

MARJA-TERTTU SIKIÖ

Tien reunapainaumatunnusluvun määrittäminen



Marja-Terttu Sikiö

Tien reunapainaumatunnusluvun määrittäminen

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2013

Liikennevirasto

Helsinki 2013

Kannen kuva: Pertti Virtala (tie 290, tieosa 9, aet 920)

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-329-4

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Marja-Terttu Sikiö: Tien reunapainamatunnusluvun määrittäminen. Liikennevirasto, väylänpito-osasto. Helsinki 2013. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 25/2013. 60 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-329-4.

Avainsanat: tiet, painumat, tunnusluvut

Tiivistelmä

Työssä tutkittiin tien oikeassa reunassa tyypillisesti esiintyvää reunapainamaa. Sille muodostettiin laskenta-agnosti ja tutkimuksen pohjaksi muodostettiin useita eri tunnuslukuja useille eri laskentapituuksille. Tavoitteena oli saada kehitettyä sellainen tunnusluku, joka tunnistaa tien reunapainumailmiön, kehittyä ajallisesti loogisesti ja on mitattavissa riittävän tarkasti. Reunapainauksen tunnusluku tuotettiin kaistan poikkiprofiilitiedoista vertaamalla oikean puolen informaatiota vasemmalta puolelta saatuun regressiosuoraan. Reunapainamatyyppinä on määritelty yhteensä 9, mutta tässä työssä niitä ei eritelty. Reunapainamaa kuvaavia tunnuslukuvaihtoehtoja oli useita, koska tarkasteltiin useita jakauman tilastollisia tunnuslukuja ja useita eri laskentapituuksia. Tunnuslukuvaihtoehdot olivat reunapainauksen keskiarvo, hajonta ja 95 % prosenttipiste kullakin laskentavälillä (5 m, 10 m, 20 m ja 100 m). Reunapainama on melko uniikki ja paikallinen ilmiö, mikä rajoittaa sen laskentapituutta.

Reunapainauksen tunnistamisen tutkimisessa käytettiin maastohavaintoja. Maasto-kohteet valittiin reunapainamia sisältävistä kohteista, jotka käytiin arvioimassa. Reunapainamaa sisältävien kohtien paikkatieto luettiin GPS-pohjaisella tietokoneohjelmalla. Tunnuslukujen tunnistuskykyä analysoitiin laskemalla kuinka suuren osuuden kukin tunnusluku tunnisti oikein. Tunnusluvun tuli pystyä erottelemaan reunapainamia sisältäneet kohdat mahdollisimman hyvin sekä myös niitä sisältämättömät kohdat. Täydellisen tunnistuskyvyn arvot ovat 100 % oikein kumpikin. Tunnistuspuutetta laskettiin poikkeamana tästä täydellisestä tunnistuskyvystä. Kunkin tunnusluvun raja-arvoksi valittiin se raja-arvo, joka minimoi tunnistuspuutteen. Laskentapituus vaikutti tunnistuskykyyn siten, että se paransi tunnistuskykyä. Tunnistuskyvyn kannalta kannattaisi valita mahdollisimman lyhyt laskentapituus, joka oli tässä selvityksessä 5 m.

Tunnusluvun valinta on usean tavoitteen tehtävä. Tunnusluville asetettujen tavoitteiden mukaan niiden tuli kuvata ilmiötä ja sen vuosikehitystä sekä olla mitattavissa riittävän tarkasti. Reunapainamatunnuslukuja arvioitiin myös mittauksen tarkkuuden ja vuosikehityksen kannalta. Sekä mittauksen tarkkuus että vuosikehityksen hallinta paranevat, kun laskentapituus kasvaa. Sadan metrin laskentavälillä saatiin parhaat tulokset. Valinnassa painotettiin eniten tunnusluvun tunnistuskykyä ja vähiten vuosikehitystä. Tunnusluku kuvaa reunapainumailmiötä tarkimmin kun se on tuotettu lyhyelle laskentapituudelle. Tästä syystä lopullisen suositeltavan tunnusluvun laskentapituus on lyhyempi, 20 m. Tunnusluvuksi käy sekä reunapainauksen keskiarvo että prosenttipiste.

Marja-Terttu Sikiö: Vägens kanthäng. Trafikverket, trafikledshållning. Helsingfors 2013. Trafikverkets undersökningar och utredningar 25/2013. 60 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-329-4.

Sammanfattning

I denna rapporten en ny variabeln var utvecklat för att handla vägens kanthäng. Tre olika mål var så att variabeln måste beskriva kanthäng problemen I vägen, den måste visa hur vägen bärar sig åt på lång skikt, och att den skall vara möjligt att mätas noggrant. Den nya variabeln var definierad så att man använde informationen av den västra sidan av körbanan för att jämföra den högra sidan med regressiolinjen. Ny kanthäng variabeln var räknad med fyra olika beräkningslängden, 5 m, 10 m, 20 m och 100 m. Originellt det fins nio olika typer av kanthäng men dom var inte tagit i hänsyn. Tre statistiskt sifferkoden var använt som kandidat för kanthäng. Dom var medelvärden, standar avvikelsen och 95 % procent punkten. Dom tre variabelerna var räknad med fyra olika räknings längden. Tre olika test vägar var väljat. En person besökte varje test vägen och inspekterade alla sträckor som innehåll kanthäng. Olika gränsvärden var använt och resultaten var jämfört med inspekterad information.

Resultaten av analysen visade, att de bästa kandidaterna för en ny variabeln var medelvärden av kanthäng räknad med 20 m räknings längden och percent punkten (P95%) räknad med 20 m räknings längden. Standard avvikelsen av kanthäng gav inte så bra resultat, vilken resultat var överraskande därför att den vanligen är en bra kandidat för att känna i dom dåliga punkter på vägnätet. Den bästa recommendationen var, att använda den 20 m medelvärden av kant häng för att mäta vägarnas kant häng problemen och beräkna hur många 20 m sträckor öveträdar en vist gränsvärd. Den optimala gränsvärden för 20 m sträckor var kanthängen över 35 mm.

Marja-Terttu Sikiö: The edge drop of a road. Finnish Transport Agency, Infrastructure maintenance. Helsinki 2013. Research reports of the Finnish Transport Agency 25/2013. 60 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-329-4.

Summary

In this study a new variable for the edge drop of a road was developed. Three different goals were the basis of the work. The new variable should describe the phenomena of edge drop of a road, it should be possible to see a logical annual behaviour of the road concerning edge drop and the variable should be possible to measure accurately and precisely. Edge drop variable was produced using the information of the left and right side of a lane. Information of the left side of the lane was used to form the basic cross fall and information of the right side of the lane was used to compare data to the extended cross slope. Edge drop was the maximum distance between the cross slope and laser readings. There are at least nine different types of edge drop but in this study no classification was used. Three types of statistical indexes (mean value, standard deviation, and 95 % percentile) were studied with four different averaging lengths (5 meters, 10 meters, 20 meters and 100 meters).

The findings were that shorter averaging distances produced better connection to the edge drop phenomena. That was studied by comparing calculated values to the field study where 4-6 test sites were surveyed. Longer averaging distances produce better accuracy and precision and better annual behaviour. The mean value of edge drop and the 95 % percentile were better in describing edge drop than the standard deviation of edge drop. As the final conclusion a compromise 20 m averaging distance was proposed. For that averaging distance a threshold value of 35 mm was recommended.

Esipuhe

Tämän selvityksen tavoitteena on ollut laatia reunapainauksen määrittämismenetelmä PTM-mittausten tuloksista. Selvityksen on tilannut Liikennevirasto, jossa työtä ovat ohjanneet Juho Meriläinen, Tuomas Toivonen, Vesa Männistö ja Olli Penttinen. Työssä on konsulttina toiminut Destia, jossa projektipäällikkönä on toiminut Marja-Terttu Sikiö sekä asiantuntijoina Arto Kuskelin, Pertti Virtala, Erko Libe ja Laura Into.

Helsingissä kesäkuussa 2013

Liikennevirasto
Väylänpito-osasto

Sisältö

1	JOHDANTO	8
1.1	Taustaa	8
1.2	Reunapainumatiedon käyttötilanteet	9
2	TAVOITTEET	11
3	REUNAPAINAUMAN LASKEMINEN	12
3.1	Reunapainumatyypit	12
3.2	Reunapainauksen määrittely	16
3.3	Reunapainauksen tilastollinen tarkastelu	17
3.3.1	Pituusprofileja	17
3.3.2	Korrelaatioita	19
3.3.3	Tilastollisia tunnuslukuja	21
3.3.4	Reunapainauksen pituus ja toistuminen	25
4	REUNAPAINAUMAN TUNNUSLUKU	27
4.1	Tunnuslukuvaihtoehdot	27
4.1.1	Jakauman tunnusluku	27
4.1.2	Tunnusluvun laskentapituus	28
4.2	Tunnuslukujen ilmiönkuvauskyky	35
4.2.1	Maastokohteet	35
4.2.2	Maastovastaavuus	44
4.3	Tunnuslukujen mittaustarkkuus	51
4.4	Tunnuslukujen vuosikehitys	53
4.5	Tunnuslukujen vertailu ja valinta	56
5	YHTEENVETO	58
6	JATKOTOIMENPITEET	59
	LÄHDELUETTELO	60
	LIITTEET	
Liite 1	Reunapainauksien jakaumia	

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Liikennevirasto ohjaa päällysteiden ylläpitoa Päällysteiden ylläpidon toimintalinjoilla (2006). Toimintalinjojen perusteena on nykyinen rahoitustaso ja ylläpidon toimenpiteiden ohjelmoinnin pääkriteerinä asiakkaille tarjottava palvelutaso. Ylläpidossa huomioidaan lisäksi taloudellisuus pitkällä aikajänteellä. Päällysteiden ylläpidon taso (ylläpitoluokka) määräytyy tien liikennemäärän ja tien toiminnallisen luokan sekä paikallisia liikenteen tarpeita kuvaavien tietojen perusteella.

Päällystysohjelma pyritään laatimaan siten, että päällystetyille teille asetetut kuntokriteerit (urat, tasaisuus ja vauriot) täytyvät. Kuntokriteereille on määritetty liikennetaloudellisin perustein toimenpiderajat liikennemäärän ja nopeusrajoituksen mukaan. Päällystetyn tiestön kunnolle on asetettu ylläpitoluokittain tavoitteita, joita ovat huonokuntoisten osuus ja toimenpiderajoja huonompien osuuksien määrä. Ylläpidon toimintalinjassa on esitetty tavoite siirtyä käyttämään nykyisten kuntokriteerien lisäksi uusia, tien pinnan laatua monipuolisemmin ja asiakaslähtöisemmin kuvaavia kriteerejä kuten pinnan karheus, sivukaltevuus, yksittäiset heitot, tienkäyttäjän näkökulmaa peilaava vauriosumma ja ajourien välinen harjanne.

Edellä mainittujen kuntotilaa kuvaavien täydentävien kriteerien lisäksi yksi aikaisemmin Suomessa määrittelemätön pinnan laatua kuvaava muuttuja on tien poikki-profiilista määritettävä reunapainauma. Reunapainauksen laskemista päällysteen poikkiprofiilimitausten tuloksista on aikaisemmin suositeltu joissain suomalaisissa selvityksissä. Poikkiprofiilista määritettävän reunapainumamuuttujan määrittelyyn tähtäävän toimeksiannon tuloksena on syntynyt tämä raportti.

Reunapainauma on alemman luokan teiden (leveys <8m) tyypillinen heikosta kantavuudesta johtuva ongelma. Se on tien pituussuuntainen deformaatio, joka ulottuu päällysteen reunan asti tai ainakin hyvin lähelle sitä.

Reunapainauma on aikaisemmin määritetty visuaalisessa vaurioinventoinnissa. Visuaalisten vaurioinventointien tekeminen lopetettiin vuonna 2007 ja se korvattiin automaattisella vauriomittausmenetelmällä. Automaattisen vauriomittauksen tuloksia ei kuitenkaan voitu käyttää päällysteiden ylläpidon verkkotason tarkasteluihin ja menetelmän käytöstä Liikennevirastossa luovuttiin. Vuonna 2011 otettiin käyttöön uusi menetelmä - päällystevauriokartoitus PVK. Kartoitus suoritetaan ajoneuvolla ajaen arvioiden silmämääräisesti päällysteiden eri vaurio-tyyppien perusteella korjaustarvetta. Tulokset talletetaan tieosoitteeseen sidottuna. Menetelmällä yksittäisiä reunapainuneita tienkohtia ei kuitenkaan paikanneta tarkasti.

Ruotsissa reunapainauksen mittaamiseen tähtäävää kehittämistyötä on tehty 1990-luvun loppupuolelta lähtien, jolloin käynnistettiin VTI:n ja Vägverketin projekti ”*Automatiserad metod för detektering av kantdeformationer*”. Projektista on tehty kattava tutkimusraportti. Tunnusluvun kehittelyvaiheessa reunapainaumalle määriteltiin kaksi eri laskenta-algoritmia, joiden pääasiallisena erona oli sivukaltevuuden määrittely. Ensimmäisessä algoritmista sivukaltevuus määritettiin regressiomallilla

ja toisessa algoritmissa pintaviivamallilla (kaksi tukipistettä). Toimivammaksi näistä havaittiin sivukaltevuuden regressiomalliin perustuva algoritmi.

Kehitettyä reunapainumatunnuslukua on tutkimushankkeen jälkeen käytetty Ruotsissa kokeiluluontoisesti joissain alueellisissa mittausurakoissa. Kokeilujen tuloksia ei kuitenkaan ole helposti (internetistä) saatavilla. Eikä niitä saatu tähän työhön käyttöön myöskään muuta kautta.

Ko. ruotsalaista alkuperää oleva algoritmi otettiin tässä työssä reunapainumamuuttujan määrittelyn pohjaksi. Ruotsalainen algoritmi pohjautuu alun perin eurooppalaisessa standardissa *EN 13036-8 Road and airfield surface characteristics - Test methods – Part 8: Determination of transverse unevenness indices* esitettyyn määritelmään reunapainumasta (edge slump). Standardissa esitetty määritelmä on hyvin yleispiirteinen (vain kuva) ja ruotsissa määritelmää onkin kehitetty eteenpäin.

1.2 Reunapainumatiedon käyttötilanteet

Tien reunapainumatietoa, kuten päällysteen kuntotietoa yleensä, käytetään tieverkon ylläpidon toiminnansuunnittelussa useilla eri tasoilla. Strategisella tasolla ollaan kiinnostuneita erityisesti tieverkon tilasta ja korjaustarpeista. Tieverkon kuntotilaa kuvataan viisiportaisen kuntoluokituksen avulla siten, että useat eri kuntomuuttajat vaikuttavat kuntoluokkaan. Kukin kuntomuuttaja tuotetaan ensin 100 m laskentavälille ja luokitellaan sen jälkeen viiteen luokkaan, joista huonoin kuntomuuttaja määrää jakson kokonaiskuntoluokan. Huonokuntoisten teiden määrä verkkotasolla ohjaa toimintaa. Jos reunapainuma otetaan yhdeksi kokonaiskunnan määrittäjäperusteeksi, niin se tulee tuottaa jatkuvana muuttujana 100 m jaksoille kaistoittain ja luokitella viiteen eri luokkaan. Tämän jälkeen sen huomioon ottaminen tapahtuu samalla tavalla kuin muidenkin kuntomuuttajien.

Tieverkon tilaan liittyvät vaatimukset siirtyvät strategiselta tasolta ohjelmointitasolle kun alueorganisaatiot suunnittelevat vuosityöohjelmiaan sovittujen tulostavoitteiden saavuttamiseksi. Tällöin keskeisenä tavoitteena on vähentää huonokuntoisten teiden määrää ja parantaa liikenneturvallisuutta. Reunapainumatietoa käytetään joko 100 m tason tietona tavanomaisessa ylläpidon ohjauksessa tai sitä tarkempina 10–20 m tietona täsmäkorjauskohteiden etsinnässä.

Vuosityöohjelmien toteuttaminen hankitaan urakoitsijoilta, jotka toteuttavat teiden ylläpitoa hankinta-asiakirjoissa edellytetyn laatutason mukaisesti. Laatuvaatimukset kohdistuvat usein yksittäisiin 100 m jaksoihin ja suurempien kokonaisuuksien kuntojakaumiin (%-pisteisiin). Hankinnan tarpeisiin tarvitaan usein kaistakohtainen tieto sekä ennen toimenpidettä että sen jälkeen. Toimenpiteiden jälkeiselle kunnolle asetetaan vaatimuksia tapauskohtaisesti. Hankinnan tarpeisiin riittänee, että tuotetaan reunapainumatieto jatkuvana muuttujana kulloinkin haluttavalle laskentapituudelle.

Reunapainumamuuttuja ei saatujen tietojen mukaan ole tällä hetkellä käytössä Ruotsin lisäksi missään muussa eurooppalaisessa maassa (*tieto pohjautuu melko vanhaan COST 354 –projektissa (Selection and assessment of individual performance indicators, 2007) tehtyyn selvitykseen*). Ruotsissa päällysteiden ylläpidon laatuvaatimuksissa on esitetty vaatimus reunapainuman suuruudelle. Vaatimusluokka

määräytyy liikennemäärän mukaan. Suurin sallittu reunapainauman arvo 100 m:n keskiarvolle on:

- 60 mm, kun KVL on 0–500 ajon/vrk,
- 50 mm, kun KVL on 500–4000 ajon/vrk,
- 40 mm, kun KVL on yli 4000 ajon/vrk

Reunapainautumaa ei kuitenkaan Ruotsissa mittausurakoissa mitata eikä reunapainautuman määrittämistä ole kuvattu Vägverketin verkkotason tai kohdetason mittauksen vuodelta 2009 olevassa ohjeistuksessa (*VVMB 122; Vägytemätning med mätbil; Objektmätning; 2009; ja VVMB 121 Vägytemätning med mätbil; Vägnätsmätning; 2009;*).

2 Tavoitteet

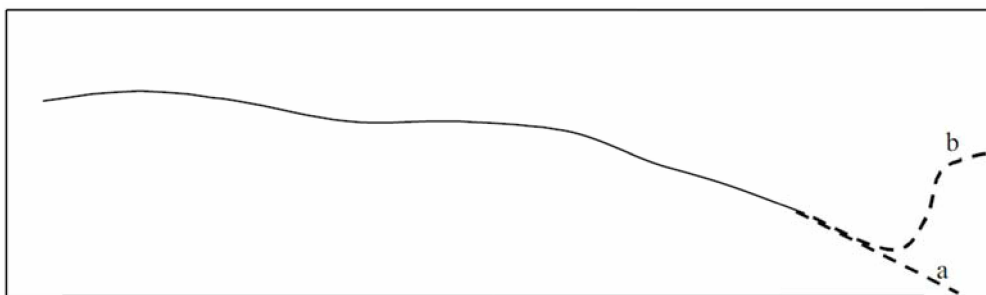
Tämän selvitystyön tavoitteena oli määritellä tien reunapainaumaa kuvaavan tunnusluvun tuottamisen periaatteet. Määrittelytyön lähtökohtana oli, että laskennassa voidaan hyödyntää ruotsalaisten nykyisin käyttämää reunapainauksen määrittelyä ja metodiikkaa.

Keskeisiä tavoitteita uuden laskennallisen päällysteen pintakuntoa kuvaavan muuttujan määrittelyssä on sen hyvä kyky tunnistaa päällysteestä mitattava ominaisuus, visuaalisen havainnon ja mittaustuloksen voimakas korreloiminen, mittausten toistettavuus sekä muuttujan arvon looginen kehittyminen tiestöllä peräkkäisinä vuosina.

3 Reunapainauman laskeminen

3.1 Reunapainumatyypit

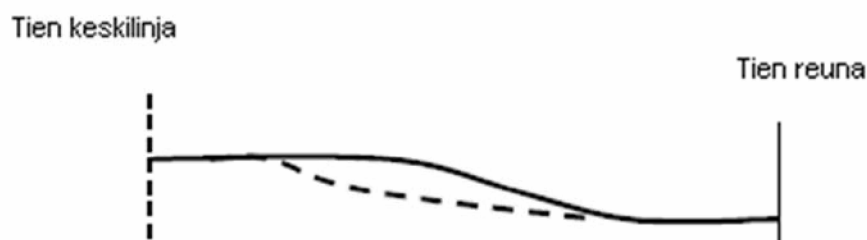
Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa reunapainauma määriteltiin tyypillisesti jakautuvan kahteen päämuotoon (kuvassa 1). Poikkiprofiilityypissä a koko kaistan oikea puoli on painunut ja reunapainauma ulottuu päällysteen reunaan saakka eikä se ole havaittavissa suurena urasyvyytenä. Profiilityypissä b reunapainauma ei ulotu päällysteen reunaan saakka vaan aivan tien oikeaan reunaan on muodostunut harjanne. Reunapainauma luokiteltiin tutkimuksessa kolmeen vakavuusluokkaan: luokka 1: 0–5 cm; luokka 2: 5–10 cm; luokka 3: 10–15 cm.



Kuva 1. Tien reunapainumakohdan poikkiprofiilin päätyypit.

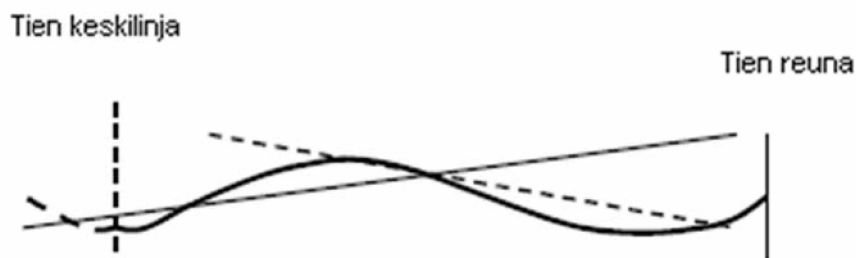
Tutkimuksessa kehitettiin myös tiejaksojen (50–100 m) luokittelumenetelmä, jossa tiejaksot luokiteltiin yhdeksään luokkaan poikkiprofiilin muodon ja algoritmin erottelukyvyn mukaan. Ko. luokittelumenetelmässä esitetyt reunapainumatyypit on kuvattu alla.

1. Leveä reunapainauma on tavanomainen tiestöllä esiintyvä reunapainumatyyppi, jossa koko oikeanpuoleinen osa kaistaa on painunut – todennäköisesti puutteellisen pohjamaan kantavuuden vuoksi. Kantavuusvaurioita ei ole päällysteeseen välttämättä muodostunut, koska ajorata on deformoitunut päällysteen reunaan asti eikä esimerkiksi verkkohalkeamaa ole asfalttipäällysteeseen muodostunut. Algoritmi ei todennäköisesti löydä suurta reunapainauman arvoa tällaisesta profiilista.



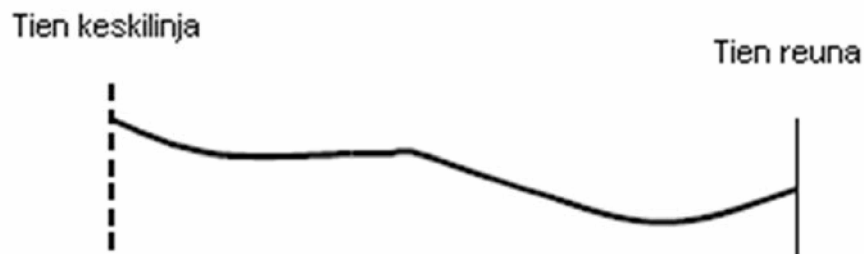
Kuva 2. Profiilityyppi 1, leveä reunapainauma.

2. Leveä ja syvä reunapainauma sekä keskiura. Teillä, joilla on isoja kantavuuspuutteita, esiintyy usein kantavuusvaurioita rakenteessa ja päällysteessä molemmissa pyöräurissa. Tällaisessa kohdassa mitattu ura-arvo on usein suuri. Pohjamaa on todennäköisesti kantavuudeltaan heikko ja koko tie saattaa painua. Todennäköisesti algoritmi tuottaa reunapainauksen todellisuutta pienempänä arvona. Oikean uran arvo on suuri.



Kuva 3. Profiilityyppi 2, leveä ja syvä reunapainauma sekä keskiura.

3. Reunapainauma tien sisäkaarteessa. Liikenne kulkee tällaisissa kohdissa usein lähempänä päällysteen oikeaa reunaa, minkä vuoksi pyöräurat ja harjanne muodostuvat lähemmäs tien oikeaa laitaa. Reunapainauma löytyy todennäköisesti algoritmilla hyvin. Tällainen reunapainauma on tyypillinen teillä, missä piennar on liian kapea ja ojat ovat jyrkkäluisaiset. Liikenteen aiheuttama dynaaminen rasitus todennäköisesti nopeuttaa reunan painumaa.



Kuva 4. Profiilityyppi 3, reunapainauma tien sisäkaarteessa.

4. Deformaatiourat. Tyypillistä tälle profiilityypille on melko kapeat ja melko syvät urat. Vaikka huonon kantavuuden vuoksi on tapahtunut deformaatiota, ei tien reuna ole painunut. Jos tiellä on keskiura, mitattu urasyvyys on usein suuri. Jos ura on ainoastaan oikeassa reunassa, ura-arvo saattaa olla todellisuutta pienempi, koska laserpalkin uloin mittausanturi saattaa mitata uran pohjaa tai uran reunaa – ei tien oikean reunan korkeinta kohtaa.



Kuva 5. Profiilityyppi 4, deformaatiourat.

5. Keskiura ilman reunapainamaa. Tämä ei ole kovin yleinen profiilityyppi. Yleensä huono kantavuus johtaa deformaatioon myös tien reunassa. Tätä tyyppiä saattaa esiintyä teillä, joilla on suuria routahalkeamia keskellä tietä. Halkeamasta tie-rakenteeseen kulkeutuva vesi saattaa aiheuttaa kantavuuspuutteita ja deformaatiota routahalkeaman läheisyydessä. Tämän tyyppinen vaurio ei näy reunapainumatunnusluvussa.



Kuva 6. Profiilityyppi 5, keskiura ilman reunapainamaa.

6. Voimakkaasti kupera poikkiprofiili. Tällä profiilityypillä on keskellä tietä tavallisesti deformaatioura. Se ei näy reunapainumatunnusluvussa ellei profiili ole voimakkaasti kupera.



Kuva 7. Profiilityyppi 6, voimakkaasti kupera poikkiprofiili.

7. Kupera poikkiprofiili tai pieni reunapainauma ulkokaarteessa. Usein tällaisissa tienkohdissa kuljettajien kokema ajomukavuus on reunapainumasta huolimatta hyvä, koska ajoneuvo kulkee vaakasuorassa. Reunapainuma-algoritmi ei löydä tätä reunapainumaa.



Kuva 8. Profiilityyppi 7.

8. Kupera poikkiprofiili tai pieni reunapainauma sisäkaarteessa. Ei painumaa tien keskellä. Näkyy reunapainumatunnusluvussa.



Kuva 9. Profiilityyppi 8.

9. Koko kaistan levyinen painuma. Tämä ei ole varsinainen reunapainauma, sillä koko kaista on painunut. Tämä ei tule näkyviin reunapainumatunnusluvussa.



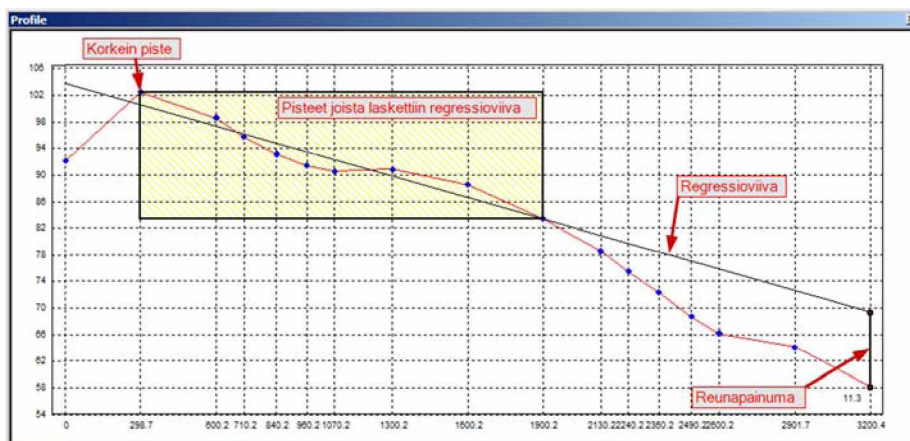
Kuva 10. Profiilityyppi 9.

3.2 Reunapainauman määrittely

Tien reunapainauma tuotetaan jälkilaskentana tien mitatuista pituusprofiileista. Mittaustuloksista lasketaan keskimääräinen tienpinnan korkeus 10 cm:n välein jokaiselle 17 laserpisteelle. Näitä laserpisteiden keskiarvoistettuja korkeuslukemia (eli 10 cm:n välein olevia poikkiprofiileja) käytetään tienpinnan tilaa kuvaavien poikkittaisparametrien laskennan perustana. Tien kaistan poikkiprofiili määritetään edellä esitetyn 17 pituusprofiilitiedon avulla.

Tien sivukaltevuus lasketaan tien mitatusta poikkiprofiilista. Sivukaltevuustieto tuotetaan regressiokaltevuutena. Regressiosivukaltevuudella tarkoitetaan tässä työssä keskiarvoistetun poikkiprofiiliin korkeimmasta pisteestä oikealle pienimmän neliösumman menetelmällä vähintään 1,8 m matkalle sovitetun suoran kaltevuutta (kuva 11).

Reunapainauma on suurin pystysuora etäisyys sivukaltevuussuorasta poikkiprofiilista mitattuun pisteeseen. Reunapainauman laskennassa käytetään mittaushavainnoista 10 cm:n välein tuotettua keskiarvoistettua sivukaltevuudella korjattua poikkiprofiilia. Reunapainuma-algoritilla tuotetaan reunapainuma-arvot 10 cm:n välein, joista muuttujan arvo lasketaan erikseen halutuille laskentapituuksille.



Kuva 11. PTM-autolla mitattu poikkiprofiili. Reunapainuman vertailusuoran ja reunapainauman määrittäminen.

Reunapainumatiedon laskennassa käytettiin mittausaineistona Uudenmaan ELY-keskuksen alueelta tavanomaisissa kesän kuntomittauksissa tuotettua aineistoa vuodelta 2011.

Laskentatyön aluksi toteutettiin reunapainauman laskenta-algoritmin määrittelyt ruotsalaiseen menetelmään pohjautuen. Ruotsalaisesta laskentatavasta poiketen reunapainauman vertailusuoran regressiosivukaltevuus määritettiin 1,8 m leveydeltä keskiarvoistetusta poikkiprofiilista – ei koko poikkiprofiilista. Periaate reunapainauman laskentaan sivukaltevuuden regressiomalliin perustuen on alla kuvatun mukainen. Menettelyä selventävä kuva on esitetty tämän raportin määrittelyosuudessa (kuva 1).

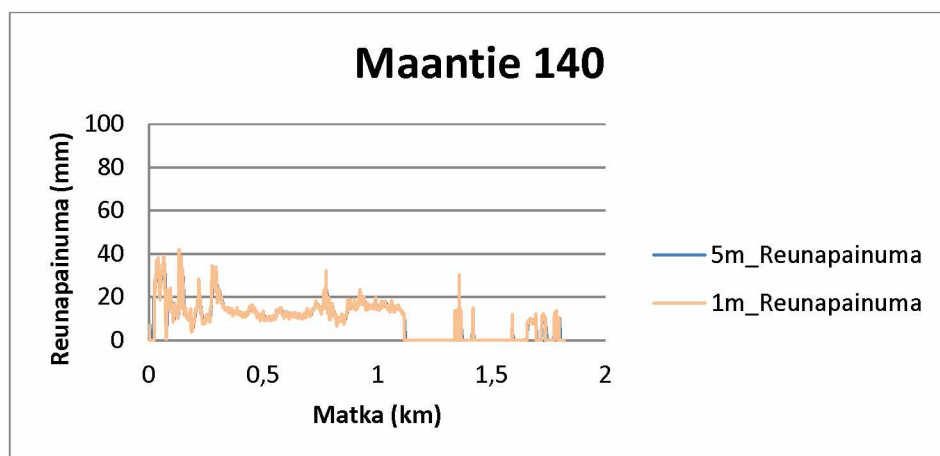
1. Etsitään sivukaltevuudella korjatusta keskiarvoistetusta poikkiprofiilista pisteet, jotka otetaan mukaan sivukaltevuuden regressioviivan laskentaan seuraavasti:
 - Etsitään profiilin korkein piste. Pisteen suurin sallittu etäisyys profiilin vasemmasta reunasta on 1,6 m.
 - Valitusta pisteestä oikealle lähtien otetaan mukaan kaikki pisteet, kunnes valitun osan pituus ylittää 1,8 metriä.
2. Lasketaan regressioviiva saaduista pisteistä pienimmän neliösumman menetelmällä.
3. Jos regressioviiva on oikealle nouseva, laskenta keskeytetään ja tulokseksi tulee 0. Muuten siirrytään laskemaan reunapainumaa.
4. Reunapainuman laskennassa etsitään profiilipiste, jonka pystysuora etäisyys regressioviivaan on suurin. Palautetaan tämän etäisyyden arvo reunapainumatuloksena.

Ensimmäisessä vaiheessa laskentaohjelmalla tuotettiin tieosittain reunapainumamuuttujan arvot 0,1 m välein. Sen jälkeen reunapainumasta tuotettiin tilastollisia tunnuslukuvaihtoehtoja eri laskentapituuksille. Laskentapituuksina käytettiin 1 m, 5 m, 10 m, 20 m ja 100 m.

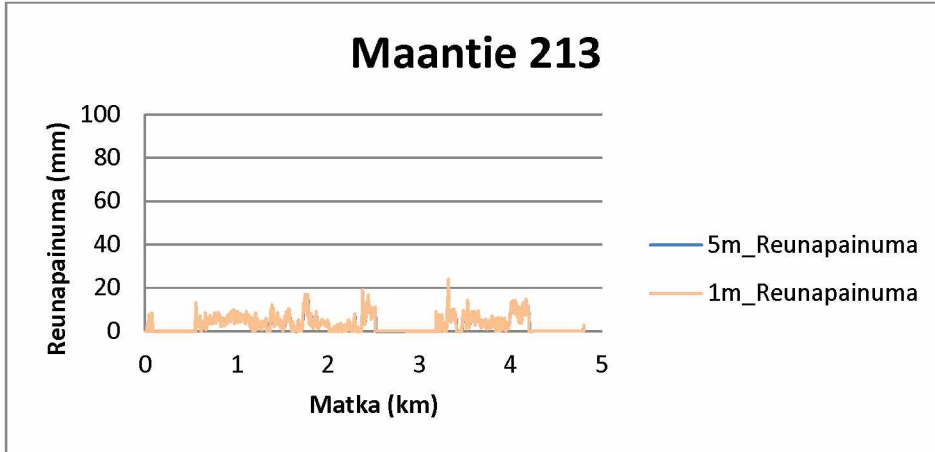
3.3 Reunapainuman tilastollinen tarkastelu

3.3.1 Pituusprofieileja

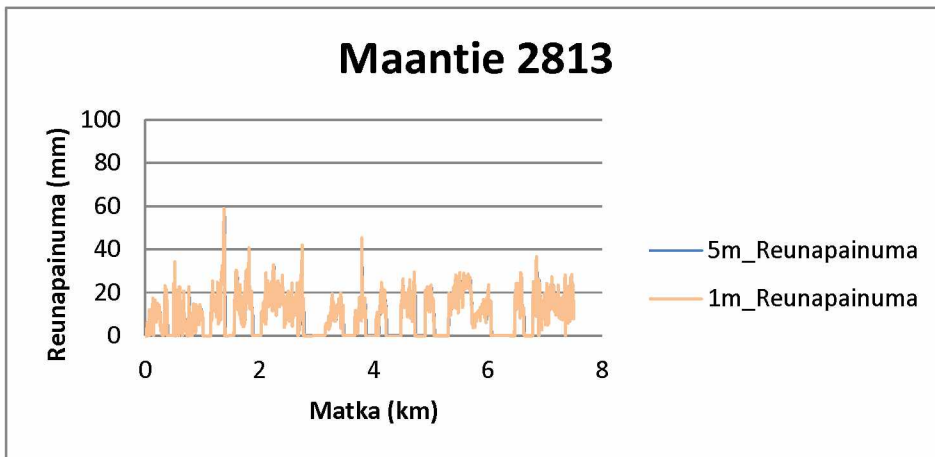
Laskentatulosten tarkastelun ensimmäisessä vaiheessa tuotettiin joidenkin valittujen tieosuuksien 1 m ja 5 m raakadata-aineistosta lasketut reunapainuma-kuvaajat ja tarkasteltiin niitä. Molemmilla keskiarvoistusväleillä tulokset ovat hyvin samankaltaisia. Profiilin pidempi keskiarvoistamisen väli tasoittaa reunapainumamuuttujan arvon vaihtelua, mikä näkyy 1 m havaintojen pienipiirteisyytenä 5 m havaintoihin verrattuna.



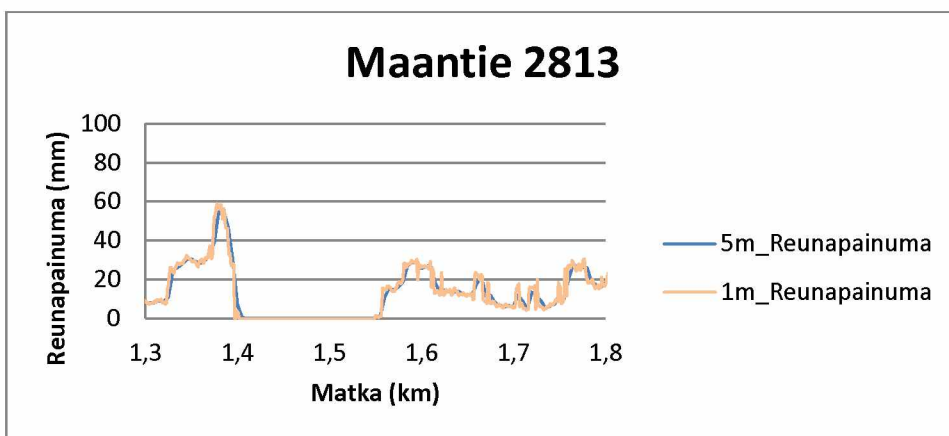
Kuva 12. Reunapainuman arvot tieltä 140 (tieosa 21, suunta 1). Reunapainuman arvot ovat hyvin pieniä.



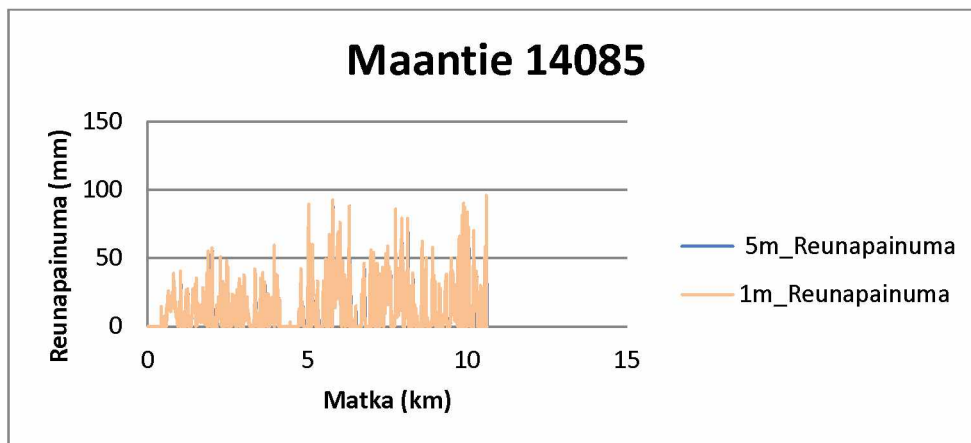
Kuva 13. Reunapainuman arvot tieltä 213 (tieosa 1, suunta 1). Reunapainuman arvot ovat hyvin pieniä.



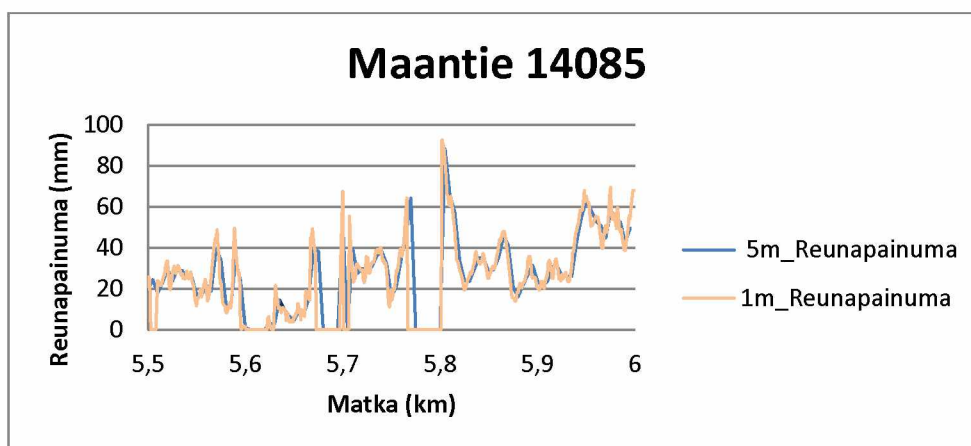
Kuva 14. Reunapainuman arvot tieltä 2813 (tieosa 2, suunta 1). Melko pieniä reunapainuman arvoja.



Kuva 15. Reunapainuman arvot tieltä 2813 (tieosa 2, suunta 1, etäisyys tieosan alusta 1200 m-1800 m). Melko pieniä reunapainuman arvoja.



Kuva 16. Reunapainuaman arvot tieltä 14085 (tieosa 1, suunta 1). Tämä kohde saatiin ELY:ltä tiedoksi, kun kysyttiin millä kohteilla reunapainuamaa on todettu olevan.



Kuva 17. Reunapainuaman arvot tieltä 14085 (tieosa 1, suunta 1).

3.3.2 Korrelaatioita

Alustavien graafisten tarkastelujen jälkeen aineisto jaettiin kolmeen osaan: 5-numeroiset tiet, 3- ja 4-numeroiset tiet ja 1- ja 2-numeroiset tiet. Näille kolmelle datajoukolle tehtiin tilastolliset analyysit. Tilastolliset analyysit tehtiin 5 m välein keskiarvoistetulle datalle.

Reunapainumamuuttujan autokorrelaatiota ja korrelaatiota muihin mitattuihin muuttujiin tarkasteltiin. Tulokset on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Tuloksista voidaan todeta, ettei reunapainumamuuttujan ja muiden tien pintakuntoa kuvaavien muuttujien välillä ole voimakasta korrelaatiota. Reunapainumamuuttujan korrelaatio 1- ja 2-numeroisilla teillä on oikean uran kanssa kohtalainen (korrelaatiokerroin on 0,41). Muutoin korrelaatio on merkityksetön.

Muuttujan autokorrelaatiolla kuvataan sitä kuinka hyvin muuttujan peräkkäiset arvot korreloivat keskenään. Autokorrelaatiota esiintyy silloin, kun tilastollinen sarja ei ole täysin satunnainen, vaan uudet havainnot riippuvat jollain tavalla aikaisemmista havainnoista. Riippuvuus ei tarkoita välttämättä syy-seuraussuhdetta. Reunapainumamuuttujan 5 m -havainnoista laskettu autokorrelaatio on voimakas. Se on heikoin 5-numeroisilla teillä, mikä on hyvin loogista, koska alemman luokan teillä pinnan muodot ovat pienipiirteisempiä kuin ylempien luokan teillä. Autokorrelaatio-

tarkastelujen perusteella voidaan todeta, että muuttujan laskentaväliä voisi kasvattaa, koska peräkkäiset arvot ovat toisistaan hyvin riippuvaisia.

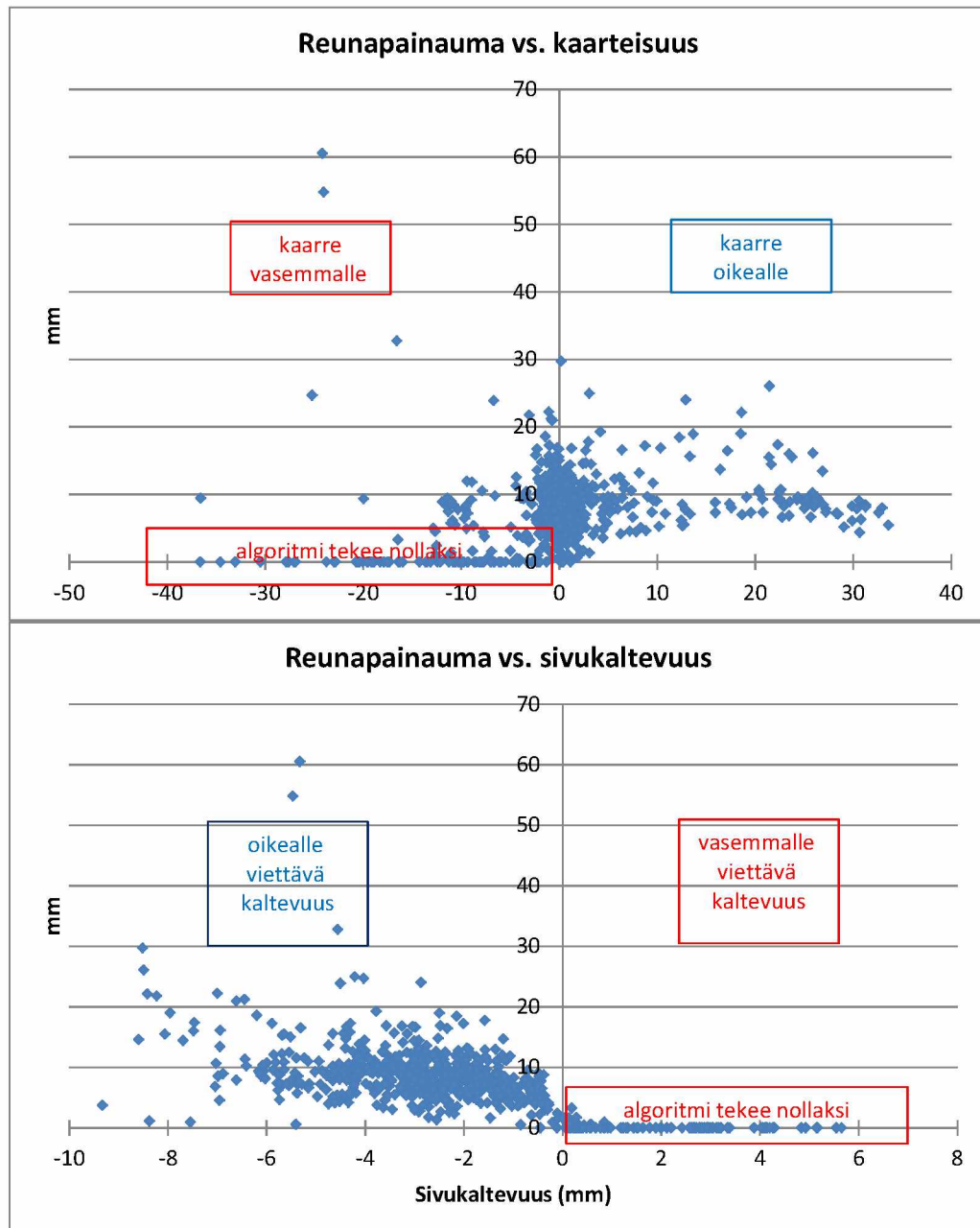
Taulukko 1. Reunapainumamuuttujan ja joidenkin muiden tien pintakuntoa kuvaavien muuttujien korrelaatiot. 5 m välein keskiarvoistetulle datalle.

Korrelaatiot	1- ja 2- -numeroiset	3- ja 4- numeroiset	5- numeroiset
maksimiura - reunapainauma	0,24	0,08	0,09
vasen ura - reunapainauma	0,21	0,09	0,17
oikea ura - reunapainauma	0,41	0,03	-0,05
vasen IRI - reunapainauma	0,06	0,09	0,06
oikea IRI - reunapainauma	0,09	0,16	0,07
megakarkeus - reunapainauma	0,21	0,14	0,15
makrokarkeus - reunapainauma	0,02	0,05	0,18

Taulukko 2. Reunapainumamuuttujan ja joidenkin muiden tien pintakuntoa kuvaavien muuttujien autokorrelaatiot 5 m välein keskiarvoistetulle datalle.

Autokorrelaatiot	1- ja 2- -numeroiset	3- ja 4- numeroiset	5- numeroiset
maksimiura (5 m välein laskettu)	0,96	0,85	0,75
IRI (5 m välein laskettu)	0,10	0,34	0,11
megakarkeus (5 m välein laskettu)	0,77	0,62	0,49
makrokarkeus (5 m välein laskettu)	0,95	0,82	0,74
reunapainauma (5 m välein laskettu)	0,95	0,88	0,83

Kuvassa 18 on esitetty reunapainauaman suhdetta tien kaarteisuuteen ja sivukaltevuuteen. Reunapainauamaa on pääasiassa silloin kun tie kaartaa oikealle ja/tai sivukaltevuus on oikealle viettävä. Reunapainauaman laskenta-algoritmista johtuu, että se saa nolla arvoja kun sivukaltevuus on positiivinen eli vasemmalle viettävä.



Kuva 18. Reunapainauman arvoja suhteessa tien kaarteisuuteen ja sivukaltevuuteen (mt 110/8, 10m).

3.3.3 Tilastollisia tunnuslukuja

Reunapainumamuuttujan ja muutamien muiden tien pinnan tilaa kuvaavien muuttujien tilastollisia tunnuslukuja on esitetty taulukoissa 3-6. Reunapainumamuuttuja saa suurimmat arvonsa ja suurimman keskiarvonsa 5-numeroisten teiden joukossa ja vastaavasti pienimmät 1- ja 2-numeroisten teiden joukosta. Yleisin muuttujan arvo on 0 ja muuttujalla on suuri keskihajonta. Reunapainumamuuttujan osalta on esitetty tilastolliset tunnusluvut myös sellaisesta aineistosta, mistä on poistettu 0-arvot.

Taulukko 3. Tien pinnan tilaa kuvaavien muuttujien tilastollisia tunnuslukuja 1- ja 2-numeroisille teille.

1- ja 2-numeroiset tiet, 5 m välein laskettu aineisto				
Tunnusluku	Reunapainauma		Maksimiura	IRI
	0-arvot poistettu	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana
keskiarvo	5,87	4,22	7,28	1,16
mediaani	5,24	3,11	6,98	1,00
moodi	10,39	0,00	0,00	0,00
keskihajonta	4,06	4,34	3,44	1,53
minimi	0,00	0,00	0,00	0,00
95 % kvantiili	13,08	12,31	13,53	2,29
99 % kvantiili	16,72	15,98	15,89	3,73
lukumäärä	15808	21976	21976	21976

Taulukko 4. Tien pinnan tilaa kuvaavien muuttujien tilastollisia tunnuslukuja 3- ja 4-numeroisille teille

3- ja 4-numeroiset tiet, 5 m välein laskettu aineisto				
Tunnusluku	Reunapainauma		Maksimiura	IRI
	0-arvot poistettu	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana
keskiarvo	13,02	9,31	6,12	1,83
mediaani	9,75	6,13	5,32	1,49
moodi	3,04	0,00	0,00	0,00
keskihajonta	11,43	11,31	3,91	1,55
minimi	0,00	0,00	0,00	0,00
95 % kvantiili	36,32	32,49	13,37	4,25
99 % kvantiili	53,99	50,29	17,74	6,64
lukumäärä	261862	366223	366223	366223

Taulukko 5. Tien pinnan tilaa kuvaavien muuttujien tilastollisia tunnuslukuja 5-numeroisille teille

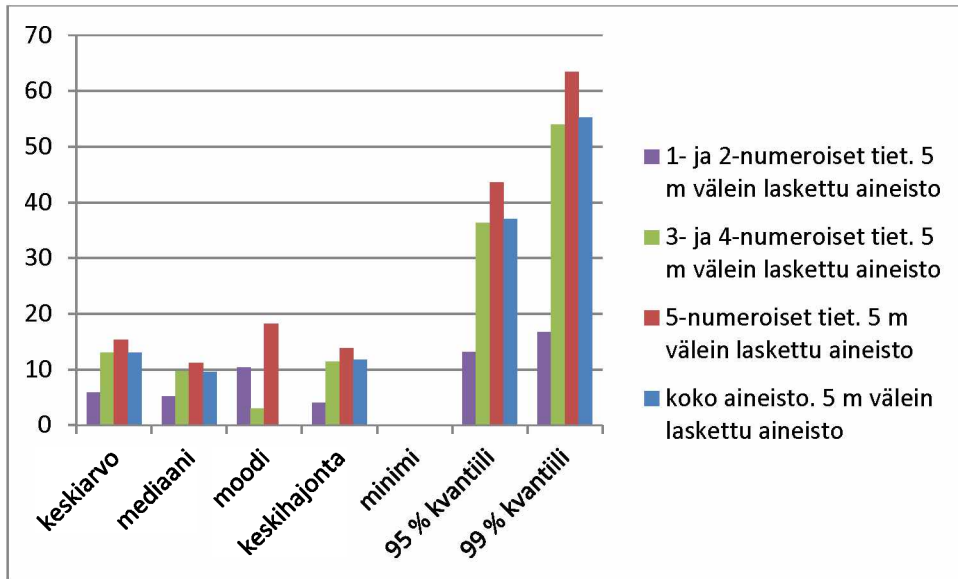
5-numeroiset tiet, 5 m välein laskettu aineisto				
Tunnusluku	Reunapainauma		Maksimiura	IRI
	0-arvot poistettu	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana
keskiarvo	15,31	11,07	4,86	2,19
mediaani	11,23	6,60	3,89	1,79
moodi	18,17	0,00	0,00	0,00
keskihajonta	13,89	13,65	3,96	3,64
minimi	0,00	0,00	0,00	0,00
95 % kvantiili	43,60	39,35	12,04	5,16
99 % kvantiili	63,40	59,68	18,66	7,76
lukumäärä	47344	65460	65460	65460

Taulukko 6. Tien pinnan tilaa kuvaavien muuttujien tilastollisia tunnuslukuja, koko aineisto

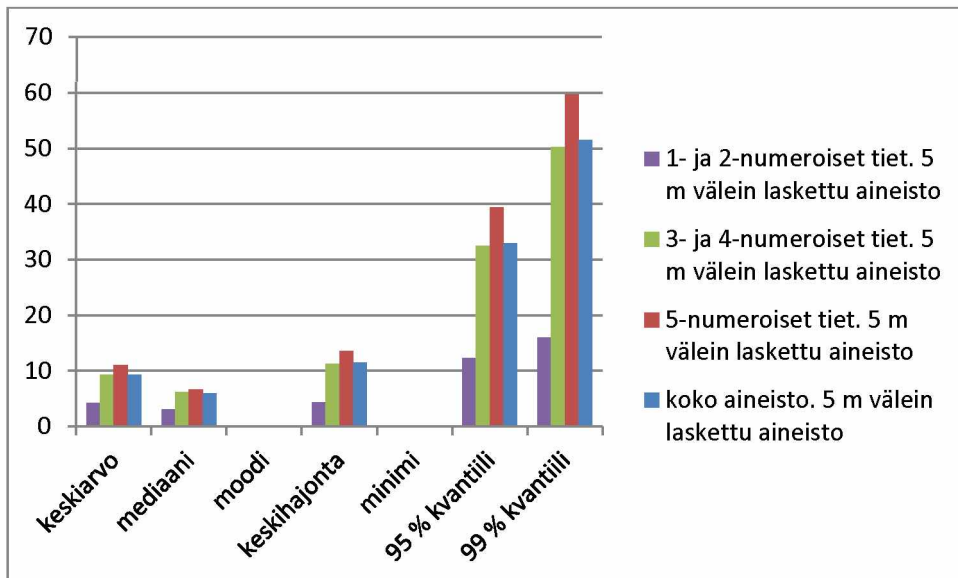
koko aineisto, 5 m välein laskettu aineisto				
Tunnusluku	Reunapainauma		Maksimiura	IRI
	0-arvot poistettu	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana	kaikki arvot mukana
keskiarvo	13,0	9,3	6,0	1,8
mediaani	9,6	5,9	5,2	1,5
moodi	0,02	0,0	0,0	0,0
keskihajonta	11,7	11,5	3,9	2,0
minimi	0,0	0,0	0,0	0,0
95 % kvantiili	36,9	33,0	13,3	4,3
99 % kvantiili	55,2	51,5	17,7	6,8
lukumäärä	325014	453659	453659	453659

Kuvissa 19–20 on esitetty reunapainumamuuttujan tilastolliset tunnusluvut 1- ja 2-numeroisilla, 3- ja 4-numeroisilla sekä 5-numeroisilla teillä. Kuvassa on esitetty tunnusluvut myös koko aineistosta laskettuna. Kuvassa 18 tunnusluvut on esitetty havaintojoukosta, mistä 0-arvot on poistettu ja kuvassa 19 tunnusluvut on esitetty koko aineistosta.

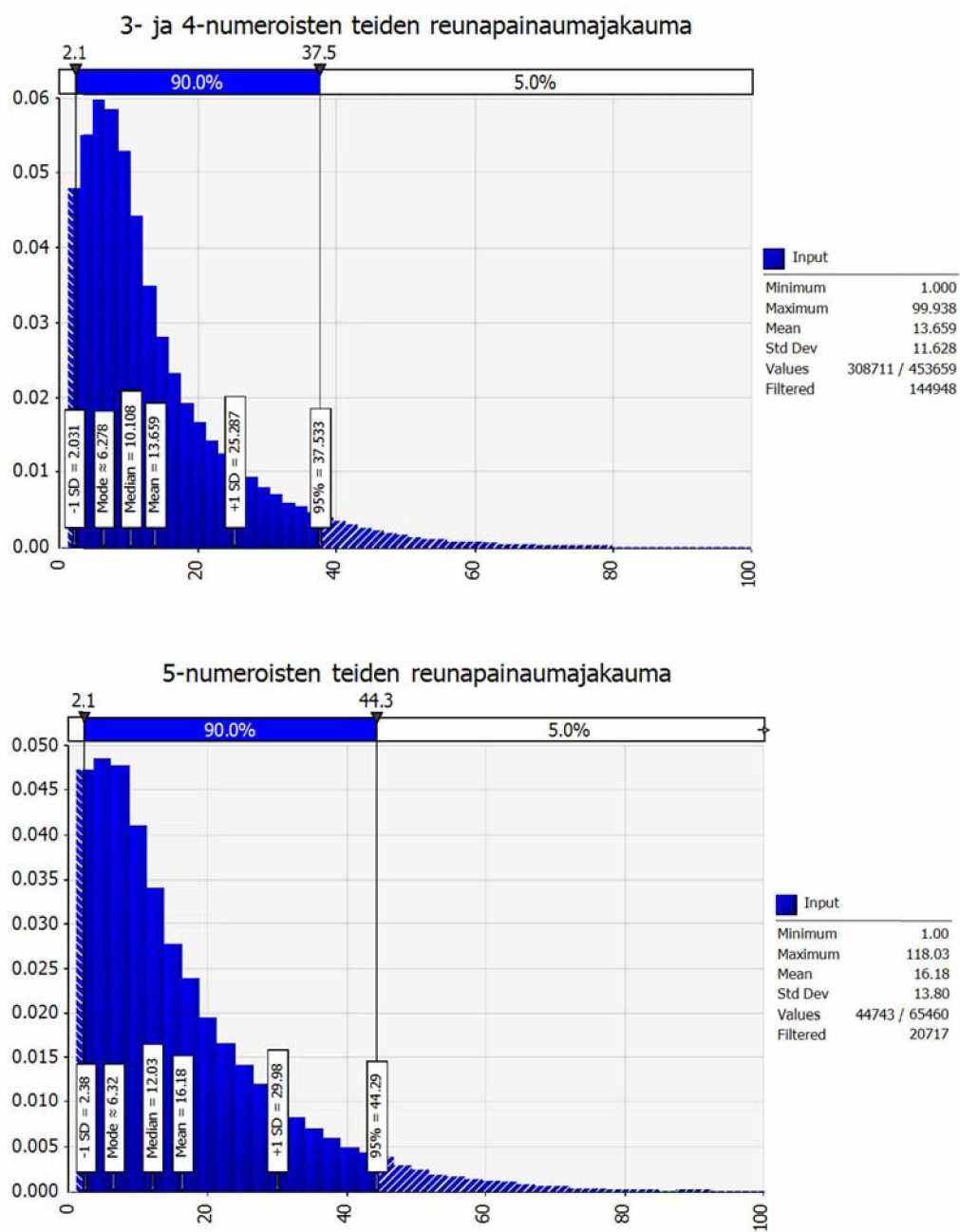
Kuvassa 21 on esitetty reunapainauman jakaumat Uudenmaan alueen 3-5-numeroisilta teiltä. Aineistosta on ennen jakauman tekemistä poistettu nollahavainnot (noin 30 %). Kolmi- ja nelinumeroisilla teillä reunapainauma saa arvoja väliltä 0-100 mm ja viisinumeroisilla teillä 0-120 mm. Jakaumia on esitetty enemmän liitteessä 1.



Kuva 19. Reunapainumamuuttujan tilastolliset tunnusluvut. Havainnoista on poistettu 0-arvot.



Kuva 20. Reunapainumamuuttujan tilastolliset tunnusluvut. Kaikki havainnot.



Kuva 21. Uudenmaan ELY-alueen 3-5-numeroisten teiden reunapainauksen jakaumia (5m).

3.3.4 Reunapainauksen pituus ja toistuminen

Reunapainauksen pituutta ja toistuvuutta tutkittiin eri reunapainauksen raja-arvoilla jaotteleamalla eripituiset reunapainaukset luokkiin. Tarkasteltavana oli 1 m havainnot, joille sovellettiin raja-arvoja 30–90 mm 10 mm:n välein. Taulukossa 7 on esitetty yhteenveto reunapainauksepituuksista kahdella eri yhdystiellä (11671 ja 14085). Raja-arvo vaikuttaa reunapainauksen havaintojen määrään, pituuteen ja toistuvuuteen. Mitä pienempi raja-arvo on, sitä enemmän reunapainaukset tiellä on. Esimerkiksi 50 mm:n raja-arvolla reunapainaukset oli yhdystiellä 11671 yhteensä 217 m (2 %) ja yhdystiellä 14085 yhteensä 375 m (9,3 %).

Reunapainauksen määrät vaihtelivat (raja-arvoilla 30–90 mm) välillä 0–10 %:iin (11671) ja 0–34 %:iin (14085). Reunapainauksen pituus vaihteli välillä 1–8 m/kpl. Reunapainauksen keskimääräinen toistuvuus vaihteli välillä 0–12 kpl/km ja 1–48 kpl/km. Laskentapituus ja raja-arvo vaikuttavat siihen, miten paljon reunapainauksia on.

Taulukko 7. Reunapainauksen pituusjakauma kahdella yhdystiellä (kpl).

Yhdystien 11671 reunapainauksen pituusjakauma eri raja-arvoilla								Yhdystien 14085 reunapainauksen pituusjakauma eri raja-arvoilla							
RP-pituus (m)	Raja-arvo (mm)							RP-pituus (m)	Raja-arvo (mm)						
	30	40	50	60	70	80	90		30	40	50	60	70	80	90
1	31	23	18	7	3	2	1	58	31	20	14	8	4	2	
2	25	12	8	10	5	2	0	22	9	11	5	7	1	1	
3	13	11	4	3	0	0	0	19	11	4	2	2	4	0	
4	4	4	7	0	2	0	0	22	5	2	5	1	1	0	
5	5	1	1	2	0	0	0	9	4	3	3	3	0	0	
6	7	3	0	3	0	0	0	6	3	5	1	0	0	0	
7	3	5	2	0	0	0	0	7	7	3	1	2	0	0	
8	4	3	1	0	1	0	0	7	5	1	2	0	0	0	
9	1	0	1	0	0	0	0	5	4	3	3	0	0	0	
10	4	1	0	1	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	
11	2	3	5	0	0	0	0	3	1	0	1	0	0	0	
12	1	2	1	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	
13	2	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	
14	3	1	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	
15	2	0	0	0	0	0	0	2	1	1	0	0	0	0	
16	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	1	0	0	0	
17	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
18	0	2	0	0	0	0	0	1	2	2	1	0	0	0	
19	4	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	
20	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	
21	0	2	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	
22	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	
23	2	3	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	
24	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
25	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
26	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
27	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
28	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
29	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
31	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
33	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	
34	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
35	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
36	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
43	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
44	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
46	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	
47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
49	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
50	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
51	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
53	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
54	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
55	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
56	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
58	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
59	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
60	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
61	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
63	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
66	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
67	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
68	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
69	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
71	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	
72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
73	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	
74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
76	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
78	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
79	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
80	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
81	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
85	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
86	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	
87	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
88	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
89	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
91	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
92	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
93	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
94	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
95	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
96	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
97	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
99	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Yhteensä (m)	1064	541	217	74	29	6	1	1360	668	375	191	74	22	4	
%	10.0%	5.1%	2.0%	0.7%	0.3%	0.1%	0.0%	33.6%	16.5%	9.3%	4.7%	1.8%	0.5%	0.1%	
m/kpl	8.2	6.5	4.3	2.8	2.6	1.5	1.0	7.0	6.8	6.1	4.7	3.1	2.2	1.3	
kpl/km	12	8	5	2	1	0	0	48	24	15	10	6	2	1	

4 Reunapainauksen tunnusluku

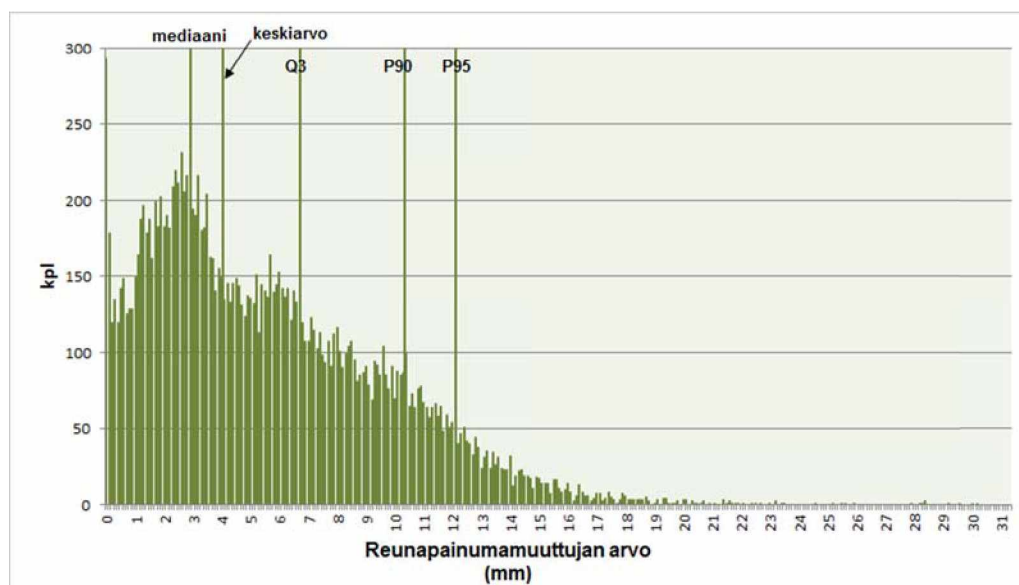
4.1 Tunnuslukuvaihtoehdot

4.1.1 Jakauman tunnusluku

Tien reunapainauksen kuvaava mittari saa tyypillisesti positiivisia arvoja arvoalueelta 0–100 mm. Reunapainauksen pituus voi olla joko yksittäinen melko lyhyt tai sitten useita kymmeniä metrejä pitkä. Mahdollisia vaihtoehtoja päällysteen kuntoa kuvaavaksi tunnusluvuksi ovat siten sen tilastollisesta jakaumasta otettavat yksittäiset tunnusluvut:

- keskiarvo (*yleisimmin käytetty*)
- mediaani
- moodi (*yleisin arvo olisi reunapainumamuuttujalla isoissa aineistoissa 0*)
- maksimiarvo (*reunapainumamuuttujalla on ”pitkä häntä” jakauman oikealla puolella ja muuttuja hyvin suuria arvoja on hyvin vähän*)
- kvartaalipisteet Q1=25 % ja Q2=75 %
- prosenttipisteet (esimerkiksi P90% tai P95%)

Kuvassa 22 on esitetty tunnuslukujen havainnollistamiseksi reunapainumamuuttujan 5-metrin keskiarvojen histogrammi 1- ja 2-numeroisilta teiltä Uudenmaan ELY:n kesän 2011 mittauksista. Kuvaa tarkasteltaessa on huomattava, että aineistossa 0-havaintoja yhteensä 6238 kpl (havaintoja yhteensä 23 042 kpl). Jakauman tunnusluvuista on esitetty mediaani, keskiarvo, Q3, P90 ja P95. Tunnusluku Q1 on tälle aineistolle 0.



Kuva 22. Reunapainumatunnusluku (5-metrin keskiarvot) 1- ja 2-numeroisilta teiltä, Uudenmaan ELY:n kesän 2011 mittaukset, koko aineiston histogrammi ja jakauman tunnusluvut tälle aineistolle: mediaani, keskiarvo, Q3, P90 ja P95

4.1.2 Tunnusluvun laskentapituus

Ruotsissa ylläpidon toimintalinjoissa on esitetty päällysteiden kunnon osalta vaatimukset myös reunapainaumalle. Tunnuslukuna käytetään 100 m keskiarvoa, jolle on esitetty raja-arvot (sivulla 10).

Päällysteiden ylläpidossa eri päätöksentekotasolla tarvittavan tiedon tarkkuustaso vaihtelee käyttötarkoituksesta riippuen. Suomessa maanteiden kuntotietorekisterissä olevien kuntomuuttujien raportointiväli on normaalisti 100 metriä eli luku on keskiarvo 100 m matkalta mitatuista havainnoista. Pitkällä raportointivälillä suuret yksittäiset arvot häviävät keskiarvoistamisen vuoksi, minkä vuoksi laadunvalvonnan tai toimenpidesuunnittelun tarpeisiin tarvittaisiinkin tietoa 100 m:ä lyhyemmällä raportointivälillä. Joissain aikaisemmissa suomalaisissa selvityksissä on suositeltu, että tien pituus- ja poikkiprofilia kuvaavat muuttujat olisi talletettava kuntotietorekistereihin 5 metrin tai enintään 20 metrin välein.

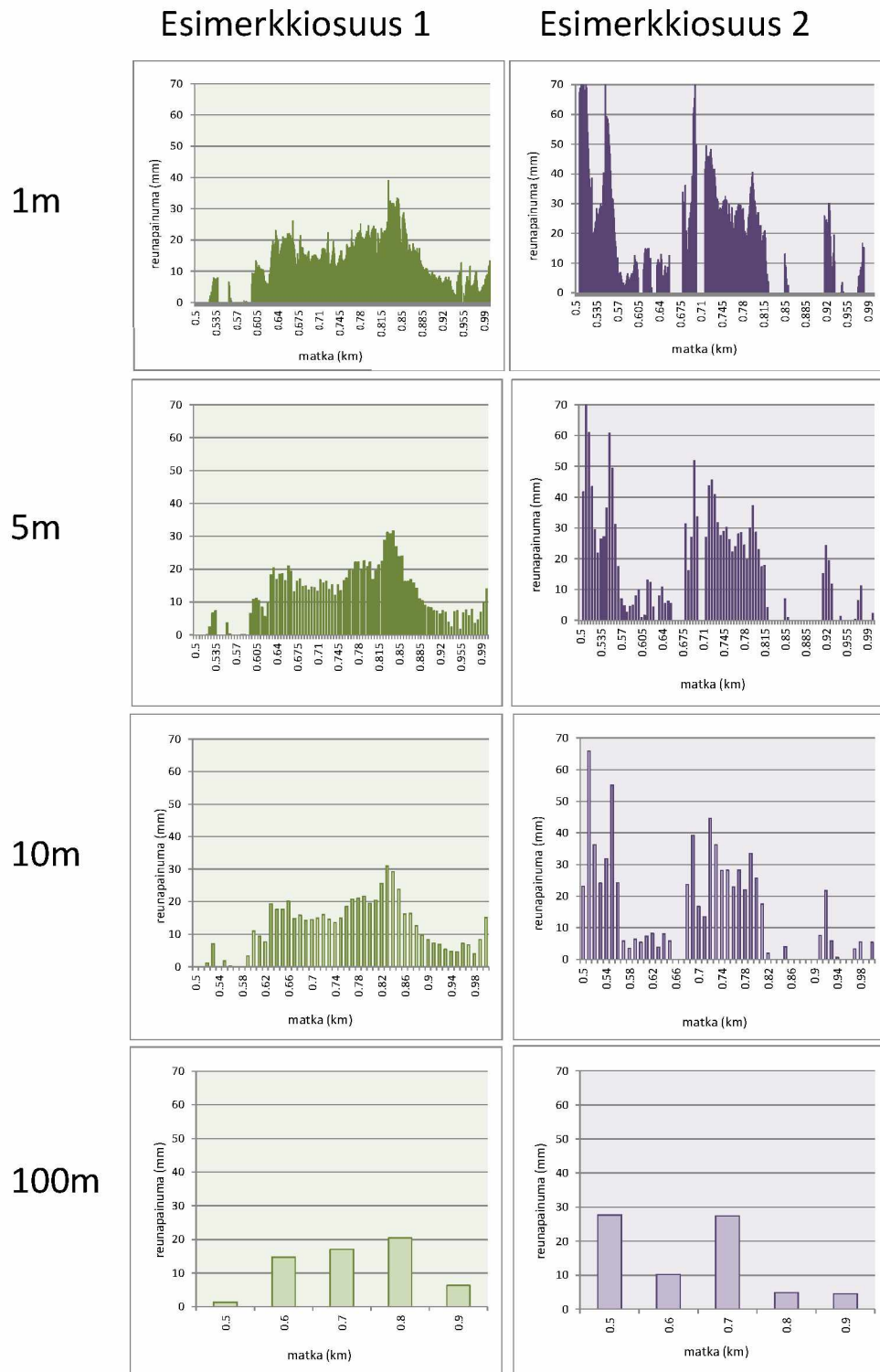
Kuvissa 23–27 on esitetty reunapainumatuloksia kahdelta eri esimerkkikohteen (*tie 14085, tieosa 1, suunta 1*) osuudelta (500 m pituiset osuudet). Ylimmissä kaavioissa on esitetty tutkimusprojektia varten mittausaineistosta 1 m välein lasketut tulokset. Muilla riveillä on esitetty tilastollisten tunnuslukujen arvoja eri havaintoväleittäin (5 m, 10 m ja 100 m). Tilastollisista tunnusluvuista on esitetty keskiarvo, mediaani, Q3, P90% ja P95%. Tulosten analysointiin valittiin raja-arvoksi 50 mm, joka on Ruotsissa käytössä teille, joilla KVL on välillä 500–4000 ajon/vrk.

Osuuksista ensimmäisellä (esitetty vasemmanpuoleisissa kuvissa) on havaittavissa 1-m aineistossa kolme kohtaa, joissa reunapainumamuuttujan arvo saa yli 50 mm:n arvoja. Osuuksista toisella reunapainumamuuttujan arvon vaihtelut ovat maltillisempia eikä yhtään yli 50 mm havaintopiikkiä ole aineistossa. Voidaan ajatella, että osuuksista ensimmäinen (vasemmalla esitetty) on ”vaurioitunut” ja osuuksista toinen (oikealla esitetty) on ”hyvä”. Hyvällä osuudella suurin reunapainumamuuttujan 1 m arvo on 39 mm ja vaurioituneella osuudella suurin arvo on 84 mm, siis yli kaksinkertainen.

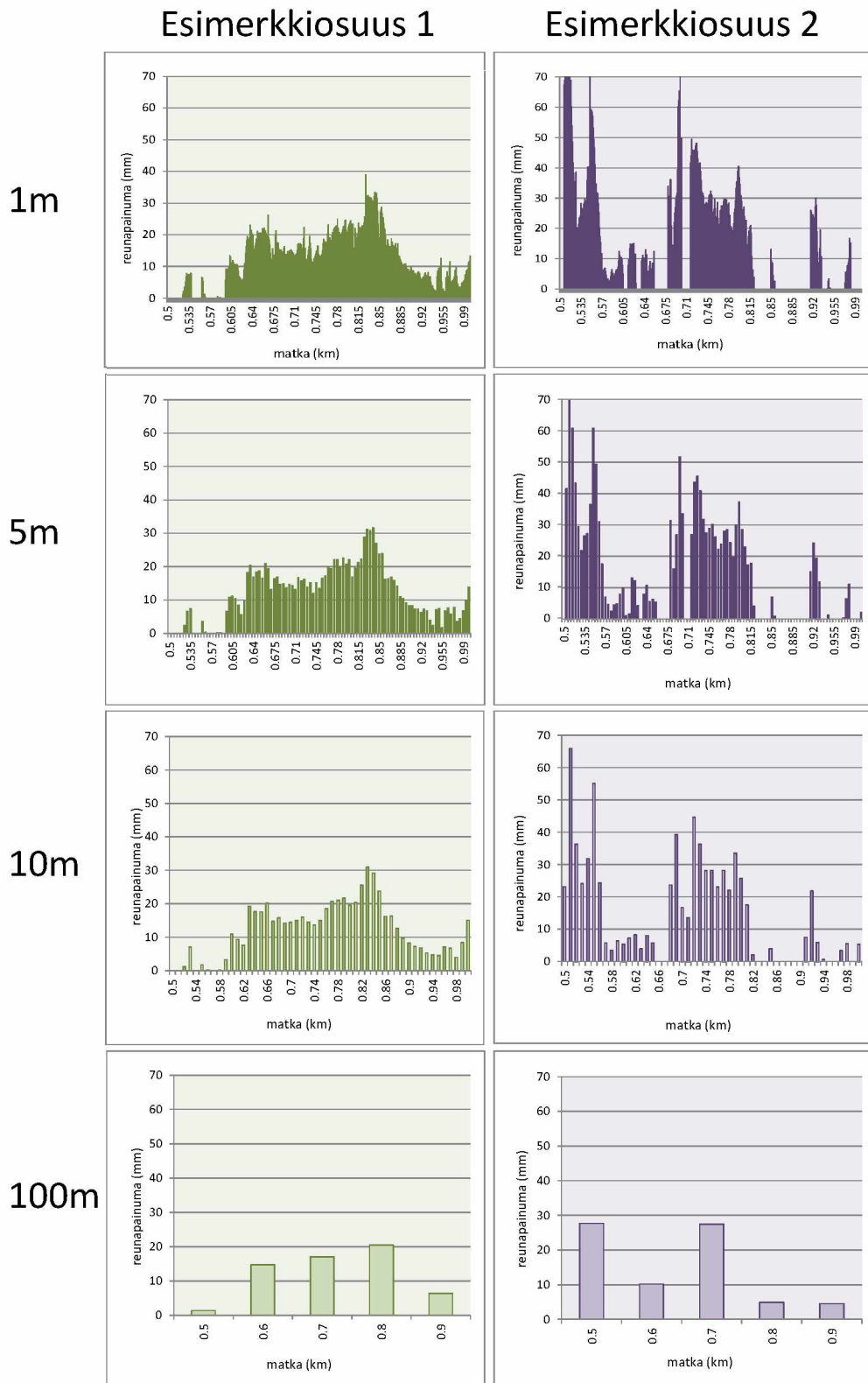
Kuvista voidaan todeta, että kaikkien muuttujien ollessa kyseessä kuvaajan muoto säilyy loppuun asti samana – siis huippuarvot ovat 1 m aineistossa samoilla kohtaa kuin 100 m aineistossa.

- 100 m keskiarvoissa vaurioituneen osuuden suurimmat arvot hyvään osuuteen verrattuna ovat noin puolitoistakertaiset. Kummallakaan kohteella ei ole yli 50 mm ylittäviä muuttujan arvoja.
- Mediaanimuuttujan arvo menee nolaksi niillä osuuksilla, joissa on hyvin paljon pieniä reunapainumamuuttujan havaintoja. 100 m mediaaneissa vaurioituneen osuuden suurimmat arvot hyvään osuuteen verrattuna ovat noin puolitoistakertaiset. Kummallakaan kohteella ei ole yli 50 mm ylittäviä muuttujan arvoja.
- 100 m Q3-arvoissa vaurioituneen osuuden suurimmat arvot hyvään osuuteen verrattuna ovat noin puolitoistakertaiset. Kummallakaan kohteella ei ole yli 50 mm ylittäviä muuttujan arvoja.
- 100 m P90%-arvoissa vaurioituneen osuuden suurimmat arvot hyvään osuuteen verrattuna ovat kaksinkertaiset kuten alkuperäisessäkin aineistossa. Vaurioituneella kohteella on yhdellä 100-metrisellä yli 50 mm ylittävä muuttujan arvo.

- 100 m P₉₅%-arvoissa vaurioituneen osuuden suurimmat arvot hyvään osuuteen verrattuna ovat kaksinkertaiset kuten alkuperäisessäkin aineistossa. Vaurioituneella kohteella on yhdellä 100-metrisellä yli 50 mm ylittävä muuttujan arvo.

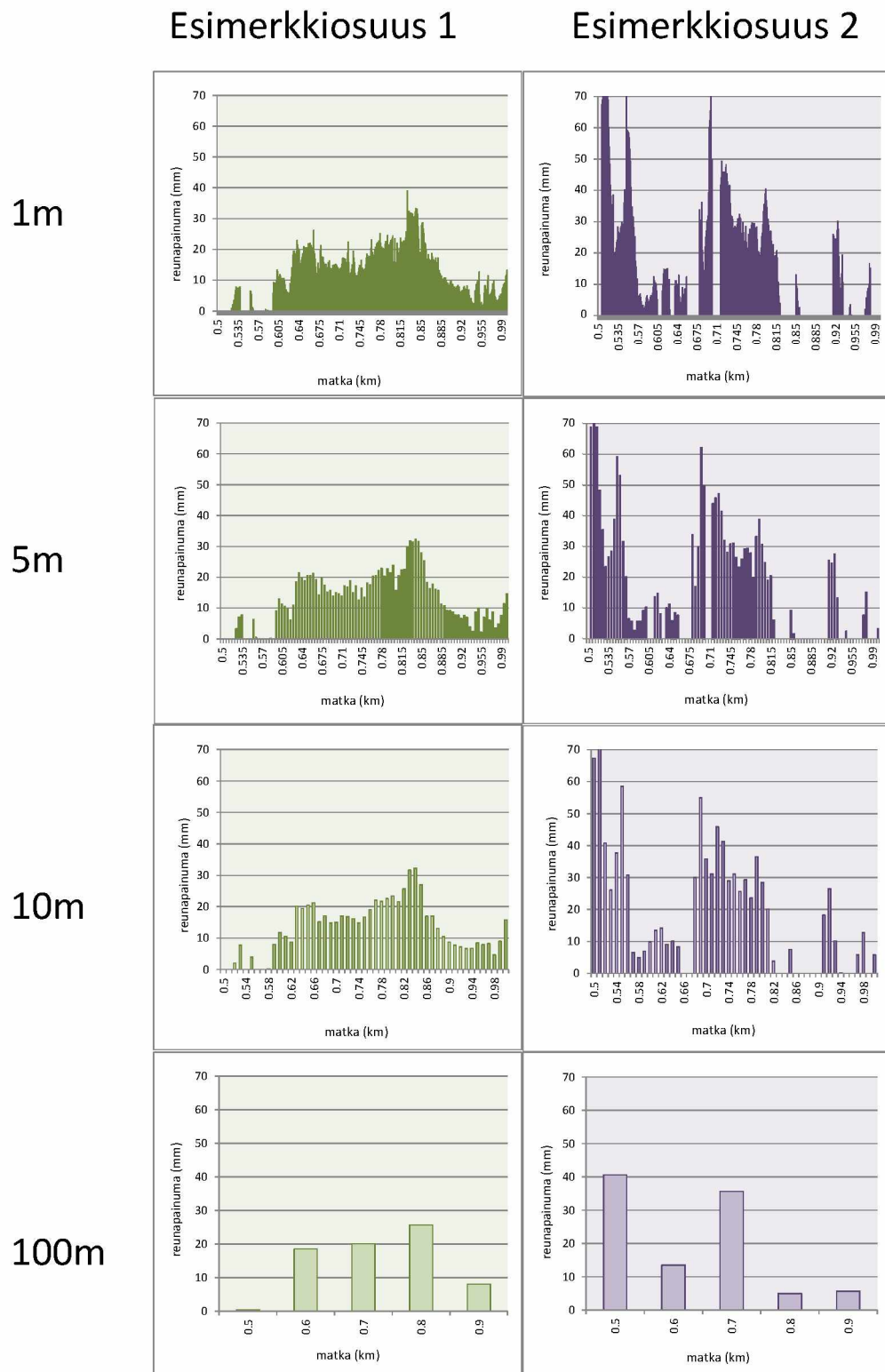


Kuva 23. Eri välein lasketut reunapainumamuuttujan **keskiarvot (mm)** kohteen tie 14085, tieosa 1, suunta 1 kahden eri osuuden tuloksista. X-akselilla on esitetty matka (km) ja y-akselilla on esitetty reunapainuman keskiarvo (mm).

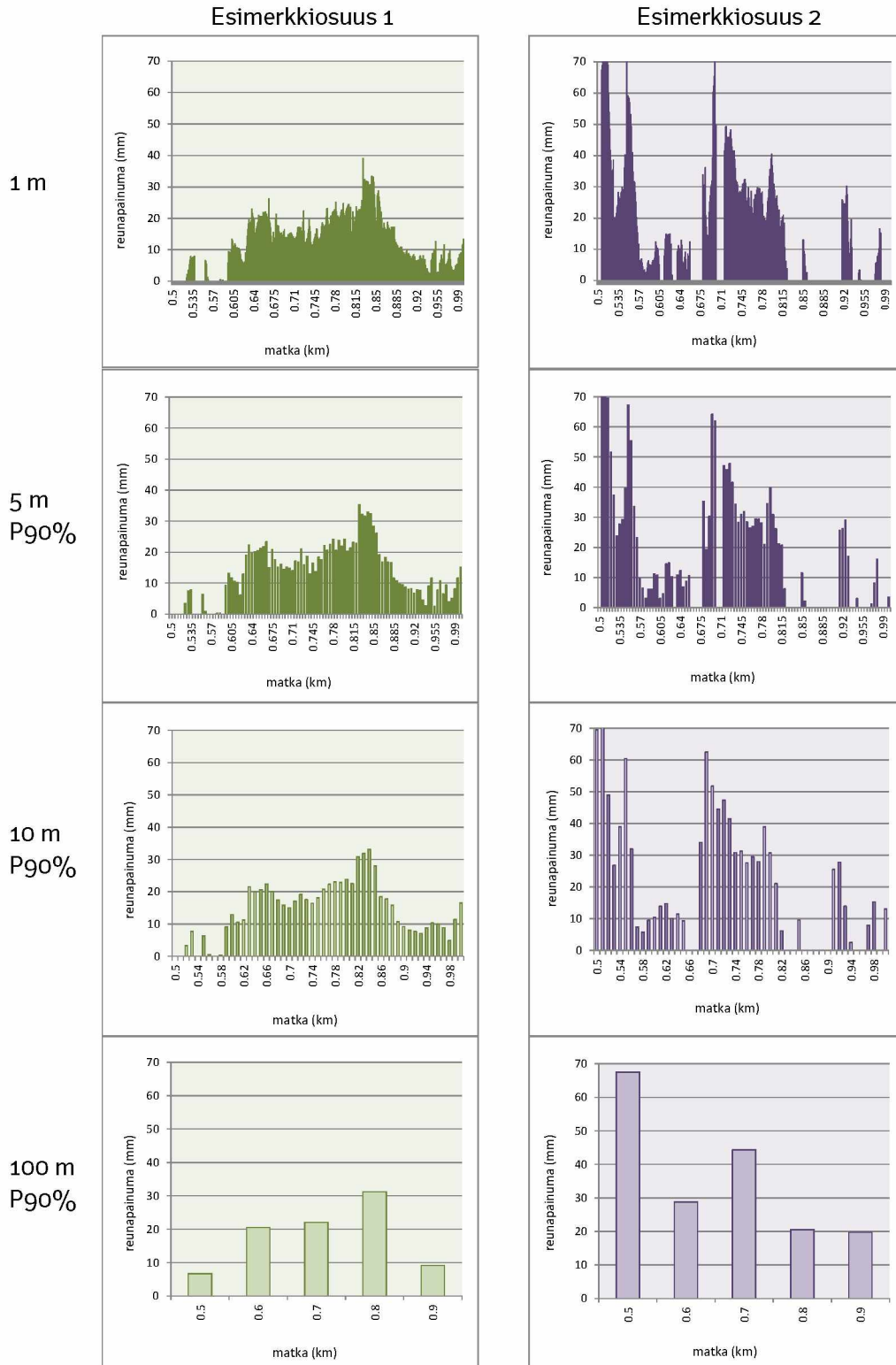


Kuva 24.

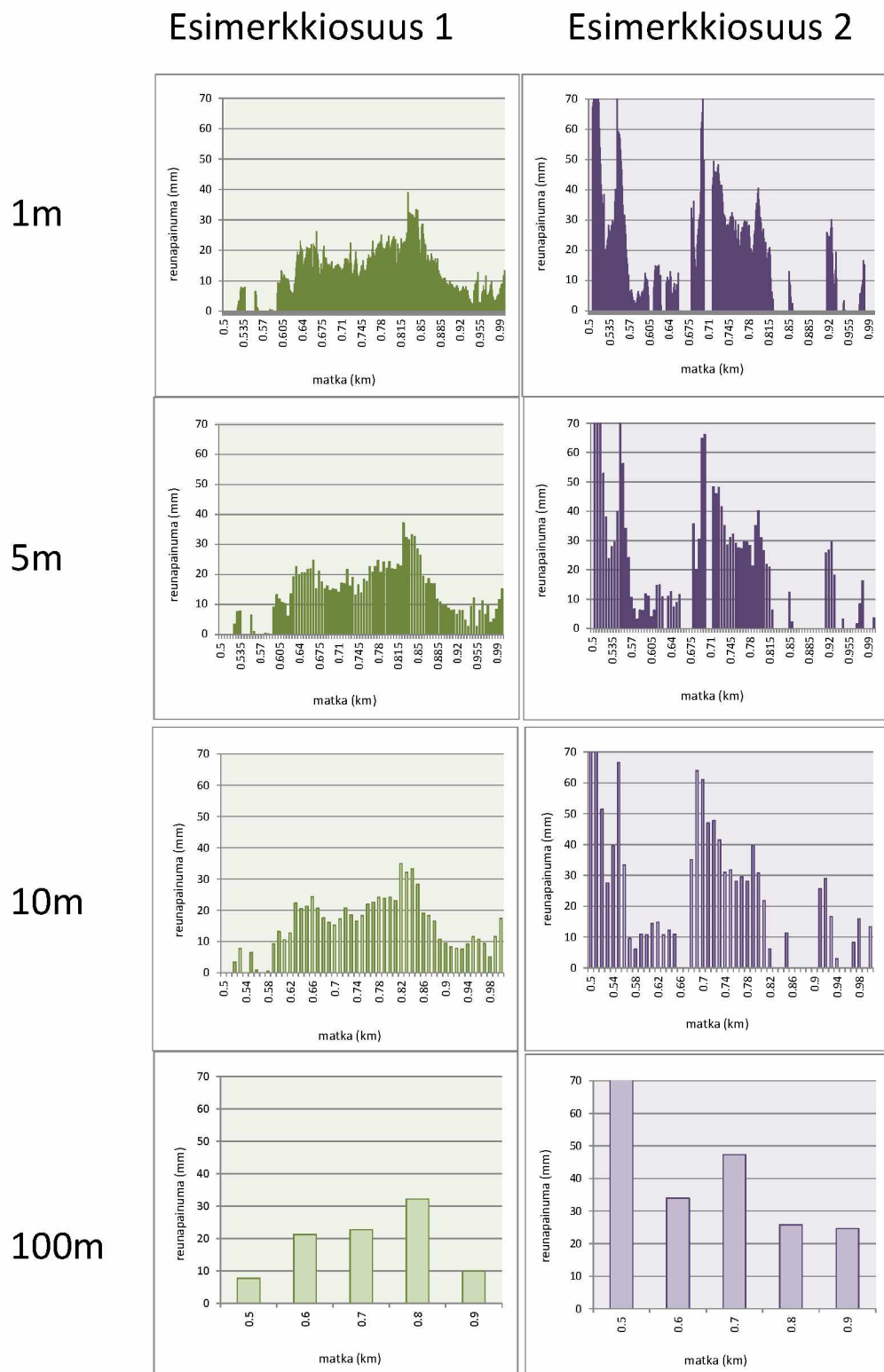
Eri välein lasketut reunapainumamuuttujan mediaanit (mm) kohteen tie 14085, tieosa 1, suunta 1 kahden eri osuuden tuloksista. X-akselilla on esitetty matka (km) ja y-akselilla on esitetty reunapainauaman mediaani (mm).



Kuva 25. Eri välein lasketut **Q3-arvot** (mm) kohteen tie 14085, tieosa 1, suunta 1 kahden eri osuuden tuloksista. X-akselilla on esitetty matka (km) ja y-akselilla on esitetty reunapainuman Q3-arvo (mm).

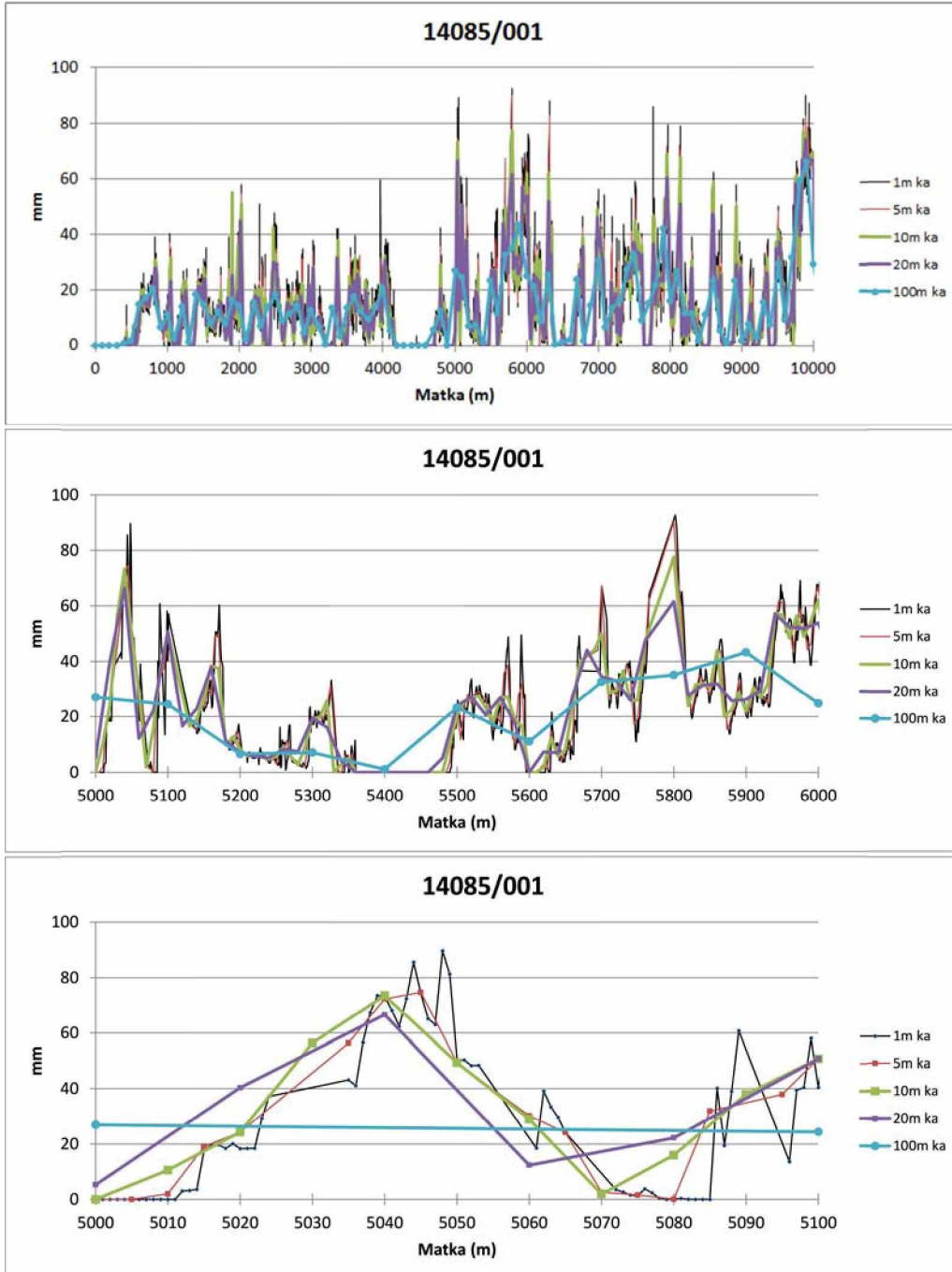


Kuva 26. Eri välein lasketut **P90%**-arvot kohteen tie 14085, tieosa 1, suunta 1 kahden eri osuuden tuloksista. X-akselilla on esitetty matka (km) ja y-akselilla on esitetty reunapainuman **P90%**-arvo (mm).



Kuva 27. Eri välein lasketut **P95%-arvot** kohteen tie 14085, tieosa 1, suunta 1 kahden eri osuuden tuloksista. X-akselilla on esitetty matka (km) ja y-akselilla on esitetty reunapainuman P95%-arvo (mm).

Laskentapituus keskiarvoistaa reunapainauaman arvoja ja pienentää sen vaihtelua. Yhden ja viiden metrin laskentapituuksilla reunapainauama saa jopa yli 80 olevia arvoja, kun taas sadan metrin laskentavälin arvot tuskin nousevat yli 50 mm.



Kuva 28. Reunapainauaman keskiarvon profiilia useilla eri laskentapituuksilla. Ylimmässä kuvassa koko tieosa, keskikuvassa 1 km ja alakuvassa 100 m. Kukin arvo asetettu laskentavälin alkupisteeseen.

4.2 Tunnuslukujen ilmiönkuvauskyky

Reunapainaumaa kuvaavien tunnuslukujen yhtenä vaatimuksena oli kyky kuvata kyseistä ilmiötä. Ilmiön kuvauskykyä testattiin määrittämällä kunkin tunnusluvun reunapainaumakohtien tunnistuskyky vertaamalla kunkin lasketun tunnusluvun erottelukykyä maastossa tehtyihin havaintoihin. Tunnusluvun tulee pystyä erottelmaan reunapainaumaa sisältävät kohdat muista kohdista.

4.2.1 Maastokohteet

Maastokäynnin kohteet valittiin Uudenmaan ELYn alueelta. Maastotarkasteluihin valittiin muutamia sellaisia kohteita, joissa on selkeästi mittauksissa havaittu reunapainaumaa. Kohteet valittiin Järvenpään seudulta ja Porvoon seudulta.

Maastotarkasteluja varten tehtiin kohteiden koeinventointi. Koeinventoinnissa reunapainauksen tarkasteltavaksi raja-arvoksi valikoitui käytännön syistä 50 mm. Sitä pienempiä reunapainauksia ei voida valitulla maastotarkastelutavalla havaita. Maastotarkastelujen toisena päivänä tehtiin varsinaiset inventoinnit sekä Porvoon että Järvenpään kohteissa.

Tämän jälkeen tarkasteluja varten valittujen kohteiden mittausaineisto käytiin läpi ja mittauksista kirjattiin ylös sellaiset kohdat, missä reunapainauksen yhden metrin välein keskiarvoistetusta aineistosta laskettu arvo on suurempi kuin 50 mm. Näitä kohtia maastotarkasteluissa pyrittiin havaitsemaan. Valittu raja-arvo vastaa ruotsalaisen luokituksen ensimmäisen luokan raja-arvoa. Maastotarkastelut toteutettiin ajamalla kohteet läpi henkilöautolla liikenne- ja työturvallisuus huomioiden.

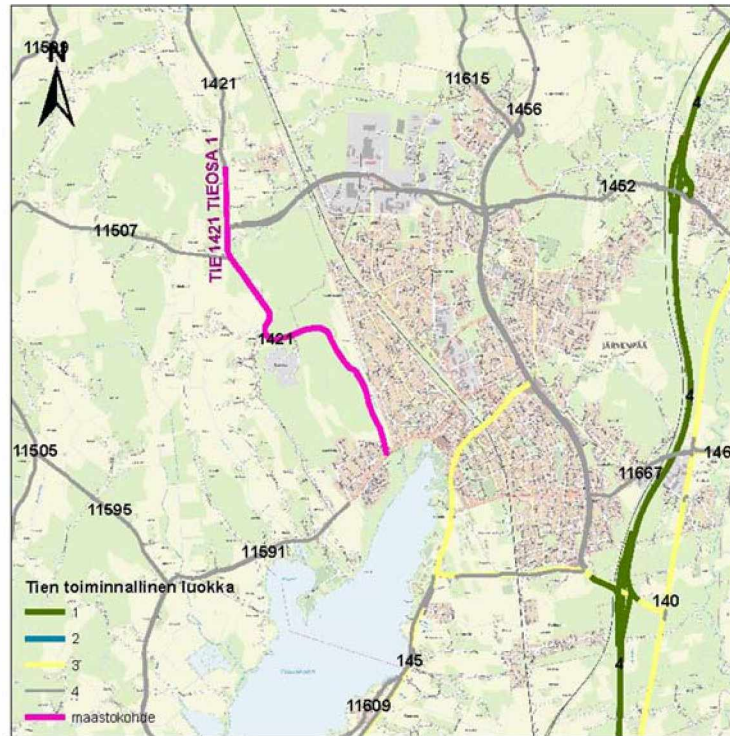
Maastotarkastelujen tuloksia arvioitaessa on huomioitava paikannustarkkuus ja havainnointitarkkuus. Paikannus tehtiin GPS:llä Destian mTiepiste -sovelluksella. Sovellus näyttää maastossa liikuttaessa tieosoitteen. Paikannus ei ole aivan tarkka, sillä GPS-mittauksen paikannustarkkuus on xy-suunnassa +/- 10 m. Lisäksi paikannustarkkuuteen vaikuttavat mm. maasto-olosuhteet (metsäisyys) ja satelliittien sijainti. Myös käytetyn sovelluksen päivitysnopeus vaikuttaa paikantamisen tarkkuuteen. Lisäksi paikannustarkkuuteen vaikuttavat mittaajan havainnointikyky ja mm. muun liikenteen huomiointi.

Maastokäynnin kohteiden valintaa varten pyydettiin ELY:stä tietoon tieosia, joissa olisi reunapainaumaa ja saatiin seuraavat kohteet: Lahden seudulta tie 3161 / tieosa 02, tie 14019, tie 14085, tie 14086, Järvenpään seudulta tie 1471 / tieosa 5 / 1000-5000 (suunta 2) ja tie 11671 tieosa 1 keskivaiheilla. Sään vuoksi maastotarkasteluja ei voitu toteuttaa Lahden alueella, missä osa em. kohteista sijaitisi. Osa kohteista ei kuulunut kesän 2011 mittausohjelmaan eikä tarkasteluja voitu niissä kohteissa toteuttaa.

Molemmat Järvenpään kohteet olivat pääpiirteissään melko hyväkuntoisia teitä. Jonkin verran kohteilla kuitenkin on paikallisesti oikeassa ajourassa ilmeisesti puutteellisesta kantavuudesta johtuvaa urautumista ja uran pohjassa päällystevaurioita. Kohteelle 1421 oli toteutettu mahdollisesti kesällä 2011 päällysteen uusiminen oikeaan reunaan.

Maantie 1421, tieosa 1, suunta 1, kaista 1

Liikenne: KVL: 3083 ajon/vrk, KVLRAS: 66 ajon/vrk (2%), KVLyh: 26 ajon/vrk



Kuva 29. Maastokohde maantie 1421 tieosa 1

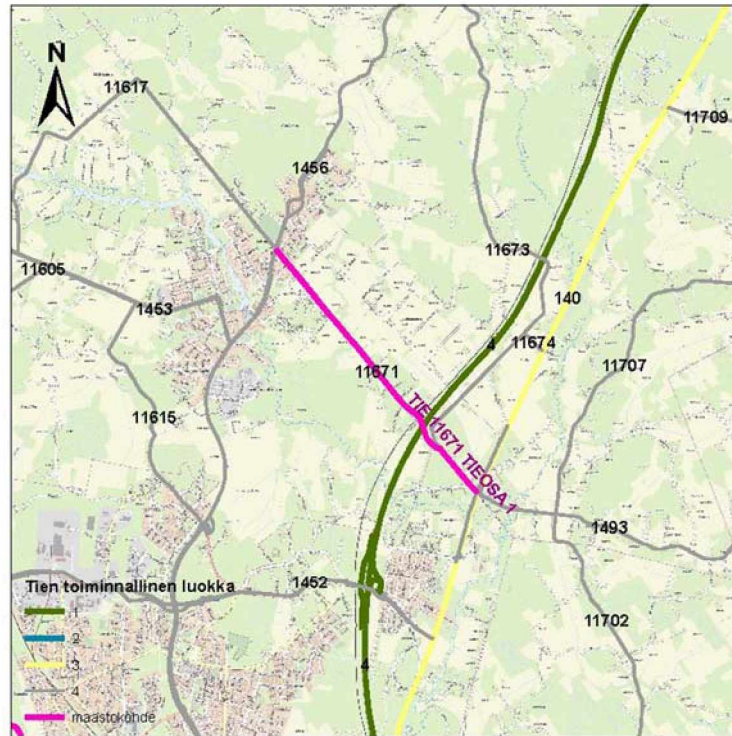
Kaikki ennalta tarkasteluun mukaan valitut painumakohtat oli havaittavissa maastossa. Lukuun ottamatta kohtaa ”etäisyys tieosan alusta 3740” oli kaikki kohdat reunapaikattu. Tien liikennemäärä oli melko suuri inventoinnin turvallisuuskulmasta. Tieosalla on kunnallinen kierrätysasema, joka aiheuttanee raskasta liikennettä vaikka raskaan liikenteen liikennemäärä ei kovin suuri tierekisterissä olekaan.

Taulukko 8. Reunapainumakohteelta ennalta mittaustulosten perusteella valitut reunapainumakohtat ja kohtien havaittavuus maastossa

Etäisyys tieosan alusta, reunapainuma yli 50 mm	Reunapainuma mm	Maastossa havaittavissa	Huom
2982	51,72		Paikkaus reunassa
3503	62,75		Paikkaus reunassa
3768	62,54	Kyllä	Tässä iso selkeä vaurio, mitä ei ole paikattu
3790	59,67		Paikkaus reunassa
4559	79,15		Paikkaus reunassa
4705	61,07		Paikkaus reunassa

Yhdystie 11671, tieosa 1, suunta 1, kaista 1

Liikenne: KVL: 1570–1774 ajon/vrk, KVLRAS: 34–63 ajon/vrk (2-4 %), KVLVYHD: 7-14 ajon/vrk

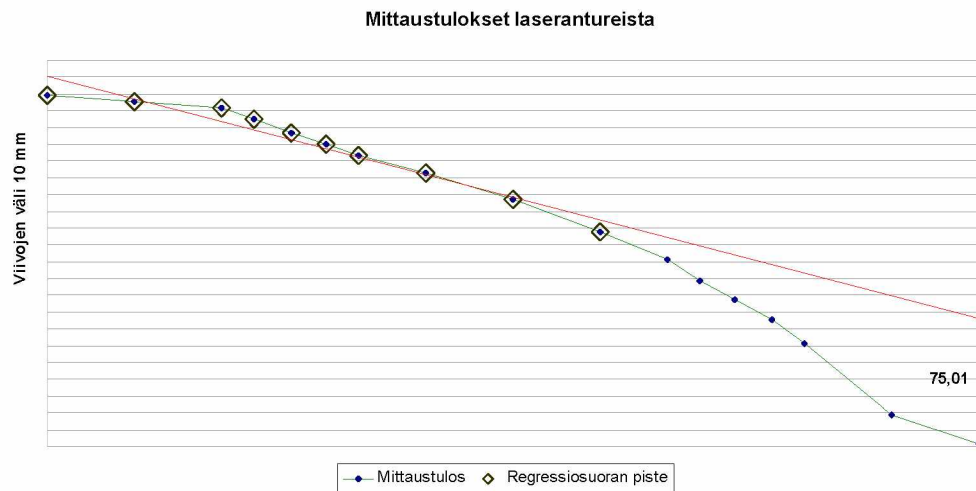


Kuva 30. Maastokohde maantie 11671 tieosa 1

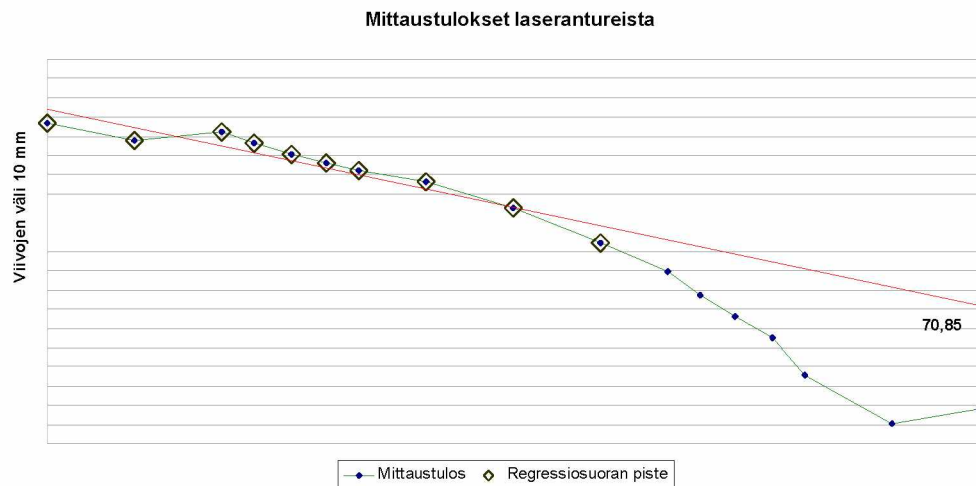
Kaikki ennalta valitut painumakohdat oli havaittavissa maastossa. Tiellä on paljon pidempijaksoista painumaa ja huonokuntoisuutta tien oikeassa reunassa. Kohdassa ”etäisyys tieosan alusta 1070” on radan ja Pohjoisväylän ylittävän sillan alku. Ennalta aineistosta valitsemattomat maastossa havaittavat vauriokohdat olivat: etäisyys tieosan alusta 1850, 2140, 2200, 2300, 3100 ja 3500.

Taulukko 9. Reunapainumakohteelta ennalta mittaustulosten perusteella valitut reunapainumakohdat ja kohtien havaittavuus maastossa.

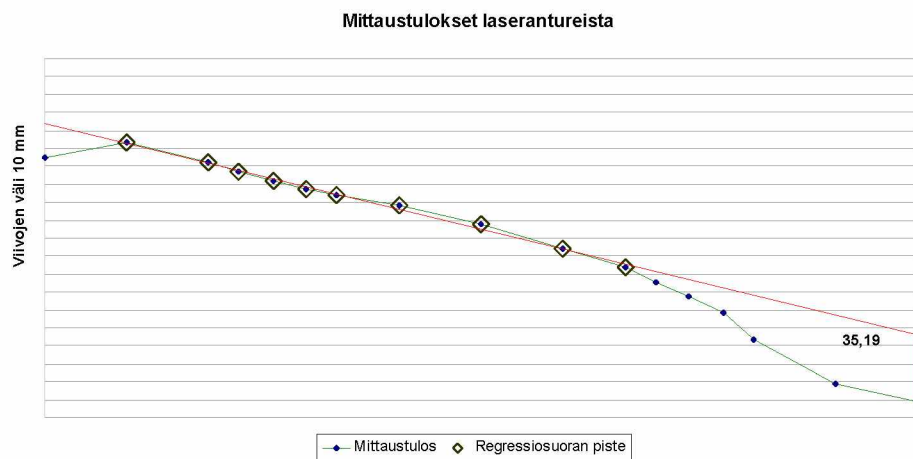
Etäisyys tieosan alusta, reunapainuma yli 50 mm	Reunapainuma mm	Maastossa havaittavissa	Huom
137 (*)	75	Kyllä	140–380 välillä on reunapainumaa
271 (*)	71	Kyllä	
372	64	Kyllä	
580	69	Kyllä	
1566 (*)	38	Kyllä	1560–1730 välillä on reunapainumaa
1652	63	Kyllä	
1723 (*)	84	Kyllä	
2504	54	Kyllä	2500–3020 välillä on reunapainumaa
2610 (*)	70	Kyllä	
2709	65	Kyllä	
3032 (*)	95	Kyllä	
*) esimerkkiprofiilikuva			



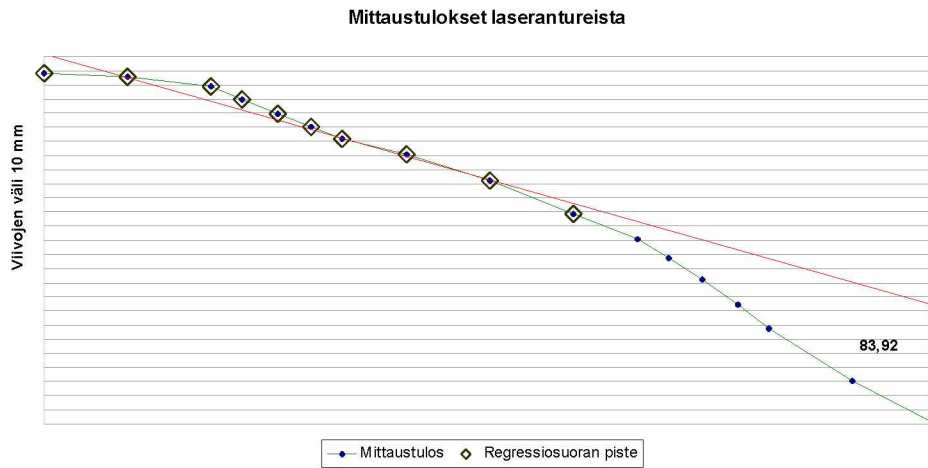
Kuva 31. Tie 116717 etäisyys 137m, reunapainauma 75,0 mm, vasen ura 2 mm, oikea ura 0 mm.



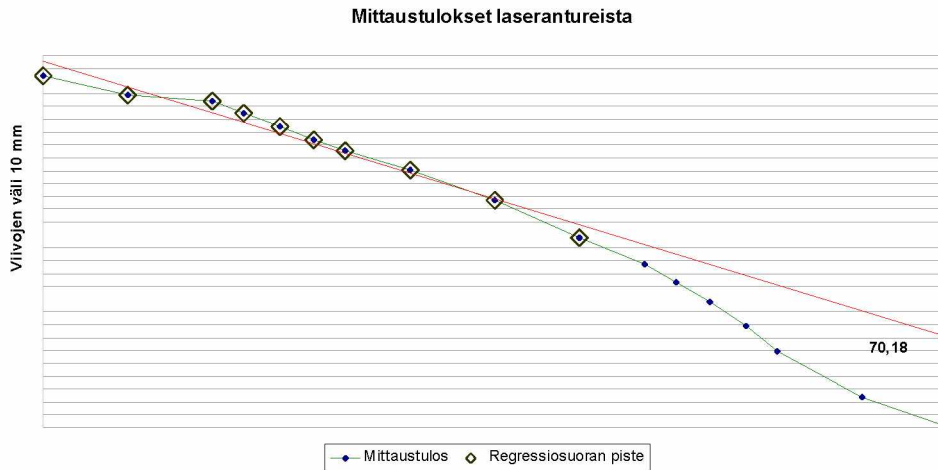
Kuva 32. Tie 11671, etäisyys 271, reunapainauma 71 mm, vasen ura 6 mm, oikea ura 6 mm.



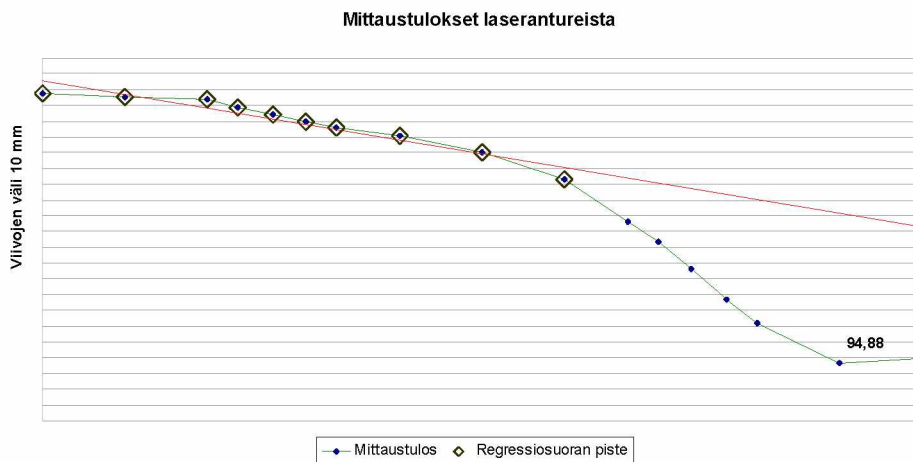
Kuva 33. Tie 11671, etäisyys 1 566m, reunapainauma 35 mm, vasen ura 3 mm, oikea ura 3 mm.



Kuva 34. Tie 11671, etäisyys 1 723m, reunapainauma 84 mm, vasen ura noin 4 mm, oikea ura noin 2 mm.



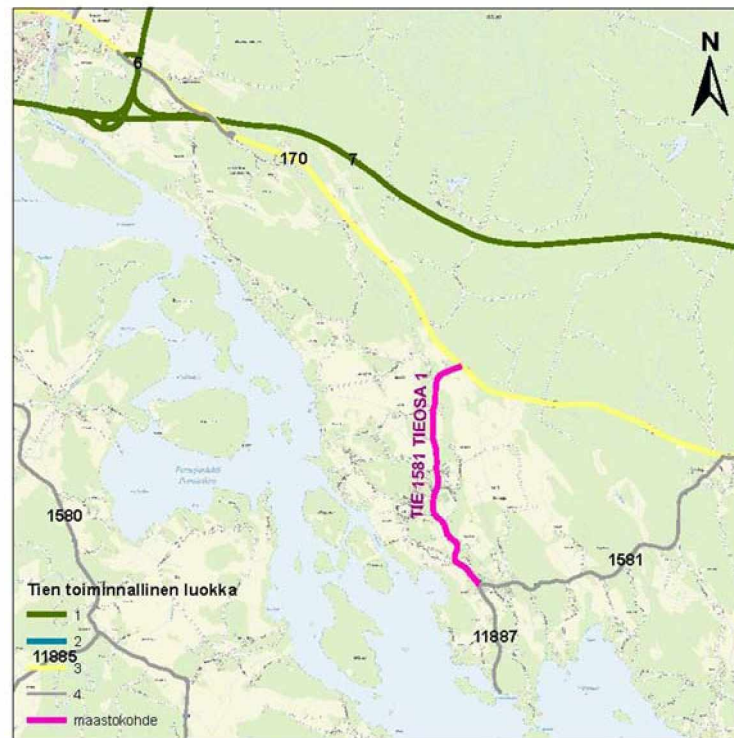
Kuva 35. Tie 11671, etäisyys 2 610m, reunapainauma 70 mm, vasen ura noin 5 mm, oikea ura noin 5 mm.



Kuva 36. Tie 11671, etäisyys 3 032m, reunapainauma 95 mm, vasen ura noin 2 mm, oikea ura noin 11 mm.

Maantie 1581, tieosa 1, suunta 1, kaista 1

Liikenne: KVL: 874 ajon/vrk, KVLRAS: 46 ajon/vrk (5%), KVLHYD: 9 ajon/vrk



Kuva 37. Maastokohde maantie 1581 tieosa 1

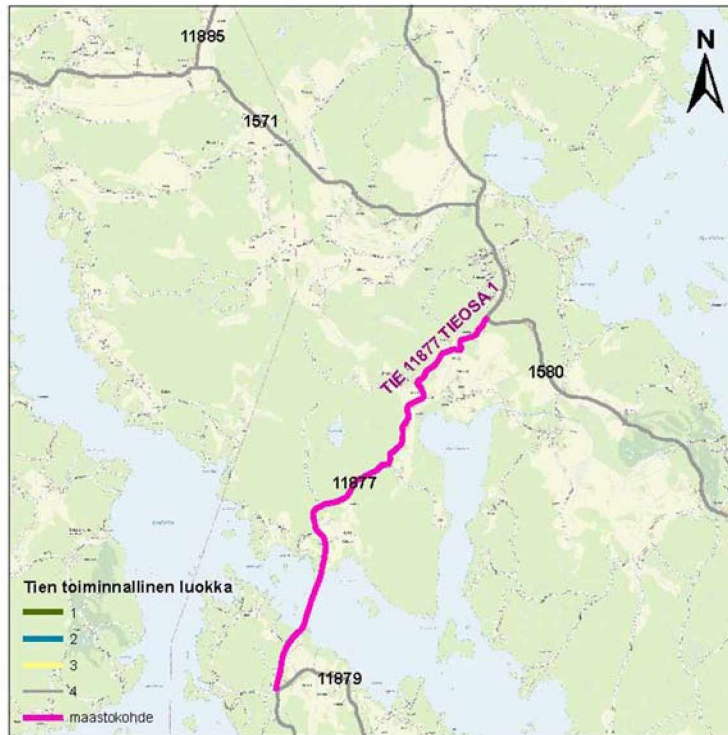
Hyvä esimerkki tyypillisestä reunapainuneesta ja oikeasta ajourasta vaurioituneesta tiestä, missä laskenta-algoritmi maastohavaintojen perusteella toimii erinomaisesti. Ennalta mittausaineistosta valittujen painumakohtien lisäksi maastossa oli havaittavissa seuraavat reunapainumakohdat: etäisyys tieosan alusta 1710 (yksittäinen lätäkkö), 1950, 2500 (tyypillinen reunapainumakohde). Näiden kohteiden kohdalla on reunapainumamuuttujan arvossa havaittavissa muutos ylöspäin, mutta muutokset eivät yllä maastotarkasteluja varten valittuun raja-arvoon saakka.

Taulukko 10. Reunapainumakohteelta ennalta mittaustulosten perusteella valitut reunapainumakohdat ja kohtien havaittavuus maastossa

Etäisyys tieosan alusta reunapainuma yli 50 mm	Reunapainuma mm	Maastossa havaittavissa	Huom
530	84,89	Kyllä	Paikallinen painuma
875	75,26	Kyllä	Pitkä painuma
1200	68,53	Kyllä	
1275	81,60	Kyllä	
1300	60,44	Kyllä	
1461	58,31	Kyllä	
1550	101,03	Kyllä	Siltakohdassa painumaa
2203	69,22	Kyllä	
2273	83,67	Kyllä	
2299	91,19	Kyllä	
2694	64,35	Kyllä	
2940	58,16	Kyllä	
3173	69,22	Kyllä	

Yhdystie 11877, tieosa 1, suunta 1, kaista 1

Liikenne: KVL: 489 ajon/vrk, KVLRAS: 21 ajon/vrk, KVL YHD: 5 ajon/vrk



Kuva 38. Maastokohde yhdystie 11877 tieosa 1

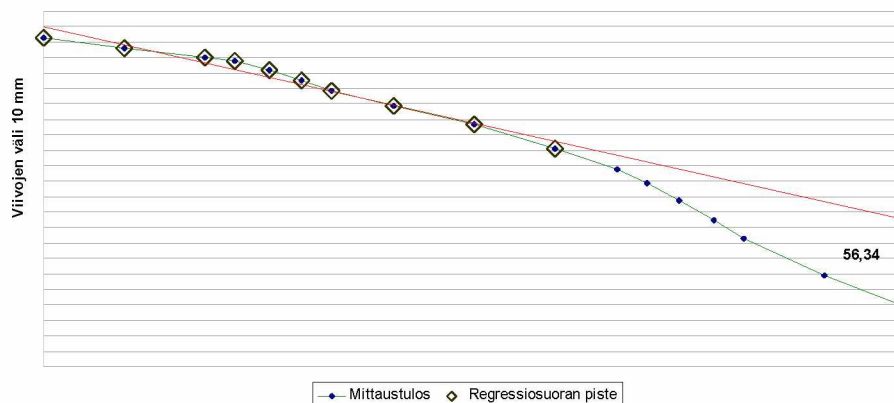
Kokonaisuudessaan varsin hyväkuntoinen tie, ei kunnoltaan kantatiluokkaa, mutta ajettaessa (tosin hyvin alhaisella nopeudella) ei ollut havaittavissa tiessä suurempia painumia tai heittoja. Ennalta mittausaineistosta valittujen painumakohtien lisäksi maastossa oli havaittavissa reunapainumaa etäisyydellä 1340 ja 1500. Näissä kohdissa on mittausaineistossa havaittavissa reunapainumamuuttujan arvoissa muutosta.

Taulukko 11. Reunapainumakohteelta ennalta mittaustulosten perusteella valitut reunapainumakohdat ja kohtien havaittavuus maastossa

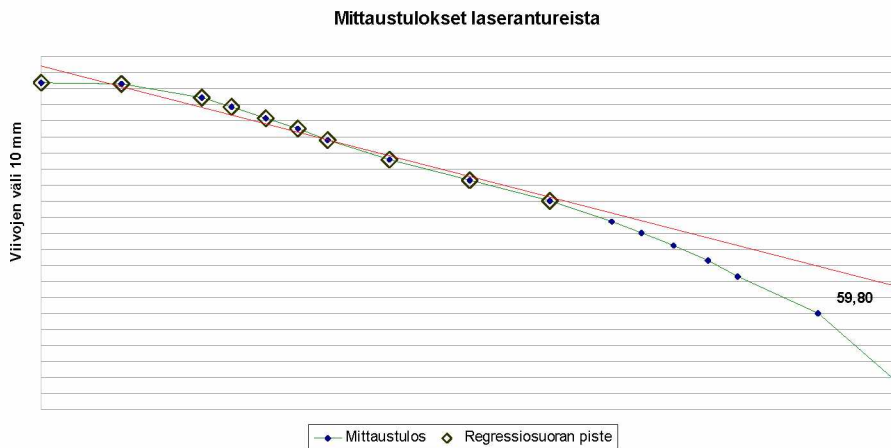
Etäisyys tieosan alusta reunapainuma yli 50 mm	Reunapainuma mm	Maastossa havaittavissa	Huom
335	56,3	Ei	
854	56,4	Kyllä	
1002	53,5	Kyllä	
1638	67,3	Kyllä	
2016 (*)	59,8	Ei	
2237	53,3	Kyllä	Liittymä
2893	51,4	Kyllä	Huonokuntoisia kohtia ennen tätäkin paikkaa
3208	56,9	Kyllä	
3430 (*)	75,0	Kyllä	Alueellista huonokuntoisuutta
3481	71,8	Kyllä	
3637	67,8	Kyllä	Liittymä
4060	54,2	Kyllä	
4325 (*)	54,6	Ei	Huonokuntoista päällystettä muttei painumaa
5336	55,9	Kyllä	
6001	55,4	Kyllä	

*) esimerkkiprofilii

Mittaustulokset laserantureista



Kuva 39. Tie 11877, etäisyys 2 016m, reunapainuma 56 mm, vasen ura noin 5 mm, oikea ura noin 1 mm.



Kuva 40. Tie 11877, etäisyys 335m, reunapainauma 60 mm, vasen ura noin 3 mm, oikea ura noin 3 mm.

4.2.2 Maastovastaavuus

Taulukossa 11 on esitetty reunapainumamuuttujien keskiarvot sekä laskentapituuksille laskettujen hajontojen keskiarvot maastokohteilla erikseen reunapainumakohdissa ja muissa kohdissa. Reunapainumamuuttujan keskiarvo oli tasaisissa kohdissa keskimäärin 14,7 mm reunapainumakohdissa 66,6 mm. Yhdystiellä 11671 reunapainuman keskiarvo oli suurin.

Eri laskentapituuksille tuotettujen tunnuslukujen reunapainumien tunnistuskykyä laskettiin erikseen niille kohdille, joilla ei ollut havaittu reunapainumaa ja niille kohdille, joilla se oli havaittu. Kunkin tunnusluvun raja-arvoja muuttamalla nähtiin, missä kohdassa sen tunnistuskyky optimoituu. Näin saatiin taulukon 13 ja kuvien 41-42 tulokset.

Kuvassa 41 on kunkin reunapainumaa kuvaavan tunnusluvun tunnistuskyky siten, että vaaka-akseli kuvaa tunnistuspuutetta ja pystyakseli kunkin tunnusluvun raja-arvoa. Tunnusluvun tunnistuskyky on sitä parempi mitä pienempi tunnistuspuute on eli mitä kauemmas vasemmalle tunnistuskäyrä ulottuu. Reunapainuman keskiarvon ja prosenttipisteen raja-arvot luetaan vasemmanpuoleiselta pystyakselilta ja hajonnan raja-arvot oikeanpuoleiselta pystyakselilta.

Taulukko 12. Reunapainauksen keskiarvot ja hajontojen keskiarvot laskentapituuksittain maastokohteilla erikseen reunapainumakohdissa ja muissa kohdissa.

Reunapainauksen keskiarvo					
Maastoarvio	1581	11877	14085	11671	Yhteensä
Ei rp	16.1	12.9	13.1	20.3	14.7
On rp	67.3	63.2	80.1	66.6	66.6
Yhteensä	17.9	13.2	13.1	21.2	15.2
Reunapainauksen hajonta 5m					
Maastoarvio	1581	11877	14085	11671	Yhteensä
Ei rp	1.7	1.8	2.0	2.7	7.2
On rp	4.7	2.2	8.5	3.2	3.5
Yhteensä	1.9	1.9	2.0	2.8	7.6
Reunapainauksen hajonta 10m					
Maastoarvio	1581	11877	14085	11671	Yhteensä
Ei rp	2.9	2.9	3.2	4.3	8.0
On rp	5.4	2.4	8.5	3.8	3.9
Yhteensä	3.1	3.0	3.2	4.6	8.4
Reunapainauksen hajonta 20m					
Maastoarvio	1581	11877	14085	11671	Yhteensä
Ei rp	4.2	4.3	4.5	5.9	9.0
On rp	5.5	2.1	12.8	4.5	4.2
Yhteensä	4.9	4.4	4.6	6.3	9.4
Reunapainauksen hajonta 100m					
Maastoarvio	1581	11877	14085	11671	Yhteensä
Ei rp	9.8	9.6	8.7	9.6	12.3
On rp	6.5	1.9	12.8	4.9	5.2
Yhteensä	11.4	9.9	8.8	10.4	12.8

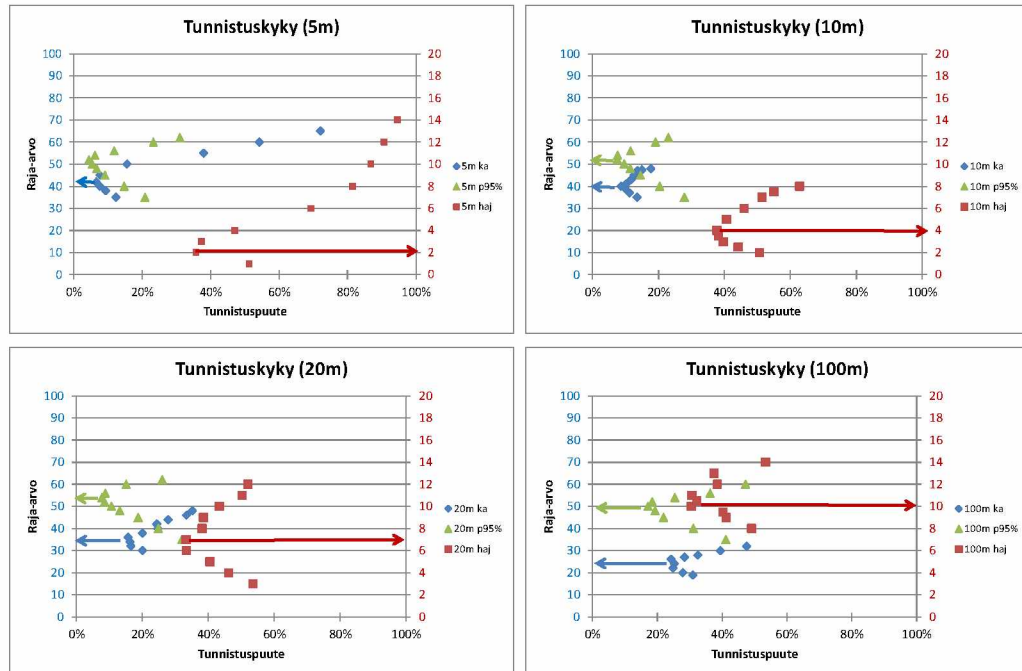
Paras tunnistuskyky oli kaikille laskentapituuksille reunapainumatunnusluvun prosenttipisteellä, P95, jolla tunnistuspuute vaihteli välillä 4.4–17.1 %. Toiseksi paras tunnistuskyky oli reunapainauksen keskiarvolla, jonka tunnistuspuute oli 6.6–17.2 % ja huonoin tunnistuskyky oli reunapainauksen hajonnalla, jonka tunnistuspuute oli välillä 37.0–37.7 %.

Taulukon 13 tunnistuskykylaskelmasta nähdään, miten hyvin kukin tunnusluku tunnistaa reunapainumakohtia ja ei reunapainauksia sisältäviä kohtia eri raja-arvoilla ja eri laskentapituuksilla. Vihreä solujen taustaväri kuvaa parempaa tunnistusta ja punainen huonompaa. Kunkin tunnusluvun paras tunnistuskyky ja raja-arvo on merkitty laatikolla.

Taulukko 13. Tunnistuskykylaskelma taulukkona.

5 m laskentaväli											
Raja-arvot			RP:t oikein			Ei RP:t oikein			Tunnistuspuute		
5m ka	5m haj	5m p95%	5m ka	5m haj	5m p95%	5m ka	5m haj	5m p95%	5m ka	5m haj	5m p95%
40	4	35	97%	55%	100%	93%	86%	79%	7.6%	47.0%	20.8%
45	6	40	93%	31%	99%	97%	93%	85%	7.7%	69.3%	14.7%
50	8	45	84%	19%	99%	99%	97%	91%	15.5%	81.5%	9.1%
55	10	48	62%	13%	99%	100%	99%	93%	38.0%	86.8%	6.7%
60	12	50	46%	9%	99%	100%	99%	95%	54.3%	90.7%	5.4%
65	14	52	28%	5%	98%	100%	100%	96%	72.1%	94.6%	4.4%
35	3	54	98%	69%	95%	88%	79%	97%	12.3%	37.3%	6.2%
38	1	56	97%	93%	88%	91%	49%	98%	9.4%	51.2%	11.8%
42	2	60	96%	84%	77%	95%	68%	99%	6.6%	35.8%	23.3%
41	3	62	96%	69%	69%	94%	79%	99%	7.1%	37.3%	31.0%
10 m laskentaväli											
Raja-arvot			RP:t oikein			Ei RP:t oikein			Tunnistuspuute		
10m ka	10m haj	10m p95%	10m ka	10m haj	10m p95%	10m ka	10m haj	10m p95%	10m ka	10m haj	10m p95%
35	2	35	96%	92%	100%	87%	50%	72%	13.5%	50.7%	27.8%
37	2.5	40	96%	89%	99%	90%	57%	80%	11.2%	44.2%	20.3%
39	3	45	95%	84%	99%	92%	64%	86%	9.8%	39.6%	14.5%
40	3.5	48	95%	78%	99%	93%	68%	89%	8.6%	38.3%	11.4%
41	4	50	92%	74%	99%	94%	72%	91%	10.2%	37.7%	9.6%
43	5	52	89%	65%	99%	95%	80%	93%	11.7%	40.7%	7.5%
45	6	54	88%	57%	95%	97%	84%	95%	12.6%	46.0%	7.6%
47	7	56	86%	50%	89%	98%	88%	96%	13.7%	51.4%	11.6%
47.5	7.5	60	85%	46%	81%	98%	90%	98%	15.0%	55.0%	19.1%
48	8	62	82%	38%	77%	98%	91%	98%	17.7%	62.8%	23.0%
20 m laskentaväli											
Raja-arvot			RP:t oikein			Ei RP:t oikein			Tunnistuspuute		
20m ka	20m haj	20m p95%	20m ka	20m haj	20m p95%	20m ka	20m haj	20m p95%	20m ka	20m haj	20m p95%
40	3	35	76%	98%	100%	94%	46%	68%	24.7%	53.6%	32.0%
42	4	40	76%	89%	98%	96%	55%	75%	24.4%	46.2%	24.8%
44	5	45	72%	83%	98%	98%	63%	81%	27.9%	40.5%	18.7%
46	6	48	67%	83%	98%	99%	71%	87%	33.4%	33.4%	13.2%
38	7	50	81%	74%	98%	92%	79%	90%	20.0%	33.2%	10.7%
36	9	52	89%	63%	98%	89%	89%	92%	15.7%	38.5%	8.5%
34	10	54	91%	57%	96%	87%	92%	93%	16.3%	43.4%	7.8%
32	11	56	93%	50%	93%	85%	95%	95%	16.6%	50.3%	8.8%
30	12	60	93%	48%	85%	81%	96%	97%	20.0%	52.0%	15.1%
48	8	62	65%	65%	74%	99%	85%	98%	35.2%	38.1%	26.0%
100 m laskentaväli											
Raja-arvot			RP:t oikein			Ei RP:t oikein			Tunnistuspuute		
100m ka	100m haj	100m p95%	100m ka	100m haj	100m p95%	100m ka	100m haj	100m p95%	100m ka	100m haj	100m p95%
30	12	35	61%	64%	100%	93%	87%	59%	39.5%	38.5%	41.1%
32	14	40	53%	47%	100%	94%	92%	69%	47.5%	53.3%	31.1%
28	10	45	69%	83%	89%	89%	74%	81%	32.5%	30.5%	21.9%
26	11	48	81%	78%	86%	86%	79%	87%	24.2%	30.7%	19.3%
24	9	50	83%	86%	86%	81%	61%	90%	25.2%	41.3%	17.1%
22	8	52	89%	89%	83%	78%	52%	92%	24.8%	49.1%	18.4%
27	13	54	75%	64%	75%	87%	90%	96%	28.3%	37.5%	25.4%
20	10.5	56	89%	81%	64%	74%	74%	97%	27.9%	32.1%	36.3%
19	9.5	60	89%	83%	53%	71%	63%	99%	31.0%	40.3%	47.2%

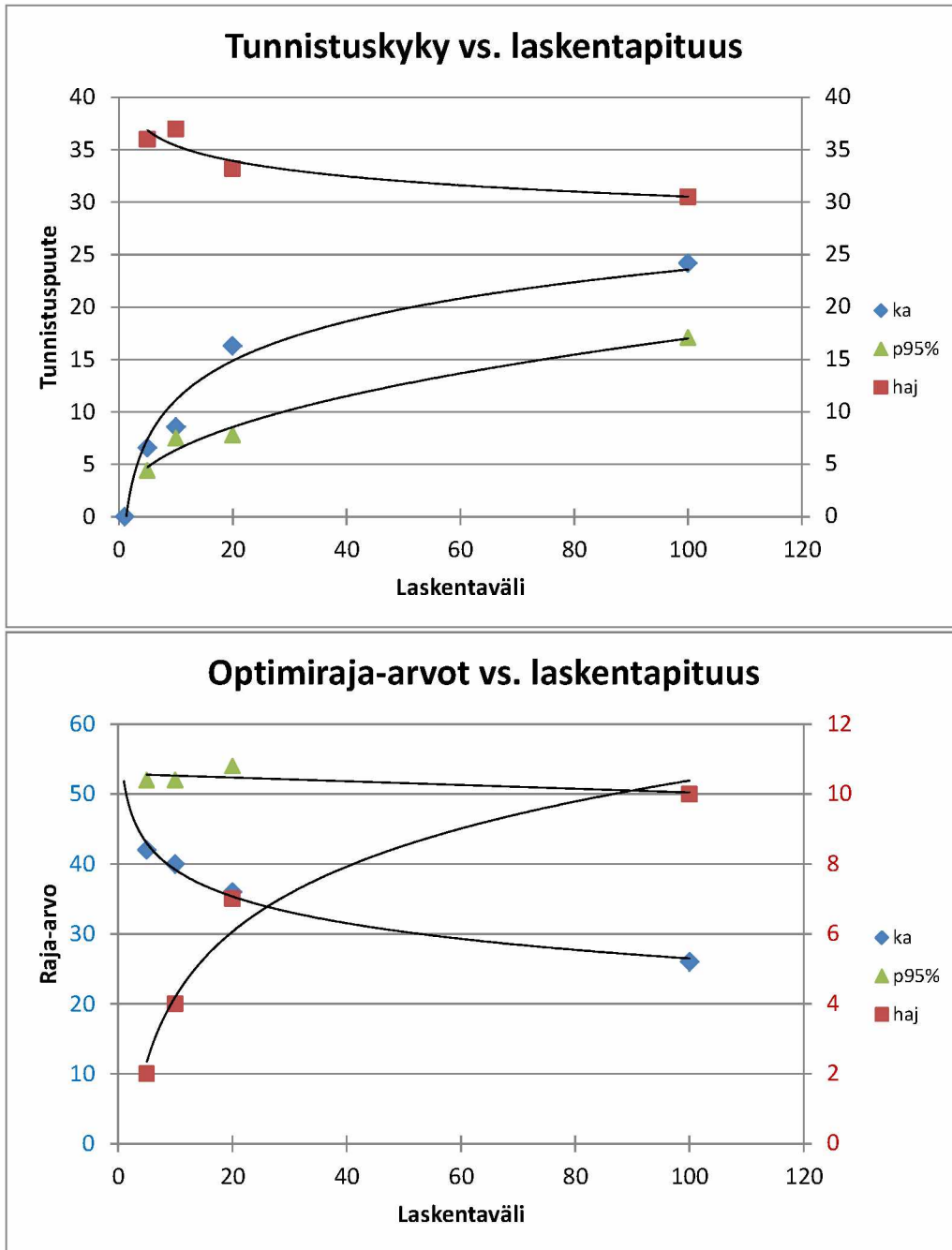
Tunnuslukujen raja-arvojen varioiminen tuottaa selkeitä tunnustuskäyriä, joista on nähtävissä optimikohdat. Tosin niissä näkyy hiukan jyrkkiä epäjatkuvuuskohtia, jonka aiheuttaa vähäinen maastokohteiden lukumäärä. Suuremmalla kohteiden määrällä tunnistuskykykäyrät olisivat juohevampia ja luotettavampia. Maastokohteet oli valittu vain alemman luokan teiltä, mikä rajoittaa niiden edustavuutta. Kohteita olisi ollut hyvä ottaa tasaisesti kaikilta tieluokilta.



Kuva 41. Reunapainauksen tunnistuskyky laskentapituuksilla 5 m, 10 m, 20 m ja 100 m.

Yhteenvedon voidaan todeta kuvan 41 mukaisesti seuraavaa:

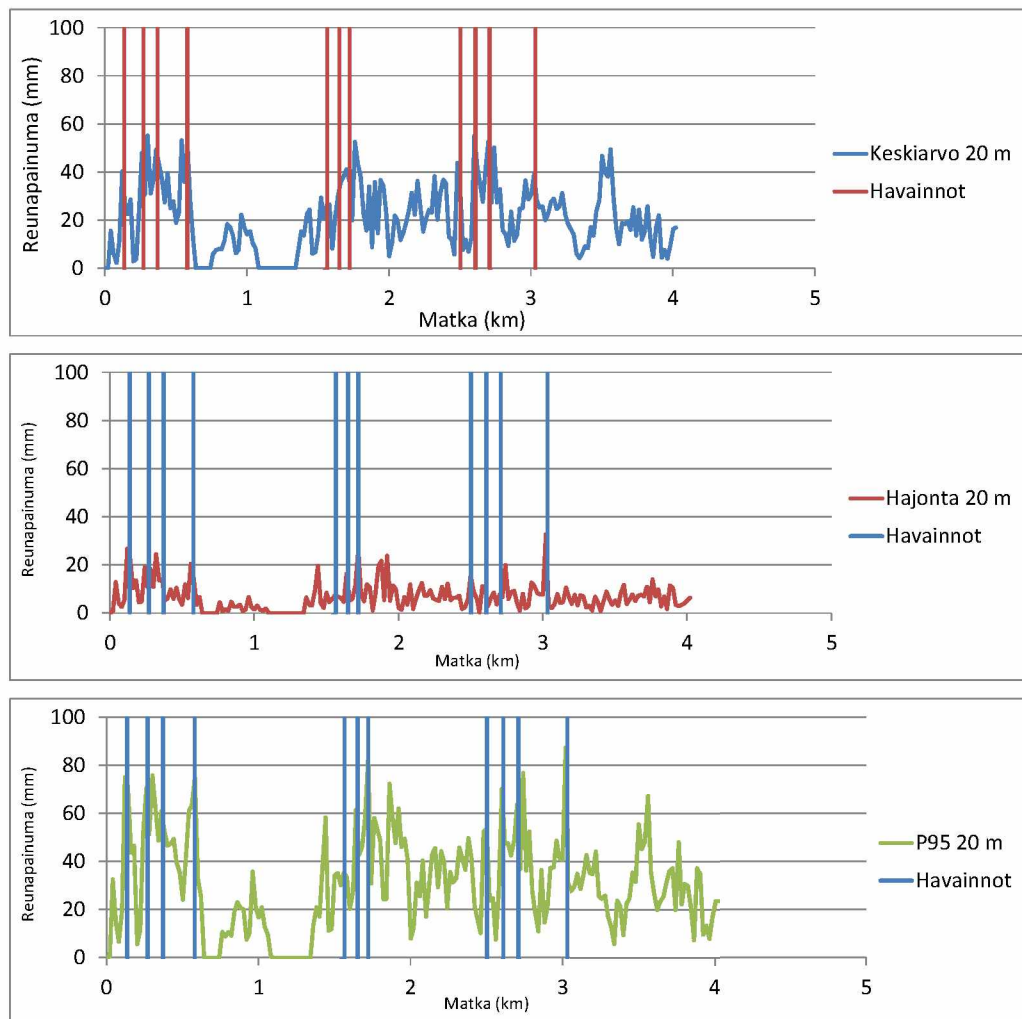
- reunapainauksen prosenttipiste tuottaa parhaan tunnistuskyvyn
- lyhyempi laskentaväli tuottaa paremman tunnistuskyvyn paitsi yhden tunnusluvun kohdalla (reunapainauksen hajonta).
- reunapainauksen keskiarvon optimiraja-arvo pienenee kun laskentapituus kasvaa
- reunapainauksen hajonnan optimiraja-arvo kasvaa kun laskentapituus kasvaa
- reunapainauksen prosenttipisteen optimiraja-arvo ei riipu kovin selvästi laskentapituudesta ja on siten robustein tunnusluku.



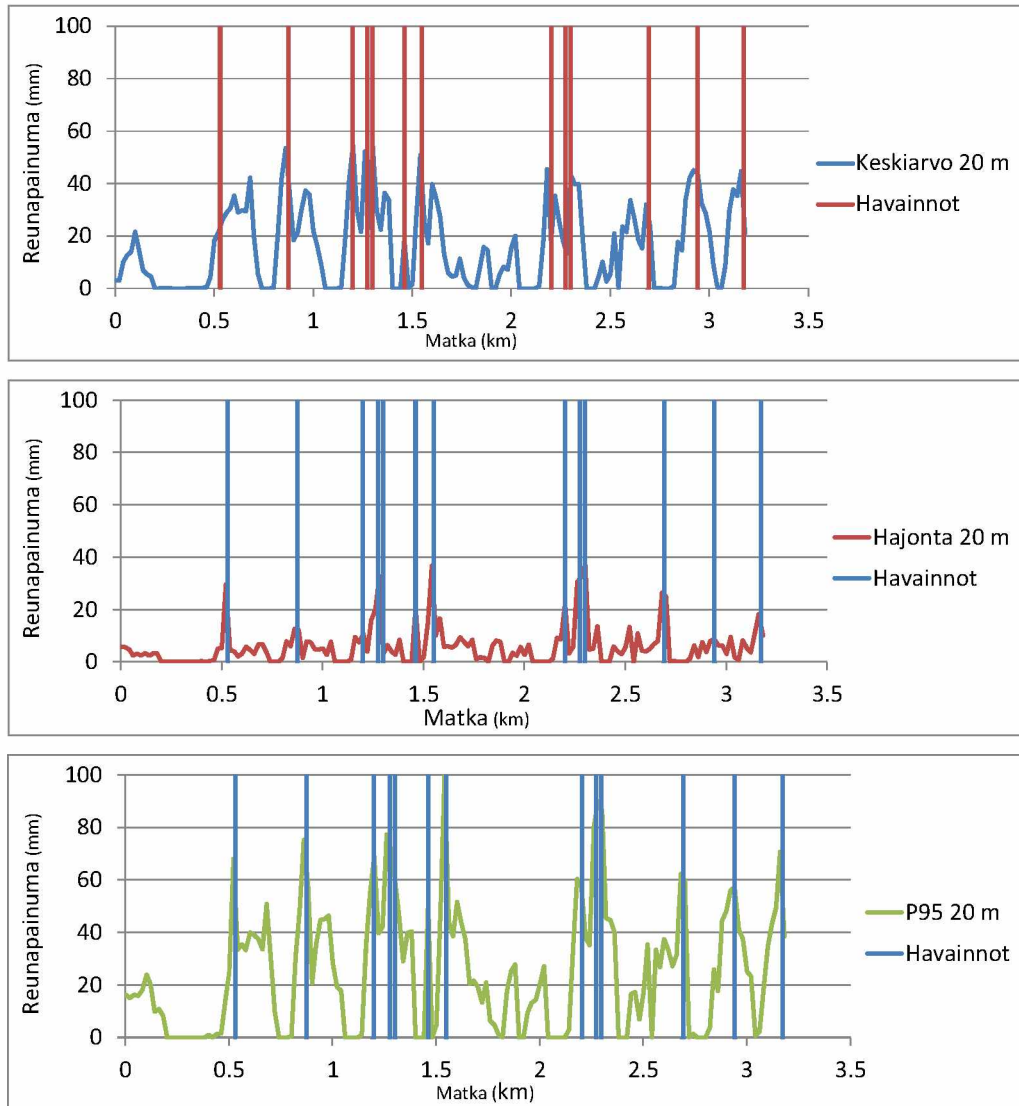
Kuva 42. Reunapainauksen tunnuslukujen tunnistuspuute vs. laskentaväli (ylempi kuva) ja tunnuslukujen optimiraja-arvot vs. laskentaväli (alempi kuva).

Kuvissa 43–45 on esitetty reunapainumamuuttujien 20 m keskiarvot, hajonnat ja P95 prosenttipiste maastokohteilla ja maastossa tehdyt reunapainumahavainnot. Maastossa tehty reunapainumahavainto on merkitty pystysuoralla viivalla. Kuvista saa karkean käsityksen siitä, miten kukin tunnusluku tunnistaa havaitun reunapainaumakohdan. Esimerkiksi kuvassa 43 mt 11671 reunapainumahavaintoja todettiin maastossa 11 kpl. Kahdenkymmenen metrin keskiarvo tunnistaa niistä noin 8 kpl, 7 kpl ja prosenttipiste P95 10 kpl. Kuvan perusteella voidaan epäillä, että yksi reunapainaumakohta paalulla 3,5 km on saattanut jäädä maastohavaintoa tehtäessä huomaamatta. Toista maastokäyntiä ei kuitenkaan tehty sen tarkistamiseksi.

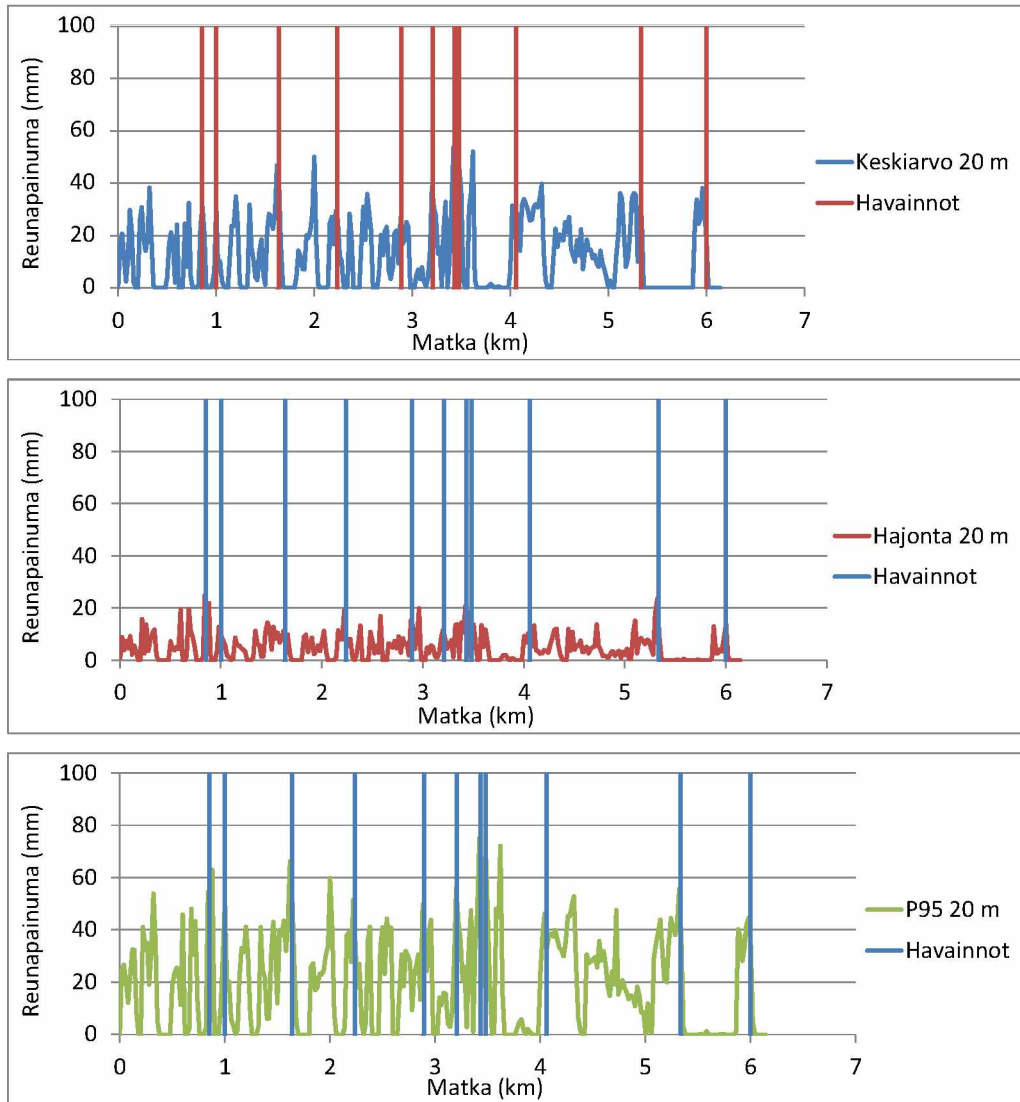
Kuvien graafisen tarkastelun perusteella voidaan todeta, että tunnusluvut tunnistavat reunapainaumakohdat melko hyvin.



Kuva 43. Maantie 11671. Reunapainumamuuttujien 20 m keskiarvot, hajonnat ja P95 prosenttipiste maastokohteilla ja maastossa tehdyt reunapainumahavainnot.



Kuva 44. Maantie 1581. Reunapainumamuuttujien 20 m keskiarvot, hajonnat ja P95 prosenttipiste maastokohteilla ja maastossa tehtyt reunapainumahavainnot.



Kuva 45. Maantie 11877. Reunapainumamuuttujien 20 m keskiarvot, hajonnat ja P95 prosenttipiste maastokohteilla ja maastossa tehdyt reunapainumahavainnot.

4.3 Tunnuslukujen mittaustarkkuus

Tunnusluvun valintaan vaikuttaa sen mittaustarkkuus. Tunnusluvun tulee olla paitsi ilmiötä kuvaava, myös mitattavissa riittävän tarkasti. Mittaustarkkuutta tarkasteltiin siten, että otettiin palvelutasomittareiden laadunvarmistustesteistä kahden mittausauton otos, joka sisälsi vertailumittauksissa saatuja mittaustietoja. Otokseen valittiin 3- ja 4-numeroisia teitä, koska reunapainumailmiötä esiintyy niillä enemmän kuin pääteillä. Kohteina olivat mt 110 tieosa 008, mt 1131 tieosa 002 ja mt 1130 tieosa 003. Kohteet oli mitattu kahden eri mittajaan toimesta (eri mittausautot) kahteen kertaan. Tuloksista pystyttiin laskemaan sekä toistettavuuksia että mittaustarkkuutta kokonaisuutena.

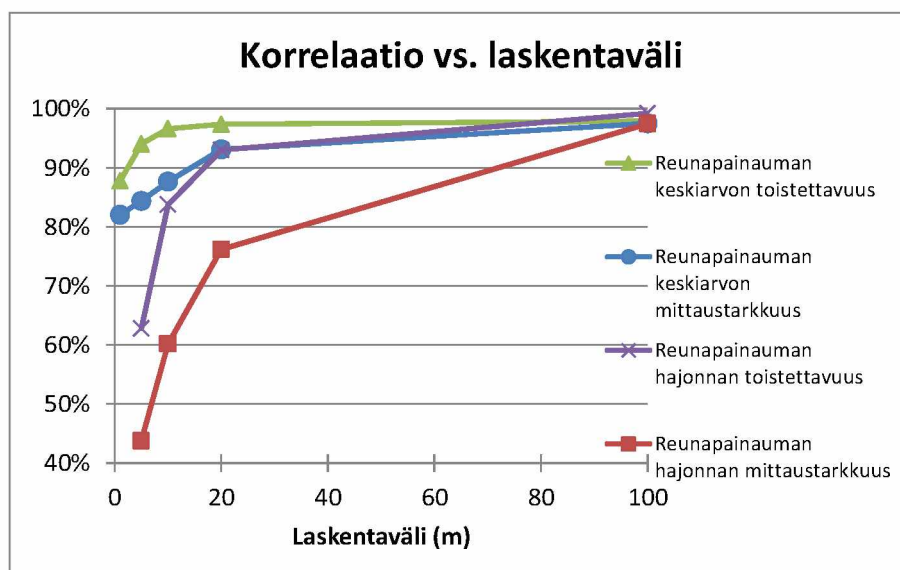
Vertailussa käytettiin eri laskentapituuksille laskettuja tunnuslukuja, jotka olivat keskiarvo ja hajonta. Prosenttipisteitä ei otettu tarkasteluun sen takia, koska excelin pivot-toiminta ei tue niitä. Hajonnan tarkkuustieto kuvaa kuitenkin likimääräisesti myös prosenttipisteen P95 % tarkkuutta, koska se on yleensä johdettavissa hajonnan kautta (2xhajonta).

Keskeiset tulokset on esitetty seuraavassa taulukossa ja sitä seuraavissa kuvissa. Keskiarvon mittaustarkkuutta tarkasteltiin kolmen tieosan aineistolla ja hajonnan mittaustarkkuutta yhden tieosan aineistolla. Mittaustarkkuutta kuvaavia tunnuslukuja olivat parimittaustietojen erojen keskiarvo ja hajonta sekä parimittausten välinen korrelaatio. Mittaustarkkuus saatiin vertaamalla kahden eri mittaajan (ja mittausauton) tuloksia ja toistettavuus vertaamalla saman mittaajan toistomittauksia. Toistettavuustulos otettiin huonomman mittaajan toistettavuudesta.

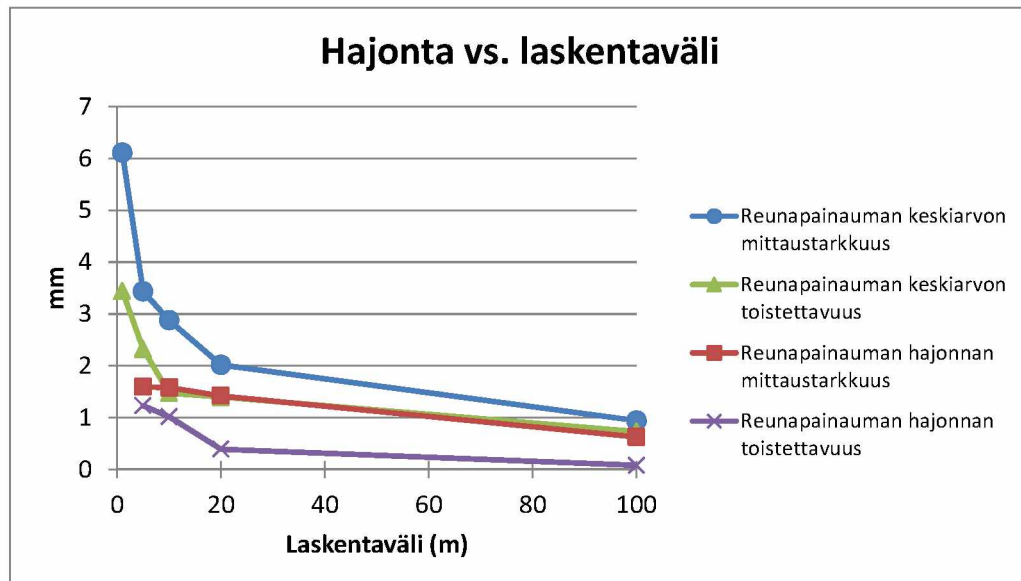
Parimittausten erojen keskiarvo on yleensä lähellä nolaa niin kuin sen tuleekin. Mittaajien välisessä tarkastelussa se kuitenkin näyttää riippuvan laskentapituudesta ja on melko suuri. Varsinaisia, tarkkuutta paremmin kuvaavia tunnuslukuja ovat erojen hajonta ja parien korrelaatio. Toistettavuus on aina parempi kuin mittaus-tarkkuus (mittaajien välinen tarkkuus). Laskentapituuden kasvattaminen parantaa aina tarkkuutta, koska mahdolliset paikan kohdistusvirheet pienenevät. Taulukon solujen väriytyksessä vihreä kuvaa parempia tuloksia kuin punainen. Mittaus-tarkkuuden näkökulmasta tunnusluku kannattaisi tuottaa mahdollisimman suurelle laskentapituudelle. Alle 10 m laskentapituuksille tuotettujen tunnuslukujen tarkkuus vaikuttaa huonolta. Laskentapituus tulisi siten valita väliltä 10–100 m.

Taulukko 14. Reunapainauman tunnuslukujen mittaustarkkuuksia.

Reunapainauman keskiarvon mittaustarkkuus						Reunapainauman hajonnan mittaustarkkuus					
	1	5	10	20	100		1	5	10	20	100
	1m	5m	10m	20m	100m		1m	5m	10m	20m	100m
ka	7.5	0.7	0.7	0.6	0.7	ka	-	-0.1	0.0	0.2	0.3
haj	6.1	3.4	2.9	2.0	0.9	haj	-	1.6	1.6	1.4	0.6
korr	82 %	84 %	88 %	93 %	98 %	korr	-	44 %	60 %	76 %	97 %
mt 110/008, mt 1130/003, mt 1131/002						mt 110/008					
Reunapainauman keskiarvon toistettavuus						Reunapainauman hajonnan toistettavuus					
	1	5	10	20	100		1	5	10	20	100
	1m	5m	10m	20m	100m		1m	5m	10m	20m	100m
ka	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	ka	-	0.0	0.0	0.0	0.0
haj	3.4	2.3	1.5	1.4	0.7	haj	-	1.2	1.0	0.4	0.1
korr	88 %	94 %	97 %	97 %	98 %	korr	-	63 %	84 %	93 %	99 %
mt 110/008, mt 1130/003, mt 1131/002						mt 110/008					



Kuva 46. Laskentapituuden vaikutus tunnuslukujen parihavaintojen korrelaatioihin.

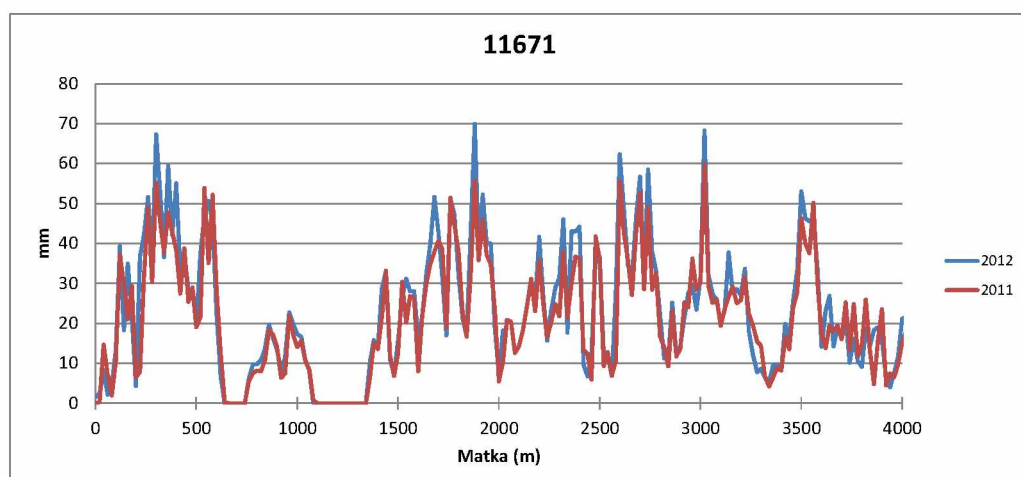


Kuva 47. Laskentavälin vaikutus tunnuslukujen parihavaintojen erojen hajontaan.

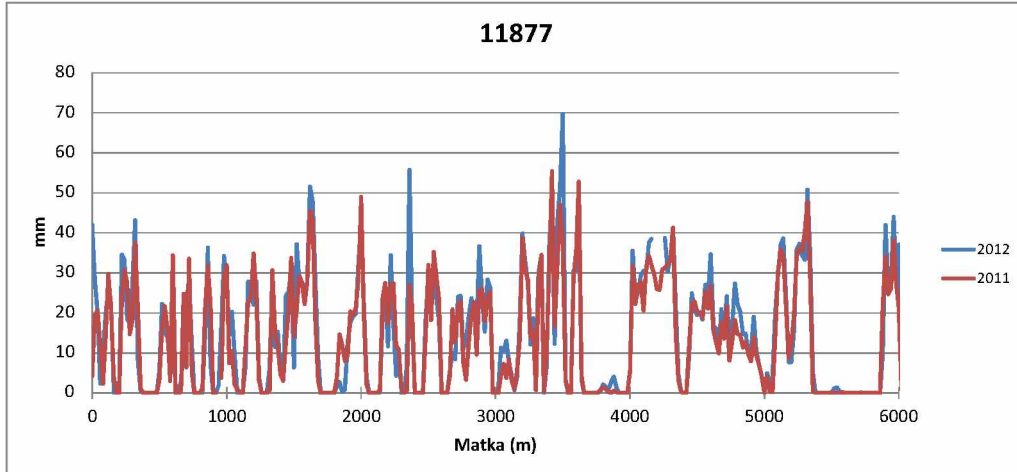
4.4 Tunnuslukujen vuosikehitys

Reunapainauksen vuosimuutosta tutkittiin ensin kahden yksittäisen tieosan avulla. Kohteet olivat yhdysteitä. Reunapainauksen vuosimuutos oli melko pieni, 1–5 mm. Vuosimuutoksen hajonta on melko suuri, laskentapituudesta riippuen 3–10 mm. Vuosiparien korrelaatiot olivat laskentapituudesta riippuen välillä 88–97 %.

Sadan metrin laskentavälillä keskimääräinen vuosimuutos oli 1.6 mm ja sen hajonta 3 mm. Yhteenveto vuosimuutokseen liittyvistä tunnusluvuista on esitetty taulukossa 15. Laskentavälin lyhentäminen heikentää vuosimuutoksen havaitsemista.

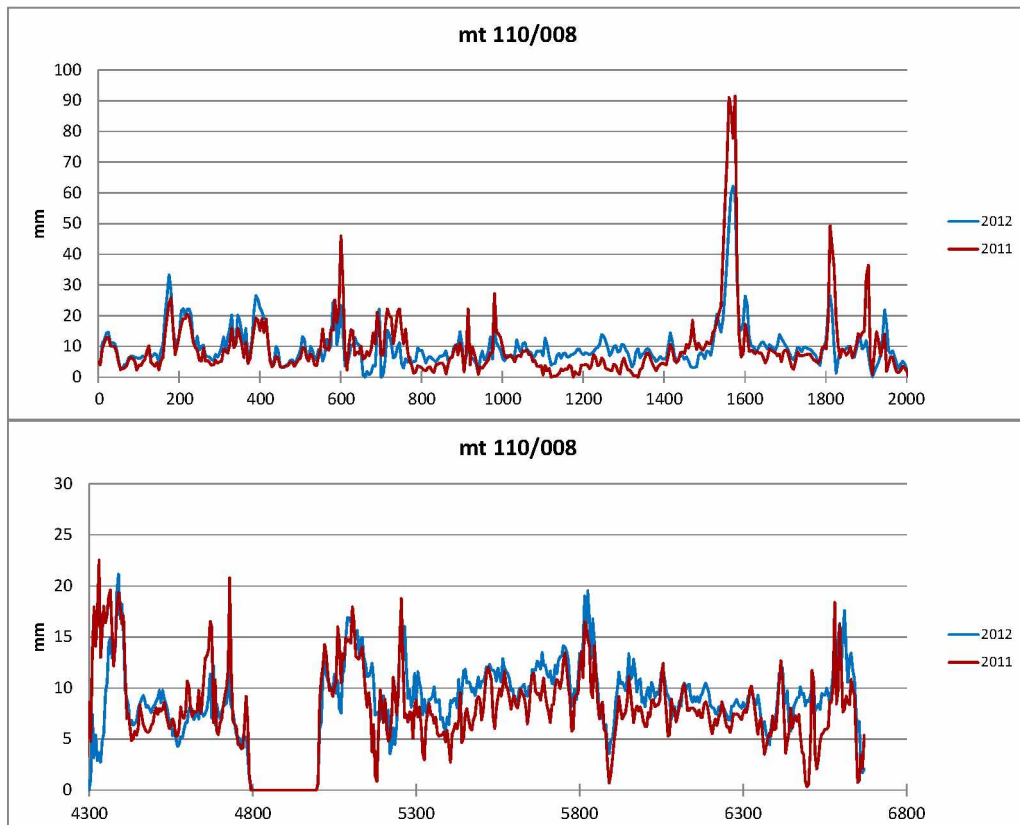


Kuva 48. Esimerkki reunapainauksen vuosimuutoksesta aikavälillä 2011–12 (yhdystie 11671, tieosa 1, 100 m laskentaväli).



Kuva 49. Esimerkki reunapainauksen vuosimuutoksesta aikavälillä 2011–12 (yhdistie 11877, tieosa 1, 100 m laskentaväli).

Vuosimuutosta tutkittiin myös muutamalla 3- ja 4-numeroisella tiellä. Vaikka reunapainauksen taso oli niillä teillä matalampi, oli tulos kuitenkin vertailukelpoisempi mittaustarkkuusanalyysin kanssa, koska kohteet olivat samoja. Kuvassa 50 on esimerkki reunapainauksen profiileista mt 110 tieosalla 8. Kuvasta nähdään, että reunapainaus kehittyy pääsääntöisesti loogisesti. Siellä missä laskenta-algoritmi tuottaa pelkän nollan, se tuottaa sen molempina vuosina. Kuvassa on havaittavissa muutama sellainen kohta, missä reunapainauksen arvot olivat ensiksikin suuria, mutta olivat vuonna 2011 suurempia kuin vuonna 2012. Syynä epäloogisuuteen saattaa olla ajolinjavaihtelut suurten reunapainauksien kohdalla, erilainen routatilanne tai jopa paikkaustoimet. Kyseinen kohde on mitattu aikaisin keväällä, koska se kuuluu mittausjärjestelmän kevättesteihin. Mittausvirhettä pienennettiin ottamalla keskiarvot kahden eri mittajaan kahdesta eri ajokerrasta eli yhteensä neljästä ajosta.

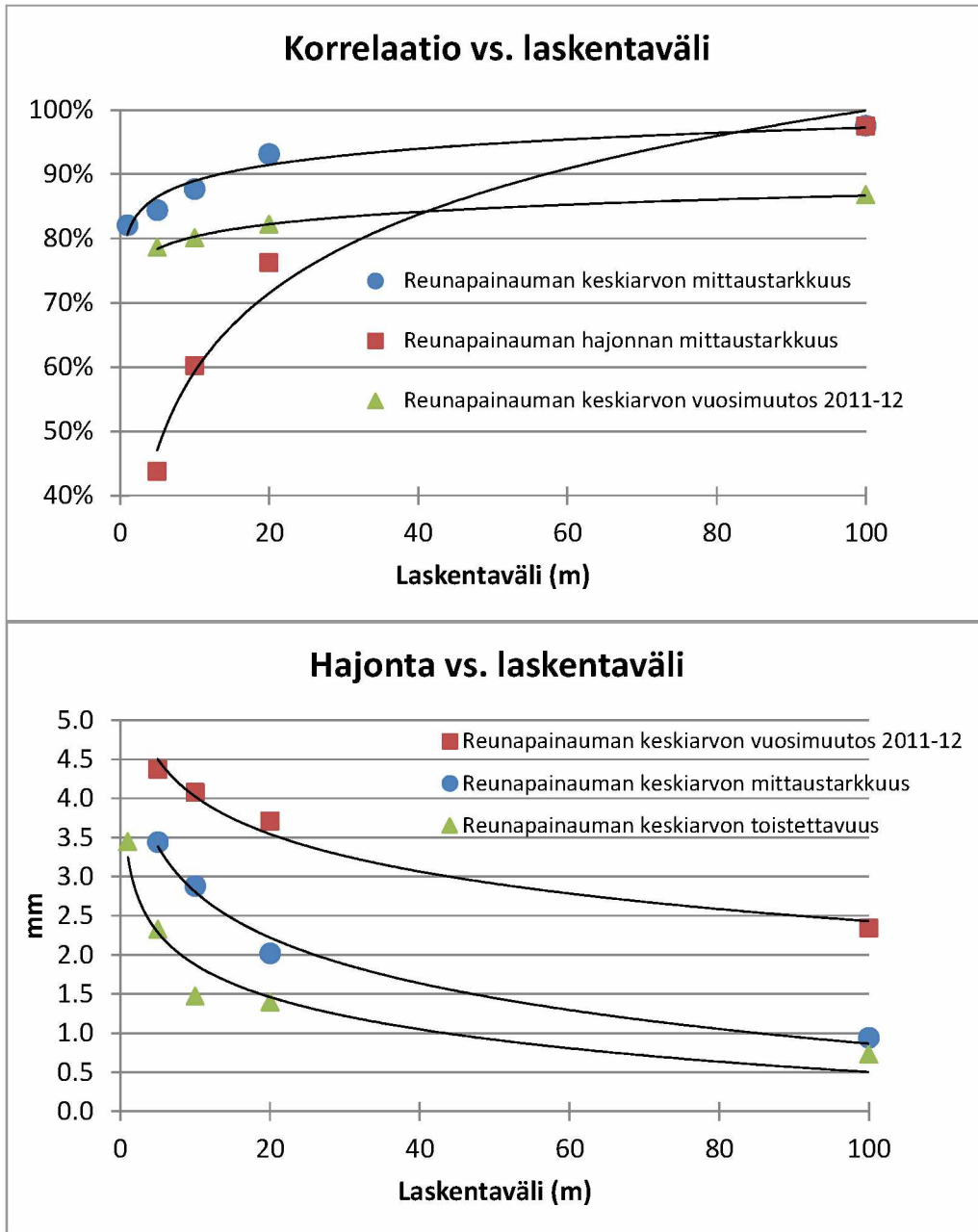


Kuva 50. Esimerkki reunapainauksen vuosimuutoksesta aikavälillä 2011–12 (mt 110, tieosa 8, laskentaväli 5m).

Taulukko 15. Yhteenveto reunapainauksen vuosimuutoksesta eri laskentapituuksilla.

Reunapainauksen keskiarvon vuosimuutos 2011-12				
	5	10	20	100
	5m	10m	20m	100m
ka	1.1	1.0	0.9	1.6
haj	10.0	8.4	6.6	3.0
korr	88 %	91 %	94 %	97 %
yt 11671. yt 11877				
Reunapainauksen keskiarvon vuosimuutos 2011-12				
	5	10	20	100
	5m	10m	20m	100m
ka	0.6	0.5	0.5	0.5
haj	4.4	4.1	3.7	2.3
korr	79 %	80 %	82 %	87 %
mt 110/008, mt 1130/003, mt 1131/002				

Kun reunapainauksen vuosimuutosta verrataan mittaustarkkuuteen (kuva 51), niin nähdään, että mittaustarkkuus on parempi kuin vuosimuutos ts. mittaustarkkuus riittää vuosimuutoksen selvittämiseen. Päinvastaisessa tapauksessa se ei olisi riittänyt. Tiet, joilla reunapainauksia tyypillisesti on, tulevat mitattaviksi muutaman vuoden välein. Tällöin muutokset tien reunapainauksissa ovat vieläkin selvemmin nähtävissä. Vuosimuutosta on tarkasteltu ainoastaan keskiarvon osalta. Muiden tunnuslukujen suhteen tilanteen arvioidaan olevan saman.



Kuva 51. Reunapainauksen vuosimuutoksen suuruus suhteessa sen mittaustarkkuuteen eri laskentapituuksilla (mt 110, mt 1130, mt 1131).

4.5 Tunnuslukujen vertailu ja valinta

Tien reunapainauksen tunnuslukuvaihtoehtoja muodostettiin laskentapituudesta ja tilastollisesta jakaumasta. Tunnuslukujen käyttökelpoisuutta tarkasteltiin kolmesta eri näkökulmasta, jotka olivat mittaustarkkuus, vuosikehitys ja tunnistuskyky. Analyysi on siinä mielessä puutteellinen, ettei kaikkia kolmea ominaisuutta tutkittu samoilla kohteilla vaan kohteet ja niiden edustavuudet vaihtelivat tilanteen mukaan. Tämä johtui lähinnä siitä, että käytettiin niitä aineistoja, jotka olivat helpoimmin saatavissa. Lopputulos on kuitenkin suuntaa antava.

Yhteenveto tunnuslukujen vertailusta on esitetty taulukossa 16. Kunkin tunnusluvun hyvyttä kunkin ominaisuuden suhteen arvioitiin melko subjektiivisesti (1–5) sen mukaan, miltä saadut tulokset vaikuttivat. Lopullinen tunnuslukujen paremmuus laskettiin painottamalla kunkin tunnusluvun kunkin ominaisuuden hyvyttä painokertoimilla (1–3), jonka tärkeysjärjestys kysyttiin asiakkaalta. Taulukon yläosassa käytettiin tasasuuruksia painoja, keskiosassa tunnustuskykyä painotettiin enemmän ja alimmassa osassa ominaisuudet saivat järjestysasteikolliset painot 1, 2 ja 3. Tunnuslukujen paremmuus on nähtävissä yhteensä -sarakeelta väri-tunnuksellisista pisteluvuista (vihreä kuvaa parempaa kuin punainen).

Taulukko 16. Tunnuslukujen vertailu.

Tunnusluku	Laskentaväli	Ominaisuudet			Painot ja vertailupisteet			
					1	1	2	3
		Mittaustarkkuus	Vuosimuutos	Tunnustuskyky	1	1	1	1
Keskiarvo	5	3	3	5	3.7	4.0	4.0	4.1
	10	3	4	4	3.7	3.8	3.7	3.7
	20	5	5	3	4.3	4.0	4.0	3.9
	100	5	5	2	4.0	3.5	3.5	3.3
Hajonta	5	1	2	1	1.3	1.3	1.2	1.1
	10	2	3	1	2.0	1.8	1.7	1.6
	20	2	4	1	2.3	2.0	1.8	1.7
	100	5	5	2	4.0	3.5	3.5	3.3
Prosenttipiste	5	2	2	5	3.0	3.5	3.5	3.7
	10	3	3	4	3.3	3.5	3.5	3.6
	20	4	4	4	4.0	4.0	4.0	4.0
	100	5	5	3	4.3	4.0	4.0	3.9

Taulukon yhteispisteistä voidaan tehdä mm. seuraavat johtopäätökset:

- reunapainauksen hajonta ei ollut yhtä hyvä tunnusluku kuin keskiarvo ja prosenttipiste.
- keskiarvo saa paremmat arvosanat kun laskentapituus on lyhyt (5-10m).
- prosenttipiste saa paremmat arvosanat kun laskentapituus on pitkä (20-100m)
- keskiarvo ja prosenttipiste saavat kummatkin maksimipisteet laskentapituudella 20 m.
- suositeltavimmat tunnusluvut ovat 5 tai 20 m matkalle laskettu reunapainauksen keskiarvo tai 20 tai 100 m matkalle laskettu prosenttipiste.

Vertailussa herättivät erityistä huomiota hajonnan alhaiset vertailupisteet. Pisteiden alhaisuus johtui huonoimmasta tunnustuskyvystä. Yleensä ilmiön vaihtelu ja esim. juuri hajonta on hyvä erityiskohtien tunnustaja. Aiemmissa selvityksissä hajonta aina paransi tunnusluvun selektiivisyyttä huonojen kohtien tunnistamisessa. Reunapainauksen kohdalla alhainen tunnustuskyky saattoi johtua siitä, että muuttujassa on sen laskenta-algoritmista johtuvia nollia noin 30 %, mikä kasvattaa vaihtelua alhaisilla reunapainauksen arvoilla ja siten heikentää oikein tunnistusta.

5 Yhteenveto

Tien reunapainaumaa tutkittiin muodostamalla laskenta-algoritmi sen tuottamiseksi ja tarkastelemalla sen eri laskentapituuksille muodostettujen tunnuslukujen tunnistuskykyä, vuosimuutosta ja mittaustarkkuutta. Reunapainauaman tunnusluku tuotettiin kaistan poikkiprofiilitiedoista vertaamalla oikean puolen informaatiota vasemmalta puolelta saatuun regressiosuoraan. Reunapainaumatyyppejä on määritelty yhteensä 9, mutta tässä työssä niitä ei eritelty. Reunapainaumaa kuvaavia tunnuslukuvaihtoehtoja oli useita, koska tarkasteltiin useita jakauman tilastollisia tunnuslukuja ja useita eri laskentapituuksia. Tunnuslukuvaihtoehdot olivat reunapainauaman keskiarvo, hajonta ja 95 % prosenttipiste kullakin laskentavälillä. Reunapainauama on melko uniikki ja paikallinen ilmiö, mikä rajoittaa sen laskentapituutta.

Reunapainauaman tunnistamisen tutkimisessa käytettiin maastohavaintoja. Maastokohteet valittiin reunapainaumia sisältävistä kohteista, jotka käytiin arvioimassa. Reunapainaumaa sisältävien kohtien paikkatieto luettiin GPS-pohjaisella tietosovelluksella. Tunnuslukujen tunnistuskykyä analysoitiin laskemalla kuinka suuren osuuden kukin tunnusluku tunnisti oikein. Tunnusluvun tuli pystyä erottelmaan reunapainaumia sisältäneet kohdat mahdollisimman hyvin sekä myös niitä sisältämättömät kohdat. Täydellisen tunnistuskyvyn arvot ovat 100 % oikein kumpiakin. Tunnistuspuutetta laskettiin poikkeamana tästä täydellisestä tunnistuskyvystä. Kunkin tunnusluvun raja-arvoksi valittiin se raja-arvo, joka minimoi tunnistuspuutteen. Laskentapituus vaikutti tunnistuskykyyn siten, että se paransi tunnistuskykyä. Tunnistuskyvyn kannalta kannattaisi valita mahdollisimman lyhyt laskentapituus, joka oli tässä selvityksessä 5m.

Tunnusluvun valinta on usean tavoitteen tehtävä. Tunnusluville asetettujen tavoitteiden mukaan niiden tuli kuvata ilmiötä ja sen vuosikehitystä sekä olla mitattavissa riittävän tarkasti. Reunapainauamatunnuslukuja arvioitiin myös mittaustarkkuuden ja vuosikehityksen kannalta. Sekä mittaustarkkuus että vuosikehityksen hallinta paranevat kun laskentapituus kasvaa. Sadan metrin laskentavälillä saatiin parhaat tulokset. Valinnassa painotettiin eniten tunnusluvun tunnistuskykyä ja vähiten vuosikehitystä. Tästä syystä lopullisen suositeltavan tunnusluvun laskentapituus on lyhyempi, 20 m. Tunnusluvuksi käy sekä reunapainauaman keskiarvo että prosenttipiste.

6 Jatkotoimenpiteet

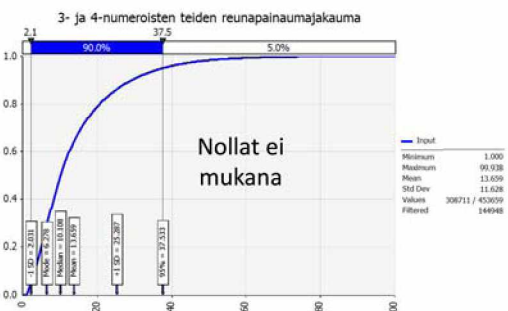
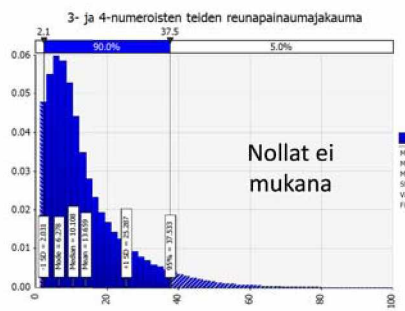
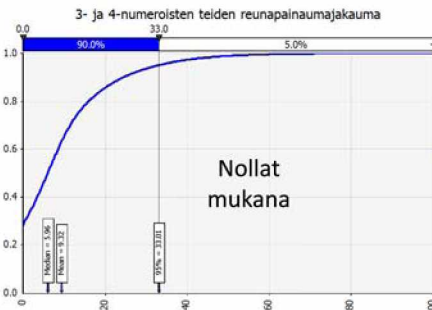
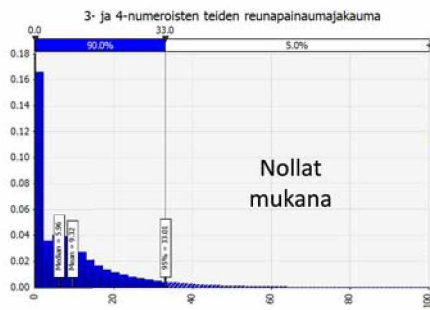
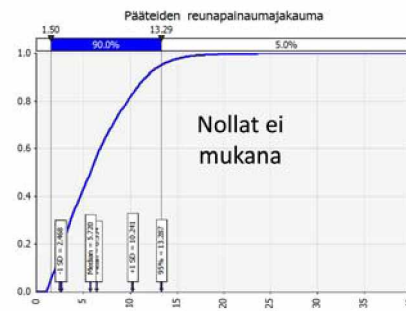
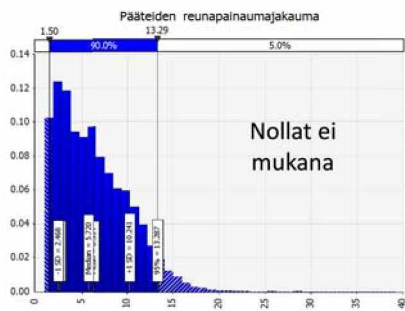
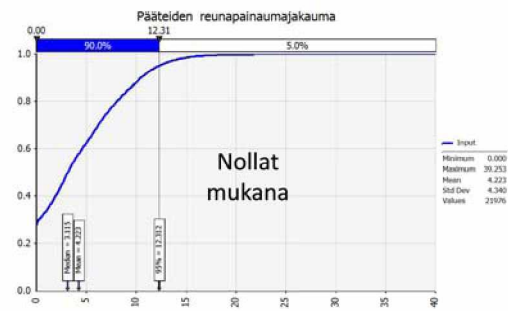
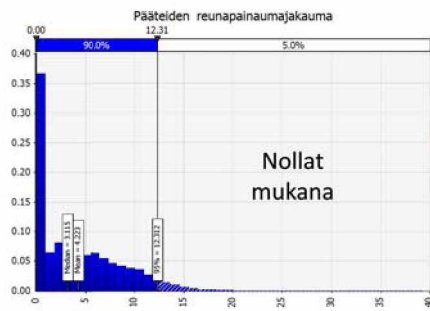
Saatu tunnusluku kuvaa melko hyvin reunapainumakohtia. Sen avulla löydetään reunapainumaa sisältävät kohdat. Seuraavaksi kannattaa tuottaa kyseinen tunnusluku koko verkolle ja tehdä siitä jakaumia. Jakaumien avulla saadaan käsitys reunapainumaongelman laajuudesta tieverkolla. Samalla päästään saamaan kokemusta sen käytettävyydestä. Reunapainumaan liittyy useita lisäselvitystarpeita. Mm. seuraavia asioita tulisi selvittää:

- Muuttujan käytettävyys ja käyttötapaukset sekä mahdolliset ongelmakohdat. Mitä saatu tunnusluku kertoo päällysteen tilasta ja sen tarjoamasta palvelutasosta? Missä tilanteissa erityisesti sitä tulisi käyttää? Mitä ongelmia sen käytössä voisi tulla esille?
- Minkälaisille reunapainumatyypeille algoritmi toimii hyvin ja minkälaisille reunapainumatyypeille huonosti? Onko laskentaa mahdollista kehittää niin, että algoritmi tunnistaisi kaikki reunapainumatyypit? Mitä etuja eri reunapainumatyyppien erottelusta olisi saatavissa?
- Onko reunapainumalla yhteys tien kantavuuteen tai tien ylikuormitus-tilanteisiin?
- Miten muuttuja otettaisiin käyttöön Liikenneviraston hankkeissa? Millaisissa tapauksissa muuttujaa olisi mahdollista hyödyntää? Mitä vaihtoehtoja tunnusluvun loppukäyttöön on? Vaihtoehtoisia tapoja olisivat ainakin seuraavat:
 - lyhyemmistä jaksoista laskettujen reunapainumaa sisältävien kohtien kappalemäärä sadalla metrillä.
 - reunapainumaa sisältävä yhteispituus sadalla metrillä.
 - edellisten yhdistelmä jonkinlaisena indeksinä.
- Tunnusluvun laskenta koko verkolle.
- Reunapainuman liikenneturvallisuusvaikutukset on mahdollista selvittää ajoneuvodynaamisilla tarkasteluilla. Reunapainuma liittyy ajoneuvojen sivuttaisheilahteluun ja sen vaikutuksia voidaan tarkastella sivuttaisheilahtelua simuloivilla ajoneuvosimuloinneilla tai vertaamalla sitä *Tien haitallisen sivukaltevuusvaihtelun tunnistaminen* -työssä saatuun tunnuslukuun (Pyöräpainon siirtymä ja sen hajonta).
- Miten saatu tunnusluku olisi luokiteltava ja miten se täydentäisi päällysteen kuntoluokitusta?
- Miten tunnusluku kehittyy ajallisesti ja miten siihen voidaan päällystys- ym. toimenpiteillä vaikuttaa?

Lähdeluettelo

1. Lundberg, T, Henriksson, P.; *VTI notat 22-2002, Automatiserad metod för detektering av kantdeformationer.*
2. Leif Sjögren Thomas Lundberg: *Svenska vägtillståndsmått då, nu och i morgon Del 2: Nu – år 2005–2009.*
3. Pertti Virtala, Eetu Hurtig: *Tien haitallisten sivukaltevuusmuutosten tunnistaminen. Liikenneviraston selvityksiä 35/2012.*

Reunapainaumien jakaumia



Liite 1 / 2 (2)

