

MIKKO MALMIVUO

Optisten kitka- ja lämpömittarien vertailututkimus 2013



Mikko Malmivuo

Optisten kitka- ja lämpömittarien vertailututkimus 2013

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 52/2013

Liikennevirasto
Helsinki 2013

Kannen kuva: Juha-Matti Vainio (West Coast Roadmasters Oy)

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-372-0

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Mikko Malmivuo: Optisten kitka- ja lämpömittarien vertailututkimus 2013. Liikennevirasto. Helsinki 2013. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 52/2013. 37 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-372-0.

Avainsanat: keli, liikenneturvallisuus, liukkaus, kitka, lämpötila, mittauslaitteet, talvihoito

Tiivistelmä

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää optisten kitkamittarien tarkkuutta sekä toimivuutta laadunvalvonnan ohjaukseen. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin myös mittarien ilmoittamien muiden tiesäämuuttujien (kelityyppi, tien ja ilman lämpötila, kastepiste, ilman kosteus) tarkkuutta.

Tutkimuksen kohteena oli Teconer Oy:n optinen kitkamittari RCM411 ja Vaisala Oyj:n optinen kitkamittari DSP310. Mittareita verrattiin kolmeen eri jarrutuskitkamittariin, jotka olivat Eltrip-45n, μ TEC ja Gripman. Mittausten mukaan kummankin optisen mittarin tarkkuus oli kehittynyt 2 vuoden takaisista testeistä. RCM411:n kitkamittaustulosten hajonta oli selvästi pienempi kuin DSP310:llä. Toisaalta DSP310:n kitkaskaala oli jyrkempi, mikä on sinänsä tavoiteltava ominaisuus ja helpottaa kitkatasojen erotelua. Jyrkkä ja laaja kitkaskaala taas automaattisesti kasvattaa tulosten hajontaa. DSP310:n tarkkuus oli parhaimmillaan valtateillä, joilla oli vähemmän paksuja lumi- ja jääpolanteita. RCM411 taas tuntui toimivan yhtä hyvin niin isommilla kuin pienemmillä teillä.

Tutkimuksessa verrattiin myös optisten mittarien ilmoittamaa keliluokkaa mittajaan kirjaamaan keliluokkaan. Keliluokittelut näyttivät pääsääntöisesti korreloivan keskenään melko loogisesti. RCM411 luokitteli kuitenkin kelit selvästi useammin jäiseksi kuin DSP310. RCM411 päätyi jäiseen keliin yllättävän usein tilanteissa, joissa mittaja luokitteli kelin lumiseksi tai sohjoiseksi. On kuitenkin syytä muistaa, ettei kelin luokitteluksi ole olemassa objektiivista referenssimenetelmää.

Tutkimuksessa vertailtiin lisäksi mittarien ilmoittamia muita suureita (tien ja ilman lämpötila, kastepiste ja ilman kosteus) tiesääasemien mittaustuloksiin. Eniten vaihtelua syntyi verrattaessa mittarien tielämpötilan mittausta tiesääasemien mittaustuloksiin (noin $\pm 1^\circ\text{C}$), mutta on huomattava, että hyvin tarkkaan korrelaation oli vaikea päästä jo mittausteknisistä syistä: tiesääasema kertoo pistekohtaisen tilanteen, ja piste voi olla esim. linjaosuudesta poiketen varjossa tai auringossa. Liikkuvat optiset mittarit taas tarkkailevat pidempää tieosuutta. Sen sijaan DSP310:n ilman lämpötilan, kastepisteen ja ilman kosteuden mittausta oli varsin tarkkaa. RCM411 ei ilmoita lainkaan kastepistettä ja ilman kosteutta.

Mittareita testanneen mittauskonsultin mukaan optiset mittarit auttoivat havaitsemaan erityisesti mustan jään tilanteita ja mittareita voidaankin siten suositella pistokoelaudunseurannan apuvälineeksi. Laadunvalvonnan kitkamittauksen tarkkuus- ja luotettavuusvaatimukset ovat kuitenkin erittäin korkeat, koska mittauksilla todennettu laadunalitus voi olla sanktion peruste. Sen vuoksi pistokoelaudunseurannassa tulee aina jarrutuskitkamittarilla vahvistaa ne tilanteet, joissa optisten kitkamittarien perusteella voidaan epäillä, että ollaan lähellä laatuvaatimusrajaa tai sen alapuolella.

Mikko Malmivuo: Jämförande undersökning av optiska friktions- och temperaturmätare 2013. Trafikverket. Helsingfors 2013. Trafikverkets undersökningar och utredningar 52/2013. 37 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-372-0.

Nyckelord: Vägslag, trafiksäkerhet, halka, friktion, temperatur, vinterväghållning

Sammanfattning

Undersökningens mål var att utreda optiska friktionsmätarens mätnoggrannhet samt funktionalitet för styrning av kvalitetskontroll. Därtill granskades i undersökningen även mätnoggrannheten för andra vägvädersvariabler (typ av vägslag, vägens och luftens temperatur, daggpunkt, luftfuktighet) som mätarna meddelade.

Föremål för undersökningen var Teconer Oy:s optiska friktionsmätare RCM411 och Vaisala Oyj:s friktionsmätare DSP310. Mätarna jämfördes med tre olika bromsfriktionsmätare, som var Eltrip-45, μ TEC och Gripman. Enligt mätningarna hade båda mätarnas mätnoggrannhet utvecklats sedan tester för två sedan. RCM411:s friktionsmätresultat hade tydligt mindre spridning än DSP310. Å andra sidan var DSP310:s friktionsskala brantare, vilket i sig är en åtråvärd egenskap och underlättar jämförande av friktionsnivåer. En brant och bred friktionsskala orsakar däremot automatiskt resultatsspridning. DSP310:s mätnoggrannhet var som bäst på riksvägar, som har mindre av spår med tjock snö och is. RCM411 verkade däremot fungera lika bra på såväl stora som på mindre vägar.

I undersökningen jämfördes även den väglagsklass som de optiska mätarna meddelade med den väglagsklass som mätpersonen antecknat. Väglagsklasserna verkade huvudsakligen korrelera ganska logiskt sinsemellan. RCM411 meddelade överraskande ofta isigt vägslag i situationer som mätaren klassificerat som snö eller slask. Det är dock skäl att komma ihåg att det inte finns något objektivt referenssystem för klassificering av vägslag.

I undersökningen jämförde man därtill andra storheter som mätaren meddelade (väg- och lufttemperatur, daggpunkt och luftfuktighet) med vägväderstationernas mätresultat. Störst variation framkom vid jämförelse av mätarnas och vägväderstationernas mätresultat för vägtemperaturen (cirka $\pm 1^\circ\text{C}$), men det är svårt att uppnå mycket noggrann korrelation redan på grund av mättekniska skäl: vägväderstationen berättar den punktbestämda situationen, och punkten kan t.ex. befinna sig avvikande från hela sträckan i skugga eller sol. Rörliga optiska mätare observerar i sin tur en längre vägsträcka. Däremot var DSP310:s mätning av lufttemperatur, daggpunkt och luftfuktighet mycket noggrann. RCM411 meddelar inte alls daggpunkt eller luftfuktighet.

Enligt mätkonsulten som testade mätarna hjälpte de optiska mätarna särskilt att upptäcka situationer med svart is och mätarna kan således rekommenderas som hjälpmedel för kvalitetsuppföljning med stickprov. Mätnoggrannhets- och reliabilitetskraven för kvalitetskontroll av friktionsmätning är dock mycket höga, då kvalitetsbrister som verifierats i mätningar kan utgöra grund för sanktion. Därför bör man alltid med bromsfriktionsmätare bekräfta de situationer, där det enligt optiska friktionsmätare finns skäl att misstänka att man är nära kvalitetsgränsen eller under den.

Mikko Malmivuo: Comparison study of optical friction and temperature meters. Finnish Transport Agency. Helsinki 2013. Research reports of the Finnish Transport Agency 52/2013. 37 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-372-0.

Keywords: Road weather, traffic safety, slipperiness, friction, temperature, winter maintenance

Summary

The aim of the study was to assess the accuracy and functionality of optical friction meters as a support tool for winter maintenance quality control. Additionally, the study analyzed the accuracy of other road weather variables (road weather type, road and air temperature, dew point, air humidity) registered by the meters.

The objects of the study were the optical friction meter RCM411 by Teconer Ltd and the optical friction meter DSP310 by Vaisala. The optical meters were compared to three different braking friction meters: Eltrip-45n, μ TEC and Gripman. The measurements showed that the accuracy of the optical meters has improved since tests conducted 2 years earlier. RCM411 had a markedly narrower dispersion of the friction results than DSP310. On the other hand, the friction profile of DSP310 was steeper, which is a desirable feature and helps the separation of different friction levels. Moreover, the steep and wide friction scale of DSP310 automatically increases the dispersion of the DSP310 results. DSP310 was more accurate on highways, where thick snow or ice layers occur less frequently, than on minor roads. In contrast, RCM411 appeared to work equally well on minor roads and on highways.

The study also compared road weather classes reported by the optical meters to the class registered by the measurer. As a rule, the classifications showed a rather logical correlation. RCM411 reported icy conditions more often than DSP310. RCM411 reported ice quite often in situations where the measurer registered snow or slush conditions. However, it should be noted that no objective reference method exists for road condition classification.

Additionally, the study compared the other road weather variables (road and air temperature, dew point, air humidity) reported by the optical meters to measurements conducted by road weather stations. The most significant differences could be found in road surface temperatures (about $\pm 1^\circ\text{C}$). However, it should be noted that a road weather station reports the temperature of only one spot, which may be in the sun or in the shadow regardless of the road section around. Optical meters, on the other hand, always analyze longer road sections. The air temperature, dew point and humidity measurements conducted with DSP310 appeared quite accurate. RCM411 does not register dew point and humidity at all.

According to the tester, the optical meters helped to observe especially black ice situations, and therefore the meters can be recommended as a support tool for winter maintenance quality control. However, the accuracy demands for winter maintenance quality control are extremely high, since measured friction levels can be used as a basis for sanctions. Therefore braking friction meters should always be used to verify optical measurements in situations where optical devices indicate friction near or below friction demands.

Esipuhe

Mobiileja optisia kitkamittareita on kehitetty Suomessa viime vuosina kahden kotimaisen yrityksen; Vaisala Oyj:n ja Teconer Oy:n toimesta. Liikennevirasto testasi näiden yritysten valmistamia mobiileja optisia kitkamittareita ensimmäisen kerran kevättalvella 2011, mutta mittarien kehityksen ja niihin kohdistuneen kasvavan kiinnostuksen vuoksi haluttiin mittareita tarkastella entistä syvällisemmin kevättalvella 2013. Samassa yhteydessä testattiin nyt myös mobiilia optista tien pinnan lämpötilamittausta.

Tutkimuksen johtoryhmään kuuluivat yksikön päällikkö Tuovi Päiviö (pj) ja hankinnan asiantuntija Heikki Lappalainen Liikennevirastosta sekä yksikön päällikkö Yrjö Pilli-Sihvola Kaakkois-Suomen ELY-keskuksesta. Tutkimuksen on tehnyt DI Mikko Malmivuo Innomikko Oy:stä. Tutkimuksen mittauksista vastasi Juha-Matti Vainio West Coast Roadmasters Oy:stä.

Tutkimuksen aikana pidettiin myös tiiviisti yhteyttä mittarivalmistajien edustajiin, tekniikan tohtori Taisto Haavasojaan (Teconer Oy) ja liiketoiminnan kehityspäällikkö Kimmo Kynnökseen (Vaisala Oyj).

Helsingissä marraskuussa 2013

Liikennevirasto
Kunnossapito

Sisällysluettelo

1	TAUSTA JA TAVOITE	8
1.1	Tausta	8
1.2	Tavoite	8
2	VERTAILUN LAITTEET	9
2.1	Optiset kitkamittarit	9
2.2	Jarrutuskitkamittarit	11
3	VERTAILUN SUORITUS	12
4	TULOKSET	14
4.1	Kitkanmittaustulosten hajonta	14
4.1.1	RCM411	16
4.1.2	DSP310	18
4.2	Optisten mittarien kitkaskaalan ja hajonnan tarkastelua	21
4.2.1	RCM411	21
4.2.2	DSP310	24
4.3	Juoksevan mittaridatan tarkastelua	26
4.4	Muiden muuttujien tarkastelu	28
4.4.1	Kelitieto	28
4.4.2	Tien pinnan lämpötila	29
4.4.3	Ilman lämpötila	31
4.4.4	Kastepiste	31
4.4.5	Ilman kosteus	32
4.4.6	Yhteenveto tiesäämuuttujista	33
5	MITTAAJAN KOKEMUKSET OPTISISTA MITTAREISTA	34
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	35
	LÄHTEET	37

1 Tausta ja tavoite

1.1 Tausta

Vuonna 2011 suoritettiin Liikenneviraston rahoituksella laajahko kitkamittareiden vertailututkimus, jossa testattiin kahta optista kotimaista kitkamittaria, Teconer Oy:n RCM411 ja Vaisalan DSC111. Tällöin vertailun perusteella todettiin, että RCM411 soveltuu jo melko hyvin talvihoidon ohjaukseen, mutta ei vielä talvihoidon laadunvalvontaan. DSC111:n mobiiliversioon kehitystyö vaikutti vielä osin keskeneräiseltä.

Kyseisten testien jälkeen sekä Teconer että Vaisala ovat kehittäneet mobiilia optista kitkanmittausta edelleen. Kummatkin yritykset ovat raportoineet mittarien kehityksestä tarkkuudesta. Liikennevirasto on lisäksi saanut ulkomailta lukuisia kyselyjä erityisesti RCM411:n liittyen, mikä on lisännyt painetta siihen, että Liikenneviraston tuella testattaisiin vielä uudestaan RCM411:tä.

Keväällä 2012 käynnistettiin täysin erillinen ns. FCD-kelipilottihanke, jossa kerätään liukkaustietoa uudella tavalla. Tämän hankkeen yhteydessä kerättiin alkuvuonna 2013 vertailutietoa liukkaudesta jarrutuskitkamittareilla. Kun nyt näiden mittauksen yhteydessä kerättiin dataa myös optisella kitkamittarilla, voitiin suorittaa uusi jarrutuskitkamittarien ja optisten kitkamittarien vertailu varsin kohtuullisin kustannuksin.

Optisten kitkamittareiden ohella sekä Teconer Oy että Vaisala ovat kehittäneet optista lämpötilanmittausta. Optinen lämpötilanmittaus sisältyy Vaisalan uuteen DSP310-laitteeseen. Teconer myy RCM411:n ohessa optista lämpömittaria RTS411. Optinen jatkuva lämpötilanmittaus antaa toimiessaan merkittävää lisätietoa tien olosuhteista. Luonnollisin tapa optisten lämpömittarien testaamiseen on verrata mittarien näyttämiä arvoja tiesääasemien mittaamiin arvoihin silloin, kun mittausautot ovat tiesääaseman kohdalla. Koska optisten mittarien testaaminen ei tuonut merkittäviä lisäkustannuksia testiin, päätettiin myös lämpömittaritestit sisällyttää tutkimukseen.

1.2 Tavoite

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää

- mikä on optisen kitkanmittaus tarkkuus tällä hetkellä, paljonko optinen kitkanmittaus vielä eroaa jarrutuskitkamittauksesta
- onko optinen kitkanmittaus jo kehittynyt sellaiselle tasolle, että sen perusteella optista kitkanmittausta voitaisiin käyttää talvihoidon laadunohjauksen ohella myös laadunvalvonnan ohjaukseen.

Optisen tielämpötilanmittauksen osalta selvitetään:

- miten paljon lisäarvoa optinen tielämpötilanmittaus tuo kitkanmittaukseen
- miten optinen tielämpötilanmittaus eroaa tiesääasemien tienpinnan lämpötilanmittauksesta.

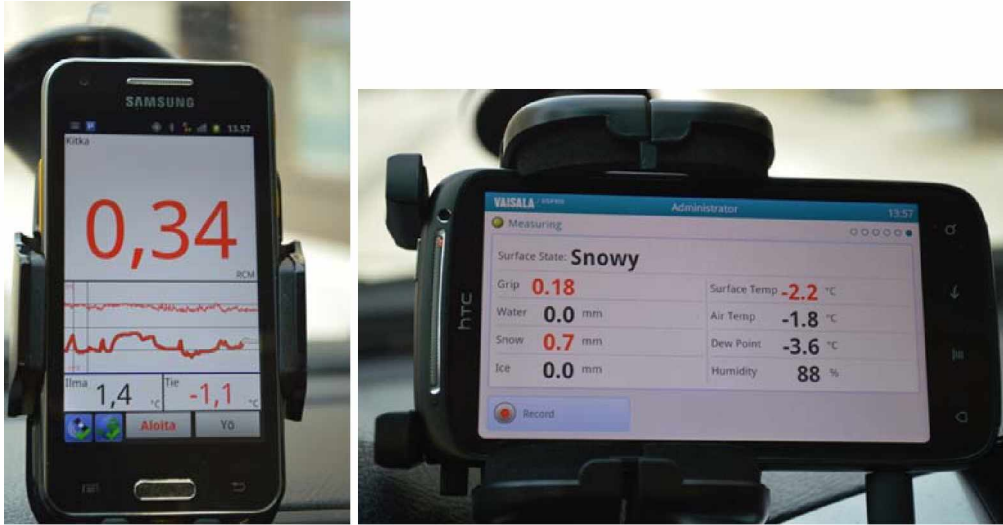
2 Vertailun laitteet

2.1 Optiset kitkamittarit

Tutkimuksen kohteina oli kaksi optista kitkamittaria, Vaisala Oyj:n DSP310 ja Tecner Oy:n RCM411. Mittauksen pääperiaate, eli tienpinnasta heijastuvan valon analysointi, on kummassakin mittarissa sama, mutta muuten mittarit eroavat toisistaan merkittävästi. Kuvassa 1 on havainnollistettu mittarien kiinnitystapaa autoon. Kummankin mittarin reaaliaikaisena näyttönä käytetään matkapuhelimen näyttöä (kuva 2). RCM411:n ja DSP310:n eroja ja yhtäläisyyksiä on tarkasteltu taulukossa 1.



*Kuva 1. Optinen kitkamittari DSP310 (ylemmän ympyrän sisällä) tarkkailee tien pintaa etäämmältä, joten kyseinen mittari kiinnitetään ajoneuvon katto-
telineille. Optinen kitkamittari RCM411 (alemmän ympyrän sisällä) tarkkailee tien pintaa lähempää, joten se kiinnitetään ajoneuvon perä-
koukkuun. Kummatkin mittarit on kohdistettu ajoneuvon vasemmanpuoleiseen pyöränuraan.*



Kuva 2. Sekä RCM411:n (vasemmalla) että DSP310:n (oikealla) käyttöliittymänä toimii matkapuhelin.

Taulukko 1. RCM411:n ja DSP310:n eroja ja yhtäläisyyksiä

	RCM411	DSP310
Optisen mittauksen teknologia	Diodi	Laser
Kiinnitys	Auton peräkoukkuun tai erilliseen takaluukun oven väliin asennettavaan kiinnittimeen	Auton kattotelineille. Kosteus- ja lämpötila-anturit auton eteen hinausjoukkoon.
Asento ja kalibrointi	Asennettava tietyllä etäisyydellä tiestä ja tiettyyn kulmaan, jonka jälkeen heti valmis käytettäväksi	Etäisyys tiestä ja kulma ei ole niin tarkka, mutta kalibroitava paljaalla asfaltilla
Optiikan lämmitys kuuraantumisen estämiseksi	Ei mukana perusversiossa, saatavana optiona	Kyllä
Virran syöttö	Johdolla perävaunupistokkeesta tai tupakansytyttimestä	Johdolla tupakansytyttimestä
Datan siirto	Langattomasti mittarilta auton sisällä olevaan kännykkään.	Johdolla auton sisällä olevaan keskusyksikköön, mistä langattomasti edelleen auton sisällä olevaan kännykkään.
Näytteenottoväli datassa	1 sekunti	3 sekuntia
Kitkan mittaus	Optinen kitkanmittaus. Lisäksi samassa datassa μ TEC-kitkasmittausarvot, mikäli käytössä myös μ TEC-kitkanmittaus	Optinen kitkanmittaus.
Kelin tunnistus	Kyllä (kuiva, kostea, märkä, loska, jäinen sekä luminen tai kuurainen)	Kyllä (kuiva, kostea, märkä, luminen, jäinen ja loskainen)
Tienpinnassa olevan ainekerroksen paksuus	Yksi muuttuja kerospaksuudelle	3 erillistä muuttujaa, jotka kertovat veden, lumen ja jään paksuuden tien pinnalla
Ilman lämpötila	Jos on hankittu erikseen optinen lämpömittari RTS411, ilman lämpötila samassa datassa.	Kyllä
Tien pinnan lämpötila	Jos on hankittu erikseen optinen lämpömittari RTS411, tien pinnan lämpötila samassa datassa.	Kyllä, optisesti.
Kastepiste	Ei	Kyllä
Ilman kosteus	Ei	Kyllä
GPS-koordinaatit, korkeus merenpinnasta	Kyllä, käyttää puhelimen GPS:ää	Kyllä, käyttää puhelimen GPS:ää
Nopeus, suunta ja matkan mittaus	Kyllä, GPS:n perusteella	Kokonaismatka erillisessä mittausraportissa
Hinta	RCM411 \approx 5500 €, RTS411 \approx 1000 €, μ TEC \approx 500 €	\approx 10 000 €

2.2 Jarrutuskitkamittarit

Mittauksen referenssilaitteina käytettiin kolmea erilaista Liikenneviraston hyväksymää jarrutuskitkamittaria. Jarrutuskitkamittauksessa autoa jarrutetaan voimakkaasti noin 60 km/h nopeudessa. Tällöin jarrutuskitkamittari laskee mittaamansa hidastuvuuden perusteella ajoneuvon ja tienpinnan välisen kitkakertoimen. Tutkimuksessa käytetyt jarrutuskitkamittarit olivat:

- Eltrip-45n, joka laskee hidastuvuuden renkaiden pyörimisnopeuden muutoksen perusteella, kun pyörimisnopeutta tarkastellaan ennen ja jälkeen jarrutuksen. Testissä mittari oli kalibroitu Liikenneviraston ohjeen mukaisesti siten, että mittari näytti arvoa 0.29 lumipolanteella -5 °C lämpötilassa.
- Gripman, joka laskee hidastuvuuden mittarin sisäisen kiihtyvyyssanturin perusteella.
- μ TEC, joka on itse asiassa kitkamittausohjelmisto, jota käytetään kiihtyvyyssanturilla varustettujen matkapuhelimien kanssa. Myös μ TEC laskee hidastuvuuden mittarin sisäisen kiihtyvyyssanturin perusteella.

Sekä Gripmania että μ TEC:iä käytettiin kokeessa kalibrointikertoimella 1, jolloin mittarin kitkaskaala oli lähempänä ns. fysikaalista kitkaskaalaa kuin Liikenneviraston skaalaa (kuva 3). Laajempaa kitkaskaalaa käyttämällä saatiin mittareille parempi erottelukyky. Molempien optisten mittarien kitkaskaala on myös laajempi kuin Liikenneviraston virallinen kitkaskaala.

Liikenneviraston sisäisessä tutkimuksessa "Kitkamittarien lisätetit Nokiolla 7.-9.3.2012" havaittiin Vbox-laitteella tehtyjen mittausten perusteella, että liikenneviraston kitkaskaalan arvoa 0.29 vastaa fysikaalisen kitkaskaalan arvo 0.37. Tämän tutkimuksen aineistolla μ TECin ja Gripmanin tulokset skaalattiin vastaamaan fysikaalista kitkaa. μ TEC:in osalta skaalaus suoritettiin jälkikalibrointina kertoimella 0.808 ja Gripman kertoimella 0.825. Jäljessä vertailut Eltrippiin on siis tehty Liikenneviraston kitkaskaalalla ja vertailut μ TEC:tiin ja Gripmaniin ns. fysikaalisella kitkaskaalalla.

LIIKENNEVIRASTON KITKASKAALA

- Suppeampi skaala
- Kitkamittari skaalataan näyttämään arvoa 0.29 lumipolanteella -5°C lämpötilassa
- Skaalaus päätettiin 1980-luvulla, jolloin referenssilaitteena pidettiin Ilmailulaitoksen BV11-kitkamittaria

FYSIKAALINEN KITKASKAALA

- Laajempi skaala
- Liikenneviraston skaalan arvoa 0.29 vastaa arvo 0.37
- Skaalaus perustuu kitkan fysikaaliseen kaavaan:

$$\frac{1}{2} m (v_0)^2 - \frac{1}{2} m (v)^2 = \mu m g L$$

missä:

- m = ajoneuvon massa
- v_0 = jarrutusmatkan mittauksen lähtönopeus
- v = jarrutusmatkan mittauksen loppunopeus
- μ = kitkakerroin
- g = maan vetovoiman kiihtyvyys, eli 9,82 m/s²
- L = jarrutusmatka

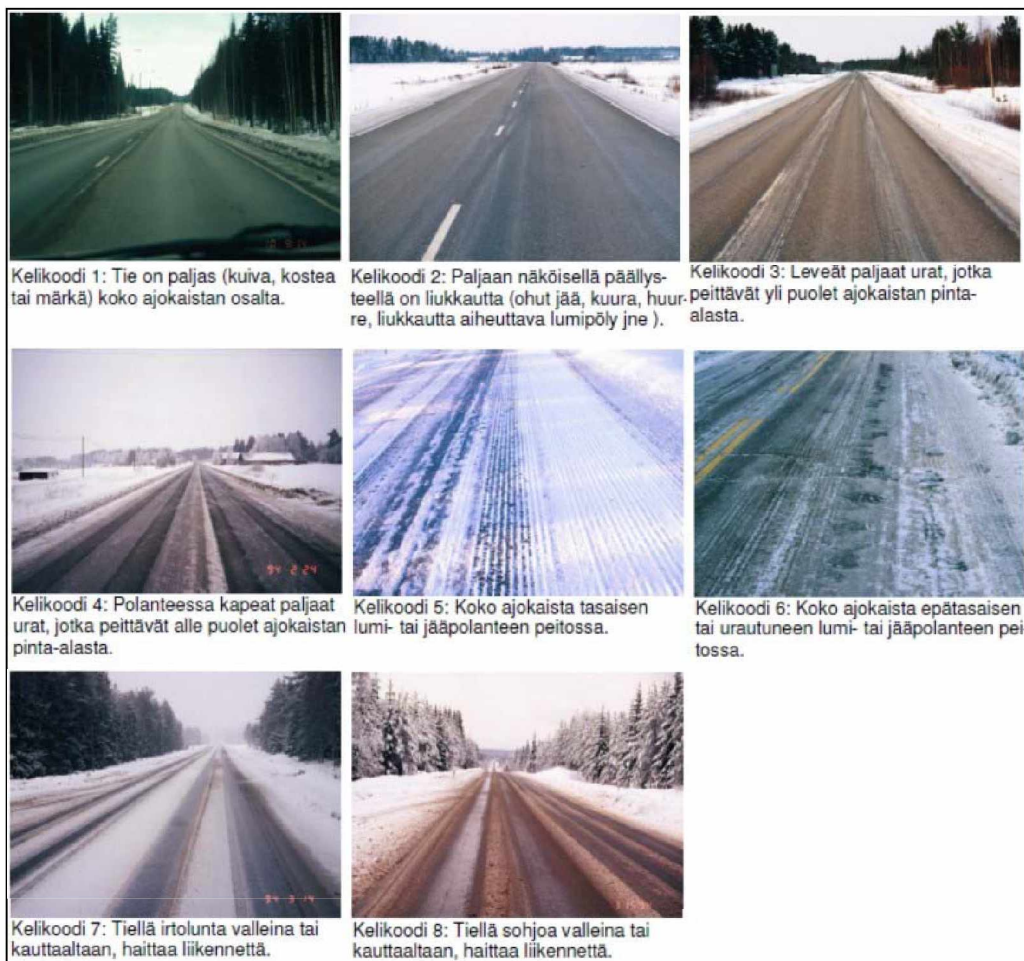
$$\Rightarrow \mu = ((v_0)^2 - (v)^2) / 2 g L$$

Kuva 3. Liikenneviraston kitkaskaala ja fysikaalinen kitkaskaala

3 Vertailun suoritus

Vertailua suoritettiin erityyppisellä tiestöllä pääosin Etelä-Suomen alueella. Suurin osa mittauksista suoritettiin 1-ajorataisilla valtateilla. Yhteensä mittauksia tehtiin yli 2500 kilometrin matkalla niin, että jarrutuskitkamittauksia kertyi yli 700 kappaletta.

Mittauksen yhteydessä kirjattiin ylös myös Liikenneviraston talvihoidon keskitetyn laadunseurannan ohjeiston mukainen kelikoodi (kuva 4). Kyseistä luokittelua oli mielekästä käyttää, koska tutkimuksen mittaaja (Juha-Matti Vainio) oli käyttänyt luokittelua vuosia ja siten menettely oli hänelle hyvin luontevaa.



Kuva 4. Talvihoidon keskitetyn laadunseurannan ohjeiston mukainen keliluokittelu

Koska maantiellä tapahtuvissa mittauksissa keli ja liukkaus voi vaihdella lyhyellä matkalla paljonkin, oli ensiarvoisen tärkeää, että sekä tutkittavat mittarit (optiset mittarit) että referenssimittarit (jarrutuskitkamittarit) mittasivat samaa tien kohtaa. Tutkimuksessa päädyttiin ns. ajalliseen kohdistamiseen, mikä perustui siihen, että μ TEC jarrutuskitkamittaus rekisteröi mittauksen ajanhetken automaattisesti ja tämän kellonajan perusteella haettiin vastaavat optisen mittauksen kellonajat ja tulokset. Eltripin ja Gripmanin dataan ajanhetki lyötiin manuaalisesti, mutta myös nämä tulokset oli helppo kohdistaa samaan aikakoordinaatistoon muiden tulosten kanssa. Jokaisen

mittauspäivän alussa tarkistettiin se, että kaikkien mittalaitteiden kellot olivat samassa ajassa.

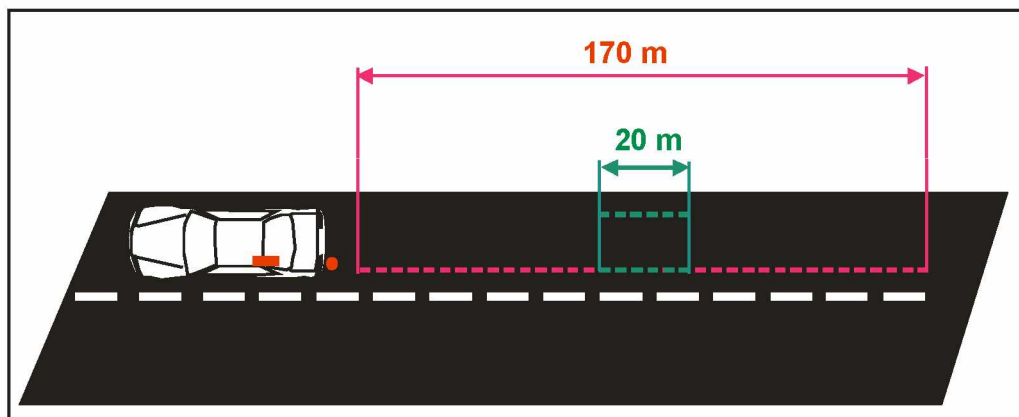
Jäljessä esitetyissä analyyseissä on verrattu optisen mittarin ilmoittamaa kitkaa jarrutusmittauksiin siten, että optisen mittarin kitka on aina ollut ± 5 sekunnin keskiarvo jarrutuskitkamittauksen ajanhetkeen nähden. Valittuun aikaikkunaan vaikutti kaksi syytä, koska

- aivan tarkka kohdistus on mahdotonta, haluttiin valita sen verran suuri aikaikkuna, että jarrutuskitkamittaus on suurella varmuudella aikaikkunan sisällä
- DSP:n näytteenottotaajuus on 3 sekuntia, ei ainakaan tätä pienempi aikaikkuna olisi ollut mielekäs.

Käytännössä laitteiden mittaama tienkohta ei ole siis tarkasti sama tienkohta, koska:

- optisten mittarien mittaama alue on 60 km/h mittausnopeudessa 170 metriä ja jarrutuskitkamittarien mittaama alue 20 metriä
- optiset mittarit tarkastelevat vain vasenta pyöränuraa, mutta jarrutuskitkamittarit nelipyöräjarrutuksessa kumpaakin pyöränuraa.

Mittausten eroja on havainnollistettu kuvassa 5.



Kuva 5. Optisten kitkamittarien mittaama alue (punainen katkoviiva) ja jarrutuskitkamittarien mittaama alue (vihreät katkoviivat) tutkimuksessa.

Optiset mittarit ovat jatkuvassa kehitystilassa. RCM411-mittarin kehittäjä (Taisto Haavasoja) teki kokeilun aikana mittarille uuden algoritmin. Algoritmia oli mahdollista soveltaa vanhoihin RCM411 mittaustuloksiin siten, että tämän tutkimuksen tekijä ajoi vanhat datat Haavasojan antaman Excel-ohjelman avulla niin, että ohjelma laski uudet kitka-arvot mitattujen parametrien perusteella. Koska uuden algoritmin mukaiset tulokset olivat parempia kuin vanhalla algoritmilla saavutetut, on raportissa kuvattut RCM411 tulokset laskettu uudella algoritmilla.

4 Tulokset

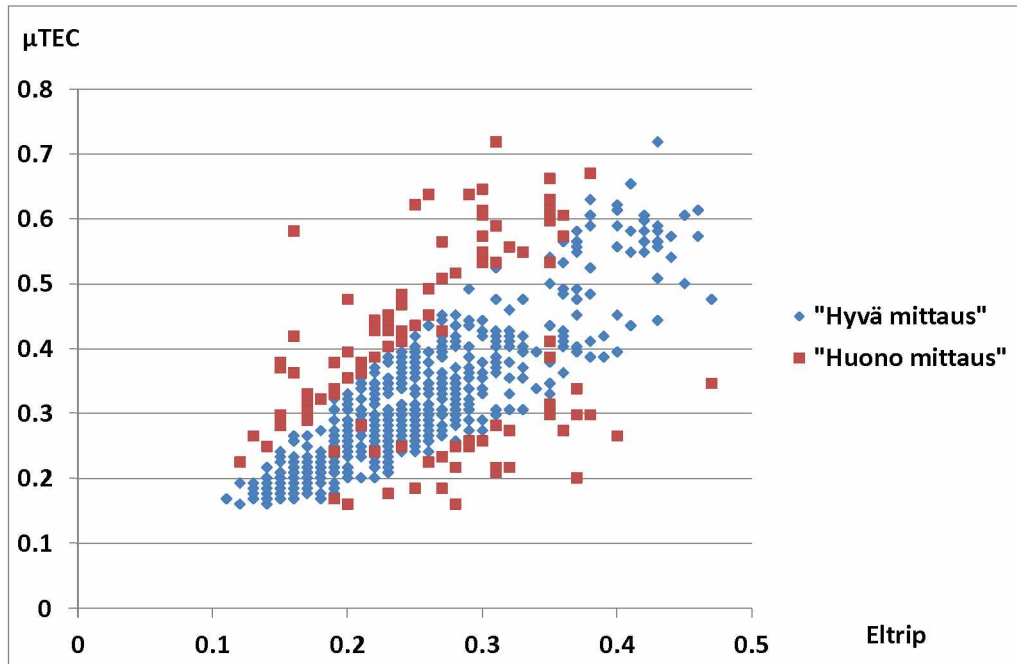
4.1 Kitkanmittaustulosten hajonta

Mittauksia analysoitaessa osoittautui, että suurimmat poikkeamat optisten ja jarrutuskitkamittarien välillä syntyivät tilanteissa, joissa myös jarrutuskitkamittarien keskinäinen hajonta oli suurinta. Jarrutuskitkamittarien suuri hajonta johtuu todennäköisimmin olosuhteista, joissa kitka on merkittävästi vaihdellut jarrutuksen aikana, sillä jarrutuskitkamittarit tarkastelevat hieman eri kohtia jarrutuksesta. Lisäksi on mahdollista että mittaus sinänsä on epäonnistunut liikennetilanteen (suuri osa mittauksista vilkasliikenteisillä väylillä) yms. johdosta.

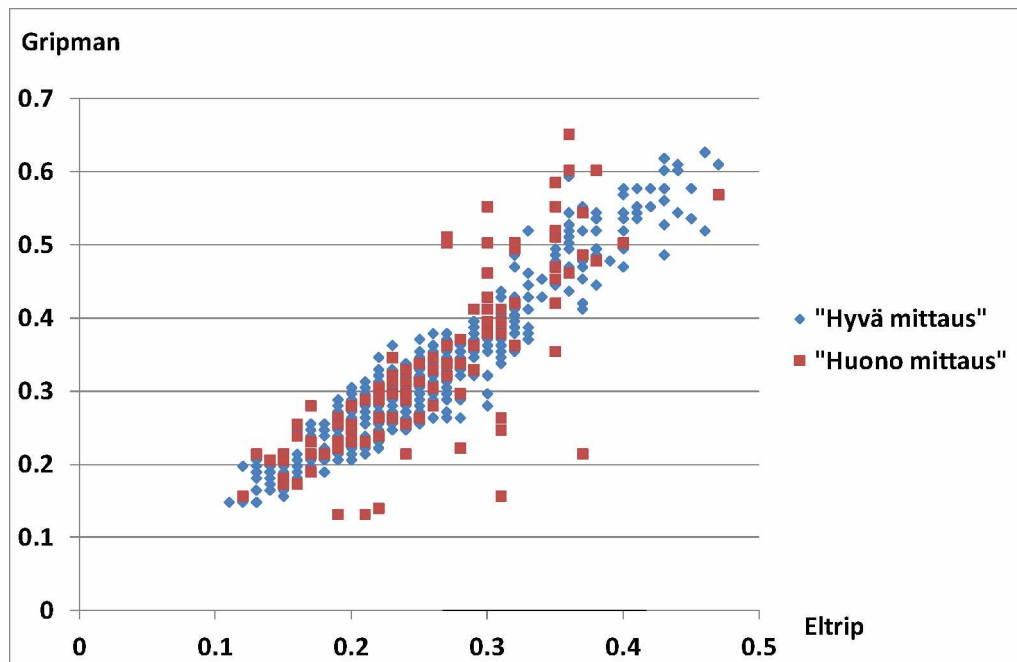
Vertailun luotettavuuden parantamiseksi keskenään poikkeavimmat jarrutuskitkamittaukset karsittiin aineistosta pois seuraavasti:

- Fysikaalisen kitkaskaalan mukaiset μ TEC-arvot olivat keskimäärin luokkaa $1.28 \cdot \text{Eltrip}$, ja mukaan otettiin vain ne mittaukset, jotka poikkesivat tästä alle $\pm 30\%$.
- Myös fysikaalisen kitkaskaalan mukaiset Gripman-arvot olivat keskimäärin luokkaa $1.28 \cdot \text{Eltrip}$, ja mukaan otettiin vain ne mittaukset, jotka poikkesivat tästä alle $\pm 30\%$.
- Mittausten tuli täyttää kumpikin ehto, eli myös sellaiset mittaukset poistettiin, jotka täyttivät toisen ehdon, mutta eivät toista.

Kuvissa 6 ja 7 on kuvattu jarrutuskitkamittarien alkuperäistä hajontaa (kaikki pisteet) sekä mukaan otettujen mittausten hajontaa (siniset pisteet). μ TEC:in ja Eltripin keskinäinen hajonta on jossain määrin odotettua suurempi ja suurempi kuin aikaisemmissa vastaavissa tutkimuksissa. Lienee syytä korostaa, että syy siihen, miksi esim. kuvassa 7 on ns. "huonoja mittauksia" korrelaation kannalta hyvissä pisteissä on se, että kyseisessä pisteessä μ TEC-mittaus on rankattu huonoksi (hyvä mittaus tarkoittaa, että kaikki 3 mittaria antavat keskenään sopusoinnussa olevia tuloksia).



Kuva 6. Kahden jarrutuskitkamittarin, μTEC :in ja Eltripin tulosten keskinäinen hajonta. "Hyvä mittaus" tarkoittaa tilannetta, jossa kaikki kolme jarrutuskitkamittaria (μTEC , Gripman ja Eltrip) näyttivät keskenään yhdenmukaisempia tuloksia. Jäljessä optisten mittareiden tuloksia on verrattu vain niihin jarrutuskitkanmittaustuloksiin, jotka ovat saaneet statuksen "hyvä mittaus".



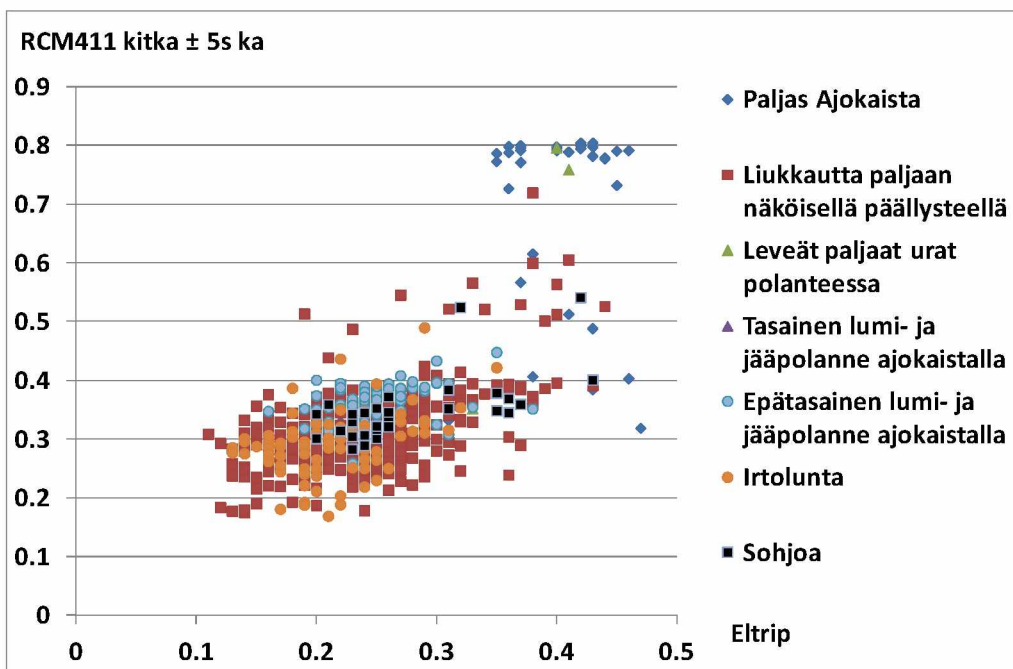
Kuva 7. Kahden jarrutuskitkamittarin, Gripmanin ja Eltripin tulosten keskinäinen hajonta. "Hyvä mittaus" tarkoittaa tilannetta, jossa kaikki kolme jarrutuskitkamittaria (μTEC , Gripman ja Eltrip) näyttivät keskenään yhdenmukaisempia tuloksia. Jäljessä optisten mittareiden tuloksia on verrattu vain niihin jarrutuskitkanmittaustuloksiin, jotka ovat saaneet statuksen "hyvä mittaus".

4.1.1 RCM411

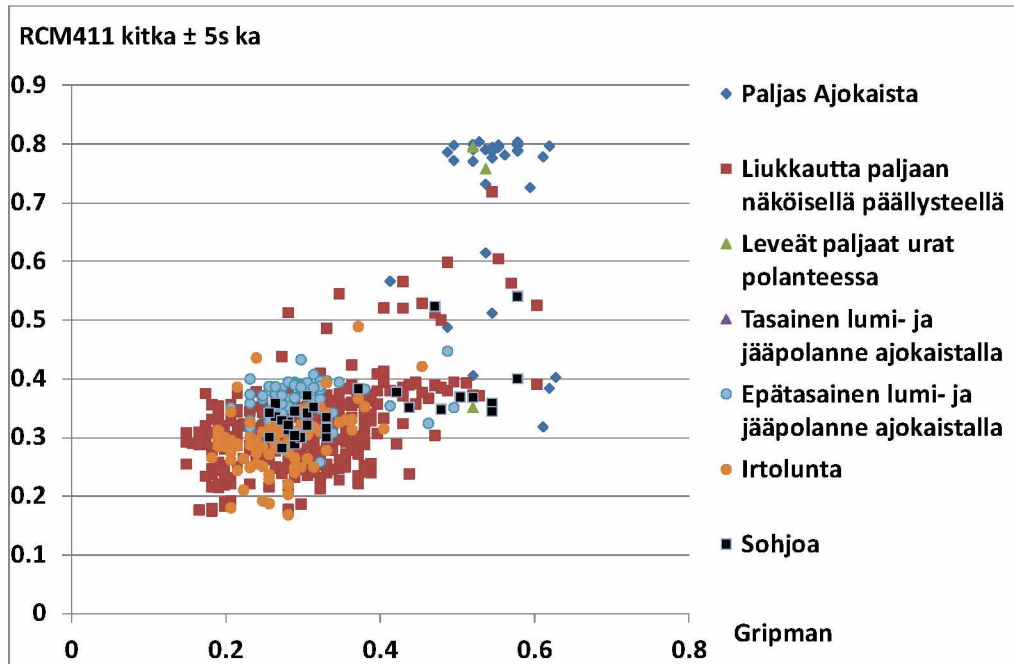
Jäljessä esitetyt hajontakuvat on laadittu vertailemalla optisten mittarien kitkatuloksia jarrutuskitkamittausten tuloksiin (kuvat 8–10). Kuvissa on esitetty myös mittauksen aikana kuljettajan toimesta kirjattu kelikoodi.

Kun RCM411:ä verrattiin eri jarrutuskitkamittareihin, se vaikutti parhaimmin korreloivan μTEC :in kanssa (kuva 9), joskin erot eri jarrutuskitkamittareiden suhteen eivät olleet suuria.

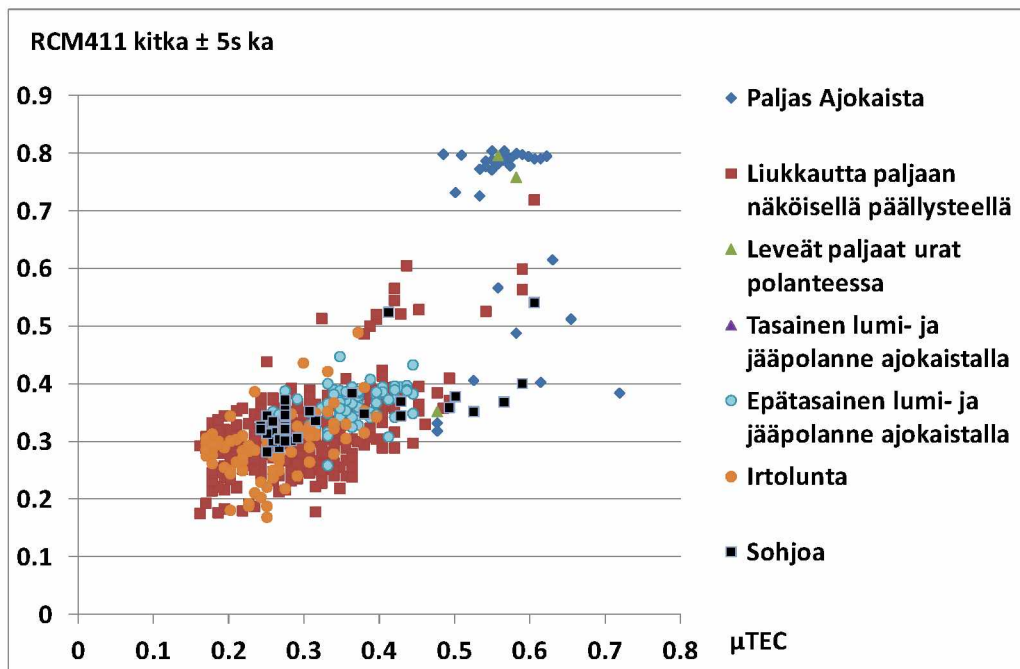
RCM411:n ja μTEC :in välisen kolleraatiosuoran kaava on $\text{RCM411} = 1.02 * \mu\text{TEC}$, eli RCM411 noudattaa varsin tarkkaan fysikaalista kitkaskaalaa.



Kuva 8. RCM411:n ja Eltripin kitkatulosten vertailua. Mittaukset, joissa jarrutuskitkatulokset yhdenmukaisempia

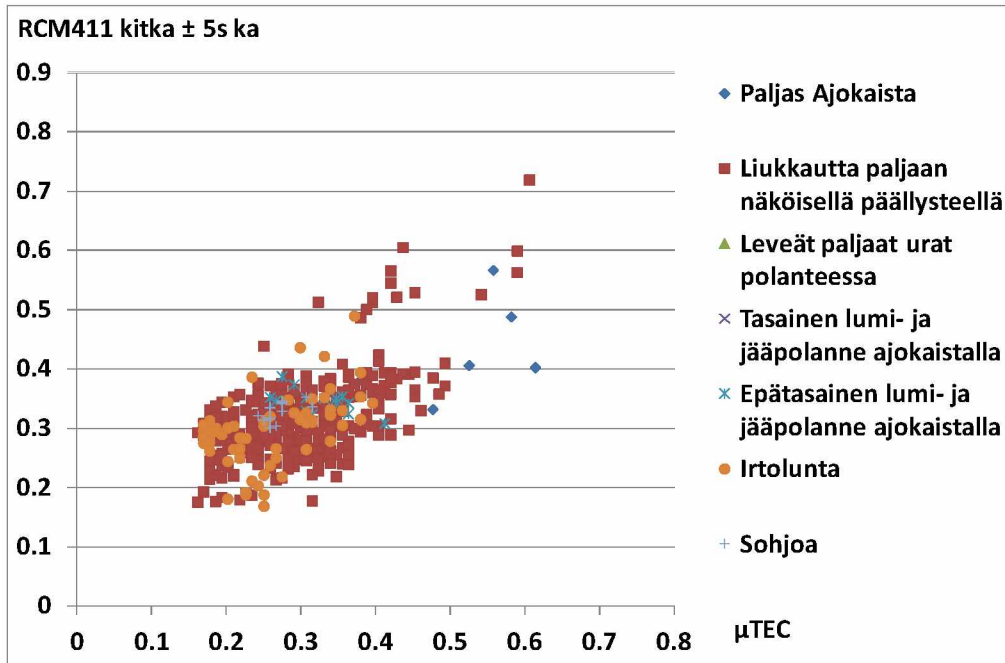


Kuva 9. RCM411:n ja Gripmanin kitkatulosten vertailua. Mittaukset, joissa jarrutuskitkatulokset yhdenmukaisempia



Kuva 10. RCM411:n ja μ TEC:n kitkatulosten vertailua. Mittaukset, joissa jarrutuskitkatulokset yhdenmukaisempia

Kuvassa 11 on vielä vertailtu RCM411:a ja μ TEC-jarrutuskitkamittaria pelkästään valateiden osalta. Erityisesti Vaisala on korostanut, että optiset mittarit toimisivat päätiestöllä paremmin kuin alemmalla tieverkolla. RCM411_vanha:n osalta eroa ei kuitenkaan juuri vaikuta olevan.

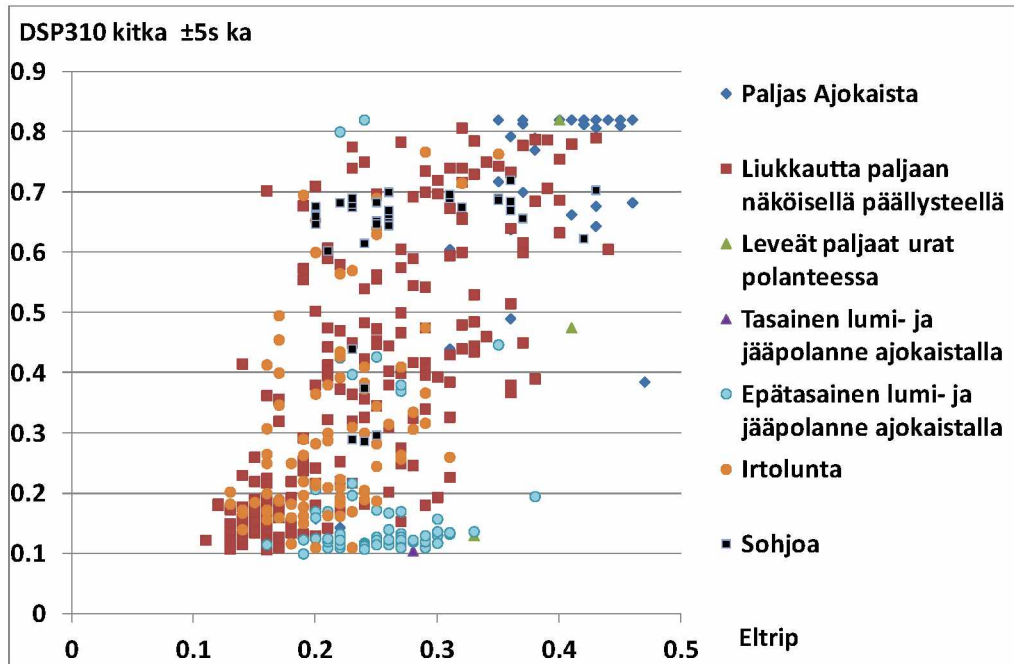


Kuva 11. RCM411:n ja μTEC :n kitkatulosten vertailua. Vain valtatie. Mittaukset, joissa jarrutuskitkatulokset yhdenmukaisempia

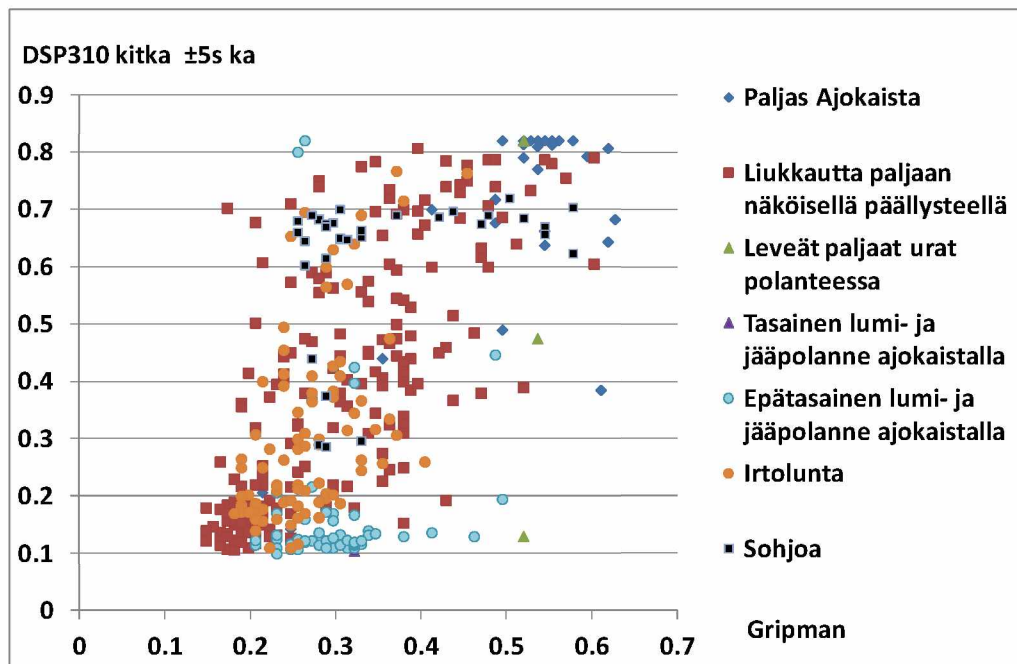
4.1.2 DSP310

DSP310:llä hajontaa tuntui olevan hieman enemmän kuin RCM411_vanha:lla. Samalla kun RCM411:n havainnot keskittyivät enemmän kitkaskaalan keskialueelle, DSP310:n havainnot painottuivat useammin ääripäihin kitkaskaalan ollen samalla hieman laajempi. Kuten Vaisala etukäteen ilmoittikin, alemman tieverkon polannekelit olivat mittarille selvästi haasteellisempia. Kuvissa 12–14 mittaria on verrattu eri jarrutuskitkamittareihin. Kuvassa 15 on tarkastelu vain valtateitä. DSP310:n korrelaatioosuora μTEC :in kanssa on muotoa $\text{DSP310} = 1.3 * \mu\text{TEC}$.

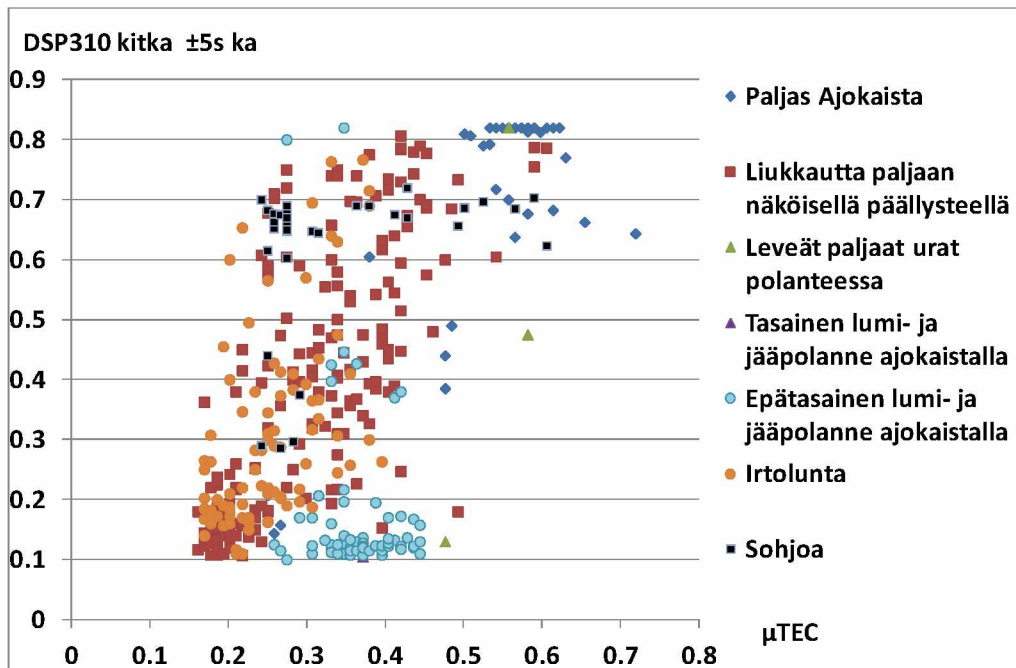
DSP310:n aineistossa ei ole mukana kahta ensimmäistä testipäivää, jolloin mittaria ei oltu vielä ehditty kalibroida.



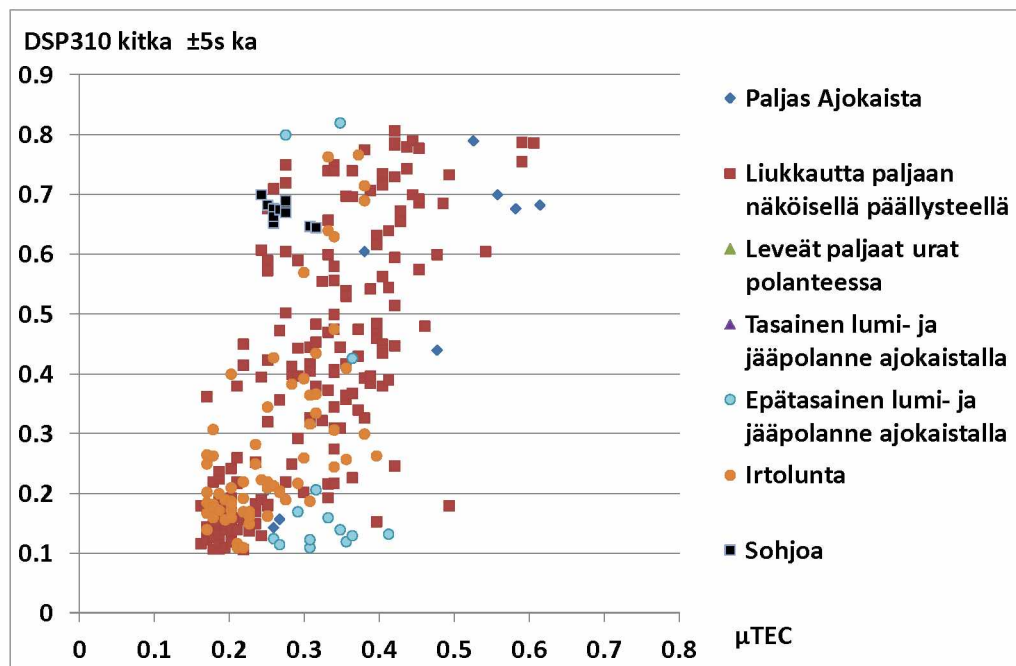
Kuva 12. DSP310:n ja Eltripin kitkatulosten vertailua. Mittaukset, joissa jarrutus- kitkatulokset yhdenmukaisempia.



Kuva 13. DSP310:n ja Gripmanin kitkatulosten vertailua. Mittaukset, joissa jarrutuskitkatulokset yhdenmukaisempia.



Kuva 14. DSP310:n ja μTEC :n kitkatulosten vertailua. Mittaukset, joissa jarrutuskitkatulokset yhdenmukaisempia.



Kuva 15. DSP310:n ja μTEC :n kitkatulosten vertailua. Vain valtatiet. Mittaukset, joissa jarrutuskitkatulokset yhdenmukaisempia.

4.2 Optisten mittarien kitkaskaalan ja hajonnan tarkastelua

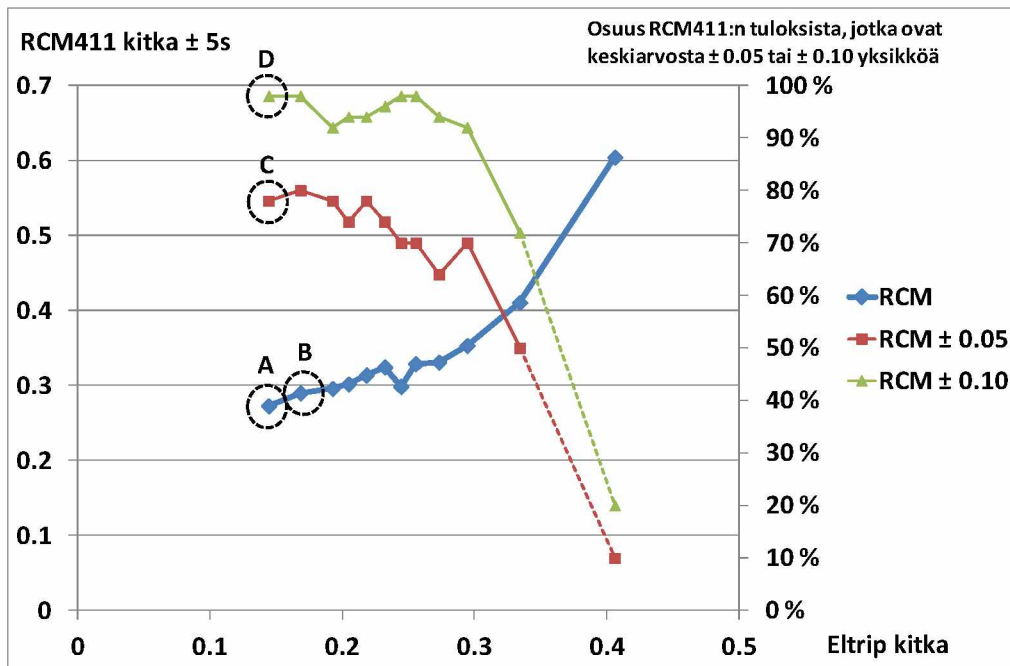
Jäljessä olevaan tarkasteluun on valittu jälleen niiden mittausten aineisto, joissa jarrutuskitkatulokset olivat yhdenmukaisimpia. Aineiston kokonaismäärä RCM411:llä oli tasan 600 mittausta. Tämän jälkeen aineisto järjestettiin jarrutuskitkamittarin kitkan mukaan nousevaan järjestykseen niin, että laskettiin keskiarvo jokaiselle 50 mittaukselle (50 pienimmän jarrutuskitkamittauksen keskiarvo, 50 seuraavaksi pienimmän jarrutuskitkamittauksen keskiarvo, jne.). Lisäksi laskettiin em. arvoja vastanneiden optisten kitkamittarien kitka-arvojen keskiarvo. Tällä tavoin saatiin optisten mittarien kitkaprofiilit suhteessa jarrutuskitkamittauksiin. Lopuksi katsottiin kuinka paljon hajontaa optisilla mittareilla on oman keskiarvotasonsa ympärillä. Viiva ± 0.05 kertoo, mikä osa optisen havainnoista on 5 sadasosan (mittayksikköä) sisällä keskiarvosta ja viiva ± 0.10 niiden havaintojen osuuden, jotka ovat 10 sadasosan sisällä.

4.2.1 RCM411

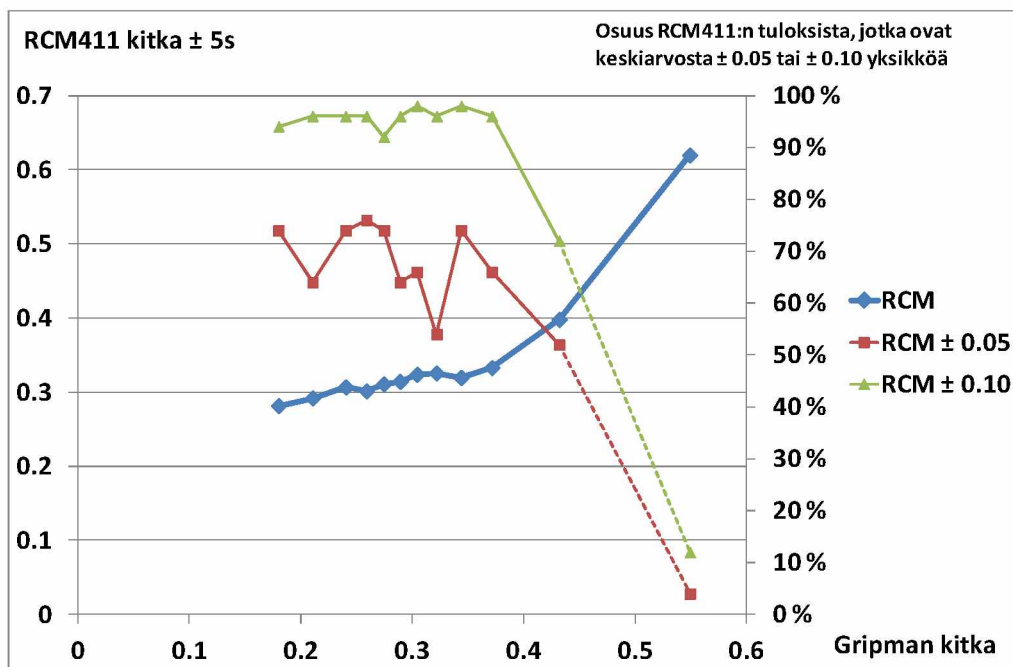
Kuvissa 15–17 on vertailtu RCM411:ä eri jarrutuskitkamittareihin. Kuvan 16 tulkinta etenee siis seuraavasti:

- Paksu sininen viiva kuvaa RCM411:n kitkaprofiilia suhteessa referenssimittariin, tässä tapauksessa Eltrippiin. Viivan ensimmäisen piste (piste A) edustaa 50:n matalimman Eltrip-kitkan keskiarvoa (0.144, vaaka-akseli) sekä näissä pisteissä mitattujen RCM411 kitkojen keskiarvoa (0.273, vasemmanpuoleinen pystyakseli). Seuraava piste B edustaa 50:n seuraavaksi pienimmän Eltrip-kitkan keskiarvoa ja näissä pisteissä mitattujen RCM411 kitkojen keskiarvoa jne.
- punainen ja vihreä viiva kertovat RCM411:n hajonnasta. Piste C kertoo, kuinka suuri osa RCM411:n tuloksista pisteessä A ovat ± 0.05 :n sisällä pisteen A-lukuarvosta (0,273) eli RCM411:n keskiarvosta. Eli pisteen C mukaan 78 % (oikeanpuoleinen pystyakseli) RCM411:n tuloksista asettuu välille 0.223–0.323 pisteessä A.
- Piste D kertoo vastaavasti, että 98 % (oikeanpuoleinen pystyakseli) RCM411:n tuloksista pisteessä A ovat ± 0.10 :n sisällä pisteen A-lukuarvosta (0,273).

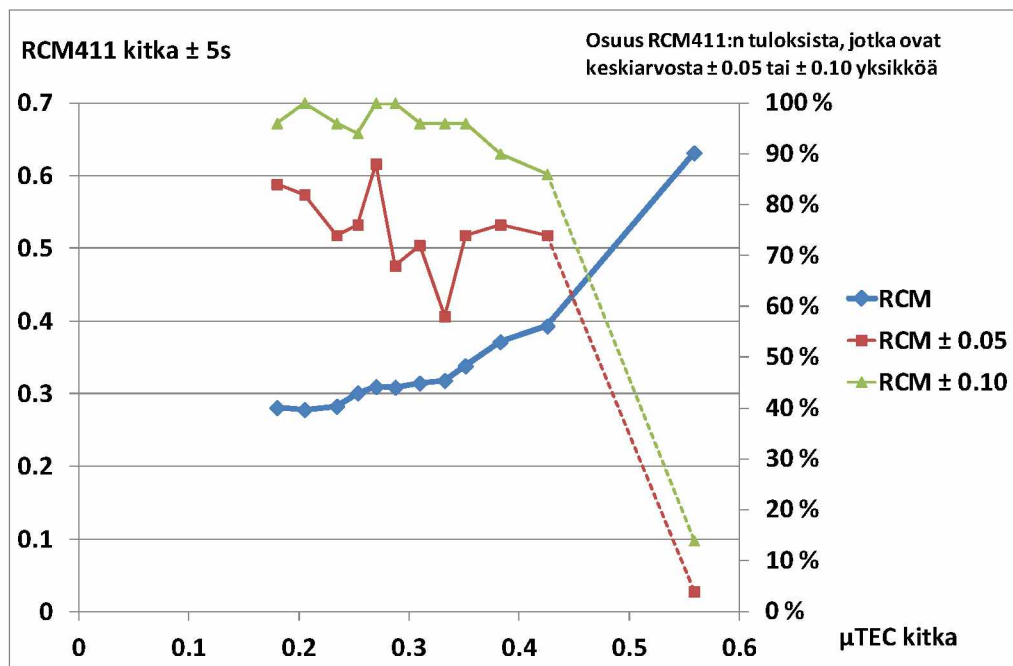
Jälleen korrelaatio on parasta μTEC :in kohdalla (kuva 17). RCM411:n tulosten hajonta eri kitkatasoilla on suhteellisen pientä, keskimäärin 60 % tuloksista on ± 0.05 :n sisällä ja 90 % tuloksista ± 0.10 :n sisällä. Toisaalta kitkaprofiili on hieman liian loiva asteikon alapäässä, jolloin erottelukyky alhaisimmilla kitkatasoilla on heikompi.



Kuva 16. RCM411:n kitkaprofiili suhteessa Eltrippiin. Lisäksi osuus RCM411:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin Eltripin hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta. Kuvan tulkintaa (pisteet A, B, C ja D) on selitetty tarkemmin edellisellä sivulla.

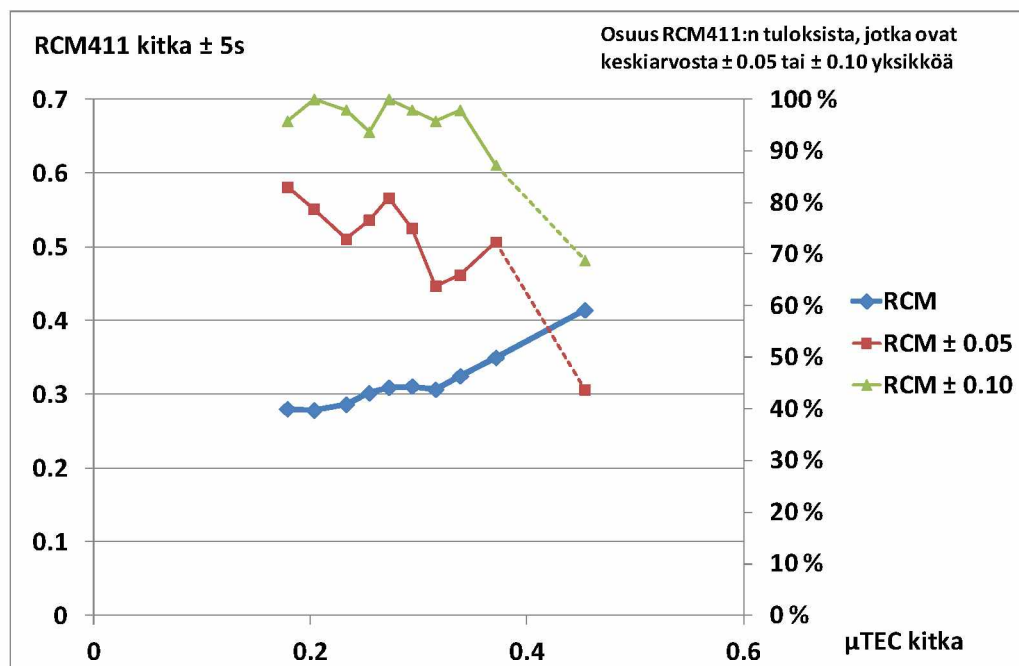


Kuva 17. RCM411:n kitkaprofiili suhteessa Gripmaniin. Lisäksi osuus RCM411:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin Gripmanin hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta.



Kuva 18. RCM411:n kitkaprofiili suhteessa μTEC :iin. Lisäksi osuus RCM411:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin μTEC :in hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta.

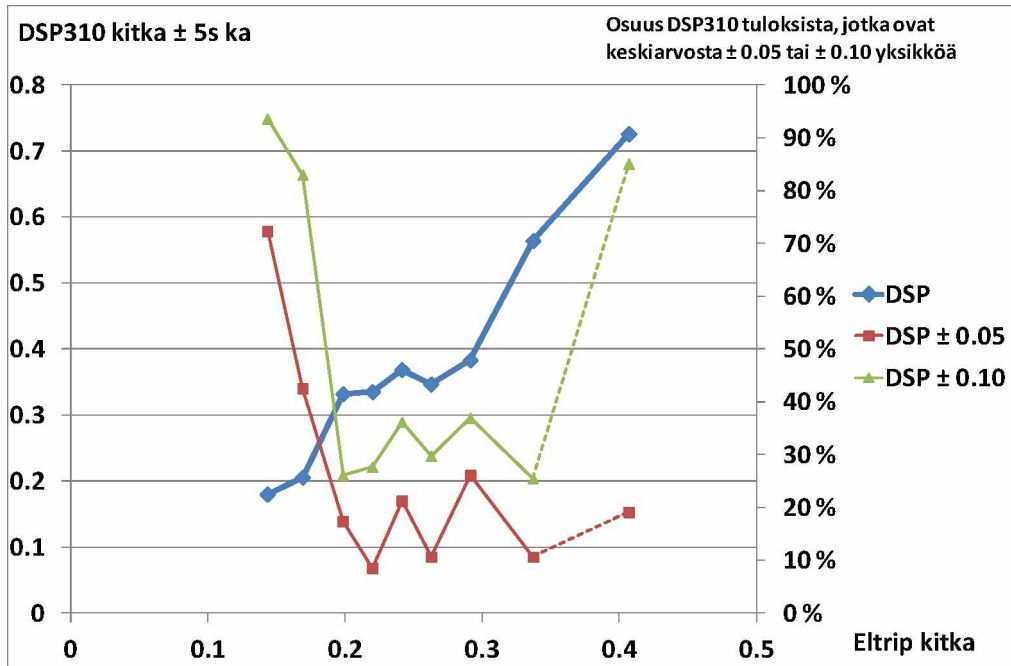
Kuvassa 18 on tarkasteltu RCM411:ä ainoastaan valtateillä. Pienempien teiden jättäminen tarkastelun ulkopuolelle ei tunnustavasti vaikuttavan juuri hajontaan. Kitkaprofiili jää yläpäästä hieman tyngäksi, koska iso osa korkean kitkan havainnosta on tehty valtateiden ulkopuolella.



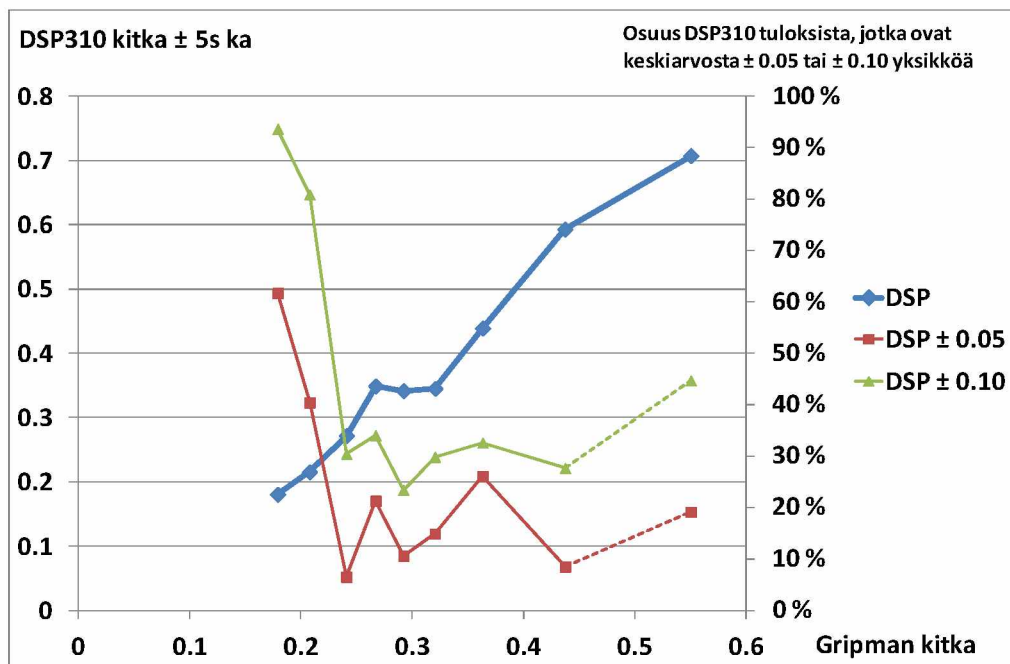
Kuva 19. RCM411:n kitkaprofiili suhteessa μTEC :iin. Valtatiet. Lisäksi osuus RCM411:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin μTEC :in hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta.

4.2.2 DSP310

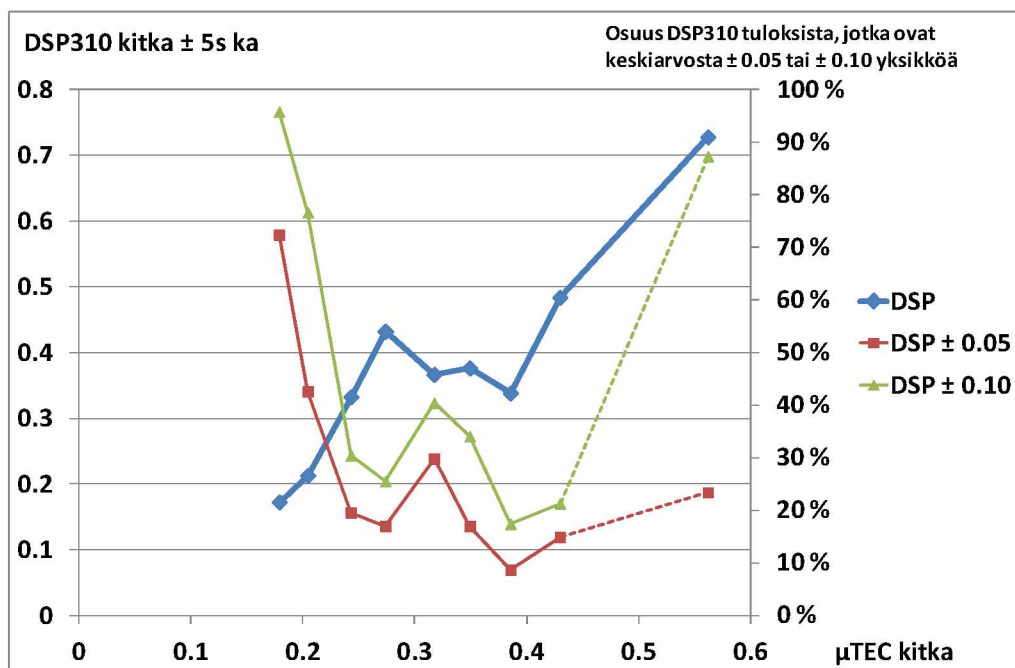
DSP310 selkeä vahvuus on jyrkkä kitkaprofiili, jolloin erityisesti hyvin liukkaat kelit erottuvat paremmin (kuvat 20–22). Kitkaprofiili on parhaimmillaan Gripmanin kanssa (kuva 21) ja selkiytyy vielä lisää kun tarkastellaan vain valtateitä (kuva 23). Toisaalta tulosten hajonta on selvästi suurempaa kuin RCM411:lla. On kuitenkin syytä muistaa, että jyrkkä kitkaprofiili, mikä on tavoiteltava ominaisuus, käytännössä kasvattaa aina automaattisesti tulosten hajontaa.



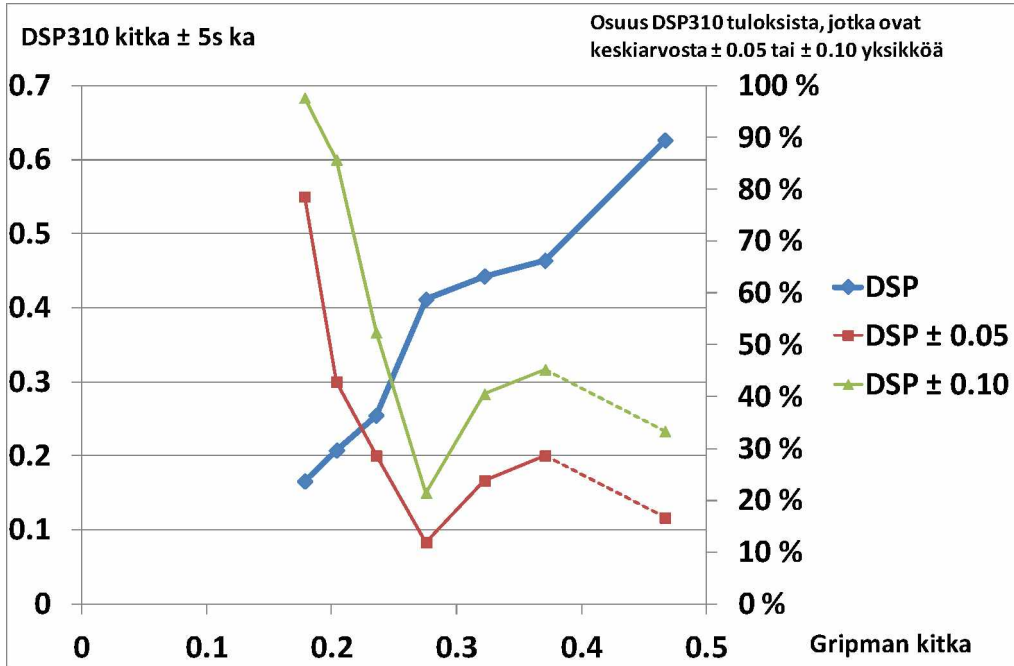
Kuva 20. DSP310:n kitkaprofiili suhteessa Eltrippiin. Lisäksi osuus DSP310:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin Eltripin hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta.



Kuva 21. DSP310:n kitkaprofilin suhteessa Gripmaniin. Lisäksi osuus DSP310:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin Gripmanin hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta.



Kuva 22. DSP310:n kitkaprofilin suhteessa μTEC :iin. Lisäksi osuus DSP310:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin μTEC :in hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta.

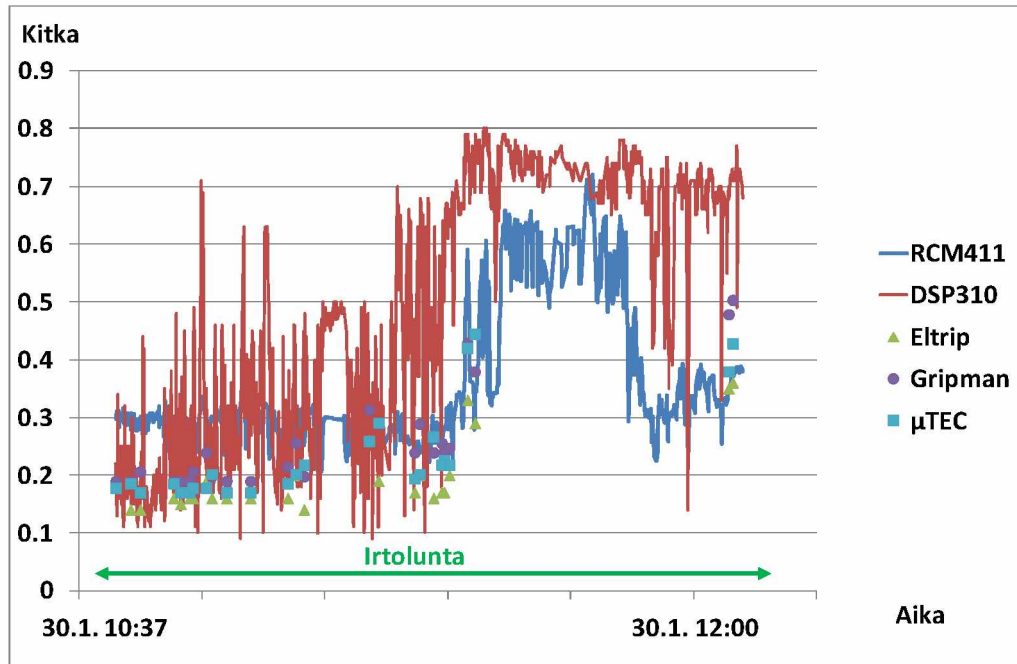


Kuva 23. DSP310:n kitkaprofiili suhteessa Gripmaniin. Vain valtatiet. Lisäksi osuus DSP310:n tuloksista, jotka ovat ± 0.05 tai ± 0.10 yksikköä keskiarvosta. Korkeimmalla kitkatasolla hajontaluku on harhaanjohtava, koska silloin μTEC :in hajonta on aineiston pienuudesta johtuen poikkeuksellisen suurta.

4.3 Juoksevan mittaridatan tarkastelua

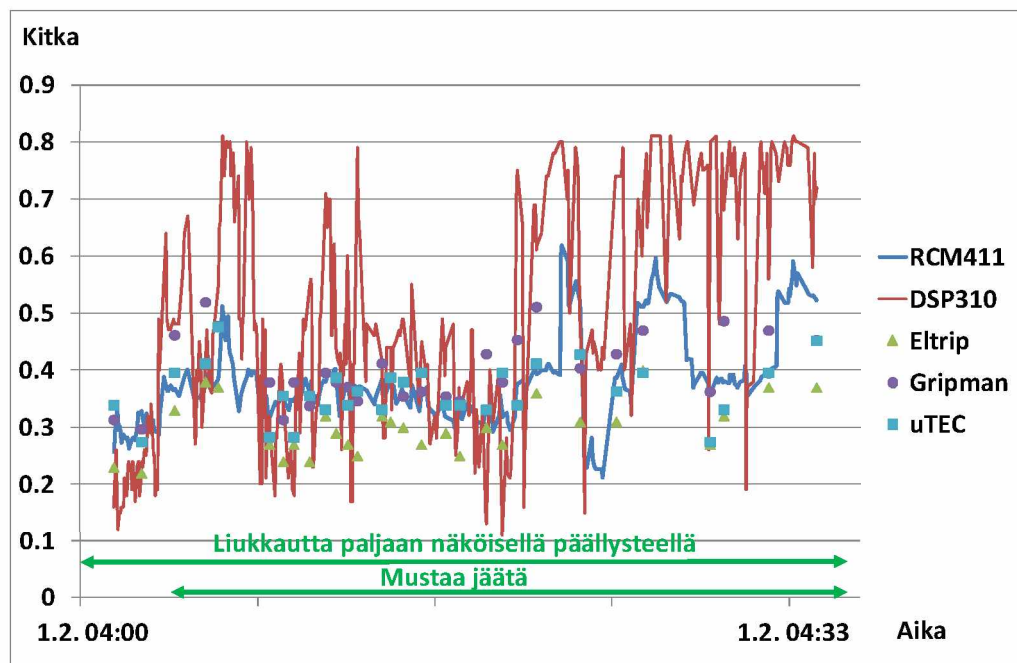
Kuvissa 24–26 on vielä tarkasteltu juoksevaa dataa tietyissä tilanteissa. Kaikissa kuvissa näkyy selvästi se, miten paljon voimakkaammin DSP310:n kitkataso vaihtelee RCM411:en verrattuna. Lisäksi matalan kitkan tilanteissa DSP310 näyttää alemmaa kitkaa, korkean kitkan tilanteissa taas korkeampaa kitkaa kuin RCM411. Jarrutuskitkamittarien tuloksia tarkasteltaessa on edelleen syytä muistaa, että Eltrip on kalibroitu Liikenneviraston kitkaskaalaan, mutta Gripman ja μTEC fysikaaliseen kitkaskaalaan.

Kuvassa 24 on tarkasteltu kitkataso muutostilannetta. Kummatkin optiset mittarit havaitsevat muutoksen. Valitettavasti polkaisumittaria ei ole käytetty juuri korkean kitkan tilanteessa, mutta on hyvin oletettavaa, että mittaaja on pitänyt taukoa mittauksessa juuri pitävällä kelillä. Pitävän jakson jälkeen optiset mittarit jäävät eri tasoille ja polkaisumittarien mukaan oikea kitkataso olisi jossain optisten ilmoittamien kitkojen välimaastossa.



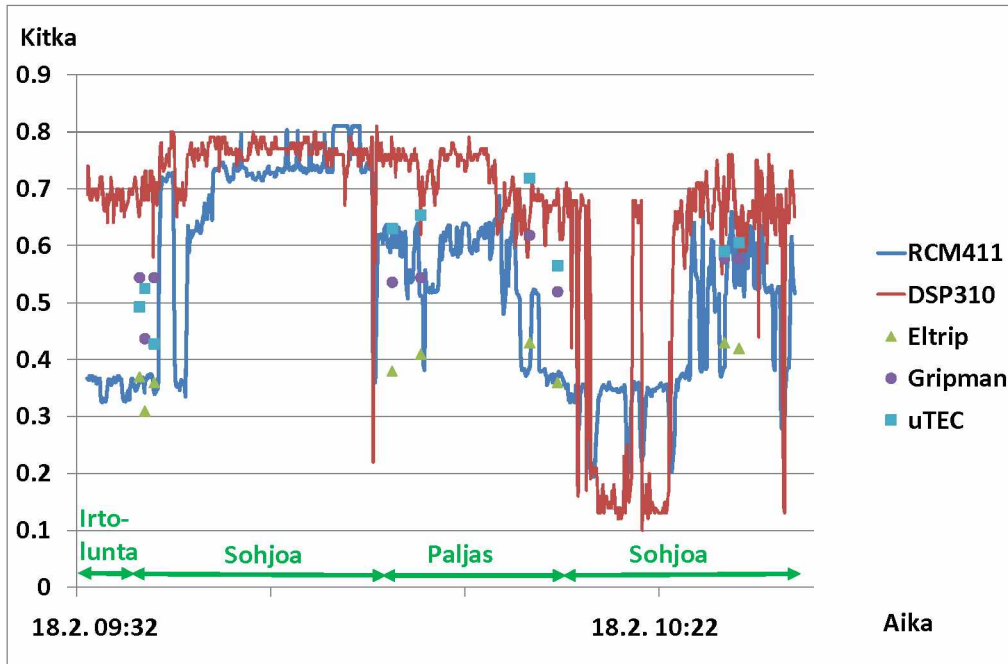
Kuva 24. Juoksevan mittaridatan tarkastelua 30.1. 10:37 - 30.1. 12:00. Mittaajan mukaan mittausjakson keli oli irtolunta.

Kuvassa 25 on tehty vertailua mustan jään tilanteessa. Vertailun loppuvaiheessa kitkataso nousee kaikilla mittareilla, DSP310:llä eniten.



Kuva 25. Juoksevan mittaridatan tarkastelua 1.2.04:00 - 1.2.04:33. Mittaajan mukaan mittausjakson keli oli enimmäkseen mustaa jäätä.

Kuvassa 26 nähdään jälleen, miten optiset pääpiirteissään seuraavat toisiaan ja tilanteissa, missä mittarit eroavat toisistaan eniten, jarrutuskitkamittarien mukaan oikea kitkataso löytyisi optisten mittarien näyttämän puolivälistä.



Kuva 26. Juoksevan mittaridatan tarkastelua 18.2.09:32-10:22. Mittaajan mukaan mittausjakson keli vaihteli irtolumen, sohjon ja paljaan välillä.

4.4 Muiden muuttujien tarkastelu

4.4.1 Kelitieto

Sekä RCM411 että DSP310 kirjaavat ylös kelistatuksen jokaisena ajanhetkenä. Myös tutkimuksen mittauksista vastannut Juha-Matti Vainio kirjasi kelitiedon ylös (ks. kelikoodit luku 3). Jäljessä Vainion kirjaamaa kelikoodia on verrattu optisten mittarien keliluokkaan samoina ajanhetkinä, jolloin Vainio teki myös kitkamittauksia. Vertailun tuloksia tarkasteltaessa on pidettävä mielessä, että Vainio, jonka keliarvio perustuu hänen omiin havaintoihinsa, arvioi kelityyppiä laajoina kokonaisuuksina. Sen sijaan optisten mittarien osalta on katsottu vain kitkamittauksen aikaista pistehavaintoa. Sen vuoksi on täysin mahdollista että pistekohtainen keli poikkeaa merkittävästikin Vainion havainnoista. Lisäksi on muistettava, ettei kelin aistinvarainen luokittelu ole helppoa, vaan hyvin usein kelitilanteet ovat varsin tulkinnanvaraisia.

Taulukossa 2 on esitetty Vainion havaintojen ja RCM411 keliluokituksen eroja ja yhtäläisyyksiä. Käytännössä kaikki muut Vainion keliluokat, paitsi "Irtolunta" ja "Sohjoa" vastaavat varsin hyvin RCM411 keliluokitusta. Sen sijaan irtolumen ja sohjon osalta RCM411 päättyy yllättävän usein jäiseen keliin.

Taulukko 2. Mittaajan (Juha-Matti Vainio) kirjaaman ja RCM411:n mittaaman kelikoodin vertailua. Vertailut niiltä ajanhetkiltä, jolloin on myös tehty kitkanmittaus.

Vainion kirjaama kelikoodi	RCM411 mittaama keli						Yht.	Yht. N
	Kuiva	Kostea	Märkä	Loska	Jäinen	Luminen tai kuurainen		
Epätasainen lumi- ja jääpolanne ajokaistalla	1 %			1 %	5 %	93 %	100 %	96
Irtolunta				3 %	58 %	38 %	100 %	91
Leveät paljaat urat polanteessa	50 %	13 %			13 %	25 %	100 %	8
Liukkaita paljaan näköisellä päällysteellä				5 %	74 %	21 %	100 %	371
Paljas ajokaista	62 %	5 %	5 %	9 %	18 %		100 %	55
Sohjoa				14 %	78 %	8 %	100 %	36
Tasainen lumi- ja jääpolanne ajokaistalla						100 %	100 %	2

DSP310 ilmoitti huomattavan paljon vähemmän jäisiä kelejä kuin RCM411 (Taulukko 3). Jäisten kelien oikeata määrää on kuitenkin vaikea arvioida, eli ei voida sanoa, kumpi optisista oli tässä suhteessa lähempänä totuutta. Jonkin verran tuli havaintoja, joiden mukaan keliä ei voitu tunnistaa. Muuten DSP310:n keliluokittelu vastasi varsin pitkälle Vainion luokittelua.

Taulukko 3. Mittaajan (Juha-Matti Vainio) kirjaaman ja DSP310:n mittaaman kelikoodin vertailua. Vertailut niiltä ajanhetkiltä, jolloin on myös tehty kitkanmittaus. Kaikki tiet.

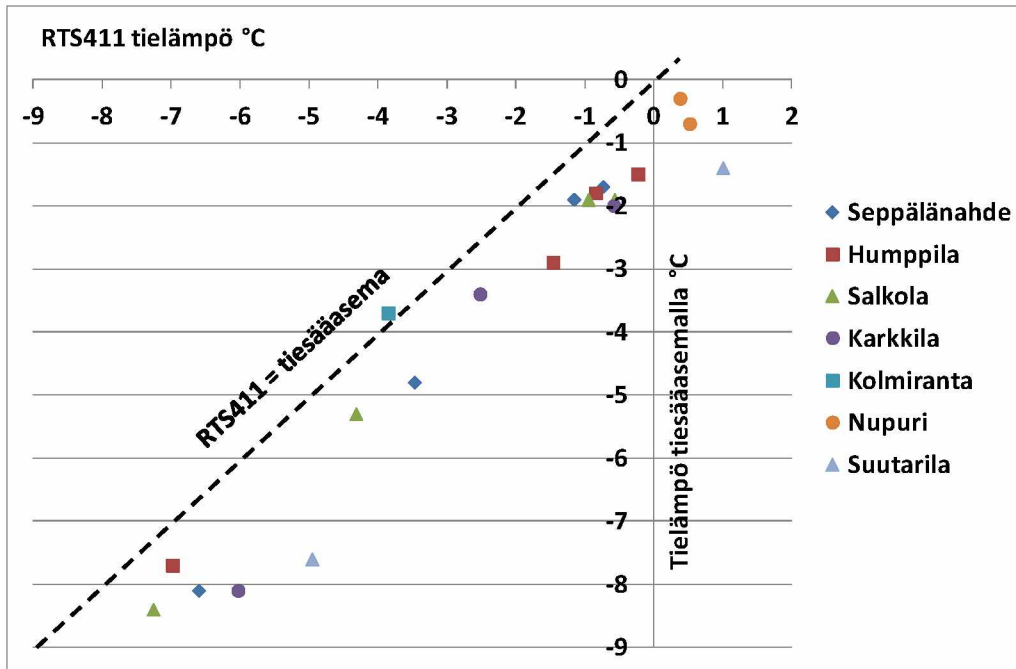
Vainion kirjaama kelikoodi	DSP310 mittaama keli							Yht.	N
	Kuiva	Kostea	Märkä	Luminen	Jäinen	Loska	Ei tietoa		
Epätasainen lumi- ja jääpolanne ajokaistalla	2 %	0 %	4 %	89 %	0 %	0 %	5 %	100 %	96
Irtolunta	0 %	1 %	10 %	68 %	4 %	5 %	11 %	100 %	91
Leveät paljaat urat polanteessa	57 %	0 %	0 %	43 %	0 %	0 %	0 %	100 %	7
Liukkaita paljaan näköisellä päällysteellä	10 %	5 %	14 %	50 %	7 %	3 %	11 %	100 %	228
Paljas ajokaista	69 %	7 %	9 %	6 %	6 %	0 %	4 %	100 %	54
Sohjoa	0 %	0 %	53 %	3 %	0 %	28 %	17 %	100 %	36
Tasainen lumi- ja jääpolanne ajokaistalla	0 %	0 %	0 %	100 %	0 %	0 %	0 %	100 %	2

4.4.2 Tien pinnan lämpötila

Ns. muita suureita tarkasteltiin vertaamalla optisten anturien suureita seitsemän tiesääsaman mittauksiin. Tiesääsämistä neljä oli 2-tiellä (Seppälänahde, Humppila, Salkola, Karkkila), kaksi 1-tiellä (Kolmiranta, Nupuri) sekä yksi Kehä III:lla (Suutarila). Ajanhetki, jolloin optisten anturien säätietoja luettiin, oli se, jolloin ajo neuvo oli GPS-tiedon mukaan tiesääsaman kohdalla. Asemista Kolmiranta, Nupuri ja Suutarila sijaitsivat kaksiajorataisella tieosuudella. Näissä pisteissä otettiin huomioon vain tilanteet, joissa ajoneuvo ajoi samalla ajoradalla, jossa tiesääsama sijaitsi. Yksiajorataisissa pisteissä otettiin huomioon kummatkin ajosuunnat.

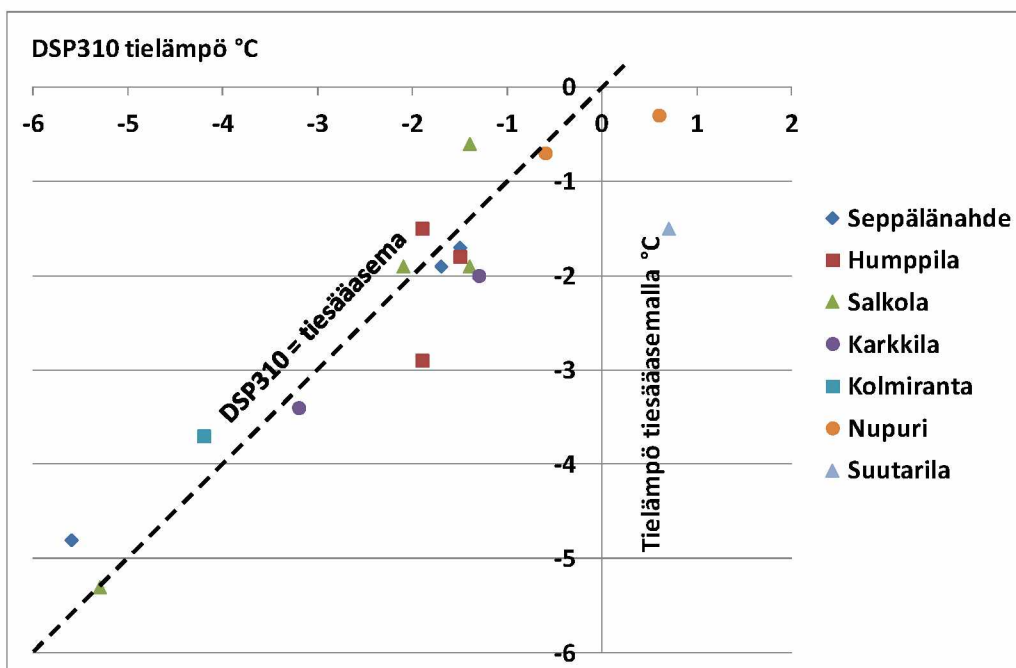
Tielämpötilan mittauksessa ajoneuvon asemaan tärkeämpi tekijä lienee auringon suunta ja varjostus. Mikäli esim. tie on pääosin varjossa, mutta juuri tiesääsaman mittauspiste on auringossa, ei liikkeessä oleva ajoneuvon pysty havaitsemaan pientä poikkeamaa tien lämpötilassa.

Teconerin sovelluksessa tienpinnan lämpötilan mittaus tapahtuu erillisellä RTS411-laitteella. Tielämpötilan mittauksen suhteen RTS411 erosi tiesääsaman arvoista pääosin alle 1.7 °C astetta, mutta Suutarilassa erot olivat suurempia (kuva 27). RTS411:n mittausarvot olivat yleensä korkeampia kuin tiesääsaman mittausarvot.



Kuva 27. RTS411:n ilmoittaman tielämpötilan ja tiesäaseman tielämpötilan vertailua tiesäasemittain.

DSP310:n tielämpötilan mittaustulosten hajonta vaikutti olevan samalla tasolla RTS411:n kanssa (kuva 28). Mittaukset olivat kuitenkin yhtä usein tiesäaseman tuloksia korkeampia tai matalampia. Suurimmat erot tiesäasemien mittaukseen syntyivät Kolmirannassa ja Suutarilassa.

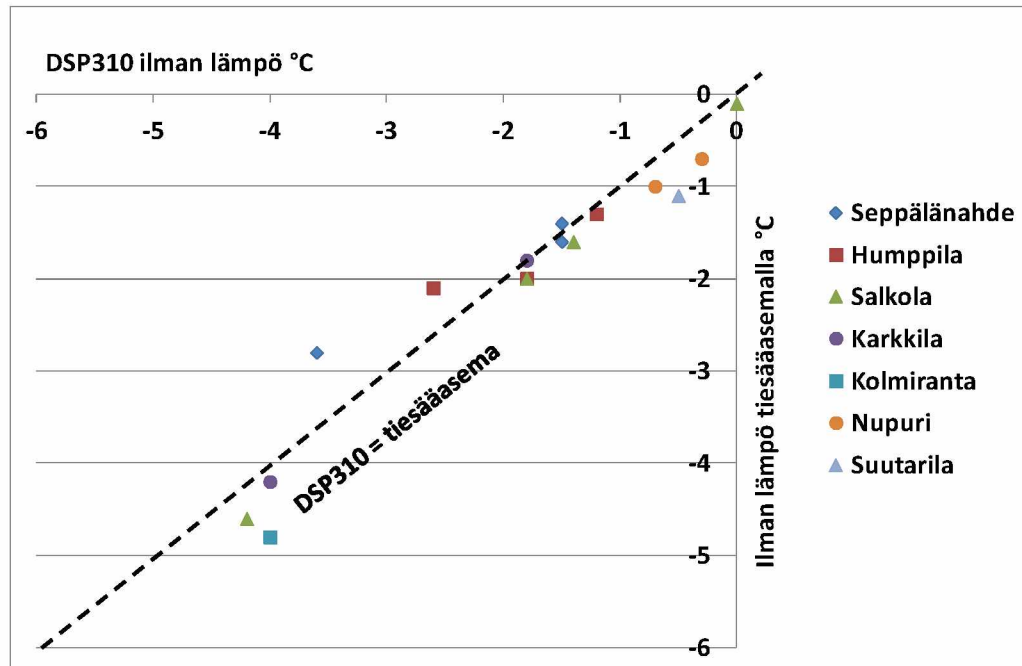


Kuva 28. DSP310:n ilmoittaman tielämpötilan ja tiesäaseman tielämpötilan vertailua tiesäasemittain.

4.4.3 Ilman lämpötila

RCM411 ilmoittaa ilman lämpötilan, mutta kokeessa lämpötila-anturi sijaitti samassa yhteydessä mittarin kanssa ja antoi siten ajoneuvon lämpötilavaikutuksen vuoksi noin 3-5 astetta todellisuutta korkeampia ilmanlämpölukemia. Anturi olisi ollut mahdollista viedä myös auton eteen, mutta se jäi tekemättä, koska alkuperäisessä tutkimussuunnitelmassa ei ollut tarkoitus analysoida ilmanlämpötilan mittausta.

DSP310 mittasi ilman lämpötilaa varsin luotettavasti (kuva 29).

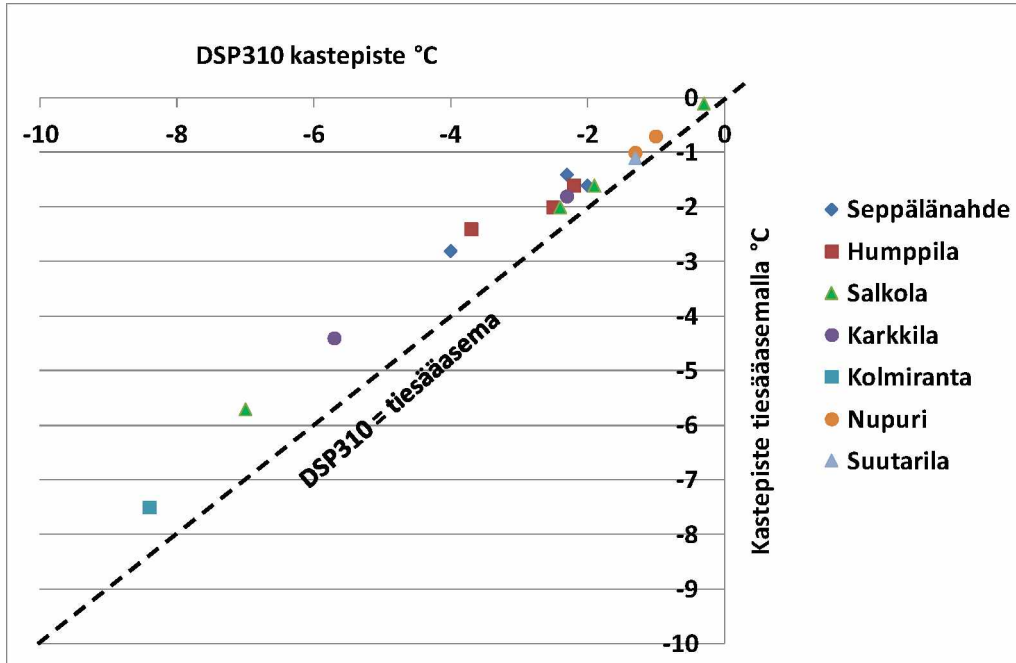


Kuva 29 DSP310:n ilmoittaman ilman lämpötilan ja tiesääaseman ilman lämpötilan vertailua tiesääasemittain.

4.4.4 Kastepiste

Kastepiste on se lämpötila, jossa ilmassa oleva vesihöyryn suhteellinen kosteus on 100 %. Kun lämpötila laskee alle kastepisteen, tiivistyy ilman vesihöyry vedeksi.

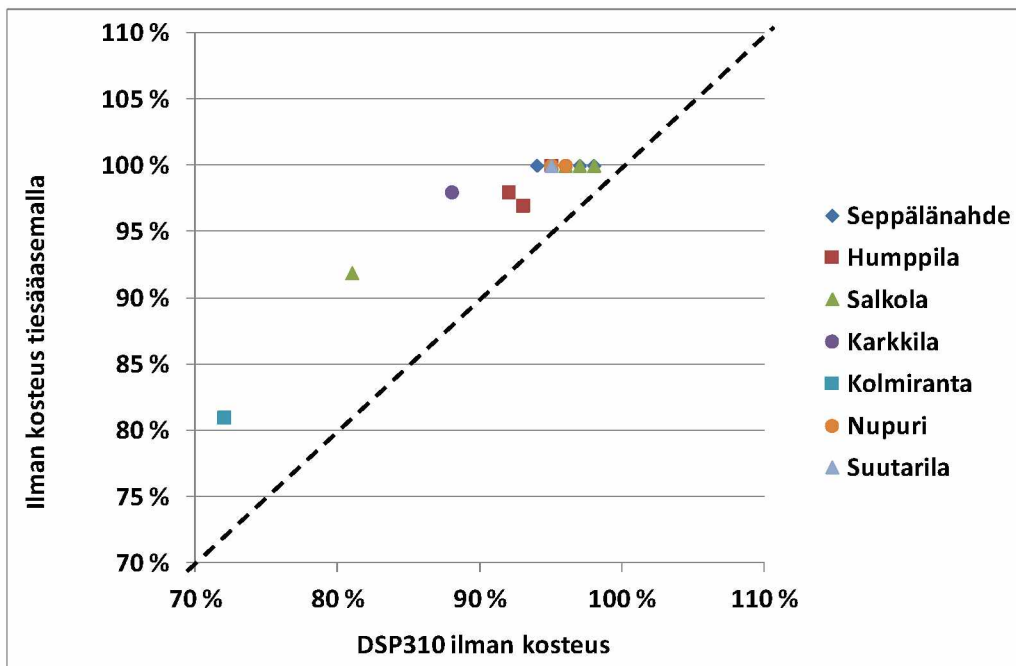
Optisista laitteista vain DSP310 ilmoittaa kastepisteen. Mittaus vaikuttaa useimmissa tapauksissa varsin tarkalta, joskin DSP310:n ilmoittama kastepiste on kylmemmissä lämpötiloissa yhden asteen verran matalampi kuin tiesääaseman (kuva 30).



Kuva 30 DSP310:n ilmoittaman kastepisteen ja tiesäaseman kastepisteen vertailua tiesäasemittain.

4.4.5 Ilman kosteus

Optisista laitteista vain DSP310 ilmoittaa ilman kosteuden. Mittaus vaikuttaa melko tarkalta, tosin DSP310:n lukemat vaikuttavat olevan järjestäen hieman matalampia kuin tiesäaseman arvot (kuva 31).



Kuva 31 DSP310:n ilmoittaman ilman kosteuden ja tiesäaseman ilman kosteuden vertailua tiesäasemittain.

4.4.6 Yhteenveto tiesäämuuttujista

Taulukossa 4 on tarkkailtu optisten laitteiden ilmoittamien tiesäämuuttujien ja tiesääasemien vastaavien muuttujien välistä eroa tunnuslukujen avulla. Taulukosta on helppo nähdä, miten

- sekä RTS411:llä että DSP310 on tielämpötilan mittauksen suhteen sama keski-
poikkeama tiesääasemien suhteen, mutta DSP310 on tasollisesti lähempänä tiesääasemien arvoja (pienempi eron mediaani)
- ilman lämpötilan mittauksessa keski-
poikkeama on puolet tielämpötilan mittauksesta; tämä on hyvin loogista, sillä tielämpötilan mittauksessa mittauskohdan sijainti (valo/varjo) vaikuttaa vertailuun enemmän kuin ilman lämpötilan mittauksessa.

*Taulukko 4. Optisten mittareiden mittaamien tiesäämuuttujien ja tiesääasemien mittaamien vastaavien muuttujien eron mediaani ja keski-
poikkeama (standard deviation).*

	Tielämpö		Ilman lämpö	Kaste- piste	Ilman kosteus
	RTS411	DSP310	DSP310	DSP310	DSP310
Eron mediaani	1.2 °C	0.2 °C	0.2 °C	-0.5 °C	-5 %
Eron keski- poikkeama	0.8 °C	0.8 °C	0.4 °C	0.4 °C	3 %

5 Mittaajan kokemukset optisista mittareista

Tutkimuksen mittauksista vastanneella Road Masters Oy:n Juha-Matti Vainiolla on yli 20 vuoden kokemus kitkanmittauksesta maanteillä. Vainio esitti mittareista seuraavia näkemyksiä:

- Kumpikin optinen mittari toimi teknisesti varsin hyvin ja ne tuottivat dataa pääosin keskeytyksettä. RCM411 datan siirroksessa ja tallennuksessa oli alussa jonkin verran ongelmia, mutta ne saatiin korjattua talven kuluessa. Vaisalan mittarin älypuhelimien muisti tuli täyteen lopputalvesta ja mittaustiedot jouduttiin poimaan Vaisalan palvelimelta. Sovellus voisi varoittaa muistin täyttymisestä.
- Kumpaakin optista mittaria oli helppo käyttää. Vaisalan optisen mittarin käyttäjystävällisyys oli parantunut kahden vuoden takaisesta testistä merkittävästi.
- Linssien puhdistustarve oli kummassakin mittarissa vähäinen. Tarkastin linssit ajoittain, eikä kummassakaan esiintynyt missään vaiheessa merkittävämpää liikaantumista.
- Kun sain vuodenvaihteessa RCM411:n yhteydessä mittarin tukivarren, se oli peltinen ja aivan liian löysä ja kelvoton käyttöön. Ennen varsinaisia testejä sain valmistajalta tukevamman ruostumattomasta teräksestä valmistetun tukivarren. Se oli parempi, mutta senkin kanssa mittari uhkasi ruveta painumaan, joten kiinnitin mittarin ylimääräisellä nippusiteellä takapuskuriin. Sen jälkeen mittarin kiinnitys oli jäykempi, silti mittarin pienoinen kiertyminen oli mahdollista. Edelleen kehittäisin RCM411:n osalta vielä kiinnitystä, tuotantomittauksissa kiinteä asennus ajoneuvoon olisi varmempi.
- Mittaajan näkökulmasta on vaikea arvioida kumpi mittareista olisi kitkanmittauksen suhteen tarkempi. Joissain olosuhteissa toinen vaikutti tarkemmalta, toisissa olosuhteissa toinen. Muutamana kerran RCM ei tunnistanut märästä jääksi muutunutta keliä.
- Koin, että mittarien mukana olo pistokoelaadunvalvonnassa helpotti löytämään liukkaita kohtia lähinnä mustan jään tilanteissa. Optinen kitkamittari on siis hyvä valvonnan apuväline. Katsoisin kuitenkin, että mikäli optista kitkamittaria käyttää laadunvalvonnassa, lähellä laatuvaatimusrajaa olevat tulokset sekä laatuvaatimusten alitukset olisi hyvä vahvistaa polkaisumittarilla.
- Tielämpötilan mittauksen lisäarvo on siinä, että pystytään arvioimaan ollaanko suolausalueella. Tielämpötilamittauksen tarkkuutta on kuitenkin vaikea arvioida.

6 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää optisten kitkamittarien tarkkuutta sekä toimivuutta laadunvalvonnan ohjaukseen. Lisäksi tutkimuksessa arvioitiin myös mittarien ilmoittamien muiden tiesäämuuttujien (kelityyppi, tien ja ilman lämpötila, kastepiste, ilman kosteus) tarkkuutta.

Tutkimuksessa kohteena oli Teconer Oy:n optinen kitkamittari RCM411 ja Vaisala Oyj:n optinen kitkamittari DSP310. Mittareita verrattiin kolmeen eri jarrutuskitkamittariin, jotka olivat Eltrip-45n, μ TEC ja Gripman. Mittaukset suoritettiin erityyppisillä teillä erilaisissa keliolosuhteissa ajanjaksolla 23.1. - 8.4.2013. Yhteensä mittauksia tehtiin 2500 kilometrin matkalla niin, että jarrutuskitkamittauksia kertyi yli 700 kappaletta.

Mittausten mukaan kummankin optisen mittarin tarkkuus oli kehittynyt 2 vuoden takaisista testeistä. RCM411:n kitkamittaustulosten hajonta oli selvästi pienempi kuin DSP310:llä. Toisaalta DSP310:n kitkaskaala oli jyrkempi, mikä on sinänsä tavoiteltava ominaisuus ja helpottaa kitkatasojen erottelua. Jyrkkä kitkaskaala taas automaattisesti kasvattaa tulosten hajontaa.

DSP310:n tarkkuus oli parhaimmillaan valtateillä, joilla oli vähemmän paksuja lumi- ja jääpolanteita. RCM411 taas tuntui toimivan yhtä hyvin niin isommilla kuin pienemmillä teillä.

Mittareita testanneen mittauskonsultin mukaan optiset mittarit auttoivat havaitsemaan erityisesti mustan jään tilanteita ja mittareita voidaan siten suositella pistokoelaadunseurannan apuvälineeksi. Laadunvalvonnan kitkamittauksen tarkkuus- ja luotettavuusvaatimukset ovat kuitenkin erittäin korkeat, koska mittauksilla todennettu laadunalitus voi olla sanktion peruste. Sen vuoksi pistokoelaadunseurannassa tulee aina jarrutuskitkamittarilla vahvistaa ne tilanteet, joissa optisten kitkamittarien perusteella voidaan epäillä, että ollaan lähellä laatuvaatimusrajaa tai sen alapuolella.

Kaiken kaikkiaan optisten kitkamittarien tarkkuuden arviointi on huomattavan haastavaa, koska vertailu muihin mittareihin on tehtävä maanteillä, joissa keli- ja kitkataso voi vaihdella lyhyellä matkalla merkittävästikin. Jarrutuskitkamittauksia on äärettömän vaikea kohdistaa juuri samaan kohtaan, mistä optinen mittari on arvioinut liukkauden. Lisäksi jarrutuskitkamittari mittaa käytännössä aina kahta pyöränuraa samanaikaisesti, optiset mittarit vain yhtä. Lopuksi on myös muistettava, että jarrutuskitkamittarienkin tuloksissa on menetelmästä aiheutuvaa kohtalaisen suurta hajontaa, joka vielä korostuu epähomogeenisissa maantieolosuhteissa.

Edellä kuvatut ongelmat vähenisivät merkittävästi, mikäli optisia mittareita voitaisiin testata myös testiradoilla, joissa kyetään valmistamaan varsin homogeenisia ja riittävän laajoja ja yhtenäisiä jää- ja lumipintoja. Kaksi vuotta aiemmin tätä kokeiltiin, mutta optiset mittarit todettiin testiradoille täysin soveltumattomiksi, koska testiratojen pintojen keinotekoiset olosuhteet erosivat optiikaltaan merkittävästi ja ratkaisvasti maanteiden olosuhteista.

Optisten mittarien ja jarrutuskitkamittarien tarkkuutta vertailtaessa on lisäksi syytä ottaa huomioon, että ainakin lähtökohtaisesti optisen mittarin mittaustuloksen pitäisi olla mittaajasta riippumaton. Eri yhteyksissä on taas havaittu, että jarrutuskitkan-

mittauksen tulokset ovat kalibrointimenettelyistä huolimatta jossain määrin mittaja-
jasta riippuvaisia. Optisten kitkamittarien tarkkuudesta voitaisiin siten saada entistä
parempi kuva sellaisessa testissä, missä tieosan kitkan mittaus suoritettaisiin useam-
man mittajaan ja mittarin voimin.

Mittauksissa ei havaittu merkittävämpää optisten mittarien likaantumista. Optisten
mittarien huoltovapaus siis tarkoittaa, että mittareita voitaisiin periaatteessa kiinnit-
tää mihin tahansa tieverkolla säännöllisesti liikkuviin ajoneuvoihin, ilman että kuljet-
tajille on erikseen maksettava mittarin käytöstä. Tämä avaa merkittäviä mahdolli-
suuksia esim. mittarien käyttöön talvihoidon keskitetyssä laadunseurannassa, keli-
tiedotuksessa, muuttuvien merkkien ohjauksessa jne. On kuitenkin muistettava, että
ajoneuvoissa, joita säilytetään talviaikaan lämpimissä tiloissa, optiikan kuuraantumi-
nen on riski ajettaessa kylmästä ulkoilmasta lämpimään talliin, ellei ikkuna ehdi kui-
vua ennen seuraavaa mittausajoa. Kuuraantumisen estämiseksi DSP310:ssä on optii-
kan lämmitys. Myös RCM411:een se on saatavissa lisävarusteena.

Tutkimuksessa verrattiin myös optisten mittarien ilmoittamaa keliluokkaa mittajaan
kirjaamaan keliluokkaan. Keliluokittelut näyttivät pääsääntöisesti korreloivan keske-
nään melko loogisesti. RCM411 luokitteli kuitenkin kelit selvästi useammin jäiseksi
kuin DSP310. RCM411 päätyi jäiseen keliin yllättävän usein tilanteissa, joissa mittaa-
ja luokitteli kelin lumiseksi tai sohjoiseksi. On kuitenkin syytä muistaa, ettei kelin
luokittelumiseksi ole olemassa objektiivista referenssimenetelmää.

Tutkimuksessa vertailtiin lisäksi mittarien ilmoittamia muita suureita (tien ja ilman
lämpötila, kastepiste ja ilman kosteus) tiesääsemien mittaustuloksiin. Eniten vaihte-
lua syntyi verrattaessa mittarien tielämpötilan mittausta tiesääsemien mittaustulok-
siin (noin $\pm 1^\circ\text{C}$), mutta on huomattava, että hyvin tarkkaan korrelaation oli vaikea
päästä jo mittausteknisistä syistä: tiesääsema kertoo pistekohtaisen tilanteen, ja
piste voi olla esim. linjaosuudesta poiketen varjossa tai auringossa. Liikkuvat optiset
mittarit taas tarkkailevat pidempää tieosuutta. Sen sijaan DSP310:n ilman lämpötilan,
kastepisteen ja ilman kosteuden mittaus oli varsin tarkkaa. Tarkka kastepiste-
informaatio tukee oleellisesti talvihoidon ohjausta.

Lähteet

Malmivuo, Mikko 2011: Kitkamittarien vertailututkimus 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 48/2011. 80 s. + 2 liitt.

