

MIKKO MALMIVUO

## Kitkamittareiden vertailututkimus 2011





Mikko Malmivuo

# Kitkamittareiden vertailututkimus 2011

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 48/2011

Liikennevirasto  
Helsinki 2011

*Kannen kuva: Mikko Malmivuo*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-255-731-5

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

**Mikko Malmivuo: Kitkamittarien vertailututkimus 2011.** Liikennevirasto, väylänpito-osasto. Helsinki 2011. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 48/2011. 80 sivua ja 2 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-731-5.

**Avainsanat:** Liikenneturvallisuus, liukkaus, kitka, nastarenkaat, talvihoito, talvirenkaat

## Tiivistelmä

Selvityksen tavoitteena oli kerätä tietoa erilaisten jarrutuskitkamittarien tarkkuudesta ja luotettavuudesta, jotta maanteiden talvihoidon laadunseurannassa voitaisiin ottaa uusia kitkamittareita käyttöön. Lisäksi haluttiin selvittää uusien mittareiden vertailtavuutta vanhoihin mittareihin nähden, kitkanmittauksen suoritustapaa sekä uusien mittareiden hyväksymismenettelyä jatkossa. Optisia kitkamittareita testattiin, jotta saataisiin lisää tietoa niiden kyvystä tunnistaa liukkaita kelejä.

Mittareita testattiin sekä erityisillä testiradoilla, että pistokoelaadunseurannan yhteydessä tavallisilla maanteilla. Vertailut jarrutuskitkamittarit olivat vanhan tyyppinen Eltrip-45n sekä uudentyypiset kiihtyvyyssantureita hyödyntäneet  $\mu$ TEC, Gripman ja Eltrip-7kmb. Vertailut optiset mittarit olivat Vaisalan DSC111 sekä Teconerin RCM411. Lisäksi testiradoilla käytettiin jalkaisin työnnettävää T2GO-kitkamittaria ja jarrutusmatkoja mittaavia Vbox-laitteita Performance Box ja Lite II. Sekä jarrutuskitkamittarien että optisten kitkamittarien väliset erot olivat ennako-odotuksia selvästi suuremmat.

Jarrutuskitkamittareilla havaittiin sekä mittaustulosten systemaattista tasoerovaihtelua että satunnaishajontaa. Tasoerovaihtelu oli suurinta  $\mu$ TEC:eillä ja pienintä Gripmaneilla ja uusilla Eltripeillä. Satunnaishajonta oli suurinta uusilla Eltripeillä ja  $\mu$ TEC:eillä sekä pienintä Gripmaneilla. Kaikilla jarrutuskitkamittareilla havaittiin melko suurta vaihtelua kitka-arvoissa, kun testiradoilla vaihdeltiin jarrutuksen pituutta. Vaihtelu oli hieman pienempää  $\mu$ TEC:eillä, joissa saattoi säätää aikavakiota, eli sitä aikakehystä, jonka sisällä kitkamittari mittasi ajoneuvon hidastuvuutta. Mittareiden herkkyys jarrutuksen pituudelle tarkoittaa käytännössä sitä, että mittaajan on oltava niin kokenut, ettei jarrutusten pituus mittauksissa kohtuuttomasti vaihtelee.

$\mu$ TEC ja Gripman kykenivät kompensoivat mäen vaikutusta siten, että näitä laitteita saattoi käyttää kitkanmittaukseen myös mäessä. Kiihtyvyyssanturilla varustetuista laitteista vain Gripman kykeni tuottamaan luotettavia kitkanmittaustuloksia aivan liukkaimmissa testirataolosuhteissa.

Optisia antureita verrattiin pistokoelaadunseurannan yhteydessä perinteiseen jarrutuskitkamittariin. RCM411-anturilla kerätyt tulokset korreloivat huomattavasti paremmin jarrutuskitkamittarin tulosten kanssa kuin DSC111-anturilla kerätyt tulokset. Testiratakokeissa, ns. keinotekoisilla pinnoilla molemmat optiset mittarit toimivat huonommin ja pitivät liukkainta keliä (vaaleaa tasaista jääpintaa) kaikista pitävimpänä.

Tässä selvityksessä käytettyä menettelyä, jossa kahta samanlaista mittaria verrattiin sekä toisiinsa, että jarrutusmatkan perusteella laskettuun kitkaan, suositellaan käytettäväksi myös tulevaisuuden hyväksymismenettelyissä.

**Mikko Malmivuo: Resultatet av jämförelsen av friktionsmätare 2011.** Trafikverket trafikledshållning. Helsingfors 2011. Trafikverkets undersökningar och utredningar 48/2011. 80 sidor och 2 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-731-5.

## Sammanfattning

Syftet med utredningen var att samla in uppgifter om hur noggranna och tillförlitliga de vanliga friktionsmätarna är för att man vid uppföljningen av vinterväghållningskvaliteten ska kunna ta i bruk nya friktionsmätare. Dessutom ville man ta reda på hur väl de nya mätarna kan jämföras med de gamla mätarna, hur mätningen av friktionen borde ske samt hur man borde gå tillväga när de nya mätarna godkänns i fortsättningen. Optiska friktionsmätare testades för att få mera information om deras förmåga att observera halt väglag.

Mätarna testades både på särskilda testbanor och på vanliga landsvägar i samband med kvalitetsuppföljningen genom stickprov. De friktionsmätare som jämfördes var Eltrip-45n av gammal typ samt  $\mu$ TEC, Gripman och Eltrip-7kmb av ny typ som utnyttjar accelerationssensorer. De jämförda optiska mätarna var Vaisalas DSC111 och Teconers RCM411. Dessutom använde man på testbanorna en T2GO-friktionsmätare som skuffades för hand och Vbox-anordningarna Performance Box och Lite II, vilka mäter bromssträckorna. Skillnaderna mellan såväl de vanliga friktionsmätarna som de optiska friktionsmätarna var klart större än väntat.

Med de vanliga friktionsmätarna observerades både systematisk variation i standardskillnaden som slumpmässig spridning för mätningsresultatens del. Variationen i standardskillnaderna var störst med  $\mu$ TEC och minst med Gripman och nya Eltrip. Den slumpmässiga spridningen var störst med nya Eltrip och  $\mu$ TEC samt minst med Gripman. Med alla de vanliga friktionsmätarna observerades ganska stora variationer i friktionsvärdena när man varierade inbromsningslängden på testbanorna. Variationen var en aning mindre med  $\mu$ TEC, där man kunde reglera tidskonstanten, det vill säga den tidsram inom vilken friktionsmätaren mätte fordonets retardation. Mätarnas känslighet för längden på inbromsningen betyder i praktiken att den som utför mätningen måste vara så erfaren att längden på inbromsningen inte varierar oskäligt i mätningarna.

$\mu$ TEC och Gripman kunde kompensera inverkan av backar så att mätarna kunde användas för mätning av friktionen också i backar. Av de mätare som var försedda med en accelerationssensor kunde bara Gripman åstadkomma tillförlitliga friktionsmätningresultat i de allra halaste testförhållandena.

Optiska givare jämfördes med traditionella friktionsmätare i samband med kvalitetsuppföljningen genom stickprov. De resultat som samlats in med RCM411-givare korrelerar betydligt bättre med resultaten av traditionella friktionsmätare än de resultat som samlats in med DSC111-givare. I försök på testbanor med s.k. konstgjorda ytor fungerade de båda optiska mätarna sämre och tolkade det halaste väglaget (ljus jämn isyta) som den yta som gav det bästa väggreppet.

Det förfarande som användes i den här utredningen, där två likadana mätare jämfördes med varandra och med den friktion som beräknades utgående från bromssträckan rekommenderas att användas när friktionsmätare godkänns också i framtiden.

**Mikko Malmivuo: Friction meter comparison study 2011.** Finnish Transport Agency, Infrastructure Maintenance and Operations. Helsinki 2011. Research reports of the Finnish Transport Agency 48/2011. 80 pages and 2 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-255-731-5.

## Summary

The purpose of the study was to collect data on the accuracy and reliability of various friction meters, so that new friction meters could be introduced in the quality control of highway winter maintenance. Another purpose was to study how comparable the new meters are to old types, and to investigate friction measurement methods and a future approval procedure for new friction meters. Optical road sensors were tested in order to gather more information on their ability to detect slippery road conditions.

The friction meters were tested both on special testing circuits and on regular highways during spot quality control testing. The friction meters compared were the old type of Eltrip-45n, and the new type of  $\mu$ TEC, Gripman and Eltrip-7kmb equipped with acceleration sensors. Vaisala's DSC111 and Teconer's RCM411 were the optical road sensors used. Additionally, the T2GO friction tester, operated when walking, and Vbox devices for measuring braking distances, the Performance Box and Lite II, were used on the testing circuits. The differences between different friction meters and various optical road testers were much greater than expected.

Both systematic level-variation and random deviations were detected in the measurement results for friction meters. The level-variations were highest with the  $\mu$ TECs and the lowest with Gripmans and the new Eltrips. Random deviations were highest with the new Eltrips and  $\mu$ TECs and the lowest with Gripmans. All friction meters demonstrated rather large variations in the friction values when braking times were varied on the testing circuits.  $\mu$ TECs demonstrated slightly lower variation, since they supported adjusting the time constant, or the time frame during which the friction meters measured the vehicle's deceleration. In practice, the meters' sensitivity to braking distance means that the person performing the testing must be sufficiently experienced, in order to keep the braking times reasonably similar during measurement.

$\mu$ TEC and Gripman were able to compensate for the effect of gradients, allowing these meters to be used for friction testing on hills. Of the devices equipped with an acceleration sensor, only Gripman was able to generate reliable friction measurement results in the most slippery test circuit conditions.

Optical road sensors were compared to a traditional friction meter during spot quality checks. Results collected with an RCM411 sensor correlate much more closely with the results of the traditional friction meters than those collected with a DSC111 sensor. During test circuit testing on so-called artificial surfaces, the operation of both optical sensors was poorer: they gauged the most slippery conditions (light, smooth ice surface) as having the highest friction.

The procedure used in this study, where two similar friction meters are compared both to each other and friction calculated based on the braking distance, is recommended for future approval procedures.

## Esipuhe

Suomessa talvihoidon laatuvaatimukset määrittävät maanteiden hoidon tason talviaikaan. Laatuvaatimuksissa on määritelty mm. ns. kitkarajat, joiden alle tienpinnan pito ei saa talviaikana laskea. Nämä kitkarajat perustuvat tietyn tyyppisillä laitteilla mitattuihin kitkoihin. Nämä laitteet, joihin nykyisissä laatuvaatimuksissa viitataan, mittaavat ajoneuvon hidastuvuuden jarrutuksen aikana renkaan pyörimisnopeuden muutoksen perusteella ja päättelevät tämän hidastuvuuden perusteella kitkan.

Viime aikoina on markkinoille tullut kuitenkin uudentyyppisiä mittauslaitteita, jotka mittaavat jarrutuksen aikaista hidastuvuutta sisäisten kiihtyvyyssanturien avulla. Alustavien selvitysten valossa nämä laitteet ovat yhtä tarkkoja kuin vanhat kitkamittarit sekä lisäksi huomattavasti helpommin asennettavissa.

Tämän tutkimuksen tavoitteena onkin tarkastella uusien kiihtyvyyssanturilla varustettujen kitkamittareiden luotettavuutta ja tarkkuutta sekä lisäksi tarkastella vanhojen ja uusien kitkamittareiden antamien tulosten välistä yhteyttä. Lisäksi vertailuun on otettu mukaan kahden eri valmistajan optiset kitkamittarit. Optisia laitteita käytetään etupäässä kelimuutosten havainnointiin, eikä niiden tarkkuus vielä riitä siihen, että niiden perusteella voitaisiin sitovasti tarkastella laatuvaatimusten noudattamista.

Tämän tutkimuksen on tehnyt dipl.ins. Mikko Malmivuo Innomikko Oy:stä. Tutkimuksen kenttämittauksista on vastannut Juha-Matti Vainio Roadconsulting Oy:stä. Työtä on ohjannut kunnossapitoasiantuntija Tuovi Päiviö-Leppänen Liikennevirastosta. Työn ohjausryhmään ovat kuuluneet myös Olli Penttinen ja Heikki Lappalainen Liikennevirastosta sekä Yrjö Pilli-Sihvola Kaakkois-Suomen elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksesta. Raporttia ovat kommentoineet tutkimusprofessori Juha Luoma VTT:ltä sekä Juha-Matti Vainio Roadconsulting Oy:stä.

Helsingissä marraskuussa 2011

Liikennevirasto  
Väylänpito-osasto



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	9
1.1	Tausta .....	9
1.2	Tavoitteet .....	10
2	KITKAN MITTAAMISEN FYSIIKKAA.....	11
3	TUTKIMUKSESSA KÄYTETTYJEN MITTAUSLAITTEIDEN ESITTELY .....	13
3.1	Eltrip-45n ("vanha Eltrip") .....	15
3.2	μTEC.....	16
3.3	Gripman.....	17
3.4	Eltrip-7kmb ("uusi Eltrip") .....	18
3.5	DSC111 .....	18
3.6	RCM411.....	19
3.7	T2GO .....	19
3.8	Vbox .....	20
4	KOERATATESTIEN OLOSUHTEET SEKÄ KOKEIDEN SUORITUS .....	21
4.1	Karhennettu jää 16.3.....	23
4.2	Sileä jää ja lumipolanne 17.3.....	25
4.3	Lumi- ja jääpolanne 18.3. ....	26
4.4	Mäkitestit lumipolanteella 19.3. ....	28
4.5	Pehmeä, kova ja höylätty lumipolanne 20.3. ....	30
4.6	Märän asfaltin mittaukset 7.4.....	32
5	KOERATATESTIEN TULOKSET .....	33
5.1	Mäen vaikutus kitkan mittaukseen ja jarrutusmatkoihin.....	33
5.2	Jarrutuskitkat eri radoilla.....	35
5.3	Jarrutuskitkat eri nopeuksilla.....	40
5.4	Jarrutuskitkat eripituisilla jarrutuksilla.....	41
5.5	Jarrutuskitkat mittarit eri asennoissa.....	42
5.6	Jarrutuskitkat uusilla ja vanhoilla talvirenkailla.....	43
5.7	Optiset mittarit ja T2GO .....	44
6	PISTOKOELAADUNVALVONNAN YHTEYDESSÄ TEHTY KITKAMITTAREIDEN VERTAILU .....	46
6.1	Käyttäjän arvio mittauslaitteiden ergonomiasta.....	46
6.2	Jarrutuskitkamittarit .....	47
6.2.1	Samana valmistajan kahden eri laitteen keskinäinen vertailu .....	47
6.2.2	Laitteiden vertailu vanhaan Eltrip-mittariin.....	50
6.3	Optiset kitkamittarit .....	55
7	VERTAILUTAULUKOT JARRUTUSKITKAMITTAREILLE.....	61
8	JARRUTUSKITKAMITTARIEN TARKKUUSVAATIMUKSET .....	65
9	TALVIHOIDON KITKARAJAT SUOMESSA, RUOTSISSA JA NORJASSA .....	68
10	NASTARENGASMERKIN VAIKUTUS KITKASKAALAAN.....	71

11	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	73
11.1	Tutkimuksen kitkamittareiden tarkkuus ja luotettavuus .....	73
11.1.1	µTEC	73
11.1.2	Gripman.....	74
11.1.3	Eltrip-7kmb .....	75
11.1.4	Eltrip-45n .....	76
11.1.5	DSC111 .....	76
11.1.6	RCM411.....	76
11.1.7	T2GO	76
11.1.8	Vbox	77
11.2	Jarrutuskitkanmittauksen suoritustapa.....	78
11.3	Talvihoidon laadunseurannan kitkaskaalat.....	78
11.4	Suositus kitkamittareiden hyväksymismenettelyksi .....	79
	LÄHTEET .....	80

#### LIITTEET

Liite 1	Testiratamittausten tuloksia
Liite 2	Kitkanmittauksen menetelmäkuvaus ja vaatimukset jarrutuskitkamittareille

# 1 Johdanto

## 1.1 Tausta

Suomessa maanteiden talvikauden kunnossapito on määritelty Liikenneviraston julkaisemissa talvihoidon laatuvaatimuksissa. Näissä vaatimuksissa on esitetty raja-arvot tien pinnan liukkaudelle. Raja-arvot pohjautuvat ns. perinteisillä kitkamittareilla mitattuihin kitkalukemiin. Näillä laitteilla arvioidaan kitka ajoneuvon jarrutuksen aikaisen hidastuvuuden perusteella. Hidastuvuus lasketaan pyörän pyörimisnopeuden perusteella, kun verrataan pyörimisnopeutta ennen ja jälkeen jarrutuksen. Laitteilla on kuitenkin kaksi puutetta:

- Laitteen asentaminen ajoneuvoon on suhteellisen vaativaa, sillä kytkentä ajoneuvon nopeusmittarin anturiin edellyttää ammattitaitoa.
- Laitteilla mittauksen alku- ja loppukohdat määräytyvät usein jarruvalojen syttymisen ja sammumisen perusteella. Tämä ei ole kuitenkaan aivan sama kuin teholliseen jarrutukseen kuluva aika, joten menetelmä johtaa tietyn tasoiseseen mittaus tulosten hajontaan (mm. Virtala 2008).

Alustavien selvitysten mukaan kiihtyvyyssanturilla varustettujen kitkamittareiden tarkkuus olisi vähintään samaa luokkaa kuin vanhojen jarrutuskitkamittareilla. Lisäksi kiihtyvyyssanturilla varustettujen mittareiden asentaminen ajoneuvoon on vaivattomampaa: riittää kun mittarit ovat mukana siten, etteivät ne pääse pahasti heilahtelemaan jarrutuksen aikana.

Tämän selvityksen alkaessa kolme suomalaista valmistajaa oli tuonut markkinoille kiihtyvyyssanturitekniologiaa hyödyntävän jarrutuskitkamittarin. Ensimmäisenä markkinoille oli tullut AL- Engineering -yhtiön Gripman. Sen jälkeen Teconer Oy kehitti tiettyjen matkapuhelimien sisäisiä kiihtyvyyssantureita hyödyntäneen  $\mu$ TEC-ohjelmiston. Aivan tutkimuksen alla perinteisiä jarrutuskitkamittareita valmistanut Trippi Oy toi markkinoille oman kiihtyvyyssanturilla varustetun Eltrip-mallinsa. Tämän selvityksen käyttöön päätettiin hankkia kaikilta valmistajilta 2 kappaletta kunkin yrityksen kitkamittareita.

Jotta talvihoidon laatuvaatimukset ja vaatimuksiin perustuva laadunseuranta voidaan perustaa kiihtyvyyssantureilla varustettujen kitkamittareiden varaan, on uusien mittareiden tarkkuus- ja luotettavuusselvitysten lisäksi selvitettävä myös uusien mittareiden kitkaskaala ja vertailtavuus vanhoihin mittareihin nähden. Lisäksi on pidetty puutteena sitä, että vanhojen kitkamittareiden yhteys varsinaiseen fysikaaliseen kitkaan ja jarrutusmatkaan on hyvin hatara (ks. luku 3).

Vaisala Oy kehitti 2000-luvun alussa optiseen kelinhavainnointiin perustuvan laitteen, joka muiden suureiden ohessa antaa arvion pinnan kitkasta. Tätä laitetta on pääosin käytetty tienvarren tiesääasemien yhteydessä, mutta mikään ei estä pitämistä laitetta mukana myös liikkuvassa ajoneuvossa. Tämän tutkimuksen jo ollessa käynnissä Teconer Oy toi markkinoille toisenlaisen erityisesti mobiilikäyttöön räätälöidyn optisen kitkamittarin nimeltään RCM411 (Road Condition Monitor).

Optisten kitkamittareiden luotettavuus ja tarkkuus eivät vielä riitä siihen, että niillä voitaisiin sitovasti osoittaa se, ovatko laatuvaatimukset täyttyneet, mutta teiden sääohjauksessa sekä kunnossapidon ohjauksessa ne ovat varteenotettavia apuvälineitä. Jotta näidenkin laitteiden tarkkuudesta ja luotettavuudesta saataisiin paremmin kuvaa, ne otettiin mukaan tähän vertailuun.

Mainituista laitteista vain kiihtyvyyssanturilla varustettu Eltrip sekä RCM ovat nyt ensikertaa mukana riippumattomassa tutkimuksessa. Muilla laitteilla tehtyjä aiempia tutkimuksia on kuvattu Malmivuon (2011) esiselvityksessä.

Huomattakoon, että tässä raportissa on ilmausten yksinkertaistamisen vuoksi puhuttu kitkan mittaamisesta vaikka fysikaalisesti oikea ilmaus olisi kitkakertoimen mittaaminen. Raportissa kitkaa on siis käytetty kitkakertoimen synonyyminä.

## 1.2 Tavoitteet

Tämän selvityksen tavoitteena oli arvioida:

- uusien kiihtyvyyssanturilla varustettujen kitkanmittareiden tarkkuutta ja luotettavuutta
- optisten kitkamittareiden tarkkuutta ja luotettavuutta
- miten vanhojen kitkamittareiden ja uusien kiihtyvyyssanturilla varustettujen mitta-  
reiden kitkat ovat vertailtavissa
- mitatun kitkan yhteyttä fysikaalisiin suureisiin kuten jarrutusmatkaan

Selvityksen keskeisenä tavoitteena oli saada uusia kitkamittareita käytettäväksi talvi-  
hoidon laadunseurannassa. Lisäksi tavoitteena oli tehdä esitys uusien kitkanmittareiden hyväksymismenettelyksi.

## 2 Kitkan mittaamisen fysiikkaa

Fysiikan lakien mukaan kitkakerroin määrittää pitkälle sen, miten jarrutuksen aikainen ajoneuvon liike-energian muutos vaikuttaa jarrutusmatkaan, eli:

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

missä:

- $m$  = ajoneuvon massa
- $v_0$  = jarrutusmatkan mittauksen lähtönopeus
- $v_i$  = jarrutusmatkan mittauksen loppunopeus
- $\mu$  = kitkakerroin
- $g$  = maan vetovoiman kiihtyvyys, eli 9,81 m/s<sup>2</sup>
- $L$  = jarrutusmatka

Kun edellä kuvatun yhtälön perusteella lasketaan kitkakerroin, supistuu ajoneuvon massa pois yhtälöstä. Tämä tarkoittaa sitä, että kaksi renkailtaan, aerodynamiikaltaan ja jarrujärjestelmiltään identtistä autoa tarvitsevat samasta lähtönopeudesta samalla alustalla yhtä pitkän jarrutusmatkan pysähtyäkseen, vaikka ajoneuvojen massa olisi täysin erilainen.

$$(2) \quad \mu = ((v_0)^2 - (v_i)^2) / 2 g L$$

Jos jarrutusmatkaa mitataan mäessä, kaavaan tulee kaksi muutosta.

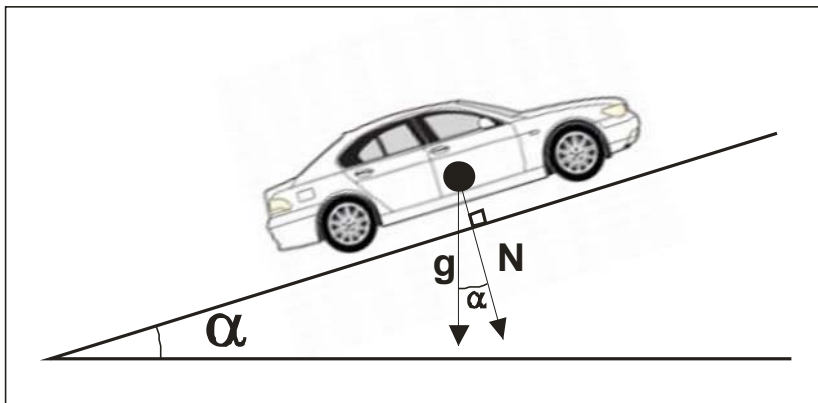
a) Koska maanvetovoiman kiihtyvyys  $g$  ei ole enää kohtisuorassa maan pintaan nähden (kuva 1), korvataan  $g$  sillä  $g$ :n komponentilla, joka on kohtisuorassa maan pintaan nähden:

$$g \Rightarrow \cos \alpha * g$$

,missä  $\alpha$  on mäen nousukulma

b) Lisäksi kaavaan tulee lisätä potentiaalienergian vaikutus, joka on

$$m * g * h, \text{ missä korkeus } h = \sin \alpha * L$$



Kuva 1. Kun auto on mäessä, maan vetovoiman ja pintaa vastaan kohtisuoran voiman kulma on sama kuin mäen nousukulma.

Tällöin jarrutusmatkan kaava on mäessä:

$$(3) \quad \frac{1}{2} m (v_0)^2 - \frac{1}{2} m (v_i)^2 \pm mg \sin \alpha L = \mu m \cos \alpha g L$$

jolloin termi ( $\pm$ ) on (+) alamäessä ja (-) ylämäessä.

Tästä voidaan johtaa kitkan kaava mäessä, joka on

$$(4) \quad \mu = \frac{(v_0)^2 - (v_i)^2}{2 \cos \alpha g L} \pm \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha}$$

Kaavasta (4) huomataan, että termin  $\cos \alpha$  merkitys on lähes olematon. Esimerkiksi huomattavan jyrkässä 10 %:n ylämäessä (10 metriä nousua 100 metrin matkalla)  $\cos \alpha$  saa arvon 0,995, eli luku vaikuttaa vasta kitkan kolmanteen desimaaliin. Näin ollen kaavan ensimmäinen termi antaa kitkaksi suunnilleen saman arvon kuin tasaisella jarrutettaessa, eli:

$$\frac{(v_0)^2 - (v_i)^2}{2 \cos \alpha g L} \approx \frac{(v_0)^2 - (v_i)^2}{2 g L}$$

Mäen vaikutus sisältyy pääosin kaavan viimeiseen termiin. Koska

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha = \text{"vastainen sivu / viereinen sivu"}$$

päädytäänkin mielenkiintoiseen havaintoon. Kun kitkaa lasketaan jarrutusmatkan perusteella:

- 5 %:n alamäessä on lisättävä kitkaan 0,05, niin saadaan kitka tasaisella.
- 10 %:n alamäessä on lisättävä kitkaan 0,10, niin saadaan kitka tasaisella.
- 5 %:n ylämäessä on vähennettävä kitkasta 0,05, niin saadaan kitka tasaisella
- 10 %:n alamäessä on vähennettävä kitkasta 0,10, niin saadaan kitka tasaisella jne.

Vaihtoehtoisesti oikea mäen pinnan kitka saadaan laskemalla ylä- ja alamäen kitkojen keskiarvo.

### 3 Tutkimuksessa käytettyjen mittauslaitteiden esittely

Tutkimuksessa on käytetty tien pinnan kitkan mittaamiseen kahdeksaa erilaista laitetta. Ne on lueteltu taulukossa 1 ja esitetty kuvissa 2 ja 3).

Taulukko 1. Tutkimuksessa käytetyt laitteet toimintaperiaatteen mukaan ryhmiteltyinä

Laiteryhmä	Toimintaperiaate	Nimi
"Perinteiset jarrutuskitkamittarit"	Mittaa ajoneuvon jarrituksen aikaisen hidastuvuuden renkaan pyörimisnopeuden perusteella ja laskeen sen mukaan kitkan.	Eltrip-45n
Kiihtyvyyssanturilla varustetut jarrutuskitkamittarit	Mittaa ajoneuvon jarrituksen aikaisen hidastuvuuden kiihtyvyyssanturin avulla ja laskee sen mukaan kitkan.	μTEC
		Gripman
		Eltrip-7kmb
Optiset kitkamittarit	Mittaa valon paluuheijastuvuutta tien pinnasta ja päättelee sen perusteella kelin olomuodon ja kitkan. Ei fyysistä kosketusta tien pintaan.	DSC111
		RCM411
Mekaaniset kitkamittarit	Mittaa kitkaa erityisen mittausrenkaan tai -renkaiden avulla, joihin on saatu erilaisten mekaanisten ratkaisujen avulla tietty luisto. Kitka lasketaan mittaamalla luiston suuruutta eri keleillä.	T2GO
Ajoneuvon mittainstrumentti	Mittaa mm. ajoneuvon nopeuden ja jarrutusmatkan tarkan GPS:n avulla. Laite ei ilmoita kitka-arvoa, mutta se on helposti laskettavissa mitatun lähtö- ja loppunopeuden sekä jarrutusmatkan avulla.	Vbox



*Kuva 2. Mittausauton peräkoukkuun on kiinnitetty RCM411 ja katolla on DSC111. Mittausauton vieressä on T2GO. Jarrutuskitkamittarit ovat mittausauton sisällä kojelaudan tuntumassa.*





*Kuva 3. Mittausauto sisältä. Ylimpänä näkyvät sinivihreät Gripmanit, sekä niiden alla uudet Eltrip-7kmb kitkamittarit. µTEC-ohjelmistolla varustetut matkapuhelimet ovat uusien Eltrippien vasemmalla puolella. Aivan kuvan alareunassa on perinteinen Eltrip-kitkamittari. Kuvassa Gripmanit ovat vielä vanhoissa telineissään, telineet vaihdettiin myöhemmin jäykempään.*

### 3.1 Eltrip-45n ("vanha Eltrip")

Eltrip-45n on mittausperiatteeltaan ns. perinteinen jarrutuskitkamittari. Vastaavia laitteita on Suomessa käytetty jo 1980-luvulta asti. Nämä ns. perinteiset jarrutuskitkamittarit arvioivat hidastuvuuden sen perusteella, kuinka paljon ajoneuvon eturenkaan pyörimisnopeus on muuttunut jarrutuksen aikana. Tämä edellyttää laitteen mekaanista kytkemistä ajoneuvon nopeusmittarin anturiin sekä usein myös jarruvaloihin, mikä on suhteellisen aikaa vievä ja ammattitaitoa vaativa toimenpide. Näitä perinteisiä jarrutuskitkamittareita on Suomessa myyty mm. tuotenimillä Coralba, C-trip, Eltrip ja Digitrip. Tällä hetkellä talvihoidon laatuvaatimuksissa esitetyt kitkavaatimukset perustuvat näillä perinteisillä jarrutuskitkalaitteilla mitattaviin kitka-arvoihin.

Vertailussa mukana ollut laite on Eltrip-45n -sarjan perusmalli, jossa ei ollut kaikkia sarjan edistyneemmille malleille tyypillisiä ominaisuuksia. Edistyneimmissä malleis-

sa on mm. valmius langalliseen tiedonsiirtoyhteyteen sekä GPS-paikannus. Lisäksi valmistaja tarjoaa yksilöllisiä tietokoneohjelmia erilaisiin mittauskäyttöihin.

Koska ajoneuvot, joissa mittareita käytetään, ovat usein rakenteeltaan, jarrujärjestelmiltään ja renkailtaan hieman erilaisia, on mittauslaitteet kalibroitava. Tätä varten näissä perinteisessä jarrutuskitkalaitteissa on ns. sisäinen kalibrintikerroin, jota voidaan tarvittaessa muuttaa.

Tässä selvityksessä Eltrip-45n -laitteesta on käytetty jatkossa pääosin nimeä "vanha Eltrip", jotta laite olisi helpompi erottaa uusista kiihtyvyyssanturilla varustetuista Eltripeistä.

Trippi Oy myy tällä hetkellä Eltrip-45n laitetta noin 700 € hintaan (+alv). Asennus ajoneuvoon maksaa valmistajan mukaan erikoisliikkeessä noin 200–300 €.

## 3.2 $\mu$ TEC

Vuonna 2008 Teconer Oy toi markkinoille matkapuhelimissa käytettävän  $\mu$ TEC-kitkanmittausohjelmiston. Ohjelmisto sopii periaatteessa kaikkiin niihin matkapuhelinmalleihin, joissa on valmiina kiihtyvyyssanturi. Käytännössä puhelimen soveltuvuus kitkanmittaukseen kannattaa kuitenkin varmistaa mittausohjelman valmistajalta.

$\mu$ TEC-ohjelmalla varustettu matkapuhelin on toiminnoiltaan monipuolinen kitkanmittari. Ohjelma tallentaa kitkatiedon puhelimen muistiin sekä lähettää tarvittaessa tiedon välittömästi myös ohjelman kehittäjän palvelimelle. Ohjelman kehittäjän ylläpitämässä palvelussa kitkanmittaustulos sijoitetaan matkapuhelimen GPS-paikka-koordinaattien perusteella kartalle, jolloin mittaus on välittömästi kaikkien palvelun käyttäjien nähtävissä. Puhelimen muistiin tallentuu kitkatiedon lisäksi kellonaika, mittauspaikan GPS-koordinaatit sekä ajoneuvon nopeus ja etenemissuunta.

Kitkaa mitattaessa voidaan käyttää joko positiivista tai negatiivista kuittaustyyppiä. Positiivisessa kuittauksessa laite tallentaa ja lähettää automaattisesti kaikki laitteen mitaamat kitkat, ellei mittausta erillisellä painalluksella hylätä. Negatiivisessa kuittauksessa laite tallentaa ja lähettää kitkatiedot vain, jos mittaus erillisellä painalluksella hyväksytään.

Laitteen kalibrointi on kaksivaiheinen. Laitteelle tulee tehdä sekä ajoneuvo- että asentokalibrointi. Ajoneuvokalibrointi vastaa perinteistä kalibrintimenettelyä, jossa laitteen sisäistä kalibrintikerrointa muuttamalla voidaan saavuttaa haluttu kitkataso pinnalla, jonka kitkataso tunnetaan. Asentokalibroinnissa laitteelle kerrotaan ajoneuvon etenemissuunta. Laitteen asentoa voidaan siten helposti muuttaa varsinaisen ajoneuvokalibroinnin jälkeen.

Koska mittaustarpeet ja käyttäjät ovat erilaisia, mittausten suoritustapa, erityisesti jarrutuksen pituus vaihtelee. Tämän vuoksi  $\mu$ TEC-ohjelma antaa mahdollisuuden muuttaa myös ohjelman sisäistä aikavakiota, jonka tulisi olla ohjelman kehittäjän mukaan noin puolet jarrutusajan pituudesta. Mitä suurempi on aikavakio, sitä pidemmältä matkalta hidastuvuus lasketaan, ja sitä tarkempi on mittaustulos. Toisaalta liian pitkä aikavakio voi johtaa siihen, että jarrutus loppuu kesken hidastuvuuden laskennan, jolloin mittaus epäonnistuu.

Koska  $\mu$ TEC-ohjelmiston kehittäjä on havainnut, että tietäntyyppisten laskentahäiriöiden määrä lisääntyy helposti hyvin pienillä kitkatasoilla, on ohjelman oletusarvoksi asetettu, että laite ei mittaa alle 0,20 kitkoja. Sitä pienemmillä kitkatasoilla laite antaa oletusarvoisesti kitkaksi 0,20. On huomattava, että laitteen tehdasasetusten mukainen kitkaskaala on erilainen kuin perinteisillä jarrutuskitkamittareilla, joten laitteen 0,20 tarkoittaa käytännössä huomattavasti alhaisempaa kitkatasoa, kuin mitä perinteisten mittareiden 0,20 edustaa. Tämän vuoksi sellaiset kelit, joissa laitteen alin kitkataso alittuu, ovat hyvin harvinaisia. Äärimmäisissä olosuhteissa pienintä mahdollista kitka-arvoa voidaan laskea laitteen asetusvalikon kautta. Laitteen kehittäjä ei kuitenkaan suosittele, että laitetta käytettäisiin jatkuvasti tilassa, jossa pienin mahdollinen kitkataso on säädetty alle 0,20:n.

Loppuvuonna 2010 yhden käyttäjän  $\mu$ TEC-ohjelmaliisenssiä myytiin hintaan 500,00 € + alv.

### 3.3 Gripman

Gripman on ensimmäinen kotimainen kiihtyvyyssanturilla varustettu kaupallinen kitkamittari. Gripman on AL-Engineering Oy:n kehittämä. Kuten kaikissa kiihtyvyyssanturilaitteissa, mittarin asennus on hyvin helppoa. Mittari asennetaan autoon siten, ettei se heilu kohtuuttomasti jarrutuksen aikana. Mittari toimii standardimallisten matkapuhelintelineiden kanssa, tosin kaikki telineet eivät ole Gripmanin käyttöön riittävän jäykkiä.

Toisin kuin vertailun muut kiihtyvyyssanturilla varustetut laitteet, Gripman voidaan asentaa autoon vain yhdessä asennossa. Vain aivan pystysuoraan sijoitettuna laite näyttää valmiusasennossa kitkalukemaa 0,00. Kitkanäyttöä käytetään siten laitteessa myös osoittamaan oikeaa käyttöasentoa. Laite tulee asentaa mittarin takaseinä kohti menosuuntaa. Tämän asennon suhteen voi syntyä virheitä ilman, että Gripman itse huomauttaa virheellisestä asennosta. Mikäli laitteen asentoa ei muuteta kalibroinnin jälkeen, ei pieni virhe laitteen suuntauksessa vaikuta mittaustuloksiin.

Laitteessa ei ole sisäistä muistia, mutta laitteen mittausravot voidaan lähettää bluetoothin välityksellä ajoneuvossa olevalle tietokoneelle tai matkapuhelimelle. Laitteen kehittäjä tarjoaa Gripmanin käyttäjille tietokoneohjelmaa, joka vastaanottaa laitteen kitkalukemat ja liittää havaintoon tietokoneen kellonajan. Lisäksi kehittäjä tarjoaa tarvittaessa johdolliset painikkeet, jolloin laitteen käyttöpainikkeet voidaan tuoda käyttäjän kannalta mahdollisimman ergonomiseen paikkaan.

Gripmanin kalibroitiperiaate on hyvin samanlainen kuin vanhoilla jarrutuskitkamittareilla: laitteessa on sisäinen säädettävä kalibroitikerroin, jota on helppo muuttaa vaatimusten mukaiseksi.

Gripmanin hinta oli loppuvuonna 2010 noin 850,00–950,00 € + alv varustelusta riippuen. Kalliimpi hinta pitää sisällään mm. johdolliset painikkeet.

### 3.4 Eltrip-7kmb ("uusi Eltrip")

Perinteisiä jarrutuskitkamittareita valmistanut Trippi Oy toi vuonna 2010 markkinoille myös kiihtyvyyssanturia hyödyntävän mallin. Myynnissä on 3 erilaista mallia, joista kallein ja kehittynein malli Eltrip-7kmb hyödyntää Bluetooth-tiedonsiirtoa. Tiedonsiirto on tällöin mahdollista esim. tietokoneella tai matkapuhelissa toimivalle Tietomekka Oy:n Autori-sovellukselle. Trippi Oy:llä ei ole kuitenkaan toistaiseksi tarjota laitteelle omaa ajoneuvotelinettä eikä yhteysohjelmaa tietokoneelle.

Laitteen voi kiinnittää ajoneuvoon missä asennossa tahansa. Tässä tutkimuksessa lähdettiin oletuksesta, että laite on kalibroitava uudelleen, mikäli asentoa muutetaan peruskalibroinnin jälkeen, mutta myöhemmin valmistajalta tulneiden tietojen mukaan asennon muutos ei välttämättä vaadi uusintakalibrointia. Laitteen kalibrointilogiikka eroaa täysin kaikista muista testin jarrutuskitkalaitteista. Laite kalibroidaan siten, että kun laitteella on jarrutettu pinnalla, jonka tavoitekitka tiedetään, laitteeseen vain syötetään haluttu kitka-arvo jarrutuksen jälkeen. Laitteessa ei siis ole mitään kalibroitikerrointa, jota seuraamalla voisi varmistua, ollaanko kohtuullisella tasolla renkaiden käyttöiän suhteen (Suomessa kokeneimmat kitkamittaajat pitävät jatkuvasti kirjaa kalibrointikertoimistaan suhteessa renkaan käyttöikään). Käytännössä laite muuttaa kalibroinnin jälkeisiä mittauksia kertoimella, joka on:

Eltrip-7kmb kalibrointikerroin =  $a/b$

jossa,

$a$  = kalibrointijarrutuksessa syötetty kitka

$b$  = kalibrointijarrutuksessa mitattu vanhan kalibrointitason mukainen kitka

Kalibroitaessa laite ei kuitenkaan ilmoita lukua  $b$ , joten käyttäjän on mahdotonta laskea, miten laite kalibroinnin jälkeen korjaa kitkalukemia vanhaan tasoon nähden. Näin ollen yhteys vanhoihin kitkamittauksiin menetetään aina kalibroinnin aikana.

Valittu kalibrointimenettely on ilmeisesti valittu siksi, että on ajateltu, että uusi kalibrointitapa olisi vaivattomampi, koska enää ei jouduta erikseen laskukoneella laskemaan sitä, millä kalibrointikertoimella päästäisiin haluttuun kitkatasoon. [VARMISTA LAITTEEN KEHITTÄJÄLTÄ]

Bluetooth-yhteydellä varustettu Eltrip-7kmb maksoi vuoden 2010 lopussa 650,00 € + alv. Tässä tutkimuksessa Eltrip-7kmb -laitteista on käytetty pääosin nimitystä "uusi Eltrip", jotta laite olisi helpompi erottaa vanhanmallisesti Eltrip-45n -laitteesta.

### 3.5 DSC111

Vaisala kehitti 2000-luvun alussa optisen keli- ja kitka-anturin. Laite analysoi tien pinnasta heijastuneen valon perusteella tien pinnan olosuhteita. Laitetta on käytetty runsaasti tienvarren kiinteiden tiesääasemien yhteydessä, mutta laitteen mobiiliversio soveltuu käytettäväksi liikkuvaan ajoneuvoon asennettuna. Laite tulisi suunnata noin 45 asteen kulmassa tien pintaan nähden. Se voidaan asentaa ajoneuvon kattotelineisiin joko osoittamaan eteen- tai taaksepäin. Jotta laite rekisteröisi mahdollisim-

man tarkasti ajo-olosuhteita, se on syytä suunnata joko vasemman tai oikeanpuolisten renkaiden jättämään uraan.

Jos laite halutaan asettaa osoittamaan auton etupuolelle, 45 asteen kallistuskulmasta seuraa helposti se, että laite olisi asennettava kattotelineille pitkän varren päähän, jotta laite suuntautuisi tiehen eikä konepeltiin. Toisaalta taas varren olisi oltava huomattavan jäykkä, sillä laitteen toiminta todennäköisesti kärsii huomattavasta ylösalas -liikkeestä. Lisäksi linssin likaantumisen todennäköisyys on suurempi eteenkuin taaksepäin asennettaessa. Taaksepäin asennettaessa saadaan helpommin tukeva kiinnitys 45 asteen kallistuskulmalla, mutta tällöin ongelmana saattaa olla ajoittain auton nostattama lumipöly. Tässä tutkimuksessa DSC111-anturia käytettiin alun kokeilujen jälkeen pääosin taaksepäin.

Tällä hetkellä DSC111 tarvitsee ajoneuvoon oman tietokoneen, joka toimii samalla tiedonkeruuyksikkönä. Anturin ja tietokoneen välinen yhteys on langallinen. Tietokone tallentaa dataa noin 20 kertaa minuutissa.

Laite kalibroidaan kuivalla ja paljaalla asfalttipinnalla näyttämään kuivaa keliä. Kitkan ohella laite ilmoittaa jää- ja vesikerroksen paksuuden. Lisäksi se erottelee tienpinnan tilan, mikä voi olla kuiva, kostea, märkä, luminen, jäinen tai loskainen. Dataan sisältyy myös päivämäärä ja kellonaika (minuutin tarkkuudella). Tässä tutkimuksessa käytetyn mobiiliversion hinta on valmistajan mukaan vielä avoin.

## 3.6 RCM411

Tutkimukseen saatiin myös osaksi aikaa mukaan Teconer Oy:n valmistaman optisen RCM411 -anturin prototyyppi. Kyseinen laite kiinnitetään ajoneuvon peräkoukkuun ja se suunnataan osoittamaan 90 asteen kulmassa tietä vasemman takapyörän takana. Laitteen käyttö ei vaadi ajoneuvoon asennettua tietokonetta, vaan laite lähettää tiedon bluetoothin avulla matkapuhelimelle. Tällöin matkapuhelimen näytöltä voidaan seurata tienpinnan kitkan muutoksia ajantasaisesti.

Kitka-arvo sekä muu tietosisältö tallentuu puhelimen muistiin sekunnin välein, joten laitteen käyttö vaatii helposti matkapuhelimen lisämuistikorttia. Kitka-arvon lisäksi muistiin tallentuu päivämäärä, kellonaika (sekunnin tarkkuudella), paikkakoordinaatit, kitka ja pinnan tila (kuiva, kostea, märkä, jäinen, luminen/kuurainen ja loskainen). Lisäksi tämän tutkimuksen testien jälkeen laitteeseen on lisätty veden määrää (0-3 mm) tai lumen ja jään määrää kuvaava lukema.

Laite kalibroidaan alussa kuivalla tiellä näyttämään kuivaa keliä. Laitteen kehittäjä on arvioinut laitteen hintatasoksi alle 10 000 euroa.

## 3.7 T2GO

T2GO on runsaan 20 kilon painoinen kitkamittari, jota käytetään työntämällä laitetta tien pintaa pitkin jalkaisin liikuttaessa. Laitteen kahden renkaan välillä on kiinteä 20 %:n luisto. Laite ilmoittaa kitka-arvon ajantasaisesti omalla näytöllään ja tallentaa lisäksi tulokset sisäiseen muistiinsa, josta tulokset ovat purettavissa. Laitteen on kehittänyt ruotsalainen ASFT (ASFT = Airport Surface Friction Tester), joka valmistaa erilaisia kitkamittareita pääasiassa lentokenttien kitkan mittaukseen. Kyseinen T2GO

soveltuu kokonsa puolesta myös hyvin tiemerkitöjen ja kevyen liikenteen väylien kitkan mittaukseen. Laitteen hinta on yli 10 000 euroa. Kyseinen laite oli tämän tutkimuksen aikana lainassa Aalto-yliopiston tie- ja liikennelaboratoriosta.

## 3.8 Vbox

Vbox on kansainvälinen tuoteperhe, joka tarjoaa eritasoisia mittainstrumentteja auton- ja rengasvalmistajien sekä autourheilun harrastajien käyttöön. Tuotteita valmistaa Racelogic Ltd ja Suomessa maahantuo mm. Sim-Racing Oy. Vboxin mittainstrumenttejä käytetään mm. tarkkaan ajoneuvon kiihtyvyyden, nopeuden ja jarrutusmatkojen mittaukseen. Suomessa Vboxin tuotteita käyttävät mm. Testworld Oy ja Nokian Renkaat.

Tämän tutkimuksen käyttöön hankittiin edullisin Vbox, eli Performance Box sekä laitteeseen sopiva ulkoinen GPS antenni. Nämä maksoivat yhteensä 520,00 € + alv. Lisäksi testiradoilla tehtävissä mittauksissa saatiin vertailun vuoksi lainaksi Nokia Renkaiden käytössä ollut Vbox Lite II -malli.

Performance Boxin asentaminen on varsin yksinkertaista. Laite, johon kuuluu pieni näyttöpäätte, sijoitetaan imukupeilla tuulilasiin. Ulkoinen antenni kiinnitetään magneetilla ajoneuvon kattopeltiin. Antennin ja päätelaitteen välillä on johto, joka kulkee ongelmitta oven tiivisteen läpi. Laitetta ei kalibroida.

Jarrutusmatkaa mitattaessa Vboxiin syötetään haluttu lähtö- ja loppunopeus. Käytännössä jarrutus tulisi aloittaa nopeudesta, joka on vähintään 10 % yli halutun mittauksen lähtönopeuden. Mittaus kannattaa lopettaa mieluummin esimerkiksi nopeuden 5 km/h kuin 0 km/h, sillä haastateltujen asiantuntijoiden mukaan jarrutuksen loppuvaihteen liukastelu ja nyökkiminen lisää huomattavasti tulosten hajontaa.

Mikään ei selvästikään estäisi valmistajaa lisäämään laitteeseen myös kitkan mittauksen mahdollisuuden, sillä kitka voidaan laskea helposti jarrutusmatkan, sekä lähtö- ja loppunopeuden perusteella. Tätä arvoa ei ole kuitenkaan toistaiseksi tuloksiin liitetty.

Käytössä ollut malli Vbox Lite II toimi jarrutusmatkan mittauksen osalta muuten kuten Performance Box, mutta laite syötti tiedot suoraan tietokoneelle.

Valitettavasti Vboxien tarkkuudesta on tätä kirjoitettaessa huomattavan vähän tietoa. Tekniikan maailma (2009) testasi joukon kiihtyvyyksmittareita ja testin perusteella Performance Box tarjosi hintaluokkansa tarkinta tietoa. Testissä Performance Boxin GPS-paikannukseen perustuva kiihtyvyystieto oli tarkempaa kuin monen kilpailijan kiihtyvyyksanturin avulla keräämä tieto (Tekniikan Maailma 2009).

Nokia Renkaiden kehityspäällikkö Mikko Liukkulan mukaan heitä on kiinnostanut ensisijaisesti Vboxien suhteellinen tarkkuus, eivätkä he ole nähneet sen suhteen moitittimisen sijaa. Absoluuttista tarkkuutta he eivät ole juurikaan selvittäneet, mutta testeissä ei ole myöskään ilmennyt mitään sellaista, jonka perusteella he olisivat nähneet syytä sitä epäillä.

## 4 Koeratatestien olosuhteet sekä kokeiden suoritus

Kitkamittareita testattiin jää- ja lumipintaisilla testiradoilla Ivalossa maaliskuussa. Testit 16.3.–19.3.2011 tehtiin Nokian Renkaiden Ivalon testialueella ja testit 20.3.2011 Testworldin testiradalla Ivalossa. Lisäksi tehtiin yksi testisarja märällä asfaltilla 7.4.2011 maantiellä Porin lähistöllä, sillä Ivalon testiradoilla ei ollut maaliskuussa käytettävissä paljasta asfalttia. Yhteenveto testiratojen pinnoista ja sääolosuhteista on esitetty taulukossa 2. Testipäivien olosuhteita on vielä kuvattu yksityiskohtaisemmin luvuissa 5.1.1–5.1.5.

Taulukko 2. Yhteenveto testiratojen pinnoista ja sääolosuhteista

Pvm	Pinta	Ilma °C	Pinta °C	Sää
Ke 16.3.2011	Karhennettu järven jää	-5°...-1°	-6°...-5°	Pouta
To 17.3.2011	Sileä jää (maarata)	-6°...-4°	-5°...-4°	Pouta
	Lumipolanne (maarata)	-4°...-1°	-4°...-3°	Pouta
Pe 18.3.2011	Lumipolanne (järven jää)	-4°...-3°	-6°...-4°	Pouta
	Jääpolanne (maarata)	-2°...-1°	-4°...-3°	Pouta
La 19.3.2011	Jääpolanne (maarata)	-3°...-2°	-4°...-3°	Pouta, hyvin heikko lumisade
	Mäkitestit (mäkinen tie)	-3°...-2°	-4°...-3°	Pouta, hyvin heikko lumisade
Su 20.3.2011	Pehmeä lumipolanne (maarata)	-12°...-2°	-10°...-4°	Pouta
	Kova lumipolanne (maarata)	-12°...-2°	-10°...-4°	Pouta
	Höylätty lumipolanne (maarata)	-12°...-2°	-10°...-4°	Pouta
Ma 7.4.2011	Märkä asfaltti (maantie)	+4°		Pouta, vesisade juuri päättynyt

Yhteenveto mittauksista on esitetty taulukossa 3. Jarrutuskitkamittareiden osalta keskeisin mittaus oli normaalien tuotantomittausten mukainen "perusmittaus" 60 km/h nopeudesta. Tällainen mittaus suoritetaan käytännössä siten, että ajoneuvo jarrutetaan 60 kilometrin tuntinopeudessa noin 1,5 s ajan siten, että jarrupoljin on painettuna pohjaan asti.

Jos mittaukset yhdellä testiradalla venyivät, tämä perusmittaus uusittiin, jotta saatiin kuvaa kelin mahdollisesta muutoksesta. Resurssien mukaan tehtiin mittaussarja eri nopeuksilla (40 ja 80 km/h) sekä eripituisilla jarrutuksilla. Lyhyt jarrutus oli vajaan sekunnin ja pitkä yli 2 s. Jarrutuksen keston tarkkaan mittaukseen ei ollut mitään erityistä menetelmää, vaan luotettiin mittaajan omaan tuntumaan. Jarrutuksen pituutta vaihdeltaessa käytettiin µTEC-laitteissa vastaavasti eri aikavakioita. Lyhyissä jarrutuksissa 0,25, normaalissa 0,5 ja pitkässä 0,75 s.

Koska uudella Eltripillä kallistuskulman muutoksen uskottiin vaativan uuden kalibroinnin, joka toisaalta hävittää yhteyden vanhoihin mittausrivoihin (ks. luku 2.3), jarrutuskitkamittareiden kulmaa päätettiin muuttaa vain viimeisen testipäivän (20.3.2011) loppuun. Tällöinkin kulmaa muutettiin vain toisen µTEC-laitteen ja uuden Eltripin osalta, sillä Gripman ei salli minkäänlaisia kallistuskulman muutoksia.

Jarrutusmatkaa mitattiin kolmella eri tavalla: kahdella Vbox-laitteella (Performance Box ja Vbox Lite II) sekä pelkkää mittanauhaa hyväksi käyttäen. Jarrutusmatkan mittaaminen mittanauhalla osoittautui oletettua hankalammaksi, sillä kaikilla lumipintaisilla radoilla lumi pölysi sen verran auton takana, että pöly peitti täydellisesti alleen kaikki jarrutusjäljet. Jääradalla etenkin uusilla nastarenkailla kyettiin jäädä löytämään hienoisia raapaisujälkiä jarrutuksen oletetusta alkamiskohdasta (ABS-jarrut





## 4.1 Karhennettu jää 16.3.

Kokeet aloitettiin järven jäälle auratulla radalla, joka oli karhennettu erityisellä jäänkarhennuslaitteella (kuvat 4 ja 5). Karhennus sinänsä vaikutti varsin homogeeniselta, mutta pinnassa oli pientä aaltoilua. Aaltoilua oli vaikea paljain silmin havaita, mutta etenkin mittausauton kulkiessa suurimmalla mittausnopeudella (80 km/h) saattoi auton havaita hieman heilahtelevan horisontaalisesti. Lisäksi jään värissä oli huomattavia muutoksia, väri vaihteli hyvin tummasta varsin vaaleaan. Mittaukset tehtiin yhteen suuntaan, kevyeen myötätuuleen. Tuuli myös kuljetti kevyitä lumikerroksia jään yli, mutta testin aikana ei ollut havaittavissa vähäisintäkään lumen kerrostumista jään pinnalle.

Koska ilman lämpötila oli korkeimmillaan  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , jää oli karhennuksesta huolimatta varsin liukasta. Vanhoilla talvirenkailla mitattiin vanhalla Eltripillä luokkaa 0,11–0,13 olevia tuloksia.

Nokia Renkaiden asiantuntijat kertoivat tekevänsä jarrutusmittaukset jäällä siten, että he ottivat jään edustalla olevalta lumelta vauhtia, mutta poistivat aina ensimmäisen jarrutuksen tuloksista, koska renkaiden puhdistuminen lumesta kesti aina yhden jarrutuksen verran. Tätä menetelmää sovellettiin myös tähän tutkimukseen, vaikka lumen vaikutus näkyi tuloksissa varsin heikosti: tyypillisesti ensimmäiset mittausarvot olivat Eltrip-45n:llä 1–2 sadasosaa pienempiä kuin myöhemmät.

Karhennetulla jääradalla tehdyissä mittauksissa  $\mu\text{TEC}$ -laitteiden kitkan alaraja laskettiin normaalista 0,20 aina 0,10 asti. Toinen  $\mu\text{TEC}$ -laite, eli Nokian 5230-puhelin toimi näissä olosuhteissa hieman oudosti. Kun laite normaalisti näytti hieman päälle 0,20 kitkatasoa hajonnan ollessa varsin maltillinen, joissakin mittauksissa taso putosi yllättäen kymmenyksellä, näyttäen tyypillisimmin arvoa 0,11. Näihin poikkeuksellisiin mittauksiin liittyi myös sellainen piirre, että kun mittausarvojen aikaleima vaihteli toiseen  $\mu\text{TEC}$ -puhelimeen nähden normaalisti  $\pm 1$  sekuntia, poikkeuksellisten arvojen aikaleima oli aina -3...-4 sekuntia toiseen  $\mu\text{TEC}$ -puhelimeen nähden. Tämä ilmiö toistui vain jääradoilla olosuhteissa, joissa kitkan alarajaa oli laskettu normaalista 0,20 arvosta. Seuraavassa luvussa esitetyissä tuloksissa nämä poikkeukselliset arvot on poistettu tarkastelusta.  $\mu\text{TEC}$ -ohjelman kehittäjän mukaan havaittu ilmiö johtui siitä, että laite on havainnut mittauksen alussa hyvin alhaisen kitkan ja keskeyttänyt tässä vaiheessa laskennan.



*Kuva 4. Koerata karhennetulla jäällä 16.3.2011.*



*Kuva 5. Koerata karhennetulla jäällä 16.3.2011. Lähikuva.*

## 4.2 Sileä jää ja lumipolanne 17.3.

Mittauksia tehtiin aamulla maapohjaisella radalla olevalla hyvin liukkaalla sileällä jäällä (kuva 6). Pinta oli niin liukas, että vanha Eltrip näytti vanhoilla talvirenkailla 0,06 kitkatasoa ja T2GO jopa ajoittain arvoa 0,00. Näissä olosuhteissa  $\mu$ TEC-puhelimet toimivat vielä uusilla, mutta eivät enää vanhoilla talvirenkailla. Tällöin  $\mu$ TEC-puhelimet eivät antaneet mitään tuloksia, vaikka kitkan alarajana kokeiltiin sekä 0,10:ä, että 0,05:ä. Poikkeuksellisten olosuhteiden vuoksi radalla tehtiin vain perusmittaukset sekä uusilla että vanhoilla talvirenkailla.

Mittauksia tehtiin kumpaankin suuntaan tuulen ollessa lähes olematonta. Maaradalla oli kuitenkin pientä pituussuuntaista kaltevuutta, mikä näkyi hyvin siinä, että vanhoilla renkailla jarrutusmatkan mukaan lasketut kitkat olivat toiseen suuntaan 0,09 ja toiseen 0,10. Muuten jään pinta oli ehkä vielä homogeenisempää kuin järvenjäällä. Pieni aaltoilu puuttui ja isoille jääkentille tyypillisiä pieniä halkeamia oli selvästi vähemmän kuin järven jäällä. Pinnan väri oli huomattavan vaaleaa ja väri vaihtelu oli selvästi vähäisempää kuin edellisen päivän karhennetulla jäällä.



Kuva 6. Sileä jää aamulla 17.3.2011

Iltapäivällä mittauksia jatkettiin maaradalla lumipolanteella (kuva 7). Testiradoille tyypillisesti polanne oli pinnasta niin pehmeää, että siihen jäi helposti kengän jälki, mutta toisaalta niin kantavaa, ettei mittausauto jarruttaessaankaan uponnut mitenkään havaittavasti. Pinta vaikutti varsin homogeeniselta.

Rata laski 1000 metrin matkalla vajaat 10 metriä, eli mittaukset tehtiin vajaan 1 prosentin alamäkeen. Koska mittauksia tehtiin vain yhteen suuntaan, tehtiin lauantaina 19.3. tarkistusmittaukset kumpaankin suuntaan, jotta alamäen vaikutus tuloksista saatettiin eliminoida. Kitkataso oli vanhalla Eltripillä 0,27–0,28 loivaan alamäkeen.



*Kuva 7. Lumipolanne iltapäivällä 17.3.2011.*

### 4.3 Lumi- ja jääpolanne 18.3.

Aamulla tehtiin mittauksia järvenjälle tehdyllä lumipolanteella (kuva 8). Tämä testirata oli kaikin puolin varsin tasalaatuinen. Lumiradalla ei ollut havaittavissa lainkaan samanlaista pientä aaltoilua, kuin viereisellä jääradalla. Pinta oli yhtä kovaa kuin edellisen päivän polanteella ja niin paksu, ettei jää päässyt missään olosuhteissa paistamaan lumen alta. Kitkataso vanhalla Eltrpilillä oli noin 0,29.



*Kuva 8. Lumipolanne aamupäivällä 18.3.2011. Kuva on otettu kohdasta, josta voi havaita, kuinka syväälle lumeen auton renkaat painuivat.*

Sekä Nokian Renkaiden että Testworldin testiradoilla pystytään periaatteessa valmistamaan kolme eri kitkatasoa edustavaa talvista pintaa: sileää ja karhennettua jäätä sekä lumipolannetta. Koska testiviikon aikana ei ollut kovia pakkasia edes öisin, oli vaikea löytää karhennetun jään 0,13 ja lumipolanteen 0,29 välillä olevia kitkatasoja (kitka vanhan Eltripin mukaan). Iltapäivällä tapahtui kuitenkin edellisen päivän maaradan lumipolanteella toivottu ilmiö: lumipolanne oli tuulen ja lämpötilan vaihteluiden seurauksena jäätynyt pinnastaan. Tällöin saavutettiin jääpolanne, jonka kitkataso oli vanhalla Eltripillä 0,18–0,21 (kuva 9).



Kuva 9. Jääpolanne iltapäivällä 18.3.2011

#### 4.4 Mäkitestit lumipolanteella 19.3.

Maaradan lumipolanteen tarkistusmittausten lisäksi suoritettiin varsinaiset mäkitestit (kuvat 10 ja 11). Testit tehtiin Nokian Renkaiden mäkisillä ajoneuvojen käsittelyraidoilla. Mäkitesteissä mitattiin jarrutuskitkat ja -matkat samassa mäessä sekä ylä- että alamäkeen. Runsaasta tiestöstä huolimatta alueelta oli vaikea löytää niin suoraa mäkiä, että mittaukset olisi voitu tehdä turvallisesti 60 km/h nopeudesta. Sen vuoksi mittausnopeutena käytettiin 40 km/h. Lisäksi tavoitteena oli mitata kitkan referenssiarvot myös vastaavalta pinnalta tasaiselta tieosuudelta. Lähempi tarkastelu kuitenkin osoitti, että lumen pintarakenne oli aina systemaattisesti erilainen mäessä kuin tasaisella. Mäessä lumi oli aina hieman irtonaisempaa ja "möyheämpää" kuin tasaisella. Jalan alla kitkataso tuntui varsin samanlaiselta, mutta yhtenä referenssinä käytetty, kaltevuudelle "tunnoton" T2GO-mittauslaite reagoi varsin voimakkaasti pinnan erilaiseen rakenteeseen mäessä ja tasaisella. Huolimatta siitä, että tasaista referenssipintaa oli vaikea löytää, mäkitesteillä oli paljon informaatioarvoa.

Jyrkempien mäkien (4,6 % ja 8,2 %) kaltevuus mitattiin 3 metrin pituisella oikolaudalla ja digitaalisella vesivaa'alla. Lumipolannesuoran kaltevuuden (1 %) arvio taas perustui Nokian Renkaiden omiin mittauksiin.

Vanha Eltrip ei antanut 4:n ja 8 prosentin alamäkeen jarrutettaessa lainkaan tulosta. Tämä johtui ilmeisesti siitä, ettei laite pystynyt laskemaan jarrutuksen jälkeistä nopeutta tilanteessa, jossa auton nopeus kiihtyi. Talvihoidon laatuvaatimusten mukaan laitetta ei tulisikaan käyttää yli 2 %:n mäessä.



*Kuva 10. Kahdeksan prosentin mäki 19.3.2011.*



*Kuva 11. Neljän prosentin mäki 19.3.2011.*

## 4.5 Pehmeä, kova ja höylätty lumipolanne 20.3.

Sunnuntaina suoritettiin mittauksia Testworldin maaradalla. Testworldin ratamestareita oli pyydetty tekemään mahdollisimman kovaa polannetta, sellaista, jossa päästäisiin alle tyypillisen testiratapolanteen 0,28–0,30 kitkatason. Koska testipäivän aamuna havaittiin, ettei kovan polanteen kitka suuresti eronnut perinteisen pehmeämmän testiratapolanteen kitkasta, kovan polanteen pinnasta höylättiin vielä pari senttiä pois, jolloin saatiin entistä kovempi ja kiillotetumpi pinta. Lopputuloksena testiradalta löytyi selvästi rajattuina alueina kolmea erilaista polannetta: pehmeää, kovaa ja höylättyä lumipolannetta (kuvat 12–14). Näiden pintojen ero oli huomattava kengän pohjalla tunnustellen, mutta selvästi pienempi mittalaitteilla mitaten. Kun kotimaiset Kuoma-kengät jalassa eteni ensin reipasta kävelyvauhtia ja pyrki sen jälkeen pysäyttämään vauhtinsa, saattoi havaita liukuvansa höylätyllä polanteella 70–90 cm, kovalla polanteella 20–30 cm ja pehmeällä polanteella 2–3 cm. Vanhan Eltripin mukaan kaikilla alustoilla liikuttii kuitenkin 0,27–0,29 tasolla.

Pinnat olivat aivan testien tasalaatuisimmasta päästä. Mittauksia tehtiin kumpaankin suuntaan, mutta suuntien välillä ei havaittu kitkojen ja jarrutusmatkojen suhteen minkäänlaisia eroja.



Kuva 12. Höylätty polanne 20.3.2011.





*Kuva 13. Kova ja kumiterällä viimeistelty polanne 20.3.2011.*



*Kuva 14. Pehmeä polanne 20.3.2011.*

## 4.6 Märän asfaltin mittaukset 7.4.

Koska Ivalon mittauksia haluttiin täydentää vielä yhdellä testisarjalla pitävämmissä olosuhteissa, tehtiin 7.4. lyhyt testisarja märällä asfalttipäällysteisellä maantiellä. Mittauksia tehtiin kumpaankin suuntaan, mutta suuntien välillä ei havaittu vanhalla Eltripillä mitään eroa. Näissä kokeissa  $\mu$ TEC-laitteissa oli käytössä uusi ohjelmaversio. Lisäksi  $\mu$ TEC-laitteiden aikavakio oli 0,4, kun muissa testiratamittauksissa 0,5.

## 5 Koeratatestien tulokset

Tässä luvussa on analysoitu testiratakokeiden tuloksia. Luvussa on verrattu kiihtyvyyssanturimittareilla, optisilla mittareilla ja T2GO:lla saavutettuja kitka-arvoja erilaisilla radoilla jarrutusmatkan perusteella laskettuun kitkaan sekä perinteiseen jarrutuskitkamittariin (Eltrip-45n). Lisäksi jarrutuskitkamittarien osalta on tarkasteltu erikseen mittausnopeuden, jarrutuksen pituuden, mittarien asennon sekä mittausauton renkaiden käyttöiän vaikutusta tuloksiin. Analyysien tavoitteena on saada kuvaa eri laitteiden tarkkuudesta ja luotettavuudesta sekä mittaustavan vaikutuksesta tulokseen.

Koska osa testeistä tehtiin lievästi kaltevilla pinnoilla, tarkastellaan ensin sitä, mikä on mäen vaikutus kitkan mittaukseen ja jarrutusmatkoihin. Aloitetaan siis mittausten analysointi 19.3. mäkitestien tuloksista. Tässä luvussa esitetään yhteenveto tuloksista, yksityiskohtaiset mittaustulokset löytyvät liitteestä 1.

### 5.1 Mäen vaikutus kitkan mittaukseen ja jarrutusmatkoihin

Taulukossa 4 on esitetty kitkat mäkitestipäivän jarrutusmatkojen perusteella käyttäen luvussa 2 esitettyä mäen potentiaalienergian huomioon ottavaa kaavaa (4). Tulosten mukaan sekä 4,6% että 8,2% prosentin mäessä saatiin lähes sama kitka, laskettiin kitka sitten ylä- tai alamäen jarrutusmatkojen perusteella. Kitka olisi näissä mäissä ollut täsmälleen sama, jos ylä- tai alamäen jarrutusmatkalukemia olisi muutettu 20 cm tai mäen kaltevuuden arvoa muutettu muutama asteen kymmenys, eli mittaus-tarkkuuden rajoissa päästiin täysin samaan lukemaan. Nämä kitkat kuitenkin erosivat jonkin verran referenssinä pidetystä tasaisen kitkasta, mutta kuten luvussa 4.4 kerrottiin, tasaisen lumipolanne oli kiinteämpää kuin mäessä möyhentynyt lumikerros.

Sen sijaan pitkällä jääpolannesuoralla ala- ja ylämäen perusteella mitatut kitkat erosivat enemmän toisistaan. Kitkat olisivat olleet samat, jos kaltevuus olisi ollut 1,8 %, mutta näin suurta kaltevuutta on vaikea uskoa todeksi, varsinkin kun Nokia Renkaiden omien maamittausten mukaan suoran pituussuuntainen kaltevuus on 0,8–1,0 %. Eroa selittänee alamäen suuntainen kohtalaisen voimakas tuuli.

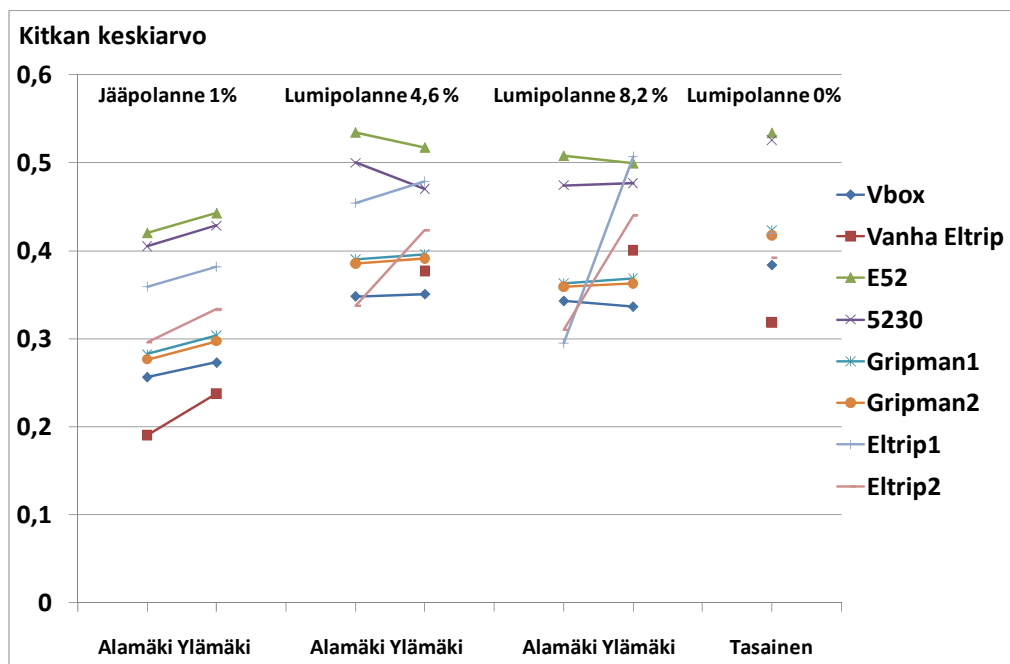
Taulukko 4. Vboxeilla mitatut jarrutusmatkat ylä- ja alamäessä (kahden eri Vboxin mittausten keskiarvo) sekä jarrutusmatkojen ja mäen kulman perusteella lasketut kitkat. Kitkat on erikseen laskettu ylä- ja alamäen jarrutusmatkojen perusteella.

Pinta	Kaltevuus	Vbox jarrutusmatkan keskiarvo (m)		Lasketun kitkan keskiarvo	
		L <sub>ala</sub>	L <sub>ylä</sub>	$\mu_{ala}$	$\mu_{ylä}$
<b>19.3. jääpolanne</b>	<b>1,0 %</b>	39,50	34,40	0,256	0,273
<b>19.3. lumipolanne</b>	<b>4,6 %</b>	20,60	15,60	0,348	0,350
<b>19.3. lumipolanne</b>	<b>8,2 %</b>	23,05	14,85	0,352	0,336
<b>19.3. lumipolanne</b>	<b>0,0 %</b>	16,15		0,384	

Toisin kuin perinteiset jarrutuskitkamittarit, kiihtyvyyssanturimittarit voivat periaatteessa kompensoida mäen vaikutuksen niin, että ala- ja ylämäessä päästään samoihin kitka-arvoihin. Kyky perustuu siihen, että auton ollessa kallellaan laite ryhtyy mittaamaan myös maan vetovoiman kiihtyvyyttä, mikä käytännössä kasvattaa kitka-arvoa alamäessä ja pienentää kitkaa ylämäessä.

Käytetyistä kiihtyvyyssanturimittareista Gripman näytti parhaiten samaa tulosta ylä- ja alamäessä. Gripmaneilla ero ylä- ja alamäen kesken oli 4,6 %:n ja 8,2 %:n määssä alle 0,5 sadasosaa. Kuitenkin 8,2 %:n mäessä Gripman erosi vähemmän Vbox-kitkatasosta kuin 4,6 %:n mäessä. Yhden prosentin suoralla Gripmanien ero ylä- ja alamäen kesken oli noin 2 sadasosaa, mikä tukee edellä esitettyä näkemystä siitä, että tuuli on voinut hyvinkin vaikuttaa mittaustulokseen. Myös  $\mu$ TEC-laitteilla on kyky kompensoida mäen vaikutusta, mutta niillä ei päästy aivan samaan tarkkuuteen kuin Gripmaneilla. Sen sijaan uudet Eltripit näyttivät ylä- ja alamäessä täysin eri arvoja. Eltrippien ylä- ja alamäen arvot erosivat toisistaan sitä enemmän, mitä jyrkemmästä mäestä oli kyse.

Vaikka laite kykenee näyttämään samaa kitka-arvoa ala- ja ylämäessä, se ei tietenkään takaa vielä oikeaa kitkalukemaa. Kun kuitenkin havaitaan, että tasaisella saatiin yleensä vain hieman suurempia kitkoja ja muistetaan, että tasaisella pinta oli vähemmän möyhentynyt kuin mäissä, voidaan Gripmanien ja  $\mu$ TEC:ien tuloksia mäessä pitää varsin oikeansuuruisina.



Kuva 15. Jarrutuskitkamittareilla mitatut kitkat sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat ala- ja ylämäissä 19.3.2011.

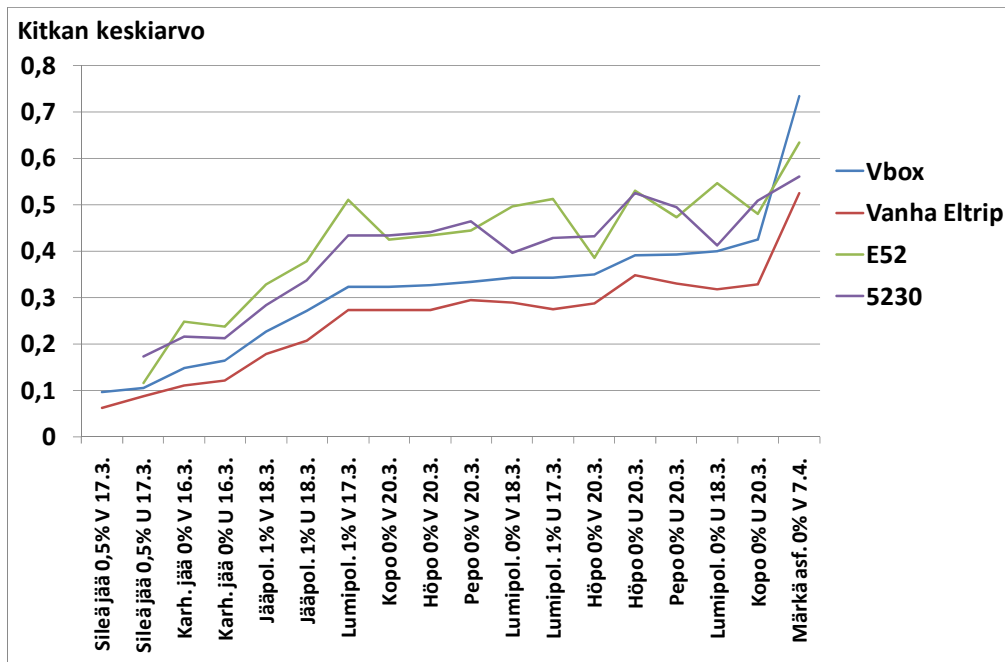
## 5.2 Jarrutuskitkat eri radoilla

Kuvissa 16–18 on verrattu erikseen  $\mu$ TEC-laitteita, Gripmanejä ja uusia Eltrippejä eräänlaisina referenssilaitteina toimineisiin Vboxiin ja vanhaan Eltrippiin eri testiradoilla. Radat on järjestetty Vboxien mukaan lasketun kitkan perusteella nousevaan järjestykseen. Gripmanit vaikuttavat parhaiten noudattavan Vboxien ja vanhan Eltripin mukaista kitkaa. Uusien Eltrippien osalta on huomionarvoista, etteivät ne pystyneet erottamaan merkittävää eroa sileän ja karhennetun jään kitkassa, vaikka ero oli kaikilla muilla mittareilla huomattava. Eltripeillä on kalibroinnin jälkeen jäänyt selvästi tietty tasoero päälle, mikä johtuu laitteiden kohtalaisen suuresta keskinäisestä hajonnasta: kalibroidessa laitteet näyttivät samaa.

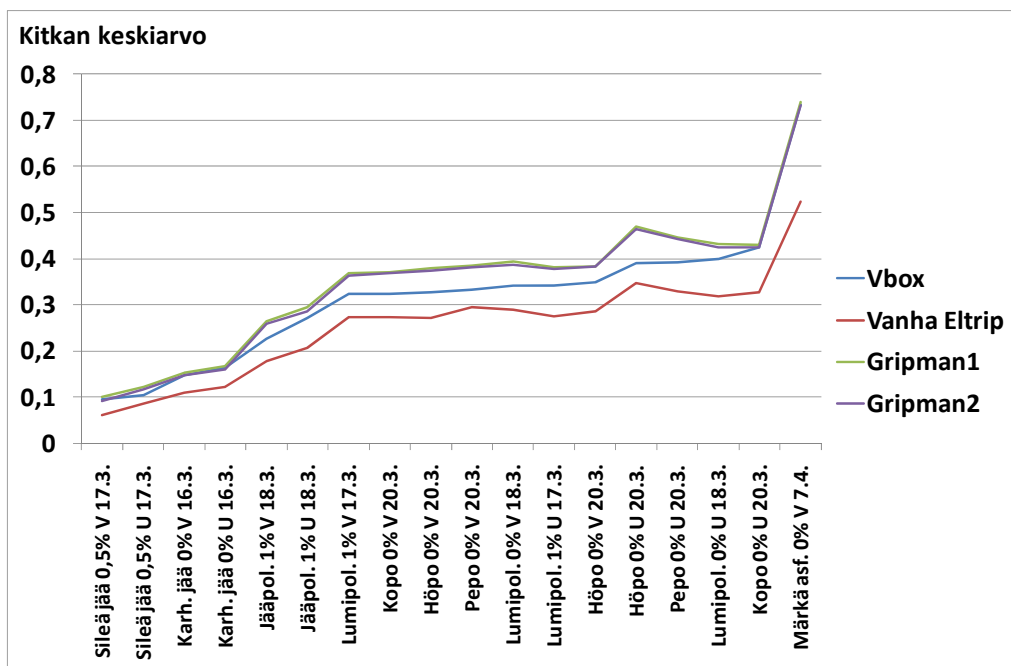
Vbox-mittaukset antavat lähes säännönmukaisesti pienempiä kitka-arvoja kuin kiihtyvyyssanturimittarit talvikeleillä, mutta märällä asfaltilla hyvin tarkasti samoja tuloksia kuin Gripmanit ja uudet Eltripit (sekä selvästi suurempia arvoja kuin  $\mu$ TEC:it). Ilmiön liittyy ilmeisimmin jarrutusaikoihin. Kun lumikeleillä tehtiin jarrutusmatkamittauksia 50 km/h nopeudesta 5 km/h nopeuteen, Vboxien rekisteröimät jarrutusajat olivat vähintään 3 s, mutta tyypillisesti yli 4 s. Jarrutusmatkamittaus kertoi siis ajoneuvon hidastuvuudesta huomattavasti pidemmältä matkalta, kuin mitä jarrutuskitkamittausten noin 1,5 s jarrutukset. Jos esimerkiksi ajoneuvon hidastuvuus on aluksi suurempaa ja myöhemmin pienempää, saattaa tästä seurata eroa jarrutusmatkamittausten ja jarrutuskitkamittausten välillä. Kun sen sijaan märällä asfaltilla tehtiin vastaavia jarrutusmatkamittauksia, jarrutusajat olivat 1,6–1,9 s, jolloin sekä jarrutusmatkamittauksella että jarrutuskitkamittauksella tarkasteltiin ajoneuvon hidastuvuutta kutakuinkin samalta kohdalta. Tuloksia tulkitessa on myös syytä huomata se, että jarrutusmatkamittausten perusteella laskettujen kitka-arvojen virhe kasvaa, kun jarrutusmatkat lyhenevät kitkan kasvaessa. Liitteen 1 mukaan jarrutusmatkamittausten

mukaan laskettujen kitkojen keskihajonta oli talvikeleillä tyypillisesti 0,02, mutta mällä asfaltilla 0,05.

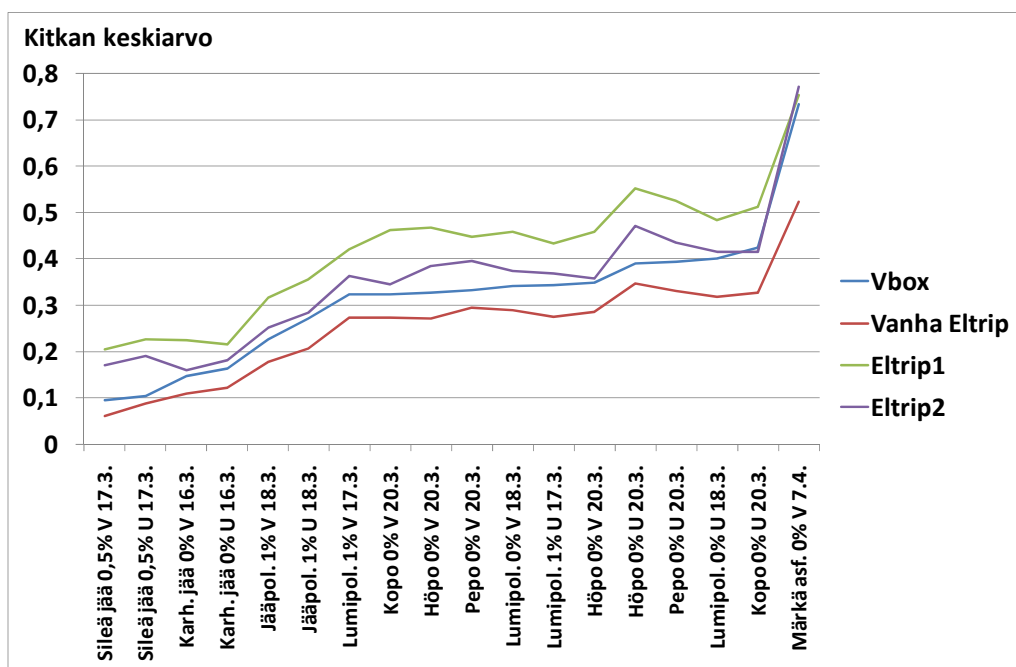
Kuvia tarkastellessa on syytä muistaa, että vanha Eltrip on kalibroitu vain vanhojen renkaiden (V) kanssa. Lisäksi pienen kaltevuuden vaikutus on kompensoitu Vbox-mittauksissa, mutta ei muilla laitteilla.



Kuva 16.  $\mu$ TEC-laitteiden ja vanhan Eltripin sekä jarrutusmatkamittauksen (Vbox) perusteella laskettujen kitkojen keskiarvot eri testiradoilla. Jarrutusmatkamittauksissa on kompensoitu kaltevuuden vaikutus, mutta muilla laitteilla ei. Mittaukset on tehty sileällä jäällä sekä pinnoilla Pepo (pehmeä polanne), Kopo (kova polanne) ja Höpo (höylätty polanne) kumpaankin suuntaan. Muilla pinnoilla yhteen suuntaan. U=uudet renkaat, V=vanhat renkaat.



Kuva 17. Gripmanien ja Vanhan Eltripin sekä jarrutusmatkamittauksen (Vbox) perusteella laskettujen kitkojen keskiarvot eri testiradoilla. Jarrutusmatkamittauksissa on kompensoitu kaltevuuden vaikutus, mutta muilla laitteilla ei. Mittaukset on tehty sileällä jäällä sekä pinnoilla Pepo (pehmeä polanne), Kopo (kova polanne) ja Höpo (höylätty polanne) kumpaankin suuntaan. Muilla pinnoilla yhteen suuntaan. U=uudet renkaat, V=vanhat renkaat.



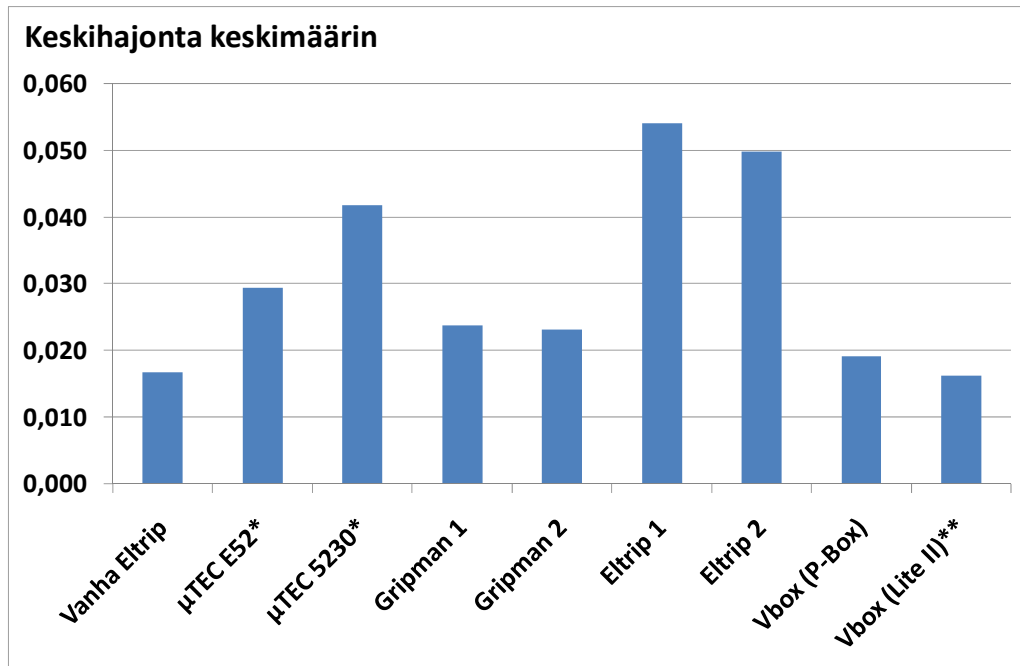
Kuva 18. Uusien ja vanhan Eltripin sekä jarrutusmatkamittauksen (Vbox) perusteella laskettujen kitkojen keskiarvot eri testiradoilla. Jarrutusmatkamittauksissa on kompensoitu kaltevuuden vaikutus, mutta muilla laitteilla ei. Mittaukset on tehty sileällä jäällä sekä pinnoilla Pepo (pehmeä polanne), Kopo (kova polanne) ja Höpo (höylätty polanne) kumpaankin suuntaan. Muilla pinnoilla yhteen suuntaan. U=uudet renkaat, V=vanhat renkaat.

Kuvissa 16–18 on vaaka-akselilla 18 eri testikeliiä. Jokainen yksittäinen testi koostui 4-16:sta yksittäisestä mittauksesta. Liitteessä 1 on esitetty mittaustulosten keskihajonta jokaisen testin osalta. Kuvassa 19 on esitetty vielä yhteenveto siten, että kunkin laitteen osalta on laskettu keskiarvo edellä kuvattujen 18 testin keskihajonnoista. Kuvan perusteella voidaan tehdä seuraavia huomioita:

- Vanhan Eltripin hajonta oli pienin. Tämä johtuu siitä, että laite oli kalibroitu pienemmälle tasolle kuin muut mittarit.. Jos se olisi kalibroitu samalle tasolle uusien mittarien kanssa, keskihajonta olisi samaa tasoa kuin Gripmaneilla.
- Vertailun kaksi Vboxia olivat hajonnaltaan käytännössä samaa tasoa. Performance Boxin ("P-Box") suurempi hajonta johtuu käytännössä siitä, että se oli ainoana Vboxina mukana määrän asfaltin testeissä. Koska määrällä asfaltilla liikuttii korkeammalla kitkatasolla, myös hajonnat olivat suurempia.
- $\mu$ TEC:in keskihajonnat ovat selvästi suurempia 5230-puhelimella kuin E52-puhelimella. Tulokset vahvistavat  $\mu$ Tecin osalta sitä mittauksissa ollutta käytännön tuntumaa, että Nokian E52 sopii selvästi paremmin kitkamittaukseen kuin Nokian 5230-puhelin.  $\mu$ TEC-laitteiden osalta huomattakoon, että  $\mu$ TEC:it eivät toimineet aivan alhaisimmalla kitkatasolla, eli vanhoilla renkailla tehdyissä sileän jään testeissä. Koska keskihajontaluvut ovat alhaisimmilla kitkatasoilla pienimmät, tämä testin puuttuminen teoriassa vääristää hieman vertailua, mutta käytännössä kuitenkin hyvin vähän. Vaikutus kuvan 19  $\mu$ TEC:ien tuloksiin olisi korkeintaan ollut noin 3 %.
- Uusien Eltrippien hajontaluvut ovat huomattavan korkeita muihin laitteisiin verrattuna.

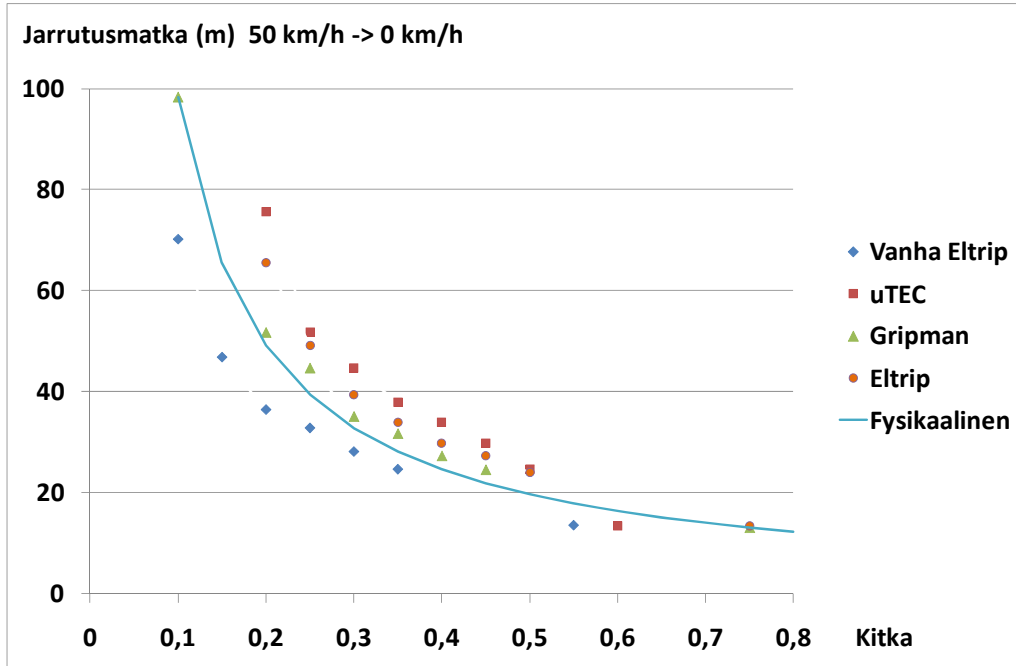
Kuvan 19 tuloksia analysoitaessa on luonnollisesti huomattava, että keskihajontaan vaikuttaa kaksi asiaa: sekä kitkamittareiden epätarkkuus että mitattavan pinnan tasalaatuisuus. Kärjistetysti voidaan jopa kysyä, että kertooko suuri hajonta enemmän laitteen epätarkkuudesta vai laitteen paremmasta herkkyydestä havaita kitkataso vaihteluita näennäisesti tasalaatuisella testiradalla. Tutkijan näkökulmasta voidaan kuitenkin todeta, että Eltrippien havaitsemat viiden sadasosan vaihtelut hyvin tasalaatuisen oloisilla radoilla tuntuvat huomattavan epäuskottavilta. Joka tapauksessa kuvan 19 tuloksia tulee tarkastella pikemminkin suhteessa koko tutkimuskokonaisuuteen, kuin erillisenä yksittäisenä tutkimustuloksena (hajonnasta lisää luvussa 6.2.1).





Kuva 19. Eri kitkamittauslaitteiden tulosten keskihajonta keskimäärin eri koeratesteissä. \*= $\mu$ TEC:t eivät saaneet tulosta vanhoilla renkailla tehdyissä sileän jään testeissä. Testin puuttuminen lisää kuvan  $\mu$ TEC-pylväiden korkeutta korkeintaan 3%. \*\* = Lite II ei ollut mukana märän asfaltin mittauksissa. Koska märän asfaltin kitkataso oli testin korkein, myös hajontaluvut olivat korkeita ja tämä myös vaikuttaa merkittävästi Lite II:n pylvään korkeuteen. Käytännössä P-Boxin ja Lite II hajonta oli aivan samaa tasoa.

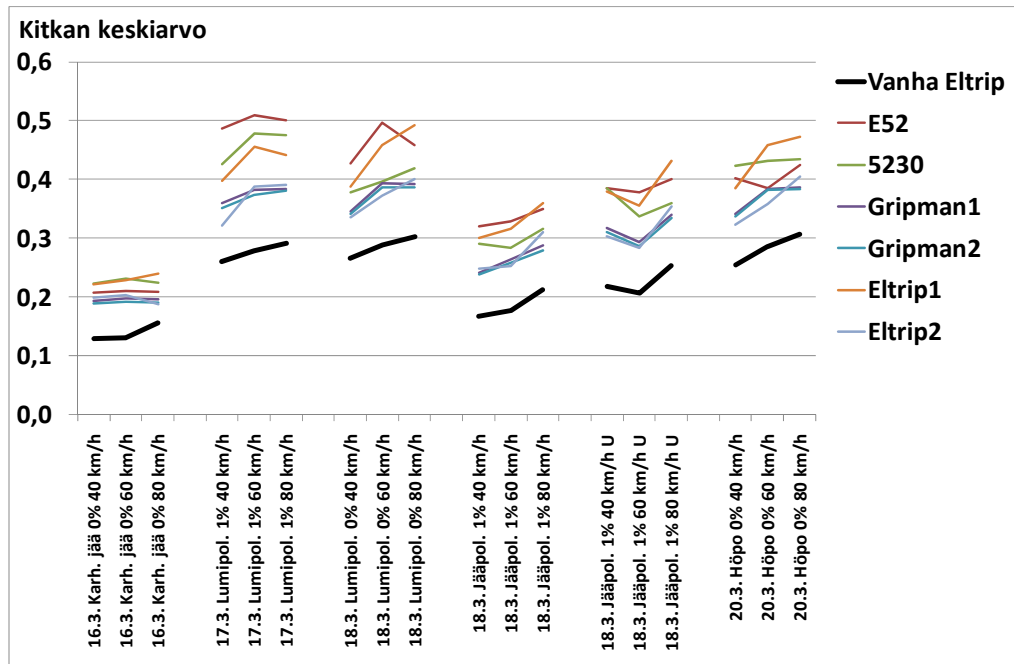
Koska tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli valottaa kitkatasojen yhteyttä fysikaalisiin suureisiin, on kuvassa 20 verrattu kullakin kitkamittarilla saavutettua kitkaa mitattuihin jarrutusmatkoihin. Mitatut jarrutusmatkat on muokattu sellaisiksi, jotka vastaavat jarrutusmatkaa nopeudesta 50 km/h nopeuteen 0 km/h. Fysikaalinen jarrutusmatka tarkoittaa tässä yhteydessä fysiikan lakien mukaan laskettua jarrutusmatkaa. Kuvasta voidaan esim. havaita, että jos kitkataso vanhalla Eltripillä putoaa tasolta 0,30 tasolle 0,20, jarrutusmatka kasvaa noin neljänneksellä. Mutta vastaavasti, jos kitka putoaa tasolta 0,20 tasolle 0,10, jarrutusmatka kaksinkertaistuu.



Kuva 20. Mitatun kitkan ja jarrutusmatkan yhteys testiratasteesteissä. Testeissä käytetyt jarrutusmatkat 40 km/h -> 5 km/h ja 50 km/h -> 5 km/h on muutettu laskennallisesti muotoon 50 km/h -> 0 km/h. Fysikaalinen kitka tarkoittaa fysiikan lakien mukaista jarrutusmatkaa eri kitkatasoilla. Jarrutusmatkat nopeudesta 80 km/h nopeuteen 0 km/h saadaan, jos kerrotaan pystyakselin luvut 2,5:llä.

### 5.3 Jarrutuskitkat eri nopeuksilla

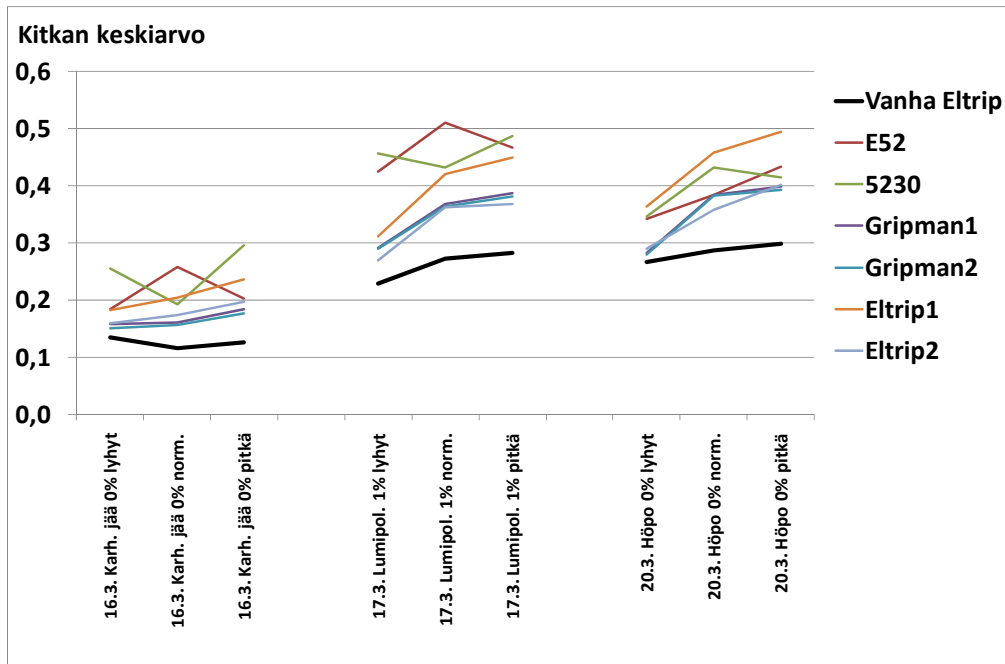
Kuvassa 21 on esitetty peräkkäin mittaukset 40, 60 ja 80 km/h nopeuksista eri radoilla ja eri kitkamittareilla. Koska ilmanvastus kasvaa nopeuden kasvaessa, myös kitkarvot tyypillisesti kasvavat nopeuden lisääntyessä. Kuvan tulokset voisi karkeasti yleistää siten, että nopeuden vaikutus mittaustuloksiin näyttäisi olevan vanhalla Eltripillä ja uusilla kiihtyvyyssanturimittareilla suunnilleen samansuuruisia.



Kuva 21. Uusien kiihtyvyyssanturimittareiden ja vanhan Eltripin kitkan keskiarvo eri mittausnopeuksilla eri testiradoilla. radan kaltevuuden vaikutusta ei ole kompensoitu. Mittaukset on tehty sileällä jäällä sekä pinnoilla Pepo (pehmeä polanne), Kopo (kova polanne) ja Höpo (höylätty polanne) kumpaankin suuntaan. Muilla pinnoilla yhteen suuntaan. Jääpolanteella 18.3. mittauksia tehtiin myös uusilla renkailla (U), muuten mittaukset on tehty vanhoilla renkailla.

## 5.4 Jarrutuskitkat eripituisilla jarrutuksilla

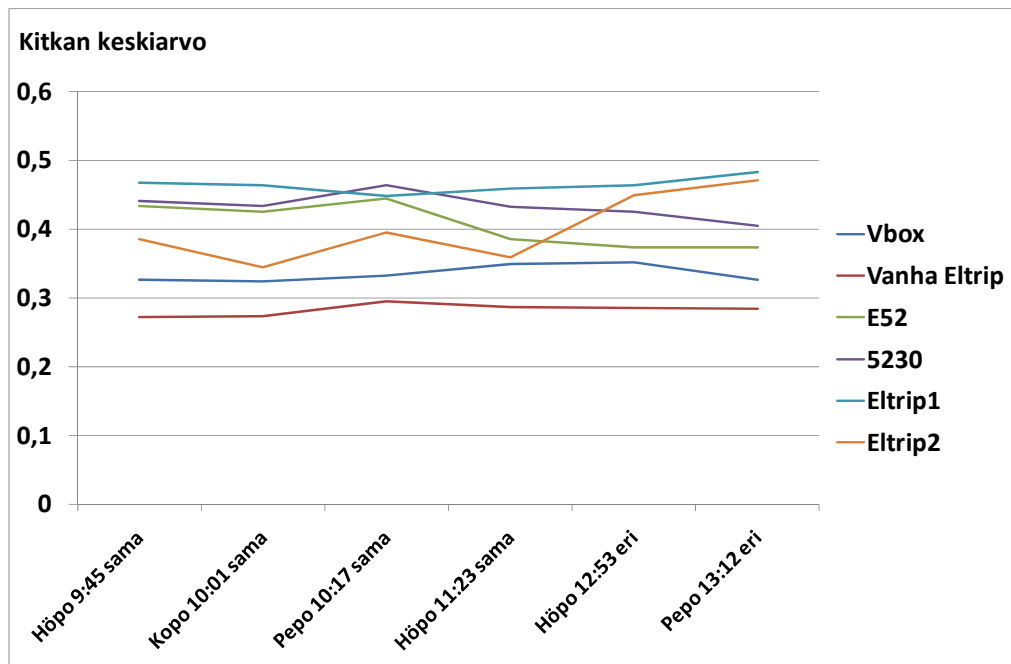
Ivalon testien yhteydessä toistettiin kolmena eri päivänä koe, jossa kitkaa mitattiin paitsi normaalilla jarrutuksella (noin 1,5 s), myös lyhyellä (alle 1 s) ja pitkällä jarrutuksella (yli 2 s).  $\mu$ TEC-laitteiden aikavakiota muunnettiin jarrutusten pituuden mukaisesti arvoihin 0,25, 0,5 ja 0,75 s. Muissa kiihtyvyyssanturilaitteissa ei ollut mahdollista säätää vastaavaa aikavakiota. Kitkataso näyttäisi pääsääntöisesti hieman kasvavan jarrutuksen keston kasvaessa, kiihtyvyyssanturimittareilla jopa enemmän kuin vanhalla Eltripillä (kuva 22). Gripmanilla jarrutusajan lyhentäminen alle sekuntiin muuttaa tuloksia enemmän kuin jarrutusajan kasvattaminen yli 2 s. Vaihtelu vaikuttaisi olevan pienempää pienillä kitkatasoilla.



Kuva 22. Uusien kiihtyvyyssanturimittauslaitteiden ja vanhan Eltripin kitkan keskiarvo eripituisilla jarrutuksilla eri testiradoilla. Radan kaltevuuden vaikutusta ei ole kompensoitu. Mittaukset on tehty pinnalla Höpo (höylätty polanne) kumpaankin suuntaan. Muilla pinnoilla yhteen suuntaan.

## 5.5 Jarrutuskitkat mittarit eri asennoissa

Sekä  $\mu$ TEC-laitteiden että uusien Eltrippien asentoa ajoneuvossa voitiin haluttaessa muuttaa. Asentoa muutettaessa  $\mu$ TEC-laitteille tehtiin ajoneuvokalibrointi, mutta Eltripeille ns. peruskalibrointi. Sunnuntaina 20.3. testien päätteeksi muutettiin toisen  $\mu$ TEC-laitteen (5230-puhelin) sekä toisen uuden Eltripin asentoa (Eltrip 2) ja tehtiin näillä asetuksilla vielä yhden mittaussarjat pehmeällä ja höylätyllä polanteella. Kun tarkastellaan pelkästään 20.3. tehtyjä mittauksia (kuva 23), ei 5230:n käytöksessä voida havaita asennon muutoksen jälkeen mitään poikkeavaa. Sen sijaan Eltrip 2:n taso muuttuu lähemmäs Eltrip1:stä, mutta tämäkin muutos selittyy sillä, että laitetta kalibroitaessa laitteen ilmoittamien kitka-arvojen hajonta vaikuttaa siihen, että aina kalibroinnin jälkeen kitkataso voi hieman muuttua.



Kuva 23. Kitkan keskiarvo mittauslaitteen asennon mukaan ja Vboxien mittaaman jarrutusmatkan mukainen kitkan keskiarvo sunnuntaina 20.3. eri pinnoilla. "Sama" = kiihtyvyyssanturimittarit keskenään samassa asennossa, "eri" = kiihtyvyyssanturimittarit keskenään eri asennossa. "Höpo" = höylätty polanne, "Kopo" = kova polanne, "Pepo" = pehmeä polanne

## 5.6 Jarrutuskitkat uusilla ja vanhoilla talvirenkailla

Jarrutuskitkamittauksessa käytetyn ajoneuvon renkaiden kuluminen saattaa johtaa siihen, että vaikka eri tavoin kuluneilla nastarenkailla varustetut mittausautot kalibroidaan lumipolanteella samaan 0,29-kitkatasoon, liukkaammilla keleillä kuluneilla renkailla varustetut mittausautot mittaavat uusilla renkailla varustettuja mittausautoja pienempiä kitkoja.

Testiratomittauksien alussa vanha Eltrip oli kalibroitu vanhoilla talvirenkailla, eikä kalibroitua muutettu uusia renkaita käytettäessä. Koska 18.3. aamulla saatiin tasaisella lumipolanteella vanhoilla renkailla hyvin tarkkaan 0,29 kitkoja, päätettiin tässä nimellisessä analyysissä käyttää uusien renkaiden osalla jälkikäteen kalibroitikerrointa, joka on:

$k = V/U$ , missä

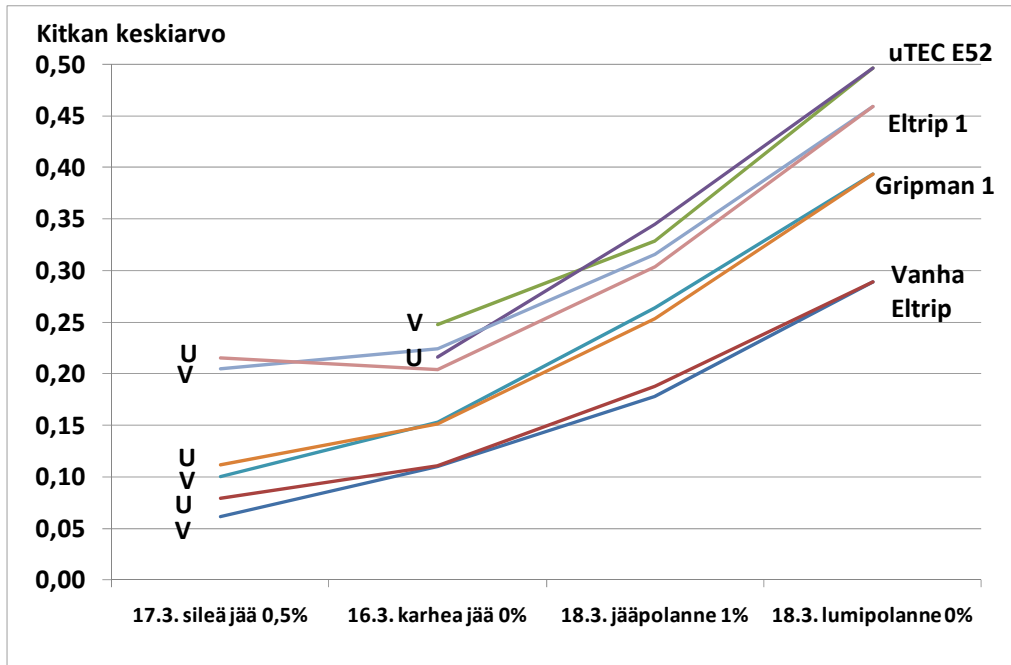
$k$  = kalibroitikerroin (vain tässä analyysissä)

$V$  = kitka vanhoilla renkailla aamulla 18.3.

$U$  = kitka uusilla renkailla aamulla 18.3.

Tämän jälkeen kalibroitui jälkikäteen (vain tässä analyysissä) uusilla talvirenkailla saadut kitka-arvot sileällä jäällä, karhealla jäällä ja jääpolanteella (1 %:n kaltevuus). Koska lumipolanne 18.3. oli kalibroitikelä, tuolloin saatiin luonnollisesti samat kitka-arvot sekä uusilla että vanhoilla renkailla.

Kuvan 24 viesti on selvä. Vanhojen ja uusien talvirenkaiden kitkaprofiilin ero on hyvin pieni, kun käytetty rengas oli tässä tapauksessa hyväkuntoinen. Vanhalla Eltripillä vanhan ja uuden renkaan kitkojen suhde oli alunperin 18.3. lumipolanteella 0,91, mutta sileällä jäällä vain 0,71, mutta koska sileällä jäällä kitka oli pieni, on syntynyt virhe vain alle 2 sadasosaa!



Kuva 24. Uusilla (U) ja vanhoilla (V) renkailla saavutetut kitkan keskiarvot, kun uusien renkaiden kitka-arvot on tätä analyysiä varten kalibroitu jälkeenpäin siten, että uusien renkaiden kitka vastaa vanhojen renkaiden kitkaa 18.3. lumipolanteella.

## 5.7 Optiset mittarit ja T2GO

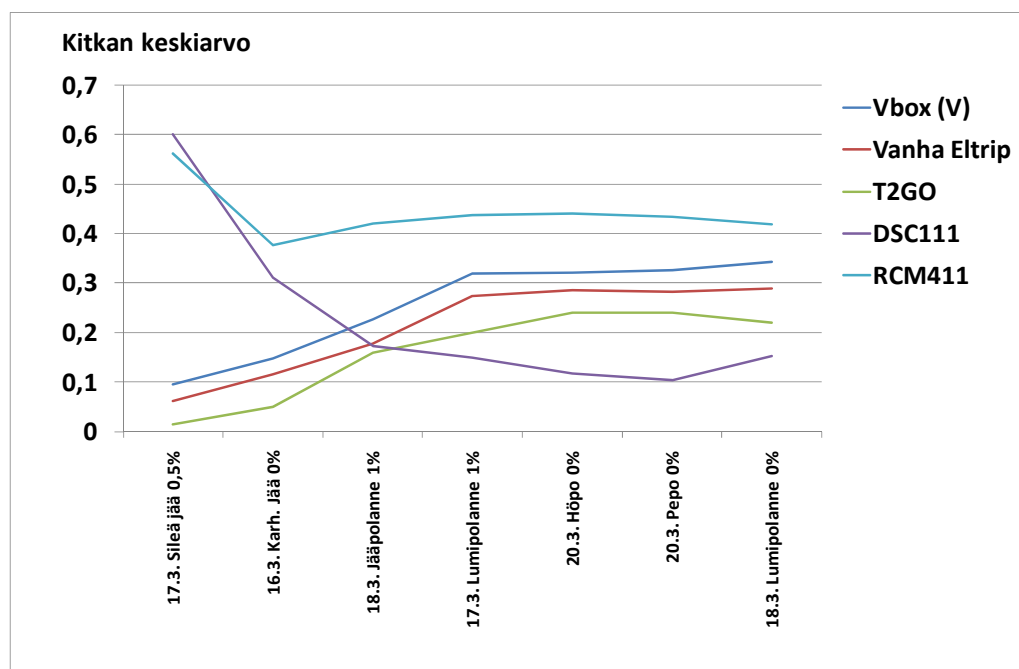
Kuvassa 25 on vertailtu optisten mittareiden sekä T2GO:n näyttämiä kitkoja eri testiradoilla Vboxin ja Vanhan Eltripin kitkoihin eri radoilla. Radat on jälleen järjestetty Vboxin jarrutusmatkojen mukaan laskettujen kitkojen perusteella.

Vaisalan DSC111 tuntui häiriintyvän voimakkaasti karhennetun jään pinnan värin voimakkaista vaihteluista, minkä seurauksena karhennetulla jäällä mittarin lukemat vaihtelivat tasaisesti 0,11–0,82:n välillä. Vaihtelu oli selvästi pienempää tasaisemman värisellä sileällä jäällä ja lumikeleillä päästiin alle viiden sadasosan keskihajontaan. RCM411:n tulosten hajonta oli kauttaaltaan hyvin pientä: niin jäällä kuin lumella keskihajonta oli alle neljä. Ilmeisesti sileän jään poikkeuksellisen vaalea väri harhautti kumpaakin optista mittaria niin, että suurimmat kitkat löytyivät sileältä jäältä, eli todellisuudessa liukkaimmista olosuhteista. Muiden kelien osalta RCM411 toimi melko oikeansuuntaisesti, vaikkakin karhean jään ja jääpolanteen kitkatasot olivat suhteetoman lähellä pitävämpien lumipolannekelien kitkatasoja. DSC111 toimi kauttaaltaan täysin vastakkaisesti odotuksiin nähden.

Työnnettävän T2GO-mittarin voi sanoa toimineen luotettavammin kuin optisten, mutta ei samantasoisesti parhaiden jarrutuskitkamittarien kanssa. Ilmeisesti T2GO:n mit-

tausrankaan lämpötila vaikutti voimakkaasti kitka-arvoihin, sillä laite antoi heti ulos tuotuna usein paljon korkeampi kitkatasoja kuin jonkin aikaa ulkona oltuaan. Kuvan 25 arvot on kirjattu tilanteissa, joissa T2GO oli sopeutunut ulkoilmaan vähintään puolen tunnin ajan. Siitä huolimatta T2GO tarjosi ajoittain yllätyksiä. Esimerkiksi oltuaan 20.3. useamman tunnin ulkona T2GO osoitti höylätyn polanteen kitkatasoksi ensin 0,34:ää, mutta 5 minuuttia myöhemmin vain 0,24. Kaiken kaikkiaan T2GO:n kitkatasojen vaihtelu oli melko suurta: tasaisella pinnalla työnnettäessä arvot saattoivat vaihdella jopa  $\pm 10$  sadasosaa, mutta pidemmän matkaa työnnettäessä mittaja saattoi kuitenkin noin  $\pm 3$  sadasosan tarkkuudella arvioida, mikä arvo oli tyypillisin millekin pinnalle.

T2GO jätti sellaisen vaikutelman, että kiinteillä pinnoilla laite toimi varsin luotettavasti, mutta pinnoilla, missä esiintyi enemmän irtolunta, laite antoi kohtuuttoman alhaisia kitkatasoja. Mäkitestien yhteydessä T2GO antoi hieman möyhentyneemmässä mässä 0,08–0,10 tasoja olleita kitka-arvoja, kun taas tasaisella lumipolanteella arvot olivat 0,20 luokkaa. Ero oli suhteettoman suuri niin muiden mittalaitteiden kuin jalankulkijan kengänpohjatuntumankin perusteella.



Kuva 25. Optisten mittareiden, T2GO:n ja Vanhan Eltripin kitkojen keskiarvot, sekä jarrutusmatkan perusteella mitattujen kitkojen keskiarvot eri testiradoilla. Vbox:illa ja vanhalla Eltripillä tehdyissä mittauksissa oli käytössä käytetyt talvirenkaat.

## 6 Pistokoelaadunvalvonnan yhteydessä tehty kitkamittareiden vertailu

### 6.1 Käyttäjän arvio mittauslaitteiden ergonomiasta

Juha-Matti Vainio Roadconsulting Oy:stä käytti vertailun mittareita talvihoidon pistokoelaadunseurannan yhteydessä noin kolmen kuukauden ajan alkuvuonna 2011. Vainio on yksi Suomen kokeneimmista kitkan mittaajista ja mitannut tien pinnan kitkaa jo 1990-luvun alusta lähtien. Mittarien ergonomian näkökulmasta hän esitti seuraavia näkemyksiä:

**µTEC-ohjelmistolla varustetut matkapuhelimet:** kosketusnäytöllinen Nokian 5230 malli sopii hyvin huonosti ammattimaiseen kitkan mittaukseen. Ajoneuvon tärinässä sormi ei osu välttämättä heti oikeaan kohtaan näytöllä ja syntyy hyvin helposti virhepainalluksia. Tässä suhteessa toinen käytössä ollut malli, Nokian E52 näppäinpuhelin oli selvästi parempi. Tosin siinäkin näppäimet ovat selvästi pienemmät kuin Gripmaneissa ja uusissa Eltripeissä, joten kummassakin µTEC-puhelimessa on selvästi heikoin käytön ergonomia.

µTEC-puhelimien vahvuus on taas siinä, että laitteissa on, toisin kuin Eltripeissä ja Gripmaneissa, sisäinen muisti sekä GPS-paikannus, joten lukemien ylöskirjaamiseen ei tarvita erillistä tietokonetta kuten kilpailijoiden malleissa.

µTEC-puhelimet tuntuivat reagoivan varsin helposti voimakkaaseen tärinään. Mittaustulosten hajonta tuntui lisääntyvän epätasaisissa olosuhteissa. Lisäksi etenkin 5230-puhelin saattoi ilmoittaa itsekseen matalia kitka-arvoja hyvin tärisevällä maantiellä, vaikka autoa ei olisi jarrutettu lainkaan.

**Gripman kitkamittarit:** Gripmanit olivat tunnettomia kovallekin tärinälle, joten Gripmaneilla oli helpoin tehdä mittauksia vaikeissa olosuhteissa. Tätä testiä varten Gripmanit varustettiin erillisillä johdon päässä olevilla näppäimillä, joten näppäinten sijainnin saattoi valita vapaasti. Toinen kahdesta valolla varustetusta näppäimestä nolasi Gripmanit ja toinen lähetti tiedot tietokoneelle. Tällainen järjestelmä oli ergonomialtaan aivan ylivoimainen - tosin mikään ei tietenkään estä kilpailijoita myöskään varustamasta laitteitaan vastaavalla lisäominaisuudella. Gripmanien huonoin puoli oli niiden näyttö, jota oli kevätauringossa hyvin vaikea lukea. Näytön kontrastiin saattoi kuitenkin vaikuttaa mittarin sijoittelulla - eli estämällä suora auringonvalon pääsy näytölle.

**Uudet Eltrip-kitkamittarit:** uusissa Eltripeissä oli vähän samaa vikaa kuin toisessa µTEC-puhelimessa, eli mittarit saattoivat ilmoittaa tärisevällä tiellä itsekseen kitkalukemia. Tämän vuoksi mittareita joutui vaikeissa olosuhteissa jatkuvasti nollaamaan. Toisaalta Eltripeissä oli vertailun kiihtyvyyssanturimittauslaitteista paras näyttö: lukemia pystyi lukemaan kevätauringossakin.

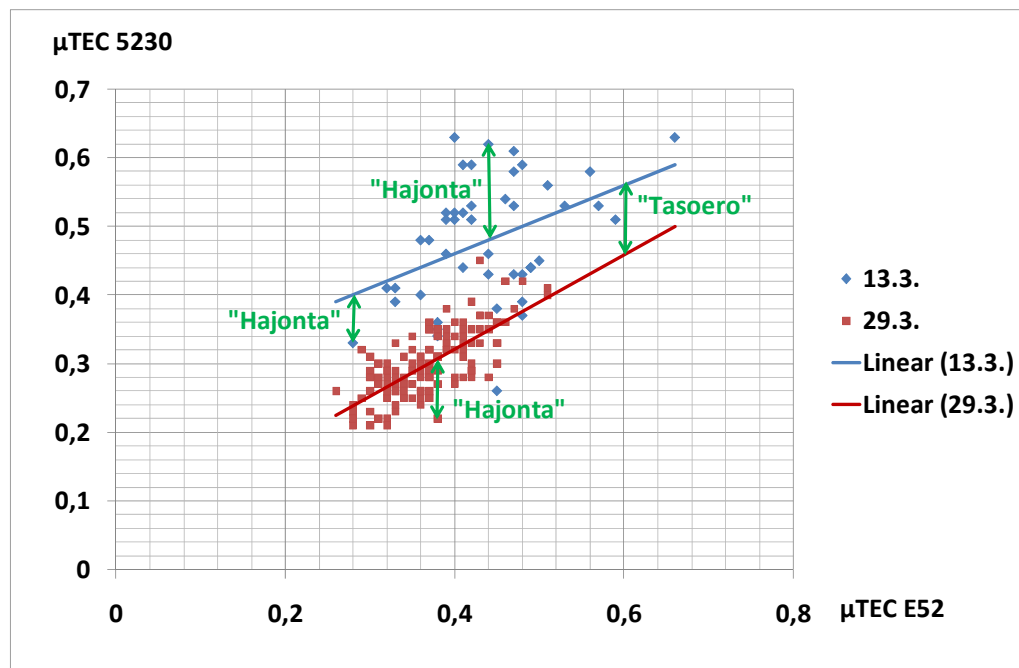


## 6.2 Jarrutuskitkamittarit

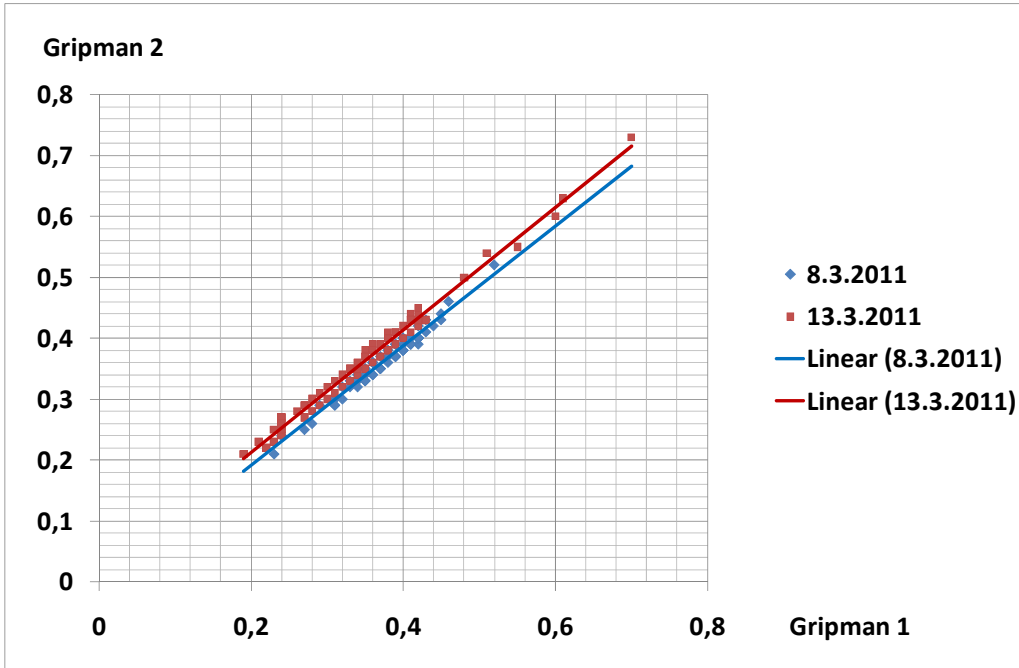
### 6.2.1 Saman valmistajan kahden eri laitteen keskinäinen vertailu

Kun vertailtiin Saman valmistajan kahden eri laitteen käyttäytymistä eri testipäivänä, havaittiin etenkin  $\mu$ TEC:cien ja Gripmanien ilmoittamissa arvoissa kahdenlaista eroa. Eroja voisi kuvata tasoeroksi ja hajonnaksi. Sen sijaan Eltrippien kohdalla tasoeroja syntyi vain kalibrointien vuoksi, eli olivat lähtöisin hajonnasta. Ilmiötä on havainnollistettu kuvissa 26–28. Kyseisissä kuvissa on esitetty jokaisen valmistajan kahden kitkamittarin vertailu **niinä kahtena päivänä, jolloin mittausten tasoero oli suurin**. Eltrippien osalta on valittu sellaiset päivät, joiden välillä ei ollut kalibrointia. Tasoero tarkoittaa käytännössä siten, että toinen saman valmistajan mittari antaa jonain päivänä esim. tyypillisesti keskimäärin 0,02 korkeampia kitkalukemia kuin toinen laite, mutta toisena päivänä 0,01 matalampia kuin toinen.

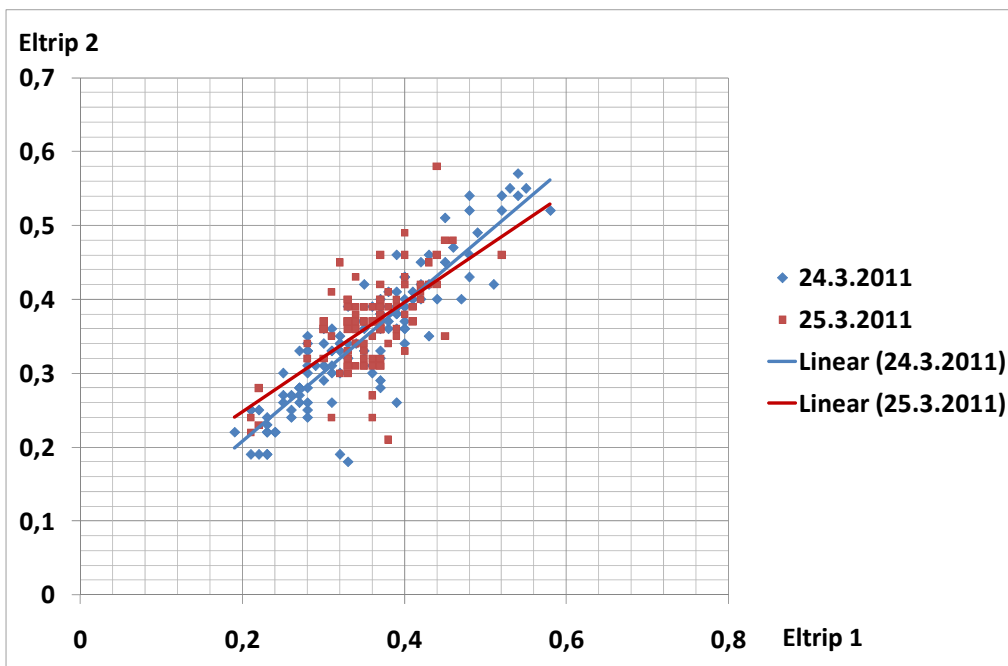
$\mu$ TEC:cien osalta tasoero syntyi todennäköisesti ajoneuvokalibroinnin yhteydessä. Kitkanmittausohjelma vaati ajoneuvokalibroinnin käytännössä aina kun laitteet otettiin käyttöön testipäivän alussa. Gripmanit ja Eltripit olivat käytännössä kiinteästi ajoneuvoon asennettuina niin, ettei niitä irrotettu testipäivien välillä. Gripmanien osalta tasoero saattaa johtua asennon pienestä muutoksesta ajon aikana (?)



Kuva 26. Kahden  $\mu$ TEC-mittarin vertailua toisiinsa 13.3. ja 29.3. Kuvassa on myös havainnollistettu "tasoeron" ja "hajonnan" käsitteitä.



Kuva 27. Kahden Gripmanin vertailua toisiinsa 8.3. ja 13.3.



Kuva 28. Kahden Eltripin vertailua toisiinsa 24.3. ja 25.3.

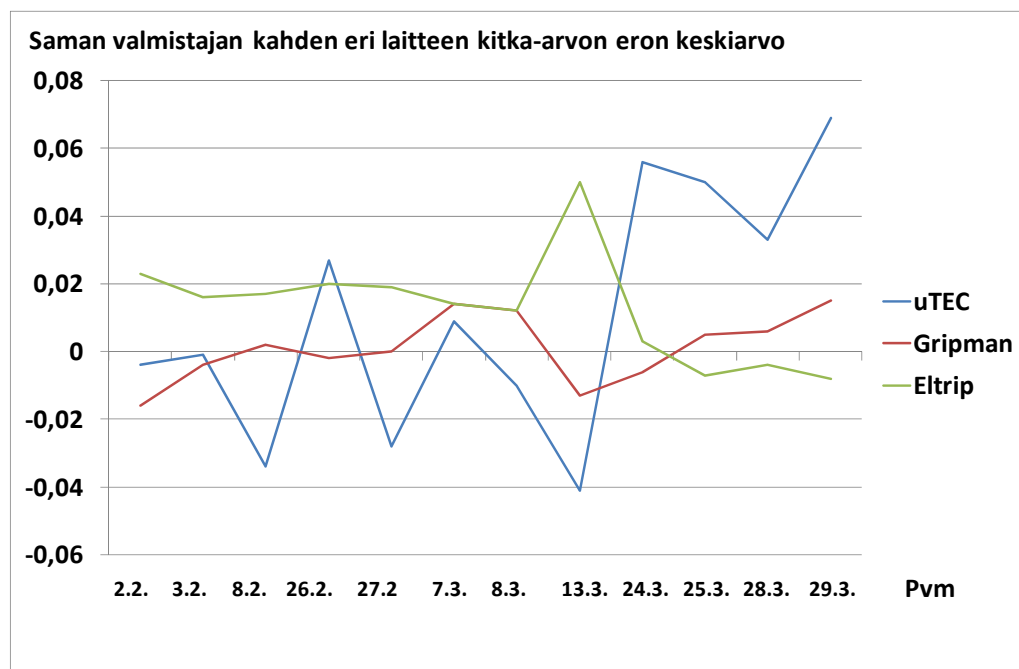
Kuvassa 29 on yhteenveto tasoeroista koko pistokoeladunseurannan aikana. Tämän tasoeron tunnuslukuna on saman valmistajan kahden eri laitteen kitka-arvojen erotusten keskiarvo. Ennen kuvan tulkintaa on kuitenkin muistettava tietyt mittauspäivien eroihin mahdollisesti vaikuttaneet tekijät:

- $\mu$ TEC:eissä käytettiin 2.2.–27.2. aikavakiona 0,3:a, mutta aikavakiota korotettiin 0,4:ään 7.3.–13.3. mittauksissa ja edelleen 0,5:een 24.3.–29.3. mittauksissa. Lisäksi 2.2.–13.3. mittauslaitteet olivat samassa asennossa keskenään ja 24.3.–29.3. erilaisissa asennoissa.

- Gripmanien kohdalla käytettiin vanhaa telinettä 2.2.–3.2. ja sen jälkeen uutta jäykempää telinettä.
- Eltrippien osalta laitteen kalibrointitaso oli samaa luokkaa vanhan Eltripin kanssa 2.2.–8.3., mutta ne kalibroititiin 13.3. mittauksiin samalle tasolle Gripmanien kanssa. Lisäksi toinen laite kalibroititiin vielä uudestaan 20.3. samalla, kun laitteen asento muutettiin siten, ettei se ollut enää samansuuntainen toisen laitteen kanssa.

Kuvasta 29 havaitaan, että suurimmat tasoeromuutokset näyttäisivät olevan  $\mu$ TEC:eillä.  $\mu$ TEC:ien kehittäjä arvioi keväällä 2010, että ajoneuvokalibroinnin vaikutus mittaustulosten tasoon on  $\pm 0,05$  (Malmivuo 2010). Tämä tarkoittaisi käytännössä sitä, että kahden  $\mu$ TEC:in tasoero voisi ääritapauksissa olla 0,10. Kuvassa 28 vaihtelu on - 0,04:stä aina +0,07:ään eli yhteensä 0,11. Kehittäjän arvio siis vastaa melko tarkasti havaittua tasovaihtelun suuruutta.

Gripmaneilla kahden laitteen välinen tasoero näyttää vaihtelevan välillä -0,02...+0,02, jolloin yhden laitteen vaihtelu ilmeisimmin noin  $\pm 0,02$ . Eltripeillä suurimmat tasoeron muutokset liittyvät kalibrointeihin eli ovat peräisin hajonnasta. Kalibrointien välillä tasoero vaihtelu on jopa hieman pienempää kuin Gripmaneilla.

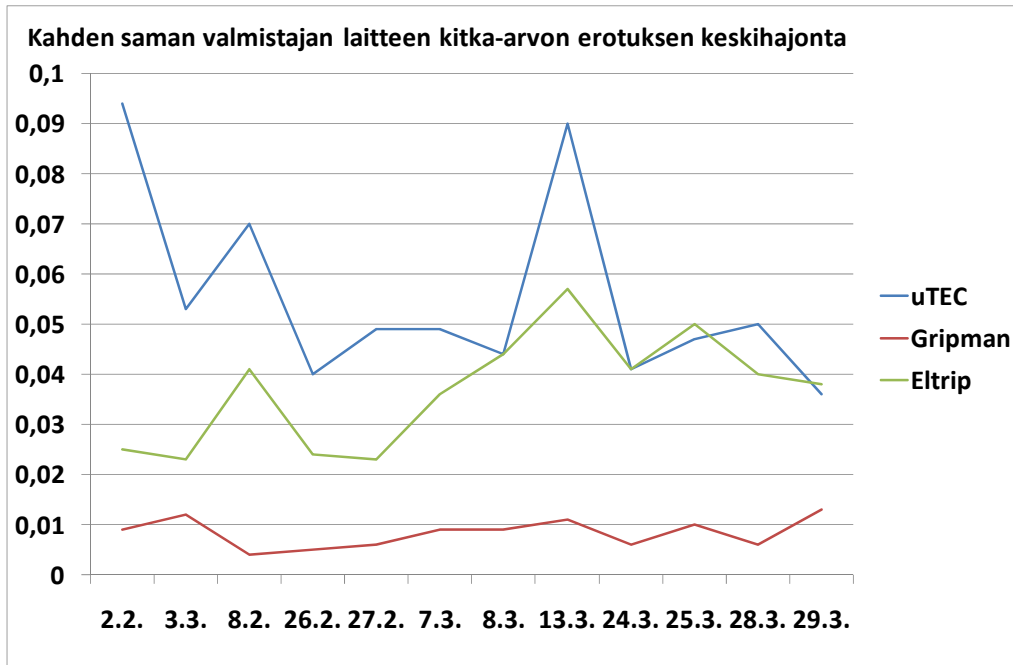


Kuva 29. Saman valmistajan kahden eri laitteen mittaustulosten välistä tasoeroa kuvaava kitka-arvojen eron keskiarvo eri mittauspäivinä.

Kuten edellä kerrottiin, tasoeron lisäksi saman valmistajan kahden eri laitteen välille syntyy eroa satunnaishajonnan vuoksi. Kuvassa 30 on tarkasteltu tätä satunnaishajontaa laskemalla saman valmistajan laitteiden kitka-arvojen erotuksien keskihajonta kunakin testipäivänä.

Kuvasta 30 voidaan havaita, että  $\mu$ TEC:ien keskinäinen hajonta on pienentynyt selvästi koepäivien edetessä, mikä lienee johtunut juuri aikavakion kasvattamisesta. Poikkeuksellisen korkea hajonta 13.3. saattaa olla jossain määrin yhteydessä RCM:n

samanaikaiseen käyttöön, joka vaikeutti toisen  $\mu$ TEC:in tulosten tulkintaa (RCM oli kytketty toiseen  $\mu$ TEC:ciin). Eltrippien hajonnan kasvu aineiston keruun edetessä taas liittyy siihen, että laite kalibroitiin ennen 13.3. mittauksia näyttämään korkeampia kitka-arvoja, jolloin myös kitka-arvojen erot kasvoivat. Gripmanien keskihajonta näyttäisi olleen jatkuvasti korkeintaan noin 0,01 sadasosaa.

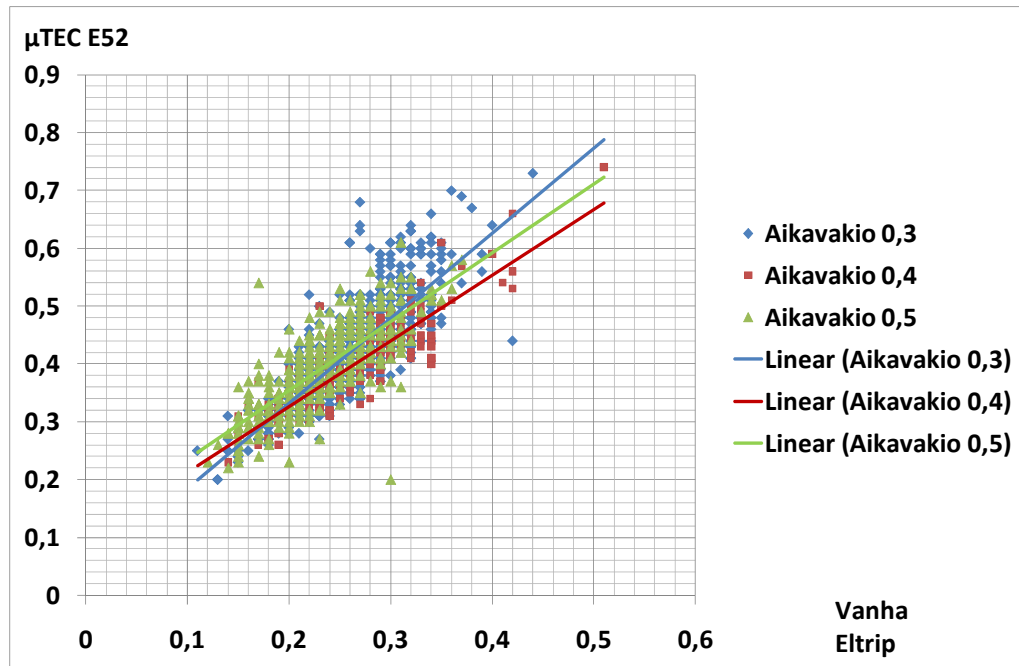


Kuva 30. Saman valmistajan kahden eri laitteen kitka-arvon erotuksen keskihajonta. Luku kuvaa sitä, kuinka paljon sellainen erotus keskimäärin vaihtelee, jossa on vähennetty saman valmistajan laitteen 1 kitka-arvosta laitteen 2 kitka-arvo.

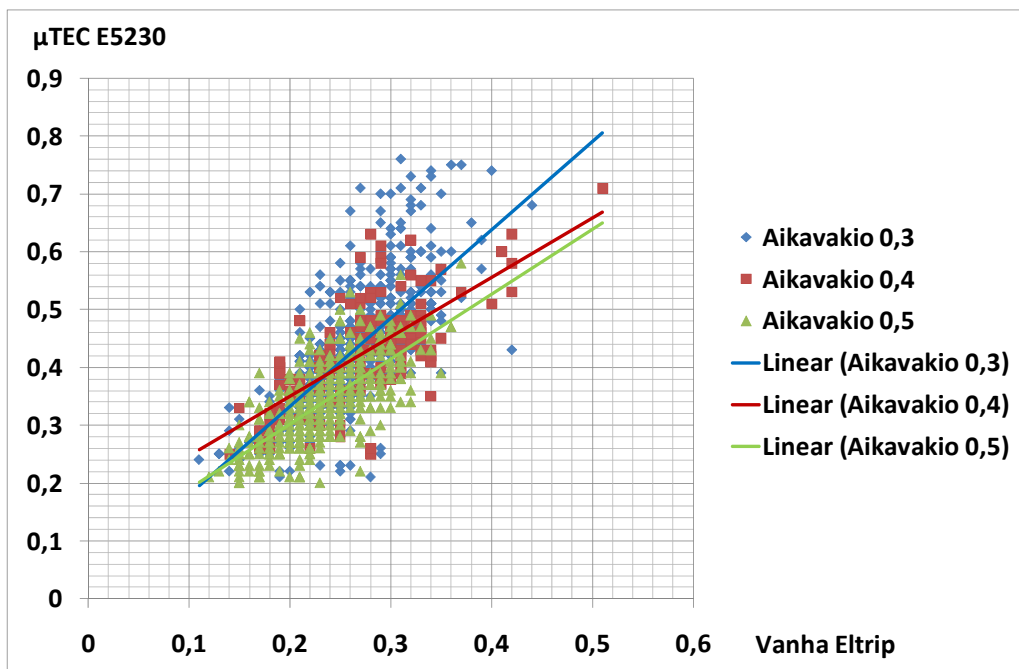
### 6.2.2 Laitteiden vertailu vanhaan Eltrip-mittariin

Koska tutkimuksen yhtenä tavoitteena oli tutkia uusien kiihtyvyyssanturimittarien yhteyttä vanhoihin jarrutuskitkamittareihin on tässä luvussa verrattu toisiinsa vanhaa Eltrippiä ja kiihtyvyyssanturimittareita. Tuloksia tulkitessa on huomattava, ettei Eltrip edusta absoluuttisen oikeata kitkaa, mutta silti kyseessä on mittari, jonka tiedetään näyttävän eri olosuhteissa vähintäänkin oikeansuuntaisia tuloksia, joten mitä ilmeisimmin kiihtyvyyssanturimittarien ja vanhan Eltripin välille on jonkintasoinen korrelaatio löydettävä.

Kuvassa 31 on verrattu E52-matkapuhelimeen ladattua  $\mu$ TEC:ciä vanhaan Eltrippiin. Kuvassa 32 on verrattu vastaavasti 5230-matkapuhelimeen ladattua  $\mu$ TEC:ciä vanhaan Eltrippiin. Visuaalisesti E52:n ja vanhan Eltripin välillä näyttäisi olevan vahvempi yhteys kuin 5230:n ja vanhan Eltripin välillä. Lisäksi tulosten hajonta tuntuu pienevän sitä mukaa kun aikavakiota nostettiin.



Kuva 31. E52-matkapuhelimeen ladatun  $\mu$ TEC:in ja vanhan Eltripin vertailua. "Aikavakio 0,3" tarkoittaa ajanjaksoa 2.2.–28.2., jolloin  $\mu$ TEC:ien aikavakio oli 0,3. "Aikavakio 0,4" tarkoittaa ajanjaksoa 7.3.–13.3., jolloin aikavakio oli 0,4. "Aikavakio 0,5" tarkoittaa ajanjaksoa 24.3.–29.3., jolloin aikavakio oli 0,5.



Kuva 32. 5230-matkapuhelimeen ladatun  $\mu$ TEC:in ja vanhan Eltripin vertailua. "Aikavakio 0,3" tarkoittaa ajanjaksoa 2.2.–28.2., jolloin  $\mu$ TEC:ien aikavakio oli 0,3. "Aikavakio 0,4" tarkoittaa ajanjaksoa 7.3.–13.3., jolloin aikavakio oli 0,4. "Aikavakio 0,5" tarkoittaa ajanjaksoa 24.3.–29.3., jolloin aikavakio oli 0,5. Tällä ajanjaksolla 5230-puhelin oli asetettu myös viinon E52 puhelimeen nähden.

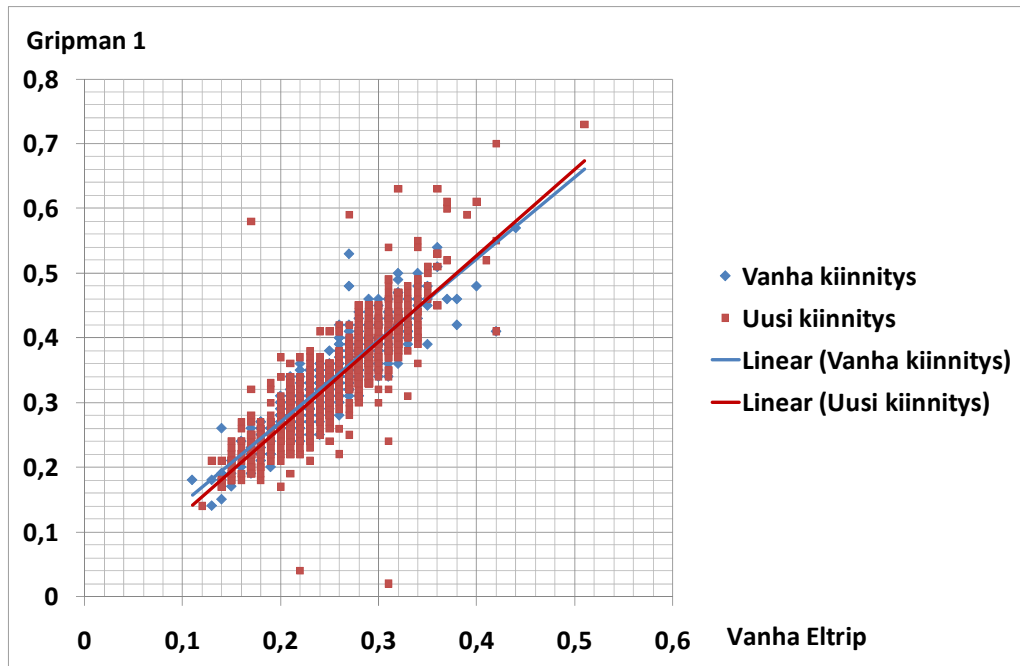
Taulukossa 5 on esitetty yhtälö kuvissa 31 ja 32 esitetyille suorille, jotka on piirretty havaintopistejoukkojen mukaan. Tarkkaan ottaen ei voida olla täysin varmoja, onko yhteys lineaarinen, mutta tässä tapauksessa on tutkittu sitä, miten hyvin lineaarinen yhteys mittarien välillä toimisi. Näissä yhtälöissä on huomionarvoista se, että suorat sijaitsevat melko kaukana origosta. Yhtälön vakio-termi (esim. aikavakiolla 0,3 E52:n vakio-termi on 0,0376) kertoo sen, kuinka kaukana  $\mu\text{TEC}$ :in yhtälön mukainen arvo on 0,00:sta silloin, kun vanha Eltrip saa arvon 0,00. Suuret vakio-termit kertovat siitä, että vanhan Eltripin ja  $\mu\text{TEC}$ :in yhteys ei välttämättä ole lineaarinen.

Taulukossa 5 on kuvattu myös yhtälön mukaisen  $\mu\text{TEC}$ :in arvon ja todellisen  $\mu\text{TEC}$ -havainnon välistä keskihajontaa. Luku siis kertoo käytännössä sen, kuinka kaukana todelliset havainnot ovat keskimäärin yhtälön mukaisesta suorasta. Tulokset osoittavat, että keskihajonta pienenee aikavakion kasvaessa. Kuitenkin 5230:n ja vanhan Eltripin välinen keskihajonta on jatkuvasti suurempaa kuin E52:n ja vanhan Eltripin.

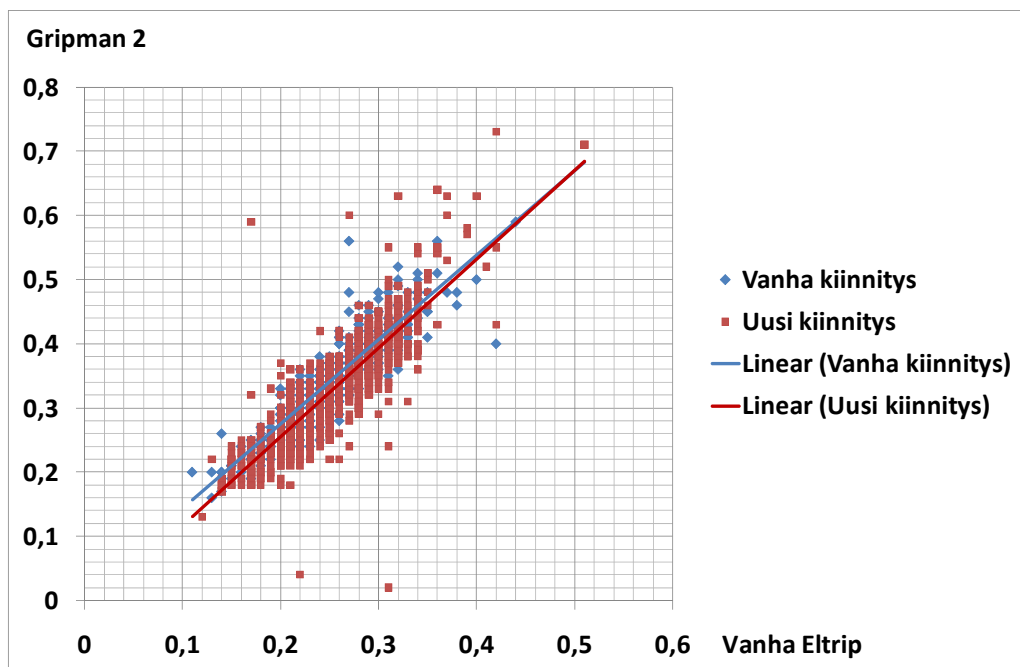
*Taulukko 5. Lineaarinen yhteys  $\mu\text{TEC}$ :ien ja vanhan Eltripin välillä. Kaavassa  $y = \mu\text{TEC}$ :in arvo ja  $x = \text{vanhan Eltripin arvo}$ . Keskihajonta kuvaa yhtälön mukaan lasketun  $\mu\text{TEC}$ :in arvon ja todellisen  $\mu\text{TEC}$ :in arvon välisen erotuksen vaihtelua*

		Aikavakio 0,3	Aikavakio 0,4	Aikavakio 0,5
E52	$\mu\text{TEC}$ E52:n ja vanhan Eltripin yhteys	$y = 1,4718x + 0,0376$	$y = 1,134x + 0,0997$	$y = 1,1923x + 0,1154$
	Keskihajonta	0,053	0,033	0,042
5230	$\mu\text{TEC}$ 5230:n ja vanhan Eltripin yhteys	$y = 1,5237x + 0,0284$	$y = 1,0253x + 0,1456$	$y = 1,1189x + 0,0789$
	Keskihajonta	0,072	0,065	0,048

Kuvissa 33 ja 34 on vertailtu erikseen kumpaakin Gripmania vanhaan Eltrippiin. Gripmanien ja vanhan Eltripin yhteys näyttää selvemmältä kuin  $\mu\text{TEC}$ :ien ja vanhan Eltripin välinen yhteys. Yllättäen Gripmanien kohdalla nähdään kuitenkin muutamia huomattavan poikkeavia arvoja. Tarkempi tarkastelu osoittaa, että kaikista poikkeavimmat havainnot syntyivät kaikki samana päivänä, eli 24.3. Ne syntyivät kuitenkin tilanteissa, joissa muut kiihtyvyyssanturimittarit reagoivat pääsääntöisesti odotusten mukaisesti.



Kuva 33. Gripman 1:n ja vanhan Eltripin vertailua. "Vanha kiinnitys" tarkoittaa 2.2. ja 3.2. testeissä käytettyä kiinnitys, jossa Gripmanit oli sijoitettu hieman epävakampiin telineisiin. "Uusi kiinnitys" tarkoittaa 8.2.–29.3. käytettyä kiinnitystä, jolloin Gripmanit oli sijoitettu jäykempiin telineisiin.



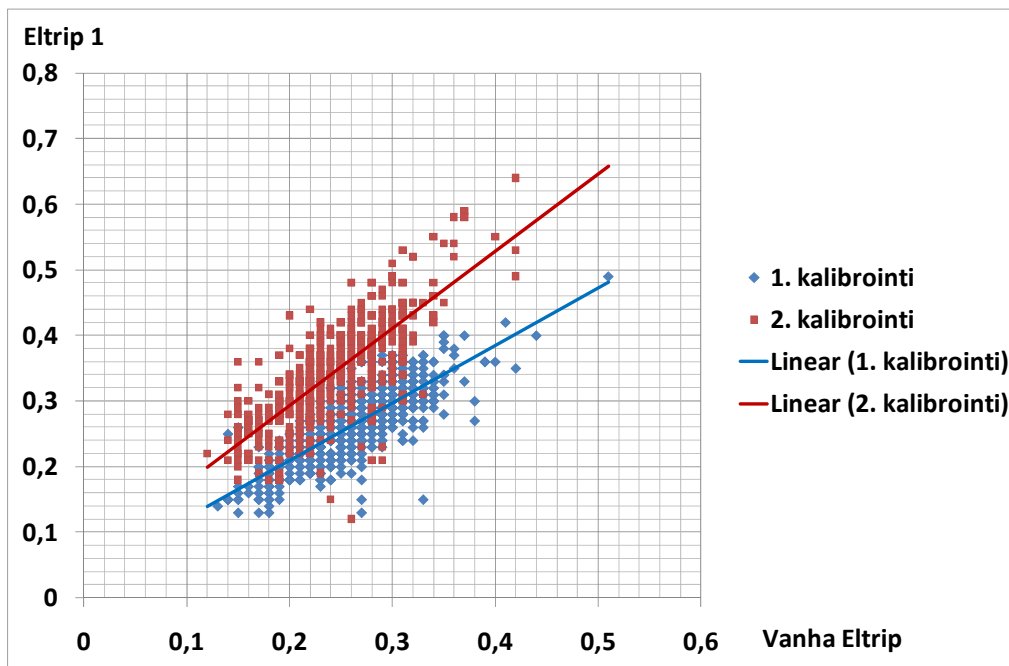
Kuva 34. Gripman 2:n ja vanhan Eltripin vertailua. "Vanha kiinnitys" tarkoittaa 2.2. ja 3.2. testeissä käytettyä kiinnitystä, jossa Gripmanit oli sijoitettu hieman epävakampiin telineisiin. "Uusi kiinnitys" tarkoittaa 8.2.–29.3. käytettyä kiinnitystä, jolloin Gripmanit oli sijoitettu jäykempiin telineisiin.

Huolimatta muutamista hyvin poikkeavista arvoista, valtaosa Gripmanien tuloksista sijaitsee lähellä korrelaatio-suoraa ja sen vuoksi taulukossa 10 esitetyt keskihajonnat ovat varsin pieniä. Uudella kiinnityksellä syntyneet hieman suuremmat keskihajonnat selittyvät lähes yksinomaan 24.3. mitatuista neljästä hyvin poikkeavasta arvosta. Gripmanien korrelaatio-suorat sijaitsevat varsin lähellä origoa, lähes poikkeuksetta 0,02:n päässä siitä.

Taulukko 6. Lineaarinen yhteys Gripmanien ja vanhan Eltripin välillä. Kaavassa  $y$  = Gripmanin arvo ja  $x$  = vanhan Eltripin arvo. Keskihajonta kuvaa yhtälön mukaan lasketun Gripmanin arvon ja todellisen Gripmanin arvon välisen erotuksen vaihtelua.

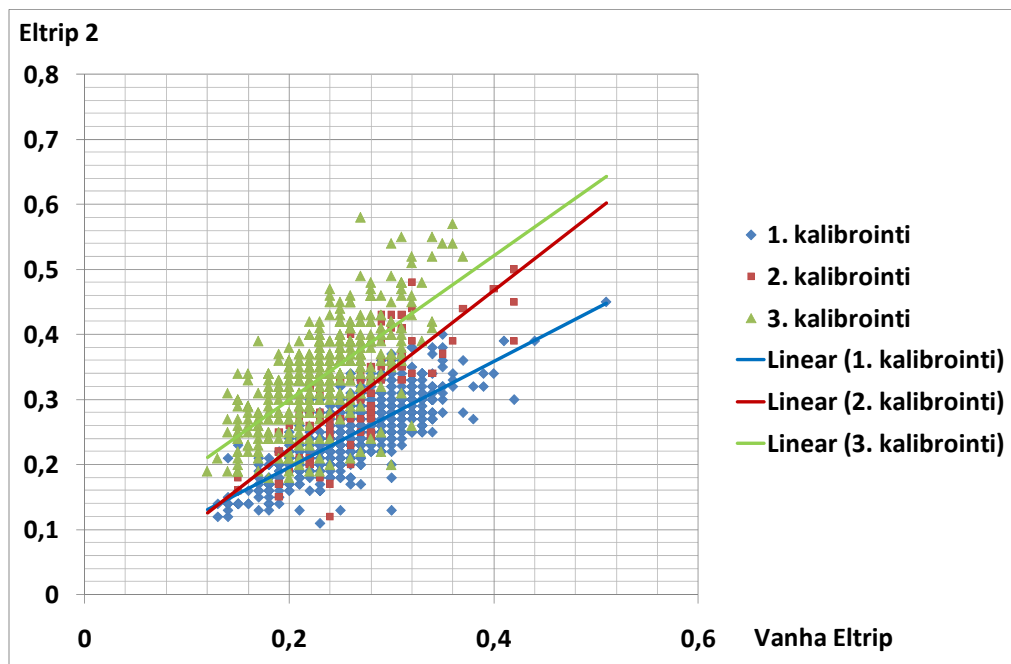
		Vanha kiinnitys	Uusi kiinnitys
Gripman 1	Gripman 1:n ja vanhan Eltripin yhteys	$y = 1,2581x + 0,019$	$y = 1,3314x - 0,0054$
	Keskihajonta	0,034	0,039
Gripman 2	Gripman 2:n ja vanhan Eltripin yhteys	$y = 1,3123x + 0,0129$	$y = 1,3826x - 0,021$
	Keskihajonta	0,035	0,041

Uusien Eltrippien arvojen hajonta on luonnollisesti pienin ensimmäisellä kalibrointikierroksella, koska kitkatasot oli kalibroitu niin alas. Vasta toisen ja kolmannen kalibrointikierroksen hajontalukuja voidaan verrata Gripmaneihin ja  $\mu$ TEC:ceihin (kuvat 35 ja 36, taulukko 7).



Kuva 35. Eltrip 1:n ja vanhan Eltripin vertailua. "1. kalibrointi" tarkoittaa ajanjaksoa 2.2.–8.3., jolloin Eltripit oli kalibroitu vanhan Eltripin tasolle. "2. kalibrointi" tarkoittaa ajanjaksoa 13.3.–29.3., jolloin Eltrip 1 oli kalibroitu Gripmanin tasolle.





Kuva 36. Eltrip 2:n ja vanhan Eltripin vertailua. "1. kalibrointi" tarkoittaa ajanjaksoa 2.2.–8.3., jolloin Eltripit oli kalibroitu vanhan Eltripin tasolle. "2. kalibrointi" tarkoittaa päivää 13.3., jolloin Eltrip 2 oli kalibroitu Gripmanin tasolle. "3. kalibrointi" tarkoittaa ajanjaksoa 24.3.–29.3., jolloin Eltrip 2 asetettiin vinoon Eltrip 1:een nähden ja kalibroitiin uudestaan Gripmanin tasolle.

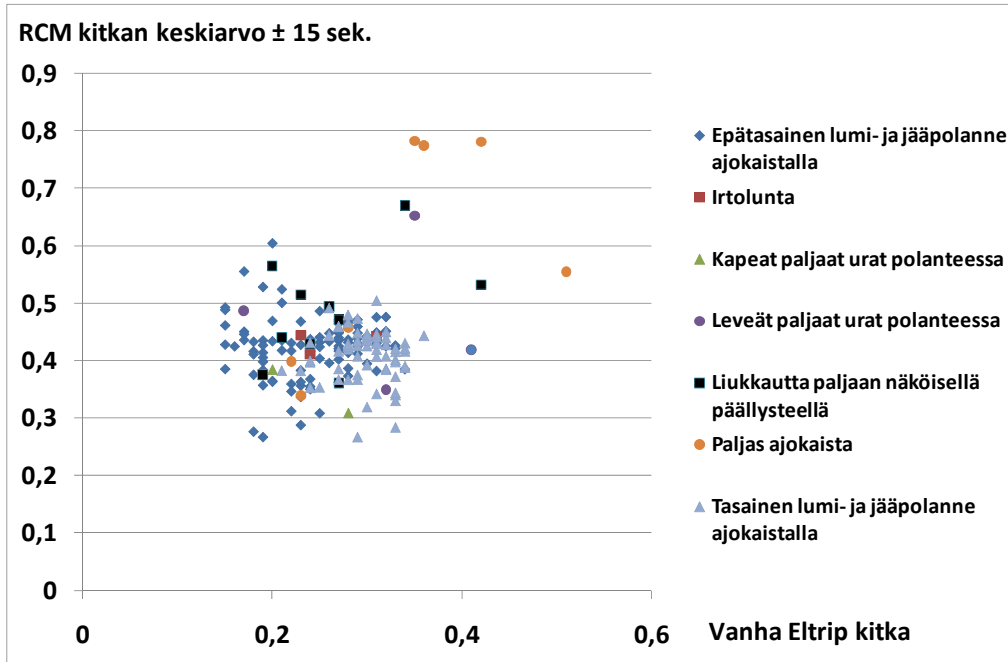
Taulukko 7. Lineaarinen yhteys uusien ja vanhan Eltripin välillä. Kaavassa  $y =$  uuden Eltripin arvo ja  $x =$  vanhan Eltripin arvo. Keskihajonta kuvaa yhtälön mukaan lasketun uuden Eltripin arvon ja todellisen uuden Eltripin arvon välisen erotuksen vaihtelua.

		1. kalibrointi	2. kalibrointi	3. kalibrointi
Eltrip 1	Eltrip 1:n ja vanhan Eltripin yhteys	$y = 0,878x + 0,0332$	$y = 1,1763x + 0,0571$	
	Keskihajonta	0,032	0,049	
Eltrip 2	Eltrip 2:n ja vanhan Eltripin yhteys	$y = 0,8141x + 0,0324$	$y = 1,2218x - 0,021$	$y = 1,1084x + 0,0781$
	Keskihajonta	0,031	0,050	0,052

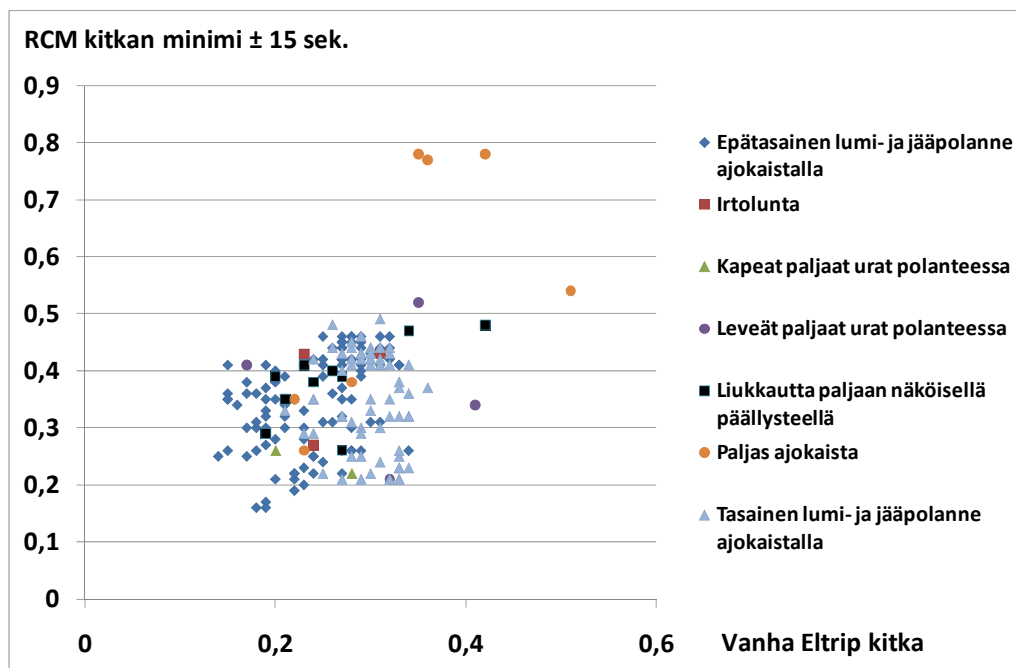
## 6.3 Optiset kitkamittarit

Optisen RCM411-laitteen prototyyppi oli mukana pistokoemittauksissa kolmena eri päivänä: 7.3., 8.3. ja 13.3. Kuvissa 37 ja 38 on kerätty näiden kolmen päivän materiaali yhteen RCM411:n ja vanhan Eltripin osalta. Kuvassa 37 vanhaan Eltrippiin on verrattu RCM:n kitka-arvojen **keskiarvoa** ajanjaksona, joka on  $\pm 15$  sekuntia Eltrip-mittauksen ajanhetkestä. Kuvassa 38 on vanhaan Eltrippiin verrattu RCM411:n kitka-arvojen **minimiä** ajanjaksona, joka on  $\pm 15$  sekuntia Eltrip-mittauksen ajanhetkestä. Kumpikin kuva pitää sisällään noin 200 vertailumittausta.

Korrelaatio näyttäisi olevan hieman parempi kuvassa 38, jossa Eltrippiin on verrattu RCM411:n kitkan minimiä. Tämän voi selittää sillä, että pistokoelaadunseurannassa ehkä yleensäkin haetaan mieluummin tien liukkaampia kohtia, kuin keskimääräisiä pito-olosuhteita. Kuvasta 38 nähdään, että joka ainoa kerta, kun RCM411 on rekisteröinyt alle 0,20 kitkoja, myös vanha Eltrip on rekisteröinyt hyvin pieniä, enimmillään 0,22 kitkoja. Toisaalta Eltrip on löytänyt alle 0,20 kitkoja tilanteissa, joissa RCM411 on näyttänyt jopa 0,40-kitkatasoa. Kaiken kaikkiaan RCM411:n käyttäytyminen vaikuttaa kuitenkin varsin oikeansuuntaiselta, RCM411 rekisteröi selvästi yli 0,40 kitkoja tilanteissa, joissa keli Eltripinkin mukaan on pitävämpää.



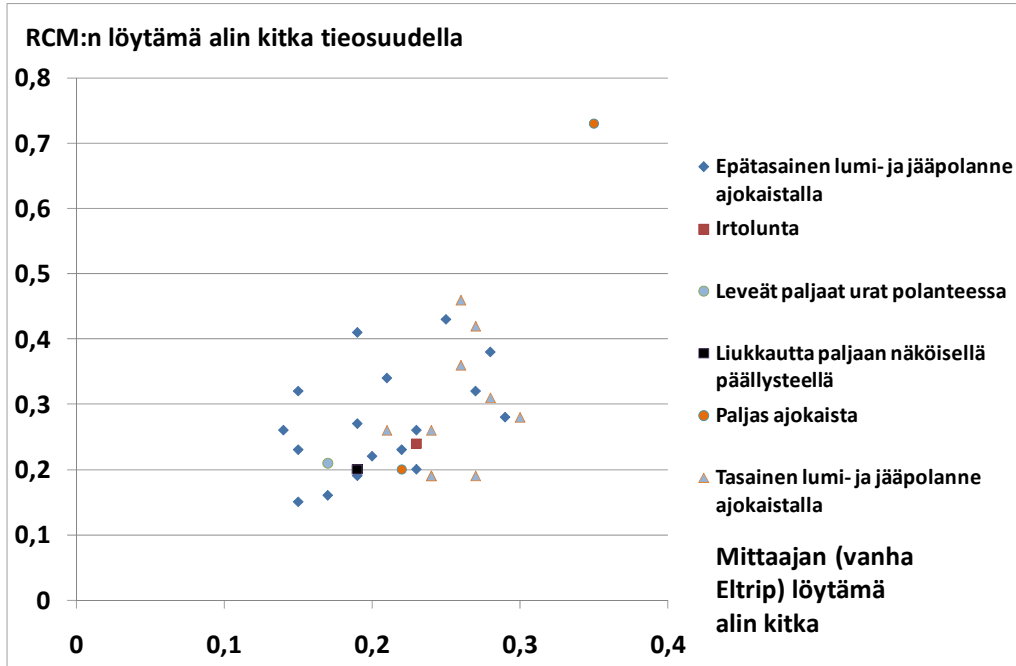
Kuva 37. RCM411:n ja vanhan Eltripin vertailua pistokoelaadunseurannan yhteydessä tehdyissä mittauksissa 7.3., 8.3. ja 13.3.. RCM411:n kitka on kitkan keskiarvo ajanjaksona, joka on  $\pm$  15 sekuntia vanhan Eltripin kitkanmittauksen ajanhetkestä.



Kuva 38. RCM411:n ja vanhan Eltripin vertailua pistokoelaadunseurannan yhteydessä tehdyissä mittauksissa 7.3., 8.3. ja 13.3.. RCM411:n kitka on kitkan **minimi** ajanjaksona, joka on  $\pm 15$  sekuntia vanhan Eltripin kitkanmittauksen ajanhetkestä.

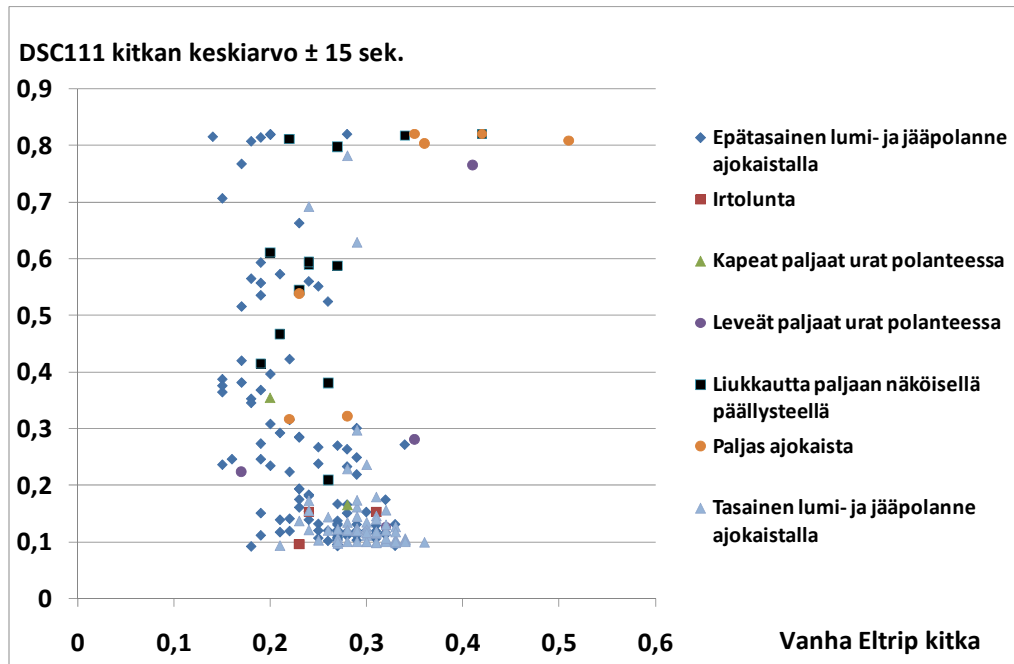
RCM411:n käyttäytymistä analysoitiin myös selvittämällä RCM411:n löytämiä kitkaminimeitä pidemmällä ajanjaksolla. Tämä vastaa edellisiä esimerkkejä paremmin vielä todellisia käyttötilanteita. Tällöin edellä mainittu kolmen päivän aineisto jaettiin tiejaksoihin. Uusi tiejakso alkoi aina, jos a) tienumero vaihtui b) keliluokitus muuttui. Lisäksi tarkasteluun otettiin vain jaksot, joissa oli viivytty niin kauan, että mittaaja oli ehtinyt tehdä jaksolla vähintään 3 jarrutuskitkamittausta. Tällöin aineistoksi muodostui 32 tiejakson aineisto. Kun kuvissa 37 ja 38 mittausjaksot olivat 30 s, tiejaksotarkastelujen mittausjaksot olivat keskimäärin 5-10 min..

Kuvasta 39 havaitaan, että tässäkin tapauksessa korrelaatio on kohtalainen, sitä voisi jopa pitää varsin hyvänä, jos poistettaisiin ne kaksi tiejaksoa, jossa RCM411:n alin kitka oli yli 0,3 silloin, kun Eltrip löysi alle 0,20:n kitkoja. Kuvaa tulkittaessa on huomattava, että tilanteet, joissa RCM411 näyttää alhaisia kitkoja, mutta Eltrip ei, ovat aina siten mahdollisia, ettei mittaaja havainnut liukasta tienkohtaa. Sen sijaan tilanteet, joissa Eltrip havaitsee liukkaan kohdan, mutta RCM411 ei, ovat ongelmallisempia, koska RCM tarkkaili tien pintaa jatkuvasti.

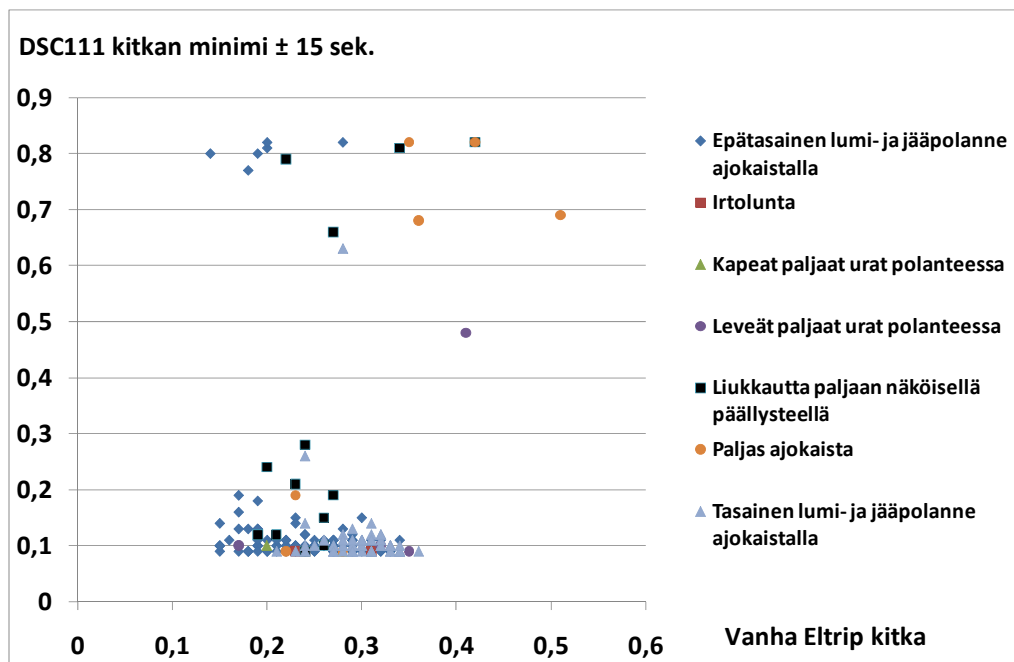


Kuva 39. RCM:n ja vanhan Eltripin vertailua pistokoelaadunseurannan yhteydessä sellaisilla tiejaksoilla, joilla vallitsi sama tienumero ja yhtenäinen keililuokitus. Mittauspäivät 7.3, 8.3. ja 13.3.

Vaisalan DSC111:n käyttäytyminen pistokoelaadunseurannan yhteydessä ei vastannut aivan odotuksia. Jo heti ensimmäisten mittauspäivien aikana havaittiin, että mittauslaitteelle oli hyvin ominaista, että se näytti varsin herkästi joko hyvin pieniä 0,10-tasoa olevia kitkoja tai sitten varsin suuria 0,80-tason kitkoja. Korrelaatio jarrutuskitkanmittareiden kanssa oli myös heikko. Mittauslaitteen kalibroinnit ja asennus käytiin tarkistamassa maaliskuun alussa Vaisalassa, mutta tällöin ei kalibroinnissa havaittu mitään poikkeavaa. Mittarin käytöksessä ei myöskään havaittu muutoksia kalibrointitarkistuksen jälkeen. Kuvassa 40 ja 41 on vertailtu DSC111:a vanhaan Eltrippiin mittauspäivinä 7.3., 8.3. ja 13.3., aivan samoin kuin RCM411:n kohdalla kuvissa 37 ja 38.

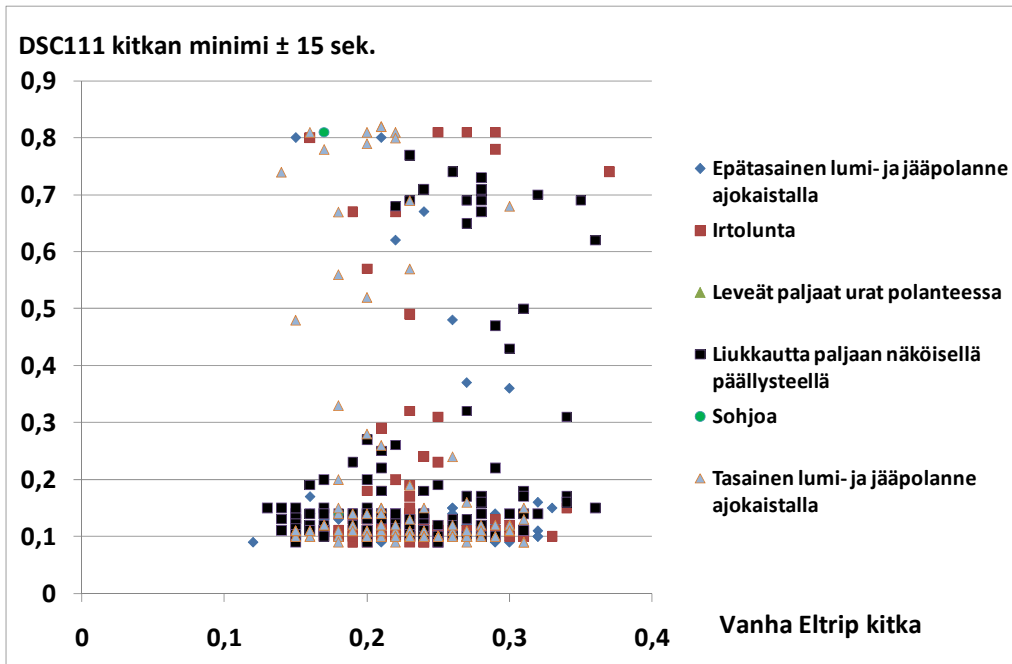


Kuva 40. DSC111:n ja vanhan Eltripin vertailua pistokoelaadunseurannan yhteydessä tehdyissä mittauksissa 7.3., 8.3. ja 13.3. DSC111:n kitka on kitkan keskiarvo ajanjaksona, joka on  $\pm 15$  sekuntia vanhan Eltripin kitkanmittauksen ajanhetkestä.



Kuva 41. DSC111:n ja vanhan Eltripin vertailua pistokoelaadunseurannan yhteydessä tehdyissä mittauksissa 7.3., 8.3. ja 13.3.. DSC111:n kitka on kitkan minimi ajanjaksona, joka on  $\pm 15$  sekuntia vanhan Eltripin kitkanmittauksen ajanhetkestä.

Koska DSC111 kalibroinnin tarkistus tehtiin 10.3., on kuvaan 42 vielä valittu otos loppukeväältä, eli kalibroinnin tarkistuksen jälkeiseltä ajanjaksolta.



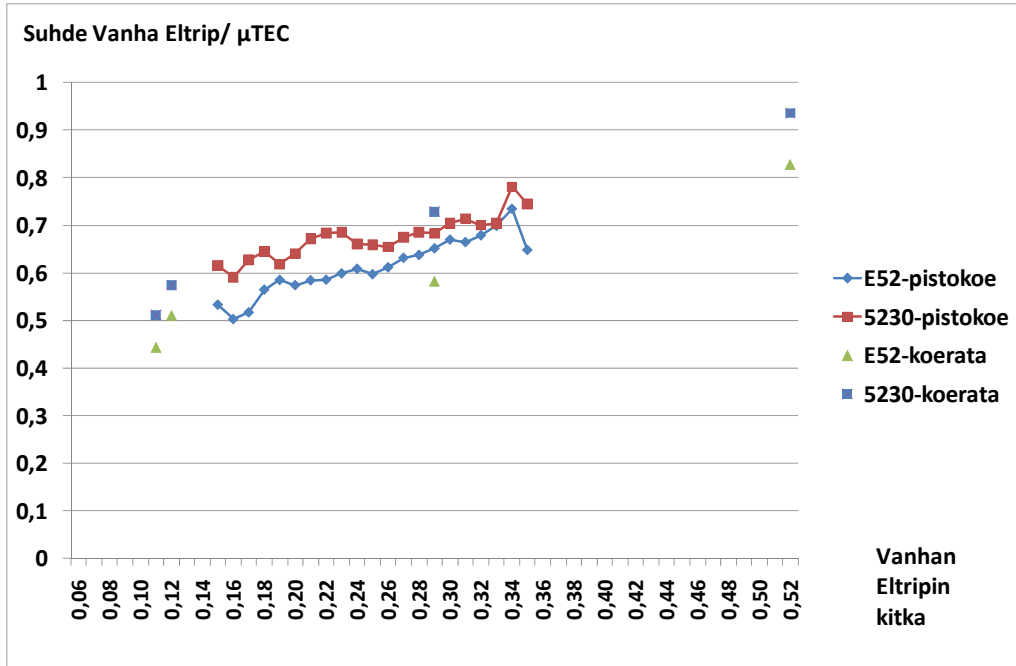
Kuva 42. DSC111:n ja vanhan Eltripin vertailua pistokoelaadunseurannan yhteydessä tehdyissä mittauksissa 24.3., 25.3., 28.3. ja 29.3. DSC111:n kitka on kitkan **minimi** ajanjaksona, joka on  $\pm 15$  sekuntia vanhan Eltripin kitkanmittauksen ajanhetkestä.

## 7 Vertailutaulukot jarrutuskitkamittareille

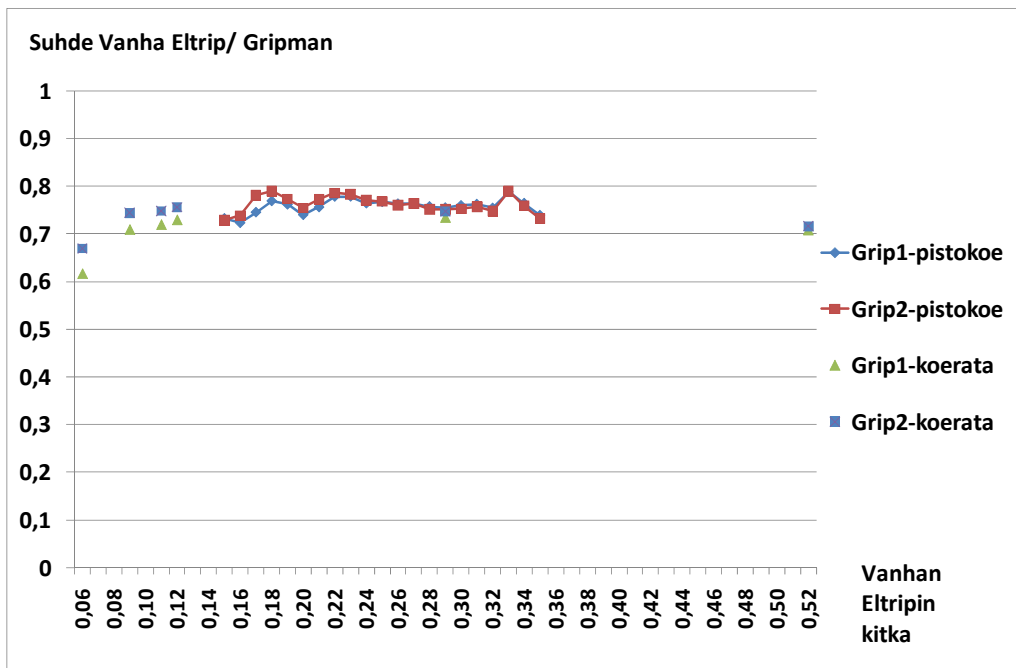
Tutkimuksen tavoitteena oli laatia vertailutaulukot Vanhan Eltripin ja uusien kiihtyvyyssanturimittarien välille. Taulukoita varten on laskettu pistokoemittausten osalta Vanhan Eltripin ja kiihtyvyyssanturimittausten suhde kitkatasoilla 0,15–0,35 (vanhan Eltripin kitka). Lisäksi analyysiin on lisätty vastaava suhdeluku koeratatesteistä tietyiltä keleiltä (pääosin ääriolosuhdetesteistä, eli alle 0,15 ja yli 0,50 kitkatasoilta). Huomattakoon, että kitkatason 0,29 kohdalla suhdeluku on käytännössä sama kuin kalibrointikerroin: jos halutaan, että kiihtyvyyssanturimittari näyttää lumipolanteella 0,29, on sen arvo kerrottava ko suhdeluvulla.

Kuvien perusteella voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä:

- $\mu$ TEC:in kohdalla suhdeluku muuttuu tasaisesti kitkatason mukaan. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että  $\mu$ TEC:in ja Eltripin välille tulee systemaattista eroa, jos  $\mu$ TEC kalibroidaan vain kalibrointikerrointa käyttämällä, mutta  $\mu$ TEC saadaan näyttämään varsin samaa tasoa vanhan Eltripin kanssa, jos kalibrointikerroimen lisäksi käytetään offsettia. Oikean kaavan absoluuttisen totuuden etsintä on vaikeata, mutta ainakin välillä 0,15–0,35  $\mu$ TEC:in ja Eltripin ero oli varsin tasaisesti vanhoilla nastarenkailla noin 0,14 yksikköä. Tällöin paras korrelaatio saadaan kitkakertoimella 1 ja offsetilla -0,14 ( $\text{Eltrip\_kitka} = 1 * \mu\text{TEC\_kitka} - 0,14$ ).
- Gripmanin kohdalla suhdeluku pysyy melko samana koko välin 0,15–0,35, vaihtelu on ilmeisesti pääosin satunnaisvaihtelua, tosin alhaisemmillä kitkatasoilla suhdeluku ilmeisesti laskee merkittävästi ja tämä voi aiheuttaa pientä systemaattista eroa vanhan Eltripin kanssa alhaisimmilla kitkatasoilla.
- Uuden Eltripin kohdalla suhdeluku muuttuu melko voimakkaasti kitkatason mukaan. Uutta Eltrippiä ei kyetä saamaan näyttämään kovin hyvin samaa vanhan Eltripin kanssa, sillä uudessa Eltripissä ei ole mahdollisuutta käyttää offsettia.

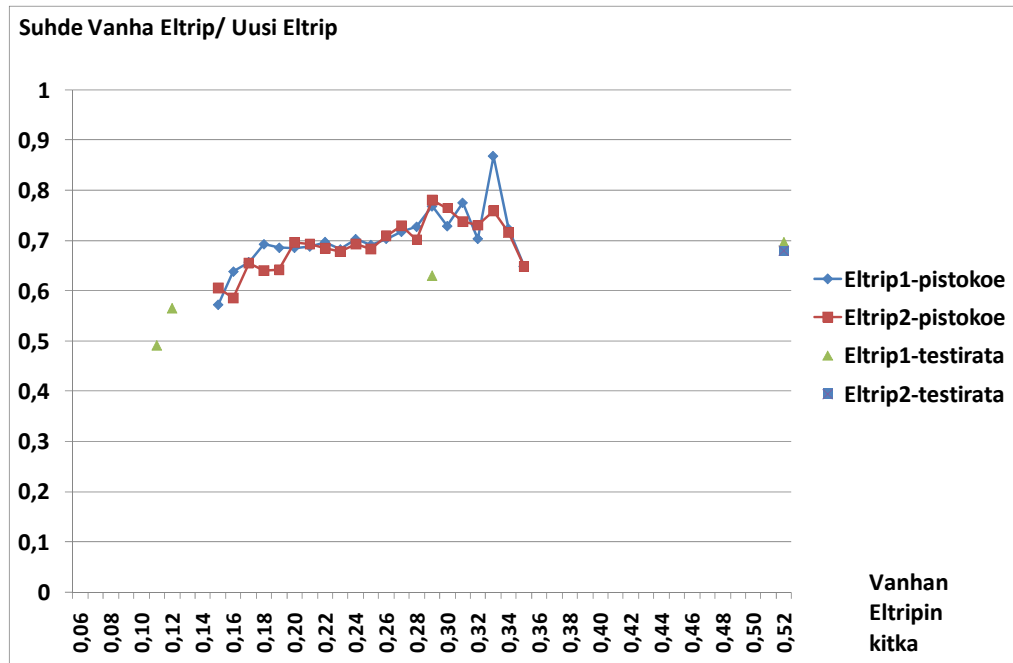


Kuva 43. Vanhan Eltripin ja  $\mu$ TEC:cien suhde pistokoelaadunseurannassa ja tietyillä testiratakeleillä.



Kuva 44. Vanhan Eltripin ja Gripmanien suhde pistokoelaadunseurannassa ja tietyillä testiratakeleillä.





Kuva 45. Vanhan Eltripin ja uusien Eltrippien suhde pistokoelaadunseurannassa ja tietyillä testiratakeleillä.

Taulukossa 8 on esitetty vertailutaulukko Vanha Eltripin ja uusien kiihtyvyyssanturimittarien välille tilanteessa, jossa kaikki mittarit kalibroidaan lumipolanteella 0,29:ään. Mikäli kiihtyvyyssanturimittarit kalibroidaan vain kalibroitikerrointa muuttamalla, kaikki kiihtyvyyssanturimittarit antavat liukkaimmilla keleillä hieman korkeampia kitkalukemia kuin vanha Eltrip. Taulukkoa laadittaessa erityisenä haasteena oli arvioida, mitkä muutokset vanhan Eltripin ja uusien kiihtyvyyssanturimittarien suhteessa olivat systemaattisia ja mitkä satunnaisia. Tämän vuoksi taulukko on vain suuntaa antava.

Taulukossa 9 on lisäksi esitetty vertailutaulukko Vanha Eltripin ja uusien kiihtyvyyssanturimittarien sekä Vbox-jarrutusmatkakitkan välille tilanteessa, joissa kiihtyvyyssanturimittareita ei ole kalibroitu (Kalibroitikerroin =1). On kuitenkin syytä huomata, että tämä yhteys on vahvasti riippuvainen auton rengastuksesta. Taulukon 9 yhteys perustuu käytetyillä nastarenkailla tehtyihin mittauksiin. Taulukossa ei ole uutta Eltrippiä, koska uudella Eltripillä ei varsinaista tehdasasetusta (eikä kalibroitikerrointa) ollut.

Taulukko 8. Vanhan Eltripin ja uusien kiihtyvyyssanturimittarien vastaavuus kitkatasolla 0,15-0,35, kun kaikki mittarit kalibroidaan tasolla 0,29.  $\mu\text{TEC}^1 = \mu\text{TEC}$ :in arvo, kun  $\mu\text{TEC}$  kalibroidaan vain kalibroitikerrointa muuttamalla.  $\mu\text{TEC}^2 = \mu\text{TEC}$ :in arvo, kun  $\mu\text{TEC}$  kalibroidaan kalibroitikerrointa ja offsettiä muuttamalla. Poikkeavat arvot on esitetty keltaisella pohjalla.

	Kitka-arvo																				
Vanha Eltrip	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
$\mu\text{TEC}^1$	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,31	0,32	0,33	0,33
$\mu\text{TEC}^2$	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
Gripman	0,16	0,17	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
Uusi Eltrip	0,19	0,19	0,20	0,21	0,22	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,26	0,27	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,35	0,36

Taulukko 9. Vanhan Eltripin ja uusien kiihtyvyyssanturimittarien vastaavuus vanhoilla nastarenkailla kitkatasolla 0,15-0,35, kun kiihtyvyyssanturimittareita ei ole kalibroitu (kalibrointikerroin = 1). Lisäksi taulukossa on esitetty myös jarrutusmatkan mukainen kitka nopeudesta 50 km/h nopeuteen 5 km/h (Vbox).

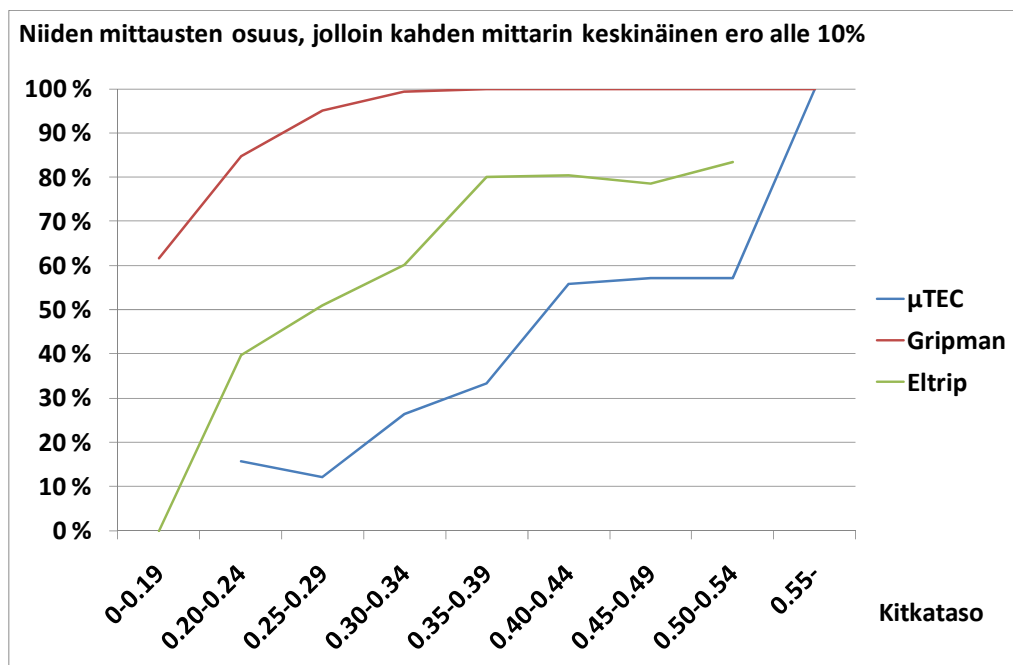
	Kitka-arvo																				
Vanha Eltrip	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35
μTEC	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40	0,41	0,42	0,43	0,44	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49
Gripman	0,20	0,21	0,23	0,24	0,25	0,27	0,28	0,29	0,30	0,32	0,33	0,34	0,36	0,37	0,38	0,40	0,41	0,42	0,44	0,45	0,46
Vbox	0,20	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25	0,26	0,27	0,28	0,29	0,30	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,40

## 8 Jarrutuskitkamittarien tarkkuusvaatimukset

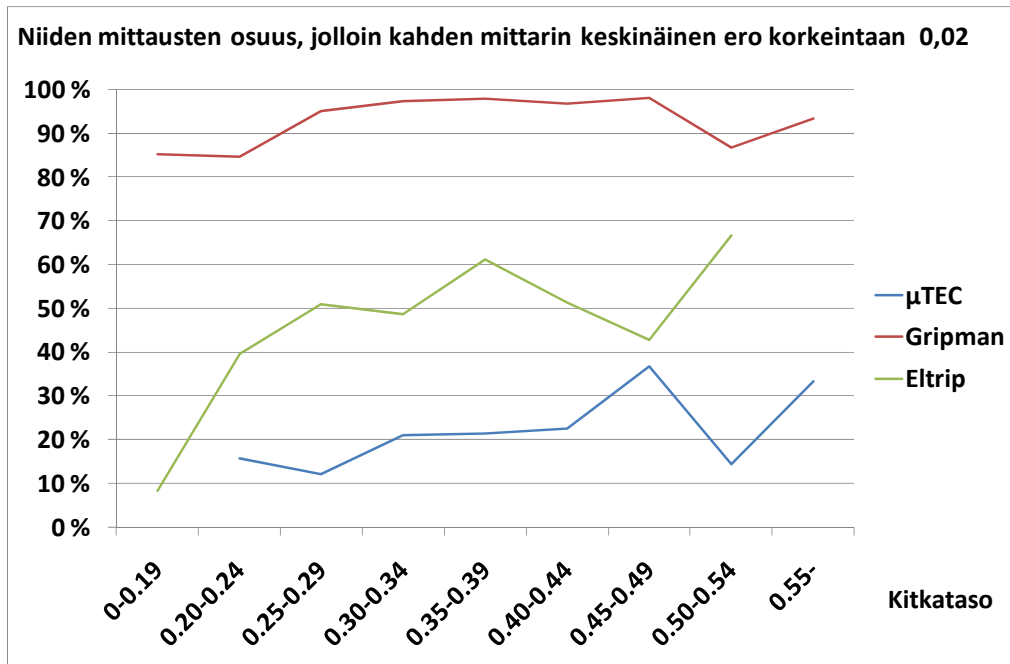
Tätä tutkimusta suunniteltaessa mittareille ei asetettu ennakkoon mitään tarkkuusvaatimuksia, koska tutkimuksen johtoryhmällä ei ollut käytettävinsä riittävästi tietoa mittareiden tarkkuudesta yleensä. Jatkossa kuitenkin tällaisia vaatimuksia voidaan uusille mittareille esittää, mikäli mittarivalmistaja haluaa mittarinsa esim. Liikenneviraston käyttöön. Tässä tutkimuksessa mittareiden tarkkuutta tutkittiin pääasiassa kahdella eri tavalla: a) vertaamalla yhden valmistajan kahta eri mittaria toisiinsa, sekä b) vertaamalla mittareiden antamia arvoja jarrutusmatkan perusteella laskettuun kitkaan. Kuvissa 46–48 on analysoitu vielä näitä samoja asioita tavalla, joka mahdollistaa paremmin tarkkuusvaatimusten esittämisen.

Kuvissa 46 ja 47 on tarkasteltu saman valmistajan kahden eri mittarin välistä eroa. Kuvan 46 perusteella tarkkuus näyttäisi jokaisen mittarin kohdalla kasvavan voimakkaasti kitkatason funktiona. Tulokseen vaikuttaa kuitenkin myös voimakkaasti se, että tarkastellaan kahden mittarin eroa prosentteissa. Vaadittu alle 10% ero tarkoittaa matalalla kitkatasolla alle 0,02:n eroa, mutta korkeammalla sallitaan yli 0,05:n ero. Vertailun vuoksi kuvassa 47 on tarkasteltu eroa kitkan yksikköinä.

Kuvan 46 ja 47 perusteella voidaan esim. asettaa kitkamittareille tarkkuusehto, jonka mukaan tietyllä kitka-alueella tehdyistä n kpl mittauksesta kahden mittarin eron tulee olla x prosentissa mittauksia alle 10 % tai korkeintaan 0,02 yksikköä.



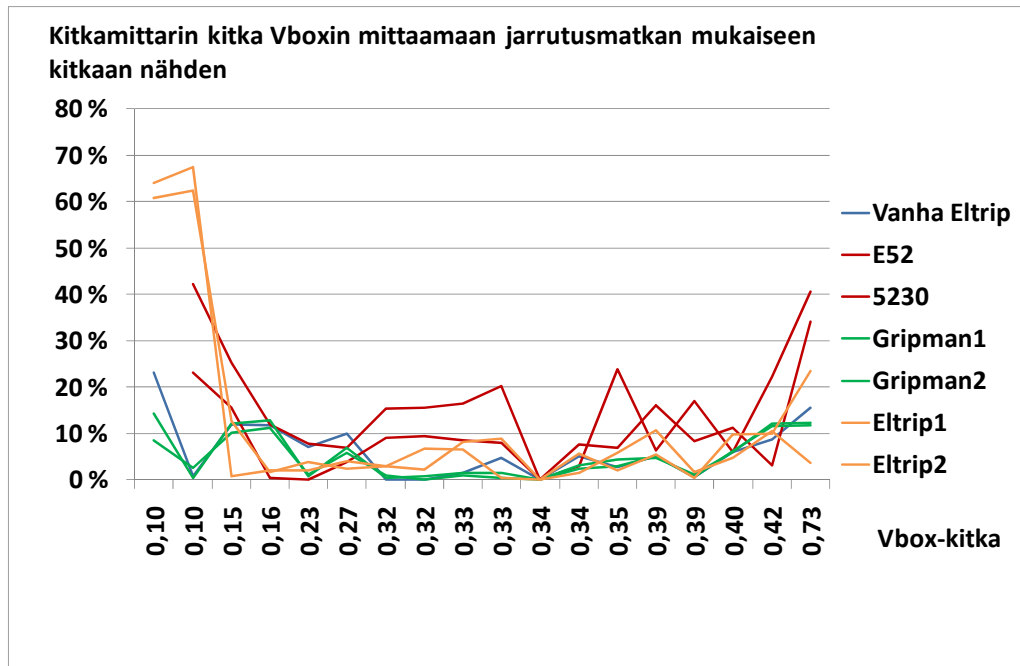
Kuva 46. Niiden mittausten osuus, jolloin saman valmistajan kahden mittarin keskinäinen ero oli alle 10 % pistokoelaadunseurannan yhteydessä tehdyissä mittauksissa. Kitkataso on alempaa kitkaa näyttäneen mittarin kitkataso ja keskinäinen ero on laskettu: (suurempi arvo - pienempi arvo) / pienempi arvo.



Kuva 47. Niiden mittausten osuus, jolloin saman valmistajan kahden mittarin keskinäinen ero oli korkeintaan 0,02 yksikköä pistokoe-laadunseurannan yhteydessä tehdyissä mittauksissa. Kitkataso on alemmaa kitkaa näyttäneen mittarin kitkataso.

Kuvassa 48 on vertailtu toisiinsa testiradalla tehtyjä Vbox-mittauksia ja jarrutuskitkamittareita. Mittarit on ennen vertailua jälkikalibroitu näyttämään samaa lumipolanteella. Kuvassa etenkin tietyillä mittareilla erot Vboxiin ovat melko suuria, mutta erot todennäköisesti kaventuvat, jos jatkossa pyritään saamaan jarrutusmatkan kitka tarkemmin samalta ajanjaksolta, kuin kitkamittarin kitkakin on mitattu. Nythän jarrutusmatkat mitattiin aina nopeuteen 5 km/h asti, kun kitkamittareilla loppunopeus oli usein korkeampi.

Kuvan 48 perusteella voidaan laatia kitkamittareiden tarkkuudelle ehto, jonka mukaan esim. mittarin ja jarrutusmatkan perusteella lasketun kitkan välinen ero saa olla korkeintaan x prosenttia. Liitteessä 2 on esitetty luonnos jarrutuskitkamittareille asetettavista laatuvaatimuksista.



Kuva 48. Kitkamittarien ja Vboxin mukaan mitatun jarrutusmatkan perusteella lasketun kitkan ero prosenteissa testiradalla tehdyissä testeissä. Ennen vertailua kaikki laitteet jälkikalibroitiin näyttämään lumipolanteella samaa kitkaa Vboxin kanssa (0,34). Ero on saatu laskemalla ensin itseisarvo kitkamittarin arvon ja Vbox-kitkan erotuksesta ja jakamalla sitten kyseinen itseisarvo Vbox-kitkalla.

## 9 Talvihoidon kitkarajat Suomessa, Ruotsissa ja Norjassa

Nykyään Suomessa teiden kitkanmittaukseen tarkoitettut mittauslaitteet kalibroidaan siten, että 5 asteen pakkasella lumipolanteen kitkan tulisi olla 0,29. Tämä taso pohjautuu siihen, että aikoinaan referenssilaitteeksi valittu lentokenttien kitkamittari Skidometer BV-11 näytti kyseisellä kelillä juuri tuota lukemaa. Se on kuitenkin selvästi pienempi kuin ns. fysikaalinen kitka. Myös vanhojen jarrutuskitkamittareiden ja uusien kiihtyvyyssanturimittareiden kitkataso on ns. tehdasasetuksilla (kalibrointikerroin = 1) lumipolanteella huomattavasti suurempi kuin 0,29. Koska BV-11:lla ei ole enää samaa merkitystä referenssilaitteena, on perusteltua kysyä, tulisiko kitkaskaalaa nostaa vastaamaan paremmin ns. fysikaalista kitkaa. Koska nykyisellä menettelyllä kalibrointikertoimet ovat huomattavan pieniä (0,7-0,8), mittausten erottelukyky heikenee kalibroinnin seurauksena.

Jotta voitaisiin ottaa paremmin kantaa kitkaskaalan muutoksiin, haluttiin tutustua myös Ruotsissa ja Norjassa käytössä oleviin kitkaskaaloihin. Suomen, Ruotsin ja Norjan talvihoidon kitkavaatimuksia on kuvattu taulukossa 10–13. Suomessa ns. suolattavia teitä ovat talvihoitoluokat Is,I,Ib ja TIb, Ruotsissa luokat 1-3. Vastaavasti Suomessa hiekoitettavia teitä ovat luokat II - III, Ruotsissa luokat 4-5. Norjan tieviranomaisen laatuvaatimuksissa on kitkavaatimukset vain pistehiekoitukselle (punktstrøing) ja linjahiekoitukselle (helstrøing). Norjassa tunnetaan erikseen paljaan tien politiikka (suolaus), jonka yhteydessä ei esitetä kitkavaatimuksia.

Vaikuttaa vahvasti siltä, että sekä Ruotsissa että Norjassa laatuvaatimusten mukainen kitka pohjautuu jollekin muulle, kuin jarrutuskitkan mukaiselle kitkalle.

Taulukko 10. Ajouradan kitkavaatimukset Suomessa (Tiehallinto 2009)

Talvihoito-luokka	Kitkavaatimus	Kitkavaatimus kylmässä	Toimenpideaika (h)
Is	0,30	< -6 °C, kitka 0,25	2 h viilkailla 0 h
I	0,28	< -4 °C, kitka 0,25	2 h
Ib ja TIb	0,25 syys- ja kevättalvi 0,25 pistehiekoitus vakiintunut talvi 0,22 linjakäsittely vakiintunut talvi		3 h (suolaus) 4 h (hiekoitus)
II	karhennettu pinta, ongelmakohteet pistehiekoitetaan (ks. luku 3.3.3)		6 h (linjahiekoitus)
III	karhennettu pinta, ongelmakohteet pistehiekoitetaan (ks. luku 3.3.3)		8 h (linjahiekoitus)

Taulukko 11. Talvihoitoluokkien 1-3 kitkavaatimukset Ruotsissa (Vegverket 2002)

Krav vid uppehållsväder och när åtgärds tid efter nederbörd löpt ut.				
Sektions- element	Vägytetemperatur			Ojämnhet cm
	varmare än -6°C	-6°C till -12°C	kallare än -12°C	
	friktionstal	friktionstal	friktionstal	
Körfält	snö/isfritt	0.35	0.25	1.5
Vägren	0.25	0.25	0.25	1.5
Sidoanläggning	0.25	0.25	0.25	1.5

Krav vid nederbörd samt under åtgärds tid efter nederbörd.					
Sektions- element	Startkriterier		Åtgärds tid timmar		
	Snöfall	Regn	Standardklass		
	Snödjup	Friktion	1	2	3
	cm lös snö	friktionstal			
Körfält	1	0.30	2	3	4
Vägren	1	0.25	4	6	8
Sidoanläggning	1	0.25	4	6	8

Taulukko 12. Talvihoitoluokkien 4-5 kitkavaatimukset Ruotsissa (Vegverket 2002)

Krav vid uppehållsväder och när åtgärds tid efter nederbörd löpt ut.								
Sektions- element	Startkriterier				Åtgärds tid			
	Snödjup cm lös snö		Friktion, friktionstal	Ojämnhet cm	Snödjup/friktion timmar		Ojämnhet timmar	
	Standardklass				Standardklass		Standardklass	
	4	5	4	5	4	5	4	5
Körfält	2	3	0.25	1.5	5	6	48	72
Sidoanläggning	2	3	0.25	1.5	8	8	48	72

Krav vid nederbörd samt under åtgärds tid efter nederbörd.					
Sektions- element	Startkriterier		Åtgärds tid, timmar		
	Snöfall	Regn	Standardklass		
	Snödjup, cm lös snö	Friktion, friktionstal	4	5	
	Standardklass		4	5	
Körfält	2	3	0.25	5	6
Sidoanläggning	2	3	0.25	8	8

Taulukko 13. Hiekoitettavien teiden kitkavaatimukset Norjassa (Vegvesen)

Vegkategori	ÅDT	Punktstrøing		Helstrøing	
		Start ved	Fullføres	Start ved	Fullføres
Stamveger		$\mu < 0,30$	1,0 t	$\mu < 0,20$	2,0 t
Øvrige veger	over 1500	$\mu < 0,25$	1,0 t	$\mu < 0,20$	2,0 t
	501-1500	$\mu < 0,25$	2,0 t	$\mu < 0,15$	3,0 t
	0-500	$\mu < 0,20$	4,0 t	$\mu < 0,15$	4,0 t



## 10 Nastarengasmerkin vaikutus kitkaskaalaan

Luvussa 5.6 tarkasteltiin nastarenkaan käyttöön vaikuttavaa kitkaskaalaan. Käyttöön ohella oleellinen kysymys on myös se, kuinka paljon nastarengasmerkki vaikuttaa kitkaskaalaan.

Taulukoissa 14-16 on tehty lyhyt analyysi nastarengasmerkin vaikutuksesta kitkaskaalaan. Aineisto on Tekniikan Maailman talvirengastesteistä vuosilta 2008-2010. Taulukon jarrutusmatkat jäällä ja lumella on kopioitu suoraan lehden artikkelista. Kitka-arvot  $\mu_{\text{jää}}$  ja  $\mu_{\text{lumi}}$  on laskettu kitkan fysikaalisen kaavan perusteella. Tämän jälkeen on katsottu, millä kalibrointikertoimella saadaan lumen kitkaksi 0,29. Lopuksi jään kitka-arvot on kerrottu kyseisillä kalibrointikertoimilla.

Kun kaikki renkaat oli kalibroitu lumella, syntyi jäällä kitkaeroa 0,014 vuonna 2008, 0,026 vuonna 2009 ja 0,035 vuonna 2010. Lisäksi vuonna 2010 oli mukana "tunnetun talvirengasvalmistajan" (valmistajaa ei kerrottu) kuluneet nastarenkaat. Tällöin kitkaeroa jäällä syntyi uuteen nastarenkaaseen verrattuna suurimmillaan jo lähes 5 sadasosaa.

Taulukoiden 13-15 viesti on selvä. Kun luvussa 5.6 todettiin, että kun kitkanmittauksessa saadaan uuden ja 40 000 km ajatun nastarenkaan välillä jääkelillä eroa 2 sadasosaa, niin talvirengasmerkin valintakin vaikuttaa helposti saman verran.

*Taulukko 14. Nastarengasmerkin vaikutus kitkaprofiiliin. (Tekniikan Maailma 2008). Jarrutusmatkat ovat Tekniikan Maailman artikkelissa ilmoitettuja jarrutusmatkoja. Kitkakertoimet  $\mu_{\text{jää}}$  ja  $\mu_{\text{lumi}}$  on laskettu kitkan fysikaalisen kaavan mukaan. Viimeinen sarake kertoo kitkan jäällä sen jälkeen, kun kaikki renkaat on kalibroitu lumella näyttämään kitkaa 0,29.*

	Jarrutusmatka jää 50 km/h (m)	$\mu_{\text{jää}}$	Jarrutusmatka lumi 80 km/h (m)	$\mu_{\text{lumi}}$	Kalibrointi- kerroin 0,29/ $\mu_{\text{lumi}}$	Kalibroitu $\mu_{\text{jää}}$
Kingstar	60,0	0,164	66,0	0,381	0,760	<b>0,125</b>
Bridgestone	54,5	0,180	61,0	0,413	0,703	<b>0,127</b>
Michelin	53,0	0,186	59,5	0,423	0,686	<b>0,127</b>
Vredestein	53,0	0,186	59,5	0,423	0,686	<b>0,127</b>
Barum	55,0	0,179	62,0	0,406	0,714	<b>0,128</b>
Pirelli	51,5	0,191	58,5	0,430	0,674	<b>0,129</b>
Nokian	52,0	0,189	59,5	0,423	0,686	<b>0,130</b>
Gislaved	53,0	0,186	61,0	0,413	0,703	<b>0,130</b>
Continental	52,5	0,187	60,5	0,416	0,697	<b>0,131</b>
Goodyear	51,0	0,193	62,5	0,403	0,720	<b>0,139</b>

Taulukko 15. Nastarengasmerkin vaikutus kitkaprofiiliin. (Tekniikan Maailma 2009). Jarrutusmatkat ovat Tekniikan Maailman artikkelissa ilmoitettuja jarrutusmatkoja. Kitkakertoimet  $\mu_{\text{jää}}$  ja  $\mu_{\text{lumi}}$  on laskettu kitkan fysikaalisen kaavan mukaan. Viimeinen sarake kertoo kitkan jäällä sen jälkeen, kun kaikki renkaat on kalibroitu lumella näyttämään kitkaa 0,29.

	Jarrutusmatka jää 50 km/h (m)	$\mu_{\text{jää}}$	Jarrutusmatka lumi 80 km/h (m)	$\mu_{\text{lumi}}$	Kalibrointi-kerroin 0,29/ $\mu_{\text{lumi}}$	Kalibroitu $\mu_{\text{jää}}$
Roadstone	68,8	0,143	65,6	0,384	0,756	<b>0,108</b>
Kumho	60,1	0,164	58,0	0,434	0,668	<b>0,109</b>
Hankook	59,4	0,166	59,0	0,427	0,680	<b>0,113</b>
Nankang	61,1	0,161	64,0	0,393	0,737	<b>0,119</b>
Bridgestone	54,9	0,179	58,6	0,430	0,675	<b>0,121</b>
Vredestein	55,1	0,178	58,9	0,427	0,679	<b>0,121</b>
Continental	54,5	0,180	58,8	0,428	0,677	<b>0,122</b>
Michelin	53,4	0,184	58,8	0,428	0,677	<b>0,125</b>
Gislaved	54,0	0,182	59,8	0,421	0,689	<b>0,125</b>
Toyo	54,5	0,180	61,4	0,410	0,707	<b>0,128</b>
Pirelli	51,4	0,191	58,4	0,431	0,673	<b>0,129</b>
Goodyear	53,0	0,186	61,2	0,411	0,705	<b>0,131</b>
Nokian	49,1	0,200	58,1	0,433	0,669	<b>0,134</b>

Taulukko 16. Nastarengasmerkin vaikutus kitkaprofiiliin. (Tekniikan Maailma 2010). Jarrutusmatkat ovat Tekniikan Maailman artikkelissa ilmoitettuja jarrutusmatkoja. Kitkakertoimet  $\mu_{\text{jää}}$  ja  $\mu_{\text{lumi}}$  on laskettu kitkan fysikaalisen kaavan mukaan. Viimeinen sarake kertoo kitkan jäällä sen jälkeen, kun kaikki renkaat on kalibroitu lumella näyttämään kitkaa 0,29.

	Jarrutusmatka jää 50 km/h (m)	$\mu_{\text{jää}}$	Jarrutusmatka lumi 80 km/h (m)	$\mu_{\text{lumi}}$	Kalibrointi-kerroin 0,29/ $\mu_{\text{lumi}}$	Kalibroitu $\mu_{\text{jää}}$
Kulunut nasta 3mm	97,4	0,101	66,9	0,376	0,771	<b>0,078</b>
Kulunut nasta 6mm	80,3	0,122	61,6	0,409	0,710	<b>0,087</b>
Cordiant	72,8	0,135	57,7	0,436	0,665	<b>0,090</b>
Insa Turbo	70,1	0,140	58,3	0,432	0,672	<b>0,094</b>
Sava	63,6	0,155	56,9	0,442	0,656	<b>0,101</b>
Yokohama	58,8	0,167	57,9	0,435	0,667	<b>0,112</b>
Vredestein	55,8	0,176	55,7	0,452	0,642	<b>0,113</b>
Gislaved	55,2	0,178	55,5	0,454	0,639	<b>0,114</b>
Pirelli	55,5	0,177	56,5	0,445	0,651	<b>0,115</b>
Dunlop	53,9	0,182	55,2	0,456	0,636	<b>0,116</b>
Goodyear	54,5	0,180	56,7	0,444	0,653	<b>0,118</b>
Hankook	55,7	0,177	58,2	0,432	0,671	<b>0,118</b>
Continental	52,9	0,186	55,5	0,454	0,639	<b>0,119</b>
Michelin	52,1	0,189	55,3	0,455	0,637	<b>0,120</b>
Bridgestone	51,6	0,191	57,0	0,442	0,657	<b>0,125</b>
Nokian	50,5	0,195	55,9	0,450	0,644	<b>0,125</b>

## 11 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tämän selvityksen keskeisenä tavoitteena oli saada tietoa uusien kiihtyvyyssanturilla varustettujen kitkanmittauslaitteiden tarkkuudesta ja luotettavuudesta ja siten uusia kitkamittareita käytettäväksi talvihoidon laadunseurannassa. Lisäksi selvitettiin myös kahden optisen anturin ja yhden jalkaisiin liikuteltavan ja työnnettävän kitkamittarin tarkkuutta ja luotettavuutta.

### 11.1 Tutkimuksen kitkamittareiden tarkkuus ja luotettavuus

Tutkimuksessa vertailtavina olleiden jarrutuskitkanmittauslaitteiden tarkkuutta ja luotettavuutta selvitettiin sekä talvihoidon pistokoelaadunseurannan yhteydessä, että erityisillä koeratatesteillä. Testeissä oli vertailtavana yksi ns. perinteinen jarrutuskitkamittari Eltrip-45n. Lisäksi mukana oli kuusi kiihtyvyyssanturilla varustettua laitetta, eli käytännössä kaksi samaa laitetta kolmelta eri valmistajalta. Nämä laitteet olivat matkapuhelimissa käytettävä  $\mu$ TEC-kitkanmittausohjelmisto, sekä Gripman ja Eltrip-7kmb kitkamittari. Mittauslaitteiden välillä havaitut erot olivat kaiken kaikkiaan ennakko-odotuksia suurempia. Parhaat kiihtyvyyssanturimittarit olivat luotettavuudeltaan lähellä perinteisiä jarrutuskitkamittareita. Kiihtyvyyssanturimittarit tuntuivat kuitenkin olevan jopa perinteisiä jarrutuskitkamittareita herkempiä jarrutuksen pituuden vaihteluille. Lisäksi kiihtyvyyssanturimittareiden tarkkuus heikkeni jonkin verran aivan alhaisimmille kitkatasoille mentäessä. Jäljempänä on kuvattu havaintoja mittauslaittekohtaisesti.

#### 11.1.1 $\mu$ TEC

$\mu$ TEC on kitkanmittausohjelmisto, jota käytetään kiihtyvyyssanturilla varustetuissa matkapuhelimissa mitattaessa kitkaa ajoneuvoa jarruttamalla. Koska selvityksessä haluttiin tutkia puhelinvalinnan vaikutusta tuloksiin, ohjelmistoa käytettiin kahdessa erilaisessa Nokian matkapuhelimessa, malleissa E52 ja 5230. Tulosten mukaan olikin viitteitä siitä, että puhelinmallin valinnalla on vaikutusta: Nokian 5230 puhelimella saatujen mittaustulosten hajonta oli jatkuvasti selvästi suurempi kuin E52 puhelimella saatu hajonta. Lisäksi perinteisillä painonapeilla varustettu E52 oli käyttöergonomialtaan sopivampi kitkanmittaukseen kuin kosketusnäytöllä varustettu 5230. Matkapuhelinten näppäimet ovat yleensäkin pienempiä kuin itsenäisten Gripman- ja Eltrip-kitkanmittauslaitteiden näppäimet, mikä heikentää  $\mu$ TEC-laitteiden käyttöergonomiamia. Mittareista toinen, eli 5230-puhelin antoi hyvin epätasaisella tiellä mittaustuloksia itsekseen ilman varsinaista mittausjarrutusta. Tämä johti ylimääräiseen tarpeeseen nollata välillä mittaria. Toisaalta  $\mu$ TEC:in keskeisimpiä etuja oli se, että vain  $\mu$ TEC:issä oli oma muisti tuloksille, sekä mahdollisuus lähettää tulokset GPS-tiedon kanssa välittömästi langattomasti eteenpäin.

Testiratakokeiden liukkaimmalla kelillä, eli sileällä jäällä ja vanhoilla talvirenkailla  $\mu$ TEC-laitteet eivät kyenneet antamaan mittaustuloksia. Tällä ei kuitenkaan ole käytännön kannalta suurta merkitystä, sillä maantieolosuhteissa yhtä liukkaat kelit ovat äärimmäisen harvinaisia. Kun kaikkia kiihtyvyyssanturimittauslaitteita vertailtiin V-boxilla mitattujen jarrutusmatkojen mukaiseen kitkaan, kiihtyvyyssanturilaitteiden kitkat olivat yleensä samaa tasoa tai hieman korkeampia kuin jarrutusmatkojen mukai-

set kitkat. Tähän sääntöön oli kuitenkin yksi poikkeus. Märällä asfaltilla tehdyissä mittauksissa  $\mu$ TEC-laitteet antoivat selvästi pienempiä kitkatasoja kuin jarrutusmatkojen mukaan laskettu kitka.

Vertailun ainoana laitteena  $\mu$ TEC:eissä oli mahdollisuus säätää aikavakiota, eli sitä aikakehystä, jonka aikana ajoneuvon hidastuvuutta arvioidaan. Kun koeratakokeissa mitattiin kitkaa lyhyellä, pitkällä ja ns. normaalin pituisella jarrutuksella, säädettiin kokeissa vastaavasti  $\mu$ TEC-laitteiden aikavakiota. Tulokset viittasivat siihen suuntaan, että mahdollisuus aikavakion säätöön kyseisissä testeissä lisäsi  $\mu$ TEC-laitteiden mittausten luotettavuutta suhteessa muihin laitteisiin, joskin  $\mu$ TEC-laitteiden mittaustulosten suurehko hajonta vaikeutti johtopäätösten tekoa.

$\mu$ TEC:ien etuna oli myös se, että pinnan pituussuuntainen kaltevuus ("mäkisyyys") ei heikentänyt mittaustulosten luotettavuutta. Kaltevilla pinnalla laitteen havaitsemaan vetovoiman kiihtyvyyden kompensoi tuloksista mäen vaikutuksen, joten mäessä mitattu kitka on verrattavissa tasaisen pinnan kitkaan.

Talvihoidon laadunseurannan kannalta  $\mu$ TEC-laitteiden suurin heikkous on laitteiden suurehkot tasoerovaihtelut. Kun mittaukset  $\mu$ TEC-laitteilla aloitetaan, ohjelma vaatii yleensä aluksi ns. ajoneuvokalibroinnin. Kalibroinnin jälkeen kitkataso saattaa testien mukaan muuttua enimmillään  $\pm 5\text{...}6$  sadasosaa edellisen päivän tasosta. Tämän tasovaihtelun lisäksi laitteilla on satunnaishajontaa, keskimäärin  $\pm 2$  sadasosaa.

$\mu$ TEC-testit tehtiin pääosin ns. vanhalla ohjelmaversiolla. Uusi ohjelmaversio julkaistiin sen verran myöhään, että se oli mukana vain viimeisissä märän asfaltin testeissä. Näissä testeissä E52:n tulosten hajonta oli pienempi kuin aiemmissa testeissä keskimäärin. Koska uusi ohjelmaversio oli mukana vain yhdessä lyhyessä testissä, ei kokeissa päästy tutkimaan uuden ohjelmaversioiden vaikutusta tasoerovaihteluihin.

Kehittäjän mukaan uuden ohjelmaversioiden käyttö on saattanut hieman laskea  $\mu$ TEC:in kitkatasoa märän asfaltin testeissä. Mahdollisesti märän asfaltin testeissä olisi pitänyt käyttää myös vielä lyhyempää aikavakiota. Kehittäjät ovat myös korostaneet, että markkinoille tulee jatkuvasti uusia puhelimia, jotka soveltuvat kitkanmittaukseen vielä paremmin kuin nyt käytetyt mallit.

### 11.1.2 Gripman

Gripman on kiihtyvyyssanturilla varustettu jarrutuskitkamittari. Vertailtaessa kahta saman valmistajan laitetta, Gripman-laitteilla oli kaikista pienin keskinäinen tulosten hajonta. Gripman käyttäytyi myös yhdenmukaisimmin suhteessa vanhaan Eltrippiin sekä jarrutusmatkojen perusteella laskettuun kitkaan. Gripman oli myös kiihtyvyyssanturimittauslaitteista ainoa, jolla saatiin luotettavia tuloksia aivan liukkaimmissa testirataolosuhteissa.

Testiä varten Gripman oli varustettu johdolla yhdistetyillä painonapeilla, mikä teki Gripmanista hyvin ergonomisen. Toisaalta Gripmanin näyttöä oli vaikea lukea, mikäli auringonvalo osui siihen. Lisäksi Gripmanin puutteiksi on laskettava se, ettei laitteella ollut tuloksille omaa muistia. Laitteen tulokset oli joko lähetettävä Bluetooth-yhteyden kautta ajoneuvossa olevalle tietokoneelle tai matkapuhelimelle tai vaihtoehtoisesti kirjoitettava käsin ylös.

Kuten  $\mu$ TEC:it, myös Gripmanit pystyivät mittaamaan kitkaa mäessä.

Gripmanit on suunniteltu varsin pitkälle, vähintään noin 1,5 sekunnin jarrutukselle. Kun koeratoteisteissä kitkaa mitattiin niin lyhyellä, pitkällä kuin normaalin mittaisella (n. 1,5 s.) jarrutuksella, Gripmanin tulosten vaihtelu oli suurempaa kuin vanhalla Eltripillä.

Laitteen havaittu tasovaihtelu oli hyvin pientä, noin  $\pm 1$  sadasosaa, sekä tämän lisäksi tulosten satunnaishajonta keskimäärin selvästi alle  $\pm 1$  sadasosaa. Pistokoelaadunseurannan yhteydessä saatiin Gripmaneilla muutama huomattavan poikkeava tulos. Niiden esiintyvyys oli kuitenkin vain noin kaksi kappaletta tuhatta mittauksista kohden. Talvihoidon laadunseuranta perustuu joka tapauksessa siihen, että mittauksia suoritetaan useamman mittauksen ryppäissä ja poikkeavat tulokset eliminoidaan tällaisista sarjoista. Gripmanin kehittäjän mukaan todennäköisin syy poikkeavaan ja tässä tapauksessa huomattavan alhaiseen tulokseen oli se, että jarrutus on jäänyt jostain syystä huomattavan lyhyeksi.

### 11.1.3 Eltrip-7kmb

Eltrip-7kmb -laitteet olivat kiihtyvyyssanturilla varustettuja jarrutuskitkamittareita. Nämä ns "uudet Eltripit" pitivät sisällään hyvin poikkeuksellisen kalibrintilogiikan. Kun kaikissa muissa tutkimuksen jarrutuskitkamittareissa mittarit kalibroidaan sisäistä kalibrintikerrointa muuttamalla, uusissa Eltripeissä ei ole näkyvää kalibrintikerrointa lainkaan. Uudet Eltripit kalibroidaan vain siten, että kalibroitaessa mittareihin syötetään haluttu kitka. Näin ollen nykyisen tapainen menettely, missä kokeneimmat kitkanmittaajat pitävät jatkuvasti kirjaa siitä, mitä kalibrintikerrointa on missäkin vaiheessa renkaiden käyttöikää käytetty, ei ollut lainkaan mahdollista vertailun Eltripeillä. Testien jälkeen valmistaja on kuitenkin kehittänyt Eltrip-7kmb laitetta edelleen ja muuttanut mm. kalibroinnin siten, että uusimmissa laitteissa kalibrinti perustuu tyyppilliseen kalibrintikertoimeen.

Eltrip oli testin ainoa kiihtyvyyssanturilla varustettu kitkamittari, jolla ei pystynyt mitaamaan luotettavasti kitkaa mäessä. Kun muut kiihtyvyyssanturimittarit tuottivat saman tasoisia tuloksia samassa mäessä niin ylä- kuin alamäkeen mitattaessa, Eltripin tulokset olivat mäkitesteissä täysin eri tasoa.

Kuten  $\mu$ TEC:illä varustettu 5230-puhelin, myös uudet Eltripit olivat huomattavan herkkiä reagoimaan pinnan epätasaisuuteen. Epätasaisella tiellä mittareita joutui jatkuvasti nollaamaan tahattomien mittaustulosten vuoksi. Muuten mittarit kuuluivat käyttöergonomialtaan testin parhaimmista, näyttöä oli helppo lukea kaikissa eri valaistusolosuhteissa. Kuten Gripmaneissa, uusissa Eltripeissäkään ei ollut sisäistä muistia, vaan mittaukset oli lähetettävä Bluetooth-yhteyden välityksellä ajoneuvossa olevalle tietokoneelle tai matkapuhelimelle, tai vaihtoehtoisesti kirjattava käsin ylös.

Eltripin tulosten tasovaihtelu oli vertailun pienintä, mutta toisaalta tulosten hajonta suurinta. Tasalaatuisen oloisilla testiradoilla Eltripien tulosten keskihajonta oli keskimäärin 5 sadasosaa, kun se muilla jarrutuskitkamittauslaitteilla  $\mu$ TEC:illä varustettua 5230 -puhelinta lukuunottamatta oli alle 3 sadasosaa. Eltripit kykenivät antamaan tuloksen myös aivan liukkaimmalla testiradalla, mutta näissä olosuhteissa kitka-arvot eivät olleet uskottavaa, vaan liian korkeita.

Eltripin kehittäjä korosti, että laite on optimoitu melko lyhyille noin 1 sekunnin mittaisille jarrutuksille. Vaikka laitetta voi käyttää myös pidemmällä jarrutuksilla (testeissä

keskimäärin 1,5 sekuntia), hajonta on valmistajan testeissä ollut lyhyillä jarrutuksilla hieman pienempi.

#### **11.1.4 Eltrip-45n**

Testeissä käytettiin yhtä perinteistä Eltrip jarrutuskitkanmittaria eräänlaisena referenssilaitteena. Tällä ns. "vanhalla Eltripillä" mittaustulosten hajonta testiradoilla oli hyvin pientä ja lisäksi mittaustulokset korreloivat varsin hyvin jarrutusmatkamittausten perusteella laskettujen kitkojen kanssa. Vanhan Eltripin herkkyys jarrutuksen pituuteen oli pienintä, eli laitetta voidaan parhaiten käyttää eripituisilla jarrutuksilla. Vanhalla Eltripillä ei voi mitata kitkaa mäessä.

#### **11.1.5 DSC111**

Vaisalan optista DSC111 anturia käytettiin ajoneuvon katolla kiinnitettynä ja auton taakse suunnattuna. Laite mittaa kitkaa optisesti tutkimalla valon paluuheijastuvuutta tien pinnasta. Laite vaati oman ajoneuvon sijoitetun tietokoneen tiedon keräystä varten.

Pistokoelaadunseurannan yhteydessä tehdyt mittaukset osoittivat, että laite korreloi varsin heikosti vanhan Eltrip-kitkamittarin kanssa. DSC111:lle oli ominaista, että laite ilmoitti varsin herkästi joko huomattavan alhaisia tai huomattavan korkeita kitkarvoja. Testiradoilla, joiden olosuhteet olivat keinotekoisia, laite luokitteli testiratojen kitkatasot lähes käänteiseen järjestykseen jarrutuskitkanmittareilla mitattuihin kitkoihin nähden.

Vaisala on korostanut, että DSC111:n kalibrointi nojaa kuivan asfaltin ominaisuuksiin ja erityisesti heijastuvuuteen, joten jos tiepohja muuttuu tästä oleellisesti (= järven jää tai jääpintainen hiekkatie), analyysialgoritmi saattaa toimia vastoin odotuksia. Lisäksi testin tuloksia analysoitaessa Vaisalassa pohdittiin, onko DSC111 voinut ajan myötä omatoimisesti "korjata" kalibrointia ja olisiko DSC111 pitänyt kalibroida testin aikana vielä useampaan otteeseen. Vaisalassa myös korostettiin, että mobiilikäyttöön tarkoitetun laitteen ominaisuudet ja käyttöympäristö eroavat niin paljon kiinteästi asennetuista laitteista, ettei testin tuloksia tule missään nimessä yleistää koskemaan kiinteitä tien varren optisia antureita.

#### **11.1.6 RCM411**

Testeissä oli lyhyen aikaa mukana myös Teconer Oy:n kehittämä optinen kitkamittari RCM411. RCM411 oli fyysisesti DSC111:tä hieman pienempi laite, joka kiinnitettiin ajoneuvon peräkoukkuun varsin lähelle tienpintaa. Mittaustulokset lähetettiin Bluetooth-yhteyden välityksellä autossa olevalle matkapuhelimelle.

Pistokoelaadunseurannan yhteydessä laite korreloi kohtalaisen hyvin vanhan Eltripin kanssa. Testiradoilla myös RCM411:n korrelaatio oli heikompi, joskin tulokset olivat sielläkin jossain määrin oikeansuuntaisia. Poikkeuksen muodosti vaalean värinen sielä jää, jonka RCM arvioi virheellisesti kaikista pitävimmäksi testiradaksi.

#### **11.1.7 T2GO**

Jalkaisin liikuteltava mekaaninen T2GO-kitkamittari oli käytössä vain koerataolosuhteissa. Näissä olosuhteissa laite antoi pääosin oikeansuuntaisia arvoja joskin mittaustulosten hajonta oli ajoittain varsin suurta. Laitteen mittaustulokset vaikuttivat

reagoivan herkästi mittausrenkaiden lämpötilaan ja tuntuivat vakiintuvan paremmin tietylle tasolle vasta sen jälkeen, kun laite oli ensin ollut jonkin aikaa ulkoilman lämpötilassa.

Laite reagoi myös varsin herkästi mitattavan pinnan kiinteyteen. Irtolumella laite antoi jarrutuskitkamittareihin ja jalankulkijan kengänpohjatuntumaan nähden huomattavan alhaisia kitkalukemia. Kiinteämmillä pinnoilla kuten jäällä ja kovalla lumipolanteella laite käyttäytyi luotettavammin.

Laite oli lainassa Aalto-yliopiston Liikennelaboratoriosta. Liikennelaboratorion opettava tutkija, tekniikan tohtori Jarkko Valtonen katsoi, että tässä tutkimuksessa tehdyt T2GO:a koskevat havainnot ovat huomattavan samankaltaisia heidän omien kokemustensa kanssa.

### 11.1.8 Vbox

Tutkimuksen testirataolosuhteissa käytettiin jarrutusmatkan mittaukseen kahta Vbox-mittauslaitetta. Laitteet mittasivat ajoneuvon nopeutta ja jarrutusmatkaa GPS-paikannukseen pohjautuen.

Vertailun kaksi eri hintaluokan Vbox-laitetta antoivat testiradoilla huomattavan samankaltaisia tuloksia ja niiden mittaustulosten hajonta oli testin pienintä. Laitteiden ilmoittaman jarrutusmatkan perusteella laskettu kitka oli hyvin samaa luokkaa kiihtyvyyssanturimittareiden kanssa liukkailla jääkeleillä ja toisaalta pitävimmissä olosuhteissa. Lumipolanneolosuhteissa Vboxien ilmoittamien jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat olivat jonkin verran pienempiä kuin kiihtyvyyssantureilla mitatut kitkat. Havaitun eron arveltiin johtuvan siitä, että jäällä ja lumipolanteella Vbox-mittausten jarrutusajat ja jarrutusmatkat olivat huomattavasti pidempiä kuin kiihtyvyyssanturimittauksissa. Jos jarrutus tapahtui siten, että jarrutuksen alussa hidastuvuus on ollut suurempaa ja myöhemmin vähäisempää, havaitut erot ovat perusteltavissa. Kaikista pitävimmissä olosuhteissa, eli märällä asfaltilla Vboxien jarrutusmatkamittausten perusteella lasketut kitkat menivät hyvin tarkkaan samalle tasolle Gripmanien ja uusien Eltrippien kanssa. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että märällä asfaltilla jarrutusmatka- ja aika olivat likipitään samat sekä Vboxilla että jarrutuskitkamittareilla.

Kalliimmilla Vbox-laitteilla olisi mahdollista mitata jarrutusmatkaa myös ajan funktiona ja jatkossa olisi mielenkiintoista verrata tällaista dataa kiihtyvyyssanturimittareiden ilmoittamiin kitka-arvoihin. Vertailun kehittämiseksi jarrutusmatkamittaukset olisi syytä myös tehdä samasta lähtönopeudesta jarrutuskitkamittareiden kanssa, jotta ilmanvastuksen vaikutus erilaisista lähtönopeuksista mitattuun kitkaan voitaisiin eliminoida. Lisäksi Vboxien mittaustarkkuutta olisi mielenkiintoista tutkia esimerkiksi erillisen auton perään kiinnitetyn mittapyörän avulla.

Koska Vboxien ilmoittamat jarrutusmatkat testiradoilla tuntuivat varsin uskottavilta, myös Vboxien käyttö kitkamittarina voisi olla mahdollista. Tämä kuitenkin edellyttäisi Vboxien tarkkuuden tarkempaa analysointia lyhyitä jarrutusmatkoja, esim. nopeudesta 60 km/h nopeuteen 40 km/h, mitattaessa. Käytön esteenä ei tunnu olevan ainaakaan hinta, sillä testin halvin Vbox maksaa vain hiukan yli 500 € (ilman arvonlisäveroa).

## 11.2 Jarrutuskitkanmittauksen suoritustapa

Tutkimuksessa analysoitiin myös jarrutuskitkanmittauksen suoritustapaa tekemällä mittauksia eri nopeuksista ja eri-ikäisillä talvirenkailla. Mittausnopeudella oli selvästi vaikutusta tuloksiin, mittausnopeuden lisääminen 60 km/h:sta 80 km:iin/h, nosti kitkatasoja keskimäärin noin 10 % ja mittausnopeuden vähentäminen 60 km/h nopeudesta 40 km/h nopeuteen vastaavasti laski kitkatasoja noin 10 %.

Kun kitkaa mitattiin normaalin pituisten jarrutusten lisäksi lyhyillä ja pitkillä jarrutuksilla havaittiin, että kaikki jarrutuskitkamittarit olivat varsin herkkiä jarrutusajan pituuden muutoksille. Kiihtyvyyssanturimittareilla herkkyys jarrutusajan pituuden muutoksille saattoi olla jopa suurempi kuin perinteisellä jarrutuskitkamittarilla. Sen vuoksi kiihtyvyyssanturimittarien oikeaoppinen käyttö edellyttää "vakaata jarrujalkaa", jarrutuksen pituuden tulisi säilyä mahdollisimman samantyyppisenä koko talven.

Selvityksessä myös havaittiin, että renkaan kestoajan merkitys kitkaprofiiliin oli varsin pieni, kun käytettiin hyvälaatuisia nastarenkaita. Lisäksi selvityksessä tarkasteltiin Tekniikan Maaailman talvirengastestien tuloksia, joiden mukaan nastarengasmerkin vaikutus kitkaskaalaan voi olla kohtalaisen merkittävä, jos käytetään testien aivan huonoimpia renkaita. Lisäksi on mahdollista, että eri rengasmerkeillä käyttökä vaikuttaa kitkaprofiiliin vielä eri tavoin. Siksi olisi syytä harkita, tulisiko suosia yhden hyvälaatuisen nastarengasmerkin käyttöä kitkanmittauksessa.

## 11.3 Talvihoidon laadunseurannan kitkaskaalat

Nykyään käytössä olevat kitkanmittarit on kalibroitu siten, että ne näyttävät lumipolanteella 5 asteen pakkasella arvoa 0,29. Tähän arvoon on aikoinaan päädytty referenssimittarina käytetyn Skiddometer BV-11 vuoksi. Koska nykyään Skiddometerillä ei ole samaa referenssilaitteen roolia on keskusteltu siitä, pitäisikö skaalaa nostaa ylöspäin, jotta päädyttäisiin lähemmäs ns. fysikaalista kitkaa, eli jarrutusmatkan perusteella laskettavaa kitkaa. Koska nykyään kalibroitikertoimet ovat tasolla 0,7–0,8, kalibrointi heikentää laitteiden erottelukykä.

Tämän tutkimuksen yhteydessä tehty kirjallisuusselvitys osoitti, ettei Ruotsissa ja Norjassa oltu vielä siirretty laatuvaatimuksissa jarrutuskitkan mukaiseen tasoon, vaan taso oli Suomen kaltaisesti jarrutuskitkaa alhaisempi. Koska aiemmin kuvattujen syiden vuoksi tutkimuksen jarrutuskitkamittaukset erosivat juuri lumipolannekeleillä varsin paljon kiihtyvyyssanturimittauksista, saattaisi olla paikallaan selvittää vielä yksityiskohtaisemmin ajoneuvon hidastuvuuden fysikaalista olemusta ennen kuin uudesta kitkaskaalasta päätetään. Lisäksi talvihoidon laatuvaatimusten yhteyteen suunnitellaan myöhemmin suurempaa uudistusta, johon kitkaskaalan uudelleenarvointi sopisi paremmin.

Gripman oli suoraan verrannollinen vanhaan Eltrippiin tavalla, joka mahdollistaa Gripmanien ja vanhojen Eltrippien yhteiskäytön talvihoidon laadunseurannassa välittömästi kalibroinnin jälkeen.  $\mu$ TEC:ejä kalibroitaessa olisi suositeltavaa, että kalibroitikelillä tehdään useampia ajoneuvokalibrointeja, jotta löydetään eräänlainen keskiarvotaso tasoero vaihteluiden sisällä.  $\mu$ TEC:ien ja vanhan Eltripin korrelaatio myös vaikutti sellaiselta, että ns. offsetin käyttö on mielekäästä. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että jos tavoitteena on kitka 0,29, säädetään kalibroitikerroin esim.



sellaiseksi, että kitkaksi saadaan n. 0,43 ja tähän lisätään vakiotermin ("offset") jonka suuruus on noin -0,14. Tällainen offsetin käyttö on  $\mu$ TECissä mahdollista.

Tulosten mukaan myös vanhan ja uuden Eltripin välinen korrelaatio toimisi parhaiten pienellä offsetilla, mutta uuteen Eltrippiin ei suoraan voi syöttää offset-arvoa. Tämän puutteen vuoksi uusi Eltrip näyttää alhaisilla kitkatasoilla korkeampaa kitkaa kuin vanha Eltrip, vaikka laitteet kalibroituaisiin näyttämään lumipolanteella 0,29:ää.

## 11.4 Suositus kitkamittareiden hyväksymismenettelyksi

Kitkamittareita kehitellään jatkuvasti ja tarve saada uusia entistä kehittyneempiä kitkamittareita talvihoidon laadunseurannan käyttöön on olemassa jatkossakin. Tässä tutkimuksessa käytettiin menettelyä, jossa mukana oli kaksi mittaria kultakin valmistajalta ja kunkin valmistajan kahta mittaria verrattiin sekä a) toisiinsa että b) jarrutusmatkan mukaiseen kitkaan. Näitä kahta testiä on jatkossa hyvä käyttää myös validointimenettelyssä mukana. Jarrutusmatkamittauksia tulisi kuitenkin kehittää niin, että jarrutusmatka sekä jarrutuksen alku- ja loppunopeus voitaisiin mitata samanaikaisesti kitkamittauksen kanssa. Kehittyneempien Vboxien vaihtoehtona mittauksissa voitaisiin käyttää myös Paseler-pyörää. Tällöin kokenut kitkamittaja voi suorittaa validointimittauksia myös maantieolosuhteissa. Yhtenä tutkimuksen tuloksena esitetään tutkimuksen liitteessä 2 malli kitkamittarien hyväksymismenettelyksi.

## Lähteet

Malmivuo, Mikko 2010:  $\mu$ TEC-kitkamittarin testaus Testworld Oy:n talvirengastestien yhteydessä Ivalossa keväällä 2010. Liikenneviraston luottamuksellinen raportti.

Malmivuo, Mikko 2011: Tien pinnan kitkan mittaamisen kehittäminen Suomessa. Esi-tutkimus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 14/2011.

Tekniikan Maailma 2008: Turvallisuus ensin - talvirenkaat 2008. Tekniikan Maailma 17, 14-25.

Tekniikan Maailma 2009: Kiihtyvyyssmittarit - varttimailin kellottajille. Tekniikan Maa-ilma 12, 120-124.

Tekniikan Maailma 2009: Mestaruussarja - talvirenkaat 2009. Tekniikan Maailma 17, 12-22.

Tekniikan Maailma 2010: Kahden kerroksen väkeä - talvirenkaat 2010. Tekniikan Maa-ilma 17, 12-22.

Tiehallinto 2009: Teiden talvihoito. Laatuvaatimukset, moniste 19.1.2009.

Vegvesen: Håndbok 111. Standard for drift og vedlikehold. Staten vegvesen.

Vegverket 2002: ATB Vinter 2003. VV Publ 2002:148. Allmän teknisk beskrivning

Virtala, Pertti 2008: Kitkamittareiden mittaustarkkuuden vertailu. Tiehallinnon sisäi-siä julkaisuja 28/2008.

# Testiratamittausten tuloksia

Taulukko 1. Jarrutuskitkamittareiden tulokset karhennetulla jäällä 16.3.

N:o	Aika	Nopeus km/h	Jarrutus	Rengas		Vanha Eltrip	µTEC		Gripman		Eltrip-7kmb	
							E52	5230	1	2	1	2
1	10:15	60	Norm.	Vanha	N	16	16	12	16	16	15	15
					Keskiarvo	0,131	0,211	0,231	0,198	0,193	0,229	0,203
					Hajonta	0,010	0,017	0,019	0,015	0,017	0,027	0,026
2	10:52	40	Norm.	Vanha	N	15	15	12	15	15	15	13
					Keskiarvo	0,129	0,207	0,223	0,194	0,189	0,222	0,198
					Hajonta	0,006	0,013	0,040	0,013	0,012	0,024	0,029
3	11:16	80	Norm.	Vanha	N	7	7	7	7	7	7	7
					Keskiarvo	0,156	0,209	0,224	0,196	0,190	0,240	0,187
					Hajonta	0,005	0,020	0,034	0,013	0,010	0,034	0,014
4	11:45	60	Lyhyt	Vanha	N	9	9	4	9	9	7	9
					Keskiarvo	0,134	0,184	0,255	0,158	0,150	0,183	0,159
					Hajonta	0,011	0,023	0,045	0,019	0,021	0,014	0,020
5	12:09	60	Pitkä	Vanha	N	15	7	6	15	15	13	15
					Keskiarvo	0,125	0,203	0,295	0,183	0,177	0,236	0,197
					Hajonta	0,006	0,018	0,027	0,009	0,008	0,035	0,027
6	12:45	60	Norm.	Vanha	N	4	4	5	5	5	5	5
					Keskiarvo	0,116	0,258	0,193	0,160	0,156	0,204	0,174
					Hajonta	0,015	0,022	0,030	0,007	0,011	0,023	0,032
7	15:45	60	Norm.	Vanha	N	7	5	4	7	7	5	5
					Keskiarvo	0,110	0,248	0,215	0,153	0,147	0,224	0,160
					Hajonta	0,008	0,015	0,037	0,013	0,011	0,060	0,032
8	16:41	60	Norm.	Uusi	N	14	13	13	14	14	14	14
					Keskiarvo	0,121	0,238	0,212	0,166	0,161	0,215	0,181
					Hajonta	0,011	0,018	0,027	0,009	0,013	0,048	0,024

Taulukko 2. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat karhennetulla jäällä 16.3.

N:o	Klo	Renkaat		Mittanauha 42...0 km/h (1) 45...0 km/h (2-3)	P-Box 40...5 km/h	Lite II 40...5 km/h
1	13:30	Vanhat	N	7		
			Keskiarvo/ m	45,00		
			Hajonta/ m	4,91		
			Keskiarvo/ µ	0,191		
2	15:10	Vanhat	N	5	5	5
			Keskiarvo/ m	47,68	42,48	41,62
			Hajonta/ m	3,85	4,04	1,62
			Keskiarvo/ µ	0,189	0,147	0,149
3	17:06	Uudet	N	4	5	5
			Keskiarvo/ m	45,05	37,94	38,10
			Hajonta/ m	1,94	1,16	1,24
			Keskiarvo/ µ	0,210	0,163	0,163
			Hajonta/ µ	0,006	0,005	0,005

Taulukko 3. Jarrutuskitkamittareiden tulokset sileällä jäällä 17.3. Radan kaltevuus noin 0,5%, mittaukset kumpaankin suuntaan.

N:o	Aika	Nopeus km/h	Jarrutus	Rengas		Vanha Eltrip	µTEC		Gripman		Eltrip-7kmb	
							E52	5230	1	2	1	2
1	8:01	60	Norm.	Uusi	N	14	10	12	14	14	9	11
					Keskiarvo	0,087	0,116	0,172	0,123	0,117	0,227	0,190
					Hajonta	0,007	0,014	0,029	0,008	0,011	0,027	0,021
					N	24			23	23	7	14
2	9:29	60	Norm.	Vanha	Keskiarvo	0,062			0,100	0,092	0,205	0,170
					Hajonta	0,010			0,009	0,009	0,011	0,014

Taulukko 4. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat sileällä jäällä 17.3. Kitka-arvojen laskennassa ei ole huomioitu radan pientä kaltevuutta.

N:o	Klo	Renkaat	Suunta		P-Box 40...5 km/h	Lite II 40...5 km/h
1	8:20	Uudet	1	N	4	4
				Keskiarvo/ m	57,2	57,3
				Hajonta/ m	1,3	1,2
				Keskiarvo/ µ	0,108	0,108
				Hajonta/ µ	0,003	0,003
2	8:20	Uudet	2	N	4	4
				Keskiarvo/ m	62,1	62,0
				Hajonta/ m	2,1	2,2
				Keskiarvo/ µ	0,100	0,100
				Hajonta/ µ	0,003	0,004
3	10:14	Vanhat	1	N	4	4
				Keskiarvo/ m	60,6	60,9
				Hajonta/ m	6,6	6,6
				Keskiarvo/ µ	0,103	0,103
				Hajonta/ µ	0,011	0,011
4	10:14	Vanhat	2	N	4	4
				Keskiarvo/ m	71,8	71,40
				Hajonta/ m	7,4	7,40
				Keskiarvo/ µ	0,087	0,087
				Hajonta/ µ	0,009	0,009

Taulukko 5. Jarrutuskitkamittareiden tulokset lumipolanteella 17.3. Radan kaltevuus noin 1 %, kaikki mittaukset yhteen suuntaan (alamäkeen).

N:o	Aika	Nopeus km/h	Jarrutus	Rengas		Vanha Eltrip	μTEC		Gripman		Eltrip-7kmb	
							E52	5230	1	2	1	2
1	11:56	60	Norm.	Vanha	N	17	17	17	17	17	17	15
					Keskiarvo	0,279	0,509	0,478	0,382	0,374	0,455	0,387
					Hajonta	0,015	0,030	0,038	0,021	0,019	0,039	0,045
2	12:13	80	Norm.	Vanha	N	10	10	10	10	10	10	10
					Keskiarvo	0,292	0,500	0,476	0,384	0,381	0,441	0,391
					Hajonta	0,015	0,037	0,054	0,019	0,019	0,096	0,039
3	12:40	40	Norm.	Vanha	N	12	12	12	12	12	12	12
					Keskiarvo	0,260	0,487	0,426	0,359	0,352	0,398	0,322
					Hajonta	0,023	0,026	0,144	0,025	0,025	0,038	0,028
4	12:53	60	Lyhyt	Vanha	N	12	12	12	12	12	12	12
					Keskiarvo	0,228	0,425	0,457	0,292	0,289	0,312	0,270
					Hajonta	0,029	0,068	0,085	0,057	0,060	0,044	0,048
5	13:09	60	Pitkä	Vanha	N	12	12	12	12	12	12	12
					Keskiarvo	0,283	0,467	0,487	0,387	0,382	0,449	0,368
					Hajonta	0,017	0,025	0,043	0,019	0,019	0,032	0,036
6	13:25	60	Norm.	Vanha	N	12	12	12	12	12	12	12
					Keskiarvo	0,273	0,511	0,433	0,368	0,364	0,421	0,363
					Hajonta	0,010	0,021	0,048	0,016	0,017	0,096	0,059
7	15:04	60	Norm.	Uusi	N	18	18	18	18	18	18	18
					Keskiarvo	0,274	0,512	0,428	0,382	0,378	0,434	0,368
					Hajonta	0,030	0,042	0,059	0,043	0,043	0,053	0,051

Taulukko 6. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat sileällä lumipolanteella 17.3. Kitka-arvojen laskennassa on kompensoitu 1 % alamäen vaikutus.

N:o	Klo	Renkaat		Mittanauha	P-Box	Lite II
				45... 0 km/h	40...5 km/h (1) 50... 5 km/h (2-3)	40...5 km/h (1) 50... 5 km/h (2-3)
1	13:30	Vanhat	N	3	3	3
			Keskiarvo/ m	27,9	21,3	21,4
			Hajonta/ m	3,5	0,8	0,8
			Keskiarvo/ μ	0,295	0,301	0,299
			Hajonta/ μ	0,036	0,010	0,011
2	13:50	Vanhat	N		12	12
			Keskiarvo/ m		31,3	31,7
			Hajonta/ m		3,0	3,0
			Keskiarvo/ μ		0,321	0,325
			Hajonta/ μ		0,031	0,031
3	15:22	Uudet	N		12	12
			Keskiarvo/ m		29,2	29,3
			Hajonta/ m		2,5	2,5
			Keskiarvo/ μ		0,343	0,342
			Hajonta/ μ		0,030	0,030

Taulukko 7. Jarrutuskitkamittareiden tulokset lumipolanteella 18.3. Rata oli tehty järven jäälle (kaltevuus 0 %). Mittaukset yhteen suuntaan.

N:o	Aika	Nopeus km/h	Jarrutus	Rengas		Vanha Eltrip	μTEC		Gripman		Eltrip-7kmb	
							E52	5230	1	2	1	2
1	10:22	60	Norm.	Uusi	N	12	12	13	13	13	13	13
					Keskiarvo	0,318	0,545	0,412	0,432	0,425	0,484	0,415
					Hajonta	0,029	0,034	0,063	0,032	0,030	0,057	0,043
2	11:23	60	Norm.	Vanha	N	20	18	18	20	20	20	20
					Keskiarvo	0,289	0,496	0,397	0,394	0,387	0,459	0,373
					Hajonta	0,027	0,045	0,051	0,032	0,030	0,073	0,069
3	12:13	80	Norm.	Vanha	N	12	12	12	12	12	12	10
					Keskiarvo	0,303	0,458	0,418	0,392	0,386	0,492	0,400
					Hajonta	0,019	0,035	0,065	0,027	0,027	0,061	0,054
4	12:25	40	Norm.	Vanha	N	13	13	13	13	13	12	13
					Keskiarvo	0,266	0,427	0,378	0,345	0,341	0,388	0,336
					Hajonta	0,028	0,046	0,079	0,042	0,041	0,068	0,063

Taulukko 8. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat lumipolanteella 18.3.

N:o	Klo	Renkaat		P-Box 50... 5 km/h
1	10:50	Uudet	N	12
			Keskiarvo/ m	24,5
			Hajonta/ m	1,8
			Keskiarvo/ μ	0,400
			Hajonta/ μ	0,027
2	11:45	Vanhat	N	10
			Keskiarvo/ m	28,6
			Hajonta/ m	1,6
			Keskiarvo/ μ	0,342
			Hajonta/ μ	0,019

Taulukko 9. Jarrutuskitkamittareiden tulokset jääpolanteella 18.3. Mittaukset lievään alamäkeen (1 %). Alamäen vaikutusta ei ole kompensoitu.

N:o	Aika	Nopeus km/h	Jarrutus	Rengas	Vanha Eltrip	μTEC		Gripman		Eltrip-7kmb		
						E52	5230	1	2	1	2	
1	13:39	60	Norm.	Vanha	N	14	14	14	13	13	14	14
					Keskiarvo	0,178	0,329	0,283	0,264	0,258	0,316	0,252
					Hajonta	0,018	0,028	0,046	0,032	0,030	0,035	0,038
2	14:15	40	Norm.	Vanha	N	13	12	11	13	13	13	13
					Keskiarvo	0,167	0,320	0,291	0,241	0,238	0,301	0,248
					Hajonta	0,023	0,028	0,046	0,029	0,030	0,041	0,038
3	14:35	80	Norm.	Vanha	N	16	15	15	16	16	16	16
					Keskiarvo	0,213	0,350	0,317	0,288	0,279	0,360	0,310
					Hajonta	0,032	0,049	0,050	0,040	0,040	0,093	0,072
4	15:35	60	Norm.	Uudet	N	12	12	12	12	12	12	12
					Keskiarvo	0,207	0,378	0,337	0,294	0,286	0,356	0,284
					Hajonta	0,015	0,039	0,051	0,024	0,023	0,058	0,069
5	16:01	40	Norm.	Uudet	N	11	11	11	11	11	11	10
					Keskiarvo	0,218	0,385	0,385	0,317	0,311	0,379	0,304
					Hajonta	0,026	0,021	0,038	0,027	0,026	0,055	0,036
6	16:11	80	Norm.	Uudet	N	15	14	14	15	15	15	13
					Keskiarvo	0,254	0,400	0,360	0,340	0,335	0,431	0,355
					Hajonta	0,031	0,039	0,073	0,035	0,035	0,062	0,065

Taulukko 10. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat jääpolanteella 18.3. Mittaukset alamäkeen (1 %). Alamäen vaikutus on kompensoitu kitka-arvojen laskennassa.

N:o	Klo	Renkaat		P-Box	Lite II
				50... 5 km/h	50... 5 km/h
1	13:55	Vanhat	N	17	7
			Keskiarvo/ m	44,6	45,3
			Hajonta/ m	3,6	4,1
			Keskiarvo/ μ	0,228	0,225
			Hajonta/ μ	0,019	0,022
2	15:48	Uudet	N	12	12
			Keskiarvo/ m	37,2	37,3
			Hajonta/ m	2,4	2,5
			Keskiarvo/ μ	0,272	0,271
			Hajonta/ μ	0,018	0,018

Taulukko 11. Jarrutuskitkamittareiden tulokset mäkitesteissä 19.3. Mäki 1 % oli jääpolanne, muut lumipolanteita. Mäen vaikutusta ei ole kompensoitu.

N:o	Aika	Mäki	Nopeus		Vanha Eltrip	µTEC		Gripman		Eltrip-7kmb	
						E52	5230	1	2	1	2
1	10:42	Alamäki 1%	60	N	12	12	12	12	12	12	12
				Keskiarvo	0,191	0,420	0,405	0,283	0,277	0,359	0,296
				Hajonta	0,014	0,033	0,033	0,022	0,023	0,064	0,044
2	10:54	Ylämäki 1%	60	N	12	12	12	11	11	12	12
				Keskiarvo	0,238	0,443	0,428	0,304	0,297	0,382	0,333
				Hajonta	0,020	0,041	0,035	0,027	0,026	0,104	0,066
3	12:45	Ylämäki 8,2 %	40	N	13	12	12	13	13	13	12
				Keskiarvo	0,401	0,499	0,477	0,368	0,363	0,507	0,440
				Hajonta	0,016	0,026	0,030	0,020	0,022	0,090	0,041
4	13:05	Alamäki 8,2 %	40	N		9	9	10	10	10	10
				Keskiarvo		0,508	0,474	0,363	0,359	0,295	0,310
				Hajonta		0,021	0,024	0,018	0,016	0,108	0,055
5	13:35	Tasainen	40	N	16	16	16	17	17	17	17
				Keskiarvo	0,319	0,534	0,526	0,423	0,418	0,419	0,392
				Hajonta	0,017	0,026	0,034	0,021	0,020	0,150	0,078
6	14:44	Ylämäki 4,6 %	40	N	7	7	7	7	7	7	7
				Keskiarvo	0,377	0,517	0,470	0,396	0,391	0,479	0,423
				Hajonta	0,015	0,018	0,034	0,025	0,026	0,113	0,073
7	14:51	Alamäki 4,6 %	40	N		7	7	7	7	7	7
				Keskiarvo		0,534	0,500	0,390	0,386	0,454	0,337
				Hajonta		0,029	0,031	0,012	0,014	0,137	0,132

Taulukko 12. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat mäkitesteissä 19.3. Mäkien vaikutus on kompensoitu kitka-arvojen laskennassa.

N:o	Klo	Renkaat		P-Box	Lite II
				50...5 km/h (1-2) 40...5 km/h (3-7)	50...5 km/h (1-2) 40...5 km/h (3-7)
1	11:03	Alamäki 1 %	N	12	12
			Keskiarvo/ m	39,4	39,6
			Hajonta/ m	3,5	3,5
			Keskiarvo/ µ	0,257	0,256
			Hajonta/ µ	0,024	0,024
2	11:15	Ylämäki 1 %	N	12	12
			Keskiarvo/ m	34,3	34,5
			Hajonta/ m	3,1	3,1
			Keskiarvo/ µ	0,294	0,292
			Hajonta/ µ	0,028	0,028
3	13:19	Ylämäki 8,2 %	N	6	6
			Keskiarvo/ m	14,9	14,8
			Hajonta/ m	0,6	0,6
			Keskiarvo/ µ	0,335	0,338
			Hajonta/ µ	0,013	0,013
4	13:26	Alamäki 8,2 %	N	7	7
			Keskiarvo/ m	23,0	23,1
			Hajonta/ m	0,9	1,0
			Keskiarvo/ µ	0,352	0,351
			Hajonta/ µ	0,014	0,014
5	13:46	Tasainen	N	7	7
			Keskiarvo/ m	16,1	16,2
			Hajonta/ m	1,1	1,2
			Keskiarvo/ µ	0,386	0,384
			Hajonta/ µ	0,026	0,027
6	14:57	Ylämäki 4,6 %	N	6	6
			Keskiarvo/ m	15,5	15,7
			Hajonta/ m	0,3	0,2
			Keskiarvo/ µ	0,353	0,348
			Hajonta/ µ	0,007	0,005
7	15:05	Alamäki 4,6 %	N	6	6
			Keskiarvo/ m	20,6	20,6
			Hajonta/ m	0,6	0,6
			Keskiarvo/ µ	0,348	0,348
			Hajonta/ µ	0,010	0,009



Taulukko 13. Jarrutuskitkamittareiden tulokset pehmeällä polanteella (Pepo), kovalla polanteella (Kopo) ja höylätyllä polanteella (Höpo). Toisen  $\mu\text{TEC}$ :in ja toisen uuden Eltripin asentoa muutettiin kahdessa viimeisessä testissä. Kaltevuus 0 %.

N:o	Aika	Nopeus km/h	Jarrutus	Rengas	Rata/ asento	Vanha Eltrip	$\mu\text{TEC}$		Gripman		Eltrip-7kmb		
							E52	5230	1	2	1	2	
1	8:00	60	Norm.	Uudet	Pepo/ norm.	N	12	12	12	12	12	12	12
						Keskiarvo	0,330	0,473	0,494	0,447	0,442	0,525	0,436
						Hajonta	0,010	0,024	0,028	0,020	0,020	0,029	0,026
2	8:38	60	Norm.	Uudet	Höpo/ norm.	N	12	12	12	12	12	12	12
						Keskiarvo	0,347	0,529	0,525	0,470	0,464	0,552	0,471
						Hajonta	0,016	0,021	0,034	0,026	0,024	0,052	0,053
3	8:56	60	Norm.	Uudet	Kopo/ norm.	N	14	14	14	14	14	14	13
						Keskiarvo	0,327	0,479	0,508	0,429	0,424	0,513	0,415
						Hajonta	0,021	0,040	0,040	0,028	0,027	0,114	0,086
4	9:45	60	Norm.	Vanhat	Höpo/ norm.	N	12	12	12	12	12	12	12
						Keskiarvo	0,272	0,433	0,441	0,379	0,375	0,467	0,385
						Hajonta	0,028	0,031	0,024	0,032	0,030	0,037	0,043
5	10:01	60	Norm.	Vanhat	Kopo/ norm.	N	7	7	7	7	7	7	7
						Keskiarvo	0,273	0,424	0,433	0,371	0,369	0,463	0,344
						Hajonta	0,008	0,026	0,014	0,015	0,013	0,042	0,078
6	10:17	60	Norm.	Vanhat	Pepo/ norm.	N	14	14	14	14	14	14	14
						Keskiarvo	0,294	0,444	0,464	0,384	0,382	0,448	0,395
						Hajonta	0,012	0,026	0,025	0,018	0,018	0,082	0,049
7	10:44	40	Norm.	Vanhat	Höpo/ norm.	N	12	12	12	12	12	12	12
						Keskiarvo	0,254	0,403	0,423	0,342	0,337	0,385	0,323
						Hajonta	0,016	0,041	0,051	0,030	0,030	0,086	0,066
8	10:49	80	Norm.	Vanhat	Höpo/ norm.	N	12	12	12	12	12	12	12
						Keskiarvo	0,307	0,425	0,434	0,387	0,384	0,473	0,404
						Hajonta	0,018	0,036	0,040	0,032	0,032	0,074	0,066
9	11:00	60	Lyhyt	Vanhat	Höpo/ norm.	N	12	12	12	12	12	12	12
						Keskiarvo	0,267	0,342	0,346	0,283	0,279	0,363	0,290
						Hajonta	0,017	0,047	0,052	0,035	0,036	0,065	0,050
10	11:08	60	Pitkä	Vanhat	Höpo/ norm.	N	15	15	14	15	15	15	14
						Keskiarvo	0,299	0,434	0,415	0,398	0,393	0,494	0,402
						Hajonta	0,020	0,028	0,034	0,033	0,032	0,045	0,042
11	11:23	60	Norm.	Vanhat	Höpo/ norm.	N	14	13	14	14	14	13	11
						Keskiarvo	0,286	0,385	0,432	0,384	0,383	0,458	0,358
						Hajonta	0,017	0,046	0,053	0,033	0,033	0,042	0,079
12	12:53	60	Norm.	Vanhat	Höpo/ vinot	N	13	13	13	13	13	13	13
						Keskiarvo	0,285	0,373	0,425	0,372	0,380	0,463	0,449
						Hajonta	0,024	0,034	0,050	0,037	0,035	0,061	0,093
13	13:12	60	Norm.	Vanhat	Pepo/ vinot	N	12	12	12	12	12	12	12
						Keskiarvo	0,283	0,373	0,404	0,361	0,367	0,483	0,471
						Hajonta	0,017	0,029	0,039	0,026	0,025	0,056	0,051

Taulukko 14. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat 20.3. pehmeällä polanteella (Pepo), kovalla polanteella (Kopo) ja höylätyllä polanteella (Höpo).

N:o	Klo	Renkaat	Pinta		Mittanauha	P-Box	Lite II
					55... 0 km/h	50...5 km/h	50...5 km/h
1	8:07	Uudet	Pepo	N		12	12
				Keskiarvo/ m		24,8	24,8
				Hajonta/ m		0,9	0,9
				Keskiarvo/ $\mu$		0,393	0,393
				Hajonta/ $\mu$		0,014	0,014
2	8:46	Uudet	Kopo	N		12	12
				Keskiarvo/ m		23,0	23,0
				Hajonta/ m		1,3	1,3
				Keskiarvo/ $\mu$		0,424	0,425
				Hajonta/ $\mu$		0,024	0,024
3	9:03	Uudet	Höpo	N		12	12
				Keskiarvo/ m		25,0	25,0
				Hajonta/ m		1,0	1,0
				Keskiarvo/ $\mu$		0,390	0,390
				Hajonta/ $\mu$		0,016	0,016
4	9:52	Vanhat	Höpo	N		12	12
				Keskiarvo/ m		29,8	29,9
				Hajonta/ m		1,7	1,8
				Keskiarvo/ $\mu$		0,327	0,326
				Hajonta/ $\mu$		0,018	0,019
5	10:05	Vanhat	Kopo	N		14	14
				Keskiarvo/ m		30,3	30,2
				Hajonta/ m		1,6	1,6
				Keskiarvo/ $\mu$		0,323	0,323
				Hajonta/ $\mu$		0,018	0,017
6	10:25	Vanhat	Pepo	N		12	12
				Keskiarvo/ m		29,3	29,3
				Hajonta/ m		0,9	0,9
				Keskiarvo/ $\mu$		0,332	0,333
				Hajonta/ $\mu$		0,010	0,011
7	11:30	Vanhat	Höpo	N		11	11
				Keskiarvo/ m		28,0	28,0
				Hajonta/ m		1,8	1,8
				Keskiarvo/ $\mu$		0,349	0,348
				Hajonta/ $\mu$		0,022	0,021
8	13:02	Vanhat	Höpo	N		12	12
				Keskiarvo/ m		27,8	27,9
				Hajonta/ m		1,7	1,7
				Keskiarvo/ $\mu$		0,352	0,350
				Hajonta/ $\mu$		0,022	0,022
9	13:20	Vanhat	Pepo	N		12	12
				Keskiarvo/ m		30,0	30,1
				Hajonta/ m		2,1	2,2
				Keskiarvo/ $\mu$		0,326	0,325
				Hajonta/ $\mu$		0,023	0,023
10	13:44	Vanhat	Höpo	N	7	7	7
				Keskiarvo/ m	27,7	30,5	30,5
				Hajonta/ m	4,3	1,8	1,9
				Keskiarvo/ $\mu$	0,438	0,321	0,320
				Hajonta/ $\mu$	0,069	0,020	0,020

Taulukko 15. Jarrutuskitkamittareiden tulokset märällä asfaltilla 7.4.

Aika	Nopeus km/h	Jarrutus	Rengas	Vanha Eltrip	μTEC		Gripman		Eltrip-7kmb		
					E52	5230	1	2	1	2	
21:06	60	Norm.	Vanha	N	10	11	11	11	11	9	10
				Keskiarvo	0,524	0,633	0,560	0,740	0,732	0,753	0,771
				Hajonta	0,024	0,031	0,081	0,037	0,034	0,060	0,063

Taulukko 16. Jarrutusmatkamittaukset sekä jarrutusmatkojen perusteella lasketut kitkat 7.4. märällä asfaltilla.

N:o	Klo	Renkaat	P-Box 50.. 5 km/h	
1	21:30	Vanhat	N	7
			Keskiarvo/ m	13,31
			Hajonta/ m	0,98
			Keskiarvo/ μ	0,734
			Hajonta/ μ	0,051

Taulukko 17. Optisten anturien ilmoittamat kitkat eri testiradoilla

Pvm	Kello	Pinta	Laite	N	Keskiarvo	Hajonta
16.3.	13:00	Karhennettu järvenjää	DSC111	123	0,310	0,247
			RCM411	321	0,376	0,011
17.3.	8:42	Sileä jää (maarata)	DSC111	150	0,601	0,156
			RCM411	460	0,562	0,035
	14:16	Lumipolanne (maarata)	DSC111	132	0,150	0,032
			RCM411	367	0,437	0,013
18.3.	12:46	Lumipolanne (jäärata)	DSC111	126	0,153	0,020
			RCM411	389	0,418	0,017
	16:34	Jääpolanne (maarata)	DSC111	75	0,173	0,043
			RCM411	227	0,420	0,003
20.3.	13:36	Höylätty lumipolanne (maarata)	DSC111	85	0,117	0,017
			RCM411	327	0,440	0,035
	13:41	Lumipolanne (maarata)	DSC111	74	0,104	0,006
			RCM411	199	0,433	0,015



Luonnos 1.9.2011

# Kitkanmittauksen menetelmäkuvaus ja vaatimukset jarrutuskitkamittareille

Tässä raportissa kuvataan menetelmä ja laitevaatimukset, joiden mukaan mitataan maanteiden jarrutuskitkaa talviolosuhteissa. Tämän raportin mukaisella menetelmällä ja laitteilla voidaan seurata sitä, täyttääkö ajoradan kitka Liikenneviraston sille määrittelemät laatuvaatimukset. Nämä laatuvaatimukset on määritelty julkaisussa "Teiden talvihoito, Laatuvaatimukset, moniste 19.1.2009" (<http://www.tiehallinto.fi/pls/wwwedit/docs/27412.PDF>).

## 1. Kitkan mittaamisen menetelmä

Kitkaa tulee mitata ns. jarrutuskitkamenetelmällä, jossa mittausajoneuvoa jarrutetaan tutkittavalla tien pinnalla voimakkaasti. Tällöin ajoneuvossa oleva lisälaitte, ns. kitkanmittauslaite rekisteröi ajoneuvon saavuttaman hidastuvuuden ja laskee sen mukaan kitka-arvon. Mittaus tulee suorittaa:

- tarkastamalla ennen mittauksia, ettei mittausajoneuvon takana ole lähietäisyydellä muita ajoneuvoja, eikä myöskään vastaantulijoita samalla ajoradalla
- painamalla jarrupoljin voimakkaasti pohjaan asti
- mahdollisimman samankaltaisesti joka kerralla. Erityisesti jarrutuksen voimakkuuden ja keston suhteen ei saisi olla vaihtelua.
- 60 km/h lähtönopeudesta
- ABS-jarruilla ja nastarenkailla varustetulla ajoneuvolla
- tasaisella tien osalla (ylä- tai alamäen kaltevuus alle 2 %)

Eräillä uusilla mittarityypeillä voidaan kitkaa mitata myös jyrkemmissä kuin 2 %:n mäissä. Tällöin mittauksen yhteyteen on kuitenkin liitettävä maininta mäen jyrkkyydestä.

Koska ajoneuvot ovat renkaitaan ja ominaisuuksiltaan erilaisia, mittarit kalibroidaan ns. kalibrointipäivillä näyttämään lumipolanteella -5 °C lämpötilassa kitka-arvoa 0,29.

## 2. Laatuvaatimukset kitkamittareille

### 2.1 Käyttöturvallisuus

Mittarin käyttöturvallisuuden suhteen esitetään seuraavia suosituksia:

- mittarin vaatiman jarrutusajan tulisi olla alle 2 sekuntia.
- mittarin käyttöpainikkeiden tulisi olla kooltaan ja käytettävyydeltään sellaisia, ettei mittarin käyttö ajon aikana, usein epätasaisissa ajo-olosuhteissa kuormita käyttäjää kohtuuttomasti. Mittarin käyttöergonomiia voidaan parantaa erillisillä langattomilla tai langallisilla painikkeilla, joilla mittarin käyttöpainikkeet tuodaan paremmin käyttäjän ulottuville.

- mittarin suunnittelussa tulisi ottaa huomioon ajoneuvon vaihtelevat valaistusolosuhteet niin, että mittarin näyttöä voidaan ilman vaikeuksia tarkastella sekä hämärällä että voimakkaassa auringonpaisteessa
- mittarin käyttövarmuuden tulee olla sellainen, että kokenut käyttäjä saa mittarilla uskottavan tuloksen vähintään 95 %:ssa mittauksia. Vastaavasti mittarin ei tule antaa tahattomia tuloksia esim. epätasaisella tiellä niin, että se edellyttää käyttäjältä ylimääräisiä toimenpiteitä (kuten mittarin nollaus).

## 2.2 Kalibroituavuus

Kitkanmittauslaitteen osoittamaa kitkatasoa tulee voida muuttaa sellaisella kalibrointikertoimella, jonka suuruus on nähtävissä laitteesta kalibroinnin jälkeen. Tällöin voidaan esim. tarkkailla kalibrointikertoimen suhdetta mittausauton renkaiden käytöikään. Tällöin osataan aikaisempien vuosien kokemusten perusteella esim. arvioida, miten hyvin kalibrointipäivien keli vastaa aikaisempien kalibrointipäivien keliolosuhteita.

## 2.3 Mittaustarkkuus

Kitkanmittauslaitteiden mittaustarkkuudelle esitetään seuraavat vaatimukset:

- Kahden samanlaisen mittarin ero tulee olla 95 %:ssa mittauksia alle 10 %, kun liikutaan maantiellä laatuvaatimuskitka-alueella 0,20–0,30. Ehdon tulee täytyä, kun suoritetaan vähintään 100 mittausta ja mittauksissa liikutaan tasaisesti em. kitka-alueella.
- Sen jälkeen kun kitkamittari on -5 °C lumipolanteella kalibroitu vastaamaan jarrutusmatkan mukaista kitkaa, mittari ei saa erota 90 %:ssa mittauksista jarrutusmatkan mukaisesta kitkasta yli 15 %. Jarrutusmatka tulee mitata samanaikaisesti kitkamittauksen kanssa tarkan jatkuvatoimisen matka- ja nopeusmittarin avulla. Matka- ja nopeusmittarina voidaan käyttää joko Vboxia tai Paseler-pyörää. Ehdon tulee täytyä jarrutuskitka-alueella 0,15–0,70 (vastaa laatuvaatimuskitka-alueita n. 0,12–0,55). Nämä mittaukset voidaan tehdä maantieolosuhteissa tai testiradalla. Mittaukset tulee suunnitella siten, että Vboxin tai Paseler pyörän tulosten perusteella voidaan vertailla nopeudenmuutosta ja jarrutusmatkaa samana ajanjaksona kuin kitkamittauskin on tehty.

Mikäli kitkamittari on suunniteltu sellaiseksi, että mittari voidaan välillä irrottaa ajoneuvosta ja asentaa uudelleen ajoneuvon uuteen asentoon ilman ajoneuvokalibrointia, mittarin tulee läpäistä em. testit myös siten, että mittarin asentoa muutetaan kesken testin.

## 3. Muuta

Mikäli mittarivalmistaja haluaa mittarin hyväksyttäväksi Liikenneviraston käyttöön, tulee valmistajan esittää todistus, jossa puolueeton asiantuntija on tutkinut, täyttäväkö mittari edellä kohdissa 2.1 - 2.3 esitetyt vaatimukset.

Liikennevirasto pidättää itselleen oikeuden olla hyväksymättä käyttöönsä kitkamittaria, joka täyttää em. kriteerit, mutta joka jonkin edeltä mainitsemattoman puutteen vuoksi ei sovellu Liikenneviraston käyttöön. Vastaavasti Liikennevirasto pidättää itselleen oikeuden hyväksyä käyttöönsä mittarin, joka ei kaikilta osin täysin täytä em. vaatimuksia, mutta joka kokonaisuus arvioiden soveltuu hyvin suunniteltuun käyttöön. Liikennevirasto pidättää itselleen oikeuden tehdä tarvittaessa lisätestejä.



