

Päällysteiden kunnon kuvaaminen

RIDE-mallin tunnuslukujen käyttöönotto

Työraportti

28.4.2017

Asiantuntijapalvelut, Infratieto
Tiestötieto
Espoo 2017

DESTIA

SISÄLTÖ

SISÄLTÖ	2
1 TAUSTA	1
2 TAVOITE	2
3 SISÄLTÖ	2
3.1 Tunnusluvut	2
3.1.1 Tunnuslukupatteriston valinta	2
3.1.2 Tunnuslukujen tulostusformaatti	2
3.2 Tunnuslukujen validointi	5
3.2.1 Laskennallinen validointi	5
3.2.2 Maastovalidointi	7
3.3 Tunnuslukujen massalaskenta	7
3.4 Tunnusluvun tuottamisen määrittely	8

1 TAUSTA

Tien epätasaisuustunnuslukuja kehitettiin PYKE-ohjelmaan liittyvässä projektissa ”Päällysteiden kunnan kuvaaminen” ja siitä tuotetussa raportissa on kuvattu tunnusluvun kehittämisen vaiheet ja listattu jatkotoimet. (Tien tasaisuustunnusluvun kehittäminen. RIDE-ajoneuvomalli. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2016). Työssä sovellettiin epätasaisuustunnuslukujen käyttöön täysautomallia, josta käytetään tässä nimitystä RIDE-malli. Toisaalta RIDE-malli viittaa myös 7 vapausasteen ajoneuvomalliin, jolla pystytään tuottamaan ajomukavuuteen liittyviä ajoneuvon liikkeitä (erotuksena HANDLING-mallista, joka on monimutkaisempi).

Täysautomalli koostuu kaksiakselisesta, jäykkäkorisesta ja passiivisella jousituksella varustetusta ajoneuvosta, jonka parametrit ovat valittavissa joko henkilöautoa tai kuorma-autoa vastaaviksi. Aiemmassa työssä valittiin sellaiset parametrit, jotka vastaavat mahdollisimman hyvin Suomessa käytettyjä ajoneuvoja. Henkilöautomallissa on useita Toyota Yaris-ajoneuvolle tyypillisiä parametreja ja kuorma-automallissa on useita tavalliselle kaksiakseliselle kuorma-autolla tyypillisiä parametreja.

Mallille syötettäviä lähtötietoja monipuolistettiin siten, että kullekin pyörälle syötettiin omaa tasaisuusprofiilia. Taka-akselille syötettävä profiili on viivästetty etuakseleille syötettävään profiiliin nähden akselivälin verran. Simulointinopeutena käytetään tieosalle tyypillistä nopeusrajoitusta. Simulointinopeus on vakio. Ratkaistavaksi jäi miten tulisi menetellä kun tieosalla on useita nopeusrajoituksia.

Monipuolisempi malli tuotti suurehkon määrän tuloksia. Tunnuslukujen paremmuuksien vertailussa todettiin, että kolmen liikesuunnan tunnusluvuista pystyikihtyvyys, sivuheilahduskihtyvyys ja nyökkimiskihtyvyys olivat parhaita tunnuslukuja. Erityisesti kiihtyvyyksien hajonnat olivat selektiivisiä ja niillä pystyttiin tunnistamaan erilaiset epätasaisuudet kun tulostusväli oli 10 m. Kolmesta komponentista muodostettiin myös yhteiskihtyvyyttä kuvaava tunnusluku, josta parhaaksi versioksi todettiin kokonaiskihtyvyyden RMS-arvo. Tärkeiksi tunnusluvuiksi jäi siten neljä tunnuslukua, joista yksi oli kokonaisvaikutusta kuvaava ja muut sen komponentteja.

Työssä jäi avoimeksi se, mitä muita tunnuslukuja olisi hyödyllistä tuottaa. Koska käyttökelpoisemmaksi ajoneuvomaliksi todettiin kuorma-auto, joka oli kuormattu täyteen (18 t), sen tuloksista olisi helppo tuottaa tierasitukseen liittyviä tunnuslukuja. Näitä ovat mm. pyöräpainot, ajoneuvon dynaaminen kuormitusvastaavuus (teoriassa 2), sen vaihtelu, kuorman sivusiirtymäsuhde jne... Suurimman osan kehitysvaiheen laskennassa olevista tunnusluvuista voitaneen poistaa, mutta sitä ennen kannattaa miettiä, onko joukossa myös sellaisia, jotka kannattaa säilyttää.

Työn loppuvaiheessa tehtiin maastokatselmus, missä haettiin tuntumaa kartalla näkyvien luokiteltujen arvojen maastovastaavuuteen. Katselmus oli melko lyhyt ja kattoi vain muutamia tieosia Etelä-Suomesta. Vaikka kokemukset olivat pääosin positiiviset, todettiin, että olisi hyvä pitää keväällä laajempi vastaava katselmus. Varsinkin kun malliin laitettiin sen jälkeen vähäliikenteisille ja geometrialtaan pienimuotoisille teille vaikuttava suodatus, jonka vaikutus on käytännössä testaamatta.

Työn loppuvaiheessa listattiin koko joukko toimenpiteitä, joita tunnusluvun käyttöönotto edellyttää. Ne toimenpiteet on tarkoitus toteuttaa tässä työssä.

2 TAVOITE

Työn tavoitteena oli toteuttaa RIDE-ajoneuvomallin käyttöönottamiseksi tarvittavat toimet. Käyttöönotto edellyttää, että tunnusluvut on valittu, määritetty ja validoitu, niiden talletusmuoto on sovittu, niiden laskenta koko tieverkolle suoritettu ja tulokset toimitettu sekä laskenta on määritetty ja dokumentoitu.

3 SISÄLTÖ

3.1 Tunnusluvut

3.1.1 Tunnuslukupatteriston valinta

Simulointi tuotti suurehkon määrän erilaisia tunnuslukuja. Koetun ajomukavuuden kanssa todettiin parhaiten korreloivan eri liikesuuntien kiihtyvyyksien vaihtelu. Varsinaisiksi epätasaisuutta kuvaaviksi tunnusluvuiksi on valittu seuraavat 10 m väleille tuotettavat tunnusluvut:

- Kuorma-auton korin pystykiihtyvyyden hajonta (m/s²)
- Kuorma-auton korin sivuheilahduskiihtyvyyden hajonta (astetta/s²)
- Kuorma-auton korin nyökkimiskiihtyvyyden hajonta (astetta/s²)
- Kuorma-auton korin yhdistetyn kiihtyvyyden RMS-arvo

Lisäksi on todettu, että on hyvä tuottaa muutamia lisätunnuslukuja, joilla saattaa olla myöhemmin käyttöä. Tällaisiksi valittiin seuraavat tunnusluvut niinikään 10m välein laskettuna:

- Kuorma-auton dynaamista tierasitusta kuvaava ESAL-arvon hajonta
- Kuorma-auton sivuheilahdusta kuvaava pyöräpainsiirtymän hajonta
- Kuorma-auton iskunvaimentimissa tapahtuva laskennallinen työ
- Henkilöauton iskunvaimentimissa tapahtuva laskennallinen työ

Lisäksi tulostetaan nopeus, jolla simulointi on kummallekin ajoneuvotyypille suoritettu.

3.1.2 Tunnuslukujen tulostusformaatti

Tunnuslukujen tulostusformaatti on tierekisterin tietuekuvauksessa ja PTM-uarakan liitteessä 2 seuraava:

705 PTM-10m-tiedot (3.4.2017)

Tiedon luonne: Välikohtainen 10 m pituisissa jaksoissa

Ajoratata- suunta- ja kaistakohtainen

Tarkennuksena ajorata:

0 = 1-ajoratainen tie

1 = 2-ajorataisen tien ykkössuunta

2 = 2-ajorataisen tien kakkossuunta

Suunta:

1= tierekisteriosoitteen kasvusuunta

2= tierekisterin kasvusuuntaa vastaan

Kaista:

1= pääkaista

2=ohituskaista

3-5 = muut kaistat

Inventointi:

Tälle tietolajille mitataan palvelutasomittauksen tuottamat tiedot sekä lasketaan niistä tunnuslukuja. Mittauksessa mitataan päällysteen pintaa 3,2 m leveydeltä jatkuvana mittauksena, ja tuloksista lasketaan pituus- ja poikkisuuntaisia tunnuslukuja.

Taulukko 1. Tieräkisterin tietolajin TL 705 formaattikuvaus.

PTM-mittaus_10 metriä, TL705			Tieräkisterin taulukuvaus 3.4.2017
Kentän nimi	Tyyppi	Desimaaleja	Selite
Tietolajinro	Char 5		tl705
Karttapvm	Num 8		Tieosoitteen pvm VVVVKKPP
Tie	Num 5		Tien numero - etunollat
Alkuosa	Num 3		Alkupisteen tieosa - etunollat
Alkuetäisyys	Num 5		Alkupisteen etäisyys - etunollat
Loppuosa	Num 3		Loppupisteen tieosa - etunollat
Loppu-etäisyys	Num 5		Loppupisteen etäisyys - etunollat
Ajorata	Num 1		Ajorata
Kaista	Num 2		Kaistanumero - etunollat
Puoli	Num 1		Jätetään tyhjäksi. 1 blanko.
Piiri	Num 2		ELY-keskuksen L-alueen tunnus - etunollat
Alkupvm	Num 8		Alkupvm: VVVVKKPP mittausaika
Loppupvm	Num 8		Jätetään tyhjäksi. 8 blankoa.
suunta705	Num 1	0	mittaussuunta
kausi705	Num 1	0	1 = kevätmittaus 2 = kesä/syysmittaus
ura_10	Num 4	1	Urasyvyys
iri_10	Num 4	2	Iri-tasaisuus

iri_oik	Num 4	2	Iri-tasaisuus, oikea
iri_vas	Num 4	2	Iri-tasaisuus, vasen
ura_max	Num 4	1	Urasyvyyys, max
ura_oik	Num 4	1	Ura, oikea
ura_vas	Num 4	1	Ura, vasen
vesiura_oik	Num 4	1	Jätetään tyhjäksi. 4 blanko.
vesiura_vas	Num 4	1	Jätetään tyhjäksi. 4 blanko.
poikkeama_max	Num 4	1	Jätetään tyhjäksi. 4 blanko.
poikkeama_ka	Num 4	1	Jätetään tyhjäksi. 4 blanko.
poik_epatas_max	Num 4	1	Jätetään tyhjäksi. 4 blanko.
poik_epatas_ka	Num 4	1	Jätetään tyhjäksi. 4 blanko.
harjanne_max	Num 3	1	Poikkiprof, harj.korkeus, max
harjanne_ka	Num 3	1	Poikkiprof, harj.korkeus, ka
kalt1_alku	Num 5	2	Sivukaltevuus_0, regressiosuor
kalt1_loppu	Num 5	2	Sivukaltevuus_50, regressios
kaart_alku	Num 6	2	Kaarteisuus_0
kaart_loppu	Num 6	2	Kaarteisuus_50
pitkalt_alku	Num 5	2	Pituuskaltevuus_0
pitkalt_loppu	Num 5	2	Pituuskaltevuus_50
rms_mega_oik	Num 5	2	RMS, megakarkeus, oikea
rms_mega_keski	Num 5	2	RMS, megakarkeus, keski
rms_karkea_oik	Num 5	2	RMS, karkea, oikea
rms_karkea_kesk	Num 5	2	RMS, karkea, keski
rms_hieno_oik	Num 5	2	RMS, hieno, oikea
rms_hieno_keski	Num 5	2	RMS, hieno, keski
rms1_oik	Num 5	2	RMS 0.5-1m, oikea
rms1_vas	Num 5	2	RMS 0.5-1m, vasen
rms3_oik	Num 5	2	RMS 1-3m, oikea
rms3_vas	Num 5	2	RMS 1-3m, vasen
rms10_oik	Num 5	2	RMS 3-10m, oikea
rms10_vas	Num 5	2	RMS 3-10m, vasen
rms30_oik	Num 5	2	RMS 10-30m, oikea
rms30_vas	Num 5	2	RMS 10-30m, vasen
ph_riski	Num 2	0	Jätetään tyhjäksi. 2 blanko.
sh_riski	Num 2	0	Jätetään tyhjäksi. 2 blanko.
suurin_heitto	Num 4	2	Jätetään tyhjäksi. 4 blanko.
l_riski	Num 2	0	Jätetään tyhjäksi. 2 blanko.
delta	Num 4	1	Peräkkäisten kymmenmetristen oikean uran erotuksen itseisarvo (mm)
sim_nop_ka	Num 3	0	Kuorma-autosimuloinnissa käytetty nopeus (km/h)
pysty_ki_std	Num 4	2	Kuorma-auton korin pystykiehtyvyyden hajonta (m/s ²)
sivuhei_ki_std	Num 3	0	Kuorma-auton korin sivuheilahduskiehtyvyyden hajonta (astetta/s ²)
nyökkimis_ki_std	Num 3	0	Kuorma-auton korin nyökkimiskiehtyvyyden hajonta (astetta/s ²)

yhdistetty_ki_rms	Num 4	2	Kuorma-auton kokonaiskiihtyvyyden RMS (m/s ²)
esal_std	Num 4	2	Kuorma-auton tierasituksen hajonta
ltr_std	Num 4	2	Kuorma-auton pyöräpainsiirtymän hajonta (%)
ltyö_ka	Num 5	0	Kuorma-auton iskunvaimentimien tekemä työ (J/10m)
sim_nop_ha	Num 3	0	Henkilöautosimuloinnissa käytetty nopeus (km/h)
ltyö_ha	Num 5	0	Henkilöauton iskunvaimentimien tekemä työ (J/10m)

3.2 Tunnuslukujen validointi

3.2.1 Laskennallinen validointi

Laskennallisen validoinnin pohjaksi haettiin vastaavia esimerkkejä kirjallisuudesta. Esimerkeissä tuli olla kolme asiaa:

- 7 vapausasteen ajoneuvomalli ja sen parametrit
- Dokumentoitu tien profiili ja simulointinopeus
- Tulokset (joko referenssitulokset tai muut tulokset)

Esimerkkejä oli saatavana lukuisia, mutta niiden raportoinnissa oli yleensä jokin puute. Validointiin valittiin lähde Mitra et al.:

- *"A.Mitra, N.Benerjee, H.A. Khalane, M.A.Sonawane, D.R.Joshi ja G.R.Bagul: Simulation and Analysis of Full Car Model for various Road profile on a analytically validated MATLAB/SIMULINK model. IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) ISSN: 2278-1684."*
- Lähteessä oli käytetty henkilöautomallia seuraavin parametrein: $M_s=1200$ kg, $M_w=60$ kg, $k_w=30000$ N/m, $K_s=25000$ N/m, $c_s=4000$ Ns/m, $I_{xx}=4000$ kgm², $I_{yy}=950$ kgm², $a=b=1,5$ m, $c=d=1,0$ m.
- Tien profiilina oli käytetty IRC-99-1988 –standardissa esitettyä 10 cm korkeaa ja 3,7 m pituista puolisiniaallonmuotoista pomppea.

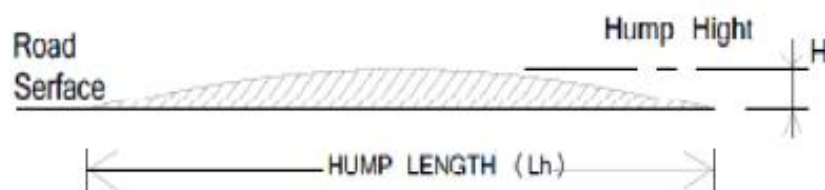


Fig.3 Sinusoidal hump.

Simulointinopeutena käytettiin 40 km/h.

Tuloksina oli raportoitu pystyliike, sivuheilahdusliike ja nyökkimisliike. Koska tieprofiili oli molemmille pyörille symmetrinen ei sivuheilahdusvastetta käytännössä synny. Vertailtavina vasteinä olivat siten pystyliike ja nyökkimisliike.

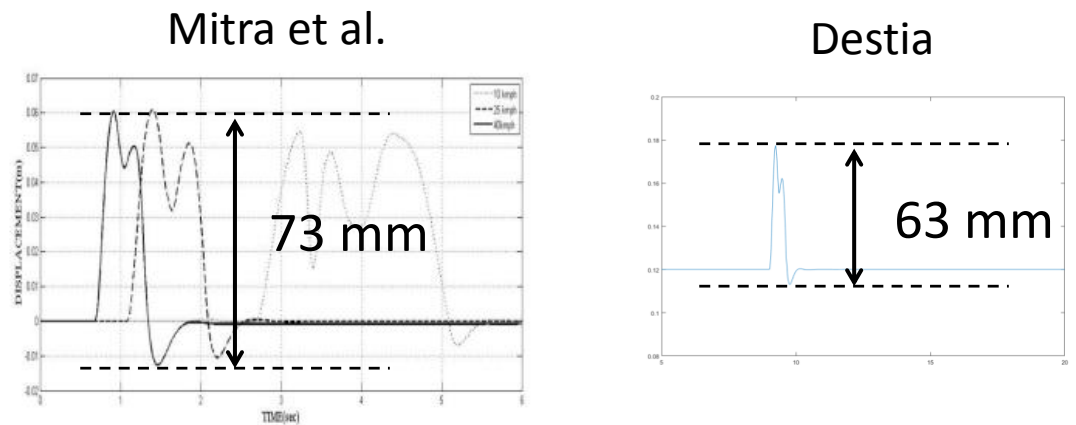


Fig.6 Displacement Vs Time for K=25000,C=4000

Kuva 1. Vertikaalisiirtymän validointitulokset.

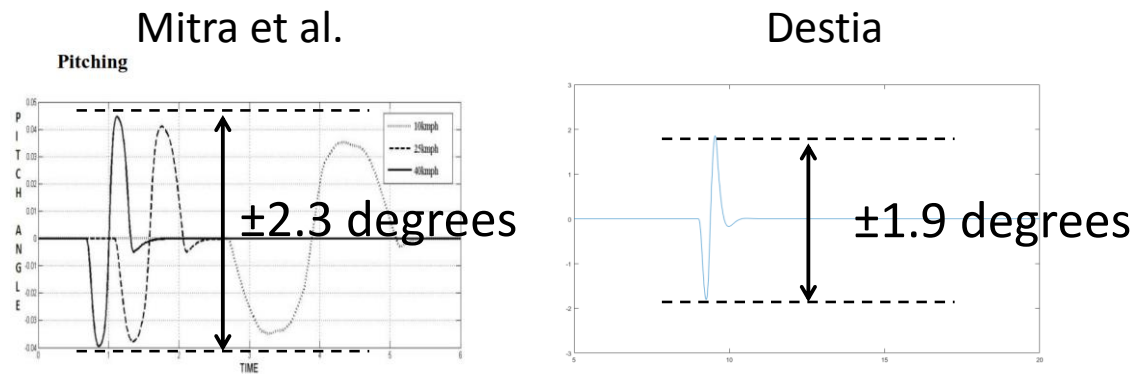


Fig. 9 Pitch angle Vs Time for K=25000,C=4000

Kuva 2. Sivuheiladuskulman validointitulokset.

Yhteenvedo validoinnista on esitetty taulukossa 2. RIDE-malli tuotti samanmuotoiset ja lähes samansuuruiset vasteet kuin Mitran malli. Pystyliike oli amplitudiltaan 14 % pienempi ja sivuheiladusliikkeen amplitudi oli 17 % pienempi. Muita vasteita ei verrattu. Syitä pienempiin vasteisiin saattoivat olla seuraavat:

- Mitra ei kertonut lähteessä miten jousituksen alkupainuma oli otettu huomioon. RIDE-mallissa se oli otettu huomioon. Vaikutus voi pienentää vasteita.
- Mitran mallissa ei ollut renkaan parametreja, mutta RIDE-mallissa oli renkaan jousivakio. Se saattoi pienentää vasteita.

Taulukko 2. Yhteenvedo validoinnista.

	Mitra et al.	Destia	Difference
VERT_s	73	63	-14 %
PITCH_s	2.3	1.9	-17 %

3.2.2 Maastovalidointi

Maastovalidointia varten tunnusluvut laskettiin Uudenmaan ELY-alueelta viimeisimmistä mittauksista. Maastovalidointia varten luotiin katseluohjelma, jolla luokiteltuja tuloksia voidaan katsella kohteille osoitteistettuna. Esimerkki katselusovelluksesta on esitetty seuraavassa kuvassa:

- Tulosten maastovalidointi (8 tpv) ->Pauli
 - Suunnitelma, jota noudatetaan ja tiukempi ohjaus miten edetään.
 - Maastokeikan suunnittelu (kohteet)
 - Maastokeikan valmistelu (laskennat, katselukäyttöliittymä)
 - Maastokatselmus (eri tunnuslukujen maastovastaavuus ja raja-arvot). Vähintään 7-8 h maastossa.
 - (Juho, Kimmo, Timo, n. 5 henkeä).
 - Kokemuksia: välikatselmus. asteikko vaeltaa. vois miettiä miten kannattaa ajella, pysähdellä, keskustella, yms.
 - Karttatieto oli tärkeää. (DesMap application by Stavros)
 - Tilanteita missä yksi töyssy vs. useita peräkkäisiä töyssyjä vs. tuntuma.
 - painuma tai routatöyssy
 - yksi kohta vs. monta peräkkäistä kohtaa
 - epätasaisuustyypit (sivuheilahdus, nyökkiminen, pystyliike)
- Johtopäätökset (1 tpv) ->/Pertti

3.3 Tunnuslukujen massalaskenta

Tunnuslukujen massalaskenta sisällytettiin PTM-projektiin ja se suoritettiin maaliskuussa heti laskennallisen validoinnin jälkeen. Massalaskenta on suoritettu sekä henkilöautomallilla että kuorma-automallilla käyttäen kaikkia nopeusrajoituksia, joita kullakin tieosalla on ollut. Toimitettavat 10 metriset on toimitettu niiltä simulointinopeuksilta, joita kunkin kymmenmetrisen kohdalla on ollut.

Ajoneuvoparametreinä on käytetty taulukossa esitettyjä parametrejä.

Taulukko 3. RIDE-mallin ajoneuvoparametrit.

RIDE-sim parametrit 13.3.2017				
Nro	Muuttuja	Yksikkö	HA	KA
1	Kokonaismassa	kg	1557	18000
2	Akseliväli L (m)	m	2.7	5.0
3	Taka-akselin et. Painopisteestä L_f	m	1.4	2.0
4	Etuakselin et. Painopisteestä L_r	m	1.3	3.0
5	Etupyörien raideväli W_f	m	1.5	2.1
6	Takapyörien raideväli W_r	m	1.5	2.0
7	Etupyörän massa m_{uf}	kg	48	388
8	Takapyörän massa m_{ur}	kg	50	792
9	Korin massa m_s	kg	1361	15640
10	Renkaan jousivakio k_t	N/m	183097	1788750
11	Renkaan vaimennuskerroin c_t	Ns/m	400	5516
12	Etujousen jousivakio k_{sf}	N/m	25044	574340
13	Takajousen jousivakio k_{sr}	N/m	24544	950000
14	Etuis Karin vaimennuskerroin c_{sf}	Ns/m	2182	23600
15	Takaish Karin vaimennuskerroin c_{sr}	Ns/m	2311	20600
16	Inertia J_x	kgm ₂	963	20328
17	Inertia J_y	kgm ₂	2359	33333
18	Painopisteen korkeus h_{CG}	m	0.55	1.05
19	Heilahduskeskiön korkeus h_{ROLL}	m	0.53	0.72

3.4 Tunnusluvun tuottamisen määrittely

Tunnuslukujen laskennan määrittely on dokumentoitu englanniksi omassa määrittelydokumentissaan (RIDE-model).