VÄYLÄ

Väyläviraston tutkimuksia
11/2019

PÄÄLLYSTEEN TASA-LAATUISUUDEN MITTAAMINEN

Purkauma ja bitumin pintaan nousu AB-päällysteellä

Pertti Virtala, Pauli Alanaatu, Eeva Huuskonen-Snicker

Päällysteen tasalaatuisuuden mittaaminen

Purkauma ja bitumin pintaan nousu AB-päällysteellä

Väyläviraston tutkimuksia 11/2019

Väylävirasto

Helsinki 2019

Kannen kuva: Eeva Huuskonen-Snicker, Destia Oy

Verkkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)
ISSN 2490-0982
ISBN 978-952-317-695-9

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. 029 534 3000

Pertti Virtala, Pauli Alanaatu ja Eeva Huuskonen-Snicker: Päällysteen tasalaatuisuuden mittaaminen – Purkauma ja bitumin pintaan nousu AB-päällysteellä. Väylävirasto. Helsinki 2019. Väyläviraston tutkimuksia 11/2019. 71 sivua. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-695-9.

Avainsanat: päällysteet, mittaus, päällystevauriot, karkeus, purkaumat

Tiivistelmä

Tässä selvityksessä on jatkettu aiemmin aloitettua päällysteen tasalaatuisuuden mittaamisen kehittämistä mutta keskitytty pääosin AB-päällysteisiin. SMA-päällysteen makrokarkeutta kuvaavaa tunnuslukua sovellettiin nyt AB-päällysteille. Päällysteen makrokarkeudesta jalostettiin päällysteen tasalaatuisuuden tunnusluvut kuvaamaan pinta-aloja, joissa on havaittavaa bitumin pintaan nousua tai karkeaa rakeisuuslajittumaa.

Makrokarkeuden tilastollisia tunnuslukuja tarkasteltiin työn aluksi vuosina 2015 (320 km) ja 2017 (630 km) mitatuilta uusilta päällysteiltä. Niiden perusteella todettiin, että AB 16 -päällysteen makrokarkeusalue on erilainen kuin SMA 16 -päällysteen. SMA-päällysteet ovat pinnaltaan karkeampia kuin AB-päällysteet, eikä niiden arviointiin siten sovi yksi ja sama raja-arvo.

Lisäksi tarkempaan tarkasteluun valittiin vuosina 2017 ja 2018 päällystettyjä kohteita, joissa oli havaittavissa poikkeuksellista karkeuden vaihtelua. AB-päällysteiltä otettiin 32+6 poranäytettä ja SMA-päällysteiltä 12 poranäytettä. Näytteistä tutkittiin päällysteen kappaletiheys, massan maksimitiheys, sideainepitoisuus ja kiviaineksen rakeisuus. Näytekohdista määritettiin myös paikallinen makrokarkeus. Makrokarkeuden MPD-arvo korreloi hyvin päällysteen tiheyden, tyhjätilojen ja kiviaineksen rakeisuuden kanssa. Makrokarkeutta selittivät parhaiten päällysteen tyhjätila ja kiviaineksen seulakokojen 2 ja 4 mm läpäisyprosentit. Vastaavasti tyhjätiloja selittivät parhaiten paikallinen makrokarkeus ja edellä mainittujen seulakokojen läpäisyprosentit. Karkeiksi luokitelluissa näytteissä rakeisuuskäyrä oli osin ohjealueen ulkopuolella. Kohdekohtaisesti tyhjätilojen ja karkeuden välinen yhteys oli hyvä, mutta se vaihteli eri kohteilla. Lopputuloksena todettiin, että päällysteen karkeus vaihteli paljon paitsi eri päällystetyyppien välillä, mutta myös samoilla päällystetyypeillä eri kohteiden välillä.

Työssä tarkasteltiin myös makrokarkeuden ja mitatun kitkan välistä yhteyttä. Laatuvaatimusten kitkalle asetettu raja-arvo (0,5) alittui, kun makrokarkeus oli alle 0,45-0,47 mm. Tämä päti molemmilla tutkituilla kohteilla ja sekä SMA- että AB-päällysteillä. Edelleen laatuvaatimusten toinen raja-arvo (0,4) alittui, kun makrokarkeus alitti arvon 0,35 mm. Makrokarkeuden avulla on siten mahdollista tunnistaa kitkaltaan puutteelliset kohdat.

Urautumisen ja makrokarkeuden välistä yhteyttä tarkasteltiin muutaman vuoden ikäisiltä päällysteiltä. Makrokarkeuden pienillä arvoilla urautuminen oli hiukan nopeampaa kuin muilla, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ja otos oli pieni. Yhdellä kohteella havaittiin, että makrokarkeuden pienet arvot olivat yhteydessä suurempiin alku-uriin SMA-päällysteellä.

Uusien päällysteiden makrokarkeus vaihteli sekä kohteiden välillä, että kohteen sisällä. Makrokarkeudessa oli havaittavissa syklistä vaihtelua siten, että korkeat ja matalat arvot vaihtelivat vuorotelleen muutaman kymmenen metrin välein. Uusien päällysteiden keskeisenä ongelmana näytti olevan tasalaatuisuuden puute. Sen korjaamiseksi tasalaatuisuutta tulisi ensin systemaattisesti mitata. Sitten tulisi tutkia, mitkä tekijät päällystystyössä aiheuttavat tasalaatuisuuteen puutteita ja lopuksi asettaa vaatimuksia sekä tasalaatuisuudelle että siihen vaikuttaville tekijöille.

Pertti Virtala, Pauli Alanaatu och Eeva Huuskonen-Snicker: Mättning av homogenität av ny beläggning. Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Trafikledsverkets undersökningar 11/2019. 71 sidor. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-695-9.

Sammanfattning

Denna studie fortsatte arbetet att utveckla yttexturbaserade homogenitetsmätningar av asfaltbeläggningar men fokuserade främst på asfaltbetong (AB) beläggningar. Indikator som tidigare utvecklats för SMA-beläggningar, testades nu för AB-beläggningar. Indikatorn utvecklades vidare för att indikera och kvantifiera sådana ytor, som beror av blödning eller urladdning I beläggningen.

I det tidiga skedet av projektet analyserades makrotexturresultat från nya beläggningar av år 2015 (320 km) och 2017 (630 km) med statistiska metoder. Analysen visade skillnaden i makrotexturintervallet av AB 16 och SMA 16. Ytstruktur av SMA-beläggning är grovare än ytstruktur av AB-beläggning, och därför kan samma tröskelvärden inte tillämpas för båda beläggningar.

Dessutom valdes några sektioner av ny beläggning i 2017 och 2018 för ytterligare analys baserad på den anomala makrotexturvariationen. 32 + 6 borrprover borrades från AB-beläggningar och 12 från SMA-beläggningar. Skrym- och kompaktdensiteter, bitumenhalt och gradering av borrade borrprover analyserades i laboratoriet. Den lokala makrotexturen mättes också från borrplatserna. En god korrelation observerades mellan makrotexturen, specifikt medelprofildjupet (MPD), och skrymdensiteten, hålrumshalten innehåll eller gradering. De bästa uppskattningarna för makrotexturen var hålrumshalten och korn passagen (%) av stenmaterial av silen 2 mm och 4 mm. På motsvarande sätt var de bästa uppskattningarna för hålrumshalten den lokala makrotexturen och passagen (%) av silen som nämnts ovan. Graderingen av några prover klassificerad som grov yta var utanför specifikationerna. En bra korrelation observerades också mellan hålrumshalten och makrotexturen, men korrelationen verkade vara beroende av plats eller beläggningstyp. Som ett resultat verkar det som om makrotexturen inte bara är egenskapen beroende av beläggningtypen, utan den är också beroende av individuella beläggninsprojekten.

Korrelationen mellan makrotextur och uppmätta ytfriktionsegenskaper studerades också i detta arbete. Ytfriktionsgränsen (0,5) av nya beläggningar enligt finska asfaltspecifikationer var inte nöjd när makrotexturen var under 0,45–0,47 mm. Detta observerades för både uppmätta sektioner och för AB och SMA beläggningar. Vidare tillfredsställdes inte den andra ytfriktionsgränsen (0,4) när makrotexturen var under 0,35 mm. Därför verkar det vara möjligt att detektera och identifiera dåliga friktionsegenskaper med hjälp av makrotextur.

Effekten av makrotexturen och dess variation på spårbildning analyserades baserat på mätdata från beläggningar av några år gammal. Spårbildningen var något snabbare vid låga värden av makrotextur, men skillnaden var inte statistiskt signifikant och provstorleken var liten. Baserat på resultaten från en ny SMA-beläggning, ökade initialskurvan för segment med låg makrotextur.

Sammanfattningsvis varierade makrotexturen på den nya beläggningen både mellan observationsgrupper och inom observationsgrupper. Cyklisk variation observerades i makrotextur så att höga och låga värden varierade inom sträckor av några tiotals meter. Huvudproblemet med de nya beläggningarna verkade vara bristen på homogenitet. För att rätta till det, bör beläggningens homogenitet först mätas systematiskt. Därefter bör faktorer i beläggningsprocessen undersökas, vilket orsakar brist på homogenitet mot nya beläggningar. Slutligen bör krav fastställas för både homogenitet och de faktorer som påverkar på det.

Pertti Virtala, Pauli Alanaatu and Eeva Huuskonen-Snicker: Measuring the homogeneity of new asphalt pavements – Ravelling and bleeding of asphalt concrete (AC). Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Research reports of the Finnish Transport Infrastructure Agency 11/2019. 71 pages. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-695-9.

Abstract

This study continued the work to develop surface texture-based homogeneity measurements of asphalt pavements but focusing mainly on asphalt concrete (AC) mixtures. The pavement macrotexture measure, previously developed for SMA pavements, was now tested for AC pavements. The pavement macrotexture measure was further developed to indicate and quantify surface areas, which are affected by bleeding or raveling.

In the early stage of the project, macrotexture results from new pavements measured in 2015 (320 km) and 2017 (630 km) were analyzed with statistical methods. The analysis showed the difference in the macrotexture range of AC 16 and SMA 16 mixtures. The surface texture of SMA pavements is coarser than AC pavements and, therefore, same threshold values cannot be applied for both pavement types.

In addition, few sections paved in 2017 and 2018 were selected for further analysis based on the anomalous macrotexture variation. 32+6 core samples were drilled from AC pavements and 12 from SMA pavements, respectively. The bulk and maximum densities, bitumen content and gradation of drilled core samples were analyzed in the laboratory. The local macrotexture was also measured from the drilling locations. A good correlation was observed between the macrotexture, or more specifically the mean profile depth (MPD), and the bulk density, air void content or gradation. The best estimates for the macrotexture were the air void content and the passing (%) of sieves 2 and 4 mm. Correspondingly, the best estimates for the air void content were the local macrotexture and passing (%) of sieves mentioned above. The gradation of some samples, classified as coarse surface, was outside the specifications. A good correlation was also observed between air void content and the macrotexture, but the correlation seemed to be site or pavement type dependent. As a result, it appears that the macrotexture is not only the pavement type dependent property, but it is also site dependent.

The correlation of macrotexture and measured surface friction properties were also studied in this work. The surface friction limit (0,5) of new pavements according to Finnish asphalt specifications were not satisfied, when the macrotexture was below 0,45-0,47 mm. This was observed for both measured sections, and for the AC and SMA pavements. Furthermore, the second surface friction limit (0,4) was not satisfied, when the macrotexture was below 0,35 mm. Therefore, it seems to be possible to detect and identify poor friction properties with the help of macrotexture.

The effect of macrotexture and its variation on rutting was analyzed based on the measurement data from the pavements few years old. The rutting was slightly faster at low values of macrotexture, but the difference was not statistically significant, and the sample size was small. Based on the results from one new SMA pavement site, initial rutting was increased for segments with low macrotexture.

To conclude, the macrotexture of the new pavement varied both between sites and within the site. Cyclic variation was observed in macrotexture so that high and low values changed every few tens of meters. The main problem with the new pavements seemed to be the lack of homogeneity. To correct it, the pavement homogeneity should be systematically measured at first. Then, factors in the paving process should be investigated causing lack of homogeneity to new pavements. Finally, requirements should be set for both homogeneity and the factors affecting it.

Esipuhe

Työssä kehitettiin uusien päällysteiden tasalaatuisuuden mittausta. Työn on tilannut Väylävirasto (Liikennevirasto 31.12.2018 saakka) ja sitä on ohjannut Katri Eskola.

Työn on toteuttanut Destia Oy, jossa projektipäällikkönä on toiminut Pertti Virtala ja asiantuntijoina Pauli Alanaatu sekä Eeva Huuskonen-Snicker. Poranäytteet on ottanut Roadmasters Oy ja ne on tutkinut vuonna 2017 Mitta Oy ja vuonna 2018 Aalto-yliopisto.

Helsingissä toukokuussa 2019

Väylävirasto
Kunnossapidon ohjaus ja kehittäminen

Sisällysluettelo

1 JOHDANTO JA TAVOITE ... 9

2 MITTAUSMENETELMÄ ... 10
2.1 Mittausmenetelmän kehittäminen ... 10
2.2 Tunnuslukujen laskeminen ... 12

3 SEURANTAKOHTEET ... 14
3.1 Vuonna 2015 tehtyjen päällysteiden seurantamittaukset 2017 ... 14
3.1.1 Yleistarkastelu ... 14
3.1.2 Valtatien 1 osat 6-7 ... 16
3.1.3 Kantatie 50 osat 3 ja 4 ... 17
3.2 Uudet päällysteet 2017 ... 18
3.3 Maastokatselmuskohteet 2017 ... 24
3.3.1 Maastotarkastelu ... 24
3.3.2 Kohteet, näytteet ja mittaukset ... 27
3.3.3 Tulokset ... 27

4 AB-KOHTEET 2018 ... 31
4.1 Kohteet ja niiden valinta ... 31
4.2 Kantatie 58 ... 31
4.2.1 Kohteet, näytteet ja mittaukset ... 31
4.2.2 Tulokset ... 32
4.3 Maantie 325 ... 36
4.3.1 Kohteet, näytteet ja mittaukset ... 36
4.3.2 Tulokset ... 37
4.4 Maantie 140 ... 38
4.4.1 Kohteet, näytteet ja mittaukset ... 38
4.4.2 Tutkimustulokset ... 42
4.5 Yhteenveto kohteista ... 43

5 LAJITTUMIEN VAIKUTUKSET ... 44
5.1 Kitka ... 44
5.1.1 Valtatie 1 ... 44
5.1.2 Maantie 140 ... 46
5.1.3 Yhteenveto ... 48
5.2 Alku-ura ... 48
5.2.1 Valtatie 1 tieosa 7 ... 48
5.3 Kuluminen ... 49
5.3.1 Valtatie 1 tieosat 26 ja 27 ... 49
5.3.2 Valtatie 3 tieosat 136 ja 139 ... 51
5.3.3 Valtatie 4 tieosa 364 ... 53
5.4 Kantavuus ... 54
5.5 Purkautuminen ... 55

6 YHTEENVETO ... 56
6.1 Makrokarkeus vs. päällystetyyppi ... 56
6.2 Makrokarkeus vs. tyhjätila ... 56
6.3 Makrokarkeus vs. rakeisuus ... 57
6.4 Makrokarkeus vs. kitka ... 58
6.5 Makrokarkeus vs. urautuminen ... 58

7 LAATUVAATIMUKSET 59
7.1 Asfalttinormit 2017 59
7.2 PANK-5212 mittausmenetelmä 59
7.2.1 Menetelmän tarkoitus ja soveltamisalue 59
7.2.2 Määritelmät 59
7.2.3 Mittausmenetelmä 60
7.3 Tasalaatuisuuden laatuvaatimukset 63
7.3.1 Tasalaatuisuusvaatimuksen taustatietoa 63
7.3.2 Haitta-aste 63
7.3.3 Makrokarkeuden haitta-arvo 65
7.3.4 Makrokarkeuden vaihtelun pienentäminen 66
7.3.5 Haittafunktiosta johdettava bonus 68
7.3.6 Haittafunktiosta johdettava sakko 68

8 JATKOKEHITTÄMINEN 69
8.1 Kehittämistä 69
8.2 Pilotteja 70
8.3 Vuoropuhelua 70

LÄHTEET 71

1 Johdanto ja tavoite

Uusien asfalttipäällysteiden yhtenä laatuvaatimuksena on päällysteen tasalaatuisuus (Liikenneviraston ohjeita 5/2018). Tällä tarkoitetaan muun muassa sitä, ettei uudessa päällysteessä saa olla sideaineen pintaan nousua tai rakeisuuslajittumaa. Kohdat, joissa on sideaineen pintaan nousua, voivat olla liukkaita ja siten liikenteelle vaarallisia. Karkeat lajittumakohdat taas ovat alttiita purkautumaan eli ne muodostavat riskikohtia päällysteen kestoa ajatellen. Nykyisin päällysteen tasalaatuisuus arvioidaan yleensä silmämääräisesti.

Destia on kehittänyt yhteistyössä Liikenneviraston kanssa päällysteen tasalaatuisuuden arvioimiseen automaattista mittaukseen perustuvaa menetelmää (Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2017). Se pohjautuu PTM-mittauksiin, joissa laserantureilla tuotetusta pinnan profiilitiedosta lasketaan päällysteen makrokarkeutta kuvaava tunnusluku, MPD. Se on pohjana nyt raportoitavalle työlle.

Vuoden 2016 tutkimusten perusteella löydettiin SMA 16 -päällysteen makrokarkeudelle raja-arvot, joiden avulla voidaan havaita lajittuneet kohdat päällysteestä (Kuva 1). Vuonna 2017 työtä jatkettiin mm. seurantamittauksin ja maastokatselmuksin. Maastokatselmuksin todettiin, että lajittumavirheen havainnointiraja ei ole yksiselitteisesti sama kuin päällysteen laatuvaatimuksiin liittyvät hyväksymisrajat. Laatuvaatimuksiin tarvittavat raja-arvot on siis laadittava toisesta lähtökohdasta. Mukaan olisi otettava arviointi siitä, miten suuresta ja haitallisesta poikkeamasta on kyse. Mittauksilla havaittuja poikkeavia kohtia on siis analysoitava lisää. Lisäksi SMA-päällysteen ohella rajoja on tarkasteltava myös muilla päällystetyypeillä kuten AB-päällysteillä.

Vuoden 2018 mittausten ja tutkimusten tavoitteena oli selvittää, miten päällysteen lajittumavirheiden mittauksella voidaan tuottaa tietoa, joka osoittaisi luotettavasti uusien päällysteiden laatuvirheet ja puutteet. Mittauksilla pitäisi siten pystyä erottelemaan kohdat, jotka vaativat välittömiä korjaustoimenpiteitä tai aiheuttavat arvonmuutoksia.

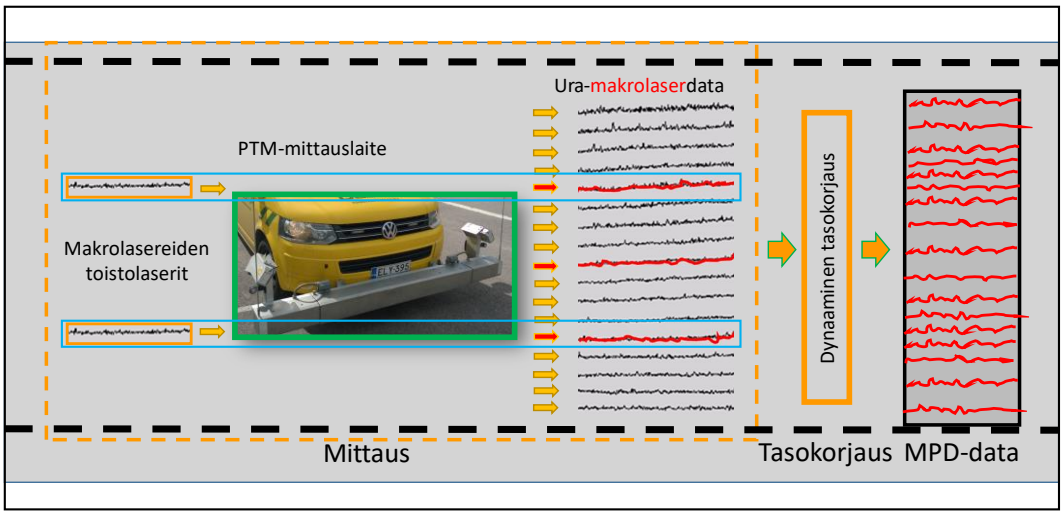
2 Mittausmenetelmä

2.1 Mittausmenetelmän kehittäminen

Päällysteen tasalaatuisuuden mittausmenetelmä kehitettiin vuonna 2016 tehdyn tutkimuksen yhteydessä, ja se julkaistiin Liikenneviraston julkaisusarjassa Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2017 [1]. Mittausmenetelmästä tehtiin tämän työn yhteydessä myös PANK-menetelmäkuvaus [10].

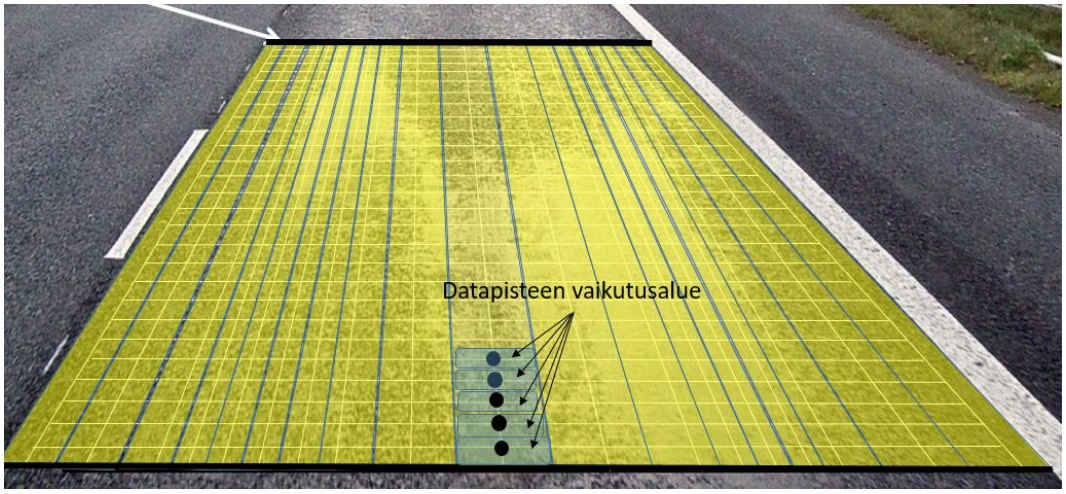
Päällysteen tasalaatuisuuden mittaus tapahtuu kehitetyllä mittausmenetelmällä palvelutasomittarilla uramittauksen yhteydessä käyttäen osittain myös makrokarkeuden mittausmenetelmää (kuva 1). Makrokarkeutta on laskettu Suomessa kahdella eri tavalla. Makrokarkeuden MPD-arvo (Mean Profile Depth) mitataan urissa ja niiden välissä sijaitsevien makrolasereiden avulla ISO/FDIS 13473-1:2018(E) standardin mukaisesti. Standardin makrokarkeutta ei voida täysimittaisesti tuottaa perinteisillä uralasereilla, koska niiden näytteenottotiheys on vain 16 kHz. Näytteenottotiheys olisi esim. 90 km/h nopeudella vain 1,5 mm, mikä olisi liian harva ottaen huomioon makrokarkeuden aallonpituusalueen 0,5-50 mm. Mittausleveys on sama 3,2 m, jota käytetään mitattaessa uria pistelasertekniikalla. Makrokarkeuden toinen tunnusluku, RMS-arvo (Root Mean Square), lasketaan samasta informaatiosta kuin MPD-arvo, mutta eri tavalla. Laskenta on esitetty tarkemmin "Päällysteiden palvelutasomittaukset 2014-2019 mittausurakan sopimusasiakirjoissa [7].

Nyt kehitetyssä mittausmenetelmässä makrokarkeus mitataan paitsi makrolasereilla (64 kHz), myös uralasereilla (16 kHz). Koska makrokarkeutta ei voida mitata pelkillä uralasereilla täysin oikeaoppisesti, otetaan käyttöön toistolaserit (16 kHz), joiden avulla haetaan kohdekohtaiset tasokorjauskertoimet. Uralasereiden tuloksia korjataan makro- ja toistolasereiden tuottaman dynaamisen korjausinformaation perusteella, jotta niistä saadaan vertailukelpoisia makrolasereiden tulosten kanssa. Näin menetellen saadaan makrokarkeuden mittaus ulotettua kolmen mittauslinjan sijasta koko mitattavan kaistan leveydelle.



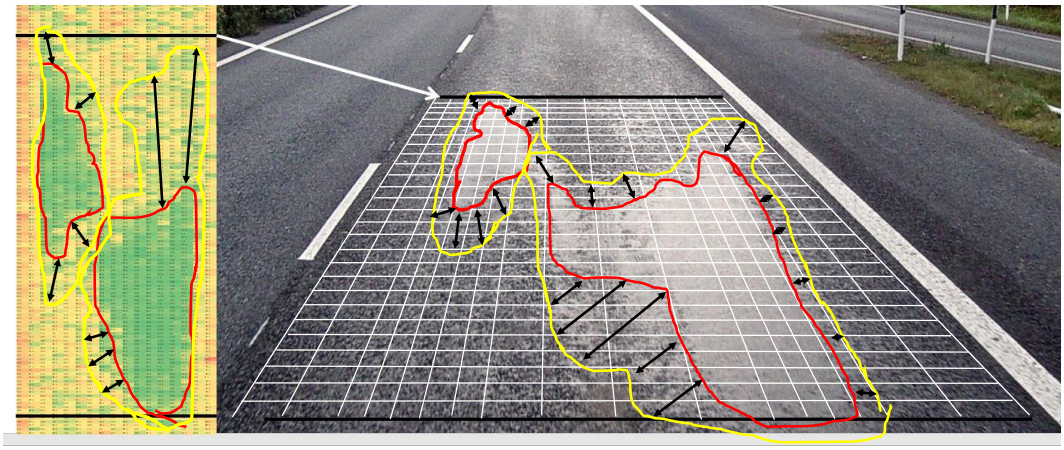
Kuva 1. Tasalaatuisuuden mittaus.

Kunkin datapisteen vaikutusalue määräytyy anturivälien ja havaintojen laskentatiheyden mukaan. Makrokarkeusstandardin mukaisella laskentatiheydellä (100 mm) metrin matkalle saadaan 10x17=170 datapistettä (keskimäärin 48 datapistettä/m^2). Datapistetiheys on urissa noin 100 kpl/m^2 ja muualla vastaavasti harvempi, noin 28 kpl/m^2. Yhden pisteen vaikutusalue on urissa noin 0,01 m^2/piste ja muualla noin 0,09 m^2/piste. Koska uloimpien pistelasereiden vaikutusalue ulottuu 30 cm mittausleveyden yli, on lopullinen pinta-ala laskettu 3,5 m leveydeltä (kuva 2).



Kuva 2. Kunkin datapisteen vaikutusalue määräytyy anturivälien ja havaintojen laskentatiheyden (100 mm) mukaan. Metrin matkalla on 10x17=170 datapistettä. Neliöllä on keskimäärin 48 datapistettä. Datapistetiheys on urissa noin 100 kpl/m^2 ja muualla vastaavasti harvempi, noin 28 kpl/m2.

Dynaamisen kohdekohtaisen tasokorjauksen avulla mittauslaite tuottaa koko kaistan leveydeltä 170 datapistettä/m, mikä kattaa 3,5 m^2 pinta-alan. Kullakin datapisteellä on vaikutusalue edellä esitetyn kuvan mukaisesti. Datapisteen mittaustulosta, makrokarkeutta, verrataan ennalta asetettuihin raja-arvoihin, joiden avulla määräytyy, edustaako ao. mittaustulos bitumin pintaan nousua vai rakeisuuslajittumaa. Lopulliset tunnusluvut ovat tiettyä pituussuuntaista matkaa tai pinta-alaa kohti laskettu lajittunut pinta-ala joko m^2/m^2 tai %. Alla on esitetty kuva bitumin pintaan nousun tunnistamisesta (kuva 3).



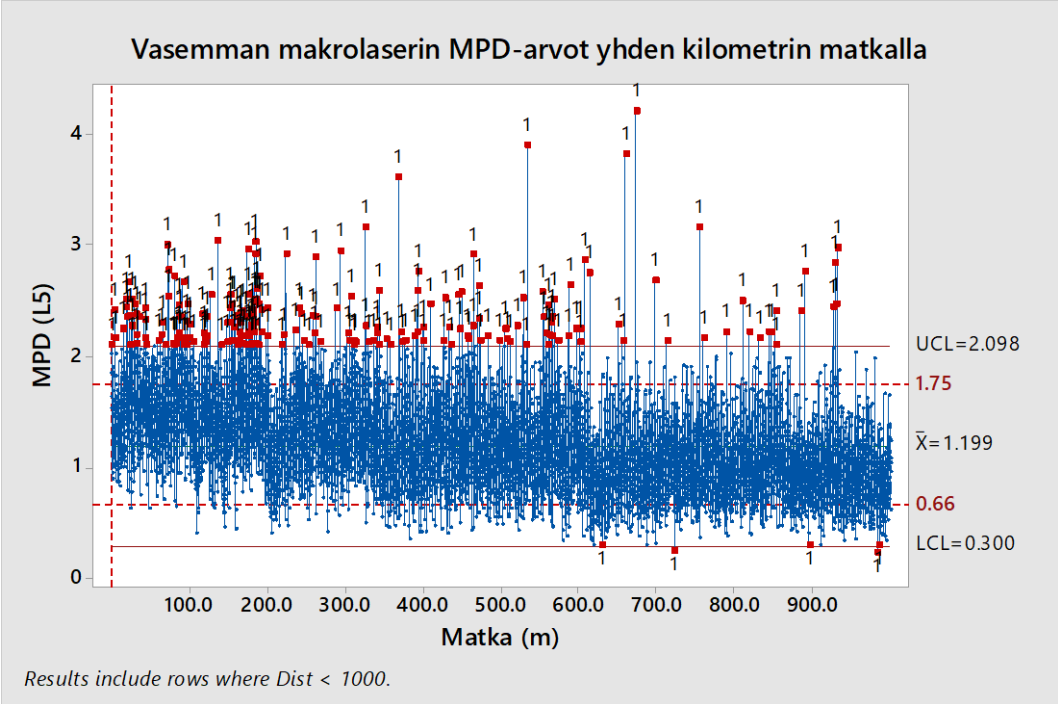
Kuva 3. Bitumin pintaan nousun tunnistaminen ja sen pinta-alan määrittäminen. Raja-arvo vaikuttaa siihen, miten suuri alue tulkitaan pintaan nousuksi. Se on kalibroitu vastaamaan silmämääräisesti määritettyä pinta-alaa.

Datapisteiden lukumäärä voisi periaatteessa olla jokin toinenkin, mikä mahdollistaisi lajittumien mittaamisen myös toisenlaisilla laitteilla. Uran mittauksen standardoinnin kautta tämä menetelmä on käytännössä kuitenkin Suomen oloissa ainut mahdollinen. Jos datapisteiden lukumäärää poikkisuunnassa vähennettäisiin, niin silloin pitäisi varmistua siitä, ettei mittauksen resoluutio heikkenisi liikaa.

2.2 Tunnuslukujen laskeminen

Tunnuslukujen laskennan raakadata on 170 MPD-arvoa metrin matkalle. Niistä lasketaan sekä matalien arvojen että korkeiden arvojen vaikutuspinta-alaa ensin metrin matkalle ja siitä edelleen summina pidemmille matkoille. Sama pituusmitta voi sisältää kolmenlaisia alueita; liian pieniä arvoja, liian suuria arvoja ja niiden välissä olevia arvoja. Raja-arvojen välissä olevien arvojen vaikutuspinta-alojen summa on se osa päällysteestä, joka on tasalaatuista ja muut osat ovat tasalaatuisuusrajojen ulkopuolella.

SMA-päällysteelle saatiin bitumin pintaan nousulle alustavaksi raja-arvoksi 0,66 mm. Vastaavasti rakeisuuslajittumalle saatiin raja-arvoksi 1,75 mm. Nämä raja-arvot vastasivat sellaisia tilanteita, joissa selvä bitumin pintaan nousu tai rakeisuuslajittuma oli silmämääräisesti tunnistettavissa. Se ei kuitenkaan vielä tarkoita sitä, että ne olisivat lopulliset tasalaatuisuuden mittaamisessa käytettävät raja-arvot. Menetelmän kehittämisen yhteydessä havaittiin, että tasalaatuisuuden arvoaluetta tulisi kasvattaa ts. alempaa raja-arvoa tulisi laskea ja ylempää nostaa. Samalla todettiin, että raja-arvot ovat eri päällysteillä erilaiset. Tässä raportissa on kuvattu kehitystyö, joka lähti liikkeelle tästä tilanteesta (kuva 4).



Kuva 4. Esimerkki erään päällysteen makrokarkeudesta. Ylä- ja ala-ohjausrajat (UCL ja LCL) määräytyvät keskiarvosta (1,2 mm) kolmen hajonnan päähän kummallekin puolelle ja se kattaa 99,7 % havainnoista. Niiden välinen alue on määritelmän mukaan stabiilia aluetta ja ulkopuolinen epästabiilia. Raja-arvot 0,66 mm ja 1,75 mm ovat peräisin vuoden 2016 tutkimuksesta.

Lopullisia tasalaatuisuuteen liittyviä tunnuslukuja ovat sileitä ja karkeita kohtia kuvaavat pinta-alat tiettyä pituusyksikköä kohti. Ennen niiden laskemista tulee kuitenkin ensin määrittää kullekin päällystetyypille sopivat raja-arvot, joita tässä työssä edelleen kehitetään.

3 Seurantakohteet

3.1 Vuonna 2015 tehtyjen päällysteiden seurantamittaukset 2017

3.1.1 Yleistarkastelu

Vuonna 2015 mitatuille ja raportoiduille [1] uusille päällystyskohteille tehtiin PTM-seurantamittauksia vuonna 2017. Näiden seurantamittausten tavoitteena oli tarkastella päällysteen MPD-arvojen kehittymistä. Erityisen mielenkiintoisia olivat ne kohteet, joilla oli havaittu lajittumaa vuoden 2015 mittauksissa. Vuonna 2015 mittausohjelmassa olleiden kohteiden yhteispituus oli noin 320 km, joista lähes kaikki mitattiin uudelleen vuonna 2017. Mittausten ulkopuolelle jäi lähinnä sellaisia kohteita, joille oli tehty tai oli tulossa uudelleenpäällystys. Esimerkki tällaisesta kohteesta on mt 101/2-7 (Kehä I).

Yhteenveto vuoden 2017 seurantamittausten tuloksista verrattuna vuoden 2015 mittaustuloksiin on esitetty oheisessa taulukossa (Taulukko 1), johon on koottu uratulokset, MPD-arvot vasemmasta ja oikeasta urasta sekä urien välistä ja karkeuden suunta, joka on laskettu makrokarkeuden MPD- ja RMS-arvojen erotuksen suhteena RMS-arvoon [8]

$$\text{Karkeuden suunta (\%)} = 100*(\text{MPD-RMS})/\text{RMS}. \qquad (1)$$

Lisäksi taulukkoon on laskettu vuosien 2015 ja 2017 mittaustulosten välinen muutos prosentteina. Tulosyhteenvedon pohjana on käytetty 100 m:n aineistoa, jota on tarkasteltu tieosakohtaisesti niin, että eri mittaussuunnat ja kaistat on käsitelty erikseen. Aineistosta ei rajattu tätä tarkastelua varten pois kohteita, joilla mittausten ajoitus oli epäonnistunut tai päällystystoimenpiteenä oli urapaikkaus. Tämä näkyy joillakin tieosilla havaittuina uratulosten negatiivisina muutoksina.

Seurantamittausten perusteella MPD-arvoissa tapahtui muutosta kahdessa vuodessa. Pääsääntöisesti kohteiden mittaukset on tehty loppukesällä, minkä takia muutokset pinnan karkeudessa eivät selity yksinomaan kesän ja talven välisellä vuodenaikaisvaihtelulla. Tieosakohtaisessa 100 m:n keskiarvojen tarkastelussa pienimmät MPD:n keskiarvot olivat 0,4 mm ja suurimmat 1,9 mm vuonna 2015, kun taas vuonna 2017 pienimmät arvot olivat 0,5 mm ja suurimmat 1,5 mm. Yleisenä havaintona voitiin todeta, että MPD:n arvoalue pieneni päällysteiden vanhetessa.

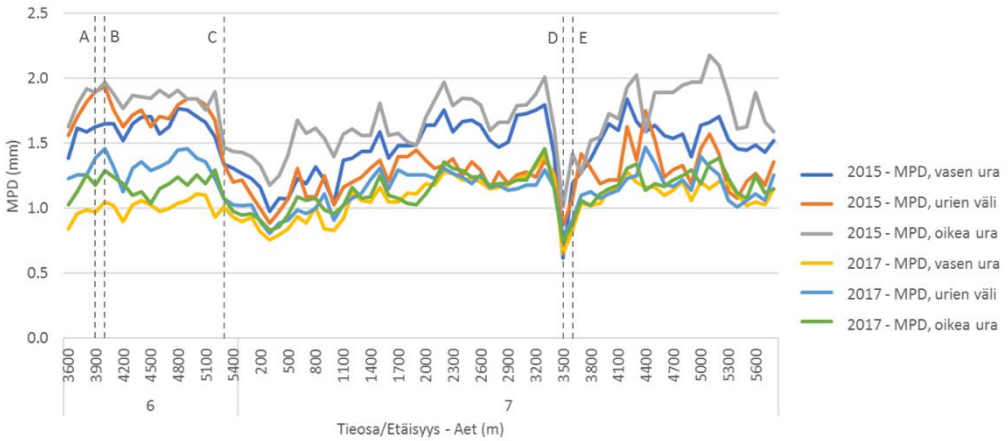
Mittauskohteissa oli käytetty eri päällystetyyppejä ja työmenetelmiä, minkä takia yleisten johtopäätösten tekeminen aineiston perusteella oli haastavaa ja MPD-arvoissa havaittiin erilaisia kehitystrendejä kahden vuoden aikana. Tulosten perusteella näytti siltä, että vilkasliikenteisemmillä valtateillä, joilla päällystetyyppi oli yleensä SMA, MPD-arvot olivat pienentyneet. Sen sijaan osalla kohteista MPD-arvojen kehitys on ollut päinvastaista eli pinnan karkeus on kasvanut. Selitystä haettiin tarkastamalla kohteiden päällystetyyppi Tierekisteristä. Näytti siltä, että MPD-tulosten kasvu on tapahtunut kohteilla, joilla päällystetyyppinä on ollut AB ja työmenetelmänä REM-pintaus. Pinnankarkeuden suunnan kehitys näytti sen sijaan pääsääntöisesti noudattelevan samaa trendiä eli uusien päällysteiden karkeuden suunta on muuttunut negatiivisesta positiiviseksi.

Taulukko 1. Vuonna 2015 päällystettyjen kohteiden seurantamittausten tulokset vuodelta 2017. Muutos prosentteina kuvaa arvojen kehitystä kahden vuoden aikana. Päällystetyyppi ja työmenetelmä on merkitty niiltä kohteilta, joilla se on sama koko tieosalla.

			2015	2017	Muutos (%)	2015			2017			Muutos (%)			2015	2017	Muutos (%)	
Tie	Ajorata/Suunta/Kaista	Osa (alku)	Ura	Ura	Ura	MPD, vasen ura	MPD, urien väli	MPD, oikea ura	MPD, vasen ura	MPD, urien väli	MPD, oikea ura	MPD, vasen ura	MPD, urien väli	MPD, oikea ura	Karkeuden suunta	Karkeuden suunta	Karkeuden suunta	Päällystetyyppi
1	111	22	2.8	4.3	35	1.08	1.24	1.16	1.04	1.19	1.16	-4	-4	0	-0.09	0.11	189	SMA16_MP
1	112	6	2.8	5.5	50	1.60	1.70	1.81	1.00	1.30	1.17	-60	-31	-55	-0.01	0.11	109	
1	112	7	3.1	6.0	47	1.46	1.26	1.67	1.08	1.14	1.14	-35	-11	-47	0.02	0.23	92	SMA16_REM
1	112	22	1.9	2.2	14	1.19	1.23	1.12	1.36	1.31	1.27	13	6	12	-0.11	0.06	278	SMA16_MP
1	221	11	2.9	8.0	64	1.51	1.82	1.33	1.09	1.07	1.01	-39	-70	-32	-0.10	0.21	149	SMA16_REM
1	221	22	2.4	4.0	39	1.18	1.34	1.28	1.05	1.25	1.19	-13	-7	-7	-0.07	0.08	195	SMA16_MP
1	221	29	2.3	4.6	50	1.33	1.48	1.37	1.20	1.33	1.25	-10	-12	-10	-0.09	0.07	230	SMA16_MP
1	221	30	2.0	3.8	49	1.20	1.39	1.29	1.06	1.26	1.18	-13	-10	-9	-0.09	0.10	186	SMA16_MP
1	221	31	2.3	5.0	53	1.18	1.27	1.28	1.09	1.18	1.21	-9	-7	-6	-0.08	0.16	149	SMA16_MP
1	222	6	2.6	5.5	53	1.58	1.62	1.67	0.97	1.22	1.05	-62	-33	-59	0.01	0.16	95	SMA16_LTA
1	222	22	2.1	2.3	7	1.53	1.66	1.62	1.46	1.57	1.61	-5	-6	-1	-0.05	0.04	221	SMA16_MP
1	222	29	2.8	3.9	28	1.47	1.51	1.45	1.48	1.45	1.47	1	-4	2	-0.09	0.07	240	SMA16_MP
1	222	30	2.7	3.8	28	1.46	1.51	1.49	1.44	1.40	1.46	-2	-8	-2	-0.09	0.06	254	SMA16_MP
1	222	31	2.7	3.9	30	1.01	0.94	1.06	1.20	1.08	1.23	16	13	13	-0.12	0.14	184	
3	111	137	6.5	11.3	42	1.35	1.01	1.73	0.97	0.98	1.24	-39	-3	-39	-0.03	0.16	117	SMA16_UREM
3	111	138	7.2	4.7	-55	1.39	1.06	1.63	1.24	1.20	1.33	-12	11	-22	-0.01	-0.05	84	SMA16_UREM
3	221	137	5.3	10.5	50	1.42	0.96	1.64	1.01	0.96	1.24	-41	0	-32	-0.02	0.18	112	SMA16_UREM
3	221	138	6.3	2.7	-137	1.53	1.07	1.49	1.27	1.23	1.23	-21	13	-21	-0.02	-0.10	79	
4	111	105	2.9	8.7	67	1.36	1.18	1.38	1.00	0.93	0.95	-35	-27	-46	-0.02	0.33	107	SMA16_REM
4	221	106	3.0	9.7	69	1.48	1.33	1.61	1.04	0.95	1.03	-43	-40	-57	-0.01	0.23	104	SMA16_REM
4	221	107	3.0	8.7	65	1.27	1.43	1.31	0.86	1.07	0.87	-47	-33	-50	0.02	0.30	93	SMA16_LTA
4	222	103	2.6	4.3	39	1.27	1.08	1.52	1.02	1.08	1.13	-24	0	-34	0.00	0.34	101	SMA16_REM
4	222	104	2.9	6.4	54	1.38	1.28	1.41	0.98	0.97	1.08	-41	-31	-30	-0.02	0.28	106	
8	11	107	3.0	7.1	57	0.63	0.63	0.62	0.93	0.75	0.96	32	16	35	-0.08	0.46	118	
8	11	108	2.8	4.9	44	0.72	0.79	0.76	0.97	0.88	0.97	25	10	22	-0.10	0.41	125	AB16_REM
8	11	109	3.0	5.6	47	0.76	0.78	0.74	0.96	0.85	0.97	21	8	24	-0.07	0.37	119	AB16_REM
8	11	110	2.8	5.7	51	0.70	0.67	0.70	0.97	0.75	0.99	28	11	30	-0.10	0.40	125	AB16_REM
8	11	111	3.4	6.1	44	0.69	0.70	0.65	0.94	0.81	0.91	26	14	29	-0.11	0.39	128	AB16_REM
8	11	114	2.7	5.9	55	0.74	0.82	0.69	0.91	0.93	0.84	18	11	18	-0.15	0.41	137	AB16_REM
8	11	120	2.8	8.7	67	0.60	0.69	0.58	0.74	0.78	0.78	19	12	25	-0.19	0.53	136	AB16_REM
8	21	107	3.4	6.0	44	0.63	0.68	0.59	1.01	0.98	0.98	38	31	39	-0.06	0.42	114	
8	21	108	3.1	5.1	39	0.75	0.80	0.76	1.00	0.91	1.01	25	12	25	-0.07	0.35	121	AB16_REM
8	21	109	2.7	5.0	45	0.76	0.77	0.71	0.96	0.80	0.93	21	3	23	-0.06	0.43	115	AB16_REM
8	21	110	3.0	5.5	46	0.67	0.75	0.67	0.89	0.81	0.88	24	7	24	-0.09	0.42	122	AB16_REM
8	21	111	3.2	5.9	46	0.68	0.75	0.62	0.90	0.83	0.82	25	10	25	-0.06	0.45	113	AB16_REM
8	21	114	2.7	5.7	52	0.70	0.87	0.74	0.90	0.96	0.91	23	10	19	-0.13	0.37	135	AB16_REM
8	21	120	3.7	8.5	57	0.63	0.65	0.58	0.74	0.75	0.75	15	14	23	-0.14	0.54	125	AB16_REM
8	111	103	2.7	5.6	52	1.14	1.27	1.21	1.08	1.05	1.19	-6	-20	-2	-0.11	0.09	233	SMA16_MP
8	111	119	4.2	8.3	50	0.57	0.79	0.77	0.71	1.11	0.87	19	29	12	-0.05	0.34	114	AB16_REM
8	112	103	2.6	3.0	15	1.20	1.19	1.19	1.16	1.06	1.26	-3	-12	5	-0.13	0.13	200	SMA16_MP
8	221	103	4.0	7.3	45	1.28	1.25	1.31	1.08	1.06	1.21	-18	-18	-8	-0.11	0.12	191	SMA16_MP
8	221	119	4.0	8.0	51	0.71	0.76	0.68	0.80	0.80	0.67	11	5	-1	-0.01	0.52	102	AB16_REM
8	222	103	2.4	2.7	13	1.28	1.28	1.22	1.22	1.14	1.28	-4	-12	5	-0.13	0.13	196	SMA16_MP
9	11	206	7.7	2.6	-198	0.81	0.96	0.82	0.81	0.95	0.96	1	-1	14	-0.06	-0.10	35	
9	21	206	8.5	2.7	-215	0.88	1.07	0.81	0.91	1.07	0.96	3	0	16	-0.05	-0.07	24	
9	111	206	8.6	7.2	-19	0.90	0.84	0.93	0.85	0.95	0.93	-6	12	0	-0.08	0.26	131	
9	221	206	10.6	7.8	-36	0.85	1.02	0.85	0.92	0.94	0.91	8	-8	6	-0.07	0.37	119	
12	11	203	5.7	12.9	56	0.84	0.65	0.81	0.79	0.68	0.84	-6	4	4	-0.07	0.60	111	
12	21	203	5.6	7.5	26	0.97	0.62	0.92	0.89	1.14	0.96	-9	46	4	-0.04	0.22	119	
40	11	5	2.7	9.1	70	0.83	0.87	0.92	0.95	0.98	0.94	12	11	2	-0.10	0.39	125	AB16_REM
40	11	6	2.5	7.4	67	0.70	0.78	0.80	0.89	0.89	0.89	22	13	10	-0.12	0.47	126	AB16_REM
40	21	5	2.7	9.1	71	0.81	0.84	0.80	0.94	0.90	0.88	14	7	9	-0.11	0.43	126	AB16_REM
40	21	6	3.0	7.4	59	0.89	0.85	0.87	1.07	0.97	1.04	17	12	17	-0.11	0.37	129	AB16_REM
40	111	2	3.1	7.1	57	1.17	1.24	1.15	1.10	1.04	1.12	-7	-19	-2	-0.11	0.20	155	SMA16_MP
40	112	2	3.4	4.6	27	1.17	1.20	1.27	1.12	1.08	1.23	-4	-12	-4	-0.11	0.20	153	SMA16_MP
40	221	2	3.1	7.0	56	1.19	1.18	1.21	1.17	1.05	1.20	-2	-12	-1	-0.10	0.14	169	SMA16_MP
40	222	2	3.6	4.3	15	1.40	1.39	1.38	1.23	1.22	1.32	-14	-14	-4	-0.09	0.18	151	SMA16_MP
41	11	7	2.4	5.5	56	0.48	0.47	0.49	0.75	0.62	0.77	37	24	36	-0.10	0.59	116	AB16_REM
41	11	8	2.1	5.2	60	0.44	0.48	0.44	0.67	0.55	0.68	34	12	35	-0.11	0.58	119	AB16_REM
41	11	14	4.3	7.9	46	0.66	0.82	0.69	0.74	0.75	0.81	10	-9	15	-0.17	0.34	149	AB16_REM
41	21	7	2.0	4.7	58	0.49	0.48	0.44	0.71	0.59	0.71	32	19	38	-0.11	0.55	121	AB16_REM
41	21	8	1.8	4.5	60	0.45	0.43	0.40	0.69	0.51	0.70	34	16	42	-0.12	0.57	121	AB16_REM
41	21	14	3.6	6.4	44	0.64	0.68	0.63	0.72	0.67	0.75	11	-1	16	-0.19	0.35	154	AB16_REM
50	111	3	2.7	9.0	70	1.54	1.67	1.62	0.88	1.28	0.94	-76	-30	-73	0.01	0.14	96	SMA16_LTA
50	111	4	2.2	8.8	75	1.51	1.53	1.56	0.83	1.19	0.85	-83	-29	-83	-0.02	0.15	113	SMA16_LTA
50	221	2	2.8	5.2	46	1.72	1.89	1.77	1.07	1.34	1.01	-61	-41	-75	0.01	0.20	95	
50	221	3	2.9	8.0	64	1.75	1.94	1.84	0.85	1.32	0.95	-105	-46	-94	0.01	0.16	93	SMA16_LTA
50	221	4	2.7	8.5	68	1.69	1.81	1.75	0.90	1.26	0.87	-89	-43	-101	0.01	0.23	96	SMA16_LTA
50	222	6	3.5	7.6	54	1.30	1.05	1.38	1.03	0.95	1.07	-26	-10	-29	0.01	0.35	98	SMA16_REM
101	111	2	3.6			1.41	1.21	1.49							0.01			SMA16_REM
101	111	3	3.4			1.53	1.45	1.78							0.02			SMA16_REM
101	111	4	2.8			1.66	1.55	1.62							0.02			SMA16_LTA
101	111	5	2.4			1.53	1.67	1.51							-0.01			SMA16_LTA
101	111	6	2.6			1.53	1.61	1.50							-0.02			SMA16_LTA
101	111	7	2.5			1.51	1.55	1.54							-0.02			SMA16_LTA
101	221	3	16.4			0.80	1.07	0.79							0.41			
101	221	4	19.3			0.88	1.05	0.93							0.36			
101	222	6	4.1			1.46	0.97	1.54							0.03			SMA16_REM
101	222	7	4.0			1.43	0.94	1.48							0.01			SMA16_REM
110	11	28	2.3	3.7	37	0.72	0.72	0.72	0.96	0.81	0.94	25	12	23	-0.15	0.31	149	AB16_REM
110	21	28	2.9	4.1	30	0.71	0.68	0.67	0.88	0.73	0.83	19	7	19	-0.15	0.41	137	AB16_REM
189	11	3	1.7	4.4	61	0.72	0.71	0.70	0.76	0.72	0.77	6	1	8	-0.16	0.55	129	AB16_REM
189	11	4	1.7	4.8	64	0.74	0.73	0.72	1.08	0.88	1.06	31	17	32	-0.16	0.56	128	AB16_REM
189	21	3	1.9	4.9	61	0.60	0.63	0.60	0.89	0.85	0.90	33	26	33	-0.14	0.52	127	AB16_REM
189	21	4	1.8	4.4	59	0.74	0.73	0.72	1.10	0.93	1.09	33	22	34	-0.16	0.51	131	AB16_REM
192	11	5	2.5	4.6	45	0.92	0.89	0.81	1.14	0.97	1.03	20	8	22	-0.14	0.48	129	AB16_REM
192	11	8	2.0	3.6	46	0.48	0.46	0.43	0.77	0.59	0.75	38	21	43	-0.15	0.55	128	AB16_REM
192	11	9	1.9	3.0	36	0.46	0.45	0.42	0.73	0.53	0.73	37	14	42	-0.14	0.55	125	AB16_REM
192	21	5	2.0	3.9	49	0.79	0.79	0.72	1.04	0.84	0.94	24	7	24	-0.16	0.50	131	AB16_REM
192	21	8	2.0	3.8	48	0.47	0.47	0.45	0.76	0.57	0.77	38	18	41	-0.14	0.49	129	AB16_REM
192	21	9	1.5	3.2	53	0.47	0.49	0.47	0.76	0.60	0.78	38	19	41	-0.14	0.44	132	AB16_REM
194	11	1	1.9	4.9	60	0.66	0.65	0.71	1.05	0.84	1.11	37	23	36	-0.12	0.33	137	AB16_REM
194	21	1	2.1	4.9	58	0.58	0.59	0.65	0.90	0.78	0.97	36	24	33	-0.13	0.28	147	AB16_REM
204	11	1	2.4	5.5	56	0.57	0.53	0.57	0.95	0.67	0.95	40	20	40	-0.13	0.46	129	AB16_REM
204	21	1	2.5	5.0	49	0.56	0.50	0.50	0.91	0.62	0.85	38	19	41	-0.16	0.61	126	AB16_REM
213	11	10	2.7	4.5	39	0.61	0.66	0.58	0.80	0.71	0.84	24	7	31	-0.14	0.18	176	AB16_REM
213	21	10	3.0	4.8	37	0.60	0.63	0.62	0.72	0.70	0.78	17	11	21	-0.12	0.08	258	AB16_REM
1893	11	3	3.4	5.9	43	0.53	0.52	0.58	0.81	0.62	0.86	34	15	32	-0.11	0.41	126	AB16_REM
1893	21	3	3.0	5.8	48	0.66	0.65	0.70	0.84	0.78	0.88	21	16	21	-0.09	0.37	126	AB16_REM
2200	11	1	2.5	5.6	55	1.47	1.55	1.47	1.23	1.31	1.28	-20	-18	-15	-0.05	0.07	177	SMA16_MP
2200	21	1	3.2	5.7	43	1.48	1.38	1.43	1.20	1.23	1.22	-23	-12	-17	-0.04	0.08	156	SMA16_MP
2340	11	1	2.6	7.0	63	0.70	0.75	0.69	0.89	0.66	0.86	21	-14	19	-0.16	0.54	129	AB16_REM
2340	21	1	2.6	6.8	63	0.66	0.66	0.70	0.88	0.67	0.87	24	2	19	-0.13	0.55	124	AB16_REM
12190	11	1	5.5	4.1	-36	0.66	0.48	0.67	0.73	0.61	0.68	9	22	2	0.57	0.45	-28	AB16_MP
12190	21	1	6.8	4.2	-60	0.71	0.54	0.69	0.71	0.61	0.64	-1	11	-8	0.57	0.47	-23	AB16_MP
Yhteensä			**3.2**	**5.8**	**45**	**0.97**	**0.98**	**0.99**	**0.96**	**0.94**	**0.98**	**-2**	**-4**	**-1**	**-0.06**	**0.31**	**133**	

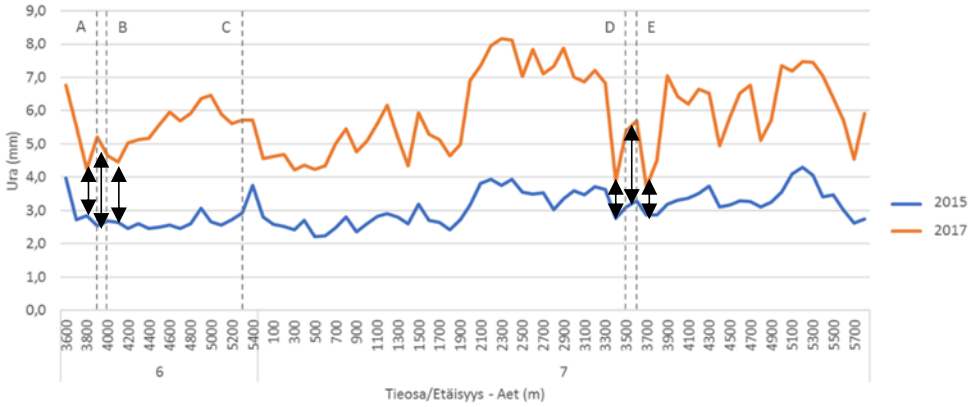
3.1.2 Valtatien 1 osat 6-7

Mitatuista seurantakohteista mielenkiintoisinta oli tarkastella MPD-arvojen kehitystä niistä kohteista, joilla havaittiin vuonna 2015 lajittumia ja joilta oli otettu poranäytteitä. Valtatien 1 tieosilla 6-7 suunnassa 1 kaistalla 2 otettiin vuonna 2015 poranäytteitä laboratoriotutkimuksia varten (kuva 5). Kahden vuoden aikana päällysteen MPD-tulokset ovat pienentyneet yksittäisiä pisteitä lukuun ottamatta, mikä havaittiin seurantamittausten perusteella tyypilliseksi kehitykseksi SMA-päällysteille. Näytetunnukset A-E viittaavat aiempaan raporttiin [1], jossa paikoista A-B otetut näytteet oli luokiteltu silmämääräisesti joko karkeiksi tai sileiksi, paikan C näytteet karkeasta normaaliin ja paikkojen D-E näytteet sileiksi. Koska tässä tarkastelussa haluttiin selvittää MPD-arvojen keskimääräistä kehitystä, aineistona käytettiin 100 metrin jaksojen tuloksia. Tällöin pienimmät paikalliset MPD-arvojen vaihtelut väistämättä keskiarvoistuvat 100 metrin tuloksissa. Voidaan kuitenkin havaita, että kohdissa A ja B vasemman uran MPD-tulokset ovat pienempiä kuin oikeasta urasta tai urien keskeltä. Kohdissa A ja B sileät näytteet otettiin lähempää vasenta uraa ja karkeat näytteet urien keskeltä. Myös laajemmissa bitumin pintaan nousun kohdissa D-E MPD:t olivat alhaisia, jopa alle 1 mm.



Kuva 5. 100 metrin jaksojen MPD-tulokset vuosilta 2015 ja 2017 valtatien 1 osilta 6-7 suunnassa 1 kaistalla 2. Vuoden 2015 näytepaikat on merkitty katkoviivoilla ja tunnuksilla A-E.

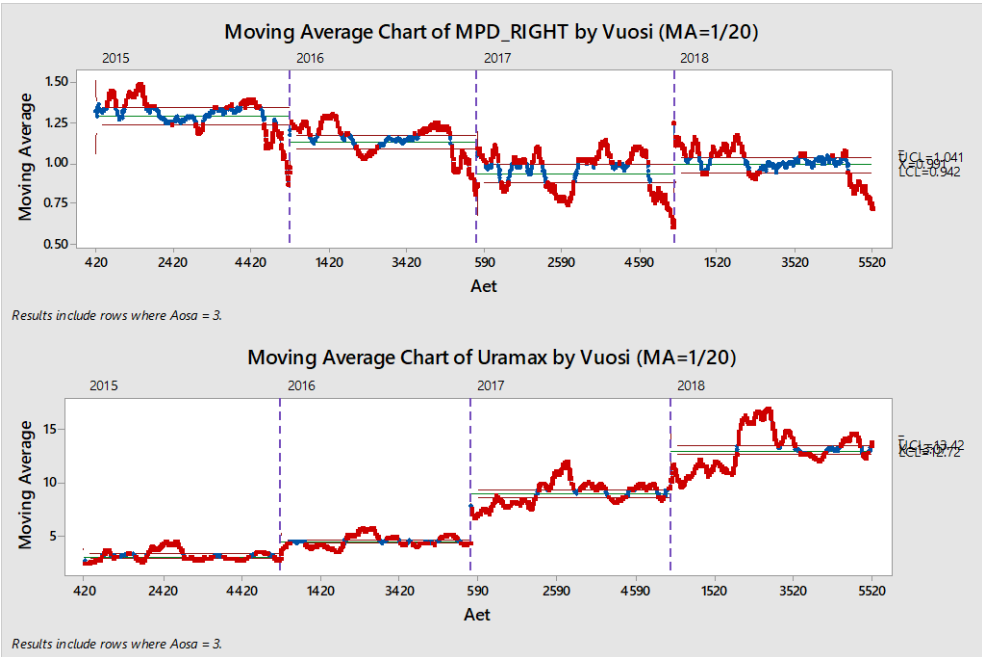
Tieosat 6 ja 7 ovat urautuneet normaalisti. Poranäytteiden kohdissa havaittiin pieniä eroja urautumisessa. Kohdissa A-B (karkea/sileä 3944-3945, 4036-4042) ja D-E (sileä 3567 ja 3610) urautuminen oli noin kaksi kertaa nopeampaa kuin niiden lähiympäristössä. Toisaalta taas näytekohtien urautuminen oli pienempää kuin niiden välisillä osuuksilla. Kohdassa C (normaali 5328-5332) ei havaittu eroja urautumisessa (kuva 6). Kahden vuoden urautumisen perusteella ei ehkä vielä saada kovin selvää kuvaa lajittumien vaikutuksesta urautumiseen. Kyseisten näytekohtien urautumiskehitystä kannattaa seurata pitemmällä aikavälillä.



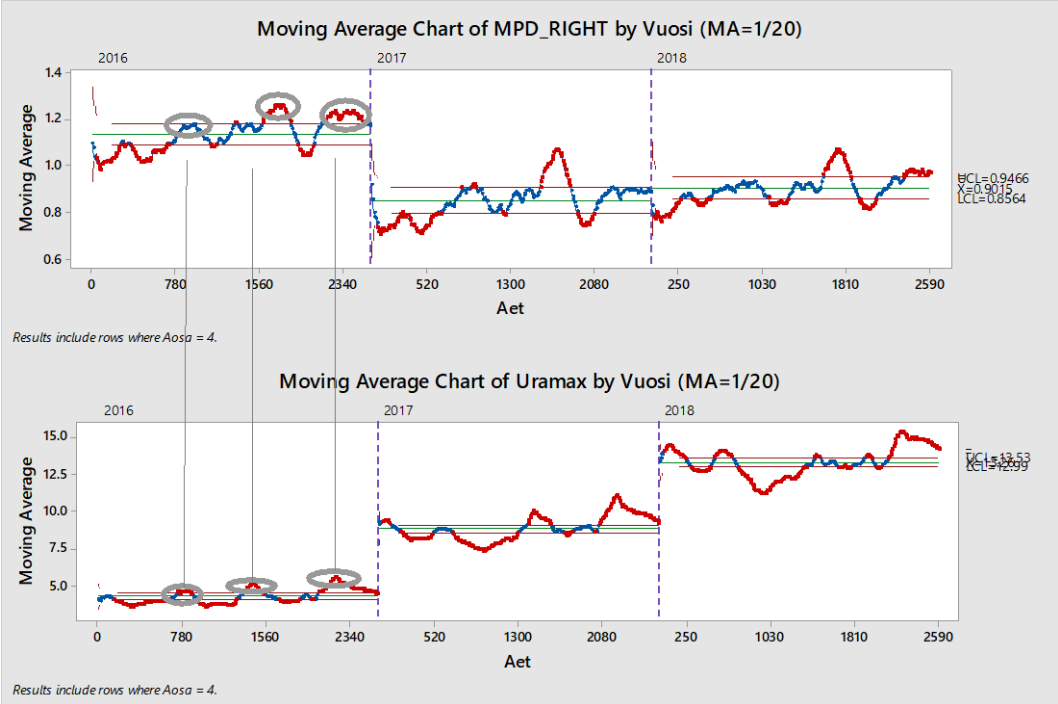
Kuva 6 *100 metrin jaksojen uratulokset vuosilta 2015 ja 2017 valtatien 1 osilta 6-7 suunnassa 1 kaistalla 2. Vuoden 2015 näytepaikat on merkitty katkoviivoilla ja tunnuksilla A-E.*

3.1.3 Kantatie 50 osat 3 ja 4

Erittäin vilkasliikenteisellä kantatiellä 50 (Kehä III) tieosalla 3 makrokarkeus laski uuden päällysteen arvosta noin kahden vuoden ajan, jonka jälkeen se tasaantui (kuva 7). Urautuminen vastaavasti kasvoi kiihtyvästi. Makrokarkeuksien vuosimuutos oli alussa suuri, 0,35 mm, mutta pieneni ollen kolmantena vuonna vain 0,14 mm. Neljäntenä vuonna MPD-arvo kasvoi hiukan. Makrokarkeuksien pienimmät arvot pienenivät enemmän kuin muut arvot. Makrokarkeuden ja maksimiuran välillä oli lievä käänteinen korrelaatio ts. urahuiput osuivat joissakin kohdissa pienten makrokarkeuksien kohdalle. Liukuvien keskiarvojen laskemisessa on käytetty subgroup size –parametrille arvoa 1 ja MA length –parametrille arvoa 20.



Kuva 7. *Oikean ajouran makrokarkeuden ja maksimiuran 10 m aineistosta lasketut liukuvat keskiarvot kantatiellä 50 tieosalla 3 vuosina 2015-2018.*



Kuva 8. Oikean ajouran makrokarkeuden ja maksimiuran 10 m aineistosta lasketut liukuvat keskiarvot kantatiellä 50 tieosalla 4 vuosina 2015-2018.

Tieosalla 4 oli havaittavissa samanlainen kehitys, tosin mittaustuloksia oli vain vuodesta 2016 lähtien.

3.2 Uudet päällysteet 2017

Vuonna 2017 tehtyjä uusia päällysteitä mitattiin PTM:lla yli 630 km. Kohteet on esitetty oheisella kartalla (kuva 9) ja niiden tulokset taulukossa (taulukko 2), johon on laskettu eri tunnuslukujen tieosakohtaiset keskiarvot käyttäen 10 m:n tuloksia. Aineistoa ei ole rajattu päällystetyyppien tai työmenetelmien perusteella, vaan mukana on uudelta päällysteeltä tehdyt mittaukset ramppeja lukuun ottamatta. Kaikkien MPD-tulosten keskiarvo oli noin 1,2 mm.

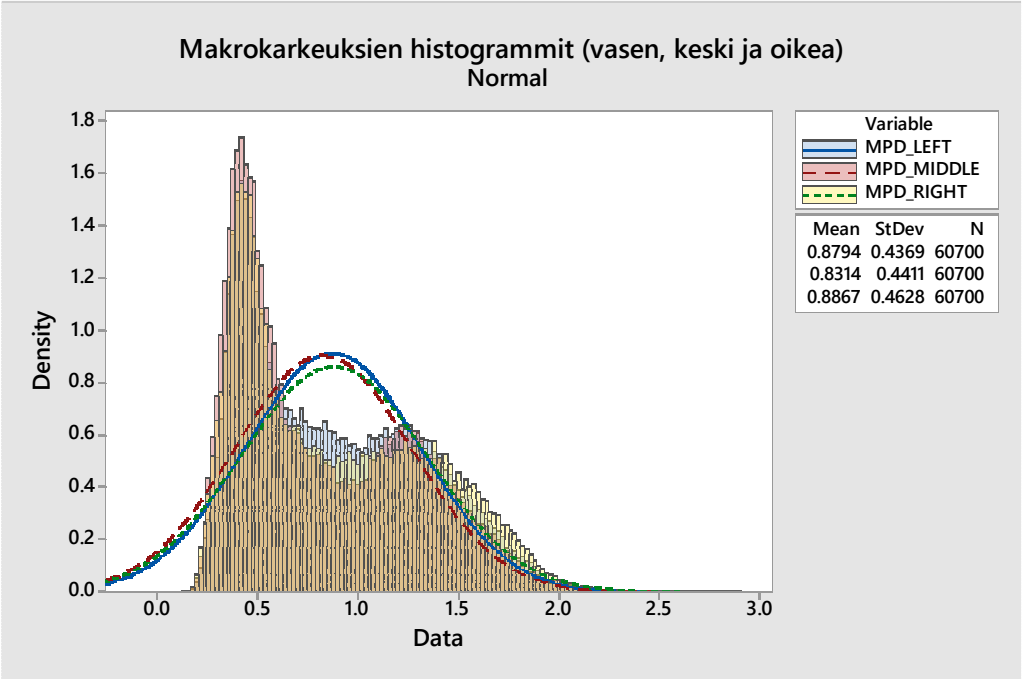
Uusien päällysteiden 10 m MPD-tulosten perusteella kartoitettiin potentiaalisia lajittumakohtia maastokäyntiä varten. Lisäksi aineiston avulla tarkasteltiin MPD:n tyypillistä arvoaluetta uusilla päällysteillä (Kuva 10). MPD-arvojen histogrammit kolmelta eri makrolaserilta (vasen, oikea ja keski) ja niiden tilastolliset tunnusluvut ovat tyypillisesti melko samanlaisia (taulukko 3). MPD:n mediaani on noin 0,7 mm ja puolet havainnoista on välillä 0,5-1,2 mm. MPD:n arvot asettuvat välille 0,1-3,0 mm alarajan edustaessa hyvin sileätä päällystettä ja ylärajan erittäin karkeaa päällystettä.

Histogrammien muodosta nähtiin, että jakaumissa oli kaksi huippua, mikä viittasi siihen, että eri päällystetyypeillä oli erilaiset MPD:n arvoalueet. Käsitystä tuki histogrammikuva, jossa päällystetyypit AB ja SMA oli eritelty (kuva 11). Siitä nähtiin selvästi myös se, etteivät vuoden 2016 SMA-päällysteelle tehdyn tutkimuksen raja-arvot (0,66 ja 1,75 mm) sovi AB-päällysteille.

Kuva 9. Vuonna 2017 mitatut uudet päällysteet kartalla.

Taulukko 2. Vuonna 2017 mitattujen uusien päällysteiden keskimääräiset MPD-tulokset 10 m:n aineistosta laskettuna. Päällystetyyppi ja työmenetelmä on merkitty niiltä kohteilta, joilla se on sama koko tieosalla.

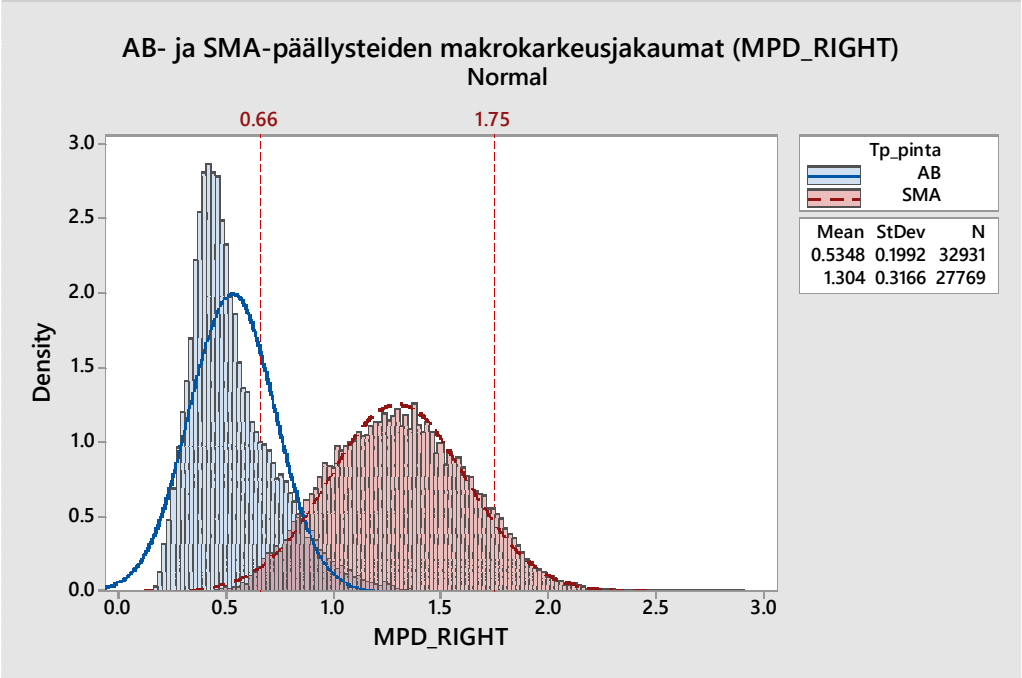
Tie	Ajorata/ Suunta/ Kaista	Osa (alku)	Pituus (m)	Ura	MPD, vasen ura	MPD, urien väli	MPD, oikea ura	Karkeuden suunta	Päällystetyyppi
1	112	9	4517	3.4	1.40	1.63	1.60	0.02	SMA16_LTA
1	112	10	1382	3.2	1.45	1.71	1.55	-0.03	SMA16_LTA
1	221	10	4094	2.3	1.59	1.48	1.60	0.01	SMA16_LTA
1	221	11	1683	2.2	1.53	1.44	1.57	0.00	SMA16_REM
1	222	6	1178	2.2	1.43	1.30	1.45	0.03	SMA16_REM
1	222	7	7228	2.5	1.52	1.36	1.48	-0.01	SMA16_REM
1	222	8	536	2.3	1.61	1.41	1.55	0.03	SMA16_REM
2	11	5	1252	2.6	1.29	1.46	1.34	-0.09	
2	11	12	2389	2.7	1.34	1.34	1.26	-0.08	
2	11	15	161	1.9	0.79	0.60	0.73	-0.02	
2	11	16	6196	1.8	0.63	0.50	0.52	-0.14	AB16_MP
2	11	17	5196	2.1	0.71	0.64	0.63	-0.12	AB16_MP
2	21	5	652	2.5	1.34	1.48	1.25	-0.14	
2	21	12	2388	2.5	1.52	1.58	1.41	-0.10	
2	21	15	161	2.1	0.56	0.58	0.70	-0.02	
2	21	16	6199	2.0	0.52	0.43	0.49	-0.09	AB16_MP
2	21	17	5194	2.4	0.66	0.60	0.60	-0.08	AB16_MP
2	111	17	223	2.9	0.61	0.72	0.55	-0.25	AB16_LTA
2	111	18	47	2.2	0.57	0.76	0.67	-0.17	AB16_LTA
2	221	17	223	1.9	0.59	0.82	0.67	-0.20	AB16_LTA
2	221	18	47	2.2	0.74	0.72	0.68	-0.08	AB16_LTA
3	111	103	469	3.0	1.61	1.39	1.53	0.03	SMA16_REM
3	111	104	4543	2.7	1.64	1.40	1.52	0.01	SMA16_REM
3	111	105	2405	2.8	1.77	1.57	1.87	0.10	SMA16_REM
3	111	107	2680	3.1	1.68	1.50	1.73	0.05	SMA16_REM
3	111	108	296	3.1	1.60	1.48	1.72	0.07	SMA16_REM
3	111	110	804	3.4	1.24	1.10	1.23	0.01	SMA16_REM
3	111	111	3558	3.3	1.19	1.14	1.32	0.06	
3	111	112	8951	3.5	1.22	1.19	1.33	0.02	SMA16_REM
3	111	113	398	2.6	1.26	1.09	1.19	0.02	SMA16_REM
3	111	116	816	3.2	1.32	1.21	1.21	-0.07	
3	111	120	1555	2.1	1.42	1.33	1.36	-0.07	
3	111	121	2399	2.1	1.46	1.34	1.36	-0.06	SMA16_REM+
3	112	111	2097	4.1	1.36	1.19	1.47	0.11	SMA16_REM
3	112	118	8501	3.1	1.02	0.87	1.01	0.04	
3	112	119	3776	3.2	0.97	0.85	1.08	0.12	SMA16_REM
3	112	120	4531	3.5	0.96	0.84	1.08	0.12	
3	112	121	2502	2.7	0.97	0.85	1.03	0.07	SMA16_REM+
3	221	105	2505	3.5	1.77	1.71	1.75	0.02	SMA16_REM
3	221	106	3500	3.5	1.70	1.67	1.73	0.03	SMA16_REM
3	221	107	5070	2.8	1.65	1.61	1.73	0.05	SMA16_REM
3	221	110	3501	3.7	1.12	1.17	1.44	0.11	SMA16_REM
3	221	111	3567	3.4	1.40	1.39	1.50	0.03	
3	221	112	794	3.9	1.34	1.24	1.45	0.08	SMA16_REM
4	111	108	5225	2.2	1.23	1.72	1.40	-0.13	SMA16_LTA
4	111	109	670	2.4	1.55	2.08	1.63	-0.13	SMA16_LTA
4	111	120	172	2.3	1.46	1.57	1.45	-0.10	SMA16_LTA
4	111	201	2147	2.2	1.11	1.23	1.12	-0.14	SMA16_LTA
4	111	202	1331	2.5	1.06	1.23	1.15	-0.11	SMA16_LTA
4	112	107	3293	2.8	1.71	1.55	1.76	0.12	SMA16_LTA
4	112	201	446	1.6	0.73	0.70	0.64	-0.12	AB16_LTA
4	112	202	1335	1.7	0.81	0.85	0.77	-0.10	AB16_LTA
4	221	109	390	1.9	1.12	1.14	1.13	-0.04	SMA16_LTA
4	221	110	4694	1.8	1.00	1.02	1.07	0.00	SMA16_LTA
4	221	111	1488	2.0	1.06	1.04	1.11	-0.02	SMA16_LTA
4	221	120	57	2.4	1.28	1.35	1.28	-0.10	
4	221	201	2141	2.1	1.22	1.27	1.17	-0.13	
4	221	202	1317	2.0	1.02	1.14	1.00	-0.18	
4	222	110	1953	3.0	1.46	1.59	1.91	0.25	SMA16_LTA
4	222	111	4729	3.0	1.11	1.17	1.59	0.30	SMA16_LTA
4	222	112	2296	2.7	1.17	1.18	1.67	0.35	SMA16_LTA
4	222	113	3846	2.2	1.12	1.19	1.55	0.22	SMA16_LTA
4	222	114	879	2.1	1.03	1.12	1.29	0.06	
4	222	120	996	1.7	0.53	0.57	0.52	-0.17	AB16_LTA
4	222	202	1314	1.5	0.63	0.66	0.65	-0.08	AB16_LTA
10	11	25	1448	2.3	1.03	0.96	0.98	-0.10	
10	21	25	1893	1.9	0.96	0.85	0.97	-0.01	
24	11	11	343	1.8	0.41	0.36	0.38	-0.06	
24	11	12	8624	1.8	0.42	0.37	0.40	-0.08	
24	21	11	341	2.7	0.41	0.42	0.40	-0.14	
24	21	12	8629	2.1	0.44	0.42	0.41	-0.16	
25	11	22	1183	2.3	1.27	1.21	1.32	0.00	SMA16_REM
25	11	23	2064	2.4	1.34	1.33	1.36	-0.04	SMA16_REM
25	11	24	3510	2.4	1.35	1.31	1.33	-0.05	
25	11	27	285	3.1	1.24	1.20	1.30	0.02	SMA16_MPKJ
25	11	28	5531	3.2	1.33	1.30	1.40	0.03	SMA16_MPKJ
25	11	33	6311	3.3	1.06	0.92	1.03	0.04	SMA16_MPKJ
25	11	34	5601	3.4	1.02	0.86	1.03	0.13	SMA16_MPKJ
25	11	35	2799	3.3	0.99	0.98	1.06	-0.03	SMA16_MPKJ
25	21	22	1182	2.4	1.22	1.20	1.27	-0.02	SMA16_REM
25	21	23	2066	2.5	1.28	1.20	1.28	-0.01	SMA16_REM
25	21	24	3508	2.2	1.29	1.20	1.30	0.02	
25	21	27	285	2.3	1.25	1.31	1.31	-0.05	SMA16_MPKJ
25	21	28	5532	2.5	1.34	1.36	1.38	-0.02	SMA16_MPKJ
25	21	33	6312	2.7	0.96	0.92	1.00	0.01	SMA16_MPKJ
25	21	34	5600	3.3	0.94	0.88	0.97	0.01	SMA16_MPKJ
25	21	35	2799	3.3	0.99	0.90	1.01	0.02	SMA16_MPKJ
25	111	20	2503	2.2	1.44	1.35	1.44	-0.02	
25	221	20	2803	2.4	1.48	1.43	1.53	-0.02	
50	112	3	3277	2.4	1.58	1.40	1.53	0.04	
50	222	3	2710	2.3	1.67	1.52	1.65	0.00	
50	222	4	5231	2.4	1.60	1.47	1.65	0.06	SMA16_REM
54	11	11	3257	1.9	1.08	1.18	1.10	-0.07	SMA16_LTA
54	11	13	2294	2.2	1.51	1.95	1.72	-0.01	SMA16_LTA
54	21	11	3179	1.9	1.15	1.33	1.17	-0.11	SMA16_LTA
54	21	13	2294	1.9	1.18	1.54	1.28	-0.10	SMA16_LTA
130	11	4	3530	3.0	0.56	0.53	0.58	0.04	AB16_MPKJ
130	11	11	7106	2.6	0.78	0.54	0.77	0.20	
130	11	12	1589	2.6	0.57	0.68	0.62	-0.18	AB16_MPKJ
130	11	15	1870	3.9	0.88	0.77	0.78	-0.11	
130	11	16	5426	3.1	0.79	0.77	0.80	-0.02	
130	21	4	3530	2.8	0.63	0.58	0.56	-0.10	AB16_MPKJ
130	21	11	7108	3.0	0.73	0.52	0.78	0.26	
130	21	12	1589	4.1	0.68	0.72	0.73	-0.08	AB16_MPKJ
130	21	15	1870	3.9	0.68	0.70	0.69	-0.08	
130	21	16	5426	2.9	0.69	0.66	0.70	0.07	
139	11	1	4290	1.5	0.38	0.42	0.43	-0.09	
139	11	2	2369	1.7	0.39	0.40	0.44	-0.04	AB16_MPKJ
139	21	1	4288	1.4	0.45	0.41	0.42	-0.11	AB16_MPKJ
139	21	2	2368	1.6	0.41	0.41	0.38	-0.16	
140	11	8	4511	3.0	0.48	0.61	0.54	-0.11	
140	11	9	5475	3.0	0.42	0.55	0.52	-0.03	
140	11	10	4762	2.8	0.44	0.59	0.51	-0.13	AB16_MPKJ
140	11	11	1661	2.6	0.47	0.71	0.54	-0.22	AB16_MPKJ
140	11	13	3589	1.8	0.44	0.41	0.46	0.04	AB16_MPKJ
140	11	15	401	2.1	0.46	0.45	0.47	0.02	AB16_MPKJ
140	21	8	4512	3.0	0.56	0.57	0.59	0.02	AB16_MPKJ
140	21	9	5474	3.3	0.52	0.56	0.60	0.13	AB16_MPKJ
140	21	10	4761	2.8	0.50	0.52	0.55	0.12	AB16_MPKJ
140	21	11	1659	3.1	0.50	0.63	0.54	-0.15	AB16_MPKJ
140	21	13	3590	2.0	0.48	0.45	0.44	-0.09	AB16_MPKJ
140	21	15	400	1.7	0.44	0.51	0.41	-0.22	AB16_MPKJ
145	11	1	2609	3.0	1.66	1.52	1.57	-0.01	SMA16_LTA
145	11	2	4827	3.1	1.52	1.33	1.37	-0.05	
145	21	1	2637	2.7	1.57	1.45	1.50	0.00	SMA16_LTA
145	21	2	4824	2.5	1.38	1.16	1.30	0.07	
148	11	4	3590	1.7	0.29	0.37	0.33	-0.16	AB16_MPKJ
148	21	4	3584	2.5	0.40	0.38	0.34	-0.15	AB16_MPKJ
164	11	4	2495	2.9	0.85	0.75	0.73	-0.15	SMA11_LTA
164	21	4	2516	2.2	0.84	0.70	0.78	0.00	SMA11_LTA
167	11	2	4354	2.4	1.23	1.17	1.23	0.02	SMA16_MPKJ
167	11	4	4022	2.5	1.27	1.16	1.26	0.03	SMA16_MPKJ
167	11	5	4616	2.5	1.21	1.13	1.20	0.01	SMA16_MPKJ
167	11	6	918	3.2	0.95	0.99	0.99	-0.02	SMA16_MPKJ
167	11	7	2464	2.1	0.79	0.72	0.76	-0.05	SMA11_LTA
167	11	9	528	1.9	0.29	0.29	0.29	-0.10	
167	11	11	1312	2.3	0.28	0.29	0.27	-0.12	
167	11	12	6796	2.4	0.31	0.29	0.28	-0.14	
167	11	13	8250	1.8	0.42	0.40	0.39	-0.11	
167	11	15	3286	2.3	0.40	0.37	0.36	-0.11	
167	21	2	4353	3.4	1.29	1.22	1.21	-0.04	SMA16_MPKJ
167	21	4	4021	2.9	1.26	1.17	1.15	-0.07	SMA16_MPKJ
167	21	5	4622	2.8	1.19	1.13	1.05	-0.11	SMA16_MPKJ
167	21	6	918	2.6	0.96	0.97	0.92	-0.07	SMA16_MPKJ
167	21	7	2475	2.4	0.78	0.70	0.73	-0.06	SMA11_LTA
167	21	9	527	2.4	0.34	0.29	0.30	-0.06	
167	21	11	1315	2.0	0.27	0.27	0.26	-0.12	
167	21	12	6884	2.0	0.30	0.27	0.28	-0.06	
167	21	13	8040	2.2	0.42	0.37	0.39	-0.04	
167	21	15	3283	2.2	0.42	0.39	0.40	-0.10	
172	11	1	1924	2.3	0.82	0.78	0.79	-0.09	SMA11_LTA
172	21	1	1925	2.3	0.77	0.77	0.78	-0.07	SMA11_LTA
174	11	1	10414	1.6	0.41	0.35	0.39	0.00	AB16_MP
174	11	3	6056	1.7	0.47	0.40	0.46	0.04	AB16_MP
174	11	4	6432	1.6	0.46	0.43	0.45	-0.08	AB16_MP
174	11	5	9187	1.6	0.46	0.45	0.45	-0.11	AB16_MP
174	21	1	10579	2.0	0.44	0.40	0.42	-0.06	AB16_MP
174	21	3	6057	2.0	0.47	0.44	0.45	-0.07	AB16_MP
174	21	4	6433	1.6	0.45	0.44	0.44	-0.11	AB16_MP
174	21	5	9310	1.5	0.44	0.41	0.44	-0.05	AB16_MP
290	11	12	4793	2.8	0.81	0.59	0.79	0.18	
290	11	13	325	3.1	0.82	0.59	0.82	0.40	
290	21	12	4862	2.4	0.72	0.57	0.77	0.21	
290	21	13	325	2.6	0.77	0.62	0.86	0.34	
292	11	1	6469	4.0	0.95	0.87	0.95	0.06	AB16_REM
292	21	1	6470	3.3	0.90	0.88	0.95	0.05	AB16_REM
1125	11	1	5862	2.2	1.18	1.15	1.20	-0.03	
1125	21	1	5857	2.2	1.18	1.07	1.01	-0.13	
1421	11	2	3333	3.4	0.90	0.56	0.90	0.44	AB16_REM
1421	21	2	3224	3.6	0.90	0.57	0.89	0.40	AB16_REM
1521	11	1	706	3.6	1.72	1.80	1.78	-0.05	SMA16_LTA
1521	21	1	705	3.6	1.88	1.93	1.88	-0.02	SMA16_LTA
1635	11	5	8990	2.1	0.64	0.47	0.49	-0.09	
1635	11	7	2013	2.2	0.79	0.51	0.56	-0.02	AB16_REM+
1635	11	8	1792	2.3	0.77	0.53	0.54	-0.07	
1635	11	9	6453	2.5	0.65	0.46	0.48	-0.03	AB16_REM+
1635	21	5	9516	2.5	0.57	0.46	0.52	0.00	
1635	21	7	2074	2.9	0.61	0.47	0.57	0.09	AB16_REM+
1635	21	8	1793	2.8	0.66	0.52	0.64	0.12	
1635	21	9	6130	2.6	0.62	0.50	0.61	0.14	AB16_REM+
3134	11	1	3292	2.2	0.49	0.51	0.48	-0.18	AB16_LTA
3134	21	1	3287	2.7	0.43	0.44	0.43	-0.15	AB16_LTA
11664	11	1	754	1.9	0.44	0.49	0.40	-0.19	
11664	21	1	753	3.0	0.55	0.48	0.56	0.15	
13581	11	1	5874	3.2	0.54	0.49	0.51	0.33	
13581	21	1	5717	3.6	0.52	0.49	0.50	0.27	
13857	11	1	4318	2.9	0.57	0.51	0.54	0.23	PAB-V16_LTA
13857	11	2	236	2.6	0.56	0.55	0.58	0.34	PAB-V16_LTA
13857	21	1	4300	4.5	0.57	0.54	0.53	0.18	PAB-V16_LTA
13857	21	2	395	3.6	0.61	0.56	0.56	0.25	PAB-V16_LTA
Yhteensä/keskiarvo			**636432**	**2.6**	**1.17**	**1.16**	**1.21**	**-0.02**	



Kuva 10. Histogrammi vuonna 2017 mitattujen uusien päällysteiden 10 m:n MPD-arvoista.

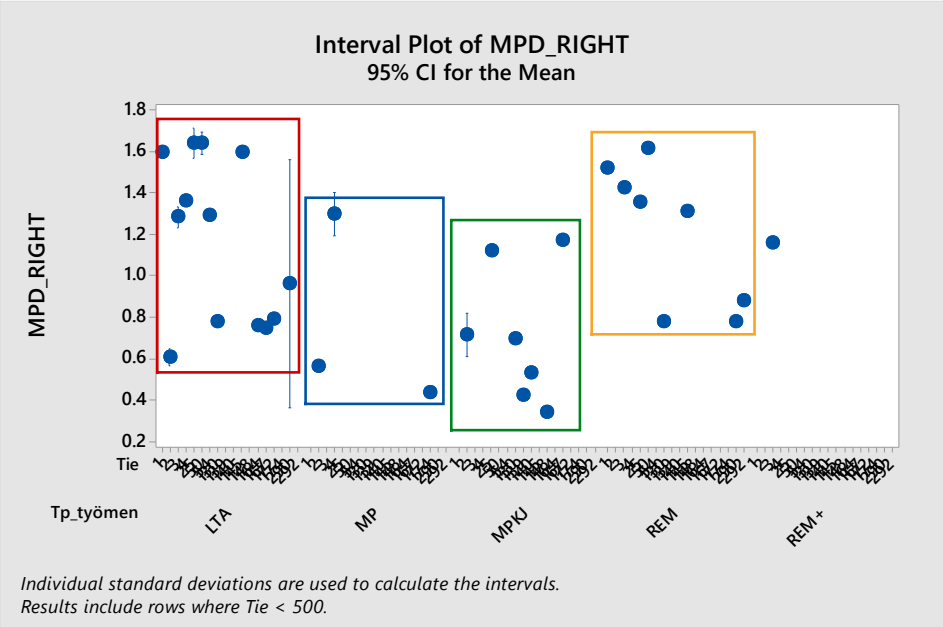
Taulukko 3. Tilastolliset tunnusluvut Kuva 10 aineistolle.

Muuttuja	N	Mean	StDev	Min	Q1	Median	Q3	Max
MPD_LEFT	63749	0.871	0.433	0.15	0.48	0.78	1.21	2.70
MPD_MIDDLE	63749	0.824	0.438	0.17	0.45	0.68	1.18	2.90
MPD_RIGHT	63749	0.878	0.459	0.16	0.47	0.77	1.25	2.52

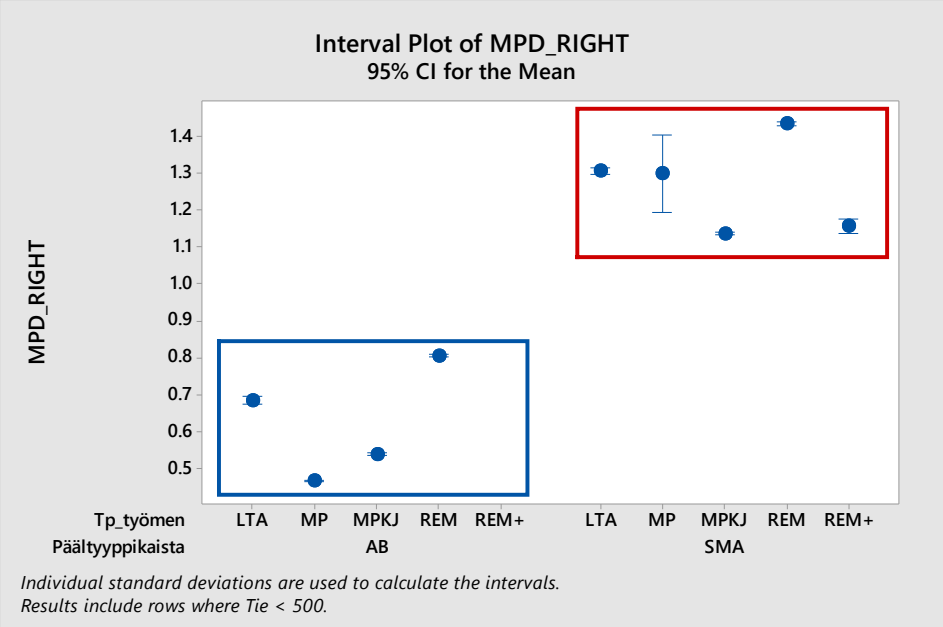


Kuva 11. Päällystetyyppien AB ja SMA oikean ajouran makrokarkeus-jakaumat 2017 10 m datana sekä vuoden 2016 tutkimuksessa SMA-päällysteille saadut raja-arvot.

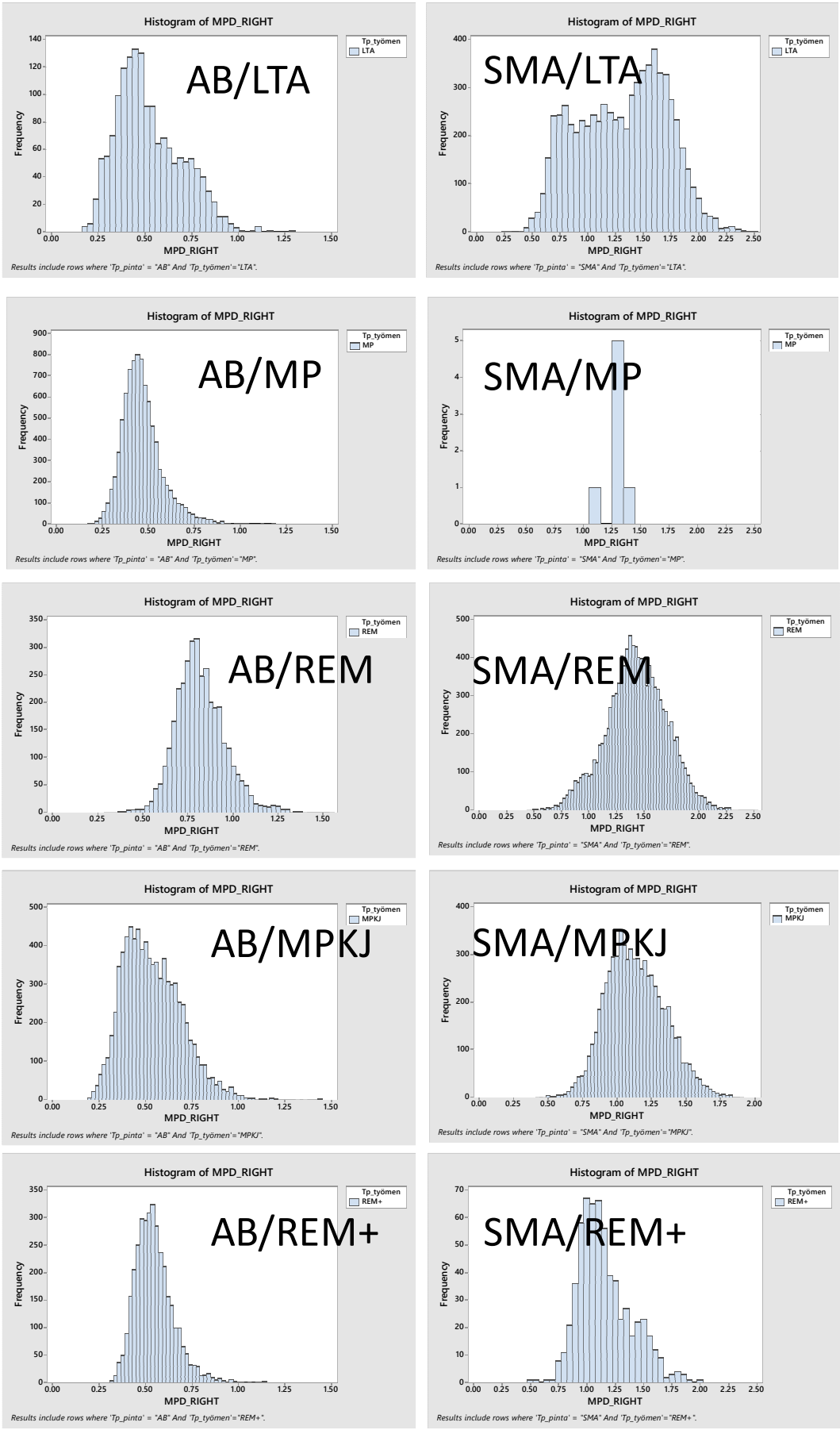
AB-päällystetyyppi oli selkein uusien päällysteiden makrokarkeutta selittävä muuttuja. Eräiden muiden muuttujien (tienumero, työmenetelmä, KVL-luokka) mahdollista selittävyyttä makrokarkeuteen on esitetty seuraavissa kuvissa (kuva 12-15). Makrokarkeus oli suurin, kun päällystetyyppinä oli SMA, tienumero oli pieni tai liikennemäärä oli suuri. Vastaavasti makrokarkeus oli pienin, kun päällystetyyppi oli AB ja liikennemäärä ei ollut kovin suuri. Vilkasliikenteisillä AB-päällysteillä ja vähäliikenteisillä SMA-päällysteillä makrokarkeus oli saman suuruinen.



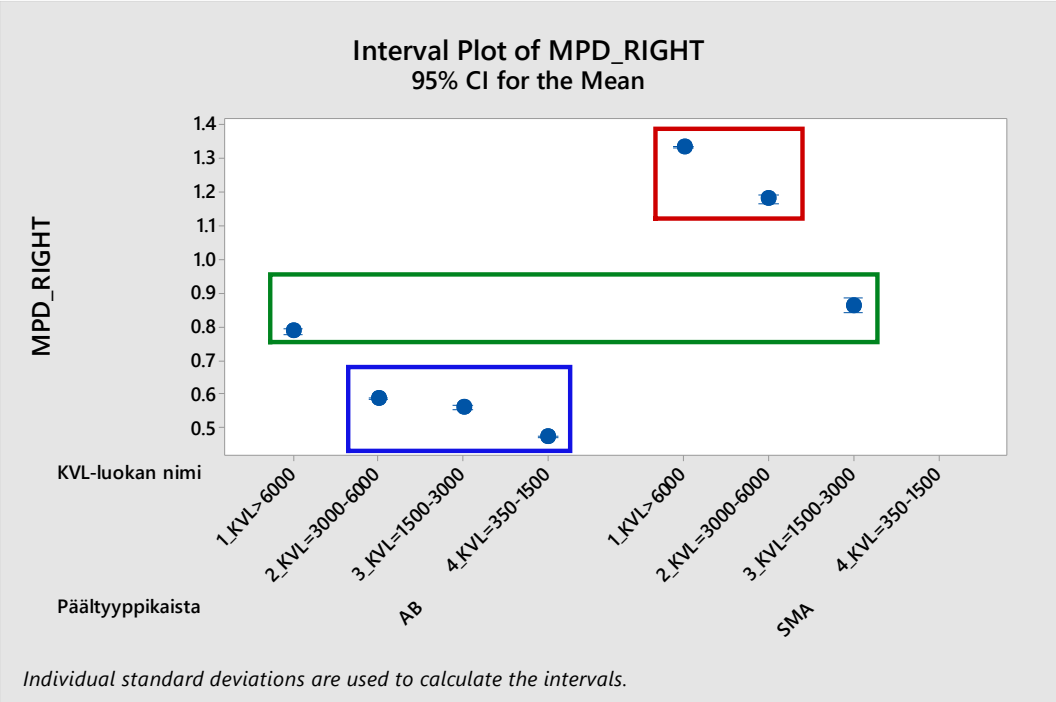
Kuva 12. Uusien AB- ja SMA-päällysteiden MPD-arvojen intervalliplotit eräiden taustamuuttujien mukaan luokiteltuna kohteilla, joiden tienumero oli pienempi kuin 500.



Kuva 13. Uusien AB- ja SMA-päällysteiden MPD-arvojen intervalliplotit työmenetelmittäin (tienumero <500).



Kuva 14. Uusien AB- ja SMA-päällysteiden makrokarkeusjakaumat 2017.



Kuva 15. Uusien AB- ja SMA-päällysteiden MPD-arvojen intervalliplotit eräiden taustamuuttujien mukaan luokiteltuna.

3.3 Maastokatselmuskohteet 2017

3.3.1 Maastotarkastelu

Uusien päällysteiden mittaustulosten perusteella havaittuja mahdollisia lajittumakohteita käytiin tarkastelemassa tilaajien ja urakoitsijoiden edustajien kesken 21.9.2017. Tavoitteena oli esitellä kehitettyä lajittumavirheiden mittausmenetelmää ja samalla valita kohteita jatkotutkimuksia sekä laboratorionäytteiden poraamisesta varten. Koska aiemmassa selvityksessä [1] keskityttiin pääasiassa SMA-päällysteisiin, vuoden 2017 tutkimuksissa tarkoituksena oli ottaa mukaan myös AB-kohteita. Maastokäynnin perusteella poranäytteitä päädyttiin ottamaan kahdesta kohteesta.

- Toinen kohteista oli valtatiellä 2 tieosalla 16 noin 1100 m pituinen osuus (suunnat 1 ja 2), joka oli päällystetty AB 16:lla työmenetelmänä MP.
- Toisessa kohteessa, valtatiellä 25 tieosalla 34, kohta 5330 m, oli käytetty SMA 16:ta (työmenetelmänä MPKJ). Poranäytteiden oton lisäksi kohteilla tehtiin kantavuusmittaukset.

AB-kohteen MPD-tulosten perusteella oli tunnistettu mahdollisia päällysteen lajittumavirheitä ja erityisesti bitumin pintaan nousua. Maastokäynnin yhteydessä AB-kohteella havaittiin bitumin pintaan nousua suunnassa 1 (näytteet 10-12) ja lisäksi karkeampaa lajittunutta päällystettä suunnassa 2 (näytteet 13-15). Kummastakin suunnasta otettiin 3 poranäytettä tiheyksien määritystä varten (kuva 16).

Kuva 16. Lajittunutta AB-päällystettä valtatiellä 2 tieosalla 16 noin paalulta 1100 m. Näytteet 10-12 otettiin bitumin pintaan nousu kohdasta suunnasta 1 (vasen kuva) ja näytteet 13-15 karkeasta lajittuma-kohdasta suuntaan 2 (oikea kuva).

SMA-kohteelta merkittiin maastokäynnin yhteydessä näytteenottoa varten kolme lähekkäin toisiaan sijaitsevaa aluetta, jotka edustivat lajittunutta, bitumin pintaan nousua ja karkeaa lajittumaa, sekä normaalia päällystettä. Lisäksi näytteenoton yhteydessä valittiin neljäs alue, jossa päällysteen pinta visuaalisesti tarkasteltuna vaikutti kaikkein avonaisimmalta. Yhteensä näytteitä otettiin 12 kappaletta, kun jokaisesta alueesta porattiin 3 näytettä. Näytteet 1-3 edustivat bitumin pintaan nousua, näytteet 7-9 normaalia päällystettä ja näytteet 4-6 sekä 10-12 karkeaa päällystettä (kuva 17).

Maastokäynnin yhteydessä osallistujilla oli mahdollisuus tarkastella 10 cm:n välein laskettuja MPD-tuloksia. Nämä MPD-tulokset on esitetty (Kuva 18) niin, että eri tieosilla on käytetty samaa väriasteikkoa. Vaaka-akseleilla on PTM-auton mittauspalkin 17 vierekkäisen laserin MPD-tulokset ja pystyakselilla etäisyys 10 cm:n pistevälillä. Kuvan pystyakseli vastaa noin 12 metrin matkaa. Poranäytteiden ottopaikkojen ympäristöt on merkitty kuviin mustilla katkoviivoilla. Kuvassa 18 vihreillä alueilla MPD on pieni, jopa alle 0,6 mm ja värien muuttuessa oranssista punaiseen, MPD arvot kasvavat yli 2 mm. Jo pelkästään värien perusteella pystytään visuaalisesti arvioimaan päällysteen mahdollisia lajittumakohtia. Esimerkiksi SMA-kohteella (kuva 18), oikeanpuolimmainen kuva) bitumin pintaan nousu näkyi muuten kelta-oranssin alueen keskellä yhtenäisenä vihreänä alueena. Sen sijaan karkeat lajittumakohdat näkyivät AB- ja SMA-päällysteillä hieman erisävyisinä.

Kuva 17. Lajittunutta SMA-päällystettä valtatiellä 25 tieosalla 34 suunnassa 1 noin paalulta 5530 m. Näytteet 1-3 otettiin bitumin pintaan nousukohdasta (vasen kuva). Näytteet 7-9 edustivat normaalia päällystettä ja näytteet 4-6 sekä 10-12 karkeaa päällystettä (oikea kuva).

Urakoitsijat luonnehtivat kohteita seuraavasti:

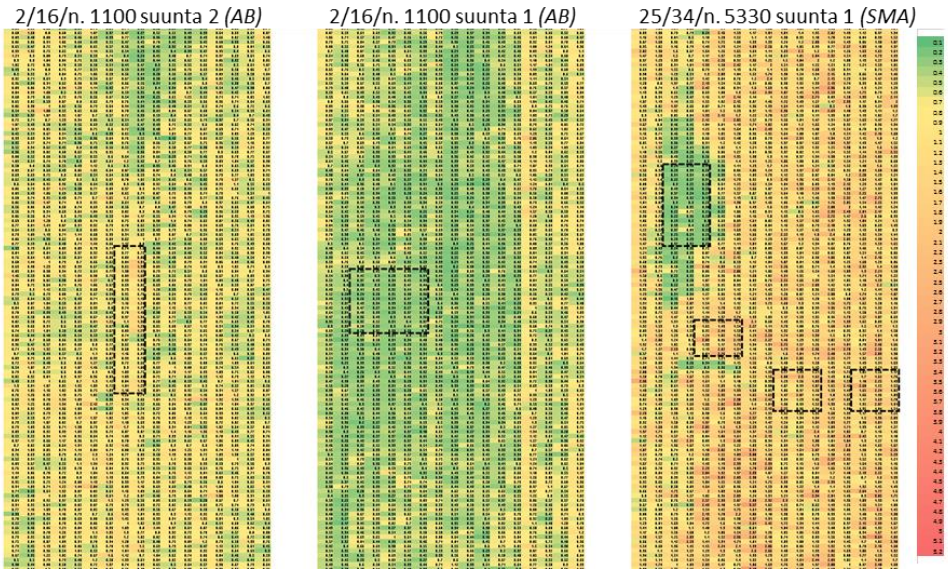
AB-kohde VT 2 tieosa 16:

- paaluvälin 1100-1150 osuudesta todettiin, että siinä oli pitkulainen noin 10 m pituinen ja sen toisessa päässä laajempi sileä alue, jossa bitumi oli selvästi noussut pintaan.
- paaluvälin 1150-1200 osuudesta todettiin, että poikkeava karkea pinta huomattiin, mutta se ei johtaisi sen erityisempiin toimiin.
- bitumin pintaan noususta todettiin, että sen haitallisuuteen vaikuttaa alueen muoto, esim. kapea pitkulainen sileä kohta on haitallisempi kuin yksittäinen kohta ja siksi haitallisuuden arvioinnissa tulisi muoto ottaa huomioon.

SMA-kohde VT 25 tieosa 34:

- kohteen päällyste oli tarkastelijoiden mukaan tiivispintainen ja hyvin suhteutettu.
- kohdassa 5530 ollutta bitumin pintaan nousua ja sen vieressä ollutta karkeampaa kohtaa pidettiin vähäisenä tavanomaisena poikkeamana eikä niiden todettu olevan lähelläkään mitään sellaista, minkä pitäisi johtaa lisätoimiin.
- SMA:n todettiin olevan yleensä avoimempaa kuin tarkastelussa ollut kohde.
- todettiin, että yksittäiset poikkeavat kohdat pitäisi jotenkin suhteuttaa kyseisen osuuden kokonaiskarkeuteen.

Maastokohteista todettiin yleisesti, että niiden sisältämät lajittumakohdat eivät olleet kovin vakavia ja siksi olisikin tarvittu sellaisia kohteita, joissa vakavuutta olisi ollut enemmän. Tällaisia ei kuitenkaan vuoden 2017 päällystyskohteista Etelä-Suomesta löydetty.



Kuva 18. Maastokäynnin kohteiden MPD-tuloksia 10 cm:n pistevälillä. MPD:n väriasteikko on 0,1-5,2 mm. Noin 0,6 mm kohdalla värit muuttuvat vihreästä keltaisiksi. Mustat laatikot kuvaavat näytteiden porauspaikkoja.

3.3.2 Kohteet, näytteet ja mittaukset

Asfalttinäytteiden porauskohtia (Kuva 17) vastaavien alueiden 10 cm MPD-arvoista laskettiin keskiarvo, keskihajonta ja minimi- ja maksimiarvot (taulukko 4). Pienimmät MPD:n keskiarvot olivat lajittuneissa, bitumin pintaan nousua vastaavissa paikoissa, kun taas karkeammissa kohdissa MPD-arvot olivat suurempia.

Taulukko 4. Asfalttinäytteiden porauskohtia vastaavien alueiden MPD-tuloksista laskettuja tilastollisia tunnuslukuja.

Tie	Osa	Etäisyys	Suunta	Päällyste-tyyppi	Näytteet	Lajittuma-tyyppi	MPD (mm)			
							ka	*haj*	*min*	*maks*
	34	5330	1	SMA 16	1-3	pintaannousu	0,31	0,11	0,17	0,83
	34	5330	1	SMA 16	4-6	karkea	1,47	0,43	0,93	2,6
	34	5330	1	SMA 16	7-9	normaali	1,59	0,39	1,04	2,68
	34	5330	1	SMA 16	10-12	karkea	1,69	0,54	0,81	2,89
	16	1100	1	AB 16	10-12	pintaannousu	0,36	0,08	0,19	0,58
	16	1100	2	AB 16	13-15	karkea	0,98	0,33	0,38	1,93

3.3.3 Tulokset

Maastokäynnin kohteista otetuista poranäytteistä määritettiin laboratoriossa massan ja päällysteen tiheydet, joiden perusteella laskettiin edelleen tyhjätilat kolmella eri menetelmällä (taulukko 5). Lisäksi näytteistä määritettiin sideainepitoisuus ja kiviaineksen läpäisyprosentit, joita varten samalta alueelta otetut kolme näytettä yhdistettiin (taulukko 16). Läpäisyprosentit on myös esitetty rakeisuuskäyrinä (kuva 19). Kummassakin kohteessa bitumin pintaan noususta otetuissa näytteissä oli hyvin pienet tyhjätilat, sideainepitoisuudet olivat kor-

keampia ja myös hienoimpien lajitteiden läpäisyprosentit suurempia verrattuna muihin näytteisiin. SMA-päällysteen rakeisuus oli sileissä näytteissä (1-3) ohjealueen ulkopuolella.

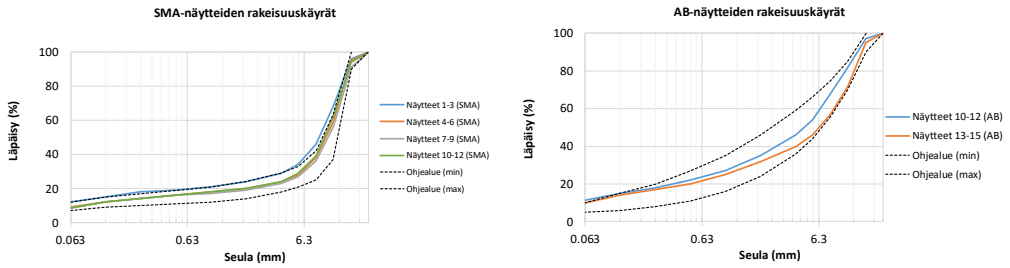
AB-kohteessa karkean kohdan tyhjätilat olivat verrattain suuria. SMA-kohteella karkeiksi ja normaaliksi luokiteltujen näytteiden välillä tyhjätiloissa, rakeisuuksissa tai sideainepitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selkeitä eroja.

Taulukko 5. Asfalttinäytteistä määritetyt kappaletiheydet ja massan tiheydet sekä niistä lasketut tyhjätilat kolmella eri menetelmällä. Näytteestä 3 oli lohjennut nurkkia, minkä takia ulkomittatulos on epätarkka ja on jätetty pois keskiarvon laskennasta.

			Päällysteen tiheys (kg/m³)				Tyhjätila (%)		
Näyte-numero	**Pääl-lyste-tyyppi**	**Lajittuma-tyyppi**	**ilma-vesi**	**pinta-kuiva**	**ulko-mitta**	**Massan tiheys (kg/m³)**	**ilma-vesi**	**pinta-kuiva**	**ulko-mitta**
1	SMA 16	pintaannousu	2310	2309	2245	2310	0,0	0,1	2,8
2	SMA 16	pintaannousu	2334	2334	2283	2334	0,0	0,0	2,2
3	SMA 16	pintaannousu	2346	2344	2019	2348	0,1	0,2	14,0
Ka (1-3)			**2330**	**2329**	**2182**	**2331**	**0,0**	**0,1**	**2,5**
4	SMA 16	karkea	2321	2311	2223	2419	4,0	4,5	8,1
5	SMA 16	karkea	2311	2300	2098	2417	4,4	4,8	13,2
6	SMA 16	karkea	2335	2308	2141	2422	3,6	4,7	11,6
Ka (4-6)			**2322**	**2306**	**2154**	**2419**	**4,0**	**4,7**	**11,0**
7	SMA 16	normaali	2336	2308	2133	2437	4,2	5,3	12,5
8	SMA 16	normaali	2347	2319	2156	2440	3,8	5,0	11,6
9	SMA 16	normaali	2344	2311	2033	2439	3,9	5,3	16,6
Ka (7-9)			**2342**	**2313**	**2107**	**2439**	**4,0**	**5,2**	**13,6**
10	SMA 16	karkea	2364	2358	2258	2423	2,4	2,7	6,8
11	SMA 16	karkea	2329	2315	2197	2426	4,0	4,6	9,5
12	SMA 16	karkea	2352	2314	2137	2430	3,2	4,8	12,1
Ka (10-12)			**2348**	**2329**	**2197**	**2426**	**3,2**	**4,0**	**9,4**
10	AB 16	pintaannousu	2566	2565	2540	2567	0,0	0,1	1,1
11	AB 16	pintaannousu	2562	2560	2550	2562	0,0	0,1	0,5
12	AB 16	pintaannousu	2552	2552	2536	2553	0,1	0,1	0,7
Ka (10-12)			**2560**	**2559**	**2542**	**2561**	**0,0**	**0,1**	**0,7**
13	AB 16	karkea	2454	2373	2122	2600	5,6	8,7	18,4
14	AB 16	karkea	2464	2384	2202	2600	5,2	8,3	15,3
15	AB 16	karkea	2476	2467	2428	2583	4,2	4,5	6,0
Ka (13-15)			**2465**	**2408**	**2251**	**2594**	**5,0**	**7,2**	**13,2**

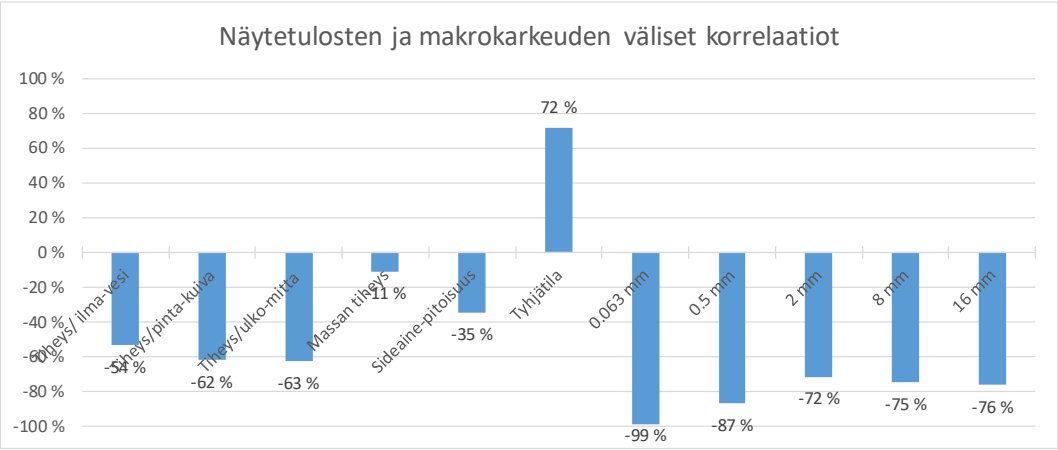
Taulukko 6. Asfalttinäytteistä määritetyt sideainepitoisuudet ja kiviaineksen läpäisyprosentit. Lähekkäisten kolmen näytteen tulokset on yhdistetty.

Näytteet	Päällystetyyppi	Lajittumatyyppi	Sideaine-pitoisuus (%)	Läpäisy (%)				
				0.063 mm	0.5 mm	2 mm	8 mm	16 mm
1-3	SMA 16	pintaannousu	8,9	12,1	19	24	46	96
4-6	SMA 16	karkea	6,3	9,1	16	20	38	95
7-9	SMA 16	normaali	5,7	8,4	16	19	36	91
10-12	SMA 16	karkea	6,0	8,4	16	20	39	94
10-12	AB 16	pintaannousu	5,2	11,5	22	35	68	97
13-15	AB 16	karkea	4,8	10,0	20	32	57	95



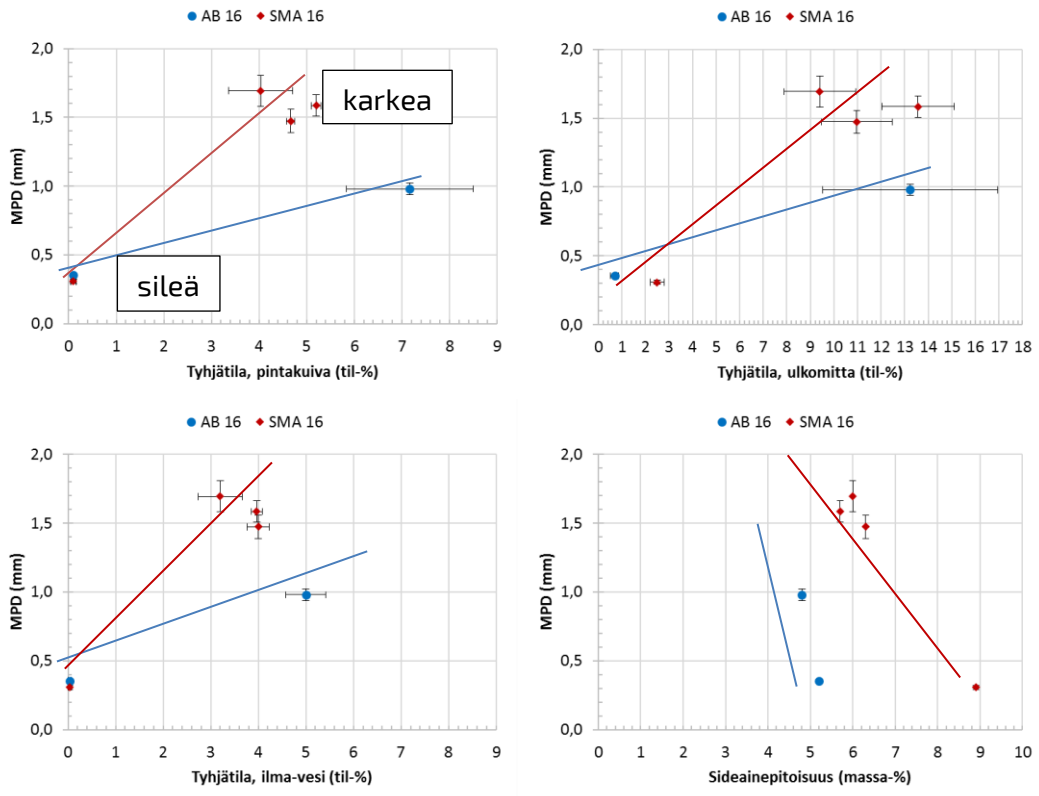
Kuva 19. Näytteistä määritetyt rakeisuuskäyrät. SMA vasemmalla ja AB oikealla.

Näytteiden tuloksista parhaiten makrokarkeuden kanssa korreloivat kiviaineksen hienoaineksen määrät ja päällysteen tyhjätila (Kuva 20).



Kuva 20. Näytetulosten ja paikallisen makrokarkeuden väliset korrelaatiot (SMA+AB).

Tutkittujen näytteiden tyhjätilat ja sideainepitoisuudet laskettiin kolmen poranäytteen keskiarvona ja keskiarvon keskivirheenä. Virherajat määritettiin niiden avulla. Samoin myös alueen MPD-tuloksista laskettiin keskiarvo ja sille virherajat keskiarvon keskivirheen avulla (kuva 21).



Kuva 21. Poranäytteiden tyhjätilat (pintakuiva, ilma-vesi, ulkomitat) ja sideainepitoisuus suhteessa MPD-tuloksiin. Yksi piste kuvaa kolmen poranäytteen tulosten keskiarvoa (sideainepitoisuuden osalta määritetty kolmen näytteen yhteistuloksena). Esitetyt virherajat on laskettu keskiarvon keskivirheenä.

Yleisenä trendinä kuvaajista havaittiin, että tyhjätilan ollessa pieni myös MPD-arvot olivat pieniä ja vastaavasti tyhjätilan kasvaessa myös MPD:t kasvoivat. Tulosten perusteella näytti kuitenkin siltä, että AB- ja SMA-päällysteillä MPD:n arvoalueet ovat erilaiset varsinkin, kun siirrytään kohti avoimempaa päällysteen pintaa ja suurempia MPD-arvoja. Tämä onkin ymmärrettävää, kun huomioidaan eri massatyypeissä käytettyjen kiviaineisten rakeisuusjakaumien erot. Koska sideainepitoisuuden kasvaessa tyhjätila yleensä pienenee, myös MPD saa pienempiä arvoja sideainepitoisuuden noustessa (kuva 21).

4 AB-kohteet 2018

4.1 Kohteet ja niiden valinta

Aiemmista tarkasteluista todettiin, että niistä puuttui AB-päällysteiden kohteita ja niiden lajittumien vakavuus oli liian pieni. Nyt kohteita haettiin laajemmalta alueelta kuin Etelä-Suomesta kiinnittäen huomiota lajittumien vakavuuteen. Tutkimukseen soveltuvia AB-päällysteisiä kohteita löydettiin kolme vuonna 2018.

1. Kantatie 58, tieosa 30 (AB 16/100 MP/LTA)
2. Maantie 325, tieosa 6, bussipysäkkien kohdat 5365 ja 5890 (AB 16/100 MP)
3. Maantie 140, tieosat 15 ja 16 (AB 16/100 MPKJ)

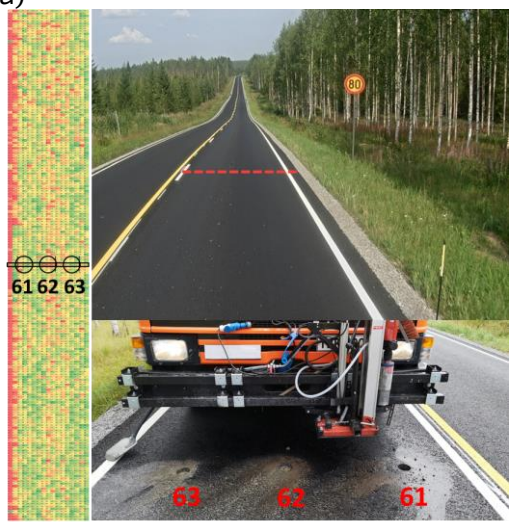
4.2 Kantatie 58

4.2.1 Kohteet, näytteet ja mittaukset

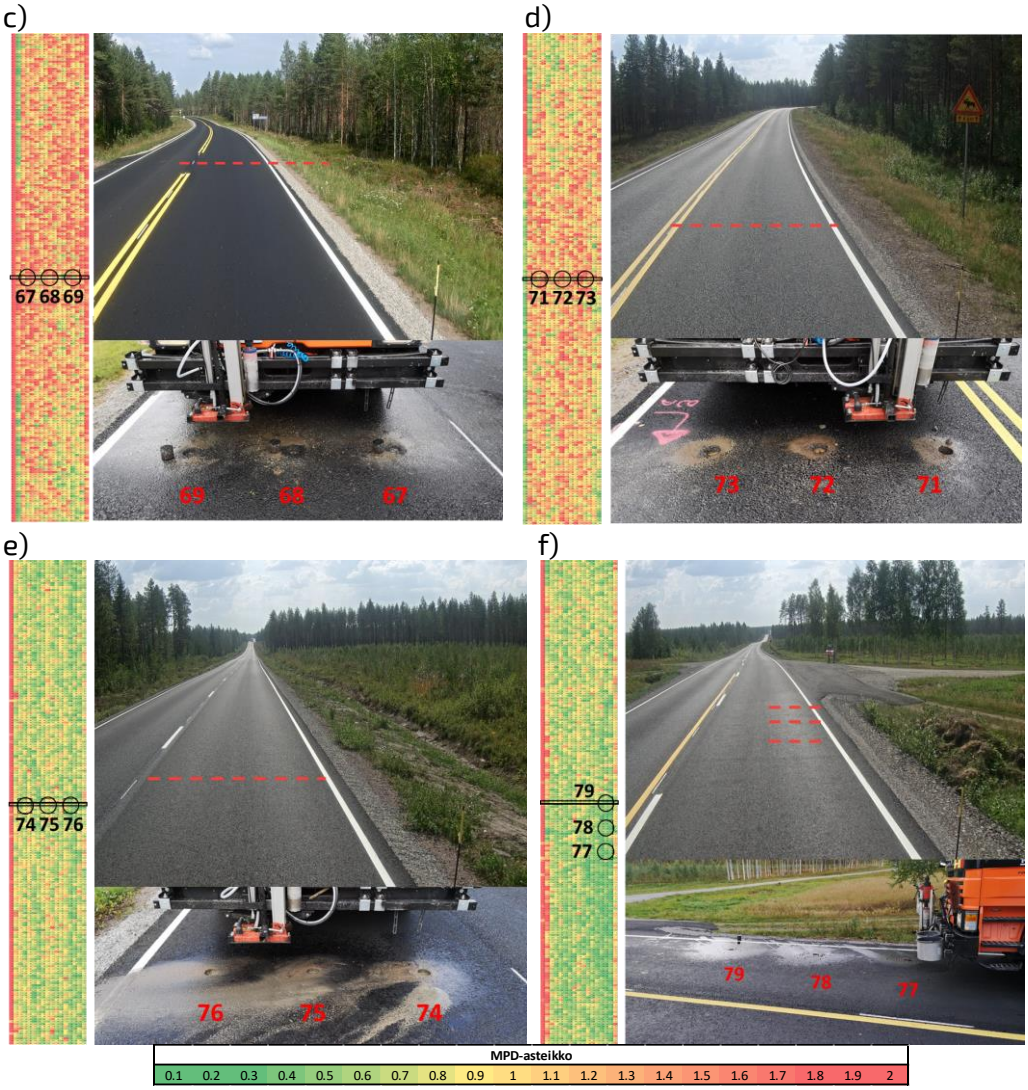
Kantatieltä 58 valittiin karkeustulosten perusteella kuusi kohtaa, joista kustakin otettiin kolme poranäytettä. Kohtien valinnassa tavoiteltiin karkeiden ja sileiden kohtien ääripäitä sekä normaalia päällystettä. Lisäksi kohdat pyrittiin valitsemaan siten, että ne olivat tavalla tai toisella paikannettavissa muunkin (esimerkiksi maamerkin) kuin pelkän paalulukeman perusteella.

Seuraavissa kuvissa on esitetty näytteiden paikat ja numerot sekä vastaavat karkeustulokset.

a)



b)



Kuva 22. a) Näytteet 61-63 kantatiellä 58 tieosalla 30 suunnassa 1 kohdassa 2397, b) näytteet 64-66 kantatiellä 58 tieosalla 30 suunnassa 1 kohdassa 4075, c) näytteet 67-69 kantatiellä 58 tieosalla 30 suunnassa 1 kohdassa 4569, d) näytteet 71-73 kantatiellä 58 tieosalla 30 suunnassa 2 kohdassa 4716 e) näytteet 74-76 kantatiellä 58 tieosalla 30 suunnassa 2 kohdassa 1588 ja f) näytteet 77-79 kantatiellä 58 tieosalla 30 suunnassa 2 kohdissa 1875, 1876 ja 1877. MPD-kartan pituus on noin 20 m ja leveys 3,2 m.

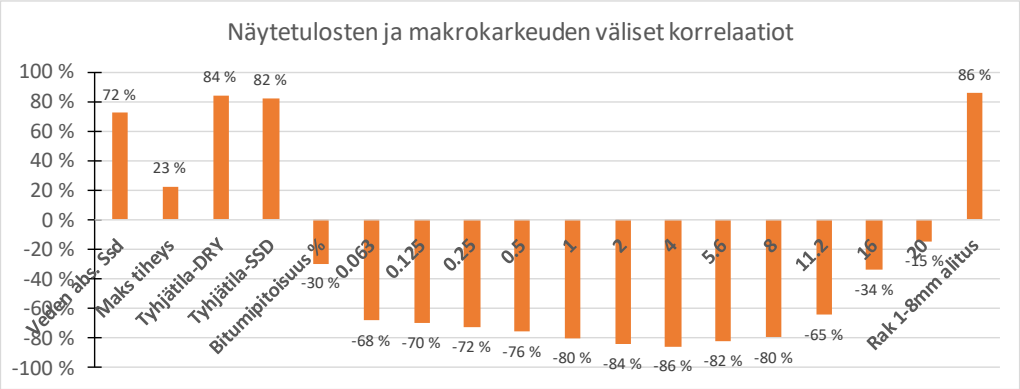
4.2.2 Tulokset

Kantatien 58 poranäytteiden laboratoriotutkimukset tehtiin Aalto-yliopistossa. Poranäytteistä tutkittiin tiheydet, tyhjätilat, sideainepitoisuudet ja rakeisuudet. Lisäksi poranäytteiden ottopaikoista määritettiin paikallinen makrokarkeus. Tulokset ilman rakeisuuksia on esitetty seuraavassa taulukossa (taulukko 7). Näytekohtien karkeus on arvioitu silmämääräisesti kolmeen luokkaan: sileä, normaali ja karkea. Tuloksia tarkasteltiin makrokarkeuksia vasten.

Taulukko 7. Kantatien 58 poranäytteiden laboratoriotutkimusten tulokset ja makrokarkeudet.

							Päällysteen tiheys			Tyhjätila (%)			Makrokarkeus MPD			
Näyte-numero	Päällyste-tyyppi	Pinta	Osa	Etäisyys	Suunta	Kaista	ilma-vesi	pinta-kuiva	Massan tiheys	ilma-vesi	pinta-kuiva	Side-aine-pitoi-suus	ka	haj	min	maks
61	AB 16	normaali	30	2397	oik	vasen	2.413	2.418	2.46	1.9	1.7	5.62	0.83	0.29	0.55	1.73
62	AB 16	normaali	30	2397	oik	keski	2.389	2.391	2.464	3.0	3.0	5.46	1.04	0.30	0.56	1.58
63	AB 16	normaali	30	2397	oik	oikea	2.408	2.412	2.46	2.1	2.0	5.5	0.78	0.21	0.47	1.33
Ka							**2.403**	**2.407**	**2.461**	**2.4**	**2.2**	**5.5**				
haj										0.6	0.7	0.1				
64	AB 16	sileä	30	4075	oik	vasen	2.434	2.437	2.457	0.9	0.8	5.49	0.48	0.08	0.32	0.62
65	AB 16	sileä	30	4075	oik	keski	2.44	2.441	2.458	0.7	0.7	5.28	0.63	0.14	0.44	0.9
66	AB 16	sileä	30	4075	oik	oikea	2.43	2.432	2.452	0.9	0.8	5.69	0.54	0.12	0.32	0.79
Ka							**2.435**	**2.437**	**2.456**	**0.9**	**0.8**	**5.5**				
haj										0.1	0.1	0.2				
67	AB 16	karkea	30	4569	oik	vasen	2.377	2.381	2.458	3.3	3.1	5.64	1.53	0.44	0.82	2.41
68	AB 16	karkea	30	4569	oik	keski	2.328	2.307	2.465	5.6	6.4	5.09	1.53	0.38	1.00	2.31
69	AB 16	karkea	30	4569	oik	oikea	2.418	2.421	2.457	1.6	1.5	5.58	1.29	0.38	0.62	1.84
Ka							**2.374**	**2.370**	**2.460**	**3.5**	**3.7**	**5.4**				
haj										2.0	2.5	0.3				
71	AB 16	karkea	30	4716	vas	vasen	2.343	2.339	2.457	4.6	4.8	5.3	1.32	0.38	0.62	2.32
72	AB 16	karkea	30	4716	vas	keski	2.366	2.363	2.447	3.3	3.4	5.59	1.30	0.27	0.71	1.93
73	AB 16	karkea	30	4716	vas	oikea	2.365	2.372	2.456	3.7	3.4	5.4	1.35	0.31	0.83	1.88
Ka							**2.358**	**2.358**	**2.453**	**3.9**	**3.9**	**5.4**				
haj										0.7	0.8	0.1				
74	AB 16	normaali	30	1588	vas	vasen	2.407	2.412	2.447	1.6	1.4	5.64	0.75	0.19	0.42	1.21
75	AB 16	normaali	30	1588	vas	keski	2.383	2.391	2.449	2.7	2.4	5.63	0.77	0.20	0.47	1.12
76	AB 16	normaali	30	1588	vas	oikea	2.399	2.404	2.46	2.5	2.3	5.43	0.61	0.14	0.43	0.98
Ka							**2.396**	**2.402**	**2.452**	**2.3**	**2.0**	**5.6**				
haj										0.6	0.5	0.1				
77	AB 16	sileä	30	1877	vas	oikea ura 1	2.436	2.437	2.453	0.7	0.7	5.58	0.52	0.12	0.27	0.74
78	AB 16	sileä	30	1876	vas	oikea ura 2	2.429	2.43	2.456	1.1	1.1	5.54	0.46	0.10	0.25	0.65
79	AB 16	sileä	30	1875	vas	oikea ura 3	2.44	2.441	2.455	0.6	0.6	5.47	0.43	0.12	0.25	0.69
Ka							**2.435**	**2.436**	**2.455**	**0.8**	**0.8**	**5.5**				
haj										0.3	0.3	0.1				

Paikallinen makrokarkeus korreloi parhaiten massan tiheyden (82-84 %), tyhjätilan (82-84 %) ja rakeisuuden keskialueen seulakokojen läpäisyprosenttien (80-86 %) kanssa. Suuri makrokarkeus viittasi suureen tyhjätilaan, pieneen tiheyteen tai pieniin seulakokojen läpäisyprosentteihin. Tulos oli samansuuntainen kuin mitä vuonna 2016 saatiin SMA-päällysteille.

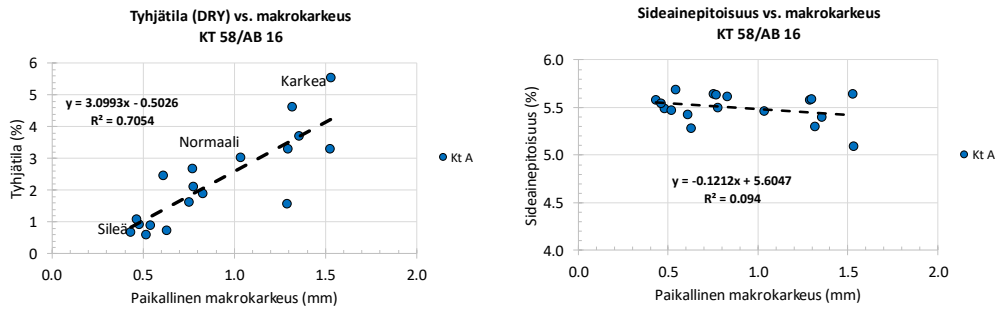


Kuva 23. Näytteiden laboratoriotulosten ja paikallisen makrokarkeuden väliset korrelaatiot.

4.2.2.1 Tyhjätila

Kantatien 58 AB-päällysteelle saatiin tyhjätilan ja paikallisen makrokarkeuden välille melko hyvä yhteys. Mitä suurempi makrokarkeus sitä suurempi tyhjätila. Makrokarkeus selitti 70 % tyhjätilan vaihtelusta (kuva 24). Karkeaksi luokitelluilla näytteillä hajonta kasvoi suureksi. Sideainepitoisuus oli ohjealueella (5-6 %) eikä makrokarkeus selittänyt sen vaihtelua erityisen hyvin.

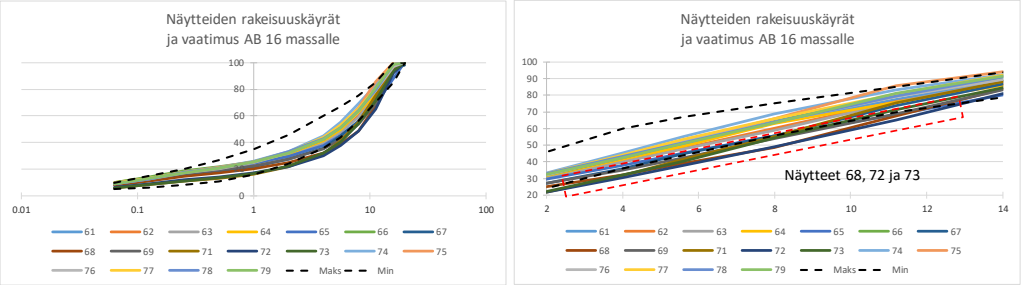
Makrokarkeus luokitteli näytteet eri karkeusluokkiin paremmin kuin tyhjätila tai sideainepitoisuus. On kuitenkin muistettava, että tulokset on saatu pistemäisistä näytteistä.



Kuva 24. Tyhjätila ja sideainepitoisuus vs. makrokarkeus kantatiellä 58 tieosalla 30.

4.2.2.2 Rakeisuus

Näytteiden rakeisuuskäyrät olivat pääosin ohjealueella. Eniten poikkeamaa ohjealueesta havaittiin seulakokojen 2-8 mm alueilla. Erityisesti näytteiden 68, 72 ja 73 rakeisuus poikkesi ohjealueesta (kuva 25). Tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että rakeisuus on määritetty poranäytteistä.

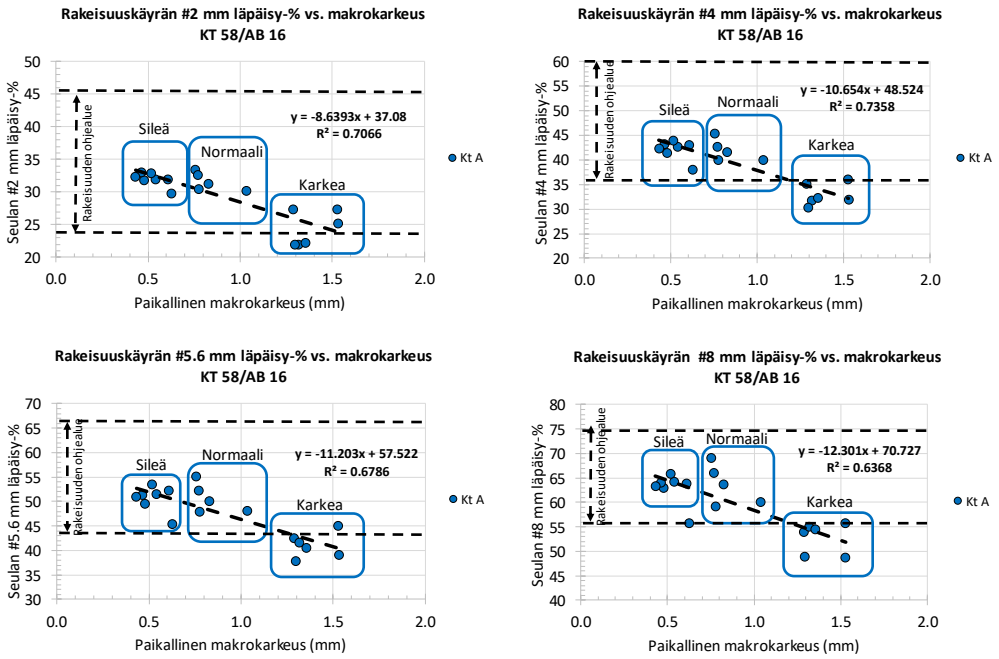


Kuva 25. Kantatieltä 58 otettujen näytteiden rakeisuuskäyrät (oikealla suurennus).

Rakeisuuksien ja karkeuden välistä yhteyttä tarkasteltiin yksittäisten seulakokojen läpäisyprosenttien avulla. Yllä havaittiin korrelaatiotarkastelusta, että rakeisuuksien keskialueen seulakokojen läpäisyprosentit korreloivat makrokarkeuden kanssa parhaiten. Makrokarkeus selitti seulakokojen 2-8 mm vaihtelua hyvin (64-74 %) selityskyvyn ollessa paras seulakoon 4 mm läpäisyprosentin kanssa (kuva 26).

Seulakokojen 2-8 mm läpäisyprosentit vaikuttivat päällysteen pintakarkeuteen. Mitä alhaisempi läpäisyprosentti sitä suurempi makrokarkeus. Makrokarkeuden kannalta tärkeimpiä seulakokoja olivat 2 mm ja 4 mm. Yhtä näytettä lukuun ottamatta, karkeiksi luokiteltujen näytteiden rakeisuuskäyrä oli seulakokojen 4, 5,6 ja 8 mm kohdalla ohjealueen ulkopuolella eli kyseessä oli rakeisuuslajittuma. Sileiksi tai normaaliksi luokiteltujen näytteiden rakeisuus oli vastaavien seulakokojen kohdalla ohjealueella.

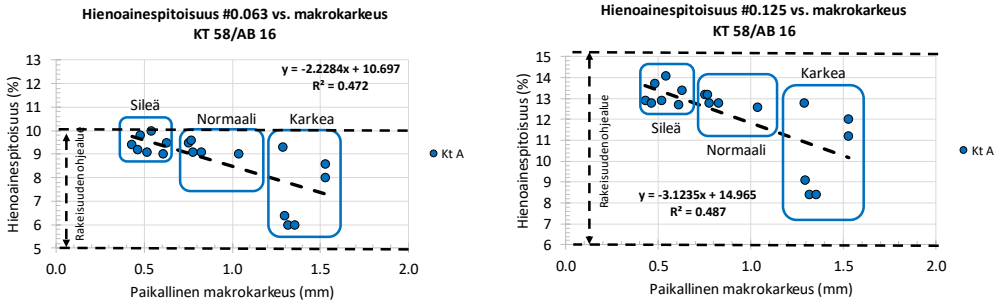
Paikallinen makrokarkeus luokitteli näytteet karkeusluokkiin paremmin kuin rakeisuus. Karkeusluokkien raja-arvot olivat 0,7 mm ja 1,2 mm.



Kuva 26. Rakeisuuskäyrien läpäisy-% vs. paikallinen makrokarkeus kantatiellä 58.

Myös hienoainespitoisuuden ja karkeuden välillä oli lievä riippuvuus. Mitä suurempi makrokarkeus sitä pienempi hienoainespitoisuus (kuva 27). Makrokarkeuden vaihtelu selitti 47-49 % hienoainespitoisuuksia seuloilla #0,063 mm ja #0,125 mm. Karkeaksi luokitelluilla näytteillä hajonta kasvoi suureksi. Näytteillä 71-73 oli poikkeuksellisen alhainen hienoainespitoisuus. Ilman poikkeavia näytteitä makrokarkeus selittäisi hienoainespitoisuuksia noin 51-55 %. Kaikkien muiden paitsi yhden näytteen hienoainespitoisuus oli ohjealueella eli erot hienoainespitoisuuksissa eivät selittäneet sitä, miksi osa näytteistä luokiteltiin sileiksi ja osa normaaleiksi, koska niissä hienoainespitoisuus oli samaa luokkaa.

Paikallinen makrokarkeus luokitteli näytteet eri karkeusluokkiin paremmin kuin hienoainespitoisuus.

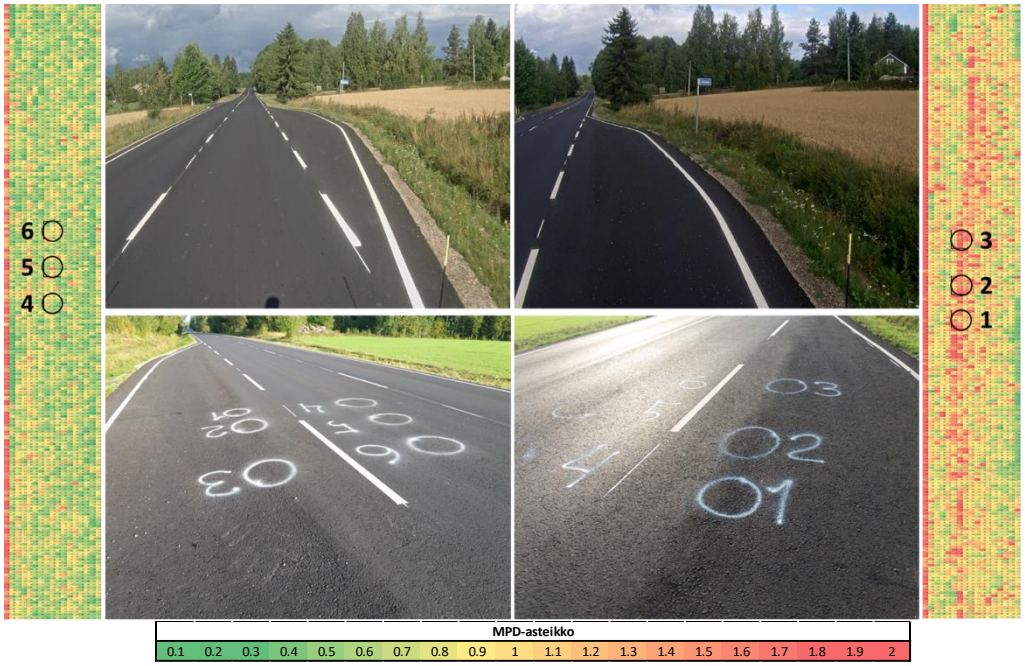


Kuva 27. Hienoainespitoisuus vs. makrokarkeus kantatiellä 58 tieosalla 30.

4.3 Maantie 325

4.3.1 Kohteet, näytteet ja mittaukset

Maantie 325 oli kolminumeroinen tie, jolla oli karkeaa päällystettä linja-autopysäkkien kohdilla. Näytteet valittiin otettaviksi kahden pysäkin kohdalta, sekä kaistalta että pysäkiltä. Näytemäärä oli 6+8 kpl (kuva28 ja 29).



Kuva 28. Näytteiden 1-6 paikat maantiellä 325. MPD-kartan pituus on noin 20 m ja leveys 3,2 m.

Kuva 29. Näytteiden 11-19 paikat maantiellä 325. MPD-kartan pituus on noin 20 m ja leveys 3,2 m.

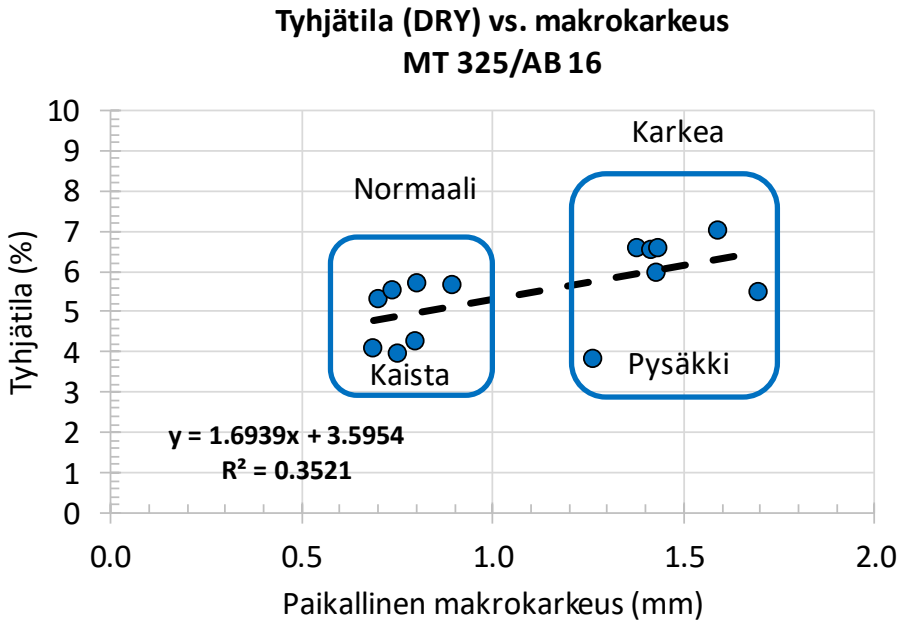
Näytteiden ottokohdat valittiin silmämääräisen tarkastelun perusteella karkeista kohdista pysäkin puolelta ja samoista kohdista kaistalta sen keskeltä. Näytekohtien päällysteen pinnan karkeutta tarkasteltiin karkeusarvojen vaihtelua kuvaavilta värikartoilta (vasen ja oikea reuna kuvissa). Vasen värikartta kuvaa päällysteen karkeutta kaistalla ja oikea värikartta päällysteen karkeutta pysäkin puolella. Karkeat paikat näkyvät muita punertavampina kohtina. Pysäkillä on havaittavissa punainen kaareva juova (11-14), mikä johtuu siitä, että karkeus on mitattu PTM-autolla koukkaamalla pysäkin kautta. PTM-data näkyy ikään kuin mitattu alue olisi suora, mutta todellisuudessa kaista on kaareva ja punainen juova on lähes suora linja. Karkein kohta osui sauman kohdalle.

4.3.2 Tulokset

4.3.2.1 Tyhjätila

Maantien 325 näytteistä saatiin päällysteen tyhjätilan ja paikallisen makrokarkeuden välille kuvan mukainen yhteys, missä regressiosuoran selitysaste oli 61 %. Korrelaatiota heikensi se, ettei näytteitä otettu kohteen sileästä/tiiviistä kohdasta. Karkeiden kohtien makrokarkeus oli 1,6 mm tai sen yli. Karkeiden kohtien tyhjätila oli välillä 5-11 %. Kaistalta otettujen, normaaleiksi luokiteltujen poranäytteiden paikallinen makrokarkeus oli välillä 0,7-0,9 mm ja tyhjätila vastaavasti välillä 4-7 %. Kohteella ei havaittu sileitä kohtia (kuva 30).

Paikallisen makrokarkeuden avulla pystyttiin luokittelemaan näytteet karkeusluokkiin (raja-arvolla 1,0 mm), mutta tyhjätilan perusteella ei.

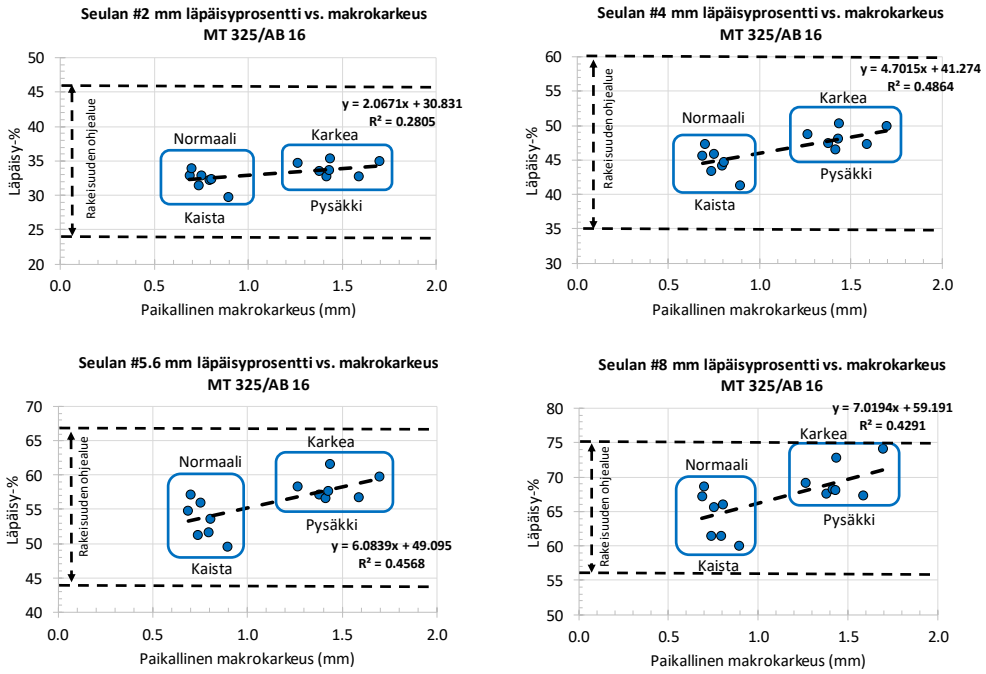


Kuva 30. Tyhjätila vs. paikallinen makrokarkeus maantiellä 325.

4.3.2.2 Rakeisuus

Maantien 325 näytteiden rakeisuustiedoissa oli epäloogista läpäisyprosenttien ja makrokarkeuksien vääränmerkkinen korrelaatio. Korrelaation pitäisi olla negatiivinen, tässä se oli positiivinen, mikä oli epäloogista. Näytteiden rakeisuudet olivat ohjealueilla. Selitykseksi epäloogisille tuloksille arvioitiin, että pysäkki on

todennäköisesti päällystetty erikseen, mahdollisesti eri kuormasta tai eri levittimellä eivätkä kohdat siten ole vertailukelpoisia. Lisäksi näyte oli otettu todennäköisesti sauman kohdalta.



Kuva 31. Rakeisuuskäyrien läpäisy-% vs. paikallinen makrokarkeus maantiellä 325.

4.4 Maantie 140

4.4.1 Kohteet, näytteet ja mittaukset

Maantieltä 140 oli otettu aiemmin (elokuussa 2018 Niko Sekin diplomityötä [11] varten) poranäytteitä näytetunnuksin A-O (Taulukko 8). Tähän tutkimukseen valittiin niistä vain suunnassa 1 otetut näytteet eli ne, jotka on esitetty taulukossa taustaväritettynä. Valittujen näytteiden määrä oli 8 kpl.

Taulukko 8. Kohteelta otetut poranäytteet ja niiden paikat.

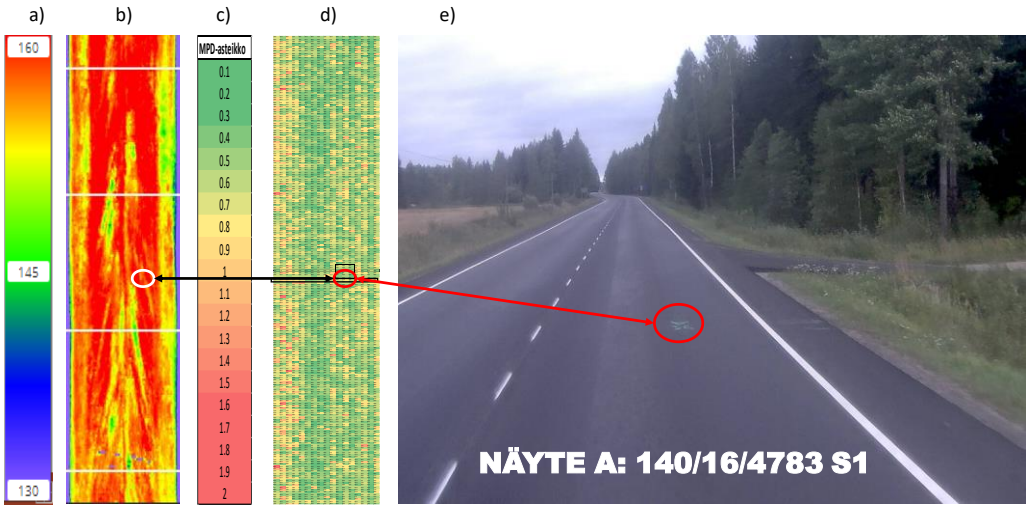
Näytteet A-F, H-O

Näytetunnus	Päällysteen tiheys (kuiva) kg/m3	Massan tiheys (hydrostaatt.) kg/m3	Tyhjätila %	Koordinaatit: N	Koordinaatit: E	Tierekisteriosoite	Näytteenot topvm
A	2433	2456	0.9	6740566.302	416495.741	140/16/4783 S1	3.8.2018
B	2424	2452	1.1	6740543.291	416486.145	140/16/4762 S1	3.8.2018
C	2351	2469	4.8	6740467.558	416452.877	140/16/4689 S1	3.8.2018
D	2393	2443	2.0	6736497.832	414676.218	140/16/307 S2	6.8.2018
E	2390	2448	2.4	6736498.296	414675.499	140/16/307 S2	6.8.2018
F	2405	2463	2.4	6736497.499	414676.774	140/16/307 S2	6.8.2018
H	2428	2470	1.7	6734745.1596	414271.7569	140/15/4559 S2	
I	2441	2471	1.2	6734761.4428	414271.4041	140/15/4587 S2	
J	2370	2398	1.2	6735316.7061	414396.1182	140/15/5143 S2	
K	2415	2503	3.5	6736179.1856	414538.9457	140/15/6028 S1	
L	2357	2404	1.9	6736152.8081	414534.6955	140/15/6004 S1	
M	2423	2497	3.0	6733027.6626	413500.5918	140/15/2643 S1	
N	2374	2492	4.7	6732984.5076	413450.0372	140/15/2582 S1	
O	2442	2488	1.8	6732911.6709	413313.4454	140/15/2426 S1	

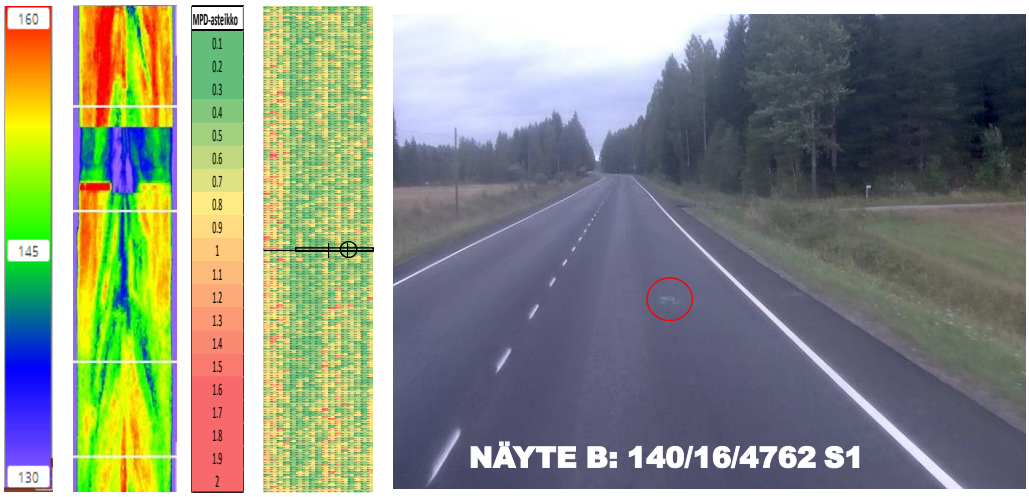
Kunkin näytteen ottopaikka on esitetty seuraavissa valokuvissa. Samalla on esitetty vastaavista kohdista levitystyön aikainen lämpökamerakuva ja makrokarkeuskuva. Kuvissa toistuvat osat a-e siten, että

a) kuvaa lämpökamerakuvan lämpötilaskaalaa
b) lämpökamerakuva
c) kuvaa makrokarkeuden skaalaa
d) makrokarkeuskuva ja näytteen paikka siinä
e) valokuva näytteenottopaikasta ja paikan kohta

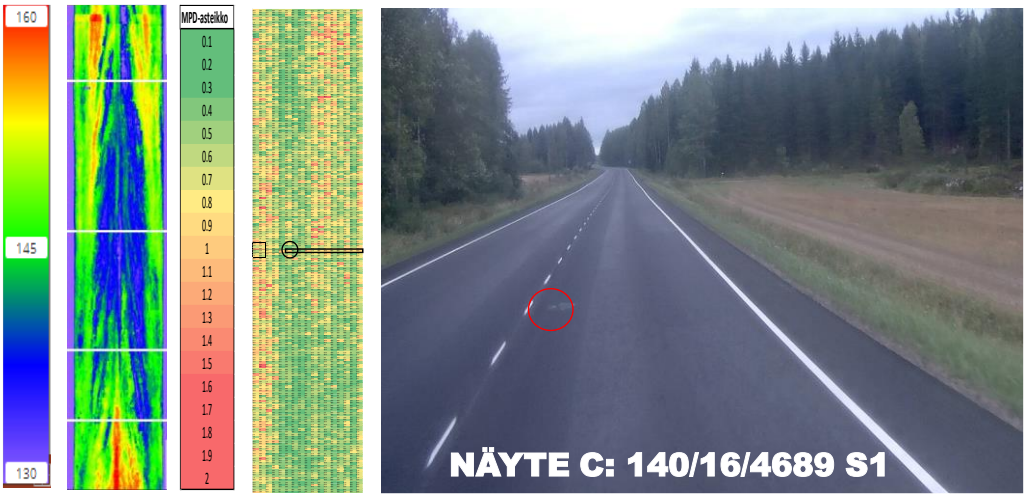
Näyte on siten löydettävissä sekä valokuvasta, makrokarkeuskuvasta että lämpökamerakuvasta. Näytteet ovat samoissa kohdassa kussakin makrokarkeus-lämpökamerakuvaparissa.



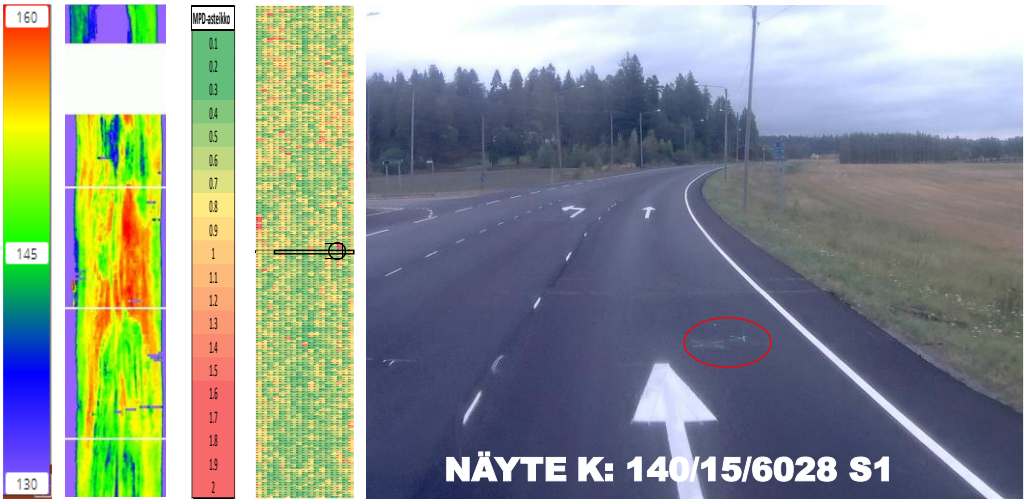
Kuva 32. Näyte A maantiellä 140 tieosalla 16 suunnassa 1 kohdassa 4783.



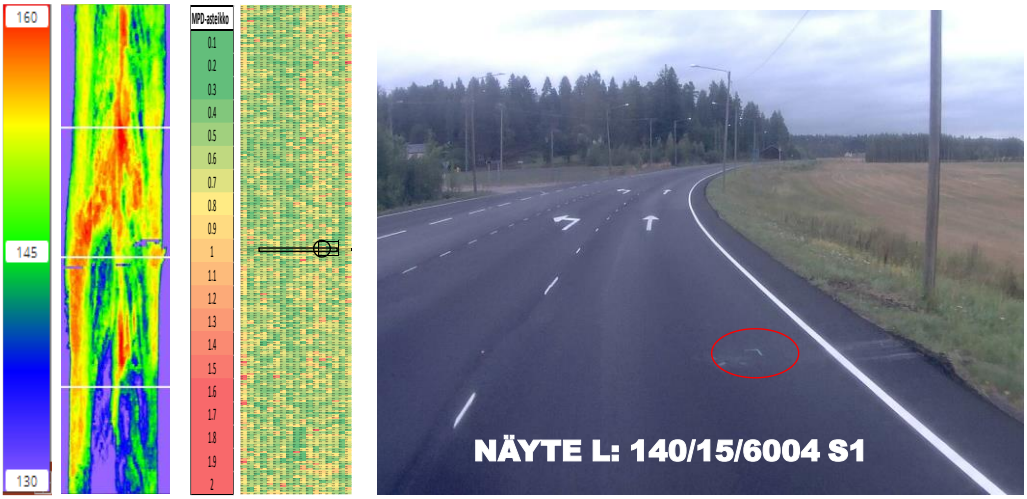
Kuva 33. Näyte B maantiellä 140 tieosalla 16 suunnassa 1 kohdassa 4762.



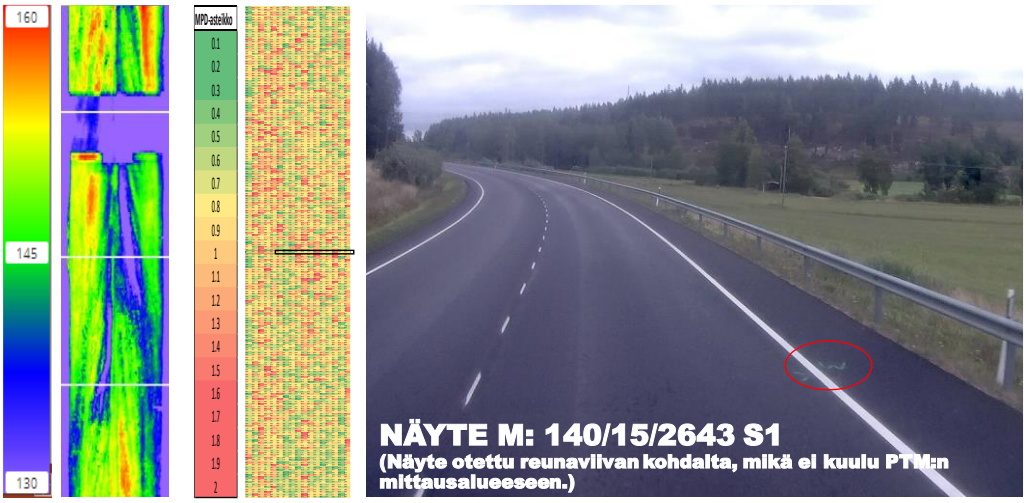
Kuva 34. Näyte C maantiellä 140 tieosalla 16 suunnassa 1 kohdassa 4689.



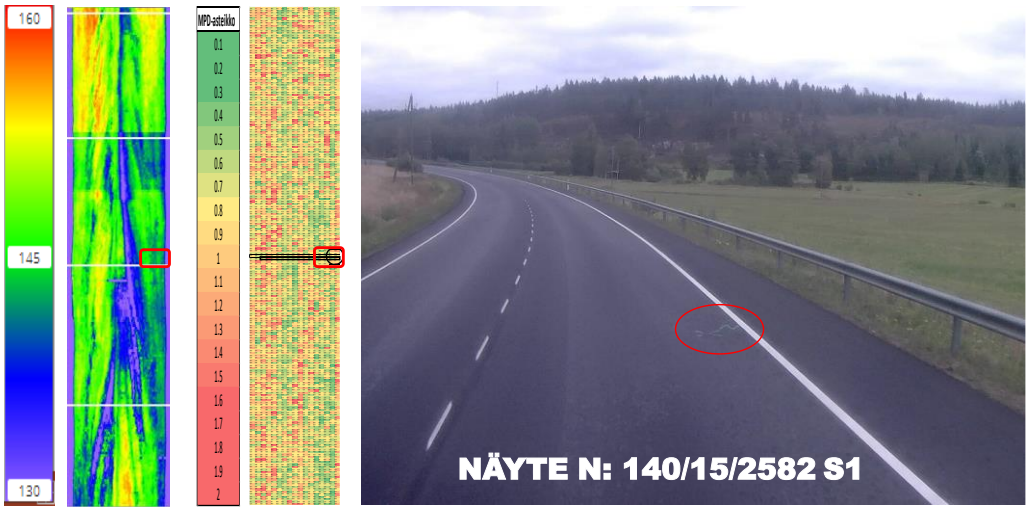
Kuva 35. Näyte K maantiellä 140 tieosalla 15 suunnassa 1 kohdassa 6028.



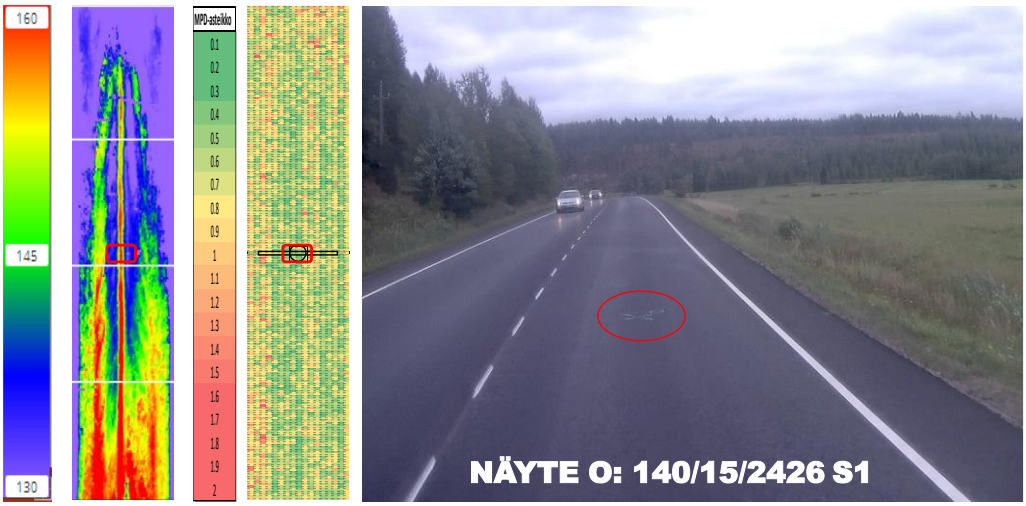
Kuva 36. Näyte L maantiellä 140 tieosalla 15 suunnassa 1 kohdassa 6004.



Kuva 37. Näyte M maantiellä 140 tieosalla 15 suunnassa 1 kohdassa 2643.



Kuva 38. Näyte N maantiellä 140 tieosalla 15 suunnassa 1 kohdassa 2582.

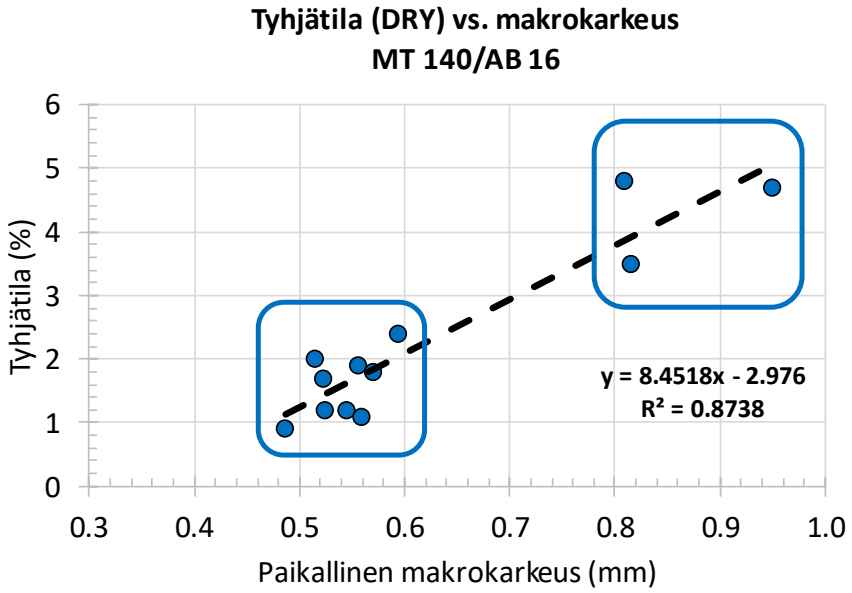


Kuva 39. Näyte O maantiellä 140 tieosalla 15 suunnassa 1 kohdassa 2426.

4.4.2 Tutkimustulokset

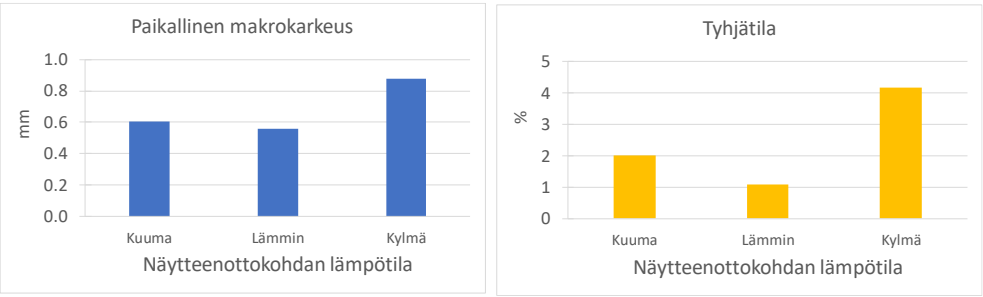
Näytteistä oli tutkittu tiheydet ja tyhjätilat. Näytteiden ottokohdista määritettiin paikallinen makrokarkeus ja sen hajonta. Tyhjätila vaihteli välillä 1-5 %. Paikallinen makrokarkeus vaihteli välillä 0,5-0,95 mm, mistä on todettava, että siitä oikeastaan puuttui karkean pään aluetta (kuva 40).

Laboratoriotulosten ja makrokarkeuksien välille saatiin oheisen kuvan mukaiset yhteydet. Päällysteen tyhjätila ja paikallinen makrokarkeus korreloivat toistensa kanssa erittäin hyvin. Parhaan sovituskäyrän selitysaste oli 87 % ts. paikallinen makrokarkeus selitti 87 % vastaavien tyhjätilojen vaihtelusta (kuva 40).



Kuva 40. Näytteiden A–O (lukuun ottamatta näytteitä E ja M) tyhjätilat vs. paikallinen makrokarkeus.

Tyhjätilaan näytti vaikuttavan myös päällysteen levityslämpötila. Lämpötila luettiin lämpökamerakuvista näytteiden ottokohdista ja se luokiteltiin kolmeen luokkaan kylmä, lämmin ja kuuma. Sen mukaan kylmä päällyste sai suurempia makrokarkeus- ja tyhjätila-arvoja kuin lämmin tai kuuma päällyste. Näytekohtien ryhmittely lämpöluokkiin tapahtui silmämääräisesti eikä se ole kovin tarkka (kuva 41).



Kuva 41. Näytteiden makrokarkeus ja tyhjätila päällysteen lämpötilaryhmissä. Lämpötila ryhmitelty karkeasti lämpökamerakuvista näytteiden ottokohdista.

4.5 Yhteenveto kohteista

Kohteilla kt 58, mt 325 ja mt 140 oli kaikilla päällysteenä AB 16. Tyhjätilan ja paikallisen makrokarkeuden välille saatiin melko hyvä yhteys. Tyhjätilojen ja paikallisten makrokarkeuksien välisten regressiosuorien selitysasteet olivat välillä 35-87 %. Sileäksi bitumin pintaan nousua kuvaaviksi kohteiksi luokiteltiin yleensä sellaiset näytteet, joilla paikallinen makrokarkeus oli alle 0,50 mm. Tyhjätila oli yleensä 2 % tai jopa sen alle (kuva 42).

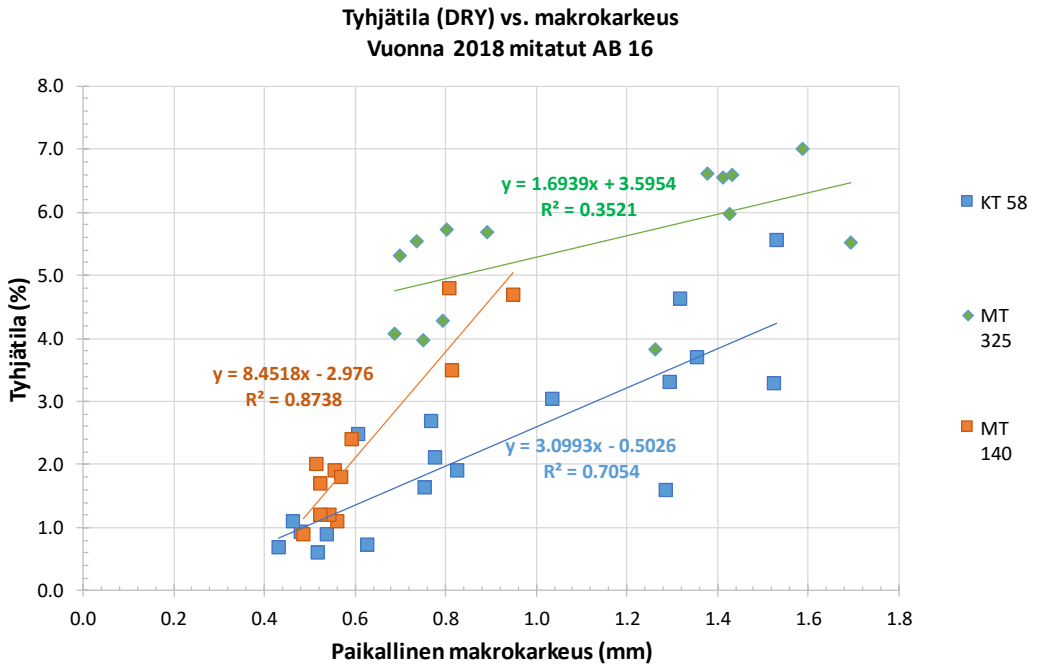
Karkeiksi päällysteiksi luokiteltiin yleensä sellaiset näytteet, joilla paikallinen makrokarkeus oli yli 1,30 mm. Niiden tyhjätila saattoi kuitenkin vaihdella välillä 2-11 %.

Normaalilaatuisiksi luokiteltiin sellaiset näytteet, joiden paikallinen makrokarkeus oli edellä mainittujen rajojen välissä. Tyhjätilat vaihtelivat välillä 2-7 %.

Tyhjätilan ja pinnan makrokarkeuden regressiosuorien kulmakertoimet olivat 3.1, 1.7 ja 8.5 (%/mm). Kulmakertoimien vaihtelu oli niin suuri, ettei paikallisen makrokarkeuden avulla voida arvioida vastaavaa tyhjätilaa päällystetyyppitasolla luotettavasti. Kunkin kohteen sisällä tyhjätilan ennustettavuus toimii paremmin.

Johtopäätöksenä todetaan, että

- päällysteen tyhjätila korreloi paikallisen makrokarkeuden kanssa hyvin samalla kohteella ja samalla päällystetyypillä
- alle 0,5 mm paikallinen makrokarkeus viittaa sileisiin, bitumin pintaan nousuun viittaaviin kohtiin melko luotettavasti kaikissa tilanteissa
- yli 1,3 mm paikallinen makrokarkeus luokittelee pinnan karkeaksi ja voi viitata suureen tyhjätilaan ja rakeisuuslajittumaan



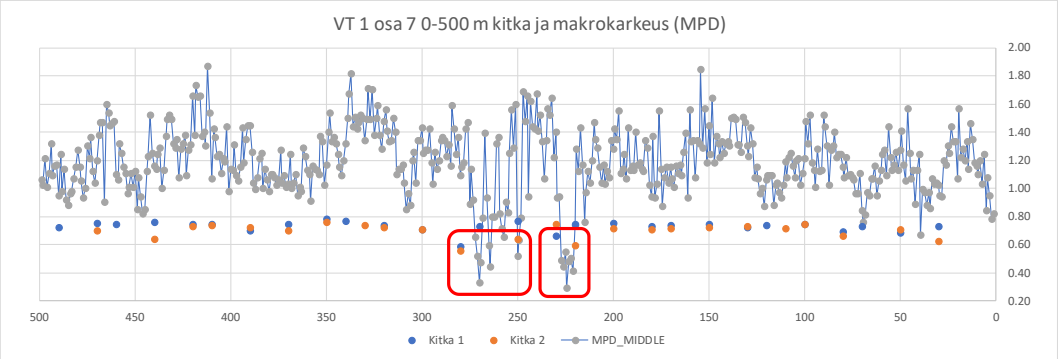
Kuva 42. Tyhjätila vs. makrokarkeus vuoden 2018 AB-kohteilla.

5 Lajittumien vaikutukset

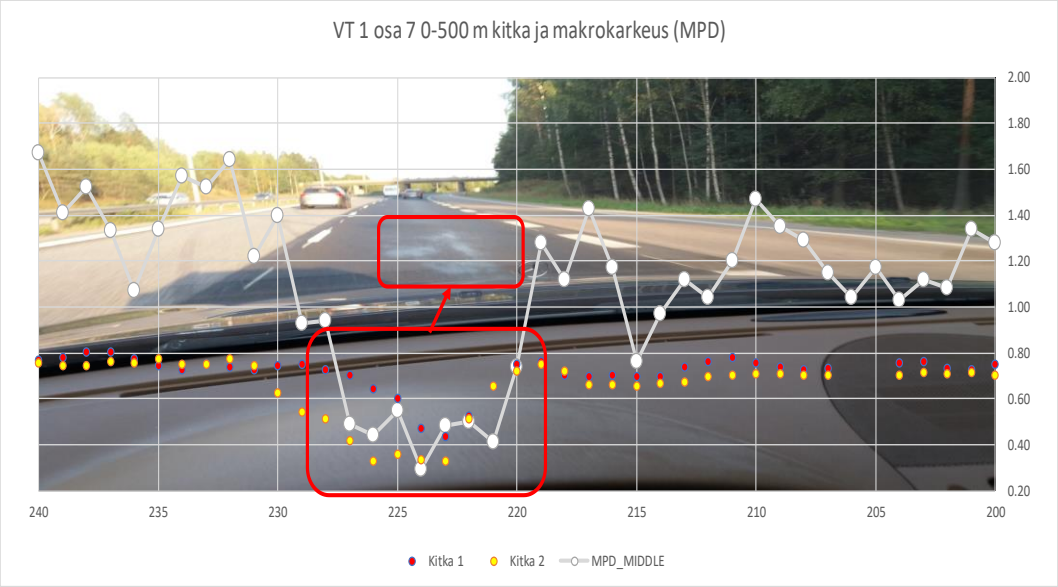
5.1 Kitka

5.1.1 Valtatie 1

Valtatiellä 1 havaittiin tieosan 7 alussa kakkossuunnassa päällysteessä lajittumakohtia. Päällystetyyppinä oli SMA 16 (SMA 16/100 LTA). Silmämääräisesti havaittuna päällysteessä oli kaksi tai kolme sileää kohtaa. Kohteen makrokarkeus mitattiin 9.10.2018. Sen kitka mitattiin Kitka-Sisulla (Roadmasters Oy) marraskuussa 2018. Kitkaa ja makrokarkeutta tarkasteltiin yhdessä. Sileiden kohtien yhden metrin makrokarkeusarvot olivat pienimmillään noin 0,30 mm ja ne osuivat samoihin paikkoihin kuin matalat kitka-arvot. Kitka-arvot keskiarvoistettiin 10 m välein (kuva 43-44).

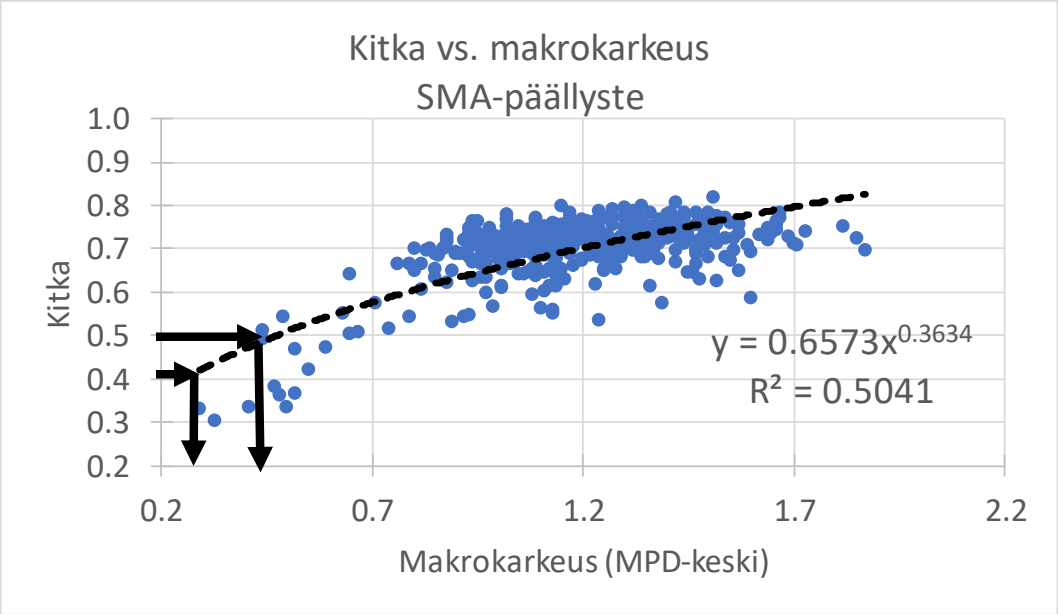


Kuva 43. Makrokarkeus- ja kitkamittausten tuloksia valtatiellä 1 tieosalla 7 paaluvälillä 0-500 m kakkossuunnassa 2018 kymmenen metrin välein.



Kuva 44. Lajittunut kohta valtatiellä 1 tieosalla 7 suunnassa 2 kohdassa 200-250. Kitka ja karkeustieto metrin välein.

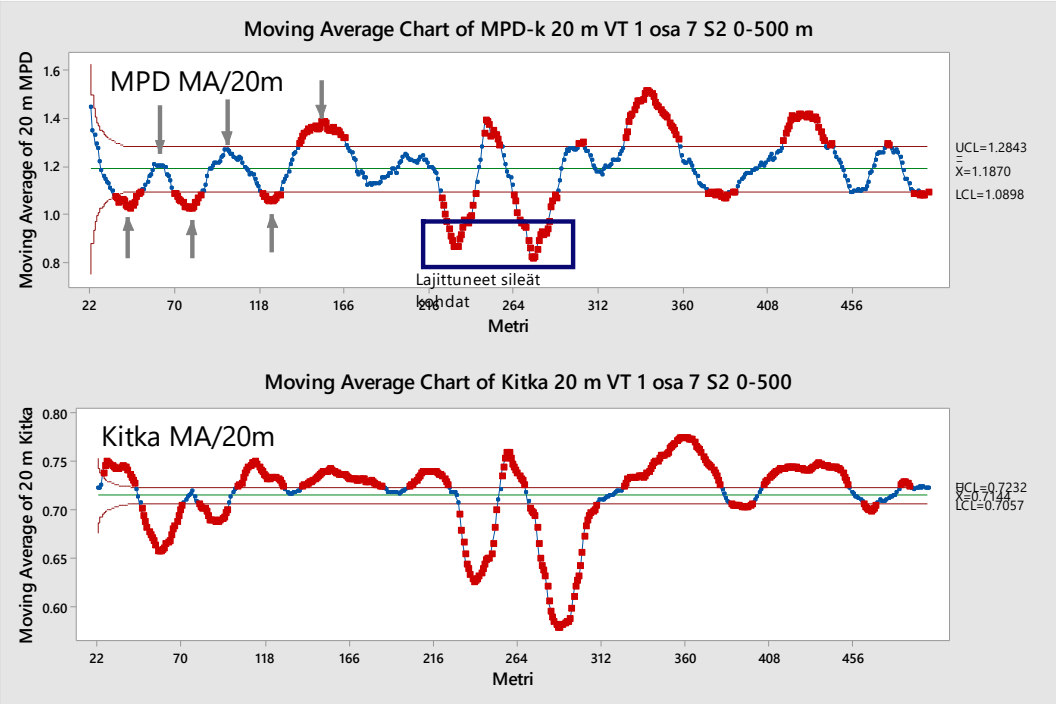
Yhden metrin väleille lasketut makrokarkeudet ja kitka korreloivat SMA-päällysteellä (kuva 45). Paras korrelaatio saavutettiin keskeltä mitatun makrokarkeuden kanssa, koska sileä kohta oli keskellä kaistaa. Kitka mitattiin Asfalttinormien 2017 ja menetelmän PANK-5201 mukaisesti märältä pinnalta silmämääräisesti sileimmästä kohdasta. Paras sovitus kitkan ja makrokarkeuden väliselle yhteydelle oli potenssifunktio ja sovituksen selitysaste oli 50 %. Kitkavaatimusta 0,50 vastaava makrokarkeus oli kaavan mukaan 0,47 mm. Kitkavaatimus saattaa yksittäisten havaintojen perusteella alittua, kun makrokarkeus on välillä 0,4-0,65 mm.



Kuva 45. Kitkan ja makrokarkeuden välinen yhteys valtatiellä 1 tieosalla 7 suunnassa 2. Makrokarkeus mitattu sekä urista että urien välistä. Kitka mitattu mahdollisuuksien mukaan sileimmästä kohdasta.

Profiilikuvissa metrin arvot sahaavat usein ylös-alas ja niistä on vaikea löytää itse ilmiötä. Keskiarvoistus pitemmälle matkalle tasaa vaihtelua, mutta samalla se peittää varsinaisen ilmiön. Karkeuden ja kitkaan liittyvän ilmiön löytämiseksi kokeiltiin liukuvien keskiarvojen profiileita eri keskiarvoistusväleillä ja parhaimmaksi osoittautui 20 m matkalle laskettu liukuva keskiarvo (kuva 46). Kyseessä on sama SMA-päällysteinen kohta, jolta kitka oli mitattu.

Makrokarkeudessa näkyy muutaman kymmenen metrin pituinen sykli, jonka aikana sen matalat ja korkeat arvot toistuvat. Päällysteen tekemisessä ja/tai levittämisessä on prosessi, joka tuottaa syklistä vaihtelua. Sama syklinen vaihtelu näkyy myös kitka-arvoissa, jotka on laskettu liukuvana keskiarvona käyttäen samaa keskiarvoistuspituutta. Kuvissa näkyvät myös tilastollisen prosessinohjauksen ohjausrajat punaisina osina. Tilastollisena prosessina tarkastellen siniset osat ovat tasalaatuisella alueella ja punaiset sen ulkopuolella. Jotta kuvissa esiintyvää ilmiötä pystyttäisiin tutkimaan, tulisi päällysteen tekemistä tarkastella ottamalla näytteitä liukuvan keskiarvon minimi ja maksimikohdissa noin 20 kohdasta.

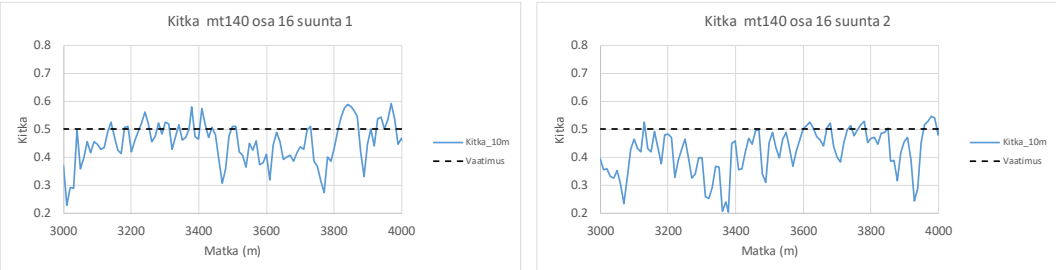


Kuva 46. Kitkan ja makrokarkeuden 20 m liukuva keskiarvo paljastaa syklisen ilmiön, jonka aallonpituus on muutama kymmenen metriä.

5.1.2 Maantie 140

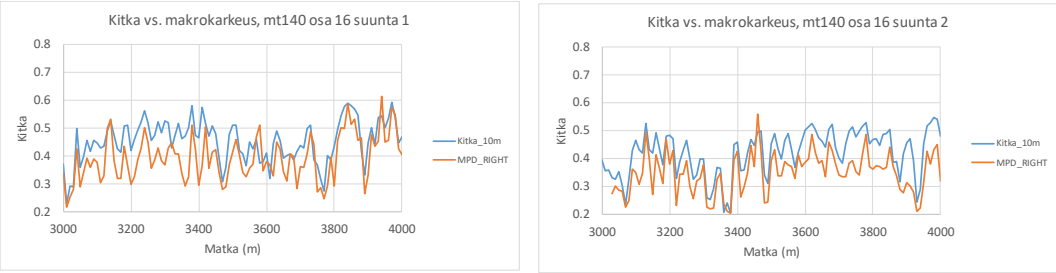
Lajittumien vaikutusta kitkaan tarkasteltiin myös maantiellä 140 tieosalla 16. Kyseinen kohta on päällystetty AB-päällysteellä 2018. Tarkempaan tarkasteluun otettiin paaluväli 3000-5000 m. Sen liikennemäärä on noin 1500 ajon/vrk ja nopeusrajoitus 80 km/h.

Kitka mitattiin Kitka-Sisulla 12.11.2018. Kitka-arvot olivat keskimäärin 0,46 vaihdelleen välillä 0,20-0,62. Kohteen päällyste ei täyttänyt asfalttinormeissa olevaa kitkavaatimusta (0,50) (kuva 47). Kyseisellä kohteella tehtiin jyräteknologiakokeilu, jonka takia tiivistystyö vaihteli kohteen sisällä ja poikkesi normaalista.



Kuva 47. Kitkamittaustulokset 10m välein maantiellä 140 osalla 16.

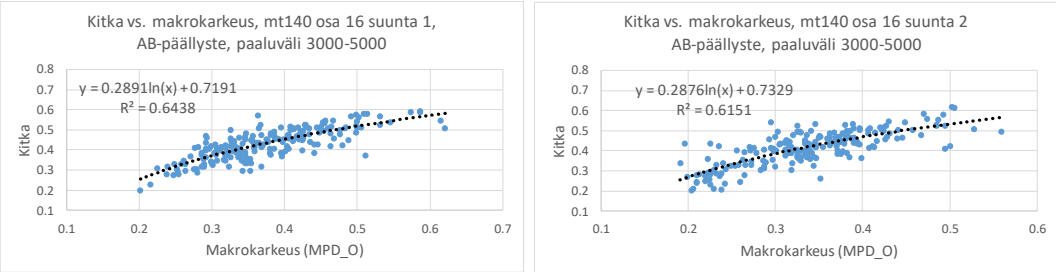
Lajittumat mitattiin PTM-laitteella 23.8.2018 urista ja niiden välistä. Oikean ajouran makrokarkeus oli keskimäärin 0,36 mm ja vaihteli myös välillä 0,20-0,62 mm.



Kuva 48. Makrokarkeus ja kitka maantiellä 140 osalla 16.

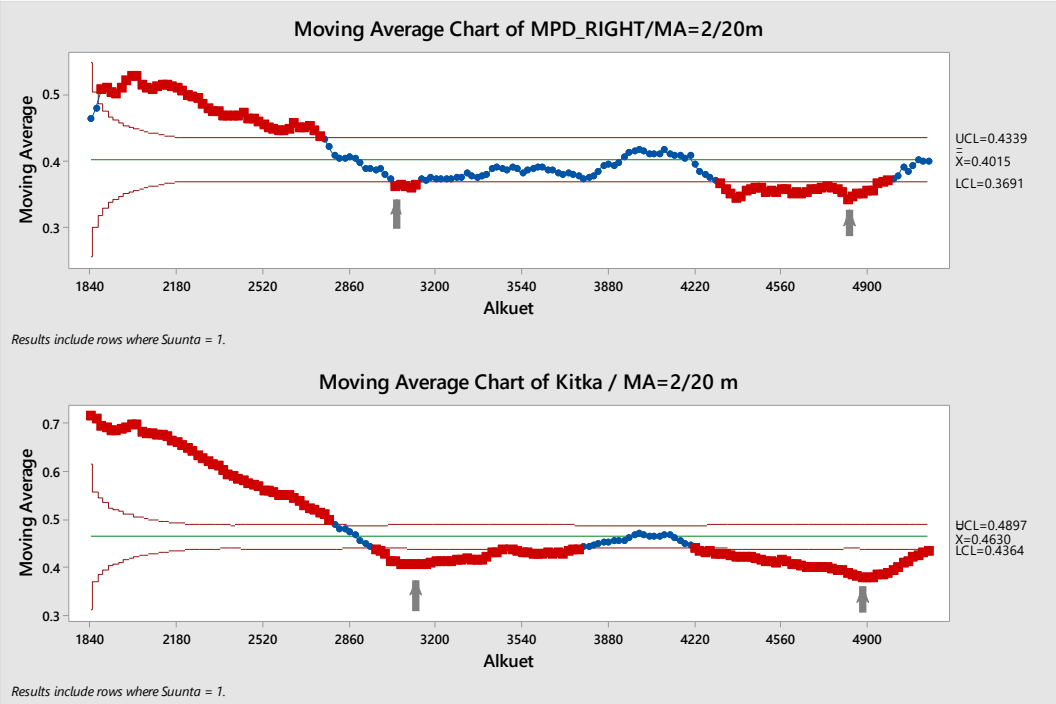
Oikeasta ajourasta mitatun kitkan ja oikeasta ajourasta mitatun makrokarkeuden välinen yhteys on esitetty oheisessa kuvassa (kuva 48). Suunnassa 1 makrokarkeus selitti 64 % kitkan vaihtelusta ja suunnassa 2 vastaavasti 62 %. Paras vastaavuus saavutettiin logaritmifunktiolla, missä karkeuden kasvun vaikutus kitkaan vaimenee sen suurilla arvoilla.

Asfalttinormien kitkavaatimusta vastaava makrokarkeuden raja-arvo on suunnasta 1 saadulla kaavalla 0,47 mm ja suunnasta 2 saadulla kaavalla 0,45 mm. Kitkavaatimusta 0,50 vastaava raja-arvo makrokarkeudelle on siten keskimäärin 0,46 mm.



Kuva 49. Oikeasta ajourasta mitatun kitkan ja oikean ajouran makrokarkeuden välinen yhteys maantiellä 140 tieosalla 16, 10 m välein. Vasemmalla suunta 1 ja oikealla suunta 2.

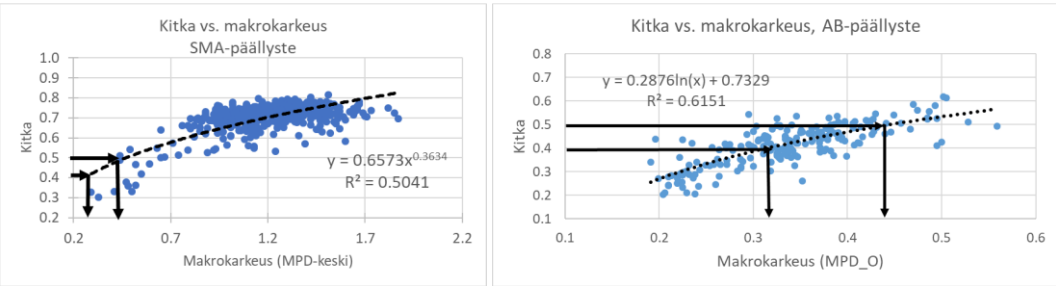
Kymmenen metrin arvoista tehty 20 m liukuvien keskiarvojen spc-kuva osoittaa myös makrokarkeuden ja kitkan välisen yhteyden, jossa matalat ja korkeat arvot osuvat samoihin kohtiin (kuva 50). SMA-päällysteillä havaittua syklisyyttä ei ollut havaittavissa AB-päällysteillä.



Kuva 50. Kitkan ja makrokarkeuden 20 m liukuva keskiarvo mt 140 tieosalla 16.

5.1.3 Yhteenveto

Lajittumien vaikutuksesta kitkaan voidaan todeta, että sileisiin kohtiin viittaavat matalat makrokarkeusarvot tunnistavat myös matalat kitkakohdat. Asfalttinormeissa on määritetty kitkarajat 0,4 ja 0,5 nopeusrajoituksesta riippuen. Karkeasti voidaan todeta, että kun päällysteen makrokarkeus alittaa arvon 0,33 mm tai 0,46 mm, niin on erittäin todennäköistä, että Asfalttinormeissa määritetty kitkavaatimus ei täyty. Makrokarkeus antaa siten viitteitä liian alhaisesta kitkasta (kuva 51).



Kuva 51. Kitkan ja makrokarkeuden yhteys SMA- ja AB-päällysteellä.

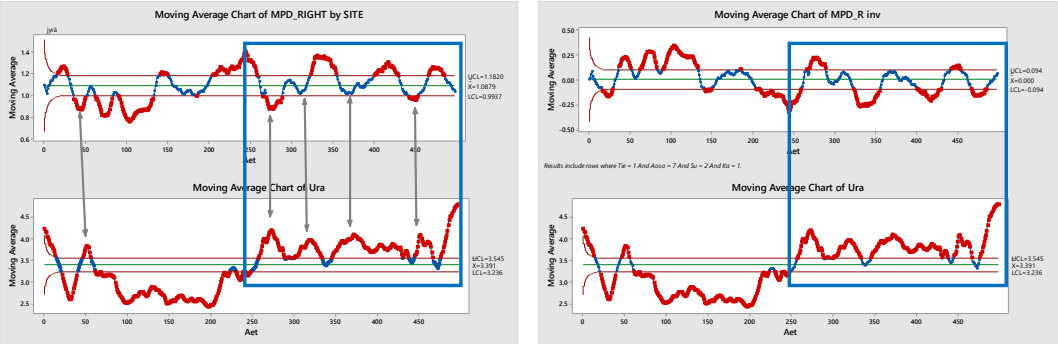
5.2 Alku-ura

5.2.1 Valtatie 1 tieosa 7

Tieosalla 7 tarkasteltiin kitkanmittauksen yhteydessä 500 m pituista osuutta muodostaen urasyvyyden ja makrokarkeuden yhden metrin arvoista 20 m liukuvia keskiarvoja. Liukuvan keskiarvon laskentaa tarkasteltiin vaihtelemalla laskentapituutta välillä 1-100 m ja parhaaksi arvoksi muodostui 20 m.

Tarkasteluvälille muodostettiin ensin liukuvat keskiarvot sekä uralle että makrokarkeudelle. Sen perusteella huomattiin, että makrokarkeudessa on syklistä vaihtelua siten, että vaihtelun aallonpituus on muutama kymmenen metriä (kuva 52 vasen osa). Siellä missä makrokarkeus oli alhainen ts. päällyste oli tiivistä, samoin urasyvyys oli suurempi. Makrokarkeus ja urasyvyys aaltoilivat päinvastaisilla vaiheilla. Tarkastelun helpottamiseksi makrokarkeuden vaihe käännettiin päinvastaiseksi vähentämällä kunkin metrin arvo (kuvan oikea osa) keskiarvosta. Kuvasta nähtiin, että käänteisen makrokarkeuden vaihtelu oli lähes täysin yhtenevää uran vaihtelun kanssa paaluvälillä 250-500 m. Huiput ja laaksot olivat molemmissa kuvissa lähes yhteneväiset. **Koska oli kyse uudesta päällysteestä, niin on todennäköistä, että karkeus tavalla tai toisella vaikutti uuden päällysteen tiivistymiseen.**

Lisäksi huomattiin, että osuudella 250-500 m urasyvyys oli noin millin suurempi kuin toisella osuudella 0-250 m. Makrokarkeuden alhaisilla arvoilla oli, kuten edellisessä luvussa todettiin paitsi kitkaa alentava vaikutus, nyt myös selvästi uria kasvattava vaikutus. Selitystä sille, miksi jakson alku- ja loppupää urautuivat eri tavalla ja urien sekä karkeuden yhteys oli erilaista, ei varsinaisesti löydetty. Eräs mahdollinen selitys on, että raskasta liikennettä liittyy valtatielle Ämmässuon liittymästä matkalla 0-250 m, missä ajoneuvot ajavat ikään kuin kaistan yli liittyessään sille.



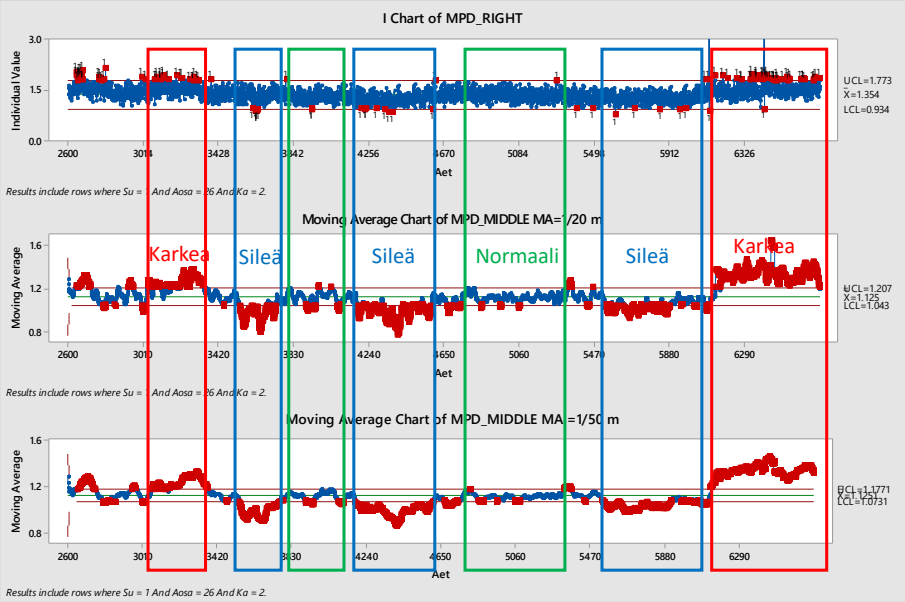
Kuva 52. Urasyvyyden ja makrokarkeuden yhteys paaluvälillä 250-500 m.

5.3 Kuluminen

5.3.1 Valtatie 1 tieosat 26 ja 27

Lajittumien vaikutusta urautumiseen tarkasteltiin vuonna 2013 päällystetyillä SMA-kohteilla, jotka sijaitsivat valtateillä 1, 3 ja 4. Urautumista on perinteisesti tarkasteltu sadan metrin jaksoissa. Lajittumat vaihtelevat lyhyemmissä jaksoissa. Lajittumia tarkasteltiin makrokarkeuksien avulla. Karkeutta tarkasteltiin ensin yhden metrin jaksoissa ja sitten kymmenen ja sadan metrin jaksoissa muodostaen homogeenisia osuuksia. Päällysteen karkeuden tarkastelu tilastollisen prosessinohjauksen keinoin paljasti sen, että päällystystyö (vuonna 2013) ei ollut ollut prosessina stabiilia ts. se on sisältänyt karkeuden osalta paljon erityissyistä johtuvaa vaihtelua. Tämä mahdollisti päällysteessä olevien lajittumakohtien tunnistamisen makrokarkeuden avulla.

Karkeustiedon avulla haettiin sellaisia homogeenisia osuuksia, joilla karkeus oli mittausten mukaan joko sileää (sininen), normaalia (vihreä) tai karkeata (punainen). Yksittäishavaintojen lisäksi karkeustieto keskiarvoistettiin liukuvina keskiarvoina käyttäen joko 20 m tai 50 m välejä, jolloin pystyttiin hahmottamaan selvemmin, mitkä jaksot olivat poikkeuksellisen karkeita tai sileitä (kuva 53). Kuvan tieosalta löydettiin kaksi normaalin karkeusluokan jaksoa, kolme sileän karkeusluokan jaksoa ja kaksi karkean karkeusluokan jaksoa. Jaksojen pituudet olivat välillä 200-600 m. Muiden tieosien, suuntien ja kaistojen osalta meneteltiin samoin.

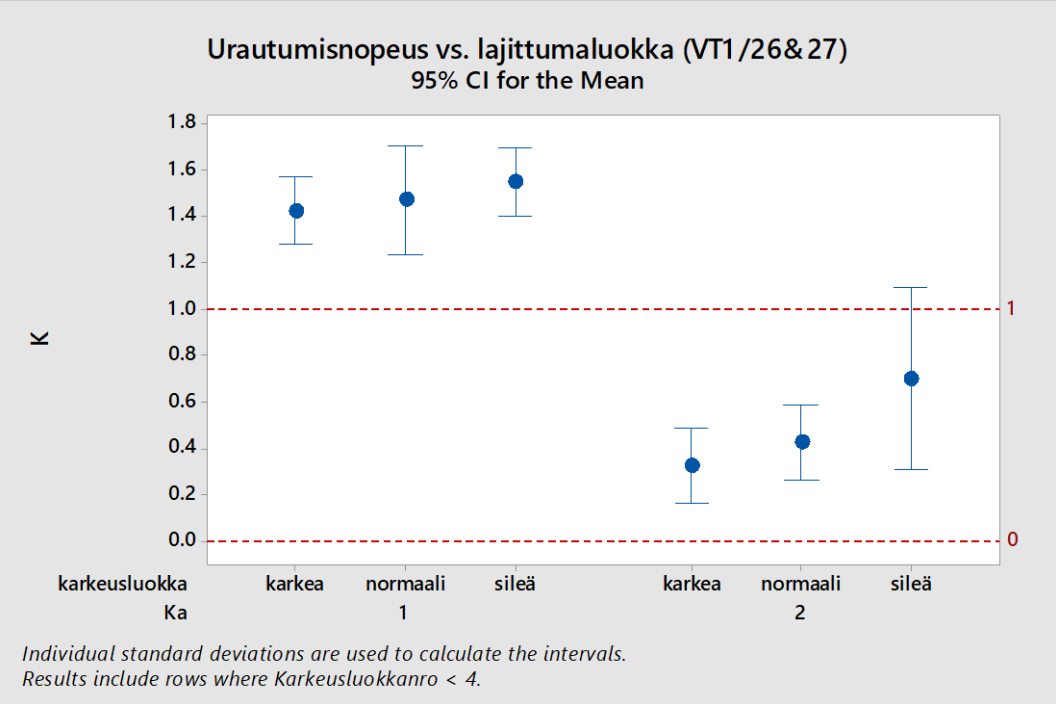


Kuva 53. Karkeusarvojen vaihtelua valtatiellä 1 tieosalla 26 suunnassa 1 kaistalla 2 vuonna 2013 ja sileiden (sininen), normaalien (vihreä) ja karkeiden (punainen) kohtien valinta.

Sen jälkeen tarkasteltiin homogeenisten jaksojen urautumista päällystysvuotta seuraavien mittaustulosten perusteella (2014-2017) sadan metrin keskiarvoina ja karkeusluokkien urautumiskeskiarvoina (kuva 54). Sen mukaan karkeat kohdat urautuivat keskimäärin vähemmän ja sileät kohdat keskimäärin enemmän kuin normaalit kohdat.

Vaikka erot graafisesti tarkastellen olivat selvästi havaittavissa, ne eivät olleet kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä. Tilastollista selittävyyttä heikensi kolme syytä, jotka ovat:

- Lajittumavirheet ja siten karkeus ovat todennäköisesti lyhyemmän kuin 100 m tasolla esiintyvä ilmiö. Jos urautumismallit olisi muodostettu 10 m jaksoille, olisi ehkä ollut mahdollista saada parempi syy-seuraussuhde lajittumavirheille ja urautumiselle.
- Poikkeukselliset karkeusluokat määritettiin sen perusteella, mikä mittausten perusteella oli havaittavissa poikkeukselliseksi eikä niitä määritetty lajittumavirheen vakavuuden perusteella. Vakavuuden perusteella tehtävä luokittelu olisi ehkä tuonut syy-seuraussuhteen selvemmin esille siten, että lievä lajittumavirhe ei aiheuta urautumisen kasvua, mutta vakavampi saattaisi aiheuttaa.
- Urautuminen otettiin maksimiurasta, johon vaikuttivat sekä oikea että vasen ura, kun taas karkeuksia tarkasteltiin vain oikeasta ajourasta.

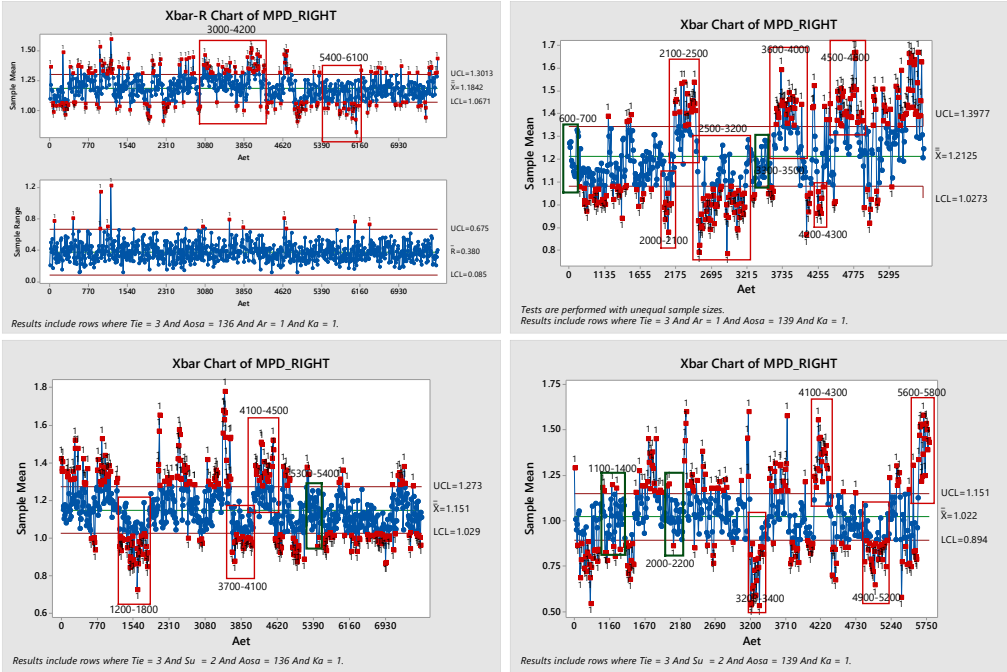


Kuva 54. Karkeusluokkien vaikutus urautumisnopeuteen valtatiellä 1 tieosilla 26 & 27.

5.3.2 Valtatie 3 tieosat 136 ja 139

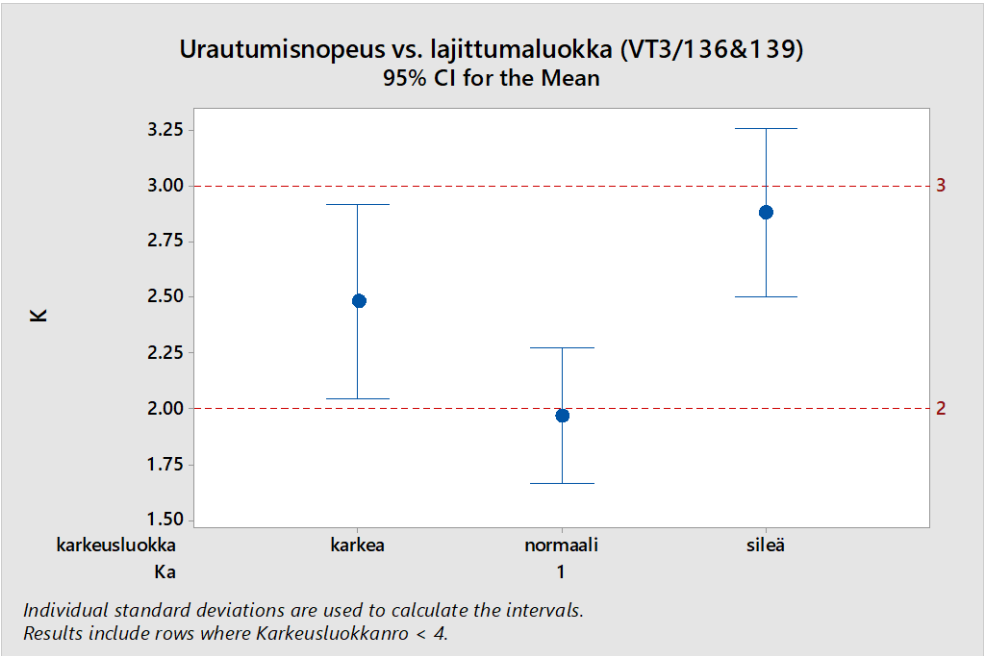
Karkeustiedon avulla haettiin sellaisia homogeenisia osuuksia, joilla karkeus oli joko sileää, normaalia tai karkeaa (kuva 55). Kyseisiltä tieosilta löydettiin neljä normaalin karkeusluokan jaksoa, kahdeksan sileän karkeusluokan jaksoa ja seitsemän karkean karkeusluokan jaksoa. Karkeuden keskiarvo oli eri tieosilla välillä 1,0-1,2 mm ja normaalin vaihtelun yläraja välillä 1,2-1,4 mm ja alaraja vastaavasti välillä 0,9-1,0 mm.

Sen jälkeen homogeenisille jaksoille laskettiin keskimääräiset karkeudet (oikea ura) ja niille kerättiin sadan metrin tasolla urautumisnopeudet päällystysvuotta seuraavien mittaustulosten perusteella (2014-2017) ja näiden yhteyttä tarkasteltiin interval-plotin avulla (kuva 56). Sen mukaan karkeat kohdat urautuivat keskimäärin 25 % nopeammin kuin normaalin karkeuden kohdat, mutta ero ei ollut tilastollisesti merkittävä. **Sen sijaan urasyvyydet sileissä kohdissa olivat noin 50 % suurempia kuin urasyvyydet normaalin karkeuden kohdissa ja ero oli tilastollisesti merkittävä.** Urasyvyydet sileissä kohdissa olivat suurempia kuin urasyvyydet karkeissa kohdissa, mutta erot eivät olleet tilastollisesti merkittäviä.



Kuva 55. Sileiden, normaalien ja karkeiden kohtien haku kymmenen metrin karkeus-arvoilla valtatiellä 3 tieosilla 136 ja 139. Normaalin karkeuden jaksot vihreiden laatikoiden sisällä.

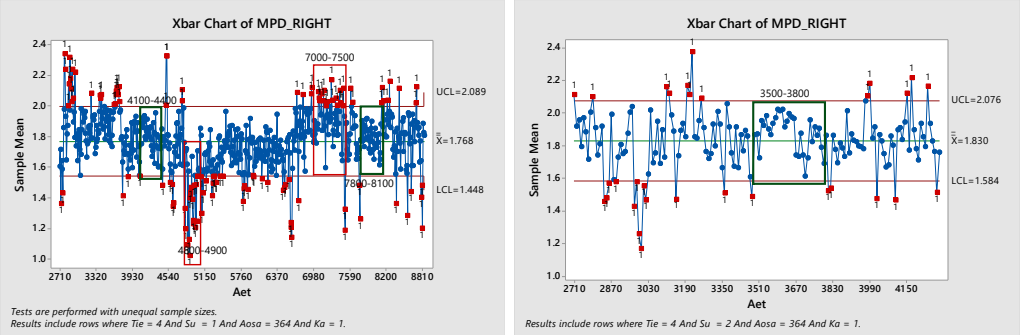
Tulokseen pätevät samat toteamukset kuin mitä edellä todettiin valtatie 3 kohteista. Lisäksi on todettava, että normaalin karkeusvaihtelun homogeenisia jaksoja oli oikeastaan liian vähän. Havaintojen vähyys kasvatti keskiarvojen luottamusvälejä ja peitti siten tilastollista merkittävyyttä ja siksi tarkastelua tulisi jatkaa suuremmilla havaintomäärillä. Urautuminen oli valtatien 3 kohteilla huomattavasti suurempaa kuin edellä valtatien 1 kohteilla.



Kuva 56. Karkeusluokkien vaikutus urautumisnopeuteen VT 3 tieosilla 136 & 139.

5.3.3 Valtatie 4 tieosa 364

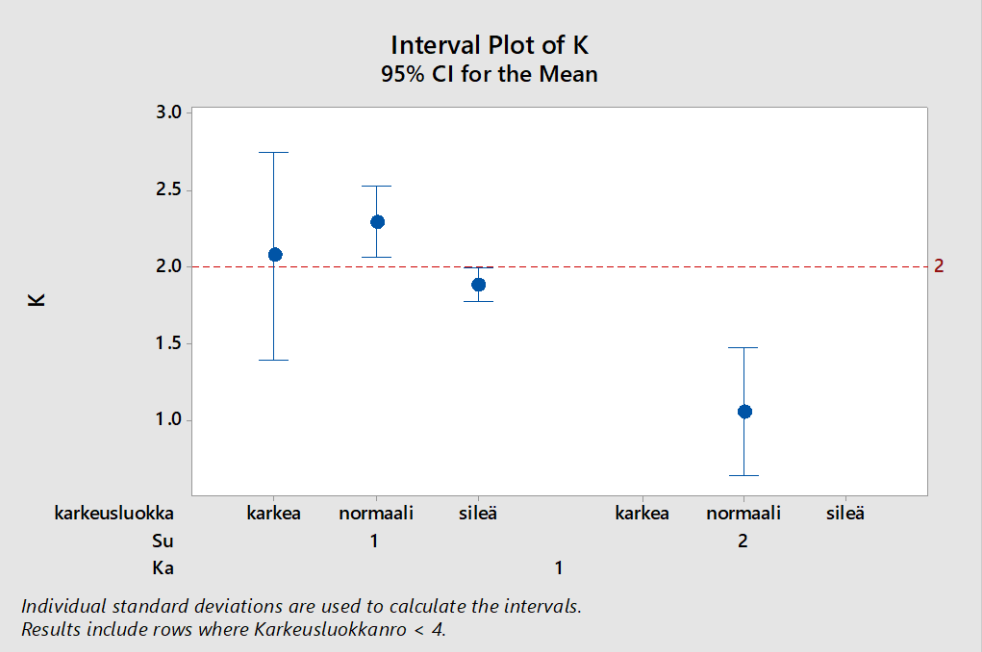
Valtatieltä 4 tieosalta 364 löydettiin kolme normaalin karkeusluokan jaksoa, yksi sileän karkeusluokan jakso ja yksi karkean karkeusluokan jakso. Karkeuden keskiarvo oli eri tieosilla noin 1,8 mm ja normaalin vaihtelun yläraja 2,1 mm ja alaraja 1,5 mm. Suunnassa 2 ei löydetty tarpeeksi puhtaita sileän tai karkean karkeuden jaksoja.



Kuva 57. Sileiden, normaalien ja karkeiden kohtien haku kymmenen metrin karkeusarvoilla VT 4 tieosalla 364. Normaalin karkeuden jaksot vihreiden laatikoiden sisällä. Vasen kuva suunta 1 ja oikea kuva suunta 2.

Sileän ja karkean karkeuden jaksot urautuivat hiukan vähemmän kuin normaalin karkeuden jaksot suunnassa 1 (kuva 58). Vain sileän jakson urautuminen poikkesi normaalin karkeuden urautumisesta tilastollisesti merkitsevästi. Tulos oli kaiken kaikkiaan melko epäselvä. Kyseessä oli melko voimakkaasti urautuva SMA 22-päällyste.

Suunnassa 2 normaalin karkeuden jaksolla urautuminen oli lähes puolet suunnan 1 vastaavasta. Siitä ei löydetty lajittuneita yhtenäisiä jaksoja.



Kuva 58. Karkeusluokkien vaikutus urautumisnopeuteen VT 4 tieosalla 364.

5.4 Kantavuus

Lähteen [3] laboratoriokokeissa on selvitetty, että päällysteen lajittuma on luokiteltavissa neljään luokkaan seuraavasti (taulukko 9). Sen mukaan selvät tai vakavat lajittumat näkyisivät myös rakenteen jäykkyyksissä. Jäykkyyttä voitaneen tässä tilanteessa arvioida kantavuuksien avulla. Jäykkyyksien pitäisi näkyä selvästi selvissä ja vakavissa karkean pään lajittumakohdissa.

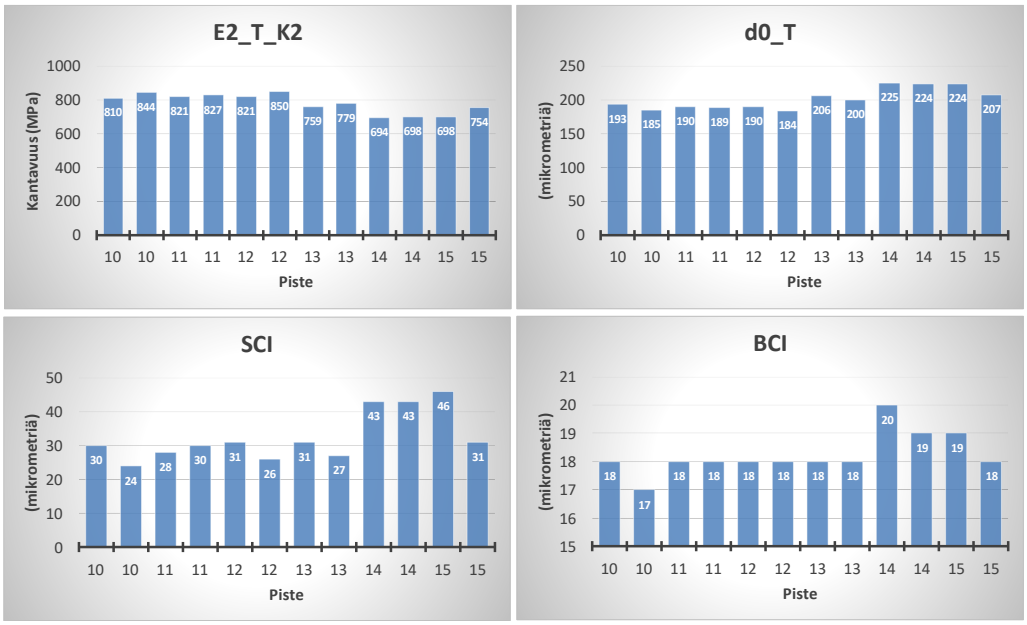
Taulukko 9. Päällysteen lajittuman luokittelu ja sen perusteet [3].

Lajittumaluokka	**Tyhjätila**	**Sideaine-pitoisuus**	**Rakeisuus (jos rakeisuus-lajittumaa)**	**Jäykkyys**
Ei lajittumaa	Vaaditulla alueella	±0,3 % ali/yli sallitun	-	Yli 90 % vaaditusta arvosta
Lievä lajittuma (purkauma)	0-4 % liian suuri	0,3-0,75 % vajaus	Vähintään 5 % karkeampaa	70-90 % vaaditusta arvosta
Selvä lajittuma (purkauma)	2-6 % liian suuri	0,75-1,3 % vajaus	Vähintään 10 % karkeampaa	30-70 % vaaditusta arvosta
Vakava lajittuma (purkauma)	yli 4 % liian suuri	yli 1,3 % vajaus	Vähintään 15 % karkeampaa	alle 30 % vaaditusta arvosta

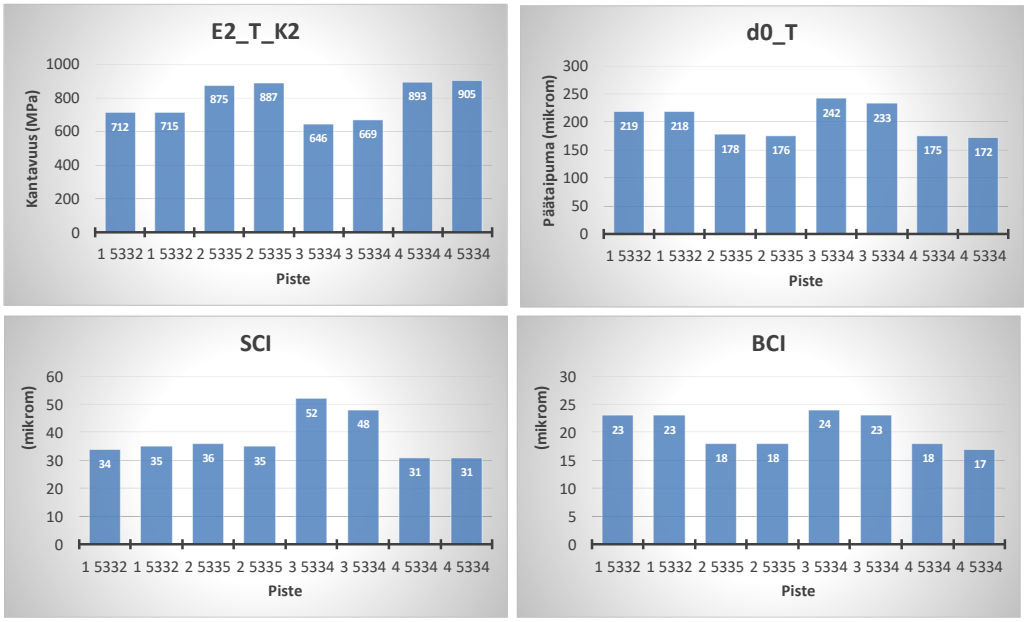
Lajittumien vaikutusta päällysteen jäykkyyteen tarkasteltiin vuonna 2017 määriteltyjen kohteiden avulla. Vuonna 2017 tutkituille kohteille tehtiin ennen poranäytteiden ottoa lokakuussa kantavuusmittaus. AB-kohteella jokaisesta näytteenottokohdasta mitattiin kaksi kantavuustulosta (kuva 59), kun taas SMA-kohteelta mitattiin kaksi kantavuustulosta kolmea lähekkäistä poranäytettä vastaavalta alueelta (Kuva 60). Tuloksille tehtiin normaali lämpötilakorjaus.

Kantavuustuloksista oli AB-kohteilla nähtävissä, että karkean kohdan kantavuus (13-15) oli noin 12 % pienempi kuin sileästä kohdasta (10-12). Vastaavasti SMA-kohteilla oli nähtävissä, että sileiden kohtien (1-3) kantavuus oli noin 8 % suurempi kuin normaalin kohdan kantavuus (7-9) ja karkeiden kohtien kantavuus oli noin 35 % suurempi kuin normaalien kohtien kantavuus. AB-kohteilla kantavuusmittaus viittasi siihen, että lajittumavirhe vaikutti myös kantavuuteen (ja sitä kautta päällysteen jäykkyyteen), mutta SMA-kohteilla lajittuneiden kohteiden kantavuus ei ollut huonompi kuin normaalin kohdan kantavuus.

Kantavuustulosten perusteella jäi siis epäselväksi, onko päällysteen lajittumalla vaikutusta päällysteen jäykkyyteen.



Kuva 59. Kantavuustuloksia valtatieltä 2 tieosalta 16 poranäytteiden 10-15 kohdilta.



Kuva 60. Kantavuustuloksia valtatieltä 25 tieosalta 34 poranäytteiden 1-4 kohdilta.

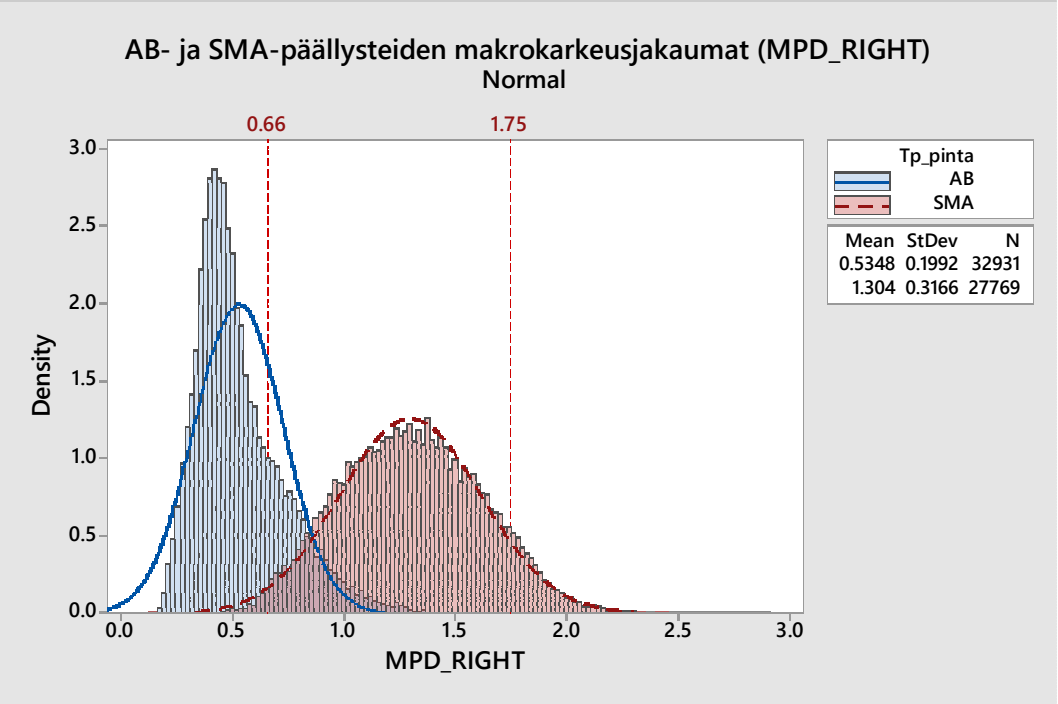
5.5 Purkautuminen

Rakeisuuslajittumilla on arveltu olevan vaikutus päällysteen purkautumiseen ja edelleen myöhemmin reikiintymiseen. Tämän vaikutuksen tarkasteleminen edellyttää pitkäaikaisempaa seurantaa, joten sitä ei tässä yhteydessä tutkittu. Selvää kuitenkin on, että sitä kannattaa tutkia nyt, kun aineistoa lajittumia sisältävistä uusista päällysteistä on olemassa.

6 Yhteenveto

6.1 Makrokarkeus vs. päällystetyyppi

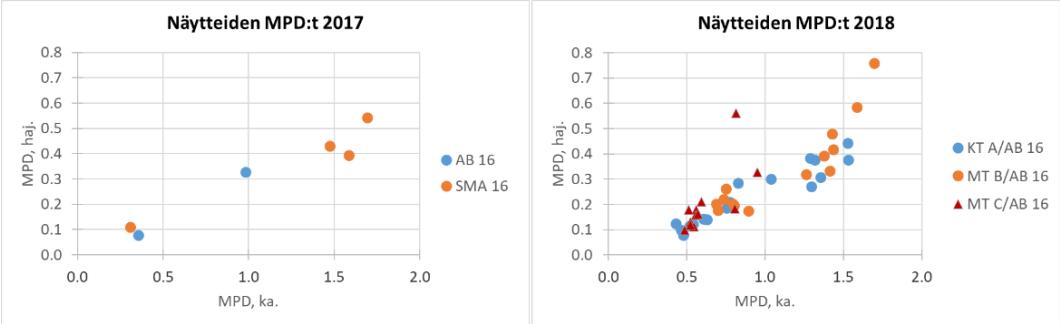
Päällysteen makrokarkeutta uusilla SMA- ja AB-päällysteillä on nyt tarkasteltu kolmena vuonna. Makrokarkeus on tulos päällystemassan suhteutuksesta, levittämisestä ja tiivistämisestä. SMA-päällysteiden makrokarkeus on huomattavasti korkeampaa kuin AB-päällysteillä. Makrokarkeutta analysoitaessa on ehdottomasti otettava huomioon päällystetyypit.



Kuva 61. Makrokarkeuden jakaumat uusilla AB- ja SMA-päällysteillä.

6.2 Makrokarkeus vs. tyhjätila

Makrokarkeuden ja tyhjätilan välistä yhteyttä tarkasteltiin SMA-päällysteiden osalta vuosina 2016 ja 2017 sekä AB-päällysteiden osalta vuosina 2017 ja 2018. Alustavien jakaumien perusteella haettiin sopivia kohteita maastotarkasteluja varten ja sen perusteella merkattiin poranäytteiden paikat. Poranäytteistä tutkittiin massan tiheydet, tyhjätilat, sideainepitoisuudet ja rakeisuus. Vuonna 2016 tutkittiin 24 näytettä, vuonna 2017 15 näytettä ja vuonna 2018 32 näytettä. Näytteiden tai näytesarjojen paikallisen makrokarkeuden keskiarvo-hajonta pistepari t osuvat päällystetyypistä riippumatta samalle suoralle eli silmämääräisesti sileiksi arvioiduissa kohdissa sekä keskiarvo että hajonta olivat pieniä ja karkeissa kohdissa vastaavasti suuria.



Kuva 62. Näytteiden paikallinen makrokarkeus vuosien 2017 ja 2018 tutkimuksissa.

Paikallisen makrokarkeuden ja näytteen tyhjätilan välille saatiin selvä yhteys, mutta se vaihteli erityisesti päällystetyypeittäin mutta myös kohteittain. Regressiosuorien selitysasteet olivat yhtä kohdetta lukuun ottamatta melko korkeita 70-90 %, mutta kulmakertoimet vaihtelivat kohteittain.

Tuloksista tehtiin seuraavat johtopäätökset:

- Avoin pinta oli silmämääräisen tarkastelun mukaan karkea ja suljettu pinta oli sileä. Avoimen pinnan makrokarkeus ja sen vaihtelu olivat suuria ja sileän pinnan makrokarkeus ja sen vaihtelu olivat pieniä.
- Avoimen päällysteen tyhjätila-% oli suurempi kuin suljetun päällysteen tyhjätila-%.
- Normaalin päällysteen tyhjätila-% oli avoimien ja suljettujen päällysteiden tyhjätila-%:n välissä. Sen sijaan normaalin päällysteen sideainepitoisuus oli pienempi kuin suljetun tai avoimen päällysteen sideainepitoisuus.
- Makrokarkeus ja sen vaihtelu luokittelivat näytteet sileisiin ja karkeisiin paremmin kuin näytteiden laboratoriotutkimusten tulokset. Makrokarkeus oli siten erittäin lupaava mittaustieto päällysteen lajittuman mittaamiseen.

6.3 Makrokarkeus vs. rakeisuus

Silmämääräisesti sileiltä näyttävissä päällystenäytteissä oli enemmän hienoaineksia kuin karkeilta näyttävissä päällystenäytteissä. Hienoaineksen avulla ei kuitenkaan pystytty luokittelemaan näytteitä karkeusluokkiin.

Näytteiden kiviainesten rakeisuus korreloi makrokarkeuden kanssa hyvin varsinkin seulojen 2-8 mm alueella. Korrelaatio oli negatiivinen ts. mitä pienempi läpäisyprosentti sitä suurempi makrokarkeus paitsi kohteella B, missä korrelaatio oli positiivinen. Alhainen läpäisyprosentti 4-8 mm seuloilla viittasi rakeisuuslajittumiin. **Silti näytteet pystyttiin luokittelemaan silmämääräisesti määritettyihin karkeusluokkiin paremmin makrokarkeuden kuin rakeisuustietojen avulla**.

6.4 Makrokarkeus vs. kitka

Makrokarkeuden ja kitkan välistä yhteyttä tarkasteltiin valtatien 1 tieosalla 7 ja maantien 140 tieosilla 15 ja 16. **Erittäin selvästi näkyi se, että kitka oli alhainen siellä missä makrokarkeus oli alhainen ja vastaavasti kitka oli suuri siellä missä makrokarkeus oli suuri**. Makrokarkeuden vaihtelut selittivät kitkan vaihteluita noin 60 %. Logaritmisen kaavan perusteella kitkavaatimus 0,50 alittui silloin, kun makrokarkeus oli valtatiellä SMA-päällysteellä alle 0,47 mm ja maantiellä AB-päällysteellä alle 0,46 mm.

6.5 Makrokarkeus vs. urautuminen

Lajittumien vaikutusta käytön aikaiseen kulumiseen tarkasteltiin vuonna 2013 päällystetyillä SMA-kohteilla, jotka sijaitsivat valtateillä 1, 3 ja 4. Karkeustiedon avulla haettiin sellaisia homogeenisia osuuksia, joilla päällysteen pinnan karkeus oli joko sileää, normaalia tai karkeata. Sen jälkeen tarkasteltiin homogeenisten jaksojen urautumista päällystysvuotta seuraavien mittaustulosten perusteella (2014-2017) sadan metrin keskiarvoina ja karkeusluokkien urautumiskeskiarvoina. Sen mukaan SMA 16 -päällysteen karkeat kohdat kuluivat keskimäärin vähemmän ja sileät kohdat keskimäärin enemmän kuin normaalit kohdat. SMA 22 -päällysteellä normaalin karkeuden kohdat kuluivat hiukan nopeammin kuin sileät kohdat.

7 Laatuvaatimukset

Laatuvaatimusten asettamisessa on lähtökohtana se, että edellisen luvun luokitus pystytään tekemään. Tämän jälkeen tutkitaan, minkälaisia haittoja kunkin luokan tilanteesta aiheutuu ja sen perusteella vasta asetetaan laatuvaatimuksia eri päällystetyypeille. Lajittumia sisältävän alueen osuus tulee pystyä muuttamaan arvonmuutokseksi ja sen tulee olla sopivassa suhteessa muiden laatuvaatimusten kanssa.

7.1 Asfalttinormit 2017

Asfalttinormeissa on asetettu useita erilaisia laatuvaatimuksia asfalttipäällysteille ja niiden materiaaleille ja ominaisuuksille. Tavallisimpia laatuvaatimuksia, joita mitataan valmiilta pinnalta ainetta rikkomattomilla mittausmenetelmillä, ovat alku-ura, tasaisuus ja kitka.

Laatuvaatimukset esitetään laatuvaatimusluokittain (A–D), joka määräytyy tien tai kadun liikennemäärän ja nopeusrajoituksen perusteella.

Näiden lisäksi normeissa on maininta tasalaatuisuudesta:

> *"Asfalttipäällysteen pitää olla tasalaatuista. Uudessa päällysteessä ei saa olla rakeisuuslajittumia, sideaineen pintaan nousua tai halkeamia. Haitallisimpia ovat liikenneturvallisuutta heikentävä sideaineen pintaan nousu tai päällysteen kestävyyttä huonontava, purkautumiselle altis kiviaineslajittuma."*

Normien maininta tasalaatuisuudesta viittaa päällysteen pinnan karkeuteen, jota voidaan mitata kehitetyllä tasalaatuisuuden mittausmenetelmällä ura- ja IRI-mittausten yhteydessä.

7.2 PANK-5212 mittausmenetelmä

Mittausmenetelmästä on tuotettu seuraava PANK-menetelmäkuvaus, jonka numero on 5212.

7.2.1 Menetelmän tarkoitus ja soveltamisalue

Menetelmän avulla mitataan uuden päällysteen tasalaatuisuutta, lajittumia: sideaineen pintaan nousua tai purkautumisaltista rakeisuuslajittumaa. Menetelmä soveltuu päällystettyjen liikennealueiden (tiet, kadut, yms.) lajittumien mittaamiseen.

7.2.2 Määritelmät

Asfalttipäällysteiden lajittumia ovat bitumin pintaan nousu tai rakeisuuslajittuma.

Tasalaatuisuutta mitataan makrokarkeuden avulla 3,2 m leveydeltä. Makrokarkeuden pienet arvot viittaavat bitumin pintaan nousuun ja suuret arvot pinnan karkeuteen eli rakeisuuslajittumaan. Kumpaakin ilmiötä mitataan pinta-aloina.

7.2.3 Mittausmenetelmä

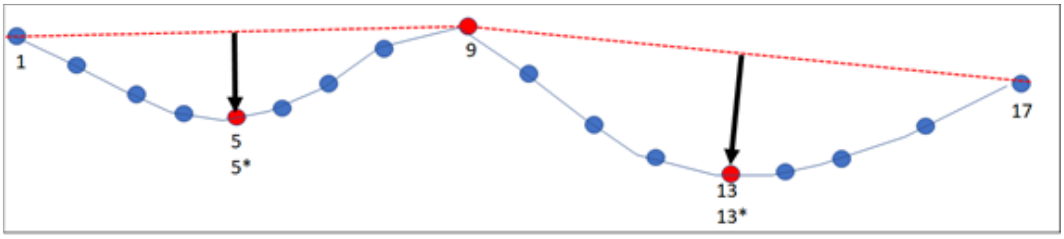
7.2.3.1 Makrokarkeuden mittauksen periaate

Makrokarkeus (MPD) kattaa aallonpituusalueen 0,5-50 mm ja se on ohjeistettu mitattavaksi standardissa ISO/FDIS 13473-1:2018(E) Makrokarkeus mitataan jatkuvana ensin kolmesta pituussuuntaisesta linjasta, jotka ovat vasen ja oikea ura ja kaistan keskikohta.

7.2.3.2 Laitteet ja tarvikkeet

Mittauksessa käytetään palkkia, jossa on 17 pistelaseria. Lisäksi käytetään tasokorjaukseen kahta toistolaseria, jotka sijaitsevat urissa olevien makrolasereiden kohdalla. Mittausleveys on 3,2 m ja laserantureiden väliset etäisyydet ovat samat kuin lankauran mittausmenetelmässä (PANK-5208). Makrokarkeuden perusarvo mitataan makrolasereilla (ISO/FDIS 13473-1 standardin mukainen näytteenottoväli) ja muut arvot 16 kHz lasereilla.

Mittauksessa tarvitaan myös GPS-, inertiamittaus- ja pituusmittauslaitteita. Mittalaitteessa tulee olla pituusmittauslaite, jonka tarkkuus on vähintään 0,1 %. Alle 1 km:n mittauksissa etäisyys tulee määrittää vähintään 1 m:n tarkkuudella.



Kuva 63. Lankauran laskennan periaate ja makrolasereiden sijainti.

7.2.3.3 Kalibrointiarvon mittaus

Standardin mukainen makrokarkeus voidaan mitata vain makrolasereilla. Muiden mittausantureiden tulos on tasokorjattava vastaamaan makrolasereiden tuloksia. Urissa sijaitsevien makrolasereiden kohdalle asetetaan lisäksi tavalliset laseranturit joko etupalkkiin tai taakse. Korjausarvo lasketaan urista saatavien makrolasereiden ja tavallisten lasereiden makrokarkeustuloksen suhteena kohdekohtaisesti. Saatua suhdetta käytetään muiden pituussuuntaisten mittauslinjojen tulosten korjaukseen makrolasereiden tasolle. Korjaus tulee suorittaa dynaamisena ts. kullekin mittauskohteelle erikseen. Jos laser numero 9 on makrolaser niin sille ei tehdä korjausta.

$$MPD_{ij} = \frac{(MPD_5 + MPD_{13})}{(MPD_{5*} + MPD_{13*})} MPD_{ij0}$$

missä i= anturin numerot 1-4,6-8,10-12,14-17
MPDij0=alkuperäiset makrokarkeudet peruslasereilta
j=10 cm pätkän järjestysnumero kohteella
Laser 5* on vasemman uran 16 kHz toistolaser
Laser 13* on oikean uran 16 kHz toistolaser
MPD5 ja MPD13 = kohteen MPD keskiarvot makrolasereilta 5 ja 13.
MPD5* ja MPD13* = kohteen MPD keskiarvot toistolasereilta

7.2.3.4 Tunnuslukujen laskeminen

Lajittumaa sisältävä mittauslinja

Kunkin pituussuuntaisen mittauslinjan tasalaatuisuutta lasketaan anturin vaikutusalueelle, joka on pituussuunnassa MPD:n mukainen laskentaväli ja poikkisuunnassa anturien väli. Kunkin anturin tulos sisältää epätasalaatuisuutta, jos Taulukon 10 raja-arvot bitumin pintaan nousulle alittuvat tai rakeisuuslajittumalle ylittyvät. Raja-arvot päätetään myöhemmin.

Epätasalaatuisuutta sisältävä tulos $Sileä_{ij}$ tai $Karkea_{ij}$ on kunkin anturin vaikutusalueella joko 0 tai 1 kummallekin tasalaatuisuustyypille (rakeisuuslajittuma ja bitumin pintaan nousu).

$Sileä_{ij}$ = 1 jos raja-arvo alittuu, muuten 0.
$Karkea_{ij}$ = 1 jos raja-arvo ylittyy, muuten 0.
missä i = MPD:n laskentaväli pituussuunnassa
j=anturin numero (1-17)

Taulukko 10. Lajittumavirheen tunnistamisen raja-arvot (määritetään myöhemmin).

Päällystetyyppi	Bitumin pintaan nousu, jos MPD<x,x mm	Rakeisuuslajittuma, jos MPD>x,x mm
SMA 16	$R1_{SMA16}$	$R2_{SMA16}$
AB 16	$R1_{AB16}$	$R2_{AB16}$
PAB	$R1_{PABxx}$	$R2_{PAB16}$

Epätasalaatuisuutta sisältävä pinta-ala [m2] tai osuus [%]

Lajittumaa sisältävä pinta-ala lasketaan ensin metrin matkalle koko mittausleveydeltä yksittäisten mittausantureiden vaikutusalueiden perusteella seuraavasti:

$Sileä_1m=\Sigma Sileä_{ij}*Ala_{ij}$
$Karkea_1m=\Sigma LV_A_{ij}*Ala_{ij}$
missä i=1-10 (MPD:n laskentavälien määrä yhden metrin matkalla)
j=1-17 (anturin numero)
Ala_{ij} = yksittäisen anturin j vaikutusalue (m2) raportointivälillä.

Tämän jälkeen lajittumaa sisältävät pinta-alat lasketaan yhteen halutuille raportointiväleille. Neliöinä lasketut pinta-alat voidaan laskea myös prosenteiksi koko alueen pinta-alasta jakamalla saatu pinta-ala 3,5 m vastaavalla pinta-alalla.

7.2.3.5 Mittausolosuhteet ja mittaustulosten käsittely

Mitattavan päällysteen tulee olla puhdas ja kuiva. Mittaustulosten esikäsittely tehdään ISO/FDIS 13473-1:2018(E) mukaisesti.

7.2.3.6 Tarkkuus ja toistettavuus

Mittausten toimittaja vastaa seuraavista mittaustarkkuuteen liittyvistä asioista:

- yksittäisen havainnon oton tarkkuus (resoluutio)
- mittauksen oikeellisuus ('tosimittaan' nähden)
- mittausten toistettavuuden tarkkuus mittauksen uusittavuuden tarkkuus.

Tiedot on toimitettava mittausten tilaajalle pyydettäessä.

7.2.3.7 Tulosten esittäminen

Tulostuksessa ilmoitetaan vähintään seuraavat asiat:

- mittaus on tehty tämän menetelmäkuvauksen mukaan
- mahdolliset poikkeamat menetelmäkuvauksen mukaisesta järjestelystä
- kokeen suorituspäivämäärä
- käytetty mittalaite ja mittaajan nimi
- tutkitun päällysteen sijainti- ja tunnistetiedot johonkin paikkatietoon sidottuna (esim. tierekisteriosoite) mitatut tunnusluvut tilatulle tulostusvälille (esim. 100 m)
- mitattujen tunnuslukujen keskiarvo koko kohteelle
- mittausnopeuden keskiarvo tilatulle tulostusvälille
- muut tilaajan ilmoittamat tiedot, esim. päällystetyyppi ja tieluokka

Taulukko 11. Esimerkki tulosten toimitusformaatista.

Yritys	Autotunnus	Operaattori	Kuljettaja	Tie	Ajorata	Suunta	Kaista	Alkutieosa	Alkuetäisyys	Lopputieosa	Loppuetäisyys	Pituus	Mittausaika	Vasen MPD	Keski MPD	Oikea MPD	Päällystetyyppi	Rajaarvo 1	Bitumin pintaan nousu (m2)	Rajaarvo 2	Rakeisuus lajittuma (m2)
Yritys A	xxx	XXX	XXX	140	0	1	1	15	0	15	100	100	23.8.2018 8:27	0.83	0.54	0.83	AB 16	x.x	xxx	x.x	xxx
Yritys A	xxx	XXX	XXX	140	0	1	1	15	100	15	200	100	23.8.2018 8:27	1.11	0.57	0.68	AB 16	x.x	xxx	x.x	xxx
Yritys A	xxx	XXX	XXX	140	0	1	1	15	200	15	300	100	23.8.2018 8:27	0.72	0.53	0.92	AB 16	x.x	xxx	x.x	xxx
Yritys A	xxx	XXX	XXX	140	0	1	1	15	300	15	400	100	23.8.2018 8:27	1.05	0.34	0.67	AB 16	x.x	xxx	x.x	xxx
Yritys A	xxx	XXX	XXX	140	0	1	1	15	400	15	500	100	23.8.2018 8:27	0.9	0.33	0.95	AB 16	x.x	xxx	x.x	xxx
Yritys A	xxx	XXX	XXX	140	0	1	1	15	500	15	600	100	23.8.2018 8:27	0.8	0.47	0.39	AB 16	x.x	xxx	x.x	xxx
Yritys A	xxx	XXX	XXX	140	0	1	1	15	600	15	700	100	23.8.2018 8:27	1.18	0.57	0.72	AB 16	x.x	xxx	x.x	xxx

7.3 Tasalaatuisuuden laatuvaatimukset

7.3.1 Tasalaatuisuusvaatimuksen taustatietoa

Tasalaatuisuuden laatuvaatimusten tarkoituksena on liittää tässä työssä löydetyt asiat edellä esitetyn "normitekstin" kanssa yhteen. Tässä työssä saatiin selville, että päällysteen tasalaatuisuutta voidaan mitata makrokarkeus-tunnusluvulla. Keskeisimmät tasalaatuisuuteen liittyvät löydökset olivat seuraavat:

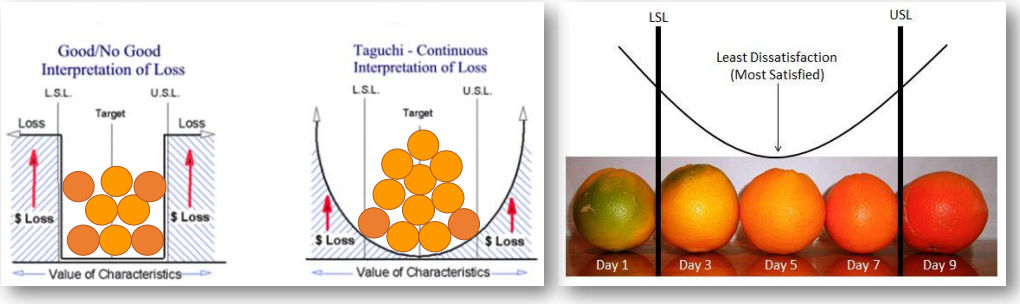
- pieni makrokarkeus ja sen pieni hajonta viittaavat bitumin pintaan nousuun
- suuri makrokarkeus ja sen suuri hajonta viittaavat rakeisuuslajittumaan
- alle 0,5 mm:n pintakarkeus viittaa silmämääräisesti olevaksi bitumin pintaan nousuksi sekä SMA- että AB-päällysteillä
- pienet makrokarkeuden arvot viittaavat siihen, että päällysteen tyhjätila on pieni ja kiviaineksen hienoainespitoisuus suuri ts. hienoaineksen läpäisyprosentti on joskus jopa ohjealueen yläpuolella.
- alle 0,45-0,47 makrokarkeus vastaa tilannetta, missä kitka laskee alle 0,50
- alle 0,33 makrokarkeus vastaa tilannetta, missä kitka laskee alle 0,40
- alle 0,6 makrokarkeus liittyy sellaisiin kohtiin, missä alku-urautuminen voi kasvaa (ainakin vuoden 2018 tarkastelun perusteella)
- uuden päällysteen makrokarkeudessa on aaltoliikettä, jonka sykli vaihtelee välillä 30-70 m ts. päällystämisessä tapahtuu jotain sellaista, mikä tuottaa epätasalaatuisuutta. Syy syklien muodostumiseen on jokin tai jotkut työvaiheet päällystämisprosessissa; massan tasalaatuisuus, levitystapahtuma, lämpötila, tiivistäminen yms.
- SMA-päällysteillä yli 1,8-2,0 mm makrokarkeus viittaa kohtiin, jotka ovat silmämääräisesti tunnistettavissa rakeisuuslajittumiksi. Lajittuma ei ole välttämättä kovin pahanlaatuinen, mutta suuremmilla arvoilla vakavuus kasvaa.
- AB-päällysteillä raja-arvo vaihtelee kohteittain. Yli 1,2-1,3 mm karkeuksia sisältävät kohdat ovat silmämääräisesti tunnistettavissa rakeisuuslajittumiksi. Rajalla oleva lajittuma ei ole välttämättä vakava, mutta se kasvaa karkeusarvon kasvaessa.
- suuret makrokarkeuden arvot liittyvät tilanteisiin, missä kiviaineksen seulakokojen 2-8 mm läpäisyprosentit ovat alhaisia ja jokin jopa ohjealueen alapuolella
- uuden päällysteen tasalaatuisuus paranisi, jos pinnan karkeusvaihteluita saataisiin pienennettyä. Sileiden ja karkeiden kohtien osuutta tulisi vähentää.

7.3.2 Haitta-aste

Tuotteiden ja palveluiden laatuvaatimusten asettamisessa on taustalla ajatus siitä, minkä laatuinen tuote on hyvä ja hyväksyttävä ja minkä laatuinen tuote ei ole hyvä tai hyväksyttävä. Hyväksyttävyyden raja ei useinkaan ole selkeä, mutta se usein asetetaan kokemusperäisesti kohtaan, jossa sen oletetaan erottelevan huonolaatuiset tuotteet hyväksyttävistä tuotteista.

Tuotteen laatuominaisuudella on yleensä jokin tietty tavoitearvo (Target), mutta myös pienet poikkeamat siitä ovat hyväksyttäviä. Yksinkertaisinta on asettaa raja-arvot (LSL=lower specification limit ja USL=upper specification limit), joiden sisällä laatuvaatimuksen katsotaan täyttyvän ja joiden ulkopuolella ei. Sillä on kuitenkin mm. seuraavia epäkohtia:

- binäärinen laatuarvo ei ohjaa kohti tavoitearvoa eikä kohti pienempää hajontaa, jotka ovat tuotteen laatuominaisuuden tosiaisallisia mittareita
- raja-arvon tuntumassa pienikin laatumuutos luokittelee tuotteen heti joko hyväksyttäväksi tai ei hyväksyttäväksi, mikä kohtelee tilanteesta riippuen joko tuottajaa tai asiakasta epäoikeudenmukaisesti
- LSL- ja USL-rajat on usein asetettu irrallaan todellisista haitoista, mikä tilanne hävikkifunktiota muodostettaessa korjaantuisi



Kuva 64. Taguchin haittafunktion periaate, missä tavoitteena on ohjata tuotteen laatua kohti tavoitearvoa mahdollisimman pienellä poikkeamalla [9]

Vaikka tuotteen laatu olisi ns. laatuvaatimusten rajojen sisällä, niin Taguchin hävikkifunktion mukaan poikkeamasta aiheutuu silti haittaa joko käyttäjälle tai yhteiskunnalle. Haitan suuruus on verrannollinen poikkeaman neliöön. Hävikkifunktio on muotoa:

$$L(y) = \frac{M}{D}(y - t)^2$$

missä

L(y) on haitan suuruus
y on tuotteen laatuarvo (keskiarvo)
t on tuotteen laadun tavoitearvo
M on tuottajalle aiheutuva kustannus siitä, että laatu ei ole laatuvaatimusrajojen sisällä (LSL, USL)
D on asiakkaan asettama toleranssi, joka 50 % tuotteista tulisi täyttää
Suhdeluku M/D kuvaa laatuominaisuuden taloudellista merkitystä

Kun tuote tai palvelu muodostuu suuresta määrästä tuotteita (mikä uuden päällysteen kohdalla tarkoittaisi kohteita ja niiden sisältämiä esim. 100 m jaksoja), joiden laatu vaihtelee, on vastaava haitta muotoa:

$$Q = \frac{M}{D}[(\mu - t)^2 + (\sigma)^2]$$

missä Q on tuotejoukon laatuominaisuuksien (keskiarvo=μ, hajonta=σ) keskimääräinen haitta-arvo ja M, D ja t kuten edellä.

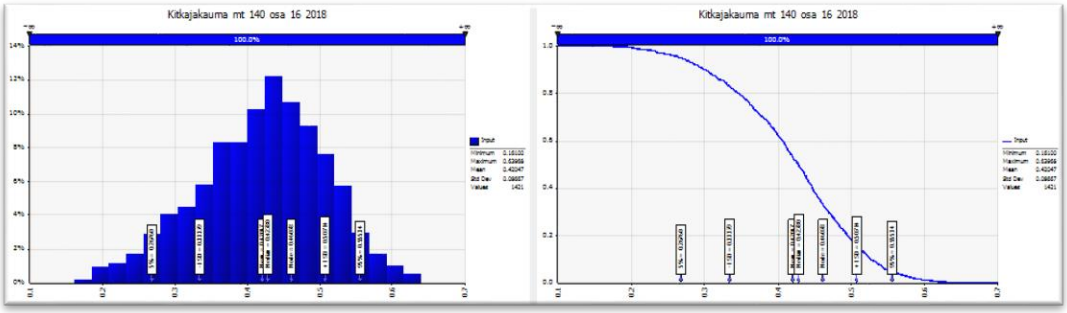
Binääriset laatuvaatimukset ohjaavat tuottajaa ainoastaan "pääsemään läpi" kun taas haittafunktio ohjaisi tuottajaa tuntemaan tavoitearvon ja vaihtelun (ja siihen vaikuttavat syyt) ja parantamaan laatua kohti tavoitearvoa vaihtelua pienentämällä.

Haitta/hävikkifunktion käytössä tarvittaisiin siis laatuvaatimuksen tavoitearvo t ja kerroin M/D.

7.3.3 Makrokarkeuden haitta-arvo

Myös uuden päällysteen laatua voidaan ajatella sen jatkuvan haittafunktion kautta. Pinnan karkeus on toisaalta hyödyllinen ominaisuus mutta toisaalta ääripäissään haitallinen. Liian alhainen makrokarkeus alentaa renkaan ja päällysteen välistä kitkaa, mikä kasvattaa onnettomuusriskiä. Lähes 20 % suistumisonnettomuuksista tapahtuu olosuhteissa, joissa keli on kuiva tai märkä [6]. Niissä voi olla syynä liian alhainen päällysteen ja renkaan välinen kitka.

Liian suuri makrokarkeus liittyy rakeisuuslajittumaan, joka nopeuttaa päällysteen purkautumista johtaen myöhemmin liian aikaiseen reikiintymiseen ja se puolestaan lisää hoitokustannuksia, aikaistaa uudelleenpäällystämistä tai sirpaloittaa päällystyshistoriaa. Sen tarkempaa haitta-arvoa on tässä vaiheessa vaikea määrittää.



Kuva 65. Kitkajakauma maantiellä 140 tieosalla 16 (Päällyste AB 16).

Makrokarkeuden haittafunktion tarkkaa muotoa tai sijaintia akselistossa ei ole perusteellisesti selvitetty, mutta sitä voidaan hahmottaa oheisen kuvan avulla (Kuva 66). Target-arvon ympärillä voisi olla vihreä alue (C), missä makrokarkeus on halutulla alueella. Ääripäissä olisi punaiset alueet (A ja E), missä päällyste ei ole lajittumien osalta hyväksyttävää. Vihreän ja punaisten alueiden välissä voisi olla siirtymäalue (B ja D), missä laatu ei ole täysin vaatimusten mukaista, mutta se on hyväksyttävissä joko sellaisenaan tai arvonmuutoksin.

Haitta-aste saa arvoja 0-1 välillä nollan lähiympäristön edustaessa toivottua aluetta ja ykkösen lähiympäristön edustaessa ei-toivottua aluetta. Haitta-aste voitaisiin liittää kertoimeksi rahamääräisiin sakko- tai bonussummiin, jolloin sillä ohjattaisiin laatua lähemmäksi tavoitealuetta (C) ja pienemällä vaihtelulla (min (A, B, D, E)).

Alueen A kohdalla haittafunktio on kitkan takia perusteltu ja sitä voidaan käyttää sellaisenaan. Alueen E osalta rakeisuuslajittumien esiintyminen eri päällystetyypeillä ja kohteilla on epäselvempi, koska päällysteiden suhteutuksissa on eroja kohdekohtaisesti.

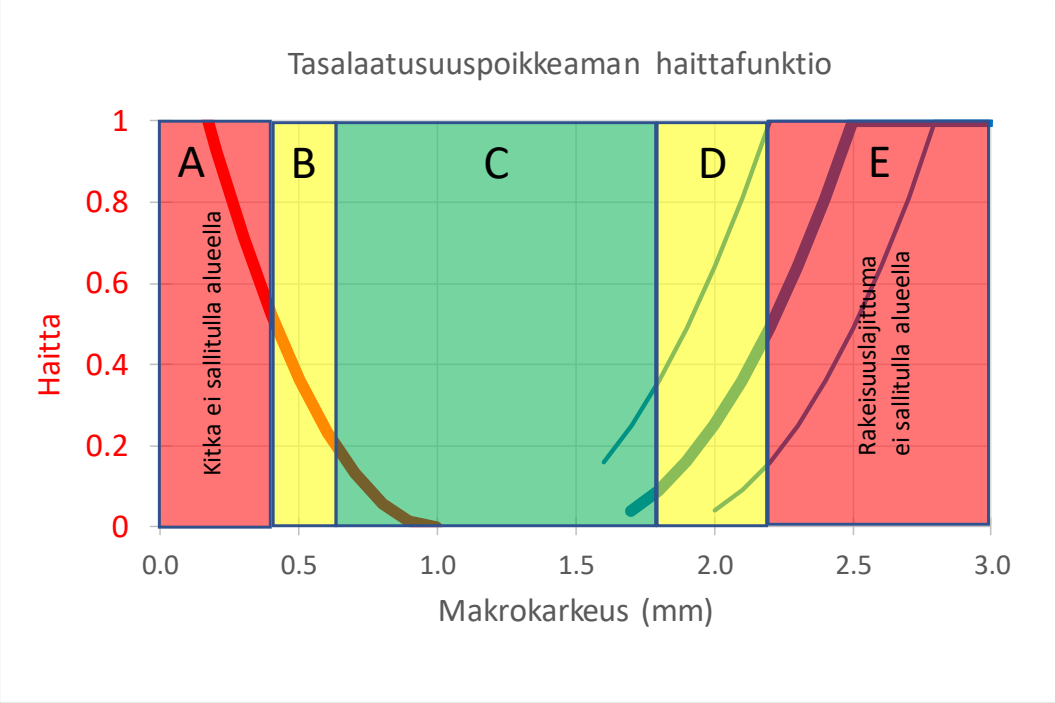
Alhaisten makrokarkeusarvojen haittafunktio lasketaan kaavalla:

$$Haitta - aste = min\left(1, maks(0{,}1.45 * (MPD - 1)^2)\right)$$

Korkeiden makrokarkeusarvojen haittafunktio lasketaan kaavalla:

$$Haitta - aste = min\left(1, maks(0{,}1.00 * (MPD - 1.5)^2)\right)$$

ja sen vaihtoehtoisia versioita on kuvassa siirretty vaakasuunnassa ±0.25 mm.



Kuva 66. Haittafunktion määräytymisen periaate.

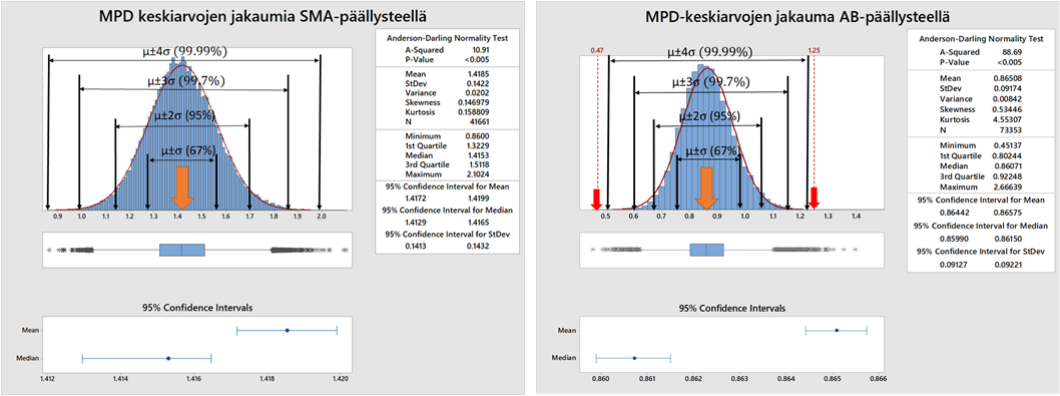
7.3.4 Makrokarkeuden vaihtelun pienentäminen

Helpoin ja yksinkertaisin vaihtoehto tasalaatuisuuden parantamiseen olisi antaa karkeuden keskiarvon olla kullakin kohteella se mikä se on ja kiinnittää huomio ainoastaan sen vaihteluun. Tällöin sovellettaisiin raja-arvoja joko yksittäisille havainnoille tai niiden hajonnalle. Eri päällystetyypeille makrokarkeudelle tulisi niille tyypillinen taso ja vaihtelu.

Tyypillinen normaalikuntoisen uuden SMA 16-päällysteen makrokarkeuden keskiarvo on oheisen kuvan esimerkissä 1,42 mm (kuva 67). Vastaavasti tyypillisen uuden AB 16-päällysteen makrokarkeuden keskiarvo on noin 0,87 mm. Mittausprosessia tarkastellaan tilastollisessa prosessinohjauksessa keskiarvolla ja sen vaihtelulla. Prosessi on vakaa, jos yksittäiset havainnot pysyvät kolmen hajonnan päässä keskiarvosta. Normaalijakaumassa noin 99.7 % havainnoista mahtuu kolmen hajonnan määräämiin rajoihin. SMA-päällysteen kohdalla tämä tarkoittaa aluetta 0,99-1,85 mm ja AB-päällysteellä aluetta 0,59-1,14 mm. Jotta päällystoiminta voisi makrokarkeuden osalta parantua, pitäisi ohjausrajoja nyt tiukentaa kolmen hajonnan rajoista lähemmäksi keskiarvoa. Tiukennukset voisivat olla uusina ohjausrajoina 2-3 hajonnan määräämien rajojen välissä.

Lisäksi tulisi asiakasvaatimusten täyttyä, mitä oheisessa kuvassa kuvaavat punaiset nuolet. Asiakasvaatimuksen alaraja (LSL Lower Specification Limit) tulee kitkavaatimuksesta, jota vastaa makrokarkeuden arvo 0,47 mm. Se on kaikille päällystetyypeille sama. Ylävaatimusraja (USL, Upper Specification Limit) tulisi

siitä rakeisuuslajittuman yläarvosta, jonka tilaaja katsoo olevan ehdoton yläraja, jotta päällyste ei lähde purkautumaan liian nopeasti. Tällaista raja-arvoa ei pystytty tämän työn puitteissa täsmällisesti määrittämään, joten se on konstruoitu LSL:n avulla hakemalla jakauman suhteen symmetrinen piste jakauman toiselta puolelta. Koska päällysteen karkeus on niin lähellä normaalijakaumaa, tällainen konstruointi tuntui sopivalta. Ylävaatimusrajoiksi saatiin siten SMA 16-päällysteelle 2,37 mm ja AB 16-päällysteelle 1,25 mm.



Kuva 67. Uuden SMA- ja AB- REM-päällysteen tyypillinen makrokarkeus-jakauma ja sen vaihtelu.

Lopulliset laatuvaatimusrajat uusille SMA 16- ja AB 16 –päällysteille ovat siten tässä esimerkissä seuraavat:

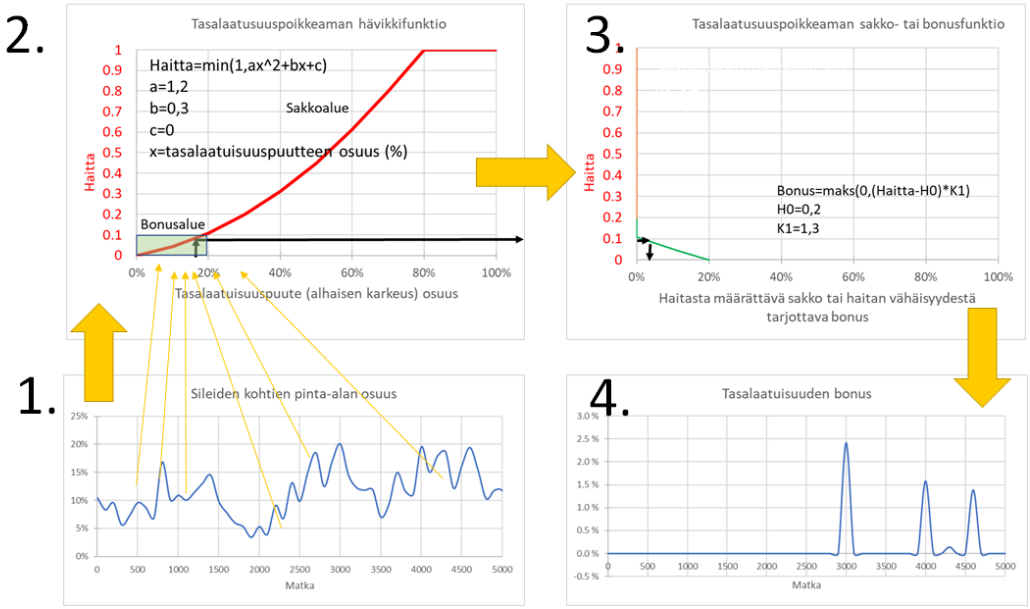
- asiakasvaatimusten perusteella makrokarkeuden alaraja on 0,47 mm, jota ei saa alittaa ja ylärajat 2,37 mm (SMA 16) ja 1,25 mm (AB 16), joita ei saa ylittää
- vaihtelua rajoittavat ohjausrajat (UCL & LCL), joiden sisällä 99,7 % makrokarkeusarvoista tulee sijaita.
    - Alaohjausrajojen tulisi sijaita SMA-päällysteellä välillä 0,99-1,14 mm ja AB-päällysteellä 0,59-0,68 mm.
        - Alaohjausrajat voisivat olla esimerkiksi (SMA) 1,07 mm ja (AB) 0,54 mm.
    - Yläohjausrajojen tulisi sijaita SMA-päällysteellä välillä 1,70-1,85 mm ja AB-päällysteellä välillä 1,05-1,14 mm.
        - Yläohjausrajat voisivat olla esimerkiksi (SMA) 1,77 mm ja (AB) 1,10 mm.
- keskiarvo voi vaihdella, mutta sen suuri vaihtelu kostautuu ohjausrajojen (UCL. LCL) tai jopa asiakasvaatimusrajojen (USL, LSL) ylityksinä

On kuitenkin muistettava, että karkeusjakaumat ovat hyvin kohdekohtaisia ja sen takia vaatimusten asettamisessa olisi kiinnitettävä huomiota päällystetyypin ja työmenetelmän tuomiin vaikutuksiin.

7.3.5 Haittafunktiosta johdettava bonus

Bonusta tasalaatuisuuden parantajana ajateltiin kokeiltavan seuraavasti:

1. Määritetään kohteelta tietyn raja-arvon alittavien kohtien pinta-alat (100 mm datasta).
2. Lasketaan saatujen osuuksien keskiarvot 100 m tulostusvälillä kullekin 100 m jaksolle. (vasen alaosa Kuva 68).
3. Kullekin 100 jaksolle määritetään haitta käyttäen kuvan vasenta yläosaa, joka kuvaa tasalaatuisuuspuutteen ja haitan välistä yhteyttä. Haitta on yleensä toisen asteen paraabelin muotoinen funktio, joka lähtee nollasta.
4. Jos tasalaatuisuuden puutteesta laskettu haitta osuu ennalta määrätylle bonusalueelle, niin haittaa vastaava bonuksen aste lasketaan suoralta, joka määrää millä alueella bonusta voidaan määrätä. Kuvan oikeasta yläosasta vihreä käyrä, missä bonus on nolla, jos haitta on 0,20 ja bonus on 20 % jos haitta on nolla.
5. Haittafunktio ja haitan ja bonuksen välinen suora määritetään koeluontoisesti päällystämisen hankinta-asiakirjojen laadinnan yhteydessä.
6. Lopullinen bonuksen euromäärä määräytyy bonuskertoimen ja kokonaisbonuksen tulona.



Kuva 68. Bonuksen laskentaehdotus tasalaatuisuudesta.

7.3.6 Haittafunktiosta johdettava sakko

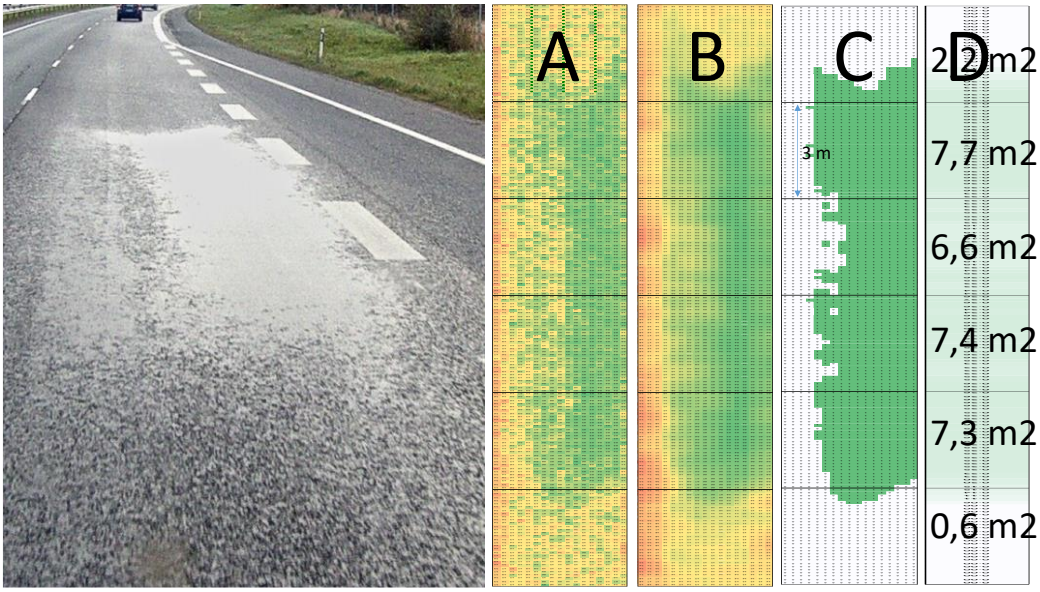
Sakko toimisi samalla tavalla mutta kolmosvaiheessa suora olisikin ylöspäin nouseva.

8 Jatkokehittäminen

8.1 Kehittämistä

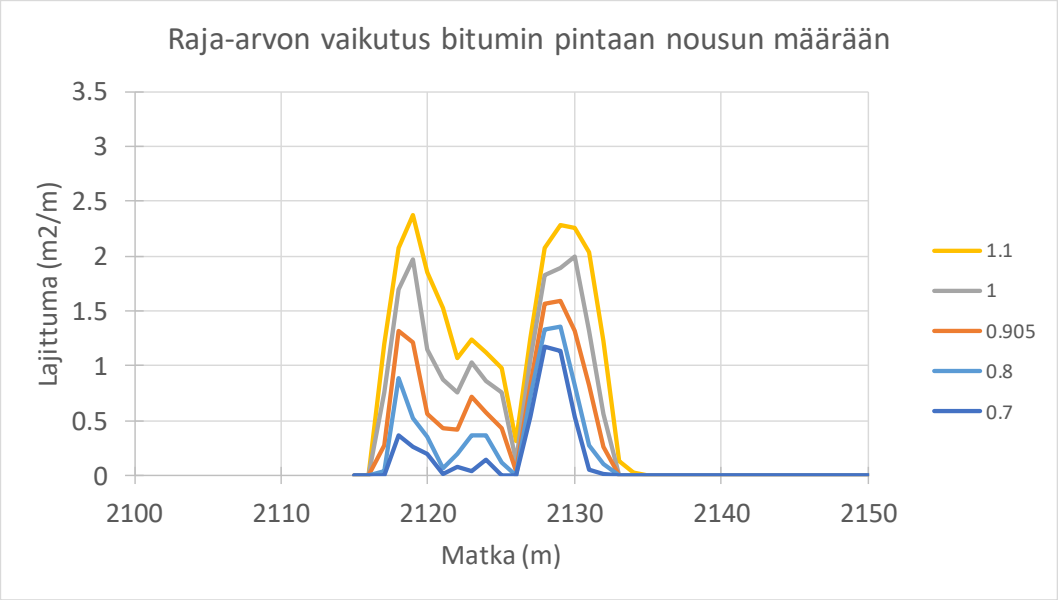
Yksittäisen laseranturin tuottama MPD-arvo ei ole sellaisenaan välttämättä lopullinen tunnusluku vaan se tulisi laskea keskiarvoistamisen ja binäärisen luokittelun kautta pinta-aloiksi.

- Lajittumakohdat ovat yleensä laikkumaisia ilmentymiä. Pistemäinen mittaushavainto on näyte kyseisestä kohdasta. Lajittumakohdissa usean vierekkäisen näytteen tulisi tuottaa samanlaista informaatiota laikkumaisen lajittuman olemassaolosta. Liukuvan 3x5-keskiarvon avulla MPD-arvoista (A) saadaan muodostettua sekä leveys- että pituussuunnassa tunnistettavia poikkeuksellisia kohtia (B). Keskiarvoistaminen leikkaa transienttipiikkejä ja sillä pyritään löytämään yhtenäisiä lajittumakohtia.
- Sen jälkeen tasoitettu informaatio (B) muunnetaan binääriseksi luokittelumuuttujaksi (C) käyttämällä sopivaa raja-arvoa. Kuvassa esimerkiksi on käytetty MPD:n raja-arvoa 0,76 mm siten, että alle raja-arvon olevat havainnot saavat arvon 1 ja muut arvon 0. Ykkösillä kuvataan nyt kohtia, joissa päällyste on sileä.
- Lopuksi lasketaan ykkösiä vastaava pinta-ala poikkisuunnassa kullekin riville ja lopputuloksena saadaan sileän päällysteen pinta-ala (D, m^2/10 cm) tai summaamalla pidemmille jaksoille (esimerkiksi m^2/3 m niin kuin kuvassa (kuva 69).
- Rakeisuuslajittumien kohdalla menetellään samoin, mutta huomio kiinnitetään päällysteen karkeisiin kohtiin.
- Laskennassa on mahdollista rajata lajittunutta aluetta poistamalla siitä yksittäisiä pieniä alueita, jos se nähdään tarpeelliseksi. Tällöin lajittuneista alueista tulee yhtenäisempiä.



Kuva 69. Bitumin pintaan nousun laskentaperiaate SMA-päällysteellä.

Raja-arvon suuruus vaikuttaa siihen miten paljon lajittunutta päällystettä havaitaan. Tämän työn pääasiallisena tarkoituksena on löytää raja-arvojen suuruus ja tuottaa niille perusteluja (kuva 70).



Kuva 70. Raja-arvon suuruus vaikuttaa lajittuman pinta-alan suuruuteen ja se tulee kalibroida päällystetyyppikohtaisesti. SMA 16 päällysteelle raja-arvo piikkiarvojen poistamisen jälkeen oli 0,76 mm (ja ilman piikkiarvojen poistamista 0,66 mm).

8.2 Pilotteja

Nyt kehitettyjä tarkastelutapoja tulee kokeilla käytännössä erilaisissa pilotti-projekteissa ja niiden avulla kannattaa hakea tuntumaa mittausten ja raja-arvojen toimivuuteen ja niiden hienovirittämiseen.

8.3 Vuoropuhelua

Kokeilujen avulla tulee lisätä vuoropuhelua eri sidosryhmien välillä. Vuoropuhelun avulla saadaan kokemusta ja palautetta mittausmenetelmän toimivuudesta ja käyttökelpoisuudesta ja sen hienovirtys voidaan tehdä ottamalla eri näkökulmia huomioon.

Lähteet

1. Pertti Virtala, Pauli Alanaatu: *SMA-päällysteen lajittumavirheen mittaaminen. Purkauma ja bitumin pintaan nousu*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2017).
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-01_paallysteen_lajittumavirheiden_web.pdf

2. *Päällysteen pintakarkeuden vaikutus tien käyttäjiin ja tienpitoon*. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 1/2010. Liikennevirasto. 2010.
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf3/lts_2010-01_paallysteiden_pintakarkeuden_web.pdf

3. Stroup – Gardiner, M., Brown E.R., "*Segregation in Hot Mix Asphalt Pavements*" National Cooperative Highway Research Program Report 441, National Center for Asphalt Technology, Auburn University, Auburn, Alabama, 2000.

4. Asfalttinormit 2017. Päällystealan neuvottelukunta PANK ry.

5. ISO 13473-1:1997: *Characterization of pavement texture by use of surface profiles — Part 1: Determination of Mean Profile Depth*.

6. Cristel Kautiala: Tietokysely iLIITU-järjestelmästä. 25.1.2019. Destia oy.

7. Päällystettyjen teiden palvelutasomittaus (PTM) 2014–2019. Sopimuksen liite 2. *PTM -muuttujien määrittelyt ja tallennus-formaatti* (26.2.2013).

8. Kevin K. McGehee, Gerardo W. Flintsch: *High Speed Texture Measurement of Pavements*. Department of Civil and Environmental Engineering. Virginia Polytechnic Institute and State University. 2003.

9. Lean Manufacturing and Six Sigma Definitions. http://leansixsigmadefinition.com/glossary/taguchi-loss-function/

10. PANK-menetelmäkuvaus 5212. *Päällysteen tasalaatuisuuden mittaus*. 2019.

11. Niko Sekki: *Päällysteen tiiviyden työnaikainen mittaaminen*. Diplomityö. Tampereen yliopisto 2019.

VÄYLÄ

ISSN 2490-0982
ISBN 978-952-317-695-9
www.vayla.fi