

PANK ry
PTM-mittausepävarmuudesta aiheutuvat riskit

Esipuhe

Tässä raportissa on arvioitu päällystettyjen teiden kuntomittausten mittausepävarmuudesta aiheutuvia riskejä uusien päällysteiden laatumittauksissa ja päällystettyjen teiden ylläpidon palvelusopimuksissa, laskettu ensimmäinen arvio riskien suuruudesta sekä tunnistettu keskeiset tekijät jotka pitäisi selvittää tai joita pitäisi kehittää, jotta mittausepävarmuudesta aiheutuvan riskin arviointia voidaan tarkentaa ja riskin suuruutta jatkossa pienentää.

Raportin on laatinut Jaakko Dietrich Pöyry Finland Oy:stä. Työn on tilannut PANK ry. Työtä ohjanneeseen ryhmään ovat kuuluneet PANK ry:stä:

Katri Eskola, Liikennevirasto
Vesa Laitinen, Lemminkäinen Oy

Työn kommentointiin ovat lisäksi osallistuneet Sami Petäjä ja Vesa Männistö Liikennevirastosta.

Vantaalla tammikuussa 2011

Pöyry Finland Oy
Liikenteen konsultointi

Yhteystiedot

PL 500 (Jaakonkatu 3)
FI-01621 Vantaa
Finland
Kotipaikka Vantaa, Finland
Y-tunnus 0625905-6
Puh. +358 10 3311
Faksi +358 10 33 26730
www.poyry.fi

Sisältö

Esipuhe

1	JOHDANTO	4
2	PALVELUTASOMITTAUSTEN MITTAUSEPÄVARMUUS	4
2.1	Mittaussysteemin virhelähteet	6
2.2	Arvio mittausepävarmuuden suuruudesta	7
3	PERINTEINEN URAKKA	8
3.1	Mittausepävarmuuden vaikutukset perinteisessä urakassa	8
3.2	100 metrin maksimiuran keskiarvo	9
3.3	Kohteen maksimiuran keskiarvo	11
3.4	IRI4	12
3.5	IRI	13
3.6	Virheellisten osuuksien korjaus	13
3.7	Systemaattiset erot toimittajien välillä	16
4	KESTOIKÄÄN PERUSTUVAT URAKAT	16
5	PALVELUSOPIMUKSET	17
5.1	Yleistä	17
5.2	Mittausepävarmuuden vaikutukset kuntovastuu-urakoissa	18
5.3	Mittausepävarmuuden vaikutukset tarjouslaskentavaiheessa	19
5.4	Mittausepävarmuuden vaikutukset toimenpiteiden suunnittelussa	20
5.5	Mittausepävarmuuden vaikutukset kuntotilan todentamisessa ja sanktioissa	20
5.6	Systemaattiset erot toimittajien välillä	21
5.7	Erot mittaajien hajonnoissa	21
6	YHTEENVETO	23
7	SUOSITUKSET	23

1 JOHDANTO

Palvelutasomittauksilla (PTM) tarkoitetaan päällystettyjen teiden lasertekniikkaan perustuvaa automaattista kuntomittausta ja tunnuslukujen tuottamista. Mittaukset tehdään liikennevirran mukana kulkevilla palvelutasomittausautoilla, jotka keräävät mittaustuloksia 17 laserilla kaistain poikkisuunnassa 3,2 m leveydeltä. Mittaustuloksista lasketaan keskiarvoja ja tuotetaan useita erilaisia päällysteen kuntoon ja geometriaan liittyviä tunnuslukuja.

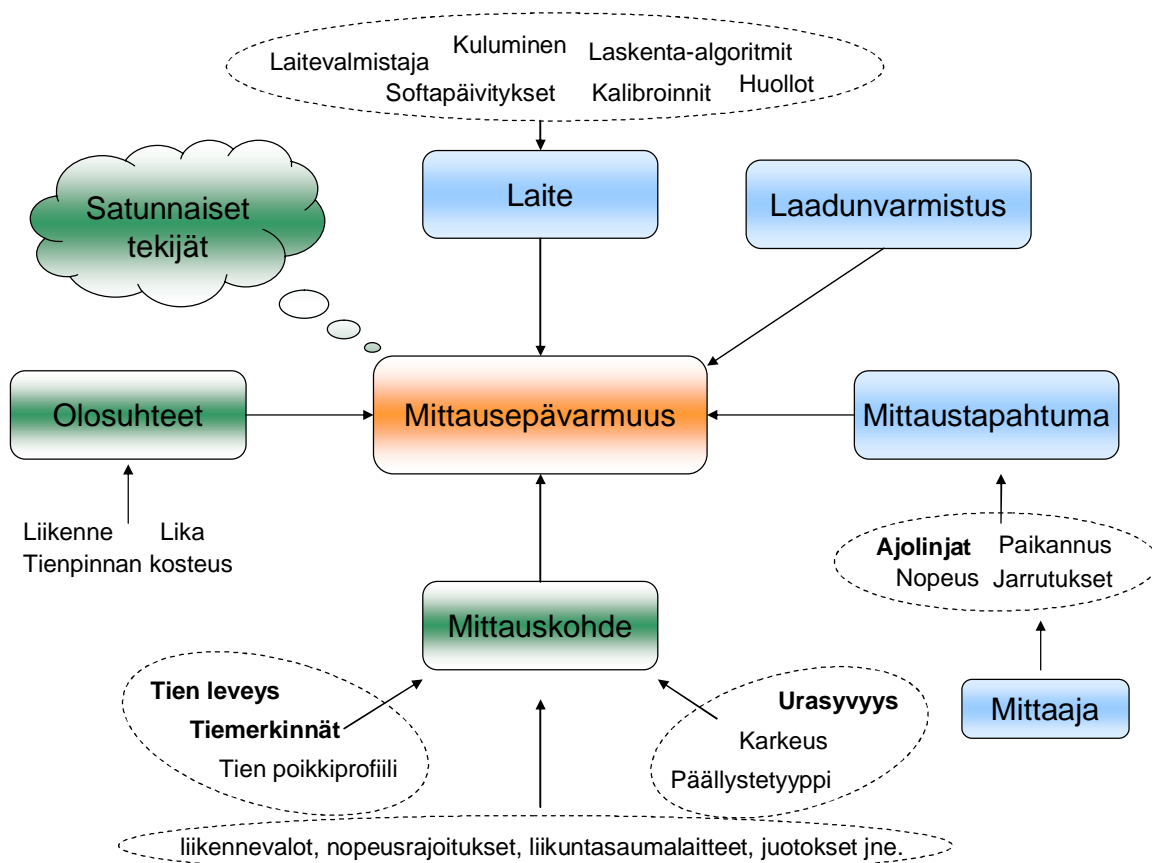
Palvelutasomittauksilla saatavia tunnuslukuja hyödynnetään varsin laaja-alaisesti tiestön kunnan seurannassa, Liikenneviraston perusteluviestinnässä ja tilastoissa, tiestön ylläpidon rahoitustarvetarkasteluiden lähtötietoina, T&K hankkeiden lähtötietoina, päällystysohjelmoinnissa, päällystysurakoiden laadunvarmistuksessa ja päällystettyjen teiden ylläpidon palvelusopimusten lähtötietoina ja toteutuvan laatutason todentamisessa.

Tämän selvityksen tavoitteena on 1) arvioida PTM-mittausten mittausepävarmuudesta aiheutuvia riskejä tilaajan ja urakoitsijan kannalta uusien päällysteiden laatumittauksissa ja päällysteiden ylläpidon palvelusopimuksissa, 2) laskea ensimmäinen arvio riskien suuruudesta ja 3) tunnistaa ja listata asiat jotka pitäisi selvittää tai joita pitäisi kehittää, jotta mittausepävarmuudesta aiheutuvan riskin arviointia voidaan tarkentaa ja riskin suuruutta voidaan pienentää.

2 PALVELUTASOMITTAUSTEN MITTAUSEPÄVARMUUS

Mittaustuloksiin liittyy aina epävarmuutta ja hajontaa. Samalta kohteelta peräkkäin tehdyt päällysteiden kuntomittaukset eivät anna täsmälleen samaa tulosta. Hajonta kuuluu olennaisena osana mittaukseen. Sitä ei voida, eikä sitä pidäkään poistaa kokonaan. Keskeistä on, että mittauksesta aiheutuva vaihtelu ja mittausepävarmuus ovat oikeassa suhteessa tarkasteltavaan ilmiöön nähden, mittaustuloksiin vaikuttavat epävarmuustekijät tunnetaan, ja että hajonnan ja tuloksiin liittyvän epävarmuuden vaikutukset otetaan huomioon oikealla tavalla tuloksia hyödynnettäessä.

Kuvassa 1 on esitetty palvelutasomittausten mittausepävarmuuteen vaikuttavat keskeiset tekijät.



Kuva 1. Palvelutasomittausten mittausepävarmuuteen vaikuttavat keskeiset tekijät. Kohdat joihin voidaan vaikuttaa on esitetty sinisellä. Vihreällä esitetyihin tekijöihin ei voida suoraan vaikuttaa.

Mittaaja on tärkein yksittäinen mittausepävarmuuteen vaikuttava tekijä. Varsinkin uramittauksissa ajolinjoilla on keskeinen merkitys. Uusilla päällysteillä urat eivät ole näkyvissä ja ajolinjojen hakeminen voi olla vaikeaa. Urautuneilla teillä urat näkyvät, mutta ajolinjat kulkevat kaarteissa monesti lähellä ajoradan reunaa, jolloin esim. koholla olevat massamerkinntät saattavat vaikuttaa uratuloksiin. Oikeiden ajolinjojen löytäminen ja ylläpito vaatii kokemusta ja harjoittelua.

IRI- ja IRI4-tuloksiin ajolinjoilla on oletettavasti pienempi vaikutus kuin uraan. Ajolinjat voivat kuitenkin vaikuttaa IRI:in, kun kohteen urasyvyys on suuri ja urissa on jyrkät reunat. Myös erot mittajien ajotavoissa, ajonopeudessa, jarrutuksissa ja kiihdytyksissä saattavat aiheuttaa hajontaa IRI-tuloksissa.

Kuvassa 1 esitetty kohteiden paikannus vaikuttaa tulosten toistettavuuteen ja vertailtavuuteen vertailumittauksissa. Tuotantolaatuun ja mittausriskiin paikannuksella ei ole merkittävää vaikutusta.

Mittajien lisäksi erot mittauksen toimittajien mittalaitteissa ja mittaussesteimeissä ovat merkittäviä mittausepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä. Varsinkin IRI4-mittauksissa toimittajien mittaus- ja laskentatapojen erot aiheutuva hajontaa eri toimittajien mittaus tulosten välille.

Toteutuvan laadun kannalta ennen mittauksia, mittauksen aikana ja mittauksen jälkeen tehtävällä laadunvarmistuksella, poikkeamien kommentoinnilla ja tulosten tarkastuksella saattaa olla jopa suurempi merkitys kuin laitekohtaisilla eroilla.

Vertailukokeissa on havaittu, että huomattava osa mittaajien välisistä poikkeamista aiheutuu tulosten toimitukseen liittyvistä ongelmista, vääristä laskenta-algoritmeista, huolimattomasta poikkeamien kommentoinnista tai väärästä tieosoitteesta. Nämä poikkeamat voidaan välttää rutiininomaisella tulosten laadunvarmistuksella.

Mittausepävarmuuteen vaikuttaa myös useita mittauskohteeseen ja olosuhteisiin liittyviä muuttujia joita ei voida täysin kontrolloida. Merkittäviä tekijöitä ovat mm. urasyvyys, tiemerkinnot, tien leveys ja kaarteisuus. Vaikka näihin tekijöihin ei voida vaikuttaa, on niiden tunnistaminen ja vaikutuksen arviointi tärkeää tulosten hyödyntämisen ja tulkinnan kannalta.

2.1 Mittaussysteemin virhelähteet

Laadunhallinnan näkökulmasta mittaussysteemin virhelähteet voidaan jaotella osiin:

- kohdistuvuus (accuracy, trueness, bias)
- lineaarisuus (linearity)
- pysyvyys (stability)
- tarkkuus (precision)
- toistettavuus (repeatability)
- yhdenmukaisuus, uusittavuus (reproducibility)

Kohdistuvuudella tarkoitetaan mittaustulosten poikkeamaa tosimitasta. Tosimitana käytetään hyväksyttyä referenssiarvoa tai tarkan ja luotettavan mittalaitteen antamaa tulosta. Palvelutasomittauksissa tosimitana on käytetty Ruotsin VTI:n Primal ja VTI-TVP referenssimittausjärjestelmiä.

Lineaarisuudella tarkoitetaan kohdistuvuuden muutosta mittavälineen mittausalueella.

Tarkkuudella tarkoitetaan toisistaan riippumattomien mittausten välistä eroa määrättyissä testiolosuhteissa.

Pysyvyydellä tarkoitetaan kohdistuvuuden ja tarkkuuden muutosta pitkän ajan kuluessa. Pysyvyyden muutokset näkyvät pidemmällä aikavälillä tehtyjen toistomittausten hajonnassa.

Toistettavuudella tarkoitetaan mittaustulosten välistä eroa ja hajontaa, kun sama mittaaja mittaa saman testikohteen samoissa olosuhteissa samalla mittalaitteella.

Yhdenmukaisuudella tarkoitetaan mittaustulosten eroa ja hajontaa, kun sama kohde mitataan samoissa olosuhteissa eri mittalaitteella. Yhdenmukaisuus käsittää toimittajien, laitteiden ja mittaajien väliset erot.

Mittaussysteemi käsittää mittausinstrumentit, standardit, toiminnot, menetelmät jne., joita käytetään mitattavien ominaisuuksien kvantifioinnissa.

Kaikki edellä kuvatut mittaussysteemin virhelähteet ovat tärkeitä mittaussysteemin toimivuuden kannalta, sillä heikoin lenkki määrittää laatu- ja riskitason johon mittausjärjestelmällä voidaan päästä.

2.2 Arvio mittausepävarmuuden suuruudesta

Palvelutasomittareiden kohdistuvuus on testattu Ruotsissa VTI:n toimesta 2007 – 2008. Testissä asetetut kohdistuvuusvaatimukset uralle, IRI:lle ja harjanteenkorkeudelle on esitetty taulukossa 1. VTI-testissä ei tarkasteltu IRI4:n eikä sivukaltevuuden kohdistuvuutta.

Taulukko 1. VTI-testissä käytetyt kohdistuvuuden hyväksymisrajat.

Parametri	Kategoria	Hyväksymisväli 10-metrin data	Arvio vastaavasta 100-metrin hyväksymisvälistä	Hyväksymisraja
IRI	Ref. ≤ 2.0 mm/m	Ref. ± 0.25	Ref. ± 0.08	72 %
IRI	Ref. > 2.0 mm/m	Ref. ± (0.25+(Ref.-2.00)*0.05)	Ref. ± (0.08+(Ref.-2.00)*0.02)	68 %
Max ura	Ref. ≤ 7.5 mm	Ref. ± 1.0	Ref. ± 0.32	77 %
Max ura	Ref. > 7.5 mm	Ref. ± (1.0+(Ref.-7.5)*0.05.)	Ref. ± (0.32+(Ref.-7.5)*0.02.)	77 %
Harj. korkeus	Ref. ≤ 7.5 mm	Ref. ± 1.0	Ref. ± 0.32	77 %
Harj. korkeus	Ref. > 7.5 mm	Ref. ± (1.0+(Ref.-7.5)*0.05.)	Ref. ± (0.32+(Ref.-7.5)*0.02.)	77 %

Kolmen toimittajan laitteistot läpäisivät kohdistuvuustestin. Kriteerien perusteella voidaan arvioida, että karkeasti puolet 100-metrin ura-arvoista poikkeaa ”oikeasta” arvosta alle 0,17 mm. Vastaavasti puolet 100-metrin IRI arvoista poikkeaa ”oikeasta” arvosta alle 0,05 mm/m. Hajonta kasvaa suurilla mittausarvoilla, kun ura on suurempaa kuin 7,5 mm ja vastaavasti, kun IRI on suurempaa kuin 2,5 mm/m.

Mittaajien poikkeamat tosimitasta saattavat olla kohdistuvuustestissä esitettyjä kriteereitä pienempiä. Varsinkin pienillä ura-arvoilla poikkeamat ovat oletettavasti pienempiä kuin asetetut kohdistuvuuden hyväksymiskriteerit. Testirajat antavat joka tapauksessa realistisen kuvan siitä laatuasosta mihin laitteilla parhaimmillaan päästään.

Mittausten toistettavuutta ja eri toimittajien tulosten yhdenmukaisuutta on arvioitu vuosittaisissa vertailumittauksissa. Vuoden 2009 vertailumittausten keskeiset tunnusluvut on esitetty taulukoissa 2 ja 3. Mittaajien IRI4-tuloksissa on havaittavissa kohtalaisen suuri tasoero. Myös IRI4-mittausten korrelaatio toimittajien välillä oli heikko. Toistomittauksissa eri toimittajien uratulosten hajonnoissa on havaittavissa eroja isoilla ura-arvoilla.

Taulukko 2. Vuoden 2009 vertailumittausten tulokset, uusien päällysteiden arvoalue, ura < 8 mm.

	Suurin havaittu tasoero		Havaintoparien erotuksen hajonta toistomittauksissa mittaajittain
	toistomittauksissa	mittaajien välillä	
max ura	0.04	0.08	0.31...0.37
iri4	0.02	0.07	0.03...0.05

Taulukko 3. Vuoden 2009 vertailumittausten tulokset, palvelusopimusten arvoalue, ura > 12 mm.

	Suurin havaittu tasoero		Havaintoparien erotuksen hajonta toistomittauksissa mittaajittain
	toistomittauksissa	mittaajien välillä	
max ura	0.05	0.17	0.36...0.54
iri	0.01	0.03	0.05...0.06

Edellä esitetyt tulokset kuvaavat testimittausten laatuasoa. Todellinen toteutuva laatu saattaa poiketa tästä huomattavasti. Varsinkin vertailumittauksissa otos on melko pieni ja pitkälle meneviä yleistyksiä ei voida tehdä. Kuten kuvassa 1 on esitetty, käytännön laatuun vaikuttavat useat eri tekijät. Mm. päällystetyyppien ja karkeuden vaikutuksesta IRI:n ja IRI4:n laatuun sekä tien poikkiprofiilin, kaarteisuuden ja tiemerkinöjen

vaikutuksesta uran ja sivukaltevuuden laatuun ei ole tarkkaa tietoa. Näiden tekijöiden tunteminen on tärkeää tulosten hyödyntämisen kannalta, erityisesti laatupoikkeamien ja PTM-mittausten perusteella määrättävien sanktioiden yhteydessä.

Toiminta testimittauksissa poikkeaa aina käytännön tuotantomittauksista. Toteutuvan tuotantolaadun selvittämiseksi tulisikin analysoida myös ”autenttista” tuotantomittausaineistoa jo mitatuilta kohteilta. Tämä edellyttää, että urakoitsijat luovuttavat alkuperäisen mittausaineiston tilaajalle. Tuotantomittausdatan avulla voidaan arvioida käytännön toimien vaikutusta mittausten laatuun, toteutuvaa laadunvarmistusta, poikkeamien kommentointia ja käsittelyä. Tarvittaessa vertailukohtana voidaan käyttää kohteille tilattavia lisämittauksia tai verkkotason kuntomittausdataa.

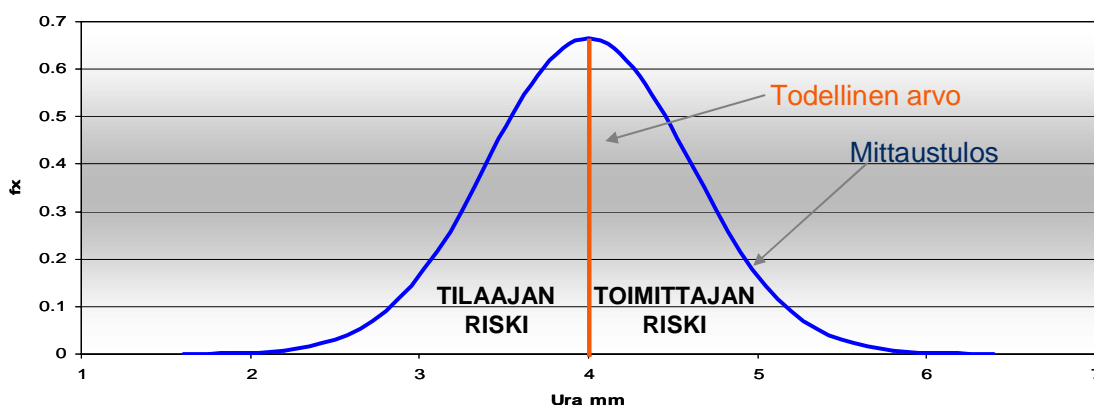
3 PERINTEINEN URAKKA

3.1 Mittausepävarmuuden vaikutukset perinteisessä urakassa

Perinteisessä urakassa arvonmuutoksiin vaikuttavia palvelutasomittarilla mitattavia muuttujia ovat 100-metrin maksimiuran keskiarvo, koko kohteen maksimiuran keskiarvo, IRI4, IRI ja sivukaltevuus. Tarkasteltavat muuttujat ja vaatimukset määrätään tapauskohtaisesti urakka-asiakirjoissa. Ylläpidon urakoissa käytetyt muuttujat ovat maksimiura ja IRI4. IRI:ä käytetään lähinnä investointihankkeissa.

Mittausepävarmuus vaikuttaa kohteesta määrättäviin sanktioihin. Jos laatupoikkeamat ovat suuria, voidaan virheelliset osuudet määrätä korjattavaksi. Tällöin mittausepävarmuus voi vaikuttaa myös kohteen kuntoon. Mittaukset saattavat vaikuttaa välillisesti myös urakoitsijan tuotantoprosessiin. Poikkeavat mittaustulokset tai suuret sanktiot voivat johtaa siihen, että urakoitsija muuttaa työtapoja ja käytössä olevia työmenetelmiä.

Kuvassa 2 on havainnollistettu mittausepävarmuudesta aiheutuvaa tilaajan ja toimittajan riskiä perinteisessä urakassa. Kohteen todellinen 100 metrin maksimiura on sakkorajalla (4 mm). Jos kohteesta tehdään useita mittauksia, jakautuvat mittaustulokset mittausepävarmuuden vuoksi sinisellä esitetyn käyrän tapaan.



Kuva 2. Periaatekuva tilaajan ja toimittajan riskeistä.

Toimittajan riski on, että mitattu laatu on heikompaa kuin kohteen todellinen kunto, jolloin arvonvähennykset määrätään aiheetta, arvonvähennykset ovat liian suuria tai kohde määrätään korjattavaksi aiheetta.

Tilaajan riski on, että mittaustulos on parempi kuin kohteen todellinen kunto, jolloin arvonvähennykset jäävät määräämättä, arvonvähennykset ovat liian pieniä tai viallinen kohde jää korjaamatta ja kohteen kestoikä lyhenee.

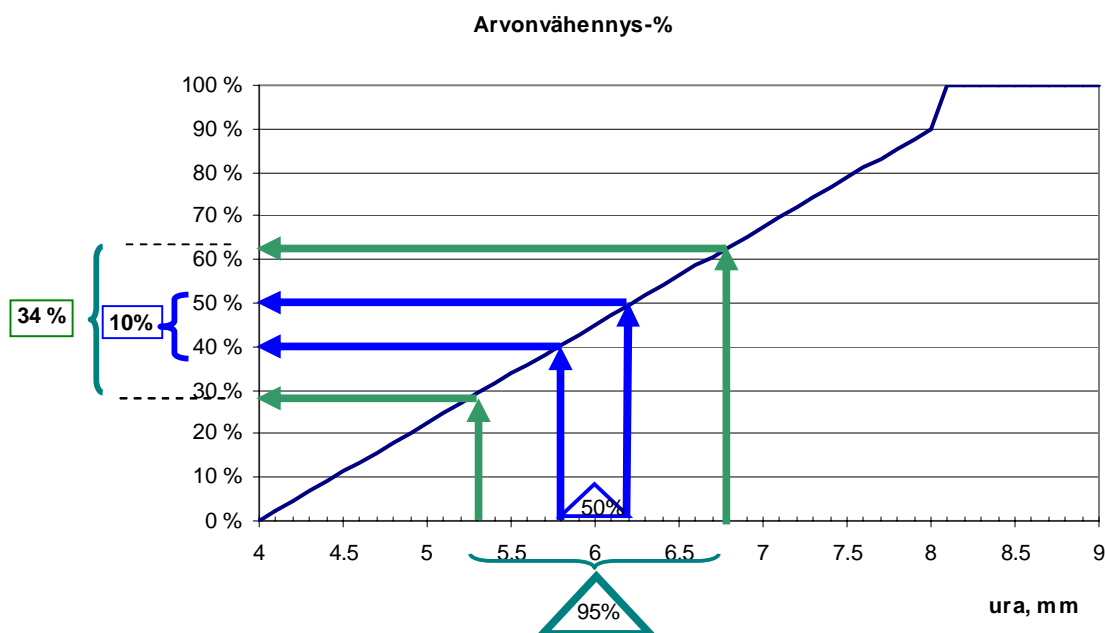
Riskin suuruus riippuu:

1. muuttujan mittaustarkkuudesta
2. arvonmuutosperusteista
3. kohteen kunnosta. Mitä lähempänä kohteen kunto on sakkorajaa, sitä suurempaa mittausepävarmuudesta aiheutuva riski on. Sakkorajalla tilaajan ja toimittajan riskitodennäköisyydet ovat yhtä suuria (50 %) olettaen, että mittausvirheen jakauma on symmetrinen.

Huomattavaa on, että arvonmuutokset eivät vastaa todellista käyttöiän menetyksestä tilaajalle aiheutuvaa arvonmuutosta (ks. kohta 3.6).

3.2 100 metrin maksimiuran keskiarvo

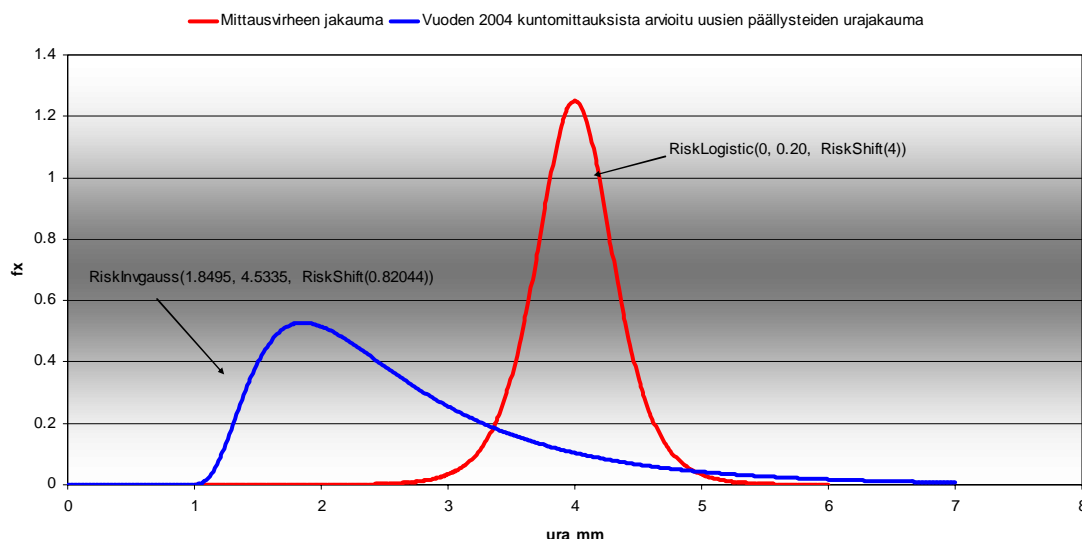
Kuvassa 3 on esitetty maksimiurasta määrättävät arvonmuutokset eri urasyvyyksillä sekä mittausepävarmuudesta aiheutuvat arvonmuutosten luottamusvälit. Sakkokohteella yksittäisestä 100-metrisestä määrättävän arvonvähennyksen 95 % luottamusväli on 34 prosenttiyksikköä. Koska luottamusväli on melko suuri, poikkeaa yksittäisten 100-metristen arvonvähennysprosentit uusintamittauksissa toisistaan.



Kuva 3. Maksimiurasta määrättävät arvonvähennykset eri urasyvyyksillä sekä mittausepävarmuudesta aiheutuvat arvonvähennysten luottamusvälit. Mittausepävarmuudessa on huomioitu myös mittaajien väliset erot.

Lineaarisen arvonmuutoksen takia, urasyvyys ei vaikuta sakkoriskiin, kun uran arvo on välillä 5 - 7 mm. Yli 7 mm ura-arvoilla kasvaa riski, että tehdään virheellinen päätös virheellisten osuuksien korjauksesta. Alle 5 mm ura-arvoilla kasvaa riski, että arvonvähennykset jäävät määräämättä laatupoikkeamista.

Seuraavassa 100 metrin maksimiuran mittausepävarmuudesta aiheutuvaa riskiä on arvioitu vuoden 2004 kuntomittausdatan ja vuoden 2009 vertailumittauksissa havaitun mittausvirheen hajonnan avulla. Lähtötietoihin sovitetut jakaumat on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Maksimiuran jakauma ja mittausepävarmuus.

Lähtötietona käytetty kuntomittausdata yliarvio sakkokohteiden esiintymistä: kuntomittauksissa ei esimerkiksi poisteta samaan tapaan poikkeamia ja huomautuksia kuin laatumittauksissa. Toisaalta todellinen mittausvirhe ja mittauksen hajonta on suurempaa kuin vertailumittauksissa havaittu erot mittauksen ja mittaajien välillä. Lähtötietojen epätarkkuudesta huolimatta, voidaan olettaa, että jakaumien muodot pitävät karkeasti paikkansa ja riskiarviot ovat oikeaa kokoluokkaa.

Tilaaajan kannalta päällystyskohteiden alku-ura on merkittävä tekijä. Kuten kuvasta 4 voidaan havaita, alku-uran arvot vaihtelevat eri kohteilla yhdestä millimetristä useisiin millimetreihin. Tämä tarkoittaa, että tien käyttöikä voi ”vähentyä” alku-uran johdosta, urautumisnopeudesta riippuen, jopa yli vuodella.

Taulukossa 4 on esitetty tilaajalle ja toimittajalle aiheutuvat 100 metrin maksimiuran mittausepävarmuudesta aiheutuvat riskit. Toimittajan riski on hieman suurempi kuin tilaajan riski. Tämä johtuu uusien päällysteiden kuntomittausdatan epäsymmetrisestä jakaumasta (kuva 4).

Taulukko 4. 100-metrin maksimiuran mittausepävarmuudesta aiheutuvat tilaajan ja toimittajan riskit.

	Riskin todennäköisyys	Keskimääräinen riskin suuruus riskin realisoituessa*	Riski* (tn x suuruus)
Toimittajan riski	7.6 %	2.5 %	0.19 %
Tilaajan riski	5.6 %	1.9 %	0.11 %

*arvonvähennykset / päällysteen hinta

Uramittausten mittausepävarmuus aiheuttaa urakoitsijoille vuosittain 70 000 € kustannukset liian suurista sakoista ja aiheettomista korjaustoimenpiteistä.

Tilajalle mittausepävarmuus aiheuttaa vuosittain 40 000 € kustannukset menetetyistä arvomuutoksista ja käyttöistä.

Euromääräisissä arvioissa on oletettu, että:

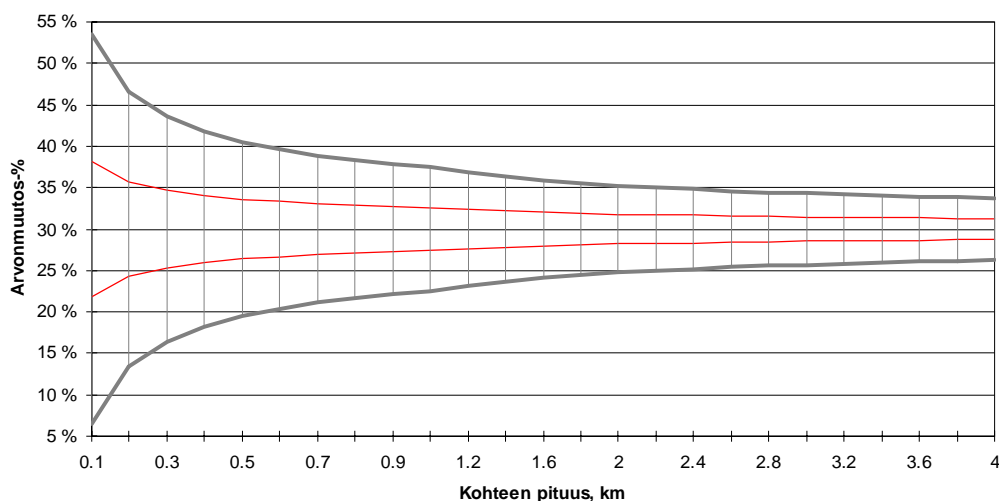
1. päällystyspituus vuodessa on 3000 km,
2. maksimiura arvostellaan joka toisessa kohteessa,
3. keskimääräinen päällystyskustannus on 25 000 €/kaistakilometri,
4. kaistaleveys tarkasteltavilla kohteilla on 3.5 m,
5. uudelleen päällystysraja on keskimäärin 15 mm,
6. alku-ura on 2 mm,
7. urautuminen on lineaarista.

Riskiarvioissa huomattavaa on, että

1. Mittausten vaihtelua ja riskiä ei voida poistaa kokonaan.
2. Sakkoriskin osalta tilaajan voitto on lähes poikkeuksetta toimittajan tappio ja päinvastoin. Pitkillä kohteilla tappiot ja menetykset siis osin kumoavat toisiaan.
3. Uudelleen päällystysten osalta toimittajan riski on suurempi kuin tilaajan riski (ks. kohta 3.6)
4. Mittausepävarmuuden lisäksi maksimiuran sakkoriskiin vaikuttavat myös muut tekijät, joista tärkeimpiä ovat mittausaika, lämpötila ja keskimääräinen vuorokausiliikenne.

3.3 Kohteen maksimiuran keskiarvo

Koko kohteen maksimiuran keskiarvon mittaustarkkuus ja siihen liittyvä sakkoriski riippuu kohteen pituudesta. Kuvassa 5 on esitetty uramittausten 95 % ja 50 % luottamusvälit kohteen pituuden funktiona. Suurin osa kohteista on alle 2 km, jolloin arvovähennys on 95 % todennäköisyydellä 10 % sisällä ja 50 % todennäköisyydellä 4 % sisällä.



Kuva 5. Kohteen maksimiuran keskiarvon arvomuutoksen 50 % ja 95 % luottamusvälit kohteen pituuden funktiona.

Sakkokohteiden esiintymistiheyttä ei voida luotettavasti arvioida riskitarkasteluun käytetystä vuoden 2004 kuntomittauksiin perustuvasta datasta, sillä koko kohteen maksimiuran keskiarvosta määrättävät sakot ovat melko harvinaisia, kohteen satametriset ura-arvot riippuvat toisistaan ja kohteen pituus vaikuttaa myös laatupoikkeamien esiintymistodennäköisyyteen.

Lähtökohtaisesti koko kohteen maksimiuran mittausepävarmuudesta aiheutuva riski on pienempi kuin yksittäisten satametristen maksimiuran mittausepävarmuudesta aiheutuva riski. Keskiarvon mittaustarkkuus on aina parempaa kuin yksittäisten 100 -metristen mittaustarkkuus ja lisäksi koko kohteen urakeskiarvoon liittyvät laatupoikkeamat ovat selvästi harvinaisempia. Riskien realisoituessa menetykset ja saamatta jääneet arvonvähennykset ovat kuitenkin huomattavan suuria.

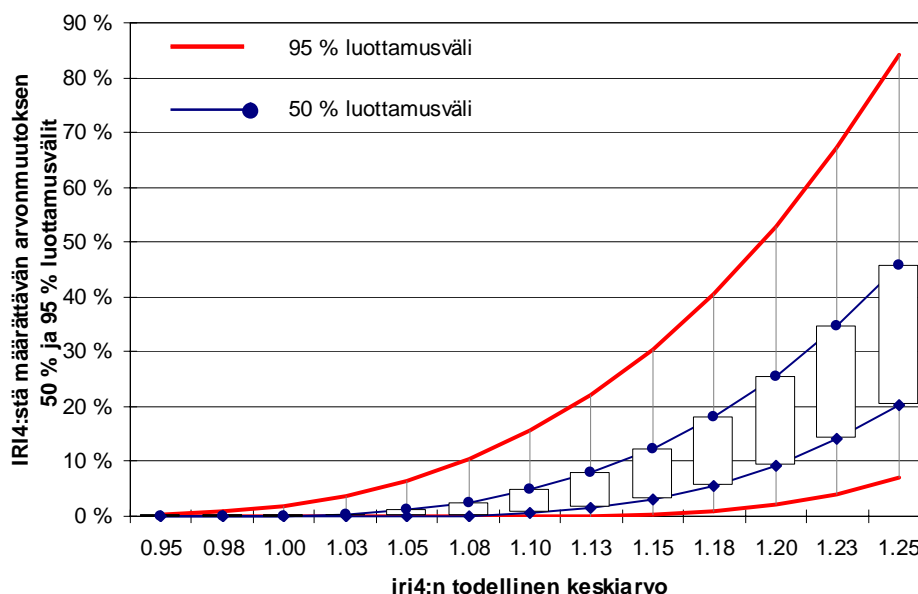
Koska 100-metristen maksimiurasta ja koko kohteen maksimiuran urakeskiarvosta määrätään arvonmuutokseksi vain se, kumpi on näistä suurempi, ei koko kohteen maksimiuran riski juuri lisää uramittausten mittausepävarmuudesta aiheutuvaa kokonaisriskiä.

Koko kohteen maksimiuran keskiarvon mittausepävarmuudesta aiheutuva riski voidaan määrittää laajasta uusien päällysteiden mittausaineistosta tai toteutuneiden sakkokohteiden perusteella asiantuntija-arvioiden avulla.

3.4 IRI4

Tasaisuusmittauksissa mittauskohteesta ja olosuhteista johtuvat poikkeamat aiheuttavat helposti suuria virheitä mittaustuloksiin.

Kuvassa 6 on esitetty IRI4:stä määrättävät arvonmuutokset sekä mittausepävarmuudesta aiheutuvat arvonmuutosten luottamusvälit.



Kuva 6. IRI4:stä määrättävien arvonmuutosten luottamusvälit IRI4:n funktiona, kun kohteen IRI4 vaatimusraja on 1 mm/m. Mittausten hajonta edustaa yksittäisen mittaajan maksimia. Kolmen mittaajan hajonta on vielä huomattavasti suurempaa.

Kun kohteen IRI4 vaatimusraja on 1,0 mm/m ja todellinen IRI4 keskiarvo on 1,2 mm/m, yleisten arvovähennysten perusteella arvovähennyksiä määrätään 16 % päällysteen yksikköhinnasta virheellisen osuuden kaistapituutta kohden. Mittausepävarmuudesta johtuen, määrättävät arvomuutokset saattavat poiketa huomattavasti ohjearvosta. Kuten kuvasta 6 voidaan todeta, 1,2 mm/m todellisella IRI4 arvolla puolet määrättävistä arvovähennyksistä on välillä 9 – 26 % ja 95 % arvovähennyksistä välillä 2 – 53 %.

Koska IRI4:n arvomuutos ei ole lineaarinen, riippuu mittausepävarmuudesta aiheutuva riski IRI4:n arvotasosta. Suurilla IRI4:n arvoilla mittausriski kasvaa huomattavasti.

IRI4:n mittausepävarmuuden aiheuttamasta kokonaisriskistä ei ole luotettavaa tietoa, koska uusien päällysteiden IRI4-mittaustietoa ei ollut käytettävissä. Oletettavasti IRI4:stä määrättävät arvomuutokset ovat harvinaisempia kuin maksimiurasta määrättävät arvomuutokset. Arvomuutoskaavan perusteella toimittajan riski on joka tapauksessa suurempaa kuin tilaajan riski.

IRI4:n mittausepävarmuudesta aiheutuva kokonaisriskit tilaajalle ja toimittajalle tulisi määrittää sillä sakkokohteista määrättävien arvomuutosten luottamusvälit ovat huomattavan suuria. Riskin arvioimiseksi tarvitaan uusien päällysteiden IRI4-jakauma, joka voidaan määrittää toteutuneiden kohteiden mittaustietojen perusteella.

Epävarmuutta voidaan pienentää arvomuutoskaavaa muuttamalla. ”Exponentiaalinen” sakkofunktio on kuitenkin periaatteeltaan toimiva ja ohjaa laatua oikeaan suuntaan.

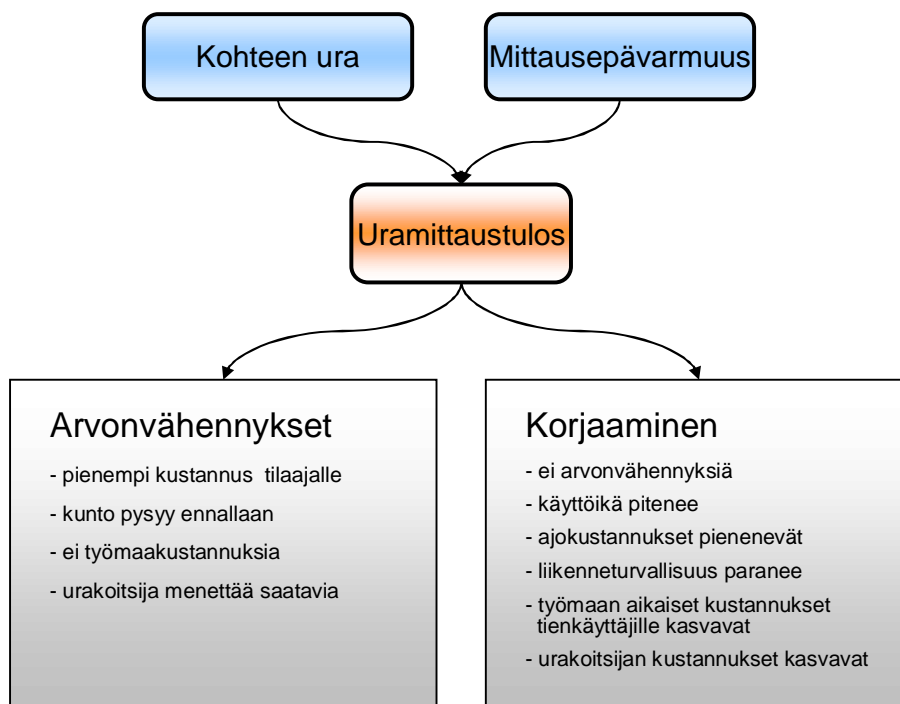
Mittausepävarmuudesta aiheutuvan riskin pienentämiseksi mittausten hajontaa tulisi pienentää yhtenäistämällä mittaajien IRI4-laskentaperusteita.

3.5 IRI

IRI on käytössä lähinnä investointihankkeissa. Mittausepävarmuudesta aiheutuvaa riskiä ei ole arvioitu.

3.6 Virheellisten osuuksien korjaus

Jos laatupoikkeamat ovat suuria, kohde voidaan määrätä uudelleen päällystettäväksi (kuva 7). Mittaustulosten ylittäessä uudelleenpäällystysrajan virheelliset osuudet korjataan ja kohteen käyttöikä pitenee. Tien käyttäjille laatupoikkeamien korjaus aiheuttaa työmaanaikaisia aika- ja ajoneuvokustannuksia. Lisäksi kohteen kunnosta aiheutuvat ajokustannukset pienenevät ja liikenneturvallisuus paranee. Riskin kannalta muutokset liikenneturvallisuudessa ja ajokustannuksissa eivät ole merkittäviä. Uran osalta liikenneturvallisuus saattaa jopa huonontua.



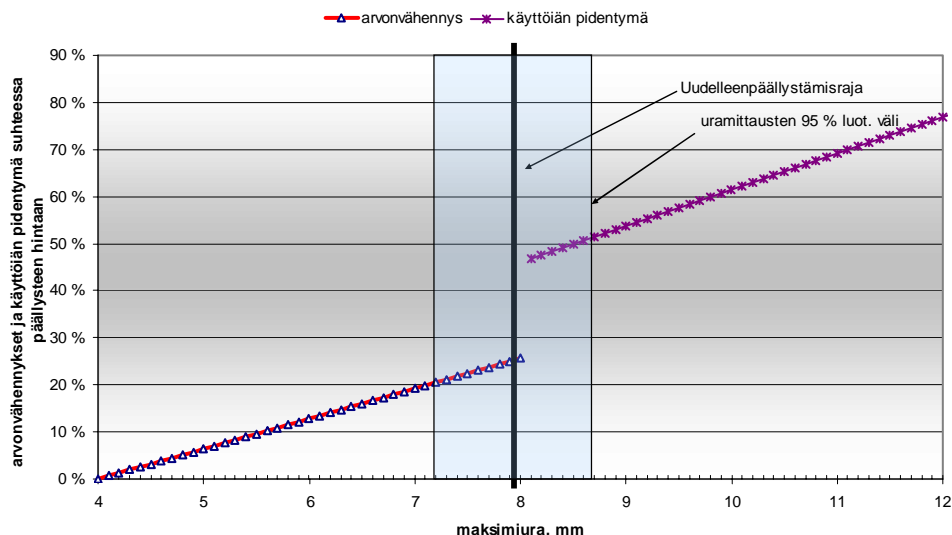
Kuva 7. Mittausvirheen vaikutukset uudelleenpäällystysrajalla.

Jos mittausvirhe jää alle uudelleenpäällystämiskokorajalle tilaaja saa laadunvalvonnasta korvauksena toimittajalle määrättävät sakot, kohteen kunto säilyy ennallaan eikä tienkäyttäjille aiheudu ylimääräisiä kustannuksia korjaustyömaasta.

Virheellisten osuuksien korjauksen seurauksena saatavan käyttöiän pidentymän arvo on karkeasti:

$$\frac{\text{ura} - \text{alku-ura}}{\text{toimenpideraja} - \text{alku-ura}} * \text{hankintahinta}.$$

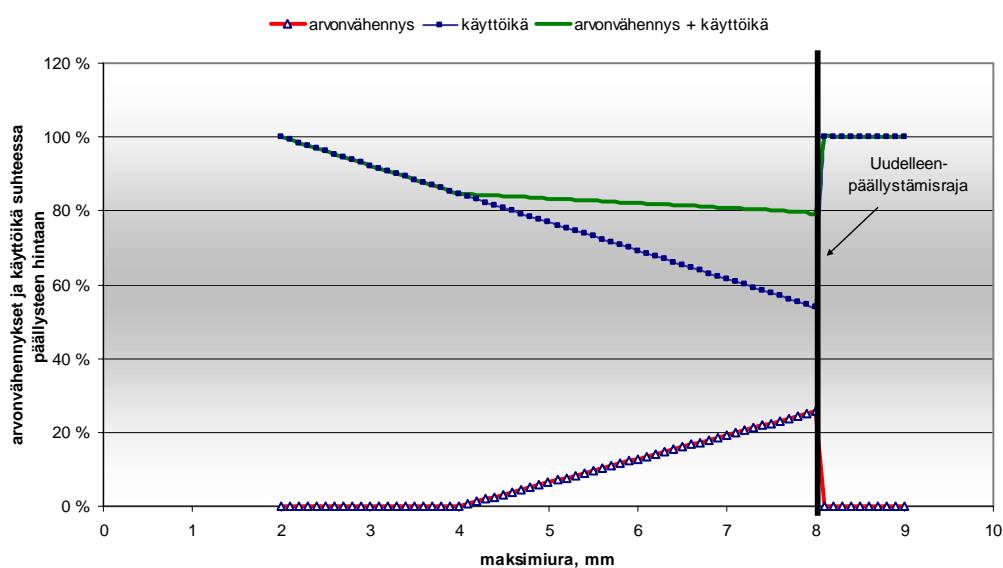
Kuvassa 8 on esitetty maksimiurasta määrättävät arvonmuutokset ja käyttöiän pidentymä uran funktiona. Alku-uran arvoksi on oletettu 2 mm, keskimääräiseksi toimenpiderajaksi 15 mm ja kaistan leveydeksi 3,5 m. Uudelleenpäällystysrajalla lähellä arvonmuutokset ovat selvästi pienempiä, kuin tilaajan saama hyöty kohteen käyttöiän pitenemästä, jos vialliset osuudet määrätään korjattavaksi. Toimittajan kannalta arvonvähennykset ovat aina edullisempi vaihtoehto kuin viallisten osuuksien korjaus. Todennäköisyys, että 100-metrinen määrätään korjattavaksi (jätetään korjaamatta) mittausvirheen vuoksi, on kuitenkin pieni 0,06 % (0,02 %). Uudelleenpäällystämiseen liittyvä riski on huomioitu taulukon 5 kokonaisriskiarviossa.



Kuva 8. Maksimiuran arvonmuutokset ja viallisten osuuksien korjauksesta aiheutuva käyttöön pidentymä.

Koko kohteen maksimiuran keskiarvon arvonmuutokset ja uudelleenpäällystyksestä aiheutuva käyttöön pidentymä vastaavat periaatteiltaan kuvassa 8 esitettyä. Uudelleenpäällystysrajalla (6 mm) käyttöön pidentymä on 31 % ja arvonvähennyksen osuus päällysteen hinnasta 26 %.

Kuvassa 9 on esitetty kohteen käyttöikä ja maksimiurasta määrättävät arvonvähennykset suhteessa päällysteen hintaan 100-metrin maksimiuran funktiona. Kuten edellä, alkukurran arvoksi on oletettu 2 mm ja keskimääräiseksi toimenpiderajaksi 15 mm. Huomattavaa on, että arvonvähennykset eivät korvaa vastaavaa käyttöön menetyksiä. Tilailijan kannalta epäedullisin kohta on juuri uudelleenpäällystysrajan alapuolella. Käyttöön lisäksi kohteen kunto vaikuttaa myös ajokustannuksiin sekä liikenneturvallisuuteen, joita ei ole huomioitu.



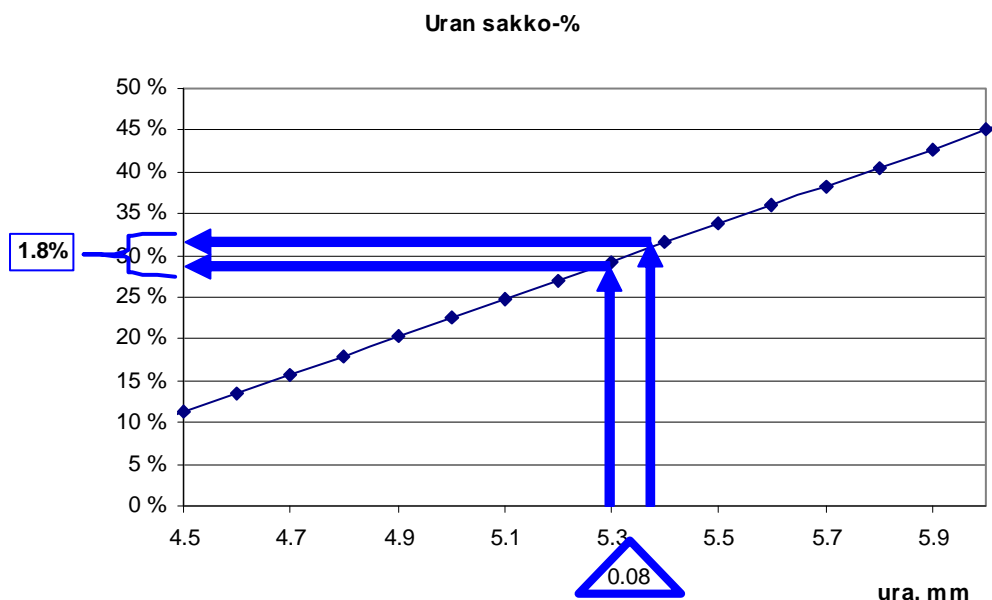
Kuva 9. Kohteen käyttöikä ja maksimiurasta määrättävät arvonvähennykset suhteessa päällysteen hintaan 100-metrin maksimiuran funktiona.

3.7 Systemaattiset erot toimittajien välillä

Pienikin systemaattinen ero mittaajien välillä on merkittävä. Urakoitsijat käyttävät pääsääntöisesti yhtä mittausten toimittajaa, mistä johtuen systemaattiset erot mittaajien välillä vaikuttavat urakoitsijoiden sakkoriskiin ja asettavat urakoitsijat eriarvoiseen asemaan.

100-metrin maksimiuran tasoeroista johtuva ero urakoitsijoille määrättävissä arvonmuutoksissa on maksimissaan 1,8 prosenttiyksikköä (kuva 10). Vastaavasti ero koko kohteen urakeskiarvosta määrättävissä arvonmuutoksissa on 2,4 prosenttiyksikköä.

Koska IRI4:n sakko ei ole lineaarinen ei systemaattisen eron vaikutusta voida arvioida ilman toteutuneiden kohteiden arvojakaumaa.



Kuva 10. 100-metrin maksimiuran tasoerosta johtuva ero toteutuissa arvonmuutoksissa.

Mittaajien välistä systemaattista eroa voidaan kontrolloida ja siihen voidaan vaikuttaa säännöllisesti pidettävillä vertailu- ja kohdistuvuustesteillä. Eroa ei voida poistaa ohjeistusta muuttamalla eikä toistomittauksilla, ellei urakoitsija käytä kahta tai useampaa mittaustentoimittajaa. Useamman eri mittaustentoimittajan käyttö sakkokohteilla ei kuitenkaan ole ongelmatonta.

Tilajalle systemaattisten erojen merkitys on vähäisempi. Esimerkiksi maksimiuran 0,08 mm tasoero vastaa vain murto-osaa kohteen käyttöiästä. Lisäksi suuressa tilausmäärässä pienet erot mittaajien välillä tasaantuvat. Tilajalle merkittävämpää on mittausten pysyvyys, joka voidaan varmistaa säännöllisesti pidettävien kohdistuvuustestien avulla.

4 KESTOIKÄÄN PERUSTUVAT URAKAT

Kestoikään perustuvia urakkamalleja, kestoikämalleilla saavutettua laatua ja kustannustehokkuutta sekä urakan arvonmuutosperusteita ja soveltuvuutta eri liikennemäärille on tutkittu Ilkka Taipaleen diplomityössä.

Arvonmuutoksissa ongelmaksi havaittiin ennustemallit, joissa ei ole huomioitu alkuruu-
uraa. Lisäksi urakoitsijoiden palautteen perusteella kestoikäurakoissa olisi tarvetta
tarkemmille PTM-mittauksille ja useammille mittauksille takuuajan aikana, varsinkin
kohteilla joilla urautuminen on hidasta. Muilta osin kestoikäurakoissa käytetty
urautuminen todettiin olevan vaatimuksena selkeä, yksinkertainen ja helposti
mitattavissa. Työssä ei tarkasteltu mittauksesta aiheutuvaa epävarmuutta eikä riskin
suuruutta.

5 PALVELUSOPIMUKSET

5.1 Yleistä

Vuonna 2010 ELY-keskuksilla oli yhteensä seitsemän voimassa olevaa päällystettyjen
teiden palvelusopimusta (taulukko 5).

Taulukko 5. Päällystettyjen teiden ylläpidon palvelusopimukset

Sopimusmalli	Sopimuksen nimi	Kesto	Kustannukset	
			(M€)	(M€/v)
Kuntovastuu	Betoniteiden ylläpitosopimus (Lemminkäinen Infra Oy)	2008-2015	5	0,5
Kuntovastuu	HTU PPS (Lemminkäinen Infra Oy)	2007-2018	39	3,3
Alue	OULU PÄÄLPA1 (Skanska Asfaltti Oy)	2007-2016	28	2,8
Alue	OULU PÄÄLPA2 (Destia Oy)	2008-2022	45	3,0
Hybridi	KaS PS (Destia Oy)	2008-2017	29	2,9
Kumppanuus	SK GNA (Destia Oy)	2008-2010	14	4,7
Kumppanuus	LYTA PS	2009-2014	14	2,3 (arvio)

Käytössä on neljä eri sopimusmallia (Tiehallinto 2008):

Aluemallissa palveluntuottaja sitoutuu ylläpitämään sopimusalueen päällystetyt tiet
kuntovaatimusten mukaisessa kuntotilassa koko sopimuskauden ajan. Kuntovaatimukset
koskevat sekä pintakuntoa, että rakenteellista kuntoa ja vaihtelevat tieverkolla
ylläpitoluokan mukaan. Rakenteen parantamistoimenpiteille on määritelty ennalta
kokonaismäärä, jonka puitteissa sopimuskautena toimitaan. Sopimushinta koostuu
kiinteähintaisen ja toiminnallisten osien hinnoista sekä mahdollisen kehittämisosion
palkkiosta.

Kuntovastuumallissa palveluntuottaja sitoutuu ylläpitämään sopimusalueen tiestön
pintakuntoa vähintään kuntovaatimusten mukaisessa kuntotilassa koko sopimuskauden
ajan. Palveluntuottaja ei vastaa tien rakenteellisesta kunnosta, minkä takia malli sopii
parhaiten ylemmälle tieverkolle. Palveluntuottajalle maksetaan sopimusaikana
vuosittain tasasuuruista palvelumaksua.

Kumppanuusmallissa tilaaja ja palveluntuottaja toimivat tiiviissä yhteistyössä
päällystyskohteiden valinnassa, toimenpiteiden suunnittelussa ja kohteiden ajoituksessa.
Tehdyistä ylläpitotöistä maksetaan palveluntuottajalle työn suoritusyksikköjen
lukumäärän mukaan. Käytettävissä oleva rahoitus on joustava ja vaihtelee sopimuksen

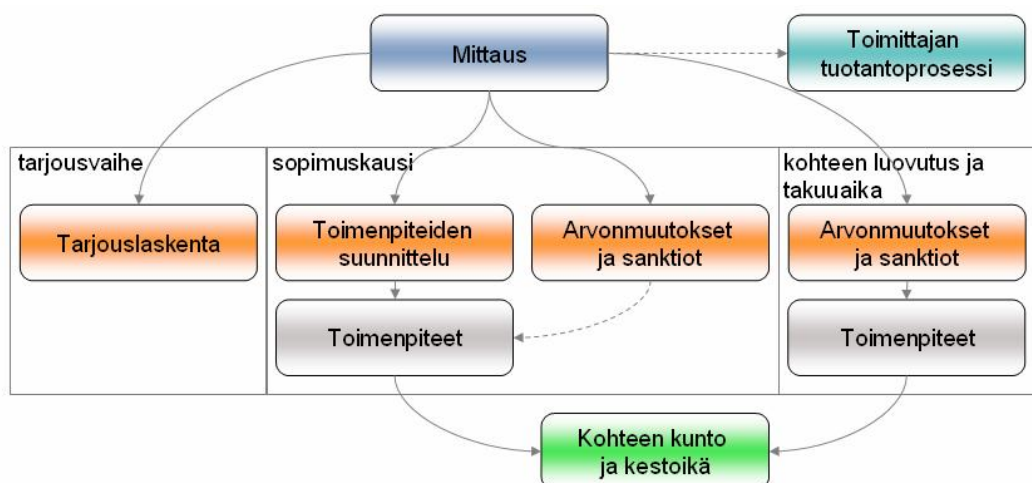
aikana vuosittain. Kumppanuusmalli sopii parhaiten alemmalle tieverkolle, joille ei kyetä asettamaan kattavasti kuntovaatimuksia.

Hybridimalli on kuntovastuu- ja kumppanuusmallin yhdistelmä. Sopimusalueen ylemmälle tieverkolle on asetettu kuntovaatimukset ja alemmaa tieverkkoa ylläpidetään kumppanuusmallissa esitetyin periaattein. Palveluntuottajalle maksetaan sopimusaikana osittain kiinteää ja osittain suoriteperäistä palvelumaksua.

Tässä selvityksessä mittausepävarmuudesta aiheutuvaa riskiä on tarkasteltu osittain tai kokonaan kuntovastuuseen perustuvien urakoiden kannalta.

5.2 Mittausepävarmuuden vaikutukset kuntovastuu-urakoissa

Osittain tai kokonaan kuntovastuuseen perustuvissa urakoissa mittausepävarmuus vaikuttaa tarjouslaskentaan, toimenpiteiden suunnitteluun sekä kunnan perusteella määrättäviin arvonmuutoksiin ja sanktioihin (kuva 11). Tarkasteltavia PTM-muuttujia ovat: maksimiura, IRI, megakarkeus, oikean ajouran heitot, sivukaltevuus ja harjanteenkorkeus.



Kuva 11. Mittausepävarmuuden vaikutukset kuntovastuu-urakoissa

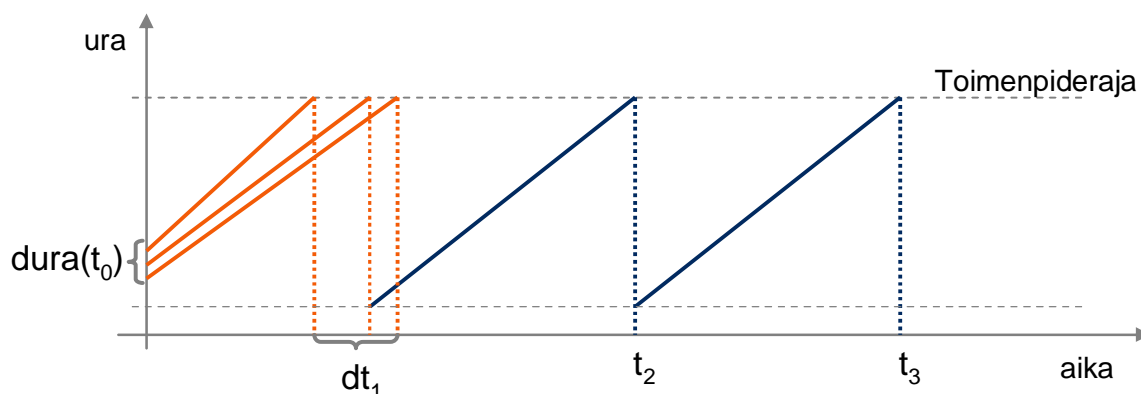
Kuntovastuu-urakoissa mittausepävarmuudesta aiheutuvat riskit riippuvat oleellisesti tarkastelun kohteena olevasta urakasta. Sopimusehdot ja arvonmuutosperusteet sekä tiestön kunto ja erityispiirteet kuten toimenpidehistoria, tiegeometria ja liikenne poikkeavat eri urakoissa toisistaan. Tästä johtuen, yksittäisen esimerkin perusteella laskettuja riskiarvioita ei voida yleistää samaan tapaan kuin perinteisissä urakoissa.

Toimenpiteiden kannalta määräävä muuttuja valta- ja kantateillä on ura. Alemmalla tieverkolla uran merkitys on (pienemmän liikennemäärän ja hitaan urautumisen takia) pienempi ja päällystystoimenpiteet määräytyvät muiden tekijöiden, pääasiassa vaurioitumisen perusteella. Kun tarkastellaan yksinomaan päällystystoimenpiteitä, muiden muuttujien kuin ura merkitys mittausepävarmuudesta aiheutuvan riskin kannalta on oletettavasti vähäinen. Rakenteenparantamistoimenpiteissä muut muuttujat kuten IRI, harjanne, sivukaltevuus ja heitot ovat merkittäviä, mutta niissä ei sovelleta kuntovastuuperiaatetta.

5.3 Mittausepävarmuuden vaikutukset tarjouslaskentavaiheessa

Tarjousten hinnoittelu perustuu kuntomittaustietoihin, joiden avulla arvioidaan urakka-aikana tehtävät toimenpiteet.

Toimenpidekierto lasketaan homogeenisille tieosuuksille tehtävien kuntoennusteiden avulla. Kuvassa 12 on esitetty esimerkki toimenpidekierron ennustamisesta lineaarisen uramallin avulla.



Kuva 12. Toimenpidekierron ennustaminen lineaarisen uramallin avulla.

Mittausepävarmuus vaikuttaa sekä nykytilan kuntoarvioon $ura(t_0)$, että kuntoennusteeseen (lineaarisen mallin kulmakerroin). Jos kaikille toimenpidejaksoille käytetään lähtökuntotilan perusteella laskettua samaa ennustemallia, kertautuvat mittausepävarmuuden vaikutukset toimenpidejaksojen mukaan.

Ensimmäisen toimenpiteen jälkeen ennustejaksoissa voidaan hyödyntää lähtökuntotilan lisäksi tai sijasta myös urakoitsijan omia tuotemalleja yhdessä kohdekohtaisten tietojen kuten liikennemäärän ja toimenpidehistorian kanssa. Tällöin lähtökuntotilan merkitys on pienempi.

Mittausepävarmuudella on huomattavat vaikutukset uran lineaarisissa ennustemalleissa. Taulukossa 6 on esitetty esimerkki uramittausten hajonnan vaikutuksista ennustettuihin toimenpideaikoihin. Kuntoennusteet perustuvat PMSPro:n lineaariseen uramalliin. Mittausvirheen jakauma noudattaa vertailumittauksissa havaittua jakaumaa (kuva 4). Ensimmäisen toimenpiteen aikahaarukka on 1,3 vuotta, toisen 2,7 vuotta ja kolmannen 4,0 vuotta. Ennusteen mukaisten toimenpideaikojen epävarmuus saattaa vaikuttaa tarjouksessa esitettyyn toimenpiteiden lukumääräarvioon. Ennustevirheen realisoituessa seuraukset ovat merkittäviä, sillä ylimääräisellä toimenpidejaksolla on huomattavat rahalliset vaikutukset.

Taulukko 6. Esimerkki mittausepävarmuuden vaikutuksista lineaarisen uramallilla ennustettuihin toimenpideaikoihin.

	Luottamusvälit		
	5 %	50 %	95 %
ura(t₀),mm	6.4	7.0	7.6
urakehitys mm/vuosi	2.2	2.5	2.8
toimenpideaika t₁	3.0	3.6	4.3
toimenpideaika t₂	8.0	9.2	10.7
toimenpideaika t₃	13.0	14.8	17.0

Yleisesti mittausepävarmuudesta aiheutuvaa kuntoennusteiden **hajontaa** kasvattaa:

- pieni lähtöhetken ura-arvo: pienillä ura-arvoilla mittausepävarmuuden (ja alku-uraan liittyvän epävarmuuden) osuus ura-arvosta on suhteellisen suuri. Pienikin mittausvirhe aiheuttaa suuren virheen toimenpideajan ennusteessa.
- hidas urautuminen: mittausepävarmuuden vaikutus lineaarisiin malleihin kasvaa pienillä kulmakertoimen arvoilla.
- korkea toimenpideraja: ennusteeseen liittyvä epävarmuus kasvaa ennustettavan ajan myötä.

Ennusteriskiä voidaan pienentää, jos kohteen alku-uran arvo on käytettävissä.

Mittausriskin **seuraukset** ovat huomattavan suuria silloin, kun ennustettu viimeinen toimenpidejakso sijoittuu lähelle sopimuksen loppua tai takuuajalle.

Mittausepävarmuuden lisäksi toimenpidekierron ennusteriskiin vaikuttavat myös muut tekijät kuten,

- ennustemallit
- kuntohistoriaan liittyvä epävarmuus (alku-ura)
- urakoitsijan omat tuotemallit
- liikenteen epävarmuustekijät
- säähän liittyvät epävarmuustekijät
- toimenpidehistoria, päällysteen ikä, päällystetyyppi jne.

Puutteellisiin lähtötietoihin (alku-ura), liikenteeseen, säähän ja ennustemalleihin liittyvällä epävarmuudella on huomattavasti suurempi merkitys kuin mittausepävarmuudella. Esim. AB teillä PMSPro:n uramallin vuosittaisen urakehityksen 95 % luottamusväli on 3,76 mm. Edellä esitetyssä esimerkissä mittauksen hajonnasta aiheutuva epävarmuus oli vain 0,6 mm. PMSPro:n ennustemallien tarkkuus riippuu uran lähtötasosta. Keskimääräinen virhe on pienin 10 mm ura-arvoilla.

5.4 Mittausepävarmuuden vaikutukset toimenpiteiden suunnittelussa

Pääteillä ura on toimenpiteiden määräävä tekijä. Yli 12 mm ura-alueella 100-metrin maksimiuran 50 % luottamusväli on +/- 0,36 mm ja 95 % luottamusväli +/- 1,1 mm.

Mittauksiin liittyvä epävarmuus on pienempää kuin keskimääräinen urautumisnopeus ja mittausepävarmuudesta aiheutuvat poikkeamat toimenpiteiden ajoituksessa alle vuoden luokkaa.

Tilajalle toimenpiteiden viivästyminen ei aiheuta merkittävää haittaa. Toimittajalle liian aikaisin tehdyt toimenpiteet ovat ongelmallisia. Aikaisin tehty toimenpide pienentää urakoitsijan liikkumavaraa sopimuksen lopussa, sekä lisää riskiä, että tarvittavien toimenpiteiden määrä kasvaa sopimuskaudella. Toimenpiteiden aikaistuuessa urakoitsija menettää lisäksi toimenpidekustannuksia vastaavat pääoman tuotot vastaavalta ajalta. Riskin suuruuteen vaikuttavat tilauskanta, pääomalle saatava tuotto prosentti sekä suhdannevaihtelut.

5.5 Mittausepävarmuuden vaikutukset kuntotilan todentamisessa ja sanktioissa

Urakoitsija toimittaa mittaukset sopimuksen mukaiselta tieverkolta vuosittain määräaikaan mennessä. Mikäli kauden aikana tehdyt mittaukset osoittavat, että

kohteiden kunto ylittää asetetut kunterajat ja sakot ovat suurempia kuin toimenpidekustannukset voi urakoitsija korjata kyseiset kohdat kauden aikana ennen lopullisten mittaustulosten toimittamista. Tästä johtuen, kuntotilan todentamiseen ja sanktioihin liittyvä mittausepävarmuudesta aiheutuva riski sopimuskaudella on aina pienempi kuin toimenpiteiden ajoitukseen liittyvä riski.

Sopimuskauden lopussa ja takuuajana mittausepävarmuudesta aiheutuvat riskit ovat suurempia kuin sopimuskaudella. Mittausepävarmuudesta johtuvat kuntovaatimusten ylitykset johtavat sopimuksen lopussa ja takuuajana väistämättä ”ylimääräisiin” toimenpiteisiin tai sakkoihin. Riskitodennäköisyydet riippuvat:

- toimenpidehistoriasta ja kulumisesta. Tasainen profiili lähellä sakkorajaa kasvattaa riskiä.
- urautumisnopeudesta
- palveluntuottajan jättämästä riskivarasta asetettuihin kuntovaatimuksiin nähden.

Sopimuksen lopussa tarkasteltavien tieverkkotason keskiarvovaatimusten (ura, IRI) osalta mittausepävarmuuden vaikutus ei ole suuren havaintomäärän takia merkittävä. Keskiarvovaatimuksissa ratkaisevaa on lähinnä mittausten toimittajien väliset tasoerot.

Yleisesti palveluntuottajan riskit kuntotilan todentamisessa ja sanktioissa PTM-mittauksiin liittyvien kuntomuuttujien osalta ovat suurempia kuin tilaajalle koituvat riskit. Toimittajan riskinä on takuuajana tehtävä ylimääräiset toimenpiteet ja sakot. Tilaajan riskinä on lähinnä menetetty käyttöikä. Käyttöiän menetyksestä aiheutuva vaihtoehtokustannukset tilaajalle ovat aina pienempiä kuin korjauksesta palveluntuottajalle aiheutuvat toimenpidekustannukset (vrt. kohta 3.6).

Mittausepävarmuudesta aiheutuva riski kuntovastuu-urakoiden kuntotilan todentamisessa ja sanktioissa voidaan määrittää olemassa olevilta kohteilta kuntotietojen perusteella.

5.6 Systemaattiset erot toimittajien välillä

Vuoden 2009 vertailumittauksissa systemaattinen ero toimittajien uramittauksissa yli 12 mm ura-arvoilla oli 0,17 mm. 15 mm keskimääräisellä toimenpiderajalla ja 2 mm keskimääräisellä alku-uralla vastaa tämä mittaajien välinen ero 1,2 % kohteiden urautumisvarasta. Jos todellinen toimenpideraja on pienempi, kasvaa mittaajien välinen ero vastaavasti.

Kohteilla, joissa toimenpiteet tehdään ensisijaisesti uran takia, voi mittaajien välinen systemaattinen ero aiheuttaa pitkällä aikavälillä prosentin suuruusluokkaa olevan eron toimenpidekustannuksissa.

5.7 Erot mittaajien hajonnoissa

Erot mittaajien toistomittausten hajonnassa vaikuttaa toimenpiteiden ajoitusriskiin. Suuri hajonta kasvattaa ennen aikaisen toimenpiteen riskiä. Riskin suuruus riippuu kohteen kunnosta (toimenpidehistoriasta): mitä tasaisempi profiili on, ja mitä lähempänä kohteen kunto on kuntovaatimusrajoja, sitä suurempi vaikutus mittausten hajonnalla on. Kuntovastuu-urakoiden homogeenisuussääntö lisää hajonnan vaikutusta.

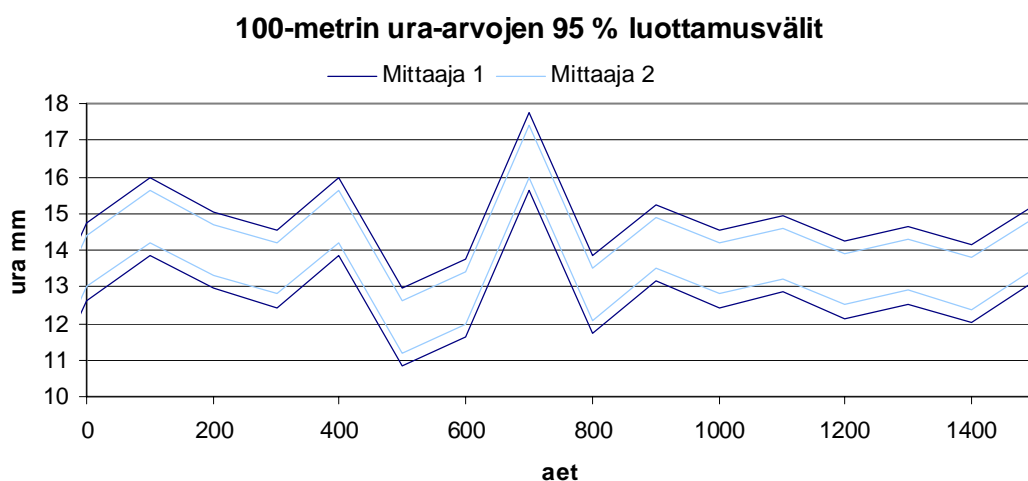
Taulukossa 7 on esitetty suurin ja pienin vertailumittauksissa havaittu toistomittausten havaintoparien erojen hajonta ja niihin perustuvat toistomittausten 100-metrin mittausarvojen luottamusvälit. Mittausvirhe on oletettu normaalijakautuneeksi.

Taulukko 7. Toimittajien väliset erot toistomittausten luottamusväleissä.

Ura, mm	mittaaja 1	mittaaja 2	ero luottamusvälin ylärajalla
hajonta	0.54	0.34	
luot. väli 50 %	0.7	0.5	0.12
luot. väli 95 %	2.1	1.4	0.35
Iri, mm/m	mittaaja 1	mittaaja 2	ero luottamusvälin ylärajalla
hajonta	0.06	0.05	
luot. väli 50 %	0.08	0.07	0.01
luot. väli 95 %	0.24	0.19	0.03

Erot mittaajien hajonnoissa voivat antaa urakoitsijalle 0,35 mm lisää liikkumavaraa uravaatimuksissa ja 0,03 mm/m lisää liikkumavaraa IRI:ssä.

Kuvassa 13 on esitetty esimerkki maksimiuran toistomittausten 95 % luottamusväleistä kahdelle eri mittaajalle. Mittaajan 1 uramittausten hajonta on suurempi kuin mittaajan 2 hajonta. Jos esimerkkinä oleva kohde mitataan useampaan kertaan, mittaajan 1 tuloksista 95 % jää tummansinisten viivojen sisään. Vastaavasti mittaajan 2 tuloksista 95 % jää vaaleansinisten viivojen sisään. Alkuetäisyydellä 1000 m mittaajan 1 tulokset vaihtelevat 95 % todennäköisyydellä välillä 12.4 – 14.6 mm ja mittaajan 2 tulokset välillä 12.8 – 14.2 mm.



Kuva 13. Esimerkki 100 metrin maksimiuran toistomittausten luottamusväleistä.

Mittaajien hajontojen eroihin liittyvä riski korostuu, kun urautumisnopeus on pieni ja kohteen kunto on lähellä toimenpiderajaa pitkällä matkalla. Toimittajien välisiin systemaattisiin eroihin verrattuna on hajontojen eroilla vain pieni merkitys.

6 YHTEENVETO

Yleistä

Mittausepävarmuuteen vaikuttaa useita eri tekijöitä. Maksimiuran kannalta mittaaja ja ajolinjat ovat merkittävimpiä tekijöitä. IRI4:n osalta tulisi panostaa laskentatapojen yhtenäistämiseen.

Tilaaajan ja toimittajan riskit eivät ole yhtä suuria. Perinteisessä urakassa erot eivät ole suuria, kuntovastuu-urakoissa toimittajan riski on selvästi tilaaajan riskiä suurempi.

Mittausvaihtelun arvioimiseksi tutkittavia kohteita ovat mm.:

- tiegeometrian vaikutukset,
- tiemerkintöjen vaikutukset,
- ajolinjojen vaikutukset.

Perinteinen urakka

Maksimiuran sakkoriski on merkittävin mittausepävarmuudesta aiheutuva vaikutus perinteisissä urakoissa. Riskit ovat kuitenkin suhteellisen pieniä.

IRI4:n ja maksimiuran keskiarvon mittausepävarmuudesta aiheutuvien riskien arvioimiseksi tarvitaan uusien päällysteiden mittautietoja toteutuneilta kohteilta.

Suurilla IRI4:n arvoilla arvonmuutoksiin liittyvän epävarmuus on huomattavaa.

Kuntovastuu-urakat

Kuntovastuu-urakoissa mittausepävarmuudella on merkitystä etenkin tarjouslaskentavaiheessa sekä sopimuksen loppupuolella ja takuuajana. Mittausepävarmuudesta aiheutuvan riskin kannalta ura on merkittävin muuttuja.

Mittausepävarmuudesta aiheutuvat riskit riippuvat oleellisesti kohteiden kuntojakaumasta ja toimenpidehistoriasta.

Kuntoennusteisiin, liikennemääriin ja säähän liittyvällä epävarmuudella on huomattavasti suurempi vaikutus tarjousriskiin kuin mittausepävarmuudella.

Mittareiden systemaattisella erolla on merkittävä vaikutus urakoitsijoille. Mittaajien hajontojen erolla ei ole vastaavaa merkitystä.

7 SUOSITUKSET

1. Kerätään PTM-laatumittausten tulosaineistot toteutuneista urakoista ja aineiston avulla

- Määritetään muuttujien jakaumat toteutuneissa urakoissa.
- Määritetään IRI4:n mittausepävarmuuteen liittyvät riskit ja tarkennetaan uramittausten mittausepävarmuuteen liittyviä riskiarvioita.

- Selvitetään ja analysoidaan laatueroja sisältävien urakoiden yhdistäviä tekijöitä.
- Tarkastellaan PTM-laatumittauskäytäntöjen eroja mittaajien välillä (huomautusten lukumäärä ja kohteet).

Urakoista tarvitaan mittaustietojen lisäksi potti-ilmoitus, mittausleveys, tieto tiemerkinntöjen toteutuksesta (massa- vai maalimerkinntät) ja onko merkinntät tehty ennen mittausa.

2. Luodaan menettelytapa, jolla Liikennevirasto saa jatkossa automaattisesti kerättyä laatumittausa tulokset toteutuneista urakoista. Seurataan ja tehdään säännöllisesti (vuosittain) yhteenvetoa laatumittausista, sanktioista ja toteutuneiden urakoiden laadusta.
3. Selvitetään alku-uran ja päällysteen lämpötilan välistä yhteyttä. Kerätään päällysteen lämpötilatiedot liikenteelle avaamisen yhteydessä muutamasta eri urakasta eri päällystetyypeiltä. Tehdään kohteille useampi uramittaus eri ajankohtina liikenteelle avaamisen jälkeen. Mitataan päällysteen lämpötila instrumentoimalla lämpötila-anturit päällysteen sisään sekä mittaamalla kohteiden pintalämpötilat.
4. Analysoidaan alku-urasta ja työnaikaisesta liikenteen seisottamisesta tilaajalle, tienkäyttäjille ja urakoitsijalle aiheutuvia kustannuksia.
5. Pyydetään mittaajia ilmoittamaan mittaustensa mittaasepävarmuus.
6. Yhtenäistetään IRI4-laskentaperusteita.
7. Määritetään IRI:n mittaasepävarmuudesta aiheutuva riski investointihankkeissa ja alemman tieverkon kuntosvastuu-urakoissa.
8. Tarkastellaan alku-uran laatuvaatimuksia ja arvonmuutoksia kokonaisuutena tilaajan, urakoitsijan ja tienkäyttäjien kannalta. Päivitetään asiakirjoja tarpeen mukaan.
9. Tarkennetaan mittaasepävarmuuteen liittyviä riskiarvioita ja tilaajan ja tienkäyttäjien kokonaisyötyarviota lisäämällä malliin työmaan aika- ja ajoneuvokustannuksista tienkäyttäjille aiheutuva haitta.
10. Selvitetään mittauskohteen ja mittaustavan vaikutusta mittaasepävarmuuteen (tiemerkinntät, tiegeometria, päällystetyyppi, karkeus, ajolinjat).
11. Testataan kolmen mittauskerran mediaanin käyttöä maksimiuran laatuvaatimuksissa.
12. Tutkitaan vaihtoehtoisia mittausmenetelmiä lyhytaaltoisen epätasaisuuden arviointiin IRI4:n sijasta.
13. Selvitetään uusien päällysteiden laadunvarmistuskäytännöt muissa maissa.
14. Selvitetään mittausten hajonnalle asetettävien vaatimusten käyttöä palvelusopimuksissa.