

Petteri Haapanen
Pertti Virtala

Asfalttipäällysteiden tasaisuustunnuslukuselvitys

Uudet päällysteet



Petteri Haapanen, Pertti Virtala

Asfalttipäällysteiden tasaisuustunnuslukuseelvitys

Uudet päällysteet

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2016

Liikennevirasto

Helsinki 2016

Kannen kuva: Pertti Virtala

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-228-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Petteri Haapanen ja Pertti Virtala: Asfalttipäällysteiden tasaisuustunnuslukuselvitys - Uudet päällysteet. Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki 2016. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 13/2016. 58 sivua ja 3 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-228-9.

Avainsanat: tiet, asfaltti, päällysteet, tasaisuus, tunnusluvut

Tiivistelmä

Työssä selvitettiin uusien päällysteiden laadunvalvonnassa käytettyjä tasaisuuden tunnuslukuja eri maissa. Selvityksessä käytettiin kirjallisuusselvitystä ja maakyselyä. Kirjallisuusselvityksessä haettiin tasaisuuden tunnusluvuista lähteitä, määritelmiä, käytettävyyttä ja raja-arvoja. Maakysely kohdennettiin kuuteen maahan, joiden yhteyshenkilöiltä kysyttiin vastauksia yhdeksään kysymykseen.

Kirjallisuusselvityksen perusteella uusien päällysteiden laadunvalvonnassa eniten käytetyt tunnusluvut ovat International Roughness Index (IRI), profiili-indeksi sekä erilaiset oikolautoilla määritettävät maksimipoikkeamat. Profiili-indeksi on ollut eniten käytössä Pohjois-Amerikassa, mutta siitä näytetään siirtyvän IRI:n käyttöön. Perusteluna lienee yhtenäisyys kunnonhallinnan tunnuslukujen kanssa. Muita tunnuslukuja olivat erilaiset pituusprofiilista tehtävien aallonpituuksiin ja taajuuksiin liittyvien tarkastelujen tuottamat tunnusluvut kuten Weighted Longitudinal Profile (WLP) ja Wave Band Analysis (WBA).

Maakysely kohdistettiin Australiaan, Iso-Britaniaan, Itävaltaan, Ruotsiin, Saksaan ja Uuteen-Seelantiin. Australiassa, Ruotsissa ja Uudessa-Seelannissa on käytössä uusien päällysteiden laadunvalvonnassa IRI. Sen käyttöä perusteltiin sillä, että tunnusluku on tunnettu, yleis- ja limallinen ja yhtenäinen muun kunnonhallinnan kanssa. Iso-Britanniassa ja Saksassa käytetään oikolautaa ja Saksassa myös ns. mekaanista planograf-laitetta sekä elinkaarihankkeissa oikolautasimulointia. Oikolautaa käytetään myös Itävallassa, mutta ensisijainen mittausmenetelmä on planograf. Saksassa on lisäksi verkkotason mittauksissa käytettävissä ajoneuvosimuloinneilla muodostettu indeksi LWI, pituusprofiilin aallonpituuden analysoinnista saatava indeksi WLP ja pituusprofiilin spektrianalyysistä saatava yleisindeksi Allgemeine Unebenheit (AUN). WLP:n käytöstä on käynnissä tutkimuksia ainakin Saksassa ja Itävallassa, joten sitä pidetään potentiaalisena uusien päällysteiden tunnuslukuna.

Jatkotarkastelun piiriin suositellaan otettaviksi Suomessa sellaiset tunnusluvut, jotka ovat joko määritetty, mitattavissa nopeasti ja käytössä tai joihin maailmalla selvästi tunnetaan mielenkiintoa. Tällaisia tunnuslukuja ovat profiili-indeksi, laskennalliset oikolautasovellukset, aallonpituuden perusteella tehtävät tunnusluvut sekä ajoneuvosimuloinneilla tuotettavat tunnusluvut.

Petteri Haapanen och Pertti Virtala: Utredning om ojämnhetsnyckeltal i asfaltbeläggningar – Nya beläggningar. Trafikverket, teknik och miljö. Helsingfors 2016. Trafikverkets undersökningar och utredningar 13/2016. 58 sidor och 3 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-228-9.

Sammanfattning

Vid arbetet utreddes vilka ojämnhetsmått som används i olika länder vid kvalitetskontrollen av nya beläggningar. Vid utredningen användes litteratursökning och en enkät till olika länder. Vid litteratursökningen eftersöktes källor, definitioner, användbarhet och gränsvärden för olika nyckeltal för ojämnhet. Enkäten skickades till sex länder, där kontaktpersonerna ombads besvara nio frågor.

Enligt litteratursökningen är de vanligaste nyckeltalen som används vid kvalitetskontrollen av nya beläggningar International Roughness Index (IRI), profilindex samt olika maximiavvikelser som fastställs med rätskivor. Profilindexet har främst använts i Nordamerika, men en övergång till IRI förefaller pågå där. Motiveringen till detta torde vara en harmonisering med nyckeltalen för underhållshantering. Övriga nyckeltal var olika tal som fås genom granskning av längdprofilens våglängder och frekvenser, som Weighted Longitudinal Profile (WLP) ja Wave Band Analysis (WBA).

Enkäten skickades till Australien, Storbritannien, Österrike, Sverige, Tyskland och Nya Zeeland. I Australien, Sverige och Nya Zeeland används IRI för kvalitetskontrollen av nya beläggningar. Användningen av IRI motiverades med att nyckeltalet är känt, globalt och förenligt med den övriga underhållshanteringen. I Storbritannien och Tyskland används rätskivor och i Tyskland även rätskivesimulation. Rätskivor används också i Österrike, men där är den primära mätmetoden en mekanisk s.k. planograf. I Tyskland används vid mätningar på nätnivå även indexet LWI, som fås genom fordonssimuleringar samt WLP, som fås genom analys av längdprofilens våglängd, och det allmänna indexet Allgemeine Unebenheit (AUN), som fås genom spektralanalyser av längdprofilen. Undersökningar om användningen av WLP pågår i åtminstone Tyskland och Österrike, och det anses vara ett potentiellt nyckeltal för nya beläggningar.

För fortsatt undersökning rekommenderas sådana nyckeltal i Finland som antingen redan har fastställts, som kan mätas snabbt och används eller för vilka det finns ett tydligt intresse i världen. Sådana nyckeltal är profilindex, kalkylmässiga rätskivettillämpningar, nyckeltal beräknade utifrån våglängd samt nyckeltal beräknade med hjälp av fordonssimulationer.

Petteri Haapanen and Pertti Virtala: Study on Roughness Indicators for Asphalt Pavements - New Pavements. Finnish Transport Agency, Technology and Environment. Helsinki 2016. Research reports of the Finnish Transport Agency 13/2016. 58 pages and 3 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-228-9.

Summary

This study included a literature search and a questionnaire of different roughness indicators used around the western world. The focus was in the use of roughness indicators in the quality assurance for new pavements. The interest was on how well indicators were defined, how common they were in use, how understandable they were and which kind of values were used in quality requirements for new pavements.

According to the literature search the most common roughness indicators used were the International Roughness Index (IRI), Profile Index (PI), and different values for straight edge. The PI has been in use in the North America but the IRI is coming more and more popular as well. The most common justification for using IRI is the relation to the roughness index used in Asset Management. Other promising indicators are the Weighted Longitudinal Profile and Wave Band Analysis.

The questionnaire was sent to six countries which were Australia, Great Britain, Austria, Sweden, Germany and New Zealand. According to the questionnaire the most common roughness indicators for new pavements were IRI and straight edge/planograf indexes. Also some indexes from longitudinal profile analysis or vehicle simulation were used.

The recommended indexes to be studied in more detail in Finland were those indexes which are well defined, in use and based on high speed monitoring of pavements. Indexes from different kind of profile analysis and vehicle simulations are recommended as well.

Esipuhe

Tässä työssä käsiteltiin uusien päällysteiden laadunvalvonnassa käytettyjä epätasaisuuden tunnuslukuja. Työtä on ohjannut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet Sami Petäjä, Juho Meriläinen ja Kari Lehtonen Liikennevirastosta. Työn ovat tehneet Petteri Haapanen ja Pertti Virtala Destia Oy:stä.

Helsingissä helmikuussa 2016

Liikennevirasto
Tekniikka ja ympäristö -osasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	TAVOITE.....	10
3	KIRJALLISUUSSELVITYS.....	11
3.1	Standardin prEN 13036-5 mukaiset tasaisuustunnusluvut.....	11
3.1.1	International Roughness Index (IRI).....	11
3.1.2	Wave Band Analysis (WBA).....	14
3.1.3	Weighted Longitudinal Profile (WLP).....	14
3.2	Saksalaiset epätasaisuusindeksit	15
3.2.1	Epätasaisuuden yleisindeksi (AUN)	15
3.2.2	Epätasaisuusvaikutusindeksi (LWI)	15
3.2.3	3-D-tie ja ajoneuvodynamiikka.....	16
3.3	Pohjoisamerikkalaiset epätasaisuusindeksit.....	17
3.3.1	Profiili-indeksi (Profile Index, PI).....	17
3.3.2	Ride Number	19
3.3.3	Michigan Ride Quality Index.....	19
3.4	Kuorma-autojen epätasaisuusindeksit.....	20
3.4.1	Truck Response Indices	20
3.4.2	Truck Ride Number (TRN)	20
3.4.3	Truck Ride Index (TRI)	20
3.5	Muita epätasaisuusindeksejä.....	21
3.5.1	Yksittäisepätasaisuudet.....	21
3.5.2	Ajomukavuusindeksi (Riding Comfort Index, RCI).....	22
3.6	Eri maissa käytettäviä tunnuslukujen raja-arvoja	22
4	MAAKYSELY	26
4.1	Kyselyn toteutus.....	26
4.2	Kyselyssä kysytyt asiat.....	28
4.3	Tulokset.....	28
4.3.1	Tekniset määrittelyt.....	29
4.3.2	Käytettävä tunnusluku	31
4.3.3	Miksi tunnusluku käytössä	32
4.3.4	Tunnusluvun hyvät ja huonot puolet	33
4.3.5	Käyttö verkkotasolla?.....	35
4.3.6	Tunnusluvun arvojen tulkinta	36
4.3.7	Laadunpoikkeamakäytännöt.....	43
4.3.8	Tieluokituksen vaikutus arvojen tulkintaan	46
4.3.9	Korvaava tunnusluku	48
4.3.10	Mittausmenetelmät (*).....	49
4.3.11	Tunnusluvun laskenta (*).....	50
5	JOHTOPÄÄTÖKSET	52
6	YHTEENVETO.....	56
	LÄHTEET	57
	LIITTEET	
Liite 1	Vastaajien yhteystiedot	
Liite 2	Kyselylomake (englanninkielinen)	
Liite 3	Kyselylomake (saksankielinen)	

1 Johdanto

Päällysteiden pituussuuntaisen tasaisuuden arvostelussa käytetään sekä rakentamisessa että ylläpidossa palvelutasomittauksiin perustuvaa kansainvälistä tasaisuusindeksiä (IRI). Indeksien käyttö alkoi yleistyä voimakkaasti 1990-luvun alussa kun laserpohjaiset mittaus-menetelmät otettiin laajemmin käyttöön. Indeksit perustuu palvelutasomittauksilla kaistan oikeasta ajourasta tuotettuun pituusprofiiliin. Se kuvaa ns. standardiajoneuvon neljänneksen korin pystysuuntaisia liikkeitä pituusyksikköä kohti nopeudella 80 km/h. Sen laskennassa otetaan huomioon aallonpituudet välillä 0,5–30 m.

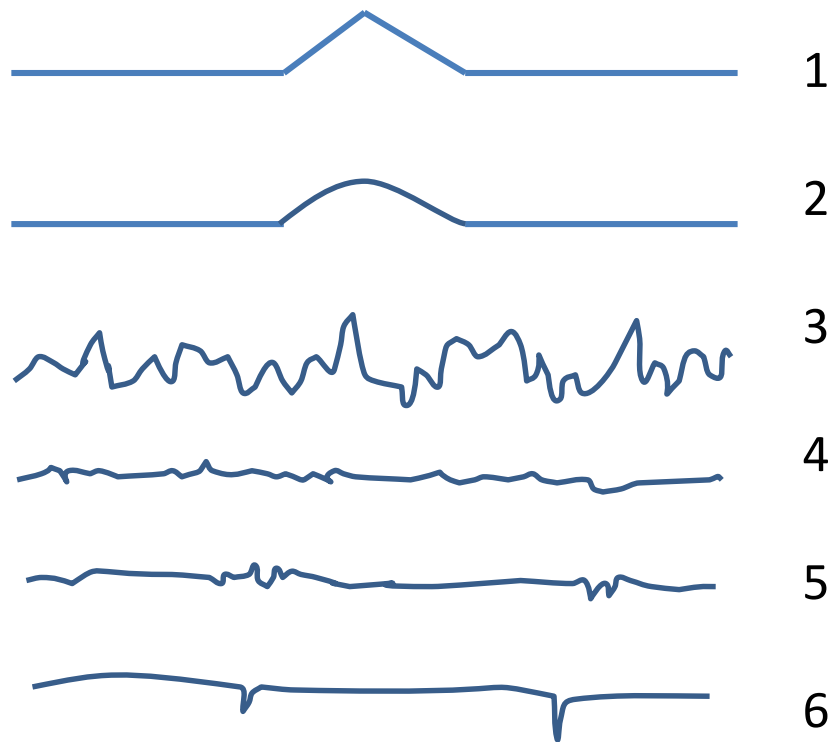
IRI:n käyttöön on todettu monissa yhteyksissä liittyvän puutteita ja ongelmia, joista yleisimmät ovat seuraavat:

- Neljännesautomalli ei huomioi kaikkia liikesuuntia
- Mallin pohjana on vanha löysäjousinen ja suurikokoinen henkilöauto
- Henkilöautomalli ei ota huomioon raskaan ajoneuvon tilannetta
- Vakiosimulointinopeus ei vastaa tiellä vallitsevia nopeusolosuhteita
- Epätasaisuuden huomioinnissa aallonpituus on rajoitettu puoleen metriin
- Tunnusluku ei ota huomioon kaikkia epätasaisuuksia ainakaan 100 m jaksoilla
- Tunnusluku ei vastaa koettua ajomukavuutta riittävän hyvin
- Tunnusluku ei erittele erilaisia epätasaisuuden tyyppejä

Indeksiä on käytetty sekä vanhojen päällysteiden kunnonhallinnassa että uusien päällysteiden laadunvalvonnassa. Siitä kehitettiin laadunvalvonnan tarpeisiin 1990-luvulla aallonpituudeltaan rajoitettu versio, IRI₄, jossa yli 4 metrin aallonpituudet on rajoitettu pois. Tunnuslukuun ei ole oltu kaikilta osin tyytyväisiä ja siksi on tullut tarve tarkastella, onko parempia tunnuslukuja saatavilla. Palvelutasomittauksissa tuotetaan useita pituusprofileja koko kaistan leveydeltä ja tuotettu informaatio mahdollistaa tunnuslukujen kehittämisen.

Eräissä tutkimuksissa [27] todettiin, että tien pituusprofiilista eri aallonpituusalueilta tuotettavat indeksit voisivat kuvata erilaisista syistä ja eri kerroksiin kohdistuvista rakenteellisista ongelmista, joita esim. IRI -tunnusluku ei paljasta. Lisäksi oli todettu, että aallonpituusalueittain eriteltyt tunnusluvut saattavat olla helpommin mallinnettavissa eli niiden vuosikehitys olisi helpommin saatavissa hallintaan. Tien pituusprofiilista on tunnistettavissa ainakin kuusi erityyppistä epätasaisuuden tyyppiä, jotka on selitetty alla ja luonnehdittu oheisessa kuvassa.

- Tyyppi 1: Yksittäisepätasaisuus, joilla aallonpituus pitkä ja aaltomuoto kulmikas
- Tyyppi 2: Yksittäisepätasaisuus, jolla aallonpituus pitkä ja aaltomuoto juoheva
- Tyyppi 3: Normaali epätasaisuus
- Tyyppi 4: Tasainen tie
- Tyyppi 5: Tasainen tie, jossa yksittäisiä epätasaisia kohtia esim. purkauksia
- Tyyppi 6: Tasainen tie, jossa epätasaisia poikkihalkeamia



Kuva 1. Pituussuuntaisen epätasaisuuden eri tyyppejä.

Toisaalta tien epätasaisuudessa kiinnostaa sen häiritsevyyys eli miten tien käyttäjä kokee tiellä ajamisen. Tien pinta toimii herätteenä ajoneuvoille, jotka reagoivat tiehen ajoneuvojen jousitusominaisuuksien määräämällä tavalla. Ajoneuvossa matkustavat henkilöt ja tavarat ovat herkkiä tietyille epätasaisuuksille. Ajomukavuus muodostuu pääasiassa niiden vaikutuksesta. Tien pinnan muodossa on siten kaksi eri näkökulmaa; toinen on tien kannalta tehtävä tarkastelu ja toinen ajomukavuuden kannalta tehtävä tarkastelu.

2 Tavoite

Työn tarkoituksena oli selvittää mitä tunnuslukuja maailmalla käytetään rakennusurakkatason asfalttipäällysteiden pituussuuntaisen tasaisuuden arvioinnissa yleisesti käytetyn IRI:n lisäksi tai sen asemesta. Työ tehtiin kahdessa osassa: kirjallisuusselvityksenä sekä kyselytutkimuksena.

Kirjallisuusselvityksen tavoitteena oli löytää, minkälaisia tunnuslukuja maailmalla on olemassa ja missä maissa niitä käytetään. Lisäksi tunnusluvut ja niiden laskentaperiaatteet kuvataan yleisellä tasolla. Kirjallisen kyselytutkimuksen tarkoituksena oli selvittää ennalta valittujen kohteiden tieviranomaisilta ensisijaisesti

- mikä tunnusluku on käytössä
- miksi tunnusluku on käytössä
- tunnusluvun hyvät ja huonot puolet
- miten tunnusluvun arvoja tulkitaan ja hyödynnetään laatupoikkeamien arvonmuutoskäytännöissä

Kyselytutkimuksen tavoitteena oli myös saada selville eri maiden urakkatason epätasaisuuden vaatimusmäärittelyt ja niiden perusteella tarkastella, miten tunnusluku lasketaan ja minkälaisia mittauksia sen laskenta edellyttää. Kyselytutkimuksen kohteiksi valittiin Australia, Iso-Britannia, Itävalta, Ruotsi, Saksa ja Uusi-Seelanti.

Kirjallisuusselvityksen ja kyselytutkimuksen perusteella tehtiin analyysi eri tunnuslukujen hyvistä ja huonoista puolista IRI:n verrattuna sekä pohditaan, mitä tunnusluvun käyttöönotto Suomessa edellyttäisi. Selvityksen tulosten perusteella voidaan jatkotutkimuksena luoda Suomen olosuhteisiin ja käytäntöihin parhaiten soveltuva tasaisuustunnusluku IRI/IRI4:n tilalle tai sen rinnalle.

3 Kirjallisuus selvitys

Uusien päällysteiden tasaisuuden arvosteluun on käytettävissä muutamia tunnuslukuja, jotka on lueteltu ohessa. Tasaisuusindeksien laskennassa on yleensä neljä tunnistettavaa vaihetta, jotka ovat:

- Profiilin mittaus
 - Profiili mitataan tietyistä kohdista tien poikkileikkausta ja niitä voi olla useita joko ajourissa tai niiden ulkopuolella.
 - Mittauksessa käytetään tiettyä askelväliä, joka vaikuttaa mm. minimaallonpituuteen.
- Profiilin suodatus
 - Kaikkien epätasaisuutta kuvaavien tunnuslukujen laskennassa täytyy olla ainakin yksi, mutta usein myös useita, suodatuksia.
 - Pituusprofiilista tulee suodattaa ne aallonpituudet pois, jotka eivät kuulu siihen.
- Tunnusluvun laskenta
 - Miten tunnusluku lasketaan ts. miten epätasaisuutta kuvaava tunnusluku summataan.
- Tunnusluvun skaalaus
 - Tunnusluku skaalataan usein tietylle arvoalueelle esimerkiksi jakamalla se laskennassa käytettyjen havaintojen lukumäärällä tai kerätyllä pituudella.

Päällysteiden pituussuuntaisen tasaisuuden mittaustavat voidaan ryhmitellä viiteen pääryhmään:

- Vasteelliset tasaisuusmittarit (mm. Bump integrator, ”pomppumittari”)
- Suurinopeuksiset inertiaprofilerit
- Profilograafit (=PTM)
- Kevytrakenteiset profilerit
- Manuaaliset mittarit

Profilograf on se eniten käytetty inertialaitteisiin ja laserantureihin perustuva mittaustaitte, jolla useimmissa maissa päällysteiden tasaisuusprofiilit tuotetaan. Mittaustavat ovat yleensä vaikuttaneet siihen, minkälaisia tunnuslukuja mittauksista on muodostettu. Seuraavassa on esitetty erilaisia tunnuslukuja, jotka ovat muodostuneet erilaisten mittaustaitteiden tuloksista.

3.1 Standardin prEN 13036-5 mukaiset tasaisuustunnusluvut

3.1.1 International Roughness Index (IRI)

Kansainvälinen tasaisuusindeksi, IRI, on kuvattu yksityiskohtaisesti sitä kuvaavassa standardissa (Kuva 2). (prEN 13036-5. Road and airfield surface characteristics – Test methods – Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices.). Sama standardi kuvaa myös kahden muun tunnusluvun, *waveband analysis* ja *weighted longitudinal profile*, laskentaperiaatteet.

Suomessa on käytössä näistä ainoastaan IRI tai sen aallonpituudeltaan rajoitettu versio IRI4. IRI on eniten käytetty tasaisuutta kuvaava indeksi. Käytön yleisyys johtuu siitä, että se on kansainvälinen ja sen laskenta on kuvattu standardeissa. Sen käyttö on yleistynyt eniten verkkotason kunnonhallinnan tunnuslukuna.

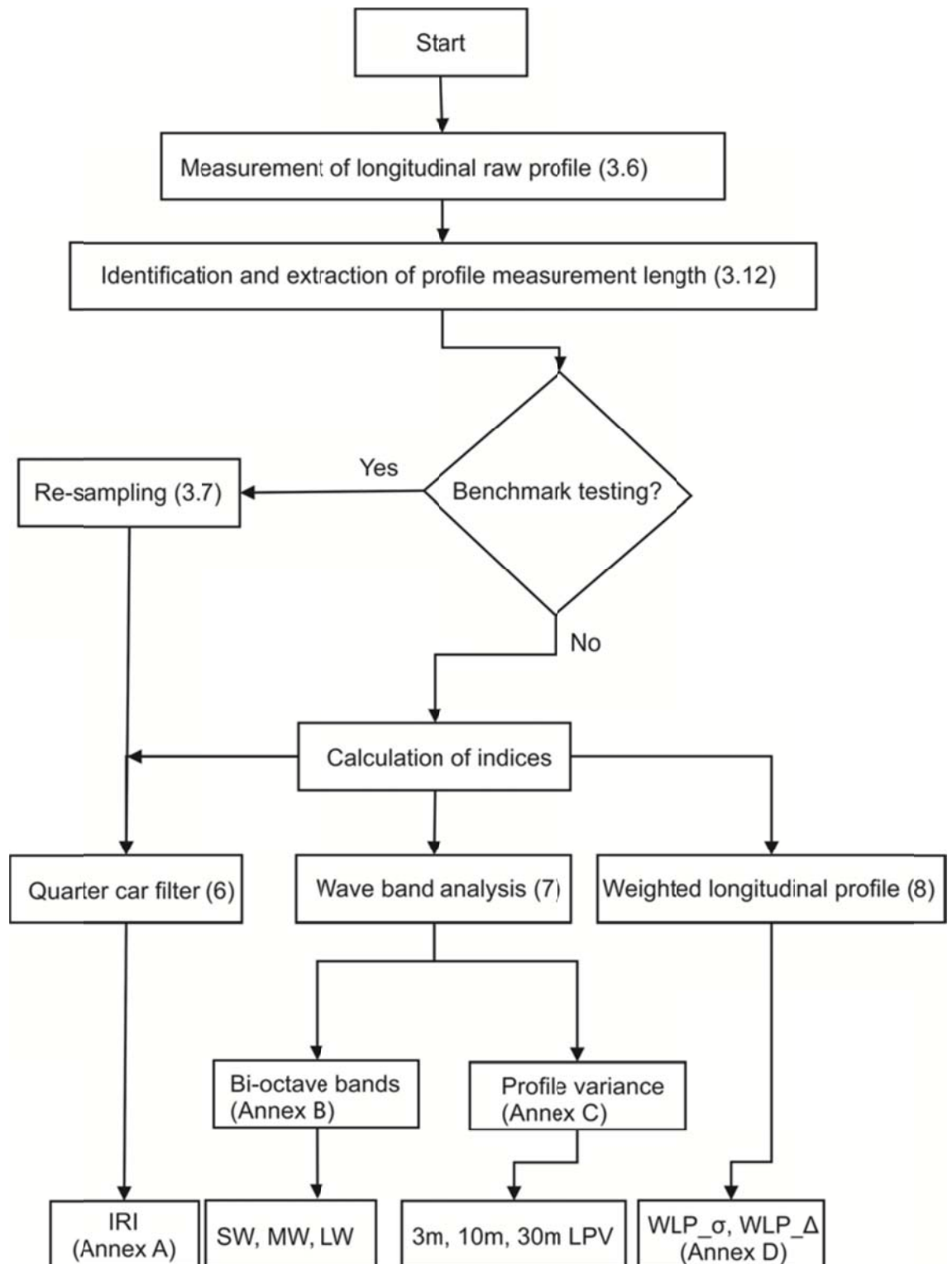
IRI kuvaa ajomukavuutta, koska se on tuotettu mitattua profiilia kulkevan neljännesautomallin tuottamasta pystyliikkeestä. Se tuotetaan yhdestä pituusprofiilista kerrallaan ja se kuvaa vain pystysuuntaisesta liikkeestä aiheutuvaa tilannetta. Se ei siis ota huomioon muita liikesuuntia, joita kokonainen ajoneuvo epätasaisella tiellä saa. Se perustuu suhteellisen löysäjousiseen massa-jousi-systeemiin eikä vastaa kovin hyvin Euroopassa käytettävien jäykkäjousisempien ajoneuvojen (eikä varsinkaan raskaiden ajoneuvojen) vasteita.

Löysäjousinen ajoneuvo sietää epätasaisempia teitä, mutta on pito-ominaisuksiltaan ja käsiteltävyydeltään jäykkäjousista ajoneuvoa huonompi. Ajomukavuus ja käsiteltävyys ovat ajoneuvon jousituksen kannalta vastakkaisia ominaisuuksia, joiden suhteen auton suunnittelija joutuu tekemään kompromisseja. Ajomukavuuden kannalta tarvittaisiin löysää jousitusta ja käsiteltävyyden ja pidon kannalta vastavasti jäykkää jousitusta.

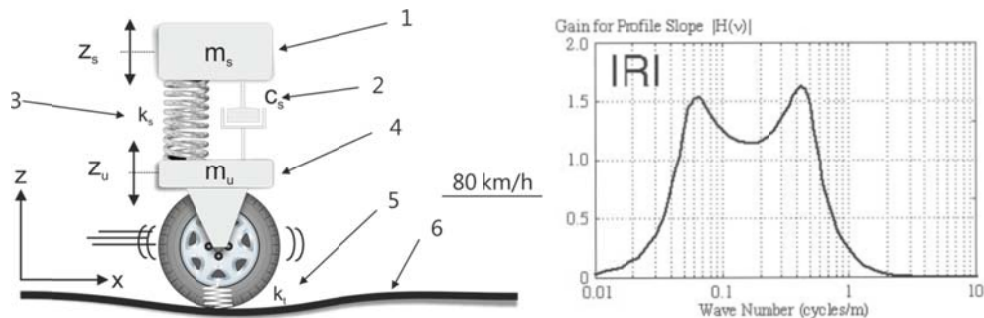
Ajomukavuuden kannalta epätasaisuustunnusluvun laskennan tulisi noudattaa käytössä olevien ajoneuvojen jousituksia. Tästä syystä sen laskenta pitäisi perustaa henkilöauton kannalta jäykkäjousisempaan jousitukseen ja raskaan ajoneuvon kannalta suurempimassaiseen massa-jousi-systeemiin.

IRIn tuottamiseen tarvitaan yhdestä tai molemmista ajourista mitattu pituusprofiili. Profiili mitataan yleensä palvelutasomittarin tyypisillä laitteilla. Yleisin tarkastelujakson pituus on 100 m. Yhdysvalloissa käytetään tarkastelujakson pituutena 0,1 mailia (160 m). Uusien päällysteiden laadunvalvonnassa käytetyt raja-arvot vaihtelevat välillä 1–3 mm/m tieluokasta riippuen.

IRI-tunnusluku lasketaan aina vakionopeudella, joka on 80 km/h. Tunnusluvun laskenta ei noudata todellisia nopeuksia vilkasliikenteisillä suuren nopeuden teillä eikä vähäliikenteisillä matalan nopeuden teillä. Ajoneuvon käyttäytymiseen ja ajomukavuuteen vaikuttaa merkittävästi ajonopeus, jolloin tunnusluvun skaalaa on hankala arvioida näissä ääritilanteissa. Lisäksi uusilla päällysteillä tien pinnan profiili on tasaisempi kuin vanhoilla päällysteillä, jolloin IRIn skaalasta käytetään vain pientä osaa. Uuden päällysteen laatuun vaikuttaa myös megakarkeuden aallonpituusalueella oleva lyhytaaltainen epätasaisuus, joka rajautuu IRI-laskennasta pois. Tällöin IRI4, vaikka onkin rajattu pitemmästä aallonpituusalueesta lähemmäksi uuden päällysteen tilannetta, jättää kuitenkin toisesta päästä tärkeitä aallonpituuksia pois. Puutteena nähdään lisäksi se, että pelkkä pystyliikkeen suuruus ei ole ajoneuvossa olevan henkilön tai tavaroiden kannalta se kriittisin suure. Pystykiihtyvyys on se kriittisempi. Lisäksi myös muita liikesuuntia tulisi ottaa huomioon (Kuva 3).



Kuva 2. Periaatekuvaus pituussuuntaisten tasaisuusindeksien laskennasta. Sulussa olevat merkinnät viittaavat standardiehdotuksen kappaleisiin [5].



Kuva 3. IRI-laskennan neljännesautomalli ja sen vasteherkkyys [5,1].

3.1.2 Wave Band Analysis (WBA)

Wave Band Analyysi on toinen EN-standardiluonnoksessa 13036-5 esitetty tasaisuuden käsittelytapa. Sen laskentaa on kuvattu standardin liitteissä B ja C. Wave Band analyysi sisältää liitteen B mukaan seuraavat osat:

1. Profiilin keruu
2. Suodatus ja uudelleenkeruu
3. Suodatus kolmeen aallonpituusalueeseen (S, M, L)
4. Energiaprofiilien laskenta ($P_{sw}/20m$, $P_{mw}/100m$, $P_{lw}/200m$)

Lisäksi liitteessä C on kuvattu, miten profiilista tuotetaan laajennetun pituusprofiilin varianssit kolmen aallonpituuden alueelta. Laskenta tapahtuu seuraavasti:

1. Raaka pituusprofiili suodatetaan ylipäästösuodattimella, joka poistaa siitä raja-arvotaajuutta pienemmät taajuudet pois.
2. Lasketaan laajennettu pituusprofiilin varianssi koko raportointipituudelle.
3. Lasketaan pituusprofiilin varianssien keskiarvo.

Analyyysin laskenta on kuvattu standardissa, mutta sen käyttöä ei ole erikseen selitetty. Tarkastelutavan käytöstä uusien päällysteiden laatukriteerinä ei löytynyt mainintoja.

3.1.3 Weighted Longitudinal Profile (WLP)

Painotettu pituusprofiili on kolmas EN-standardin luonnoksessa 13036-5 esitetty tasaisuuden käsittelytapa. Sen laskenta on suhteellisen monimutkainen ja se on kuvattu yksityiskohtaisesti standardin liitteessä D. Tasaisuuden käsittely sisältää seuraavat osat:

- Esikäsitteily. WLP-laskenta pohjautuu pituusprofiiliin z joka on otettu 204.8 m pituisesta mittauksesta ja siinä 100 m pituiseen otokseen sen keskeltä. Mitatusta profiilista on otettu uusi otos 0.1 m askelin.
- Tehdään Fourier-muunnos standardin kaavalla D.1
- Rajoitetaan aallonpituusaluetta standardin kaavoilla D.2a ja D.2b
- Painotetaan Fourier-muunnettu profiili standardin kaavoilla D.4a, D.4b ja D.5
- Tehdään oktaavialuesuodatus standardin kaavoilla D.6a, D.6b ja D.7
- Tehdään käännteinen Fourier-muunnos kaavoilla D.8
- Lasketaan painotetun pituusprofiili kaavoilla D.9, D.10a ja D.10b
- Lasketaan WLP-tunnusluvut ΔWLP ja δWLP kaavalla D.11

WLP sisältää kaksi yksinkertaista tunnuslukua, jotka ovat WLP-arvoalue (amplitudi) ja sen hajonta. WLP:n laskenta on kuvattu myös saksalaisessa mittausohjeessa [7]. Tarkastelutavan käytöstä uusien päällysteiden laatukriteerinä ei löytynyt mainintoja. Tarkastelu vaikuttaa kovin teoreettiselta, matemaattisten muunnostoimenpiteiden merkitys jää epäselväksi eikä lopullisten tunnuslukujenkaan merkitys oikein aukene.

3.2 Saksalaiset epätasaisuusindeksit

3.2.1 Epätasaisuuden yleisindeksi (AUN)

Saksassa käytetty ns. epätasaisuusmassa on epätasaisuuden yleisindeksi. Sen laskenta perustuu oikeasta ajourasta mitattuun 10 cm välein kerättyyn pituusprofiilitietoon. Laskenta sisältää seuraavat osat:

- Laskentajakso muodostuu 102,4 m pituisesta osasta, josta on käytettävissä 1 024 mittaushavaintoa.
- Mittaustuloksille tehdään Fourier-muunnos
- Fourier-muunnoksesta tehdään spektrianalyysi
- Tuloksena saadaan epätasaisuutta kuvaava yleisindeksi, josta käytetään nimitystä epätasaisuusmassa. Sen dimensio on cm^3 .

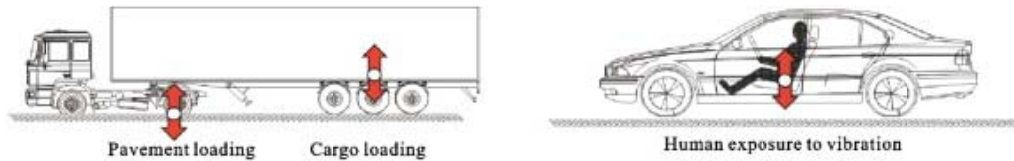
Indeksin laskentaa on kuvattu yksityiskohtaisemmin lähteessä [11].

3.2.2 Epätasaisuusvaikutusindeksi (LWI)

Toinen Saksassa käytetty epätasaisuusindeksi on kolmiosainen epätasaisuuden vaikutusindeksi (Kuva 4). Se lasketaan oikeasta ajourasta saadusta pituusprofiilista kolmenlaisen suodattimen avulla. Laskentaan liittyvät mm. seuraavat osat [11]:

1. Kuorma-auton dynaaminen kuormituslisä (%)
 - a. staattinen akselipaino 11,5 t
 - b. ajonopeus 80 km/h
 - c. lasketaan dynaaminen lisä staattiseen painoon verrattuna
2. Kuorma-auton perävaunun pystykiihtyvyys (m/s^2)
 - a. puoliperävaunun 3-akselinen teli
 - b. ajonopeus 80 km/h
 - c. tarkastellaan keskimmäistä akselia ja siitä aiheutuvia pystykiihtyvyyksiä (tehollinen arvo)
3. Henkilöautoilijan ajomukavuutta kuvaava pystykiihtyvyys (m/s^2)
 - a. henkilöauto
 - b. ajonopeus 100 km/h
 - c. kuljettajamalli
 - d. lasketaan kuljettajaan kohdistuva pystykiihtyvyys (tehollinen arvo)

Saaduista osista muodostetaan painotettu indeksi, joka muodostuu kolmesta erilaisesta vaikutuksesta. Sen puutteena mainitaan olevan sen, ettei siinä oteta huomioon tien poikkisuuntaista epätasaisuutta ollenkaan.

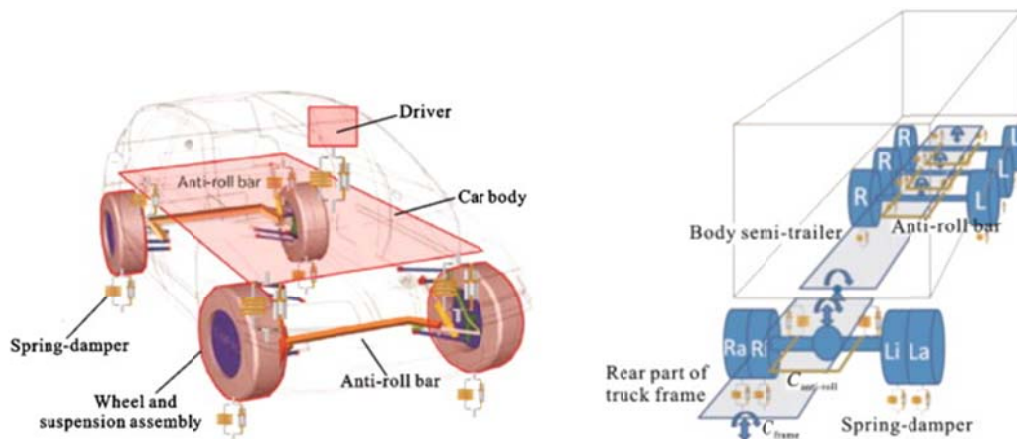


Kuva 4. LWI-mallin kolme tarkastelunäkökulmaa [11].

3.2.3 3-D-tie ja ajoneuvodynamiikka

Kolmas saksalainen ja uudehko epätasaisuuden tarkastelutapa on ottaa mukaan lähes kokonaiset ajoneuvomallit ja päällysteen kolmiulotteinen pintamalli [11, 12]. Ajoneuvomalleja on kaksi: henkilöautomalli ja kuorma-automalli (Kuva 5).

1. Henkilöautomalli koostuu kuudesta massasta, joita ovat pyörät/akselit, kori ja kuljettaja. Simulointi tapahtuu nopeudella 100 km/h. Vasteista lasketaan ainoastaan pystyliikettä. (Ei sivuttaisheilahtelua eikä nyökkimistä).
2. Raskaan ajoneuvon mallina on puoliperävaunullinen 5-akselinen kuorma-auto, jossa perävaunussa on 3-akselinen teli. Vetoautossa on vetoakselina paripyörillä varustettu 11,5 tonnin painoinen akseli. Simulointinopeus on 85 km/h. Simuloinneista jätetään vetoauton etuakseli pois. Vasteista lasketaan taka-akselin dynaaminen akselipaino ja perävaunun akseliston koriin aiheuttama pystykiihtyvyyttä (Ei sivuttaisheilahtelua eikä nyökkimistä).



Kuva 5. Simuloitavan LWI:n ajoneuvomallit [11,12].

Mallilla haetaan samoja tunnuslukuja kuin edellisessä luvussa. Malli on validoitu mm. ADAMS-ajoneuvomallin kanssa. Taulukossa 1 on esitetty esimerkki raja-arvoista, joita sovelletaan sekä tässä kohdassa ajoneuvomalleilla lasketuille tuloksille, että edellisessä luvussa mainituille epätasaisuusindekseille.

Taulukossa on kolmen eri tason raja-arvot: tavoitetilalle, varoitustilalle ja toimenpidetarpeelle. Tavoitetilan raja-arvot voisivat edustaa uusilta päällysteiltä vaadittavaa tasaisuutta.

Taulukko 1. Raja-arvoja [11,12].

Raja-arvo	Yleisindeksi AUN (cm ³)		Dynaaminen kuormitus (%)	Kuorman pystykiihtyvyys (m/s ²)	Kuljettajan pystykiihtyvyys (m/s ²)
Tavoitearvo	1	tehollinen maksimi	6 17,5	0,4 1,2	0,25 0,8
Varoitusero	3	tehollinen maksimi	10 30	0,6 2	0,4 1,4
Toimenpideraja	9	tehollinen maksimi	17,5 52,5	1 3	0,8 2,5

3.3 Pohjoisamerikkalaiset epätasaisuusindeksit

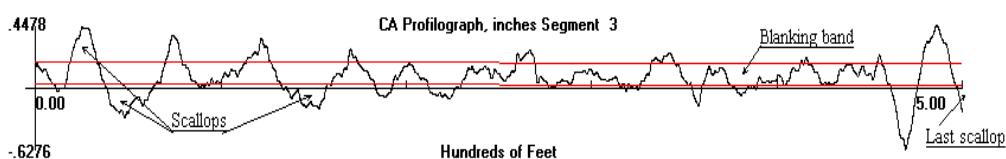
3.3.1 Profiili-indeksi (Profile Index, PI)

Pohjois-Amerikassa yleisesti käytetty tunnusluku uusien päällysteiden laadunvarmistuksessa on profiili-indeksi (Profile Index, PI). Se tuotetaan pituusprofiilista asettamalla tietyn pituinen nauha pituussuuntaan ja laskemalla pinnan profiilin ulottumia siihen nähden.

Profiili-indeksi huomioi epätasaisuuksia aallonpituusvälillä 0,3–23 m ja se korostaa 7,6 m aallonpituuden monikertoja. Indeksien laskennassa nauhan paksuutena on käytetty 0,2 tuumaa, mutta myöhemmin sen nolla-arvon käyttö on yleistynyt. Indeksien nimessä on usein nauhan korkeutta osoittava tunnus, $P_{0,2}$ tai $P_{0,0}$, missä $P_{0,0}$ edustaa ohutta lankaa.

Noin 90 % Pohjois-Amerikan maiden osavaltioista on käyttänyt uusien päällysteiden laadunvalvonnassa profiili-indeksiä. Viime vuosina on kuitenkin havaittu lievää siirtymää IRIn käyttöön johtuen siitä, että on haluttu käyttää samaa tunnuslukua kuin vanhojen päällysteiden kunnonhallinnassa. Onhan uuden päällysteen tasaisuus yksi tasaisuuden kehittymiseen vaikuttava tekijä. Profiili-indeksien laskenta on integroitu PROVAL-ohjelmistoon, jota urakoitsijat käyttävät päällysteiden laadunvalvonnassa.

Profiili-indeksien laskentaan tuotetaan pituusprofiilit 1 m etäisyydeltä kaistan kummastakin reunasta. Laskenta tehdään 0,1 mailin (160 m) pituisille jaksoille kerrallaan. Profiili-indeksien laskentaperiaatetta on kuvattu alla (Kuva 6).

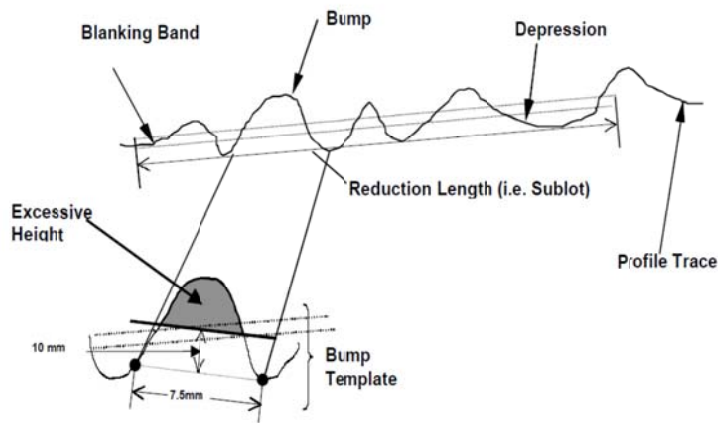


Kuva 6. Pituusprofiili (CA Profilograph Trace) [8].

Punaisten viivojen avulla esitetty ”nauha” asetetaan vähintään 100 jalan pituiseen profiiliin siten, että sen ylä- ja alapuolelle jää profiilista samansuuruinen osa. Nauhallalla on tietty paksuus, joka on yleisimmin 0,2 tuumaa. Profiili-indeksi lasketaan ”oikolaudan” takaa näkyvien kohoumien tai laaksojen yhteenlaskettuna korkeuserona pituusyksikköä kohti seuraavasti [8]:

$$PI_{segment} = \frac{\sum_{j=1}^m \text{the maximum of absolute height in the } j^{\text{th}} \text{ scallop}}{\text{the segment length}}$$

Kohoumat (Bumps) ja laaksot (scallops) ovat osana profiili-indeksin laskentaa (Kuva 7). Ne mainitaan useissa Pohjois-Amerikan osavaltioiden laatuvaatimuksissa. Niille saatetaan asettaa vaatimuksia erikseen. Määritelmän mukaan on kyse pienempimuotoisista kohoumista kuin heitoista ja painumista.



Kuva 7. Kohouman laskentaperiaate [1].

Profiili-indeksille ja yksittäisille kohoumille on käytetty uusien päällysteiden laadunvalvonnassa mm. seuraavia reunaehtoja [2]:

- Päällysteet, joilla $PI < 64$ mm/km, ovat hyväksyttäviä.
- Päällysteistä, joiden $PI = 64-160$ mm/km, ei makseta ajomukavuudesta johtuvia bonuksia.
- Päällyste, jonka $PI > 160$ mm/km, ei ole hyväksyttävä.
- Päällysteet, joilla on yli 8 mm kohoumia tai ”purkaumia” 8 m matkalla, tulee korjata.
- Tasauskerrokset, joilla on yli 12.5 mm kohoumia 8 m matkalla, tulee korjata ennen päällystämistä.
- Kaikki päällysteet, joilla $PI > 160$ mm/km, tulee korjata.

Kanadassa uusien päällysteiden laadunvalvonnassa laskentapituutena on 100 m ja raja-arvot vaihtelevat välillä 10–22 mm/100m tieluokasta riippuen.

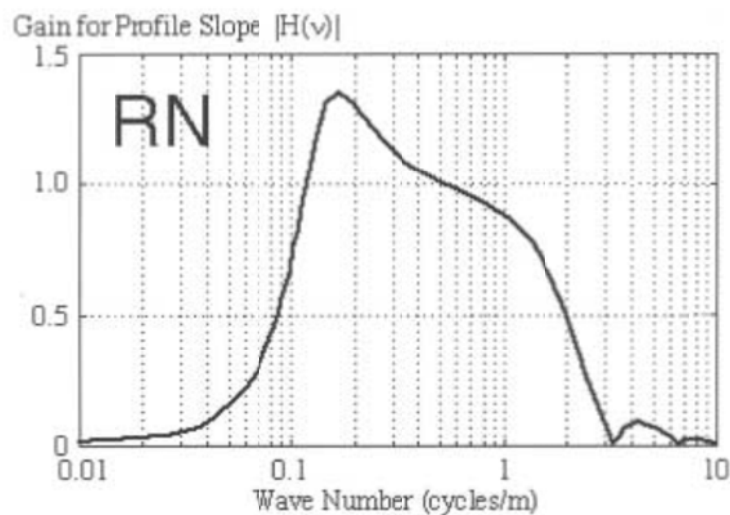
3.3.2 Ride Number

Ride Number on ajomukavuuteen liittyvä tasaisuustunnusluku, jonka laskenta on IRI-laskennan tyyppinen. Profiili muunnetaan kaltevuustiedoksi 250 mm välein. Sen jälkeen se suodatetaan kaistasuodattimen läpi. Indeksiksi lasketaan suodatetusta profiilista kahden vaiheen avulla. Ensimmäin tuotetaan profiilin RMS-arvot, joista saadaan PTRN (pre-transformed Ride Number), joka skaalataan asteikolle 0–5 kaavalla:

$$RN = 5e^{(-160PTRN)}$$

Se kehitettiin 1980-luvulla tutkimusohjelmassa “National Cooperative Highway Research Program (NCHRP)” ja standardoitiin 1990-luvun lopulla (FHWA.(26,30,31). Indeksiksi kuvaa ajopaneelin tulosta.

Sen herkkyyskäyrä eri tiheydellä esiintyvillä aalloille on seuraavan kuvan mukainen (Kuva 8). RN tuotetaan PROVAL-ohjelmalla samassa yhteydessä kuin profiili-indeksi, mutta se ei ole yhtä yleisessä käytössä kuin PI [6].



Kuva 8. Ride Numberin laskennan herkkyyskäyrä [6].

3.3.3 Michigan Ride Quality Index

Michigan Ride Quality Index on 1960-luvulla Michiganin tielaitoksessa kehitetty indeksi, jolla ennustetaan käyttäjän kokema ajomukavuutta. RQI tuotetaan kolmen aallonpituusalueen avulla, jotka erotellaan lyhyisiin (0,61–1,52 m), keskipitkiin (1,52–7,62 m) ja pitkiin (7,62–15,24 m) aallonpituuksiin kolmannen asteen Butterworth-suodattimella.

$$RQI = 3,077 * \ln(VAR_1 * 10^8) + 6,154 * \ln(VAR_2 * 10^8) + 9,231 * \ln(VAR_3 * 10^8) + 141,85$$

missä VAR_i on kultakin aallonpituusalueelta laskettu profiilin varianssi [6].

RQI:n käytössä on seuraavia erityispiirteitä [2]:

1. Pituusprofiilit tuotetaan 1 m etäisyydeltä kaistan reunoista.
2. Se lasketaan 160 m pituisille jaksoille.
3. Mittaus suoritetaan kaksi kertaa.
4. Päällyste on hyväksyttävä jos sen RQI = 22-45
5. Päällyste ei saa bonuksia jos sen RQI = 45-53
6. Päällyste jonka RQI>53 ei ole hyväksyttävä

3.4 Kuorma-autojen epätasaisuusindeksit

3.4.1 Truck Response Indices

Kuorma-ajoneuvojen liikkeisiin (vasteisiin) liittyviä vasteindeksejä on ehdotettu useita. De Pont tuotti ajoneuvon dynaamisiin pyöräpainoihin liittyvän indeksin (DLC). DLC on akselipainon hajonnasta laskettu indeksi jakamalla se staattisella akselipainolla. Indeksien ei kuitenkaan todettu tuovan lisäarvoa IRIin verrattuna, joten IRIä se ei korvannut. [6]

3.4.2 Truck Ride Number (TRN)

Hassan (Australia) on luonut tasaisuusindeksin, jolla on ennustettu kuorma-auton kuljettajan kokemaa ajomukavuutta. Indeksini lasketaan profiilin kaltevuuksien amplituditaajuusanalyysi¹ (PSD) kolmessa eri aallonpituusalueessa. Paras aallonpituusalue on 4.9–19.5 m [6].

TRN lasketaan tuottamalla ensin PI-arvo ja skaalaamalla se lopulta arvoalueelle 0–5 seuraavasti:

$$TRI = 5 * e^{-159PI^{0.865}}$$

3.4.3 Truck Ride Index (TRI)

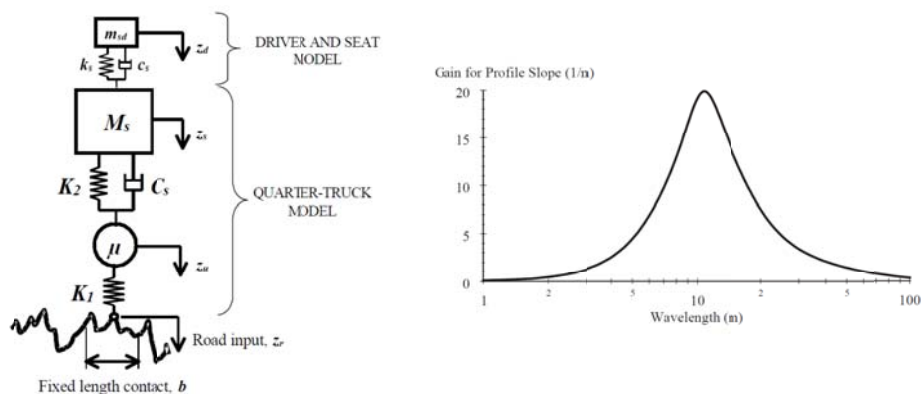
Prem ehdotti joukon tasaisuusindeksejä, jotka kuvaavat kuorma-auton saamia vasteita. Indeksit pohjautuvat kolmen vapausasteen ajoneuvomallin tuottamiin pystyliikkeisiin (Kuva 9). Neljännesautomallilla tuotettiin ajoneuvon vasteita ja kuljettaja-istuinmallilla kuljettajaan kohdistuvia vasteita. TRI lasketaan seuraavasti:

1. Tuotetaan kuorma-autoa kuvaavalla neljännesautomallilla ajoneuvon pystyliikkeet nopeuksilla 60 km/h ja 100 km/h.
2. Lisätään istuin-kuljettajamalli, syötetään sille herätteeksi neljännesautomallin tulos ja lasketaan sen saamat vasteet.
3. Sovelletaan ihmisen tärinänsietoa kuvaavaa herkkyyskäyrää (British Standard BS 6841).
4. Lasketaan kuljettajamallin painotetun pystykiihtyvyyden RMS-arvo.

TRI on nopeudella 100 km/h kaikkein herkin aallonpituusalueella 7,1–17,3 m. IRIiin verrattuna TRI:ssä korostuvat pitkien aallonpituuksien epätasaisuudet.

¹ Vapaa suomennos Power Spectral Densitystä

Muita Premin suosittamia indeksejä olivat ajoneuvoon kohdistuvien liikkeiden perusteella lasketut indeksit sekä dynaamista kuormitusta kuvaava indeksi (DLI²), joka on dynaamisen pyöräpainon tehollinen arvo (RMS) [6].



Kuva 9. Premin käyttämä malli ja sen herkkyys pituusprofiilin aallonpituudelle [6].

3.5 Muita epätasaisuusindeksejä

3.5.1 Yksittäisepätasaisuudet

Ruotsalaisessa tiestömittausten tunnuslukuja käsittävässä määrittelydokumentissa [9] on mainittu paikallisten epätasaisuuksien mittausta. Kaksi yksittäisepätasaisuutta kuvaa vaikutusta henkilöautoon ja kaksi kuorma-autoon. Henkilöautoon liittyvässä tarkastelussa käytetään samaa neljännesautomallia kuin IRI:n laskennassa, mutta IRI:n laskennasta poiketen tien todellista nopeusrajoitusta. Tunnusluvut lasketaan korin ja akselin pystykiihtyvyyksistä (m/s²).

Vastaavasti yksittäisten epätasaisuuksien vaikutusta raskaaseen ajoneuvoon lasketaan niin ikään neljännesautomallilla, mutta sen ajoneuvon parametrit vastaavat IRI-laskennasta poiketen raskaan ajoneuvon parametreja ja tien todellista nopeusrajoitusta, kuitenkin enintään 90 km/h.

Paikalliset epätasaisuudet lasketaan 10 cm:n välein ja ne raportoidaan 20 m matkalle siten, että arvona on maksimiarvo. Dokumentissa ei ole määritetty mitään raja-arvoja [9].

Suomessakin käytettiin 1990-luvulla ajoneuvon korin laskennallista maksimikiihtyvyyttä ja luokiteltiin se raja-arvojen 2,0 m/s² ja 3,0 m/s² perusteella haitallisiin ja erittäin haitallisiin. Se ei kuitenkaan ole ollut käytössä enää vuoden 2003 jälkeen tilatuissa mittausrakkoissa.

² Dynamic Load Index

3.5.2 Ajomukavuusindeksi (Riding Comfort Index, RCI)

Ajomukavuusindeksi on subjektiivisiin arviointeihin perustuva tien tasaisuutta kuvaava indeksi, jonka arvoalue voi olla joko 0–10 tai 0–100 valinnasta riippuen. Ajomukavuusindeksin käyttö on vähentynyt uusien mittausmenetelmien ja indeksien myötä.

3.6 Eri maissa käytettäviä tunnuslukujen raja-arvoja

Taulukoissa 2–4 on esitetty Pohjois-Amerikassa käytettyjä tasaisuusindeksejä ja niiden raja-arvoja päällysteiden laadunvalvonnassa. Sen mukaan yleisimmät tasaisuusindeksit ovat IRI ja PI.

Taulukossa 5 on esitetty vastaavia tuloksia eräistä Euroopan maista. Taulukot ovat vuodelta 1999 ja siten joiltakin osin vanhentuneita. Siirtymää PI:stä IRI:n käyttöön on tapahtunut sen jälkeen enemmän.

Taulukko 2. Yhteenveto Kanadassa käytetyistä tasaisuustunnusluvuista, niiden mittausmenetelmistä ja käytöstä [1].

Province	Year	Smoothness Indicator	Equipment and Services	Calibration, Correlation or Standard	Applicability and/or Exclusions
The Western Provinces: British Columbia, Alberta, Saskatchewan	1980's	Profile Index (mm/100m) Bumps/Dips (mm) <u>Notes:</u> • 5mm Blanking Band • 100 metre sublots	Cox Profilograph • DOT Services (BC, SK) • Consultant Services (AB)	• Not Presented	<u>Applicability:</u> • Separate specs for single lift, multiple lifts and presence of curb and gutter <u>Exclusions:</u> • No exclusions, use separate specifications for bridges, RR crossings, etc.
Manitoba	1993 (PCC) 1997 (AC) 1999 (rev.)	Profile Index (mm/100m) TCR (mm/100m) Bumps (mm) <u>Notes:</u> • 5mm Blanking Band • 100 metre sublots	Hi-Lo Beam (AC) 3m Straight-edge (PCC) • Ministry Services	• Testing Services at request of Region or Contractor • Start up meeting of representatives from contractor, project quality assurance and profilograph crew	<u>Applicability:</u> • Testing completed within 1 month of contract completion • Top lift, outer wheelpath of each main lane in direction of traffic <u>Exclusions:</u> • Acceleration and deceleration lanes • readings terminated at 6m from ends of structures, railway crossings, and existing adjacent pavement structures
Ontario	1999 (rev.)	Profile Index (mm/km) Scallops/Bumps (mm) <u>Notes:</u> • Zero Blanking Band • 100 metre sublots	California Profilograph • Ministry and Contractor Services	• Profile measuring devices (PMD's) must be calibrated at all times (distance, height) • All Ontario PMD's (Ministry and Private) correlated at start of construction season (must remain within 4% of Ministry benchmark)	<u>Applicability:</u> • Single spec for all surface courses with 2+ lifts • Speed limit >60 km/h (except for tapers, shoulders, accel/decel lanes, detours, temporary pavement) • Contracts >5000 t of surface course <u>Exclusions:</u> • Single lifts, Tight curves, Bridge decks (<50m), Night paving • Areas to match existing surface • Hot-in-Place (HIP) or Cold-in-Place (CIP) recycling
Quebec	1998 (rev.)	IRI (mm/km) <u>Notes:</u> • 1 km sections (AC), 500 m sections (PCC) • 100 metre segments	Inertial Profilometer (AC) California Profilograph (PCC) • Ministry and Contractor Services	• World Bank Technical Paper 46: Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements (AC) • ASTM E1274 (PCC)	<u>Exclusions:</u> • AC sections with structures such as bridge decks are not tested. • PCC sections with obstacles, approach slabs to bridges or utility access points are not tested.
The Atlantic Provinces: New Brunswick, Nova Scotia, Prince Edward Island, Newfoundland	1992 – 1999	Profile Index (mm/100m) Scallops/Bumps (mm) <u>Notes:</u> • 5mm Blanking Band • 100 metre sublots	California Profilograph • DOT Services (NB, PEI) • Consultant Services (NS, NF)	• ASTM E1274 Standard Test for Measuring Pavement Roughness Using a Profilograph	<u>Applicability:</u> (NS) • Full Profile Index and Bump spec for all surface courses with 2+ lifts • Profile Index bonus and Bump spec for 1 lift or repaving

Taulukko 3. Yhteen veto Kanadassa käytetyistä laatuvaatimusrajoista ja urakka-vaatimuksista [1].

Province	Requirements for Acceptance/Rejection	Pay Adjustments		
		Full Contract	Bonus	Penalty
British Columbia	<ul style="list-style-type: none"> Correction: <ul style="list-style-type: none"> Bumps > 12 mm Bumps between 8-12 mm at discretion of engineer Rejection: <ul style="list-style-type: none"> Sections rejected/replaced if: <ul style="list-style-type: none"> PI > 24 mm/100m (Multi-lift) PI > 24 mm/100m (Single-lift) PI > 30 mm/100m (Curb/ Gutter) 	<p>0 < PI < 10 mm/100m (Multi-lift)</p> <p>0 < PI < 15 mm/100m (Single-lift)</p>	<p>PI = 0 mm/100m (all lift/section types)</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of \$100 per 100m 	<p>10 < PI < 24 mm/100m (Multi-lift)</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$40 to \$340 per 100m <p>15 < PI < 24 mm/100m (Single-lift)</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$40 to \$320 per 100m
Alberta	<ul style="list-style-type: none"> Rejection: <ul style="list-style-type: none"> Sections rejected/replaced if: <ul style="list-style-type: none"> PI > 24 mm/100m (Multi-lift) PI > 24 mm/100m (Single-lift) PI > 30 mm/100m (Curb/ Gutter) 	<p>0 < PI < 22 mm/100m (Curb/Gutter)</p> <p>Bumps/Dips < 8 mm</p>	<p>PI = 0 mm/100m (all lift/section types)</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of \$25 per 100m 	<p>22 < PI < 30 mm/100m (Curb/Gutter)</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$40 to \$320 per 100m <p>Bumps/Dips > 8.0 mm</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty \$100 per bump/dip
Saskatchewan	<ul style="list-style-type: none"> Correction: <ul style="list-style-type: none"> No corrective measures (penalty only) unless bumps > 12 mm Rejection: <ul style="list-style-type: none"> Sections rejected/replaced if: <ul style="list-style-type: none"> PI > 23 mm/100m (Tangents and Curves > 600m) PI > 28 mm/100m (Other) Bumps > 12 mm 	<p>PI < 15 mm/100m (Tangents and Curves > 600m)</p> <p>PI < 20 mm/100m (Curves < 600m, Sublots within 50m of bridge or RR crossing or end subplot)</p>	<p>No bonus offered (penalty only)</p>	<p>16 < PI < 23 mm/100m (Tangents and Curves > 600m)</p> <p>21 < PI < 28 mm/100m (Curves < 600m, Sublots within 50m of bridge or RR crossing or end subplot)</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$40 to \$600 per 100m <p>8 < Bumps < 12 mm</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$100 to \$400 per bump
Manitoba	<ul style="list-style-type: none"> Correction: <ul style="list-style-type: none"> No corrective measures for AC pavements (penalty only) Correction for PCC pavements if: <ul style="list-style-type: none"> PI > 19 mm/100m, or Bumps > 12 mm/7.6m Notes: <ul style="list-style-type: none"> Repairs to section or bumps > 8mm disqualify that section from bonus 	<p>6 < PI < 11 mm/100m (AC)</p> <p>8 < PI < 14 mm/100m (PCC)</p> <p>Bumps < 8mm (AC)</p> <p>Bumps < 12mm (PCC)</p>	<p>PI < 6 mm/100m (AC)</p> <p>PI < 8 mm/100m (PCC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of \$59 (AC) or \$185 (PCC) per 100m <p>TCR < 70 mm/100m (AC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of \$5 to \$59 per 100m <ul style="list-style-type: none"> Continuous Smoothness Bonus (\$100 per km) 	<p>PI > 11 mm/100m (AC)</p> <p>14 < PI < 19 mm/100m (PCC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$118 (AC) or \$185 (PCC) per 100m

Taulukko 4. (Jatkoa) Yhteenveto Kanadassa käytetyistä tunnusluvuista, laatuvaatimurajoista ja urakkavaatimuksista [1].

Province	Requirements for Acceptance/Rejection	Pay Adjustments		
		Full Contract	Bonus	Penalty
Ontario	<p><u>Acceptance:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> for 2x2 lane-km: <ul style="list-style-type: none"> Bumps < 13 mm allowed without pay adjustment for other areas: <ul style="list-style-type: none"> Bumps < 13 mm allowed Allow 2 bumps up to 18mm <p><u>Rejection:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sections rejected/replaced if: <ul style="list-style-type: none"> PI > 550 mm/km Bumps > 13 mm repaired <p><u>Notes:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Repairs to section disqualify that section from bonus 	231 < PI < 450 mm/km	PI < 230 mm/km	450 < PI < 550 mm/km
Quebec	<p><u>Acceptance:</u></p> <p>(AC) • Sections accepted if:</p> <ul style="list-style-type: none"> 7 of 10 segments IRI ≤ 1.2 m/km, and 10 of 10 segments IRI ≤ 1.4 m/km <p><u>Rejection:</u></p> <p>(AC) • Sections rejected if:</p> <ul style="list-style-type: none"> IRI ≥ 1.8 m/km <p>(PCC) • Sections rejected if:</p> <ul style="list-style-type: none"> PI > 240 mm/km 	<p>1.1 < IRI < 1.3 m/km (AC)</p> <p>110 < PI < 160 mm/km (PCC)</p>	<p>IRI < 1.1 m/km (AC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of 1% to 5% of cost of AC (by tonnage) <p>PI < 110 mm/km (PCC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of 0.1% to 5% of cost of PCC (by tonnage) 	<p>1.3 < IRI < 1.8 m/km (AC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of 0.5% to 15% of cost of AC (by tonnage) <p>160 < PI < 240 mm/km (PCC)</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of 0.1% to 10% of cost of PCC (by tonnage)
New Brunswick	<p><u>Rejection:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sections rejected/replaced if: <ul style="list-style-type: none"> PI ≥ 23.4 mm/100m Bumps > 13.4 mm 	<p>10.5 < PI < 15.4 mm/100m</p> <p>Bumps < 8.5 mm</p>	<p>PI < 10.4 mm/100m</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of 1% to 5% of bid price 	<p>15.4 < PI < 23.4 mm/100m</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of 2% to 8% of bid price 8.5 < Bumps < 13.4 mm (or repaired) Penalty of \$200 to \$2000 per bump
Nova Scotia		<p>10.1 < PI < 12 mm/100m</p> <p>Bumps < 8 mm</p>	<p>PI < 10.1 mm/100m</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of \$0.068 to \$0.338 per m² 	<p>PI > 12 mm/100m</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$0.27 to \$2.43 per m² Bumps > 8 mm (or repaired) Min. Penalty of \$500 (no Max.)
Prince Edward Island	<p><u>Rejection:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sections rejected/replaced if: <ul style="list-style-type: none"> PI ≥ 20.0 mm/100m 	2 < PI < 20 mm/100m	<p>PI < 2 mm/100m</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonus of \$25 to \$100 per 100m 	<p>PI > 20 mm/100m</p> <ul style="list-style-type: none"> Penalty of \$2000 per 100m Repairs required
Newfoundland	<p><u>Rejection:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Sections rejected/replaced if: <ul style="list-style-type: none"> PI ≥ 15.0 mm/100m 	PI < 15 mm/100m	N/A	N/A

Taulukko 5. Tasaisuusvaatimuksia eräissä Euroopan maissa [1].

Country	Smoothness Indicator and Equipment	Specifications	Acceptance, Penalty or Rejection
Belgium	mm ² /km • Analyseur de profil en long (APL)	• 25m section (urban) Speed = 21.6 km/h CP2.5 ≤ 35 • 100m section (rural) Speed = 54 km/h CP10 ≤ 70	• Penalty 35 < CP2.5 ≤ 50 • Rejection CP2.5 > 50
Denmark	IRI • Viagraphe (Danish Highspeed profilograph) • 100m sections	• No. of Irregularities allowed: 0 ≥ 7.5mm 2 ≥ 6mm 3 ≥ 5mm Max 9 ≥ 3mm	• No penalties but contractor provides 5 year warranty
Spain	IRI • Laser Profilometer, APL and Dipstick • 100m sections	• New Construction IRI ≤ 2.0 m/km • High Traffic Areas IRI ≤ 2.5 m/km • Low Traffic Areas IRI ≤ 3.0 m/km	• Acceptance 20% of job +0.5 m/km 50% of job -0.5 m/km
France	NBO, CAPL25 • APL	• Toll Highways (200m segment, 4000m section) 95% (Short Wave CAPL25) ≥ 7 and 100% ≥ 6 95% (Med. Wave CAPL25) ≥ 8 and 100% ≥ 7 95% (Long Wave CAPL25) ≥ 9 and 100% ≥ 8 • Toll Free Highways (25m seg., 1000m section) 55% ≤ 4, 90% ≤ 8 and 100% ≤ 13 (New const.) 35% ≤ 6, 75% ≤ 13 and 90% ≤ 16 (Rehab) • National Road (25m seg., 1000m section) 50% ≤ 6, 95% ≤ 13 and 100% ≤ 16 (New const.) 35% ≤ 6, 75% ≤ 13 and 90% ≤ 16 (Rehab)	• Acceptance 6 < CAPL25 < 16 over 50% ± 3% of length or 13 < CAPL25 < 16 over 5% of length
Hungary	cm/100m • UT-02 (Hungarian)	• New specifications under development	• Penalty 5 < UT-02 (National Roads) 10 < UT-02 (Other Roads)
Italy	IRI, RCI, CAPL25 • ARAN, Automatic Road Analyzer, APL	• Specifications are project specific	• Penalty (20% price reduction) Spec. < IRI < 4.5 m/km • Rejection IRI > 4.5 m/km
Netherlands	C5, f5 • Viagraphe • 100m sections	C5 ≤ 2% • Speed = 10 km/h	• Penalty C5 > 2% • Rejection C5 > 2% and f5 > 5 or C5 > 7%
Sweden	IRI • RST Laser, Static Beam (3m)	• 20m section IRI ≤ 1.4 m/km • 200m section IRI ≤ 2.4 m/km	• Penalty imposed after case study • Penalty and repairs may be cumulative

4 Maakysely

4.1 Kyselyn toteutus

Kyselytutkimuksen tavoitteena oli selvittää valituista kuudesta kohdemaasta niiden pituussuuntaisen tasaisuuden mittaamiseen käyttämät tunnusluvut ja niiden soveltaminen käytännössä. Kohdemaiksi valittiin Australia, Iso-Britannia, Itävalta, Ruotsi, Saksa ja Uusi-Seelanti sillä perusteella, että niissä oletettiin mahdollisesti olevan käytössä ”kehittyneempiä” tunnuslukuja kuin IRI.

Kysely toteutettiin kirjallisena englannin- tai saksankielisenä siten, että yhteys henkilöihin otettiin ensin yhteys puhelimitse. Tällä pyrittiin sekä esittelemään kyselyn tavoite että sitouttamaan vastaaja kyselyn vastaamiseen. Kyselyt lähetettiin toukokuun lopun ja elokuun puolivälin välillä vuonna 2015. Kyselyn toteuttamisen erityispiirteenä oli panostaminen Saksaan, josta haastateltiin neljää edustajaa kolmesta eri organisaatiosta. Osa haastatteluista toteutettiin lisäksi kasvokkain paikallisen tieseminaarin yhteydessä Aachenissa kesäkuun lopulla.

Kyselyyn vastasivat kaikki ne henkilöt (Taulukko 6, yhteystiedot Liite 1), joille kysely lähetettiin eli vastausprosentti oli 100 %. Vastaajat vastasivat kyselyyn keskimäärin kahden (2) viikon kuluessa sen lähettämisestä vaihteluvälin ollessa yhdestä päivästä puoleentoista kuukauteen. Vastausten analysoimisen jälkeen lähes kaikilta haastatelluilta kysyttiin sähköpostitse tarkennuksia heidän vastauksiinsa. Vastausten pituudessa oli suuri vaihteluväli yhdestä aina kuuteen sivuun asti. Haastateltavat täydensivät vastauksiaan lähettämällä niiden mukana tai linkkinä maassa käytettävät vaatimusmäärittelyt. Tuloksissa on esitetty sekä haastateltavien suorat vastaukset että vaatimusmäärittelyistä löydetyt täydennykset.

Taulukko 6. Kyselyyn vastanneet henkilöt maittäin.

MAA	ORGANISAATIO	TOIMENKUVA	VASTAAJA
Australia	Roads and Maritime Services (RMS)	Project Manager Road Data Acquisition, Asset Maintenance Planning	Michael Ives ³
Iso-Britannia	Transport Research Laboratory	Group Manager, Technology Development and Quality Assurance	Alex Wright
Itävalta	Austrian Institute of Technology	Head of Business Unit Transportation Infrastructure Technologies, AIT Mobility Department	Manfred Haider
	Austrian Institute of Technology	Wissenschaftlicher Mitarbeiter	Roland Spielhofer ⁴
Ruotsi	Trafikverket	Nationell samordnare beläggning, Underhåll – Vägsystem	Johanna Thorsenius
Saksa	Autobahndirektion Südbayern	Dipl. Ing. (Univ.) ⁵	Ludwig Löcherer
	RWTH Aachen, Straßenwesen	Wissenschaftlicher Mitarbeiter	Andreas Ueckermann
	Bundesanstalt für Straßenwesen	Abteilungsleiter, Straßenbautechnik	Rudi Bull-Wasser
	Bundesanstalt für Straßenwesen	Oberflächeneigenschaften, Bewertung und Erhaltung von Straßen	Ulrike Stöckert
	Bundesanstalt für Straßenwesen	Oberflächeneigenschaften, Bewertung und Erhaltung von Straßen	Börge Wasser
Uusi-Seelanti	New Zealand Transport Agency	Data Quality and Asset Manager	Michelle Cousins

Esitetyt kysymykset

Kysely koostui yhdeksästä (9) kysymyksestä, jotka laadittiin Liikenneviraston kanssa toukokuun lopulla pidetyn palaverin mukaisesti. Suurin osa vastaajista viittasi vastauksissaan käytettäviin menetelmäohjeisiin tai muihin dokumentteihin.

³ Michael Ives oli kyselyn yhteyshenkilö, mutta varsinaisesti kyselyyn vastasi RMS:n Pavement Engineering -osasto.

⁴ Roland Spielhofer vastasi täydentäviin kysymyksiin.

⁵ Tasaisuuustyöryhmän puheenjohtaja FGSV-tutkimusorganisaatiossa.

4.2 Kyselyssä kysytyt asiat

Maakyselyssä kysyttiin kohdennetussa kyselyssä eri maiden yhteyshenkilöiltä seuraavat asiat:

1. Mitä teknistä ohjeistusta käytätte asfalttipäällysteiden pituussuuntaisen tasaisuuden laadunarvioinnissa a) uudelleenpäällystyskohteessa, b) uuden tien rakentamisessa?
2. Mitä tunnuslukua (tai tunnuslukuja) käytätte asfalttipäällysteiden pituussuuntaisen tasaisuuden laadunarvioinnissa a) uudelleenpäällystyskohteessa? b) uuden tien rakentamisessa?
3. Mitkä ovat tärkeimmät syyt tunnusluvun käyttämiseksi?
4. Mitkä ovat tunnusluvun hyvät ja huonot puolet?
5. Käytetäänkö tunnuslukua myös verkkotason mittauksissa?
- 6a. Miten tunnusluvun arvoja tulkitaan? (Voitte toimittaa esimerkin hankevaatimuksesta, jossa asia on määritelty.)
- 6b. Miten tunnuslukua hyödynnetään urakkakohtaisessa laadunvarmistuksessa ja mahdollisissa laatu poikkeamien arvonmuutoskäytännöissä? (Voitte toimittaa esimerkin hankevaatimuksesta, jossa asia on määritelty.)
7. Vaikuttaako tieluokitus ja jos vaikuttaa, niin miten hyväksyttäviin raja-arvoihin? (Voitte toimittaa esimerkin hankevaatimuksesta, jossa asia on määritelty.)
8. Suunnitteletteko jonkin toisen tunnusluvun käyttöä tulevaisuudessa? Jos suunnittelette, mikä?

Edellisten kysymysten lisäksi selvityksessä haluttiin vastaukset alla oleviin kysymyksiin, jotka ovat johdannaisia varsinaisista haastatteluista eikä niitä siis sellaisenaan kysytty vastaajilta.

9. Minkälaisia mittauksia tunnusluvun laskeminen edellyttää? (menetelmäkuvauksesta)
10. Miten tunnusluku lasketaan? (menetelmäkuvauksesta)
11. Mitä tunnusluvun käyttöönottoaminen Suomessa edellyttäisi? (johtopäätökset)

4.3 Tulokset

Maakyselyn tulokset on esitetty jäljempänä siten, että kukin kysymys muodostaa oman lukunsa. Vastaukset on pyritty esittämään mahdollisimman yhtenäisesti unohtamatta vastausten erityispiirteitä. Lisäksi esitetään vastaukset edellä mainittuihin kysymyksiin yhdeksän ja kymmenen (laskentaperiaatteet ja mittausmenetelmät), joita ei kysytty tutkimuksessa, mutta jotka kuuluivat tutkimusongelmaan. Yksittäiset haastateltavien vastaukset ovat kyselyn liitteinä. Saksan vastauksista on eroteltu toisistaan kahden eri vastaajaryhmän vastaukset.

4.3.1 Tekniset määrittelyt

1. ”Mitä teknistä ohjeistusta käytätte asfalttipäällysteiden pituussuuntaisen tasoisuuden laadunarvioinnissa a) uudelleenpäällystyskohteessa, b) uuden tien rakentamisessa?”

Australia

- Guide to Asset Management Part 5B: Roughness (Chapter 7: Project level application). Austroads. 2007.⁶
 - a) Test Method T187. Measurement of Ride Quality of Road Pavements by Laser Profiler. 2012.⁷
 - b) QA Specification R116. Heavy Duty Dense Graded Asphalt. Transport Roads & Maritime Services. January 2012. Edition 8 / Revision 2.^{8,9}

Iso-Britannia

- T.S.O. – Highways Agency – Specification for Highway Works. Series 700. Road Pavements – General.¹⁰
- TRL – Supplementary Report 290.¹¹
- Highways Agency HD29/08 Data for Pavement Assessment.¹²

Itävalta

- RVS 08.16.01 Anforderungen an Asphaltsschichten (Februar 2010)¹³
- RVS 11.06.62 Ebenheitsmessungen (Oktober 2012)¹⁴

Ruotsi

Uuden tien rakentamiskohteissa käytetään kansallista määrittelyä ”Bitumenbundna lager, TDOK 2013:0529”¹⁵

Saksa

Löcherer & Ueckermann:

- Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung. Teil: Berührungslose Messungen. FGSV 404/2. Ausgabe 2009.¹⁶

⁶ Julkaisu on suositusluonteinen ja tarkoitettu sovellettavaksi sekä Australiassa että Uudessa-Seelannissa tieviranomaisien oman harkinnan mukaan.

⁷ [<http://www.lpcb.org/index.php/documents/data-collection/roughness/1152-2002-australia-test-method-t187-measurement-of-ride-quality-of-road-pavements-by-laser-profiler/file>]

⁸ [http://www.tams.act.gov.au/__data/assets/pdf_file/0006/398490/ACT_R116_E8_R2.pdf]

⁹ Velvoittava dokumentti tie- ja siltaurakoissa RMS:n omien projektien lisäksi myös New South Walesin kuntien tilaamissa projekteissa.

¹⁰ [http://www.standardsforhighways.co.uk/mchw/vol1/pdfs/series_0700.pdf]

¹¹ [<http://www.thenbs.com/PublicationIndex/DocumentSummary.aspx?PubID=538&DocID=261098>]

¹² [<http://www.standardsforhighways.co.uk/ha/standards/dmr/vol7/section3.htm>]

¹³ RVS Richtlinien & Merkblätter. Saatavana maksua vastaan Österreichische Forschungsgesellschaftin verkkokaupasta. [<http://www.fsv.at/shop/artikeldetail.aspx?IDArtikel=67c9e4ed-3c28-4c01-8032-a13521d4913f>]

¹⁴ RVS Richtlinien & Merkblätter. Saatavana maksua vastaan Österreichische Forschungsgesellschaftin verkkokaupasta. [<http://www.fsv.at/shop/produktdetail.aspx?IDProdukt=24378141-a5fb-4aff-953e-e6e62b4bd2c1>]

¹⁵ Löytyy Googlesta hakusanalla ” TDOK 2013:0529” (linkkiä ei liitettävissä)

¹⁶ Tilattavissa FGSV:n verkkokaupasta: [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/product_info.php?products_id=2670&osCsid=6f704c7ec848c74e75d255615a7fb885]

- Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung. Teil: Berührende Messungen. FGSV 404/1. Ausgabe 2007.¹⁷

Stöckert & Wasser:

Käytettävä ohjeistus riippuu urakan laajuudesta: sisältääkö se pelkästään rakentamisen (perinteinen, normaali sopimusmalli) vai lisäksi ylläpidon¹⁸ (ns. FBV-malli). Ylläpidon sisältämät projektit on toteutettu PPP¹⁹/DBFO²⁰ -periaatteella eli elinkaarihankkeina.

Perinteisissä urakoissa käytettävät ohjeistukset:

- Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Quer-richtung, Teil: Berührende Messungen, Ausgabe 2007 (TP Eben, Berührende Messungen)
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Ausgabe 2007, Fassung 2013 (ZTV Asphalt-StB)²¹
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hyd-raulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, Ausgabe 2007 (ZTV Beton-StB)²²

Elinkaarihankkeissa käytettävät ohjeistukset:

- Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung, Teil: Berührungslose Messungen, Ausgabe 2009 (TP Eben, Berührungslose Messungen).
- Erillinen ohjeistus tasaisuustunnuslukujen raja-arvoista on vasta suunnitteilla. Toistaiseksi raja-arvot sovitaan projektikohtaisesti (ks. myös vastaus kysymyksen numero 6).

Uusi-Seelanti

- Ylläpitospimukset: SM032: SH Maintenance Contract Proforma (A7 Maintenance Specification) Version 2.0. March 2015. 167 p.²³
- Uudiskohteet: SM031: SH Construction Contract Proforma (A7 Maintenance Specification) March 2015. 54 p.²³
- Transport Agency's Technical Memorandum TM7003 (TM7003) - Roughness Requirements for Finished Pavement Construction. 2006.

¹⁷ Tilattavissa FGSV:n verkkokaupasta: [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/product_info.php?products_id=2320]

¹⁸ "Funktionsbauvertrag" vastaa lähinnä suomalaista STY-tyyppistä suunnittele, toteuta, ylläpidä – urakkamallia.

¹⁹ Public Private Partnership. Julkisen ja yksityisen sektorin kumppanuus.

²⁰ Design, Build, Finance, Operate. Suunnittele, rakenna, rahoita ja ylläpidä.

²¹ Tilattavissa FGSV:n verkkokaupasta: [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/product_info.php?products_id=2559]

²² Tilattavissa FGSV:n verkkokaupasta (myös englanninkielinen käännös löytyy): [http://www.fgsv-verlag.de/catalog/product_info.php?products_id=2527]

²³ Ladattavissa osoitteesta [<http://www.nzta.govt.nz/about-us/tenders-and-contracts/our-tender-process/>]

4.3.2 Käytettävä tunnusluku

2. ”Mitä tunnuslukua (tai tunnuslukuja) käytätte asfalttipäällysteiden pituus-suuntaisen tasaisuuden laadunarvioinnissa a) uudelleenpäällystyskohteessa? b) uuden tien rakentamisessa?”

Australia

Australiassa käytetään tasaisuuden tunnuslukuna päällysteiden laadunvalvonnassa IRI-tunnuslukua aallonpituusalueella 0,5–50 m. Aiemmin on ollut käytössä NRM (NAASRA Roughness Meter), mutta se on poistunut käytöstä pitkän siirtymäajan jälkeen.

Iso-Britannia

Iso-Britanniassa ei käytetä päällysteiden laadunvalvonnassa varsinaista tasaisuustunnuslukua, vaan kolmen (3) metrin liukuokolautaa²⁴. Se simuloi kolmen metrin oikolautaa, jota liu’utettaisiin pitkin tienpintaa (Kuva 10).



Kuva 10. Kolmen metrin liukuokolauta.²⁵

Itävalta

Tasaisuus mitataan sekä pituus- että poikittaissuuntaan planografilla (Kuva 11) normin RVS 11.06.62 mukaisesti. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää 4 metrin oikolautaa.



Kuva 11. Esimerkki planograf-mittalaitteesta.²⁶

²⁴ Vapaa suomennos käsitteestä „Rolling straight edge“, kutsutaan usein myös termillä ”Yellow Submarine”

²⁵ [<http://milestonept.ie/wp-content/uploads/2013/04/Pavement-Surface-Texture-Testing.jpg>]

²⁶ [http://www.omega.gda.pl/products/23/planograf_pd_01]

Ruotsi

Tasaisuuden tunnuslukuna käytetään IRI -tunnuslukua, joka lasketaan keskiarvona 20 m ja 400 m matkoille. Lisäksi ollaan ottamassa käyttöön yksittäisepätasaisuuksia kuvaava ”Lokala ojämnheter” -tunnusluku.

Saksa**Löcherer & Ueckermann:**

Saksassa uusien päällysteiden laadunvalvonnassa ei käytetä tunnuslukua, vaan tasaisuus mitataan 4 metrin oikolaudalla tai vastaavalla mittalaitteella (planograf). Vaihtoehtoisesti PTM-mittausdatasta voidaan simuloida 4 metrin oikolautamittaus.

Stöckert & Wasser

Perinteiset urakkasopimukset:

- 4 metrin oikolauta, jolla mitataan vapaa korkeus laudan alapuolelta standardikiilan avulla.
- Planograf, jolla mitataan poikkeamat 4 metrin pituisen referenssitason (nollalinja) keskikohtaan nähden. Ensisijainen mittausmenetelmä vähänkin suuremmissa projekteissa.

Elinkaarihankkeiden ylläpitosopimukset:

- 4 metrin oikolautasimulointi, jossa määritellään profiilin ja 4 metrin pituisen liukuvan oikolaudan välinen ero. Tunnuslukuna on PGR_MAX = suurin poikkeama 100 metrin arviointivälillä.
- Painotettu pituusprofiili WLP²⁷, jota todennäköisesti tulevaisuudessa tullaan käyttämään. Pituusprofiilin muokkaaminen suhteessa ideaaliseen tiehen; Suurimman ja pienimmän korkeusamplitudin välinen ero ja keskihajonta valitulla arviointipituudella.

Uusi-Seelanti

Tasaisuuden tunnusluku määriteltiin aikaisemmin NAASRA-arvojen²⁸ perusteella. Ne ovat yhteneväiset vuosittaisten ”High Speed Data” -mittausten (HSD) kanssa, joissa kerätään tasaisuusdataa 20 ja 100 metrin välein. Muutaman viime vuoden aikana on siirrytty käyttämään IRIä, jonka kerääminen perustuu myös HSD -mittauksiin.

4.3.3 Miksi tunnusluku käytössä**3. ”Mitkä ovat tärkeimmät syyt tunnusluvun käyttämiseksi?”**

Kyselyssä saadut tunnuslukujen käytön yleisimmät syyt on lueteltu seuraavassa taulukossa. Maan perässä sulkeissa on ilmoitettu kyseisessä maassa ensisijaisesti käytettävä tunnusluku tai mittausmenetelmä.

²⁷ WLP = Weighted Longitudinal Profile. Saksaksi BLP = Bewertetes Längsprofil.

²⁸ Kyseessä on sama tunnusluku kuin Australiassa käytössä oleva NRM (NAASRA Roughness Meter), mutta siitä näytetään kutsuttavan Uudessa-Seelannissa NAASRAksi.

Taulukko 7. Syyt tasaisuustunnuslukujen käyttöön.

Maa	Tunnusluvun käytön syyt
Australia (IRI)	Maailemanlaajuisesti käytetty. Mittausdatan vertailtavuus muiden tieviranomaisten kanssa. Aikaisemmin käytössä olleen NRM-tunnusluvun mittaamiseen käytettävää laitteistoa ei enää ylläpidetä (mekaaninen mittausta).
Iso-Britannia (oikolauta)	Ei käytetä tunnuslukua, vaan epätasaisuutta mitataan kolmen (3) metrin liukuokolaudalla.
Itävalta (Planograf)	Planograf on yksinkertainen ja edullinen mittausta-menelmä.
Ruotsi (IRI)	IRI on vakiintunut, tunnettu tunnusluku maailmanlaajuisesti (henkilökohtainen näkemys).
Saksa (Planograf)	<p><u>Planograf</u>: Sekä tilaajan että urakoitsijat ovat käyttäneet sitä vuosikymmeniä. Laite on helposti ja nopeasti saatavilla sekä sen käyttökustannukset ovat alhaiset. (Löcherer & Ueckermann) Henkilöauton perässä vedettävä mittalaite on yksinkertainen menetelmä ilman monimutkaista mittaustekniikkaa. Mahdollistaa myös pidempien tieosuuksien mittaamisen suhteellisen lyhyessä ajassa (korkein mittausta-nopeus 10 km/h). (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>Oikolauta</u>: Sekä tilaajan että urakoitsijat ovat käyttäneet sitä vuosikymmeniä. Laitteen sertifiointi riittää, yksinkertaista ja edullista käyttöä. (Löcherer & Ueckermann) Yksinkertainen menetelmä ilman monimutkaista mittaustekniikkaa. Vakiintunut menetelmä ajalta, jolloin ajoneuvolla tehtäviä mittauksia ei ollut vielä olemassa. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>4 metrin oikolautasimulointi</u>: Ajoneuvolla muun liikenteen mukana tehtävä mittausta mahdollistaa pitkien tieosuuksien mittaamisen lyhyessä ajassa. Häiritsee vähän muuta liikennettä.</p> <p><u>Painotettu pituusprofiili (WLP)</u>: Ajoneuvolla muun liikenteen mukana tehtävä mittausta mahdollistaa pitkien tieosuuksien mittaamisen lyhyessä ajassa. Häiritsee vähän muuta liikennettä. Mittaa aallonpituudet 50 metriin asti, sitä pidemmät vaimennettuna. Pituussuuntaisen tasaisuuden geometrinen ja painotettu arviointi. Havaitsee monipuolisesti eri epätasaisuusmuodot (epäsäännönmukaiset, yksittäiset sekä jaksoittaiset epätasaisuudet) Herkin mittausta-menelmä ja siten korreloi parhaiten tienkäyttäjän arvostamien tien laatu-kriteerien kanssa.</p>
Uusi-Seelanti	IRI on kansainvälisesti tunnettu ja laajalti käytössä. Aiemmin käytössä olleet NAASRA-arvot ovat edelleen muunnettavissa IRIksi.

4.3.4 Tunnusluvun hyvät ja huonot puolet

4. ”Mitkä ovat tunnusluvun hyvät ja huonot puolet?”

Tunnuslukujen hyvät (Taulukko 8) ja huonot (Taulukko) puolet on lueteltu alla. Hyvinä puolina pidetään yleensä sitä, että tunnusluku on helppo ja nopea mitata ja että se on kansainvälinen. Haittoina puolestaan pidettiin mittaamisen hitautta, rajoituksia esimerkiksi aallonpituusalueissa tai monimutkaista teknologiaa.

Taulukko 8. Tasaisuustunnuslukujen hyvät puolet.

Maa	Hyvät puolet
Australia (IRI)	IRI korreloi vahvasti ajomukavuuden kanssa. Mittaukset normaalisti muun liikenteen tahdissa. Vakiintunut teknologia ja laitteisto.
Iso-Britannia (Oikolauta)	(ei vastausta)
Itävalta (Planograf)	(ei vastausta)
Ruotsi (IRI)	Tunnettu, kauan käytetty tunnusluku maailmanlaajuisesti. Kokemusta arvojen korreloimisesta ajokokemuksen kanssa eri ajonopeuksilla.
Saksa (Planograf)	<p><u>Planograf</u>: Laite on helposti ja nopeasti saatavilla sekä sen käyttökustannukset ovat alhaiset. (Löcherer & Ueckermann) Henkilöauton perässä vedettävä mittalaite on yksinkertainen menetelmä ilman monimutkaista mittaustekniikkaa. Mahdollistaa myös pidempien tieosuuksien mittaamisen suhteellisen lyhyessä ajassa (korkein mittaussnopeus 10 km/h). (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>Oikolauta</u>: Vuosikymmeniä sekä tilaajan että urakoitsijoiden käyttämät mittalaitteet. Laitteen sertifiointi riittää, yksinkertaista ja edullista käyttää. (Löcherer & Ueckermann) Yksinkertainen menetelmä ilman monimutkaista mittaustekniikkaa. Vakiintunut menetelmä ajalta, jolloin ajoneuvolla tehtäviä mittauksia ei ollut vielä olemassa. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>4 metrin oikolautasimulointi</u>: Ajoneuvolla muun liikenteen mukana tehtävä mittaus mahdollistaa pitkien tieosuuksien mittaamisen lyhyessä ajassa. Häiritsee vähän muuta liikennettä. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>Painotettu pituusprofiili (WLP)</u>: Ajoneuvolla muun liikenteen mukana tehtävä mittaus mahdollistaa pitkien tieosuuksien mittaamisen lyhyessä ajassa. Häiritsee vähän muuta liikennettä. Mittaa aallonpituudet 50 metriin asti, sitä pidemmät vaimennettuna. Pituussuuntaisen tasaisuuden geometrinen ja painotettu arviointi. Havaitsee monipuolisesti eri epätasaisuusmuodot (epäsäännönmukaiset, yksittäiset sekä jaksoittaiset epätasaisuudet) Herkin mittaumenetelmä ja siten korreloi parhaiten tienkäyttäjän arvostamien tien laatukriteerien kanssa. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>Yleinen epätasaisuusindeksi (AUN)</u>: Ajoneuvolla muun liikenteen mukana tehtävä mittaus mahdollistaa pitkien tieosuuksien mittaamisen lyhyessä ajassa. Häiritsee vähän muuta liikennettä. Mittaa aallonpituuksia 100 metriin asti. (Stöckert & Wasser)</p>
Uusi-Seelanti (IRI)	IRI on hyvä epätasaisuuden mittari ja korreloi hyvin esimerkiksi ajoneuvon käyttökustannusten kanssa. Mittausdataa on saatavilla 1990-luvun loppupuolelta asti, joten kohteiden kehitystä on helppo seurata. NAASRA-arvot ovat muunnettavissa IRI-arvoiksi.

Taulukko 9. Tasaisuustunnuslukujen huonot puolet.

Maa	Huonot puolet
Australia (IRI)	Hämmennystä ja sekaannusta neljännes- ja puoliautomallien kanssa.
Iso-Britannia (oikolauta)	Ei käytetä tunnuslukua, vaan epätasaisuutta mitataan kolmen (3) metrin liukuoikolaudalla.
Itävalta (Planograf)	Mahdollista mitata tosiasiaa vain yksittäiset epätasaisuudet. Toistuvat ja pitkäaalloiset epätasaisuudet jäävät mittaamatta. Tunnusluku on laitekohtainen. Mittaus kävelynopeudella, ei muun liikenteen tahdissa.
Ruotsi (IRI)	IRI mittaa vain rajoitetulla aallonpituusalueella pituussuuntaista epätasaisuutta. Kun epätasaisuus on lyhytaaltoista tai hyvin paikallista, se ei näy IRI-arvossa mutta tienkäyttäjät kokevat kuitenkin epätasaisuuden. IRI:n heikkoutena on lisäksi sen rajoittuneisuus vain henkilöautoihin, mahdollisesti raskaalle liikenteelle tarvitaan parempi tunnusluku.
Saksa (Planograf)	<p><u>Oikolauta</u>: Mittaa aallonpituudet vain neljään metriin asti. Ei mittaa absoluuttisia arvoja; suhteellinen korkeus ja kallistuma muuttuvat jatkuvasti. (Löcherer & Ueckermann) Asfaltin pinnan yksittäisen pisteiden suhteellinen korkeusvaihtelu voidaan mitata vain noin 4 metrin pituudelta. Ei soveltu pidemmille tieosuuksille hitaan mittaustavan vuoksi. Jatkuva epätasaisuuden mittaaminen ja mittaustietojen arviointi ei ole mahdollista. Vaatii liikenteen pysäyttämisen. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>Planograf</u>: Asfaltin pinnan yksittäisen pisteiden suhteellinen korkeusvaihtelu voidaan mitata vain noin 4 metrin pituudelta. Vaatii liikenteen pysäyttämisen. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>4 metrin oikolautasimulointi</u>: Asfaltin pinnan yksittäisen pisteiden suhteellinen korkeusvaihtelu voidaan mitata vain noin 4 metrin pituudelta. Vaatii monimutkaista ja kallista mittausteknologiaa. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>Painotettu pituusprofiili (WLP)</u>: Vaatii monimutkaista ja kallista mittausteknologiaa. Reagoi herkästi yksittäisiin epätasaisuuksiin kuten sillan saumoihin, joita ei tulkita asfalttipinnan epätasaisuuksiksi. (Stöckert & Wasser)</p> <p><u>Yleinen epätasaisuusindeksi (AUN)</u>: Pelkkä spektrianalyysi. Käytännössä huomioi vain ”epäsäännönmukaiset pituussuuntaiset epätasaisuudet”. Vaatii monimutkaista ja kallista mittausteknologiaa. (Stöckert & Wasser)</p>
Uusi-Seelanti (IRI)	(ei vastausta)

4.3.5 Käyttö verkkotasolla?

5. ”Käytetäänkö tunnuslukua myös verkkotason mittauksissa?”

Kyselyn mukaan IRI-tunnusluku oli ainut päällysteiden laadunvalvonnassa käytettävä tunnusluku, jota käytetään myös verkkotasolla (Taulukko 10).

Taulukko 10. Tunnuslukujen käyttö verkkotasolla.

Maa	Tunnusluvun käyttö verkkotasolla
Australia (IRI)	Kyllä
Iso-Britannia (oikolauta)	Ei, käytetään TRACS-mittausdataa ²⁹ .
Itävalta (Planograf)	Verkkotasolla käytetään IRIä 50 metrin raportointivälillä.
Ruotsi (IRI)	Kyllä
Saksa (Planograf)	Ei, verkkotason mittauksissa käytetään tunnuslukua "AUN", joka suunnitelmassa korvata WLP:llä. Neljän vuoden kierrolla tehtävissä liittovaltion moottori- ja valtateiden kuntomittauksissa käytetään tunnuslukua AUN. AUN:n lisäksi käytetään myös pituussuuntaista tasaisuusvaikutusindeksiä (Längsebenenheitswirindex, LWI), joka ei kuitenkaan ole soveltuva epätasaisuuden arvioinnissa. LWI mittaa kuljettajan, ajoneuvon (pyörän) ja lastin kuormitusta. Pituussuuntaisen epätasaisuuden arviointi saadaan erikseen kullekin kuormituksen kohteelle kolmella peräkkäisellä, harmonisella suodatuksella. (Stöckert & Wasser). Verkkotasolla lasketaan myös painotettu pituusprofiili WLP. (Löcherer & Ueckermann).
Uusi-Seelanti (IRI)	Kyllä. Vuosittain määritellään "Smooth Travel Exposure" -tunnusluku ja palvelutasovaatimukset eri tieluokille käyttäen IRI-/NAASRA-arvoja.

4.3.6 Tunnusluvun arvojen tulkinta

6a. "Miten tunnusluvun arvoja tulkitaan?"

Australia

Austroads suosittaa mukaisia IRI:n tavoitearvoja ja toimenpiderajoja eri tietyypeille (Taulukko 11). Tavoitearvot urakkakohteille ja uusille päällystyskohteille (pituus 500 m):

- Moottoritiet tai muut korkean luokan tiet 1,6 mm/m
- Pääties nopeusrajoituksesta riippumatta 1,9 mm/m
- Paikalliset tiet ei määritelty (riippuu tien rakenteesta ja paikallisista olosuhteista)

Vastaavasti ohjeelliset tarkastamisrajat eri tietyypeille ovat:

- Moottoritiet tai muut korkean luokan tiet 3,5 mm/m (pituus > 500 m) ja 4,2 mm/m (yksittäiskohteet)
- Pääties (nopeusrajoitus 100 km/h) 4,2 mm/m ja 5,3 mm/m
- Pääties (nopeusrajoitus < 80 km/h) 5,3 mm/m ja 6,1 mm/m
- Paikalliset tiet ei määritelty (riippuu tien rakenteesta ja paikallisista olosuhteista)

²⁹ TRACS = Traffic Speed Condition Surveys, lisätietoja: [<http://www.ukroadsliasongroup.org/en/asset-condition/road-condition-information/data-collection/scanner/>]

Taulukko 11. Austroadsin suositukset IRI:n tavoitearvoille ja tarkastusrajoille tie-
luokittain. [24]

Table 7.1: Levels of roughness (after Austroads 2003)

Road function	Typical maximum desirable roughness for new construction or rehabilitation (length 500 m)	Indicative investigation levels for roughness (IRI m/km)	
		Isolated areas	Length > 500 m
Freeways and other high-class facilities	1.6	4.2	3.5
Highways and main roads (100 km/h)	1.9	5.3 [*]	4.2
Highways and main roads (< 80 km/h)	1.9	6.1	5.3
Other local sealed roads	No limits defined [†]	No limits defined [†]	No limits defined [†]

Notes

^{*} Lower values may be appropriate where total traffic or heavy vehicle volumes are high.

[†] Roughness levels depend on local conditions and traffic calming measures.

R116-määrittelyjen [14] mukaisesti RMS:n ja Uuden Etelä-Walesin kuntaprojekteissa hyväksytään korkeintaan IRI-arvo 1,56 m/km.

Jos olemassa oleva asfaltti päällystetään yhdellä lisäkerroksella toisen urakoitsijan toimesta, otetaan vanhan asfaltin IRI huomioon raja-arvoa määriteltäessä:

$IRI_{Sa} = 0,2 + (0,6 * IRI_{Sb})$, jossa IRI_{Sa} on IRI uuden asfalttikerroksen jälkeen ja
 IRI_{Sb} on IRI ennen uutta asfalttikerrosta

tai

$IRI_{Sa} = 1,56$ m/km; suurempi raja-arvoista valitaan.

Iso-Britannia (oikolauta)

Epätasaisuuden hyväksyttävät oletusraja-arvot ovat 4 ja 7 mm, mutta ne voidaan valita projektikohtaisesti. Raja-arvot voidaan hyväksytysti ylittää taulukon 12 sallimat kerrat. Ylitysten suurimmassa sallitussa lukumäärässä huomioidaan tien luokitus sekä päällysteen kokonaispituus. [15]

Taulukko 12. Tienpinnan epätasaisuuden suurimmat sallitut lukumäärät asfaltti-
päällysteille, bitumiselle sideainekerroksille sekä huolto- ja levähdys-
alueille. [15]

	Surfaces of each lane of carriageway, each hard strip and each hard shoulder for each irregularity limit				Surfaces of each lane of bituminous binder courses for carriageway, hard strip and hard shoulder for each irregularity limit				Surfaces of lay-bys, service areas, and associated bituminous binder courses for each irregularity limit			
	4 mm		7 mm		4 mm		7 mm		4 mm		7 mm	
Length (m)	300	75	300	75	300	75	300	75	300	75	300	75
Category A* Roads	20	9	2	1	40	18	4	2	40	18	4	2
Category B* Roads	40	18	4	2	60	27	6	3	60	27	6	3

Viranomaisen määrittää tieluokituksen perustuen tien geometriaan, ajonopeuksiin sekä liikenteen määrään ja ajoneuvojakaumaan. B-kategorian tiet ovat yleisesti teitä, joiden nopeusrajoitus on alle 50 km/h. [16]

Yksittäinen epätasaisuuden poikkeama ei saa kuitenkaan ylittää 10 mm. Epätasaisuus tulee mitata kolmen päivän kuluessa päällysteen rakentamisesta. Normaalina kolmen metrin oikolautaa voidaan käyttää epätasaisuuden mittaamiseen, jos päällysteen pituus on alle 75 metriä tai liukuoikolaudan käyttö on muuten epäkätevää. Oikolautamittauksissa hyväksyttävä raja-arvo on 3 mm. [15]

Itävalta (Planograf)

Ohjearvo korkeintaan 4 mm epätasaisuus eli 1 mm/4 m. Laatuvähennyksiä jos epätasaisuus välillä 5–12 mm. Hylkäys jos epätasaisuus yli 12 mm.

Ruotsi (IRI)

Urakkakohteille ei ole olemassa erillisiä määrittelyjä raja-arvoille. Ne valitaan projektikohtaisesti projektien ominaisuuksien mukaan, joita ovat esimerkiksi tien luokitus, liikenteen määrä, nykyinen kunto, kunnostustyön laajuus ja budjettirajoitukset. Käytössä ovat vain kansalliset suositukset³⁰ (Taulukko 13 ja Taulukko 14). Riippumatta taulukoiden suosituksesta vaatimukset voidaan asettaa projektikohtaisesti.

Taulukko 13. Tasaisuuden suositusarvot nopeusluokittain kuumamassapäällysteelle tasatulla alustalla sekä kaksikerros- ja kuumapäällysteelle, ellei urakassa ole toisin sovittu. [13]

<i>Referenshastighet</i>	<i>IRI för varje 20m-sträcka</i>	<i>För varje 400m-sträcka</i>
VR ≤ 60 km/h	x (IRI) ≤ 2,4	s ≤ 0,7 — X ≤ (1,8-0,4s)
70 ≤ VR ≤ 80 km/h	x (IRI) ≤ 2,0	s ≤ 0,6 — X ≤ (1,6-0,4s)
90 ≤ VR ≤ 100 km/h	x (IRI) ≤ 1,7	s ≤ 0,5 — X ≤ (1,4-0,4s)
110 ≤ VR ≤ 120 km/h i klimatzon 3-5	x (IRI) ≤ 1,5	s ≤ 0,4 — X ≤ (1,2-0,4s)
110 ≤ VR ≤ 120 km/h i klimatzon 1-2	x (IRI) ≤ 1,4	s ≤ 0,3 — X ≤ (1,1-0,4s)
x̄ = keskiarvo, s = keskihajonta		

³⁰ "Krav på jämnhet och tvärfall vid underhållsbeläggningar. Nationell mall för Teknisk beskrivning."

Taulukko 14. Tasaisuuden suositusarvot nopeusluokittain puolilämpöisille³¹ sekä niille kuumamassapäällysteille, jotka eivät sisälly taulukkoon 13. [13]

Referenshastighet	IRI för varje 20m-sträcka	För varje 400m-sträcka
VR ≤ 60 km/h	x (IRI) ≤ 2,7	$\bar{x} \leq 0,9$ $\mathcal{X} \leq (2,2-0,4s)$
70 ≤ VR ≤ 80 km/h	x (IRI) ≤ 2,3	$\bar{x} \leq 0,8$ $\mathcal{X} \leq (2,0-0,4s)$
90 ≤ VR ≤ 100 km/h	x (IRI) ≤ 2,0	$\bar{x} \leq 0,7$ $\mathcal{X} \leq (1,8-0,4s)$
110 ≤ VR ≤ 120 km/h i klimatzon 3-5	x (IRI) ≤ 1,8	$\bar{x} \leq 0,6$ $\mathcal{X} \leq (1,6-0,4s)$
110 ≤ VR ≤ 120 km/h i klimatzon 1-2	x (IRI) ≤ 1,7	$\bar{x} \leq 0,5$ $\mathcal{X} \leq (1,4-0,4s)$
\bar{x} = keskiarvo, s = keskihajonta		

Referenssinopeus suositellaan määritettäväksi urakkasopimuksen ehtoissa. Jos urakoitsija huolehtii itse tarkistusmittauksista, tulee ne tehdä kuukauden sisällä uudelleenpäällystyskohteen avaamisesta liikenteelle. Jos tilaaja huolehtii tarkistusmittauksista, on ne tehtävä kolmen kuukauden sisällä työn luovuttamisesta. Tarkistusmittaukset tulee suorittaa korkeintaan kuukauden (urakoitsija on itse vastuullinen) tai kolmen kuukauden (tilaaja vastuullinen) sisällä. Sitomattomille materiaaleille käytetään referenssinopeutena 50 km/h. [13]

Uuden tien päällysteen tasaisuustunnuslukuvaatimukset riippuvat tien nopeusrajoituksesta ja liikennemäärästä (Taulukko 15).

³¹ Vapaa suomennos ruotsinkielisistä sanoista „halvvarma beläggningar”.

Taulukko 15. Pituussuuntaisen tasaisuuden vaatimukset uudelle asfalttipäällysteelle mitta-autolla tehdyllä mittauksella. [17]

Skyltad hastighet	IRI för varje 20m-sträcka	För varje 400m-sträcka	
		Max std-avvikelse	Max medelvärde
VR ≤ 50 km/h, $\dot{A}DT_k \leq 4\ 000$	$x \leq 2,4$	$s \leq 0,7$	$\bar{x} \leq (1,8-0,4s)$
VR 50 km/h, $\dot{A}DT_k > 4\ 000$	$x \leq 2,2$		
VR 60 km/h, $\dot{A}DT_k \leq 4\ 000$	$x \leq 2,2$	$s \leq 0,7$	$\bar{x} \leq (1,8-0,4s)$
VR 60 km/h, $\dot{A}DT_k > 4\ 000$	$x \leq 2,0$		
VR 70 km/h, $\dot{A}DT_k \leq 4\ 000$	$x \leq 2,0$	$s \leq 0,6$	$\bar{x} \leq (1,6-0,4s)$
VR 70 km/h, $\dot{A}DT_k > 4\ 000$	$x \leq 1,8$		
VR 80 km/h, $\dot{A}DT_k \leq 4\ 000$	$x \leq 1,8$	$s \leq 0,6$	$\bar{x} \leq (1,5-0,4s)$
VR 80 km/h, $\dot{A}DT_k > 4\ 000$	$x \leq 1,7$		
VR 90 km/h, $\dot{A}DT_k \leq 4\ 000$	$x \leq 1,7$	$s \leq 0,5$	$\bar{x} \leq (1,4-0,4s)$
VR 90 km/h, $\dot{A}DT_k > 4\ 000$	$x \leq 1,5$		
VR 100 km/h, $\dot{A}DT_k \leq 4\ 000$	$x \leq 1,5$	$s \leq 0,5$	$\bar{x} \leq (1,2-0,4s)$
VR 100 km/h, $\dot{A}DT_k > 4\ 000$	$x \leq 1,4$		
VR 110 km/h, klimatzon 3-5	$x \leq 1,4$	$s \leq 0,4$	$\bar{x} \leq (1,1-0,4s)$
VR 110 km/h, klimatzon 1-2	$x \leq 1,2$		
VR 120 km/h	$x \leq 1,1$	$s \leq 0,3$	$\bar{x} \leq (1,0-0,4s)$

Saksa (Planograf)

Löcherer & Ueckermann:

Raportoidaan suurin poikkeama raja-arvosta poikkeaman pituudesta riippumatta. Uudelleenpäällystyskohdetta vastaanotettaessa 4 mm on tyypillinen raja-arvo, joka vastaa verkkotason mittausten ZEB-arvosanaa 1,5.

Takuuajan/sopimuskauden päättyessä tyypillinen vaatimus on 7 mm.

Stöckert & Wasser:

Perinteinen sopimusmalli:

4 metrin oikolauta/Planograf:

Hyväksymisrajat vastaanottotarkastuksessa

Asfaltti

≤ 6,0 mm koneellisessa valussa ja kuormitusluokassa Bk100 – Bk0,3, asfaltin kulu-
tuskerros materiaalista AC D, SMA ja MA sideaineella sidotun pohjakerroksen pääl-
lä, jonka epätasaisuus voi ylittää 6 mm

≤ 4,0 mm koneellisessa valussa ja kuormitusluokassa Bk100 – Bk0,3, asfaltin kulu-
tuskerros materiaalista AC D, SMA ja MA asfalttipohjakerroksen päällä, jonka epätasaisuus saa olla korkeintaan 6 mm ≤ 3,0 mm koneellisessa valussa ja kuormitusluo-
kassa Bk100 – Bk0,3, asfaltin kulu-
tuskerros materiaalista PA asfalttipohjakerroksen päällä, jonka epätasaisuus saa olla korkeintaan 6 mm.

Vaikka asfaltin epätasaisuus on alussa raja-arvojen (Taulukko 16) sisällä, saavat niiden arvot poiketa toisistaan vain vähitellen muuttuen; lyhyet säännölliset arvomuutokset eivät ole sallittuja. Sovellettava raja-arvo (3 mm – 10 mm) riippuu käytetyn alusrakenteen ja asfaltin tyypistä. Normaali tavoitearvo sekä pituus- että poikisuuntaiselle epätasaisuudelle on vastaanottotarkastuksessa 4 mm.

Taulukko 16. Raja-arvot pituus- ja poikittaissuuntaiselle epätasaisuudelle koneellisessa asfalttivalussa.[18]

ALUSTAN TYYPPI	EPÄTASAISUUS 4 METRIN MITTAUSVÄLILLÄ (mm)			
	Kantava kerros ja kulutuskerros asfaltista	Asfaltti-sidekerros	Asfaltin kulutuskerrosmateriaali	
			AB, SMA, MA	Avoin asfaltti
a) sitomaton alusta	≤ 10	≤ 10	-	-
b) sideaineella sidottu alusta, jonka epätasaisuus voi olla yli 6 mm	≤ 10	≤ 6	≤ 6	-
c) asfalttikerros, jonka epätasaisuus korkeintaan 6 mm	-	-	≤ 4	≤ 3

Takuuajan päättyessä tarkastusarvona pidetään 7 mm (koskee vain poikkisuuntaista epätasaisuutta), mutta sen ylitys ei kuitenkaan automaattisesti tarkoita virhettä. Tilaajan on tällaisessa tapauksessa osoitettava virheen olemassaolo. Takuuaika on tyypillisesti kaksi vuotta.

Hyväksyntärajaa voidaan nostaa niillä tieosuuksilla, joilla on hidasta liikennettä, mutta ei kuitenkaan suuremmaksi kuin 10 mm. Takuuajan päättyessä ei tällöin ole asetettu erillistä tarkkailuarvoa.

Betoni

≤ 4,0 mm rakennusluokassa SV, I - III

≤ 6,0 mm rakennusluokassa IV - VI ja pinnoilla, joita ei ole valmistettu asfaltinlevitintimellä. Betonirakentamisen lisäohjeistusta ("ZTV Beton-StB") ollaan parhaillaan päivittämässä, minkä seurauksena myös "rakennusluokat" päivitetään "kuormitusluokituksiksi".

Virheiden korjaamisen takuuajan raja-arvoja ei ole määritelty Asfaltti- eikä Betonirakentamisen lisäohjeissa (ZTV Asphalt-StB, ZTB Beton-StB).

Elinkaariprojektit

Alla olevat arvot on otettu dokumenttiluonnoksesta "FBV-projektisopimusten ylimääräisistä teknisistä sopimusehdoista ja ohjeistuksesta"³²; tällä hetkellä arvot sovitetaan kuitenkin vielä projektikohtaisesti.

³² Entwurf der Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Funktionsbauverträge.

4 metrin oikolautasimulointi

Luovutusarvot:

- Asfaltti
 - $\leq 4,0$ mm
 - tai $\leq 3,0$ mm jos asfaltin kulutuskerros on huokoinen
 - tai $\leq 6,0$ mm silloilla
- Betoni
 - $\leq 4,0$ mm
 - tai $\leq 6,0$ mm silloilla, Einbauten ja yksittäisten betonilaattojen uusimisessa

Toimenpiderajat:

- Asfaltti $\leq 10,0$ mm
- Betoni $\leq 10,0$ mm

Vaatimusero kunnossapitokauden päättyessä:

- Asfaltti $\leq 7,0$ mm
- Betoni $\leq 7,0$ mm

Uusi-Seelanti (IRI)

Tasaisuustunnuslukujen arvojen tulkinta riippuu siitä, onko kyseessä ylläpito- vai uudiskohde.

Ylläpitokohteessa toimeksiantaja suorittaa HSD-tarkistusmittauksen 10–15 kuukauden kuluttua päällystyskohteen valmistumisesta. Kahden kuukauden sisällä mittauksien saamisesta toimittaja on velvollinen laatimaan analyysin päällystystyön onnistumisesta. Toimittajan tulee päivittää raportti vuosittain, korkeintaan kuitenkin viiden vuoden ajan. [19]

Epätasaisuus on yksi raportoitavista tekijöistä, ja sen tunnuslukuna käytetään 100 metrin liikkuvana keskiarvona laskettua IRIä. Ellei Tilaaajan/Toimeksiantajan kanssa ole toisin sovittu, ovat raja-arvot vuosittaisille epätasaisuusarvoille

- Sirote- tai kokonaispäällystepaksuutta merkittävästi lisäävät päällystekerrokset³³: Mikään yksittäinen 100 metrin keskiarvoistusväli urakan pituudelta ei saa ylittää kaistakohtaisesti 75 NAASRA-lukemaa/km (vastaa IRI-arvoa 2,9 m/km)
- Kokonaispäällystepaksuutta merkittävästi lisäämättömät päällystekerrokset³⁴ tai muut bitumisekoitteiset päällysteet (joiden paksuus on suurempi kuin 40 mm): Mikään yksittäinen 100 metrin keskiarvoistusväli urakan pituudelta ei saa ylittää kaistakohtaista 60 NAASRA-lukemaa/km (vastaa IRI-arvoa 2,3 m/km) [19]

³³ Vapaa suomennos ”non-structural AC surfaces”

³⁴ Vapaa suomennos ”structural asphalt concrete”.

Uuden tien rakentamisessa asfaltin tasaisuuden vaatimukset on esitetty Uuden-Seelannin liikenneviraston teknisessä muistiossa TM7003 [25], jonka määräykset pätevät myös urakkakohteissa. Suositusluonteiset raja-arvot uuden tien päällysteelle ovat:

- Mikään yksittäinen 100 metrin keskiarvoistusväli päällystystyön pituudelta ei saa ylittää 70 NAASRA-lukemaa/km (vastaa IRI-arvoa 2,7 m/km) ja tavoitearvo on 60 NAASRA-lukemaa/km (IRI 2,3 m/km)
- Kokonaispäällystepaksuutta merkittävästi lisäämättömät päällystekerrokset tai muut bitumisekoitteiset päällysteet - Mikään yksittäinen 100 metrin keskiarvoistusväli päällystystyön pituudelta ei saa ylittää 60 NAASRA-lukemaa/km (vastaa IRI-arvoa 2,3 m/km) ja tavoitearvo on 50 NAASRA-lukemaa/km (IRI 1,9 m/km)

Edellä olevan lisäksi mikään yksittäinen 20 metrin lukema millään kaistalla ei saa ylittää 100 NAASRA-lukemaa/km (vastaa IRI 3,8 m/km). [20]

4.3.7 Laadunpoikkeamakäytännöt

6b. ”Miten tunnuslukua hyödynnetään urakkakohtaisessa laadunvarmistuksessa ja mahdollisissa laatu-poikkeamien arvomuutoskäytännöissä?”

Australia (IRI)

Paikalliset tieviranomaiset määrittävät urakkaehdoissaan. Sanktiot määritetään prosentteina urakan arvosta silloin kun hylkäysrajana ovat 0,80 m/km suuremmat arvot (Taulukko 17).

Taulukko 17. Prosentuaaliset arvovähennykset riippuvat ylityksen absoluuttisesta määrästä. [14]

Table R116/B.5 – Deductions for Ride Quality

Ride quality in excess of specified limit by (m/km)	Deduction (in per cent of value of Lot)
< 0.25	2
0.25 – 0.43	4
0.44 – 0.61	8
0.62 – 0.80	16

Bonukset prosentteina urakan arvosta edellyttävät että kolmen peräkkäisen mittausjakson molemmat ajosuunnat täyttävät laatuvaatimukset (Taulukko 18).

Taulukko 18. Bonuksen prosentuaalinen määrä riippuu tavoitearvon absoluuttisen alituksen määrästä. [14]

Table R116/B.6 – Incentives for Ride Quality

Ride quality below specified limit by (m/km)	Incentive (in per cent of value of Lot)
< 0.44	0
0.44 – 0.61	1
0.62 – 0.80	2
> 0.80	3

Iso-Britannia (oikolauta)
(Ei vastausta.)

Itävalta (Planograf)

Teknisessä ohjeistuksessa RVS 08.16.01 määritellään tasaisuusvaatimukseksi (sekä pituus- että poikittaissuuntainen) enintään 4 mm poikkeama. Jos poikkeama välillä 5–12 mm, on mahdollista tehdä laatuvehennys. Yli 12 mm poikkeamia ei hyväksytä, vaan urakoitsijan on korjattava ne. Urakkasopimuksessa voidaan määrittää sallitut ylitykset erikoiskohteille kuten sillan liikuntasaumoille. Epätasaisuudet mitataan normaalisti kahden tai neljän metrin oikolaudalla, ja mittaustuloksesta vähennetään sallittu toleranssiarvo. Jäljelle jäävälle luvulle ("p") lasketaan seuraavaksi laatuvehennys.

Laatuvehennyksen laskemiseksi tarvitaan seuraavat lähtötiedot:

- päällysteen yksikköhinta (EP) [€/m²]
- päällysteen leveys (M) [m]
- päällystepaksuuden tavoitearvo ($f = 4/d_s$) - d_s [cm]
- ylitys (p^2), mitatun ja tavoitearvon erotus = tosiasiallinen poikkeama vähennettynä toleranssilla (4 mm) korotettuna neliöön. (Sakko nousee progressiivisesti ylityksen kasvaessa.)

Näiden lähtötietojen avulla lasketaan laatuvehennys A [€] kaavalla

$$A = \sum_{i=1}^n (p_i^2 * EP * M_i * f_i)$$

Ruotsi (IRI)

Laatupoikkeamien arvonmuutoskäytännöt on määritelty dokumentin TDOK 2014:0565 kappaleessa 5.5. Sen mukaan sakkoa maksetaan IRI-arvojen ylityksestä jokaista 20 metrin keskiarvoa kohti 2 000 kruunua tai jokaista 400 metrin keskiarvoa kohti 15 000 kruunua. Jokaiselta 400 metrin mittausväliltä tehdään vähennys sen mukaan (20 m tai 400 m) kumpi antaa suuremman arvonvehennyksen. [26]

Palkkiot asetetaan projektikohtaisesti; aina niitä ei tosin käytetä.

Saksa (Planograf)

Stöckert & Wasser:

Perinteisen sopimusmallin mukaisissa projekteissa käytetään vähennyskaavaa sanktioiden laskemiseksi. Arvonvehennyskaava on määritelty dokumentissa ZTV Asphalt-StB [18, liite A2.5] tai ZTV Beton-StB (Liite 7). Bonusta ei oteta huomioon.

Jos epätasaisuus ylittää aiemmin esitellyt raja-arvot (Taulukko 16), tehdään arvonvehennys seuraavan kaavan mukaisesti: [18]

$$A = 0,6 * EP * B * \sum p_i^2$$

A = arvonvehennys euroina

p_i = mitattu epätasaisuus millimetreinä vähennettynä raja-arvolla

EP = yksikköhinta €/m² johdettuna vaatimusmäärittelyn kappaleista 5.3.1, 5.3.2 tai 5.4

B = kulloisenkin mittapisteen leveys metreinä

Raja-arvojen ylitykset p_i korotetaan neliöön ja lasketaan niiden summa.

Esimerkki:

Päällystetyn pientareen (BAB, rakennusluokka I) koneellinen valu.

Sallittu epätasaisuus: 4 mm

Mitattu epätasaisuus: u_i millimetreinä

	1	5	13	14	25	27	30	
Mittauspaikka	10	8	7	9	7	7	10	
u_i [mm]	6	4	3	5	3	3	6	
p_i^2 [mm ²]	36	16	9	25	9	9	36	$140 = \sum_i^n p_i^2$

Asfaltin kulutuskerros SMA

$EP = 5 \text{ €/m}^2$

$B = 2,5 \text{ m}$

$A [\text{€}] = 0,6 * 5 [\text{€/m}^2] * 2,5 [\text{m}] * 140 [\text{mm}^2] = 1\,050 \text{ €}$

Elinkaarisopimusmallin mukaisissa projekteissa edellisessä kysymyksessä esitetyt raja-arvot on täytettävä. Jos arvoja ei täytetä, on urakoitsijan korjattava pinta vaatimusten mukaiseksi. Bonus- eikä sanktiomallia ei käytetä.

Uusi-Seelanti (IRI)

Ylläpitoprojektien laatupoikkeamien arvonmuutuskäytännöt on määritelty dokumentissa SM032: State Highway Maintenance Contract Proforma (A5 Basis of Payment)³⁵ [21]. Arvonmuutuskäytäntöä sovelletaan silloin, kun

- a) viimeisen sopimusvuoden lopputarkastuksessa epätasaisuus on raja-arvoja suurempi, tai
- b) minä tahansa sopimusvuotena yli 50 % lasketuista liukuvista 100 metrin keskiarvoista ylittää raja-arvot.

Tienpinnan rakenteesta riippuen joko Taulukko 19 tai Taulukko 20 määrittää arvonvähennyksen suuruuden. Vähennys lasketaan hyväksyttävän päällysteen (100 %) ja arvonalenemisosuuden (ensimmäinen sarake, ”% VE”) erotuksena projektin kokonaisarvosta. Laskennassa käytetään 85. prosenttipistettä koko 100 metrin mittaus-tuloksista. Vain epätasaisimman kaistan arvot huomioidaan laskelmassa. Yllä mainitun dokumentin sivulla 10 on esimerkki arvonvähennyksen laskemisesta.

³⁵ Ladattavissa osoitteesta [<http://www.nzta.govt.nz/assets/resources/state-highway-maintenance-contract-proforma-manual/docs/sm032-a5.pdf>].

Taulukko 19. Arvonmuutos prosentteina urakan arvosta kaikille tieluokille, kun rakennusmateriaalina on alle 40 mm paksuinen sirote- tai kokonaispäällystepaksuutta merkittävästi lisäävät päällystekerrokset. [21]

% VE	ALL ROAD CLASSIFICATIONS CHIP SEAL OR NON STRUCTURAL AC SURFACE (MIX DEPTH <= 40MM THICKNESS)
	85 TH PERCENTILE
100	<= 75
95	> 75 to <= 80
90	> 80 to <= 85
80	> 85 to <= 95
60	> 95 to <= 100
50	> 100

Taulukko 20. Arvonmuutos prosentteina urakan arvosta kaikille tieluokille, kun rakennusmateriaalina on yli 40 mm paksuinen kokonaispäällystepaksuutta merkittävästi lisäämätön päällystekerros. [21]

% VE	ALL ROAD CLASSIFICATIONS STRUCTURAL AC (MIX DEPTH > 40MM THICKNESS)
	85 TH PERCENTILE
100	<= 60
95	> 60 to <= 65
90	> 65 to <= 70
50	> 70

Uuden tien päällysteen osalta jos tasaisuusvaatimukset eivät täyty, on urakoitsija omalla kustannuksellaan velvollinen korjaamaan päällysteen tarvittavin toimenpitein. Paikoittaista korjausta ei hyväksytä esteettisyyden vuoksi.

4.3.8 Tieluokituksen vaikutus arvojen tulkintaan

7. ”Vaikuttaako tieluokitus ja jos vaikuttaa, niin miten hyväksyttäviin raja-arvoihin?”

Australia (IRI)

Katso vastaus kysymykseen 6a. Vaatimukset ovat samat uusille teille.

Iso-Britannia (oikolauta)

Vaatimukset A-luokan teille ovat kaksi kertaa tiukemmat kuin B-luokan teille. Viranomainen päättää tieluokituksen, mutta yleensä B-luokan tiet ovat ne, joilla nopeusrajoitus on alle 50 km/h. [15, 16]

Itävalta (Planograf)

Ohjearvot ovat sitovia kaikille moottori-³⁶ ja valtateille³⁷. Ohjearvot ovat voimassa myös osavaltioiden ylläpitämille maanteille³⁸ sekä paikallisteille³⁹ eli kaikille muille teille, mikäli urakkasopimuksessa on niin määritelty.

³⁶ Bundesstraße A = Autobahn

³⁷ Bundesstraße B = Schnellstraße

Ruotsi (IRI)

Katso kysymys 6a.

Saksa (Planograf)**Stöckert & Wasser**

Hyväksyttävät raja-arvot asetetaan perinteisissä rakennusprojekteissa kulloisenkin tienpinnan rakennusluokan mukaisesti, katso kysymys 6a.

Elinkaarihankkeissa tieluokituksella ei ole vaikutusta käytettäviin raja-arvoihin.

Uusi-Seelanti (IRI)

Hyväksyttävät epätasaisuusarvot NAASRA-asteikolla käytössä olevalle tieverkolle⁴⁰ on ilmoitettu alla (Taulukko 21). Ne riippuvat sekä tieluokitukselta että tien sijainnista joko taajamassa tai haja-asutusalueella. Uuden-Seelannin liikennevirasto on parhaillaan päivittämässä NAASRA-/IRI -arvoja ONRC-tieluokittain⁴¹, sillä alkuperäiset arvot ovat perustuneet hieman erilaiselle tieluokitukselle.

Taulukko 21. Epätasaisuuden NAASRA-tavoitearvot käytössä olevalle tieverkolle tieluokittain.

Status of Measure?		Current
Customer Level of Service Outcome <small>Over time all roads in a particular category should offer an increasingly consistent, fit for purpose customer level of service for road users</small>	Road Classification	Provisional targets attempt to give e
High level of comfort, no discernible roughness. Aesthetics of adjacent road environment reflects journey experience needs of higher numbers of through traffic users. Character of scenic/tourist routes protected and enhanced	National (High Volume)	Report % Provisional service level is: Urban <= 120 NAASRA Rural <= 110 NAASRA
High level of comfort, infrequent roughness. Aesthetics of adjacent road environment reflects journey experience needs of higher numbers of through traffic users. Character of scenic/tourist routes protected and enhanced	National	Report % Provisional service level is: Urban <= 120 NAASRA Rural <= 110 NAASRA
High level of comfort, infrequent roughness. Aesthetics of adjacent road environment reflects journey experience needs of both through traffic and active road users. Character of scenic/tourist routes protected and enhanced. Amenity outcomes of active road users are mostly provided with additional space in urban areas and in some rural areas. Clean and secure	Regional	Report % Provisional service level is: Urban <= 120 NAASRA Rural <= 110 NAASRA
Good level of comfort, occasional areas of roughness. Aesthetics of adjacent road environment reflects journey experience needs of both road users and land use. Urban arterials reflect urban fabric and contribute to local character. Some separation of road space for active road users for amenity outcomes in urban areas. Clean and secure	Arterial	Report % Provisional service level is: Urban <= 130 NAASRA Rural <= 120 NAASRA
Moderate level of comfort, occasional areas of roughness. Aesthetics of adjacent road environment reflects journey experience needs of all road users and adjacent land use. Urban collectors reflect urban fabric and contribute to local character. Specific provision where active road user's present. Clean, safe and secure	Primary collector	Report % Provisional service level is: Urban <= 140 NAASRA Rural <= 120 NAASRA
Moderate level of comfort, longer areas of roughness. Aesthetics of adjacent road environment reflects journey experience needs of all road users and adjacent land use. Urban collectors reflect urban fabric and contribute to local character. Specific provision where active road user's present. Clean, safe and secure	Secondary collector	Report % Provisional service level is: Urban <= 140 NAASRA Rural <= 130 NAASRA
Lowest level of comfort, may include extended areas of roughness and unsealed surfaces (on rural roads). Aesthetics of adjacent road environment strongly reflects land use and place function. Strong shared philosophy between active road users (if present) and vehicular traffic. Active roads users expect environment appropriate to their needs. Urban area clean, safe and secure	Access	Report % Provisional service level is: Urban <= 150 NAASRA Rural <= 150 NAASRA
	Access (Low Volume)	Report % Provisional service level is: Urban <= 170 NAASRA Rural <= 180 NAASRA

³⁸ Landesstraße B (aiemmin valtion hallinnoima tie) ja Landesstraße L (aiemminkin osavaltion hallinnoima tie).

³⁹ Ländliche Straßen

⁴⁰ Ei siis vastapäälystetyille tieosuuksille.

⁴¹ Lisätietoja ONRC-tieluokkien toiminnallisesta jaottelusta löytyy sivulta

[<https://www.nzta.govt.nz/assets/Road-Efficiency-Group-2/docs/functional-classification.pdf>].

4.3.9 Korvaava tunnusluku

8. ”Suunnitteletteko jonkin toisen tunnusluvun käyttöä tulevaisuudessa? Jos suunnittelette, mikä?”

Australia (IRI)

Ei.

Iso-Britannia (oikolauta)

Tahtotila on käyttää verkkotason mittausten menetelmiä, ja luultavasti jotkin tieyritykset jo näin epävirallisesti tekevätkin. Tarkempaa tietoa asiasta ei ole.

Itävalta (Planograf)

Tammikuussa 2015 valmistui tutkimusprojekti WLP:n käytöstä tien tasaisuuden hyväksyntäkriteerinä. Tällä hetkellä ei ole valitettavasti mahdollista sanoa, milloin ja jos ylipäätään WLP otetaan käyttöön (täydentämään Planograf-mittauksia).

Ruotsi (IRI)

IRI:n puutteiden vuoksi Ruotsissa on kehitetty ”Lokala ojämnheter” -tunnusluku (LO), joka ottaa IRIä paremmin huomioon tienpinnan yksittäiset epätasaisuudet. Tunnusluku on sen verran uusi, ettei haastateltavalla ollut vielä kertoa siitä käytännön kokemuksia.

LO-tunnusluvut lasketaan mitatuista pituusprofiileista erikseen sekä henkilöauto- että raskaan ajoneuvomallin korille ja pyörälle. LO-tunnusluku lasketaan henkilöautolle IRI-mallin mukaisesti samoilla parametreilla pois lukien ajonopeus, jona käytetään tieosan suurinta sallittua ajonopeutta. Laskennan lopputuloksena saadaan kiihtyvyydet (m/s^2) sekä korille että pyörälle.

Raskaan ajoneuvon osalta laskentamallissa käytetään henkilöautosta poikkeavia parametreja. Lisäksi korkein mahdollinen ajonopeus on rajoitettu 90 km/h, vaikka suurin sallittu ajonopeus tiellä olisi korkeampikin.

LO-arvot lasketaan kymmenen (10) cm välein oikeasta ja vasemmasta pituusprofiilista. Kahdenkymmenen (20) metrin matkalta näistä 400 arvosta valitaan suurin, joka edustaa kyseisen 20 metrin tieosuuden LO-arvoa. [9]

Saksa (Planograf)

Löcherer & Ueckermann:

Tutkimusprojekti alkanut vuonna 2015 WLP:n käyttöönottamiseksi: vaatimusmäärittelyt ja reunaehdot 2015, valmista 2018-2019. Ulrike Stöckert (BAST) vetää projektia.

Stöckert & Wasser:

Verkkotason kuntomittauksissa (ZEB) on tarkoitus seuraavien vuosien aikana palata takaisin painotetun pituusprofiilitunnusluvun (WLP) käyttöön, katso edut kysymyksestä 3. WLP:tä suunnitellaan samoin käyttöönotettavaksi lähivuosina rakennusurakoissa. Se edellyttää kuitenkin lisätutkimusta aiheesta, jotta WLP saadaan mukautettua urakatason kohteisiin; alun perin tunnusluku on kehitetty ainoastaan verkkotason mittauksiin. Aiheesta onkin käynnissä kaksivuotinen tutkimusprojekti, josta odotetaan ensimmäisiä tuloksia vuoden 2017 lopulla.

Pitkällä tähtäimellä epätasaisuuden vaikutusta on ajateltu tarkasteltavan soveltuvin ajoneuvomallein, jotka huomioivat epätasaisuuden merkittävimmät vaikutukset kolmiulotteisesti tiehen, kuljettajaan ja rahtiin.

Uusi-Seelanti (IRI)

Ei tällä hetkellä.

4.3.10 Mittausmenetelmät (*)

9. ”Minkälaisia mittauksia tunnusluvun laskeminen edellyttää?⁴² ”

Australia (IRI)

PTM-mittaus.

Iso-Britannia (oikolauta)

Kolmen metrin liukuoikolautaa simuloi kolmen metrin oikolautaa, jota liu'utettaisiin pitkin tienpintaa. Liukuoikolaudalla mitataan mittapyörän pystysuuntaista mekaanista liikettä mittausvälillä 0–12 mm ja toleranssilla $\pm 0,25$ mm. Liukuoikolautaa käytetään uuden päällysteen tasaisuuden arvioinnissa rakentamisvaiheessa, laadunvarmistuksessa ja hyväksyntätesteissä. Liukuoikolaudassa on lisäksi matkamittari, joka mittaa kuljettua etäisyyttä yhden metrin tarkkuudella. Mittaus suoritetaan kävellen nopeudella 1–2 km/h ja mittalaite rekisteröi epätasaisuuksien lukumäärän, pituuden ja etäisyyden mittauksen alkupisteestä.

Tasaisuus mitataan ja määritellään päällystetyn asfaltin pituuden mukaan [15]:

1. Tasaisuus mitataan mitä tahansa asfaltin pituussuuntaista linjaa tai linjoja pitkin 300 metrin matkalta säännöllisin välein. Mittaus tehdään näin, vaikka päällystys olisikin tehty useassa erässä.
2. Jos uuden päällysteen pituus on alle 300 metriä, ekstrapoloidaan ylitysten määrä vastaamaan 300 metrin pituutta.
3. Jos asfaltin kokonaispituus (mukaan lukien vanhat päällysteet) on alle 300 metriä, mittaukset suoritetaan 75 metrin osissa.

Itävalta (Planograf)

Manuaalinen mittaus.

Ruotsi (IRI)

Mittaukset suoritetaan joko tieosuuden käyttöönoton yhteydessä tai mahdollisimman pian sen jälkeen. Tasaristeyksissä vaatimukset koskevat päätietä. Tiet, joiden kulutuskerros on soraa, on täytettävä vaatimukset ajonopeudella 50 km/h. Mittaukset voidaan suorittaa joko mitta-autolla, hinattavalla mittavaunulla tai oikolaudalla. Mitta-autolla suoritettavat mittaukset tehdään dokumentin ”VVMB 122 Vägytemätning med mätil, objektmätning” mukaisesti. Mitta-autolla tehtävien epätasaisuusmittausten edellytykset on esitetty seuraavassa (Taulukko 22). [17]

⁴² (*) Menetelmäkuvauksesta = teknisistä määrittelyistä; ei erillisenä kysymyksenä kyselytutkimuksessa.

Taulukko 22. Mitta-autolla tehtävien epätasaisuusmittausten edellytykset. [17]

Tarkastettava kohde	Ajokaista 400 metrin pituudelta. Koko kohde tarkastetaan.
Mittaustapa	Mittaus suoritetaan ohjeen VVMB 122 mukaisesti.
Mittausmuuttujat	Mittausmuuttuja (x), x = epätasaisuusindeksi (IRI, mm/m, keskiarvo 20 metrin mittausvälille) Mittausmuuttujan otoskeskiarvo, $\bar{x} = \frac{1}{n} * \sum x$ 400 metrin mittausväliltä
Arviointimuuttujat	Arvioitavat muuttujat ovat x, \bar{x} ja s.

Objektimittaukset suoritetaan normaalisti kolmena mittauskertana. Joissakin tapauksissa erikseen sopimalla mittaus voidaan kuitenkin suorittaa vain yhden kerran. Tällaisia poikkeustapauksia ovat kohteet, joissa useampaan kertaan mittauksen turvallisuusriskit arvioidaan suuremmaksi kuin tarkemmasta mittaus tuloksesta saatavat hyödyt. Esimerkkejä tällaisista kohteista ovat liikenneympyrät, moottoritien liittymät, pientareet ja toiset ajokaistat useampikaistaisilla teillä. [22]

Saksa (Planograf)

- Manuaalinen mittaus
 - o 4 metrin oikolauta
 - o Planograf
- Ajoneuvolla suoritettava mittaus
 - o 4 metrin oikolautasimulointi
 - o painotettu pituusprofiili WLP

Uusi-Seelanti (IRI)

Mittaukset tulee suorittaa joko suurinopeuksilla inertiaprofilereilla tai ”pomppu-mittarilla”⁴³, jotka on hyväksytty Austroads-testimenetelmän AG:AM/Too2 (2006) mukaisesti ja joka tuottaa epätasaisuusmittaustuloksia 20 metrin välein tai useammin. [23]

4.3.11 Tunnusluvun laskenta (*)

10. ”Miten tunnusluku lasketaan?”⁴⁴

Australia (IRI)

Tunnusluku lasketaan kolmen mittauksen keskiarvona. Kaistan IRI lasketaan keskiarvona molempien urien IRI-arvoista 100 metrin matkalta. [24]

Iso-Britannia (oikolauta)

Tieto luetaan oikolaudan mitta-asteikolta, eikä se sisällä erillistä laskentaa. Mittaus on joko liukuoikolauta- tai joissakin tapauksissa normaali oikolautamittaus.

⁴³ Response-type roughness meter

⁴⁴ (*) Menetelmäkuvauksesta = teknisistä määrittelyistä; ei erillisenä kysymyksenä kyselytutkimuksessa.

Itävalta (Planograf)

Tieto luetaan suoraan planografien mitta-asteikolta eikä se sisällä erillistä laskentaa.

Ruotsi (IRI)

Objektimittauksen tunnuslukuna käytetään 400 metrin IRI-arvoa, joka lasketaan 20 metrin mittausväleiltä kolmen mittauksen mediaaniarvojen keskiarvona. Jokaisen mittauksen 400 m keskiarvo saa poiketa korkeintaan 8 % tai 0,08 mm/m mediaaniarvojen keskiarvosta. Edelleen kunkin mittauksen 400 m keskihajonta saa poiketa korkeintaan 20 % tai 0,20 mm/m mediaaniarvojen keskihajonnasta. [22]

Saksa (Planograf)

Manuaalisessa mittauksessa (4 metrin oikolauta tai planograf) ei lasketa erillistä tunnuslukua. Ajoneuvolla suoritettavassa mittauksessa (4 metrin oikolautasimulointi) tunnusluvut lasketaan tunnuslukukohtaisten ohjeiden mukaisesti. Laskentaperiaate on kuvattu yksityiskohtaisemmin kirjallisuusselvityksessä ja siinä viitatuissa määrittelydokumenteissa.

Uusi-Seelanti (IRI)

Tunnuslukuna käytetään 100 metrin liukuvana keskiarvona laskettua IRI-arvoa. 100 metrin keskiarvoistus tehdään täysistä 20 metrin mittaväleistä. 100 metriä lyhyemmät päällystykset mitataan oikolaudalla. Lisäksi keskiarvoistuksen ulkopuolelle jätetään sellaiset 100 metrin osuudet, joissa 20 metrin epätasaisuusmittausvälillä on sekä uutta että vanhaa päällystettä. Uuden ja vanhan päällysteen rajakohdan epätasaisuus mitataan oikolaudalla. Samoin tien geometria ja esimerkiksi risteysalueet voivat käytännössä tehdä mahdottomaksi saavuttaa haluttu päällysteen tasaisuuden taso. Näissä kohdissa voidaan erikseen sopimalla jättää ongelmalliseksi tulkittavat 20 metrin mittausvälit pois 100 metrin keskiarvoistuksesta ja mitata kyseiset mittausvälit oikolaudalla. Tilaajan suorittaman HSD-mittauksen tarkkuus voidaan tarvittaessa tarkistaa AARB Walking Profiler -mittalaitteiston⁴⁵ avulla. [25]

NAASRA- ja IRI-arvojen välinen yhteys on seuraava [25]:

$$\text{NAASRA (lkm/km)} = 26,49 \times \text{KaistaIRI}_{qc} - 1,27 \dots (1)$$

$$\text{ja KaistaIRI}_{qc} = (\text{IRI}_{qcl} + \text{IRI}_{qcr}) / 2 \dots (2)$$

jossa: KaistaIRI_{qc} = kaistan epätasaisuus (IRI m/km)
 IRI_{qcl} = vasemman uran epätasaisuus (IRI m/km)
 IRI_{qcr} = oikean uran epätasaisuus (IRI m/km)

⁴⁵ Lisätietoja dokumentista Austroads Test Method AG:PT/T450:2007

5 Johtopäätökset

Johtopäätösten kannalta työssä oltiin kiinnostuneita kahdesta kysymyksestä:

- Mitä eri tunnuslukujen käyttöönotto Suomessa edellyttäisi ja selvittäisiinkö nykyisillä mittauksilla?
- Jos nykyisillä mittausten menetelmillä ja/tai -teknologialla tunnusluvun mittaaminen ei onnistu, minkälaisia muutoksia olisi tehtävä nyt (yleisesti) käytettyyn mittausteknologiaan?

Kirjallisuustutkimuksen ja maakyselyn perusteella uusien päällysteiden laadunvalvonnassa käytetyt tunnusluvut voidaan jakaa karkeasti kolmeen ryhmään, jotka ovat

- verkkotason kunnonhallinnassa käytettävät nopeasti mitattavat tunnusluvut,
- uusien päällysteiden laadunvalvonnassa käytettävät hitaiden mittausten menetelmien tuottamat tunnusluvut
- ja niiden sekaryhmä

Kaikkein yleisimmin käytetty tunnusluku oli IRI. Sen käyttöä on perusteltu mm. sillä, että se on yleisesti vakiintunut tunnusluku, se pystytään mittaamaan nopeasti ja se on yhteneväinen kunnonhallinnassa käytetyn menettelyn kanssa. Sen heikkouksina ovat kuitenkin mm. uusien päällysteiden kannalta vajaa aallonpituusalue, vanha ajoneuvomalli sekä tunnottomuus epätasaisuuden haitallisuudelle, joka on todettu kotimaisissa tutkimuksissa. Joissakin perusteluissa sen sanotaan korreloivan ajomukavuuden kanssa, mikä osittain pitääkin paikkansa, mutta toisaalta se ei kuitenkaan ota sitä huomioon riittävästi. Neljännesautomallin puolen metrin ylipäästösuodin jättää uusilla päällysteillä tärkeän lyhytaaltoisen epätasaisuuden pois. Samalla sen 50 metrin alipäästöraja päästää uusille päällysteille merkityksetöntä pitkäaaltoista epätasaisuutta mukaan, johon ei päällystämällä pystytä edes vaikuttamaan. IRIn aallonpituusalue sopii huonosti siihen aallonpituusalueeseen, joka uusien päällysteiden laadunvalvonnassa olisi tärkeintä. Tarpeellisempi aallonpituusalue olisi megakarkeus ja IRIn lyhytaaltoinen osa.

IRIn aallonpituusrajoitettua versiota on käytetty Suomessa jo pitkään eikä siirtymisen koko aallonpituusalueen kattavaan varsinaiseen IRIin ole siten perusteltua. Koska Suomessa ollaan tyytymättömiä niin IRIn kuin IRI4n käyttöön, ei sen kumpaakaan versiota siten suositella uusien päällysteiden tasaisuuden tunnusluvuksi.

Hitaiden mittausten menetelmien tunnusluvut ovat eripituisilla oikolautoilla saatavat pituussuunnassa mitattavat ”maksimiurat” tai maksimipoikkeamat. Oikolautamittausten heikkoutena ovat mittaamisen hitaus ja paikallisuus. Fyysinen oikolautamittausten menetelmänä on auttamattomasti vanhentunutta tekniikkaa eikä sitä voida siten suositella korvaavaksi mittausten menetelmäksi.

Sekaryhmän tunnusluvut saadaan laskettua nopeasti tehtävistä mittauksista saadusta datasta. Käytetyimmät tämän ryhmän tunnusluvut ovat profiili-indeksi ja simuloidut oikolaudat. Profiili-indeksi voitaisiin laskea Suomessakin mitatusta pituusprofiilista esim. PROVAL-ohjelmalla. Profiili-indeksi on ollut laajassa käytössä mm. Pohjois-Amerikassa, mutta siitä näytetään siirtyvän vähitellen IRIn käyttöön.

IRIn käyttöä uusien päällysteiden laadunvalvonnassa perustellaan Pohjois-Amerikassa sillä, että sitä käytetään myös muussa kunnonhallinnassa.

Erialaisten oikolautamallien maksimipoikkeamien käyttö olisi Suomessakin helposti mahdollista, koska uusilta päällysteiltä mitataan jo nyt 17 eri pituusprofiilia. Tehtävänä olisi ainoastaan määritellä oikolautasovellus ja siihen sopiva tunnusluku. Oikolautasimuloinnista pystyttäisiin tuottamaan pituussuunnassa havaittavia poikkeamia, joiden suuruudelle ja määrälle asetettaisiin raja-arvoja. Näiden tunnuslukujen käyttökelpoisuutta tulisikin tutkia uusilta päällysteiltä tehtävien mittausten perusteella.

Sekaryhmään kuuluviksi tunnusluvuiksi voidaan ajatella kuuluviksi erilaiset ajoneuvosimuloinneilla, spektrianalyyseillä ja profiilianalyyseillä tuotettavat tunnusluvut. Saksalainen LWI-ajoneuvosimulointiin perustuva menetelmä tuottaa yhdistelmän kolmesta erilaisesta simuloidusta tunnusluvusta, joita ovat henkilöauton kuljettajaan kohdistuva pystykiihtyvyys, raskaan ajoneuvon taka-akselin dynaaminen kuormitus ja puoliperävaunun kolmiakselisen telin pystykiihtyvyys. Menetelmää voitaisiin käyttää Suomessakin helposti. Sen hyvinä puolina ovat mm. että siinä lasketaan olemassa olevien ajoneuvojen saamia pystykiihtyvyyksiä tai pyöräpainoja, jotka tunnistavat hyvin tiessä olevia haitallisia epätasaisuuksia. Lievinä haittapuolina ovat mm. että tarvitaan kolme eri simulointia ja tarkastellaan ainoastaan yhtä liikesuuntaa, pystyliikettä. Parempi olisi käyttää yksittäisten akseleiden sijasta kokonaista ajoneuvoa ja saada tulokseksi kolmen eri liikesuunnan kiihtyvyydet, jolloin käsitys pinnan epäsäännöllisyyksistä olisi monipuolisempi.

Spektrianalyysiin perustuva tasaisuustunnusluku AUN perustuu pinnan epätasaisuuden korkeusvaihtelun amplitudin ja aallonpituuden analysointiin käyttäen matemaattisia laskentamenetelmiä. Menetelmä olisi sovellettavissa Suomessakin nyt tehtäviin mittauksiin. Sen haittapuolena on liiallinen teoreettisuus. Tunnusluvun merkitystä on vaikea selittää ja sen ei uskota olevan sen takia kovin houkutteleva.

Profiilianalyysiä edustaa WLP, joka olisi helposti sovellettavissa myös Suomessa. Siihen tarvittava tieto saadaan tavanomaisella palvelutasomittarilla ja sen laskenta on kuvattu standardiluonnoksessa prEN13036. Sen käyttökelpoisuutta olisi helppo kokeilla, mutta se ei näytä toistaiseksi olevan käytössä missään.

Seuraavassa taulukossa on luonnehdintoja löydettyjen tunnuslukujen hyvistä ja huonoista puolista ajatellen käyttöönottoa Suomessa (Taulukko 23). Taulukkoon on laitettu vihreällä taustavärillä ne tunnusluvut, jotka ovat joko hyvin määritettyjä tai hyvin laajassa käytössä. Lisäksi yhtenä kriteerinä on se, että tunnusluku voidaan laskea nykyisten mittausten perusteella. Tällä perusteella potentiaalisia vaihtoehtoja ovat profiili-indeksi (PI), painotettu pituusprofiili (WLP), ajoneuvosimuloinnit (LWI), simuloidut oikolautatulokset tai yksittäisepätasaisuudet (kuitenkin monipuolisesti tuotettuna kaikista liikesuunnista). Punaisella taustavärillä esitettyjä tunnuslukuja ei suositella jatkotarkasteluun.

Potentiaalisten vaihtoehtojen tutkiminen voitaisiin tehdä esim. seuraavasti:

- Painotettu pituusprofiili (WLP) olisi tutkittavissa suoraan soveltamalla EN-standardissa esitettyä laskentamenetelmää PTM:n 10 cm:n raakadataan.
- Ajoneuvosimuloidut tunnusluvut (LWI) olisi mahdollista tuottaa täysautomallilla PTM:n 10 cm raakadatasta sekä kevyelle että raskaalle ajoneuvolle kolmelle eri liikesuunnalle (pystyliike, sivuheilahdus ja nyökkiminen). Myös LWI:n dynaaminen pyöräpaino olisi saatavissa samoista simuloinneista. LWI:n perävaunumallia ei ole Suomessa kuitenkaan käytettävissä.
- Pystypoikkeama on mahdollista tuottaa oikolautasimuloinnilla suoraan PTM:n 10 cm raakadatasta. Oikolaudan pituus on vapaasti valittavissa.
- Profiili-indeksi (PI) on mahdollista tuottaa PTM:n 10 cm raakadatasta PROVAL-ohjelmistolla.
- Yksittäisepätasaisuuksia on mahdollista tuottaa joko mitatusta profiilista tai ajoneuvosimulointien vasteista. Yksittäisepätasaisuuksille olisi siten käytännönläheinen merkitys.
- Tunnuslukujen käyttökelpoisuutta voitaisiin tutkia vertaamalla uusilta päällysteiltä tuotettujen tunnuslukujen arvoja ajopaneelistä saatuihin asiantuntija-arvioihin.
- Tunnuslukujen paremmuus voitaisiin ratkaista tarkemman selittävyystarkastelun perusteella.
- Jatkotarkastelussa olisi syytä analysoida, mitkä tunnusluvut pystyvät erittelemään johdannossa mainittuja epätasaisuuksia.

Tunnuslukujen valinnassa saisi olla taustalla mielikuva siitä, millainen hyvän päällysteen tulisi olla. Sen tulisi olla miellyttävä ajaa eikä pituusprofiilissa saisi olla sellaisia epäsäännöllisyyksiä, jotka edistävät raskaiden ajoneuvojen aiheuttamaa tierasitusta. Esimerkiksi ”nypytys” tai pitkäaaltoiset epätasaisuudet saavat ajoneuvojen korit heilumaan ja se aiheuttaa pyöräpainoihin vaihtelua, joka puolestaan lisää tierasitusta. Vaihtelu tierasituksessa saa aikaan lisää muodonmuutoksia ja nopeuttaa tien rappeutumista.

Taulukko 23. Tunnuslukujen käyttökelpoisuuden arviointi.

Tunnusluku	Mittaus	Hyvät puolet	Huonot puolet
IRI	PTM	Käytössä, Tunnettu, Kansainvälinen, Verkkotaso, prEN standardi	Todetut puutteet Ei tunnista erilaisia epätasaisuuksia
WBA	PTM	Määritetty prEN-standardissa, sijaintitieto, tunnistaa erilaisten aallonpituuksien epätasaisuuksia	Monimutkainen, vaikeasti ymmärrettävä
AUN	PTM	Määritetty	Vain Saksassa, ei tunnista sijaintia
WLP	PTM	Määritetty prEN-standardissa, herkkä, monipuolinen	Vain Saksassa
LWI	PTM	Määritetty	Vain Saksassa Monimutkainen, tarvitaan 3 eri simulointia verkkotason tunnusluku?
PI	PTM	Käytetty laadunvalvonnassa	Ollaan siirtymässä pois
Pystypoikkeama	Oikolauta PTM	Yksinkertainen	Hidas Aallonpituusrajoite -
RN, Ride Number	PTM	Laskenta määritetty PROVAL-ohjelmassa	Ei kovin yleisessä käytössä
RQI, Michican Ride Index	PTM	-	Ei käytössä
DLC, Dynaaminen kuorma	PTM	-	Ei käytössä
TRI Truck Ride Index	PTM	-	Ei käytössä
Yksittäisepätasaisuudet	PTM	Käytössä tai tulossa käyttöön	Kirjavat määrittelyt, rajoitettu liikesuunta

6 Yhteenveto

Tässä työssä selvitettiin uusien päällysteiden laadunvalvonnassa käytettyjä tasaisuuden tunnuslukuja eri maissa. Selvityksessä käytettiin kirjallisuusselvitystä ja maakyselyä. Kirjallisuusselvityksessä haettiin tasaisuuden tunnusluvuista lähteitä, määritelmiä, käytettävyyttä ja raja-arvoja. Maakysely kohdennettiin kuuteen maahan, joiden yhteyshenkilöiltä kysyttiin vastauksia yhdeksään kysymykseen.

Kirjallisuusselvityksen perusteella uusien päällysteiden laadunvalvonnassa eniten käytetyt tunnusluvut ovat IRI, profiili-indeksi sekä erilaiset oikolautoilla määritettävät maksimipoikkeamat. Profiili-indeksi on ollut eniten käytössä Pohjois-Amerikassa, mutta siitä näytetään siirtyvän IRI:n käyttöön. Perusteluna näyttää olevan yhtenäisyys kunnonhallinnan tunnuslukujen kanssa. Muita tunnuslukuja olivat erilaiset pituusprofiilista tehtävien aallonpituuksiin ja taajuuksiin liittyvien tarkastelelujen tuottamat tunnusluvut kuten WLP ja WBA.

Maakysely kohdistettiin Australiaan, Iso-Britanniaan, Itävaltaan, Ruotsiin, Saksaan ja Uuteen Seelantiin. Australiassa, Ruotsissa ja Uudessa Seelannissa on käytössä uusien päällysteiden laadunvalvonnassa IRI. Sen käyttöä perusteltiin sillä, että tunnusluku on tunnettu, yleismaailmallinen ja yhtenäinen muun kunnonhallinnan kanssa. Iso-Britanniassa ja Saksassa käytetään oikolautaa sekä Saksassa myös planografia ja oikolautasimulointia. Oikolautaa käytetään myös Itävallassa, mutta ensisijainen mittausten menetelmä siellä on planograf. Saksassa on lisäksi käytettävissä ajoneuvosimuloinneilla muodostettu indeksi LWI, pituusprofiilin aallonpituuden analysoinnista saatava indeksi WLP ja pituusprofiilin spektrianalyysistä saatava yleisindeksi AUN. WLP:n käytöstä on käynnissä tutkimuksia ainakin Saksassa ja Itävallassa, joten sitä pidetään potentiaalisena tunnuslukuna.

Tunnusluvuilla oli hyviä ja huonoja puolia. Hyvinä puolina nähtiin muun muassa jos tunnusluku oli määritetty tai siitä oli olemassa prEN-standardi, se oli laajasti käytössä, tunnisti tietyn tyyppistä epätasaisuutta ja säilytti tasaisuushavainnoissa sijainnin. Huonoja puolia taas olivat mm. jos tunnusluku oli määritelty epäselvästi, se ei sisällynyt mihinkään standardiin, ei ollut laajasti käytössä, rajoitti tärkeitä aallonpituusalueita, kadotti paikkatiedon tai perustui hitaasti tehtäviin mittauksiin.

Useita hyviä puolia sisältyi eräisiin pituusprofiilista laskettuihin tunnuslukuihin, jotka oli tuotettu joko erilaisilla profiilin aallonpituusalueiden erillisanalyysillä tai ajoneuvosimuloinneilla. Tällaisia olivat profiili-indeksi (PI), painotettu pituusprofiili (WLP), aallonpituusanalyysi (WBA) ja ajoneuvosimuloinneilla saadut tunnusluvut (LWI).

Jatkotarkastelun piiriin suositellaan otettaviksi Suomessa sellaiset tunnusluvut, jotka on määritetty, mitattavissa nopeasti ja käytössä tai joihin maailmalla selvästi tunnetaan mielenkiintoa. Tällaisia tunnuslukuja ovat profiili-indeksi, laskennalliset oikolautasovellukset, aallonpituuden perusteella tehtävät tunnusluvut ja ajoneuvosimuloinneilla tuotettavat tunnusluvut. Erityisesti suositellaan kokeiltavaksi toisaalta sellaisia tunnuslukuja, joilla pystytään erittelemään erilaisia mahdollisesti erilaisista syistä johtuvia epätasaisuuksia ja toisaalta taas sellaisia tunnuslukuja, joilla on yhteys tiellä liikkujan kokemaan ajomukavuuteen.

Lähteet

1. Summary of Pavement Smoothness Specifications in Canada and Around the World. Canadian Strategic Highway Research Program (C-SHRP). 1999.
2. Issues in Pavement Smoothness. A Summary Report. National Cooperative Highway Research Program. Transportation Research Board. National Research Council. March 2002.
3. Sayers, M. W. and S. M. Karamihas, "The Little Book of Profiling," University of Michigan Transportation Research Institute, Ann Arbor, MI, September, 1998.
4. Wolters, A. S. and M. G. Grogg, "HMA Pavement Smoothness: Characteristics and Best Practices for Construction," Publication Number FHWA/IF-02/024, Federal Highway Administration, Washington DC, March, 2002.
5. prEN 13036-5:2006. Road and airfield surface characteristics — Test methods — Part 5: Determination of longitudinal unevenness indices.
6. Steven M. Karamihas. Critical Profiler Accuracy Requirements. UMTRI-2005-24. 2005.
7. TP Eben – Berührungslose Messungen. Technische Prüfvorschriften für Ebenheitsmessungen auf Fahrbahnoberflächen in Längs- und Querrichtung. Forschungsgesellschaft für Strassen- und Verkehrswesen. Ausgabe 2009.
8. Computation of Profile Index from CA Profilograph Model for ProFAA.
9. Vägytemätning Mätstorheter. Krav. TDOK 2014:0003. Version 1.0. 2015-01-01. Sverige.
10. W. James Wilde. Mn/DOT Combined Smoothness Specification. Center for Transportation Research and Implementation Minnesota State University, Mankato. April 2010. Research Project Final Report #2010-15.
11. Ueckermann Andreas, Oeser Markus. Ansätze für eine 3-D-Bewertung der Strassenebenheit auf Basis räumlicher Fahrzeugmodelle. Strasse und Autobahn. 11/2014.
12. Ueckermann Andreas, Oeser Markus. Approaches for a 3D assessment of pavement evenness data based on 3D vehicle models. Journal of traffic and transportation engineering (english edition) 2015 ; 2(2) : s. 68-80.
13. Krav på jämnhet och tvärfall vid underhållsbeläggningar. Nationell mall för Teknisk beskrivning.
14. Heavy Duty Dense Graded Asphalt. QA Specification R116. Edition 8 / Revision 2. 2012. Roads and Maritime Services (RMS). 50 p.
15. Manual of Contract Documents for Highway Works. Volume 1 Specification for Highway Works. Series 700 Road Pavements – General. Amendment – November 2006.
16. Manual of Contract Documents for Highway Works. Volume 2 Notes for Guidance on the Specification for Highway Works. Series NG700 Road Pavements – General. Amendment – November 2004.
17. Bitumenbundna lager. 2014. Trafikverket. TDOK 2013:0529. Version 1.0. 120 p.
18. Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Verkehrsflächenbefestigungen aus Asphalt, Ausgabe 2007, Fassung 2013 (ZTV Asphalt-StB)
19. SM032-A7 Maintenance Specification. 2015. NZ Transport Agency. Volume 4. 167 p.
20. SM031-A5 Project Specification. 2015. NZ Transport Agency. 54 p.

21. SM032: State Highway Maintenance Contract Proforma (A5 Basis of Payment)⁴⁶. Version 2.0. March 2015. 43 p.
22. Vägytemätning objekt. 2015. TDOK 2014:005. Version 1.0. Trafikverket. 15 p.
23. Austroads Test Method AG:AM/T001. Pavement Roughness Measurement with an Inertial Laser Profilometer. 2011. 14 p.
24. Guide to Asset Management Part 5B: Roughness (Chapter 7: Project level application). Austroads. 2007.
25. Transport Agency's Technical Memorandum TM7003 (TM7003) - Roughness Requirements for Finished Pavement Construction. 2006.
26. Trafikverkets regler för reglering av beläggningsarbeten. TDOK 2014:0565. Version 1.0. 27 p.
27. Robert P. Evans (2013): Synchronisation of Road Profile Data and the Assessment of Road Roughness Using Waveband Analysis. Swinburne University of Technology, Australia.

⁴⁶ Ladattavissa osoitteesta [<http://www.nzta.govt.nz/assets/resources/state-highway-maintenance-contract-proforma-manual/docs/sm032-a5.pdf>].

Vastaajien yhteystiedot

Taulukko 1. Kyselyyn vastanneiden henkilöiden yhteystiedot.

MAA	VASTAAJA	YHTEYSTIEDOT
Australia	Michael Ives	Michael.P.IVES@rms.nsw.gov.au; +61 455087 308
Iso-Britannia	Alex Wright	mwright@trl.co.uk; +44 (7917) 648 206
Itävalta	Manfred Haider Roland Spielhofer	manfred.haider@ait.ac.at; +43 (664) 815 7971 Roland.Spielhofer@ait.ac.at
Ruotsi	Johanna Thorsenius	johanna.thorsenius@trafikverket.se; +46 703 245 849
Saksa	Ludwig Löcherer Andreas Ueckermann Rudi Bull-Wasser Ulrike Stöckert Börge Wasser	Ludwig.Loecherer@abdsb.bayern.de; +49 (173) 863 1078 ueckermann@isac.rwth-aachen.de; +49 (241) 802 6744 Bull-Wasser@bast.de stoeckert@bast.de Wasser@bast.de; +49 220 443 711
Uusi-Seelanti	Michelle Cousins	Michelle.Cousins@nzta.govt.nz; + 64 27 801 8585

Questionnaire

[Date]

[Company name/Department]

[First family name]

[Address]

[Postal code]

[COUNTRY]

[Telephone call N.N./M.M.]

Questionnaire about indicator(s) used in quality control of longitudinal evenness (of paved roads)

Dear [N.N.]

Destia is a Finnish infrastructure and construction service company designing, building and maintaining traffic routes and industrial and traffic environments. We are currently conducting a survey for the [Finnish Traffic Agency](#) in selected six countries to find out what kind of indicator(s) are used to measure the quality of the longitudinal evenness of repaved and newly-built asphalt road sections. [Australia/New Zealand/United Kingdom/Sweden] is one of the countries chosen by the local Traffic Agency, so we would like to get your opinion on the subject.

The purpose of the project is to evaluate how the different indicator(s) are measured, calculated and interpreted and to get your opinion on its usability. Ultimately the suitability of indicators for the Finnish environment will be analysed in terms of whether and how they could be used instead of or in addition to the International Roughness Index (IRI) currently used.

You can find the questionnaire on the next page. It contains eight open questions covering subjects like why a specific indicator is used and what its positive and negative aspects are with regard to how the indicator is applied in practice. The results of the questionnaire will be shared within the countries that are participating (unless you do not allow it), but the research report itself will not be published at this time. Please reserve about 15 minutes to complete the survey. We would be delighted to have your reply by [x.x.2015].

In case of any questions, please feel free to contact Mr Petteri Haapanen, petteri.haapanen@destia.fi, mobile +358 40 714 3948. The Finnish Transport Agency and we warmly thank for your efforts in advance!

Best regards

Destia Ltd.

Expert services / Road Network Services

Mr Petteri Haapanen

Business Development Manager

Destia Oy

Turuntie 207, FI-02740 Espoo, FINLAND

Tel. +358 20 444 11

Fax. +358 20 444 3201

www.destia.fi

VAT number FI2163026-3

QUESTIONS

1. What technical specification(s) are you using as a smoothness specification when evaluating the quality of the longitudinal evenness of a) repaved and b) newly-built asphalt road sections?
2. What indicator(s) are you using as a smoothness specification when evaluating the quality of the longitudinal evenness of a) repaved and b) newly-built asphalt road sections?
3. What are the main reasons for using this indicator?
4. Please evaluate the advantages and disadvantages of the indicator.
5. Is this indicator also used at the road network level?
6. Please provide an example project specification that defines
 - a) what kinds of rating and threshold values are used when evaluating the indicator values
 - b) how are the indicator values taken into account when defining bonuses and penalties for the constructor
7. How do the rating and threshold values depend on the road classification?
8. Are you planning to use another indicator(s) in the future? If yes, which one?

Fragebogen

[Datum]

[Unternehmen / Abteilung]

[Titel Vorname Nachname]

[Adresse]

[Postleitzahl]

[LAND]

[Telefonat (zwischen) N.N. / M.M. am]

Fragebogen zum Kennwert in der Bewertung der Längsebenheit (von Asphaltdecken)

Sehr geehrte[r Frau/Herr N.N.]

Destia ist ein finnisches Infrastruktur- und Bauunternehmen, das auf Planung, Bau und Instandhaltung von Verkehrswegen sowie Verkehrs- und Industrieumfeldern spezialisiert ist. Im Auftrag des [Finnischen Verkehrsamts](#) (Homepage in englischer Sprache) führen wir derzeit eine Studie in sechs vorausgewählten Ländern darüber durch, welche Kennwerte in der Bewertung der Längsebenheit von Asphaltdecken nach Erneuerung und bei der Bauabnahme angewendet werden. [Deutschland/Österreich] ist eines der für uns interessanten Länder, weshalb wir Sie um Ihre Meinung bitten möchten.

Ziel des Projekts ist zu ermitteln, wie die unterschiedlichen Kennwerte gemessen, berechnet und ausgewertet werden. Darüber hinaus sind wir an Ihrer Meinung zur Verwendbarkeit des Kennwerts interessiert. Im Ergebnis wird die Eignung der Kennwerte für finnische Verhältnisse analysiert: ob und wie diese anstelle des oder zusätzlich zum derzeit angewendeten International Roughness Index (IRI) angewendet werden könnten.

Sie finden den Fragebogen auf folgender Seite. Er enthält insgesamt acht offene Fragen bezüglich der Gründe, warum gerade dieser Kennwert ausgewählt wurde, dessen Vor- und Nachteile und konkreter Anwendung. Die Ergebnisse der Befragung werden den Teilnahmeländern mitgeteilt (falls Sie nichts dagegen haben); das Finnische Verkehrsamt plant jedoch derzeit keine Veröffentlichung der Studie. Das Ausfüllen des Fragebogens dauert etwa 15 Minuten. Wir würden uns auf Ihre Antwort bis zum [x.x.2015] freuen.

Bei weiteren Fragen zum Ausfüllen des Fragebogens kontaktieren Sie bitte Herrn Petteri Haapanen per E-Mail petteri.haapanen@destia.fi oder Mobiltelefon +358 40 714 3948. Wir und insbesondere das Finnische Verkehrsamt möchten uns bereits im Voraus herzlich für Ihre Mühe bedanken!

Mit freundlichen Grüßen

Destia Oy
Beratungsleistungen / Straßenwesen

Herr Petteri Haapanen
Geschäftsentwicklungsmanager

FRAGEN

1. Welche Prüfvorschrift(en) wenden Sie bei Prüfung der Längsebenheit von Asphaltdecken bei der a) Deckenerneuerung und b) Bauabnahme an?
2. Welchen Zustandsindikator (bzw. -indikatoren) wenden Sie bei Prüfung der Längsebenheit von Asphaltdecken bei der a) Deckenerneuerung und b) Bauabnahme an?
3. Was sind die Hauptgründe für die Anwendung dieses spezifischen Indikators?
4. Bitte beurteilen Sie die Vor- und Nachteile des Indikators.
5. Wird der Indikator auch für das Straßennetz angewendet?
6. Bitte geben Sie eine Projektspezifikation als Beispiel an, die spezifiziert
 - a) welche Einstufungs- und Grenzwerte bei Beurteilung des Indikators verwendet werden
 - b) wie die Indikatorwerte bei der Ermittlung von Bonussen und Strafen für Bauunternehmer berücksichtigt werden
7. Wie hängen die Einstufungs- und Grenzwerte des Indikators mit der Straßenklassifizierung zusammen?
8. Haben Sie Pläne einen anderen Zustandsindikator (bzw. -indikatoren) in Zukunft anzuwenden? Falls ja, welchen?

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-228-9
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

