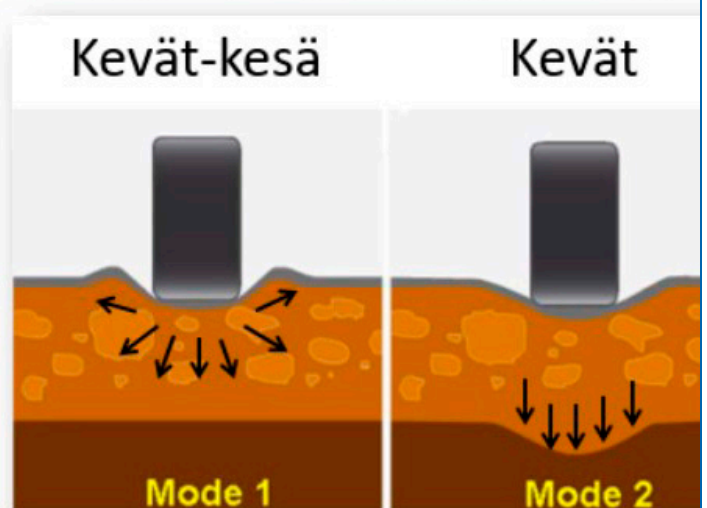


# TIEN URAUTUMINEN KESÄLLÄ JA TALVELLA 2017–2019

Väliraportti 1





Pertti Virtala, Eeva Huuskonen-Snicker, Pauli Alanaatu

# **Tien urautuminen kesällä ja talvella 2017-2019**

Väliraportti 1

Väyläviraston tutkimuksia 23/2019

Väylävirasto  
Helsinki 2019

*Kannen kuvat: Petri Varin, Timo Saarenketo 2014*

Verkkójulkaisu pdf ([www.vayla.fi](http://www.vayla.fi))

ISSN 2490-0982

ISBN 978-952-317-747-5

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

**Pertti Virtala, Eeva Huuskonen-Snicker ja Pauli Alanaatu: Tien urautuminen kesällä ja talvella 2017-19. Väliraportti 1.** Väylävirasto. Helsinki 2019. Väyläviraston tutkimuksia 23/2019. 87 sivua ja 1 liite. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-747-5.

**Avainsanat:** tiet, urautumat, päällyste, raskas liikenne, nastarenkaat

## Tiivistelmä

Työssä tarkasteltiin teiden urautumista kesällä ja talvella mittaamalla urasyvytykset syksyllä ennen nastarengaskauden alkamista ja keväällä sen loputtua. Mittauksiin valittiin kohteita, jotka sijaittivat eri alueilla maata lähtien etelän rannikolta pohjoisen Lappiin. Kahdeksan aluetta sisälsi noin 720 km kohteita. Kohteet pyrittiin valitsemaan siten, että niissä oli päällysteeltään, liikenteeltään, rakenteiltaan ja pohjamaan osalta erilaisia teitä. Sellaisia tieosia kartettiin, joilla oli paljon puuttuvia taustatietoja.

Kohteiden yleistiedot kerättiin tierekisteristä ensin vuodelta 2017, mutta niitä päivitettiin myöhemmin vuodelta 2019. Vähäliikenteisten kohteiden liikennemäärät laskettiin uudestaan ja niillä päivitettiin tierekisterin vanhentunut liikennetieto.

Syksyn mittaukset aloitettiin vuonna 2017, jolloin tehtiin kaksi mittausta (kohteiden sijainnista riippuen) noin 2–4 vk välein. Syksyisin tehtiin kaksi mittausta ja keväisin kolme. Kevään mittaukset ajoitettiin nastarengaskauden päättymistä ennakoiten. Viimeinen mittaus tehtiin keväällä 2019. Urautumisaineistoa syntyi siten kahden talven, kahden syksyn, kahden kevään ja yhden kesän ajalta. Pääasiassa tarkasteltiin talvien ja kesän aikaista urautumista.

Uratusluvuihin valittiin aluksi maksimiura, vasen ja oikea ura, uraväli, harjanne sekä urien poikkipinta-ala. Nämä olivat laskettavissa pistekohtaisista (PTM) mittauksista. Mittaukset suoritettiin osalta kohteita käyttäen myös skanneria, mutta niitä tuloksia ei ole tässä työssä vielä käsitelty.

Mittausajankohtien perusteella laskettiin talven aikainen kevyiden ajoneuvojen ylityskertojen määrä ja kesän aikainen raskaan liikenteen aiheuttama kuormituskertojen määrä. Näiden avulla muodostettiin myös ominaisurautumista kuvaavat vastemuuttajat eli muutokset tuloksissa kuormittavan liikenteen ylityskertoja kohti.

Lisäksi muodostettiin suhdetunnuslukuja, joita olivat oikean ja vasemman uran suhde, maksimiuran suhde harjanteeseen ja uran ja harjanteen suhde pinta-alaan.

Lisäksi kerättiin säätietoa kunkin kohdealueen lähellä sijaitsevilta Ilmatieteenlaitoksen sääasemilta. Kerätyt säätiedot olivat vuorokauden keski-, minimi- ja maksimilämpötila, sademäärä ja lumen syvyys. Niiden avulla muodostettiin sadepäivien, pakkaspäivien ja hellepäivien lukumäärät.

Kohteiden pohjamaatiieto kerättiin aiemmin tehdyistä selvityksistä ja se luokiteltiin maalajiryhmiin geologisen maalajiluokituksen mukaan. Aineistoa karsittiin käsiteltävään muotoon siten, että puuttuvia tai epäloogisia havaintoja poistettiin.

Johtopäätöksenä mitattujen uramuuttujien ja niistä muodostettujen suhdemuuttujien ryhmittelyanalyysistä oli, että uratarkasteluihin kannattaa valita muuttujiksi maksimiura, vasen ura, harjanne, uraväli, oikean ja vasemman uran suhde ja harjanteen suhde maksimiuraan.

Sen lisäksi tehtiin ryhmittelyanalyysi vuosikehitystä kuvaaville uramuuttujille. Sen mukaan suositellut tunnusluvut ovat maksimiuran kehitys, vasemman uran kehitys, harjanteen kehitys ja uravälin kehitys.

Talvenaikainen urautuminen oli keskimäärin 0,5–1,3 mm liikennemääräluokasta riippuen. Kesänaikainen urautuminen oli vastaavasti noin 0–0,3 mm. Talven aikainen urakehitys oli melko lähellä Väyläviraston ennustemalleilla (trendimallit) laskettua urakehitystä. Poikkeuksena oli liikennemääräluokka 3000–6000, jossa ennustettu kehitys oli jopa suurempi kuin talven ja kesän urakehitysten summa. Deformaation osuus oli keskimäärin noin 0,3 mm (pl. vähäliikenteisin luokka), mikä vastasi noin 25 % vuoden koko urautumisesta.

Keskeisimpiä taustamuuttujia olivat nopeusrajoitus, päällystepaksuus, päällysteen leveys, pohjamaaluokka, liikennemäärä, päällystetyyppi ja säätiedot. Karkealla tasolla tarkasteltaessa urautumisen keskiarvot käyttäytyivät välillä loogisesti, mutta välillä taas epäloogisesti. Yhden tai kahden taustamuuttujan samanaikainen tarkastelu on graafisesti esitettyinä se raja, jolla voidaan tarkasteluja tehdä, mutta niiden taakse kätkeytyy usein muita taustamuuttujia, jotka saattavat aiheuttaa keskiarvoihin vääristymiä. Siksi onkin hankala tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä urautumisen tarkemmista syistä.

Aineistossa oli kaksi hiukan erilaista talvea ja yksi hyvin poikkeuksellinen kesä. Jotta esim. säätietoihin saataisiin laajempi skaala, olisi hyvä, että aikasarja kattaisi pitemmän ajanjakson. Aineistoa karsiutui pois melko paljon ja sen ehkäisemiseksi tulisi taustamuuttujien kattavuutta parantaa. Esim. päällysteiden paksuustietoa ollaan parhaillaan keräämässä eikä kaikkia mittaustuloksia saatu tähän työhön.

Yksityiskohtaisempiin analyysihin päästäisiin tarkastelemalla enemmän yksittäisiä teitä 100 m tai jopa 10m tasolla. Deformaatiouran mittaamiseen tarvittaisiin sellaisia uusia uratunnuslukuja, jotka tunnistaisivat mm. urien leveydet ja poikkisuunnassa siirtyvän asfalttimassan tai kantavan kerroksen aiheuttamat olkapäät.

**Pertti Virtala, Eeva Huuskonen-Snicker och Pauli Alanaatu: Spårbildning i vägar sommaren och vintern 2017–2019, – Mellanrapport 1.** Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Trafikledsverkets undersökningar 23/2019. 87 sidor och 1 bilaga. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-747-5.

## Sammanfattning

I arbetet granskades spårbildningen i vägar på sommaren och vintern genom att mäta spårdjupen på hösten innan dubbdäckssäsongen börjar och på våren när den slutar. För mätningarna valdes objekt som var belägna i olika delar av landet, allt från kusten i söder till Lappland i norr. Objekten omfattade cirka 720 km och bestod av åtta områden. Man strävade efter att välja objekt som var olika i fråga om beläggning, trafik, konstruktion och undergrund. Man undvek vägavsnitt där det fanns mycket brister i bakgrundsinformation.

Allmän information om objekten samlades in från vägregistret först för år 2017, men de uppdaterades senare för år 2019. Trafikvolymen på lågtrafikerade objekt räknades ut på nytt och med hjälp av denna uppdaterades den föråldrade trafikinformationen i vägregistret.

Höstens mätningar påbörjades år 2017, då man gjorde två mätningar (beroende på objektens placering) med cirka 2–4 veckors intervaller. På höstarna gjordes två mätningar och på vårarna tre. Mätningarna på våren förlades till den tid då dubbdäckssäsongen tar slut. Den sista mätningen gjordes våren 2019. Materialet om spårbildning omfattade således två vintrar, två höstar, två vårar och en sommar. I första hand granskades spårbildningen under vintrarna och sommaren.

Som spårnyckeltal valdes först maximispår, vänster och höger spår, spår mellanrum, upphöjning och spårens tvärsnittsarea. Dessa kunde räknas ut vid vägytemätningar. På en del av objekten gjordes mätningar även med skanner, men de resultaten har inte ännu behandlats i det här arbetet.

Utgående från mätningstidpunkterna räknades antalet övergångar av lätta fordon vintertid och antalet belastningar av tung trafik sommartid. Med hjälp av dessa bildades även responsvariabler som beskrev typisk spårbildning, dvs. en förändring i resultaten i riktning mot antalet övergångar av belastande trafik.

Dessutom bildades nyckeltal som bestod av förhållandet mellan höger och vänster spår, maximispårets förhållande till upphöjningen och spårets och upphöjningens förhållande till arean.

Uppgifter om vädret samlades också in från Meteorologiska institutets väderstationer i närheten av varje objektsområde. Uppgifter som samlades in om vädret var dygnets medel-, minimi- och maximitemperatur, nederbördsmängd och snöns djup. Med hjälp av dessa bildades antalet nederbördsdagar, kalla dagar och heta dagar.

Information om objektens undergrund samlades in från tidigare gjorda utredningar och klassificerades i grupper av jordarter enligt en geologisk klassificering av jordarter. Materialet skars ned till en hanterbar form så, att observationer som saknades eller var ologiska togs bort.

Slutsatsen av de uppmätta spårvariablerna och grupperingsanalysen av de relationsvariabler som bildats av dem var, att det vid spårgranskning lönar sig att som variabler välja maximispår, vänster spår, förhöjning, spår mellanrum, förhållandet mellan höger och vänster spår och förhöjningens förhållande till maximispåret.

Utöver detta gjordes en grupperingsanalys av spårvariabler som beskriver årsutvecklingen. Nyckeltal som rekommenderas enligt denna är utveckling av maximispår, utveckling av vänster spår, utveckling av upphöjning och utveckling av spår mellanrum.

Spårbildningen vintertid var i medeltal 0,5–1,3 mm beroende på trafikvolymklassens storlek. Spårbildningen sommartid var på motsvarande sätt 0–0,3 mm. Spårutvecklingen vintertid låg ganska nära den spårutveckling som räknats ut med Trafikledsverkets prognosmodeller (trendmodeller). Ett undantag utgjorde trafikvolymklass 3000–6000, där den förväntade utvecklingen var rentav större än summan av spårutvecklingen på vintern och sommaren. Andelen deformation var i genomsnitt cirka 0,3 mm (exkl. klassen med minst trafik), vilket motsvarade cirka 25 % av hela spårbildningen under året.

De viktigaste bakgrundsvariablerna var hastighetsbegränsning, beläggningstjocklek, beläggning bredd, undergrundsklass, trafikvolym, beläggningstyp och väderrapport. Vid en granskning på grov nivå betedde sig spårbildningens medelvärden emellanåt logiskt och emellanåt ologiskt. En samtidig granskning av en eller flera bakgrundsvariabler är grafiskt uttryckt den gräns där man kan göra granskningar, men bakom dem döljer sig ofta andra bakgrundsvariabler, som kan förorsaka förvanskningar av medelvärdena. Det är därför svårt att dra långtgående slutsatser om de viktigaste orsakerna till spårbildning.

I materialet ingick två lite annorlunda vintrar och en mycket exceptionell sommar. För att t.ex. få en bredare skala på väderrapporterna, är det bra om tidsserien täcker en längre tidsperiod. En hel del material sållades bort och för att förhindra detta borde bakgrundsvariablernas omfattning förbättras. Man håller till exempel för närvarande på att samla in information om beläggningstjocklek, men alla mätresultat kunde inte fås för det här arbetet.

Man kunde nå mer detaljerade analyser genom att i större utsträckning granska enskilda vägar på en nivå av 100 m eller till och med 10 meter. För mätning av deformationsspår skulle behövas nya spårnyckeltal som identifierar bl.a. spårbredden och asfaltmassa som rör på sig tvärs över eller skuldror som ett bärande lager förorsakat.



**Pertti Virtala, Eeva Huuskonen-Snicker and Pauli Alanaatu: Rutting of roads during the summer and winter 2017–2019 – Interim report 1.** Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Research reports of the FTIA 23/2019. 87 pages and 1 appendix. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-747-5.

## Summary

The study examined the rutting of roads during summer and winter by measuring the rut depth in the autumn before the start of the use of studded tyres and in the spring after it ended. Sites located in different areas of the country from the coast in the south to Lapland in the north were selected for the measurements. The eight areas included approximately 720 km of sites. The aim was to select the sites so that they included roads with different surfaces, traffic, structures and subsoil. Parts of the road with a lot of missing background information were avoided.

General information on the sites was initially collected from the road register for the year 2017, but the information was later updated with the year 2019. The traffic volume of sites with low traffic was recalculated and the information was used to update the obsolete traffic information in the road register.

The autumn measurements started in 2017, when two measurements were taken (depending on the location of the sites) at intervals of approximately 2–4 weeks. Two measurements were taken each autumn and three in each spring. The spring measurements were scheduled by anticipating the end of the use of studded tyres. The last measurements were taken in the spring of 2019. This means that rutting data was collected during two winters, two autumns, two springs and one summer. The main focus of the study was rutting during the winters and the summer.

Initially, the maximum rut, left and right rut, distance between ruts, ridge and the cross-sectional area of ruts were selected as key indicators for ruts. These could be calculated based on location-specific (PTM) measurements. In some sites, measurements were also taken with a scanner, but those results have not been processed yet in this study.

Based on the measurement times, the time of passes by cars, vans and motorcycles during the winter and the number of load cycles due to heavy traffic during the summer. They were also used to generate the response variable representing characteristic rutting, that is, the change in results per passes by traffic causing a load.

In addition, ratio indicators were generated; these included the ratio of the left rut to the right rut, the ratio of the maximum rut to the ridge, and the ratio of the rut and the ridge to the area.

In addition, weather data was collected from the weather stations of the Finnish Meteorological Institute close to each site. The weather data collected included the average, minimum and maximum temperature of the day, the precipitation and the depth of snow. They were used to establish the number of rain days, frost days and hot days.

The site subsoil information was collected from previous reports, and it was classified into groups by soil type according to the geological soil type classification. The data was pruned for processing by deleting missing or illogical observations.

The conclusion of the grouping analysis of the measured rut variables and the ratio variables generated based on them was that the variables that should be selected for rut studies include the maximum rut, left rut, ridge, distance between ruts, ratio of the left rut to the right rut, and ratio of the ridge to the maximum rut.

In addition, a grouping analysis was carried out on the rut variables representing annual development. According to the analysis, the recommended indicators include the development of the maximum rut, development of the left rut, development of the ridge and development of the distance between ruts.

The rutting during winter was 0.5–1.3 mm on average depending on the traffic volume class. Correspondingly, the rutting during summer was approximately 0–0.3 mm. The rut development during winter came fairly close to the rut development calculated by using the Finnish Transport Infrastructure Agency's prediction models (trend models). The exception was the traffic volume class 3,000–6,000, in which the predicted development was even higher than the sum of the rut developments during winter and summer. The share of deformations was approximately 0.3 mm on average (excluding the class with the lowest traffic volume), which corresponded to approximately 25% of all rutting during the year.

The most significant background variables included the speed limit, thickness of surfacing, width of surfacing, subsoil class, traffic volume, type of surfacing and weather data. When examined at a rough level, the rutting averages sometimes behaved logically, but sometimes also illogically. Examining one or two background variables at the same time is the limit of examination in a graphical representation, but there are often other background variables hidden behind the studied variables that may distort the averages. Therefore, it is difficult to draw any far-reaching conclusions about the specific reasons for rutting.

The data included two slightly different winters and one very exceptional summer. So that a wider scale of e.g. weather data could be obtained, it would be preferable if the time series covered a longer period of time. A fairly large amount of data was discarded; to prevent that, the coverage of background variables should be improved. For instance, data on the thickness of surfacing is being collected at the moment, and it was not possible to include all measurement results in this study.

By examining more individual roads at the level of 100 m or even 10 m would enable more detailed analysis. To measure deformation ruts, rut indicators identifying factors such as rut width and shoulders caused by the laterally moving asphalt mass or load-bearing layer would be needed.

---

## Esipuhe

Työssä tarkasteltiin päällysteiden urautumista eri vuodenaikoina ja pyrittiin erottelamaan nastarenkaista aiheutuva urautuminen raskaan liikenteen aiheuttamasta deformaatiourautumisesta.

Työn on tilannut Väylävirasto ja sitä on ohjannut ohjausryhmä, johon kuuluvat Katri Eskola, Kari Lehtonen, Juho Meriläinen, Vesa Männistö, Sami Petäjä ja Tuomas Toivonen. Työn on toteuttanut Destia Oy, jossa projektipäällikkönä on toiminut Pertti Virtala ja asiantuntijana Pauli Alanaatu ja Eeva Huuskonen-Snicker.

Helsingissä joulukuussa 2019

Väylävirasto  
Kunnossapidon ohjaus ja kehittäminen

## Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	12
2	TAVOITE .....	13
3	TIEN URAUTUMISESTA.....	15
3.1	Maanteiden urien mittaus .....	15
	3.1.1 Mittauslaite .....	15
	3.1.2 Nykyinen mittausperiaate .....	15
	3.1.3 Uusi mittausperiaate .....	16
	3.1.4 Mittauskierto .....	18
	3.1.5 Mittaustarkkuus .....	20
3.2	Urautumisen pääsyvät vähäliikenteisillä teillä .....	21
3.3	Vähäliikenteisten teiden urautumistyytit .....	22
	3.3.1 Kerrosten tiivistyminen .....	22
	3.3.2 Sitomattomien kerrosten leikkausmurtuminen.....	23
	3.3.3 Pohjamaan murtuminen .....	24
	3.3.4 Päällysteen kuluminen .....	25
3.4	Juurisyyanalyysi.....	25
3.5	Ajoneuvojen renkaat.....	28
	3.5.1 Henkilöautot.....	28
	3.5.2 Raskaat ajoneuvot .....	34
3.6	Uravälitarkastelu.....	35
	3.6.1 Uravälin määrittäminen .....	35
	3.6.2 Uravälit .....	37
4	KOESUUNNITELMA.....	40
4.1	Kesä-talviura vastemuuttujana .....	40
	4.1.1 Nastarenkaista johtuva urautuminen .....	40
	4.1.2 Raskaasta liikenteestä johtuva urautuminen.....	41
	4.1.3 Ominaisurautuminen.....	42
	4.1.4 Suhdetunnusluvut.....	43
4.2	Selittävät tekijät.....	43
	4.2.1 Liikenne.....	43
	4.2.2 Tietekijät.....	43
	4.2.3 Sää ja ilmasto.....	43
4.3	IPO-kaavio.....	45
4.4	Kohteet.....	46
5	MITTAUKSET JA TAUSTAMUUTTUJAT .....	49
5.1	Nastarenkaiden käyttö .....	49
5.2	Uramittaukset.....	50
5.3	Liikennelaskennat .....	51
5.4	Aineiston suodatus .....	52
5.5	Taustamuuttujat.....	52
	5.5.1 Pohjamaa.....	52
	5.5.2 Rakenteet .....	53
	5.5.3 Päällysteet.....	53
	5.5.4 Liikenne.....	54
	5.5.5 Sää .....	55

---

6	RYHMITTELYANALYYSI.....	60
6.1	Uramittaukset.....	60
6.2	Urakehitys.....	61
7	URAUTUMINEN TALVELLA .....	63
7.1	Talviura 2017-18.....	63
7.2	Talviura 2018-19 .....	66
8	URAUTUMINEN KEVÄÄLLÄ.....	70
8.1	Kevät 2018 .....	70
8.2	Kevät 2019.....	71
9	URAUTUMINEN KESÄLLÄ.....	74
10	ERILLISTARKASTELUJA.....	80
10.1	Valtatie 25 .....	80
11	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	82
11.1	Yhteenveto .....	82
11.2	Johtopäätökset.....	86
	LÄHTEET .....	87
	LIITTEET	
Liite 1	Mittausten ohjelmointi	

# 1 Johdanto

Teiden urautumista on mitattu jo useiden vuosien ajan (2003-) pistelasertekniikkaan pohjautuvilla palvelutasomittareilla. Vilkasliikenteiset tiet on perinteisesti mitattu keväisin ja muut tiet kesällä tiettyä sykliä noudattaen. Käsitys urautumisesta on perustunut kerran vuodessa tehtyihin mittauksiin. Urautumisen tiedetään aiheutuvan nastarengaskautena nastoista ja muuna aikana raskaan liikenteen aiheuttamasta deformaatiosta tai uuden päällysteen tiivistymisestä.

Teiden parantamisen suunnittelijoille ja takuuajaisen käyttäytymisen arvioijille ei ole tarjolla sopivia referenssiaineistoja siitä, kuinka paljon erilaiset tiet urautuvat kesällä ja talvella.

Uutena mittaustekniikkana on syntynyt ns. laserkeilaus, jolla saadaan mm. uusia uratunnuslukuja, mutta siihen perustuvan uramittauksen suorituskyvystä ei ole kattavaa tietoa, eikä uusien tunnuslukujen käytöstä ole riittäviä kokemuksia.

Tämän tutkimuksen aloittamisen jälkeen on odotettavissa esimerkiksi seuraavia tierasituksen muutostekijöitä:

- tierakenne voi ilmastonmuutoksen vuoksi olla lyhyemmän (tai pidemmän) ajan jäässä ja pidemmän (tai lyhyemmän) ajan märkä,
- nastarenkaiden käyttäjien osuus ja käyttöaika voi lyhentyä (tai pidentyä),
- nastarenkaiden nastat voivat muuttua enemmän tai vähemmän kuluttaviksi,
- autonominen ajaminen voi keskittää nastarenkaat ja kuorma-autojen pyörät tarkemmin samaan uraan,
- kuljetusten tehostaminen asettaa paineita raskaan liikenteen mittoihin ja painoihin ja kuljetusyksiköiden koko todennäköisesti edelleen kasvaa.

Ilmastonmuutoksen on viime vuosina todettu olevan lämpenevään suuntaan, mutta yhtä hyvin se voi pidemmällä tähtäyksellä muuttua ja todennäköisesti muuttuukin auringon ja valtamerten syklien kääntyessä myös kylmenevään suuntaan. Polaaripyörteen vahvistuminen aiheuttaa tyypillisesti ilmaston suurta vaihtelua, jolloin säiden ääri-ilmiöt vahvistuvat.

Raportissa on paljon kuvia, joissa on runsaasti informaatiota. Tästä syystä jotkut kuvat ovat lukukelpoisia vain sähköisenä versiona.

## 2 Tavoite

Tämän selvityksen tavoite on käsitellä kesän- ja talvenaikaista urautumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä. Selvitettävien asioiden lista ja tavoitteet ovat työn aikana muotoutuneet kokonaiseksi tutkimusohjelmaksi. Tutkimusohjelma on jaettavissa kolmeen osaan, joita ovat:

1. Nastarenkaiden käyttö ja kesän ja talvenaikainen urautuminen ja siihen vaikuttavat tekijät
2. Uusien tunnuslukujen kehittäminen laserkeilauksen avulla ja deformaatiouran tunnistaminen niistä
3. Pitkän ajan urautuminen ja siitä johdettavat muutokset päällysteiden ylläpitoon

Ensimmäisen vaiheen tavoitteena on selvittää:

- 1a nastarenkaiden käyttöä
  - Mihin aikaan vuodesta autoissa on nastareнкаat eri puolella maata? Tulosten perusteella voidaan valita oikea urasyvyyden mittausaika, kun halutaan erottaa nastarenkaiden osuus.
- 1b. nastoista johtuvaa urautumista
  - Kuinka suuri osa urautumisesta syntyy nastarenkaiden aikana (talviura) erilaisilla teillä ja kuinka suuri osa muuna aikana (kesäura)? Tuloksia käytetään vertailuaineistona, kun esimerkiksi tiehankkeen takuuajana yritetään selvittää nopean urautumisen syytä.
- 1c. urautumisen taustamuuttujia
  - Miten tien leveys, liikennemäärä, mutkaisuus, pohjamaa, alue ja muut syyt vaikuttavat talvella ja kesällä syntyvään urautumiseen? Tulosten perusteella voidaan kalibroida ja tarkentaa aikaisemmin käytettyjä urasyvyyden ennustemalleja.

Tässä väliraportissa vastataan alustavasti kysymyksiin 1a ja 1b sekä osittain kysymykseen 1c.

Toisen vaiheen tavoitteita ovat:

- 2a Laserkeilauksen käyttömahdollisuudet
  - Voidaanko laserkeilaukseen perustuvilla tasaisuusmittareilla havaita lyhyessä ajassa, esimerkiksi keväällä kahden viikon aikana syntyvä urautumisen kasvu? Tietoa tarvitaan ja sitä myös saadaan kysymystä 2 b tutkittaessa.
- 2b Kevään aikainen deformaation tuminen
  - Syntyykö keväällä nastarengaskauden lopulla samanaikaisesti myös deformaatiota?
- 2c. Urautumisen tunnusluvut
  - Mikä urasyvyyden tunnusluku (maksimiura, urapinta-ala, harjanne, tms.) sopii sellaisenaan tai liikennesuoritteella jaettuna parhaiten kuvaamaan urautumista ja sen korjaustarvetta tai -kustannusta?
- 2d. Uravälitiedon käyttö

- Onko kesällä voimakkaasti urautuneilla teillä suurempi uraväli kuin muilla teillä? Jos yhteys on selkeä, kesäuran osuutta voisi arvioida pelkän uravälin perusteella mittaamatta erikseen keväällä ja syksyllä.

Näihin kysymyksiin vastataan seuraavissa (eri toimijoiden laatimissa) raporteissa. Mittauksia on ajateltu jatkettavan useita vuosia vielä kysymysten 1a...2d vastaamisen jälkeenkin ainakin osalla kohteita.

Pitkän aikavälin tavoitteena on todeta:

- 3a Muutokset kesän ja talven urautumisessa
  - Tapahtuuko kesän tai talven urautumisen nopeudessa pidemmällä aikavälillä muutoksia? Tuloksista nähdään, onko tarpeen alkaa selvittää esimerkiksi nastojen käytössä ja ominaisuuksissa tapahtuneita muutoksia tarkemmin; tai onko autonomisen ajamisen keskittänyt liikennettä samoihin uriin. Aineistolla voidaan tarvittaessa perustella näitä koskevien kansallisten tai kansainvälisten säädösten muuttamista.
- 3b. Urautumisennuste
  - Kuinka suuri osa urautumisesta syntyy tulevaisuudessa nastarenkaiden aikana (talviura) erilaisilla teillä ja kuinka suuri osa muuna aikana (kesäura)?
  - Tuloksista nähdään, pitääkö ylläpidon toimenpiteitä ohjata enemmän esimerkiksi kesällä syntyneen urautumisen poistamiseen tai tietyllä pohjamaalla oleville teille.

Työn kuluessa tavoitteita täsmennettiin ja rajattiin. Täsmennyksiä kiteytettiin seuraavasti:

- Kiinnostuksen kohteena olivat erityisesti liikennemäärältään välillä 350–6000 ajon/vrk olevat tiet.
- Tavoitteena oli selvittää, mitä tieverkolla tapahtuu urautumisen ja deformaation osalta heti nastarengaskauden päättyessä.
- Haluttiin vastausta kysymykseen: "Pitääkö paikkansa väite, että keski- ja vähäliikenteisellä verkolla tierakenteeseen syntyy deformaatiota juuri roudan sulamisen aikana?".

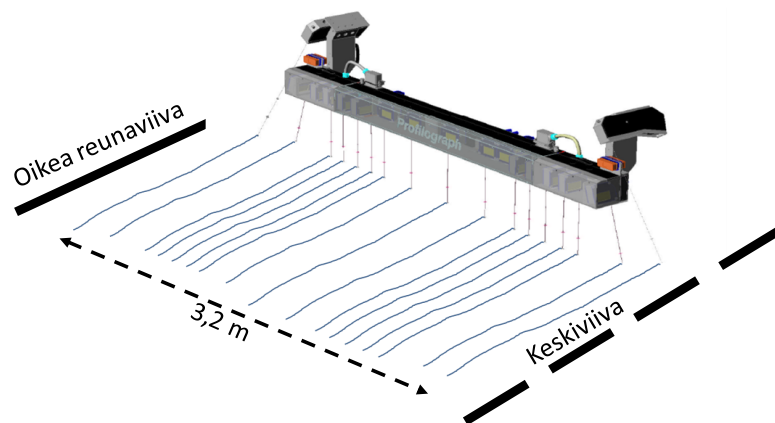


## 3 Tien urautumisesta

### 3.1 Maanteiden urien mittaus

#### 3.1.1 Mittauslaite

Urien mittaus on tapahtunut Suomessa vuodesta 2003 lähtien pistelaseritekniikkaan perustuvilla palvelutasomittareilla (PTM), joissa on tien poikkisuunnassa 17 pistelaseria, jotka mittaavat etupalkin ja päällysteen pinnan välistä etäisyyttä (Kuva 1). Siitä lasketaan ajoneuvon heilahtelutietoa hyväksi käyttäen päällysteen pinnan poikkiprofiili. Antureiden välit vaihtelevat 11–30 cm sijainnista riippuen. Mittauksen yleisohje on ollut, että seurataan vasenta ajouraa huomioiden se, ettei oikeanpuoleinen reunalaser saisi mennä reunaviivan yli. Mittausleveys on 3,2 m, mutta kapeilla teillä voidaan käyttää 15 anturin tietoa, jolloin poikkiprofiili tuotetaan 2,6 m leveydellä.



Kuva 1. Urien mittauslaite 2003–2019.

#### 3.1.2 Nykyinen mittausperiaate

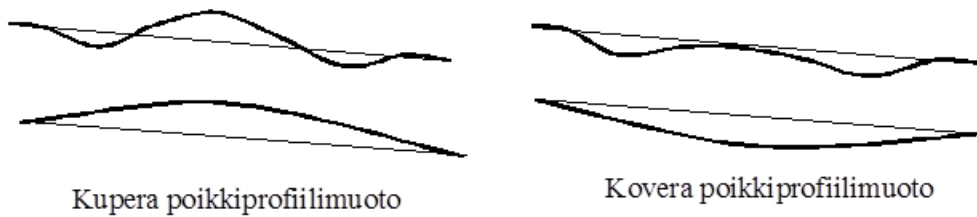
*Poikkiprofiili* on tien keskilinjaan nähden kohtisuoraan mitattu päällysteen pinnan profiili. *Poikkiprofiilipiste* on päällysteen poikkiprofiilista mitattu yksittäinen havainto. Poikkiprofiili muodostuu 17 poikkiprofiilipisteestä, jotka on numeroitu 1:stä 17:ään alkaen poikkiprofiilin mitaussuuntaan katsottuna vasemmasta reunasta [1].

*Keskimääräinen poikkiprofiili* on poikkiprofiilipisteistä tien pituussuuntaan keskiarvoistettu poikkiprofiili. Se määritetään laskemalla ensin kunkin anturin mitaamien arvojen keskiarvo korkeintaan 120 mm matkalla tien pituussuunnassa ja määrittämällä poikkiprofiili näiden keskiarvoistettujen anturien lukemien perusteella [1].

*Poikkiprofiilimuoto* kuvaa ajokaistan profiilin muotoa. Poikkiprofiilimuoto voidaan mitata vertaamalla keskiarvoprofiilia vertailusuoraan. Muoto voi olla esimerkiksi kupera tai kovera (Kuva 2).

**Sivukaltevuus** on tien keskilinjaa vastaan kohtisuoraan asetetun poikkiprofiilia kuvaavan vertailusuoran ja vaakasuoran välinen kulma.

**Urasyvyys** on päällysteen keskimääräisestä poikkiprofiilista mitattu urien syvyys. Uran syvyys voidaan laskea erilaisilla mittausalgoritmeilla (lankaura, oikolauta jne.).



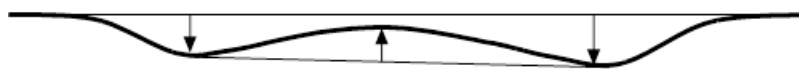
Kuva 2. Tyypilliset poikkiprofiilin muodot [1].

**Urasyvyys vasen** on mittausuuntaan vasemmanpuoleinen ja **urasyvyys oikea** mittausuuntaan oikeanpuoleinen ura (Kuva 3).

**Lankaura** on lanka-algoritmilla laskettu uran syvyys. Lanka-algoritmi on uramittausalgoritmi, jossa mitattuun keskimääräiseen poikkiprofiiliin asetetaan jännitetty lanka ja uran syvyys lasketaan vertaamalla keskimääräisen poikkiprofiilin poikkiprofiilipisteitä tähän kuviteltuun lankaan.

**Maksimiurasyvyys** on poikkileikkauksen suurin urasyvyys. Maksimiurasyvyyksien keskiarvo on keskiarvo tulostusvälin maksimiurista.

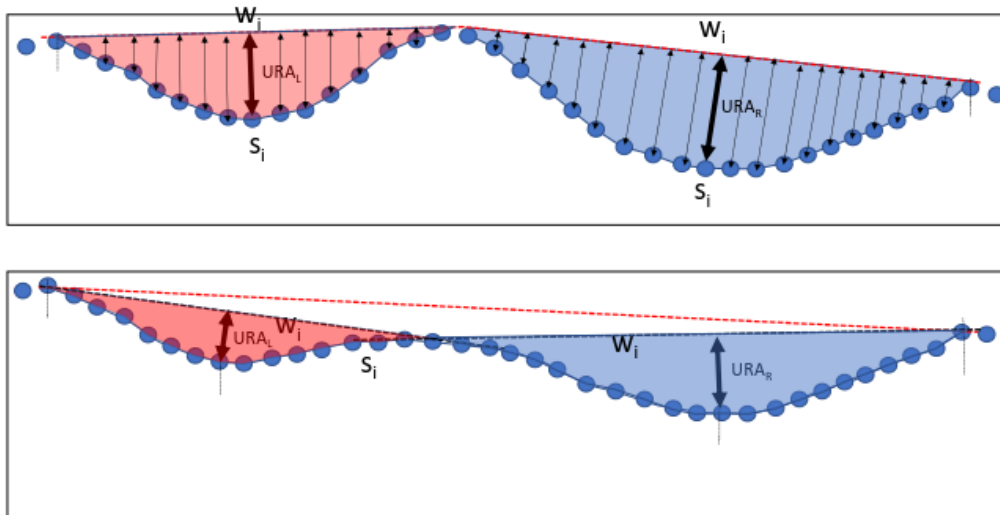
**Harjanteen korkeus** on poikkiprofiilin urien väliin muodostuvan keskiharjanteen korkeus. Vertailutasona on urien pohjien kautta kulkeva taso (Kuva 3).



Kuva 3. Urasyvyys vasen, urasyvyys oikea ja harjanne [1].

### 3.1.3 Uusi mittausperiaate

Tien poikkiprofiilin mittaukseen on pistelasereiden lisäksi tullut koko pinnan mittaava skannaustekniikka, jolla saadaan mitattua päällyste leveämmältä alueelta ja tiheimmällä pistevälillä, jolloin mahdollisuudet urien ominaisuuksien tunnistamiseen laajenevat. Tulevassa mittausurakassa 2021-uramittauksessa siirrytään skanneritekniikkaan ja siinä edellytetään enintään 25 mm poikkisuuntaista mittausväliä. [15].



Kuva 4. Alustava urien mittausohje skannerimittauksissa edellyttää vähintään 25 mm pisteväliä poikkisuunnassa [15].

Yhdysvalloissa on selvitetty leveämmän ja tiheämmän poikkiprofiilin mittausten perusteella saatavia uusia uratunnuslukuja ja päädytty ehdottamaan 12 uratunnuslukua [18, 19] (Taulukko 1). Tunnuslukujen laskentaperiaatteet on esitetty tarkemmin lähteissä. Niistä puuttuu kuitenkin Suomessa käytetty harjanne.

Taulukko 1. Uudet PP69 uratunnusluvut [19].

Table 1. PP69–10 rut attributes for evaluation.

No.	Attribute	Acronym
1	Total Deformation Permillage	TDP
2	Left Deformation Permillage	LDP
3	Right Deformation Permillage	RDP
4	Left Rut Depth (mm)	LRD
5	Right Rut Depth (mm)	RRD
6	Left Rut Width (mm)	LRW
7	Right Rut Width (mm)	RRW
8	Left Rut Area (square mm)	LRA
9	Right Rut Area (square mm)	RRA
10	Total Number of Water Entrapment Points	TNW
11	Total Water Entrapment Depth (mm)	TWD
12	Total Water Entrapment Width (mm)	TWW

Esitettyjen tunnuslukujen on ajateltu palvelevan kolmea eri näkökulmaa. Tun-  
nusluvut 1–3 edustavat deformatumista, tunnusluvut 4–9 ajomukavuutta ja  
tunnusluvut 10–12 liikenneturvallisuutta. Silloin kun on kyseessä tiivistyminen,  
deformaatiotunnusluvut korreloivat hyvin urasyvyyksien ja -leveyksien kanssa.  
Kun taas on kyseessä esim. kantavan kerroksen heikkoudesta johtuva materiaa-  
lin siirtyminen vaakasuunnassa, vastaavat korrelaatiot ovat heikkomat.

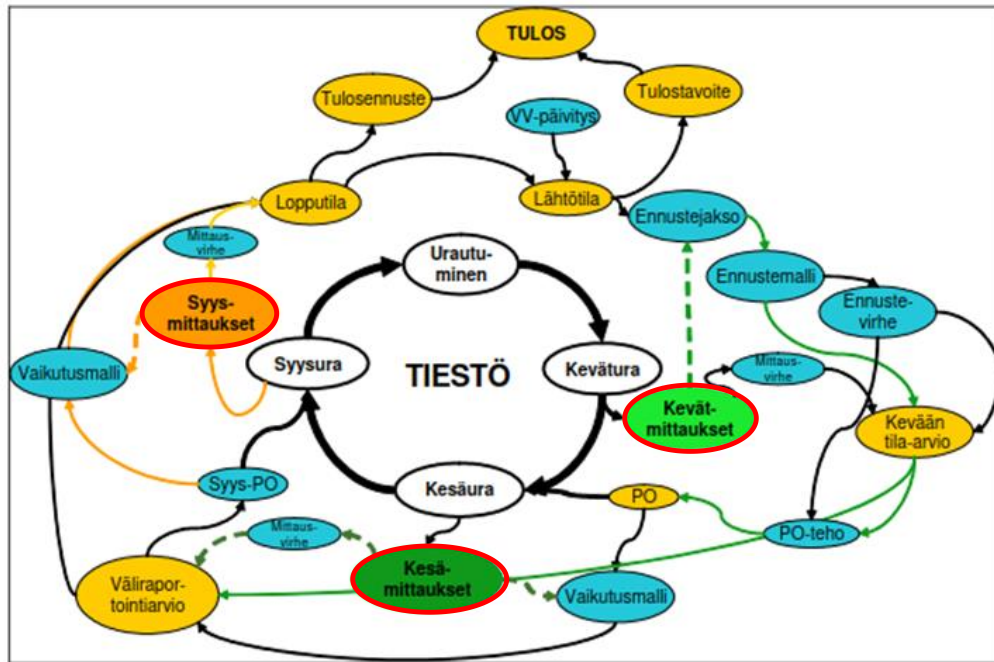
### 3.1.4 Mittauskierto

#### 3.1.4.1 Mittauskaudet

Maanteiden kuntomittaukset jaotellaan mittauskausiin, joita ovat kevät-, kesä- ja syysy. Kevätmittaukset ajoittuvat kevääseen ja ne kattavat pääsääntöisesti vilkasliikenteisiä teitä. Mittaukset aloitetaan säistä riippuen joko maaliskuun lopussa tai huhtikuun alussa ja ne kestävät noin viisi viikkoa. Kevätmittausten viimeinen mittauspäivä on 10.5.

Kesämittaukset alkavat joko toukokuun lopussa tai kesäkuun alussa ja jatkuvat elokuun loppuun saakka kattaen loput päätiet sekä vähäliikenteistä verkkoa tietyn välein. Kesämittausten viimeinen mittauspäivä on 30.8.

Syysmittaukset ovat lisämittauksia, joita teetetään resursseista riippuen syyslokakuussa täydentämään muita mittauksia. Syysmittauksia ei ole kuitenkaan kovin usein tilattu.



Kuva 5. Malli kuntotiedon ja tuloksen mittaamisen yhteydestä. Mallissa ovat fyysisen tieverkon vuosikehitys (ura), tulosohjauksen arviointiajankohdat sekä mittauksien päivittyssykli [4].

#### 3.1.4.2 Mittausten ohjelmointi

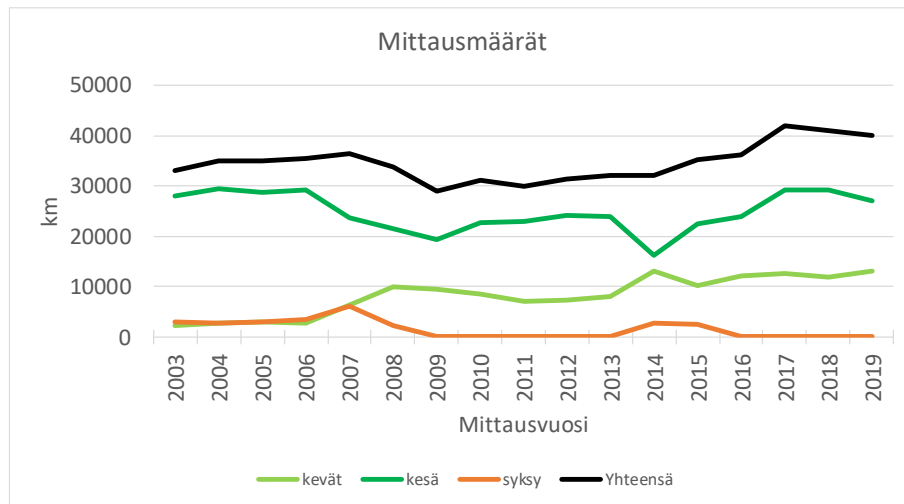
Päällysteiden palvelutasomittaukset ohjelmoidaan mittausurakan sopimusasiakirjoissa esitettyjen periaatteiden perusteella. Ohjelmointi lähtee liikelle Väyläviraston toimittamasta lähtötietoaineistosta, joka sisältää koko päällystetyn tieverkon 100 m havaintoina yleistietoineen osoitteistettuna vuoden alun tilanteeseen. Tähän lähtötietoaineistoon sovelletaan mittauskierron annettuja ohjeita. Lopullinen ohjelma määräytyy käytössä olevan mittausbudjetin mukaan. Eri mittausurakoissa käytetyt mittausten ohjelmointiperiaatteet on lueteltu tarkemmin liitteessä 1.

### 3.1.4.3 Mittausurakat

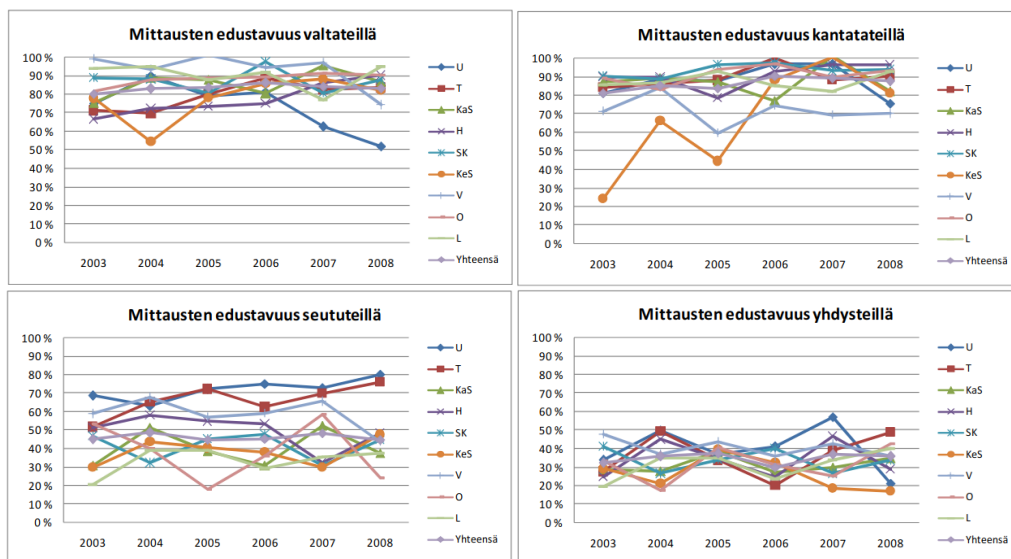
Väylävirasto on mittauttanut päällysteiden kuntoa nykyisellä mittaustekniikalla vuodesta 2003 lähtien. Ensimmäinen monivuotinen mittausurakka kattoi vuodet 2003–2007 ja toinen mittausurakka kattoi vuodet 2008–2013. Parhaillaan käynnissä oleva kolmas mittausurakka kattaa vuodet 2013–2019 ja päättyy vuonna 2019.

### 3.1.4.4 Edustavuudet

Palvelutasomittauksia tehtiin vuosittain 32000–36000 km mittausurakassa 2003–2007. Mittausurakassa 2008–2013 mittausmäärät vähenivät, koska syysmittauksia ei enää tehty. Samalla kevätmittausten määriä kasvatettiin, jolloin kesämittausten määrät vastaavasti vähenivät. Mittausurakassa 2014–2019 mitausten kokonaismäärät nousivat, koska kakkossuuntia alettiin mitata kattavammin. Mittauksia tehtiin eniten vuonna 2017, jonka jälkeen määrät vähenivät.



Kuva 6. Palvelutasomittausten kokonaismäärät (km) vuosina 2003–2019.



Kuva 7. Mittausten edustavuus tieluokittain kunakin vuonna mittausurakassa 2003–2007.

Vilkasliikenteisillä teillä mittausten edustavuus on yleensä hyvä, koska ne mitataan pääsääntöisesti joka kevät. Alemman luokan teillä mittausten kierto on harvempi ja edustavuus siten huonompi (Kuva 7).

#### **3.1.4.5 Edustavuuden vaikutus urautumistilanteeseen**

Käsitys tiestön uratilanteesta muodostuu tietojärjestelmissä olevien mittausten ja ennusteiden perusteella. Tilatieto sidotaan yleensä tiettyyn poikkileikkaustilanteeseen, kuten esim. 1.1.xxxx. Kunkin tarkastelujakson ura ennustetaan tuohon ajankohtaan. Jos jaksolta on olemassa mittaustieto edelliseltä vuodelta, otetaan uratieto sellaisenaan. Jos ei ole niin viimeisen mittauksen ura ennustetaan tarkasteluajankohtaan ennustemalleilla. Mittausten edustavuus vaikuttaa käsitykseen tiestön uratilanteesta kahdella tavalla. Mitä suurempi on mittausten edustavuus, sitä tarkempi uratilanne saadaan, koska mittaustieto on tarkempi kuin ennustettu tieto. Mitä pidemmälle aikajaksolle ennuste tehdään, sitä suuremmaksi ennustevirhe muodostuu ja sitä epävarmempi poikkileikkausajankohdan tilannetieto on. Mittausten määrän kasvattaminen parantaa uran tilannetiedon tarkkuutta.

Jos mittausmäärät vaihtelevat paljon joko ajallisesti tai alueellisesti, siitä seuraa, että ennustejaksojen pituudet ja sitä kautta tilannetiedon epävarmuus kasvaa. Uratilanteen ennuste tietyssä poikkileikkauksessa on sitä luotettavampi mitä enemmän on uusia mittauksia ja mitä tasaisempana mittausten edustavuus ajallisesti ja alueellisesti pidetään. Mittausten edustavuudesta ja ennustemallien luotettavuudesta huolehtiminen ovat keskeisimmät uratiedon luotettavuuden takaajat.

Koska uramittauksia tehdään parhaimmillaan vain kerran vuodessa, eri vuosien mittauksista saatava urautumistieto kuvaa koko vuoden urautumista eikä sen perusteella pystytä erottelemaan mahdollisia erilaisia urautumismekanismeja.

#### **3.1.5 Mittaustarkkuus**

Urien mittauksessa on käytetty Suomessa noin kymmentä eri mittauslaitetta. Urien mittaustarkkuudesta on huolehdittu kolmella eri tasolla tapahtuvassa laadunvarmistuksessa. Mittaustarkkuuteen liittyvät keskeiset käsitteet ovat kohdistus, toistettavuus, uusittavuus ja tuotantolaatu. Kohdistus testataan mittausurakan alussa kerran. Siinä mittauslaitteen tuloksia verrataan referenssituloksiin, joiden ajatellaan edustavan ns. "tosimittaa". Tosimitan tuottaa uratiedon osalta Väg- och trafikinstitut (VTI), jolla on käytössään tarkat referenssimittauslaitteet. Uramittauksissa käytetty mittaustekniikka on kohdistustestattu aina isohkojen verkkomittausurakoiden alussa kuten vuosina 2004, 2007, 2013, 2019 ja tullaan testaamaan vielä 2020.

Mittauslaitteiden toistettavuus ja uusittavuus testataan joka vuosi ennen kevätmittausten aloittamista (Verkkomittausurakoiden testit, PANK-testit). Siinä testataan kaikki mittauksiin osallistuvat laitteet ja miehistöt. Sen lisäksi tehdään mittausten pysyvyyteen liittyviä pysyvyyttestejä mittauskauden aikana.

Uramittausten tuotantomittauksissa tuotantolaadulle on asetettu erilliset laatuvaatimukset. Tuotantolaadun selvittämiseksi 5 %:lle tuotantomittauksista tehdään kontrollimittaus. Kontrollimittauksen suorittaa jokin toinen mittausyksikkö. Tuotanto- ja kontrollimittausten tulosten ero kuvaa tuotantolaatua.

Tuotanto- ja kontrollimittausten välisen eron ( $Y$ ) tulee olla alla taulukossa esitettyjen raja-arvojen sisällä. Esitettyjen raja-arvojen ulkopuolella olevat arvot ovat laatupoikkeamia. Tavallisia laatupoikkeamia saa olla enintään 10 % ja huomattavia laatupoikkeamia enintään 5 % kontrolloiduista kohteista. Todellisuudessa tuotantolaatu on toteutunut taulukoiden vaatimuksia parempana.

Taulukko 2. Tunnuslukujen tuotantomittausten laatupoikkeaman raja-arvot [16].

Tunnusluku	Yksikkö	Kontrollimittauksen arvo-alue <sup>1)</sup>	Raja-arvo <sup>1),3)</sup>
Maksimiurasyvyys	mm	$X_k < 10$	$-1 \leq Y \leq 1$
Maksimiurasyvyys	mm	$10 \leq X_k < 18$	$-(X_k \times 10\%) \leq Y \leq X_k \times 10\%$
Maksimiurasyvyys	mm	$X_k \geq 18$	$-(X_k \times 15\%) \leq Y \leq X_k \times 15\%$
1) $X_k$ = Kontrollimittauksen tunnusluvun mitattu arvo 2) $X_t$ = Tuotantomittausten tunnusluvun mitattu arvo 3) $Y = X_k - X_t$ <sup>2)</sup>			

Taulukko 3. Tuotantomittausten huomattavan laatupoikkeaman raja-arvot [16].

Tunnusluku	Yksikkö	Kontrollimittauksen arvo-alue <sup>1)</sup>	Raja-arvo <sup>1),3)</sup>
Maksimiurasyvyys	mm	$X_k < 8$	$-1,5 \leq Y \leq 1,5$
Maksimiurasyvyys	mm	$8 \leq X_k < 18$	$-(X_k \times 20\%) \leq Y \leq X_k \times 20\%$
Maksimiurasyvyys	mm	$X_k \geq 18$	$-(X_k \times 25\%) \leq Y \leq X_k \times 25\%$
1) $X_k$ = Kontrollimittauksen tunnusluvun mitattu arvo 2) $X_t$ = Tuotantomittausten tunnusluvun mitattu arvo 3) $Y = X_k - X_t$ <sup>2)</sup>			

## 3.2 Urautumisen pääsyyt vähäliikenteisillä teillä

Tien urautuminen voidaan jakaa karkeasti kahteen ryhmään, joita ovat nastarenkaiden aiheuttama päällysteen kulumisen ja roudan sulamisen aiheuttama rakenteiden jäykkyyden tilapäinen väheneminen ja raskaan liikenteen aiheuttama deformaatio. Tässä selvityksessä päähuomio on vähäliikenteisten teiden urautumisessa.

Kylmällä säällä päällysrakenteen sisällä oleva vesi jäätyy. Kun routaraja liikkuu alemmaksi päällysrakenteessa pitkien, kylmien jaksojen vaikutuksesta, rakenteeseen syntyy imupainetta, joka imee vettä lähemmäksi routarajaa. Tällä tavoin vettä kertyy rakenteeseen jään muodossa. Sulamisen alkaessa keväällä tämä vesi jää loukkuun kiviaineksen huokostiloihin eikä pysty poistumaan niin kauan, kun tierakenteen kuivatusjärjestelmä on vielä jäässä. Ongelma voidaan ratkaista karkearakeisemmalla kiviaineksella, johon imupainetta ei niin helposti synny. Erityisesti sitomattomien rakennekerrosten pohjalle sijoitettu karkea kiviaineskerros voi toimia kapillaarikatkona, joka katkaisee veden kulun ylemmissä sitomattomissa kerroksissa sijaitsevaan routarajaan [11].

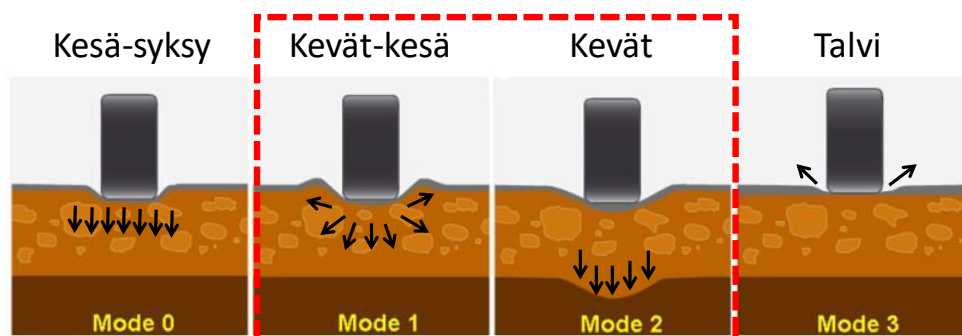
Päällysteen deformaatiota voi tapahtua myös kesällä.

### 3.3 Vähäliikenteisten teiden urautumistyytit

Urautumista on mitattu tyypillisesti kerran vuodessa eikä ole kiinnitetty huomiota urautumisen vuodenaikaiseen vaihteluun. Urautumistieto kuvaa siten kaikesta eri syistä johtuvaa urautumista kokonaisuutena. Dawsonin ja Kolisojan vuonna 2005 tekemässä tutkimuksessa urautumista tarkasteltiin eri syistä johtuvana ja sille oli määritetty neljä tyyppiä, jotka olivat seuraavat (Kuva 8):

- Tyyppi 0: tiivistyminen
- Tyyppi 1: leikkausmurtumia sitomattomissa kerroksissa
- Tyyppi 2: leikkausmurtumia pohjamaassa
- Tyyppi 3: nastarengaskulutus

Seuraavissa luvuissa on esitetty urautumistyytit ja niiden syitä edellä mainittuun tutkimukseen perustuen. Tässä tutkimuksessa huomion keskipisteenä ovat urautumistyytit 1 ja 2 ja niiden erottaminen urautumistyytistä 3.



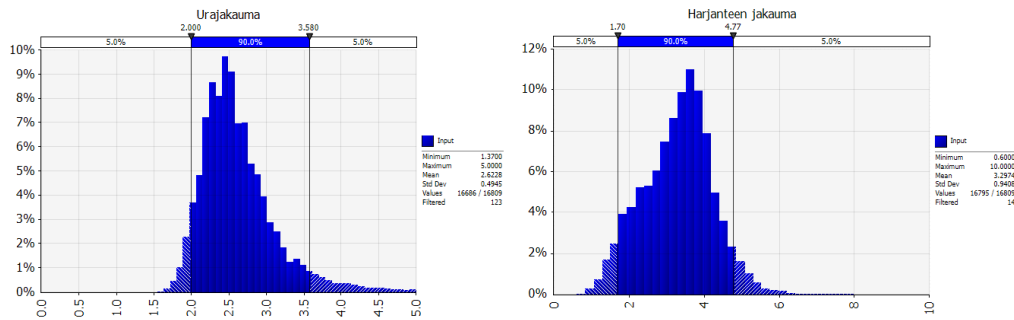
Kuva 8. Urautumistyytit [13].

#### 3.3.1 Kerrosten tiivistyminen

Uratyyppi 0 vastaa rakennekerrosten tiivistymistä. Sitä voi tapahtua eri kerroksissa joko rakentamisen yhteydessä tai sen jälkeen sekä myöhemmin kun kerros on suuren kosteuden takia löystynyt. Uusilla päällysteillä havaittava alku-ura muutamien viikkojen sisällä päällystämistä edustaa tätä uratyyppiä. Alku-uran suuruus on noin 2–3 mm. Sen syntyajankohta on päällystämisen jälkeen alkukesästä syksyyn.

Eräillä kohteilla vuonna 2015 uusien päällysteiden 1 m maksimiura vaihteli välillä 1,5–5,0 mm (Kuva 9). Yli 5 mm arvot on suodatettu pois. Suuret arvot saattavat johtua siitä, että mitatussa osuudessa voi olla myös vanhaa päällystettä mukana. Alkutiivistyminen on kuitenkin aina vähintään 1,5 mm ja tässä aineistossa keskimäärin 2,6 mm.





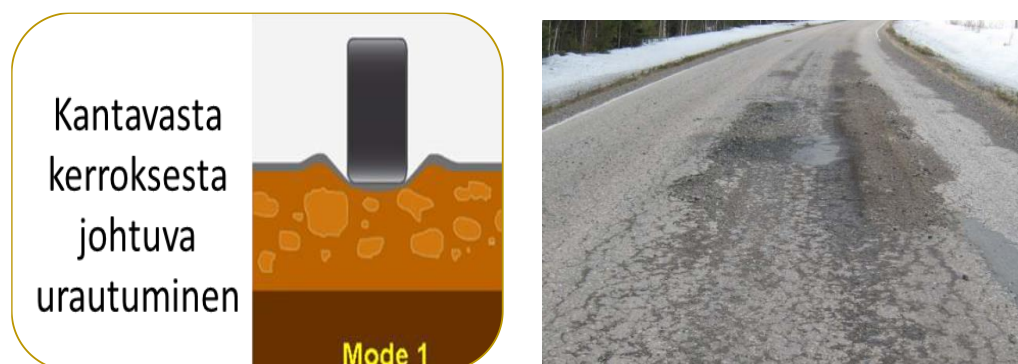
Kuva 9. Tyypillinen uran ja harjanteen jakauma uusilla päällysteillä (1 m arvoja vuonna 2015 mitatuilta kohteilta Etelä-Suomesta).

### 3.3.2 Sitomattomien kerrosten leikkausmurtuminen

Tyyppin 1 urautumiseksi on määritetty ilmiö, missä sitomattomia kerroksia murtuu leikkausjännityksen takia. Syynä on yleensä liian alhainen leikkauslujuus lähellä päällystettä. Leikkausjännitysten maksimikohta on yleensä syvyydessä  $W/3$  kun  $W$  on pyörän leveys. Yksittäisrenkaalla maksimikohta on noin 10 cm syvyydessä ja paripyörärenkailla noin 20 cm syvyydessä. Uratyyppiä 1 esiintyy usein pohjoisilla alueilla kausittaisen routaantumisen takia. Ilmiö syntyy, kun päällysrakenteen alaosa/pohjamaa on vielä jäässä, mutta sen yläosa sulanut. Syntyajankohta on kevään alku. Sen syinä voivat olla huono kuivatus, huono kantavan kerroksen kiviaines tai sitomattomien kerrosten leikkausmurtuminen. [13]

**Tyyppin 1 urautumisen tunnusmerkkeinä ovat urien reunoissa havaittavat "olkapäät" ja päällysteen verkkohalkeamat.** [13]

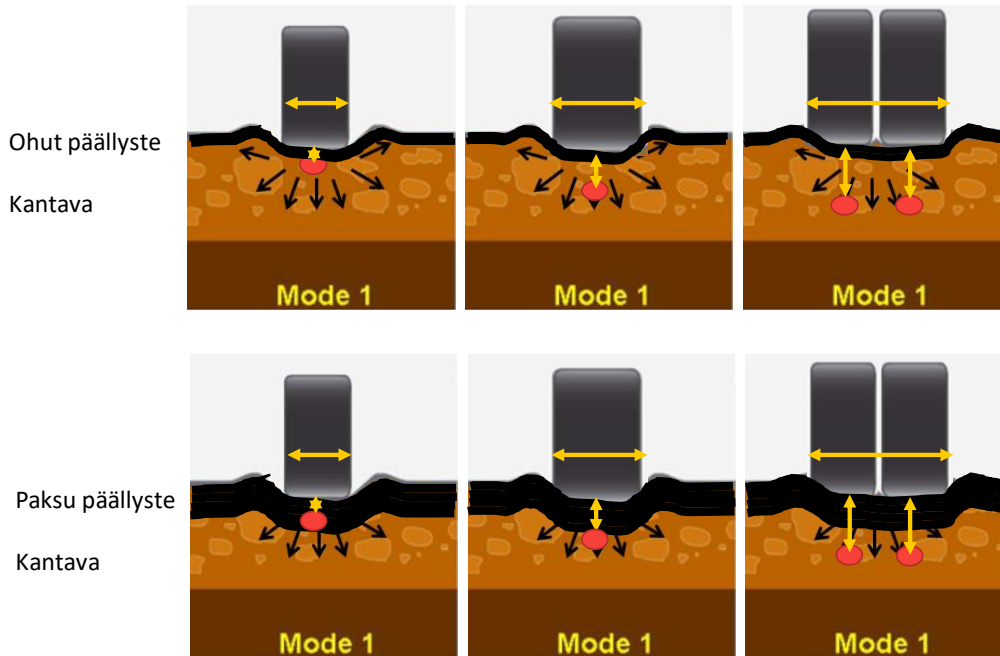
Toinen syntymekanismi voi olla paksuilla päällysteillä helteillä tapahtuva plasmainen muodonmuutos, missä päällystemateriaalia siirtyy urien sivusuunnassa uran kohdalta reunoille päin. Tämä ilmiö ajoittuu kesään.



Kuva 10. Tyyppin 1 urautuminen [13].

Tyyppin 1 urautumista tulisi tutkia keväällä siihen aikaan, kun tierakenteen sitomattomat kerrokset ovat sulaneet, mutta pohjamaa on vielä jäässä. Rengastus ja renkaiden leveys vaikuttavat siihen, missä kohdassa (millä syvyydellä) leikkausjännitykset maksimoituvat ja siksi päällystepaksuus on tärkeä ottaa huomioon, jotta voidaan arvioida mikä rengastus vaikuttaa eniten kantavaan kerrokseen (Kuva 11).

Lisäksi olisi hyvä mitata tierakenteen taipumasuppilo ja laskea joko SCI/BCI-tunnuslukupari tai rakennekerrosten jäykkyydet takaisinlaskennalla. Tällöin saataisiin selville erot sitomattomien kerrosten ja pohjamaan sulamisesta ja sen vaikutuksesta kerrosten jäykkyyksiin ja jännityksiin.



Kuva 11. Periaatteellinen kuva leikkausjännitysten maksimikohdista yksittäispyörän, supersinglen ja paripyörän alla ohuella ja paksulla päällysteellä.

### 3.3.3 Pohjamaan murtuminen

Tyyppin 2 urautumiseksi on määritetty ilmiö, missä pohjamaat ovat muutaman viikon ajan pehmenneitä roudan sulamisesta aiheutuvan liian **korkean kosteuspitoisuuden takia**. Toinen syy tyyppin 2 urautumiseen voivat olla liian **korkeat akselipainot**, sillä niistä aiheutuvat suurimmat rasitukset syvemmälle tierakenteeseen. Sen syntyajankohta on useimmiten keväisin roudan sulamisen yhteydessä. [13]

**Tyyppin 2 urautumisessa päällysrakenne painuu koko ajouran leveydeltä ja urien leveys on usein suurempi kuin tyyppissä 1.** Päällysteessä olevia muita tunnusmerkkejä voivat olla urien välissä (harjanteessa) olevat halkeamat sekä suuri alusrakenteen taipumaindeksi (BCI) keväällä. [13]



Kuva 12. Tyypin 2 urautuminen [13].

### 3.3.4 Päällysteen kuluminen

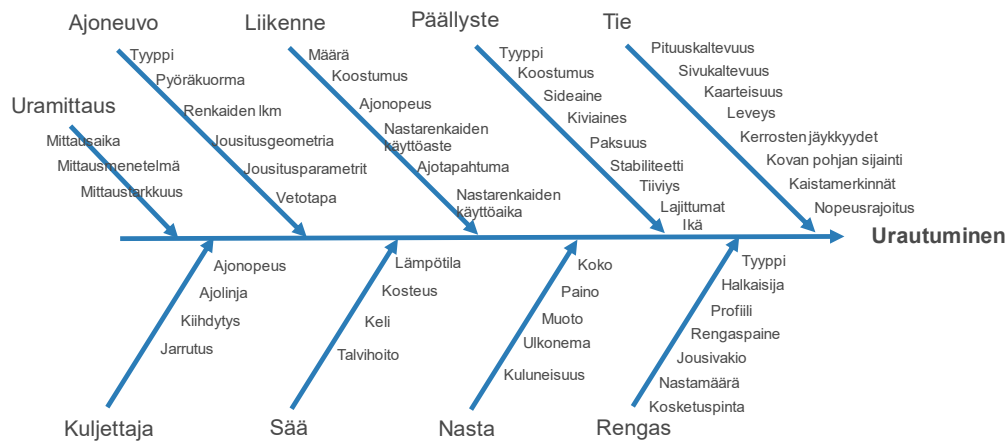
Uratyyppiä 3 edustaa tavanomainen nastarenkaista aiheutuva päällysteen kuluminen. Se esiintyy vilkkaasti liikennöidyillä teillä talven aikana ja **sille on tyyppistä, että vasemman ja oikean uran maksimikohtien väli osuu lähelle henkilöautojen keskimääräistä raideväliä, joka on välillä 1,5–1,7 m.**



Kuva 13. Uratyyppi 3 [13].

## 3.4 Juurisyyanalyysi

Tien urautuminen johtuu monista eri tekijöistä, joista tärkeimpiä on lueteltu alla olevassa kalanruotokaaviossa (Kuva 14). Siinä eriteltiin yhdeksän ryhmää, joiden sisällä oli yhteensä noin 50 mahdollista urautumiseen vaikuttavaa tekijää. Selvää oli, ettei kaikkia tekijöitä pystytä samassa tutkimuksessa tutkimaan ja tekijöitä on karsittava.



Kuva 14. Tien urautumiseen vaikuttavia tekijöitä.

Urautumiseen vaikuttaville tekijöille tehtiin juurisyyanalyysi, jossa arvioitiin kunkin tekijän vaikutusaste erikseen kuhunkin uratyyppiin (0,1,2,3). Painoarvot olivat 1, 3, 5 ja 9. Painoarvoista laskettiin keskiarvo, jonka suhteen tekijät lajiteltiin alenevaan järjestykseen. Painoarvot muodostettiin hyvin pienen ryhmän toimesta ja ne edustavat vain sen ryhmän mielipidettä. Mukaan otettavien tekijöiden lukumäärää rajoitti tietojen saatavuus. Tutkimusta suunniteltaessa pyrittiin ottamaan huomioon tärkeimmät vaikuttavat tekijät, kuitenkin riippuen siitä, miten helposti ne olivat saatavissa. Joitakin tärkeiksi luokiteltuja tekijöitä jouduttiin jättämään pois.



## 3.5 Ajoneuvojen renkaat

### 3.5.1 Henkilöautot

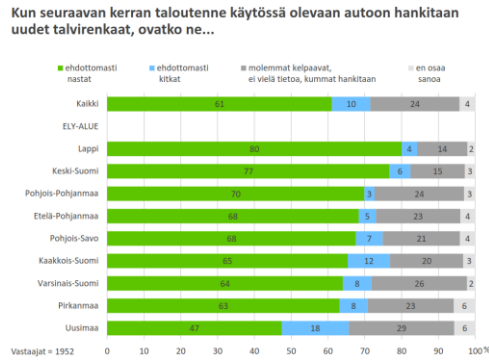
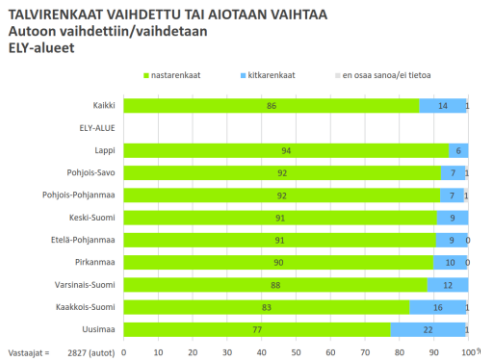
#### 3.5.1.1 Nastarenkaiden käyttö

Talvirenkaisuun liittyviä tutkimuksia ja selvityksiä on tehty lähivuosina useita. Kitka- ja nastarenkaiden suhteellista osuutta on tutkittu käyttäjäkyselyin, rengasliikkeiden vaihtotilastoilla sekä yliajon äänimittauksin.

Tutkimusten mukaan suomalaisista henkilöautoilijoista 13 % ajaa kitkarenkailla. Pohjois-Suomessa kitkarenkaita käytetään selvästi harvemmin (6–7%) kuin muualla Suomessa (7–22 %). [7]

Kun seuraavan kerran tulee aika uusia talvirenkaat, kitkarenkaiden ehdottomia kannattajia on 10% autoilijoista ja nastarenkaiden ehdottomia kannattajia 57 %. Niitä, jotka eivät osaa ottaa kantaa kumman valitsisivat, on vain 3 % autoilijoista. Mitä uudempi auto, sitä todennäköisemmin valitaan seuraavaksi kitkarenkaat. [7]

Kauppakeskuksissa tehtyjen selvitysten mukaan nastattomien talvirenkaiden osuus vaihtelee 8–13 % välillä. [9]

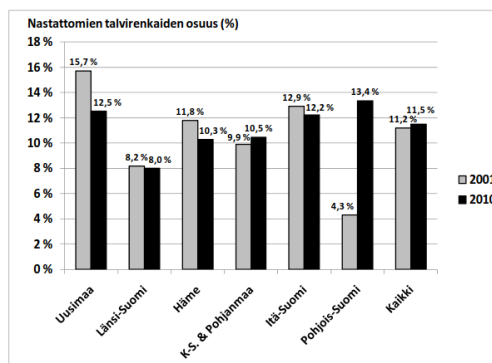


Kuva 15. Kitkarenkaiden käyttöhalukkuus ELY-alueittain talvirengaskyselyssä. [8].

Taulukko 2. Toteutuneet mittaukset mittauspaikoittain.

N:o	Kunta	Paikka	Henkilöautot		Paketti-autot	Yht.
			Ei maasto	Maasto		
1	Savonlinna	Citymarket	87	4	9	100
2	Espoo	Sello	28	0	2	30
3	Rovaniemi	Revontulikeskus	90	2	8	100
4	Oulu	Marketalue	89	1	10	100
5	Kajaani	Prisma	44	0	6	50
6	Joensuu	Citymarket	76	1	4	81
7	Kuopio	Tori parkki	88	4	8	100
8	Espoo	Iso-omena	107	3	10	120
9	Vaasa	Sampoparkki	91	3	11	105
10	Pori	Prisma Itäkeskus	84	7	9	100
11	Turku	ABC Auranlaakso	85	6	9	100
12	Lahti	ABC Renkomäki	93	2	7	102
13	Järvenpää	Prisma	80	5	5	90
14	Jyväskylä	ABC Vaajakoski	83	6	10	99
15	Tampere	ABC Pirkkala	125	7	9	141
16	Loviisa	ABC Kuninkaantie	72	7	11	90
Yhteensä:			1322	58	128	1508

Kuva 16. Nastattomien talvirenkaiden käytön tutkimustuloksia [9].



Kuva 3. Nastattomilla talvirenkailla varustettujen autojen osuudet 2001 sekä 2010.

### 3.5.1.2 Talvirenkaiden vaihtamisajankohtien määrättyminen

Henkilö- ja pakettiautojen talvirenkaiden vaihtamisajankohtia on tutkittu useissa eri selvityksissä. Ohessa on referoitu lähteessä [6] "Talvirenkaiden käytön aikataulu ja siihen vaikuttavat tekijät. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2017." esitettyjä alustavia tuloksia.

Aineistojen perusteella voitiin arvioida sitä, miten sekä nastarenkaiden että talvirenkaiden kausivaihto eteni eri vuosina ja eri puolilla Suomea:

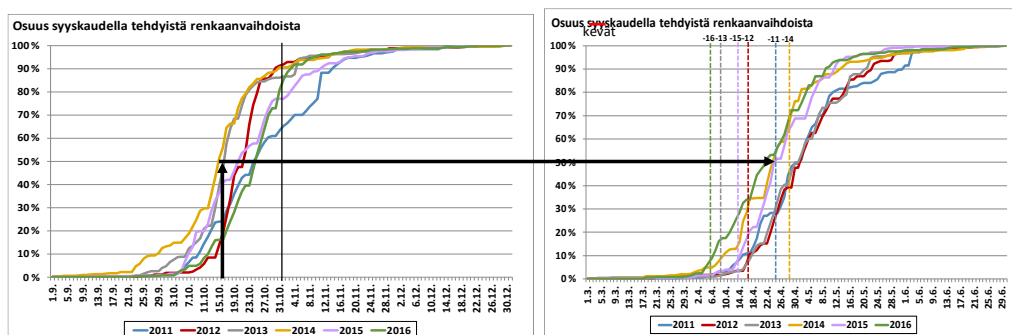
- **Syyskauden osalta oli nähtävissä, että kausivaihdon eteneminen oli yhteydessä lumipeitteen esiintymiseen.**
- **Kevätkaudella vaihtoa usein venytettiin pitkälle sen jälkeen, kun lumipeite oli jo poistunut.**

Tutkimuksen perusteella saatiinkin vahvoja viitteitä siitä, että mikäli nastarenkaiden käyttöä halutaan vähentää ilman merkittävämpiä liikenneturvallisuusvaikutuksia, nastarenkaiden käyttöä tulisi voimakkaammin rajoittaa juuri kevätkaudella. Tutkimuksessa tehdyn arvion mukaan nastarenkaiden koko vuoden liikennesuorite pienenisi kuitenkin vain noin 2–3 %, jos nastarenkaiden käytön yhteys keväällä talviolosuhteiden ja lumipeitteen loppumiseen olisi yhtä vahva kuin syksyllä lumen ja talven saapumiseen. [6]

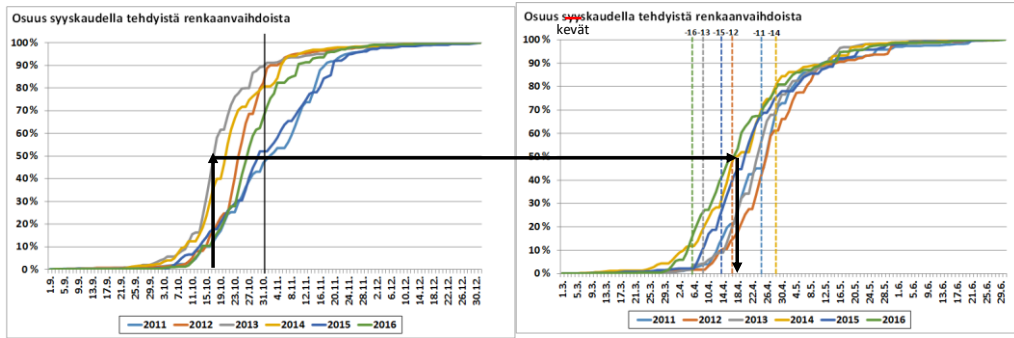
Tutkimuksen laajin aineisto saatiin Euromasterilta. Aineisto käsitti satoja tuhansia renkaanvaihtoja vuosina 2011–2016. Aineiston perusteella saatettiin nähdä, että renkaanvaihto alkaa pohjoisemmalla Suomessa aiemmin ja loppuu myöhemmin kuin eteläisemmässä Suomessa. Samalla Pohjois-Suomen renkaanvaihtohuiput olivat terävämpiä kuin etelässä. Asiaan saattaa vaikuttaa kitkarenkaiden suurempi osuus etelässä. [6]

Väylävirasto on kiinnittänyt huomiota siihen, että päällysteiden urautumisnopeus on kiihtymässä. Käytettävissä olevan aineiston perusteella ei voitu kuitenkaan havaita, että talvi- ja nastarenkaiden käyttökausi olisi kategorisesti pidentymässä. On kuitenkin syytä huomata, että tutkimuksen tarkastelujakso oli varsin lyhyt. [6]

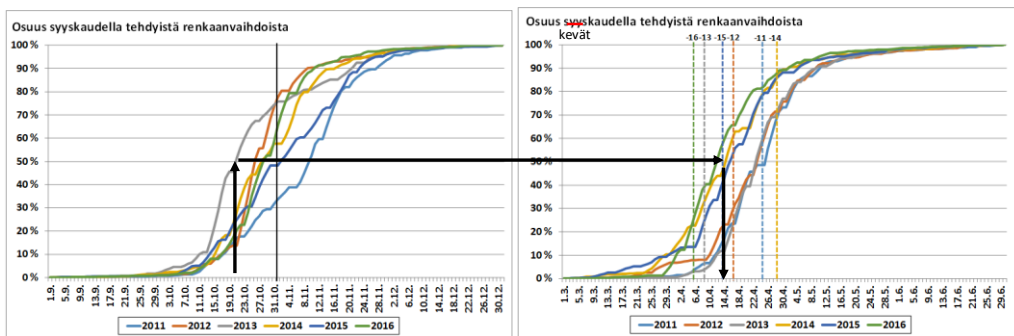
Tutkimuksessa käytettiin tietävästi ensi kertaa tässä laajuudessa rengasliikkeiden aineistoa kausivaihtoon liittyvän käyttäytymisen arvioinnissa. Aineiston katsottiin soveltuvan tarkoitukseen hyvin ja sen käyttöä kannattaa jatkaa esimerkiksi arvioitaessa mahdollisten talvirenkaiden käytösäännösten muutosten vaikutuksia tulevaisuudessa. [6]



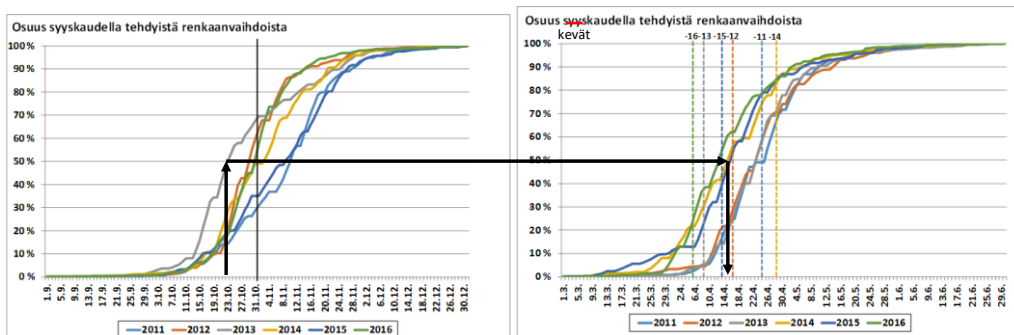
Kuva 17. Talvirenkaiden yleisyys 2011–2016 Pohjois-Suomessa. [6].



Kuva 18. Talvirenkaiden yleisyys 2011–2016 Itä-Suomessa. [6].



Kuva 19. Talvirenkaiden yleisyys 2011–2016 Länsi-Suomessa. [6].



Kuva 20. Talvirenkaiden yleisyys 2011–2016 Etelä-Suomessa. [6].

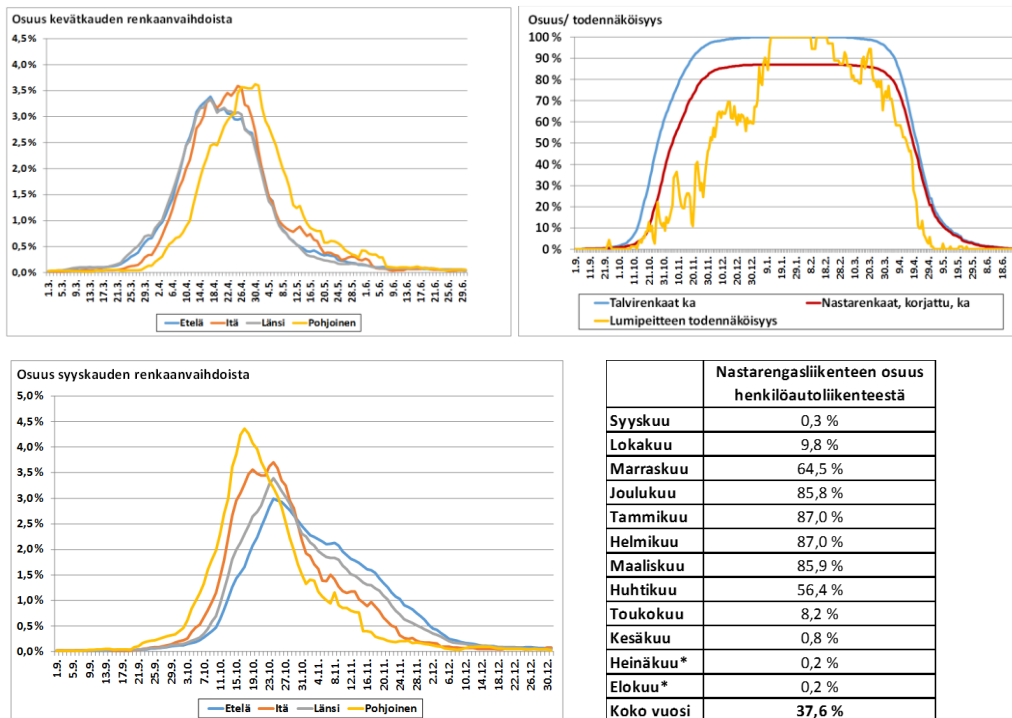
### 3.5.1.3 Nastarenkaallisten liikennesuorite

Tutkimuksen [6] ainoa valtakunnallinen aineisto oli Euromasterilta saatu renkaanvaihtoaineisto. Sen perusteella (Kuva 21 oikea) oli tehty havaintoja nastarenkaallisten suoritteesta seuraavasti:

- Yläoikealla olevan kuvan sininen viiva edustaa Euromasterin renkaanvaihtotilastoihin perustuvaa talvirenkaiden käyttöä koko maassa. Kyseessä on keskiarvo vuosilta 2011–2016. Lisäksi maanosien (etelä, itä, länsi, pohjoinen) lukuja on painotettu maanosien keskimääräisen liikennesuoritteesta perusteella. Sinisen viivan 100 % osuus tarkoittaa tilannetta, jolloin kaikki Euromasterin asiakkaat käyttävät talvirenkaita.



- Vastaavasti punainen viiva edustaa mallia, jossa sinistä viivaa on hieman korjattu ja suhteutettu vastaamaan nastarenkaiden käyttöä. Syksyn osalta renkaanvaihtoa on siirretty huippupäivien kohdalla noin viikolla eteenpäin, sillä tämä tutkimus on antanut vahvoja viitteitä siihen, että nastarenkaiden käyttäjät sekä itse vaihtavat tekevät renkaanvaihdon myöhemmin kuin Euromasterin tyypilliset asiakkaat. Sen sijaan kevään osalta ei voida nähdä saman kaltaista eroa. Lopuksi tulokset on suhteutettu nastarenkaiden käyttäjien osuuteen, jolloin tammi-helmikuussa noin 87 % henkilöautoista käyttää nastarenkaita.
- Keltainen viiva kuvaa lumipeitteen todennäköisyyttä. Viiva kertoo sen, kuinka todennäköisesti kyseisenä päivänä esiintyy lumipeitettä tutkimuksessa käytetyn 8 lumensyvyyden mittauspisteen ja vuosien 2011–2016 perusteella. 100 % todennäköisyys kertoo sen, että kaikissa 8 pisteessä on ollut lunta kaikkina tarkasteluvuosina. Tulosta on suhteutettu vastaamaan maantieteellisten alueiden (etelä, itä, länsi, pohjoinen) liikennesuoritetta.
- Tutkimuksen mukaan noin 38 % henkilö- ja pakettiautojen liikennesuoritteesta tapahtuu nastarenkain. Luku edustaa koko maan nastallista suoriteosuutta eikä sitä esitetty suuralueittain.



Kuva 21. Yhteenvetotietoa renkaanvaihdon ajoittumisesta ja nastarengas-suoritteen arvioinnista [6].

Samasta tutkimuksesta (Kuva 21 vasen) voidaan myös todeta, miten vuodenajat vaikuttavat talvirenkaiden käyttöön maan eri osissa. Talvirenkaat otetaan käyttöön Pohjois-Suomessa aikaisemmin ja lyhyemmässä ajassa kuin Etelä-Suomessa. Etelä-Suomessa niiden käyttöönottoa viivytetään hyvinkin pitkään (jopa joulukuulle). Keväällä Pohjois-Suomessa siirrytään kesärenkaiden käyttöön myöhemmin kuin muualla Suomessa.

Saman tutkimuksen perusteella on tehty seuraava arvio talvirenkailla tapahtuvan liikennesuorituksen osuudesta suuralueittain käyttämällä niitä renkaiden vaihtoajankohtia, joissa 50 % vaihdoista oli tapahtunut ja laskemalla ensin kesärenkaiden käyttöaika ja sen perusteella talvirenkaiden käyttöaika. Talvirenkaiden keskimääräiseksi käyttöosuudeksi saatiin siten suuralueesta ja vuodesta riippuen 44–54 %. Pohjois-Suomessa käyttöosuus oli tietenkin suurin ja Etelä-Suomessa pienin. Jakoa kitkarenkaallisten ja nastarenkaallisten välillä ei tästä aineistosta voitu tehdä.

*Taulukko 5. Talvi- ja kesärenkaiden vaihtoajankohdat kun 50 % renkaista vaihdettu [6].*

Vaihto kesärenkaisiin					Vaihto talvirenkaisiin				
Kevät	Pohjois-Suomi	Itä-Suomi	Länsi-Suomi	Etelä-Suomi	Syky	Pohjois-Suomi	Itä-Suomi	Länsi-Suomi	Etelä-Suomi
2011	29.4.	25.4.	25.4.	25.4.	2011	23.10.	31.10.	8.11.	8.11.
2012	30.4.	26.4.	22.4.	22.4.	2012	21.10.	19.10.	26.10.	28.10.
2013	29.4.	20.4.	22.4.	22.4.	2013	15.10.	16.10.	20.10.	23.10.
2014	22.4.	16.4.	14.4.	14.4.	2014	14.10.	18.10.	25.10.	31.10.
2015	24.4.	18.4.	15.4.	15.4.	2015	19.10.	28.10.	1.11.	7.11.
2016	20.4.	17.4.	13.4.	12.4.	2016	24.10.	25.10.	25.10.	30.10.

*Taulukko 6. Talvi- ja kesärenkaiden käyttöaika (vrk) kun 50 % renkaista vaihdettu [6].*

Kesä	Kesärenkaiden käyttö (vrk)				Talvirenkaiden käyttö (vrk)				Talvirenkaiden käyttö				
	Pohjois-Suomi	Itä-Suomi	Länsi-Suomi	Etelä-Suomi	Talvi	Pohjois-Suomi	Itä-Suomi	Länsi-Suomi	Etelä-Suomi	Pohjois-Suomi	Itä-Suomi	Länsi-Suomi	Etelä-Suomi
2011	177	189	197	197	2010-2011	188	176	168	168	52 %	48 %	46 %	46 %
2012	174	176	187	189	2011-2012	191	189	178	176	52 %	52 %	49 %	48 %
2013	169	179	181	184	2012-2013	196	186	184	181	54 %	51 %	50 %	50 %
2014	175	185	194	200	2013-2014	190	180	171	165	52 %	49 %	47 %	45 %
2015	178	193	200	206	2014-2015	187	172	165	159	51 %	47 %	45 %	44 %
2016	187	191	195	201	2015-2016	178	174	170	164	49 %	48 %	47 %	45 %

Kun käytetään koko alueittaisia tutkimustuloksia nastarenkaiden osuudesta (Kuva 15) ja talvirenkaiden suoriteosuuksia renkaidenvaihtotutkimuksesta (Taulukko 6), saadaan nastallisten renkaiden suoriteosuuksille seuraavat laskennalliset arviot:

- Etelä-Suomi 38 %
- Länsi-Suomi 42 %
- Itä-Suomi 45 %
- Pohjois-Suomi 49 %

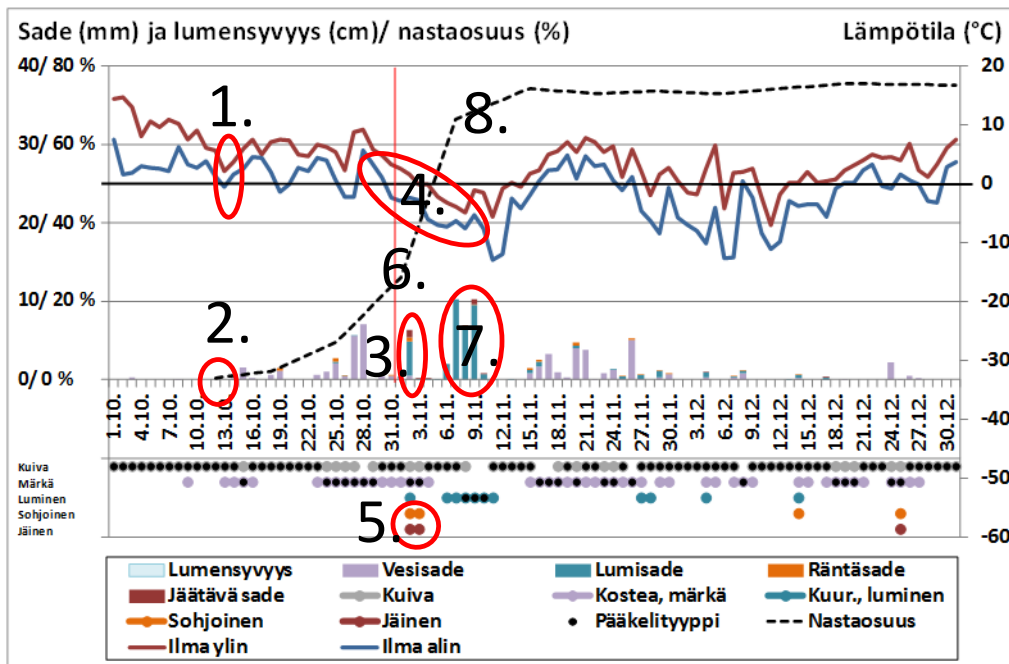
Saatu tulos edustaa keskimääräistä tilannetta. Tarkemman suoriteosuuden voisi periaatteessa yrittää mallintaa kunkin vuoden vastaavien sää- ja kelitietojen perusteella ja saada nastallisten suoriteosuus sidottua niihin todellisiin tekijöihin, jotka määräävät renkaanvaihtoajankohdat.

### **3.5.1.4 Sään ja kelin vaikutus renkaidenvaihtoon**

Talvirenkaiden vaihtoajankohtia tarkastelevassa tutkimuksessa [6] oli kerätty myös sää- ja kelitietoa ja laitettu sitä yhteen renkaidenvaihtotietojen kanssa (Kuva 22). Sen liitteissä oli esitetty paljon informaatiota sisältäviä kuvia sää- ja kelitiedoista tietyiltä havaintoasemilta sekä yhdistetty niihin talvirenkaiden vaihtokehitystä. Kuvista on helposti nähtävissä renkaidenvaihdon alkamiseen ja

kiihtymiseen vaikuttavat sää- ja kelitekijät. Päättelyketju voisi mennä seuraavasti:

1. Kun vuorokauden alin lämpötila menee ensimmäisen kerran alle nollan,
2. niin talvi/nastarenkaiden vaihto alkaa. Renkaidenvaihto etenee hitaasti ja siihen vaikuttavat yhä tiheämmin toistuvat pakkaslämpötilat.
3. Kun tulee ensimmäinen lumisade,
4. ja vuorokauden alin lämpötila menee pidemmäksi aikaa nollan alapuolelle,
5. niin pääkelityyppi muuttuu lumiseksi, sohjoiseksi tai jäiseksi,
6. ja renkaiden vaihtorumba kiihtyy.
7. Kun tulee toinen lumisade,
8. niin loputkin renkaat vaihdetaan talvirenkaiksi.



Kuva 22. Suutarilan tiesääaseman mittaustietoja sekä Helsinki-Vantaan lentoaseman lumensyvyystietoja syyskaudelta 2016 [6]. Ympyrät ja numerot lisätty.

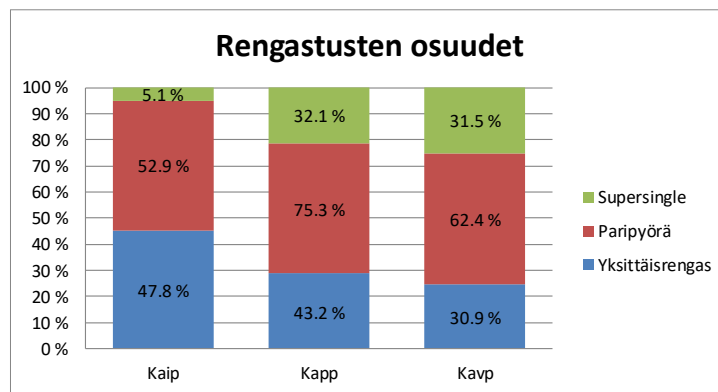
Tutkimuksessa oli esitetty sää- ja kelitietoja eri mittauspisteissä, mutta niiden avulla ei ollut tehty (ainakaan tässä vaiheessa) renkaanvaihdon ajoittumiseen liittyviä malleja. Jos renkaanvaihto (alkaminen, 50 % piste, ja päättyminen) pystyttäisiin mallintamaan sää- ja kelitietoihin perustuen, niin sen avulla pystyttäisiin ennustamaan nastallisilla renkailla varustettujen henkilöautojen liikennesuorite ja nastakulutuksen osuus kokonaisurautumisessa. Koska sää- ja kelitieto ovat paikallisia (säähavaintoasemien lukumäärän määrittämällä tarkkuudella), olisivat talvirenkaiden vaihtoennusteetkin paikallisia. Sen jälkeen pystyttäisiin paremmin erottamaan raskaiden ja kevyiden ajoneuvojen urautumisvaikutukset toisistaan ja sitä kautta päästäisiin tämän selvityksen pääaiheeseen eli deformaantumiseen. Jos ennustaminen sää- ja kelitietojen perusteella onnistuisi, ei rengastyypin käytön mittauksia tarvittaisi.

### 3.5.2 Raskaat ajoneuvot

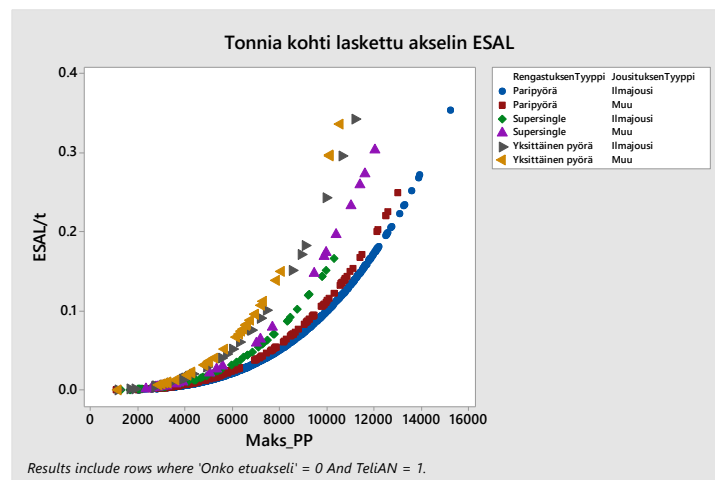
Kesänajan urautumiseen ja uravälin syntymiseen vaikuttaa raskaiden ajoneuvojen rengastus. Yksittäisrenkailla tai supersinglerenkailla varustetut akselit tuottavat suuremman uravälin kuin paripyörälliset akselit. Paripyörällisten akselien tuottama uran leveys olisi todennäköisesti suurempi kuin muilla ja mahdollisesti deformatumissa jäisivät paripyörien jäljet jopa näkyviin. Supersinglerenkaat rasittavat tietä tunnetusti enemmän kuin paripyörät. Niiden osuus olisi tärkeää tietää deformatumista selvitetessä.

Raskaiden ajoneuvojen rengastietoa ei kuitenkaan sopivan mittausmenetelmän puuttuessa mitata. Suuruusluokkatietoa eri rengastusten käytöstä on saatavissa mm. akselimassatutkimuksista, mutta niiden edustavuus on yksittäisten teiden tai tieosien kannalta puutteellinen. Supersinglerenkaiden osuus perävauullisissa kuorma-autoissa oli noin 32 %.

Raskaan ajoneuvon rengastyypin mittaamiseen ei ole helppoa menetelmää. Rengastus jää tutkimuksissa vaihtelua aiheuttavaksi tekijäksi, jonka vaikutusta ei pystytä selvittämään.



Kuva 23. Rengastusten osuudet raskaissa ajoneuvoissa [17].



Kuva 24. Akselipainon tonnia kohti laskettu kuormitusvaikutus (ESAL) yksittäisakseleilla eri rengastuksilla ja jousituksilla [17].

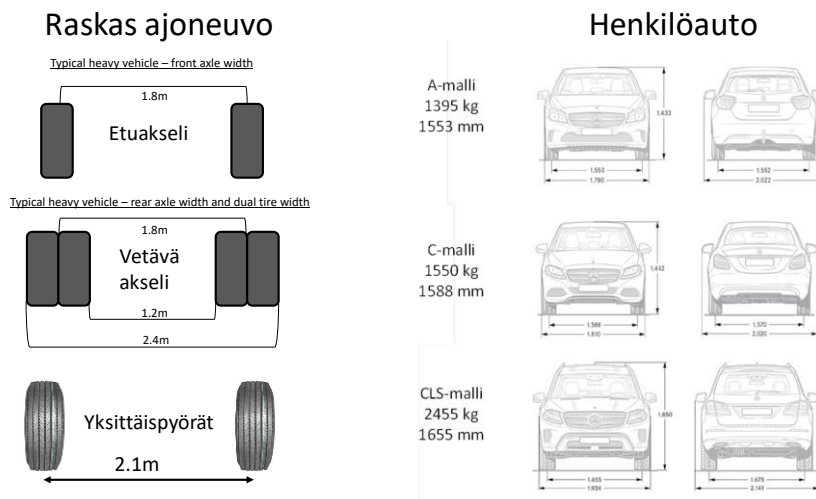
## 3.6 Uravälitarkastelu

### 3.6.1 Uravälin määrittäminen

Jos ura on syntynyt ainoastaan päällysteen deformaation vaikutuksesta, eroaa se nastarengasuraan verrattuna sekä muodoltaan että uraväliltään: Deformaatiourien uraväli on lähellä raskaan ajoneuvon raideleveyttä (n. 180–190 cm), ja nastarengasurien uraväli on lähellä henkilö- tai pakettiauton raideleveyttä (n. 150–170 cm). Jos päällysteen deformaatio on ollut selvästi voimakkaampaa kuin päällysteen tiivistyminen ja sitomattomien kerrosten deformaatio, on päällysteen pinta urien reunoilta kohonnut. Koska urautumiseen vaikuttaa yleensä useampi kuin yksi mekanismi, tulee visuaalisesti ja mittalaitteella erotettavaan uran muotoon piirteitä useammista eri urautumismekanismeista. (White et al. 2002) [10]

Uravälitieto syntyy palvelutasomittauksista, mutta sitä ei talleteta tierekisteriin. Sitä oli kuitenkin mahdollista käyttää aiemmin tehdyistä mittauksista. Uraväli määritettiin tässä työssä oikean ja vasemman ajouran maksimisyvyyksien kohdilta siten, että laskettiin niiden mittaustantureiden, joista maksimiura löytyy, välinen etäisyys metritasolla ja keskiarvoistettiin se joko kymmenmetri- tai satametritasolle.

Henkilöautojen raidevälit ovat tyypillisesti noin 1,5–1,7 m. Sen perusteella tehtiin oletus, että henkilöauton synnyttämän uran uravälin täytyy olla suurempi kuin 1,4 m mutta pienempi kuin 1,7 m. Raskaiden ajoneuvojen raidevälit ovat yksittäisrenkailla 2,1 m ja paripyörillä 1,8 m. Paripyörien osalta on kuitenkin todettava, että koska niiden leveys on noin 60 cm ja ne kattavat raideleveyden alueen 1,2–2,4 m, ei voida olla varmoja siitä, onko niiden vaikutus uraväliä kasvattava vai pienentävä. Etuakselin osalta ja varsinkin yksittäisrenkain varustettujen perävaunun akseleiden osalta tehtiin se oletus, että raskaan ajoneuvon synnyttämän uran uravälin täytyy olla suurempi kuin henkilöauton synnyttämän uran uravälin ja ne pystytään erottamaan toisistaan tarkastelemalla uravälejä (urien maksimikohtien välistä etäisyyttä).

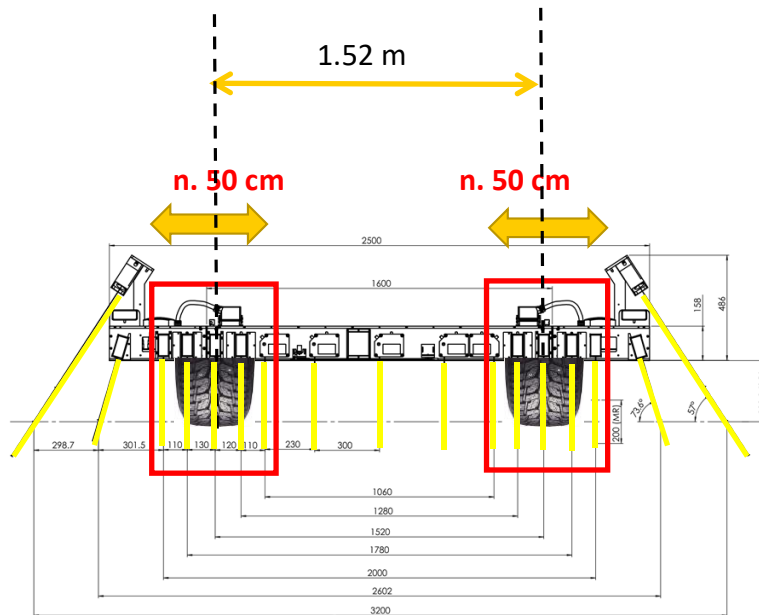


Kuva 25. Raskaan ja kevyen ajoneuvon tyypillisiä raidevälejä.

Uravälistä voidaan karkeasti päätellä uran pääsiallinen aiheuttaja siten, että




- jos uraväli on suurempi kuin 1,7 m niin ura on aiheutunut raskaasta liikenteestä
- jos uraväli on välillä 1,4–1,7 m niin ura on aiheutunut nastarengaskuluksesta
- sellainen uravälitieto on karsittava pois, jonka uraväli on alle 1,4 m, koska se ei ole voinut aiheutua ajoneuvoista (pl tilanne, jossa se olisi aiheutunut paripyörien sisemmistä pyöristä) ja se on todennäköisesti aiheutunut urapaikkauksista yms. tapahtumista, joiden seurauksena maksimiuran kohta tulee johonkin muuhun kohtaan kuin ajourien kohdalle.

Palvelutasomittareissa poikkisuuntaista profiilia on mitattu vuodesta 2003 lähien laitteilla, joissa on 17 pistelaseranturia. Mittauspalkissa antureiden väliset etäisyydet ovat tiheämmässä ajourien kohdilla, noin 50 cm alueella, ja harvemmassa sen ulkopuolisilla alueilla. Maksimiura osuu noin 95 % tapauksista ajouria mittaavien viiden anturin kohdalle. Tällöin mahdollistuu suhteellisen tarkka uravälien laskenta.



Kuva 26. Uramittauksen anturivälit pistelasermittauksessa.

Uraväli luokiteltiin seuraavan kuvan tapaan kolmeen luokkaan.

Määrittely		
<1400	1400-1700	>1700
1	2	3
		

Kuva 27. Uravälän luokittelu.

### 3.6.2 Uravälit

Uravälien muutosta tutkittiin vuosien 2013 ja 2016 mittauksista. Mittaukset eriteltiin kevät- ja kesämittauksiin. Aineistosta karsittiin pois ne havainnot, joille oli tehty vuosina 2013–2015 toimenpide tai joilla uraväliluokka oli 1 (eli uraväli oli alle 1,4 m). Yhteisiä havaintoja kummallekin vuodelle oli kevätmittauksissa 5055 havaintoa ja kesämittauksissa 24933 havaintoa.

Keväällä henkilöauton uravälejä eli uraväliluokkaa 2 oli 63 % ja raskaan auton uravälejä eli uraväliluokkaa 3 oli 34 %. Jos uraväliluokka oli keväällä 2013 henkilöauton uraväli eli luokka 2, niin siihen luokkaan jäi vuonna 2016 83 % havainnoista ja luokasta 2 muuttui raskaan ajoneuvon uraväliksi, luokka 3, 17 %. Tällöin uravälin keskimääräinen kasvu oli 130 mm.

Jos uraväliluokka keväällä 2013 oli raskaan ajoneuvon uraväliluokka, niin luokkaan jäi vuonna 2016 66 % ja siitä siirtyi henkilöauton uraväliluokaksi 34 %. Siirtävien uraväli pieneni keskimäärin 132 mm ja jääneiden uraväli pieneni 10 mm.

Jos uraväliluokka kesällä 2013 oli henkilöauton uraväliluokka, niin niitä säilyi ennallaan vuoteen 2016 mennessä 87 % ja muuttui raskaan ajoneuvon uraväliluokaksi 13 %. Vastaavasti jos uraväliluokka kesällä 2013 oli raskaan ajoneuvon uraväliluokka, niin niitä pysyi ennallaan vuoteen 2016 mennessä 66 % ja muuttui henkilöauton uraväliluokaksi 34 %.

Yhteenvedona voidaan todeta, että noin kaksi kolmasosaa kevään uraväleistä oli henkilöauton uravälejä ja yksi kolmannes raskaan ajoneuvon uravälejä. Noin neljä viidesosaa henkilöauton uraväleistä pysyi ennallaan ja vajaa yksi viidennes muuttui raskaan ajoneuvon uraväliksi. Keskimääräinen muutos uraväleissä oli noin 130 mm.

Kesän uraväleistä noin kolme neljäsosaa oli henkilöauton uravälejä ja yksi neljännes raskaan ajoneuvon uravälejä.

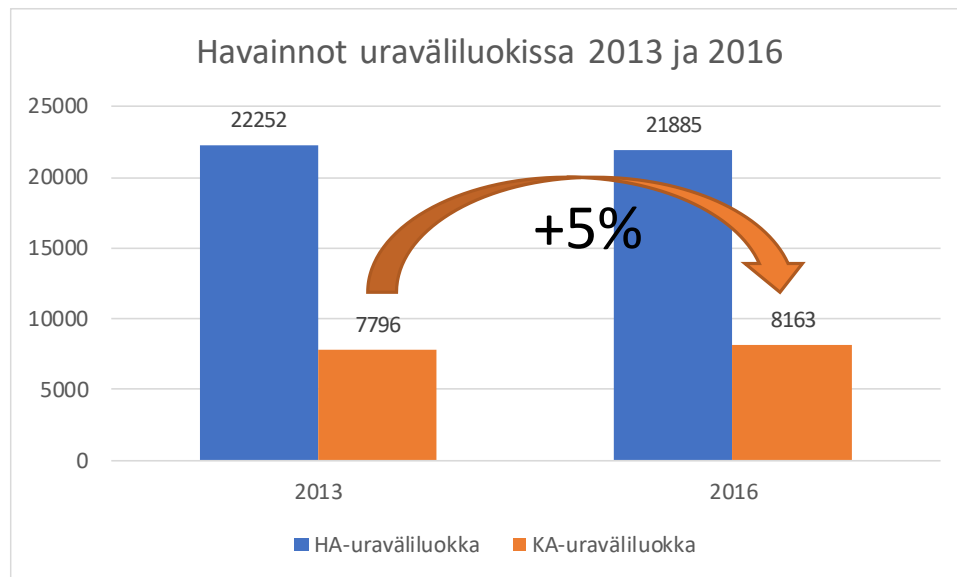
Taulukko 7. Uraväliluokat ja niiden muutos vuodesta 2013 vuoteen 2016.

Kevätmittaukset 2013 uraväliluokittain (kpl)					Luokkasiirtymät (%)					Uravälin muutos (mm/3v)				
2013->2016		Uraväliluokka 2016			2013->2016		Uraväliluokka 2016			2013->2016		Uraväliluokka 2016		
		1400-1700	>1700	Yht.			1400-1700	>1700	Yht.			1400-1700	>1700	Yht.
		2	3			2	3			2	3			
2013	2	2772	553	3325	2	83 %	17 %	66 %	2	10	130		30	
	3	550	1180	1730	3	32 %	68 %	34 %	3	-123	-4		-42	
	Yht.	3322	1733	5055	Yht.	66 %	34 %	100 %	Yht.	-12	39		5	
Kesämittaukset 2013 uraväliluokittain (kpl)					Luokkasiirtymät (%)					Uravälin muutos (mm/3v)				
2013->2016		Uraväliluokka 2016			2013->2016		Uraväliluokka 2016			2013->2016		Uraväliluokka 2016		
		1400-1700	>1700	Yht.			1400-1700	>1700	Yht.			1400-1700	>1700	Yht.
		2	3			2	3			2	3			
2013	2	16511	2416	18927	2	87 %	13 %	76 %	2	10	133		26	
	3	2052	4014	6066	3	34 %	66 %	24 %	3	-132	-10		-51	
	Yht.	18563	6430	24993	Yht.	74 %	26 %	100 %	Yht.	-5	44		7	

Tarkasteltaessa havaintojen lukumääriä henkilöautojen ja raskaiden ajoneuvojen uraväliluokissa voitiin todeta, että havaintojen määrä kasvoi aikavälillä 2013–2016 raskaiden ajoneuvojen uraväliluokassa noin 5 % ja vastaavasti väheni henkilöautojen uraväliluokassa (Kuva 28). Tästä voidaan tehdä kaksi johtopäätöstä:

- joko raskaan liikenteen määrä on kasvanut (normaali liikenteen kasvu) aikavälillä 2013–2016

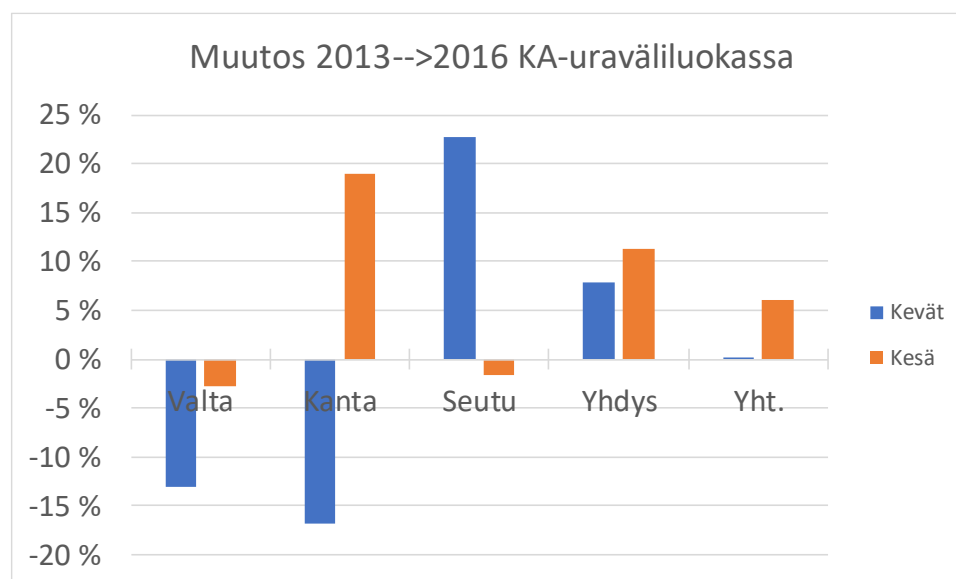
- tai raskaan liikenteen uria aiheuttava vaikutus on kasvanut (ajoneuvoasetuksen muutos) aikavälillä 2013–2016



Kuva 28. KA-uraväliluokan kasvu noin 5 %/3v (36.7 km).

Tarkasteltaessa uraväliluokkien muutoksia tien toiminnallisten luokkien mukaan, voitiin havaita, että (Kuva 29):

- kuorma-autojen uraväliluokka kasvoi kevätmittauksissa seutu- ja yhdysteillä ja kesämittauksissa kanta-, seutu- ja yhdysteillä.
- kevätmittauksissa kuorma-autojen uraväliluokka pieneni valta- ja kanta-teillä



Kuva 29. Muutos 2013–2016 KA-uraväliluokissa tieluokittain.



Uraväliluokkien muuttumista henkilöautojen uraväliluokasta kuorma-autojen uraväliluokkaan tarkasteltiin jakamalla kaistan leveys kolmeen leveysluokkaan (Taulukko 8). Tarkastelun perusteella voitiin todeta, että:

- siirtymä henkilöautojen uraväliluokasta kuorma-autojen uraväliluokkaan oli välillä 12,3–16,7 % ja se kasvoi kaistan leveysluokan kasvaessa
- pysyminen kuorma-autojen uraväliluokassa vaihteli välillä 61,1–71,5 % ja se kasvoi kaistanleveysluokan kasvaessa
- toisin sanoen kaistan leveys korreloi kuorma-autojen uraväliluokan osuuden suhteen positiivisesti (mitä leveämpi kaista sitä enemmän kuorma-autosta johtuvaa uraväliä)

*Taulukko 8. Kaistaleveyden vaikutus uraväliluokkien muutokseen (2->3 = siirtymä henkilöautojen uraväliluokasta kuorma-autojen uraväliluokkaan, 3->3 = pysyminen kuorma-autojen uraväliluokassa).*

Kaistan leveys	2->3	3->3
	Siirtyy	Pysyy
Alle 2.75 m	12.3 %	61.1 %
2.75-3.5	13.1 %	66.1 %
yli 3.5 m	16.7 %	71.5 %

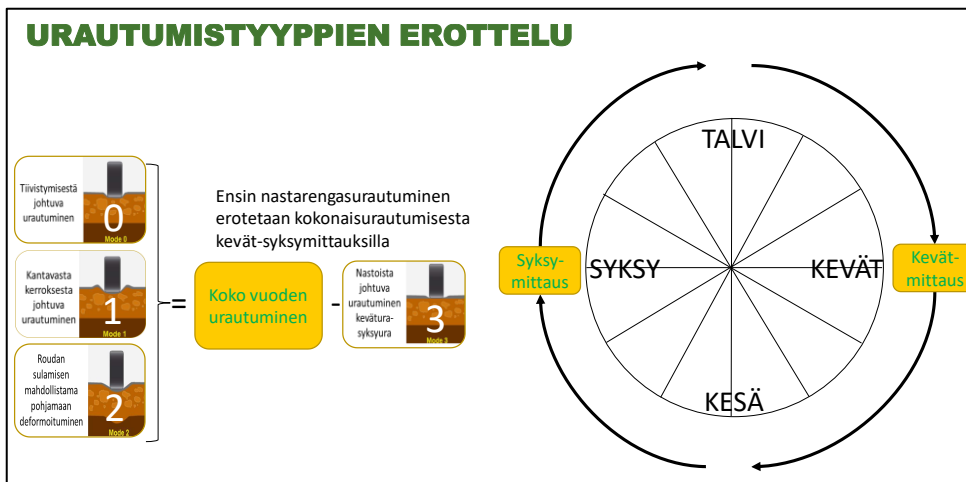
Uravälin kehittyminen oli kaistanleveyden suhteen epälooginen.

## 4 Koesuunnitelma

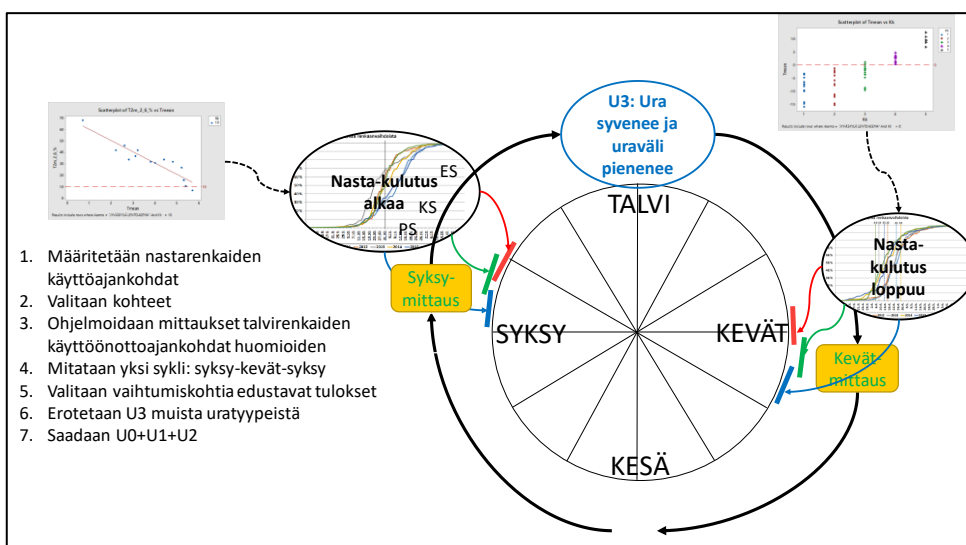
### 4.1 Kesä-talviura vastemuuttujana

#### 4.1.1 Nastarenkaista johtuva urautuminen

Ensimmäinen tehtävä oli erottaa nastarenkaista aiheutuva talvenaikainen kulumisen koko vuoden aikana tapahtuneesta urautumisesta ja saada siten esille ne komponentit urautumisesta, joita tämä tutkimus koski. Tämä on tehtävissä periaatteessa erittäin yksinkertaisesti. Kesä- ja talviuran erottaminen toisistaan suunniteltiin tehtäväksi **ajottamalla mittauksia** sopiviin ajankohtiin ja muodostamalla **uusia tunnuslukuja** ja niiden ryhmiä. Periaatekuva mittausten ajoittamisesta on esitetty ohessa. Kun vältetään sellaisia kohteita, joille on kesän aikana tehty päällystystoimenpide, niin urautumistyyppi 0 voidaan jättää vähemmälle huomiolle ja lopputuloksena saadaan uratyypit 1 ja 2.



Kuva 30. Urautumistyyppien karkea erottelu syksy- ja kevätmittauksin.

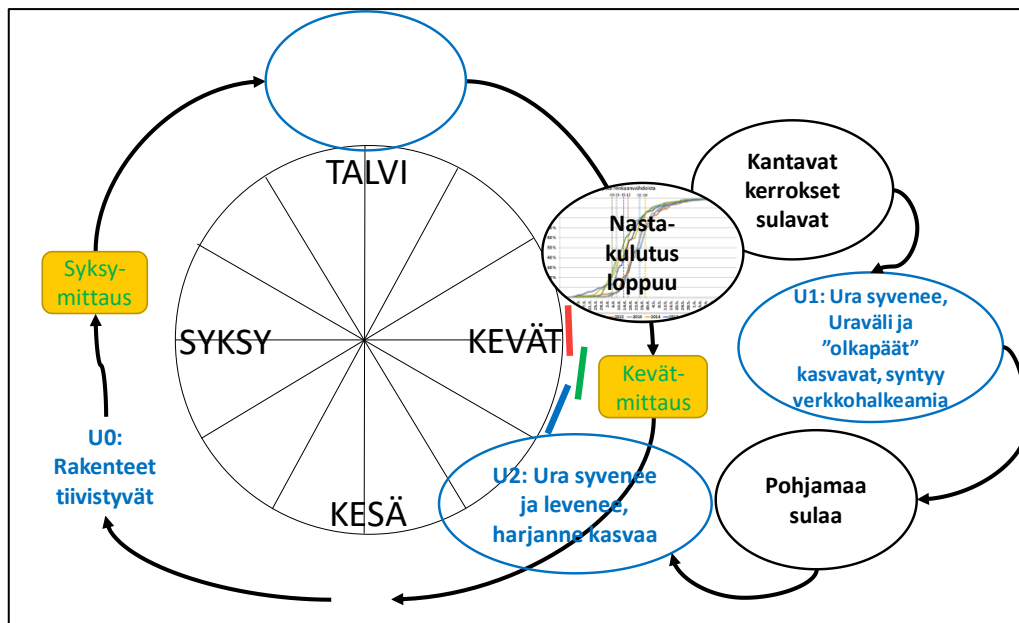


Kuva 31. Kulumisuran erottaminen syksy-kevät-syksymittauksin huomioiden talven tulo- ja päättymisen Etelä-, Väli- ja Pohjois-Suomessa.

Jotta nastarenkaista johtuva urautuminen pystyttäisiin erottamaan muusta urautumisesta, pitäisi tietää tarkemmin nastarenkaiden käyttöaika. Vaihtokohdat kyllä tiedetään noin kuukauden tarkkuudella, mutta niitä säätelee voimakkaasti varsinkin syksyllä sää. Vuorokauden lämpötilat ja sateiden määrät ohjaavat renkaiden vaihdon alkamista ja edistymistä maan eri osissa. Pohjois-Suomessa nastojen käytön osuus ja aika ovat muuta maata suuremmat.

#### 4.1.2 Raskaasta liikenteestä johtuva urautuminen

Raskaasta liikenteestä aiheutuva urautuminen alkaa keväällä kantavan kerroksen sulaessa. Kevään mittaukset tulee ajoittaa siten, että tämä ajankohta saadaan katettua. Kantavan kerroksen sulaessa pitäisi hypoteesin mukaan syntyä urautumistyyppiä 1, jonka tunnusmerkkejä ovat uran syveneminen, uravälin kasvu ja uran reunoille syntyvät "olkapäät" (Kuva 32).



Kuva 32. Deformaatiouran tunnistaminen keväällä.

Ykköstyypin urautumiseen vaikuttava mekanismi on rengastyypin ja päällystepaksuuden määräämä ilmiö, missä yksittäisrenkaan ja paripyörän vaikutus riippuvat siitä, mille syvyydelle päällystepaksuus mahdollistaa maksimileikkausjännitysten muodostumisen. Jos päällystepaksuus on ohut, niin yksittäisrenkaan maksimileikkausjännitys osuu varmimmin kantavan kerroksen alueelle (mahdollisesti sen yläosaan). Tällöin myös uravälin pitäisi kasvaa, sillä yksittäisrenkain varustetun akselin raideväli on etuakseleilla 1,8 m ja muilla yksittäisakseleilla 2,1 m. Jos taas päällystepaksuus on suuri, vastaava maksimileikkausjännitys saattaa pysyä päällystekerroksessa ( $z=W/3=250/3=80$  mm), jolloin mahdollisesti löystynyt kantava kerros säästyisi ylikuormittumisella.

Paripyörärenkaiden kohdalla leikkausjännityksen maksimikohta on syvemmällä. ( $z=W/3=600/3=200$  mm). Ohuen päällysteen tilanteessa (esim. 80 mm) maksimikohta osuu kantavaan kerroksen alaosaan. Paksun päällysteen tilanteessa (esim. 200 mm) maksimikohta taas osuu päällysteen ja kantavan kerroksen rajapintaan tai kantavan yläosaan. Uravälin suuruutta tässä tilanteessa on vaikea arvioida, koska raideväli on 1,8 m mutta paripyörien kattama alue on laaja (raideväliltään 1,2–2,4 m).

Raskaasta liikenteestä johtuva urautuminen jatkuu edelleen kantavan kerroksen ollessa jo sulanut, mutta pohjamaan alkaessa sulaa. Tällöin syntyy uratyyppejä 2, jonka tunnusmerkkejä ovat edelleen syvenevä ja levenevä ura ja harjanteen kasvu (Kuva 32).

Tunnuslukuja, joilla saatetaan pystyä havaitsemaan oheisia ilmiöitä, on lueteltu alla olevassa listassa. Tunnusluvun kasvusuunta on esitetty kummallekin uratyypille. Sarake "PTM/SK" kuvaa pystytäänkö tunnusluku mittaamaan perinteisellä mittaustekniikalla vai edellyttääkö se skannaus- tai muuta mittaustekniikkaa. Kuten listasta on havaittavissa, urautumistyyppien 1 ja 2 eroja ei pystytä havaitsemaan PTM-tunnusluvuista (lihavoidut tunnusluvut) vaan niiden havaitsemiseen tarvittaaneen skannauksen perusteella muodostettavia uusia tunnuslukuja.

Mitattavia tunnuslukuja:	Uratyyppe 1	Uratyyppe 2	PTM/SK
• Vasemman uran leveys (mm)	ei muutu	<b>kasvaa</b>	-/+
• <b>Vasemman uran syvyys (mm)</b>	<b>kasvaa [11]</b>	<b>kasvaa</b>	+/+
• Vasemman uran pinta-ala (cm <sup>2</sup> )	ei muutu	<b>kasvaa</b>	-/+
• Vasemman uran "olkapäät" (mm)	<b>kasvaa [11]</b>	<b>vähenee</b>	-/+
• Vasemman uran max jyrkkyys	<b>kasvaa</b>	ei muutu	-/+
• Oikean uran leveys (mm)	ei muutu	<b>kasvaa</b>	-/+
• <b>Oikean uran syvyys (mm)</b>	<b>kasvaa [11]</b>	<b>kasvaa</b>	+/+
• Oikean uran pinta-ala (cm <sup>2</sup> )	ei muutu	<b>kasvaa</b>	-/+
• Oikean uran "olkapäät" (mm)	<b>kasvaa [11]</b>	<b>vähenee</b>	-/+
• Oikean uran max jyrkkyys	<b>kasvaa</b>	ei muutu	-/+
• <b>Maksimiuran syvyys (mm)</b>	<b>kasvaa</b>	<b>kasvaa</b>	+/+
• <b>Urautunut pinta-ala (cm<sup>2</sup>)</b>	<b>kasvaa</b>	<b>kasvaa</b>	+/+
• <b>Uraväli (mm)</b>	<b>kasvaa [20]</b>	<b>kasvaa [20]</b>	+/+
• <b>Harjanteen syvyys (mm)</b>	<b>kasvaa</b>	<b>kasvaa</b>	+/+
• Harjanteen leveys (mm)	?	?	-/+
• Harjanteen pinta-ala (cm <sup>2</sup> )	?	?	-/+
• Harjanteen kouruväli (mm)	?	?	-/+
• Kantavuus	<b>vähenee</b>	<b>vähenee</b>	PPL
• SCI	<b>kasvaa</b>	ei muutu	PPL
• BCI	ei muutu	<b>kasvaa</b>	PPL

#### 4.1.3 Ominaisurautuminen

Urautumisen tarkasteluissa on useita taustamuuttujia. Yhden muuttujan tarkastelut ovat liian pelkistettyjä ja useiden muuttujien laittaminen graafisiin tarkasteluihin tuottaa hankalasti luettavia kuvia. Siksi ominaisurautuminen olisi parempi vaihtoehto tarkastella urautumista, koska urautumista aiheuttava liikenne on siinä mukana. Ominaisurautumista kuvaavat tunnusluvut tuotetaan jakamalla talvenaikainen kehitys kevyiden ajoneuvojen ylityskerroilla ja kesänaiikainen kehitys raskaan liikenteen aiheuttamilla kuormituskerroilla (esim. kuormituskertaluvulla).

Kevyen ajoneuvoliikenteen ylityskerrat saadaan vuoden keskivuorokausiliikenteen ja syksyn ja kevään mittauspäivien erotuksen avulla. Vastaavasti raskaan liikenteen aiheuttama kuormitus voidaan laskea esim. kuormituskertalukukertymällä.

Ominaisurautumista kuvaavat tunnusluvut ovat siten seuraavat:

- talven urautuminen (mm/milj.ylitystä)
- kesän urautuminen (mm/milj.std.akselia)
- vastaavalla tavalla harjanteen, uravälin ja ura-alan muutokset

#### 4.1.4 Suhdetunnusluvut

Eräissä tutkimuksissa oli päädytty ehdottamaan, että raskaan liikenteen aiheuttamaa deformaatiota voidaan tarkastella suhdetunnuslukujen avulla. Oikean ja vasemman uran suhteen pitäisi olla nastarengaskulutuksessa lähellä ykköstä. Jos se poikkeaa merkitsevästi ykkösestä, on jokin muu syy vaikuttamassa. Ura-syvyuden ja uraleveyden suhde antaa viitteitä raskaan liikenteen vaikutuksesta. Deformaatiouran ja kulumisuran suhde tietysti kertoo, miten merkittävä raskaan liikenteen vaikutus on. Suhdetunnusluvuille on kuitenkin ominaista, että niistä on melko vähän esillä tutkimustuloksia.

Tunnuslukujen suhteita:	Uratyyppe 1	Uratyyppe 2
• Maksimiura/Harjanne	?	?
• Oikea ura/Vasen ura	[13]	[13]
• Keskim. uraleveys/uraväli	?	?
• Deformaatioura/kulumisura	<b>kasvaa</b>	<b>kasvaa</b>
• Deformaatioura/kantavuus	<b>kasvaa</b>	<b>kasvaa</b>
• Deformaatiosuhde (%)	<b>kasvaa [11]</b>	<b>kasvaa [11]</b>

## 4.2 Selittävät tekijät

### 4.2.1 Liikenne

Selittäviksi tekijöiksi oli helppo valita liikennemääriä kuvaavat KVL ja KVLr sekä raskaan liikenteen kuormituskertaluku. Vähäliikenteisten teiden liikennemäärät tarkistettiin erillisillä laskennoilla ja mahdollisesti vanhentunutta tierekisterin KVL-tietoa päivitettiin niillä. Myös LAM-tietoa oli mahdollista käyttää joiltakin kohteilta.

Tyypilliset liikennemääräluokat ovat määritettävissä luokkarajoilla 6000, 3000, 1500 ja 350 ajon/vrk. Raskaan liikenteen luokituksessa käytettiin samoja rajoja olettaen, että niiden osuus oli 10 %.

### 4.2.2 Tietekijät

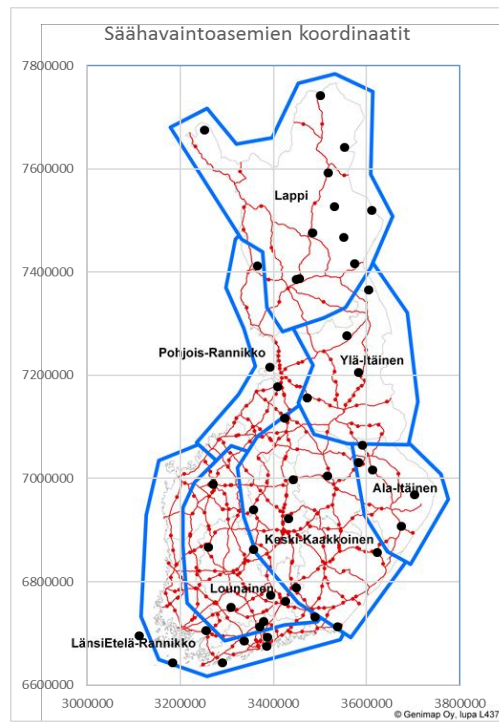
Tyypillisesti käytettävissä olevat tietekijät olivat niitä, jotka ovat saatavissa YHA-järjestelmästä täydennettynä päällystepaksuudella ja pohjamaan maalajiluokalla.

### 4.2.3 Sää ja ilmasto

Ilmatieteen laitokselta oli saatavissa mitattua säädataa 47 säähavaintoasemalta. Säädata oli kerättävissä halutuilta kohteiden lähimaastossa olleilta sääasemilta. Pääasialliset säätiedot koskivat lämpötiloja ja sademääriä, joista oli

mahdollista muodostaa muita tunnuslukuja vuodenaikojen ajoittumisen ja kes-  
ton sekä helteiden, sateisuuden ja pakkasten määrittämiseen. Ilmastovyöhyk-  
keet oli määritetty aiemmissa tutkimuksissa ja tässä päätettiin käyttää niitä  
(Kuva 33).

Ilmastodata on vähintään 30 vuoden ajalta keskiarvoistettua säädataa. Ilmastoa  
voidaan huomioida tarkastelemalla jo valmiiksi muodostettuja ilmastoalueita,  
johon maa on jaettu aikaisemmin havaittujen mittausten mukaan (Kuva 33).

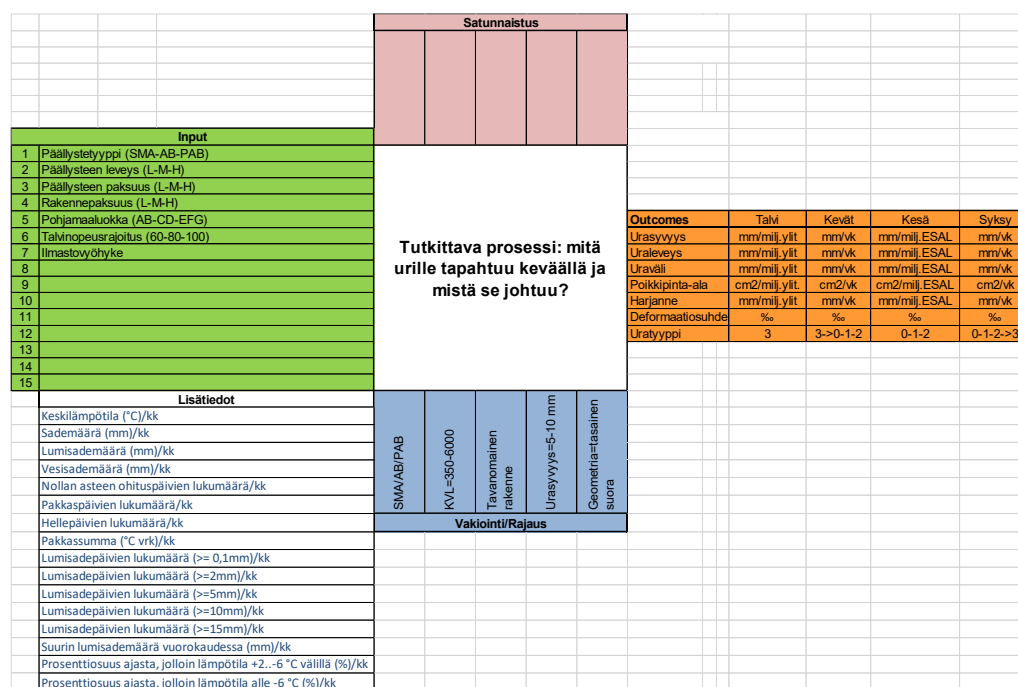


Kuva 33. Säähavaintoasemat ja ilmastovyöhykkeet.

## 4.3 IPO-kaavio

Kokeessa haluttiin tarkastella uramuotojen 0-1-2-3 esiintymistä ja syitä. Tavoitteena oli erotella uramuotoja toisistaan niin hyvin kuin mahdollista. Pääasiallinen vastemuuttuja oli urasyvyys ja sen kehittyminen tietyllä aikavälillä sen aiheuttajayksikköä kohti. Nastarengasurautumisessa aiheuttajayksiköitä ovat nastallisten henkilöautojen ylityskerrat. Raskaan liikenteen urautumisessa aiheuttajayksiköitä ovat raskaiden ajoneuvojen kuormituskerrat standardiakselina.

Uramuoto määräytyy uran eri mittojen ja ajankohdan perusteella. Uran mittoja olivat syvyys, leveys, pinta-ala, uraväli ja uran reunan jyrkkyys sekä niistä muodostettavat erilaiset kombinaatiot. Vastemuuttujat ovat IPO-kaaviossa kohdassa outcomes.



Kuva 34. Tutkimuksen IPO-kaavio.

Kokeessa tutkitaan input-muuttujien vaikutusta vastemuuttujiin. Input-muuttujat otettiin juurisyyanalyysistä niiden tekijöiden joukosta, jotka asettuivat vaikuttavuudeltaan listan kärkeen. Input-muuttujien määrää rajoitti niiden saataisuus.

Helppoja tekijöitä tiedonkeruun kannalta olivat päällystetyyppi, päällysteen leveys, talvinopeusrajoitus. Uusina tekijöinä olivat saatavissa pohjamaaluokka sekä ilmastoalue. Päällysteen ja rakenteen paksuuksien osalta jäätin epävarmoiksi, josko niitä tietoja on saatavissa. Päällystepaksuuksien mittaus verkko-tasolla on aloitettu ja saataneen loppuun vuoden 2019 aikana. Ainakin osalle kohteista paksuustieto on saatavissa.

Koetta yritettiin stabiloida vakioimalla tai rajaamalla tiettyjä tekijöitä. Niitä olivat päällystetyyppi (SMA-AB-PAB), liikennemäärä (350–6000 ajon/vrk), rakennettu tierakenne, urasyvyys (5–10 mm), ja tien geometria.

Näitä periaatteita silmällä pitäen valittiin kohteita eri ilmastoalueilta siten, että mukaan tuli erilaisia kohteita. Lopullinen koesuunnitelma pitää seuloa valittujen kohteiden sisältä erikseen.

## 4.4 Kohteet

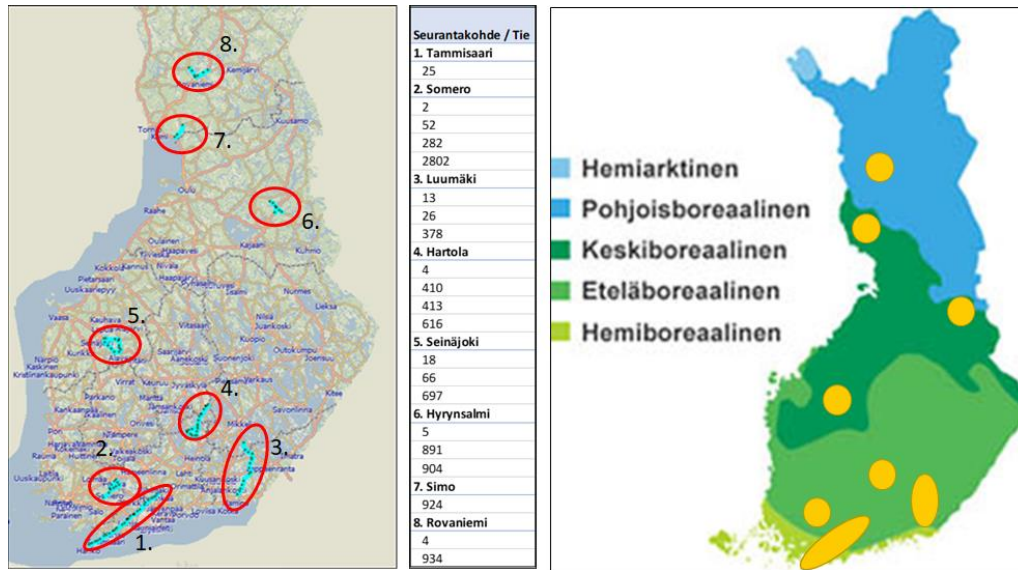
Kahdeksalta ilmastoalueelta valittiin 90 tieosaa, joiden yhteispituus oli noin 730 km. Kohteet edustivat erilaisia ilmastoalueita, erilaisia teitä ja erilaisia pohjamaaolosuhteita. Kunkin alueen kohteet valittiin, siten, että ne muodostivat helposti ajettavan mittausreitit.



Taulukko 9. Kohteet ja eräitä tietoja niistä (valta-arvoja).

Kohdeyhmä	Tie	Osa	Pituus (km)	Päälyste	Maks raekoko	Massa määrä	KVL	KVLR	Tekninen tp	Ikä v. 2017	Päälysteen leveys	Ilmastoalue	Pääasiallinen pohjamaalukko
1. Tammisaari	25	2	4.0	AB	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	10	9.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	3	7.2	AB	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	10	10.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	4	11.0	AB	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	10	10.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	5	9.1	SMA/AB	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	7	10.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	6	9.6	SMA	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	3	10.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	7	15.5	SMA	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	7	9.1	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	8	2.8	SMA	16	100	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	3	9.3	Etelä-rannikko	1_Eloperäinen
1. Tammisaari	25	9	6.4	SMA	16	99	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	3	12.5	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	11	11.7	SMA	16	100	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	3	11.4	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	12	12.1	SMA	16	99	1_KVL=6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	3	9.5	Etelä-rannikko	1_Eloperäinen
1. Tammisaari	25	13	6.0	SMA	16	90	1_KVL=6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	6	9.5	Etelä-rannikko	2_Hieno
1. Tammisaari	25	14	4.0	SMA	16	90	1_KVL=6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	7	11.5	Etelä-rannikko	5_Kallio
1. Tammisaari	25	15	6.5	SMA	16	90	2_KVL=3000-6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	12	12.0	Etelä-rannikko	5_Kallio
1. Tammisaari	25	16	21.2	SMA	16	93	2_KVL=3000-6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	5	9.1	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	18	7.7	SMA	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	2	9.1	Etelä-rannikko	2_Hieno
1. Tammisaari	25	19	12.8	SMA	16	92	1_KVL=6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	19	8.6	Etelä-rannikko	2_Hieno
1. Tammisaari	25	20	13.4	SMA	16	76	1_KVL=6000	KVL>600	1_rakentaminen	16	8.3	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	21	1.4	SMA	16	68	1_KVL=6000	KVL>600	1_rakentaminen	54	8.5	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	22	3.5	SMA	16	56	1_KVL=6000	KVL>600	1_rakentaminen	9	7.7	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	23	12.0	SMA	16	69	1_KVL=6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	5	8.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	24	10.9	SMA	16	54	1_KVL=6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	4	10.3	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	25	21.0	AB	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL>600	2_suuntauksen parantaminen	4	10.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	27	7.8	AB	16	41	2_KVL=3000-6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	3	10.0	Etelä-rannikko	2_Hieno
1. Tammisaari	25	28	11.6	SMA	16	95	2_KVL=3000-6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	2	10.0	Etelä-rannikko	4_Moreeni
1. Tammisaari	25	29	12.0	AB	16	26	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	7	10.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	30	4.4	SMA/AB	16	24	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	8	10.0	Etelä-rannikko	3_Karkea
1. Tammisaari	25	31	7.9	SMA	16	27	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	14	9.9	Etelä-rannikko	2_Hieno
1. Tammisaari	25	32	11.0	SMA	16	89	1_KVL=6000	KVL>600	1_rakentaminen	10	10.3	Etelä-rannikko	2_Hieno
2. Somero	2	21	5.8	SMA	16	75	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	5	8.2	Lounainen	7_Ei tiedossa
2. Somero	2	22	4.8	SMA	16	90	2_KVL=3000-6000	KVL>600	1_rakentaminen	6	8.2	Lounainen	2_Hieno
2. Somero	52	15	23.2	AB	16	75	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	1_rakentaminen	10	7.6	Lounainen	7_Ei tiedossa
2. Somero	282	1	6.8	AB	16	100	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	3_rakenteen parantaminen	2	7.0	Lounainen	2_Hieno
2. Somero	282	6	9.7	AB	16	120	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	3_rakenteen parantaminen	3	7.0	Lounainen	2_Hieno
2. Somero	2802	1	6.5	PAB-V	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	28	6.8	Lounainen	2_Hieno
2. Somero	2802	2	4.7	PAB-V	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	13	6.5	Lounainen	2_Hieno
2. Somero	2802	3	6.5	PAB-V	16	98	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	13	6.5	Lounainen	4_Moreeni
3. Luumäki	13	230	11.8	AB	16	58	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	4	7.5	Länsi/etelärann	6_Seka
3. Luumäki	13	231	6.7	AB	16	67	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	5	7.5	Länsi/etelärann	6_Seka
3. Luumäki	13	232	6.4	AB	16	79	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	6	7.5	Länsi/etelärann	6_Seka
3. Luumäki	26	4	6.3	SMA	16	100	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	2	7.5	Länsi/etelärann	3_Karkea
3. Luumäki	26	5	3.6	SMA	16	100	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	2	7.5	Länsi/etelärann	5_Kallio
3. Luumäki	26	6	7.3	SMA	16	100	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	2	7.5	Länsi/etelärann	5_Kallio
3. Luumäki	26	7	7.7	SMA	16	100	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	2	7.1	Länsi/etelärann	3_Karkea
3. Luumäki	26	8	15.1	SMA	16	97	3_KVL=1500-3000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	3	7.2	Länsi/etelärann	4_Moreeni
3. Luumäki	378	1	7.0	AB	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	2	6.5	Länsi/etelärann	4_Moreeni
3. Luumäki	378	2	7.5	AB	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	2	6.5	Länsi/etelärann	5_Kallio
3. Luumäki	378	4	7.9	AB	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	2	6.5	Länsi/etelärann	6_Seka
3. Luumäki	378	5	1.9	AB	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	2	6.5	Länsi/etelärann	2_Hieno
3. Luumäki	378	6	7.5	AB	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	2	6.5	Länsi/etelärann	1_Eloperäinen
4. Hartola	4	214	6.6	SMA	16	100	1_KVL>6000	KVL>600	1_rakentaminen	4	10.0	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	4	215	4.9	SMA	16	100	1_KVL>6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	4	10.0	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	4	216	4.0	SMA	16	100	1_KVL>6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	4	10.0	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	4	217	2.9	SMA	16	100	1_KVL>6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	4	10.0	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	4	218	6.1	AB	16	31	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	2	7.6	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	4	219	6.6	AB	16	23	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	4	7.8	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	4	220	4.5	SMA	16	76	1_KVL=6000	KVL>600	3_rakenteen parantaminen	5	10.3	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	410	1	2.6	AB	16	80	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	8	7.4	Lounainen	5_Kallio
4. Hartola	410	2	5.0	AB	16	80	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	8	7.5	Lounainen	4_Moreeni
4. Hartola	410	3	3.9	AB	16	80	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	8	7.5	Lounainen	4_Moreeni
4. Hartola	410	4	5.4	AB	16	80	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	8	7.5	Lounainen	2_Hieno
4. Hartola	413	1	10.3	AB	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	5	7.5	Lounainen	4_Moreeni
4. Hartola	413	3	6.2	AB	16	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	10	7.5	Lounainen	2_Hieno
4. Hartola	413	4	4.0	AB	16	101	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	14	8.0	Lounainen	5_Kallio
4. Hartola	616	1	9.5	PAB-B	20	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	29	6.7	Lounainen	3_Karkea
4. Hartola	616	3	4.5	PAB-B	20	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	29	6.5	Lounainen	6_Seka
4. Hartola	616	4	4.0	PAB-B	20	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	29	6.5	Lounainen	6_Seka
5. Seinäjoki	18	14	6.0	AB	16	95	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	3_rakenteen parantaminen	9	9.8	Lounainen	1_Eloperäinen
5. Seinäjoki	18	15	7.7	AB	16	84	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	3_rakenteen parantaminen	8	8.7	Lounainen	4_Moreeni
5. Seinäjoki	18	16	7.1	PAB-B	16	84	3_KVL=1500-3000	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	8	6.8	Lounainen	1_Eloperäinen
5. Seinäjoki	18	17	7.2	PAB-B	16	100	3_KVL=1500-3000	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	8	7.4	Lounainen	1_Eloperäinen
5. Seinäjoki	18	18	7.8	AB	16	100	2_KVL=3000-6000	KVL=150-300	3_rakenteen parantaminen	3	7.6	Lounainen	4_Moreeni
5. Seinäjoki	66	25	4.3	AB	16	30	2_KVL=3000-6000	KVL=300-600	1_rakentaminen	5	8.7	Lounainen	2_Hieno
5. Seinäjoki	66	26	3.2	AB	16	32	2_KVL=3000-6000	KVL=300-600	1_rakentaminen	1	18.3	Lounainen	7_Ei tiedossa
5. Seinäjoki	66	27	8.0	AB	16	80	2_KVL=3000-6000	KVL=300-600	1_rakentaminen	1	8.0	Lounainen	7_Ei tiedossa
5. Seinäjoki	697	4	2.9	AB	16	36	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	2_suuntauksen parantaminen	12	7.6	Lounainen	1_Eloperäinen
5. Seinäjoki	697	5	15.3	AB	16	29	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	2_suuntauksen parantaminen	9	7.5	Lounainen	1_Eloperäinen
5. Seinäjoki	697	7	5.3	AB	16	36	3_KVL=1500-3000	KVL=150-300	2_suuntauksen parantaminen	14	7.9	Lounainen	1_Eloperäinen
6. Hyrynsalmi	5	315	7.8	AB	16	40	2_KVL=3000-6000	KVL=150-300	3_rakenteen parantaminen	12	7.7	Yli-täinen	7_Ei tiedossa
6. Hyrynsalmi	891	1	1.7	AB	16	117	2_KVL=3000-6000	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	14	9.0	Yli-täinen	7_Ei tiedossa
6. Hyrynsalmi	891	2	6.7	PAB-V	16	59	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	17	7.2	Yli-täinen	7_Ei tiedossa
6. Hyrynsalmi	891	3	6.0	PAB-V	16	34	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	4_kevyt rakenteen parantaminen	20	6.0	Yli-täinen	7_Ei tiedossa
6. Hyrynsalmi	904	13	4.7	PAB-B	18	100	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	27	6.0	Yli-täinen	7_Ei tiedossa
6. Hyrynsalmi	904	14	6.6	PAB-B	18	103	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	2_suuntauksen parantaminen	27	6.2	Yli-täinen	7_Ei tiedossa
7. Simo	924	1	6.05	AB	16	120	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	3	6.6	Pohjoisrannikko	7_Ei tiedossa
7. Simo	924	2	17.92	AB	16	120	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	3_rakenteen parantaminen	3	6.5	Pohjoisrannikko	7_Ei tiedossa
8. Rovaniemi	4	503	20.29	AB	16	44	2_KVL=3000-6000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	9	7.6	Lappi	4_Moreeni
8. Rovaniemi	4	504	19.34	AB	16	95	2_KVL=3000-6000	KVL=300-600	2_suuntauksen parantaminen	9	7.5	Lappi	7_Ei tiedossa
8. Rovaniemi	934	1	4.94	PAB-B	16	120	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	4_kevyt rakenteen parantaminen	9	6.7	Lappi	4_Moreeni
8. Rovaniemi	934	2	16.21	PAB-V	16	70	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	4_kevyt rakenteen parantaminen	19	6.5	Lappi	4_Moreeni
8. Rovaniemi	934	3	14.68	PAB-B	16	116	4_KVL=350-1500	KVL=35-150	4_kevyt rakenteen parantaminen	5	6.5	Lappi	4_Moreeni

Kohteiden valinnassa kiinnitettiin huomiota siihen, että mukana oli eri päällystetyypin teitä eri levyisinä ja erilaisissa liikennemääräluokissa. Rajaavina ehtoina oli, että kohteen teknisen toimenpiteen piti olla joko rakentaminen, suuntauksen parantaminen tai rakenteen parantaminen ja pohjamaan tyyppi piti olla tiedossa (muutamalla kohteella ei näitä tietoja ollut). Kohteen valinnan painoarvoon vaikutti lisäksi se, jos sillä oli percoasema tai LAM-piste. Percoasemien avulla voidaan seurata roudan sulamista ja LAM-pisteiden avulla saadaan tarkempi tieto liikenteestä ja ajoneuvotyypeistä.

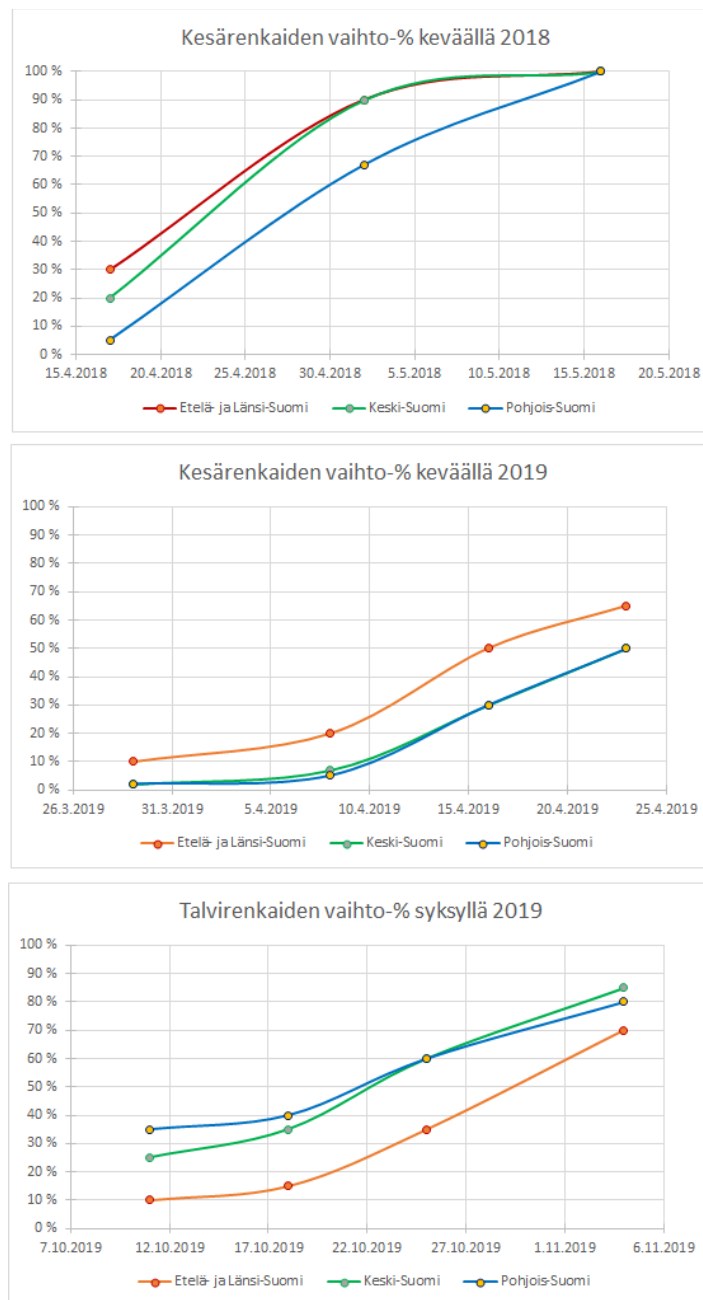


Kuva 35. Valitut kohteet kartalla.

## 5 Mittaukset ja taustamuuttujat

### 5.1 Nastarenkaiden käyttö

Uramittausten ajoittamista varten seurattiin sään kehittymistä ja sen vaikutusta nastarenkaiden käyttöön. Renkaiden vaihtotilanteen kehittymistä kysyttiin Euromasterilta vaihtokauden aikana muutaman viikon ajan. Tuloksia seurattiin vain suuralueetasolla ja niitä käytettiin yhdessä säätietojen kanssa kohteiden uramittausten ajoittamisessa.

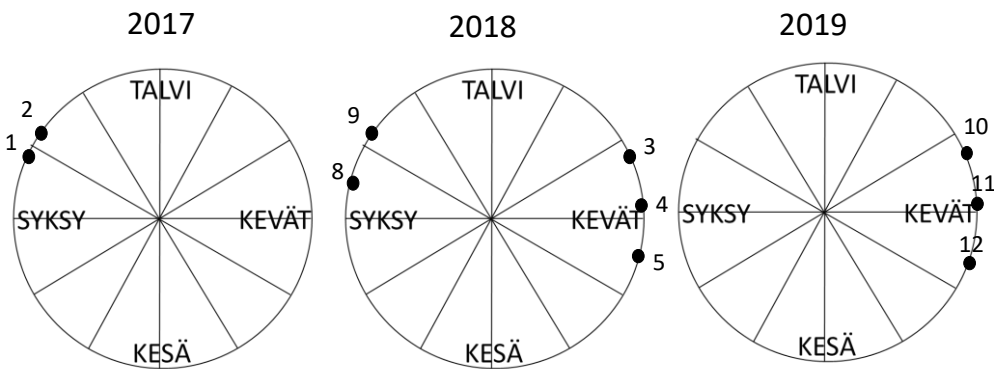


Kuva 36. Kesä- ja talvirenkaiden vaihtoprosentit keväisin ja syksyisin Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomessa 2018–2019.

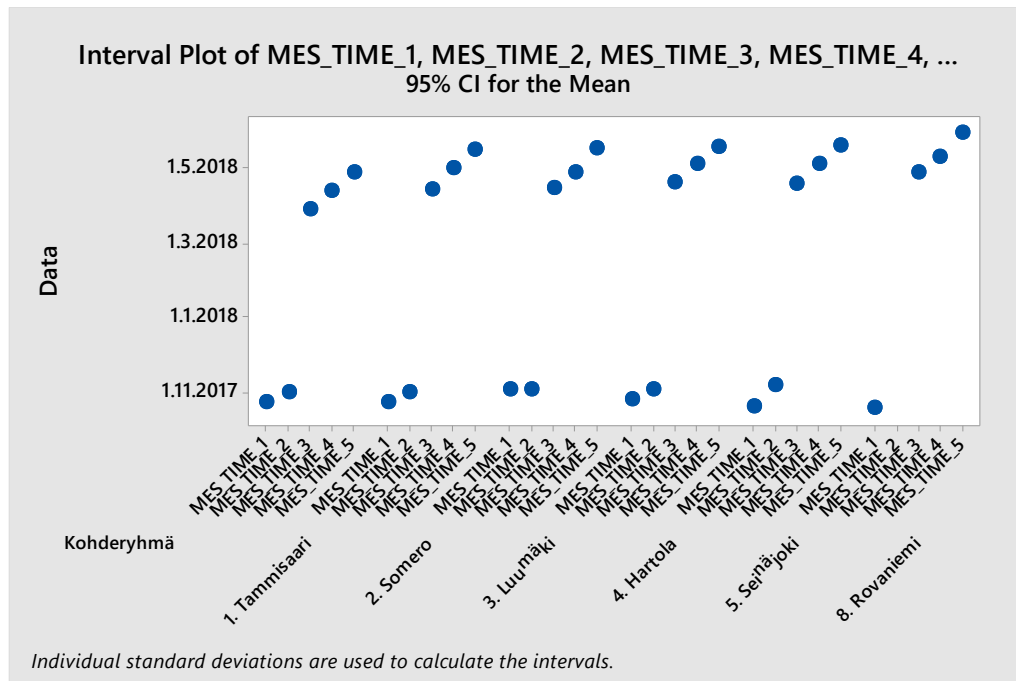
## 5.2 Uramittaukset

Kohteille suoritettiin kymmenen virallista mittauskertaa neljänä eri vuodenaikana sekä kesällä 2018 ylimääräinen mittaus osalle kohteita. Mittauskerrat on numeroitu 1–12.

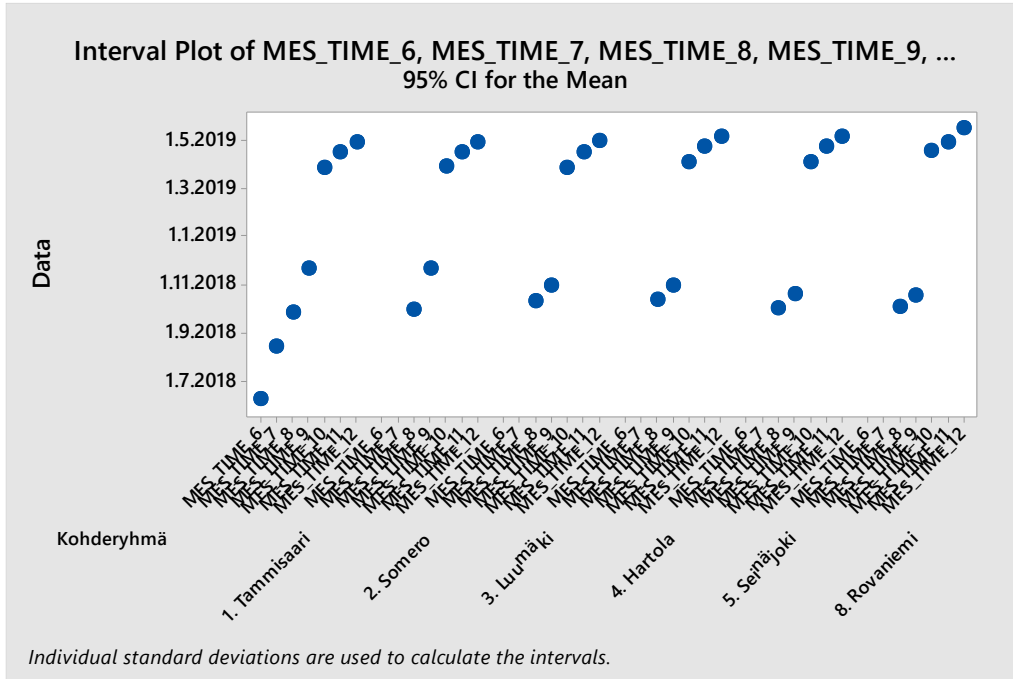
Ensimmäiset syksymittaukset (1&2) tehtiin aikavälillä 18.10.–8.11.2017. Seuraavat mittaukset (3&4&5) tehtiin keväällä 2018. Etelässä syksymittausten aikaväli oli pitempi kuin pohjoisessa, koska pohjoisessa mittauksia jouduttiin kiirehtiämään talventulon merkkien jo lähestyessä.



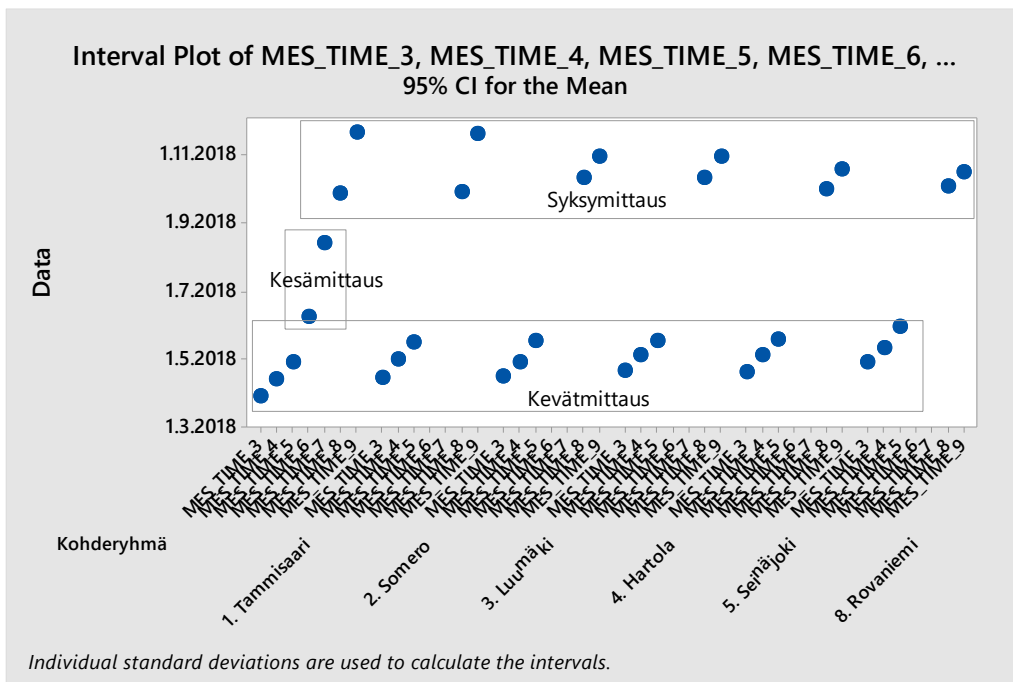
Kuva 37. Kohteille suoritettut mittaukset.



Kuva 38. Syksyn 2017 ja kevään 2018 mittauksen ajoittuminen alueittain.



Kuva 39. Syksyn 2018 ja kevään 2019 mittausten ajoittuminen alueittain.



Kuva 40. Mittaukset vuonna 2018 alueittain.

## 5.3 Liikennelaskennat

Osalla kohteista tierekisterin liikennetieto oli melko vanhaa ja siksi kohteille tehtiin täydentäviä liikennelaskentoja. Uudelleenlasketut liikennemäärät olivat paikoin jopa 20–30 % suurempia ja paikoin taas saman verran pienempiä kuin tierekisterin ennustettu tieto oli. Ylityskertojen laskennassa käytettiin täydennettyjä liikennemäärätietoja.

Taulukko 10. Pistekohtaisia liikennelaskennan tuloksia 2018.

Vuosi 2018	Laskentakohteet	Tieosoite			Viikkoliikenne tiedot														
		Tie	Tieosa	Etäisyys	Viikko 16			Viikko 17			Viikko 18			Viikko 19			Viikko 20		
					W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>
Somero	Piste 1	282	1	2304	2060	223	107	1917	179	78	2069	193	81						
	Piste 2	282	6	5413	2955	217	108	1855	174	77	2100	181	78						
	Piste 3	2802	1	3066	855	75	32	813	65	19	970	69	19						
	Piste 4	2802	2	2250	551	58	29	539	55	17	638	55	18						
	Piste 5	2802	3	4693	679	65	31	649	55	16	779	58	16						
Etelä-Pohjanmaa	Piste 6	18	15	1422				2182	156	64	2215	146	49	2472	161	55			
	Piste 7	66	27	5355				3304	308	223	3126	301	175	3513	339	191			
	Piste 8	697	4	422				2724	198	96	2635	191	75	3056	237	94			
	Piste 9	697	5	6244				2553	169	89	2394	141	66	2717	171	80			
	Piste 10	697	7	3720				2650	164	89	2556	163	83	2772	163	80			
Etelä-Karjala	Piste 11	13	232	6000				1996	401	297	2079	470	343	2282	437	309			
	Piste 12	378	1	1770				1161	79	25	1351	105	40	1669	108	37			
	Piste 13	378	2	4460				672	66	24	771	81	34	979	89	32			
	Piste 14	378	4	4100				628	73	25	695	91	35	877	89	30			
	Piste 15	378	6	3800				704	99	30	775	101	31	921	91	26			
Keski-Suomi	Piste 16	410	2	1220				800	97	39	851	106	42						
	Piste 17	410	4	510				1070	80	23	1128	80	29						
	Piste 18	413	1	4330				885	85	23	946	88	23						
	Piste 19	413	3	2330				898	89	23	941	88	24						
	Piste 20	616	3	2943				813	81	28	938	92	25						

Taulukko 11. Pistekohtaisia liikennelaskennan tuloksia 2019.

Vuosi 2019	Laskentakohteet	Tieosoite			Viikkoliikenne tiedot															
		Tie	Tieosa	Etäisyys	Viikko 18			Viikko 19			Viikko 20			Viikko 21			Viikko 22			
					W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	W	W <sub>RAS</sub>	W <sub>VHD</sub>	
Hyrnsalmi	Piste 1	5	315	300																
	Piste 2	891	1	300	2266	89	45	2390	108	51										
	Piste 3	891	2	300	583	22	4	673	37	6										
	Piste 4	891	3	300	294	33	16	338	40	17										
	Piste 5	904	13	300	280	45	29	312	52	29										
Simo	Piste 6	924	1	1955										987	138	80	1079	140	79	
	Piste 7	924	2	920										800	123	71	882	126	73	
Etelä-Karjala / Kaakkois-Suomi	Piste 11	13	232	6000				2079	392	290	2242	429	308	2092	415	314				
	Piste 12	378	1	1000				1371	113	36	1505	130	37	1357	130	41				
	Piste 13	378	2	4450				824	72	30	860	80	28	810	81	33				
	Piste 14	378	4	4100				782	83	33	811	91	28	763	77	29				
	Piste 15	26	5	1650				2870	621	460	2765	623	463	3047	561	409				
Rovaniemi	Piste 16	934	1	2263										1312	122	31	1231	110	30	
	Piste 17	934	2	5013										949	105	30	950	104	32	
	Piste 18	934	3	857										797	96	28	815	99	33	
	Piste 19	4	503	751										6033	741	333				
	Piste 20	4	503	9786										3860	570	276	4056	595	260	

## 5.4 Aineiston suodatus

Aineistoa suodatettiin poistamalla sellaisia havaintoja, jotka eivät olleet kattavia. Mittauksista poistettiin kohdealueet Hyrnsalmi ja Simo, koska niiltä puuttui ensimmäisen syksyn mittaus. Lisäksi poistettiin sellaisia havaintoja, joilla oli epälooginen kehitys, mahdolliset urapaikkauskohteet Seinäjoen alueella, puutteita eräissä taustamuuttujissa, vajaat satametriset jne.

Tarkastelun kohteeksi otettiin tässä vaiheessa vain PTM-tulokset. Skannerituloksista tiedettiin, etteivät ne ole yhtä kattavia, koska mittauksia tehtiin säiden suhteen ääriarajoilla, jotka skannerimittauksissa ovat tiukemmat.

## 5.5 Taustamuuttujat

### 5.5.1 Pohjamaa

Pohjamaatiieto oli jo valmiiksi kerätty erästä toista selvitystä varten aiemmin. Sitä muokattiin siten, että maalajityyppejä yhdisteltiin karkeampiin maalajiryhmiin erotellen vain päämaalajit. Ryhmittelyperusteena käytettiin tiensuunniteluohjeen geologista maalajiryhmittelyä. Suurin maalajiryhmä oli karkea maalaji

(154 km). Muita pohjamaatyypppejä oli melko tasaisesti välillä 33-67 km. Puuttuvia maalajeja oli 44 km.

Taulukko 12. Kohteiden pituudet maalajiluokittain (m).

Kohdealue	1_Eloperäinen	2_Hieno	3_Karkea	4_Moreeni	5_Kallio	6_Seka	7_Ei tiedossa	Yhteensä
1. Tammisaari	24700	31900	117300	13000	12300	1400	7200	207800
2. Somero	2500	17700	1100	10400	2100	100	12700	46600
3. Luumäki	8100	6500	11900	9000	15500	21200	7800	80000
4. Hartola	2600	6900	19500	9500	3400	5800	2300	50000
5. Seinäjoki	11200	4900	2200	8000	2700	4300	5400	38700
8. Rovaniemi	3400	700	1500	17100	200	100	9000	32000
<b>Yhteensä</b>	<b>52500</b>	<b>68600</b>	<b>153500</b>	<b>67000</b>	<b>36200</b>	<b>32900</b>	<b>44400</b>	<b>455100</b>

### 5.5.2 Rakenteet

Rakenteista oli saatavissa teknisen toimenpiteen tyyppi ja toteuttamisvuosi. Kohteiden valinnassa pyrittiin ottamaan mukaan vain rakennettuja teitä eli teitä, joilla oli tekninen toimenpidekoodi 1–4. Suurin ryhmä oli suuntauksen parantaminen (222 km). Muita ryhmiä olivat rakenteen parantaminen (127 km), rakentaminen (82 km) ja kevyt rakenteen parantaminen (22 km). Suuntauksen tai rakenteen parantamista oli kaikilla kohdealueilla.

Taulukko 13. Kohteiden jakautuminen teknisen toimenpiteen mukaan.

Kohdealue	1_rakentaminen	2_suuntauksen parantaminen	3_rakenteen parantaminen	4_kevyt rakenteen parantaminen	Yhteensä
1. Tammisaari	57200	92600	57300		207100
2. Somero	16300	13400	16100	200	46000
3. Luumäki		78000	2000		80000
4. Hartola	3400	10600	35800	1100	50900
5. Seinäjoki	3900	17300	15600	1400	38200
8. Rovaniemi	900	10700	300	18800	30700
<b>Yhteensä</b>	<b>81700</b>	<b>222600</b>	<b>127100</b>	<b>21500</b>	<b>452900</b>

### 5.5.3 Päällysteet

Kohteet pyrittiin valitsemaan siten, että niihin sisältyi useita eri päällystetyyppejä. SMA- ja AB-päällysteitä oli kumpaakin noin 200 km ja PAB-päällysteitä 45 km.

Taulukko 14. Kohteiden määrät (m) päällystetyypeittäin (karsittu aineisto).

Kohdealue	1_SMA	2_AB	3_PAB	Yhteensä
1. Tammisaari	153900	53200		207100
2. Somero	6200	34800	5000	46000
3. Luumäki	34900	45100		80000
4. Hartola	16100	12800	22000	50900
5. Seinäjoki		34600	3600	38200
8. Rovaniemi		16500	14200	30700
<b>Yhteensä</b>	<b>211100</b>	<b>197000</b>	<b>44800</b>	<b>452900</b>

Taulukko 15. Kohteiden pituudet (m) teittäin ja päällystetyypeittäin (karsittu aineisto).

Tie	1_SMA	2_AB	3_PAB	Yhteensä
2	6200			6200
4	16100	20000		36100
13		24400		24400
18		13000	3600	16600
25	153900	53200		207100
26	34900			34900
52		22800		22800
66		4200		4200
282		11700		11700
378		20700		20700
410		600	11600	12200
413		7200		7200
616		1100	10400	11500
697		17400		17400
934		400	14200	14600
2802		300	5000	5300
<b>Yhteensä</b>	<b>211100</b>	<b>197000</b>	<b>44800</b>	<b>452900</b>

#### 5.5.4 Liikenne

Alkuperäinen aineisto sisälsi kohteita kaikista liikennemääräluokista. Karsitussa aineistossa vähäliikenteisin osa poistui. Liikennemääräluokissa oli lopulta kohteita 67–160 km.

Taulukko 16. Aineiston jakaantuminen liikennemääräluokkiin.

Riviotsikot	1_KVL>6000	2_KVL=3000-6000	3_KVL=1500-3000	4_KVL=350-1500	5_KVL<350	Kaikki yhteensä
1. Tammisaari	143073	126309			694	270076
2. Somero		33842	16512	17740		68094
3. Luumäki		6279	65713	24728		96720
4. Hartola	29550	1152	42	55197	4800	90741
5. Seinäjoki		24913	49731		133	74777
6. Hyrynsalmi		1149	8300	23984		33433
7. Simo				23846	119	23965
8. Rovaniemi		37612		35617	2221	75450
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>172623</b>	<b>231256</b>	<b>140298</b>	<b>181112</b>	<b>7967</b>	<b>733256</b>

Taulukko 17. Karsitun aineiston jakaantuminen liikennemääräluokkiin.

Riviotsikot	1_KVL>6000	2_KVL=3000-6000	3_KVL=1500-3000	4_KVL=350-1500	Kaikki yhteensä
1. Tammisaari	105300	103000			208300
2. Somero		29000	11800	5900	46700
3. Luumäki		5100	60100	15000	80200
4. Hartola	20000			31100	51100
5. Seinäjoki		6300	32400		38700
8. Rovaniemi		16900		15100	32000
<b>Kaikki yhteensä</b>	<b>125300</b>	<b>160300</b>	<b>104300</b>	<b>67100</b>	<b>457000</b>

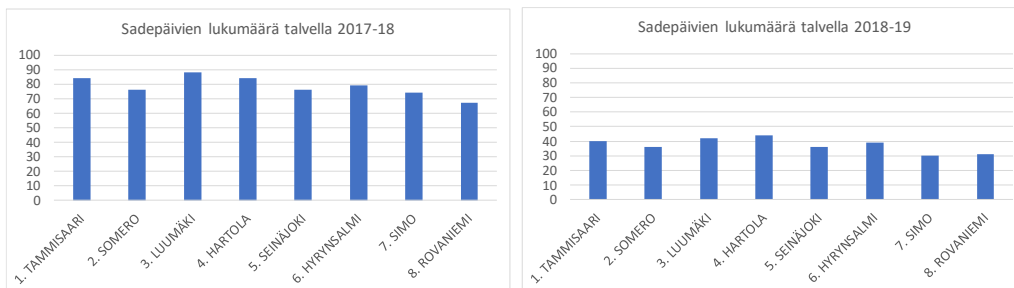


## 5.5.5 Sää

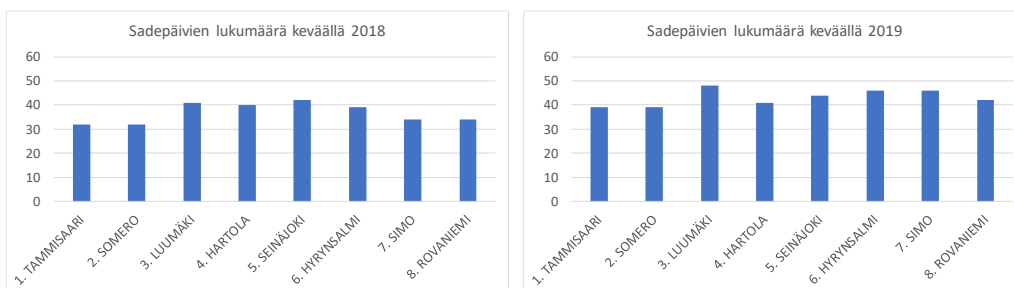
### 5.5.5.1 Sää tiedot

Sää tiedot kerättiin Ilmatieteenlaitoksen nettisivuilta kunkin alueen kohteiden lähiympäristössä sijaitsevien sääasemien tuloksista vuorokausitasolla. Sää tiedot kattoivat sademäärän ja vuorokauden alimman, ylimmän ja keskilämpötilan. Niistä laskettiin sade-, helle- ja pakkaspäivien lukumäärät sekä pakkassummat vuodenoittain. Laskennallisten tunnuslukujen määrien jakautuminen alueittain on esitetty seuraavissa kuvissa. Yhteenvedona kohteilla vallinneista sääolosuhteista voidaan tehdä mm. seuraavat johtopäätökset:

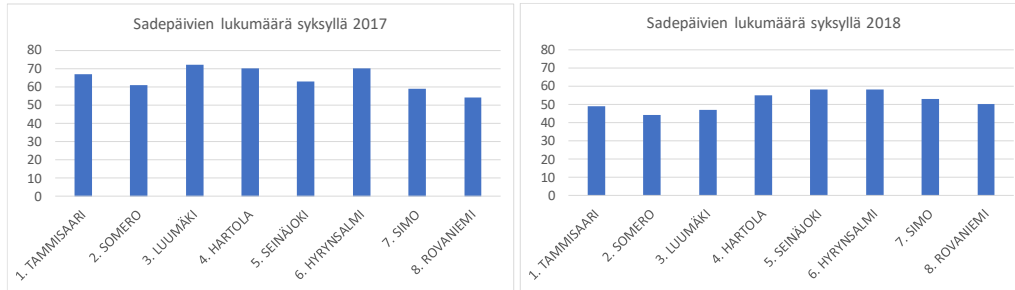
- Sadepäivien lukumäärät olivat talvikuukausina lähes samalla tasolla alueittain, mutta suuremmat talvella 2017–18 kuin talvella 2018–19.
- Sadepäivien lukumäärät olivat melko yhteneväisiä sekä keväällä että syksyllä kohteesta ja vuodesta riippumatta.
- Pakkassumma kasvoi etelästä pohjoiseen päin mentäessä ja oli talvella 2017–18 huomattavasti suurempi kuin talvella 2018–19.
- Kovien pakkaspäivien lukumäärä vaihteli kohteilla, mutta talvet eivät eronneet sen suhteen toisistaan.
- Kesän hellepäivien lukumäärä 2018 oli suurin Hartolan kohteilla ja pienin Hyrynsalmen kohteilla.
- Kesän sadepäivien lukumäärä kesällä 2018 oli suurin Luumäen kohteilla ja pienin Someron kohteilla.
- Suojasääpäivien määrä talvella oli suurin etelän kohteilla ja pienin pohjoisen kohteilla. Ensimmäisenä talvena niiden määrä oli suurempi kuin toisena talvena.



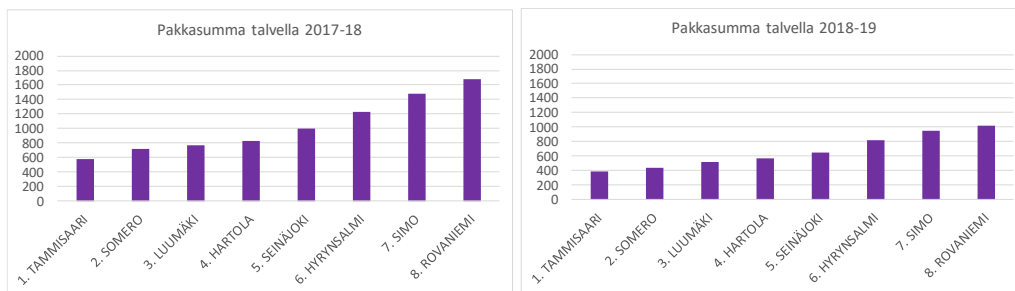
Kuva 41. Sadepäivien lukumäärät talvikuukausien aikana vuosina 2017–18 ja 2018–19.



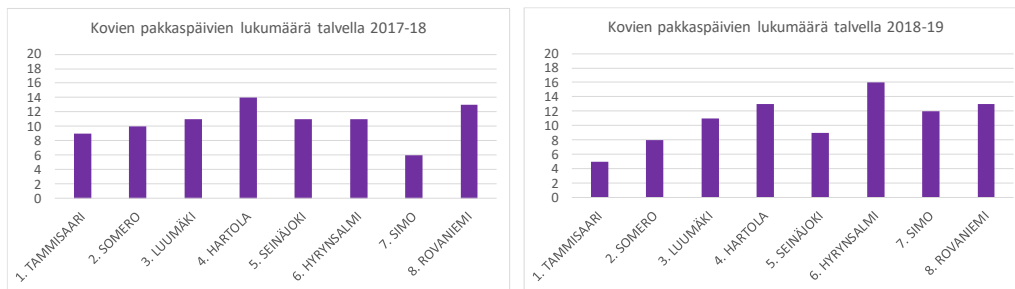
Kuva 42. Sadepäivien lukumäärät kevätkuukausien aikana vuosina 2018 ja 2019.



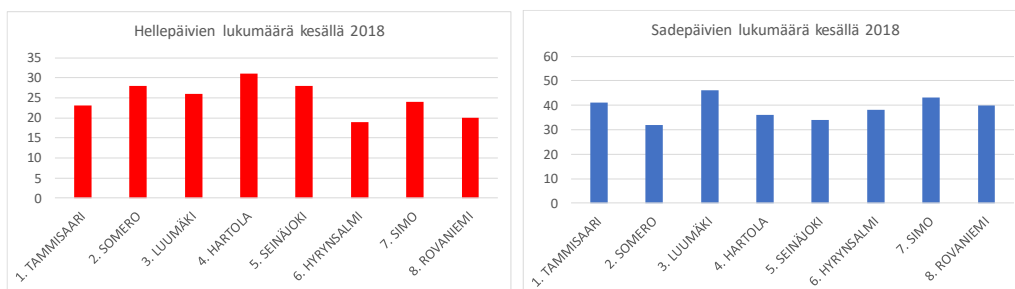
Kuva 43. Sadepäivien lukumäärät syyskuukausien aikana vuosina 2017 ja 2018.



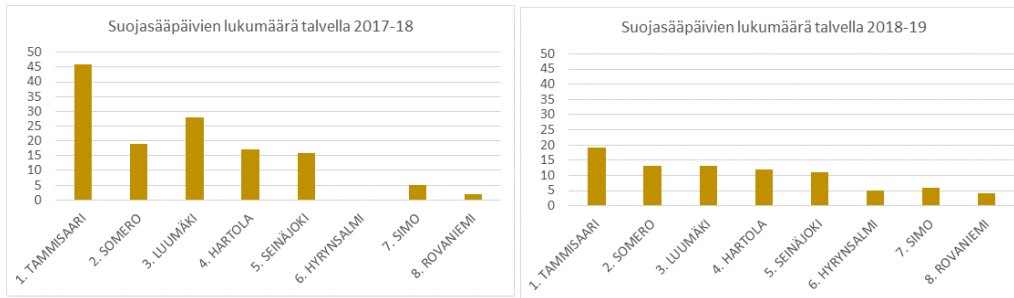
Kuva 44. Pakkasumma talvikuukausina 2017–18 ja 2018–19.



Kuva 45. Kovien pakkaspäivien lukumäärät talvikuukausien aikana vuosina 2017–19.



Kuva 46. Sade- ja hellepäivien lukumäärä kesällä 2018.



Kuva 47. Suojasääpäivien lukumäärä talvella 2017–18 ja talvella 2018–19.

### 5.5.5.2 Termiset vuodenaajat

Termiset vuodenaajat määritellään vuorokauden keskilämpötilojen perusteella. Suomessa termisten vuodenaikojen vaihtuminen määritellään perinteisesti seuraavasti:

- kevät alkaa, kun vuorokauden keskilämpötila nousee pysyvästi 0 asteen yläpuolelle
- kesä alkaa, kun vuorokauden keskilämpötila nousee pysyvästi +10 asteen yläpuolelle
- syksy alkaa, kun vuorokauden keskilämpötila laskee pysyvästi +10 asteen alapuolelle
- talvi alkaa, kun vuorokauden keskilämpötila laskee pysyvästi 0 asteen alapuolelle

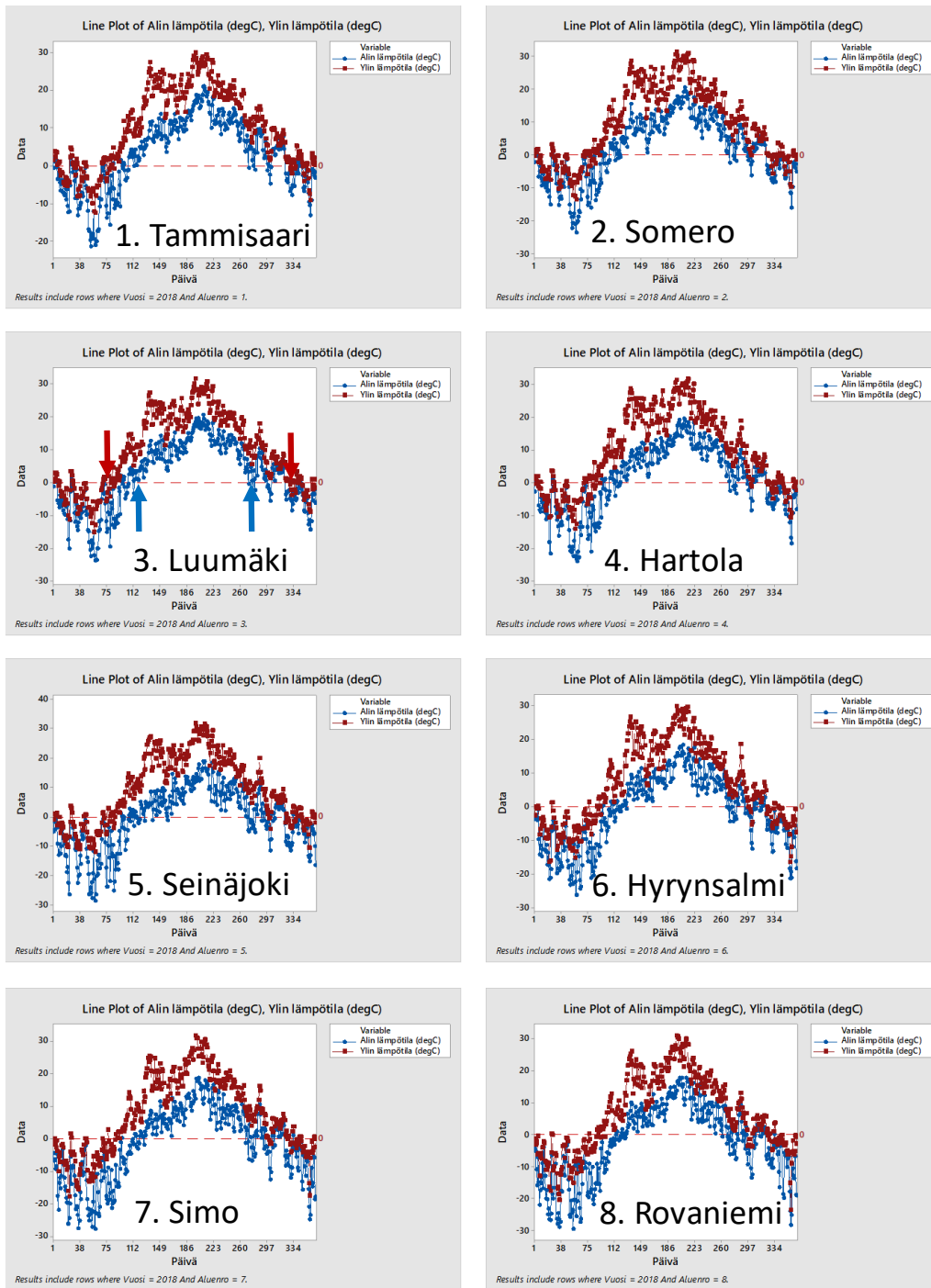
Vuodenaajan vaihtuessa keskilämpötila voi vaihdella raja-arvojen molemmin puolin pitkäänkin, eikä vuodenaajan vaihtumisen ajankohta ole suinkaan aina yksiselitteinen (<https://ilmatieteentaitos.fi/termiset-vuodenaajat>). Vuodenaikojen vaihtumispäiviä määritettäessä laitettiin ehdoksi, että lämpötilavaatimuksen tulee täyttyä vähintään viiden päivän ajan, jotta vuodenaika tulkitaan vaihtuneeksi.

Säätietojen perusteella termisten vuodenaikojen alkamispäivät ja kestot vaihtelivat seuraavasti:

- Vuonna 2017 terminen syksy alkoi eteläisillä kohteilla noin 270 pv tienoilla ja Keski- ja Pohjois-Suomen kohteilla 257 päivän tienoilla. Vuonna 2018 terminen syksy alkoi kaikilla kohteilla samana päivänä (266).
- Vuonna 2017 terminen syksy oli pidempi Etelä-Suomen kohteilla kuin muilla kohteilla. Vuonna 2018 terminen syksy oli kaikilla kohteilla lähes samanpituinen.
- Syksyn kesto vaihteli välillä 36–94 vrk ollen vuonna 2018 melko tasainen, mutta vuonna 2017 hyvin vaihteleva. Etelä-Suomen kohteilla se oli pidempi ja Keski- ja Pohjois-Suomen kohteilla lyhyempi.
- Terminen talvi alkoi vuonna 2018 melko tasaisesti eri kohteilla, mutta vuonna 2017 aiemmin Pohjois-Suomen kohteilla muualla.
- Termisen talven kesto vaihteli välillä 95–176 vrk. Talvi oli lyhyempi Etelä-Suomen kohteilla kuin Pohjois-Suomen kohteilla. Vaihtelu oli vuonna 2018–19 pienempi kuin vuonna 2017–18.



Kuva 48. Vuodenaikojen alkupäivät ja kestot alueittain vuosina 2017–19.

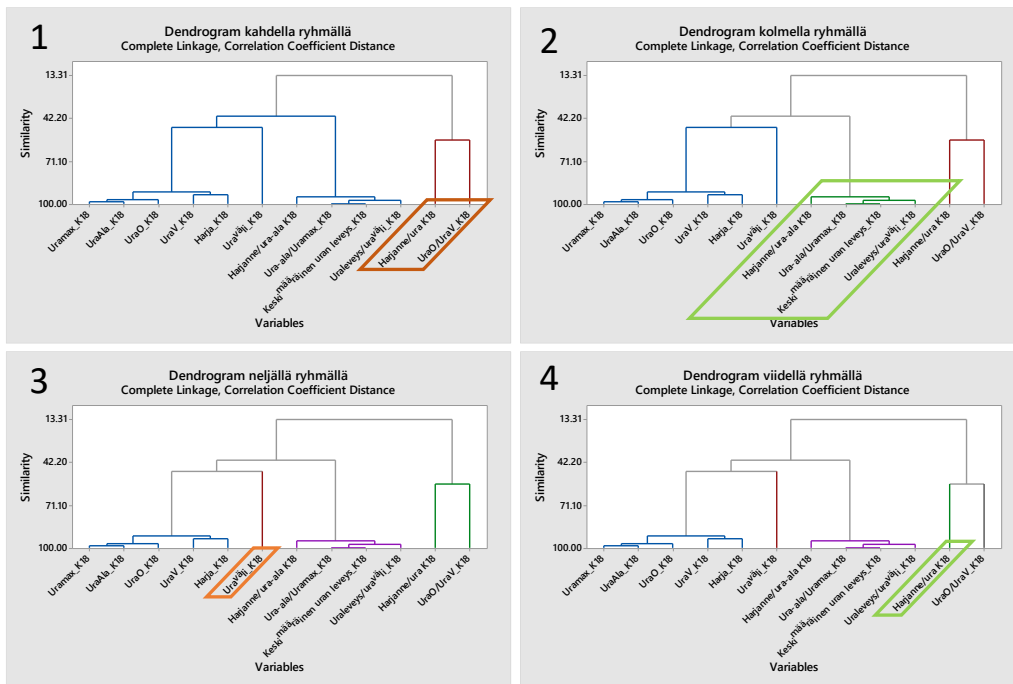


Kuva 49. Vuorokauden ylimmän ja alimman lämpötilan kehitys alueilla vuonna 2018.

## 6 Ryhmittelyanalyysi

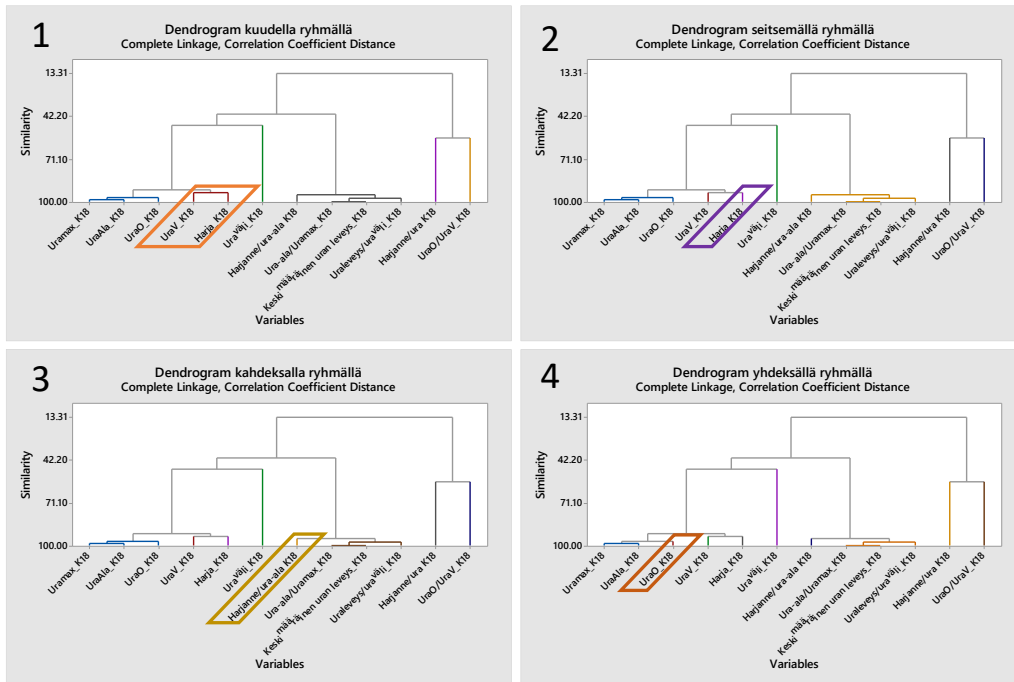
### 6.1 Uramittaukset

Uramuuttujien mittaustuloksia keväältä 2018 ryhmiteltiin ryhmittelyanalyysillä (Kuva 50). Kun ryhmittelyanalyysiä pyydettiin ryhmittelemään uramuuttujat vain kahteen ryhmään, tuli erilliseksi ryhmäksi muista uramuuttujista kaksi suhdemuuttujaa; Harjanne/Uramax ja Ura0/UraV (osa 1). Kun ryhmämäärä kasvatettiin yhdellä (3 ryhmää), analyysi erotteli muista uramuuttujista loputkin suhdemuuttujat (Harjanne/Ura-ala, Ura-ala/Uramax, Keskim.uraleveys ja Uraleveys/ Uraväli) omaksi ryhmäkseen (osa 2). Ryhmämäärää edelleen kasvatettaessa (4 ryhmää) omaksi ryhmäkseen tuli Uraväli (osa 3) ja edelleen kasvatettaessa (5 ryhmää) erilliseksi ryhmäkseen irrottautui suhdemuuttuja Harjanne/Uramax (osa 4).



Kuva 50. Ryhmittelyanalyysi kun ryhmiä 2–5.

Kun ryhmämäärää edelleen kasvatettiin kuuteen (Kuva 51, osa 1), niin erilleen irtosivat Vasen ura ja Harjanne. Seitsemällä ryhmällä Harjanne irtosi erilleen Vasemmasta urasta (osa 2). Kahdeksalla ryhmällä irtosi suhdemuuttuja Harjanne/Ura-ala (osa 3) ja lopuksi yhdeksällä ryhmällä irtosi oikea ura (osa 4).



Kuva 51. Ryhmittelyanalyysi kun ryhmiä 6–9.

Johtopäätöksenä mitattujen uramuuttujien ja niistä muodostettujen suhdemuuttujien ryhmittelyanalyyseistä olivat seuraavat havainnot:

- uramuuttujat ja suhdemuuttujat kuvaavat eri ilmiöitä ja ne kannattaa jakaa omiksi ryhmikseen
- uraväli kannattaa valita tarkasteltavaksi muuttujaksi
- oikean ja vasemman uran suhde kannattaa valita tarkasteltavaksi muuttujaksi
- harjanteen suhde maksimiuraan tai urien pinta-alaan on myös tärkeä muuttuja
- oikea ura ja urien pinta-ala ovat lähellä maksimiuraa eikä niitä kaikkia kannata tarkastella
- lopullinen suositus uratunnusluvuiksi on maksimiura, vasen ura, harjante, uraväli, oikean ja vasemman uran suhde ja harjanteen suhde maksimiuraan

## 6.2 Urakehitys

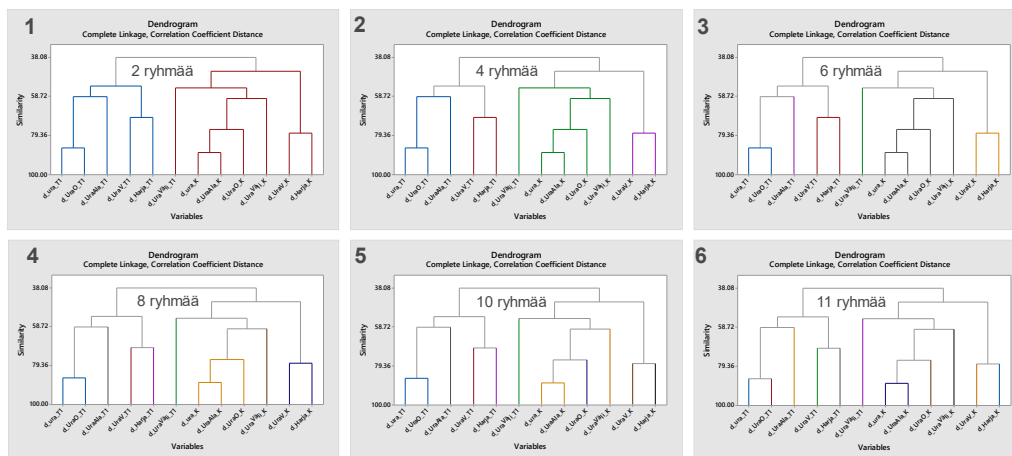
Uramuuttujien kesän ja talvenaikaisia kehityksiä ryhmiteltiin ryhmittelyanalyysillä (Kuva 52). Kun ryhmittelyanalyysiä pyydettiin ryhmittelemään urautumis- muuttujat vain kahteen ryhmään, tuli erillisiksi ryhmiksi kesäuramuuttujat ja talviuramuuttujat (kuvan osa 1) sillä poikkeuksella, että talven uraväli kuului kesämuuttujien ryhmään. Kun ryhmämääriä kasvatettiin, analyysi erotteli muuttujia omiksi ryhmikseen ottaen uuteen ryhmään sellaisia muuttujia, joissa oli jotain erilaista kuin ryhmiin jäävissä muuttujissa. On käyttäjän valittavissa, kuinka moneen ryhmään muuttujat kannattaa jakaa. Tässä ryhmiteltiin 12 uramuuttujaa 2–11 ryhmään kasvattaen ryhmämäärää aina yhdellä.

Kun tarkastellaan esim. 10 ryhmään jakoa (kuvan 52 osa 5), niin huomataan, että ryhmittelyanalyysi pitää samassa ryhmässä talven maksimiuran ja oikean uran kehitystä ja kesän maksimiuran ja urien pinta-alan kehitystä.

Kun ryhmien lukumäärää vähennettiin, niin huomattiin, että analyysi piti yhdessä vasemman uran ja harjanteen kehitystä sekä kesällä että talvella, mistä voisi päätellä, että ne ovat lähellä toisiaan.

Huomionarvoista oli, että talven uraväli ryhmittyi aina kesämuuttujien ryhmään.

Kahteen ryhmään jaettaessa ryhmien välinen samanlaisuuden aste oli 38 %, mikä vastaa erilaisuuden astetta 62 %. Suuri erilaisuuden aste tarkoittaa, että ryhmään jääneissä muuttujissa on jäljellä erilaisuutta ja ryhmämäärää voisi kasvattaa. Selvää on, että ryhmiä tulee olla enemmän kuin kaksi. Jos ryhmiä on 11, niin erilaisuuden asteet ryhmien välillä olisivat noin 10 %. Suhdemuuttujien kehityksiä ei tarkasteltu ryhmittelyanalyysissä.



Kuva 52. Uramuuttujien ryhmittely ryhmittelyanalyysillä.

Johtopäätöksenä tästä ryhmittelyanalyysistä on, että

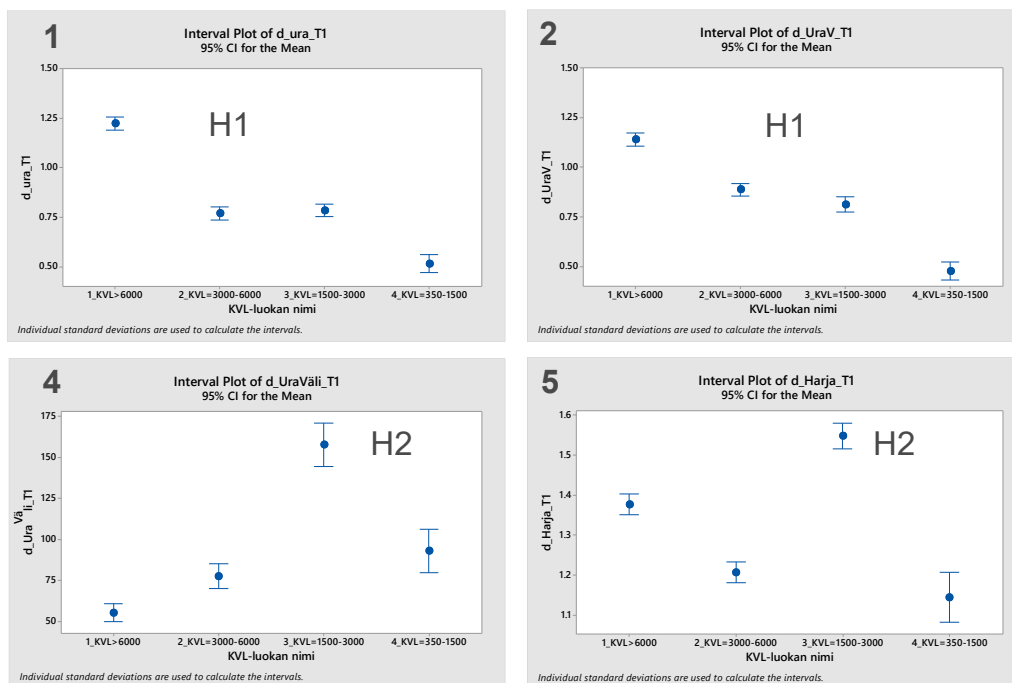
- maksimiuran kehitys oli sekä kesällä että talvella lähellä oikean uran ja urien pinta-alan kehitystä ja vasemman uran ja harjanteen kehitys lähellä toisiaan sekä kesällä että talvella.
- urautumisen tarkasteluun tarvitaan siten vähintään neljä ryhmää (tai tunnuslukua), kaksi talvella ja kaksi tai kolme kesällä. Kesän uraväli tulisi olla oma tunnuslukunsa.
- suositellut tunnusluvut ovat **maksimiuran kehitys, vasemman uran kehitys, harjanteen kehitys ja uravälin kehitys.**



## 7 Urautuminen talvella

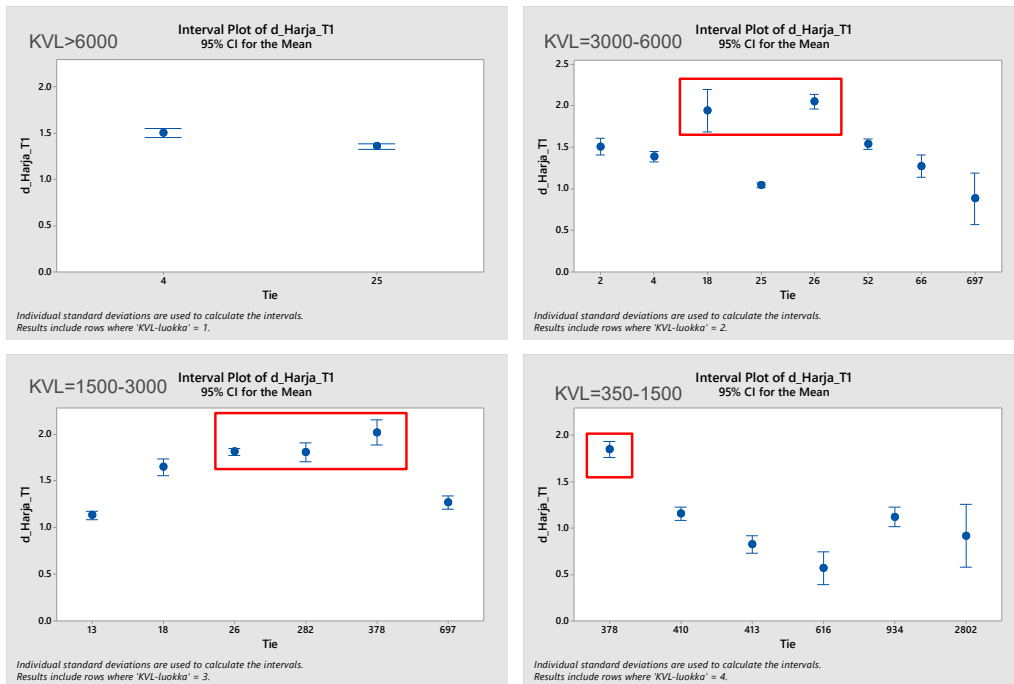
### 7.1 Talviura 2017–18

Talven uramuuttujien kehitys on esitetty oheisilla kuuden kuvan sarjoilla, missä uramuuttujat ovat aina samassa järjestyksessä (Kuva 53). Yläosassa on esitetty maksimiuran, vasemman uran ja oikean uran kehitys ja alaosassa uravälin, harjanteen ja urien pinta-alan kehitys.

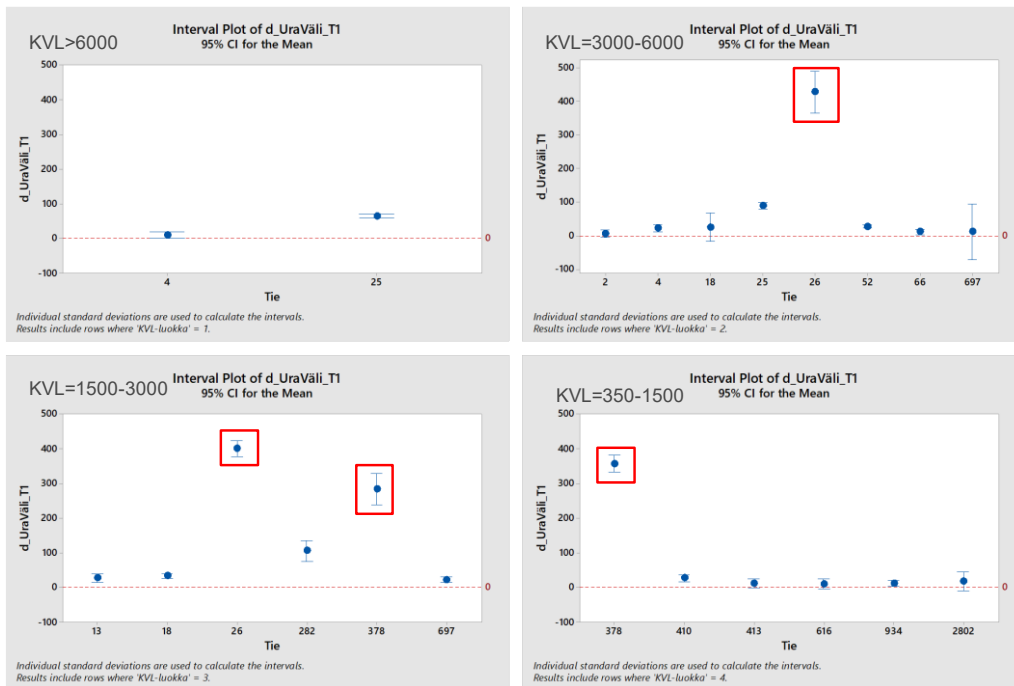


Kuva 53. Kohteiden talven 2017–18 aikainen urautuminen keskimäärin liikennemääräluokittain (talvi määritetty syys- ja kevätmittausten välisestä ajasta).

Pääsääntöisesti uramuuttujien kehitys noudatteli liikennemääräluokkia (H1). Poikkeuksen muodosti kolmas liikennemääräluokka, jossa harjanteen ja uravälin kehitys olivat suuria (H2). Syy poikkeuksellisen suuriin kehityksiin on nähtävissä kahdesta seuraavasta kuvasta (Kuva 54 ja Kuva 55). Harjanne kasvoi poikkeuksellisen paljon teillä 18, 26, 282 ja 378. Vastaavasti uraväli kasvoi poikkeuksellisen paljon teillä 26 ja 378. Oletuksen mukaan uravälin pitäisi henkilöautojen nas-takulutuksen takia talvella pikemminkin pienentyä.

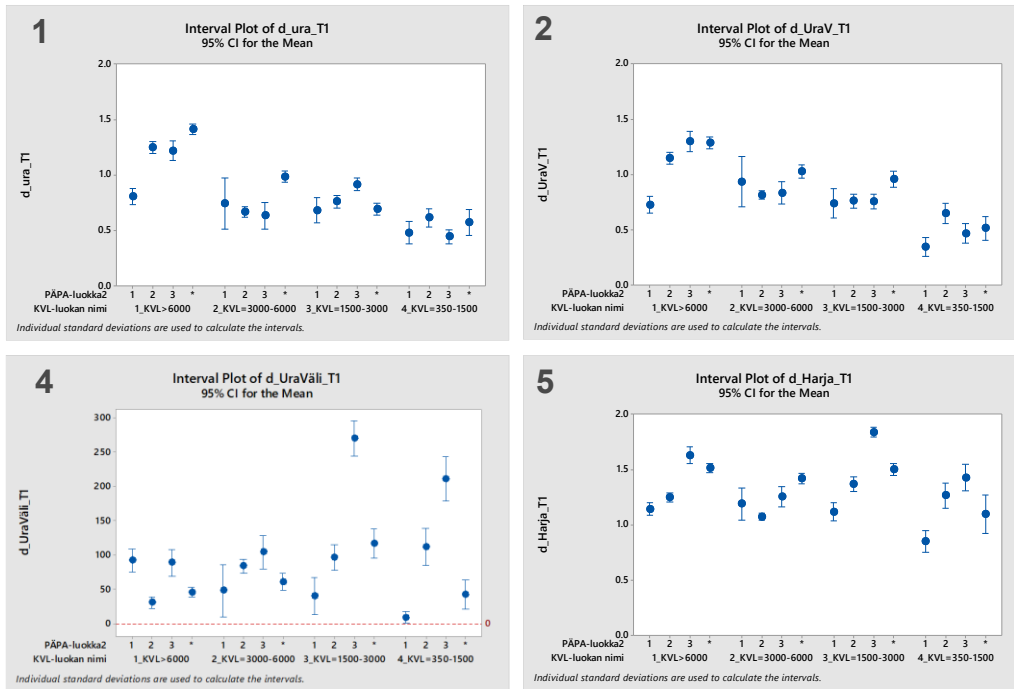


Kuva 54. Harjanteen kehitys talvella 2017–18 liikennemääräluokittain eri teillä.



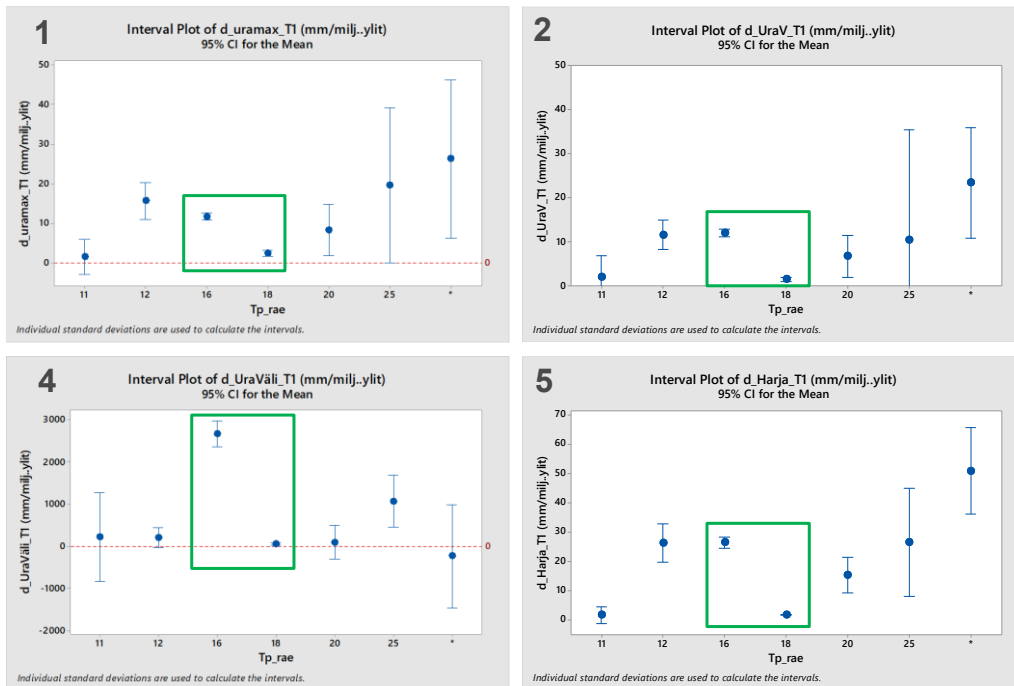
Kuva 55. Uravälin kehitys talvella 2017–18 liikennemääräluokittain eri teillä.

Päällysteen paksuusluokittain tarkasteltuna uraväli käyttäytyi hyvin epäloogisesti (Kuva 56). Välillä paksuus kasvatti uratunnusluvun muutosta ja välillä taas vähensi. Paksuusluokat 1–3 muodostettiin luokkarajoilla keskiarvo  $\pm 20\%$  siten, että luokassa 1 paksuus oli pienempi kuin keskiarvo  $- 20\%$  ja luokassa 3 suurempi kuin keskiarvo  $+ 20\%$ .

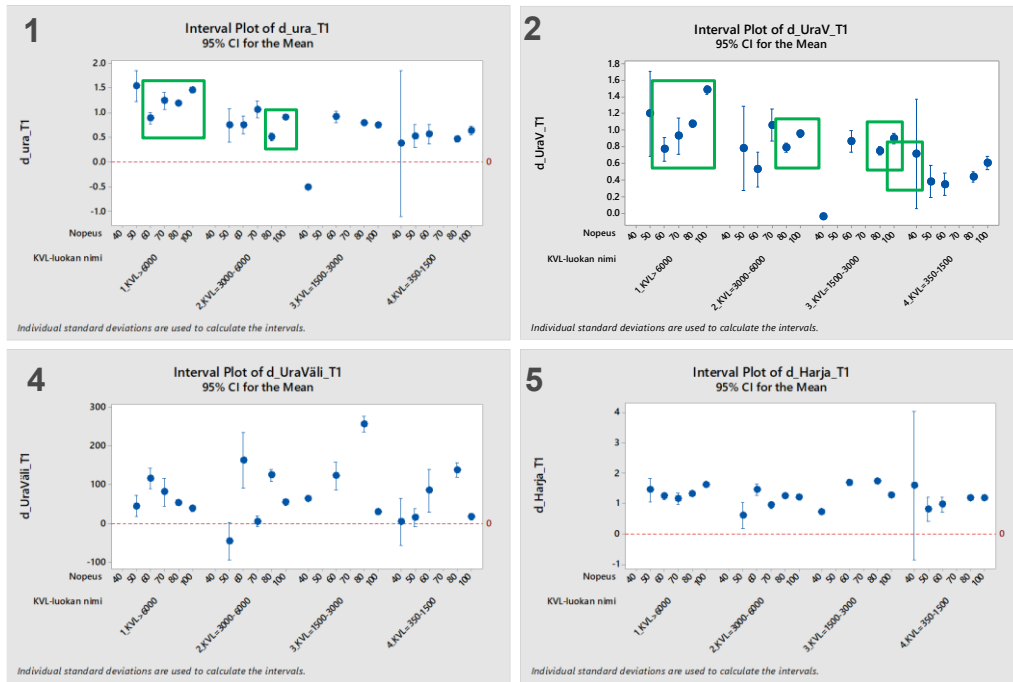


Kuva 56. Uramuuttujien kehitys talvella 2017–18 päällysteen paksuusluokissa.

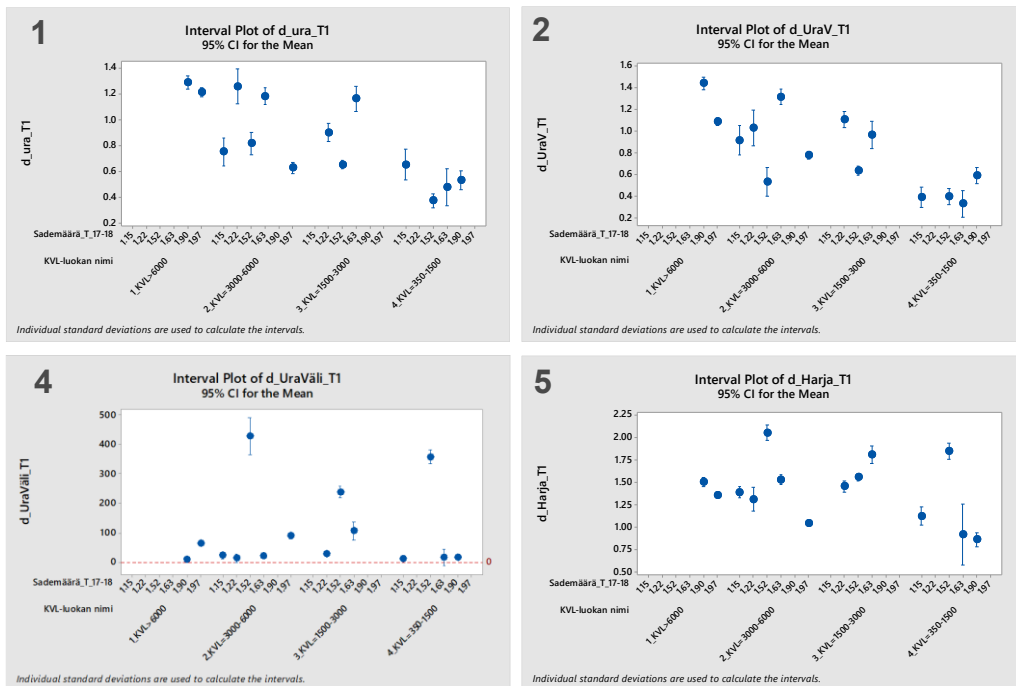
Uramuuttujien kehitykseen vaikutti selvästi päällysteen kiviaineksen maksimirakekoko (Kuva 57). 18 mm maksimirakeinen päällyste kesti huomattavasti paremmin kuin 16 mm. Muista rakeista oli niin vähän havaintoja, että keskiarvojen luottamusvälit olivat suuria eikä niistä voitu tehdä johtopäätöksiä.



Kuva 57. Uramuuttujien kehitys ylityskertoja kohti talvella 2017–18 päällysteen kiviaineksen maksimirakekoon mukaan.



Kuva 58. Uramuuttujien kehitys talvella 2017–18 nopeusrajoituksittain.



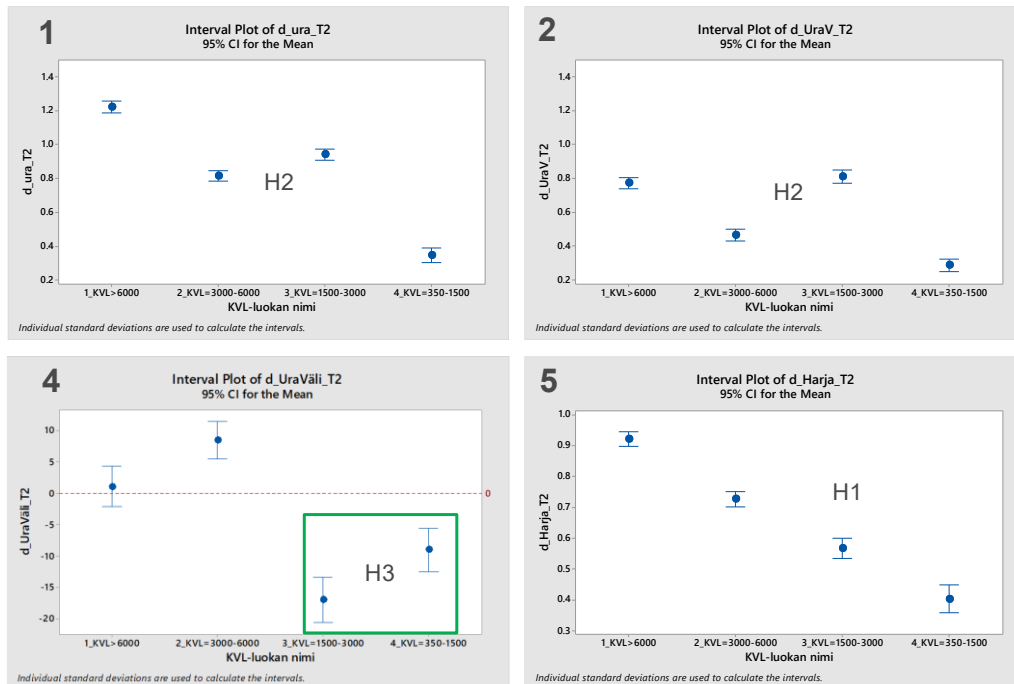
Kuva 59. Uramuuttujien kehitys talvella 2017–18 eri sademäärillä.

## 7.2 Talviura 2018–19

Talven 2018–19 aikainen uramuuttujien kehitys on esitetty samaan tapaan kuin edellä neljän kuvan sarjoissa muuttujittain. Kun tarkasteltiin urakehityksiä liikennemääräluokittain, niin tehtiin mm. seuraavia huomioita (Kuva 60):

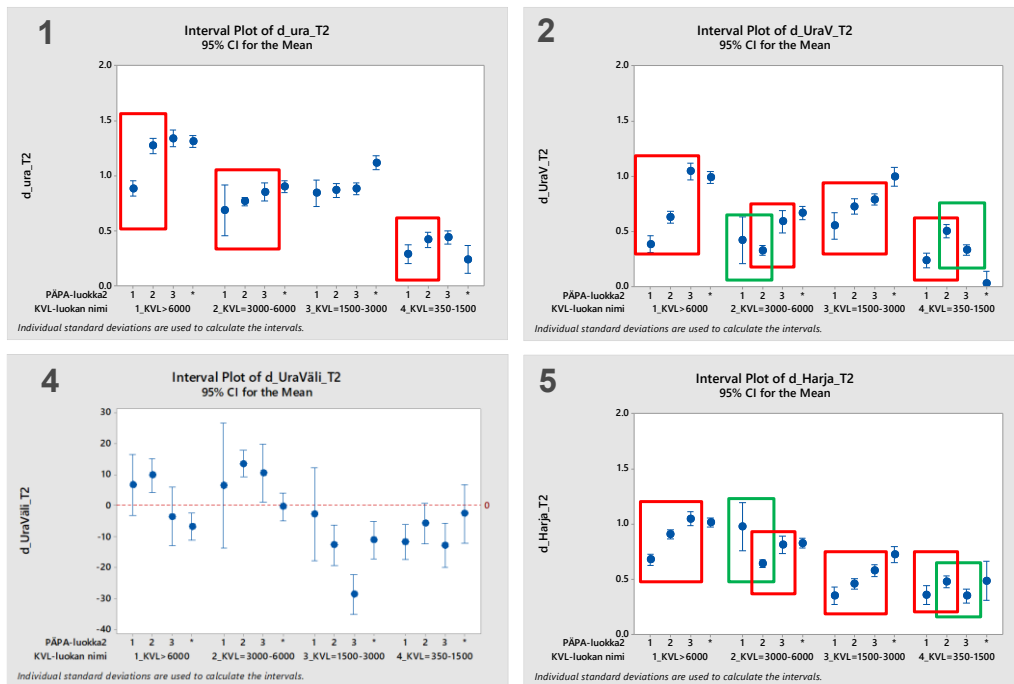
- Oikean uran ja harjanteen kehitykset noudattivat liikennemääräluokan mukaista "linjaa" ollen suuria vilkasliikenteisillä kohteilla ja pienentyen vähäliikenteisempiin luokkiin mentäessä (H1).

- Maksimiuran, vasemman uran ja urien pinta-alan kehitykset noudattivat liikennemääräluokkien mukaista linjaa, sillä poikkeuksella, että liikennemääräluokassa KVL=1500–3000 kehitys oli suurempi kuin KVL=3000–6000 kehitys (H2).
- Uraväli pieneni kahdessa vähäliikenteisemmässä liikennemääräluokassa, kuten oletettiin (H3). Sen sijaan vilkasliikenteisemmissä luokissa se ei pienentynyt. Oletuksen mukaan henkilöautoliikenteen dominoimissa uravälin tulisi talvella pienentyä.

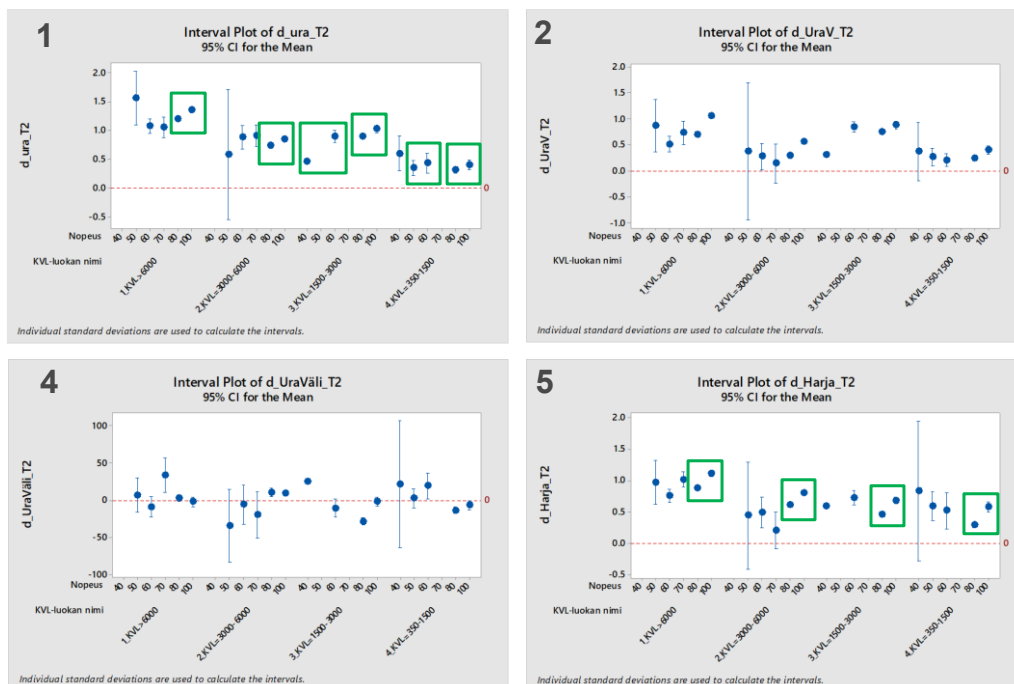


Kuva 60. Kohteiden talven 2018–19 aikainen urautuminen keskimäärin liikennemääräluokittain.

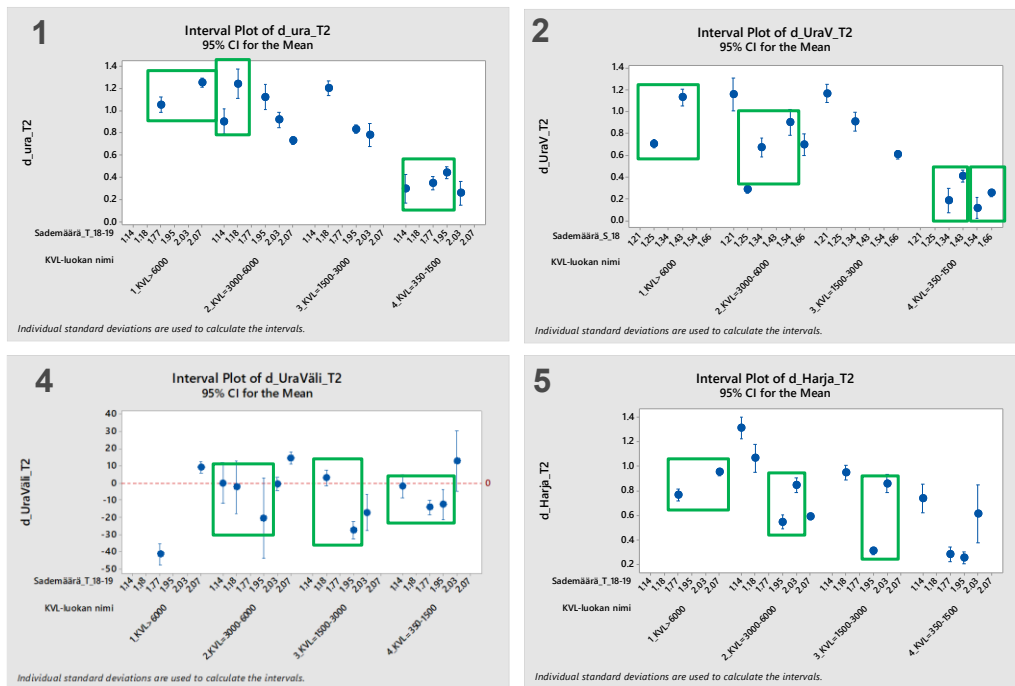
Tarkasteltaessa uramuuttujien kehitystä talvella 2018–19 päällysteen paksuusluokittain todettiin, että oli paljon tilanteita (17 kpl), joissa uramuuttujat kehittyivät paksummilla päällysteillä enemmän kuin ohuemmillä (Kuva 56, punaisella laatikoidut). Oletuksen mukaisia tilanteita oli vain 7 kpl (vihreällä laatikoidut). Kuvia tarkasteltaessa on kuitenkin muistettava, että yksittäisellä tieosalla liikennemääräerot saattavat saman liikennemääräluokan sisällä olla kaksinkertaisia.



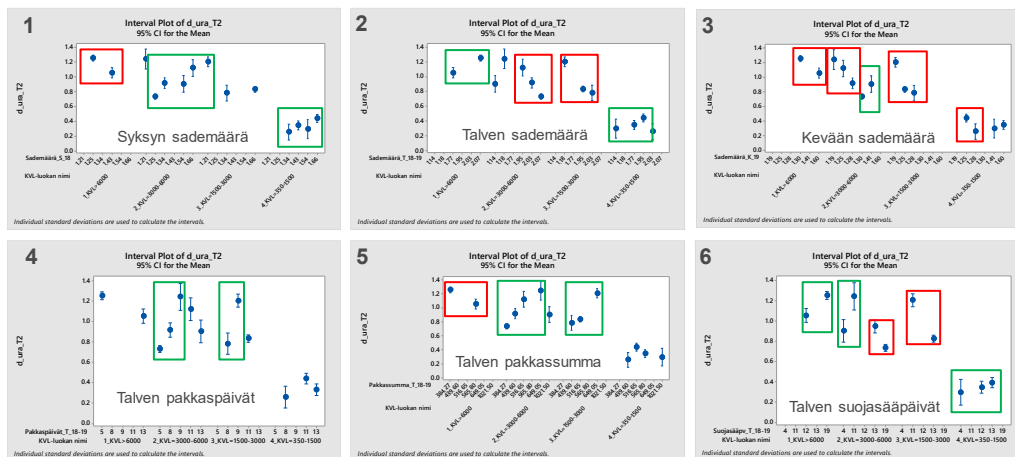
Kuva 61. Uramuuttujien kehitys talvella 2017–18 päällysteen paksuusluokissa.



Kuva 62. Uramuuttujien kehitys talvella 2018–19 nopeusrajoituksittain.



Kuva 63. Uramuuttujien kehitys talvella 2018–19 talven eri sademäärillä.

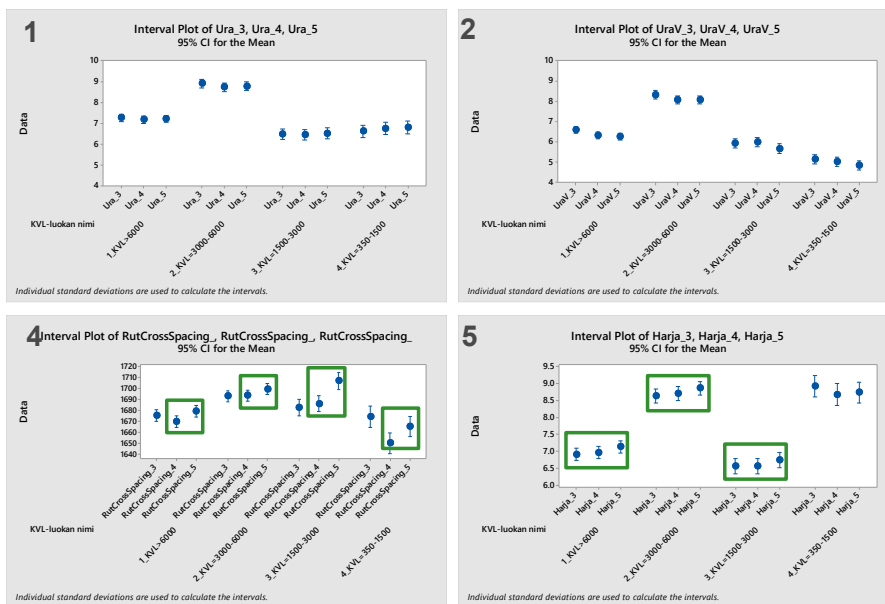


Kuva 64. Maksimiuran kehitys talvella 2018–19 eri säätekijöillä.

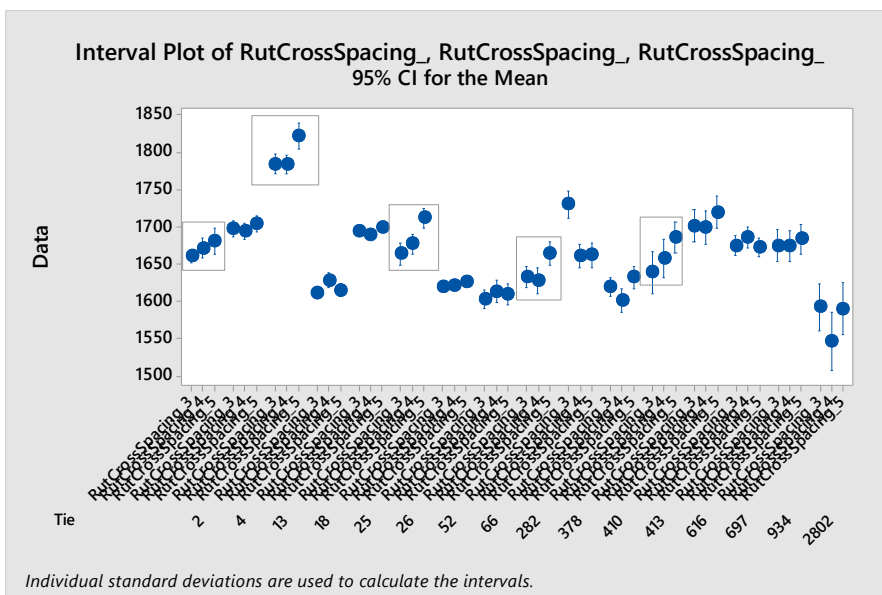
# 8 Urautuminen keväällä

## 8.1 Kevät 2018

Kevään yksittäisten mittauskertojen keskiarvoista oli havaittavissa, että uraväli ja harjanne kasvoivat toisen ja kolmannen mittauskerran välissä (kerrat 4 ja 5). Tämä viittaa raskaan liikenteen deformaatiovaikutuksen alkamiseen. Uravälin osalta havainto näkyi kaikissa liikennemääräluokissa ja harjannekin kolmessa liikennemääräluokassa. Harjanteen kohdalla erot olivat erittäin pienet (Kuva 65). Maksimiurassa ja vasemmassa urassa vastaavaa huomiota ei tehty.



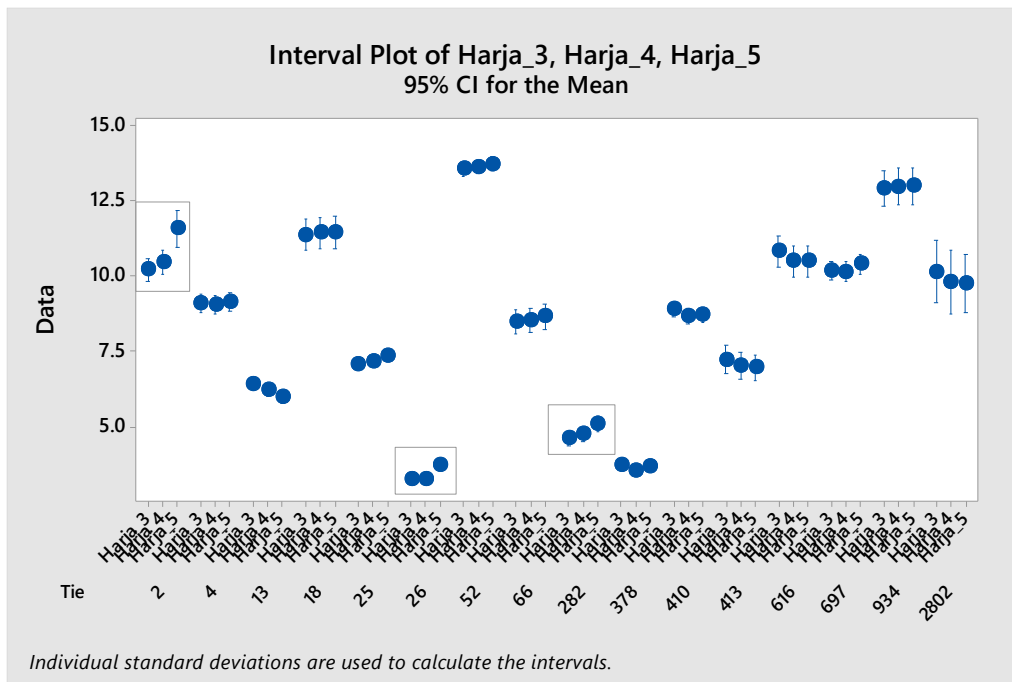
Kuva 65. Uramuuttujat keväällä 2018 mittauskerroittain. Koodit 3, 4 ja 5 tarkoittavat mittauskertoja 1, 2 ja 3.



Kuva 66. Uraväli mittauskerroittain keväällä 2018 eri teillä. Koodit 3, 4 ja 5 tarkoittavat mittauskertoja 1, 2 ja 3.



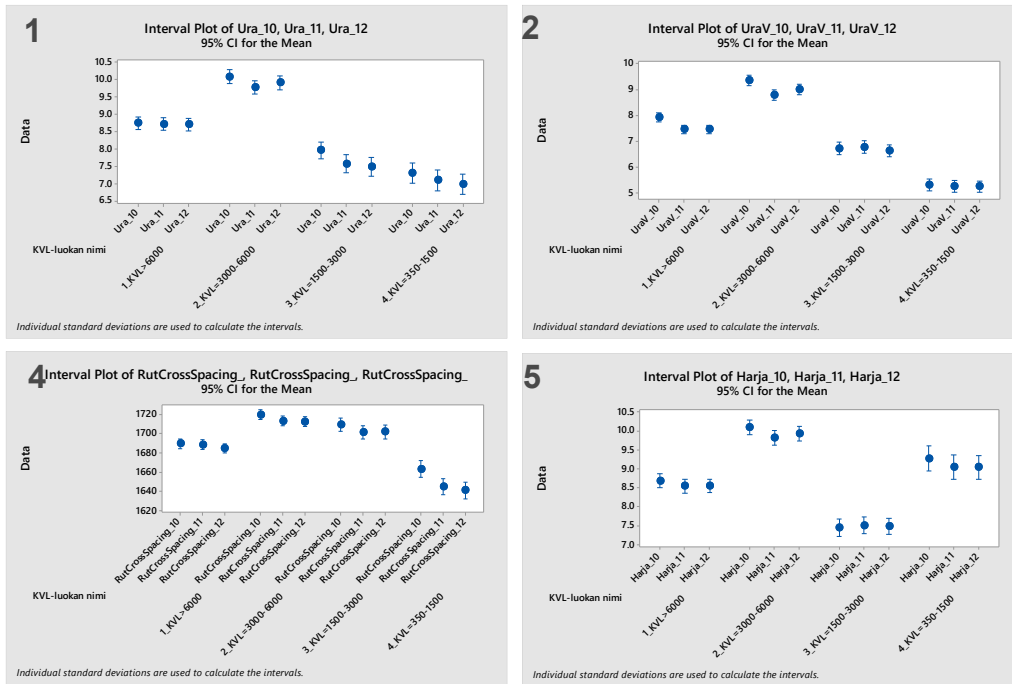
Uravälien kasvua havaittiin valtateilla 2, 13 ja 26 sekä maanteilla 282 ja 413 (Kuva 66). Niistä teillä 2, 26 ja 282 oli myös harjanteen kasvua (Kuva 67). Koodit 3, 4 ja 5 tarkoittavat mittauskertoja 1, 2 ja 3.



Kuva 67. Harjanne mittauskerroittain keväällä 2018 eri teillä. Koodit 3, 4 ja 5 tarkoittavat mittauskertoja 1, 2 ja 3.

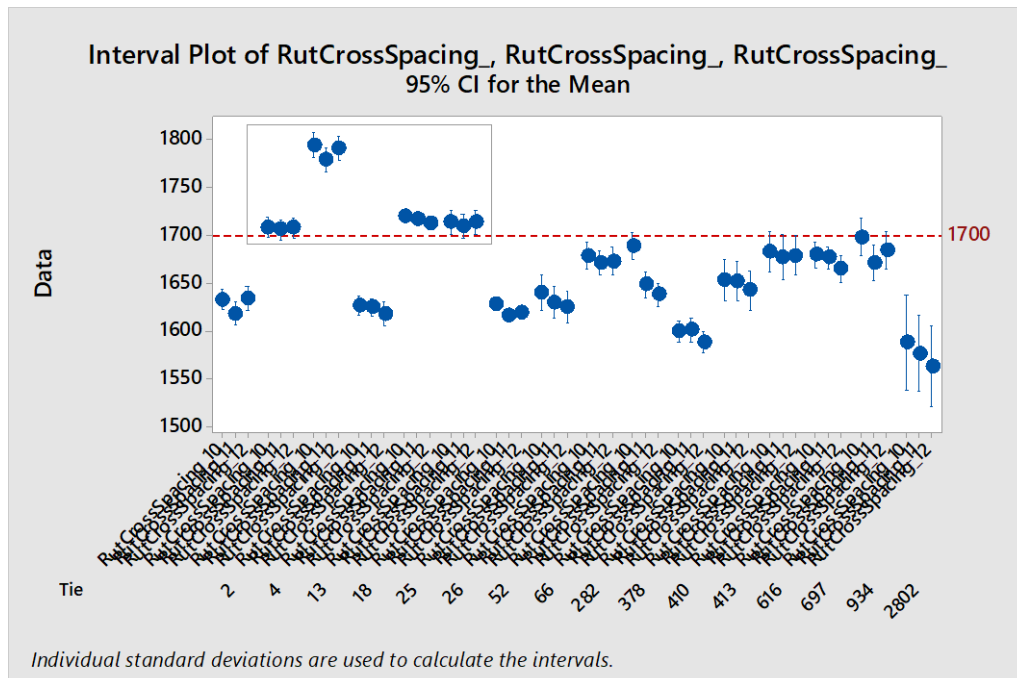
## 8.2 Kevät 2019

Kevään 2019 osalta on esitetty vastaavat kuvat kuten keväältä 2018. Muutokset mittaustuloksissa eri mittauskertojen välillä olivat pienempiä eikä varsinaisia signaaleja siten havaittu.

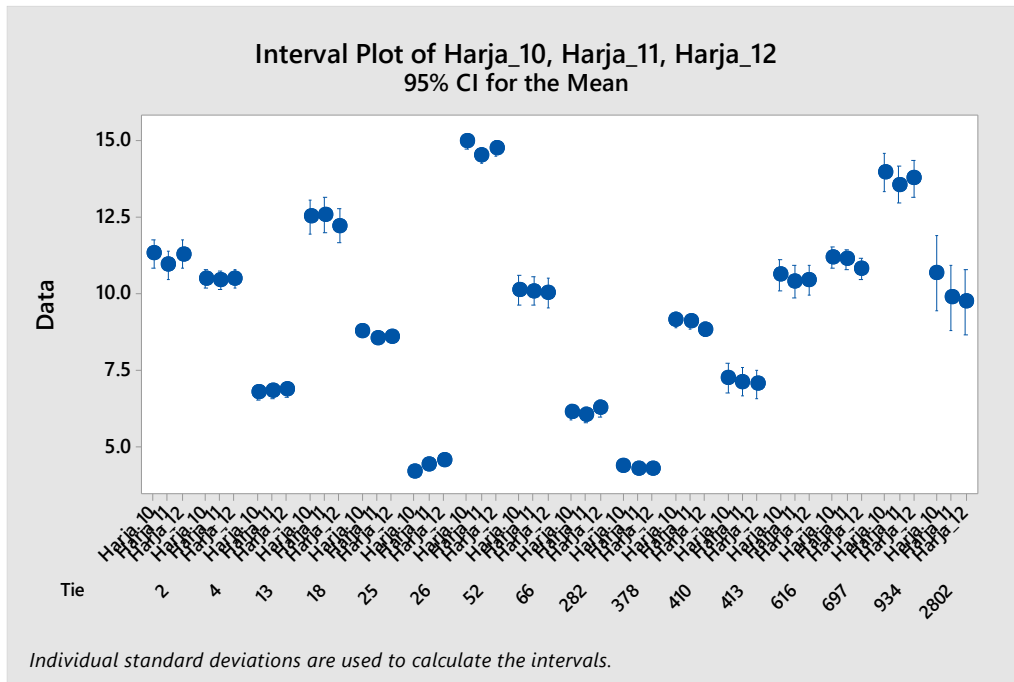


Kuva 68. Uramuuttajat keväällä 2019 mittauskerroittain. Koodit 10, 11 ja 12 tarkoittavat mittauskertoja 1, 2 ja 3.

Uraväli oli poikkeuksellisen suuri valtatiellä 13 ja kuorma-auton uraväli luokassa myös valtateillä 4, 25 ja 26 (Kuva 69).



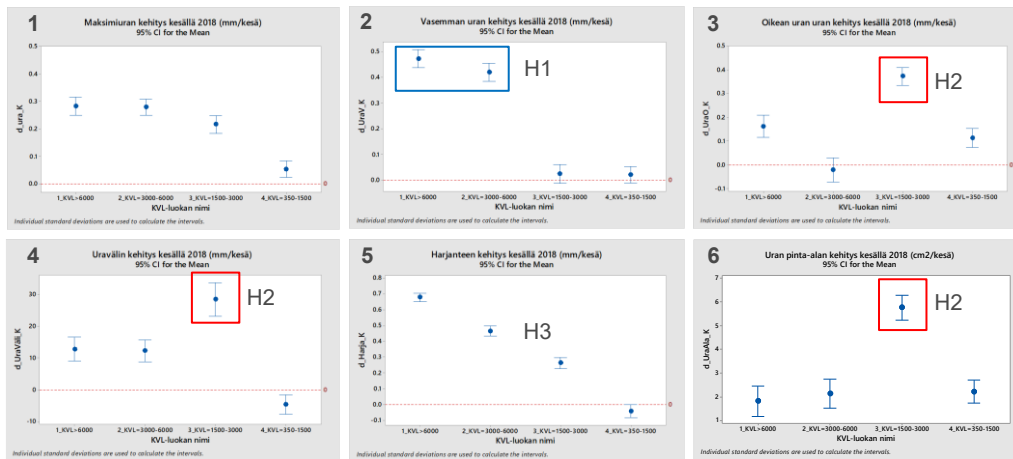
Kuva 69. Uraväli mittauskerroittain keväällä 2019 eri teillä. Koodit 10, 11 ja 12 tarkoittavat mittauskertoja 1, 2 ja 3.



Kuva 70. Harjanne keväällä 2019 teittäin ja mittauskerroittain. Koodit 10, 11 ja 12 tarkoittavat mittauskertoja 1, 2 ja 3.

## 9 Urautuminen kesällä

Kuvasarjassa on kuusi kuvaa, jotka on numeroitu samalla tavalla kaikissa muissa vastaavissa kuvasarjoissa. Keskimääräinen urautuminen oli noin 0,2–0,3 mm/v muissa liikennemääräluokissa paitsi vähäliikenteisellä verkolla (KVL<350) vain 0,05 mm/v.



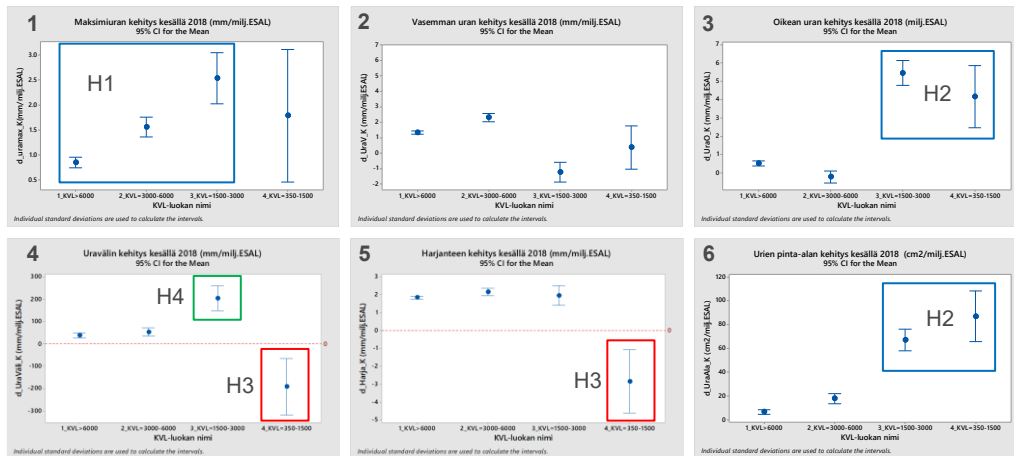
Kuva 71. Uramuuttujien kehitys kesällä 2018 liikennemääräluokittain.

Kuvasarjasta (Kuva 71) voitiin tehdä mm. seuraavia havaintoja:

- Urautumista tapahtui myös kesän aikana ja maksimiuran kehitys oli melko tasaista eri KVL-luokissa, vilkkaat tiet dominoivat (kuva 1).
- H1: KVL-luokkia >3000 dominoi vasemman uran kehitys (kuva 2).
- H2: KVL-luokassa 1500–3000 dominoivat oikea ura sekä uravälän ja urien pinta-alan kehitys (kuvat 3,4 ja 6).
- H3: Harjanteen kehitys oli hyvin KVL-luokasidonnainen (kuva 5) ja oli sitä suurempaa, mitä enemmän oli liikennettä.
- Uraväli kasvoi kesällä kolmessa vilkkaimmassa KVL-luokassa mikä tuki sitä oletusta, että raskaan liikenteen kesänaikaista vaikutusta indikoi uravälän kasvu. Liikennemääräluokassa 350–1500 sitä ei havaittu (kuva 4).

Seuraavassa kuvasarjassa (Kuva 72) on esitetty samojen uramuuttujien kesänaikainen kehitys suhteutettuna raskaan liikenteen kesänaikana aiheuttamaan kuormitukseen. Kuvasarjan urakehitys kuvaa enemmänkin urautumiskestävyyksiä ts. miljoonan standardiakselin aiheuttamaa muutosta. Kuvasarjasta voitiin tehdä mm. seuraavia havaintoja:

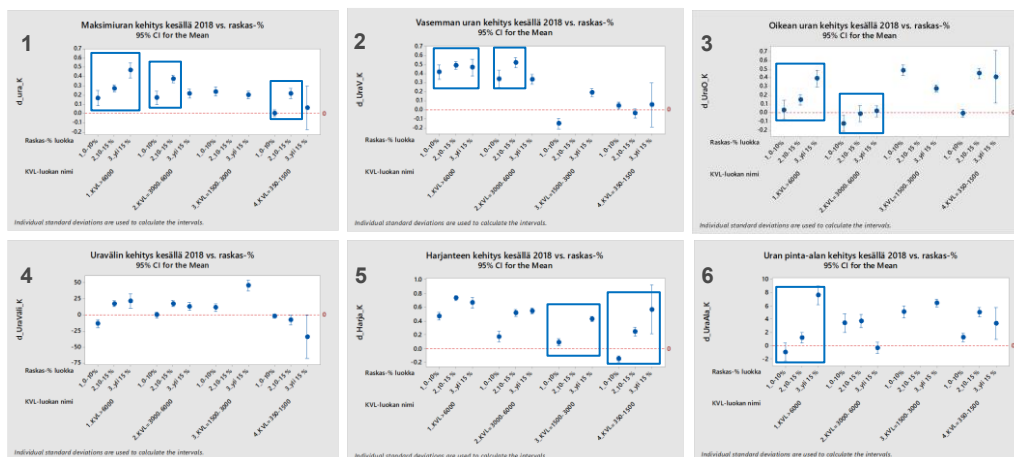
- H1: Urakehitys oli liikeneriippuvainen ja kasvoi sitä enemmän mitä vähemmän oli liikennettä (kuva 1). Kuormitusta kohti laskettu urautumiskestävyyks on siten vilkasliikenteisillä teillä parempi kuin keski- tai vähäliikenteisillä teillä.
- H2: Urapinta-alan ja oikean uran kehitys oli suurinta vähäliikenteisissä luokissa (kuvat 3 ja 6).
- H3: Vähäliikenteisimmässä luokassa uravälän ja harjanteen kehitys olivat negatiivisia ja niiden vaihtelu oli suuri.
- H4: Uravälän kehitys oli suurinta KVL-luokassa 1500–3000 (kuva 4).



Kuva 72. Kuormituskertoihin suhteutettu uramuuttujien kehitys kesällä 2018 liikennemääräluokittain.

Raskaan liikenteen prosenttiosuus kasvatti kesänaikaisen urautumisen kehittymistä muutamissa liikennemääräluokissa, pääasiassa vilkasliikenteisillä kohteilla. Uravälän kehitykseen ei raskaan-% sanottavasti vaikuttanut.

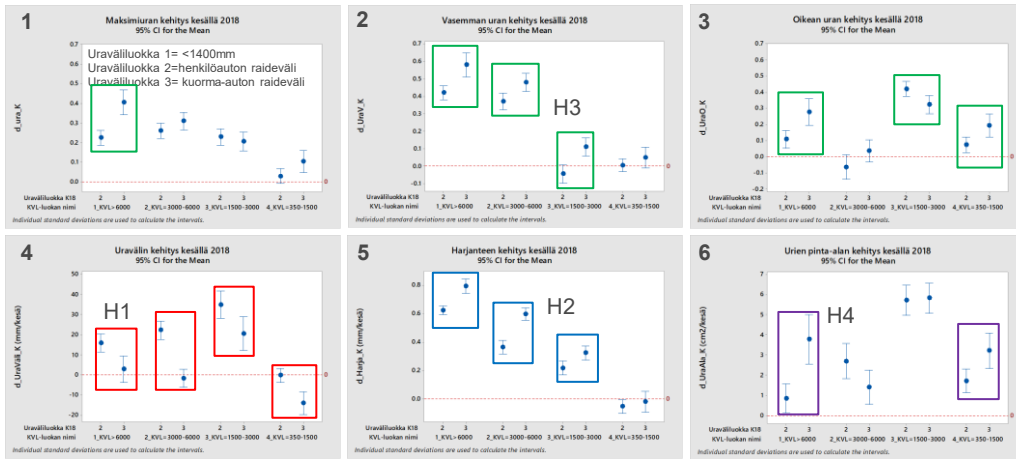
Harjanteen kehitykseen se vaikutti vähäliikenteisillä kohteilla.



Kuva 73. Kohteiden keskimääräinen urautuminen kesällä 2018 raskaan liikenteen luokissa.

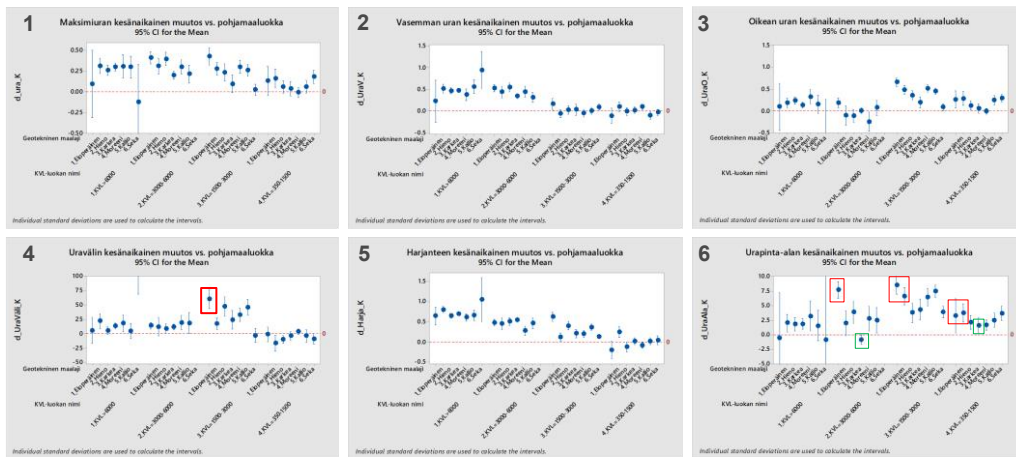
Uramuuttujien kehityksestä kesän aikana eri uraväliluokissa tehtiin seuraavia huomioita (Kuva 74).

- H1: Henkilöauton uraväli kasvoi kesällä, kuorma-auton ei (luonnollisesti), mikä viittaa siihen, että aiheuttajana oli raskaan liikenne (Kuvan osa 4).
- H2: Harjanteen kasvuun kesällä vaikuttivat liikenne ja uraväli keväällä. Harjanne kasvoi kesällä enemmän niillä teillä, joilla oli keväällä kuorma-auton uraväli (osa 5).
- H3: Vasemman uran kehitykseen kesällä pätee sama, mitä todettiin harjanteen kehittymisestä. Vasen ura kasvoi kesällä enemmän niillä teillä, joilla oli keväällä kuorma-auton uraväli (osa 2).
- H4: Urien pinta-ala kasvoi kesällä enemmän kuorma-auton uraväliluokassa kuin henkilöauton uraväliluokassa (osa 6). Tilastollisesti merkitsevää se oli vain vilkkaimmassa ja vähäliikenteisimmässä liikennemääräluokassa.



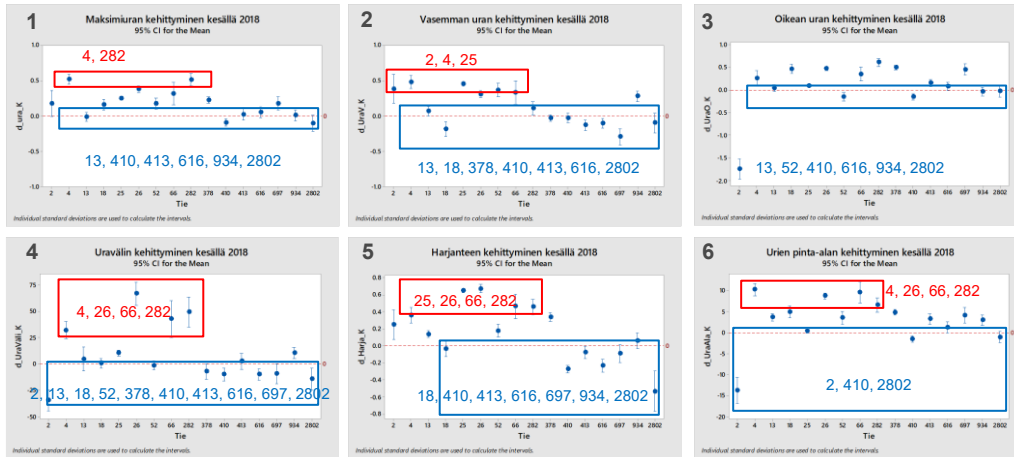
Kuva 74. Kohteiden keskimääräinen urautuminen kesällä 2018 uraväluokittain.

Urautumista tarkasteltiin myös eri pohjamaaolosuhteissa. Pohjamaaolosuhteet oli kerätty aiemmin teosille Geologisen tutkimuslaitoksen aineistoista ja ne ryhmiteltiin geologisen maalajiluokituksen mukaisiin pääryhmiin. Pohjamaan vaikutus kesänaikaiseen urautumiseen oli melko vähäinen (Kuva 75). Joitakin heikkoja signaaleja oli havaittavissa siitä, että esim. eloperäisillä pohjamailla urakehitys oli suurta ja vastaavasti karkearakeisilla pohjamailla pientä. Kohteiden urautumisen keskiarvot olivat kuitenkin eri luokissa lähellä toisiaan eivätkä erot olleet tilastollisesti merkitseviä.



Kuva 75. Urauttujien kesänaikainen kehitys eri pohjamaaryhmissä.

Kohteet oli jaettavissa melko selkeästi nopeasti urautuviin ja ei urautuviin seuraavan kuvan avulla (Kuva 76). Teillä 2,4,25, 26, 66, ja 282 jokin tai monet ura-  
muuttujat kehittyivät kesän aikana merkittävästi. Teillä 13,18, 378, 410, 413, 616, 697, 934 ja 2802 kehitys oli joko vähäistä tai jopa negatiivista. Jäljellejäävillä teillä 52 ja 378, kehitys oli positiivista, mutta pientä.

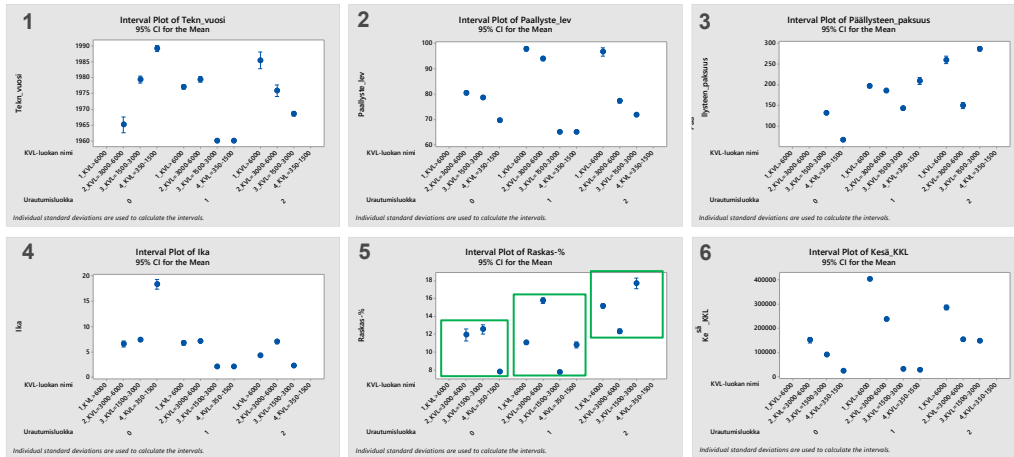


Kuva 76. Uramuuttujien kehitys kesällä teittäin.

Uramuuttujien kehitys kesällä päällystetyypeittäin päällystepaksuusluokissa oli osin epälooginen (Kuva 79). Päällystepaksuusluokka muodostettiin päällystepaksuuden mediaanista luokkarajoilla  $\pm 20\%$ . Tarkastelusta tehtiin seuraavia havaintoja:

- Tilanteita, joissa päällystepaksuus vaikutti jonkun uramuuttujan kehitystä vähentävästi (looginen), oli 10 kpl kun tilanteita, joissa vaikutus oli kehitystä kasvattava (epälooginen), oli 17 kpl. Tilanteita, joissa päällystepaksuus näytti vaikuttavan ristiriitaisesti kaikki paksuusluokat huomioiden, oli 7 kpl (H1). AB-päällysteisillä kohteilla kaikki muut uratunnusluvut urien pinta-alaa lukuun ottamatta käyttäytyivät niin.
- Tilanteita, joissa päällystepaksuus näytti vaikuttavan loogisesti kaikki luokat huomioiden, oli vain 1 kpl (H2). Tämä oli harjannemuuttujassa SMA-päällysteisillä kohteilla.
- Tilanteita, joissa päällystepaksuus vaikutti loogisesti luokkien 1 ja 2 välillä mutta epäloogisesti luokkien 2 ja 3 välillä, oli 9 kpl. (H3). Näitä tilanteita oli eniten PAB-päällysteisillä kohteilla. Eräänä selityksenä voisi olla, että PAB-päällysteillä poikkeuksellisen lämpimän kesän helle olisi vaikuttanut paksuilla päällysteillä deformaatiota kasvattavasti.
- AB-päällysteisillä kohteilla sekä maksimiuran että harjanteen kehitys olivat paksuusluokan suhteen nousevia (H1) kun taas SMA-päällysteisillä kohteilla harjanne kehittyi paksuusluokan suhteen laskevasti, tosin erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä (H2, kuvan osat 1 ja 5).

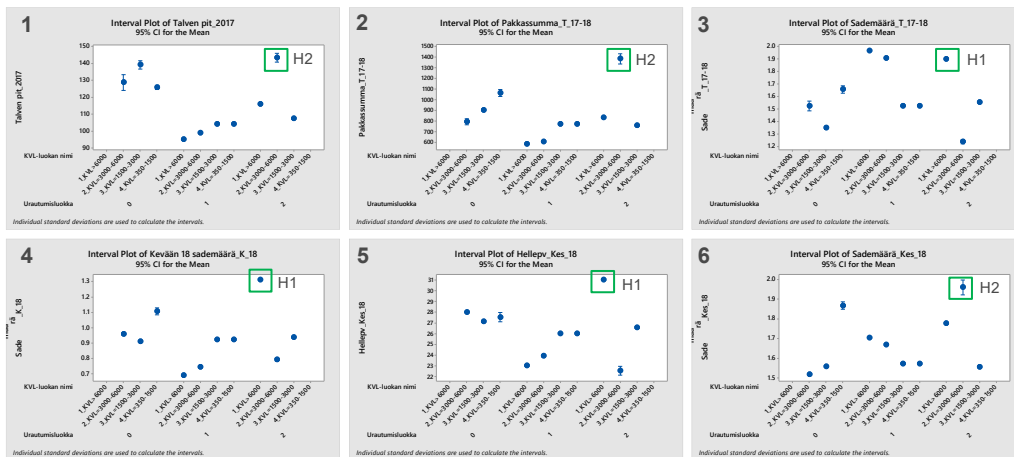
Kohteet luokiteltiin edellisen kuvan tarkastelun mukaan kolmeen urautumisluokkaan, jotka olivat 0=ei urautumista tai kehitys negatiivista, 1= vähäistä positiivista kehitystä useissa uratunnusluvuissa ja luokka 2=voimakasta kehitystä useissa uratunnusluvuissa. Eri urautumisluokkiin kuuluvien kohteiden yleistietoja tarkasteltiin oheisen kuvan tapaan liikennemääräluokittain (Kuva 77). Tarkasteltavina yleistietoina olivat teknisen toimenpiteen vuosi (kuvan osa 1), päällysteen leveys (kuvan osa 2), päällysteen paksuus (kuvan osa 3), päällysteen ikä (kuvan osa 4), raskaan liikenteen prosenttiosuus (kuvan osa 5) ja kesän kuormituskertalukukertymä (kuvan osa 6). Kun verrattiin, miten yleistiedot poikkesivat urautumisluokan 2 kohteilla verrattuna urautumisluokkien 1 tai 0 kohteisiin, niin todettiin, ettei yleistiedoista löytynyt oikeastaan selittäviä tekijöitä lukuun ottamatta raskaan liikenteen %-osuutta, joka näytti olevan urautumisluokan 2 kohteilla hiukan muita suurempi.



Kuva 77. Eräitä kohteiden yleistietoja urautumislukittain.

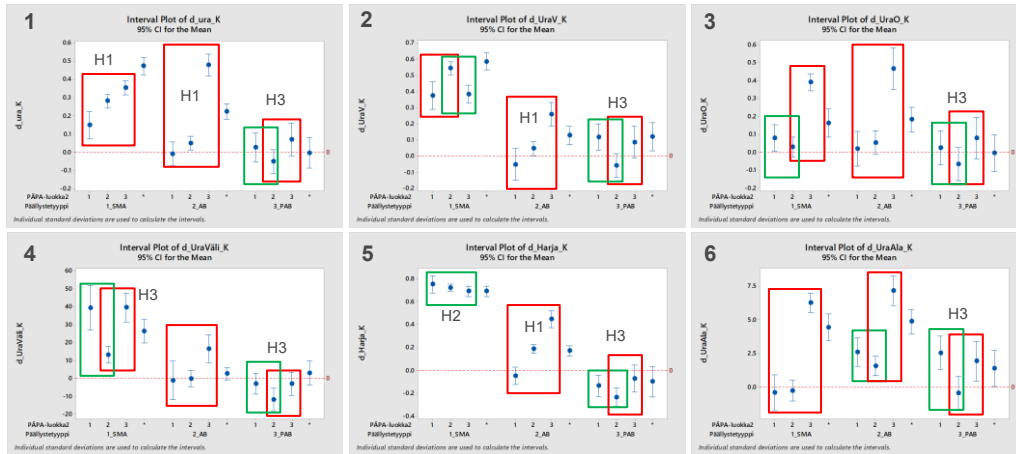
Toisena tarkasteluna oli eräiden säätietojen vertailu urautumislukissa. Säätiedot kerättiin Ilmatieteen laitoksen sivuilta vrk-keskiarvoina ja ne jaettiin vuodenaikojen mukaan. Kunkin kohdealueen säätiedot kerättiin niitä lähellä olevilta sääasemilta. Tarkastelussa tehtiin seuraavat huomiot:

- Vilkkaimman liikennemääräluokan kohteilla urautumislukon 2 kohteilla oli muiden urautumislukon kohteita suurempi talven ja kevään sademäärä sekä kesän hellepäivien määrä (H1).
- Toiseksi vilkkaimman liikennemääräluokan (KVL=3000–6000) urautumislukon 2 kohteilla oli muiden urautumislukon kohteita suurempi talven pituus ja pakkassumma sekä kesän sademäärä (H2).
- Sääntunnuslukujen vaikutus urautumistunnuslukujen kehitykseen tuntui kuitenkin kokonaisuutena melko heikolta.



Kuva 78. Eräitä säätunnuslukuja urautumislukittain.



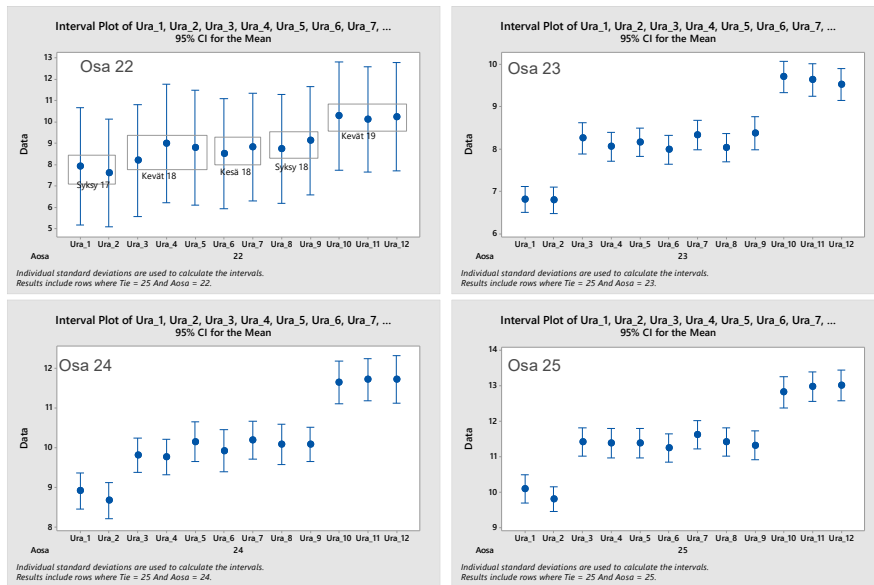


Kuva 79. Uramuuttujien kehitys kesällä päällystetyypeittäin päällysteen paksuusluokissa, vihreä kehys = looginen vaikutus ja punainen kehys = epälooginen vaikutus.

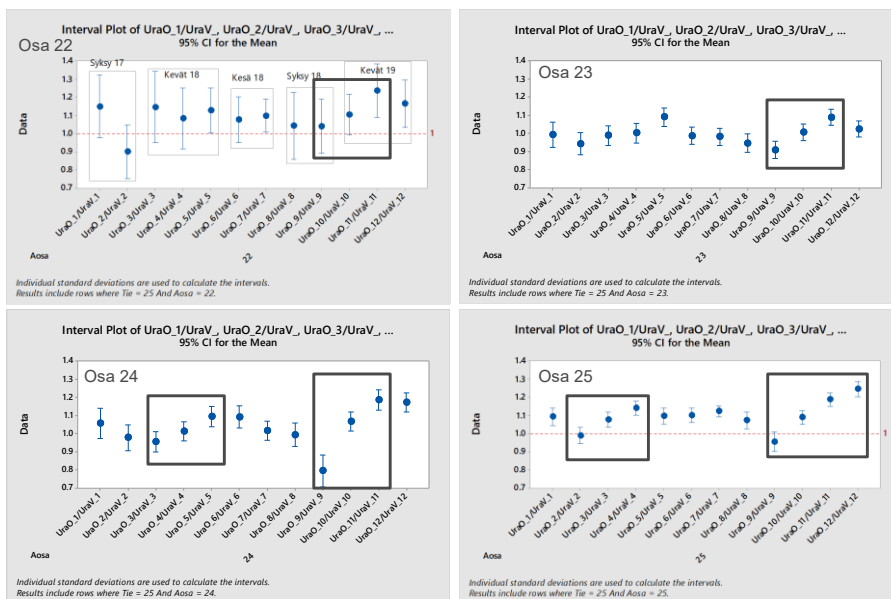
# 10 Erillistarkasteluja

## 10.1 Valtatie 25

Valtatien 25 neljää tieosaa tarkasteltiin erikseen tarkemmin. Maksimiuran keskiarvot tieosittain ovat melko samanlaisia. Ensimmäisen syksyn mittaustulokset olivat alhaisimmat ja viimeisen kevään vastaavasti korkeimmat. Toistokerroilla keskiarvot olivat lähellä toisiaan. Urautumista tapahtui syksy- ja kevätmittausten välillä eli talvella. Vuoden 2018 kevään, kesän ja syksyn mittaustulokset olivat yllättävän saman suuruisia (Kuva 80).



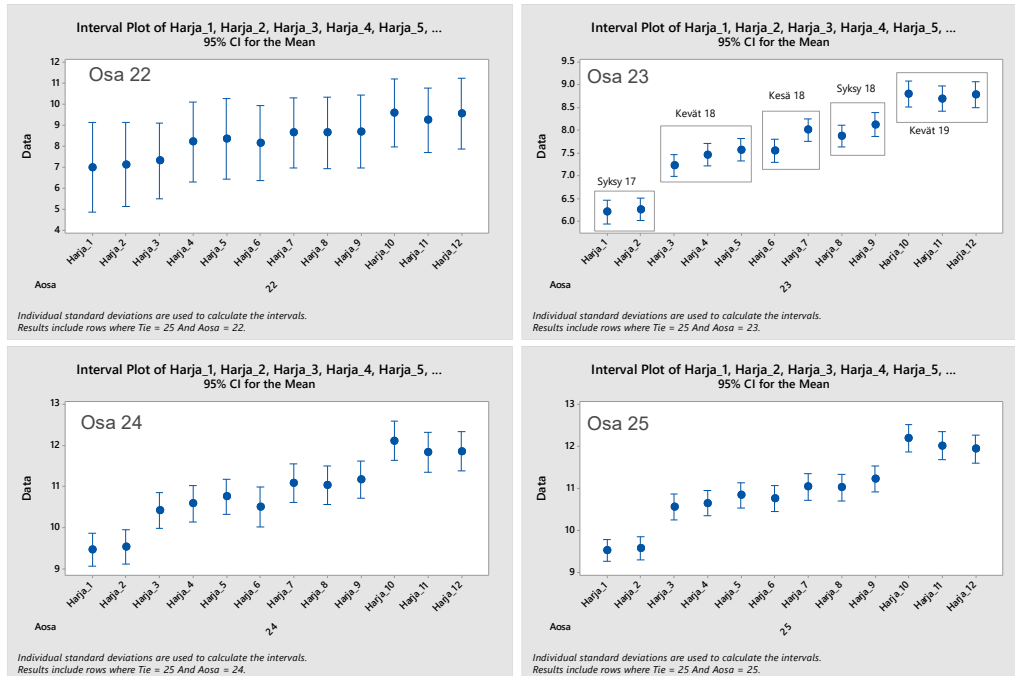
Kuva 80. Maksimiurien tieosakeskiarvot mittauseroittain valtatiellä 25 tieosilla 22–25. Mittaussuunnat yhdistetty.



Kuva 81. Oikean ja vasemman uran suhteiden keskiarvot mittauseroittain valtatiellä 25 tieosilla 22–25.

Oikean ja vasemman uran suhde kasvoi mentäessä syksystä kevääseen. Kesän aikana se joko pysyi ennallaan tai pieneni (Kuva 81).

Harjanne kasvoi pääasiassa talven aikana (Kuva 82).



Kuva 82. Harjanteen tieosakeskiarvot mittauskerroittain valtiellä 25 tieosilla 22–25.

# 11 Yhteenveto ja johtopäätökset

## 11.1 Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin teiden urautumista kesällä ja talvella mittaamalla urasyvyudet syksyllä ennen nastarengaskauden alkamista ja keväällä sen loputtua. Mittauksiin valittiin kohteita, jotka sijaitsivat eri alueilla maata lähtien etelän rannikolta pohjoisen Lappiin. Kahdeksan aluetta sisälsi noin 720 km kohteita. Kohteet pyrittiin valitsemaan siten, että niissä oli päällysteeltään, liikenteeltään, rakenteiltaan ja pohjamaan osalta erilaisia teitä. Sellaisia tieosia kartettiin, joilla oli paljon puuttuvia taustatietoja.

Kohteiden yleistiedot kerättiin tierekisteristä ensin vuodelta 2017, mutta niitä päivitettiin myöhemmin vuodelta 2019. Vähäliikenteisten kohteiden liikennemäärät laskettiin uudestaan ja niillä päivitettiin tierekisterin vanhentunut liikennetieto.

Syksyn mittaukset aloitettiin vuonna 2017, jolloin tehtiin kaksi mittausta (kohteiden sijainnista riippuen) noin 2–4 vk välein. Syksyisin tehtiin kaksi mittausta ja keväisin kolme. Kevään mittaukset ajoitettiin nastarengaskauden päättymistä ennakoiden. Viimeinen mittaus tehtiin keväällä 2019. Urautumisaineistoa syntyi siten kahden talven, kahden syksyn, kahden kevään ja yhden kesän ajalta. Pääasiassa tarkasteltiin talvien ja kesän aikaista urautumista.

Uratunnusluvuiksi valittiin aluksi maksimiura, vasen ja oikea ura, uraväli, harjanne sekä urien poikkipinta-ala. Nämä olivat laskettavissa pistekohtaisista (PTM) mittauksista. Mittaukset suoritettiin osalta kohteita käyttäen myös skanneria, mutta niitä tuloksia ei ole tässä työssä vielä käsitelty.

Mittausajankohtien perusteella laskettiin talven aikainen kevyiden ajoneuvojen ylityskertojen määrä ja kesän aikainen raskaan liikenteen aiheuttama kuormituskertojen määrä. Näiden avulla muodostettiin myös ominaisuurautumista kuvaavat vastemuuttajat eli muutos tuloksissa kuormittavan liikenteen ylityskertoja kohti.

Lisäksi muodostettiin suhdetunnuslukuja, joita olivat oikean ja vasemman uran suhde, maksimiuran suhde harjanteeseen ja uran ja harjanteen suhde pinta-alaan.

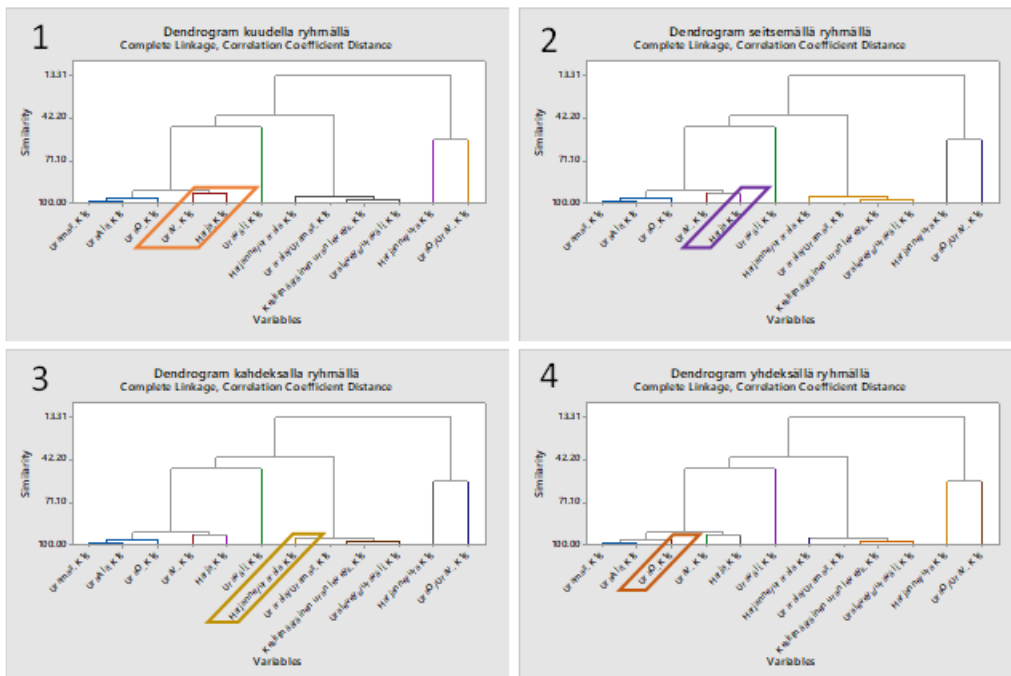
Lisäksi kerättiin säätietoa kunkin kohdealueen lähellä sijaitsevilta Ilmatieteenlaitoksen sääasemilta. Kerätyt säätiedot olivat vuorokauden keski-, minimi- ja maksimilämpötila, sademäärä ja lumen syvyys. Niiden avulla muodostettiin sadepäivien, pakkaspäivien ja hellepäivien lukumäärät.

Kohteiden pohjamaatiieto kerättiin aiemmin tehdyistä selvityksistä ja se luokiteltiin maalajiryhmiin geologisen maalajiluokituksen mukaan.

Aineistoa karsittiin käsiteltävään muotoon siten, että puuttuvia tai epäloogisia havaintoja poistettiin. Aineistolle tehtiin aluksi ryhmittelyanalyysi, missä tarkasteltiin, miten sen muuttajat ryhmittyvät toistensa kanssa (Kuva 83).

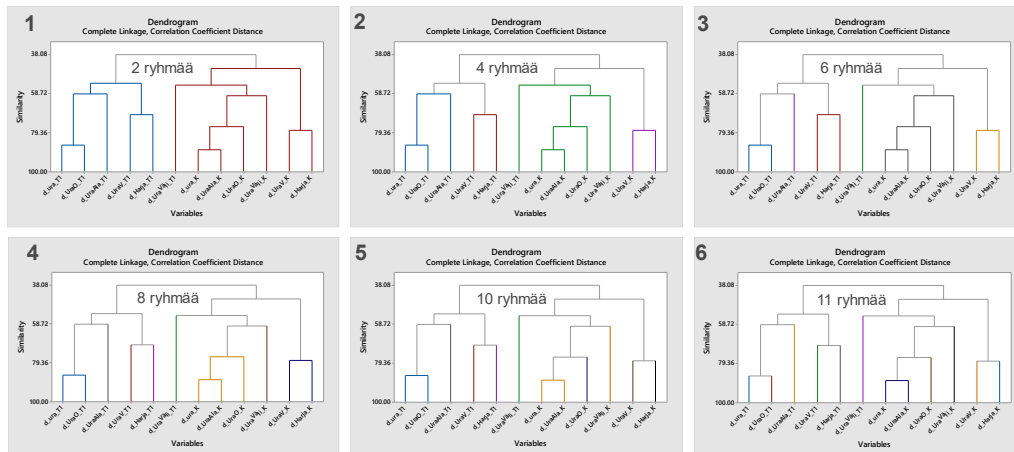
Johtopäätöksenä mitattujen uramuuttujien ja niistä muodostettujen suhdemuuttujien ryhmittelyanalyysistä olivat seuraavat havainnot:

- uramuuttujat ja suhdemuuttujat kuvaavat eri ilmiöitä ja ne kannattaa jakaa omiksi ryhmikseen
- uraväli kannattaa valita tarkasteltavaksi muuttujaksi
- oikean ja vasemman uran suhde kannattaa valita tarkasteltavaksi muuttujaksi
- harjanteen suhde maksimiuraan tai urien pinta-alaan on myös tärkeä muuttuja
- oikea ura ja urien pinta-ala ovat lähellä maksimiuraa eikä niitä kaikkia kannata tarkastella
- lopullinen suositus uratunnusluvuiksi on maksimiura, vasen ura, harjante, uraväli, oikean ja vasemman uran suhde ja harjanteen suhde maksimiuraan



Kuva 83. Uratunnuslukujen ryhmittely kun ryhmämäärä vaihteli välillä 6–9.

Toinen ryhmittelyanalyysi tehtiin talven ja kesän kehitysmuuttujille (Kuva 84).



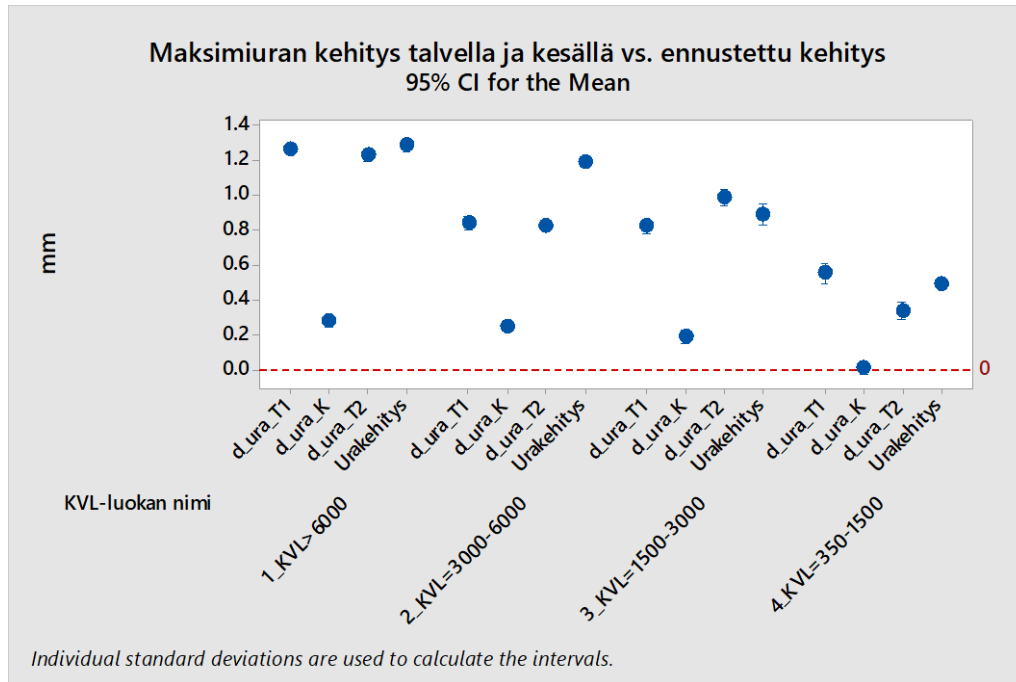
Kuva 84. Uramuuttujien ryhmittely ryhmittelyanalyysillä.

Johtopäätöksenä tästä ryhmittelyanalyysistä on, että

- maksimiuran kehitys oli sekä kesällä että talvella lähellä oikean uran ja urien pinta-alan kehitystä ja vasemman uran ja harjanteen kehitys lähellä toisiaan sekä kesällä että talvella.
- urautumisen tarkasteluun tarvitaan siten vähintään neljä ryhmää (tai tunnuslukua), kaksi talvella ja kaksi tai kolme kesällä. Kesän uraväli tulisi olla oma tunnuslukunsa.
- suositellut tunnusluvut ovat **maksimiuran kehitys, vasemman uran kehitys, harjanteen kehitys ja uravälin kehitys.**

Talvenaikainen urautuminen oli keskimäärin 0,5–1,3 mm liikennemääräluokasta riippuen. Kesänaikainen urautuminen oli vastaavasti noin 0–0,3 mm. Talvenaikainen urakehitys oli melko lähellä Väyläviraston ennustemalleilla (trendimaltit) laskettua urakehitystä. Poikkeuksena oli liikennemääräluokka 3000–6000, jossa ennustettu kehitys oli jopa suurempi kuin talven ja kesän urakehitysten summa.

Deformaation osuus oli keskimäärin noin 0,3 mm (pl. vähäliikenteisin luokka), mikä vastasi noin 25 % vuoden koko urautumisesta.



Kuva 85. Maksimiuran keskimääräinen kehitys talvella ja kesällä sekä uramalleilla ennustettu urakehitys liikennemääräluokittain. (T1= talvi 2017-18 ja T2=talvi 2018-19, K=kesä 2018).

Uramuuttujien kehityksiä tarkasteltiin monipuolisesti varioimalla tunnuslukua ja taustamuuttujia. Pääsääntöisesti tiet urautuvat talvella sitä enemmän, mitä enemmän on liikennettä. Toisaalta ominaisurautuminen (mm/ylityskerrat tai KKL) oli sitä suurempaa, mitä vähäliikenteisemmästä tiestä oli kyse. Poikkeuksen muodosti usein vähäliikenteisin luokka.

Keskeisimpiä taustamuuttujia olivat nopeusrajoitus, päällystepaksuus, päällysteen leveys, pohjamaaluokka, liikennemäärä, päällystetyyppi ja säätiedot. Karkealla tasolla tarkasteltaessa urautumisen keskiarvot käyttäytyivät välillä loogisesti, mutta välillä taas epäloogisesti. Yhden tai kahden taustamuuttujan samanaikainen tarkastelu on graafisesti esitettyinä se raja, jolla voidaan tarkasteluja tehdä, mutta niiden taakse kätkeytyy usein muita taustamuuttujia, jotka saattavat aiheuttaa keskiarvoihin vääristymiä. Siksi onkin hankala tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä urautumisen tarkemmista syistä.

Aineistossa oli kaksi hiukan erilaista talvea ja yksi hyvin poikkeuksellinen kesä. Jotta esim. säätietoihin saataisiin skaalaa enemmän, olisi hyvä, että aikasarja kattaisi pitemmän ajanjakson. Syksyn mittauksilla saataisiin toinen hiukan normaalimpi kesä mukaan tarkasteluihin. Aineistoa karsiutui pois melko paljon ja sen ehkäisemiseksi tulisi taustamuuttujien kattavuutta parantaa. Esim. päällysteiden paksuustieto ollaan parhaillaan keräämässä eikä kaikkia mittaustuloksia saatu tähän työhön.

Yksityiskohtaisempiin analyysihin päästäisiin tarkastelemalla enemmän yksittäisiä teitä 100 m tai jopa 10m tasolla.

## 11.2 Johtopäätökset

Toteutettu työ oli hyvä ensiaskel deformaatiouran syntymisen ja suuruuden selvittämiseksi tiellä tehtävin mittauksin. Tehdyssä työssä tarkasteltiin vain pistelaser-tekniikalla saatuja tunnuslukuja. Urautumistyyppien selville saamiseksi tarvittaisiin uusia tunnuslukuja, joiden mittaustiheys pitäisi tien poikkisuunnassa olla parempi. Tässä auttaisi skanneritekniikka.

Johtopäätöksinä tehdystä työstä voidaan listata mm. seuraavia näkökohtia ja suosituksia:

- Kohdejoukko edustaa erilaisia teitä ja erilaisia ilmastoalueita, muttei täysin kattavasti.
- Mittausten aikasarja on hyvä alku, mutta esim. säätietojen selittävyys takia vielä lyhyt ja sitä kannattaisi jatkaa. Toisaalta kohteita jää vanhaksi, kun niille tehdään hoito- ja päällystystoimenpiteitä, joiden vaikutusta siinä on olisi myös hyvä tarkastella.
- Pistelasermittausten tunnuslukuvalikoima on rajallinen ja sen takia skannausmittauksista saatettaisiin saada tärkeitä lisämuuttujia. Urien leveys, poikkipinta-ala ja ns. "olkapäiden" olemassaolo olisi käyttökelpoinen tieto deformaation tarkastelussa.
- Analysointimahdollisuudet ovat suuret, mutta aineiston hyvyys pitäisi pystyä varmistamaan ennen sitä. Osoitteiston ja taustamuuttujien päivitys yhdessä mittaushistorian kanssa oli haasteellinen työ ja aikaa aineiston "siivoamiseen" ja analysointiin jäi yrityksistä huolimatta rajallisesti.
- Tuloksia tulisi käsitellä ohjausryhmän kanssa enemmän, jolloin syntyisi enemmän vuorovaikutusta. Tällöin syntyisi uusia "polkuja" erilaisten heikkojen signaalien käsittelyä.
- Deformaatioilmiön tutkiminen pelkkien uramittausten avulla kaipaisi tukea parempaan rakenteiden ja ajoneuvojen rengastusten tuntemista. Kun tutkitaan kantavan kerroksen kevään aikaisen sulamisen vaikutuksia, pitäisi tehdä kantavuusmittauksia juuri kevään aikaan, jolloin saataisiin selville juuri sitä kantavan kerroksen sulamisen aikaista ilmiötä.
- Päällystepaksuustietoa oli osittain käytettävissä, mutta muiden kerrosten paksuustietoa ei ollut. Rakennekerrosten tunteminen mahdollistaisi laskennallisten vasteiden laskennan, joka saattaisi tuoda lisää tietoa siitä, miten eripaksuisilla päällysteillä erilevyisten renkaiden aiheuttamat maksimijännitykset osuvat kantavaan kerrokseen ja erityisesti sen heikkoon osaan.
- Työhön ei sisällynyt sellaista maastotyövaihetta, jolla olisi haettu varmaa tuntumaa itse deformatiivisuudesta. Tällainen vaihe olisi saattanut tuoda esille sellaisia yksittäisiä kohtia, joissa deformatiivisuutta nimenomaan on. Maastotyöstä olisi saatettu saada paremmin selville sellaisia varmoja kohtia, joihin olisi kannattanut paneutua tarkemmin.
- Kohteiden kuivatuksen toimivuudesta ei ollut tietoa.
- Kohteiden leikkaus/penger asiasta ei ollut tietoa.
- Luiskakaltevuudesta ei ollut tietoa.



## Lähteet

1. Päälystettyjen teiden palvelutasomittaus (PTM) 2014–2019. Sopimuksen liite 2. *PTM-muuttujien määrittelyt ja tallennusformaatti* (3.3.2017).
2. Lampinen Anssi. *Kestopäälysteiden urautuminen*. VTT. 1993. ISBN-13: 978-951-384-1294, ISBN-10: 9513841294.
3. Päälystettyjen teiden palvelutasomittaus (PTM) 2008–2013. *Sopimus*. 20.4.2007
4. *Palvelutasomittausten mittausohjelmien kehittäminen*. Tiehallinnon selvityksiä 21/2009.  
[https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/3201135-v-mittausohjelmien\\_kehittaminen.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf2/3201135-v-mittausohjelmien_kehittaminen.pdf)
5. *Talvirenkaiden käytön aikataulu ja siihen vaikuttavat tekijät*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 40/2017.  
[https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts\\_2017-40\\_talvirenkaiden\\_kayton\\_web.pdf](https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2017-40_talvirenkaiden_kayton_web.pdf)
6. *Kitkarengastutkimus*. Trafi. Joulukuu 2015.
7. Pauliina Aho: *Kesärenkaiisiin vaihtamisajankohta*. 12.6.2017. Liikennevirasto.
8. Pauliina Aho: *Talvirenkaiisiin vaihtamisajankohta*. 27.12.2016. Liikennevirasto.
9. Mikko Malmivuo & Juha Luoma: *Talvirenkaiden kunnan kehittyminen vuosina 2001–2010*.
10. Harri Heikkinen: *Nastarenkaiden vaikutus päälysteiden kulumiseen taajamanopeuksissa*. Lisensiaatintyö 2012.
11. Andrew Dawson, Pauli Kolisoja: *Urautumisongelmien ratkaiseminen vähäliikenteisillä teillä*. Tiivistelmä. Roadex 2006.
12. Ilmatieteen laitos. *Säähavaintojen data 2003–2016*.
13. Andrew Dawson, Pauli Kolisoja, Nuutti Vuorimies: *Understanding Low-Volume Pavement Response to Heavy Traffic Loading*. 2008.
14. Virtala Pertti: *Luentomateriaali Helsinki Summer School in Transportation 8.–12.8.2011*. Aalto yliopisto. 2011.
15. Päälystettyjen teiden palvelutasomittaus (PTM) 2021–2026. Sopimuksen liite 2. *PTM-muuttujien määrittelyt ja mittausten tallennus*. VÄYLÄVIRASTO. Helsinki 2019. Luonnos 27.9.2019.
16. Päälystettyjen teiden palvelutasomittaus (PTM) 2014–2019. Sopimuksen liite 3. *Laatuvaatimukset, sopimussakot ja arvovähennysperusteet* (26.2.2013). LIIKENNEVIRASTO. Helsinki 2013.
17. Akselimassatutkimus 2015. Data-aineisto.
18. Shi Qiu, Kelvin C. P. Wang, Aonan Zhang, Qiang Joshua Li & Mike M. Moravec: *A comprehensive system for AASHTO PP69-10-based pavement rut evaluation using 1-mm 3D pavement surface model*. International Journal of Pavement engineering, 2016.
19. Shi Qiu: *MEASUREMENT OF PAVEMENT PERMANENT DEFORMATION BASED ON 1MM 3D PAVEMENT SURFACE MODEL*. Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY. December, 2013.
20. Virtala Pertti: *Uraväliselvitys*. Työraportti. 2016.

# Mittausten ohjelmointi

## 1. Mittausurakka 2003–2007

Mittausurakan 2003–2007 mittausohjelman laadintaperusteet eivät olleet tätä julkaisua tehtäessä saatavilla.

## 2. Mittausurakka 2008–2013

Mittausurakan 2008–2013 mittausohjelman laadintaperusteista on ohessa muutamia poimintoja.

Mittausurakan sopimuksessa on mainittu mittausten ohjelmoinnista seuraavaa: "Tilaaaja tilaa sopimuskaudella vuosittain arviolta 25000–36000 kilometrin mittausvolyymiin. Toimittajan suoritusvelvollisuuteen eivät kuulu yli 36000 km:n vuosittaiset tuotantomittaukset. Yli 36000 km:n mittauksista ja niiden kilometrihinnasta sovitaan erikseen. Tilaaaja vastaa mittauskohteiden valinnasta, laatii kohdeluettelon ja ohjeellisen ajankohdan." [3].

Lisäksi sopimuksessa on mainittu toimittajalle kuuluvista tehtävistä mm. seuraavaa: "

Päällystettyjen teiden palvelutasomittaukseen kuuluu seuraavat tehtävät:

- mittausohjelman tarkistaminen ja tarkentaminen Tilaaajan kanssa ennen mittauskauden alkua
- mittausuunnitelman laadinta Tilaaajan toimittaman kohdeluettelon perusteella"

Mittausohjelman periaatteet olivat enemmän Tilaaajan hallinnassa ja vastuulla ja Toimittaja ainoastaan muokkasi kohteet mitattavaksi ohjelmaksi. Mittausten ohjelmointiperiaatteet olivat suunnilleen seuraavat [4]:

- keväisin mitataan päätiet ja liikennemäärältään KVL>1500 ajon/vrk tiet. Pääteitä ovat valta- ja kantatiet. 2-ajorataisten teiden kaikki kaistat mitataan molempiin suuntiin, lisäksi mitataan tarvittaessa toimenpideohjelman kohdentamiseen liittyviä tulevia urapaikkauskohteita
- kesäisin on mitattu lähinnä kolme vuotta vanhoja mittauskohteita vain yhteen suuntaan
- syksyisin on mitattu toimenpidekohteita ja muita lisäkohteita tiepiirien harkinnan mukaan

## 3. Palvelutasomittausten ohjelmoinnin kehittäminen 2009

Mittausohjelmoinnin laadintaperiaatteita kehitettiin vuonna 2009 tehdyssä selvityksessä "Palvelutasomittausten ohjelmoinnin kehittäminen. Tiehallinnon selvityksiä 21/2009". Selvityksessä todettiin mm. seuraavaa [4]:

- Päällysteiden ylläpidon toiminnansuunnittelu perustuu pääosin ura- ja tasaisuustietoihin, joita mitataan palvelutasomittauksilla ja joita hallitaan kuntotietorekisterin ja PMSpro-järjestelmän avulla.

Tässä työssä on tutkittu kyseisten mittausten mittauskiertoja ja edustavuuksia tieverkon eri osilla sekä analysoitu, miten kuntotiedon tarkkuus vaikuttaa tulostavoitteiden mittaustarkkuuteen toiminnansuunnitteluvuoden eri ajankohtina ja miten mittausten kohdentumista tulisi kehittää.

- Palvelutasomittausten ohjelmointi on tapahtunut tiepiireissä, jotka ovat soveltaneet valtakunnallista mittauspolitiikkaohjetta. Vilkkaimmat tiet on tyypillisesti mitattu keväisin ja osin kesäisin ja alemmaa verkkoa on mitattu noin kolmen vuoden kierrolla kesäisin. Syksyisin on tehty joitakin täydentäviä mittauksia vaihtelevasti. Palvelutasomittausten määrät ovat olleet noin 33600 km/v, mistä keväisin on tehty noin 5000 km, kesäisin noin 25000 km ja syksyisin noin 3000 km. Osa mittauksista (5100 km/v) on kaksoismittauksia ts. ne toistuvat samana vuonna useammin kuin kerran. Mittausten kokonaismäärä on ollut kahden viimeisen vuoden ajan laskussa. Kevätmittausten määrä on kasvanut, mutta kesä- ja syksymittausten määrä vähentynyt. Kaksoismittausten määrä on myös laskenut.
- Vilkkaimpien teiden (ylläpitoluokan Y1a-Y1c) mittausten edustavuudet ovat olleet melko hyviä (noin 80–90%), mutta alemman tieverkon (Y2ab ja Y3ab) mittausten edustavuudet melko alhaisia, 30–40 %.
- Mittaustiedon edustavuus vaihtelee tieverkon eri osilla sekä alueittain että tieluokittain melko paljon. Vaihtelua on myös ajallisesti ts. mittausmäärät vaihtelevat peräkkäisinä vuosina siten, että korkeamman edustavuuden vuotta seuraa matalamman edustavuuden vuosi. Mittausten määrä vaikuttaa siihen miten suuri osa tieverkon kunnosta joudutaan ennustamaan ajan tasalle ennustemalleilla. Ennustemallit ovat melko keskimääräisiä ja sisältävät siten ennustevirhettä, joka kasvaa ennustejakson kasvaessa. Tieverkkoa käsitellään toiminnansuunnittelussa jakamalla tiejaksot huonokuntoisiin jaksoihin (kuntoluokat 1–2) ja hyväkuntoisiin jaksoihin (kuntoluokat 3–5). Tulosohejauksessa asetetaan tavoitteita huonokuntoisten teiden määrälle. Kuntotiedon tarkkuudella on merkitystä tulostavoitteiden asettamisen ja mittaamisen tarkkuuteen.
- Ennusteiden osuvuutta on tarkasteltu sensitiivisyys- ja spesifisyys-termien avulla. Sensitiivisyydellä tarkoitetaan ennustemallien kykyä löytää huonot jaksot ja spesifisyydellä ennustemallien kykyä löytää hyvät jaksot. Osa ennusteista osuu oikeaan, osa aliennustaa ja osa yliennustaa. Aliennustustilanteessa huonoja jaksoja jää löytymättä ja yliennustustilanteessa niitä löytyy liikaa. Aliennustustilanteen seurauksena päällystystoimia jää ohjelmoimatta sellaisille kohteille, joilla olisi niiden tarve ja yliennustustilanteessa on mahdollista ohjelmoida sellaisille kohteille, joilla ei vielä ole tarvetta. Aliennustustilanteet tuovat yllätyksiä huonojen teiden määrässä, kun niitä seuraavan kerran mitataan. Yliennustustilanteet mahdollistavat tuloksen tekemisen pelkkien mittausten avulla ilman verkolle tehtäviä ylläpitotoimia. Ennusteiden oikeaan osumiseen voidaan vaikuttaa sekä mittauskierrolla, ennustemalleilla että toimenpidekirjauksilla.

- Ennustevirheillä on vaikutusta myös tulosohjauksessa tulostavoitteen asettamisen tarkkuuteen ja tuloksen mittaamisen tarkkuuteen. Ennustevirhe aiheuttaa vääristymää jo lähtötilanteen tuntemisessa sekä vastaavasti vuoden lopun tilannetta arvioitaessa.
- Tulosohjauksessa väliraportointitilanteiden tarkkuutta voidaan parantaa muuttamalla mittauskiertoja tai parantamalla ennustemalleja ja toimenpiteiden kirjauskäytäntöä. Mittauskierron parantaminen voidaan tehdä stabiloimalla mittausten edustavuuksia, nostamalla mittausten edustavuustasoja tai kohdistamalla mittauksia sellaisille kohteille, joilla ennustemallien toiminnallisuudessa on eniten puutteita.

Selvityksen tuloksena ohjelmointiperiaatteita muutettiin siten, että eri osaverkkojen edustavuudet olisivat yhtenäisempiä ja ennusteiden ennustevirheet olisivat pienempiä. Tämä toteutettiin siten, että mittausten toimittaja laati alustavat mittausohjelmat yhtenäisyyttä tavoitellen. Lisäksi otettiin huomioon myös uran ennustettu kuntoluokka siten, että painotettiin ohjelmien laadinnassa kuntoluokkia 1-3 eli huonokuntoisuuden rajamailla olevia kohteita, joiden ennustevirheen osuutta pienennettiin mittaamalla. Muutos otettiin käyttöön vuodesta 2010 lähtien.

#### 4. Mittausurakka 2014–2019

Uusimmassa mittausurakassa mittausten ohjelmoinnin pääperiaatteet on esitetty mittausurakan sopimusasiakirjoissa "Päällystettyjen teiden palvelutasomittaus (PTM) 2014–2019. Sopimuksen liite 5. Mittausohjelman laatimisohteet. (26.2.2013)." Ohjelmoinnin pääperiaatteet ovat seuraavat:

Alustavaan mittausohjelmaan otetaan sellaisia tieosia mukaan, joilla on vähintään yksi tai useampi jakso (yleensä tarkastelu tehdään 100 metrin jaksoissa), jotka täyttävät jonkin seuraavista kriteereistä:

- Uran tai tasaisuuden kuntoluokka on tyydyttävä (3), huono (2) tai erittäin huono (1), kun ylläpitoluokka on Y1a–Y2b.
- Uran tai tasaisuuden kuntoluokka on huono (2) tai erittäin huono (1), kun ylläpitoluokka on Y3a–Y3b
- Edellisestä PTM -mittauksesta on kulunut kaksi vuotta tai enemmän, kun ylläpitoluokka on Y1a
- Edellisestä PTM -mittauksesta on kulunut kolme vuotta tai enemmän, kun ylläpitoluokka on Y1b–Y1c
- Edellisestä PTM -mittauksesta on kulunut neljä vuotta tai enemmän, kun ylläpitoluokka on Y2a–Y2b
- Edellisestä PTM -mittauksesta on kulunut viisi vuotta tai enemmän, kun ylläpitoluokka on Y3a–Y3b
- Jakson edellinen päällysteen ylläpidon toimenpide on joko UREM tai UREMO

Tieosasta riippuen kriteerit täyttäviä jaksvoja voi olla 0–100 % tieosan pituudesta. Alustavaan ohjelmaan valitaan kohteet pääsääntöisesti siten, että kriteerit täyttäviä jaksvoja on vähintään 30 % tieosan pituudesta.

Jos mittauskohde-ehdokkaan pituudesta vähintään 50 % on sellaista, jolla edellisestä PTM -mittauksesta kulunut aika on tiettyä raja-arvoa suurempi tai kohteelta ei löydy aikaisempaa mittaustulosta, on se sisällytettävä mittausohjelmaan pakollisena kohteena (jos kohdetta ei voida mitata, siitä on tehtävä poikkeamaraportti). Tarkastelussa huomioidaan vain tieosat, joiden pienin KVL on vähintään 350 ajon/vrk, mittauskohteen pituus on suurempi tai yhtä suuri kuin 100 m ja kohteen edellisestä ylläpidon toimenpiteestä on kulunut vähintään tietty aika.

Toimittajan tulee huomioida, että pakolliseksi mittauskohteeksi voi valikoitua myös pitkien (>10km) siirtoajojen päässä olevia lyhyitä (<500m) tiejaksoja. Tällaisia ovat esimerkiksi tieosat, joiden sisällä sijaitsee yksittäisiä päällystejaksoja. Tilaajan arvion mukaan tällaisia mittauskohteita voi vuosittain olla noin 1000–1300 kpl (~ 200–400 km).

Alustavasta mittausohjelmasta karsitaan lähtökohtaisesti pois sellaiset tieosan suurin keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on korkeintaan 350 ajon/vrk, ellei tilaaja erikseen muuta ilmoita.

Ohjelmaa laadittiin siis koko mittausvuoden näkökulmasta ja siitä erotettiin kevätmittauksiin lähinnä liikennemäärän ja muiden tarpeiden perusteella niin paljon kuin siihen mahtui. Loput kohteet laitettiin budjetin sallimissa rajoissa kesämittausohjelmaan.

Vuonna 2016 ohjelmointiperusteita muutettiin siten, että yksiajorataisilta teiltä alettiin mitata myös kakkossuunnat. Vuonna 2017 mittausohjelmaa laajennettiin ottamalla mittauksen piiriin myös vähäliikenteiset (KVL<350 ajon/vrk) päällystetyt tiet.



ISSN 2490-0982  
ISBN 978-952-317-747-5  
[www.vayla.fi](http://www.vayla.fi)