

PERTTI VIRTALA
ARTO KUSKELIN

Kitkamittarivertailu 2014

VIAFRICTION JA TWO-KITKAMITTAREIDEN
VERTAILU KITKA-SISUN TULOSSIIN



Pertti Virtala, Arto Kuskelin

Kitkamittarivertailu 2014

ViaFriction ja TWO-kitkamittareiden
vertailu Kitka-Sisun tuloksiin

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 65/2015

Liikennevirasto
Helsinki 2015

Kannen kuva: Pertti Virtala

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-174-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Pertti Virtala ja Arto Kuskelin: Kitkamittarivertailu 2014. Liikennevirasto, kunnossapito-osasto. Helsinki 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 65/2015. 52 sivua ja 2 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-174-9.

Avainsanat: liikenneturvallisuus, liukkaus, kitka

Tiivistelmä

Työssä vertailtiin kahta norjalaisvalmisteista kitkamittaria VTT:n Kitka-Sisuun. Mittaukset tehtiin 12 kohteella, joilla oli uusi päällyste. Kuusi kohdetta oli SMA-päällysteisiä ja kuusi AB-päällysteisiä. Maksimiraekoko oli 16–18 mm. Nopeusrajoitus vaihteli kohteesta riippuen välillä 60–120 km/h. Kohteiden pituus vaihteli välillä 400–1000 m.

Kukin kohde mitattiin vähintään kolme kertaa kullakin mittarilla. Tiemerkinlöjä mitattiin kahdella kohteella. Kitka-Sisu mittasi oikean ajouran kohdalta ja vertailtavat laitteet vasemmasta. Mittaukset tehtiin kuitenkin oikeasta ajourasta kahta poikkeusta lukuun ottamatta. Kitkahavainnot luettiin metrin välein.

Ensiksi tutkittiin kitkamittareiden toistettavuuksia vertaamalla mittausparien korrelaatioita. Joillakin kohteilla toistokorrelaatiot olivat melko hyviä, 80–90 %, toisilla kohteilla taas eivät kovin hyviä, 30–50 %. Toistokorrelaatiot riippuivat kitkan vaihtelusta. Kohteilla, joilla kitka vaihteli paljon, myös toistokorrelaatiot olivat korkeita ja päinvastoin.

Toinen tutkittava asia oli vertailtavien kitkamittareiden kohdistuvuus suomalaiseen referenssilaitteeseen verrattuna. Kunkin laitteen edustava tulos laskettiin kahden parhaiten korreloivan mittauksen keskiarvona siten, että kitkaprofiilit sovitettiin ensin matkalukemien perusteella kohdalleen. Edustavia kitkatuloksia verrattiin referenssiarvoihin ja niistä laskettiin systemaattiset erot ja korrelaatiot. Kummatkin vertailtavat kitkamittarit tuottivat matalampia kitkatuloksia kuin referenssilaitte. Tulos vaihteli kuitenkin paljon kohteesta riippuen. Mittauksissa oli mukana jokin tuntematon tekijä, jota ei hallittu. Syynä voivat olla esim. erot kitkanmittausperiaatteissa. referenssilaitte mittasi sivukitkaa ja vertailtavat laitteet jarrutuskitkaa. Kiinnostava kysymys oli, pystytäänkö vertailtavilla laitteilla selvittämään uudella päällysteellä olevaa bitumin pintaan nousua. Kitka vaihteli välillä 0,3–0,9. Normaali kitka oli välillä 0,6–0,8. Bitumin pintaan nousua esiintyi kohdissa, joissa kitka oli alle 0,5. Keskimäärin 85 % bitumin pintaan nousua sisältävistä kohdista pystyttiin tunnistamaan kitkatulosten avulla. ViaFriction oli hiukan parempi kuin TWO-laite. TWO:n kitkatuloksissa näytti olevan enemmän kohinaa kuin muiden tuloksissa.

Kaikkien mittareiden muodostamalle mittausjärjestelmälle tehtiin toimivuusanalyysi, GageRR-testi. Mittareiden muodostama mittausjärjestelmä pystyi luokittelemaan kitkan kolmeen eri luokkaan kun tuloksia tarkasteltiin 10 m keskiarvoina ja niille tehtiin tasokorjaus referenssituloksia vastaaviksi.

Myös tiemerkinlöjen kitkaa tarkasteltiin. Laitteet pystyvät mittaamaan tiemerkinlöjen kitkaa riippuen siitä miten hyvin mittalaitteen kuljettaja pystyi seuraamaan viivaa. Tiemerkinlöjen seuraaminen oli melko vaikeata.

Pertti Virtala och Arto Kuskelin: Test av friktionsmätningstrustningar 2014. Trafikverket, drift och underhåll. Helsingfors 2015. Trafikverkets undersökningar och utredningar 65/2015. 52 sidor och 2 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-174-9.

Sammanfattning

Två norska friktionsmätningstrustningar (ViaFriction & TWO) testades mot en finsk friktionsmätningstrustning (Kitka-Sisu). Testmätningar utfördes på 12 nybelagda vägar i närheten av Helsingfors. Sex sektioner hade ”split mastix asphalt pavement” (SMA) och sex sektioner hade en normal beläggning av asfaltsbetong (AB). Den maximala kornstorleken i asfaltmixen var 16 mm. Hastighetsbegränsningen på test-sektionerna varierade mellan 60 och 120 km/h. Längden på teststräckorna varierade mellan 400 m och 1000 m.

Varje testsektion mättes åtminstone tre gånger med alla mätutrustningar. Vägmarkeringar mättes också på två sektioner. Kitka-Sisu mätte höger hjulspår. ViaFriction och TWO var designade att mäta det vänstra hjulspåret men mätning utfördes på högra hjulspåret där det var möjligt. Friktionsresultat togs med 1 m intervall.

Den första uppgiften var att analysera repeterbarheten av friktionsmätningstrustningarna genom att jämföra korrelationen mellan de upprepade mätningarna. På vissa sektioner var repeterbarheten ganska bra, varierande mellan 80–90%. På några sektioner var det inte så bra, varierande mellan 30–50%. Korrelationskoefficienten berodde på den totala friktionsvariationen. Korrelationen var hög där totala variationen var hög, och vice versa.

Den andra uppgiften var att jämföra utrustningarna ViaFriction och TWO mot den finska referensutrustningen. Ett representativt resultat beräknades för varje utrustning och sektion genom att ta genomsnittliga friktionen från de två bästa mätresultatparen. De representativa genomsnitten (för 1 m värden) jämfördes mot referensvärdena, och en systematisk skillnad och korrelationskoefficient beräknades. Båda jämförbara friktionsmätningstrustningar gav lägre friktionsvärden än referensutrustningen. Men resultaten varierade ändå beroende på sektion. En okänd faktor fanns vid jämförelsen. En orsak till att skillnaderna kunde vara en smärre skillnad på friktionsmätningstrustningarna. Referensutrustningen mätte transversal sidofriktion och de andra utrustningarna mätte longitudinell bromsfriktion. En intressant fråga var om friktionsmätningstrustningarna kunde platser där blödning i beläggningen förekommer.

Friktionsvärdena varierade mellan 0,3–0,9. Normala nivån på friktion var ungefär 0,6–0,8. Blödning uppkom när friktionen var under 0,5. I genomsnitt 85% av sektionerna med blödning upptäcktes med testutrustningarna. ViaFriction var något bättre än TWO, men inte mycket. En gage-RR-analys gjordes för hela mätsystemet som bestod av de tre friktionsmätningstrustningarna. Mätsystemet är kapabelt till att klassificera friktion till 3 olika kategorier enbart om 10 m värden används och det systematiska felet mellan utrustningarna och referensutrustningarna är korrigerat, annars inte.

Friktionen på vägmarkeringar testades också. Testutrustningar kan hitta friktionsvärden på vägmarkeringar beroende på hur stadigt föraren kan köra på vägmarkeringen. Det verkar vara ganska svårt att köra så att testhjulet skulle mäta exakt på markeringen.

Pertti Virtala and Arto Kuskelin: Comparison of Friction Measurement Devices 2014. Finnish Transport Agency, Maintenance Department. Helsinki 2015. Research reports of the Finnish Transport Agency 65/2015. 52 pages and 2 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-174-9.

Summary

Two Norwegian friction measurement devices (ViaFriction & TWO) were tested against a Finnish friction measurement device (Kitka-Sisu). Test measurements were done on 12 newly paved roads in the close area around Helsinki. Six sections had split mastix asphalt pavement (SMA) and six sections had a normal asphalt concrete pavement (AB). The maximum grain size of asphalt mixture was 16–18 mm. The speed limit on test sections varied between 60 and 120 km/h. The length of test sections varied between 400 m and 1000 m.

Every test section was measured at least three times with all measurement devices. Road markings were measured also at two sections. Kitka-Sisu measured the right wheel path. ViaFriction and TWO were designed to measure the left wheel path but measurements were done on the right wheel path where it was possible. Friction results were taken with 1 m interval.

First task was to analyse the repeatability of friction measurement devices by comparing correlations of repeated measurements. On some sections the repeatability was pretty good varying between 80–90 %. On some sections it was not so good varying between 30–50 %. The correlation coefficient depended on the total variation of friction. Correlation was high where the total variation was high and vice versa.

Second task was to compare ViaFriction and TWO devices against the Finnish reference device. A representative result was calculated for each device and section by taking the average friction of the two best pairs of measurement results. The representative averages (for 1 m values) were compared against the reference values and a systematic difference and correlation coefficient were calculated. Both comparable friction measurement devices gave lower friction values than the reference device. However the result varied depending on the section. An unknown factor was present on the comparison. One reason to differences could be a slight difference on the friction measurement method. The reference device measured transversal side friction and the other devices measured longitudinal braking friction. An interesting question was that are the friction measurement devices able to find those places where bleeding is present in the pavement.

Friction values varied between 0.3–0.9. The normal level of friction was about 0.6–0.8. Bleeding occurred when the friction was below 0.5. On average 85 % of sections with bleeding were recognized with test devices. ViaFriction was slightly better than TWO but not much. The friction values of TWO seems to have higher noise than other devices. A gage-RR-analysis was done for the whole measurement system consisting of those three friction measurement devices. The measurement system is capable to classify friction into three different categories only if 10 m values are used and the systematic error between the test device and the reference device is corrected, otherwise not.

The friction of road markings was also tested. Test devices can find the friction values of road markings depending on how steadily the driver can drive on the marking. It seems to be quite difficult to drive so that the test wheel would measure exactly on the marking.

Esipuhe

Tässä Liikenneviraston tilaamassa selvityksessä tutkittiin kitkamittareiden tarkkuutta ja yhdenmukaisuutta uusien päällysteiden kitkan mittauksissa.

Työtä ovat ohjanneet Katri Eskola ja Sami Petäjä Liikennevirastosta ja sen on tehnyt Pertti Virtala ja Arto Kuskelin Destia Oy:stä. Mittauksia ovat tehneet Pekka Halonen ja Kari Korhonen VTT:ltä, Juha-Matti Vainio Roadmasters Oy:stä ja Hannu Tähtinen ja Niko Mehtonen Destia Oy:stä. Lisäksi työtä on kommentoinut Tapio Sorjonen Elpac Oy:stä.

Helsingissä marraskuussa 2015

Liikennevirasto
Kunnossapito-osasto

Sisällysluettelo

1	TAUSTAA	8
2	TAVOITE.....	9
3	TYÖSUUNNITELMA	10
4	LAITTEET	13
4.1	Kitka-Sisu.....	13
4.2	ViaFriction	14
4.3	TWO	15
5	MITTAUKSET	17
5.1	Mittausten suorittaminen	17
5.2	Mittausolosuhteet	17
5.3	Mittautulosten tiedostoformaatti	19
5.4	Mittautulosten käsittely	19
6	PÄÄLLYSTEEN KITKAN MITTAUSTARKKUUS	20
6.1	Toistettavuus.....	20
6.1.1	Referenssilaitteen toistettavuus	20
6.1.2	Testattavien laitteiden toistettavuus	28
6.2	Kohdistuvuus.....	33
6.2.1	Korrelaatiot ja tasoerot	33
6.2.2	Kitkapuutteiden löytyminen.....	37
6.2.3	Kohinatarkastelu	39
6.3	Toimivuus mittausjärjestelmänä	41
7	REUNAVIIVAN KITKAN MITTAUSTARKKUUS.....	44
8	MASSAMERKINNÄN KITKAN MITTAUSTARKKUUS	47
9	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	49
9.1	Päällysteen kitka ajourissa	49
9.2	Reunaviivan kitka	51
9.3	Massamerkinnän kitka.....	51
	LÄHDELUETTELO	52
	LIITTEET	
Liite 1	ViaFrictionin kitkaprofiilit	
Liite 2	TWO-laitteen kitkaprofiilit	

1 Taustaa

Liikennevirasto on teettänyt kitkamittareiden vertailuja vuonna 2008 (Virtala) ja vuonna 2011 (Malmivuo). Tuolloin tavoitteena on ollut verrata saatavilla olevia kitkamittareita talviolosuhteissa. Talviolosuhteiden kitkan lisäksi on tarvetta arvioida myös kesäajan kitkaa osana uusien päällysteiden ja päällysteen paikkausten laadunvalvontaa. Näistä syistä on tullut tarve verrata kitkamittareita myös kesäaikaan. Edellinen vastaava vertailu kesäkitkamittareiden välillä tehtiin 2007–2008 (Laukkanen).

Laatumittauksiin käytettävän kitkamittarin tärkein tehtävä on kyetä erottamaan laatuvaatimusrajalla olevat huonot kohdat hyvistä ja mahdollisimman tarkalla paikkatiedolla, koska uusilla päällysteillä esiintyvä bitumin pintaan nousu aiheuttaa matalan kitkan kohtia, jotka ovat vaarallisia mm. moottoripyöräilijöille. Sen takia pitäisi tutkia kohteita, joilla on liukasta (bitumin pintaan nousua) ja normaalia uutta päällystepintaa. Rajatapaukset ovat myös kiinnostava tutkimuskohde. Vertailu pitäisi tehdä sekä AB- että SMA-pinnoilla, niin että arvioitavana on sekä LTA- että REM- pintoja, joissa on käytetty maksimiraekooltaan erilaisia massoja. Mittarin erottelukyvyn pitäisi toimia myös paikkauksilla.

Asfalttinormeissa määritelty laatuvaatimus uuden päällysteen kitkalle on asetettu PANK 5201-menetelmällä määritetyille sivukitkalle (Kitka-Sisu).

Taulukko 1. Uuden päällysteen kitkavaatimukset (mittausmenetelmä PANK 5201, sivukitka, märkä pinta) [1].

Nopeusrajoitus (km/h)	Sivukitkakerroin (keskiarvo 1 m matkalla)
≤ 80	$\geq 0,4$
> 80	$\geq 0,5$

2 Tavoite

Työn tavoitteena oli tutkia kahden norjalaisen kitkamittarivalmistajan laitteita suomalaisen referenssilaitteeseen nähden. Toinen niistä oli Viatechin kehittämä Via-Friction-kitkanmittauslaite ja toinen oli Olsense Technology As:n valmistama TWO-laite. Erottelukykyä testattiin erityisesti laatuvaatimusrajan alittavien osuuksien paikallistamiseksi. Saatuja tuloksia verrattiin suomalaisen VTT:n käyttämään mittalaitteeseen, jonka perusteella uusien päällysteiden laatuvaatimus on asetettu Suomessa.

Työssä kokeiltiin samalla myös tiemerkintöjen kitkan mittaamista. Tiemerkintöjen kitkan laatuvaatimus on asetettu laboratoriomenetelmää vastaavalle heilahduskitkamittarille, jota ei käytännössä pysty laadunvalvonnassa maastossa käyttämään.

3 Työsuunnitelma

3.1 Mittaussuunnitelma

Mittaukset suunniteltiin siten, että mitattavat kohteet sisälsivät useita erilaisia päällysteitä Etelä-Suomesta. Kohteet valittiin siten, että saatiin mitattua koko tyyppillistä kesäkitkan skaalaa. Kohteiksi valittiin erilaisia päällystepintoja ja niiltä sekä tasalaa-tuisia kohtia että sideaineen lajittumakohtia seuraavasti:

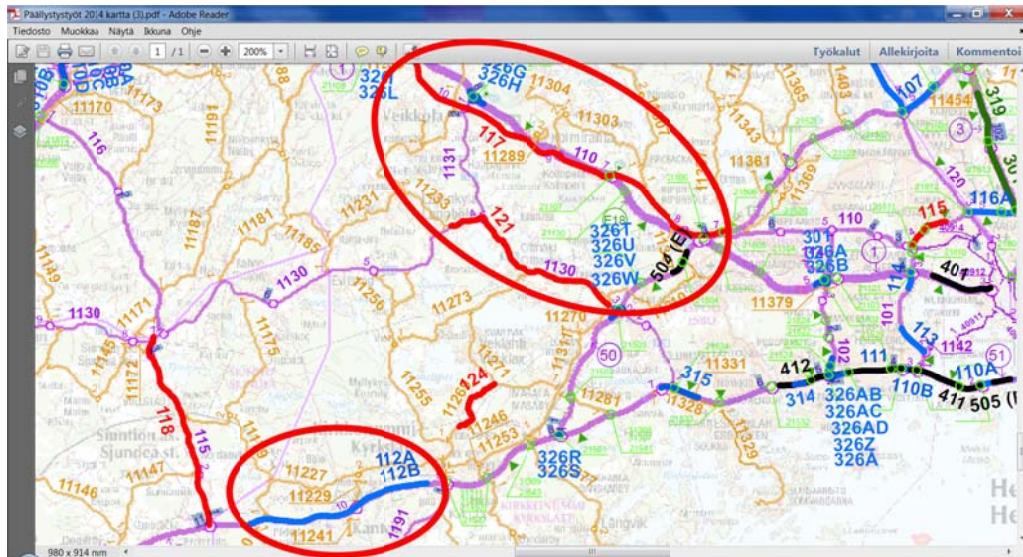
- Kohde 1 – SMA16/REM
- Kohde 2 – SMA16/MPKJ
- Kohde 3 – AB16/MPKJ
- Kohde 4 – AB16/MPKJ
- Kohde 5 – AB16/MPKJ
- Kohde 6 – SMA16/REM
- Kohde 7 – SMA16/MPKJ
- Kohde 8 – SMA16/MPKJ

Osa kohteista toimi toistettavuusvertailussa, osa vertailussa VTT:n mittalaitteeseen ja osa mittaustulosten yleisvertailuissa.

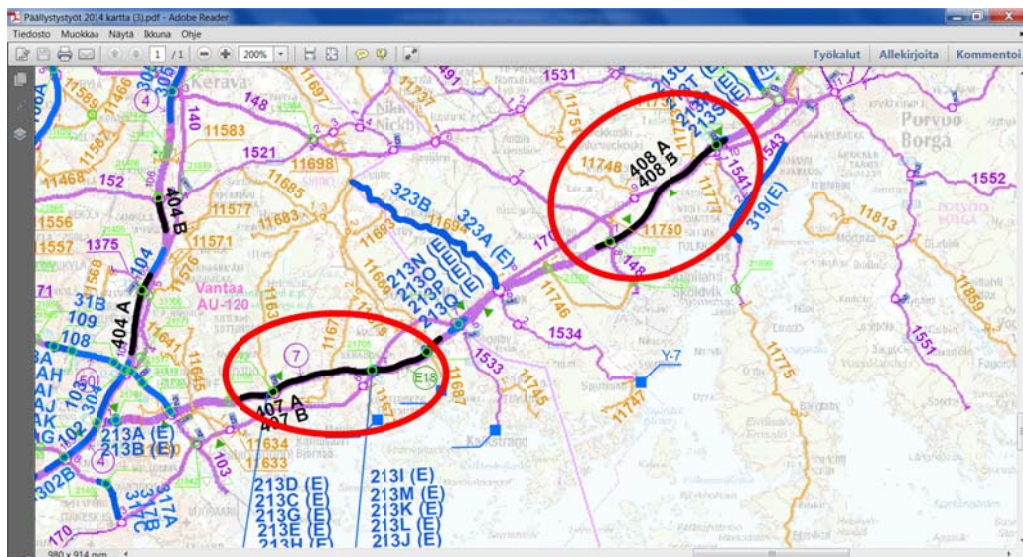
3.2 Kohteiden kartoittaminen

Potentiaalisia kohteita kartoitettiin vuonna 2014 valmistuneista päällystyskohteista. Ehdokkaiksi saatiin kahdeksan eri tietä, joille oli tehty erilaisia päällysteitä. Näille kohteille suoritettiin maastokatselmus, jonka perusteella arvioitiin kohteiden sopi-vuutta testikohteeksi ja tarkasteltiin mittaukseen sopivia paaluvälejä.

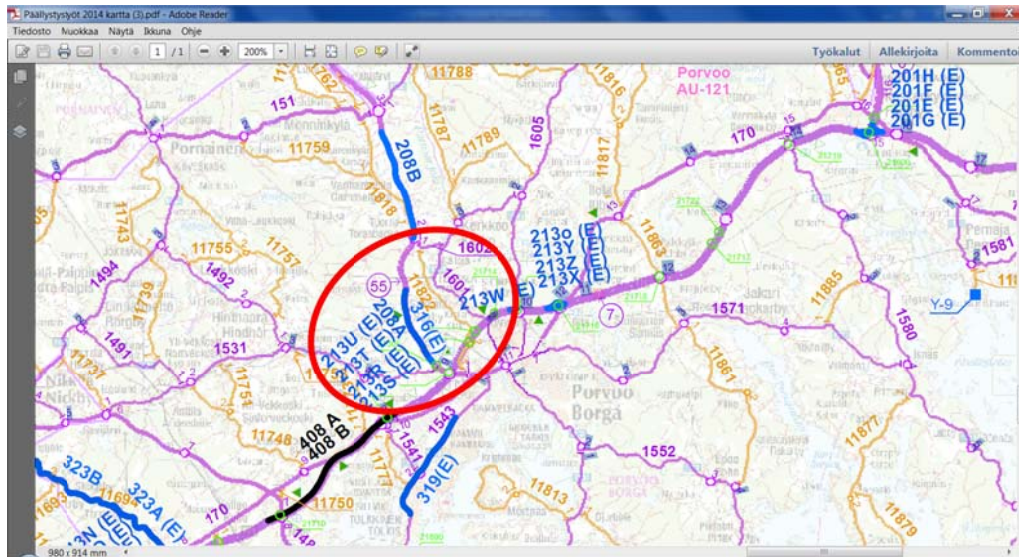
- Kohde KT51:n tieosilla 9 ja 10 oli sopiva testikohde. Päällyste oli leveä ja reu-naviivan mittaaminen oli hyvin mahdollista. Kohteilta löytyi geometrialtaan suhteellisen suoraa ja tasaisia osuuksia. Sekä keskiviivan että reunaviivan kohdalla oli tärinäraita, mikä sulki ajoratamerkinän kitkanmittaamisen pois tarkastelusta. Päällyste oli SMA 16/100 MP.
- Kohde 121 maantiellä 1130 oli geometrialtaan melko mutkainen ja oli siten huonohko kohde. Päällyste oli AB 16/100 MPKJ.
- Kohde 117 maantiellä 110 oli sopiva kohde mittauksiin. Tieosalla 7 oli pitem-piä suoraa osuuksia kuin tieosilla 8 ja 9. Päällyste oli AB 16/100 MPKJ.
- Kohteet 407 ja 408 sijaitivat vilkkaasti liikennöidyllä VT7:lla. Testimittauksia varten tarvittiin liikennejärjestelyjä. Päällyste oli SMA16/100 REM.
- Kohde 316 oli kantatie 55:n alussa ja se oli sopiva testikohde. Päällyste oli SMA 16/100 LTA.
- Kohde 122 sijaitsi Hyvinkäällä MT 1430 ja 1403. Päällyste SMA16 MPKJ.
- Lisäksi tarkasteltiin kohdetta valtatiellä 2, jonka päällysteessä oli selvästi bi-tumin pintaan nousua.



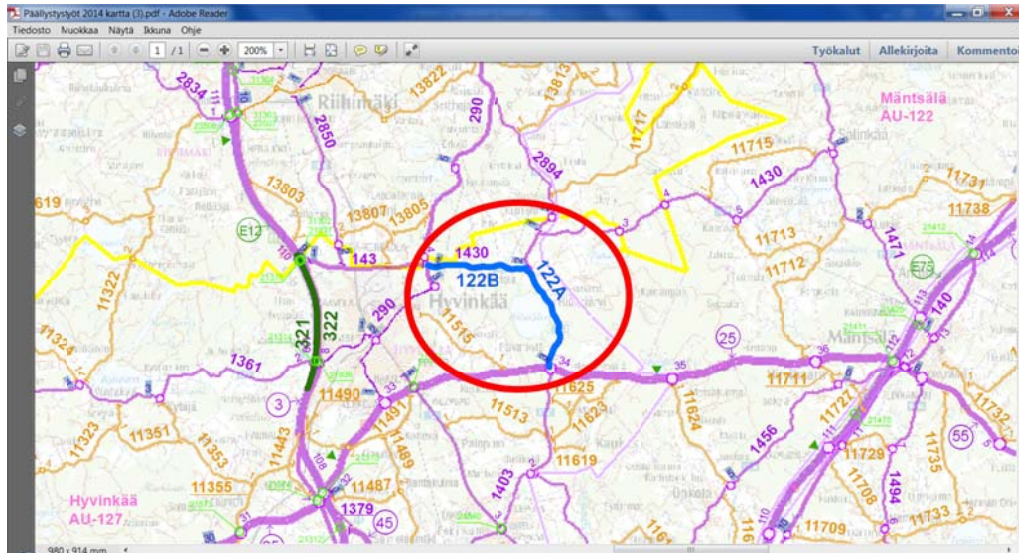
Kuva 1. Potentiaalisia kohteita länsipuolella pääkaupunkiseutua (112, 117 ja 121).



Kuva 2. Potentiaalisia kohteita itäpuolella pääkaupunkiseutua (407 ja 408).



Kuva 3. Potentiaalisia kohteita itäpuolella pääkaupunkiseutua (316).



Kuva 4. Potentiaalinen kohde pääkaupunkiseudun pohjoispuolella (122).

Taulukko 2. Testimittauksiin valitut kohdat.

Kohde	Päällyste	Kohteiden osoitteistus							Mittauskerrat			Liikenneasiat			
		Tie	Ajorata	Suunta	Kaista	Tieosa	Aiku- etäisyys	Loppu- etäisyys	Pituus	Oikea ajoura	Reuna- viva	Massa- merkintä	Liikennejärjestelyt	Liikenteen nopeus	Alennettava nopeusrajoitus
1	SMA16/REM	7	1	1	1	4	1000	2000	1000	3			Nopeuden lasku	120	Alennetaan 80
2	SMA18/LTA	55	0	1	1	1	1800	2200	400	3	3			80	
2	SMA18/LTA	55	0	2	1	1	1800	2200	400	3	3			80	
3	AB16/MPKJ	1430	0	1	1	1	400	1400	1000	3	3			60	
3	AB16/MPKJ	1430	0	2	1	1	400	1400	1000	3	3			60	
4	AB16/MPKJ	1403	0	1	1	3	700	1700	1000	3	3			60	
4	AB16/MPKJ	1403	0	2	1	3	700	1700	1000	3	3			60	
5	AB16/MPK	110	0	1	1	7	1200	1600	400	3	3			60	
5	AB16/MPK	110	0	2	1	7	1200	1600	400	3	3			60	
6	SMA16/REM	2	0	1	1	2	600	1300	700	3			Nopeuden lasku	100	Alennetaan 80
7	SMA18/MP	51	0	1	1	9	1200	2200	1000	3				80	
7	SMA18/MP	51	0	2	1	9	1200	2200	1000	3		??		80	

4 Laitteet

Vertailtavia mittauslaitteita olivat Viatechin valmistama ViaFriction, Olsense Technology AS:n valmistama TWO-laite sekä VTT:n valmistama Kitka-Sisu. Kitka-Sisu toimi referenssilaitteena, johon muita mittalaitteita verrattiin.

4.1 Kitka-Sisu

Kitka-Sisussa mittaava pyörä on oikeassa ajourassa kun taas muissa mittalaitteissa se oli vasemmassa ajourassa. Mittaavan pyörän edessä on kastelulaite. Laitteella mitataan sivukitkaa. Mittausmenetelmä on kuvattu tarkemmin PANK 5201-kuvauksessa.



Kuva 5. VTT:n valmistama Kitka-Sisu toimi referenssimittarina. Kuva P.Virtala 2014.

Kitka-Sisussa mittaus perustuu pyöränripustuksesta mitattavien pitkittäis- ja poikittaisvoimien mittaamiseen. Kalibrointi suoritetaan vetämällä erillisellä vetolaitteella kutakin voima-anturia erikseen. Vedettyä voimaa mitataan samanaikaisesti referenssianturilla. Itse referenssianturi kalibroidaan VTT:n kalibroidulla aineenkoestuslaitteistolla. Mittauspyörän mittauskulma kalibroidaan suorakulmaisia kolmioita hyväksikäyttäen mittaamalla etäisyys referenssilinjasta pyörä suorassa ja käännettynä mittauskulmaan. Mittauspyörän pystyvoima aikaansaadaan kiinteillä painoilla. Laite on kalibroitu siirrettävällä pyöräpainovaa'alla. Kalibrointi on suoritettu 16.9.2013 (Pekka Halonen/VTT).

4.2 ViaFriction

ViaFriction mittalaite on perävaunuun asennettu mittapyörä, joka mittaa jarrutus-
kitkaa. Perävaunuun on asennettu myös mittauksessa tarvittava vesisäiliö. ViaFriction
tukee useita mittausperiaatteita, mukaan lukien kiinteää luistoa (Fixed Slip),
muuttuvaa luistoa (Variable Slip) ja kiinteää luistonopeutta (Fixed Slip Speed).
Kiinteän luiston mittausmenetelmässä mittauspyörän pyörintänopeudeksi on määri-
tetty tietty prosenttiosuus ajoneuvon nopeudesta. Tämä mittausperiaate on useim-
missa kitkamittareissa. Mitattu kitka vaihtelee mittauspyörän ja ajoneuvon nopeus-
eron mukaan. Yhdenmukaisten tulosten saamiseksi tällä menetelmällä (Variable Slip)
mittaus on suoritettava kaikilla kohteilla vakionopeudella. Kiinteän luistonopeuden
mittausmenetelmä (Fixed Slip Speed) antaa saman mittaustuloksen, vaikka ajo-
neuvon nopeus muuttuisi. Tässä mittausmenetelmässä mittauspyörän ja ajoneuvon
välinen suhteellinen nopeus on vakio. [5].



Kuva 6. Viatechin valmistama ViaFriction kitkanmittauslaite. Kuva P.Virtala 2014.

Mitattava kitka ja kitkavoima riippuvat mittauspyörän normaalivoimakkuudesta sekä mittauspyörän ja ajoneuvon välisestä nopeuserosta. Tarkkojen mittaustulosten saamiseksi on tärkeää, että nopeutta hallitaan tarkasti ja normaalivoima mitataan tarkasti. Useimmissa kitkamittareissa on kiinteä mittauspyörän ja ajoneuvon välinen nopeusero. ViaFriction säätää mittauspyörän nopeutta sähköisellä jarrulla. Jarrua ohjataan tietokoneella. Tämä ratkaisu muodostaa ohjausjärjestelmän, joka toimii erittäin nopeasti ja ohjaa mittauspyörän nopeutta tarkasti. Se mahdollistaa myös mittaustavat, jotka eivät ole mahdollisia kiinteillä järjestelmillä (kuten SCRIM:llä). Mittauspyörän normaalivoima on tavallisesti 750 N, ja se määräytyy kitkalaitteen painon mukaan. ViaFrictionin ripustus on suunniteltu pitämään normaalivoima vakiona myös epätasaisella päällysteellä.[5].

Kitkan mittauksessa käytetään vettä noin 1000 litraa 30 km matkalla.



Kuva 7. Kastelujärjestelmä.

Laitteen kalibrointiprosessi etenee seuraavasti (Samuli Sorjonen/Elpac Oy):

- 3 eri pintaa (kitkaskaalan molemmat päät ja niiden väliltä) mitataan referenssilaitteella, jonka mittaamat arvot ovat "oikeita arvoja". Norjassa referenssilaitteena käytetään Oscar-laitetta.
- Samat pinnat mitataan ViaFrictionilla
- Mittaustuloksia verrataan (referenssilaitte - ViaFriction) toisiinsa
- Jos ViaFrictionia tarvitsee säätää, se tapahtuu tietokoneella (eli ei mekaanista säätöä laitteelle)
- Mittaukset suoritetaan uudelleen, jotta säädöistä voidaan olla varmoja
- Tienpitoviraomaiset myöntävät laitteelle laatusertifikaatin

ViaFrictionin kalibrointi oli tehty kesäkuussa 2014.

4.3 TWO

TWO-mittalaite on pakettiauton perään asennettu kaksoispyöräsystemi, joka saa mittauksessa tarvittavan veden ajoneuvossa olevasta vesisäiliöstä. Mittalaite mittaa jarrutuskitkaa. Kaksoispyöräsystemin etummainen pyörä pyörii vapaasti kuivalla päällysteen pinnalla. Takimmainen pyörä on kytketty etummaiseen mekaanisesti jarruttamaan ja sen eteen suihkutetaan vettä. Laite mittaa takimmaisen pyörän jarrutusvoimaa, joka muunnetaan kitkakertoimeksi. Kitkan mittaamisessa käytetään 18 % luistoa.

Laitteessa on kolme eri kalibroitavaa kohtaa, jotka ovat kitka-anturi, matkanmittaus ja lämpötilan mittaus. Kitka-anturit kalibroidaan samanaikaisesti. Matkamittari kalibroidaan mittaradalla. Lisäksi kalibroidaan ilman lämpötila-anturi, päällysteen pinnan lämpötila-anturi ja ilman kosteusmittausanturi.



Kuva 8. TWO-kitkanmittauslaite. Kuva P.Virtala 2014.

5 Mittaukset

5.1 Mittausten suorittaminen

Mittaukset tehtiin syys-lokakuun vaihteessa 2014. Mittaukset vertailtavaan laitteeseen tehtiin mahdollisimman yhtenäisissä olosuhteissa samoina päivinä lähes peräkkäin. Mittaukset suoritettiin vakiovesipatjalla kolmeen kertaan tavoitellen noin 60 km/h nopeutta. Mittaustulokset saatiin metrin välein, mutta ne keskiarvoistettiin myös 10 m väleille. Mitattu tieto yhdistettiin tieosoitteeseen ja mittaukset varustettiin aikaleimalla.

Päällysteen kitkamittaukset suoritettiin peräkkäin kolmeen tai useampaan kertaan mahdollisimman yhtenäisissä olosuhteissa samoina päivinä. Muissa kohteissa mitattiin oikeaa ajouraa paitsi MT 1403 ja MT 1430, joilla vertailtavat laitteet mittasivat vasenta ajouraa referenssilaitteen mitatessa oikeaa ajouraa.

Ajoratamerkintöjen kitkaa mitattiin tien oikeasta reunaviivasta. Massamerkintää mitattiin muutamasta kohdasta.

5.2 Mittausolosuhteet

Mittaukset suoritettiin kolmen päivän aikana. Mittausajankohdat ja lämpötila käyvät ilmi oheisesta taulukosta. Kahtena ensimmäisenä päivänä lämpötila oli noin +15 °C. Kolmantena päivänä mittausaika venyi iltaan ja lämpötila oli matalampi, noin + 5–6 °C.

Taulukko 3. Mittauspöytäkirja (Juha-Matti Vainio). (OA=oikea ajoura, VA=vasen ajoura, rv=reunaviiva, orv=oikea reunaviiva).

päivä	aloitusaika	lämpötila	tie	kaista	suunta
29.9.2014	11:41	14.5	110	OA	1
29.9.2014	11:50	14.5	110	OA	1
29.9.2014	11:54	14.5	110	OA	1
29.9.2014	11:56	14.5	110	OA	2
29.9.2014	11:59	14.5	110	OA	2
29.9.2014	12:02	14.5	110	OA	2
29.9.2014	13:42		7	OA	1
29.9.2014	13:59		7	OA	1
29.9.2014	14:06		7	OA	1
29.9.2014	14:12		7	OA	1
29.9.2014	17:39	15	7	OA	1
29.9.2014	17:44	15	7	OA	1
29.9.2014	17:51	15	7	OA	1
29.9.2014	14:52		7	rv	1
29.9.2014	14:59		7	rv	1
29.9.2014	15:06		7	rv	1
29.9.2014	17:58	15	7	rv	1
29.9.2014	18:04	15	7	rv	1
29.9.2014	15:41		55	OA	1
29.9.2014	15:45		55	OA	2
29.9.2014	15:47		55	OA	1
29.9.2014	15:50		55	OA	2
29.9.2014	15:52		55	OA	1
29.9.2014	15:55		55	OA	2
29.9.2014	15:57		55	OA	1
29.9.2014	17:04	14	55	OA	2
29.9.2014	17:11	14	55	OA	1
29.9.2014	17:13	14	55	OA	2
29.9.2014	17:15	14	55	OA	1
29.9.2014	17:17	14	55	OA	2
30.9.2014	10:39		1430	VA	1
30.9.2014	10:41		1430	VA	2
30.9.2014	10:43		1430	VA	1
30.9.2014	10:45		1430	VA	2
30.9.2014	10:47		1430	VA	1
30.9.2014	10:51		1430	VA	1
30.9.2014	10:53		1430	VA	2
30.9.2014	10:55		1430	VA	1
30.9.2014	11:29		1403	VA	1
30.9.2014	11:33		1403	VA	2
30.9.2014	11:36		1403	VA	1
30.9.2014	12:16		1403	VA	1
30.9.2014	12:21		1403	VA	2
30.9.2014	12:31		1403	VA	1
30.9.2014	12:33		1403	VA	2
30.9.2014	13:42	12	2	OA	1
30.9.2014	13:48	12	2	OA	1
30.9.2014	13:57	12	2	OA	1
30.9.2014	14:09	12	2	ORV	1
30.9.2014	14:20	12	2	ORV	1
30.9.2014	14:26	12	2	ORV	1
30.9.2014	14:32	12	2	ORV	1
30.9.2014	14:38	12	2	OA	1
30.9.2014	15:14		110	OA	1
30.9.2014	15:16		110	OA	2
30.9.2014	15:17		110	OA	1
30.9.2014	15:19		110	OA	2
30.9.2014	15:20		110	OA	1
30.9.2014	15:22		110	OA	2
1.10.2014	19:03	6.5	51	OA	1
1.10.2014	19:06	6.5	51	OA	2
1.10.2014	19:08	6.5	51	OA	1
1.10.2014	19:10	6.5	51	OA	2
1.10.2014	19:18	6.5	51	OA	1
1.10.2014	19:21	6.5	51	OA	2
1.10.2014	19:21	6.5	51	Massamerkintä	2
1.10.2014	19:21	6.5	51	Massamerkintä	2
1.10.2014	19:21	6.5	51	Massamerkintä	2
1.10.2014	20:39	6.5	51	OA	1
1.10.2014	20:46	6.5	51	OA	1

5.3 Mittaustulosten tiedostoformaatti

Mittauksista syntyneet tulokset pyydettiin kultakin mittaajalta seuraavan taulukon mukaisessa tiedostoformaattissa. Tulokset toimitettiin yhden metrin välein.

Taulukko 4. Pyydetty tulostusformaatti.

Laitte	Tie	Ajorata	Suunta	Kaista	Tieosa	Alku- etäisyys	Loppu- etäisyys	Pituus	Mittausk- ohta	Mittaus- kerta	Tulos	Mittausnopeus	Mittausaika
Viafriction	7	1	1	1	4	1000	1001	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1001	1002	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1002	1003	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1003	1004	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1004	1005	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1005	1006	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1006	1007	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1007	1008	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi
Viafriction	7	1	1	1	4	1008	1009	1	OA	1	x.xx	xx.x	v.kk.vv hh:mi

Mittaustulokset osoitteistettiin metrin osoiteväleillä ja laitettiin rinnakkain. Toistettavuudet laskettiin korrelaatioina, tasoeroina sekä mittausepävarmuutena suhteessa kokonaisvaihteluun.

5.4 Mittaustulosten käsittely

Eri mittauskertojen mittausten matkalukemat kohdistettiin metritasolla siten, että kitkaprofiilit olivat mahdollisimman yhtenäiset. Kohdistusta varten muodostettiin metritason osoitetta kuvaava avainkoodi. Tämän jälkeen kunkin laitteen tuottamien tulosten profiileja verrattiin toisiinsa siten, että muodostettiin ”puhtaat” paaluvälit ts. valittiin sellaiset paaluvälit, joista kaikilla laitteilla oli täydet toistosarjat.

Näiden toimenpiteiden jälkeen kunkin laitteen tuloksista oli käytettävissä yhteneväinen sarja kultakin kohteelta. Metritason osoitetiedon lisäksi muodostettiin 10 m osoitetieto ottamalla kunkin kymmenmetrisen sisällä keskiarvot metritason tuloksista.

6 Päällysteen kitkan mittaustarkkuus

Mittaustarkkuuden analysointi jaettiin kolmeen osaan. Ensin tutkittiin kunkin mittalaitteen toistettavuutta. Sen jälkeen tutkittiin vertailtavien laitteiden kohdistuvuutta referenssilaitteeseen verrattuna ja lopuksi tutkittiin kitkapuutteen löytymistarkkuutta eri laitteiden välillä.

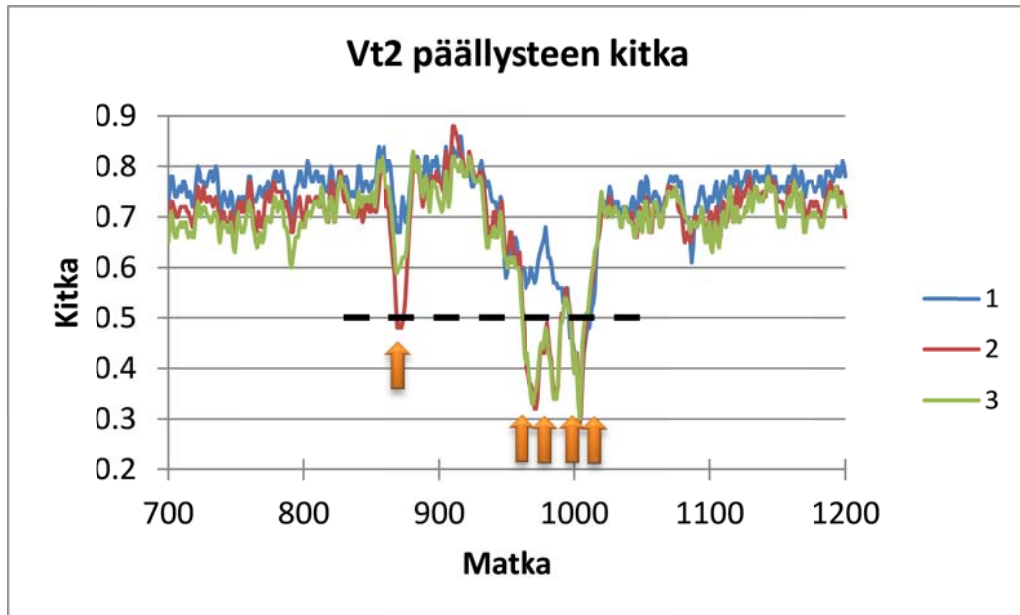
6.1 Toistettavuus

6.1.1 Referenssilaitteen toistettavuus

Referenssilaitteena toimi VTT:n Kitka-Sisu-mittauslaite. Toistettavuusanalyysiä varten toistojen kitkaprofiilit laitettiin samaan kuvaan rinnakkain ja niille tehtiin pituus-kohdistustarkistus, missä tarkistettiin, että kunkin mittauskerran paalulukemat olivat samat. Eri ajokertojen paalulukemien ”justeeraus” suoritettiin minimoimalla toistokertojen välistä mittaustulosten hajontaa ja siirtämällä eri mittauskertojen paaluja toisiinsa nähden siten, että saatiin paras toistettavuustulos. Kunkin ajokerran paalunsiirto rajoitettiin pituussuunnassa välille ± 20 m. Tarkastelu tehtiin yksi tieosa kerrallaan.

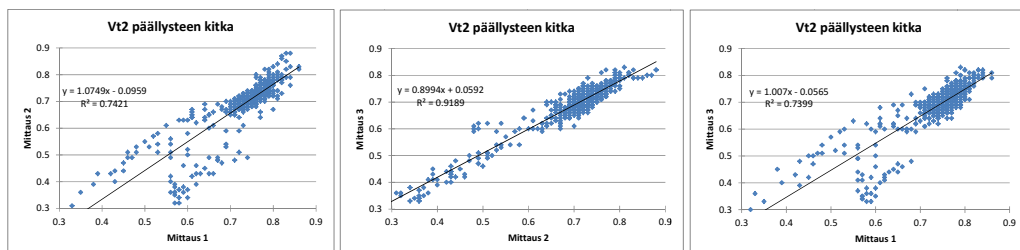
Kuvassa 9 on esitetty referenssilaitteen kitkaprofiilit valtatiellä 2 (päällyste SMA16/20 REM) kolmella eri mittauskerralla (oikeasta ajourasta). Mittaus 1 tuotti suurimman kitkatuloksen ja mittaus 3 pienimmän. Mittausten 2 ja 3 ajolinjat ja tulokset osuivat hyvin yhteen, sen sijaan mittaus 1 oli hiukan eri ajolinjalla eikä paalulukeman 950–1000 kohdalla olevaa matalamman kitkan kohtaa ole saatu yhtä hyvin mitattua.

Kitkaltaan matalat kohdat tunnistettiin kohdista 870 ja 960–1015. Kaikki mittaukset tunnistivat kohdan 870, mutta niiden tuloksissa oli suurehko tasoero kuvassa 9. Vain mittauksella 2 tunnistettiin ko. kohdalla kitkapuute. Toinen matalan kitkan kohta, 960–1015, tunnistettiin mittauksilla 2 ja 3 hyvin, mutta mittauksessa 1 vähän huonommin.



Kuva 9. Valtatien 2 suunnan 1 tieosan 2 kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1200 eri mittauksissa. Mittaussuunta vasemmalta oikealle. Päällyste on SMA/REM/16/20.

Kitka-Sisun toistokorrelaatioita kohteella VT 2 havainnollistetaan myös kuvan 10 hajontakuvilla, joista nähdään edellä esitetty asia hyvin. Parhaiten onnistuneen mittausparin hajontakuva on keskimmäisenä. Sen toistokorrelaatio oli 96 %.



Kuva 10. Kitka-Sisun toistokorrelaatiot mittauspareittaisina hajontakuvina VT 2:lla.

Taulukossa 5 on esitetty VT2:lla tehtyjen toistomittausten tulokset kitkaluokkina. Riveillä on ensimmäisen mittauksen kitkaluokka ja sarakkeilla toisen mittauksen kitkaluokka. Taulukon lävistäjällä olevat luvut osoittavat mittausparien yhtenevyyttä (onnistumista). Mitä suurempi prosenttiluku on, sitä yhtenevämpiä ovat tulokset. Kitkaluokka 1 kuvaa kitkaa <0,3 ja kitkaluokka 2 kitkaa 0,3-0,4 jne. VT2:lla on nopeusrajoitus 100 km/h, jolloin asfalttinormien määrittämä kitkavaatimuksen alaraja on 0,5. Kolme alinta kitkaluokkaa kuvaavat kyseisellä kohteella liian alhaista kitkaa.

Taulukko 5. Kitka-Sisun kitkatulosten luokittelun onnistuminen eri kitkaluokkiin kahden eri mittauksen välillä, kohde vt2. Vasemmalla metreinä ja oikealla prosentteina.

Kitkaluokka	Mittaus 2					Yht.	
	<0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	>0.6		
	1	2	3	4	5		
Mittaus 1	1					-	
	2	1	3	1		5	
	3			7	3	10	
	4		12	4	9	3	28
	5		3	14	8	433	458
Yhteensä	1	18	26	20	436	501	

Kitkaluokka	Mittaus 2					Yht.	
	<0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	>0.6		
	1	2	3	4	5		
Mittaus 1	1					-	
	2	20 %	60 %	20 %		100 %	
	3			70 %	30 %	100 %	
	4		43 %	14 %	32 %	11 %	100 %
	5		1 %	3 %	2 %	95 %	100 %
Yhteensä		80 %		93 %		90 %	

Kitkaluokka	Mittaus 3					Yht.	
	1	2	3	4	5		
	Mittaus 2	1	1				
2		14	4			18	
3		1	18	3	4	26	
4				2	13	5	20
5					1	435	436
Yhteensä		16	24	17	444	501	

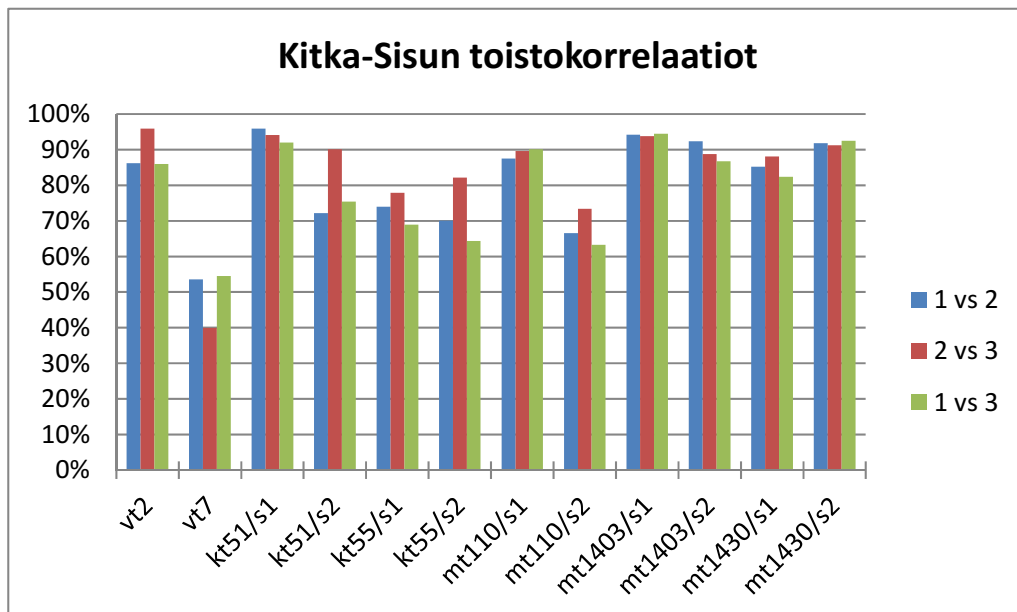
Kitkaluokka	Mittaus 3					Yht.	
	1	2	3	4	5		
	Mittaus 2	1		100 %			
2			78 %	22 %		100 %	
3			4 %	69 %	12 %	15 %	100 %
4				10 %	65 %	25 %	100 %
5					0 %	100 %	100 %
Yhteensä		84 %		100 %		96 %	

Kitkaluokka	Mittaus 3					Yht.	
	1	2	3	4	5		
	Mittaus 1	1					
2			3	2		5	
3			1	4	5	10	
4			10	7	7	4	28
5			2	11	5	440	458
Yhteensä		16	24	17	444	501	

Kitkaluokka	Mittaus 3					Yht.	
	1	2	3	4	5		
	Mittaus 1	1					
2			60 %	40 %		100 %	
3			10 %	40 %	50 %	100 %	
4			36 %	25 %	25 %	14 %	100 %
5			0 %	2 %	1 %	96 %	100 %
Yhteensä		67 %		94 %		91 %	

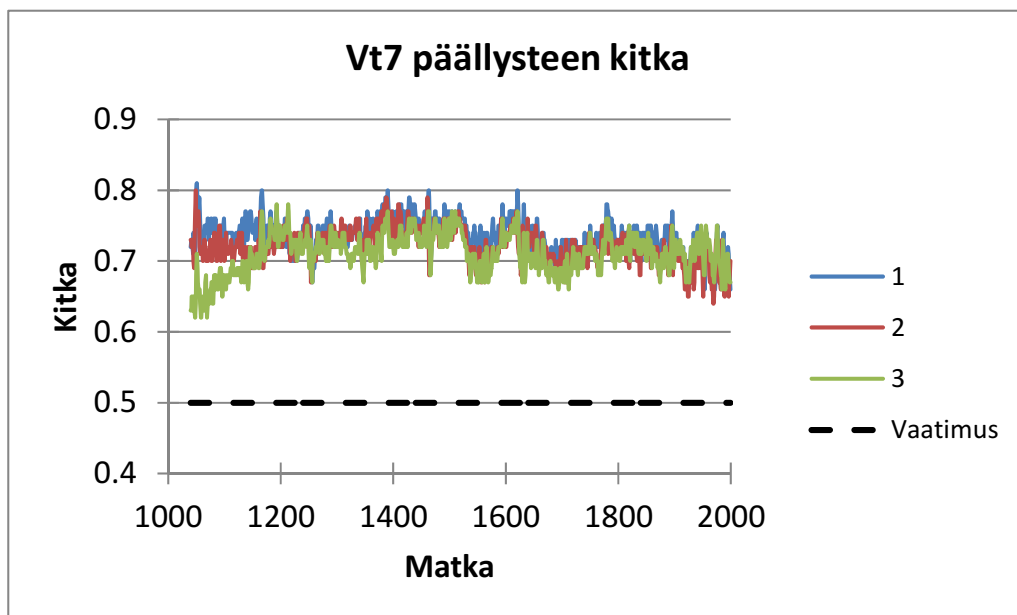
Paras mittauspari saatiin mittauksilla 2 ja 3. Kitkaluokkien onnistumisprosentit vaihtelivat välillä 65–100 % ja se oli kokonaisuutena 96 %. Kitkaluokan 2 onnistumisprosentti oli 78 ja kitkaluokan 3 onnistumisprosentti 69. Kitkapuutetta kuvaavien kitkaluokkien (1–3, punertava alue) yhteinen onnistumisprosentti mittauksissa 2-3 oli 84 %. Kitkapuutetta kuvaava kitkataso saavutettiin parimittauksessa siis 84 %:n todennäköisyydellä samalla tavalla. Mittaus 1 ei onnistunut yhtä hyvin kuin muut ja sen takia sen yhtenäisyys muihin oli huonompi.

Kuvassa 11 on esitetty yhteenvedo Kitka-Sisun pituuslinjakohdistetuista 1 m tuloksista lasketuista toistettavuuskorrelaatioista kohteittain ja mittauspareittain. Korrelaatiot vaihtelivat välillä 40–96 %. Kohteilla VT2, KT51/s1, MT110/s1, MT1403 ja MT1430 toistokorrelaatiot olivat kaikki hyviä. VT7:lla korrelaatio oli matala ja muilla tyydyttävä. Toistokorrelaatioon vaikuttavat mittauksen kohdistuminen samalle ajolinjalle sekä kitkan vaihtelu. Korrelaatiot ovat tyypillisesti matalia silloin kun kitka on tasaisesti hyvää eli yli 0,6. Tällöin arvoalue on pieni ja korrelaatio alhainen. Korrelaatiot olivat vastaavasti korkeita kohteilla, joilla oli enemmän vaihtelua. Kitka-Sisun kitkaprofiilit kohteilta on esitetty kuvissa 9 ja 12–22.



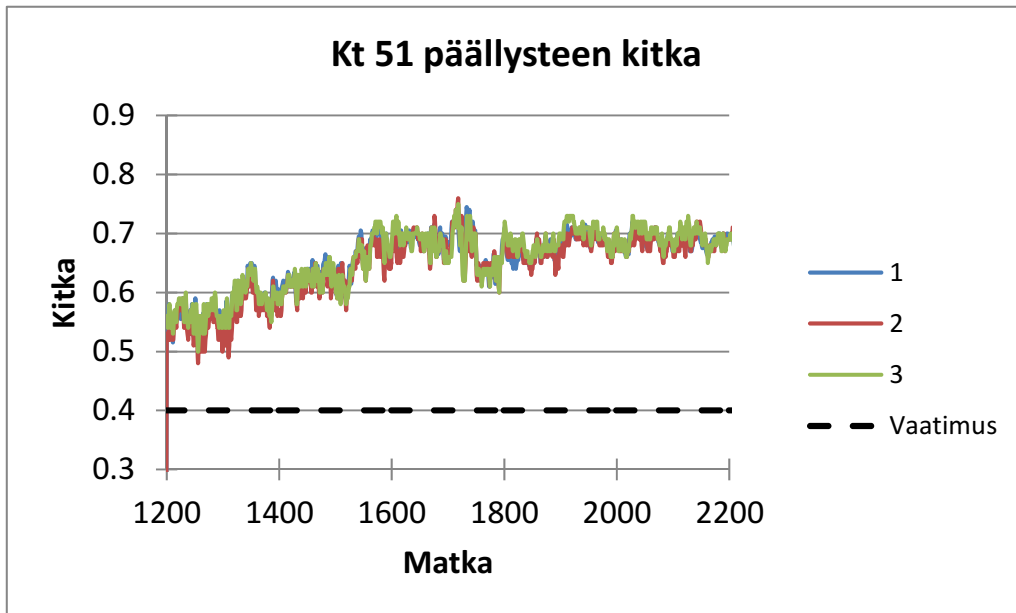
Kuva 11. Kitka-Sisun toistettavuuskorrelaatiot kohteittain ja mittauspareittain.

VT7:lla (päällyste SMA16/20 REM) kitkataso oli korkea eikä kitkapuutteita havaittu. Mittauskerta 1 tuotti hiukan suurempia kitka-arvoja kuin muut mittauskerrat. Mittauskerralla 3 kitkatulos oli alussa muita matalampi.

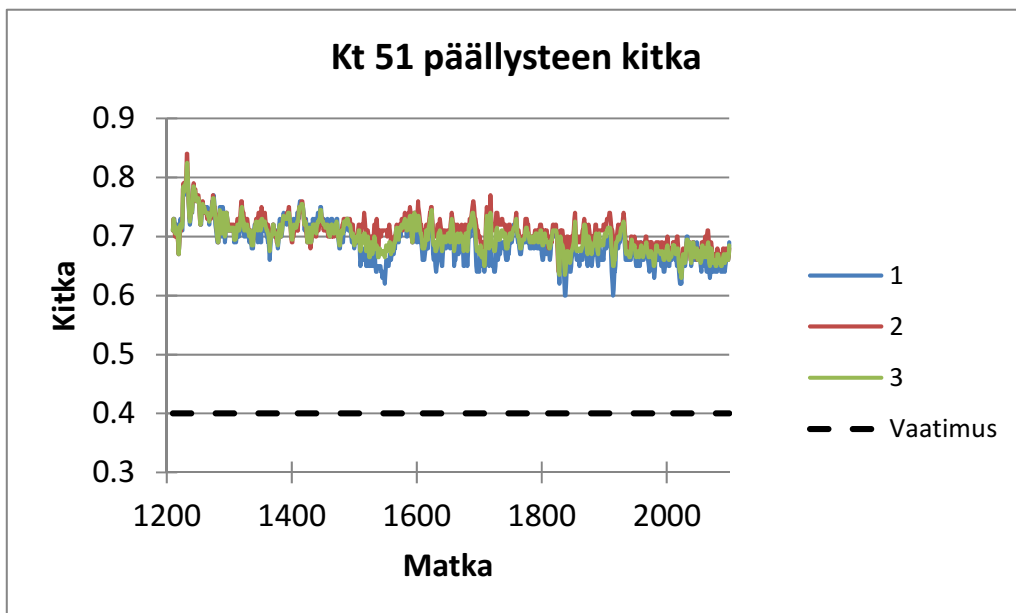


Kuva 12. Valtatien 7 suunnan 1 tieosan 4 kitkaprofiilit paaluvälillä 1100–2000. Mittaussuunta vasemmalta oikealle.

KT51:llä (SMA16/100 MP) kitkataso oli korkea. Mittauskertojen tuottamat tulokset olivat ykkössuunnassa yhteneväisiä. Kitka oli kohteen alussa matalampi ja nousi ensimmäisten 400 m aikana. Kakkossuunnassa mittauskertojen tulokset poikkesivat toisistaan enemmän. Kakkossuunnassa näkyy sama kitkan nousu ensimmäisten 400 m aikana.



Kuva 13. Kantatien 51 suunnan 1 tieosan 9 kitkaprofilin paaluvälillä 1200–2200. Mittaussuunta vasemmalta oikealle.



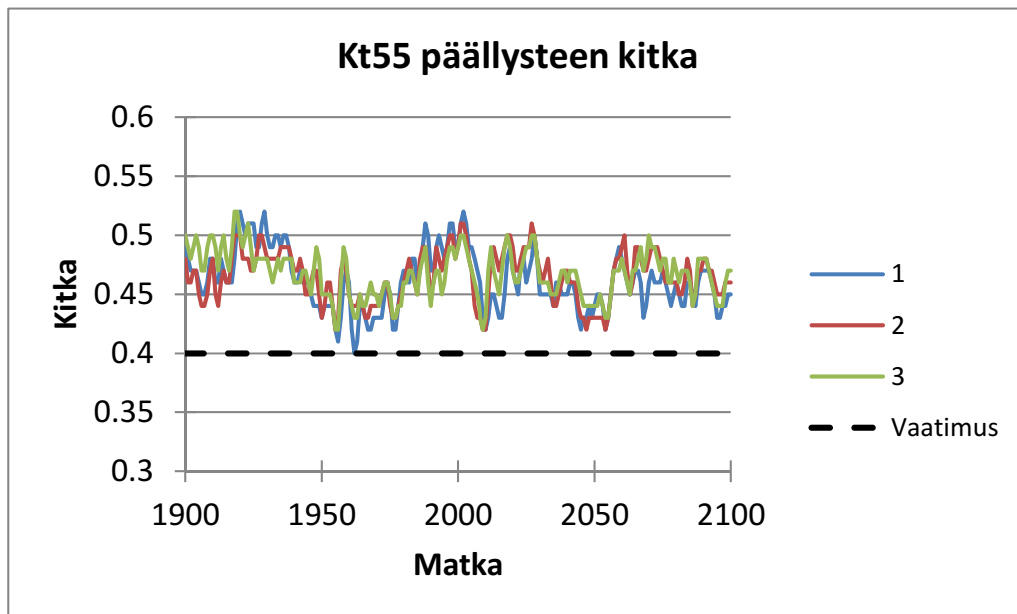
Kuva 14. Kantatien 51 suunnan 2 tieosan 9 kitkaprofilin paaluvälillä 1200–2200. Mittaussuunta oikealta vasemmalle.

KT55:llä (SMA18/100 LTA) kitka oli melko matala eikä siinä ollut suuria vaihteluita. Ykkössuunnassa kitka oli välillä 0,4–0,5 ja kakkossuunnassa noin 0,5. Kitkarajan alittavia kohtia ei havaittu.

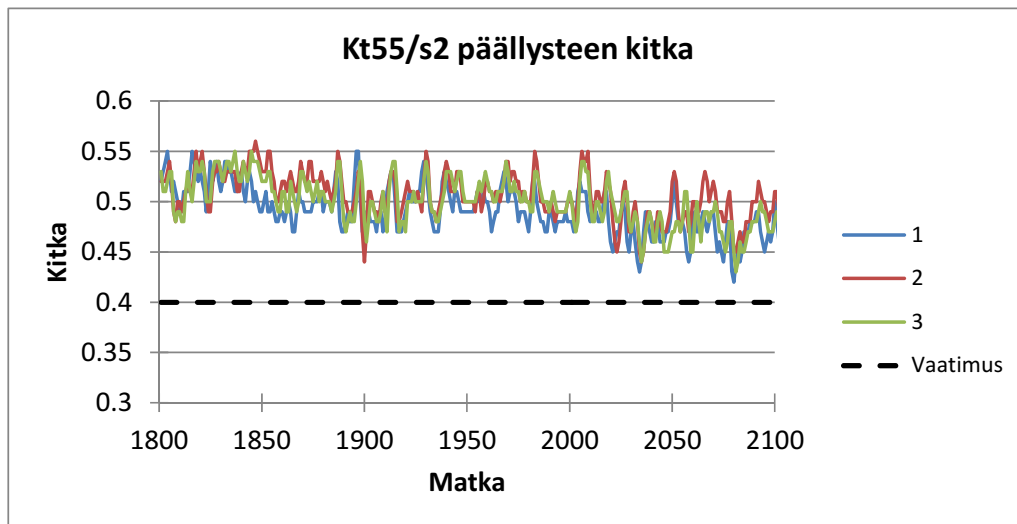
Mt 110:llä (AB/16/100 MPK) kitkataso oli korkea ja siinä oli enemmän vaihtelua. Ykkössuunnassa mittaus 2 ja kakkossuunnassa mittaus 1 poikkesivat muista mittauksista.

MT 1403 (päällyste AB16/MPKJ) kitkataso oli normaali, mutta siinä oli myös melko suurta vaihtelua. Kitkarajan alittavia (<0,4) kohtia oli ykkössuunnassa 2 kpl ja kakkossuunnassa 1 kpl.

MT 1430 (päällyste AB16/MPKJ) kitka oli ykkösuunnassa normaali, mutta siinä oli melko suurta vaihtelua. Kitkaltaan puutteellisia kohtia ei havaittu. Kakkossuunnan tuloksiin pätee muuten sama kuin edellä paitsi se, että kitkaltaan puutteellisia kohtia oli useita.

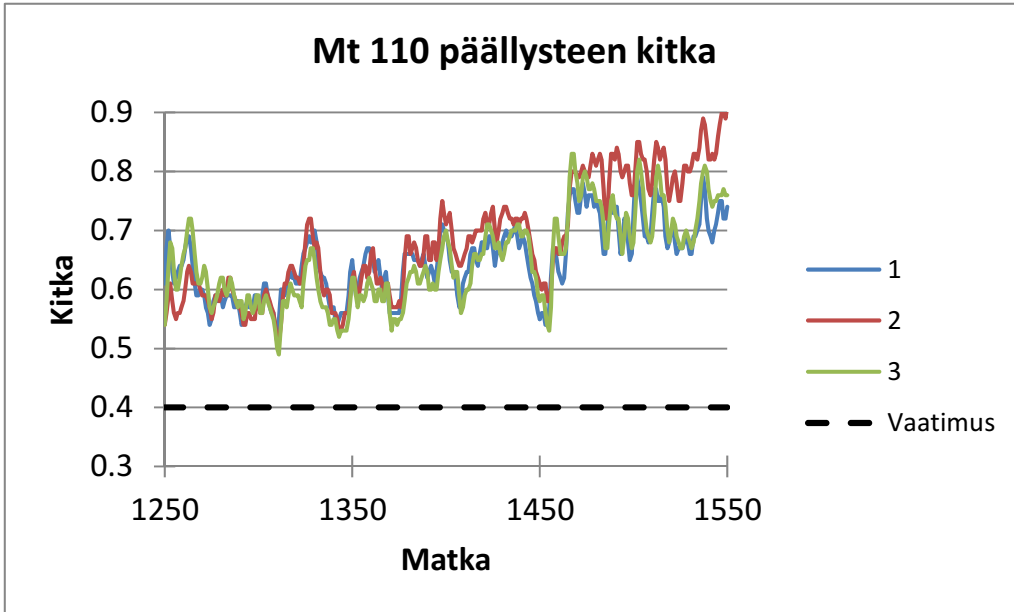


Kuva 15. Kantatien 55 suunnan 1 tieosan 2 kitkaprofilit paaluvälillä 1900–2100. Mittaussuunta vasemmalta oikealle.

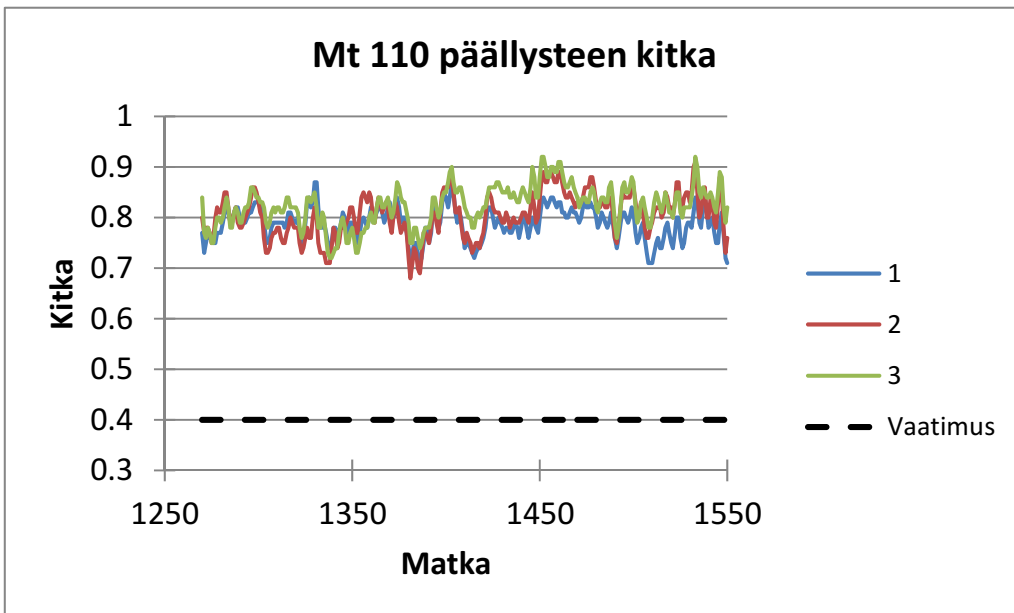


Kuva 16. Kantatien 55 tieosan 2 suunnan 1 kitkaprofilit paaluvälillä 1800–2100. Mittaussuunta oikealta vasemmalle.

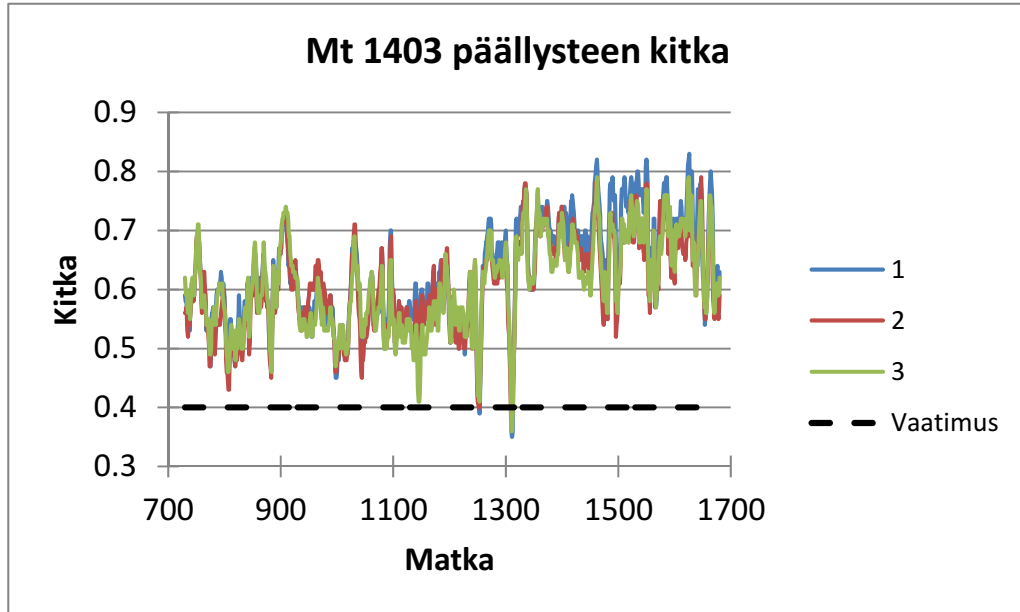
Kantatien 55 mittaus tehtiin vanhalta päällysteeltä, sillä päällyste uusittiin vasta mitausten jälkeen lokakuussa.



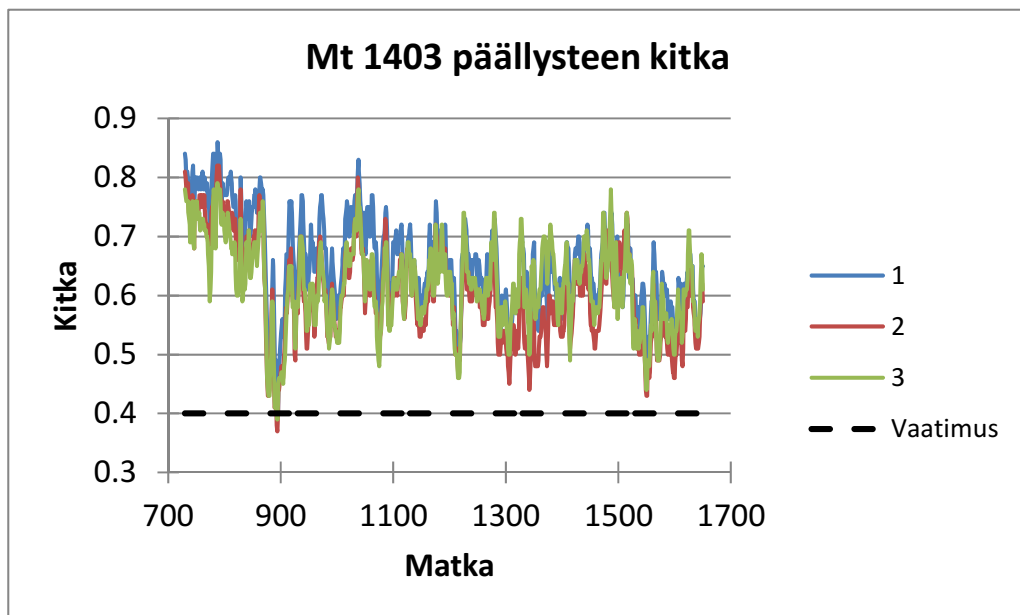
Kuva 17. Maantien 110 suunnan 1 tieosan 7 kitkaprofiilit paaluvälillä 1250–1550. Mittaussuunta vasemmalta oikealle.



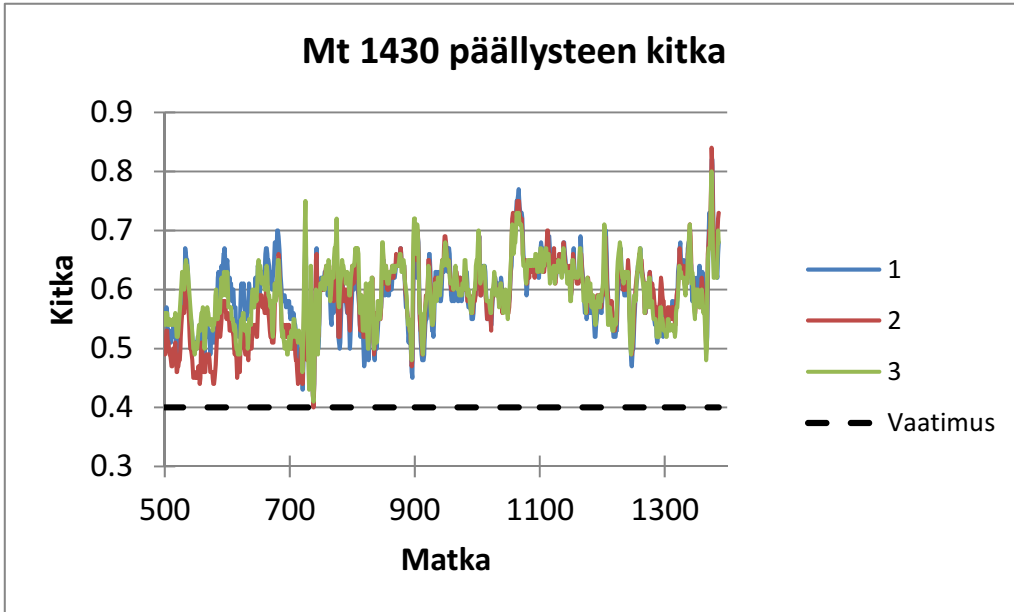
Kuva 18. Maantien 110 suunnan 2 tieosan 7 kitkaprofiilit paaluvälillä 1250–1550. Mittaussuunta oikealta vasemmalle.



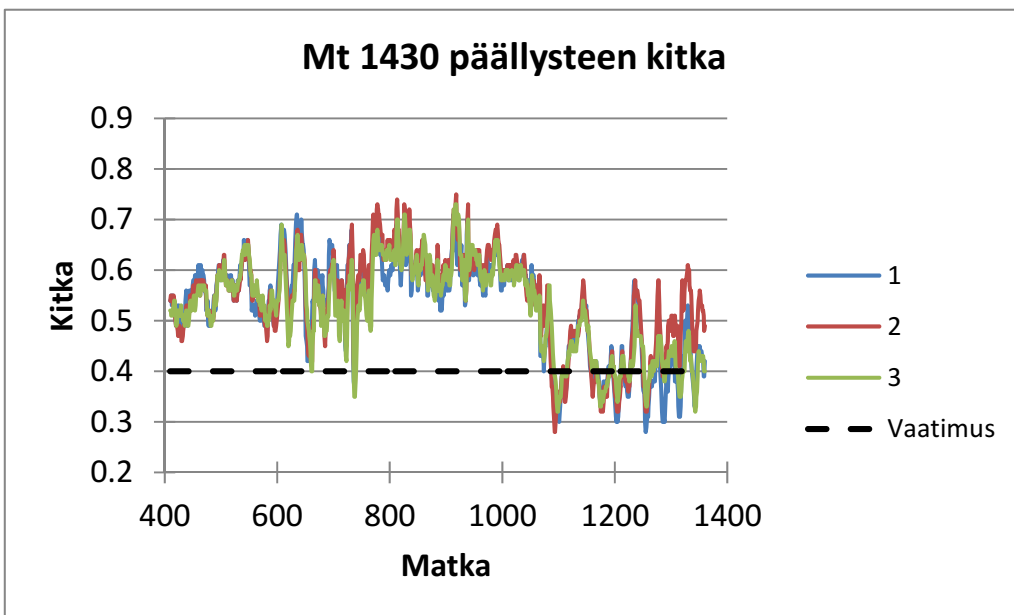
Kuva 19. Maantien 1403 suunnan 1 tieosan 3 kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1700. Mittaussuunta vasemmalta oikealle.



Kuva 20. Maantien 1403 suunnan 2 tieosan 3 kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1700. Mittaussuunta oikealta vasemmalle.



Kuva 21. Maantien 1430 suunnan 1 tieosan 1 kitkaprofiilit paaluvälillä 500–1400. Mittaussuunta vasemmalta oikealle.



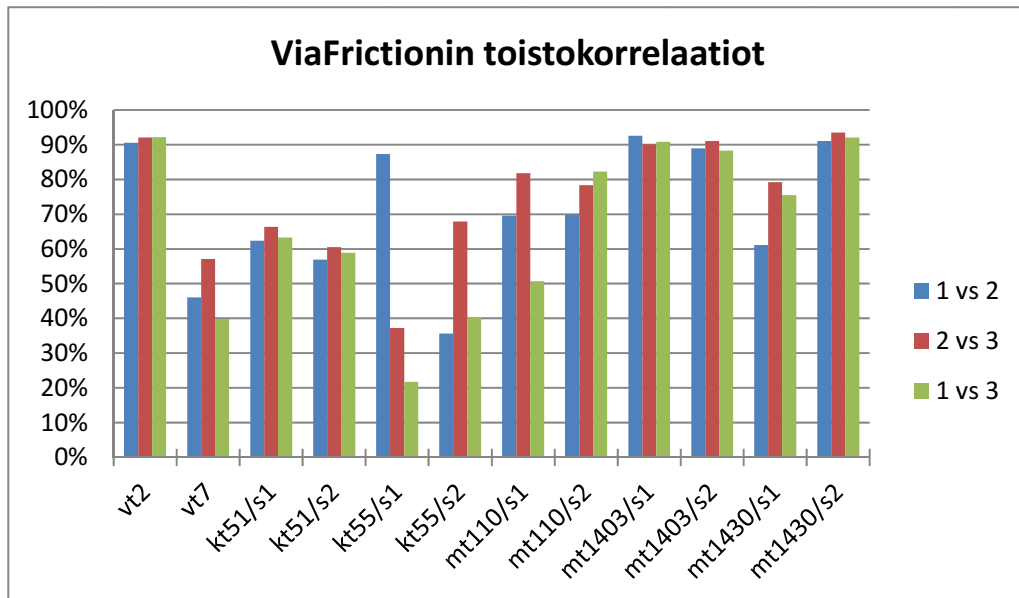
Kuva 22. Maantien 1430 suunnan 2 tieosan 1 kitkaprofiilit paaluvälillä 400–1400. Mittaussuunta oikealta vasemmalle.

6.1.2 Testattavien laitteiden toistettavuus

6.1.2.1 ViaFriction

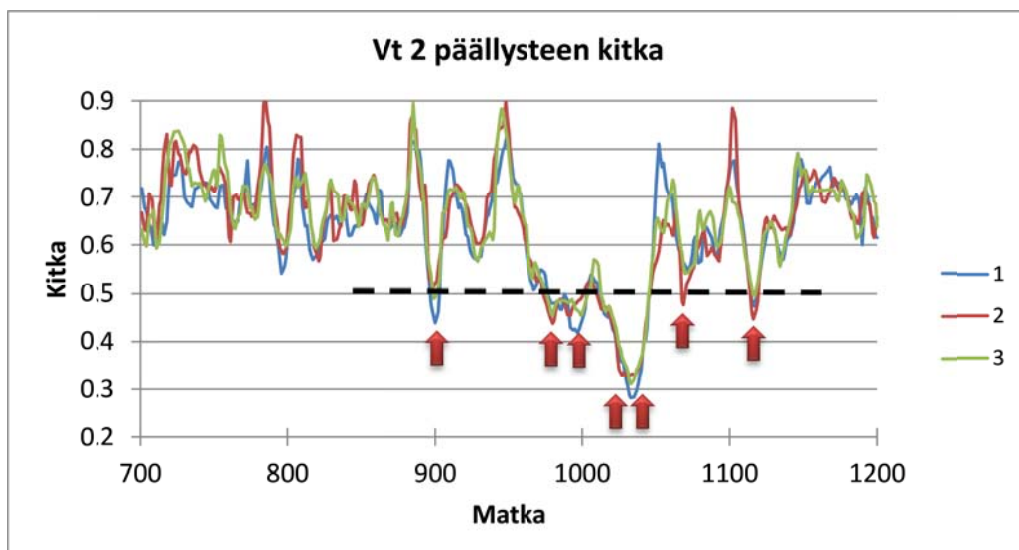
Päällysteeltä mitattavan kitkan toistettavuutta tarkasteltiin useiden tunnuslukujen avulla. Näitä olivat parimittausten välinen korrelaatio, parimittausten keskiarvo, parimittausten erojen keskiarvo ja hajonta sekä toistettavuusepävarmuuden suhde kitkan kokonaisvaihteluun (GageRR).

ViaFrictionin toistokorrelaatiot olivat erittäin hyviä neljällä eri kohteella, jotka olivat VT2, MT 1403 molemmat suunnat ja MT 1430 kakkosuunta. Myös KT51:n ykkösuunnan ensimmäisen ja toisen mittauskerran korrelaatio oli hyvä. Muilla kohteilla korrelaatiot olivat tyydyttäviä tai joissakin jopa heikkoja. Toistokorrelaation suuruuteen vaikutti kitkan vaihtelu. Lisäksi korrelaatioihin saattoi vaikuttaa puutteellinen matkalukemien kohdistus.



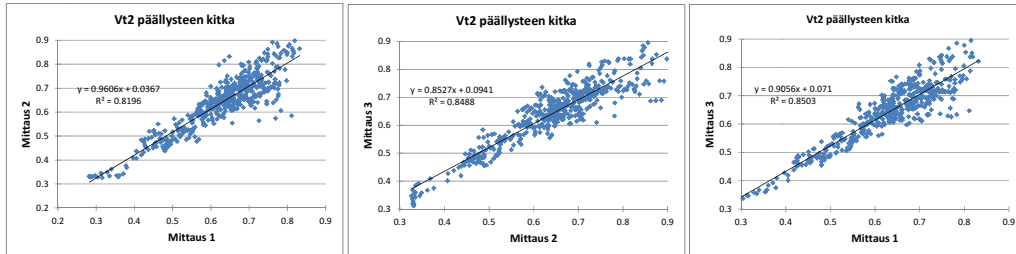
Kuva 23. ViaFrictionin toistokorrelaatiot.

Toistettavuutta tarkasteltiin lisäksi kohteittain kitkaprofiilien avulla. Kuvassa 24 on esitetty ViaFriction-laitteen kitkaprofiilit valtatiellä 2. Kohteella oli suuria kitkavaihte-
luja ja laite toistaa niitä hyvin. Kitkaltaan puutteellisia kohtia tunnistettiin 4–5 kpl.



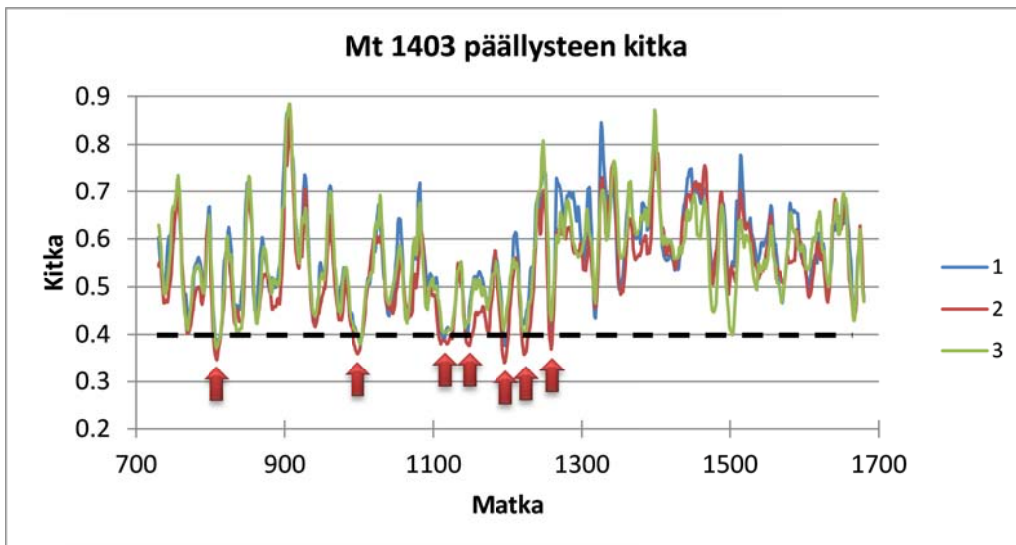
Kuva 24. Valtatien 2 suunnan 1 tieosan 2 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1200.

Kuvassa 25 on esitetty mittauspareittain tulokset VT2:lla hajontakuvina. ViaFrictionin toistettavuus oli eri mittauspareilla tarkasteltuna hyvin samanlaista. Korrelaatiot olivat välillä 91–92 %. Toistettavuus näyttää olevan parempaa alle 0,6 olevilla kitkaroilla kuin sen yli olevilla arvoilla. Edustavaksi kitkatulokseksi vertailussa referenssiin otettiin mittauskertojen 1 ja 3 keskiarvot, koska ne olivat parhaat.

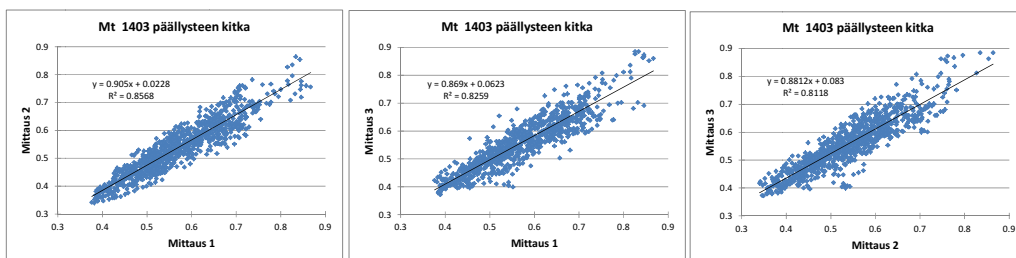


Kuva 25. ViaFrictionin toistokorrelaatiot mittauspareittaisina hajontakuvina VT 2:lla yhden metrin arvoista.

Maantien 1403 suunnan 1 kohteella kitkan vaihtelu oli myös melko suurta ja ViaFriction tunnisti sen eri mittauskerroilla hyvin. Toistojen väliset korrelaatiot olivat välillä 90–92%. Kitkaltaan puutteellisia kohtia tunnistettiin 7 kpl. Edustavaksi tulokseksi (kohdistuvuustarkastelua varten) otettiin ykkös- ja kakkosmittausten välinen keskiarvo. ViaFrictionin kitkaprofiilit on esitetty liitteessä 1 kohteittain.



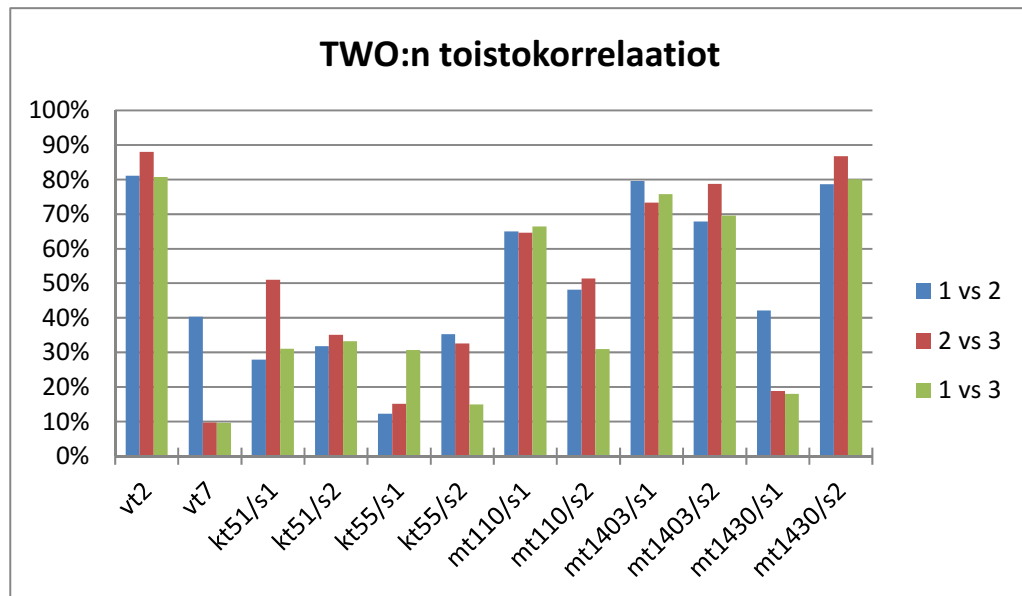
Kuva 26. Maantien 1403 suunnan 1 tieosan 3 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1700.



Kuva 27. ViaFrictionin toistokorrelaatiot mittauspareittaisina hajontakuvina mt 1403 yhden metrin arvoista.

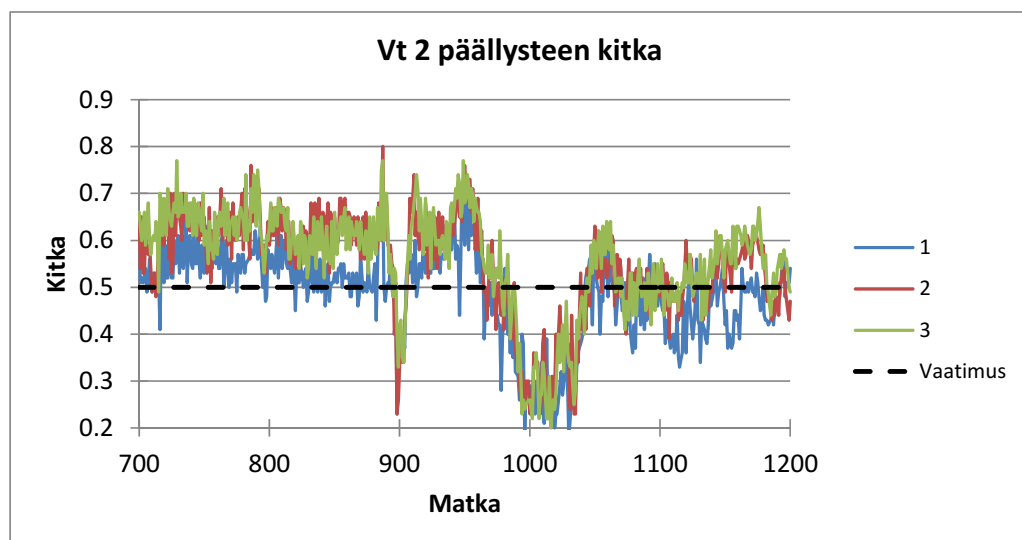
6.1.2.2 TWO

TWO-laitteen toistettavuudesta on esitetty yhteenvetona oheinen korrelaatiokuva (Kuva 28). Toistettavuus oli hyvä kohteilla VT2 ja MT1430/s2. Kohtalainen toistettavuus saavutettiin kohteilla MT110/s1 ja MT1403. Muilla kohteilla toistettavuus oli metritason tuloksista laskettuna heikohko. Korkean kitkan kohteilla (valta- ja kantatiet pl. VT2) toistokorrelaatio oli heikko. Maantiekohteilla 1403 ja 1430 kitka mitattiin oikean ajouran sijasta vasemmasta ajourasta.

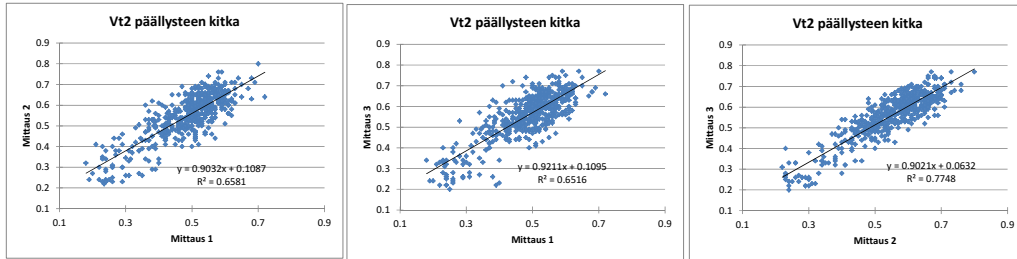


Kuva 28. Yhteenveto TWO:n toistettavuuskorrelaatioista.

Kuvassa 29 on esitetty TWO-laitteen kitkaprofiilit valtatiellä 2. Laite toisti kohteella olleet suuret kitkavaihtelut hyvin. Kitkaltaan puutteellisia kohtia tunnistettiin eri ajokerroilla eri määrä. TWO:n kitkaprofiili näyttää vaihtelevan peräkkäisten metrien välillä saaden suurempia ja pienempiä arvoja vuorotellen. Tämän vuorottelevan vaihtelun arvellaan olevan laitteelle ominainen piirre ja liittyvän mittaustapahtumaan.



Kuva 29. Valtatien 2 suunnan 1 tieosan 2 TWO-kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1200.

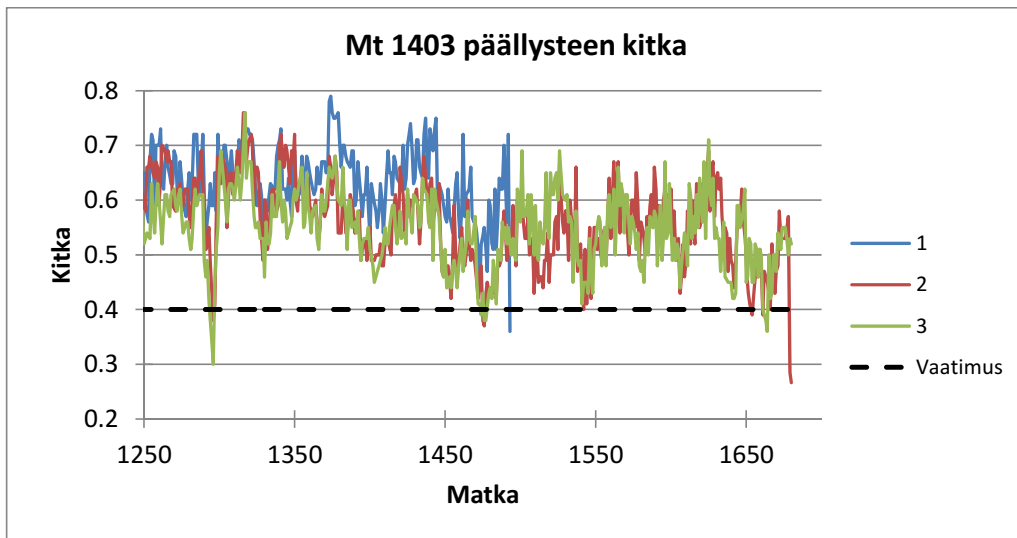


Kuva 30. TWO:n toistokorrelaatiot mittauspareittaisina hajontakuvina VT2 yhden metrin arvoista.

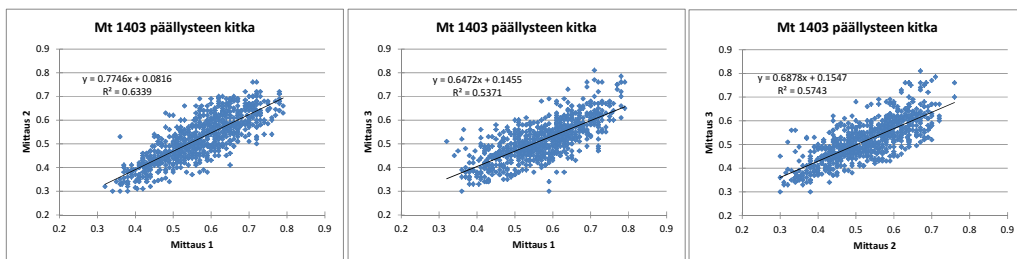
Edustavaksi mittauksiksi vertailussa Kitka-Sisuun otettiin mittauskertojen 2 ja 3 keskiarvot.

Kuvassa 31 on esitetty TWO-laitteen kitkaprofiilit kohteella MT 1403. Kakkos- ja kolmosmittausten tulokset korreloivat melko hyvin toistensa kanssa. Kitkan vaihtelu tunnustetaan molemmilla mittauskerroilla. Mittauskerran yksi tulos oli paitsi pituudeltaan puutteellinen myös edellisiä korkeampi. Edustava keskiarvo laskettiin mittauskertojen 2 ja 3 tuloksista.

TWO:n muiden kohteiden suhteen valittiin edustavat tulokset vastaavalla tavalla. Niiden kitkaprofiilit on esitetty liitteessä 2.



Kuva 31. Maantien 1403 suunnan 1 tieosan 3 TWO-kitka paaluvälillä 1250–1670.



Kuva 32. TWO:n toistokorrelaatiot mittauspareittaisina hajontakuvina mt 1403 yhden metrin arvoista.

6.2 Kohdistuvuus

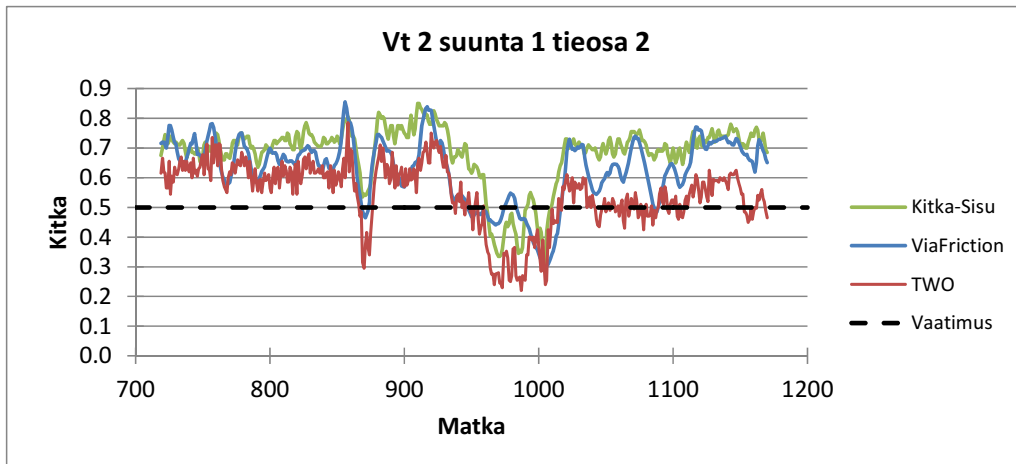
6.2.1 Korrelaatiot ja tasoerot

Vertailtavien laitteiden kohdistuvuutta tarkasteltiin referenssilaitteeseen nähden. Kuktakin päällystetyyppiä edustavilta kohteilta valittiin vain toisen suunnan mittaukset kohdistuvuustarkasteluun. Tarkasteltavaksi suunnaksi valittiin se suunta, jolta saatiin paremmat toistettavuustulokset. Kunkin mittalaitteen tuloksista laskettiin edustava tulos sen mittausparin keskiarvona, joka tuotti parhaan toistettavuuskorrelaation. Tarkasteluun valitut kohteet (päällystetyyppi lihavoitu) ja mittausparit (laatikot) on esitetty taulukossa 6.

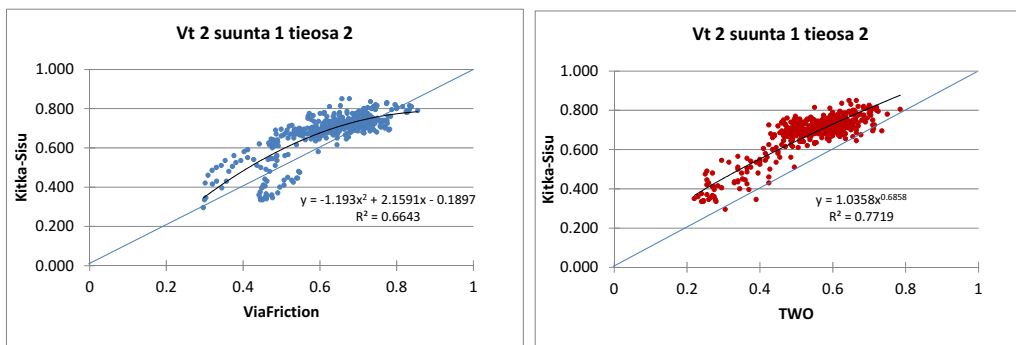
Taulukko 6. Yhteenvedo toistettavuustarkastelusta ja kohdistuvuustarkasteluun valitut mittaukset.

Kohde	Päällyste	Keskiarvo	Hajonta	Toistokorrelaatiot								
				Kitka-Sisu			ViaFriction			TWO		
				1 vs 2	2 vs 3	1 vs 3	1 vs 2	2 vs 3	1 vs 3	1 vs 2	2 vs 3	1 vs 3
vt2	SMA16/REM	0.70	0.10	86 %	96 %	86 %	91 %	92 %	92 %	81 %	88 %	81 %
vt7	SMA16/REM	0.72	0.03	54 %	40 %	54 %	46 %	57 %	40 %	40 %	10 %	10 %
kt51/s1	SMA18/MP	0.65	0.05	96 %	96 %	90 %	62 %	66 %	63 %	28 %	51 %	31 %
kt51/s2	SMA18/MP	0.70	0.03	75 %	92 %	95 %	57 %	61 %	59 %	32 %	35 %	33 %
kt55/s1	SMA18/LTA	0.46	0.02	74 %	78 %	69 %	87 %	37 %	22 %	12 %	15 %	31 %
kt55/s2	SMA18/LTA	0.50	0.02	70 %	82 %	64 %	36 %	68 %	40 %	35 %	33 %	15 %
mt110/s1	AB16/MPK	0.66	0.08	87 %	90 %	90 %	70 %	82 %	51 %	65 %	65 %	66 %
mt110/s2	AB16/MPK	0.81	0.04	67 %	73 %	63 %	70 %	78 %	82 %	48 %	51 %	31 %
mt1403/s1	AB16/MPKJ	0.61	0.08	94 %	94 %	94 %	93 %	90 %	91 %	80 %	73 %	76 %
mt1403/s2	AB16/MPKJ	0.63	0.08	92 %	89 %	87 %	89 %	91 %	88 %	68 %	79 %	70 %
mt1430/s1	AB16/MPKJ	0.59	0.06	85 %	88 %	82 %	61 %	79 %	75 %	42 %	19 %	18 %
mt1430/s2	AB16/MPKJ	0.53	0.09	92 %	91 %	92 %	91 %	93 %	92 %	79 %	87 %	80 %
Keskimäärin				81 %			71 %			49 %		

Ennen kohdistuvuustestausta kunkin mittalaitteen tulokset laitettiin jälleen rinnakkain referenssilaitteen tulosten kanssa ja matkalukemat täsmäytettiin. Matkalukemien täsmäytys tehtiin siirtämällä vertailtavan laitteen matkalukemia välillä ± 20 m siten, että tulosten välisten erojen hajonta minimoitui, ts. tulokset saatiin täsmälleen kohdalleen. Sen jälkeen tuloksia tarkasteltiin graafisesti profiilikuvia ja hajontapistekuvina sekä niistä laskettiin korrelaatiot ja tasoerot. Profiili- ja hajontakuvat on esitetty kuvissa 33–40. VT 2 kohteella laitteiden väliset kitkaprofiilit toistivat toisiaan kohdallaisen hyvin, mutta niissä oli selvät tasoerot. Korkein kitkatulos saatiin referenssilaitteilla ja matalin TWO:lla. Kaikki laitteet tunnistivat kitkapuutteelliset kohdat, mutta eripituisina johtuen juuri tasoeroista.

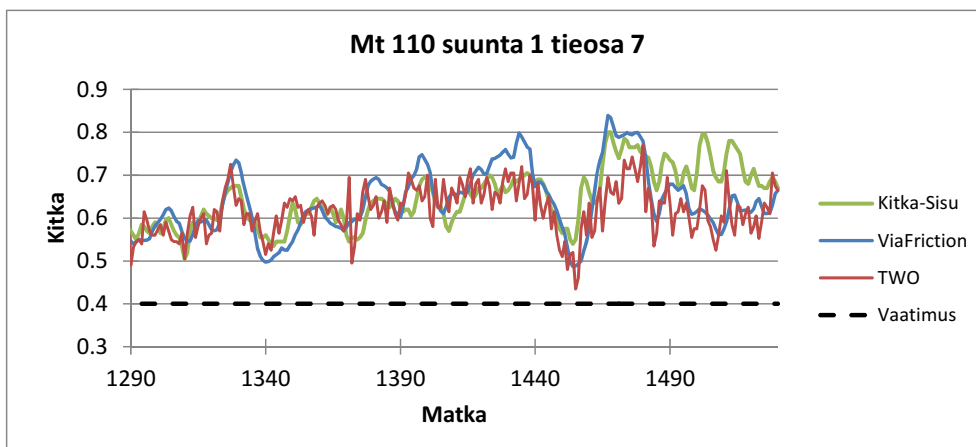


Kuva 33. Kaikkien mittauslaitteiden kahden parhaan toistomittauksen keskiarvo-profiilit matkasovitetuna valtatie 2 kohteella. Päällyste SMA/16/20 REM.

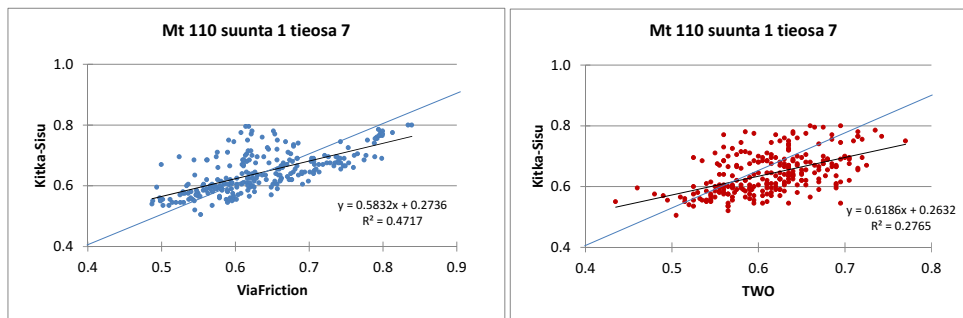


Kuva 34. ViaFrictionin ja TWO:n kitkan vastaavuus Kitka-Sisun kanssa valtatie 2 kohteella.

Kantateiden 51 ja 55 mittaukset eivät korreloineen referenssilaitteen kanssa juuri ollenkaan. Tulosten tarkemmassa tarkastelussa ei sen takia oikein ollut mitään mieltä. Joko mittauskohdat tai suunnat poikkesivat tai tulosten yhteen liittämässä oli tapahtunut jotain muuta vastaavaa. Niitä ei tarkasteltu enempää. Maantiellä 110 tulokset näyttivät sopivan yhteen jälleen hyvin. Kitkaprofiilit ovat samanmuotoiset eikä kitkatasoissakaan ollut suuria eroja.

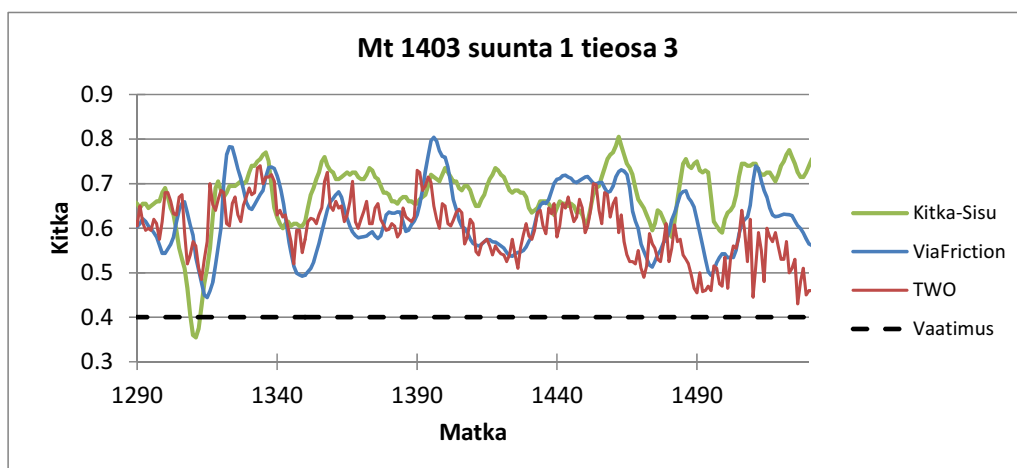


Kuva 35. Kaikkien mittauslaitteiden kahden parhaan toistomittauksen keskiarvo-profiilit matkasovitetuna maantiellä 110. Päällyste AB/16/100 MPK.

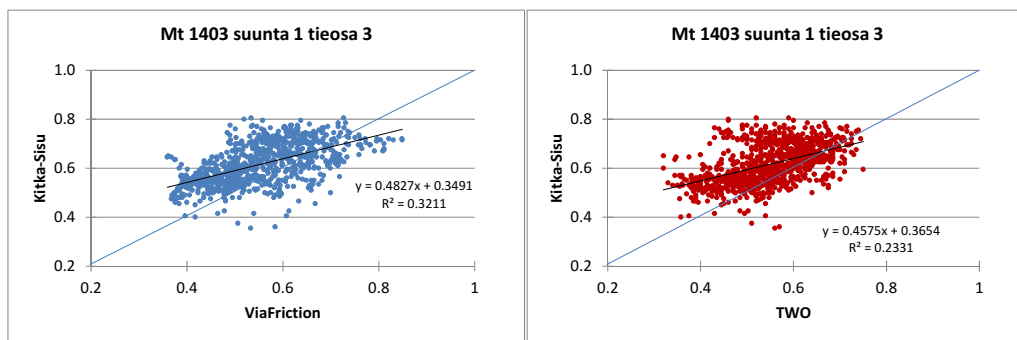


Kuva 36. ViaFrictionin ja TWO:n kitkan vastaavuus Kitka-Sisun kanssa maantiellä 110.

Maantiellä 1403 kitkaprofiilit olivat lähes yhteneväiset. Referenssilaitteen tulokset olivat hiukan suurempia kuin vertailtavana olevien. ViaFriction ja TWO laitteiden tulokset korreloivat toistensa kanssa paremmin kuin referenssilaitteen kanssa.

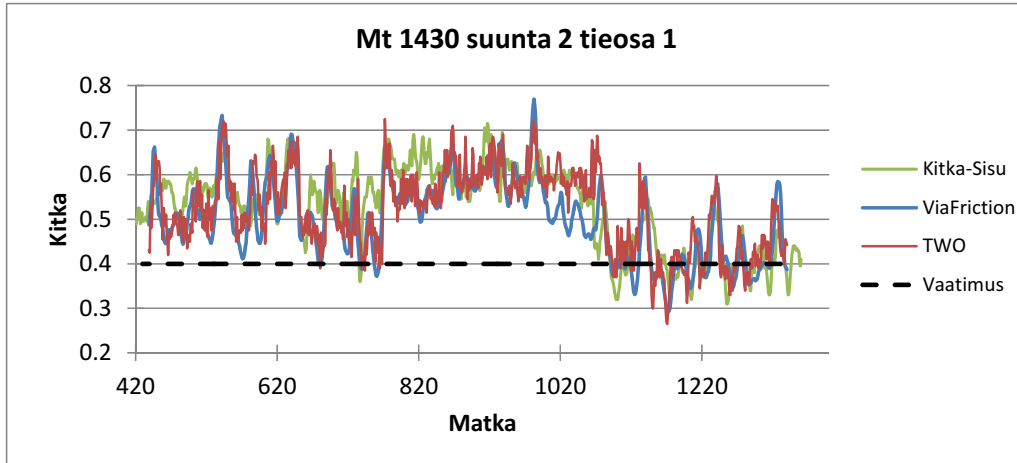


Kuva 37. Kaikkien mittauslaitteiden kahden parhaan toistomittauksen keskiarvoprofiilit matkasovittuna maantiellä 1403. Kitka-Sisun mittaus on tehty oikeasta ajourasta ja muiden vasemmasta ajourasta.

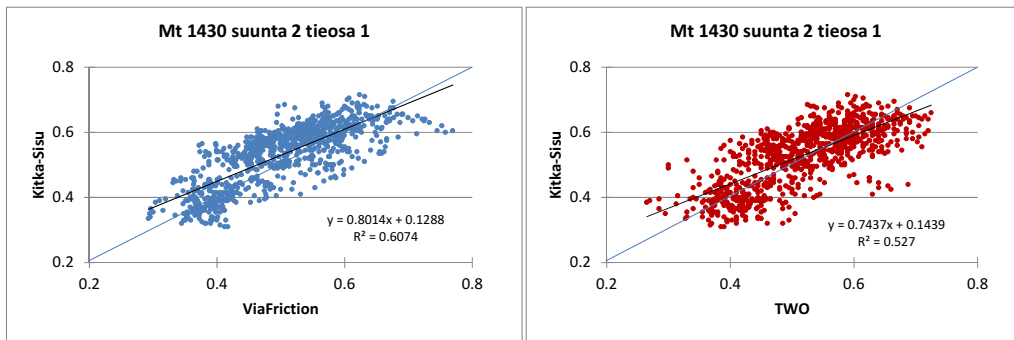


Kuva 38. ViaFrictionin ja TWO:n kitkan vastaavuus Kitka-Sisun kanssa maantiellä 1403.

Maantiellä 1430 mittaukset osuivat paremmin yhteen referenssilaitteen tulosten kanssa. Kitkaprofiilit olivat yhteneväiset ja tasoeroa ei juuri ollut.



Kuva 39. Kaikkien mittauslaitteiden kahden parhaan toistomittauksen keskiarvoprofiilit matkasovittuna maantiellä 1430 kohteella. Kitka-Sisun mitaus on tehty oikeasta ajourasta ja muiden vasemmasta ajourasta.



Kuva 40. ViaFrictionin ja TWO:n kitkan vastaavuus Kitka-Sisun kanssa maantiellä 1430.

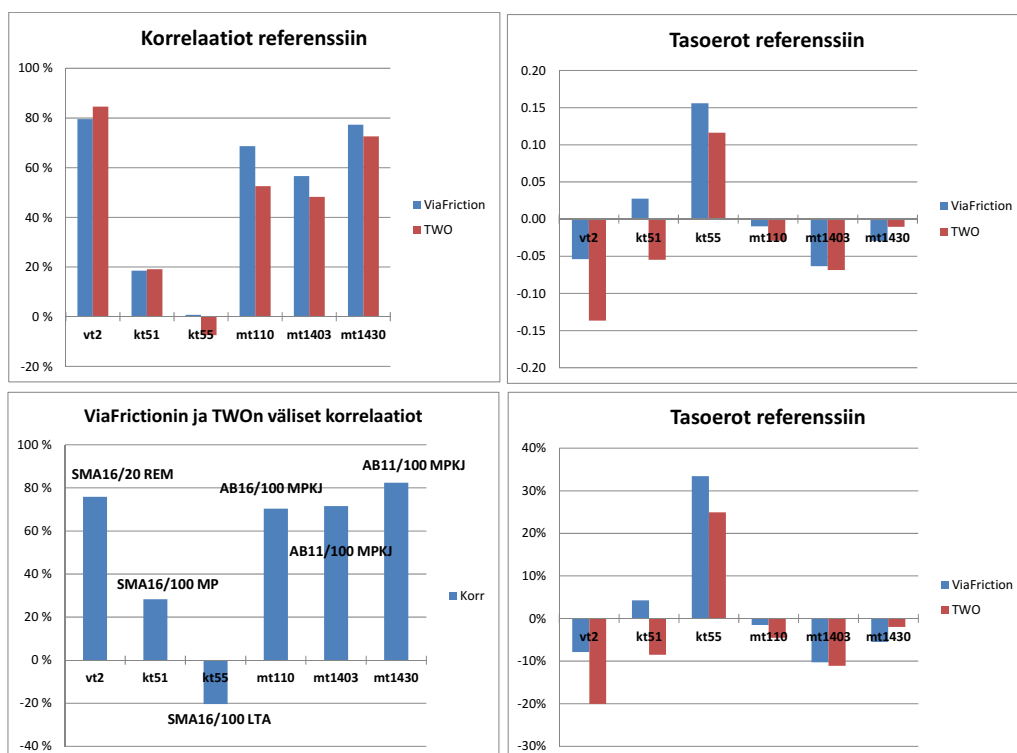
Yhteenveto vertailtavien laitteiden kohdistustarkastelusta on esitetty taulukossa 7 sekä kuvassa 41. Sekä ViaFrictionin että TWO:n korrelaatiot referenssilaitteeseen verrattuna olivat VT 2 kohteella (SMA) hyvät. Ne tuottivat kuitenkin selvästi referenssilaitteen tuloksia pienempiä arvoja (ViaF -7,9 % ja TWO -20,1 %). Muilla SMA-kohteilla (KT 51 ja KT55) kohdistuvuus oli huono.

AB-kohteilla (MT 110, MT1403 ja MT 1430) korrelaatiot referenssilaitteen tuloksiin olivat kohtalaiset. Tasoerot olivat pienehköjä MT 110 (ViaF -1,5 %, TWO -4,5%) ja mt 1430 (ViaF -5,5% ja TWO -1,9%) kohteilla ja hiukan suuremmat MT 1403 kohteella (ViaF -10,3% ja TWO -11,1%). Nelinumeroisilla kohteilla on muistettava, että referenssilaitte mittasi oikean ajouran ja vertailtavat laitteen tien kapeudesta johtuen vasemman, mistä saattoi tulla eroja tuloksiin.

Kun kantatiekohteet jätetään pois tarkastelusta, niin ViaFrictionin tulokset ovat kohteesta riippuen 1–8 % matalammat kuin referenssilaitteella ja TWO:n tulokset kohteesta riippuen 2–20 % matalammat kuin referenssilaitteella.

Taulukko 7. Yhteenvedo kohdistuvuustarkastelusta.

Tie	Osa	Suunta	Päällyste	Korrelaatio KitkaSisuun		Tasoero Kitka-Sisuun				ViaF vs. TWO	
				ViaFriction	TWO	ViaFriction	TWO	ViaFriction	TWO	Korr	Tasoero
vt2	2	1	SMA16/REM	80 %	85 %	-0.054	-7.9 %	-0.137	-20.1 %	76 %	0.08
kt51	9	1	SMA18/MP	19 %	19 %	0.027	4.3 %	-0.055	-8.5 %	28 %	0.08
kt55	1	1	SMA18/LTA	1 %	-7 %	0.156	33.5 %	0.116	25.0 %	-20 %	0.04
mt110	7	1	AB16/MPK	69 %	53 %	-0.010	-1.5 %	-0.029	-4.5 %	70 %	0.02
mt1403	3	1	AB16/MPKJ	57 %	48 %	-0.063	-10.3 %	-0.068	-11.1 %	72 %	0.01
mt1430	1	2	AB16/MPKJ	77 %	73 %	-0.029	-5.5 %	-0.010	-1.9 %	82 %	-0.02



Kuva 41. Yhteenvedo kohdistuvuustarkastelusta.

6.2.2 Kitkapuutteiden löytyminen

Kitkapuutteiden löytymistarkkuutta tarkasteltiin laittamalla kaikkien laitteiden metritason tulokset rinnakkain, laskemalla kunkin laitteen tuloksille kitkaluokka ja ristiintaulukoimalla kaikki havainnot sekä referenssilaitteen kitkaluokkien että vertailtavan laitteen kitkaluokkien suhteen. Kitkapuutteen (tai kitkan ylipäättään) yhteneväisyys luetaan ristiintaulukoiden lävistäjällä olevista luvuista. Lävistäjälle muodostuvat havainnot luokittelevat samalla tavalla ja lävistäjän molemmille puolille muodostuvat havainnot luokittelevat eritavalla. Mitä suurempia lävistäjällä olevat luvut ovat sitä paremmin vertailtavan laitteen tulos luokittelee kitkan referenssilaitteen tuloksen kanssa (Taulukko 8).

Taulukon vasemmassa osassa on esitetty havaintojen lukumäärät (metrejä) ja oikealla niiden prosenttiosuudet. Yläosa kuvaa ViaFrictionin kitkapuutteiden tunnistustarkkuutta referenssiin verrattuna ja keskiosa TWO:n vastaavaa. Riveillä on esitetty referenssilaitteella saatu kitkaluokka 1–5 ja sarakkeilla vertailtavalla laitteella saatu kitkaluokka. Taulukon lävistäjältä voidaan lukea kunkin kitkaluokan tunnistustarkkuus.

Kokonaisuutta kuvaava tarkkuusluku on oikeanpuoleisten taulukoiden oikeassa alanurkassa.

ViaFrictionin kokonaistarkkuutta kuvaa luku 60 %. Prosenttiluvut 0 ja 100 tulevat yksittäisistä havainnoista eikä niihin kannata laittaa kovin suurta painoa. ViaFriction tunnisti parhaiten kitkaluokan 5 (>0,6) 68 % ja huonoiten kitkaluokan 3 (0,4–0,5) 47 %. Kitkaluokan 2 (0,3–0,4) tunnistuskyky oli 63 %.

TWO:n vastaava kokonaistarkkuutta kuvaava luku oli 48 %. Parhaiten tunnistettiin kitkaluokka 5 (>0,6) 51 % ja huonoiten kitkaluokka 3 (0,4–0,5) 42 %.

Kitkanmittauksen kohdistuvuudessa näyttäisi heikoin kohta olevan harmillisesti kitkaluokan 3 kohdalla, joka oikeastaan on juuri se kiinnostavin mittausalue.

Alin taulukkopari kuvaa tunnistustarkkuutta karkeutetulla kitkaluokituksella, missä kitkaluokat 1–3 on yhdistetty omaksi luokakseen ja kitkaluokat 4–5 omaksi luokakseen. Luokitus kuvaa laadunvalvontatilannetta, missä on keskeistä tietää, täyttyykö kitkavaatimus vai ei. Kummankin laitteen oikean luokituksen tunnistuskyky on yhtä suuri eli 83 %. Kitkapuutetta kuvaavan luokan tunnistuskyvyt olivat 88 % ja 85 % ja vastaavasti täyttyvän kitkaluokan tunnistuskyvyt olivat 82 % ja 83 %.

Päällysteiden laadunvalvonnan kannalta tärkeintä olisi tunnistaa kitkaluokat 2 ja 3 mahdollisimman hyvin. Kun tarkastellaan lukuja toisin päin eli kuinka monta prosenttia mittalaitteiden mittaamista puutteellisen kitkan kohdista on oikein (alimpien taulukoiden alin rivi), niin nähdään, että se on molemmilla mittauslaitteilla 54 %. Vastaavasti kun tarkastellaan hyväksyttävän kitkan aluetta, niin voidaan todeta, että mittalaitteiden tuottamista kitkaluokituksesta on 96–97 % oikein.

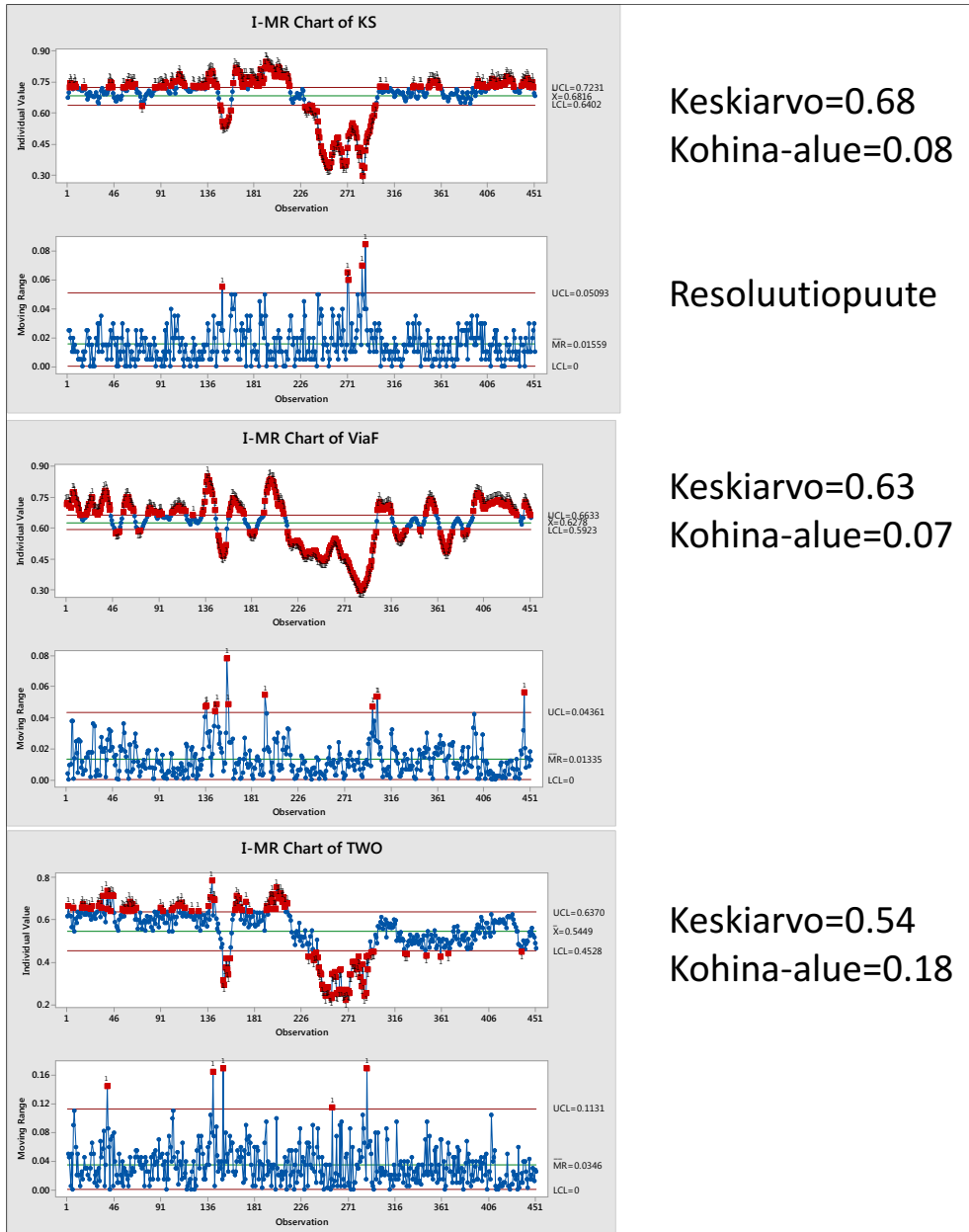
Taulukko 8. Yhteenveto kitkaluokkien löytymistarkkuudesta.

Mukana vt 2, mt 110 ja mt 1430													
Kitkaluokka	ViaFrictionin kitkaluokka					Yht.	Kitkaluokka	ViaFrictionin kitkaluokka					Yht.
	<0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	>0.6			1	2	3	4	5	
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
Kitka-Sisun kitkaluokka	1	5	84	44		1	1	100 %					100 %
	2					133	2	4 %	63 %	33 %			100 %
	3		58	83	35	178	3			47 %	20 %	1 %	100 %
	4		20	180	260	498	4		4 %	36 %	52 %	8 %	100 %
	5			32	224	804	5			4 %	28 %	68 %	100 %
Yhteensä	6	162	339	519	588	1614	Yhteensä	88 %		82 %		60 %	
Kitkaluokka	TWO:n kitkaluokka					Yht.	Kitkaluokka	TWO:n kitkaluokka					Yht.
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
Kitka-Sisun kitkaluokka	1					1	1	0 %	100 %				100 %
	2	19	47	66	1	133	2		35 %	50 %	0.8 %		100 %
	3	10	47	74	36	178	3		26 %	42 %	20 %	6 %	100 %
	4	1	15	142	251	498	4	0.2 %	3 %	29 %	50 %	18 %	100 %
	5			64	330	804	5			8 %	41 %	51 %	100 %
Yhteensä	30	110	346	618	510	1614	Yhteensä	85 %		83 %		48 %	
Kitkaluokka	ViaFrictionin kitkaluokka					Yht.	Kitkaluokka	TWO:n kitkaluokka					Yht.
	<0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	>0.6			1	2	3	4	5	
	1	2	3	4	5			1	2	3	4	5	
Kitka-Sisun kitkaluokka	1	88 %			12 %	100 %	1	85 %			15 %	100 %	
	2	18 %			82 %	100 %	2	17 %			83 %	100 %	
	3						3						
	4						4						
	5						5						
Oikein	54 %			97 %		83 %	Oikein	54 %			96 %		83 %

Luvut kuvaavat nyt urakoitsijan riskitasoa ja tilaajan riskitasoa. Ts. riski sille, että kitkatulos on luokiteltu urakoitsijan kannalta väärin, on $(100-54)=46\%$ ja riski sille, että se on luokiteltu tilaajan kannalta väärin $(100-96/97)=4\%$ tai 3% . On kuitenkin muistettava, että vertailu on tehty 1 metrin datalle. Vertailu on siinä mielessä haastava, että siihen vaikuttaa myös paikannuksen tarkkuus. Tuotantotilanteessa laitteissa olisi yhtenäiset tieosoitteen paikannusjärjestelmät, mikä parantaisi tulosten yhteneväisyyttä. Nyt mittauskertojen tuloksia ”justeerattiin” metrin intervaleihin parhaan kohdistuksen saavuttamiseksi. Kakkosuuntien tieosoitekirjauksissa saattoi olla eroavaisuuksia.

6.2.3 Kohinatarkastelu

Kohinatarkastelussa tehtiin kunkin mittauslaitteen VT 2 tuloksista normaalin ja erityisvaihtelun suhdetta kuvaavat I-MR-ohjauskortit, joissa ylemmässä kuvassa on mitaustulos, sen keskiarvo ja kohina-alueen rajat ja alemmassa kuvassa havainnolta toiselle vaihtelu (Kuva 42). Keskiarvoista nähdään laitteiden ko. kohteella tuottama kitkan tasoero ja normaalin vaihtelun rajoista ns. kohina-alue eli alue, jolla kitkatuloksessa ei ole käytännössä merkitsevää vaihtelua (informaatiota). Kitka-Sisun ja Via-Frictionin tuottamat keskiarvot olivat melko lähellä toisiaan ja kohina-alue oli pieni. TWO:n tuottamat tulokset olivat edellisiä selvästi matalammat ja kohina-alue suurempi. Kitka-Sisun alemmasta kuvasta nähdään lievä resoluutio-puute, eli tulos olisi saanut olla neljällä desimaalilla kolmen sijasta.



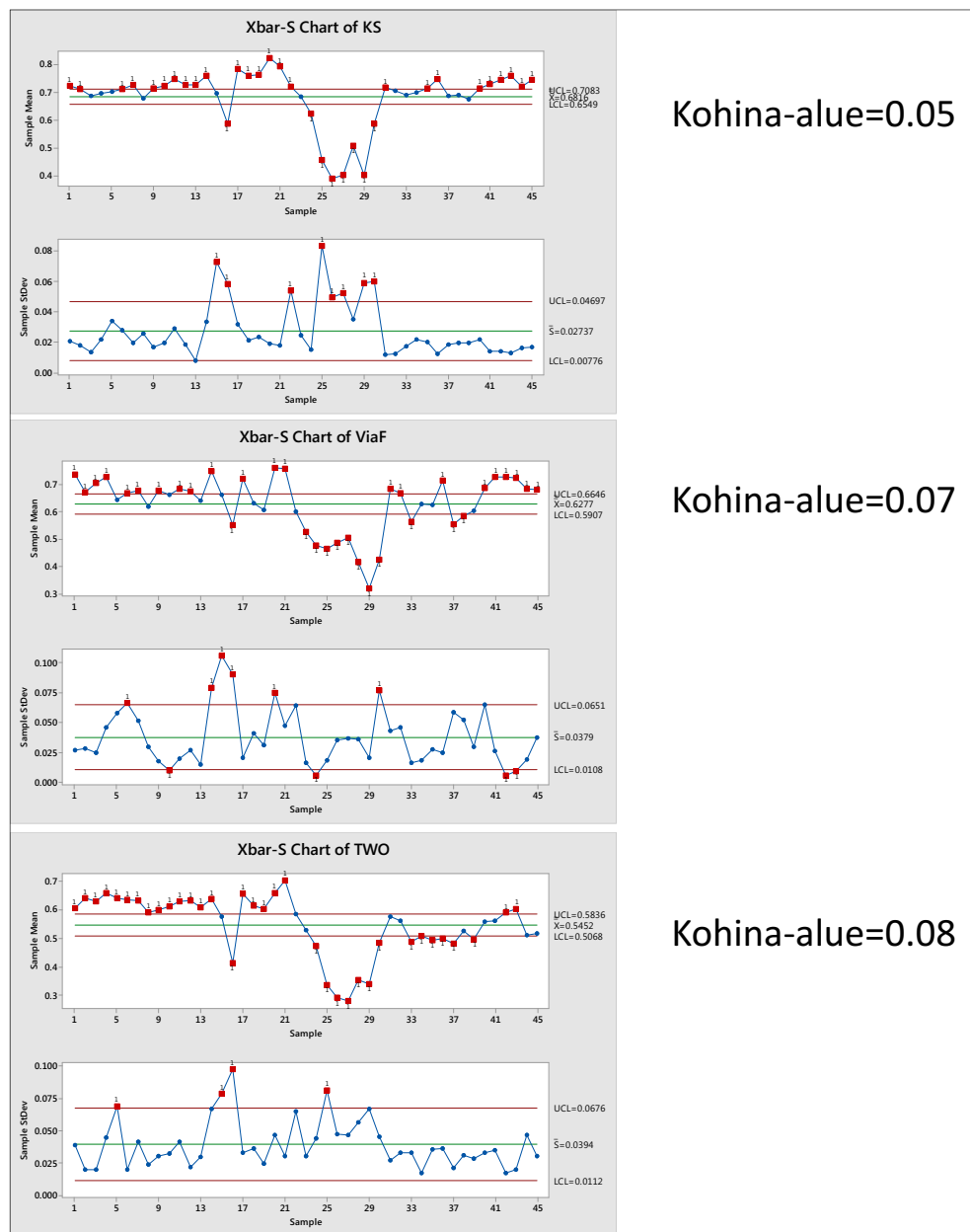
Kuva 42. Mittalaitteiden SPC-tarkastelu vt 2:n yhden metrin datalle. (KS=Kitka-Sisu, ViaF=ViaFriction).

Kuvassa 43 on tehty vastaava tarkastelu 10 metrin havainnoille. Tarkastelussa on nyt SPC:n X-S-kortti. Keskiarvot pysyvät luonnollisesti ennallaan, mutta kohina-alueet pienenevät. Kitka-Sisun kohina-alue pieneni 0,08:sta 0,05:een. Samalla poistui resoluutiopuute.

ViaFrictionin kohina-alue pysyi ennallaan. Tämä viittaa siihen, että laite kykenee yhden metrin välein tapahtuvaan mittaukseen eikä keskiarvoistaminen 10 metrin välein välttämättä ole tarpeen.

Pidemmästä tulostusvälistä oli eniten hyötyä TWO:n tuloksiin, koska kohina-alue pieneni (0,18->0,08) lähes muiden laitteiden kanssa samalle tasolle.

Tulos viittaa siihen, että mittauksen kohinatasa kannattaisi pienentää käsittelemällä yhden metrin tulosten sijasta 10 metrin tulostusväleille tuotettuja tuloksia.

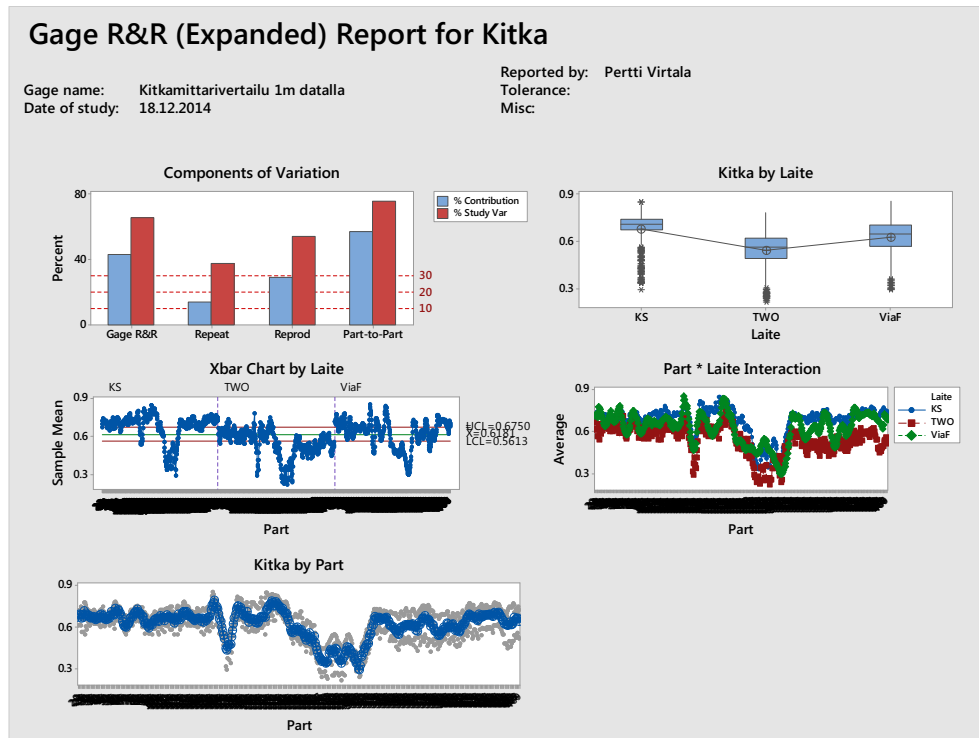


Kuva 43. Mittalaitteiden SPC-tarkastelu VT 2:n 10 m datalle (KS=Kitka-Sisu, ViaF=ViaFriction).

6.3 Toimivuus mittaajärjestelmänä

Mittalaitteiden tuottamille tuloksille tehtiin mittaajärjestelmän GageRR-toimivuusanalyysi. Mittaajärjestelmän toimivuusanalyysillä tutkittiin, toimisivatko tarkasteltavat laitteet yhtenä mittaajärjestelmänä. Toimivuusanalyysissä tehdään tulosten keskiarvojen varianssianalyysi sekä mittausepävarmuuden vertailu tulosten kokonaisvaihteluun. Varianssianalyysin tulos näkyy seuraavan kuvan oikeasta yläosasta, jossa nähdään laitteiden suuret tasoerot.

Hajontatarkastelussa mittausvirhettä suhteutetaan havainnolta havainnolle kokonaisvaihteluun ja niiden suhdeluku prosentteina kertoo mittaustarkkuuden. Vasemmassa yläosasta nähdään graafisesti, että GageRR-tunnusluku (GageRR %Study Var) ylittää raja-arvon 30 %, joka on tyypillinen hyväksymisraja. Laitteiden muodostama mittausjärjestelmä ei siis olisi saadun tuloksen mukaan (tasokorjaamattomana ja yhden metrin tulostusväleillä) toimiva.



Kuva 44. Mittausjärjestelmän toimivuusanalyysi Gage-RR valtatie 2:lla yhden metrin tuloksille.

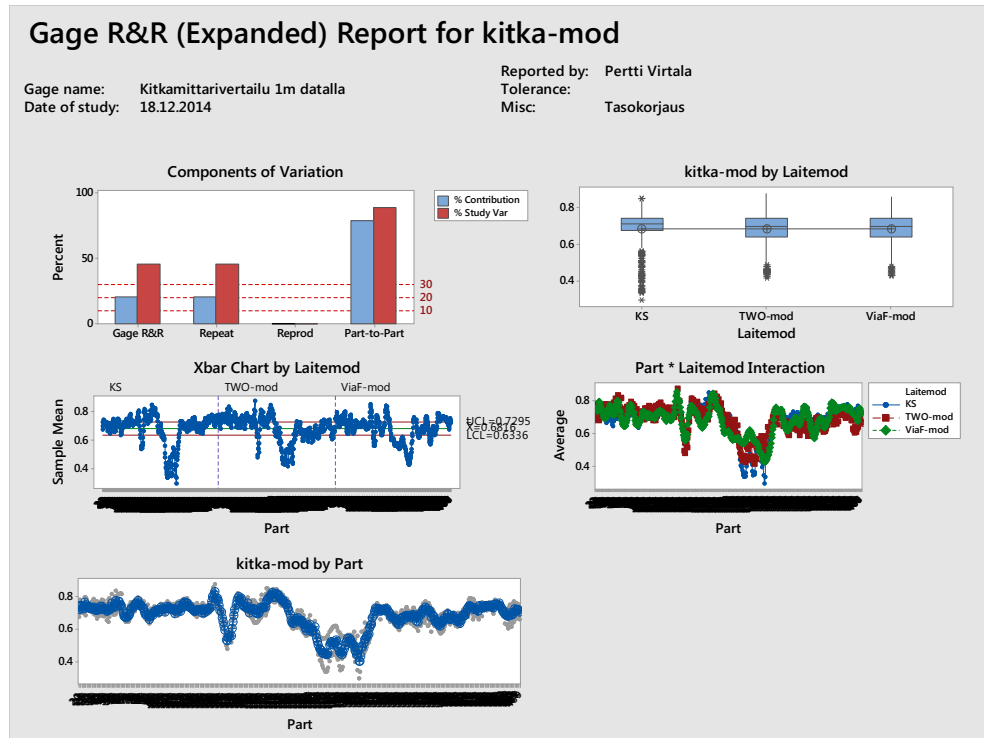
Mittausjärjestelmän toimivuusanalyysiä parannettiin kahdessa eri vaiheessa. Ensintehettiin uusi toimivuusanalyysi tasokorjatuille tuloksille. ViaFrictionin ja TWO:n tulokset korjattiin vastaamaan KS:n tuloksia regressioanalyysistä saatujen korjauskaavojen avulla. Regressioanalyysistä saadut kaavat olivat seuraavat:

$$\begin{aligned} \text{KS} &= 0.1997 + 0.7677 \text{ ViaF} && (R^2=63\%) \\ \text{KS} &= 0.2394 + 0.8110 \text{ TWO} && (R^2=71\%) \end{aligned}$$

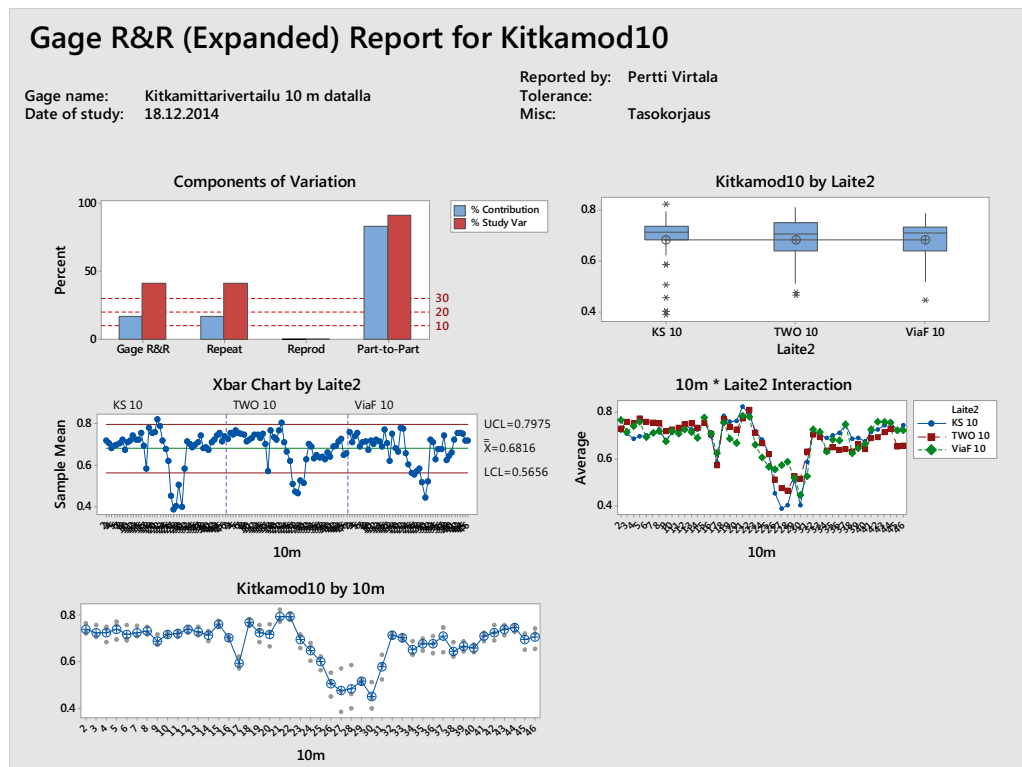
Uusi GageRR-analyysi tuotti kuvan 45 mukaisen tuloksen, jonka pääviesti on, että varianssianalyysin mukaan laitteiden tuloksilla ei ole enää tasoeroa, kuten kuuluu olla. Suhteellista hajontaa kuvaava GageRR-tunnusluvun arvokin hiukan parani, muttei riittävästi. Laitteiden muodostama mittausjärjestelmä ei edelleenkään ole toimintakykyinen. Keskinäistä vaihtelua on yhden metrin tarkastelutasolla liian paljon.

Kolmannessa GageRR-analyysissä tarkasteltiin tasokorjattuja 10 m tuloksia kuvassa 46. GageRR-tunnusluku parani jälleen hiukan, mutta jäi silti hyväksyttävyyssrajasta. GageRR-analyysi on melko kriittinen analyysi ja sopii parhaiten sellaisiin tilanteisiin, joissa tarkastellaan samanlaisista laitteista koostuvaa mittausjärjestelmää. 30 % raja-arvo suhteelliselle mittauserävarmuudelle vastaa viiden luokan erottelutarkkuutta. Gage-analyysin perusteella voidaan todeta, että kun tarkastellaan tasokorjattuja kymmenen metrin tuloksia, kaikkien laitteiden muodostama mittausjärjestelmä pysyy luokittelemaan kitkan kolmeen eri luokkaan, missä alempi luokkaraja on enintään

0,56 ja ylempi luokkaraja vähintään 0,80. Uusien päällysteiden laadunvalvontaan soveltaen voidaan sanoa, että mittarit pystyvät erottelemaan kohdat, joiden kitka on alle 0,5.



Kuva 45. Mittausjärjestelmän toimivuusanalyysi Gage-RR valtatie 2:lla tasokorjatuille yhden metrin tuloksille.



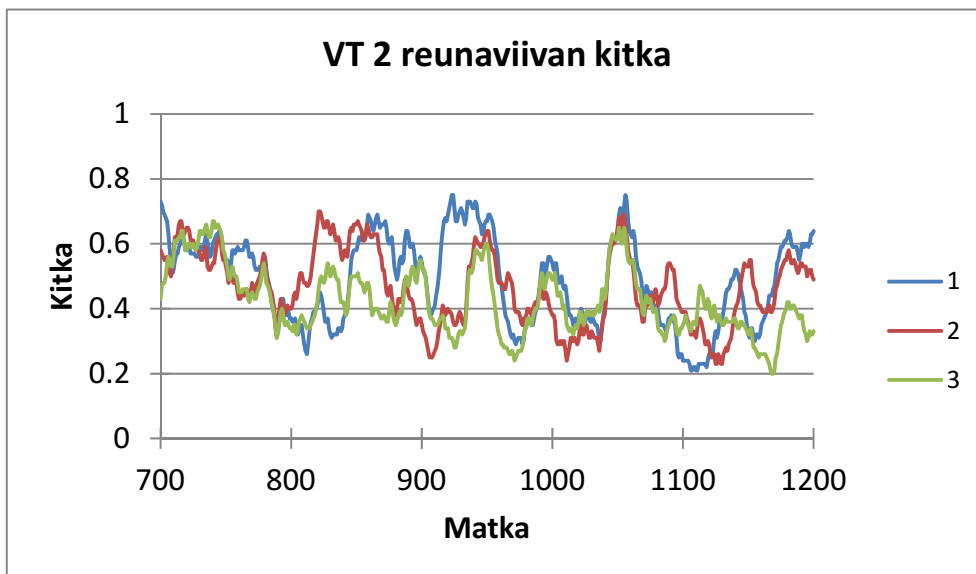
Kuva 46. Mittausjärjestelmän toimivuusanalyysi Gage-RR valtatie 2:lla tasokorjatuille 10 m tuloksille.

7 Reunaviivan kitkan mittaustarkkuus

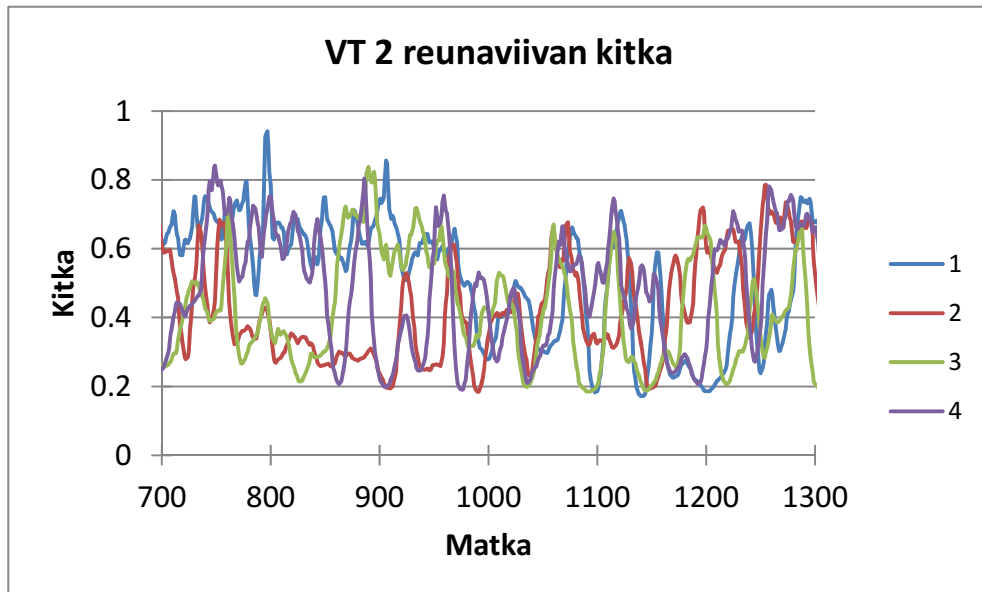
Reunaviivan kitkaa mitattiin valtateillä 2 ja 7, koska niillä oli leveimmät viivat ja pien-tareet eikä viivojen kohdalla ollut tärinäraitoja. Kuvissa 47–49 on esitetty kullakin mittalaitteella mitattuja oikean reunaviivan kitkatuloksia valtatiellä 2. Tuloksia ei ole kohdistettu samoille paaluille kitkaprofiilien perusteella, koska se oli vaihtelevien kitkaprofiilien takia hankalaa. Kitka-Sisun kitkatulokset vaihtelivat välillä 0,2–0,75. Matalan kitkan kohdat lienevät reunaviivan kohdalta ja korkeammat sen ulkopuolelta. Kun kitkaksi arvioidaan viivan kohdalla alle 0,30 olevat lukemat, sen perusteella voidaan päätellä, että mittapyörä on ollut viivan päällä noin 20 % ajasta. Viivan päällä ajaminen on siten erittäin haastavaa.

ViaFrictionilla mitattaessa reunaviivan kitka vaihteli välillä 0,2–0,9. Kitkaprofiilista on nähtävissä, että kitkan ollessa noin 0,2–0,3 kitkapyörä on ollut viivan päällä ja muulloin viivan ulkopuolella. Eri ajokerroilla on onnistuttu ajamaan viivan päällä eri kohdissa. Kuvasta on nähtävissä, että kitkanmittauspyörän sijaitessa ajoneuvon takana sen sivusuuntaista sijaintia on vaikea hallita.

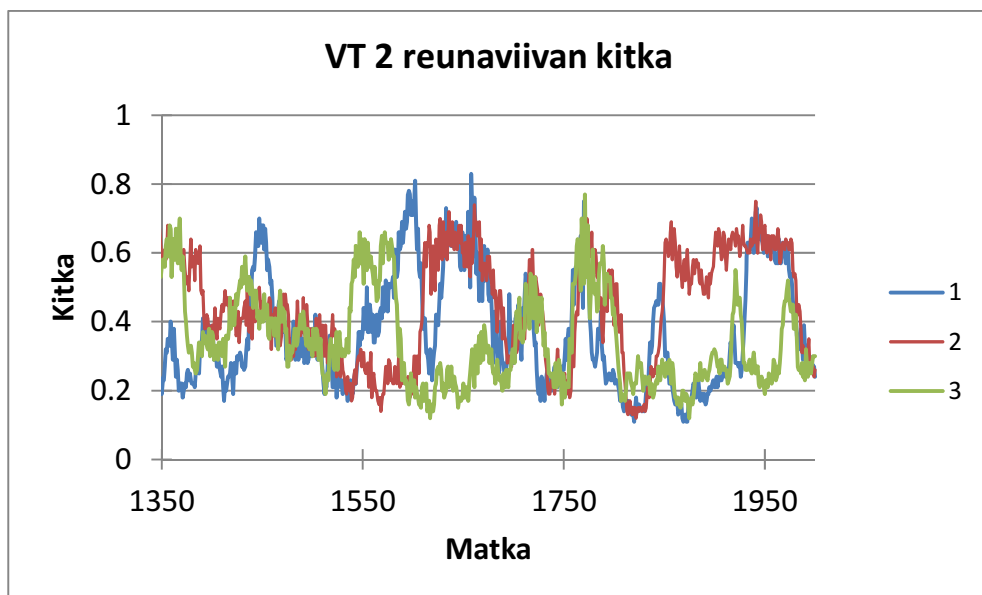
TWO:lla kitka vaihteli välillä 0,1–0,8. Kitkataso oli alimmillaan matalampi kuin muilla mittareilla. Viivan päällä pysyminen on ollut aiempien testien tapaan hankalaa.



Kuva 47. Reunaviivan kitkamittaukset valtatie 2:lla (Kitka-Sisu).



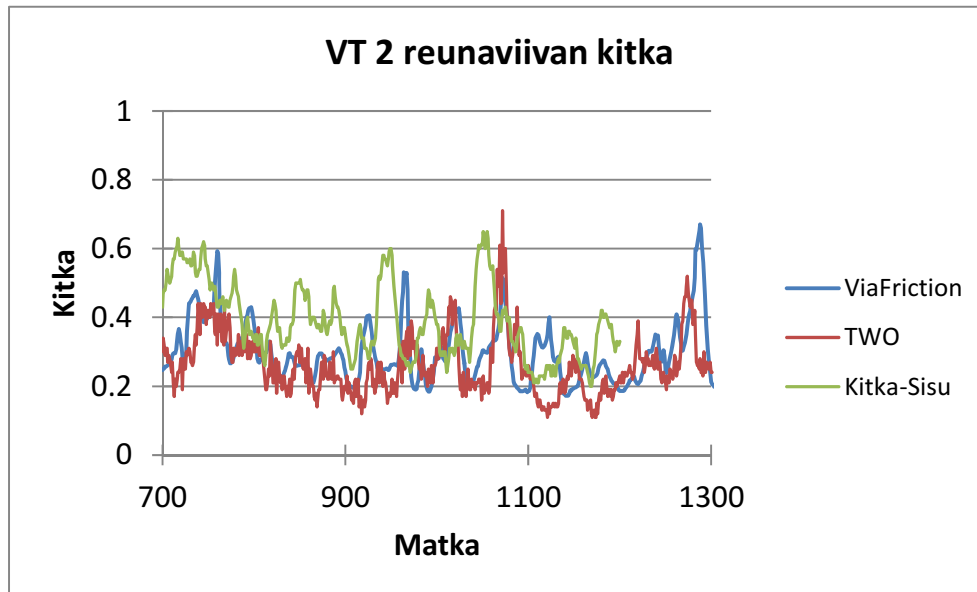
Kuva 48. Reunaviivan kitkamittaukset valtatiellä 2 ViaFrictionilla.



Kuva 49. Reunaviivan kitkamittaukset valtatiellä 2 TWO:lla.

Kuvassa 50 on esitetty mittalaitteiden eri mittauskerroista lasketut minimiarvot valtatie 2 kohteella. Mittausten paalulukemia ei ole kohdistettu samoihin kohtiin. Kuvan käyrät kuvaavat tilannetta, missä yritettäisiin mitata reunaviivan kitkaa ottamalla useammasta mittauksesta minimiarvo. Kuvasta voitaneen tehdä sellainen johtopäätös, ettei kolme mittauskertaa taida täysin riittää reunaviivan virheettömän kitkaprofiilin tuottamiseen vaan mittauskertoja tarvittaisiin enemmän. Reunaviivan mittaaminen on haastavaa.

Kuvasta on nähtävissä että mittalaitteet tuottivat erisuuruisia kitka-arvoja. Toisaalta ei voida kuitenkaan tehdä johtopäätöksiä tasoeroista, koska niihin vaikutti enemmän se miten hyvin viivan päällä onnistuttiin ajamaan.



Kuva 50. Reunaviivan kitkan minimiarvot mittalaitteittain valtatiellä 2. Matkaa ei ole kohdistettu samoille kohdille.

8 Massamerkinnän kitkan mittaustarkkuus

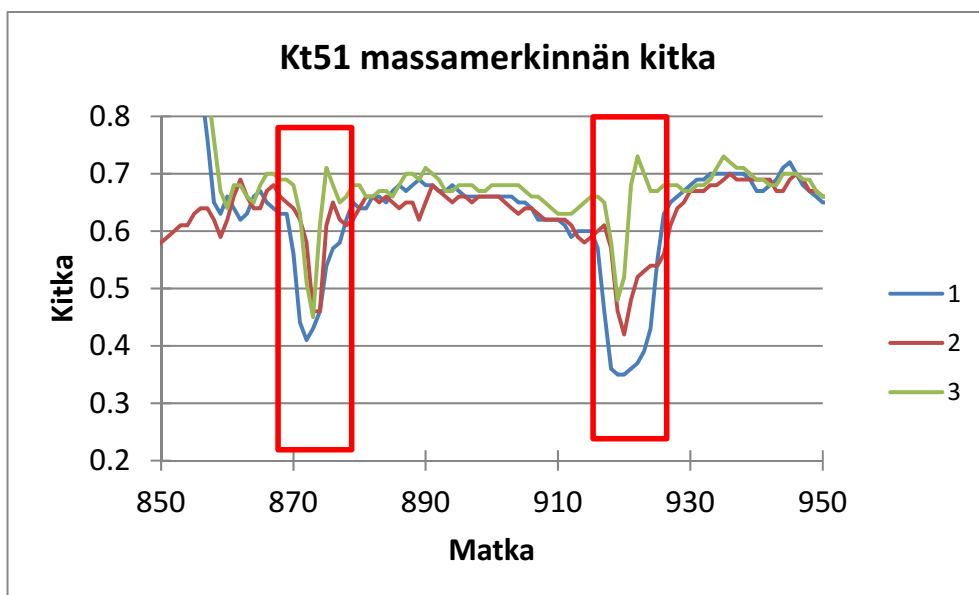
Massamerkinnän kitkaa mitattiin kantatiellä 51 sijaitsevalla kohteella, jossa oli kaksi merkintäkohtaa. ViaFrictionilla tehtiin 6 mittausa ja muilla mittalaitteilla kolme. Mittauksia ei kohdistettu pituussuunnassa kohdalleen samalla tavalla kuten tehtiin päällysteiden kitkavertailussa. Eri laitteilla paaluluvut myös vaihtelivat sen mukaan, mikä pituisia mittauksia kullakin laitteilla tehtiin. Mittaukset ovat kuitenkin fyysisesti samoista kohdista.

Mittausten onnistumista tarkasteltiin ainoastaan graafisesti. Kaikilla mittalaitteilla erottuvat massamerkintäkohdat muuta päällystettä alhaisempina kitka-arvoina. Massamerkinnät sijoittuvat noin 50 m etäisyydelle toisistaan. Kitka-Sisulla merkinnän 1 kitka vaihteli eri mittauskerroilla välillä 0,40–0,45 ja merkinnän 2 kitka vaihteli välillä 0,35–0,48.

ViaFrictionilla vastaavien kohtien kitka vaihteli merkinnän 1 kohdalla välillä 0,25–0,55 ja toisen merkinnän kohdalla välillä 0,35–0,48.

TWO:lla vastaavien kohtien kitka vaihteli vähiten eli ensimmäisen kohdan kitka vaihteli välillä 0,18–0,30 ja toisen merkinnän kohdalla välillä 0,15–0,35. Massamerkinnän kitka oli alhaisin TWO:lla mitattuna.

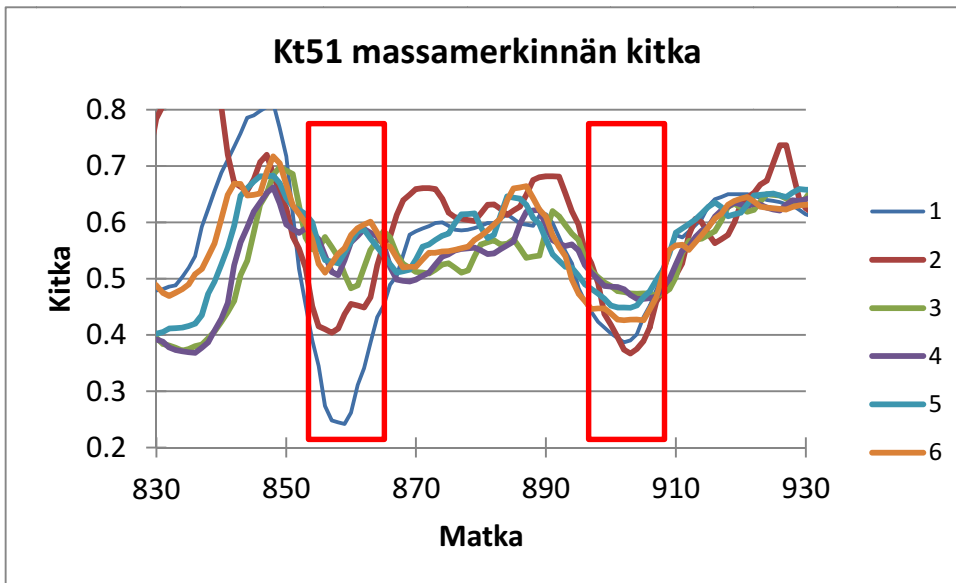
Graafisesti tarkasteltuna massamerkinnän kitkatulokset vaihtelevat mittauskertojen välillä vähiten juuri TWO:lla mitattuna. Vastaavasti eniten massamerkinnän kitka vaihteli ViaFrictionilla mitattuna (tosin mittauskertoja oli enemmän kuin muilla). TWO:n tuloksista pystyi päättelemään, että kummankin massamerkinnän pituus oli noin 7 metriä.



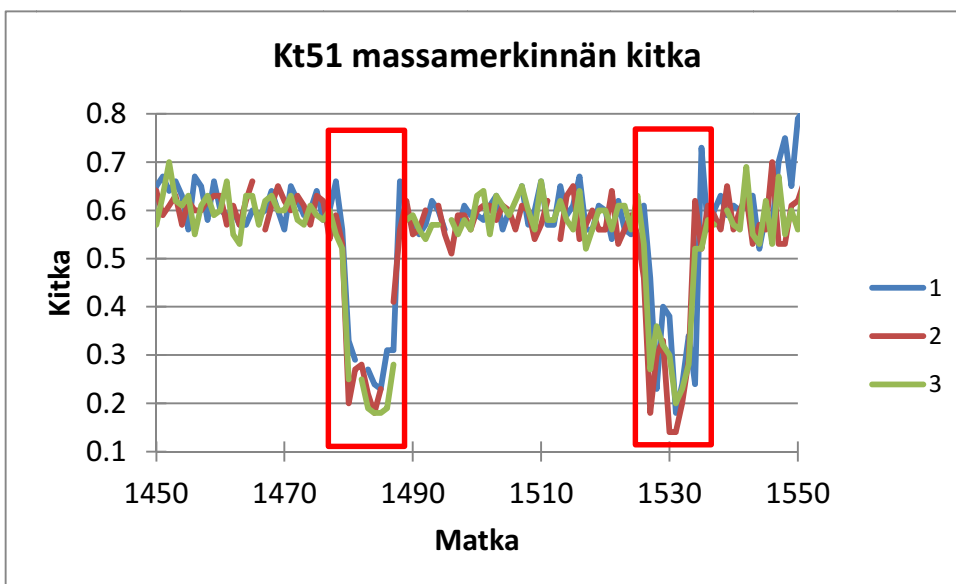
Kuva 51. Kitka-Sisulla mitattu massamerkinnän kitka kantatiellä 51 kohdissa 870–880 ja 915–925.



Kuva 52. Massamerkintäkohdat KT 51:llä.



Kuva 53. ViaFrictionilla mitattu massamerkinnän kitka kantatiellä 51 kohdissa 855–865 ja 900–910.



Kuva 54. TWO:lla mitattu massamerkinnän kitka kantatiellä 51 kohdissa 1480–1490 ja 1525–1535.

9 Yhteenveto ja johtopäätökset

9.1 Päällysteen kitka ajourissa

Päällysteen kitkaa mitattiin kolmella eri laitteella, joita olivat Kitka-Sisu, ViaFriction ja TWO. Mittauskohteiksi valittiin uudelleenpäällystettyjä kohteita pääkaupunkiseudun läheisyydestä. Kohteina oli kuusi SMA-päällystettyä kohdetta ja kuusi AB-päällystettyä kohdetta. Päällysteiden maksimirakoko vaihteli välillä 16–18 mm. Päällystystoimenpiteet olivat REM ja MPKJ. Yhdellä kohteella oli nopeusrajoitus 120 km/h, yhdellä 100 km/h ja muilla 80 km/h tai alempi.

Päällysteen kitkaa mitattiin kullakin kohteella vähintään kolme kertaa. Lisäksi ajettiin yksi pitkä mittaus niin pitkälle kuin säiliöissä oleva vesi riitti. Reunaviivoja mitattiin niissä kohteissa, joissa niitä pystyttiin mittaamaan. Massamerkintäkohteita oli yksi.

Tavoitteena oli vertailla kahta norjalaisvalmisteista mittauslaitetta Suomessa referenssilaitteena pidettävään VTT:n valmistamaan Kitka-Sisuun. Vertailulla haettiin vastausta siihen kysymykseen, soveltuvatko uutta mittaustekniikkaa omaavat kitkanmittauslaitteet päällysteiden laadunvalvonnan tarpeisiin. Laadunvalvonnassa on tarve pystyä selvittämään sellaiset kohdat, joilla uuden päällysteen kitka ei täytä laatuvaatimuksia, jotka ovat suuren nopeuden (>80 km/h) teillä 0,5 ja pienemmän nopeuden (<=80 km/h) teillä 0,4. Laatuvaatimus on asetettu Kitka-Sisun mittaamalle sivukitkalle. ViaFriction ja TWO mittaavat jarrutuskitkaa.

Päällysteen ja renkaan välinen kesäkelin sivukitka on tyypillisesti välillä 0,3–0,9. Normaali kitka on noin 0,6–0,8. Uusilla päällysteillä tapahtuu bitumin pintaan nousua, joka alentaa kitkaa alle 0,5 ja edellyttää päällysteen karkeuttamista.

Vertailussa tarkasteltiin ensin laitteiden toistettavuutta. Toistettavuutta arvioitiin mittausparien välisten korrelaatioiden sekä kitkaprofiilien avulla. Mittaukset sovittiin ensin profiilien perusteella samoille kohdille, koska mittauskohdat eivät välttämättä alkaneet eri mittauskerroilla samoilta kohdilta. Näin varmistuttiin siitä, että toistettavuutta todella arvioidaan mittaustulosten eikä matkasiirtymien perusteella. Pääosalla kohteista oli selkeä tunnistettava kitkaprofiili, jonka perusteella sovittaminen voitiin tehdä. Kahden kohteen osalta siinä kuitenkin oli hankaluuksia.

Kitka-Sisu oli toistettavuudeltaan paras niin kuin referenssilaitteen kuuluukin olla. Toistettavuuden korrelaatiot vaihtelivat hyvin onnistuneilla kohteilla 80–90 %:n tunnustuksessa. Osalla kohteista toistettavuuden korrelaatiot olivat alhaisempia 60–70 %. Oli myös sellaisia kohteita, joilla toistettavuuden korrelaatiot olivat heikkoja, alle 50 %. Korrelaatiot olivat yleensä korkeita sellaisilla kohteilla, joilla kitka vaihteli paljon.

ViaFriction oli toistettavuudeltaan toiseksi paras. Toistojen korrelaatiot olivat lähes yhtä hyviä kuin Kitka-Sisulla, mutta oli myös kohteita, joilla se oli matala. SPC-tarkastelussa ViaFriction laitteella oli metritason tarkastelussa alhaisin kohina. ViaFrictionin kitkaprofiili näytti hyvin todenmukaiselta.

TWO oli toistettavuudeltaan joillakin kohteilla hyvä, mutta oli myös sellaisia kohteita, joilla se oli matala. TWO:n kitkan arvoalue oli suuri eli sillä mitattiin korkeimmat ja matalimmat arvot. TWO:n mittausmekanismi näytti tuottavan eniten kohinaa eli edes taas sahaavaa tulosta, joka vuorotteli metri metrillä. Vuorottelevan tuloksen arvioidaan liittyvän ilmiöön, missä pyöräpainot tai voimat tavalla tai toisella värähtelevät. Vuorotteleva tulos oli selvästi havaittavissa kitkaprofiileissa. Se todettiin myös tilastollisesti SPC-tarkastelussa X-IM-korteilla. Kohinaa saatiin pienennettyä siirtymällä 10 m tulostusväleihin. TWO ja ViaFriction korreloivat joillakin kohteilla paremmin toisiinsa nähden kuin referenssiin nähden.

Vertailtavien laitteiden kohdistuvuutta tarkasteltiin suhteessa referenssilaitteeseen. Kummatkin laitteet tuottivat alhaisempia kitka-arvoja kuin referenssilaitte. Vertailtaville laitteille oli mahdollista laskea tasonnostoon tarvittava korjauskaava, jonka selitysteoriasta oli kohtalaisen hyvä. Ongelmaksi muodostui kuitenkin se, että melkein jokaiselle kohteelle olisi tarvittu oma korjauskaava. ViaFriction tuotti 2–10 % pienempiä tuloksia kuin referenssilaitte. TWO-laite tuotti noin 1–20 % pienempiä tuloksia kuin referenssilaitte. Sen tasonnostoon pätee sama mitä edellä todettiin ViaFrictionista. Maantiellä 1403 ViaFriction tuotti vain vajaa 2 % pienempiä tuloksia kuin referenssilaitte. TWO pääsi yhtä lähelle referenssilaitetta maantiellä 1430.

Kaikkia kolmea kitkamittaria tarkasteltiin kokonaisuutena mittausjärjestelmän toimivuusanalyysillä. Siinä todettiin, että laitteet eivät ole yhdessä toimiva kokonaisuus, jos tasoeroja ei korjattaisi ja tuloksia käytettäisiin metritasolla. Jos mittareiden väliset tasoerot korjataan ja tulostusväliä kasvatetaan 10 metriin, niin ne toimisivat juuri ja juuri kokonaisuutena mittausjärjestelmänä tuottaen mitattavalle kitkalle luokituskvyn kolmeen eri luokkaan.

Voidaanko vertailtavia laitteita käyttää laadunvarmistuksessa, on kysymys, jolle haettiin vastausta. Molemmat vertailussa olleet laitteet olivat hyvin toimivia ja niillä pystyttiin tekemään mittaukset sujuvasti ilman ongelmia. Laitteiden toistettavuus oli välillä hyvä, mutta välillä taas huonompi. Laitteiden potentiaali vaikutti lupaavalta. Laadunvalvonnassa mittauksia kannattanee aina tehdä useita, jolloin varmistutaan toistettavuudesta ja pystytään eliminoimaan se virhekomponentti tuloksista pois. Laitteet oli rakennettu siten, että niillä oli luontevaa mitata vasenta ajouraa. Mikään ei estä täydentämästä niitä niin, että mitataan kumpaakin ajouraa yhtä aikaa. ViaFrictionista on olemassa sellainen versio, jossa on kolme mittaavaa kitkamittauspyörää. Se ei ollut käytettävissä tämän vertailun mittauksissa.

Nykyinen kitkan laatuvaatimus on asetettu moottoripyöräilijän kannalta kriittiseen tilanteeseen eli siihen kohtaan, jossa kohteen liukkain kohta on eli yleensä ajourien välissä. Kitkamittauksessa on siis löydettävä juuri liukkain kohta. Sen takia mittauksia pyöriä saisi olla tien poikkisuunnassa useita.

Kun referenssilaitteen tuloksia pidetään tosimitana, niin ViaFrictionilla pystyttiin luokittelemaan kitkaltaan puutteelliset päällysteen kohdat VT2:lla 88 %:sti oikein. Toisinpäin tarkasteltuna ViaFrictionilla mitattu kitkapuute oli 54 %:n todennäköisyydellä oikein. TWO:lla pystyttiin mittaamaan samalla kohteella kitkapuute 85 % todennäköisyydellä oikein. Toisinpäin käännettynä TWO:lla mitattu kitkapuute on 54 %:n todennäköisyydellä oikein. Tulos riippuu siitä jaetaanko oikein luokitettuna metrimäärä vertailulaitteen kitkapuutteellisten määrällä vai referenssilaitteen kitkapuutteellisten määrällä. Asia selkenee tarkastelemalla taulukkoa 8.

9.2 Reunaviivan kitka

Reunaviivan kitkaa mitattiin valtateillä 2 ja 7, koska niillä oli leveimmät viivat ja pienetareet eikä viivojen kohdalla ollut tärinäraitoja. Kitka-Sisun kitkatulokset vaihtelivat välillä 0,2–0,75. Reunaviivan kitkan mittaamisessa oli haasteena saada pidettyä mitaava pyörä viivan kohdalla. Tuloksista nähtiin, että se onnistui vain vaihtelevasti.

ViaFrictionilla mitattaessa reunaviivan kitka vaihteli välillä 0,2–0,9. Eri ajokerroilla on onnistuttu ajamaan viivan päällä eri kohdissa. Kuvasta on nähtävissä, että kitkanmittauspyörän sijaitessa ajoneuvon takana sen sivusuuntaista sijaintia on vaikea hallita.

TWO:lla kitka vaihteli välillä 0,1–0,8. Kitkataso oli alimmillaan matalampi kuin muilla mittareilla. Viivan päällä pysyminen on ollut aiempien testien tapaan hankalaa.

Yhteenvetona todetaan, että viivan kitkaa pystytään mittaamaan, mutta mittaus on hankalaa. Viivan päällä on vaikea pysyä. Viivan päältä mitattava kitkatulos olisi luotettavampi jos mittauksia tehtäisiin useita kertoja ja otettaisiin niistä aina pienin tulos kullekin kohdalle. Esimerkiksi kolme mittauskertaa ei kuitenkaan riittänyt täydellisen tuloksen saamiseen.

9.3 Massamerkinnän kitka

Massamerkinnän kitkaa mitattiin kantatiellä 51 sijaitsevalla kohteella, jossa oli kaksi merkintäkohtaa. ViaFrictionilla tehtiin 6 mittausta ja muilla mittalaitteilla kolme.

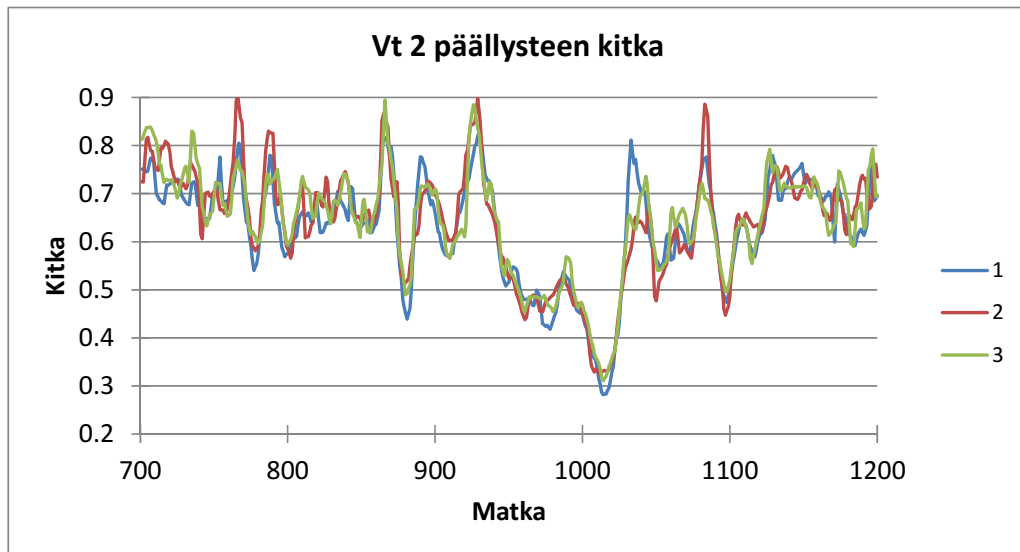
Mittausten onnistumista tarkasteltiin graafisesti. Kaikilla mittalaitteilla erottuvat massamerkintäkohdat muuta päällystettä alhaisempina kitka-arvoina. Massamerkinnot sijoittuvat noin 50 m etäisyydelle toisistaan. Kitka-Sisulla kitka vaihteli eri mittauskerroilla välillä 0,35–0,48. ViaFrictionilla vastaavien kohtien kitka vaihteli välillä 0,25–0,55.

TWO:lla vastaavien kohtien kitka vaihteli välillä 0,15–0,35. Massamerkinnän kitka oli alhaisin TWO:lla mitattuna. Massamerkinnän kitka oli helpommin mitattavissa kuin reunaviivan kitka.

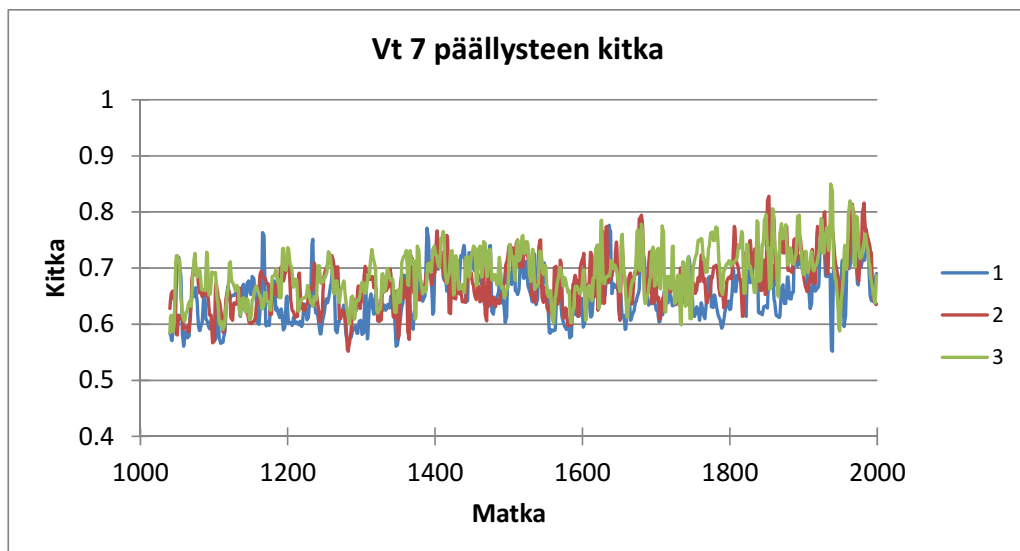
Lähdeluettelo

1. Asfalttinormit 2011. Päällystealan neuvottelukunta, PANK ry.
2. Virtala, Pertti 2008: Kitkamittareiden mittaustarkkuuden vertailu. Tiehallinto. Tiehallinnon sisäisiä julkaisuja 28/2008. 76 s.+liitt.
3. Laukkanen, Kyösti 2008: Sulan kelin kitkamittausten kehittäminen ja kitkamittarein vertailu. Tutkimusselostus VTT-S-0369508.
4. Malmivuo, Mikko 2011: Tien pinnan kitkan mittaamisen kehittäminen Suomessa. Esitutkimus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 14/2011.
5. ViaFriction kitkanmittausjärjestelmä. ViaTech AS. Norway.

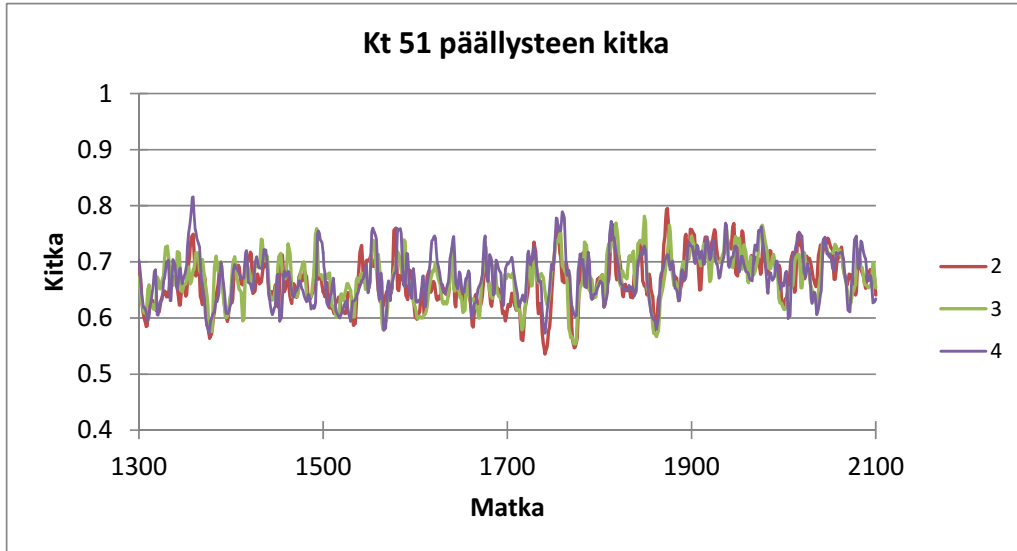
ViaFrictionin kitkaprofiilit



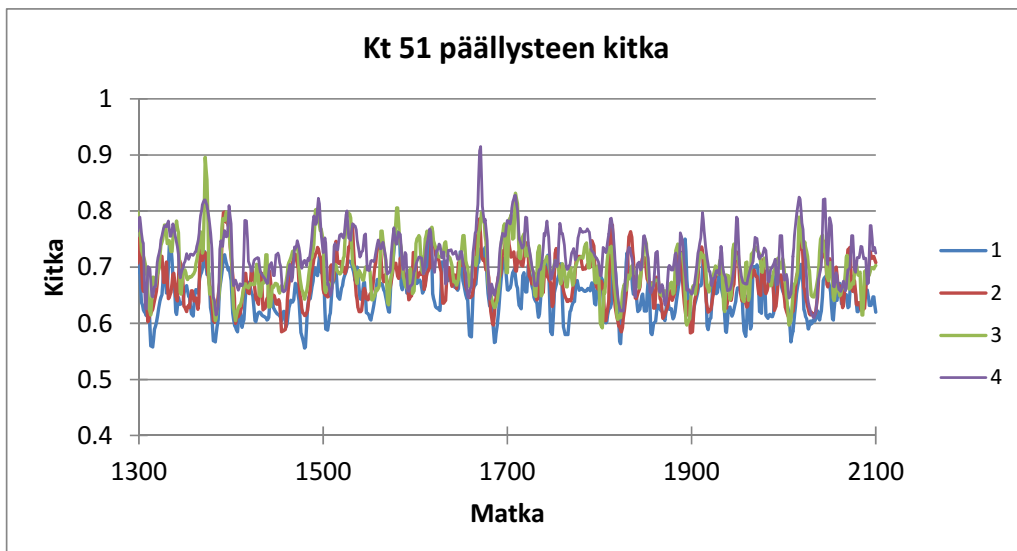
Kuva 55. Valtatien 2 suunnan 1 tieosan 2 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1200.



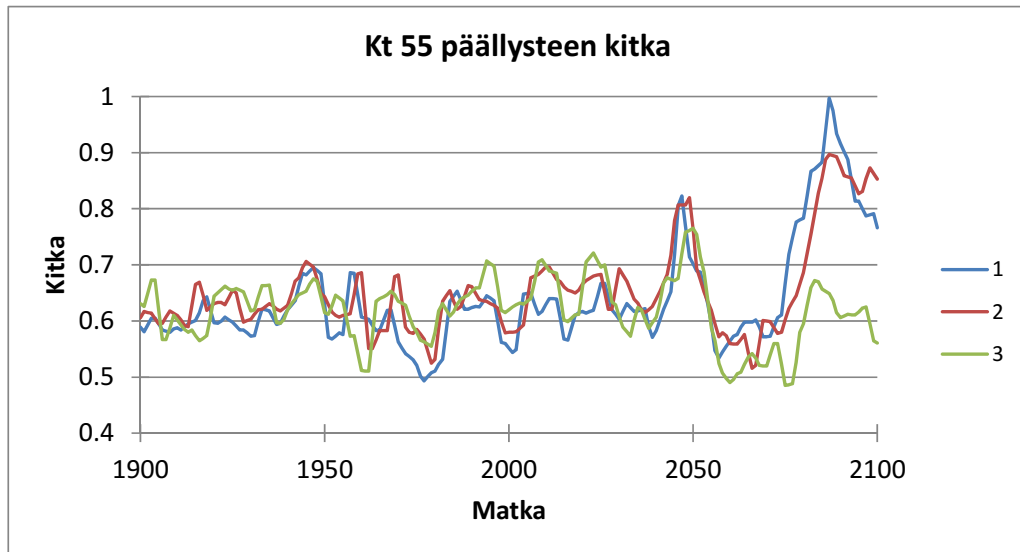
Kuva 56. Valtatien 7 suunnan 1 tieosan 4 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 1000–2000.



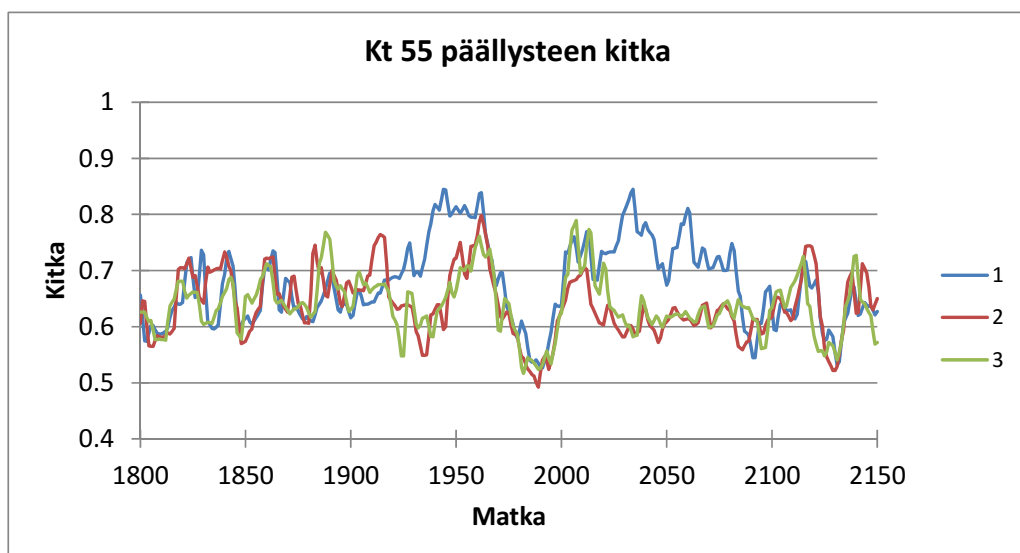
Kuva 57. Kantatien 51 suunnan 1 tieosan 9 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 1300–2100.



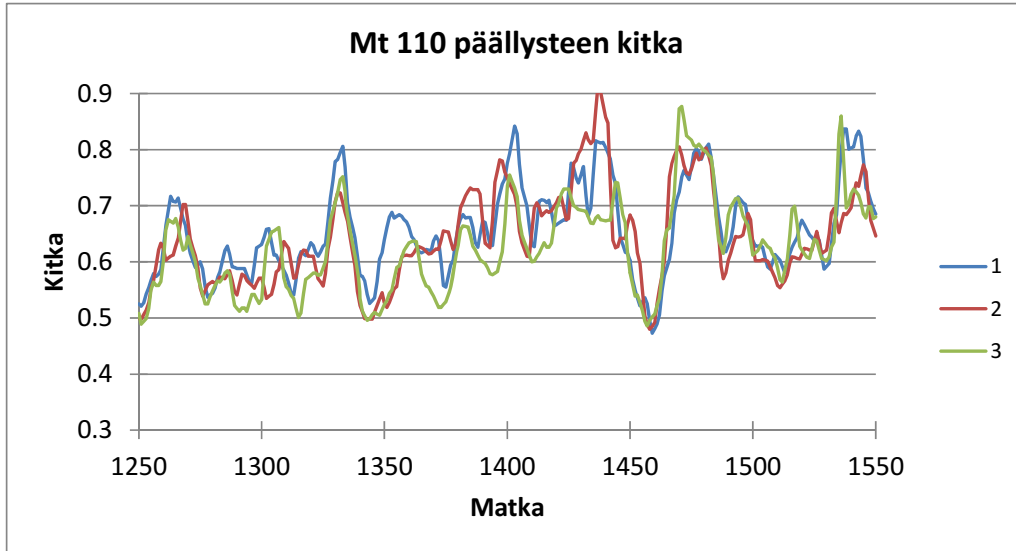
Kuva 58. Kantatien 51 suunnan 2 tieosan 9 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 1300–2100.



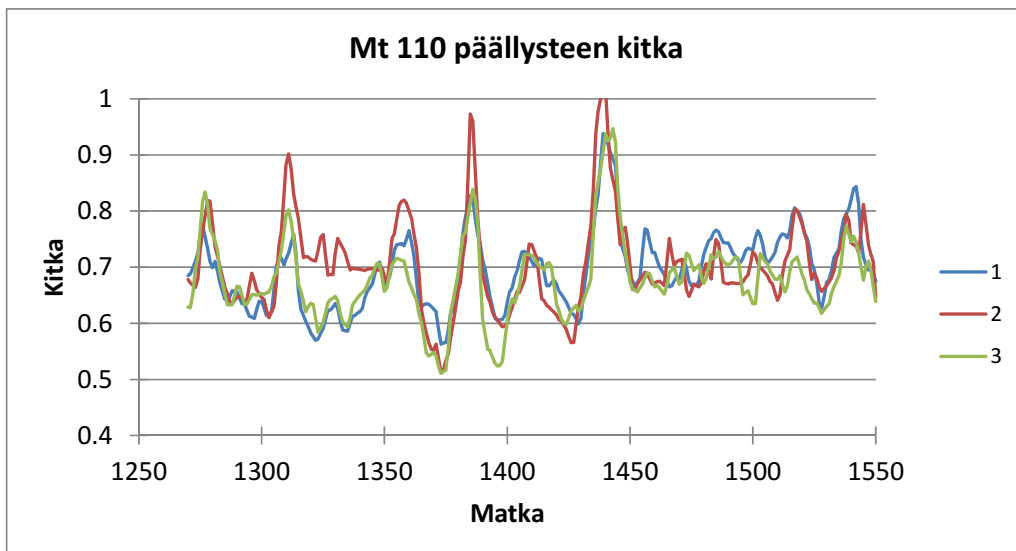
Kuva 59. Kantatien 55 suunnan 1 tieosan 1 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 1900–2100.



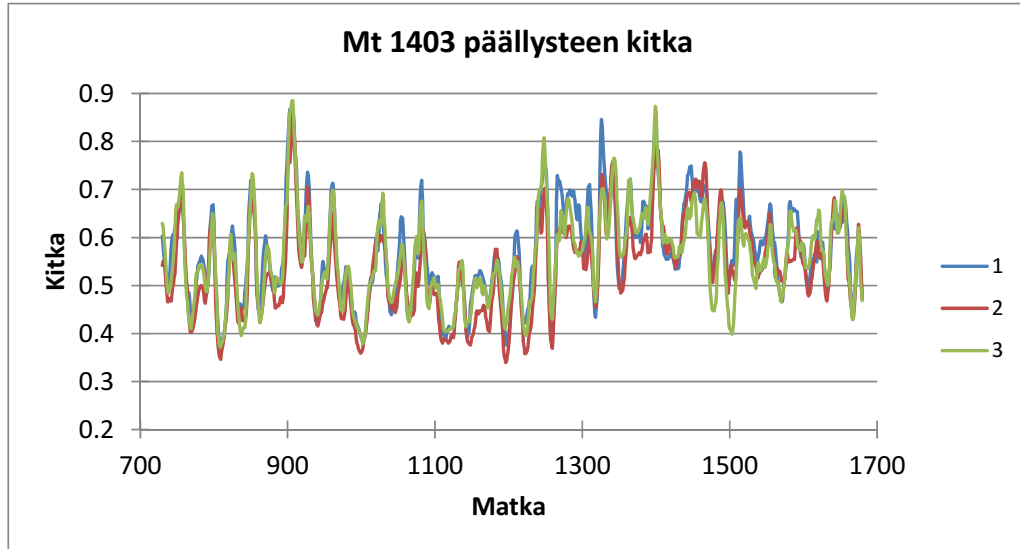
Kuva 60. Kantatien 55 suunnan 2 tieosan 1 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 1800–2150.



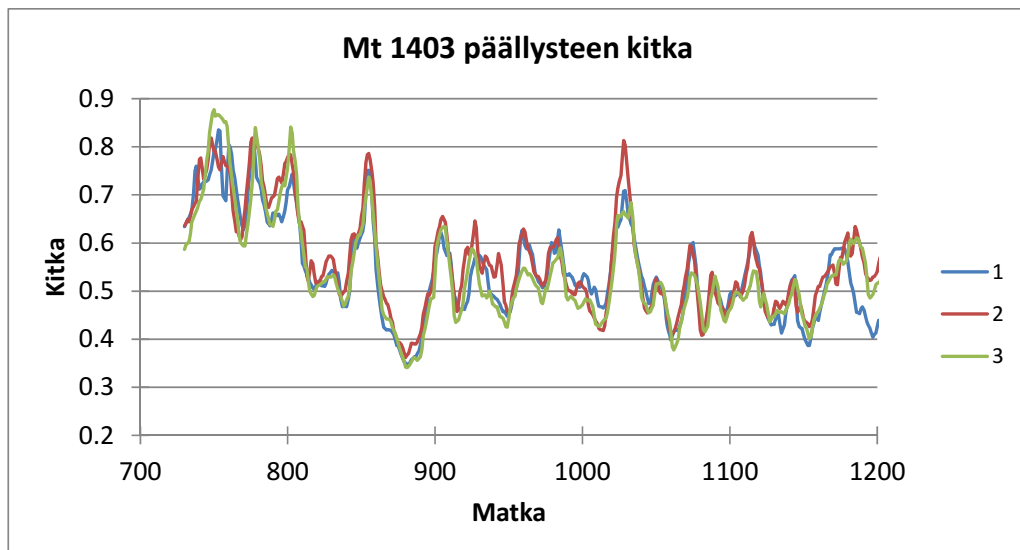
Kuva 61. Maantien 110 suunnan 1 tieosan 7 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 1250–1550.



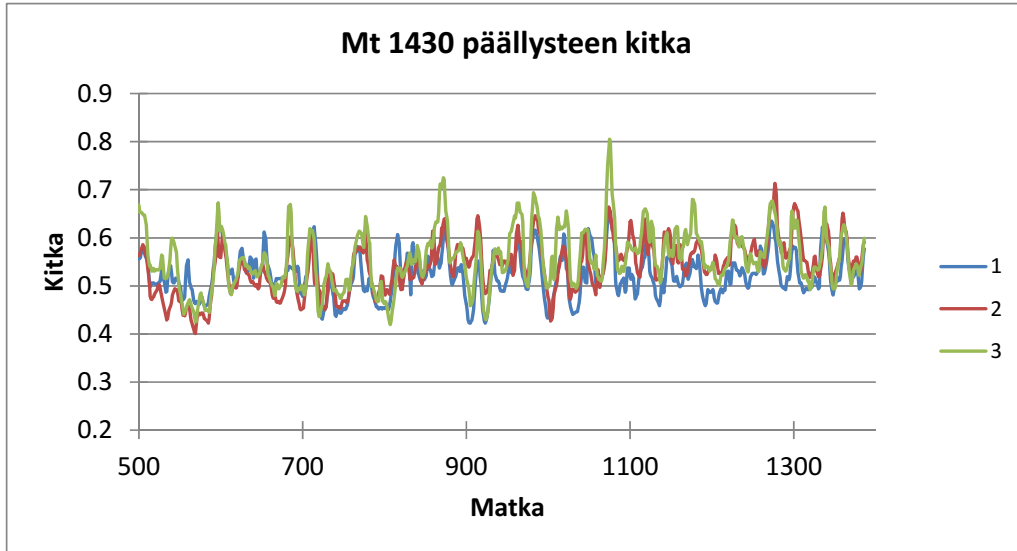
Kuva 62. Maantien 110 suunnan 2 tieosan 7 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 1250–1550.



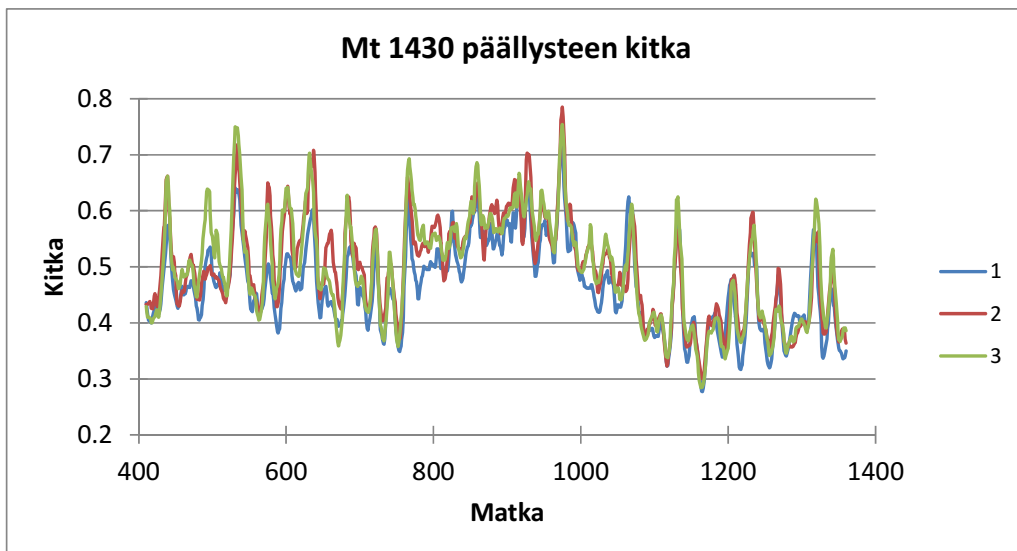
Kuva 63. Maantien 1403 suunnan 1 tieosan 3 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1700.



Kuva 64. Maantien 1403 suunnan 2 tieosan 3 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1200.

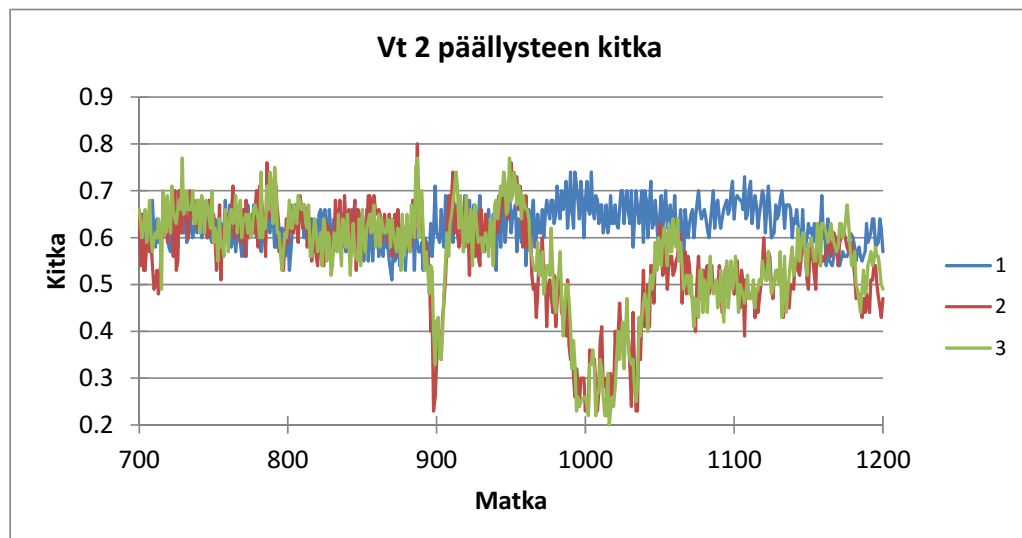


Kuva 65. Maantien 1403 suunnan 1 tieosan 3 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 500–1400.

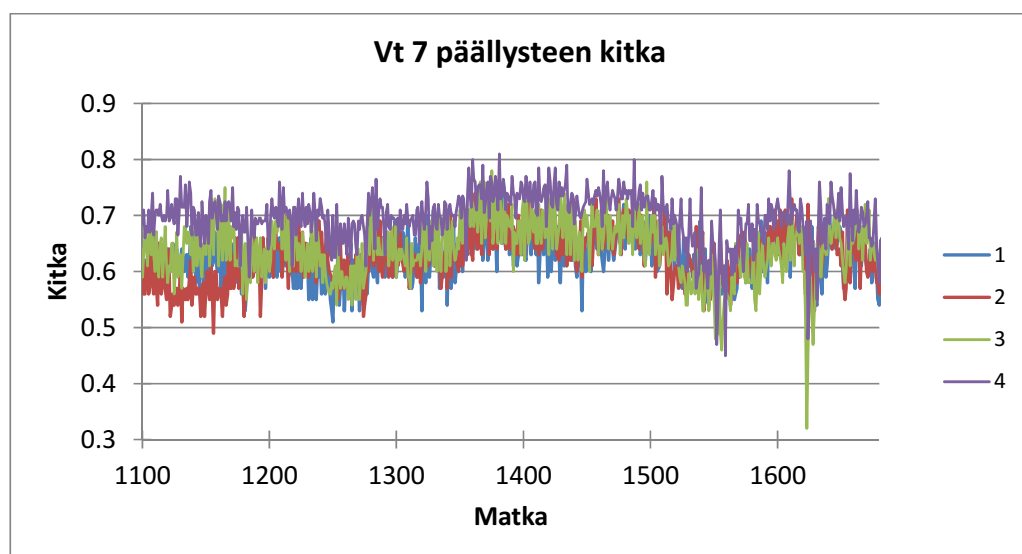


Kuva 66. Maantien 1430 suunnan 2 tieosan 3 ViaFriction kitkaprofiilit paaluvälillä 400–1400. Mittaussuunta oikealta vasemmalle.

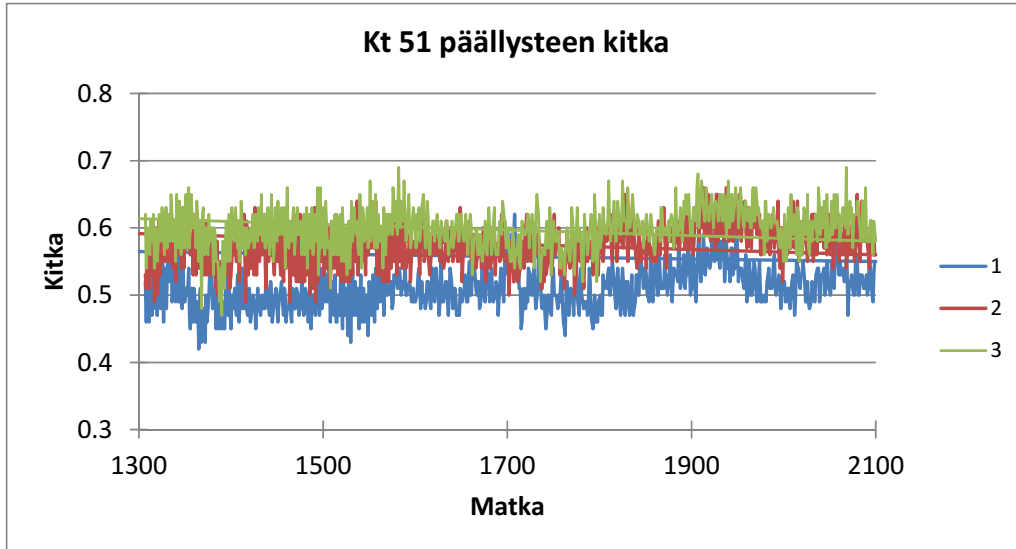
TWO-laitteen kitkaprofiilit



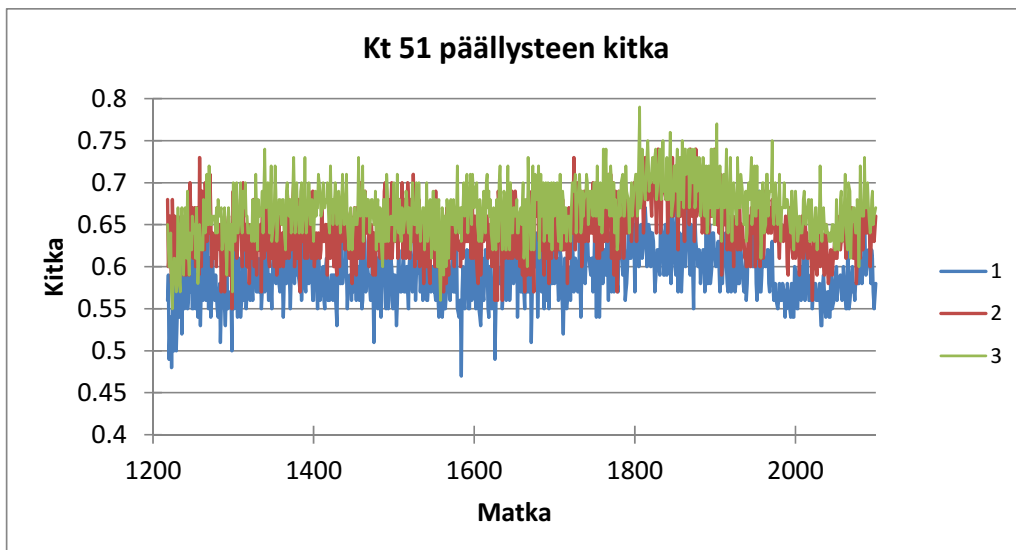
Kuva 67. Valtatien 2 suunnan 1 tieosan 2 TWO-kitkaprofiili paaluvälillä 700–1200.



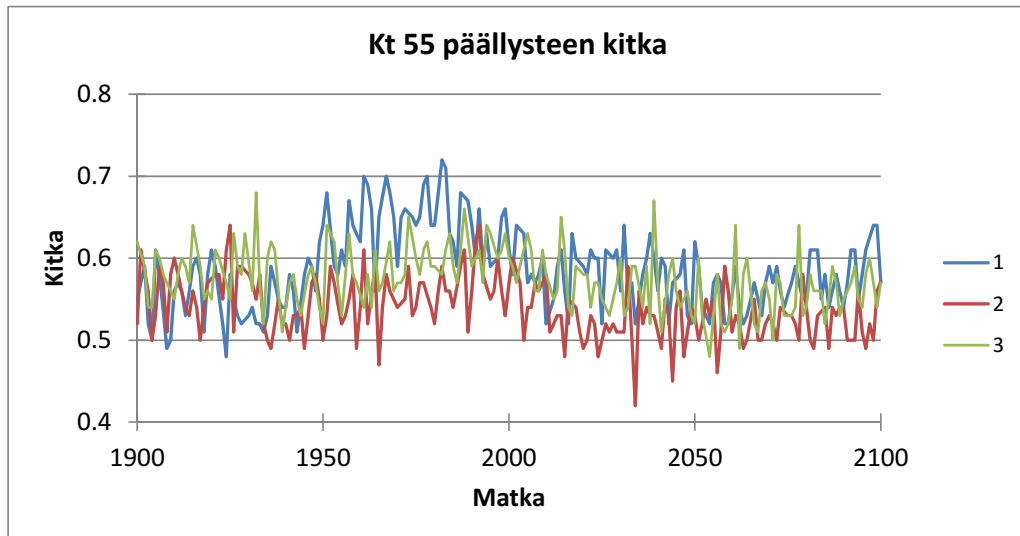
Kuva 68. Valtatien 7 suunnan 1 tieosan 4 TWO-kitkaprofiili paaluvälillä 1100–1700.



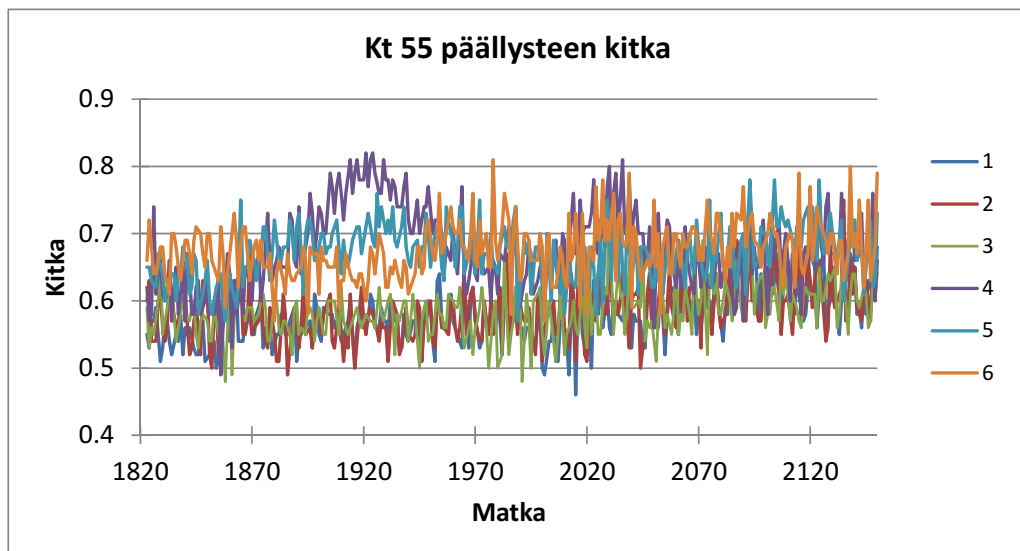
Kuva 69. Kantatien 51 suunnan 1 tieosan 9 TWO-kitkaprofiili paaluvälillä 1300–2100.



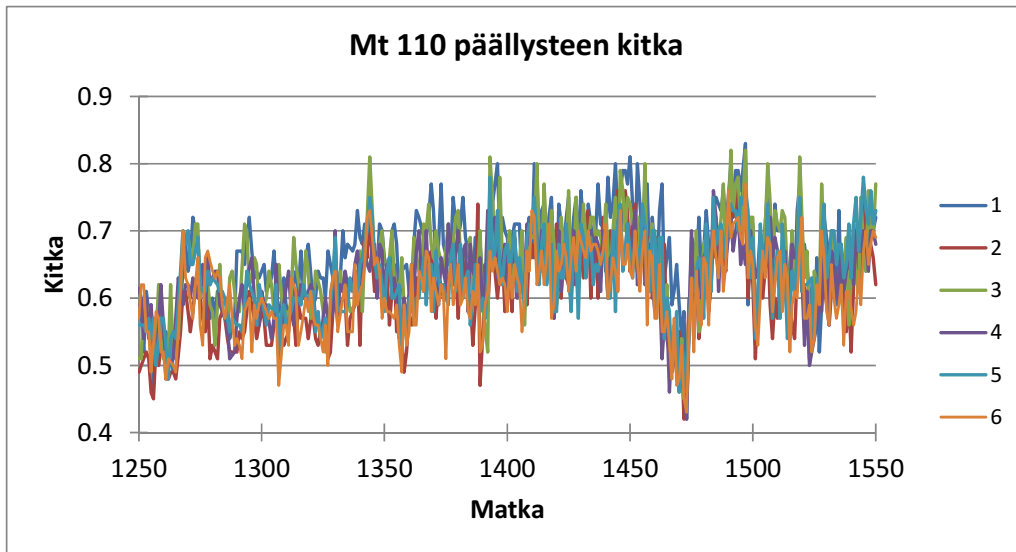
Kuva 70. Kantatien 51 suunnan 2 tieosan 9 TWO-kitkaprofiili paaluvälillä 1200–2100.



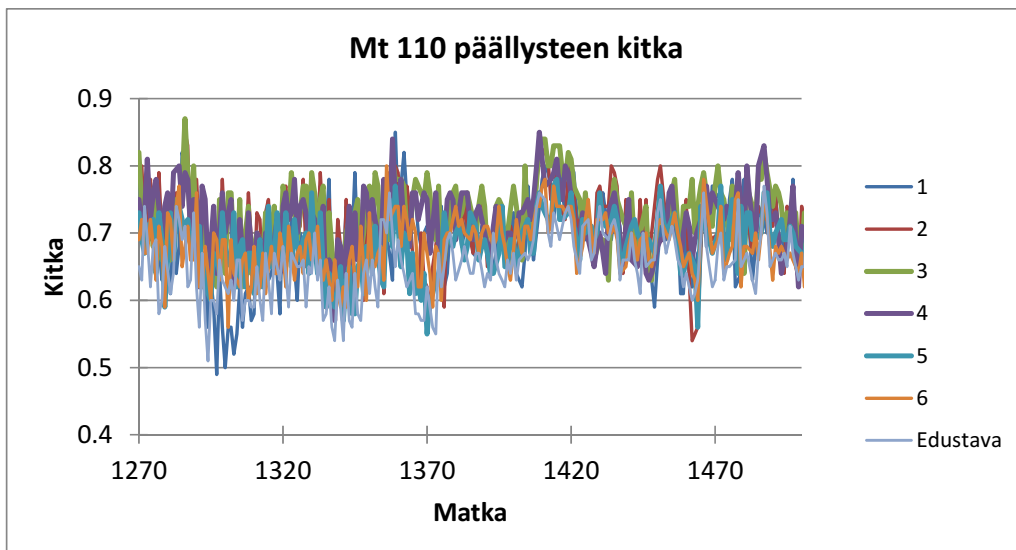
Kuva 71. Kantatien 55 suunnan 1 tieosan 1 TWO-kitkaprofiili paaluvälillä 1900–2100.



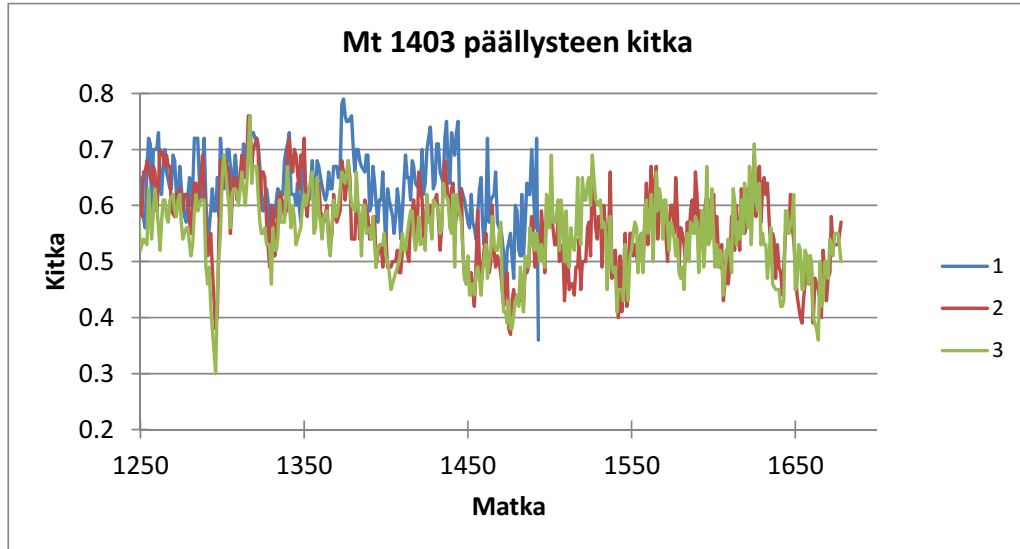
Kuva 72. Kantatien 55 suunnan 2 tieosan 1 TWO-kitkaprofiilit paaluvälillä 1820–2150.



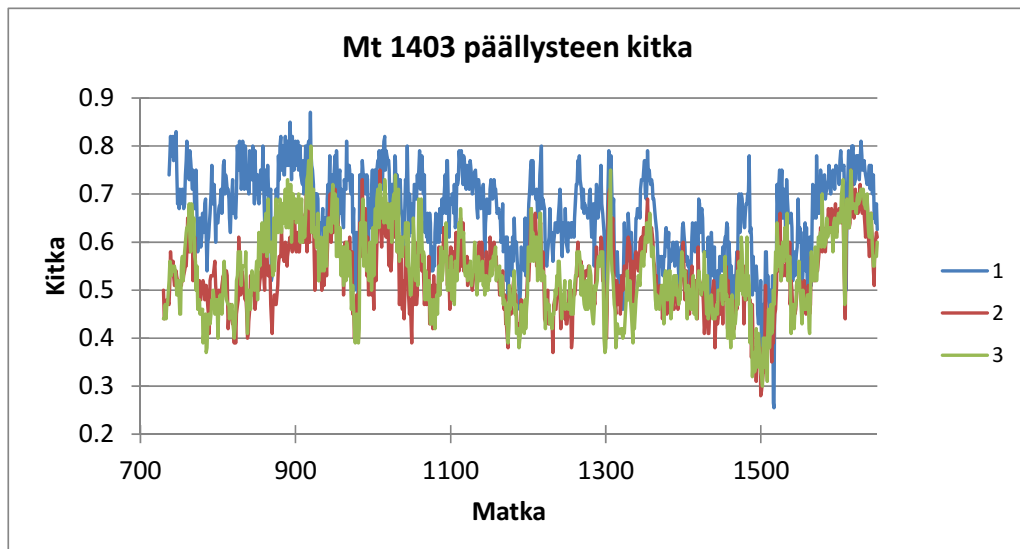
Kuva 73. Maantien 110 suunnan 1 tieosan 7 TWO-kitkaprofiili paaluvälillä 1250–1550.



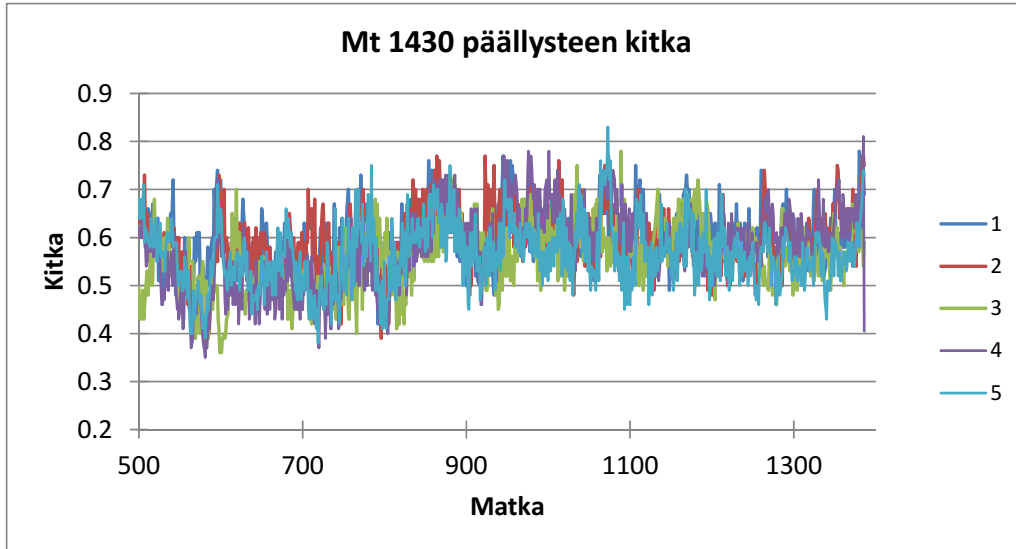
Kuva 74. Maantien 110 suunnan 2 tieosan 7 TWO-kitkaprofiilit paaluvälillä 1270–1500.



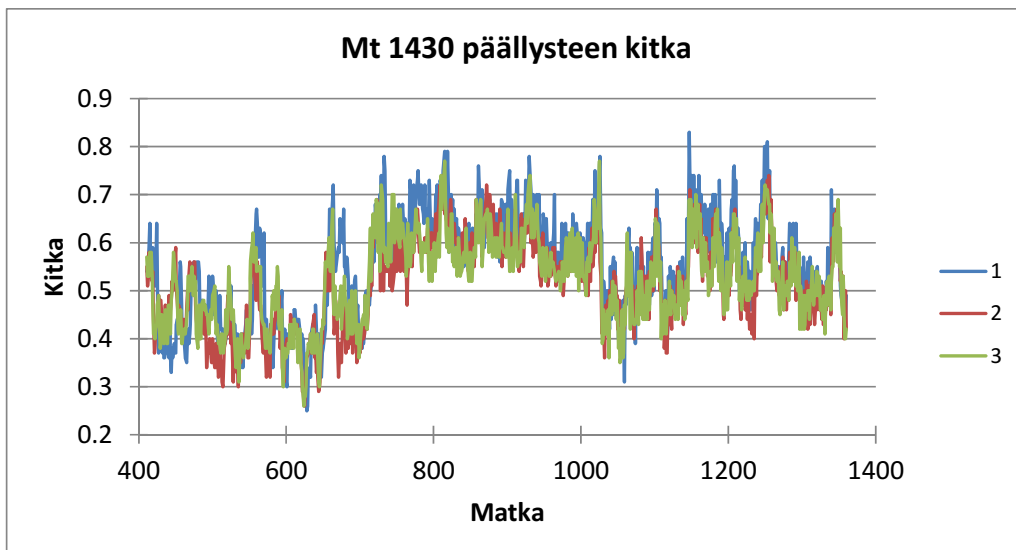
Kuva 75. Maantien 1403 suunnan 1 tieosan 3 TWO-kitka paaluvälillä 1250–1670.



Kuva 76. Maantien 1403 suunnan 2 tieosan 3 TWO-kitkaprofiilit paaluvälillä 700–1600.



Kuva 77. Maantien 1430 suunnan 1 tieosan 1 TWO-kitkaprofiilit paaluvälillä 500–1350.



Kuva 78. Maantien 1430 suunnan 2 tieosan 1 TWO-kitkaprofiilit paaluvälillä 400–1400.

