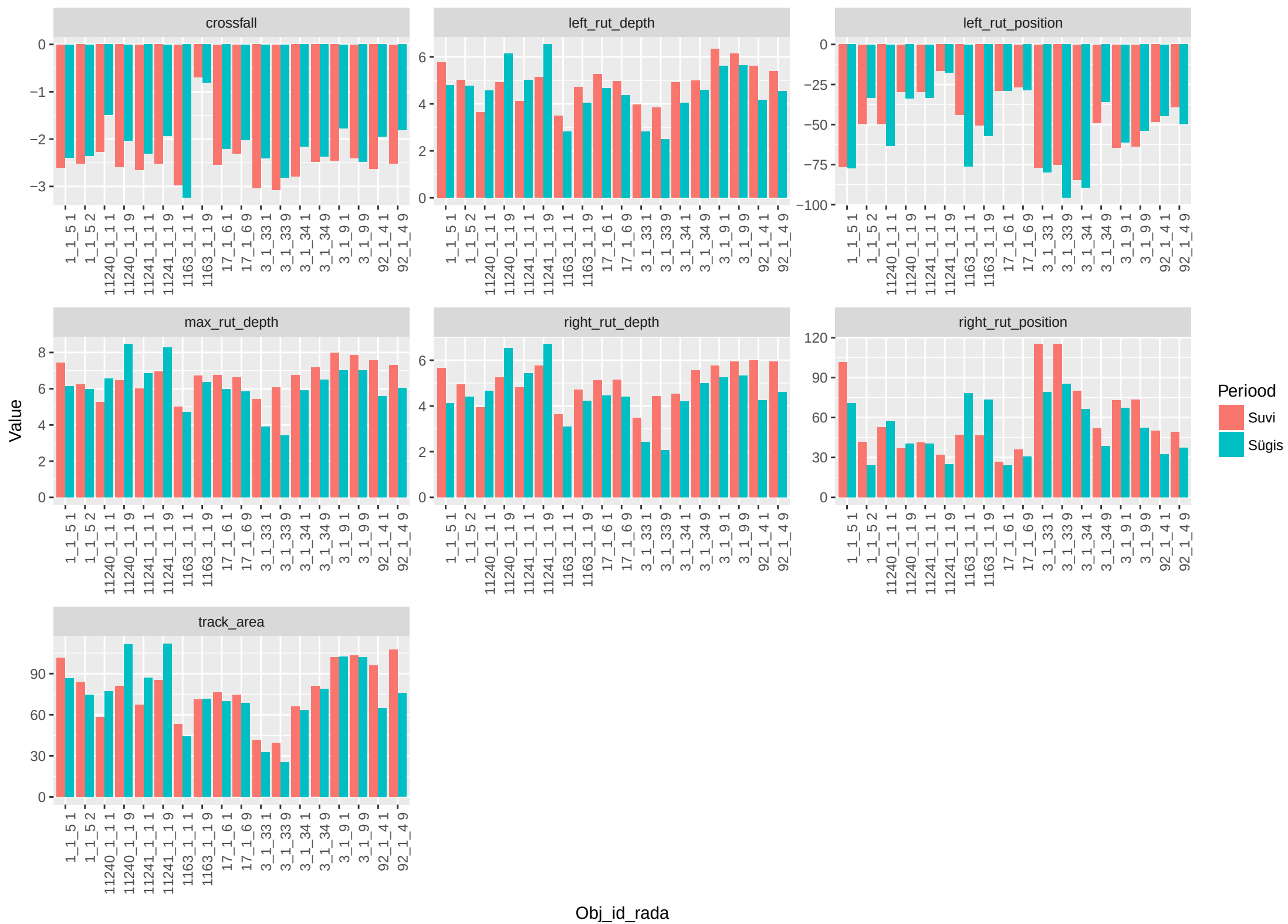
right\_rut\_depth

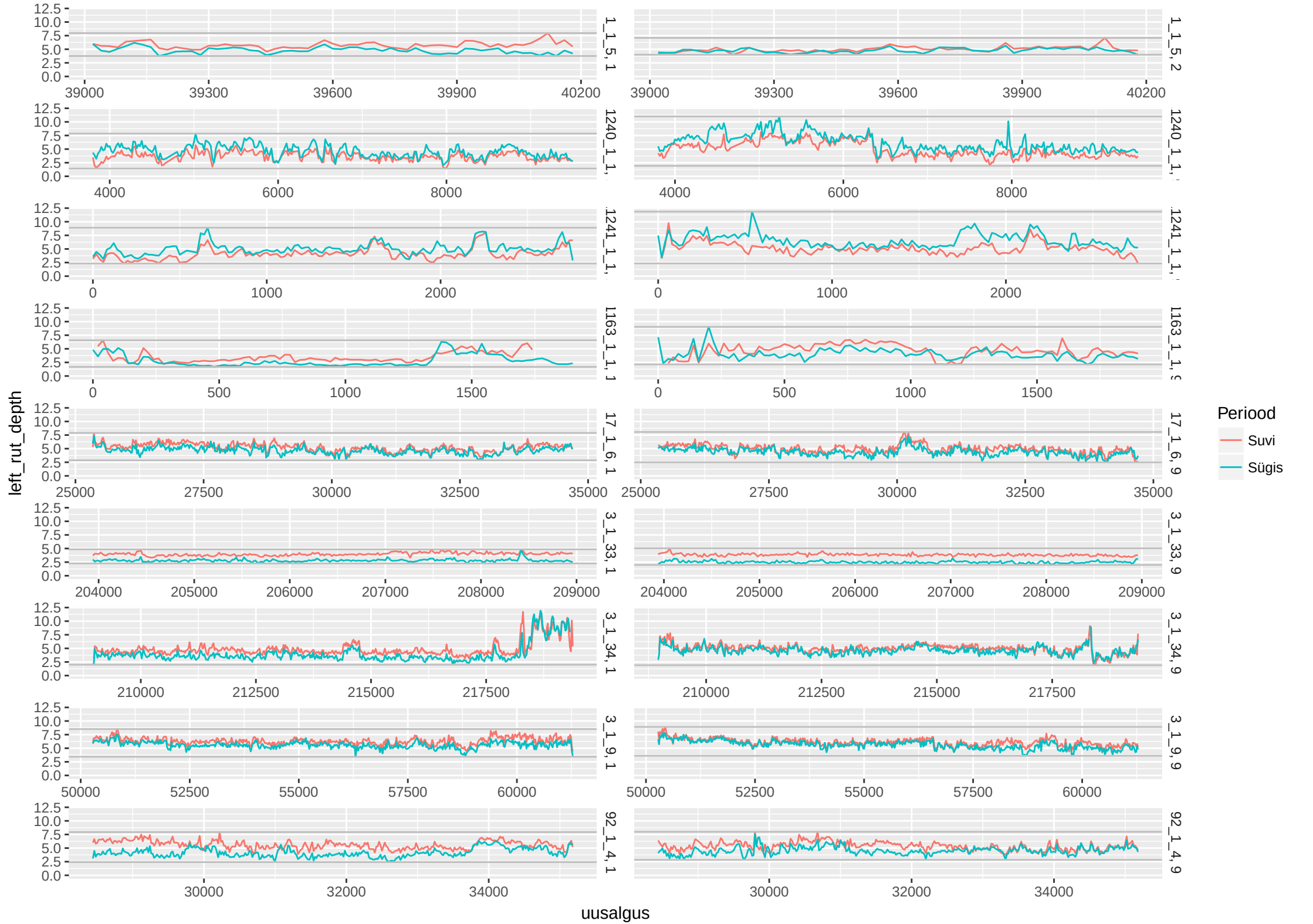


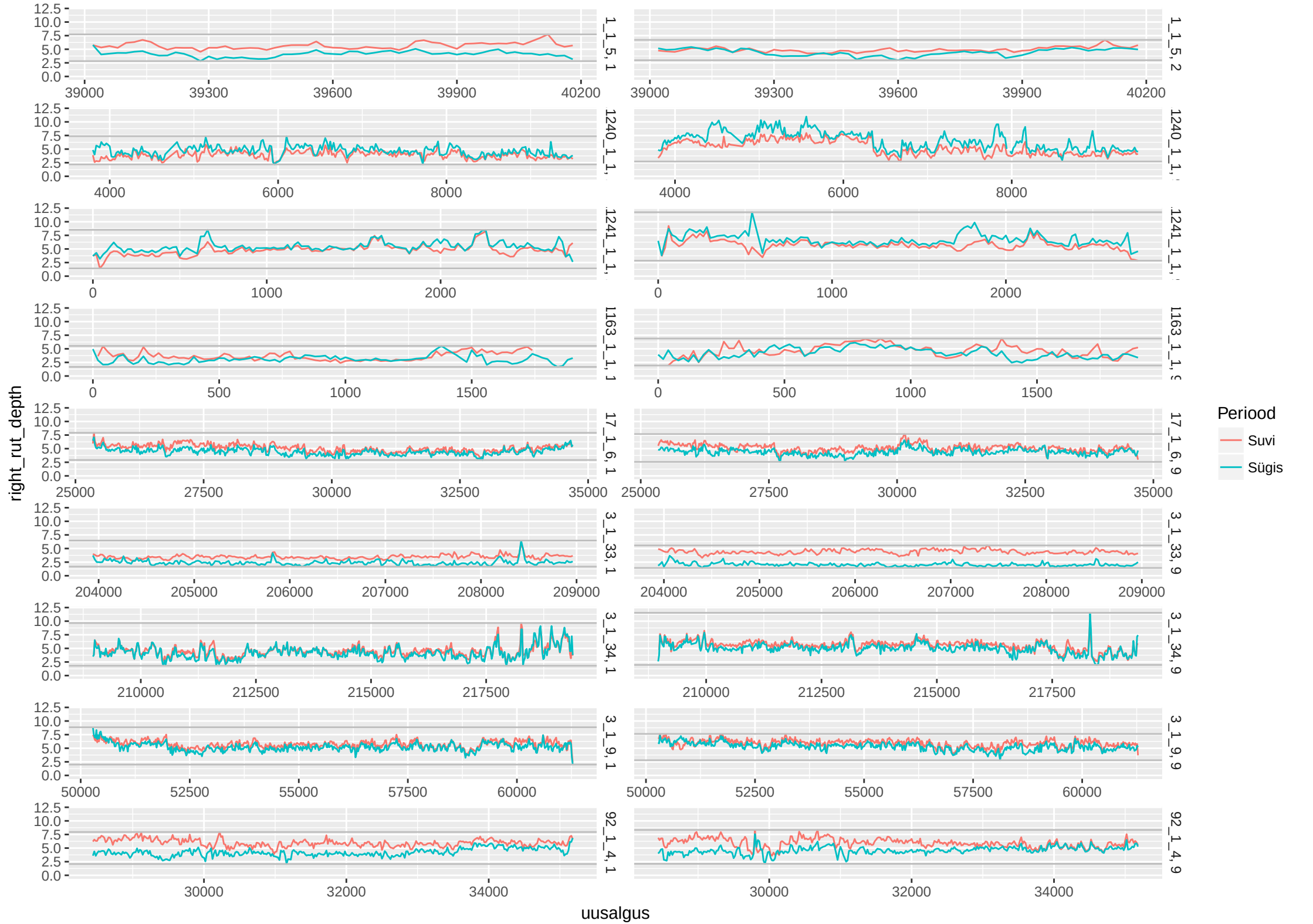
obj\_id

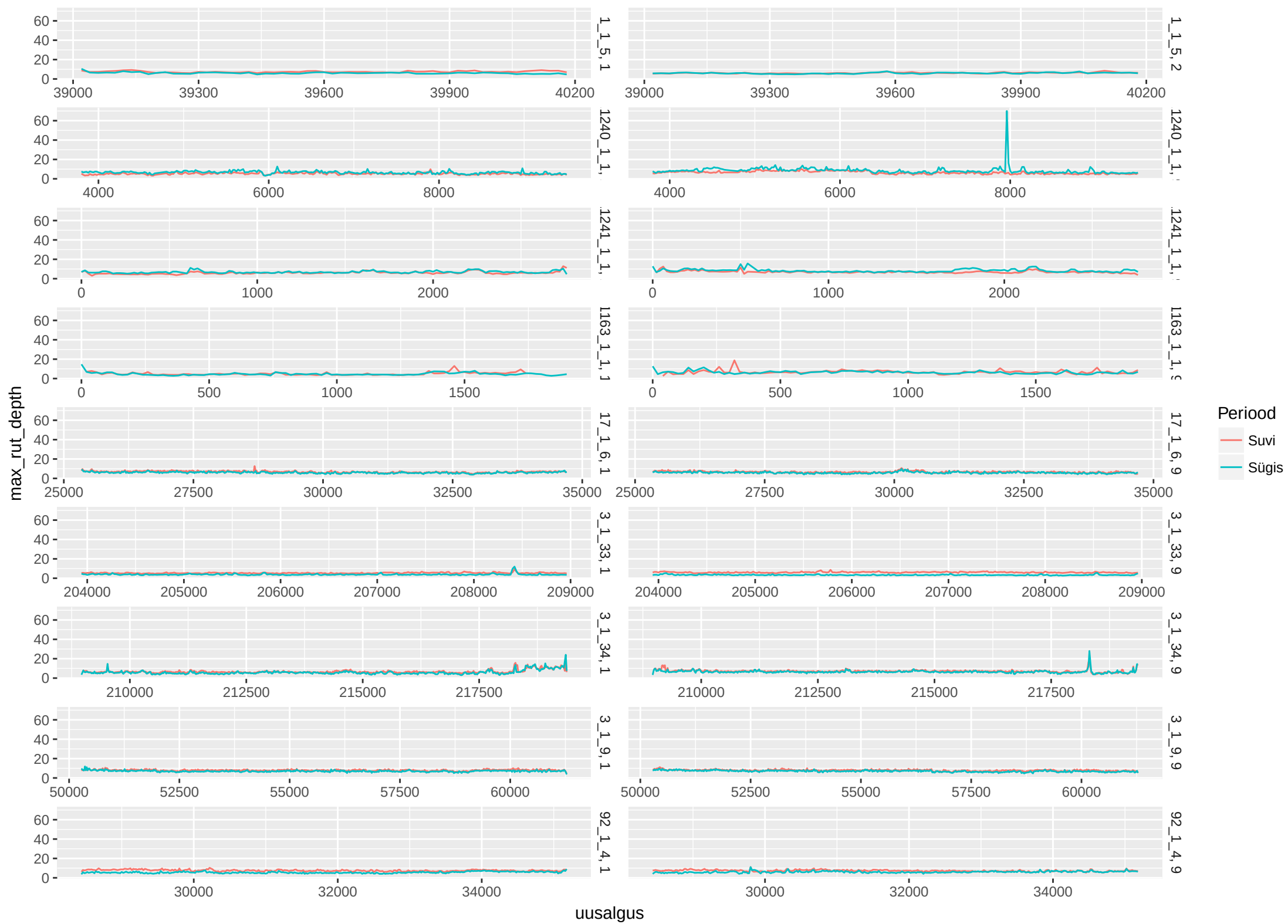
## **LISA 2**

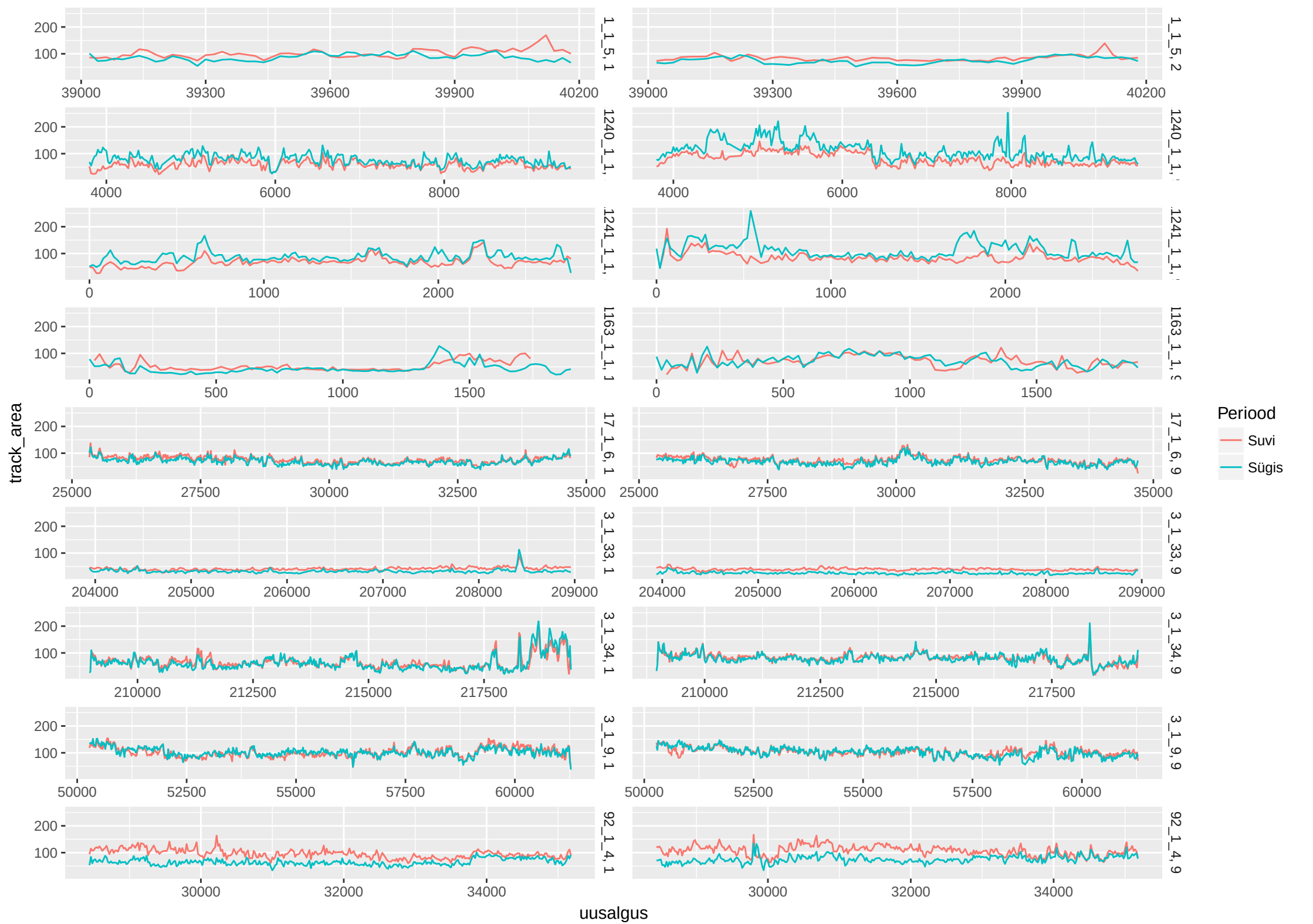


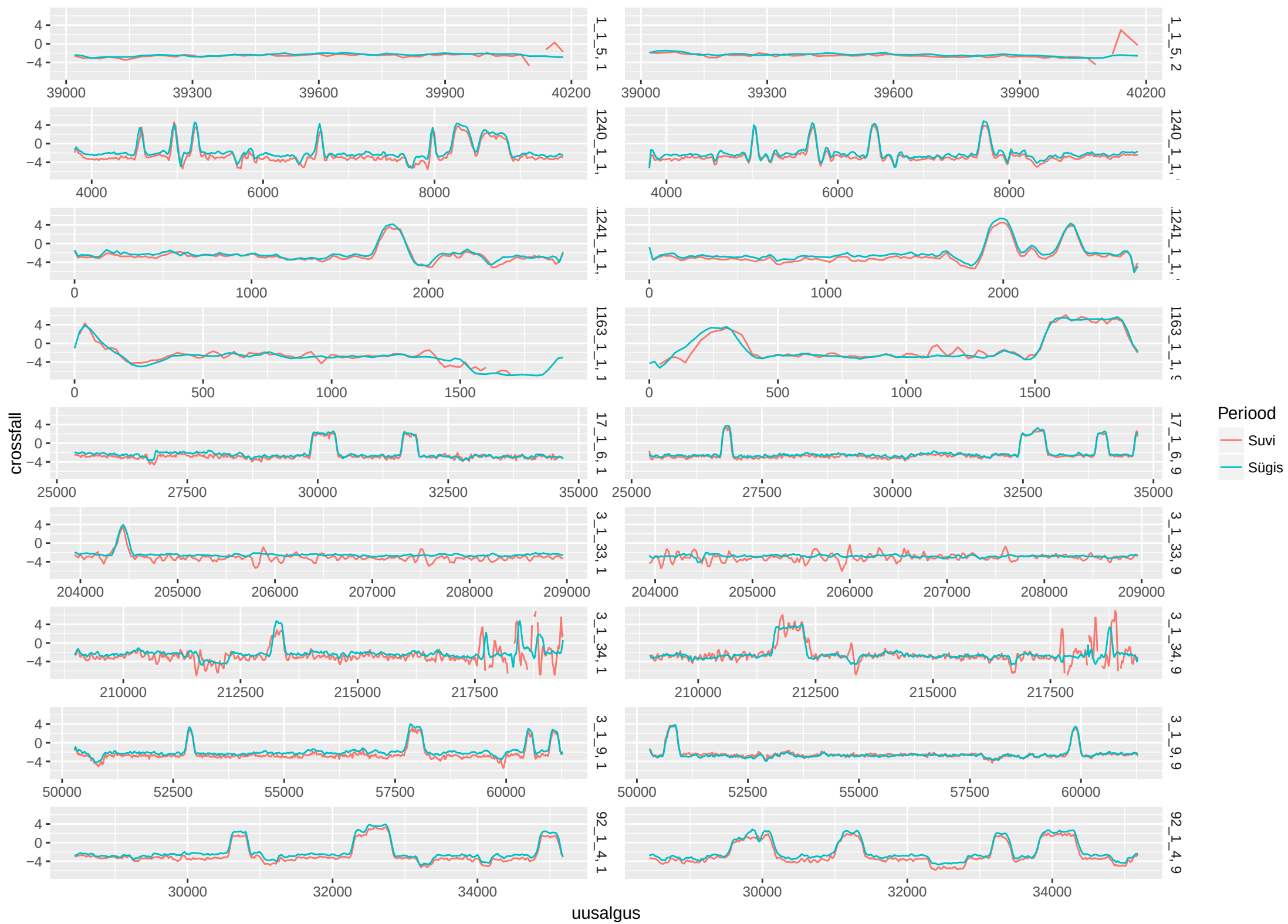


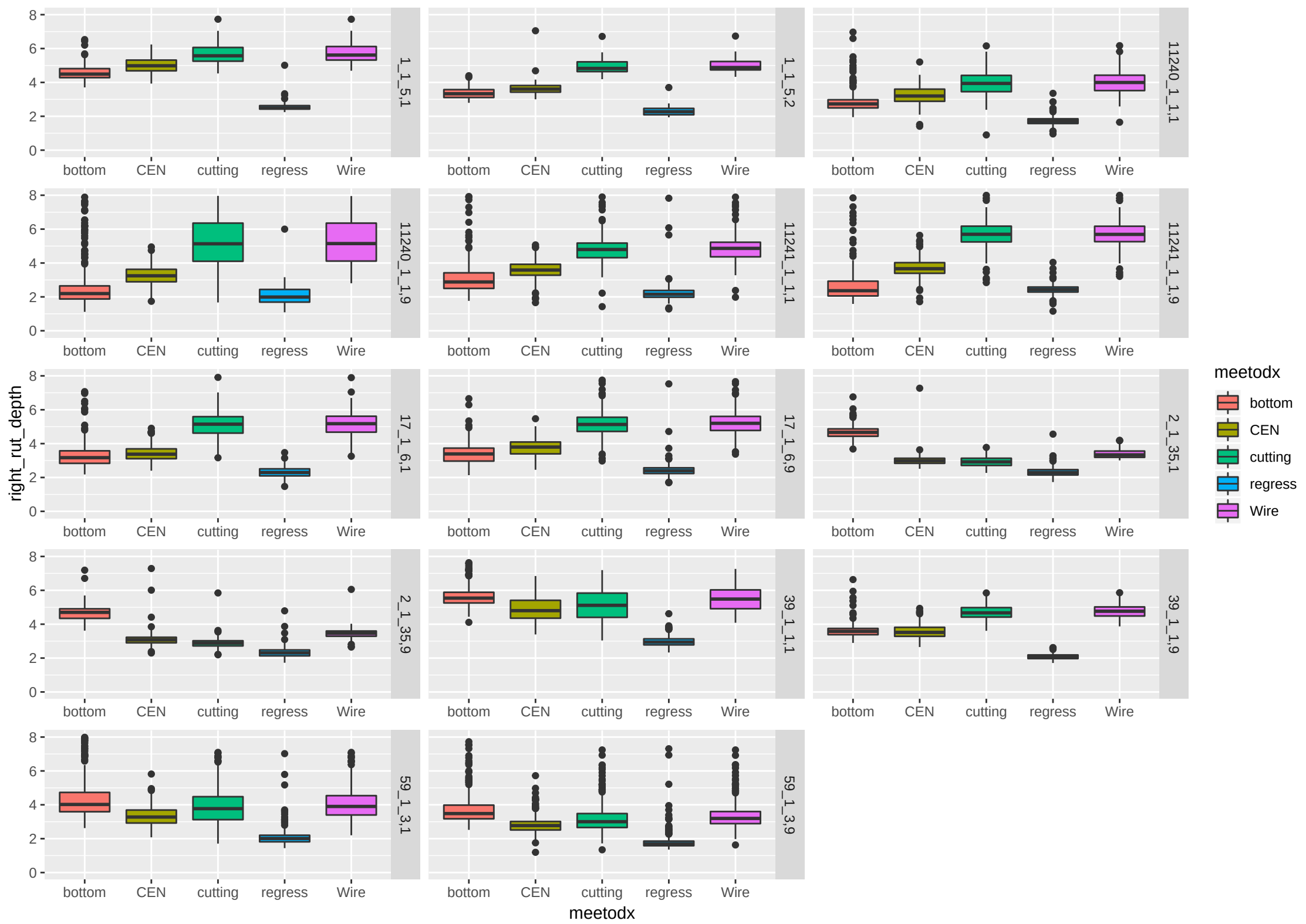


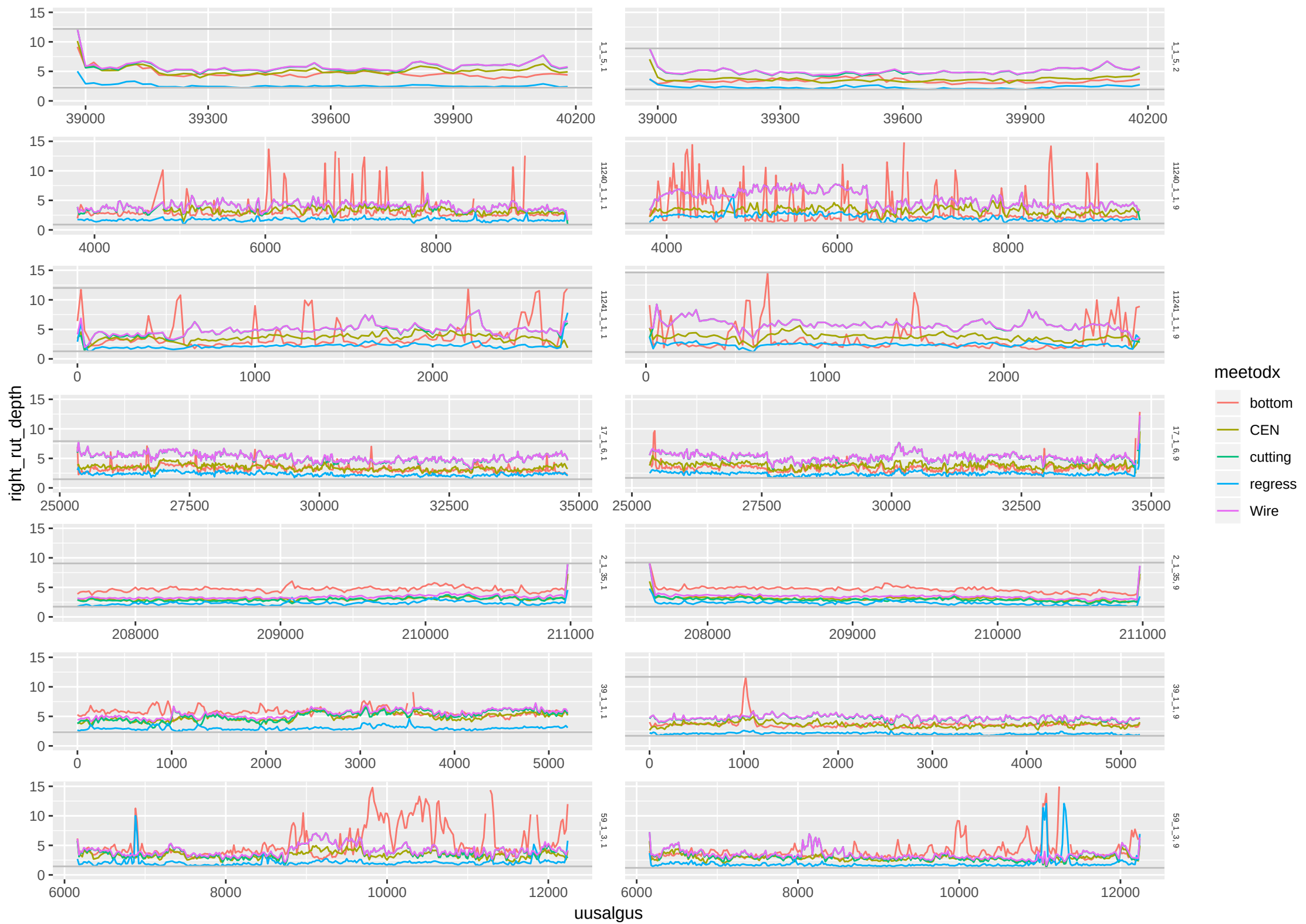




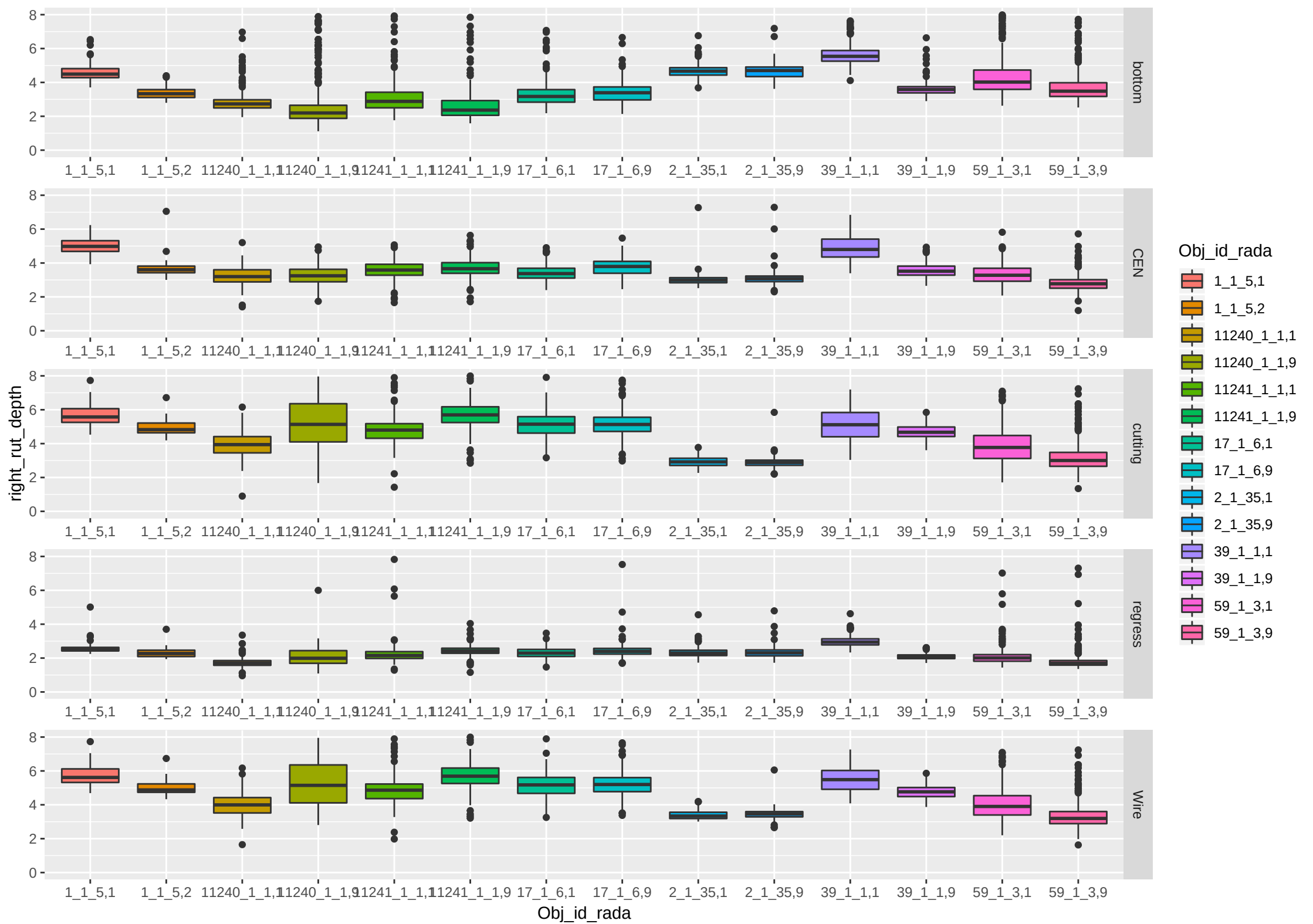






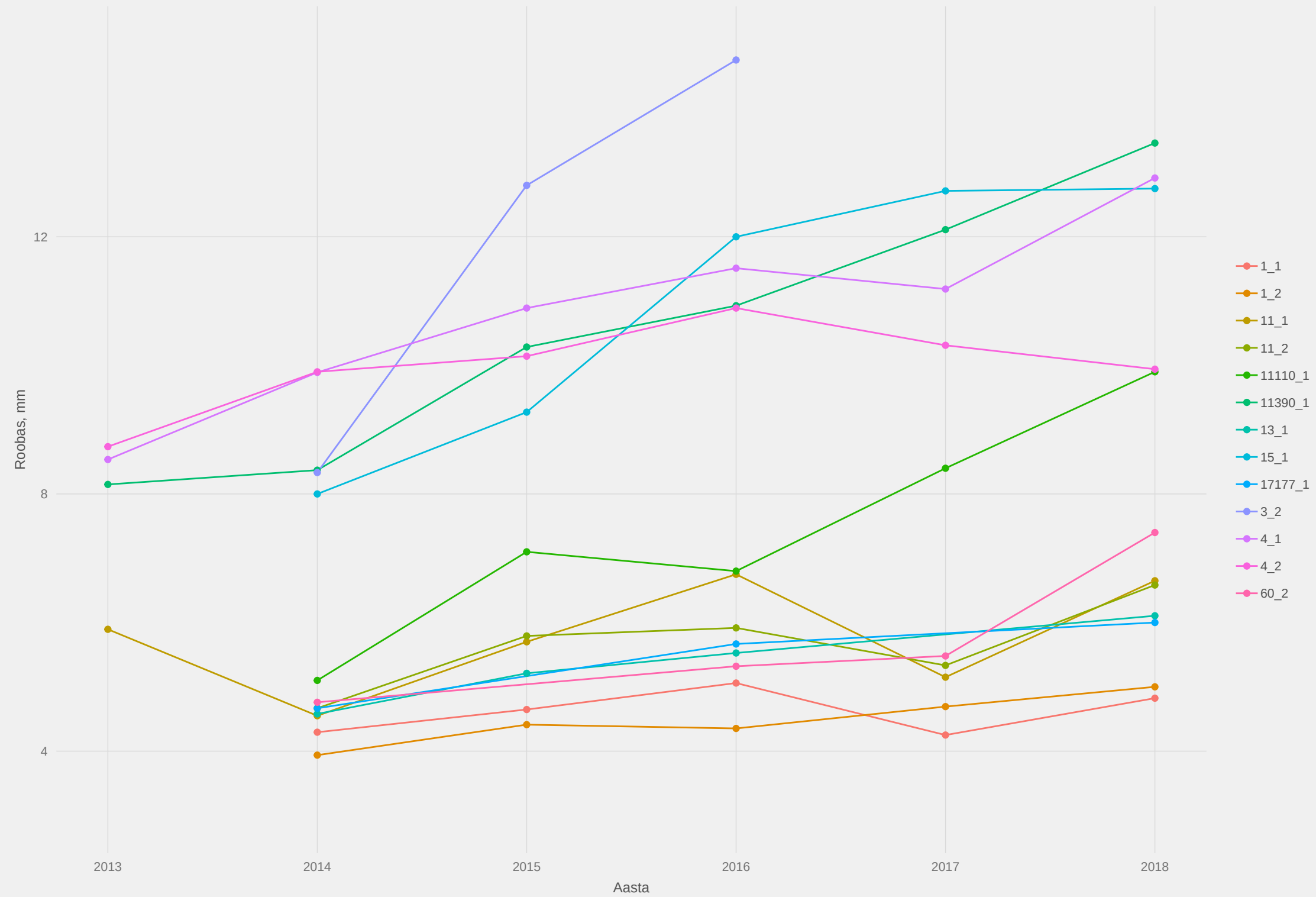






**LISA 3**

Keskmine roobas objekti kaupa aastatel 2013–18



**LISA 4**

## **Kokkuvõte: Kohtumine Soome katteekspertidega**

Koht ja aeg:

Helsingi, 14.03.2019

Osalesid:

Marek Truu - Teede Tehnokeskus

Romet Raun - Teede Tehnokeskus

Katri Eskola, Väylä, Soome

### **Kohtumise eesmärk:**

Kohtumise eesmärk oli selgitada, kuidas toimub Soomes töövõtja motiveerimine uute katete vastuvõtmisel katte põikprofiili parameetrite alusel ning kuidas toimub põikprofiili mõõtmine, sh:

- Põikkalle
- Roopa sügavus (algroobas)
- Muud põikprofiili parameetrid

Haakuvad teemad:

- Katete uuringud: tõhus katte elukaar
- Ettevalmistused üleminekuks põikprofiili mõõtmisele skänneriga
- Makrotekstuuri (MPD) kasutamine katte ühtluse hindamiseks ja probleemide „skännimiseks“
- Jäävpoorsuse maaradariga mõõtmise metoodika täiendamine
- Katte temperatuuri ühtluse mõõtmise metoodika arendamine
- Boonussüsteemi arendamine
- Katteehituse digitaliseerimine

### **Roopa sügavus ja põikkalle**

- Mõõdetakse 17 laseriga nn wire meetodil 3.2 m laiuselt juba väga pikka aega
- Meetodil mitmeid puudusi
- [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo\\_2018-05\\_uusien\\_paallysteiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2018-05_uusien_paallysteiden_web.pdf)

## 7.1 Mittausten ajankohta

Uuden päällysteen alku-urat laatuvaatimusluokissa A ja B mitataan 3–6 viikon kuluessa päällysteen valmistumisesta laatumittauksiin hyväksytyllä mittarilla menetelmäkuvauksen PANK 5208 mukaisesti. Asfalttinormeista poiketen uusiopintausmenetelmillä tehtyjen päällysteiden alku-uramittaukset tehdään 1–6 viikon kuluessa päällysteen valmistumisesta. IRI/IRI4-tasaisuusmittaus tehdään Tienpäällystysurakoissa kahden kuukauden kuluessa päällysteen valmistumisesta ja investointihankkeilla 2–6 viikon kuluessa päällysteen valmistumisesta menetelmän PANK 5207 mukaisesti.

### Nöuded

Väylä:

#### 6.3 Alku-ura

Päällysteen alkutiivistyminen mitataan palvelutasomittausautolla. Mittaustulosten perusteella määrätään päällysteen alku-uran arvonvähennykset.

Asfalttinormeista poiketen uusiopintausmenetelmillä tehtyjen päällysteiden alku-uramittaus tehdään 1 - 6 viikon kuluessa päällysteen valmistumisesta.

Vaatusrajan ylittävistä tuloksista määrätään arvonvähennys  $AU_{100}$  100 metrin maksimiuran keskiarvon perusteella kaavan 26 mukaan.

$$AU_{100} = \frac{(22,5 \times u - 90)}{100} \times p \times YH \quad (\text{kaava 26}),$$

jossa

$AU_{100}$  arvonvähennys (€) 100 m maksimiuran keskiarvon perusteella  
 $u$  100 metrin maksimiuran keskiarvo (mm)  
 $p$  virheellisen osuuden kaistapituus (m)  
 $YH$  kohteen päällysteen yksikköhinta (€/m<sup>2</sup>).

Vaatusrajan ylittävistä tuloksista määrätään arvonvähennys  $AU_K$  koko kohteen maksimiuran keskiarvon perusteella kaavan 27 mukaan.

$$AU_K = \frac{(30 \times u - 90)}{100} \times p \times YH \quad (\text{kaava 27}),$$

jossa

$AU_K$  arvonvähennys (€) koko kohteen maksimiuran keskiarvon perusteella  
 $u$  koko kohteen maksimiuran keskiarvo (mm)  
 $p$  kohteen kaistapituus (m)  
 $YH$  kohteen päällysteen yksikköhinta (€/m<sup>2</sup>).

Taulukko 9 Arvonvähennysprosentteja maksimiuran keskiarvon perusteella.

| Yksittäiset 100-metriset   |                                                                   | Koko kohde                 |                                                                   |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------------------------|
| maksimiuran keskiarvo (mm) | Arvonvähennys-% päällysteen yksikkö hinnasta kaistapituutta kohti | maksimiuran keskiarvo (mm) | Arvonvähennys-% päällysteen yksikkö hinnasta kaistapituutta kohti |
| 4                          | 0                                                                 | 3                          | 0                                                                 |
| 5                          | 22,5                                                              | 4                          | 30                                                                |

PANK:

### 3.3.3 Poikittainen epätasaisuus (alku-urautuminen)

Alku-urautumisesta aiheutuva arvonvähennys lasketaan kutakin uraa kohti neliökaavalla seuraavasti:

$$A = 0,25 \times (h_3 - h_{sall})^2 \times L \times Y$$

A = arvonvähennys (€)  
h<sub>3</sub> = yhtenäisen uran keskisyvyys (mm)  
h<sub>sall</sub> = suurin sallittu poikittainen h<sub>3</sub> (mm)  
L = yhden yhtenäisen uran pituus (m)  
Y = päällysteen arvonlisäveroton yksikköhinta (€/m<sup>2</sup>)

Lieventävänä seikkana otetaan huomioon mahdollinen päällysteen ennenaikainen, urakoitsijasta riippumaton liikennekuormitus.

#### **Ettevalmistused üleminekuks pöikprofiili mõõtmisele skänneriga**

- Mõõdetakse 17 laseriga nn wire meetodil 3.2 m laiuselt juba väga pikka aega, hakkab ajale jalgu jääma, probleemiks täpsus ja korratavus
- Käimas uuringud, et paari aasta jooksul minna üle profiili mõõtmisele:
- [https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2018-17\\_uramittausten\\_mittaustekniikoiden\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2018-17_uramittausten_mittaustekniikoiden_web.pdf)
- <http://vti.diva-portal.org/smash/get/diva2:1192178/FULLTEXT01.pdf>

**LISA 5**



## Erinevate regressioonimudelite koefitsiendid

### 2012. aastal valminud katete koefitsiendid

**Mudel 1** – roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal + SCI + VAAB + deformatsioonikindlus PRDAIR

Coefficients:

|                                        | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|----------------------------------------|------------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                            | -1.461e+03 | 1.182e+02  | -12.358 | < 2e-16  | *** |
| Aasta                                  | 7.319e-01  | 5.878e-02  | 12.452  | < 2e-16  | *** |
| seguSMA 12 70/100                      | -2.965e-01 | 6.029e-01  | -0.492  | 0.622972 |     |
| seguSMA 12 Pmb 65/105-65               | 4.182e+00  | 1.005e+00  | 4.163   | 3.33e-05 | *** |
| seguSMA 16 Pmb 65/105-65               | -6.652e+00 | 6.723e-01  | -9.894  | < 2e-16  | *** |
| X2.kihi.materjAC16base/PAB16B          | -5.274e+00 | 7.743e-01  | -6.812  | 1.41e-11 | *** |
| X2.kihi.materjAC20base/PAB20           | -5.435e+00 | 1.265e+00  | -4.296  | 1.86e-05 | *** |
| X2.kihi.materjAC32base/PAB32           | -4.654e+00 | 6.578e-01  | -7.075  | 2.32e-12 | *** |
| X2.kihi.materjpid.s.k. AC16bin/TAB16II | -2.355e+00 | 7.668e-01  | -3.071  | 0.002172 | **  |
| SCI                                    | 1.375e-02  | 5.126e-03  | 2.683   | 0.007391 | **  |
| VAAB                                   | -4.980e-03 | 2.412e-03  | -2.064  | 0.039152 | *   |
| Dkindl.PRDAIR                          | -2.585e-01 | 7.436e-02  | -3.476  | 0.000524 | *** |

**Mudel 2** - roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal

Coefficients: (1 not defined because of singularities)

|                                        | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|----------------------------------------|------------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                            | -1.441e+03 | 1.087e+02  | -13.253 | < 2e-16  | *** |
| Aasta                                  | 7.200e-01  | 5.392e-02  | 13.354  | < 2e-16  | *** |
| seguAC 12 surf Pmb 75/130-65           | 5.190e+00  | 8.350e-01  | 6.215   | 6.62e-10 | *** |
| seguSMA 12 70/100                      | -1.106e+00 | 5.327e-01  | -2.076  | 0.038    | *   |
| seguSMA 12 Pmb 65/105-65               | 6.537e+00  | 4.048e-01  | 16.151  | < 2e-16  | *** |
| seguSMA 16 Pmb 65/105-65               | -6.312e+00 | 5.130e-01  | -12.305 | < 2e-16  | *** |
| X2.kihi.materjAC12surf/TAB12I          | 1.419e+00  | 3.342e-01  | 4.246   | 2.31e-05 | *** |
| X2.kihi.materjAC16base/PAB16B          | -5.242e+00 | 6.890e-01  | -7.608  | 4.89e-14 | *** |
| X2.kihi.materjAC20base/PAB20           | -5.332e+00 | 1.248e+00  | -4.273  | 2.05e-05 | *** |
| X2.kihi.materjAC32base/PAB32           | -4.583e+00 | 6.341e-01  | -7.228  | 7.79e-13 | *** |
| X2.kihi.materjpid.s.k. AC16bin/TAB16II | NA         | NA         | NA      | NA       |     |

**Mudel 3** - roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal + SCI + deformatsioonikindlus WTSAIR +VAAB

Coefficients:

|                                        | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|----------------------------------------|------------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                            | -1.462e+03 | 1.183e+02  | -12.364 | < 2e-16  | *** |
| Aasta                                  | 7.319e-01  | 5.878e-02  | 12.452  | < 2e-16  | *** |
| seguSMA 12 70/100                      | 1.503e+00  | 8.758e-01  | 1.717   | 0.086265 | .   |
| seguSMA 12 Pmb 65/105-65               | 4.832e+00  | 8.551e-01  | 5.650   | 1.93e-08 | *** |
| seguSMA 16 Pmb 65/105-65               | -6.427e+00 | 6.507e-01  | -9.878  | < 2e-16  | *** |
| X2.kihi.materjAC16base/PAB16B          | -5.402e+00 | 7.632e-01  | -7.078  | 2.28e-12 | *** |
| X2.kihi.materjAC20base/PAB20           | -6.746e+00 | 1.263e+00  | -5.340  | 1.08e-07 | *** |
| X2.kihi.materjAC32base/PAB32           | -5.160e+00 | 6.180e-01  | -8.350  | < 2e-16  | *** |
| X2.kihi.materjpid.s.k. AC16bin/TAB16II | -2.012e+00 | 7.220e-01  | -2.787  | 0.005394 | **  |
| SCI                                    | 1.375e-02  | 5.126e-03  | 2.683   | 0.007391 | **  |
| VAAB                                   | -4.980e-03 | 2.412e-03  | -2.064  | 0.039152 | *   |
| Dkindl.WTSAIR                          | -1.129e+01 | 3.248e+00  | -3.476  | 0.000524 | *** |

**Mudel 4** - roopa sügavus ~ katte vanus + 1. kihi materjal + 2. kihi materjal + SCI + deformatsioonikindlus WTSAIR

Coefficients:

|                                        | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|----------------------------------------|------------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)                            | -1.370e+03 | 1.097e+02  | -12.491 | < 2e-16  | *** |
| Aasta                                  | 6.857e-01  | 5.442e-02  | 12.601  | < 2e-16  | *** |
| seguSMA 12 70/100                      | 6.483e-01  | 7.725e-01  | 0.839   | 0.40151  |     |
| seguSMA 12 Pmb 65/105-65               | 4.603e+00  | 8.489e-01  | 5.423   | 6.89e-08 | *** |
| seguSMA 16 Pmb 65/105-65               | -6.879e+00 | 6.134e-01  | -11.215 | < 2e-16  | *** |
| X2.kihi.materjAC16base/PAB16B          | -5.023e+00 | 7.417e-01  | -6.773  | 1.84e-11 | *** |
| X2.kihi.materjAC20base/PAB20           | -6.225e+00 | 1.239e+00  | -5.023  | 5.71e-07 | *** |
| X2.kihi.materjAC32base/PAB32           | -4.974e+00 | 6.121e-01  | -8.127  | 9.43e-16 | *** |
| X2.kihi.materjpid.s.k. AC16bin/TAB16II | -9.136e-01 | 4.886e-01  | -1.870  | 0.06171  | .   |
| SCI                                    | 1.353e-02  | 5.131e-03  | 2.637   | 0.00846  | **  |
| Dkindl.WTSAIR                          | -8.888e+00 | 3.036e+00  | -2.928  | 0.00347  | **  |

**Mudel 5** - roopa sügavus ~ Emoodul

Coefficients:

|             | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept) | 8.521960 | 0.750626   | 11.353  | <2e-16   | *** |
| Emoodul     | 0.001147 | 0.002150   | 0.533   | 0.594    |     |

**Mudel 6** - roopa sügavus ~ Emooduli grupp

Coefficients:

|                        | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|------------------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)            | 9.3333   | 0.6083     | 15.343  | <2e-16   | *** |
| Emod_grupp2250-300 MPa | -0.9905  | 0.6611     | -1.498  | 0.134    |     |
| Emod_grupp2300-350 MPa | -0.5643  | 0.6522     | -0.865  | 0.387    |     |
| Emod_grupp2350-400 MPa | 0.2129   | 0.6463     | 0.330   | 0.742    |     |
| Emod_grupp2400... MPa  | -0.6746  | 0.6736     | -1.001  | 0.317    |     |

## 2017. aastal valminud katete koefitsiendid

**Mudel 1** - algroopa sügavus ~ Kandevõime erinevus protsent + segu + jäävpoorsus + SCI + liiklussagedus

Coefficients:

|                     | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|---------------------|------------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)         | -2.065e+00 | 2.767e-01  | -7.465  | 1.20e-13 | *** |
| Erinevusprots       | 5.513e-01  | 1.824e-01  | 3.023   | 0.00253  | **  |
| seguAC20surf160/220 | 4.299e-01  | 1.047e-01  | 4.108   | 4.14e-05 | *** |
| jp_r1_radar         | 1.412e+00  | 2.694e-02  | 52.425  | < 2e-16  | *** |
| SCI                 | 5.892e-03  | 1.803e-03  | 3.268   | 0.00110  | **  |
| kal                 | 6.393e-04  | 2.379e-05  | 26.874  | < 2e-16  | *** |

**Mudel 2** - algroopa sügavus ~ Kandevõime erinevus protsent + mõõdetud kandevõime + jäävpoorsus + SCI + liiklussagedus

Coefficients:

|               | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|---------------|------------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)   | -3.055e+00 | 3.806e-01  | -8.028  | 1.60e-15 | *** |
| Erinevusprots | -1.201e+00 | 3.729e-01  | -3.221  | 0.001295 | **  |

|             |           |           |        |          |     |
|-------------|-----------|-----------|--------|----------|-----|
| Emod        | 7.566e-03 | 1.610e-03 | 4.700  | 2.76e-06 | *** |
| jp_r1_radar | 1.292e+00 | 2.607e-02 | 49.560 | < 2e-16  | *** |
| SCI         | 6.321e-03 | 1.781e-03 | 3.549  | 0.000395 | *** |
| kal         | 4.709e-04 | 4.103e-05 | 11.478 | < 2e-16  | *** |

**Mudel 3** - algruupa sügavus ~ mõõdetud kandevoime + vajalik kandevoime + jäävpoorsus + SCI + segu

Coefficients:

|                     | Estimate   | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|---------------------|------------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)         | -7.5829187 | 0.3973048  | -19.086 | < 2e-16  | *** |
| Emod                | 0.0026162  | 0.0007876  | 3.322   | 0.000909 | *** |
| Emodvajalik         | 0.0327209  | 0.0013322  | 24.561  | < 2e-16  | *** |
| seguAC20surf160/220 | -0.7254814 | 0.1126572  | -6.440  | 1.47e-10 | *** |
| jp_r1_radar         | 1.0625294  | 0.0301375  | 35.256  | < 2e-16  | *** |
| SCI                 | 0.0036802  | 0.0018356  | 2.005   | 0.045094 | *   |

**Mudel 4** - algruupa sügavus ~ mõõdetud kandevoime + kandevoime erinevus protsent

Coefficients:

|               | Estimate  | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|---------------|-----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept)   | -6.524186 | 0.313662   | -20.80  | <2e-16   | *** |
| Erinevusprots | -7.849472 | 0.250767   | -31.30  | <2e-16   | *** |
| Emod          | 0.043675  | 0.001185   | 36.85   | <2e-16   | *** |

**Mudel 5** - algruupa sügavus ~ jäävpoorsus

Coefficients:

|             | Estimate | Std. Error | t value | Pr(> t ) |     |
|-------------|----------|------------|---------|----------|-----|
| (Intercept) | 0.02411  | 0.09077    | 0.266   | 0.791    |     |
| jp_r1_radar | 1.41318  | 0.02625    | 53.842  | <2e-16   | *** |