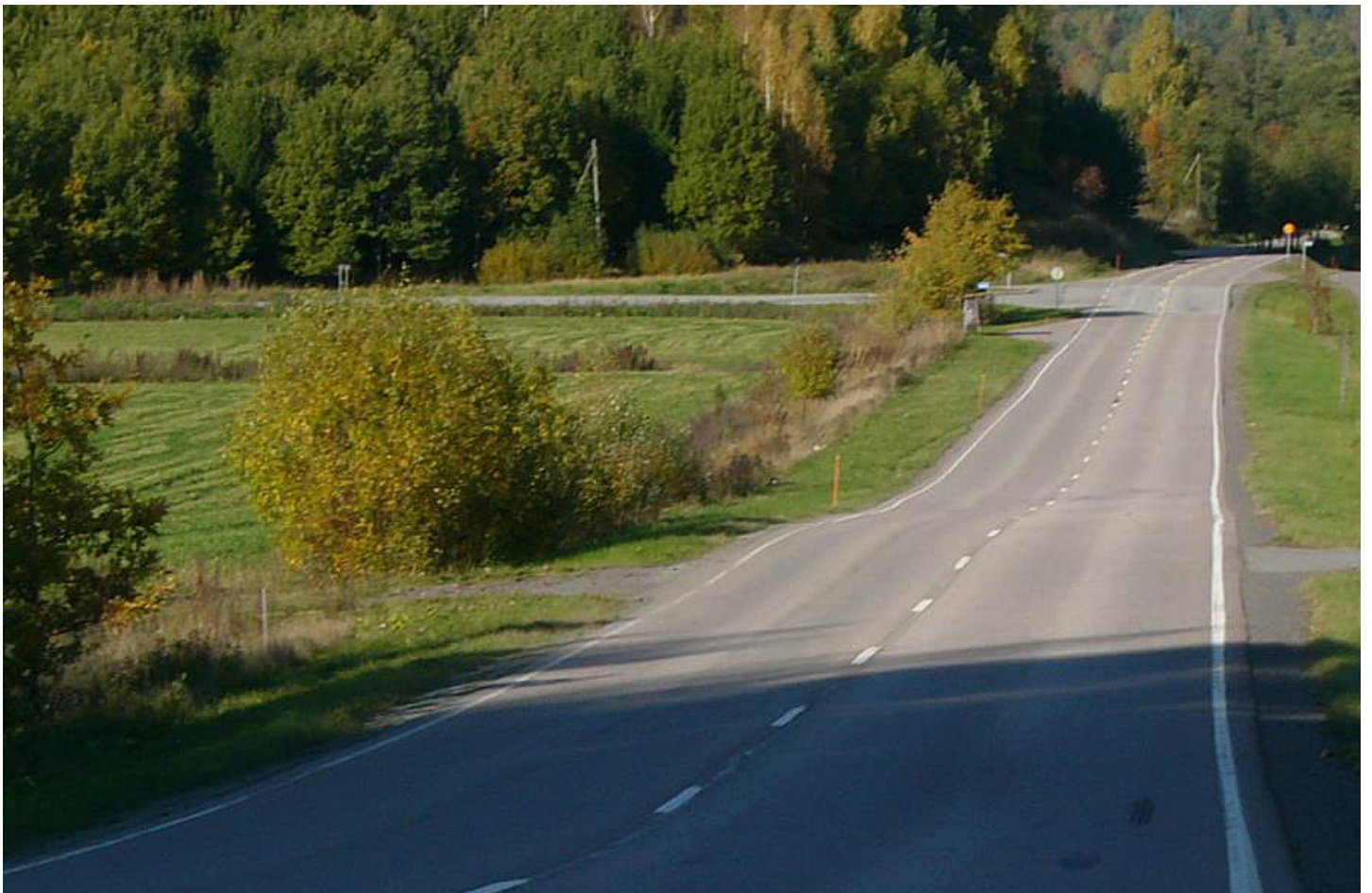


Pertti Virtala  
Pauli Alanaatu  
Timo Eskola

## Tien epätasaisuustunnusluvun kehittäminen

### RIDE-ajoneuvomalli





Pertti Virtala, Pauli Alanaatu, Timo Eskola

# Tien epätasaisuustunnusluvun kehittäminen

RIDE-ajoneuvomalli

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2016

Liikennevirasto

Helsinki 2016

*Kannen kuva: Destia Oy (2016)*

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

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-380-4

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Pertti Virtala, Pauli Alanaatu ja Timo Eskola: Tien epätasaisuustunnusluvun kehittäminen.** Liikennevirasto, kunnossapito-osasto. Helsinki 2016. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 46/2016. 91 sivua ja 1 liite. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-380-4.

**Avainsanat:** tiet, tunnusluvut, ajoneuvot

## Tiivistelmä

Työssä tarkasteltiin tien ajomukavuuteen liittyviä uusia tunnuslukuja ja niiden käyttökelpoisuutta koettuun ajomukavuuteen nähden. Uudet tunnusluvut laskettiin ajoneuvosimuloinnilla erikseen sekä henkilöautolle että kuorma-autolle käyttäen 7 vapausasteen täysajoneuvomalleja. Tyypiajoneuvoiksi määritettiin Suomessa eniten käytetyt ajoneuvot. Simuloinneissa siirryttiin käyttämään tien nopeusrajoituksen mukaista nopeutta ottaen huomioon ajoneuvokohtaiset rajoitukset.

Tunnuslukuvaihtoehdoiksi valittiin ajoneuvon korin pysty-, sivuheilahdus- ja nyökkimisliikkeitä kuvaavat liikevasteet sekä tierasitukseen liittyvät pyöräpainosiirtymä ja ajoneuvon dynaaminen rasitus. Liikevasteita olivat liike, nopeus ja kiihtyvyys. Niistä tuotettiin kustakin kolme tunnuslukua keskiarvo, hajonta ja maksimiarvo kullekin 10 m jaksolle. Lisäksi laskettiin jousituksen liikkeistä ja vaikuttavista voimista kunkin iskunvaimentimen tekemä työ, joka summattiin yhdeksi luvuksi.

Tunnuslukujen käyttökelpoisuutta tarkasteltiin vertaamalla niiden arvoja koettuun ajomukavuuteen. Tarkastelu tehtiin valitsemalla ajopaneelireitti, joka sisälsi usean eri luokan teitä. Reitin kokonaispituus oli 61 km. Reitin kohteilla oli kaikkia perusnopeusrajoituksia ja kukin nopeusrajoitus sisälsi kaksi tai kolme kohdetta.

Ajopaneeliin valittiin yhteensä 20 panelistia sellaisten henkilöiden joukosta, jotka olivat tavalla tai toisella tekemisissä tienpidon kanssa. Panelisti arvioi kohteen kunnan itselleen sopivalla tiheydellä neljään kuntoluokkaan käyttäen paikannuksella varustettua tablettia. Ajomukavuutta kuvaavat luokat olivat 1=erittäin hyvä, 2=hyvä, 3=huono ja 4=erittäin huono.

Ajopaneelista saadut tulokset muokattiin siten, että panelistin antama arvio saatiin jokaiselle kymmenmetriselle. Saadusta aineistosta tuotettiin epämiellyttävien (huonojen) kohtien todennäköisyys ja keskimääräinen kuntoluokka. Tuloksia tarkasteltiin arvosanaprofiileina matkan funktiona kohteittain. Tien huonokuntoisuuden määritelmäksi valittiin periaate, jonka mukaan vähintään 30 % panelisteista tuli pitää ajomukavuutta luokissa 3 tai 4. Henkilöautopanelistit arvioivat ajomukavuuden paremmaksi kuin kuorma-autopanelistit. Sen mukaan kuorma-auto oli tien ajomukavuutta tarkasteltaessa kriittisempi tekijä kuin henkilöauto.

Simuloitujen tunnuslukujen profiileja verrattiin huonokuntoisuuden profiileihin kohde kerrallaan. Huomiota kiinnitettiin niihin kohtiin, missä hyväkuntoinen tie vaihtui huonokuntoiseksi tieksi. Ajomukavuus muodostui kolmen tekijän yhteisvaikutuksena. Niitä olivat ajoneuvoon kohdistuva pystyliike, sivuheilahdusliike ja nyökkimisliike. Kunkin liikekomponentin ajomukavuusvaikutusta kuvasi parhaiten sen kiihtyvyyden komponentin hajonta. Kiihtyvyys otti paremmin huomioon epätasaisuuden haitallisuutta kuin pelkkä liike tai sen nopeus. Hajonta puolestaan paikkoi ongelmakohdat muista kohdista.

Tien epätasaisuudesta aiheutuvaa ajomukavuutta kuvaaviksi tunnusluvuiksi ehdotetaan sellaista tunnuslukua, joka ottaa huomioon kaikki kolme eri liikesuuntaa; pysty-, heilahdus- ja nyökkimisliike. Kukin komponentti ottaa huomioon erityyppistä epätasaisuutta ja niiden yhteisvaikutuksena syntyy kokonaisvaltaisempi kuva ajomukavuudesta.

**Pertti Virtala, Pauli Alanaatu och Timo Eskola: Ny ojämnhetsindex. RIDE-fordonsimulering.** Trafikverket, drift och underhåll. Helsingfors 2016. Trafikverkets undersökningar och utredningar 46/2016. 91 sidor och 1 bilaga. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-380-4.

## Sammanfattning

I arbetet granskades nya nyckeltal i anknytning till vägens körkomfort och dessa nyckeltals användbarhet i jämförelse med den upplevda körkomforten. De nya nyckeltalen beräknades med fordonssimulering, separat för både personbilar och lastbilar med hjälp av den dynamiska modellen "sju graders frihet lastbilar". Som typfordon fastställdes de mest använda fordonen i Finland. I simuleringarna övergick man till att använda en hastighet i enlighet med hastighetsbegränsningarna och med beaktande av de fordonsspecifika begränsningarna.

Som nyckeltalsalternativ valdes de responsvariabler som beskriver fordonschassits vertikala, sidokrängande och nigande rörelser samt hjulviktsavvikelser i anknytning till vägbelastning och fordonets dynamiska belastning. Responsvariablerna var rörelse, hastighet och acceleration. Utifrån var och en av dessa upprättades tre nyckeltal i form av medeltal, spridning och maximivärde för varje 10 meters avsnitt. Dessutom beräknade man utifrån fjädringens rörelser och de verkande krafterna det arbete som varje stötdämpare utför och dessa summerades till ett tal.

Nyckeltalens användbarhet granskades genom att jämföra dem med den upplevda körkomforten. Granskningen genomfördes genom att välja en körpanelrutt som omfattade vägar av flera olika klasser. Ruttens totala längd var 61 km. Det förekom hastighetsbegränsningar för alla objekt längs ruten och varje hastighetsbegränsning inkluderade två eller tre objekt.

Till körpanelen valdes sammanlagt 20 deltagare bland sådana personer som på något sätt var involverade i vägunderhåll. Deltagaren bedömde objektets kondition enligt för honom/henne passande frekvens i fyra konditionsklasser med hjälp av en surfplatta försedd med positionering. Klasserna som beskrev körkomforten var 1=mycket bra, 2=bra, 3=dålig och 4=mycket dålig.

De resultat man fick av körpanelen redigerades så att man fick en bedömning av paneldeltagaren för varje avsnitt på 10 meter. Av det insamlade materialet producerades sannolikheten för obehagliga (dåliga) punkter och en genomsnittlig konditionsklass. Resultaten granskades som vitsordsprofiler för resans avbildning enligt objekt. Som definition av vägens dåliga kondition valdes principen enligt vilken minst 30 procent av paneldeltagarna måste placera den bedömda körkomforten enligt klass 3 eller 4. Deltagarna i personbilspanelen bedömde körkomforten som bättre än deltagarna i lastbilspanelen. Enligt den var en lastbil en mer kritisk faktor vid bedömningen av körkomfort än en personbil.

Profilerna för de simulerade nyckeltalen jämfördes med profilerna för dålig kondition, ett objekt åt gången. Man fäste även uppmärksamhet vid de punkter där en bra väg byttes till en dålig väg. Körkomforten bildades av en kombination av tre faktorer. Dessa var den vertikala, sidokrängande och nigande rörelse som riktades mot fordonet. Körkomfortseffekten för varje rörelsekomponent beskrevs bäst av accelerationskomponentens spridning. Den skadliga effekten av ett ojämnt underlag uppmärksammades bättre vid acceleration än vid endast en rörelse eller rörelsens hastighet. Spridningen positionerade för sin del problempunkterna från de övriga punkterna.

Som nyckeltal för körkomfort orsakad av vägens ojämna ytor föreslås sådana nyckeltal som beaktar tre olika rörelseriktningar; vertikal, krängande och nigande rörelse. Varje komponent beaktar ojämnheter av olika typ och som ett resultat av deras gemensamma effekt får man en mer övergripande bild av körkomforten.

**Pertti Virtala, Pauli Alanaatu and Timo Eskola: New roughness index . RIDE-vehicle simulation.** Finnish Transport Agency, Maintenance Department. Helsinki 2016. Research reports of the Finnish Transport Agency 46/2016. 91 pages and 1 appendix. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-380-4.

## Summary

In this report new indexes were studied for the roughness of a road pavement. Indexes were calculated as dynamic vehicle simulation with a 7 degrees of freedom full car model called RIDE. The longitudinal profile of left and right wheel path and the speed limit of the road were fed into the model and the outcome was a set of indexes of the responses of the model in three different dimension, vertical acceleration, rolling acceleration and pitch acceleration. Simulations were made for two vehicle types; a typical small-mid-size person car and a two axle truck without trailer. Vehicle parameters were set to represent typical vehicles on Finnish roads. Simulations were made by road section and lane using the minimum speed of the speed limit of the road and the speed limit of the vehicle.

Several indexes were calculated representing the vertical, lateral and longitudinal movements of the chassis and some indexes based on wheel loads as well. Three dimensions of results were movement itself, speed of movement and acceleration of movement. An average value, standard deviation and maximum value were produced for each 10 m section. Additionally the energy used in the shock absorbers, wheel loads, and equivalent single axle loads (ESAL) were calculated.

Twelve test sections totaling 61 km were selected as a validation route. A mean panel rating (MPR) consisting 20 persons was conducted. Eleven persons were rating the riding comfort in a person car and 9 persons were rating it in a truck. Each test section had its individual speed limit. Route represented various road standards starting from high volume motorways and ending to a small low volume road with a different geometry and roughness.

The results of mean panel rating were transformed to represent the overall driving condition on a scale good or bad. If a section had more than 30 % of bad driving comfort, it was considered as bad condition. Raters in person car gave better driving comfort than raters in truck. The truck model was selected to represent the model which will be used as a base for the roughness indexes in Finland.

The variation of acceleration of the chassis of the vehicle had the best correlation to the MPR. That is why the standard deviation of accelerations of different movements were selected as the basic indicators representing the different types of roughness i.e. vertical roughness, transverse roughness as rolling and longitudinal roughness as pitch. The variation of accelerations located the bad mileposts quite well.

A combined index for the overall roughness was calculated using the formula taken from ISO 2631. The RMS value of combined acceleration of the driver's seat was selected to represent the total roughness of the road for 10 m sections. As a result four different indicators were taken to represent the roughness of the road; three for each dimension telling the reason of roughness and one representing the overall driving comfort. A further study will follow to form the guidelines of how to transfer the index of 10 m sections to longer 100 m sections.

## Esipuhe

Työssä tarkasteltiin päällysteiden pituus- ja poikkisuuntaisen epätasaisuuden tunnuslukuja ja kartoitettiin uusien tunnuslukujen maastovastaavuutta. Uudet tunnusluvut tuotettiin simuloimalla palvelutasomittausten mittaustuloksista. Maastovastaavuus analysoitiin vertaamalla laskennallisia tunnuslukuja tienkäyttäjien kokemaan ajomukavuuteen. Laskennallisista tunnusluvuista tuotettiin tien epätasaisuudelle uusi määritelmä.

Työn on tilannut Liikennevirasto ja sen on toimittanut Destia Oy. Työtä on ohjannut työryhmä, johon ovat osallistuneet Juho Meriläinen, Katri Eskola ja Sami Petäjä Liikennevirastosta ja Timo Järvinen ELY-keskuksesta sekä Taina Rantanen SITO Oy:stä. Työn ovat toteuttanut Pertti Virtala, Pauli Alanaatu ja Timo Eskola Destia Oy:stä.

Helsingissä joulukuussa 2016

Liikennevirasto  
Kunnossapito-osasto



# Sisällysluettelo

1	TAUSTA.....	8
2	TAVOITE.....	11
3	TASAISUUSTUNNUSLUVUN KEHITTÄMINEN .....	12
3.1	Lähtökohta.....	12
3.2	Uusi malli.....	13
3.2.1	Lähtötiedot.....	14
3.2.2	Ajoneuvomalli.....	15
3.2.3	Tulokset.....	16
3.3	Ajoneuvomallin kehittäminen.....	17
3.3.1	Ajoneuvotyyppi ja sen parametrit.....	18
3.3.2	Tieosien vaihtumiskohtien hallinta.....	20
3.3.3	Simulointinopeuden hallinta.....	22
3.3.4	Tien geometrian hallinta.....	23
4	AJOPANEELI.....	27
4.1	Ajopaneelin toteuttaminen.....	27
4.1.1	Reitti.....	27
4.1.2	Panelistit.....	28
4.1.3	Ohjeistus.....	28
4.1.4	Tiedonkeruu.....	29
4.1.5	Tiedon käsittely.....	29
4.2	Ajopaneelin tulokset.....	29
4.2.1	Koettu ajomukavuus.....	29
4.2.2	Huonojen kohtien määrä.....	45
4.2.3	Huonokuntoisuus.....	52
5	TIEN TASAISUUDEN TUNNUSLUVUT .....	53
5.1	Tunnuslukujen laskeminen.....	53
5.2	Tunnuslukujen paremmuus.....	55
5.2.1	Moottoritieolosuhteet.....	55
5.2.2	Valtatieolosuhteet.....	63
5.2.3	Seututieolosuhteet.....	69
5.2.4	Yhdystieolosuhteet.....	73
5.3	Tunnuslukujen valinta.....	83
6	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	86
6.1	Yhteenveto.....	86
6.2	Johtopäätökset.....	87
6.3	Jatkotoimia.....	90
	LÄHTEET .....	91
	LIITTEET	
	Liite 1 Maantien 231 tieosan 002 simulointitulokset	

# 1 Tausta

Tieverkon ylläpidossa toistuu sykli, jossa on tunnistettavat ja toisiaan seuraavat vaiheet. Näitä vaihteita ovat tieverkon tilanhallinta, tarpeiden perusteluviestintä, rahoituksen hankkiminen, saadun rahoituksen mahdollistamien tulostavoitteiden määrittäminen, tulostavoitteita toteuttavien vuosittaisten töiden ohjelmointi sekä lopuksi niiden toteutus. Kunnonhallinta sisältyy sitä laajempaan käsitteeseen tilanhallinta. Voidaan sanoa, että tilanhallinta on koko toiminnan perusta, koska se toimii lähtötietona sille prosessille, jossa muiden vaiheiden sisältö määräytyy. Tilanhallinta on perustana sille keskustelulle, jota käydään tarpeita perusteltaessa ja priorisoitaessa. Perusteluviestinnän onnistumisesta riippuu, minkälainen rahoitus toiminnalle saadaan. Rahoituksesta puolestaan riippuu, minkälaisia toimintaan liittyviä ohjeita ja tavoitteita annetaan organisaatioissa alaspäin. Tavoitteet ja rahoitus määräävät sen mitä toimenpiteitä vuosittain ohjelmoidaan toteutettaviksi. Vuosittain tehtävät ylläpitotoimet vaikuttavat lopulta tieverkon tilaan ja näin sama sykli jatkaa toistumistaan. Toimenpiteiden priorisoinnissa tarkastellaan niiden vaikuttavuutta ja siinä tulisi pystyä tunnistamaan todelliset vaikutukset.

Tieverkon ylläpidossa on otettava huomioon kolme eri näkökulmaa, jotka ovat

- tienkäyttäjän näkökulma
- tien isännöijän näkökulma
- yhteiskunnan näkökulma

Se, miten hyvin teiden kuntotiedolla hallitaan edellä mainittuja näkökulmia, määrää sen miten hyvin ne tulevat toiminnansuunnittelussa otetuksi huomioon. Jos jokin näkökulma puuttuu tunnusluvuista, siitä seuraa ettei sitä käytännössä pystytä ottamaan toiminnassa huomioon ollenkaan.

Eniten käytetyt tien kuntoa kuvaavat tunnusluvut ovat 100 m jaksoille määritetyt tien uraisuus, epätasaisuutta kuvaava IRI sekä päällysteen vaurioituneisuutta kuvaava korjaustarve. Niiden kuvaavuuteen liittyy heikkouksia, ts. ne eivät kuvaa tarpeeksi hyvin niitä vaikutuksia, joita eri näkökulmista katsottuna pitäisi pystyä hallitsemaan.

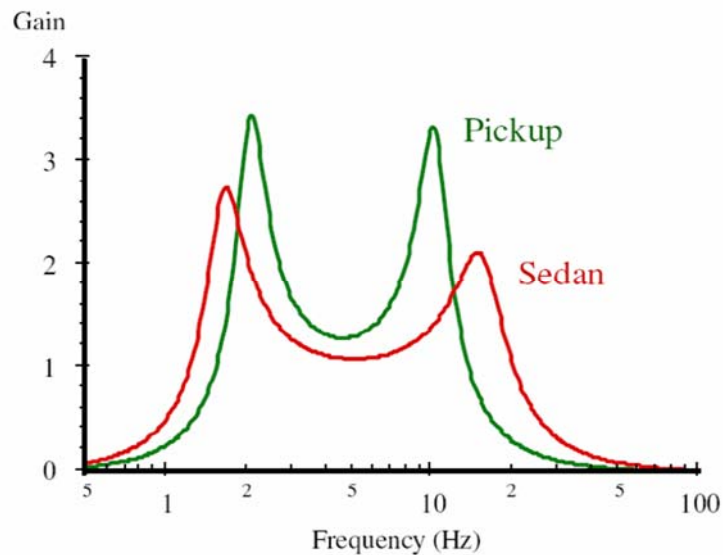
Epätasaisuuden määrittämisessä käytetään yhtä pyörä-jousi-runkosysteemiä, joka pystyy tuottamaan vain pystysuuntaista liikettä, josta käytetään nimitystä international Roughness Index, IRI. Siihen liittyy kuitenkin viisi heikkoutta.

- Tunnusluvun laskennassa on vain yksi pyörä, eikä kokonainen ajoneuvo, jolloin siitä rajautuu pois tärkeitä liikesuuntia.
- Tunnusluvun laskennassa käytetty jousitusysteemi on vanhanaikainen (50 vuotta vanha ajoneuvo) eikä vastaa nykyaikaisia henkilöautoja raskaista ajoneuvoista puhumattakaan.
- Tunnusluvun laskentaväli on liian pitkä eikä se erittele 100 m matkalla olevia ongelmakohtia tarpeeksi hyvin.
- Tunnusluvun aallonpituusalue alkaa liian pitkistä aalloista ja siitä jää megakarkeuden alue pois.
- Pystysuuntainen liike voi tapahtua myös niin, ettei se tunnu epämukavalta eikä se siten ole se kaikkein paras kuljettajan tai matkustajan kokemusta kuvaava tunnusluku.

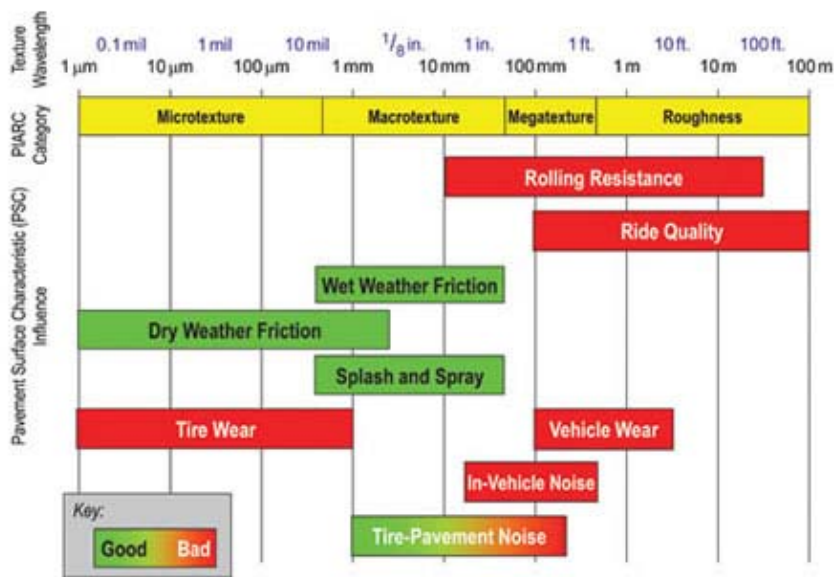
Lähtöinformaatio, jota epätasaisuustunnusluvun laskennassa käytetään, riittää huomattavasti monipuolisemman tunnusluvun tuottamiseen lähes samoilla hankintakustannuksilla. Simulointimallia on kehitetty tai sivuttu useissa eri projekteissa jo aiemmin.

- Tien haitallisen sivukaltevuusvaihtelun tunnistaminen
- Tien haitallisen pituuskaltevuusvaihtelun tunnistaminen
- Tien rakenteellisen kunnan tunnusluvun kehittäminen

Ajoneuvossa koettu ajomukavuus riippuu tien epätasaisuudesta ja muodosta, ajoneuvon jousituksesta sekä ajoneuvossa olevan henkilön herkkyydestä erilaisille liikkeille. Ihmisen pää on herkistynyt värähtelylle, jonka taajuus on 25 Hz. Sisäelimet puolestaan ovat herkkiä värähtelylle, jonka taajuus on 5 Hz. Silmät ovat herkkiä 30-80 Hz:n taajuudelle ja käsien ote ohjauspyörästä häiriintyy jos ohjauspyörä värähtelee 50-200 Hz:n taajuudella. Ajomukavuus koostuu siis monen eri komponentin yhteisvaikutuksesta. Ajoneuvon jousitusjärjestelmällä pyritään eliminoimaan tai vähentämään haitallisten taajuuksien kohdistumista kuljettajaan ja matkustajiin. Henkilöautoon jää kuitenkin kaksi herkkysaluetta, joista toinen johtuu pyörän ja akseliston ominaistaajuudesta ja toinen korin ominaistaajuudesta. Nämä taajuusalueet osuvat noin 2 Hz:n ja 10-15 Hz:n kohdille. Se mitkä aallonpituudet tiessä tuottavat kyseisiä taajuuksia riippuu ajoneuvon nopeudesta. Esimerkiksi jos ajoneuvon nopeus on 20 m/s, niin korin ominaisvärähtelytaajuus saavutetaan 10 m aallonpituudella ja akselien vastaavasti 1-2 m aallonpituuksilla.



Kuva 1. Ajoneuvojen herkkyykäyriä.



Kuva 2. Tien epätasaisuuden komponentit ja niiden aallonpituusalueet sekä vaikutus.

Ihmisen tärinänsietoon liittyvät yleisimmin käytetyt standardit ovat BS 6841[6] and ISO 2631. Niissä suositellaan käytettäväksi painotettuja liikekiihtyvyyksien RMS-arvoja. Tärinästandardit pyrkivät ottamaan huomioon kolme eri vaikutusalueetta:

- ihmisen terveys ja mukavuus
- värähtelyaltistuksen kertymisen todennäköisyys
- liikesairauden esiintyminen

Taulukossa 1 on esitetty standardissa esitetyt pystykiihtyvyyden raja-arvot eri miellyttävyyksluokille.

Taulukko 1. Ihmisen kokeman tärinän epämiellyttävyyksluokat ja niiden raja-arvot [4].

Miellyttävyyden aste	Kehoon kohdistuvan RMS-pystykiihtyvyyden raja-arvoalue
Miellyttävä	alle 0.315 m/s <sup>2</sup>
Hiukan epämiellyttävä	0.315 – 0.63 m/s <sup>2</sup>
Jonkun verran epämiellyttävä	0.5 – 1.0 m/s <sup>2</sup>
Epämiellyttävä	0.8 – 1.6 m/s <sup>2</sup>
Melko epämiellyttävä	1.25 – 2.5 m/s <sup>2</sup>
Erittäin epämiellyttävä	yli 2 m/s <sup>2</sup>

Lisäksi on todettu, että ihminen on herkempi sivuttaisliikkeille kuin pystysuuntaisille liikkeille. Sivuttaisliikkeiden herkkyys on noin 1.4-kertainen pystysuuntaiseen herkkyyteen verrattuna. Ts. sivuttaisliikkeiden raja-arvot ovat 1.4-kertaa pienemmät kuin pystysuuntaisten liikkeiden raja-arvot (edellyttäen, että liikkeen mittayksikkö olisi sama). Todellisuudessa sivuttaisliikkeiden mittayksikkö on heilahduskulma kun taas pystyliikkeen yksikkö on metriä.

## 2 Tavoite

Työn tavoitteena on tuottaa tien epätasaisuuden kuvaamiseen uusia tunnuslukuja siten, että ne pohjautuvat olemassa olevaan PTM-tietoon ja kuvaavat tien käyttäjän kokemaa ajotuntumaa nykyisiä tunnuslukuja paremmin ja paikalliset tienkäyttäjää haittaavat kohdat löydetään paremmin.

Tehtävänä on määritellä RIDE-simulointimallin laskentaparametrit ja tuotteistaa simuloinnista saatavat tunnusluvut, tehdä koelaskentoja ja järjestää maastoon ajopaneeli, missä haetaan laskennallisten tunnuslukujen maastovastaavuutta vähintään 10-20 testihenkilön ajotuntemusten kautta.

Tieverkon ylläpidon toiminnansuunnittelua tukevat tunnusluvut tulisi pystyä valitsemaan niin, että ne kuvaavat tarkasteltavaa ilmiötä riittävän hyvin ja ovat tiedon hankinnan kannalta realistisesti hankittavia. Muita vaadittavia ominaisuuksia on lueteltu oheisessa taulukossa.

*Taulukko 2. Tunnusluvuilta edellytettäviä ominaisuuksia.*

Ominaisuus	Tavoite
Kuvaavuus	Tunnusluvun tulee kuvata tien tilaa riittävän kattavasti. Sen tulee pystyä kuvaamaan koko päällystettyä tieverkkoa tai ainakin sen keskeisintä osaa. Ideaalitulanteessa sen tulee kyetä ottamaan huomioon sekä tienkäyttäjiiin, tien isännöintiin ja yhteiskuntaan liittyvät näkökulmat.
Tiedontarve	Tunnusluvun tuottamiseen tarvittavan tiedontarpeen tulee olla rajattu ja kustannuksiltaan realistinen.
Hankittavuus	Tunnuslukujen tuottamiseen tarvittavat lähtötiedot tulee pystyä mittaamaan liikenteen nopeudella ja jatkuvana. Tunnuslukujen tulee olla päivitettävissä.
Luotettavuus	Tunnuslukujen tulee olla toistettavia ja niille tulee pystyä tuottamaan verkolla tapahtuva vuosikehitys.
Ennustettavuus	Tunnuslukujen tulee olla ennustettavissa.
Selittävyys	Tunnusluvuilla tulee olla odotettu kytkeä muihin havaintoihin, joita tiestöstä on saatavissa. Tällaisia ovat mm. vauriot ja pinnan muodossa tapahtuvat muutokset.
Lisäarvo	Tunnuslukujen tulee tuottaa niiden hankkimiskustannuksia vastaava lisäarvo, jotta ne koetaan houkutteleviksi.

## 3 Tasaisuustunnusluvun kehittäminen

### 3.1 Lähtökohta

Tien kunnan tarkastelussa on keskeistä se, miten ajoneuvossa olija kokee tiellä liikku-  
misen ja toisaalta se miten tie kokee (raskaan) ajoneuvon. Ajoneuvon kori on tiessä  
jousitusjärjestelmän kautta ja siksi kori liikkuu dynaamisesti kun ajoneuvo liikkuu  
tiellä. Ajomukavuutta ei voida laskea suoraan tiestä mitatusta tiedosta vaan siihen vä-  
liin tarvitaan ajoneuvo. Sen takia tien pinnalta suoraan mitatut tiedot eivät voi sellai-  
senaan kuvata ajotuntumaa. Ajotuntuma ja siihen liittyvät muut asiat syntyvät vasta  
dynaamisen systeemin reagoidessa tien synnyttämiin herätteisiin. Tästä syystä realistisempi  
tapa kuvata tien ajomukavuutta (ja muita tärkeitä ominaisuuksia) on mitata  
tiestä tarvittava tieto monipuolisesti ja asettaa siihen ajoneuvo ja laskea miten ajo-  
neuvo käyttäytyy. Ajoneuvo tulee standardoida eli laskenta tulee tehdä aina samalla tai  
samoilla ajoneuvoilla (niin kuin tehdään IRI:n laskennassa). Tietyissä tilanteissa myös  
ajonopeus tulee standardoida (kuten tehdään IRI:n laskennassa), mutta on tilanteita,  
joissa tuleekin käyttää tien olemassa olevaa nopeusrajoitusta.

Kaiken kaikkiaan tien ja tienkäyttäjän välinen vuorovaikutus syntyy ajoneuvon rea-  
goidessa tien synnyttämiin herätteisiin. Vuorovaikutus on dynaamista ja sen laskenta  
tulee tehdä dynamiikan menetelmillä. Laskenta sisältää tiettyä monimutkaisuutta,  
mutta sen ei pidä antaa häiritä. Kaikki laskentaan ja tiedon tuottamiseen liittyvä moni-  
mutkaisuus on sisällytettävissä tiedon tuottajien huoleksi eikä sillä tarvitse vaivata tie-  
don käyttäjiä.

#### Ajoneuvon ja tien vuorovaikutus syntyy tie-rengas-kontaktista

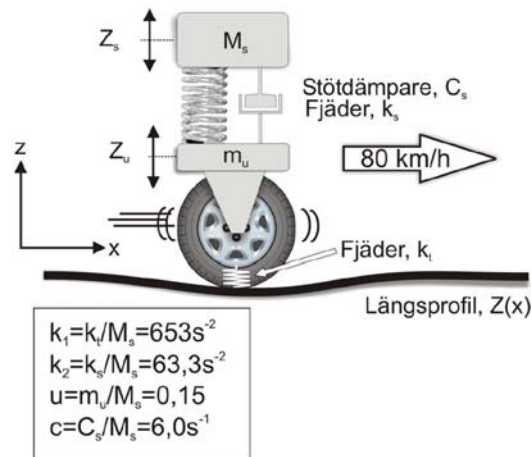


PYKE-seminaari 28.1.2015

10

Kuva 3. Ajoneuvon ja tien välisen vuorovaikutuksen tarkastelemisessa joudutaan menemään tien- ja renkaan välisen kontaktin tarkasteluun [7].

Kuvassa 2 on esitetty IRI-tunnusluvun laskennassa käytettävä periaatekuva neljännesautomallista sekä sen korin massa suhteutetut parametrit. Suhteellisia parametreja on neljä, joissa on jaettu renkaan jousivakio, jousen jousivakio, pyörän massa sekä iskunvaimentimen vaimennuskerroin korin neljännesmassalla.

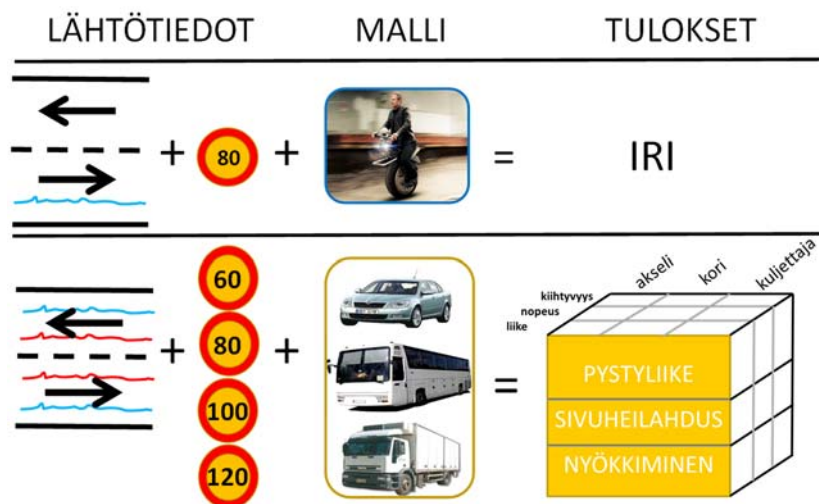


Figur 3 Quarter-car-simulator inklusive gällande parametervärden.

Kuva 4. IRI-neljännesautomallin jousitusparametrit [3].

## 3.2 Uusi malli

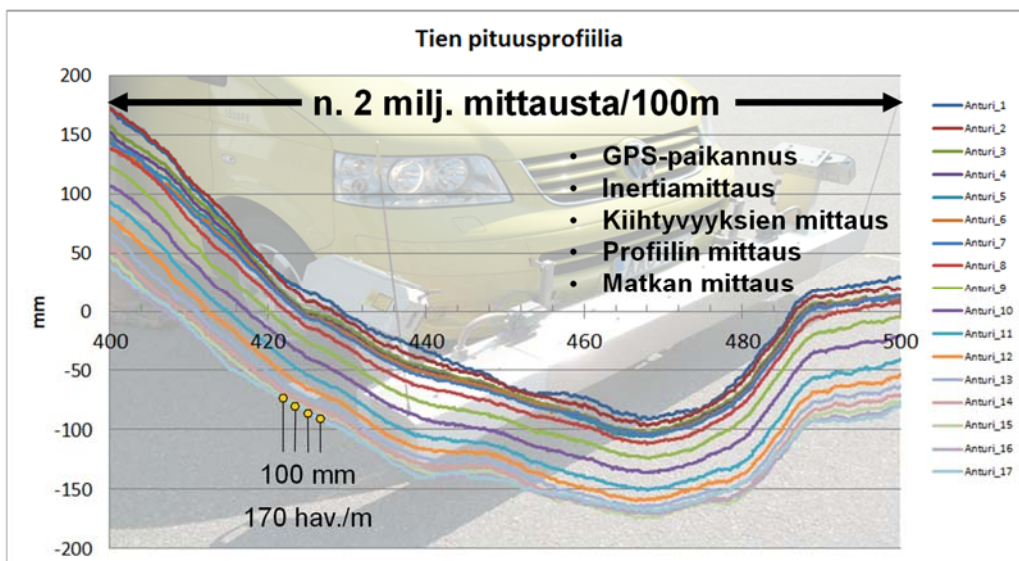
PTM-mittausten tuloksista lähdetään liikkeelle laitteen tuottamasta kaikkein tiheimmästä raakadatasta eli tien 3-D-mallista. Siihen laitetaan ajoneuvomalli, jonka avulla simuloidaan tien ja ajoneuvon välistä vuorovaikutusta. Simulointi on samantapaista kuin mitä IRI-tunnusluvun laskennassa nykyään tehdään. Erona on se, että ajoneuvona on kokonainen (nyt liikenteessä oleva) ajoneuvo, joka on tiessä neljän pyörän kautta. Tiellä liikkuva ajoneuvo saa liikkeitä kuudessa eri suunnassa, 3-dimensionaalisessa koordinaatistossa kunkin akselin suunnassa sekä kunkin akselin ympäri. Vertailun vuoksi IRI-tunnuslukua lasketaan vain yhdessä liikesuunnassa ja sellaisella ajoneuvolla, joita ei ole enää käytössä. Simuloinnilla saadut vasteet ovat realistisia ja ne ovat kytkettävissä niihin kiinnostuksen kohteisiin, jotka ovat Tienpitäjälle tärkeitä. Uuden mallin lähtötiedot ja lopputulokset ovat huomattavasti monipuolisempia kuin vanhan mallin.



Kuva 5. IRI-mallin ja RIDE-mallin periaatteelliset erot. Monipuolisempi malli, monipuolisemmat lähtötiedot ja monipuolisemmat tieolosuhteet tuottavat monipuolisempia tuloksia.

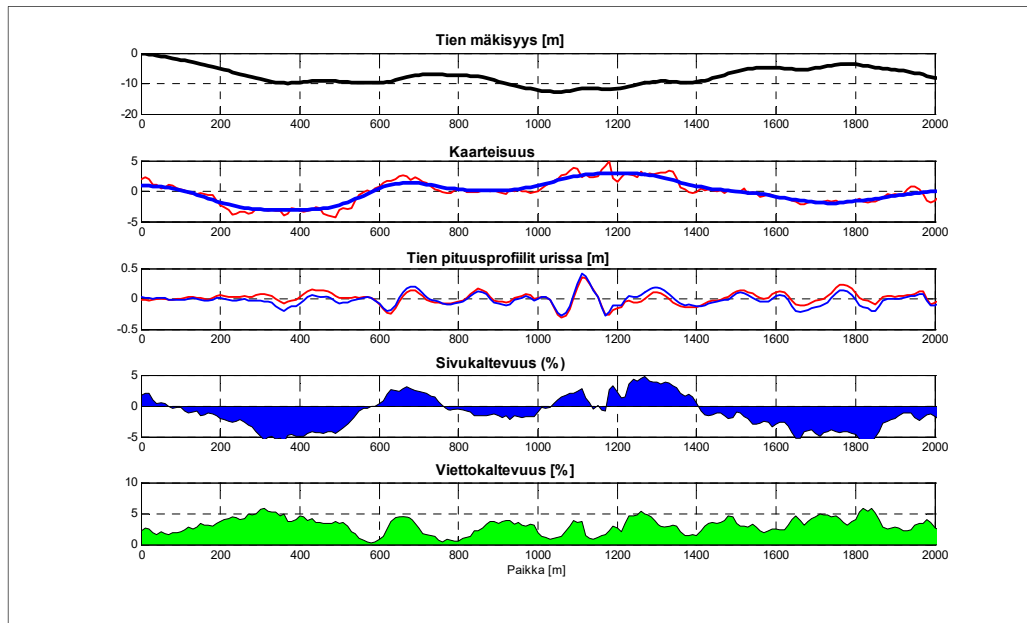
### 3.2.1 Lähtötiedot

Tien epätasaisuustunnuslukujen määrittämisen lähtökohtana ovat tien pinnan 3D-malli ja tien geometria. Tien pintamalli saadaan nykyisistä palvelutasomittauksista raakadatanä ja sen askelväli oli 10cm. Se syntyy palvelutasomittauksista automaattisesti ja on olemassa koko Suomen mitatulta tieverkolta. Sen keruu ja päivittäminen eivät vaadi mitään lisätöitä nykyiseen keruuseen verrattuna. Pintamallin lisäksi samoista mittauksista saadaan kaarteisuus, mäkisyys ja sivukaltevuus. RIDE-mallia voidaan käyttää sekä geometrian kanssa tai ilman sitä. Tässä työssä geometriatietoa ei käytetä.



Kuva 6. Tien 3D-profiilin mittaus PTM-autolla [7].



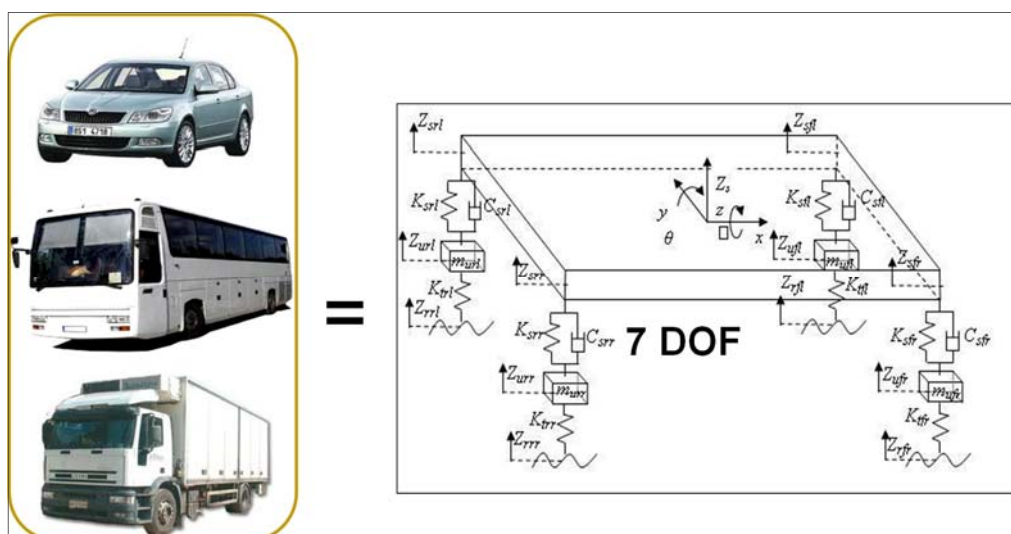


Kuva 7. Simuloinnin lähtötietona on monipuolinen jatkuva tiestötieto [7].

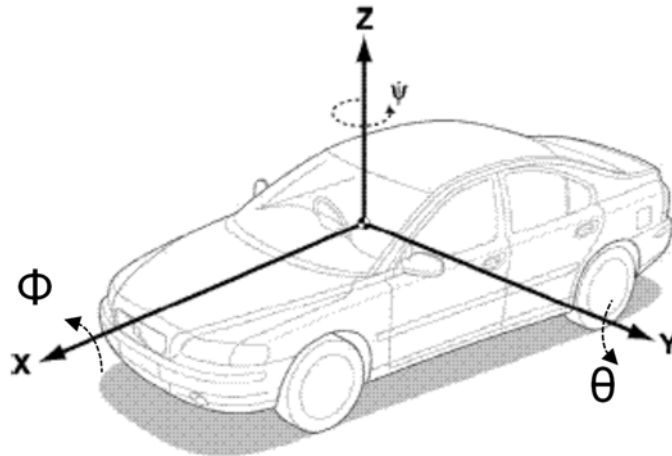
### 3.2.2 Ajoneuvomalli

Tien pinnan vaihtelu ja sen vaikutukset lasketaan RIDE-mallilla, joka tuottaa 2-akselisen (ha, pa, la tai kaipp) ajoneuvon pysty-, sivuttais- tai nyökkimisliikkeiden vasteita sekä pyöräpainoja ja ajoneuvon tierasitusta kuvaavia tunnuslukuja. Simulointi suoritetaan 10cm raakadatatista ja sen tulokset tuotetaan 1 m välein. Siitä ne ovat laskettavissa mille tahansa laskentaväleille käyttötilanteesta riippuen.

Ajoneuvomalli on 2-akselinen 7 vapausasteen massa-jousitus-systeemi, jolla simuloidaan tien ja ajoneuvon välistä liikettä. Ajoneuvon kori oletetaan jäykäksi ja sen jousitus on passiivinen. Ajoneuvon pyörille syötetään tien ajourien pituusprofiilia ja ajoneuvo liikkuu tietyllä nopeudella aiheuttaen massojen liikkeen, josta ajomukavuustunnuksuvat ovat laskettavissa.



Kuva 8. 7 vapausasteen RIDE-malli 2-akseliselle ajoneuvolle.



Kuva 9. Simuloinnissa käytettävä ISO-standardin mukainen koordinaattijärjestelmä.

### 3.2.3 Tulokset

Simuloinnilla saatavat tunnusluvut ovat kutakin kolmea liikesuuntaa (pystysuunta, heilahdussuunta ja nyökkimissuunta) kuvaavat siirtymä-, siirtymänopeus- ja siirtymäkiihtyvyystunnusluvut tietyllä pituussuunnassa ilmoitetulla tulostusvälillä. Lisäksi kustakin tunnusluvusta voidaan laskea minimiarvo, keskiarvo, tehollinen arvo, maksimiarvo ja hajonta raportointivälillä. Jos rajoitetaan vain keskiarvoihin ja hajontoihin, niin liikettä kuvaavia tunnuslukuehdokkaita on siten 9+9 eli 18 kpl. Tässä vaiheessa kiinnitetään huomio ajoneuvon korin painopisteeseen. Muita huomion kohteita voisivat olla akselit tai kuljettaja.

Taulukko 3. Simuloinnilla saatavia ajotuntumaa kuvaavia tunnuslukuehdokkaita.

Tunnusluku	Liike	Nopeus	Kiihtyvyys
Korin painopisteen pystyliike	Pystyliike (z) (mm)	Pystyliike-nopeus (m/s)	Pystyliike-kiihtyvyys (m/s <sup>2</sup> )
Korin painopisteen sivuttaisheilahtelu	Heilahduskulma (Φ) (astetta)	Heilahduskulma-nopeus (astetta/s)	Heilahduskulma-kiihtyvyys (astetta/s <sup>2</sup> )
Korin painopisteen nyökkiminen	Nyökkimiskulma (θ) (astetta)	Nyökkimiskulma-nopeus (astetta/s)	Nyökkimiskulma-kiihtyvyys (astetta/s <sup>2</sup> )

Simuloinnista saadaan lisäksi pyöräpainot, joiden avulla saadaan laskettua tierasitukseen liittyviä tunnuslukuja. Tällaisia ovat itse pyöräpainojen lisäksi tierasitus ja pyöräpainojen sivusiirtymät. Tierasitus ja pyöräpainosiirtymä kuvaavat tien dynaamista rasiitusta ja erityisesti epätasaisuudesta aiheutuvaa ylikuormittumista.

Lisäksi voidaan tuottaa ajoneuvon iskunvaimentimien tekemää työtä, joka on epätasaisuustunnuslukuna erittäin selektiivinen. Selektiivisyys syntyy siitä, että tunnusluku on liikkeen amplitudin ja liikkeen nopeuden tulo. Se erittelee epätasaiset ja epämuukavat kohdat tiessä erittäin hyvin.

Pyöräpainoihin ja iskunvaimentimien liikkeisiin perustuvien tunnuslukujen lukumäärä on hajonnut mukaan lukien 3+3 eli 6 kpl. Ajoneuvosimuloinnista saatavien tunnuslukujen kokonaislukumäärä on RIDE-mallissa siten yhteensä 24 kpl.

Taulukko 4. Mallin aiemmin käytetyt (2010–2014) ajoneuvoparametrit.

Parametri	Yksikkö	Henkilöauto <sup>1</sup>	Kuorma-auto
Renkaan jousivakio	N/m	150000	1200 * 10 <sup>3</sup>
Renkaan vaimennuskerroin	Ns/m	150	125
Etujousen jousivakio	N/m	14900	525 * 10 <sup>3</sup>
Takajousen jousivakio	N/m	14900	968 * 10 <sup>3</sup>
Etuiskarin vaimennuskerroin	Ns/m	475	12500
Takaiskarin vaimennuskerroin	Ns/m	475	12500
Etupyörän massa	kg	38	500
Takapyörän massa	kg	38	1000
Korin massa	kg	1513	18000
Akseliväli	m	2.65	4.65
Taka-akselin et. painopisteestä	m	1.17	2.00
Etuaakselin et. painopisteestä	m	1.68	2.65
Etupyörien raideväli	m	1.54	2.36
Takapyörien raideväli	m	1.54	2.20
Hitausmomentti x-akselin suhteen	kgm <sup>2</sup>	637	3000
Hitausmomentti y-akselin suhteen	kgm <sup>2</sup>	2443	20000
Painopisteen korkeus	m	0.55	1.05
Korin kallistuskeskiön korkeus	m	0.55	0.78

1) Ben Creed, Nalaka Kahawatte, Scott Varnhagen (2010)

Ajoneuvomallissa tarvitaan oheisen taulukon mukaiset 18 parametria kutakin ajoneuvotyyppiä kohti. Ajoneuvotyyppiä tarvitaan vähintään kaksi, joista toinen edustaa henkilöautoa ja toinen kuorma-autoa. Aiemmissä (sivukaltevuus/pituuskaltevuus) selvityksissä on käytetty taulukon mukaisia parametreja. Henkilöauton parametrit on otettu julkaisusta Ben Creed et al (2010). Siinä ei kuitenkaan ole määritetty tarkemmin minkälaisesta ajoneuvosta oli kyse.

### 3.3 Ajoneuvomallin kehittäminen

Mallia on käytetty kaolnessa aiemmassa projektissa (Tien haitallisen sivukaltevuusvaihtelun tunnistaminen, tien haitallisen pituuskaltevuusvaihtelun tunnistaminen ja tien rakenteellisen kunnan tunnusluvun kehittäminen). Kussakin selvityksessä käytettiin edellisen luvun taulukossa esitettyjä kuorma-auton parametreja. Mallilla laskettiin ajoneuvon saamia vasteita tieosa kerrallaan. Laskennassa oli kuitenkin tiettyjä puutteita ja yksinkertaistuksia, jotka tässä työssä päätettiin korjata. Mallille tehtiin seuraavia hienoviritystoimenpiteitä:

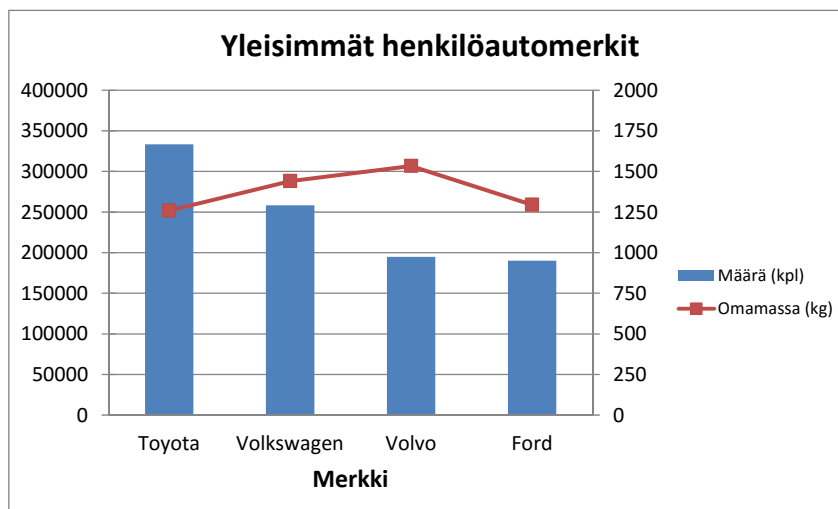
- käytettävän ajoneuvomallin valinta ja parametrien tarkistaminen
- simuloinnin kehittäminen tieosien vaihtumispisteissä
- simulointinopeuden valinta (erilaisille teille)

### 3.3.1 Ajoneuvotyyppi ja sen parametrit

Koska ajoneuvomallin tulokset tulevat olemaan verkkotasolla suoritettavien mittausten jatkeena, oli ajoneuvomalli sovittava siten, että se edusti keskimääräistä Suomessa käytettävää ajoneuvoa. Tyyppiajoneuvoja tarvittiin vähintään kaksi, henkilöautotyyppi ja kuorma-autotyyppi. Ajoneuvoksi valittiin sellainen automerkki, jota Suomessa on paljon. Kuorma-autotyypin valinnassa käytettiin akselimassatutkimuksen tuloksia.

#### 3.3.1.1 Kevyt tyyppiajoneuvo

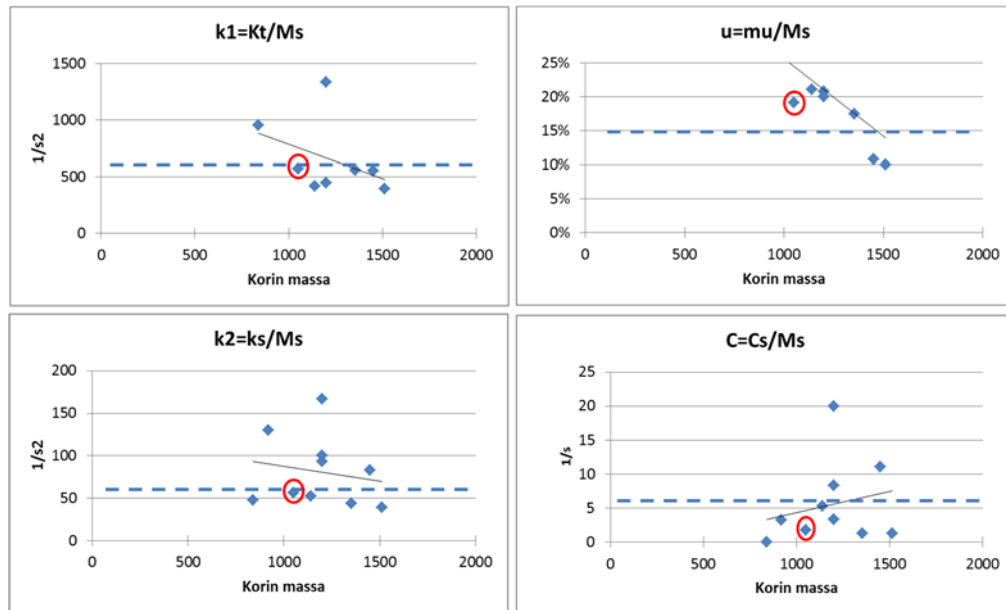
Kevyeksi tyyppiajoneuvoksi valittiin Suomen henkilöajoneuvokannasta se merkki, jota kannassa oli eniten. Kuvassa 10 on esitetty yleisimpien henkilöautomerkkien lukumäärä ja keskimääräinen omamassa. Yleisin henkilöautomerkki oli Toyota, joita oli noin 330 000 kpl. Seuraavaksi yleisimpiä olivat Volkswagen, Volvo ja Ford. Toyota- ja Ford-merkkien keskimääräinen omamassa oli noin 1300 kg, Volkswagenien noin 1400 kg ja Volvojen n. 1550 kg.



Kuva 10. Yleisimmät henkilöautomerkit. Lähde: Trafi 2015.

Raideleveys tai raideväli on auton samalla akselilla olevien renkaiden keskilinjojen välinen etäisyys. Useimmissa autoissa raideleveys on eri edessä ja takana. Raideleveys vaikuttaa paljon auton ajo-ominaisuuksiin, kuten myös akseliväli. (<http://www.autowiki.fi/index.php/Raideleveys>).

Kuvassa 11 on esitetty henkilöauton korin massa suhteutettuja jousitusparametrien arvoja. Katkoviiva kuvaa IRI:n laskennassa käytetyn ajoneuvon arvoja. Punaisella ympyrällä kuvattu piste kuvaa tyyppiautoksi valitun henkilöauton jousitusparametreja. Valitun tyyppiajoneuvon jousitus eroaa IRI-autosta siten, että sen oma massa on pienempi, sen akselin massa suhteessa korin massa on suurempi ja sen iskunvaimentimien vaimennuskerroin korin massa nähden on pienempi.








Kuva 11. Eräiden tutkimuksissa käytettyjen ajoneuvomallien suhteellisia parametreja ja IRI:n laskennassa käytettyjen parametrien arvot katkoviivalla (ilman ajoneuvon korin massa).

### 3.3.1.2 Raskas tyyppiajoneuvo

Raskaaksi tyyppiajoneuvoksi valittiin kaksiakselinen perävaunuton kuorma-auto. Sen akseliväli ja painojakauma otettiin akselimassatutkimuksen tuloksista. Perävaunuttomia kuorma-autotyyppejä on tyypillisesti viisi. Valittu ajoneuvo on tyyppi 1. Perävaunuttomia kuorma-autoja oli akselimassatutkimuksen mukaan noin 23 % kaikista kuorma-autoista ja tyyppiä 1 oli noin 43 % perävaunuttomista kuorma-autoista.

Tyyppin 1 keskimääräinen akseliväli oli 5 m ja ajoneuvon massa jakaantui suhteessa etu- ja taka-akseleille 43%/57%. Keskimääräinen kokonaismassa oli 10552 kg. Tyyppiajoneuvon massaksi valittiin kuitenkin 18000 kg, koska se vastasi täyteen kuormattua ajoneuvoa ja sen taka-akselin massa ja rengastus vastasivat tierakenteen mitoituksessa käytettyä standardiakselimääritelmää.

Tyyppi	Kuva	Osuus	
		v. 2014	v. 1999
1		42,7	55,6
2		45,7	37,4
3		8,1	1,6
4		2,6	5,2
5		0,9	-

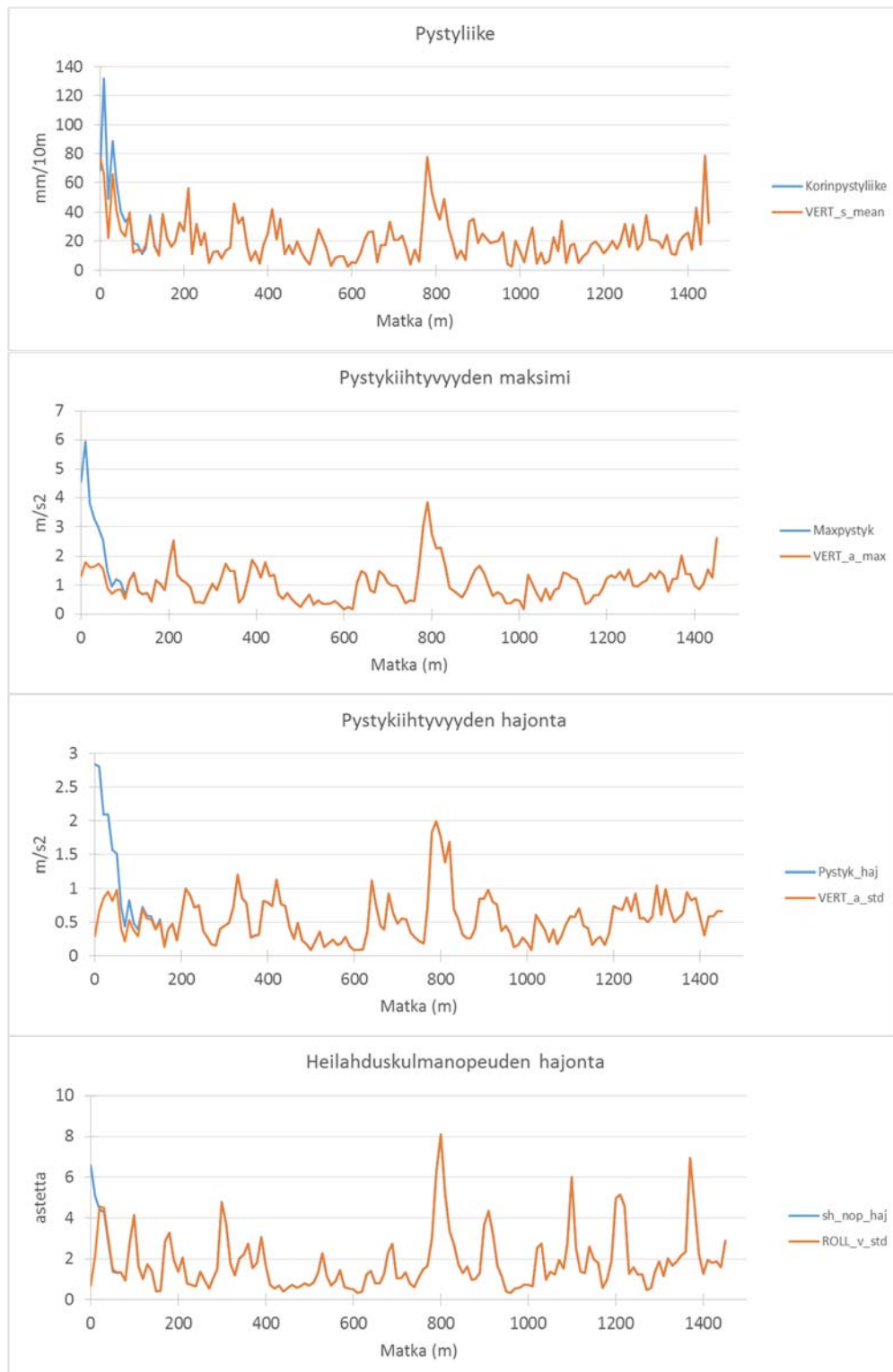
Kuva 12. Perävaunuttomien kuorma-autojen autotyypit ja niiden osuudet akselimassatutkimuksen 2013-2014 mukaan.

Taulukko 5. Uusien tyyppiajoneuvojen parametrit.

Parametri	Yksikkö	Henkilöauto	Kuorma-auto
Renkaan jousivakio	N/m	183097	1788750
Renkaan vaimennuskerroin	Ns/m	400	5516
Etujousen jousivakio	N/m	25044	574340
Takajousen jousivakio	N/m	24544	950000
Etuiskarin vaimennuskerroin	Ns/m	2182	23600
Takaiskarin vaimennuskerroin	Ns/m	2311	20600
Etupyörän massa	kg	48	388
Takapyörän massa	kg	50	792
Korin massa	kg	1361	15640
Akseliväli	m	2.70	5.00
Taka-akselin et. painopisteestä	m	1.40	2.00
Etuaakselin et. painopisteestä	m	1.30	3.00
Etupyörien raideväli	m	1.50	2.10
Takapyörien raideväli	m	1.50	2.00
Hitausmomentti x-akselin suhteen	kgm <sup>2</sup>	963	20328
Hitausmomentti y-akselin suhteen	kgm <sup>2</sup>	2359	33333
Painopisteen korkeus	m	0.55	1.05
Korin kallistuskeskiön korkeus	m	0.53	0.72

### 3.3.2 Tieosien vaihtumiskohtien hallinta

Toinen kehityskohta ajoneuvosimuloinneissa oli kehittää simulointia tieosien vaihtumispisteissä (aloituspisteissä). Aiemmassa mallissa tieosien alkuun tuli epäjatkuvuuskohtia tai suuria vasteita johtuen siitä, että simuloinnin alussa ajoneuvon jousitus asetui painovoiman ansiosta alkutilaan hetkessä. Tämä korjattiin siten, että aloitettiin virtuaalinen simulointi jo edellisen tieosan alueella. Virtuaalisen simuloinnin aikana tapahtui ajoneuvon asettuminen alkutilaan ja liikkeeseen ja kun tieosa todellisuudessa alkoi, oli ajoneuvo jo oikeassa asemassa. Todellisuudessa ajoneuvon liiketila tieosan alussa riippuu siitä mihin liiketilaan edellisellä tieosalla on päädytty. Edellisen tieosan liiketilan huomioon ottaminen hoituisi myös sillä, että simuloinnit tehtäisiin usean tieosan kokonaisuuksina. Koska simuloinnit kuitenkin pääosin tehtiin tieosa kerrallaan, oli virtuaalisen simuloinnin tarve ilmeinen.



Kuva 13. Virtuaalisen simuloinnin vaikutus ajoneuvon korin liikkeisiin tielasan alussa maantiellä 231 tielosalla 005 suuntaan 1. Sininen käyrä kuvaa tulosta ennen muutosta ja oranssi käyrä muutoksen jälkeen. Vanha kuorma-automalli, simulointinopeus 80 km/h.

Virtuaalisen simuloinnin vaikutuksia esitetään ylläolevissa kuvissa, jossa on tarkasteltavan tieosan alussa saatuja vasteita ilman virtuaalista simulointia ja sen kanssa. Kuvista nähdään, että virtuaalinen simulointi pienensi tieosan alkuun saatavien vasteiden suuruutta ja oli muutoin samansuuruisia kuin tieosan muissa kohdissa. Suuret simulointivasteet tieosan alussa tasoittuivat ensimmäisen 100 m aikana. Kuvien perusteella voidaan todeta, että tieosien aloituskohtien simuloinnissa olleet ongelmat saatiin korjattua tavoitteen mukaisesti.

### 3.3.3 Simulointinopeuden hallinta

Ajoneuvomallin simuloinnista saatavat tulokset riippuvat simulointinopeudesta. Realististen simulointivasteiden laskemisessa tulisi käyttää sellaista ajonopeutta, jota tarkasteltavalla tiellä yleisesti käytetään. Simulointinopeus voi siis vaihdella eri tieosien välillä tai jopa niiden sisällä. Tämä edellyttää sekä sopimista että ajonopeuden vaihtumisen hallintaa. Muuttuvan nopeuden hallinta on simuloinnissa matemaattisesti haastava.

Perinteisen epätasaisuutta kuvaavan tunnusluvun, IRI, laskennassa käytetään vakionopeutta, 80 km/h. Sen etuna on, että simulointinopeus on aina sama ja saadut tunnusluvut vertailukelpoisia. Toisaalta sen haittapuolena on sitten se, ettei simulointinopeus vastaa tiellä käytettävää todellista nopeutta eivätkä simuloitujen vasteet siten vastaa sitä, mitä ajoneuvossa todellisuudessa tapahtuu. IRI:n laskennassa vilkasliikenteisillä teillä simulointi suoritetaan liian alhaisella nopeudella ja vähäliikenteisillä teillä liian korkealla nopeudella. Tämä tekee simuloinnilla saatujen epätasaisuustunnuslukujen arvojen suhteuttamisen todelliseen ajomukavuuteen hankalaksi.

Simulointinopeus muutettiin vastaamaan tiellä vallitsevaa nopeusrajoitusta, jotta simuloinnin lähtökohdat olisivat realistisempia. Moottoriteillä, joilla palvelutasovaatimukset ovat kireämpiä, myös simuloinnilla saatavat vasteet tulivat tuotetuiksi suurella nopeudella ja alhaisen nopeusrajoituksen teillä päinvastoin.

Simulointinopeutta rajoitti lisäksi ajoneuvotyyppikohtainen nopeusrajoitus. Kuorma-autojen ajoneuvotyyppikohtainen suurin sallittu ajonopeus oli 80 km tunnissa ja linja-autojen vastaavasti 100 km tunnissa. Kuorma-autoilla simulointinopeus olisi käytännössä joko 60 km/h tai 80 km/h ja linja-autoilla (jos niiden vasteita päätettäisiin laskea myös) 60, 80 tai 100 km/h. Henkilöautoilla ei vastaavaa ajoneuvokohtaista nopeusrajoitusta ole, jolloin simulointinopeus oli sama kuin tieosalla vallitseva nopeusrajoitus.

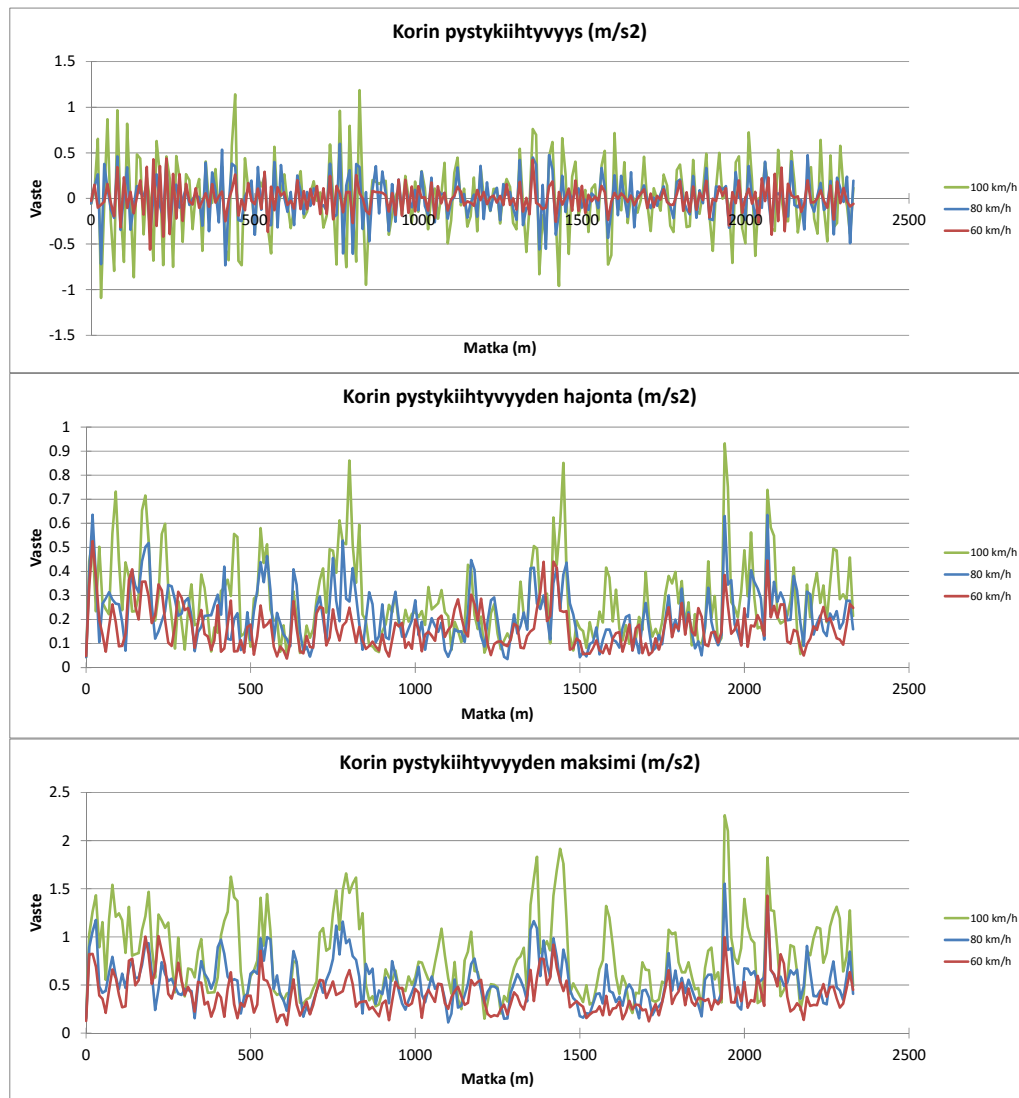
Ajoneuvotyyppikohtaiset nopeusrajoitukset määräävät simuloinnissa käytettävät nopeudet taulukon 6 mukaisesti.

Taulukko 6. Simulointinopeudet eri nopeusrajoituksilla ja ajoneuvoryhmillä.

km/h	HA	LA	KA
120	120	100	80
100	100	100	80
80	80	80	80
60	60	60	60
50	50	50	50



Simulointinopeus vaikuttaa ajoneuvon liikkeisiin kasvattaen niitä. Kuvassa 14 on esitetty esimerkki nopeuden vaikutuksesta henkilöauton korin pystykiivyyksiin maantiellä 231 tieosalla 002 suuntaan 1 kolmella eri simulointinopeudella. Siitä nähdään, miten nopeus kasvatti kiihtyvyyksiä.



Kuva 14. Simulointinopeuden vaikutus eräisiin henkilöauton simuloituihin vasteisiin maantiellä 231 ja tieosalla 002 suuntaan 1. Vanha kevyt ajoneuvotyyppi.

### 3.3.4 Tien geometrian hallinta

Ajomukavuustarkasteluun vaikuttaa tien geometria: kaarteisuus ja mäkyisyys. Kaarteet vaikuttavat pyöräpainoihin ja erityisesti pyöräpainon siirtymään puolelta toiselle. Vaikutus korostuu silloin kun kaarteiden yhteydessä on joko pituussuuntaista tai sivuttaissuuntaista epätasaisuutta. Perinteisissä tasaisuustunnuslukujen laskennoissa pysty- ja vaakageometria on yleensä suodatettu pois. Syynä suodattamiseen ovat olleet lähinnä kiinnostuksen kohdistaminen pelkkään pystysuuntaiseen epätasaisuuteen ja toisaalta pysty- ja vaakageometrian huomioon ottamisen laskentoja monimutkaistava vaikutus. Geometrian huomioonottaminen tuo tarkastelua lähemmäksi todellista tilannetta, mutta toisaalta se vaikuttaa ajomukavuuteen vaikuttavien vasteiden suuruuteen ja tekee itse epätasaisuusongelman havainnoimisen hankalammaksi. Toisena syynä

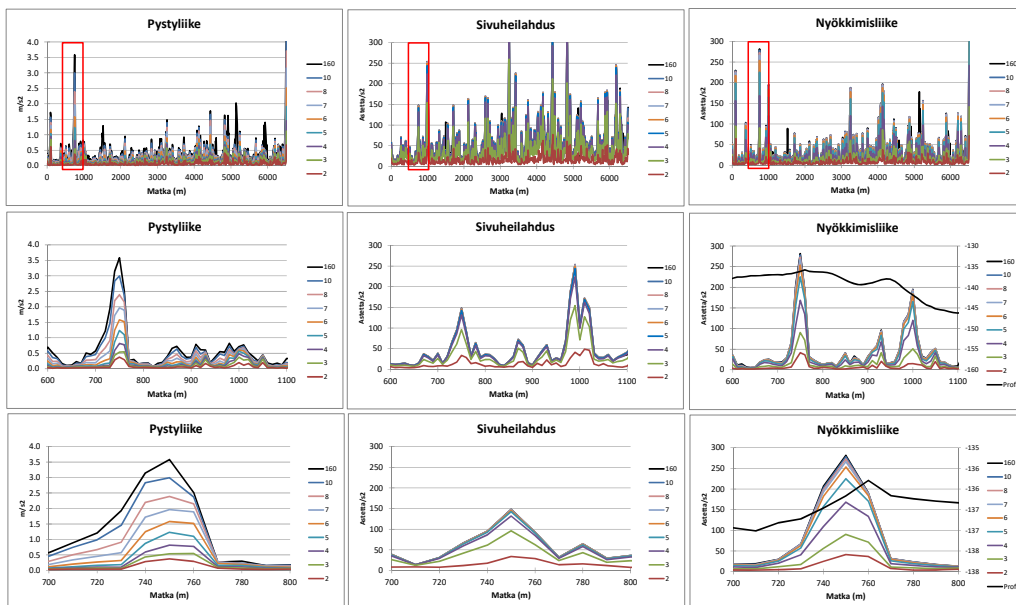
suodattamisen tarpeellisuuteen on se, että kaarteisilla ja mäkisillä teillä vakio simulointinopeus ei vastaa todellista nopeutta, joka mitä todennäköisimmin vaihtelee paljon.

RIDE-simuloinnissa pohdittiin sitä pitäisikö tien geometria olla laskennoissa mukana vai ei.

Geometrian vaikutusta tarkasteltiin kokeilemalla erilaisia pituusprofiilien suodatuksia ja tarkastelemalla suodatusten vaikutusta simuloituihin vasteisiin. Kohteina oli yksi valtatiealueen tie (vt 1) ja yksi yhdystie (11337). Suodatukselle haettiin sellaista rajaa, jolla valtatiealueen simuloitutulokset eivät muuttuneet kovin paljoa, mutta paikallisten tulokset sen sijaan muuttuivat. Suodatuksen ajateltiin vaikuttavan pysty- ja nyökkimisliikkeisiin, muttei niinkään sivuheilahdusliikkeisiin.

Kuvassa 15 on yhdystiellä 11337 tehtyjen simulointien tuloksia pysty-, sivuheilahdus- ja nyökkimisliikekihtyvyyksien hajonnoista eri suodatuksilla. Suodatuksen 160 m on sen verran suuri suodatusparametri, että se vastaa suodattamatonta tilannetta ja muissa suodatusparametri kuvaa suodatuksen raja-arvoa metreinä. Kuvista voidaan todeta, että liikekihtyvyyksien hajonnat olivat sitä pienempiä, mitä lyhyempiaaltoisia pystygeometriavaihteluita profiilista suodatettiin pois. Pysty- ja nyökkimisliikekihtyvyyksiin vaikutti jo 10 m suodatus selvästi, sen sijaan sivuheilahduskihtyvyyksiin se ei oikeastaan vaikuttanut. 5 m suodatuksella oli jo erittäin selvä vaikutus ja sen yksi mahdollinen selitys on se, että simuloinnissa käytetyn kuorma-auton akseliväli oli 5 m.

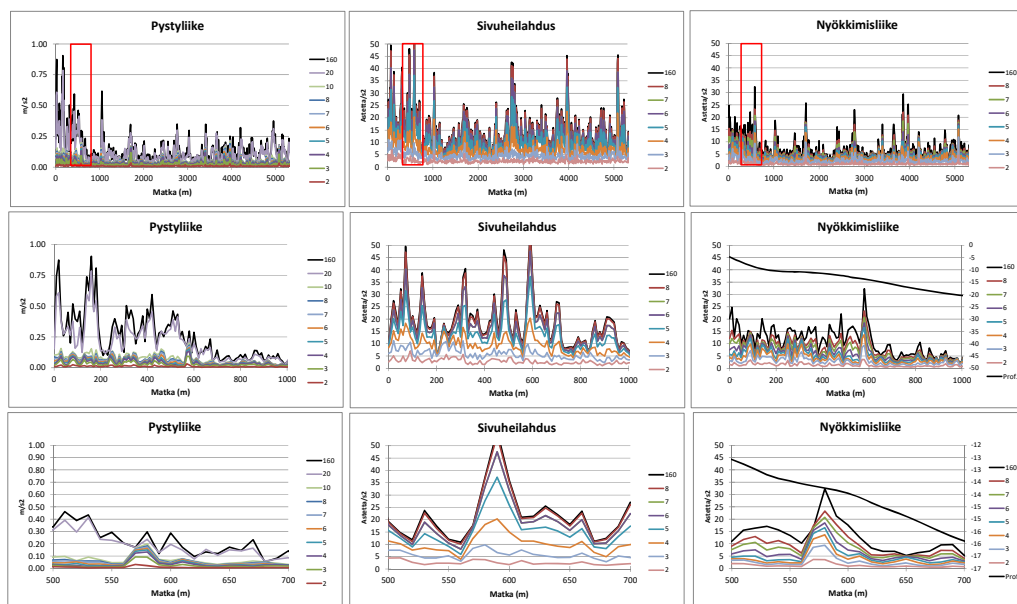
Kun suodatus oli välillä 5–10 m, niin pysty- ja nyökkimisliikekihtyvyydet pienenevät, mutta sivuheilahduskihtyvyydet pysyi lähes ennallaan. Suodatuksen arvoilla 2–4 m myös sivuheilahduskihtyvyydet pienenevät. Suodatusparametrin alle 5 m olevat arvot ovat siten ehdottomasti liian pieniä.



Kuva 15. Kuorma-auton korin simuloitujen (50 km/h) liikekihtyvyyksien (10m) keskijonot yhdystiellä 11337 tieosalla 1 eri suodatuksilla (2,3,4,5,8,10 ja 160m).

Kuvassa 16 on esitetty vastaavat tulokset valtatiellä 1 tieosalla 6. Pysty- ja nyökkimisliikekihtyvyyksien oli selvä vaikutus jo 10 m suodatuksella. Sivuheilauksiin suodatus alkoi vaikuttaa vasta alle 8 m suodatuksilla. 5 m suodatus pienensi sivuheilauksiin kiihtyvyyden hajontaa noin 30 %:lla ja muiden liikekomponenttien hajontoja lähes 50 %:lla. Sillä perusteella 5 m suodatus tuntui liian voimakkaalta. Lopulliseksi suodatusparametrin arvon valinta on sikäli hankala, että toisaalta suodatuksen tulisi olla alle 10, mutta taas toisaalta vähintään 20.

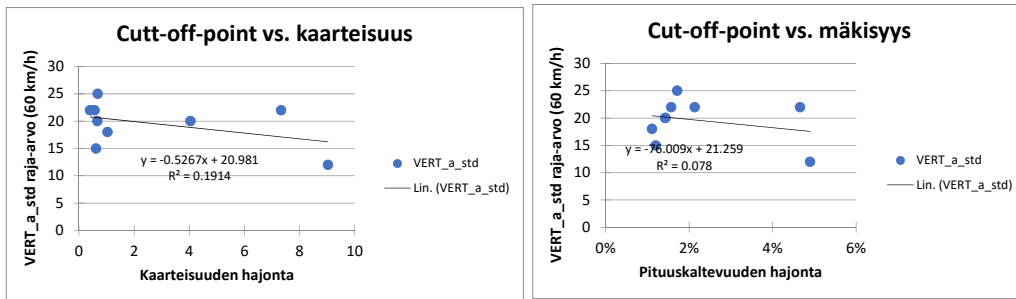
Lopullinen suodatusparametrin arvo määritettiin tarkastelemalla viiden prosentin vaikutustasoa eri liikesuunnan tuloksiin tien geometriatunnuslukuja vasten. Geometriatunnusluvuiksi laskettiin kunkin tieosan kaarteisuuden ja pituuskaltevuuden hajonnat. Pääteillä hajonnat ovat tyypillisesti alhaisia ja pienillä teillä suuria. Suodatuksen arvo riippuu tien geometriasta (Taulukko 7). Suodatuksen kannalta kriittisin vaste oli pystyliikekihtyvyys. Sen suodatusparametrin ns. ”cut-off-point” oli mallinnettavissa tien geometriatunnusluvuista kuvan 17 mukaisesti. ”Cut-off-point on se suodatuksen raja-arvo, jonka kohdalla suodatuksen vaikutus vasteiden vaihteluun (kiihtyvyyksien hajonnat) oli noin -5%. Lopullisen suodatusparametrin valinnassa lähdettiin liikkeelle Cut-off-point suorasta siten, että sen kulmakerrointa muutettiin tavoitteena saada vilkaille teille lievempi suodatus ja vähäliikenteisille teille vahvempi suodatus (verrattuna cut-off-point-suoraan).



Kuva 16. Kuorma-auton korin simuloitujen (80 km/h) liikekihtyvyyksien (10m) keskihajonnat valtatiellä 1 tieosalla 7 eri suodatuksilla.

Taulukko 7. Suodatusparametrin -5 % vaikutusta vastaavat arvot eri tunnusluvuille kohteittain.

Suodatuksen -5 % vaikutusta vastaavat raja-arvot kohteittain ja tunnusluvuittain								
Kohde	60 km/h			80 km/h			Geometria	
	VERT a std	ROLL a std	PITCH a std	VERT a std	ROLL a std	PITCH a std	Kaart std	Pituusk std
VT1/006	20	5	8	24	7	14	0.67	1.4 %
VT1/007	15	5	7	20	7	13	0.62	1.2 %
VT1/008	18	5	7	22	7	13	1.03	1.1 %
VT2/1	25	5	8	25	7	14	0.68	1.7 %
VT2/2	22	5	8	24	7	14	0.56	1.6 %
VT 25/24	20	5	8	24	7	14	4.04	1.4 %
VT 25/25	22	5	8	28	7	14	0.40	2.1 %
MT 120/005							0.58	2.7 %
MT 120/006							1.34	2.8 %
MT 120/007							1.67	3.1 %
YT 11337/001	22	7	10	-	-	-	7.33	4.7 %
YT 11337/002	12	8	9	-	-	-	9.03	4.9 %



Kuva 17. Pystykiiktyvyyden perusteella määritetyn suodatusparametrin riippuvuus tien kaarteisuuden ja mäkisyyden vaihtelusta (60 km/h).

Kaarteisuuden ja mäkisyyden perusteella suodatusparametrin arvo lasketaan seuraavasti:

$$S = \text{keskiarvo}(21 - 0.5 * \text{Curvature}_{std}, 21 - 76 * \text{Gradient}_{std})$$

## 4 Ajopaneeli

### 4.1 Ajopaneelin toteuttaminen

Simuloitujen tunnuslukujen käyttökelpoisuutta tutkittiin maastossa ajopaneelilla. Ajopaneeli muodostui henkilöistä, joita kuljetettiin tietyn testireitin läpi ja joiden kokemaa ajomukavuutta kysyttiin asteikolla 1–3 (tai 1–5). Testireitiksi valittiin sellaisia kohteita, joissa oli erilaista epätasaisuutta ja joissa ajonopeudet vaihtelivat välillä 60–120 km/h. Ajopaneeliin valittiin sellaisia henkilöitä, joilla oli kyky arvioida tiellä vallitsevaa ajomukavuutta tienkäyttäjän näkökulmasta. Pää tavoite oli saada selvä käsitys kohteiden tarjoamasta ajomukavuudesta, jotta sen avulla voitiin arvioida simuloinnilla tuotettavien tunnuslukujen käyttökelpoisuutta.

Ajotuntuman luokittelu päätettiin tehdä neljän luokan avulla. Kaksi luokkaa kuvasi hyvää tilannetta ja kaksi huonoa tilannetta, jotka kummatkin jaettiin kahtia tyyliin: asia on oikein hyvin tai hyvin, tai sitten huono tai tosi huono. Arviot kysyttiin jatkuvana tietona ja ne muunnettiin vastaamaan kymmenmetrisiä.

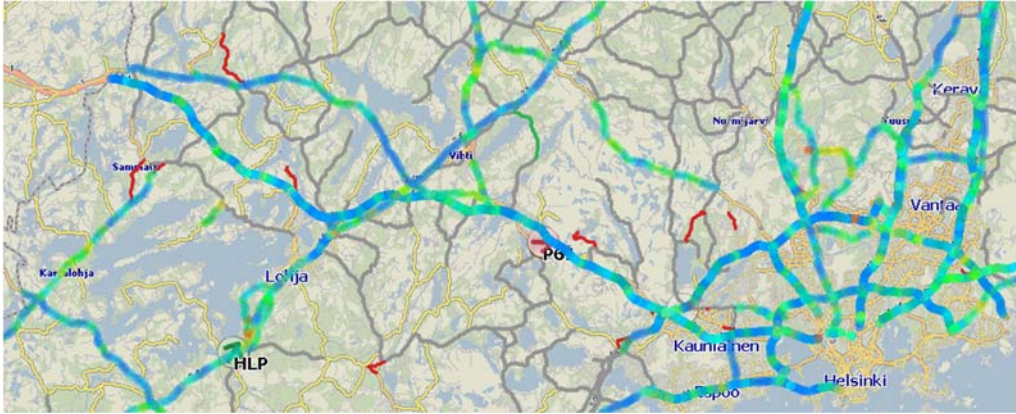
Ajopaneelissa käytettiin henkilöautoa ja kuorma-autoa. Ajoneuvot pidettiin kaikille panelisteille samoina. Ajopaneelin järjestämisessä käytettiin soveltuvin osin ERANET-tutkimusohjelmassa kehitetyn EXPECT-työn ohjeita.

#### 4.1.1 Reitti

Ajopaneeliin valittiin reitti, joka sisälsi tasaisia ja epätasaisia teitä ja joilla ajonopeus vaihteli välillä 60–120 km/h. Reitti sijaitsi Länsi-Uudellamaalla ja sen kohteet valittiin toisaalta kohteiden edustavuuden ja toisaalta niiden sijainnin perusteella. Edustavuustavoitteina olivat seuraavat:

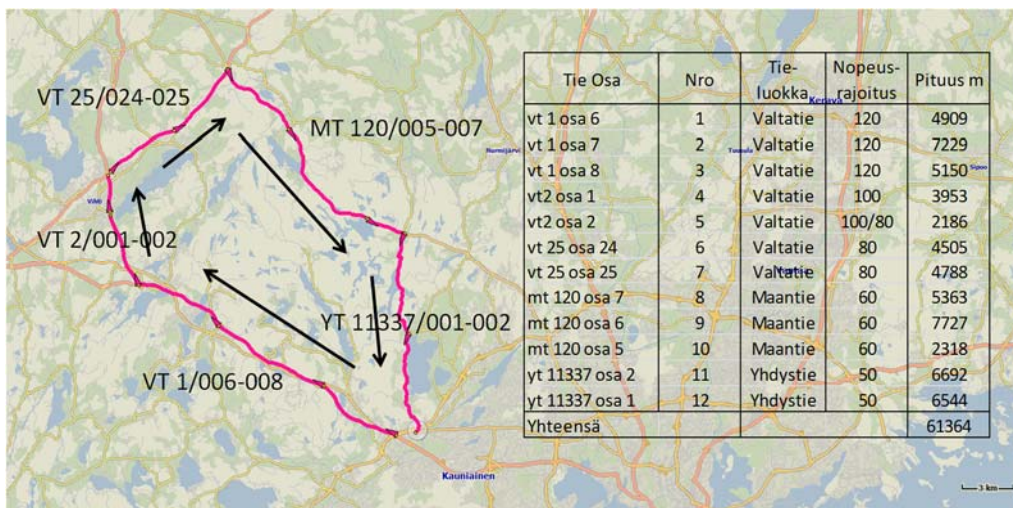
- tien standardi
- tien kunto
- kohteiden sijainti

Tien standardi otettiin huomioon nopeusrajoituksen kautta ja tien kunto epätasaisuuden ja siihen vaikuttavien komponenttien kautta. Pituussuuntaisen epätasaisuuden lisäksi haettiin kohteita, joilla oli sivuttaisheilahtelua tai nyökkimistä aiheuttavia kohtia. Reitin valinnassa käytettiin epätasaisuusdataa kartalla esitettynä. Kartan pohjalta tehtiin potentiaalisia reittejä, joille tehtiin ajoneuvosimuloinnit. Niiden perusteella tarkasteltiin, miten suuria vasteita kohteille tuli ja lopulliset kohteet valittiin saadun informaation perusteella.



Kuva 18. Epätasaisuutta IRI-luokiteltuna läntisellä Uudellamaalla (v. 2014 mitaustulokset).

Reitin kohteet sijaitsivat Espoon, Kirkkonummen ja Vihdin alueilla. Kokonaispituus oli 61 km. Se oli ajettavissa noin tunnissa. Kohteiden sijainti ja ajojärjestys on esitetty kuvassa 19.



Kuva 19. Ajopaneeliin valittu reitti.

#### 4.1.2 Panelistit

Ajopaneeliin kutsuttiin henkilöitä, jotka olivat olleet tavalla tai toisella tekemisissä tienpidon kanssa. Panelistien kokonaismäärä oli 15 kpl, joista osa oli Destiasta, osa Liikennevirastosta, osa ELY-keskuksista ja osa Espoon kaupungilta. Yhteensä 11 panelistia arvioi reitin kuntoa henkilöautosta ja neljä kuorma-autosta käsin. Ajoneuvojen kuljettajana toimi tiestömittaaja Hannu Tähtinen Destiasta.

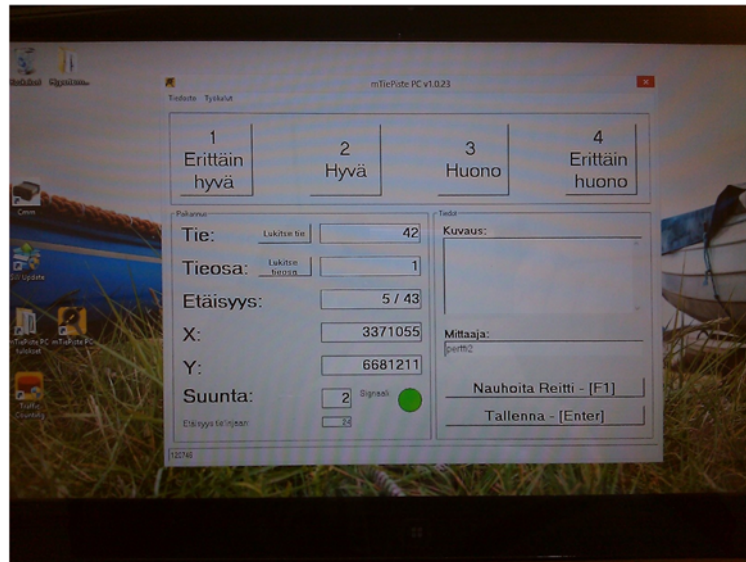
#### 4.1.3 Ohjeistus

Kukin panelisti sai lyhyen ohjeituksen ennen reitille lähtemistä. Ohjeistuksessa tuotiin esille mm. seuraavat seikat:

- työn tarkoituksen esittely
- reitin esittely
- tiedonkeruulaitteen käytön opastus
- arviointimenetelmän esittely

#### 4.1.4 Tiedonkeruu

Ajopaneelin ajot ajoittuivat aikavälille 11.5.–28.5.2015. Tiedonkeruu tapahtui tabletilla, jossa oli GPS-laite ja hipaisunäppäimet kuntoluokitusta varten. Laite ”tiesi” kulloisenkin sijainnin sekä koordinaatteina että tieosoitteena. Kuntoluokka tallentui tiedostoon aika- ja sijaintitietoineen. Tietojen tallennus tapahtui automaattisesti. Panelistin ei tarvinnut tehdä muuta kuin syöttää kuntoluokkia ajoneuvossa havaitsemansa tuntuman perusteella.



Kuva 20. Näkymä tiedonkeruulaitteen näytöltä.

#### 4.1.5 Tiedon käsittely

Tiedot käsiteltiin siten, että saaduista havainnoista muodostettiin kullekin kymmenmetriselle se kuntoluokka, jota sillä oli eniten. Samalla monistettiin myös sijainti- ja aikatiedot. Sijaintitiedossa on kokemusten mukaan pieni viive, mutta sitä ei kuitenkaan sen kummemmin korjattu, koska korjaustarve ei ollut kaikilla panelisteilla sama. Tuloksista laskettiin huonojen kuntoluokkien (luokat 3 ja 4) lukumääriä ja pituuksia kohteittain ja panelisteittain.

## 4.2 Ajopaneelin tulokset

#### 4.2.1 Koettu ajomukavuus

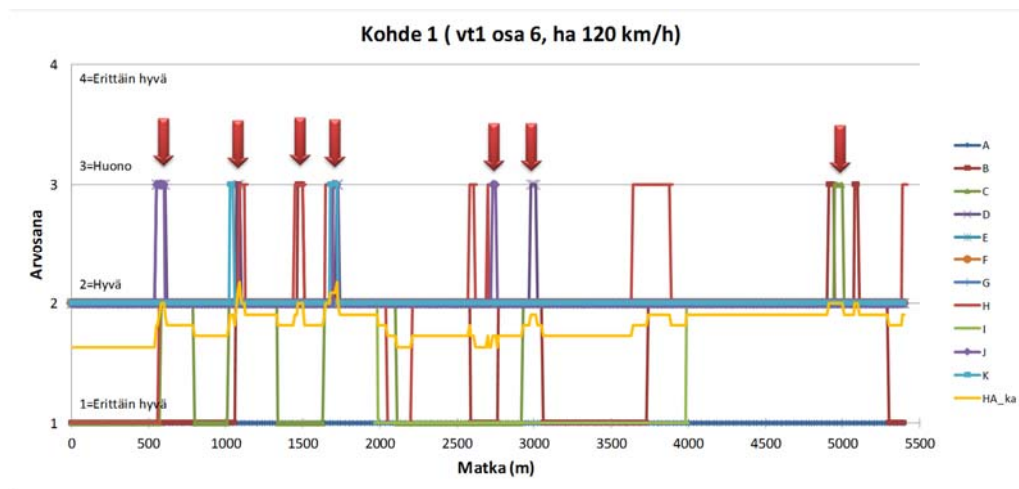
Paneeliin osallistuneiden henkilöiden nimet on korvattu kirjaintunnuksilla A-M. Henkilöt B-J tekivät ajopaneelin ainoastaan henkilöautossa, henkilöt L ja M ainoastaan kuorma-autossa ja henkilöt A ja J molemmissa. Koettu ajomukavuus määritettiin neljän eri mukavuusluokan avulla ja ne olivat 1=erittäin hyvä, 2= hyvä, 3=huono ja 4=erittäin huono. Koettu ajomukavuus muunnettiin luvussa 5 huonokuntoisuudeksi, jota käytettiin simuloitujen tunnuslukujen arvioinnissa.

Koettu ajomukavuus on esitelty jäljempänä kohteittain panelistien antamien arvosanojen profiileina matkan funktiona. Koska ajomukavuutta kuvaavat arvosanat ovat kokonaislukuja, tuli useista kuvista melko vaikeasti hahmotettavia. Sen takia arvosanoista on laskettu keskiarvokäyrät, jotta kokonaiskuvan hahmottaminen olisi helpompaa. Henkilöautopanelistien keskiarvokäyrä on esitetty keltaisella ja kuorma-autopanelistien keskiarvokäyrä mustalla. Kokonaiskuvan helpottamiseksi on kuviin laitettu huonokuntoisia kohtia kuvaamaan nuolimerkinnot. Huonokuntoisuus on näissä kuvissa määritetty kohtina, joissa koetun ajomukavuuden keskiarvo ylitti arvon 2.5. Huom. jäljempänä luvussa 5 huonokuntoisuuden kriteeriä tarkastellaan tarkemmin ja sen lopullisena kriteerinä käytettiin 30 %:n rajaa.

#### 4.2.1.1 Moottoritie

Moottoritiekohteita olivat kohteet 1–3. Niitä tarkasteltiin yhtenä kokonaisuutena, koska niillä tien standardi ja ajo-olosuhteet olivat samanlaiset.

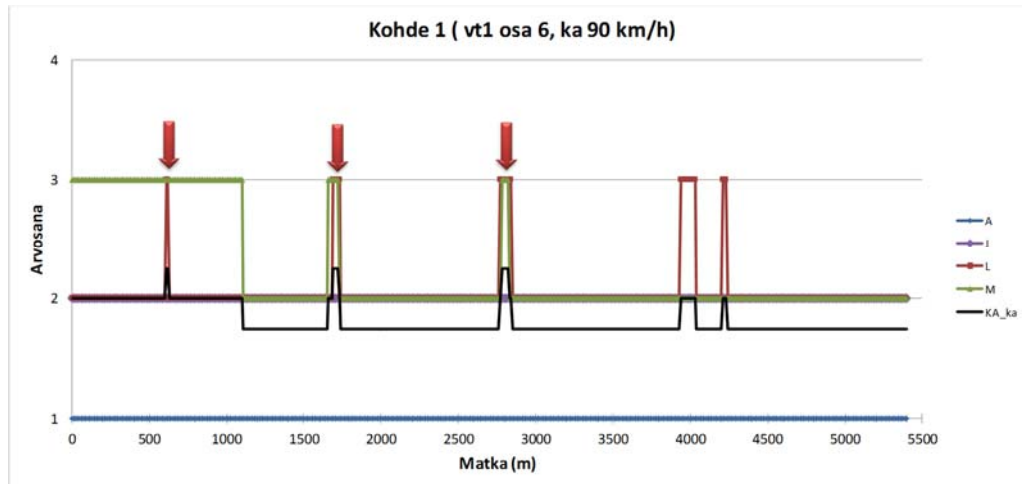
Kohteen 1 henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit matkan funktiona on esitetty kuvassa 21. Siinä havaitaan noin kymmenen huonoksi arvioitua kohtaa. Kun tiukennettiin kohtien huonoksi tulkintaa siten, että vähintään kahden panelistin tuli pitää kohtaa huonona, jotta se olisi todella huono, niin niiden lukumääräksi saatiin seitsemän kappaletta ja ne sijaitsivat kohdissa 600 m, 1000 m, 1400 m, 1600 m, 2800 m, 3000 m ja 5000 m. Toisaalta jos käytetään kriteeriä, että esim. 30 % panelisteista tulee pitää kohdetta huonona, ei kohteelta löydy henkilöautopanelistien mukaan yhtään huonoa kohtaa.



Kuva 21. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdella 1.

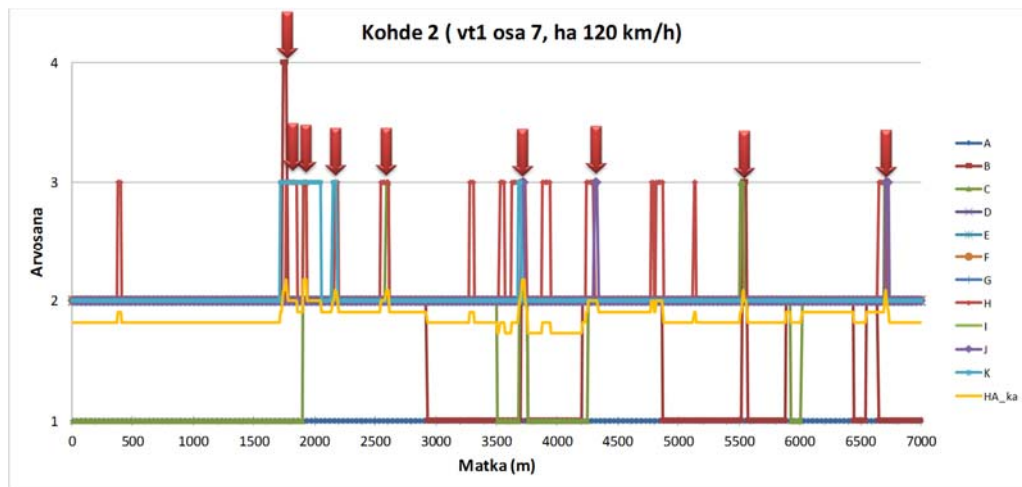
Vastaavasti menetellen saatiin kuorma-autopanelistien tuloksista kuvassa 22 kolme huonoa kohtaa, jotka sijoittuivat kohtiin 600 m, 1700 m ja 2800 m. Panelistilla L oli kaksi huonoa kohtaa kohdissa 4000 m ja 4200 m. Panelistilla M oli ilmeisesti jäänyt ensimmäisellä kilometrillä arvosana "huono" päälle, tosin ensimmäiset 500 m oli moottoritiele menevää ramppia, jolla oli paljon pitkäaaltoista epätasaisuutta, joka saattoi tuntua kuorma-autossa haitalliselta. Panelisti A tulkitse koko kohteen erittäin hyväksi.





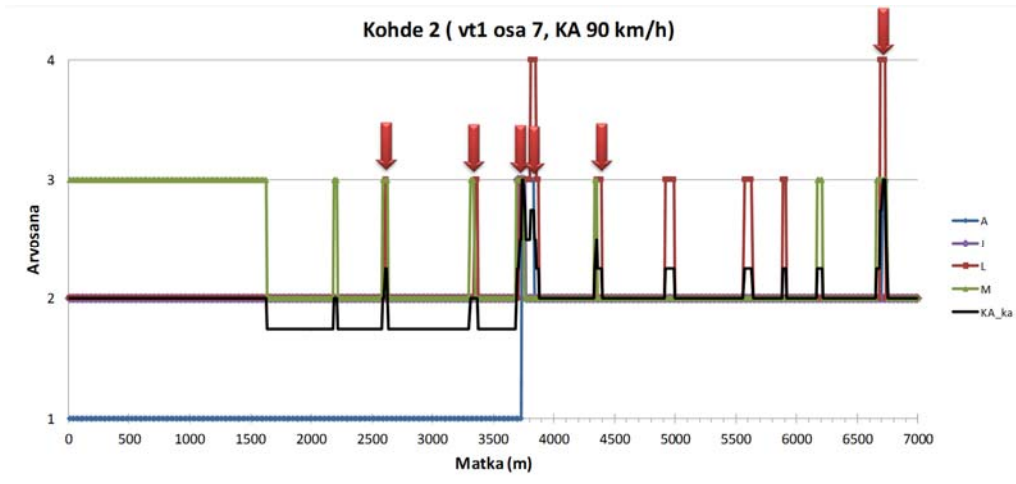
Kuva 22. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdeella 1.

Kohteella 2 oli yhdeksän sellaista kohtaa, joita vähintään kaksi henkilöautopanelistia piti huonoina (Kuva 23). Kohdat sijaitsivat matkalukemilla 1740 m, 1800 m, 1910 m, 2170 m, 2550 m, 3700 m, 4300 m, 5500 m ja 6700 m. Yksi panelisti piti ensimmäistä kohtaa erittäin huonoina.



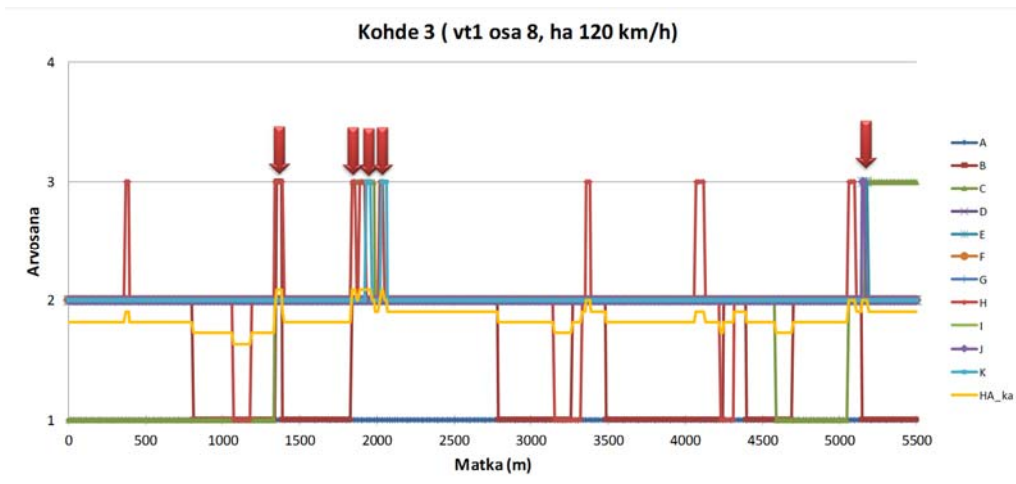
Kuva 23. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdeella 2.

Kuorma-autopanelistit löysivät kohteelta kuusi sellaista huonoa kohtaa, joita vähintään kaksi panelistia piti huonoina (Kuva 24). Ne sijaitsivat matkalukemien 2550 m, 3300 m, 3700 m, 3800 m, 4340 m ja 6700 m kohdalla.



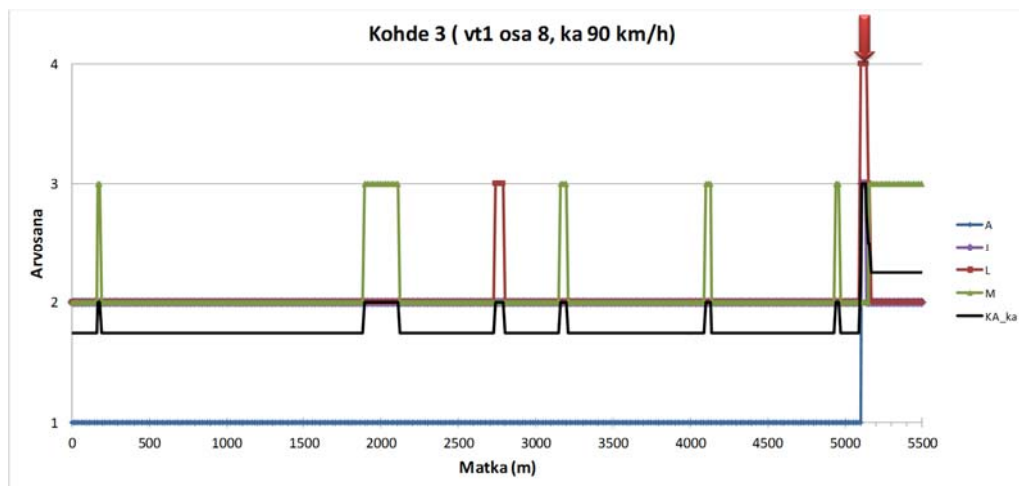
Kuva 24. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdeella 2.

Kohteelta 3 henkilöautopanelistit löysivät yhteensä viisi sellaista kohtaa, joita vähintään kaksi panelistia piti huonoina (Kuva 25). Ne sijaittivat kohdissa 1340 m, 1840 m, 1940 m, 2030 m ja 5150 m.



Kuva 25. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdeella 3.

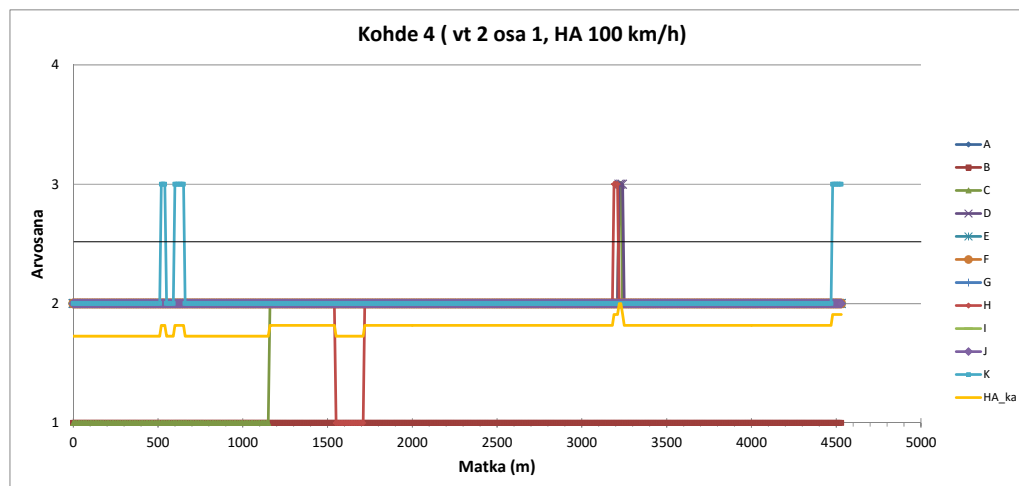
Kohteella 3 kuorma-autopanelistit löysivät ainoastaan yhden sellaisen kohdan, jota vähintään kaksi panelistia piti huonoina (Kuva 26). Se oli kohdassa 5150 m.



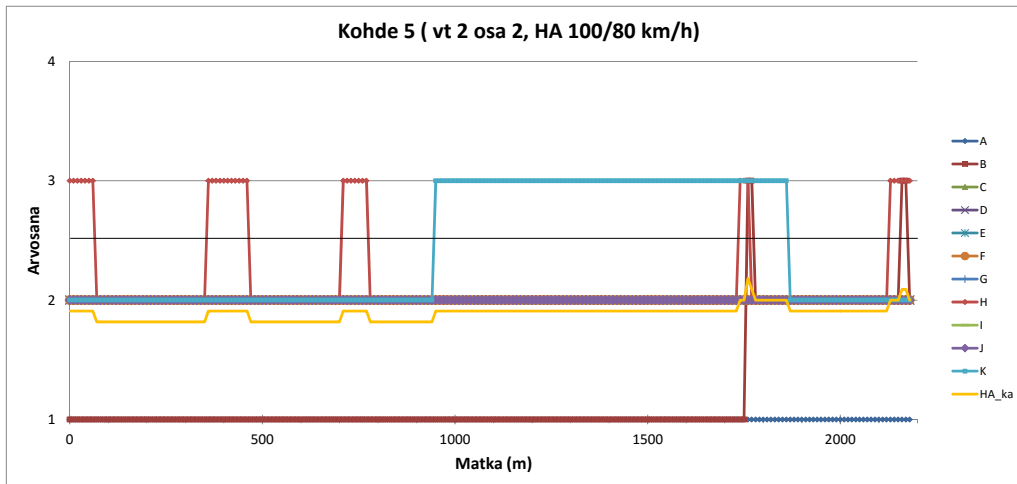
Kuva 26. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdeella 3.

#### 4.2.1.2 Valtatie

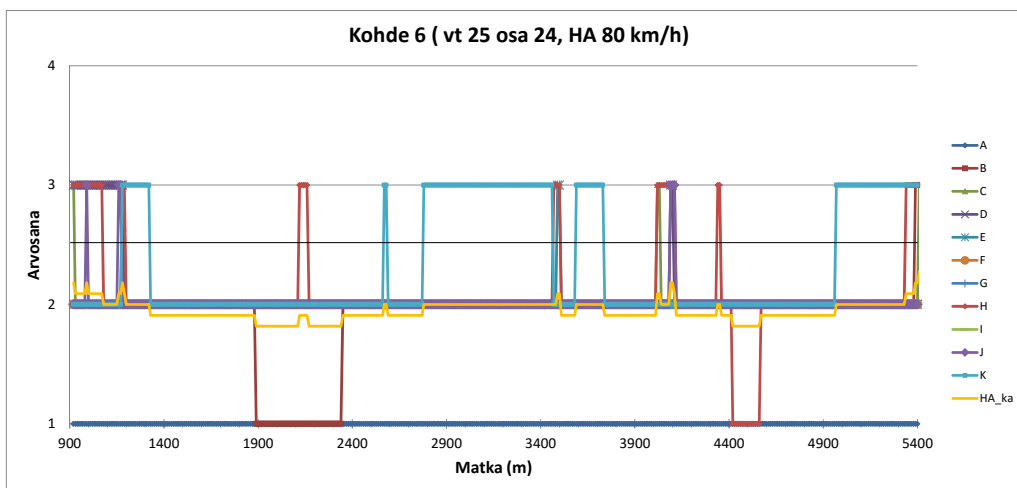
Valtatiekohteita olivat kohteet 4-5 valtatie kahdella ja kohteet 6–7 valtatie 25:llä. Arvosanaprofiilit panelistien kokemasta kunnosta on esitetty kuvissa 27–34. Henkilöautopanelistit pitivät kohteita pääasiassa hyvinä. Kuntoluokat vaihtelivat erittäin hyvästä huonoon. Yhdessä kohdassa yksi panelisti oli kokenut kohdan erittäin huonoksi. Kohdeella 4 oli yksi kohta 3200 m, jota kaksi panelistia piti huonona. Kohdeella 5 oli yksi samanlainen kohta kohdassa 1500 m, mutta siinä toisella panelistilla oli todennäköisesti jäänyt huono-nappi pohjaan eikä sen oikeellisuudesta voida olla varmoja. Kohdeilla 6 ja 7 oli hiukan enemmän huonoja arvosanoja, mutta arvosanojen keskiarvo ei ylittänyt tasoa 2.5 missään kohdassa.



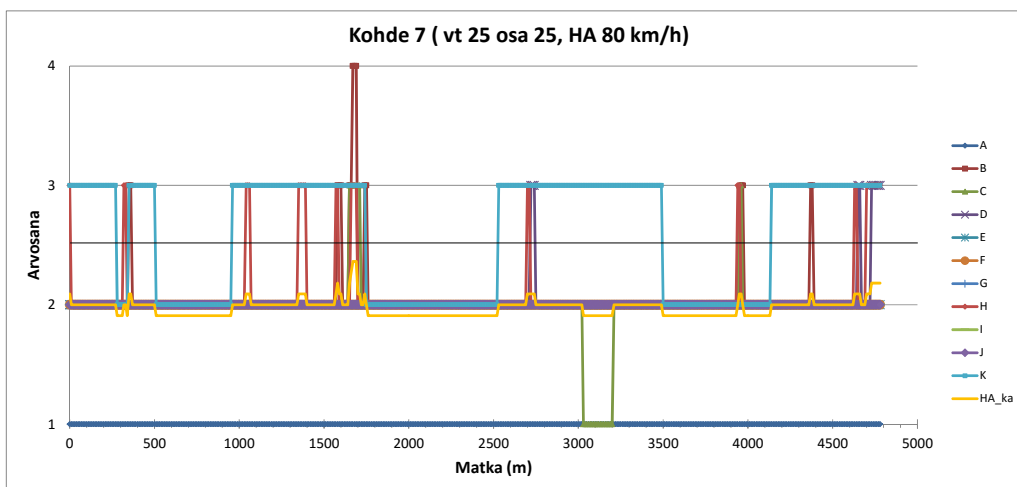
Kuva 27. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdeella 4.



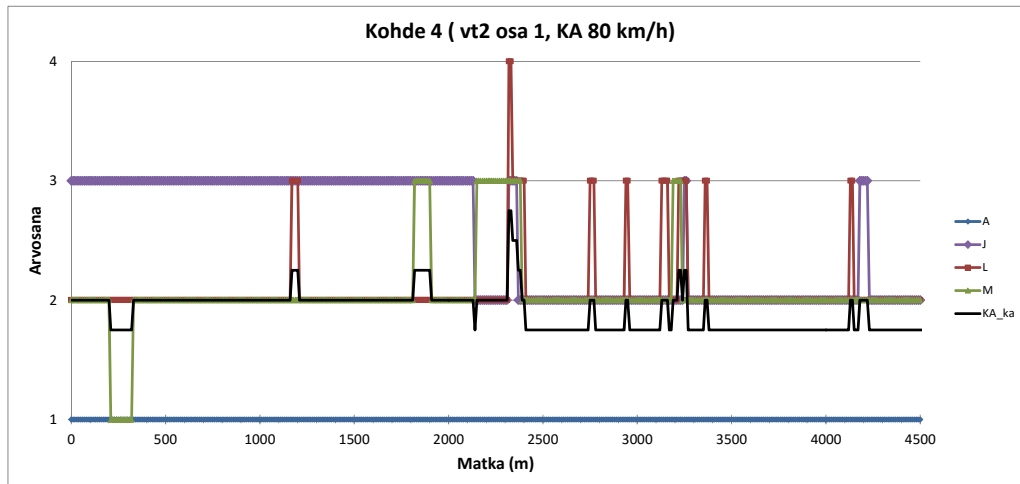
Kuva 28. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofili kohdella 5.



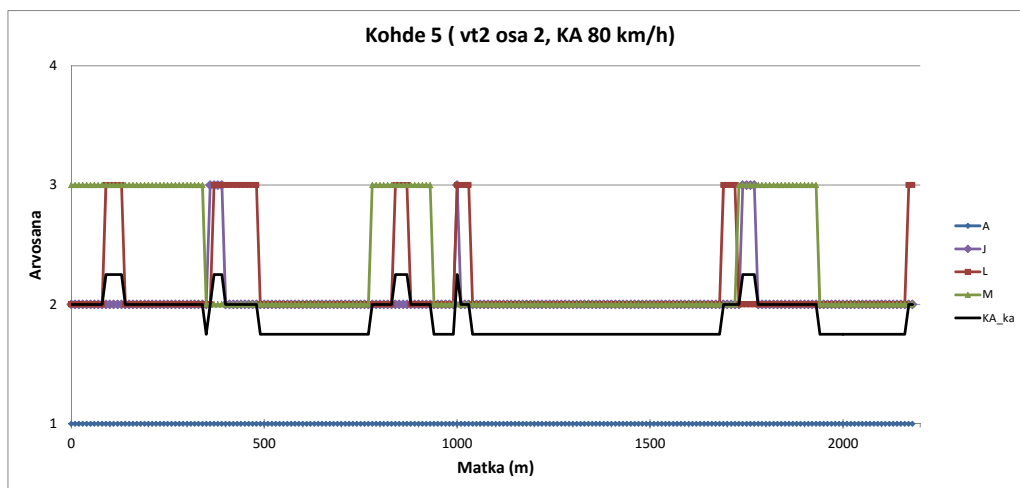
Kuva 29. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofili kohdella 6.



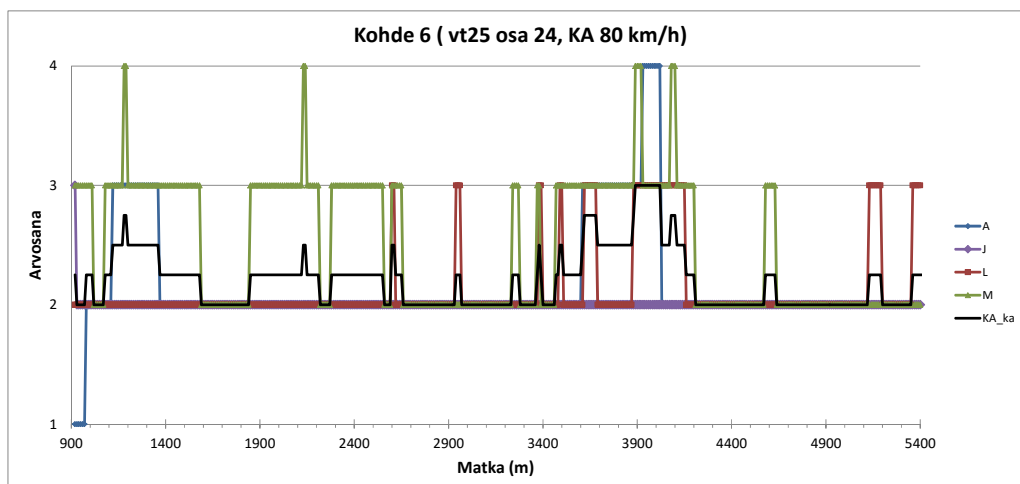
Kuva 30. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofili kohdella 7.



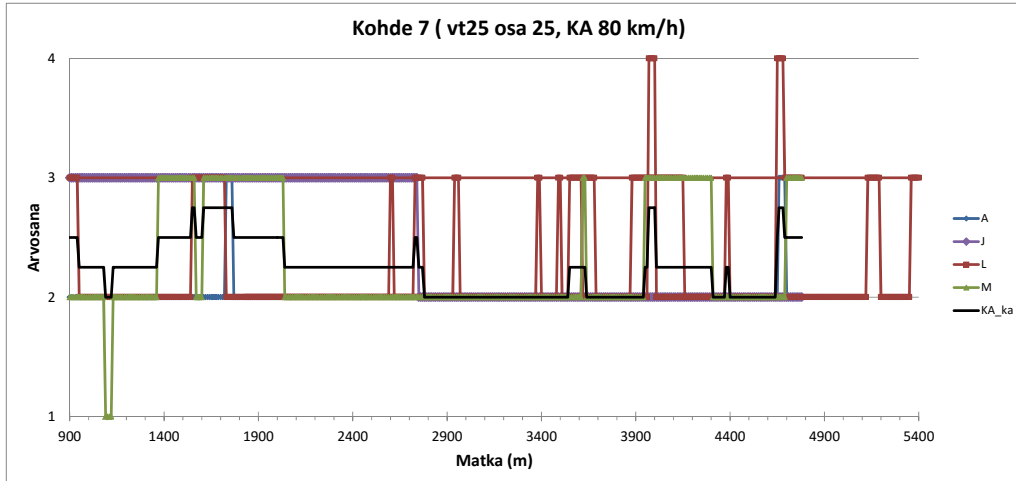
Kuva 31. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profilit ja keskiarvoprofili kohdeella 4.



Kuva 32. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profilit ja keskiarvoprofili kohdeella 5.



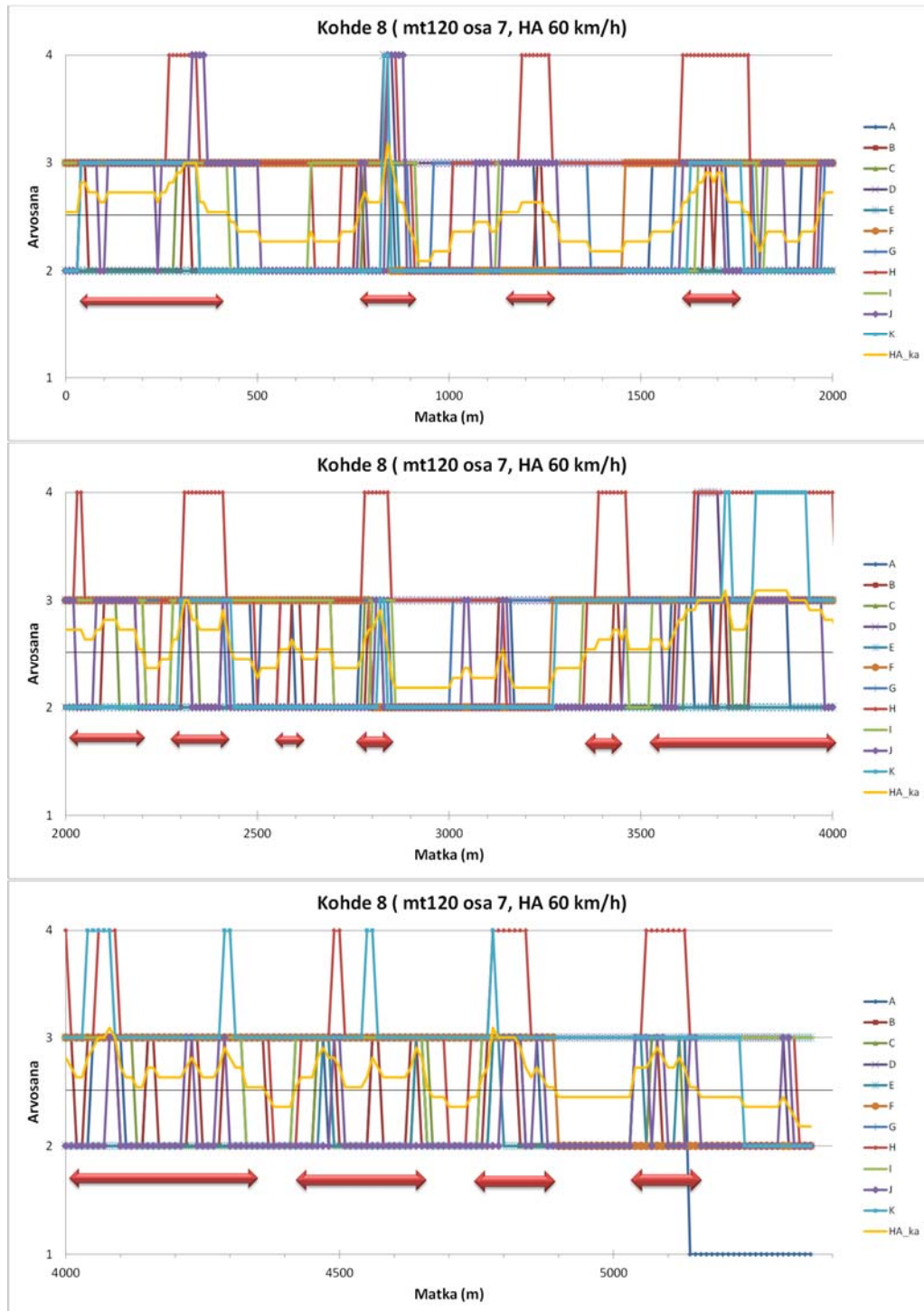
Kuva 33. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profilit ja keskiarvoprofili kohdeella 6.



Kuva 34. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit ja keskiarvoprofiili kohdeella 7.

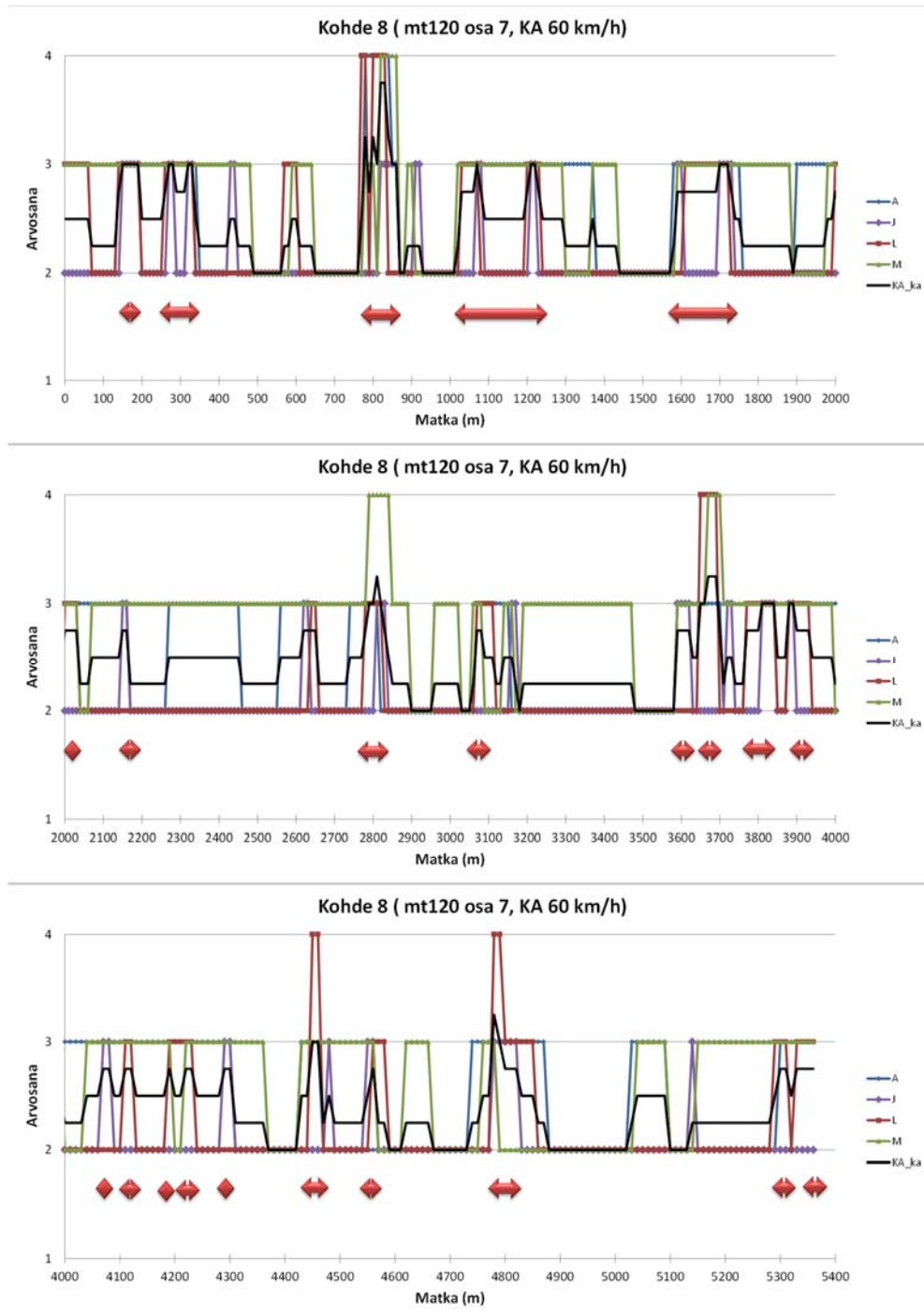
#### 4.2.1.3 Seututie

Seututiekohdetta edustivat kohteet 8–10, jotka sijaitsivat maantiellä 120 (tieosat 7, 6 ja 5 aj järjestyksessä). Panelistien arvosanojen profiilit on esitetty kuvissa 35, 37 ja 39 (henkilöautopanelistit) ja 36, 38 ja 40 (kuorma-autopanelistit). Ajo- ja simulointinopeudet olivat kaikille seututiekohdeille 60 km/h. Kaikki kolme seututiekohdetta olivat melko huonokuntoisia, mikä näkyi panelistien arvosanoissa. Kohteilla oli niin paljon huonokuntoisia osuuksia, että niitä oli hankala erottaa profiilikuvista. Huonokuntoisuuden kriteeriksi oli valittava joku toinen tunnusluku ja sellaiseksi valittiin arvosanojen keskiarvo, jolle asetettiin raja-arvoksi 2.5. Ne osuudet, joilla kyseinen keskiarvo ylitti raja-arvon 2.5, tulkittiin huonokuntoisiksi. Kohteella 8 tällaisia kohtia oli henkilöautopanelistien arvosanoista laskettuna yhteensä 13 kpl ja ne olivat kohdissa 50–450 m, 770–910 m, 1150–200 m, 1600–1750 m, 1950–2200 m, 2300–2400 m, 2550–2600 m, 2750–2850 m, 3350–3450 m, 3500–4350 m, 4420–4650 m ja 4750–4900 m, 5050–5150 m. Kohteella oli myös useita erittäin huonokuntoisiksi luokiteltavia kohtia.



Kuva 35. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 8 matkalla.

Kuorma-autopanelistien arvosanoista löydettiin kohteelle 8 yhteensä 23 huonoa osuutta, joiden matkalukemat olivat 120–200 m, 250–350 m, 770–870 m, 1000–1250 m, 1550–1750 m, 1980–2040 m, 2150–2170 m, 2750–2850 m, 3050–3100 m, 3580–3630 m, 3650–3700 m, 3780–3840 m, 3880–3950 m, 4050–4080 m, 4100–4130 m, 4180–4190 m, 4200–4240 m, 4280–4300 m, 4430–4470 m, 4540–4570 m, 4770–4820 m, 5290–5320 m ja 5350–5400 m (Kuva 36).

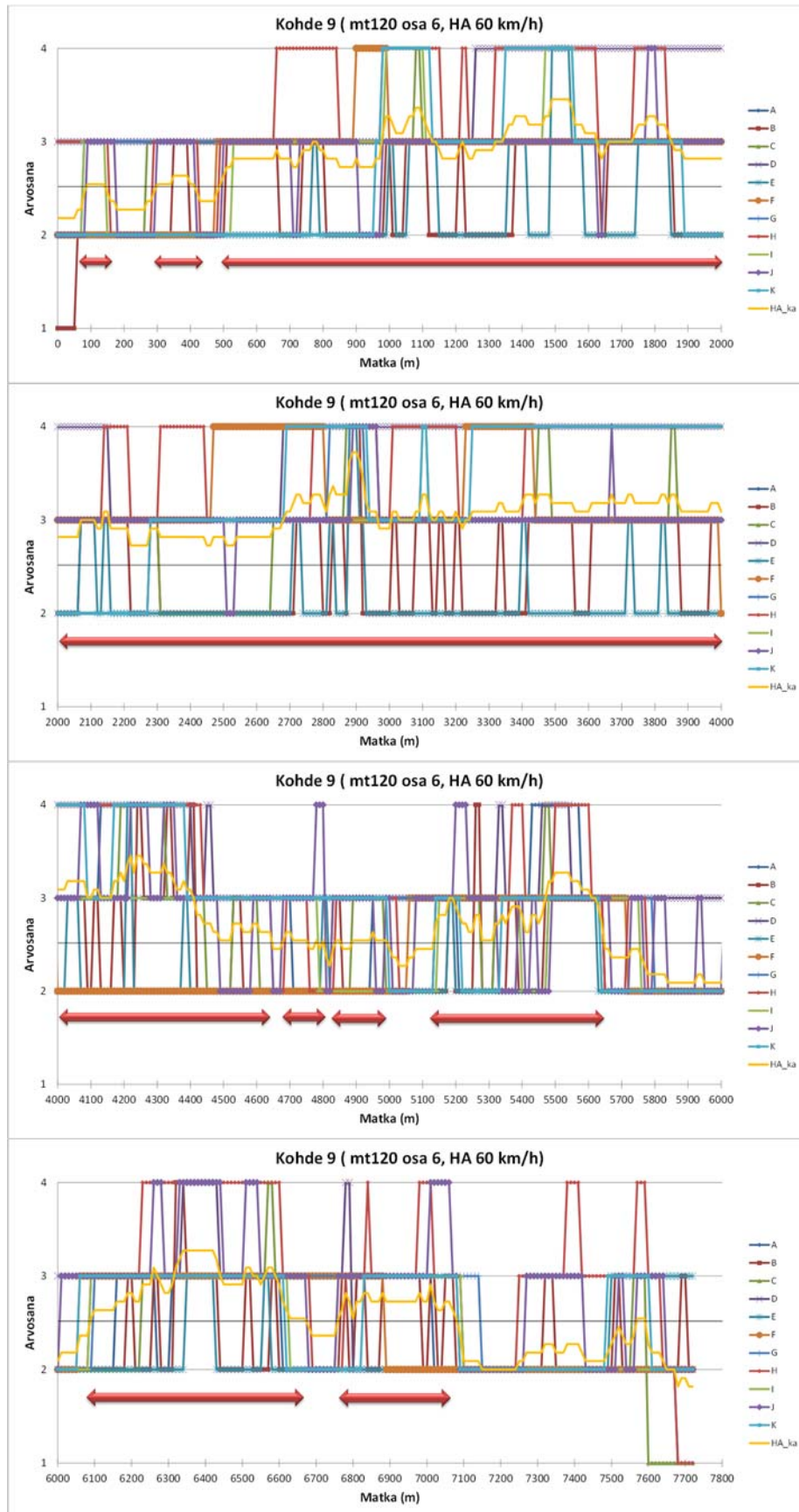


Kuva 36. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 8 matkalla.

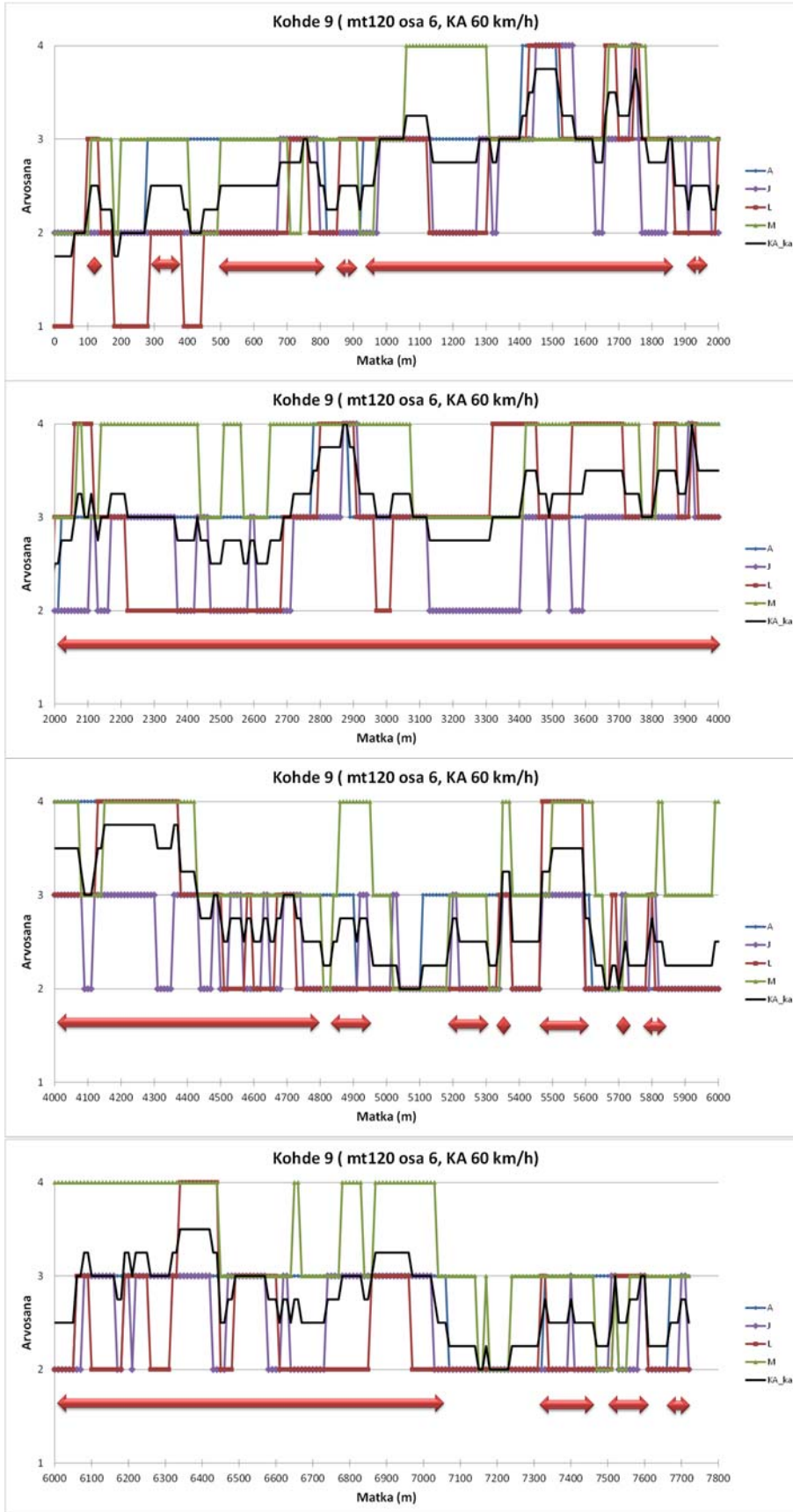
Henkilöautopanelistien arvosanojen perusteella kohteelle 9 löydettiin yhteensä kahdeksan huonokuntoista osuutta, joiden sijainnit ovat 70–160 m, 300–430 m, 500–4650 m, 4680–4800 m, 4820–5000 m, 5120–5650 m, 6100–6650 m ja 6750–7100 m (Kuva 37).

Kuorma-autopanelistien arvosanoista laskettiin kohteelle 9 yhteensä 17 huonoa kohtaa, jotka sijoittuivat kohtiin 100–150 m, 300–380 m, 500–800 m, 850–900 m, 950–1850 m, 1900–1950 m, 2000–4800 m, 4850–4950 m, 5200–5300 m, 5340–5360 m, 5470–5600 m, 5700–5720 m, 5780–5830 m, 6000–7050 m, 7310–7460 m, 7500–7600 m ja 7650–7720 m. Noin puolet kohdista oli lyhyitä alle 100 m. Kolme kohtaa olivat pitkiä (Kuva 38).



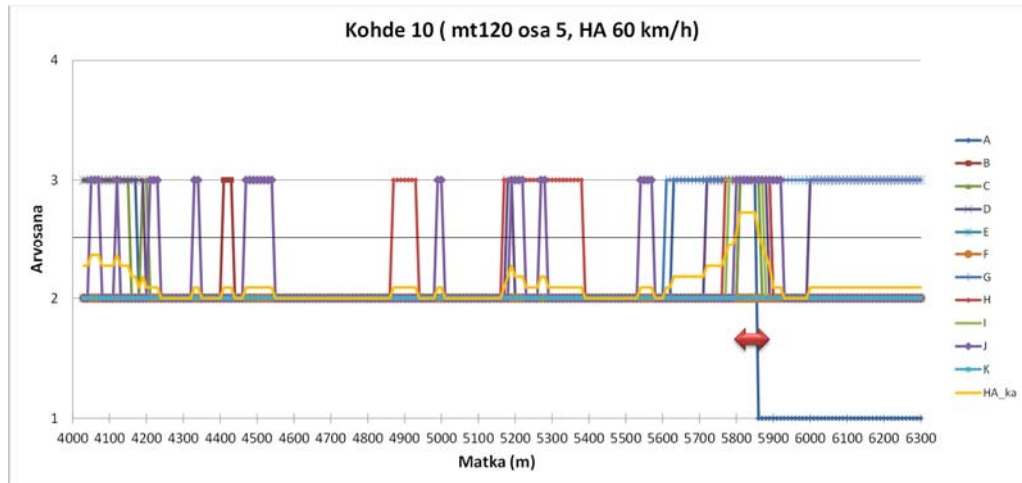


Kuva 37. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 9.

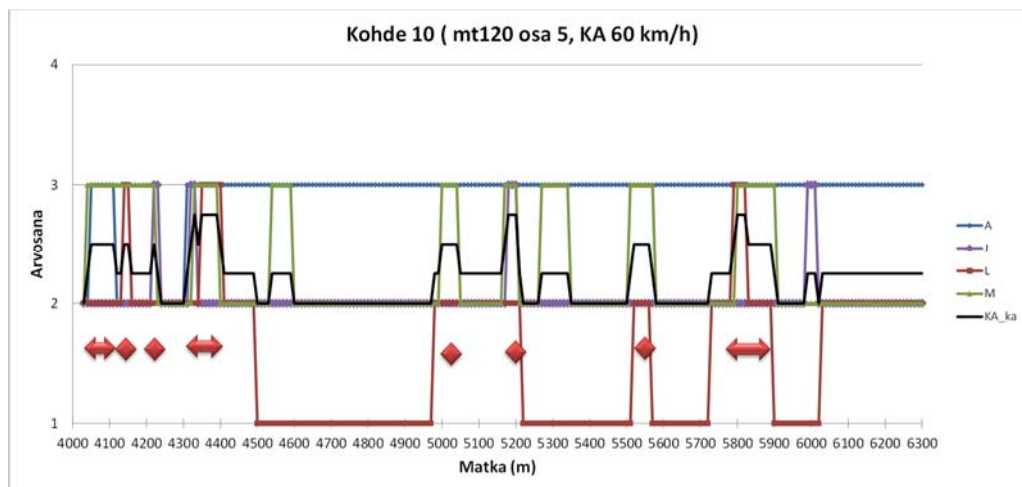


Kuva 38. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 9.

Henkilöautopanelistien arviot tuottivat kohteelle 10 vain yhden huonon kohdan, joka sijaitsi kohdassa 5800–5850 m (Kuva 39). Kuorma-autopanelistien arviot sen sijaan tuottivat kahdeksan huonokuntoista kohtaa, jotka sijaitsivat kohdissa 4030–4100 m, 4120–4140 m, 4200–4210 m, 4300–4400 m, 5000–5030 m, 5180–5210 m, 5530–5560 m ja 5790–5890 m (Kuva 40).



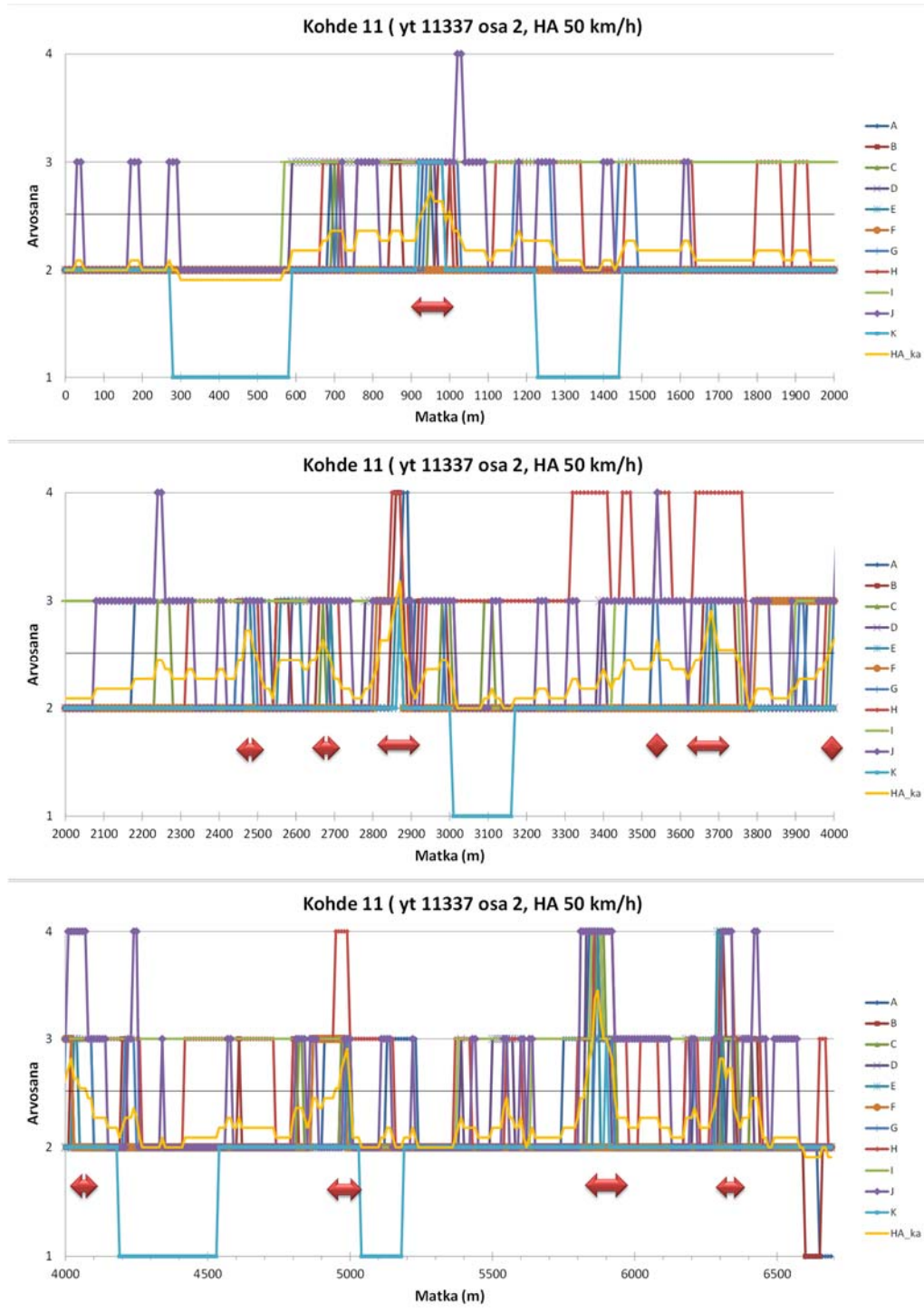
Kuva 39. Henkilöautopanelistien arvosanojen profilit kohteella 10.



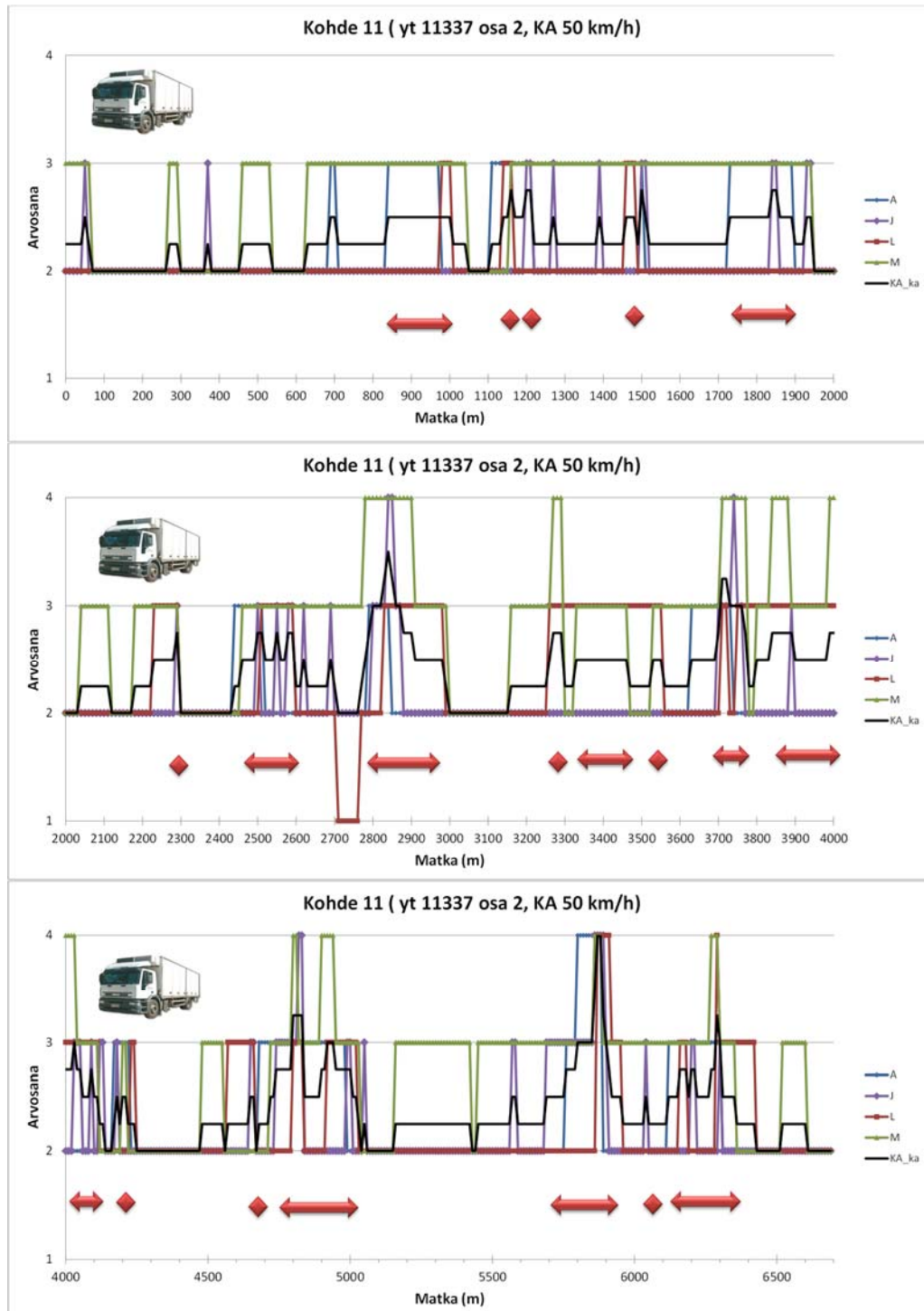
Kuva 40. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profilit kohteella 10.

#### 4.2.1.4 Yhdystie

Yhdystiekohteita olivat kohteet 11 ja 12. Ne ajettiin ja simuloitiin kakkossuuntaan nopeudella 50 km/h. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit on esitetty kahden kilometrin jaksoina kuvassa 41. Sen mukaan huonoja kohtia oli 11 kpl. Kohteella oli myös erittäin huonoksi koettuja kohtia.



Kuva 41. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 11.

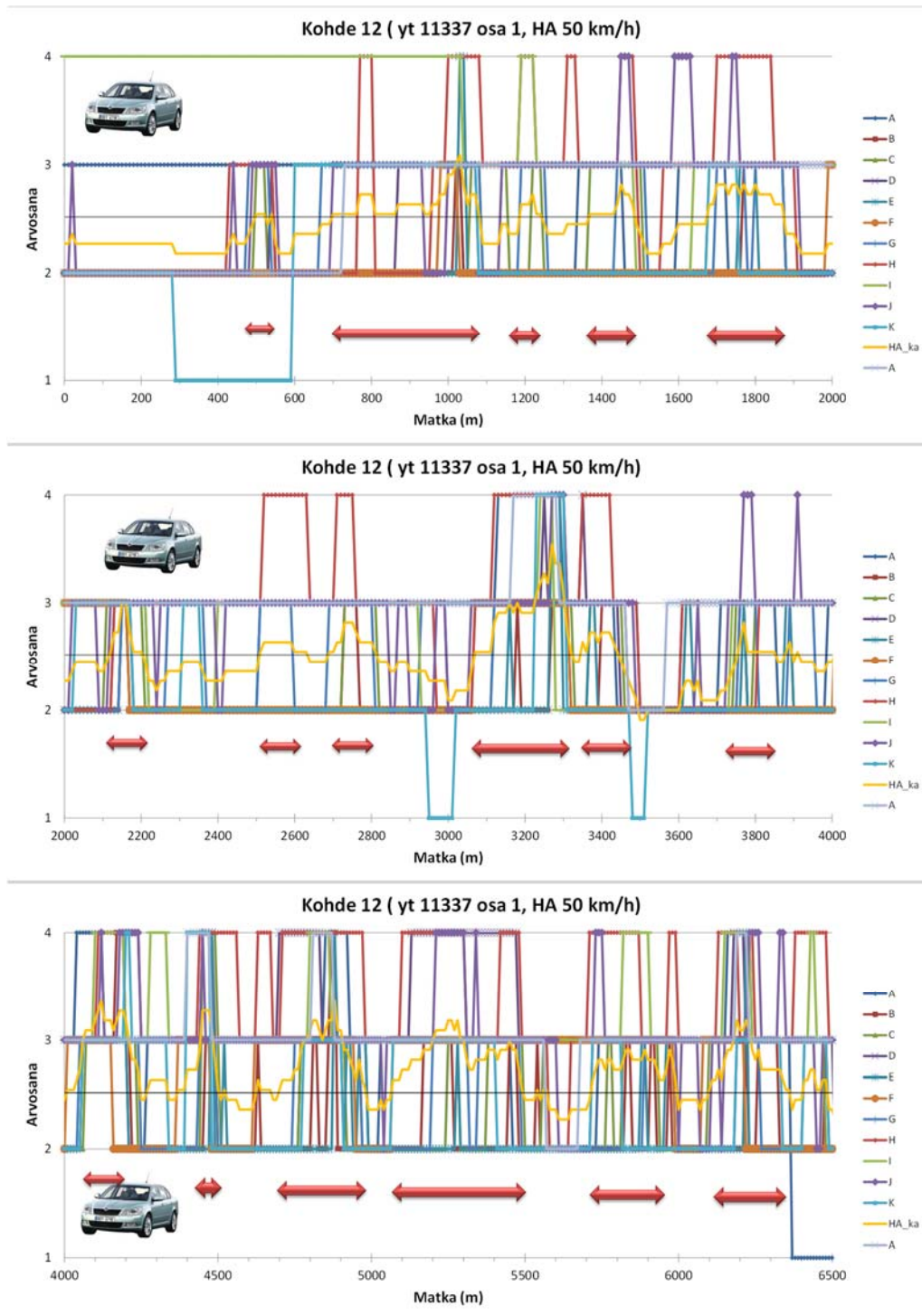


Kuva 42. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 11.

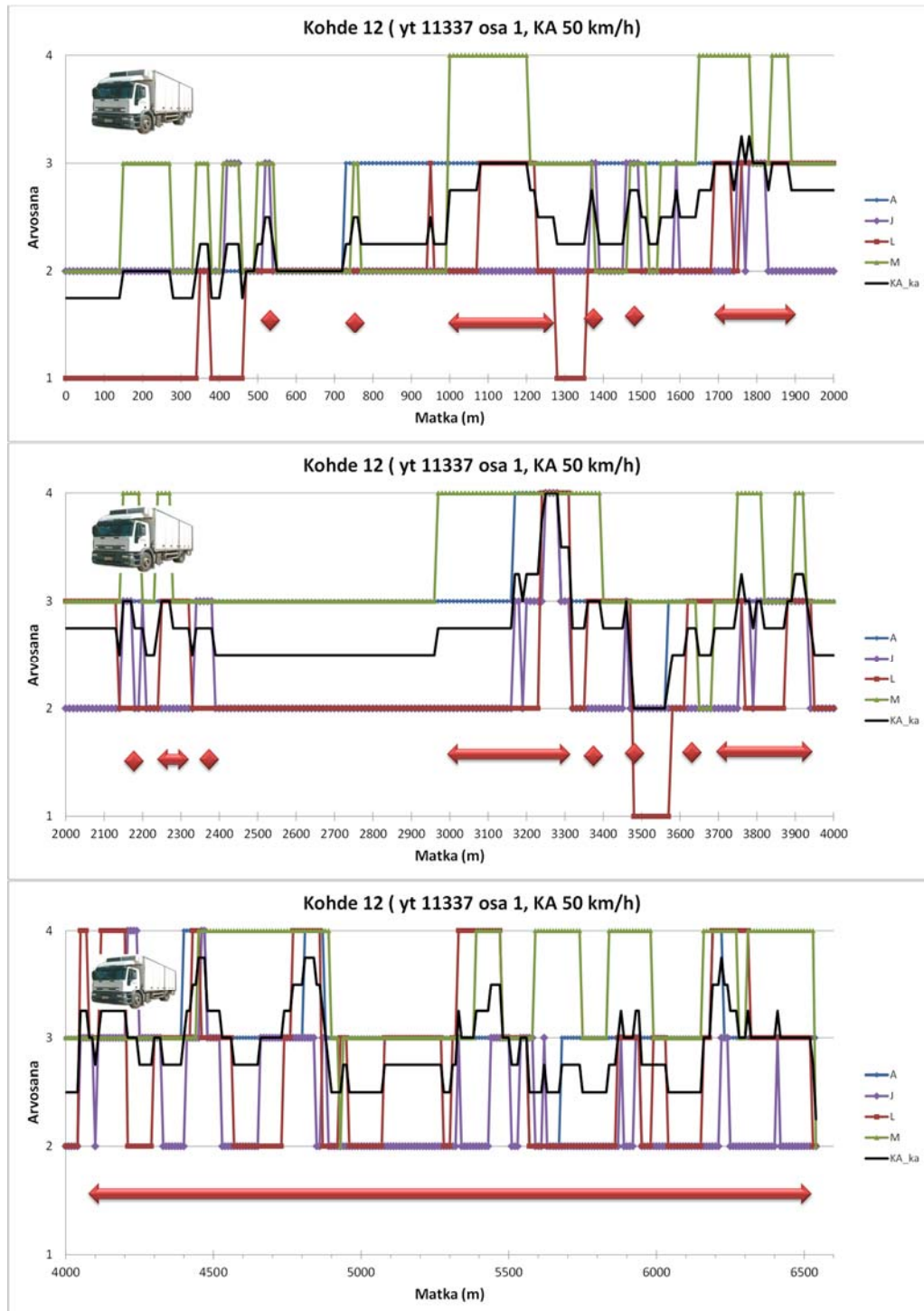
Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit on esitetty kahden kilometrin jaksoina kuvassa 42. Sen mukaan huonoja kohtia oli 20 kpl. Kohteella oli myös erittäin huonoksi koettuja kohtia. Osa huonoista kohdista oli lyhyitä ja osa pitempiä. Kuorma-autopanelistit arvioivat kohteen kunnon huonommaksi kuin henkilöautopanelistit.

Kohteella 12 henkilöautopanelistit arvioivat noin 17 huonoa kohtaa (Kuva 43). Osa panelisteista arvioi myös erittäin huonoja kohtia. Arvosanoissa oli melko paljon vaihtelua. Arvosanojen keskiarvokäyrä on esitetty keltaisella.

Kohteen 12 kuorma-autopanelistit arvioivat noin 15 huonoa kohtaa, joista viimeinen oli yllättävän pitkä, yli 3 km (Kuva 44). Arvosanat painottuivat hyvään (2) ja huonoon (3). Kohteen loppuosa sisälsi paljon erittäin huonoa (4).



Kuva 43. Henkilöautopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 12.



Kuva 44. Kuorma-autopanelistien arvosanojen profiilit kohteella 12.

## 4.2.2 Huonojen kohtien määrä

### 4.2.2.1 Yleistarkastelu

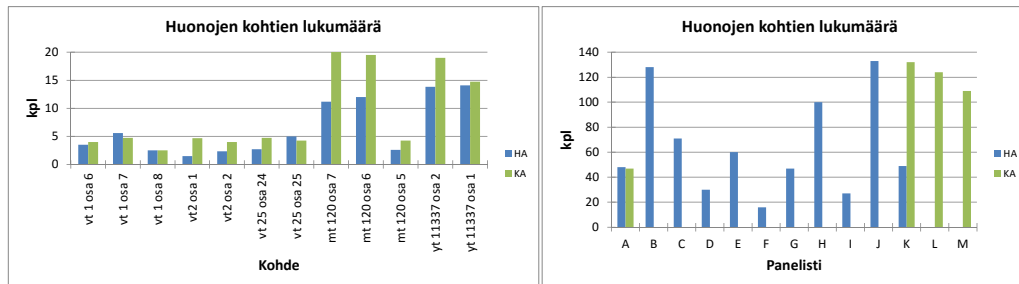
Taulukossa 8 on esitetty yhteenveto ajopaneelin tuloksista kohteittain. Vasemmassa osassa on tiepituus eri kuntoluokissa ja oikeanpuoleisessa osassa prosentuaaliset jakaumat. Kohteiden kuntoluokka oli luonnollisesti valtaosaltaan hyvä. Huonokuntoiseksi luokiteltua pituutta oli keskimäärin 24 %. Kohteilla 1–3 huonokuntoisia osuuksia oli vähiten, kohteilla 4–7 jonkun verran enemmän ja kohteilla 8–12 paljon edellisiä enemmän. Huonokuntoisin kohde oli nro 9, jolla huonokuntoista oli keskimäärin 70 %.

Taulukko 8. Keskimääräinen ajomukavuus kohteilla.

Kohde		Kuntoluokka				Pituus m	Kuntoluokka				Yhteensä
		1	2	3	4		1	2	3	4	
		Erittäin hyvä	Hyvä	Huono	Erittäin huono		Erittäin hyvä	Hyvä	Huono	Erittäin huono	
vt 1 osa 6	1	298	4492	119	0	4909	6 %	92 %	2 %	0 %	100 %
vt 1 osa 7	2	331	6704	185	9	7229	5 %	93 %	3 %	0 %	100 %
vt 1 osa 8	3	306	4741	99	3	5150	6 %	92 %	2 %	0 %	100 %
vt2 osa 1	4	72	3797	82	2	3953	2 %	96 %	2 %	0 %	100 %
vt2 osa 2	5	0	1975	211	0	2186	0 %	90 %	10 %	0 %	100 %
vt 25 osa 24	6	39	4073	374	19	4505	1 %	90 %	8 %	0 %	100 %
vt 25 osa 25	7	14	4380	385	9	4788	0 %	91 %	8 %	0 %	100 %
mt 120 osa 7	8	0	2705	2505	153	5363	0 %	50 %	47 %	3 %	100 %
mt 120 osa 6	9	18	2270	4356	1083	7727	0 %	29 %	56 %	14 %	100 %
mt 120 osa 5	10	108	1935	276	0	2318	5 %	83 %	12 %	0 %	100 %
yt 11337 osa 2	11	85	4823	1643	141	6692	1 %	72 %	25 %	2 %	100 %
yt 11337 osa 1	12	64	3061	2843	576	6544	1 %	47 %	43 %	9 %	100 %
Yhteensä		1334	44956	13078	1996	61364	2 %	73 %	21 %	3 %	100 %

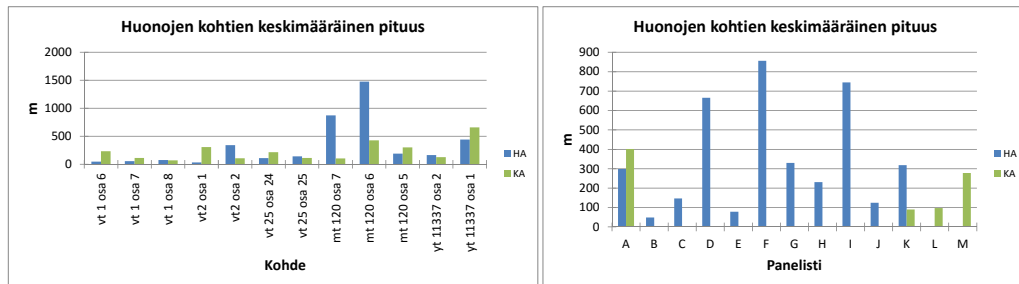
Huonojen kohtien lukumäärä vaihteli kohteesta ja panelistista riippuen paljon. Valtatiekohteilla niitä oli selvästi vähemmän kuin maantie- ja yhdystiekohteilla.

Henkilöautopanelistit saivat keskimäärin vähemmän huonoja kohtia kuin kuorma-autopanelistit. Huonojen kohtien lukumäärä vaihteli panelistista riippuen välillä 17–131. Lukumäärään vaikutti paljon se, miten tiuhasti panelisti vaihtoi kuntoluokkia.



Kuva 45. Huonojen kohtien lukumäärät kohteittain ja panelisteittain.

Huonojen kohtien keskimääräinen pituus vaihteli paljon kohteittain ja panelisteittain. Lyhimpiä huonot kohdat olivat valtatietekohteilla ja pisimpiä maantiellä 120. Panelisteilla D, F ja I huonojen kohteiden keskimääräinen pituus oli suurin ja panelisteilla B ja E pienin. Vaihtelu oli välillä 39–850 m.



Kuva 46. Huonojen kohtien keskimääräinen pituus kohteittain ja panelisteittain.



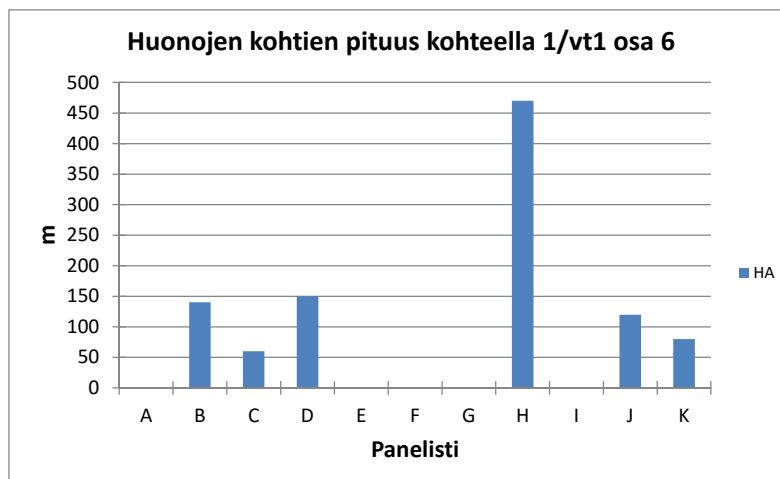
#### 4.2.2.2 Määrät kohteittain

Huonojen kohtien pituudet kohteittain ja henkilöittäin on esitetty kuvissa 47- 58. Kuvassa 47 on esitetty huonot kohdat kohteella 1. Panelistit A, E, F, G ja I eivät tunnista neet yhtään huonoa kohtaa sen sijaan panelisti H tunnisti niitä 470 m. Panelisteilla B, C, D, J ja K määrä oli välillä 50–150 m.

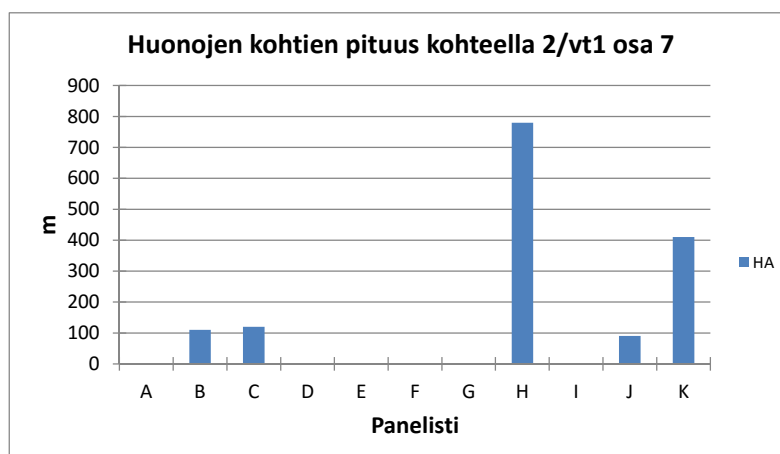
Kuvassa 48 panelistit A, D, E, F, G ja I eivät tunnistaneeet yhtään huonoa kohtaa, panelisti H tunnisti 790 m ja muut väliltä 90–400 m.

Kuvassa 49 kohteella 3 tunnistus on tapahtunut hyvin samantyyppisesti kuin muilla kohteilla vt 1:llä. Eniten huonoja kohtia tunnisti panelisti C.

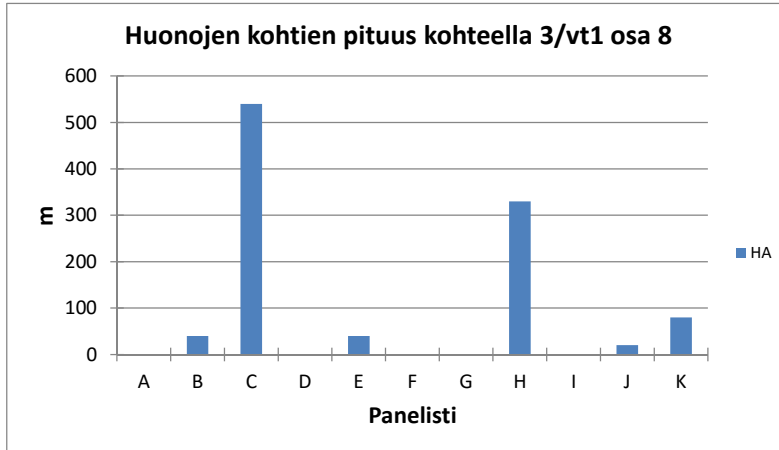
Yhteenvedona valtatie 1 kohteilta voidaan todeta, että panelistein arviot jakautuivat sikäli kahtia, että toinen osa henkilöautopanelisteista (3–6) ei tunnistanut huonoja kohtia ollenkaan ja toinen osa (4–7) tunnisti niitä selvästi. Poikkeuksena oli kuitenkin panelisti H, joka tunnisti huonoja kohtia kaikkein eniten.



Kuva 47. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 1 (vt1/006).

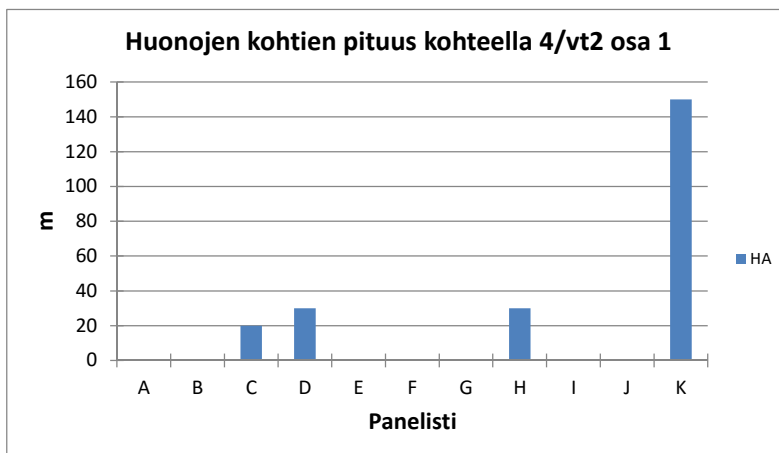


Kuva 48. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 2 (vt1/007).

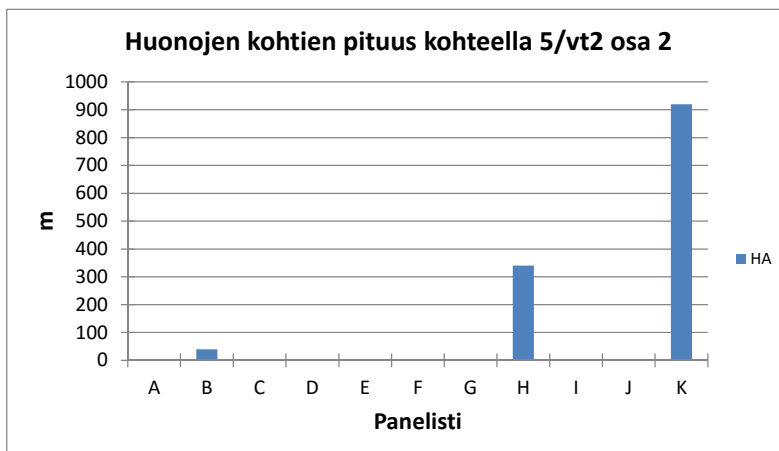


Kuva 49. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 3 (vt1/008).

Kohteilla 4 ja 5 huonoja kohtia tunnistivat 3-4 panelistia ja 7-8 eivät tunnistaaneet ollenkaan. panelisti K tunnisti eniten huonoja.

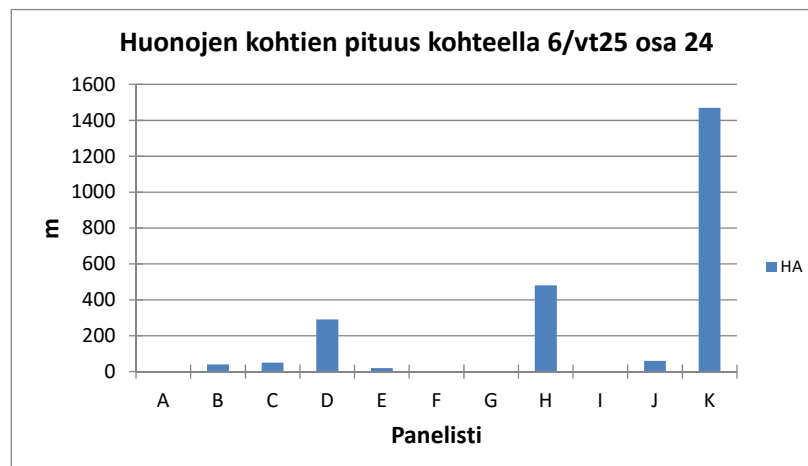


Kuva 50. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 4 (vt2/001).

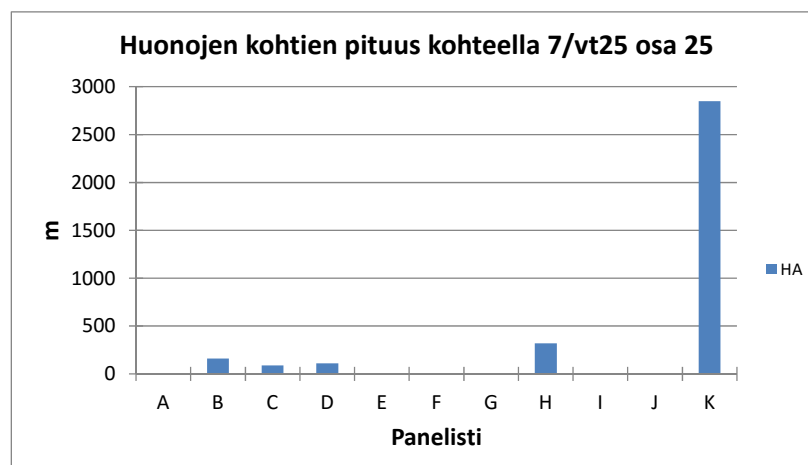


Kuva 51. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 5 (vt2/002).

Kohteilla 6 ja 7 huonoja kohtia tunnistivat 5-7 panelistia ja 4-6 eivät tunnistaneet ollenkaan. panelisti K tunnisti eniten huonoja.



Kuva 52. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 6 (vt25/024).

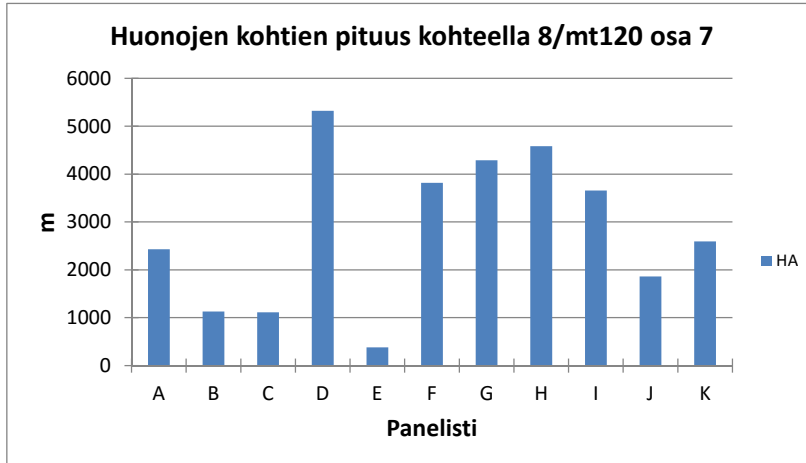


Kuva 53. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 7 (vt25/025).

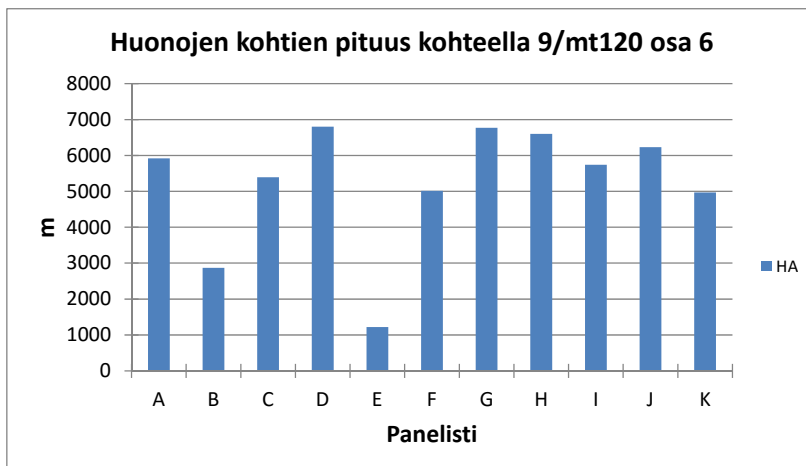
Kohteet 8–10 olivat huonokuntoiselta maantieltä, jolla oli nopeusrajoituksena 60 km/h. Kaikki panelistit tunnistivat huonoja kohtia lukuun ottamatta panelistia K kohteella 10. Kohteella 8 huonoja kohtia tunnistivat panelisti B, C ja E noin 1000 m, panelistit A, J ja K noin 2000 m ja loput noin 4000 m.

Kohteella 9 huonoja tunnistivat panelisti E noin 1000 m, panelisti B noin 3000 m ja loput noin 5000–7000 m.

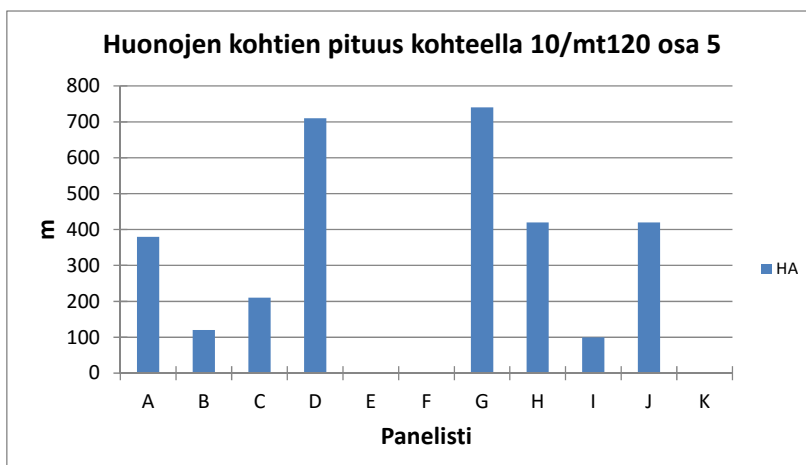
Kohteella 10 panelistit E, F ja K eivät tunnistaneet huonoja kohtia, muut tunnistivat 100–700 m.



Kuva 54. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 8 (mt120/007).



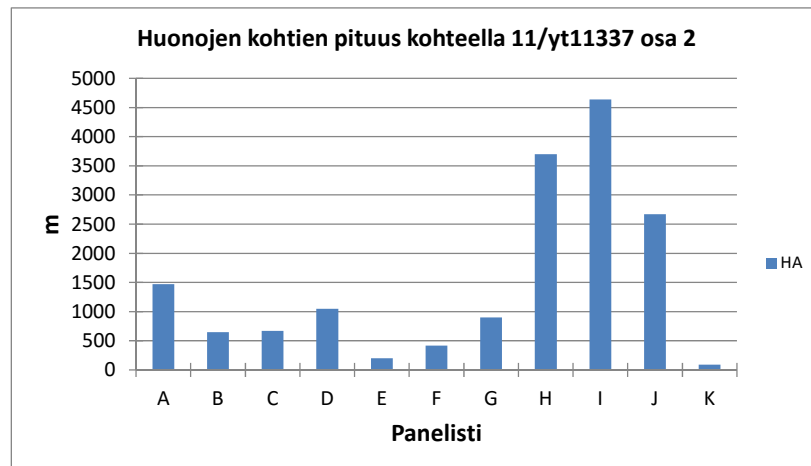
Kuva 55. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 9 (mt120/006).



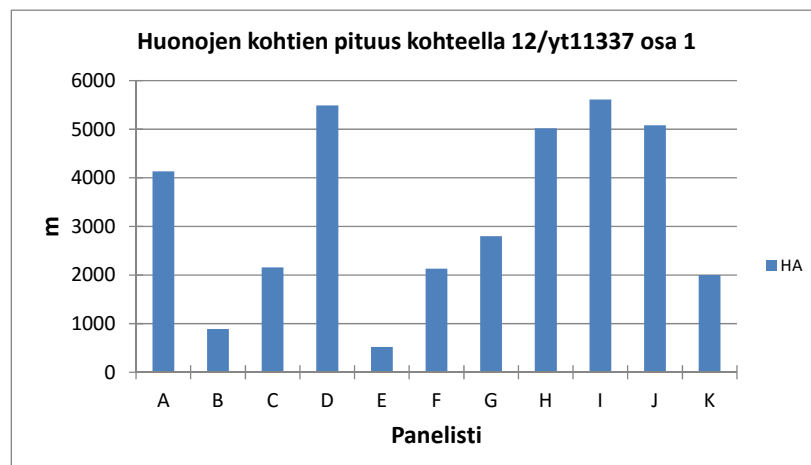
Kuva 56. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 10 (mt120/005).

Kohteet 11 ja 12 olivat mutkaiselta ja huonokuntoiselta yhdystieltä, jolla oli nopeusrajoituksena 50 km/h. Kohteelta 11 panelistit A-G ja K tunnistivat huonoja kohtia suhteellisen vähän, 0–1000m kun muut panelistit, H–J tunnistivat 2500–4500 m.

Kohteella 12 panelistien tunnistus tuotti huonoja kolmessa eri ryhmässä; panelisteilla B ja E alle 1000m, panelisteilla C, F, G ja K noin 2000–3000 m ja panelisteilla A, D, H, I ja J 4000–5500 m.



Kuva 57. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 11 (yt 11337/002).



Kuva 58. Henkilöautopanelistien arvioima huonojen kohtien yhteispituus kohteella 12 (yt 11337/001).

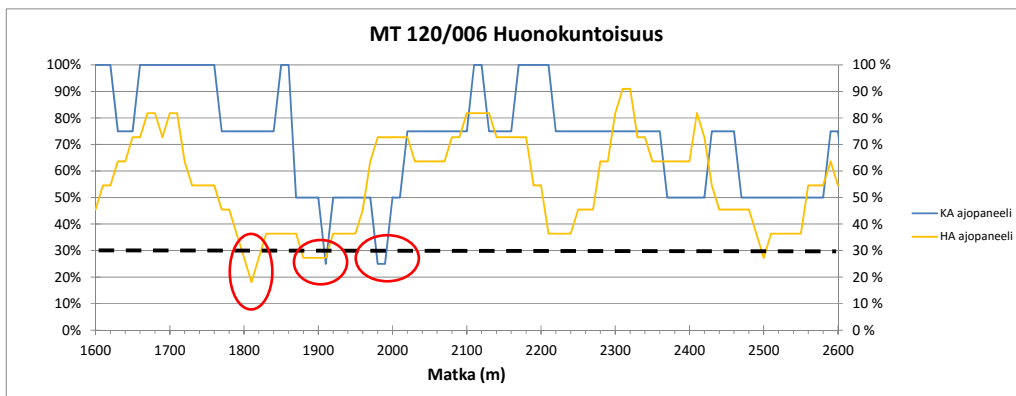
Panelisteilta saatiin mm. seuraavia kommentteja:

- mt 120 alussa kriteeri oli ehkä hiukan tiukka, mutta löyseni myöhemmin.
- moottoritiellä kakkoskaistalla ajo häiritsi jonkin verran arviointia
- takapenkillä eri tuntuma kuin arvioidessa.
- arviointi voisi koskea pitempiä osuuksia.
- aika vähän erittäin huonoa
- pitempiä pätkiä
- aika vähän huonoja
- kaikki epätasaisuus ei välttämättä edellytä korjaustoimenpiteitä

### 4.2.3 Huonokuntoisuus

Panelistien kokema ajomukavuus muunnettiin tien huonokuntoisuudeksi tarkastelemalla arvosanojen huonojen luokkien osuutta. Huonokuntoisuus määritettiin kahden huonoimman luokan suhteelliseksi osuudeksi kaikkien panelistien arvosanojen lukumäärästä ja se on siten eräänlainen huonouden todennäköisyys. Se laskettiin kullekin kymmenmetriselle erikseen. Panelistien arviot eivät toki menneet sijainnin osalta täsmälleen päällekkäin ja siitä aiheutui jonkin verran virhettä, mutta siitä oltiin tietoisia. Panelistien arvosanojen vaihtumiskohtien synkronointi toisiinsa nähden olisi ollut liian työläs tehtävä.

Kirjallisuudessa huonokuntoisuus on usein määritetty siten, että on tarkasteltu sitä arvoa, jonka 50 % panelisteista pitää huonona. Tässä työssä kriteeriksi valittiin 30 %, ts. tien kohta oli huonokuntoinen, jos vähintään 30 % panelisteista piti sitä joko huonona tai erittäin huonona.



Kuva 59. Huonokuntoisuuden määrittämisen periaate.

## 5 Tien tasaisuuden tunnusluvut

### 5.1 Tunnuslukujen laskeminen

Simuloinnin lähtötietoina olivat tien kuntoa kuvaava 3D-pintamalli ja tien olosuhteita kuvaava nopeusrajoitus. Pintamalli otettiin Destian suorittamien palvelutasomittausten raakadatasta, joka sisälsi poikkisuunnassa 17 mittausanturin pituussuunnassa 10 cm:n välein mitatun profiilitiedon. Simulointinopeudeksi valittiin tien nopeusrajoitus huomioiden ajoneuvokohtainen nopeusrajoitus. Simuloinnin tuloksena saatiin ajoneuvon korin painopisteen liikkeitä kuvaavia tunnuslukuja sekä pyöräpainoista ja jousituksen liikkeistä laskettavia tunnuslukuja (Taulukko 9).

Kullekin testikohteelle tuotettiin 10 m välein ajoneuvosimuloinnilla taulukossa 9 esitetyt 34 tunnuslukua erikseen henkilöautolle ja kuorma-autolle. Ne kattavat 7 vapausasteen ajoneuvomallin pystyliikesuunnan, sivuttaisheilahdun sekä nyökkimisliikkeen ja niiden lisäksi pyöräpainoista lasketut tierasituksen ja pyöräpainon siirtymän sekä jousituksen liikkeistä lasketun iskunvaimentimien tekemän työn. Simulointi suoritettiin RoadLab/Matlab/Simulink-ohjelmilla.

Taulukko 9. Laskennalliset tunnusluvut.

Vaste	Tunnus	Yksikkö	ka(*)	haj(*)	max(*)
ajoneuvon korin pystyliike	VERT_s	mm	x	x	x
ajoneuvon korin pystyliikenopeus	VERT_v	m/s	x	x	x
ajoneuvon korin pystyliikekiihtyvyys	VERT_a	m/s <sup>2</sup>	x	x	x
ajoneuvon korin sivuttaisheilahduskulma	ROLL_s	astetta	x	x	x
ajoneuvon korin sivuttaisheilahduskulmanopeus	ROLL_v	astetta/s	x	x	x
ajoneuvon korin sivuttaisheilahduskulmakiihtyvyys	ROLL_a	astetta/s <sup>2</sup>	x	x	x
ajoneuvon korin nyökkimisliike	PITCH_s	astetta	x	x	x
ajoneuvon korin nyökkimiskulmanopeus	PITCH_v	astetta/s	x	x	x
ajoneuvon korin nyökkimiskulmakiihtyvyys	PITCH_a	astetta/s <sup>2</sup>	x	x	x
ajoneuvon pyöräpainon siirtymä	LTR	%	x	x	x
ajoneuvon aiheuttama tierasitus	ESAL	std.aks.	x	x	x
ajoneuvon iskunvaimentimien tekemä työ	Ityö	J	x	-	-
yhdistetty kiihtyvyys	a_yhd	m/s <sup>2</sup>	x	x	x
*) kaikki tunnusluvut lasketaan 10 m matkalle					

Laskennallisia tunnuslukuja oli suhteellisen paljon ja niistä osa korreloi toistensa kanssa melko paljon. Tunnuslukujen määrä johtui siitä, että ne toisaalta saadaan helposti tuotettua yhdellä ja samalla laskennalla ja toisaalta siitä, että joitakin niistä saatetaan tarvita jossain toisessa tilanteessa kun ajoneuvon ja tien välistä vuorovaikutusta tarkastellaan. Edellä lueteltujen tunnuslukujen lisäksi laskennassa tarvitaan akselivasteita ja pyöräpainoja, joten todellinen tunnuslukujen määrä on esitettyä suurempi. Monipuolista tunnuslukujen kirjoa puolsi varautuminen mallin mahdollisiin validointitarpeisiin.

Yhdistetty kiihtyvyys muodostettiin kolmen eri liikesuunnan kiihtyvyyksistä muuttamalla kulmakiihtyvyydet ensin ratakihtyvyyksiksi ja yhdistämällä ne sitten ISO-tärinädirektiivin [g] mukaisella kaavalla yhdeksi kiihtyvyyssarvoksi seuraavasti:

$$a_{ratax} = r * ROLL_a \quad (1)$$

$$a_{ratay} = r * PITCH_a \quad (2)$$

$$a_{yhd} = \sqrt{VERT_a^2 + (1.4 * a_{ratax})^2 + (1.4 * a_{ratay})^2} \quad (3)$$

missä r on kuljettajan istuimen etäisyys (m) korin painopisteestä ja kulmakiihtyvyydet (ROLL\_a, PITCH\_a) ovat sivuttaisheilauksen ja nyökkimisliikkeen kulmakiihtyvyydet (rad/s<sup>2</sup>).

Taulukossa 10 on esitetty kaksi pätkeä tuloksista, missä riveillä on kymmenmetrisille laskettuja tuloksia ja sarakkeilla tunnusluvut. Värikooditus on tehty koko tien käsittävien sarakkeiden avulla siten, että punainen taustaväri kuvaa suuria arvoja ja vihreä pieniä. Esimerkillä havainnollistetaan sitä, että tien joissakin kohdissa useampi tunnusluku voi saada suuria arvoja ja sitä, että suurten arvojen tunnuslukukirjo riippuu siitä, minkälainen tien huono kohta on. Eli ei voida suoraan sanoa, että joku tien kohta on epämiellyttävä vain yhdestä syystä, vaan syitä voi olla useampi ja niiden kirjo vaihtelee.

Taulukko 10. Esimerkki kahden huonon kohdan simuloiduista vasteista kohteella 4 matkalla 2200–2400 m ja 3100–3400 m.

VERT_a_mean	VERT_a_std	VERT_a_max	VERT_v_mean	VERT_v_std	VERT_v_max	ROLL_a_mean	ROLL_a_std	ROLL_a_max	ROLL_v_mean	ROLL_v_std	ROLL_v_max	ROLL_v_mean	ROLL_v_std	ROLL_v_max	PITCH_a_mean	PITCH_a_std	PITCH_a_max	PITCH_v_mean	PITCH_v_std	PITCH_v_max	ESAL_mean	ESAL_std	ESAL_max													
124	21	851	0.001	0.003	0.044	0.20	0.13	0.46	-0.06	0.03	-0.04	-0.03	0.08	0.74	-0.07	0.17	23.94	-0.18	0.09	-0.004	-0.01	0.17	0.20	0.02	8.08	16.05	0.34	2.47	5.67	1.09	0.10	1.91				
124	38	935	-0.008	0.005	0.067	0.29	0.31	0.64	-0.04	0.03	-0.07	0.005	0.09	1.18	1.35	23.49	31.10	-0.20	0.05	-0.112	0.46	0.27	0.80	0.83	7.17	12.94	-0.18	1.47	5.83	2.08	0.22	2.42				
115	14	800	0.020	0.006	0.009	0.206	0.17	0.47	-0.03	0.03	-0.06	0.00	0.16	1.23	-0.72	14.05	20.56	-0.13	0.03	-0.090	-0.12	0.00	0.75	0.078	13.00	20.01	0.25	2.20	4.69	3.76	0.13	2.18				
32	17	815	0.007	0.002	0.006	0.009	0.21	0.37	-0.07	0.03	-0.07	0.05	0.19	0.95	-0.78	16.30	34.98	-0.10	0.07	-0.079	-0.11	1.41	2.39	-0.81	24.87	38.78	-0.36	2.41	3.48	1.92	0.16	2.18				
240	82	2013	-0.080	0.020	0.025	0.10	0.62	1.71	-0.23	0.04	-0.16	0.03	0.06	0.96	0.03	0.00	1.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
115	11	1117	-0.009	0.004	0.015	0.13	0.46	-0.08	0.04	0.01	0.02	0.07	0.04	0.84	0.02	0.03	0.28	0.10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			
146	43	1216	0.002	0.007	0.009	0.009	0.17	0.37	-0.02	0.05	-0.04	0.005	0.13	1.24	0.56	15.41	19.17	-0.10	0.03	-0.056	0.38	1.80	3.02	0.63	36.26	41.85	-0.01	7.57	13.26	2.15	0.72	2.18				
132	10	1184	-0.022	0.006	0.006	0.07	0.34	0.91	-0.02	0.04	-0.01	-0.17	0.34	0.42	0.02	0.00	0.00	0.14	-0.02	0.16	0.12	0.75	0.06	0.17	0.014	0.06	1.09	0.07	0.14	0.07	0.14	0.07	0.14			
401	184	1153	0.305	0.069	0.067	0.27	0.78	2.18	-0.18	0.07	-0.46	0.115	2.23	3.31	-2.28	71.23	102.84	-0.04	0.34	0.302	0.03	2.28	3.42	7.87	46.83	79.06	0.42	11.29	19.34	1.79	0.18	2.24				
63	17	755	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
86	59	714	0.004	0.007	0.017	0.13	0.30	0.27	-0.04	0.03	0.01	0.07	0.04	0.69	0.02	0.03	0.28	0.10	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
248	76	948	-0.080	0.016	0.013	0.32	0.57	0.47	-0.03	0.04	-0.04	-0.26	0.42	0.22	0.02	0.00	0.00	0.10	-0.04	0.12	0.14	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		
176	13	1118	-0.043	0.004	0.017	0.06	0.16	0.52	-0.09	0.03	-0.11	0.184	0.73	1.20	-0.98	24.45	36.50	-0.28	0.10	-0.031	0.58	0.96	3.78	18.92	34.03	-0.33	3.66	7.08	2.00	0.11	1.32	0.04	2.18			
54	44	1110	0.000	0.000	0.000	0.14	0.35	0.34	-0.08	0.02	-0.03	0.134	0.65	0.80	-0.24	19.95	33.11	-0.20	0.05	-0.055	-0.39	0.38	0.75	1.94	8.45	17.88	-0.02	2.80	6.58	1.76	0.30	2.04	0.04	2.18		
154	44	1143	0.001	0.006	0.008	0.20	0.29	0.68	-0.08	0.05	-0.10	0.02	0.06	0.84	0.44	0.00	0.00	-0.13	0.01	-0.088	-0.10	0.14	0.60	0.82	6.80	11.18	0.20	0.78	0.98	2.04	0.23	2.18				
83	23	3016	-0.006	0.001	0.001	0.30	0.48	0.59	-0.02	0.03	0.48	0.33	0.93	0.12	11.94	35.41	-0.16	0.03	-0.028	-0.04	0.39	0.84	2.64	11.96	25.13	0.03	1.80	3.03	1.81	0.28	2.30	0.04	2.18			
123	13	1013	0.046	0.006	0.004	0.06	0.17	0.42	0.03	0.03	0.02	0.28	0.63	0.30	0.66	0.92	-0.10	0.02	0.02	0.58	0.46	1.58	3.68	11.51	14.11	0.31	2.48	3.68	1.03	0.13	2.24	0.04	2.18			
157	53	815	0.008	0.004	0.017	0.06	0.16	0.52	-0.09	0.03	-0.11	0.184	0.73	1.20	-0.98	24.45	36.50	-0.28	0.10	-0.031	0.58	0.96	3.78	18.92	34.03	-0.33	3.66	7.08	2.00	0.11	1.32	0.04	2.18			
86	19	753	-0.007	0.003	0.005	0.10	0.13	0.23	-0.01	0.02	-0.04	0.005	0.14	1.18	-0.13	20.25	30.95	-0.24	0.04	-0.051	-0.28	0.30	0.84	4.80	9.59	19.39	0.00	1.11	5.03	1.86	0.09	2.02	0.04	2.18		
84	14	860	-0.007	0.003	0.003	0.01	0.11	0.32	-0.04	0.03	-0.06	0.009	0.45	0.76	-0.20	12.22	24.61	-0.21	0.04	-0.127	-0.02	0.38	0.95	-0.14	16.39	11.68	0.46	1.81	5.25	1.87	0.09	2.02	0.04	2.18		
45	11	879	0.006	0.002	0.002	0.04	0.10	0.28	-0.04	0.03	-0.06	0.009	0.50	0.74	0.39	9.32	19.97	-0.16	0.05	-0.088	0.22	0.32	1.22	-0.28	9.85	14.27	-0.37	1.33	3.88	1.96	0.08	2.13	0.04	2.18		
92	53	1079	-0.008	0.003	0.007	0.21	0.39	0.42	-0.04	0.04	-0.07	0.36	0.55	0.37	13.30	22.07	-0.38	0.04	-0.198	0.18	0.42	0.79	-0.06	7.71	11.61	-0.03	1.78	3.47	2.01	0.14	2.30	0.04	2.18			
86	24	1116	-0.016	0.003	0.003	0.18	0.34	0.36	-0.05	0.04	-0.06	0.36	0.82	1.11	0.93	36.23	-0.34	0.04	-0.187	-0.25	0.51	0.59	2.09	11.48	24.23	0.20	1.83	3.73	1.09	1.94	0.04	2.18				
152	41	1261	0.003	0.006	0.020	0.24	0.39	0.87	-0.02	0.04	-0.04	-0.264	0.59	1.00	-1.46	17.33	31.46	-0.13	0.02	0.008	0.004	0.03	0.79	-2.87	16.31	15.79	0.28	2.20	5.54	2.09	0.17	2.40	0.04	2.18		
218	71	1014	0.000	0.006	0.006	0.11	0.16	0.56	-0.04	0.05	-0.06	0.26	0.68	1.45	1.36	22.11	42.32	-0.04	0.04	0.028	-0.17	0.88	1.38	-0.22	15.65	20.01	-0.28	3.38	5.88	1.74	0.18	2.08	0.04	2.18		
110	18	805	0.007	0.002	0.003	0.07	0.23	0.36	-0.09	0.05	-0.09	0.049	0.46	0.78	0.77	16.64	23.53	-0.18	0.03	-0.087	0.10	0.82	1.06	0.43	11.96	36.30	0.03	2.36	5.71	1.80	0.14	2.08	0.04	2.18		
123	10	752	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000		
82	24	58	-0.111	0.010	0.010	0.17	0.32	0.52	-0.04	0.05	-0.03	0.26	0.64	0.96	0.90	19.88	-0.18	0.05	-0.116	-0.40	0.32	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
364	122	1111	-0.097	0.016	0.016	0.09	0.19	0.35	-0.07	0.04	-0.07	0.39	1.20	1.22	21.89	33.61	-0.09	0.03	-0.019	0.12	0.32	0.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
266	70	190	-0.017	0.011	0.011	0.06	0.12	0.23	-0.03	0.04	-0.09	0.48	0.83	1.37	21.26	36.38	-0.34	0.11	-0.02	1.02	0.24	0.13	21.64	49.01	0.01	4.19	5.51	2.51	0.31	1.07	0.04	2.18	0.04	2.18		
142	19	1111	0.001	0.001	0.001	0.10	0.17	0.45	0.04	0.03	-0.117	0.83	1.21	1.48	30.55	55.82	-0.09	0.03	-0.028	0.18	0.25	0.22	0.88	0.46	47.80	84.82	-0.21	2.67	8.45	1.77	0.17	2.18	0.04	2.18		
145	116	1118	0.011	0.001	0.001	0.10	0.17	0.45	0.04	0.03	-0.117	0.83	1.21	1.48	30.55	55.82	-0.09	0.03	-0.028	0.18	0.25	0.22	0.88	0.46	47.80	84.82	-0.21	2.67	8.45	1.77	0.17	2.18	0.04	2.18		
152	41	1261	0.003	0.006	0.020	0.24	0.39	0.87	-0.02	0.04	-0.04	-0.264	0.59	1.00	-1.46	17.33	31.46	-0.13	0.02	0.008	0.004	0.03	0.79	-2.87	16.31	15.79	0.28	2.20	5.54	2.09	0.17	2.40	0.04	2.18		
218	71	1014	0.000	0.006	0.006	0.11	0.16	0.56	-0.04	0.05	-0.06	0.26	0.68	1.45	1.36	22.11	42.32	-0.04	0.04	0.028	-0.17	0.88	1.38	-0.22	15.65	20.01	-0.28	3.38	5.88	1.74	0.18	2.08	0.04	2.18		
110	18	805	0.007	0.002	0.003	0.07	0.23	0.36	-0.09	0.05	-0.09	0.049	0.46	0.78	0.77	16.64	23.53	-0.18	0.03	-0.087	0.10	0.82	1.06	0.43	11.96	36.30	0.03	2.36	5.71	1.80	0.14	2.08	0.04	2.18		
123	10	752																																		

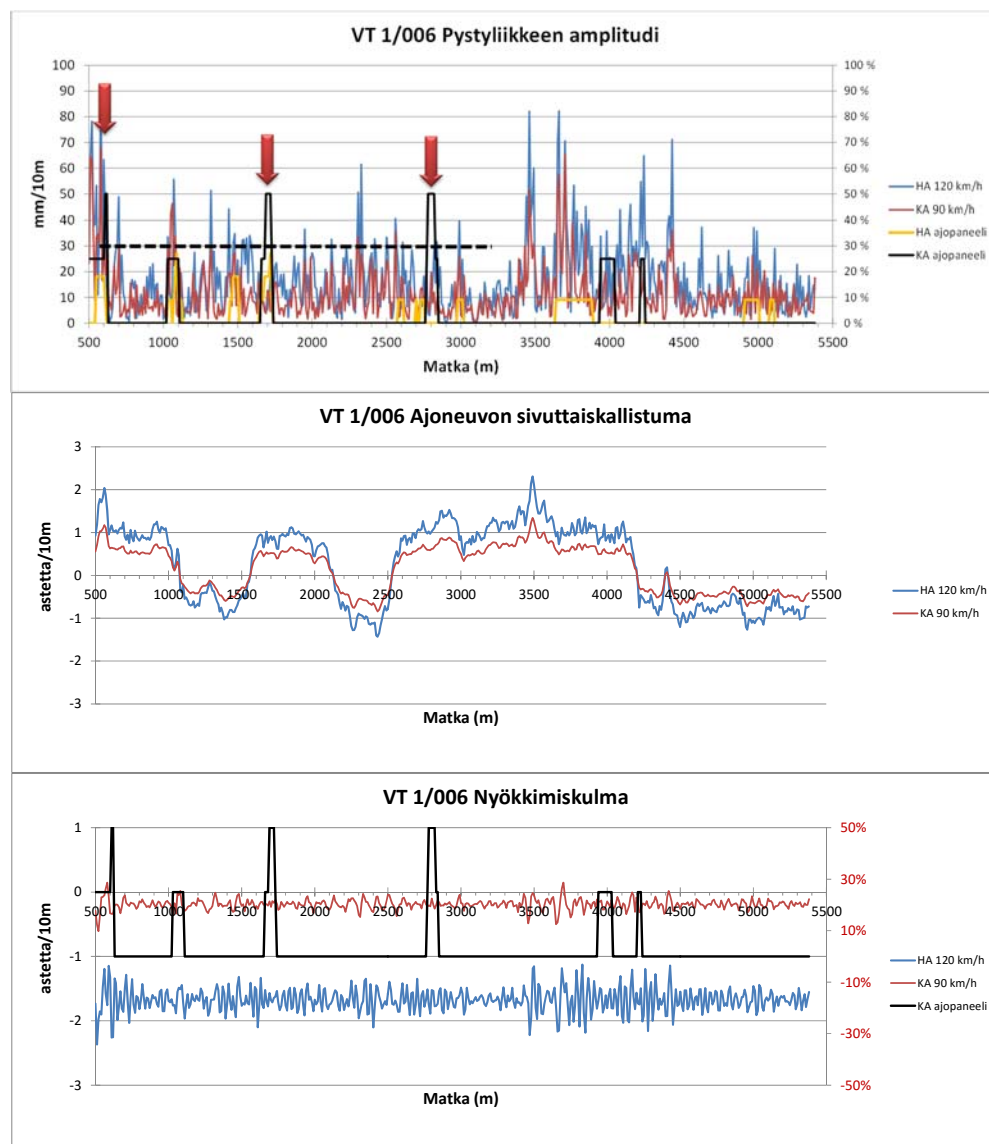


## 5.2 Tunnuslukujen paremmuus

### 5.2.1 Moottoritieolosuhteet

#### 5.2.1.1 Liikevasteet

Tunnuslukujen paremmuutta tarkasteltiin aluksi visuaalisesti simuloitujen vasteiden profiilikuvista, joihin oli laitettu myös ajopaneelin tulokset. Kohteen 1 vastekeskiarvot (pystyliike, sivuheilahdus ja nyökkimisliike) on esitetty 10 m havaintoina kuvassa 60. Seuraavissa kuvissa on suhteellisen paljon informaatiota ja selkeyden vuoksi niissä on käytetty tiettyjä värejä. Henkilöauton simuloitujen vasteet ovat sinisellä käyrällä ja kuorma-auton punaisilla ja niiden pystysuuntainen asteikko on kuvan vasen asteikko. Henkilöautopanelistien ajomukavuusarvostelun tulos on esitetty keltaisella käyrällä ja kuorma-autopanelistien mustalla käyrällä ja niiden pystysuuntainen asteikko on oikeanpuoleinen asteikko. Asteikkojen skaalat on valittu siten, että käyrien arvoalueet näkyvät hyvin ja niiden skaalat sopivat yhteen.



Kuva 60. Simuloitujen vasteiden keskiarvojen profiilit kohteella 1 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

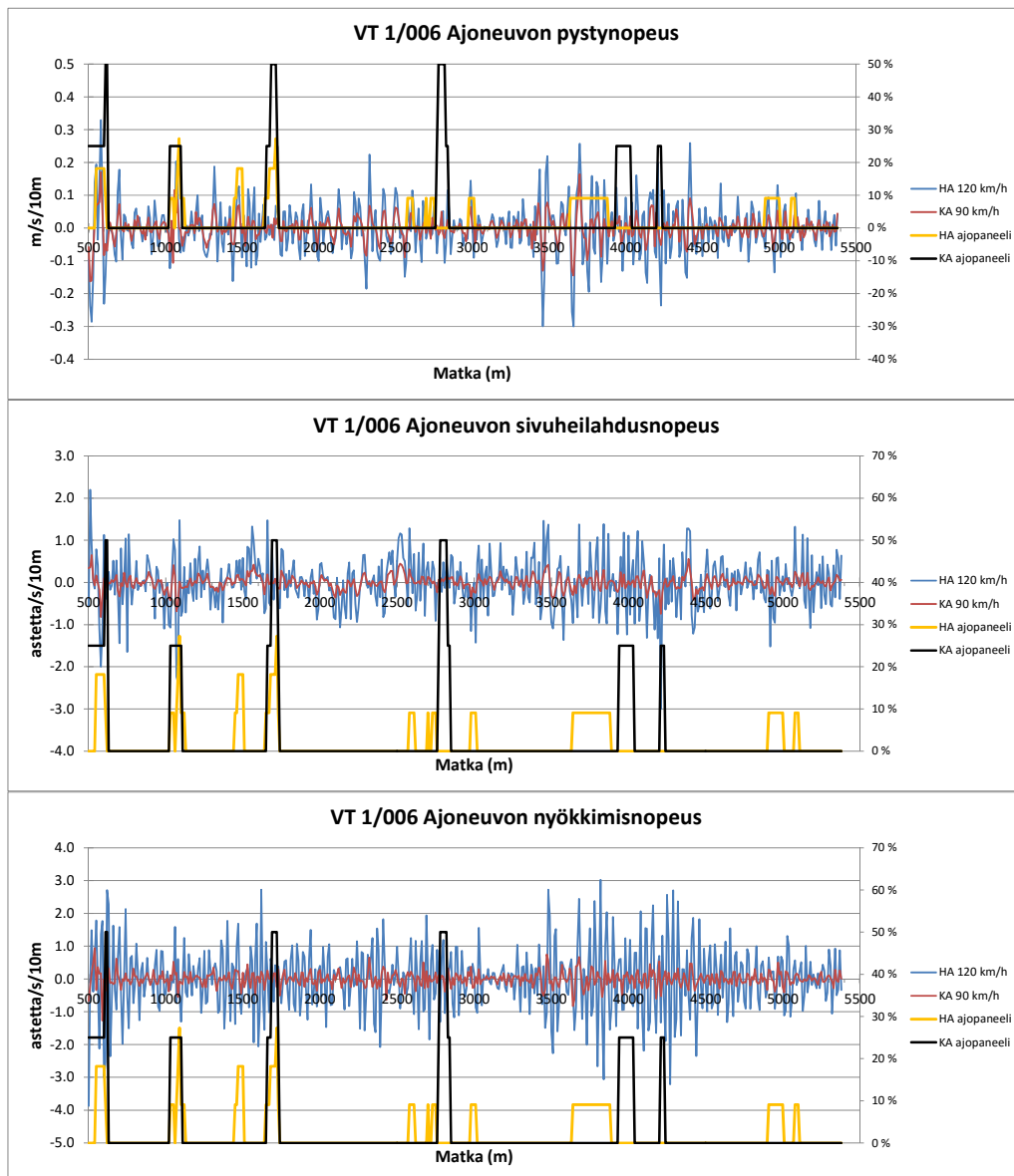
Kun tarkasteltiin simuloitujen vasteiden liikekeskiarvojen ja koetun huonouden riippuvuutta, niin päähuomio kohdistettiin kohtiin 600 m, 1700 m ja 2800 m. Vastekeskiarvoista voidaan tehdä seuraavat päätelmät:

- Tarkastelu rajoittui pääasiassa kuorma-autovasteiden tarkasteluun, koska vain kuorma-autopanelistit löysivät huonoja kohtia. Henkilöautopanelisteilla huonoutta kuvaava keskiarvo ei ylittänyt rajaksi valittua 30 % rajaa kohteella 1. Henkilöautovasteet ovat siten viitteellisiä. Moottoritien kohteet olivat hiukan liian hyväkuntoisia.
- Ajoneuvon korin pystysuuntaisen liikkeen keskiarvo ei sopinut kovin hyvin koetun huonouden kanssa mikä tiedettiin jo ennalta esim. IRI:stä saatujen kokemusten perusteella.
- Ajoneuvojen sivuttaiskallistumassa on kaksi komponenttia, joista ensimmäinen on tien geometrian määräämä sivukaltevuus ja toinen on sivukaltevuuden vaihtelu. Kaarregeometriasta aiheutuvaa sivukallistusta ei huomioitu. Henkilöauton sivuttaiskallistus oli suurempi kuin kuorma-auton, mikä johtui henkilöauton pienemmästä raidelevydestä.
- Ajoneuvojen nyökkimistä osoittavat käyrät eivät vaihtelee nollan molemmin puolin, mikä johtuu virheellisestä painopisteen määrittelystä. Sillä ei ole kuitenkaan vaikutusta sen kanssa, korreloiko nyökkimiskulman vaihtelu tien huonouden kanssa. Painopisteen paikka tulee korjata ennen tunnuslukujen mahdollisia tuotantolaskentojen aloittamista (ja laskennan tuotteistamista).
- Liikkeiden vastekeskiarvot (pystyliike, sivuheilahduskulma ja nyökkimiskulma) eivät sellaisenaan korreloineet koetun huonouden kanssa kovin hyvin ja niiden perusteella graafisissa tarkasteluissa oli vaikea nähdä selvää riippuvuutta koetun huonouden ja simuloitujen vastekeskiarvojen välillä.

### **5.2.1.2 Liikenopeusvasteet**

Vastaavat profiilikuvat simuloiduista liikenopeusvasteista on esitetty kuvassa 61. Kun tarkasteltiin simuloitujen nopeusvasteiden ja koetun huonouden riippuvuutta, niin voitiin tehdä seuraavat päätelmät:

- Henkilöauto nopeudella 120 km/h sai suurempia liikenopeuksia kuin kuorma-auto nopeudella 90 km/h. Liikenopeuksien eroihin eri ajoneuvotyyppien välillä vaikuttivat erot ajonopeudessa, jousituksessa ja raide- ja akseliväleissä.
- Liikenopeuksien keskiarvojen äärikohdissa oli joitakin koettuja huonoja kohtia, mutta niiden perusteella ei ollut kovin helppo nähdä selkeää yhteyttä koetun huonokuntoisuuden kanssa.

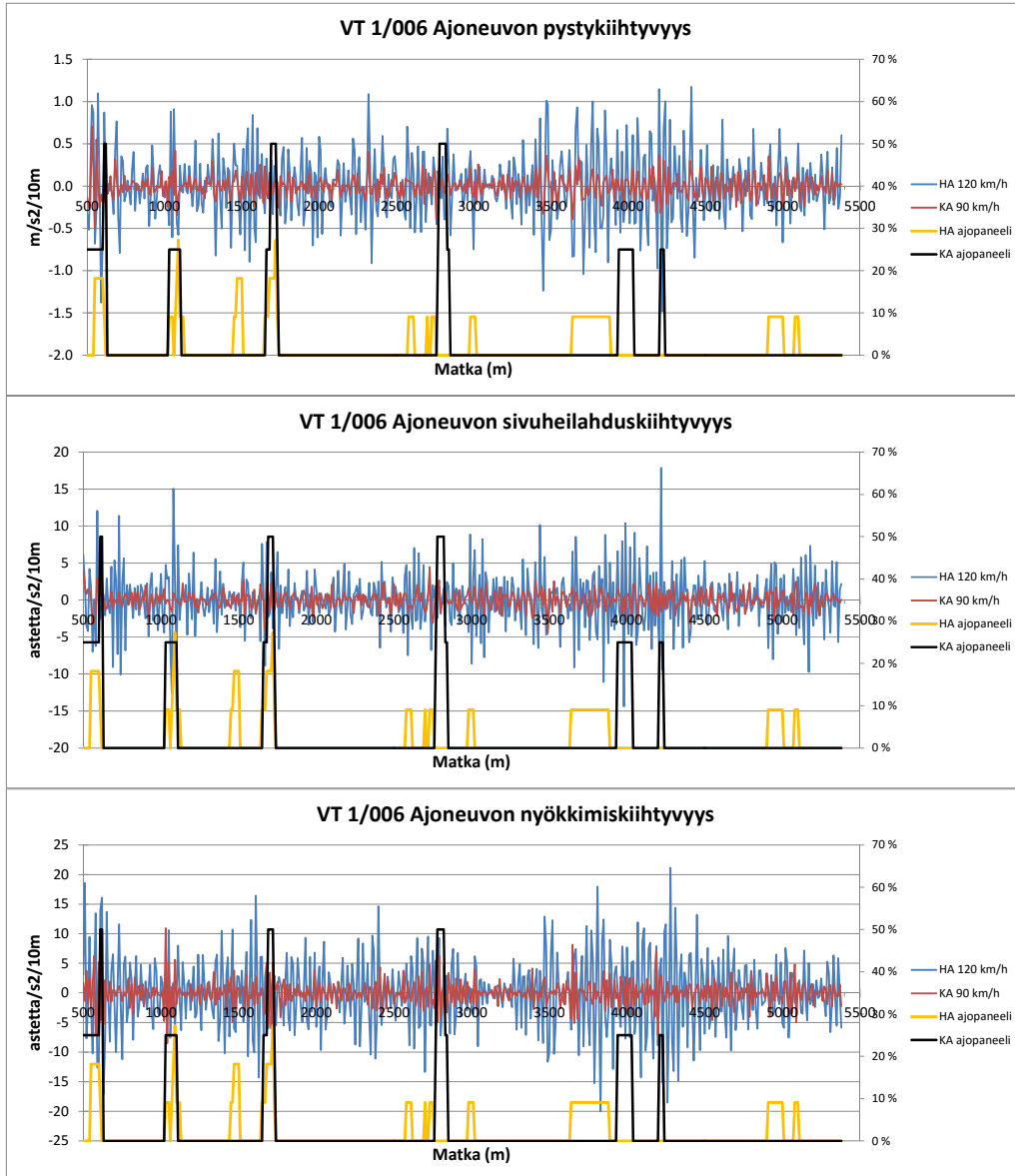


Kuva 61. Simuloitujen liikenopeusvasteiden profiilit kohteella 1 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

### 5.2.1.3 Liikekihtyvyyvasteet

Simuloitujen liikekihtyvyyksien profiilikuvat ja koettu huonous on esitetty kuvassa 62. Liikekihtyvyyksien ja koetun kunnon välisestä yhteydestä oli tehtävissä seuraavat huomiot:

- Henkilöauto nopeudella 120 km/h sai suurempia liikekihtyvyyksiä kuin kuorma-auto nopeudella 90 km/h. Liikekihtyvyyksien eroihin eri ajoneuvotyyppien välillä vaikuttivat erot ajonopeudessa, jousituksessa ja raide- ja akseliväleissä.
- Liikekihtyvyyksien keskiarvojen äärikohdissa oli joitakin koettuja huonoja kohtia, mutta niiden perusteella ei ollut kovin helppo nähdä selkeää yhteyttä koetun huonokuntoisuuden kanssa.



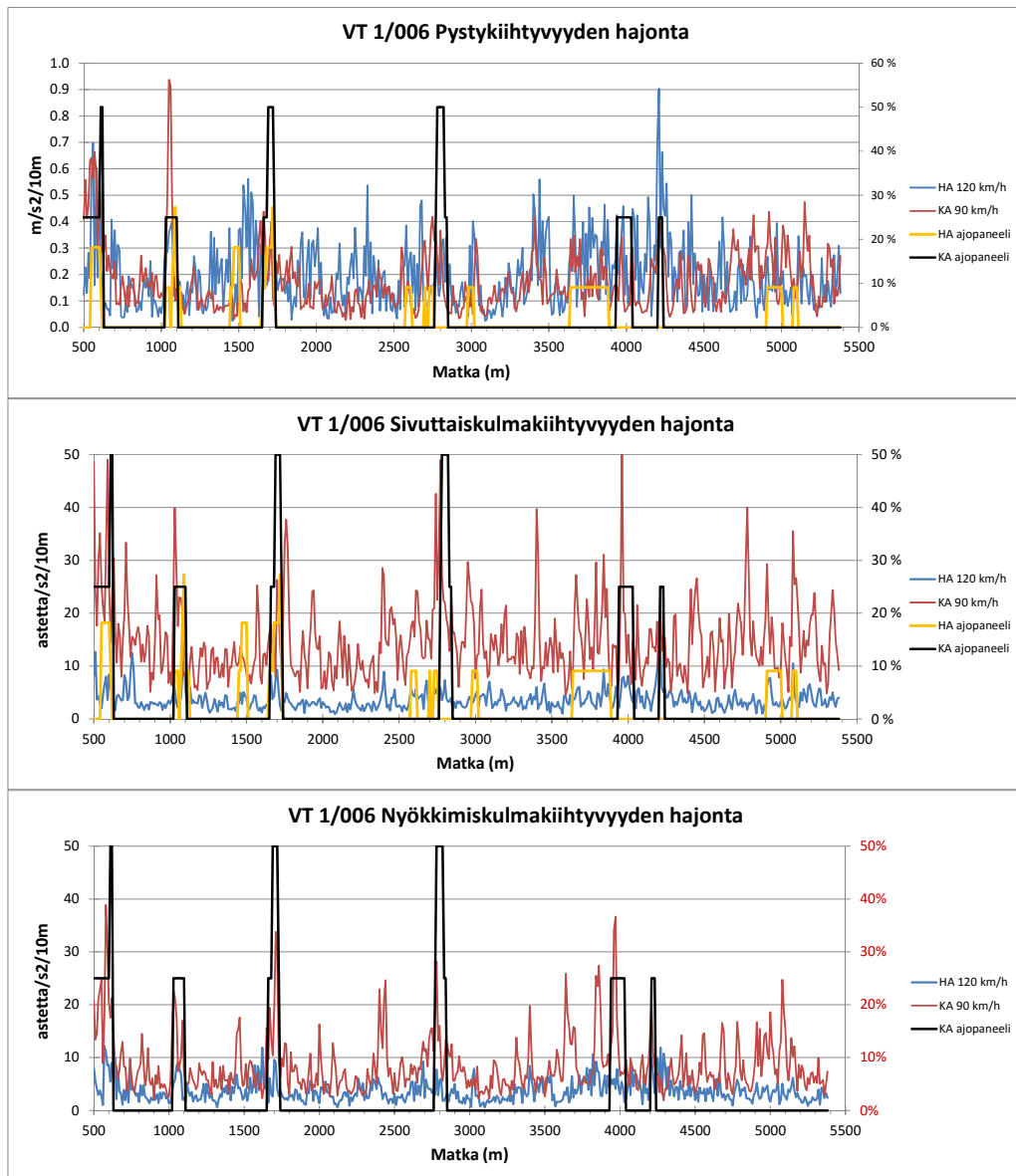
Kuva 62. Simuloitujen liikekiihtyvyyssvasteiden profiilit kohteella 1 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

#### 5.2.1.4 Liikekiihtyvyyksien hajonta

Simuloitujen liikekiihtyvyyksien hajontojen profiilikuvat ja koettu huonous on esitetty kuvassa 63. Liikekiihtyvyyksien ja koetun kunnan välisestä yhteydestä oli tehtävissä seuraavat huomiot:

- Pystyliikkeen kiihtyvyyden hajonta oli pääosin suurempaa henkilöautolla nopeudella 120 km/h kuin kuorma-autolla nopeudella 90 km/h. Sen sijaan kuorma-auton sekä sivuttaisheilahduskiihtyvyyden että nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnat olivat suurempia kuin henkilöautolla.
- Graafisesti tarkastellen kuorma-auton nyökkimiskiihtyvyyden hajonta korreloi parhaiten kohteen 1 koetun huonokuntoisuuden kanssa. Seuraavaksi paras oli sivuttaisheilahduskulmakiihtyvyyden hajonta ja viimeinen oli pystykiihtyvyyden hajonta.
- Kuorma-auton kiihtyvyyssvasteiden hajonnat näyttivät olevan melko hyviä tien huonouden selittäjiä kohteella 1. Myös henkilöauton vastaavat tunnusluvut

korreloivat tien koetun huonouden kanssa, mutta niin kuin aiemmin todettiin, henkilöautopanelistit eivät pitäneet kohdetta 1 tarpeeksi huonona.



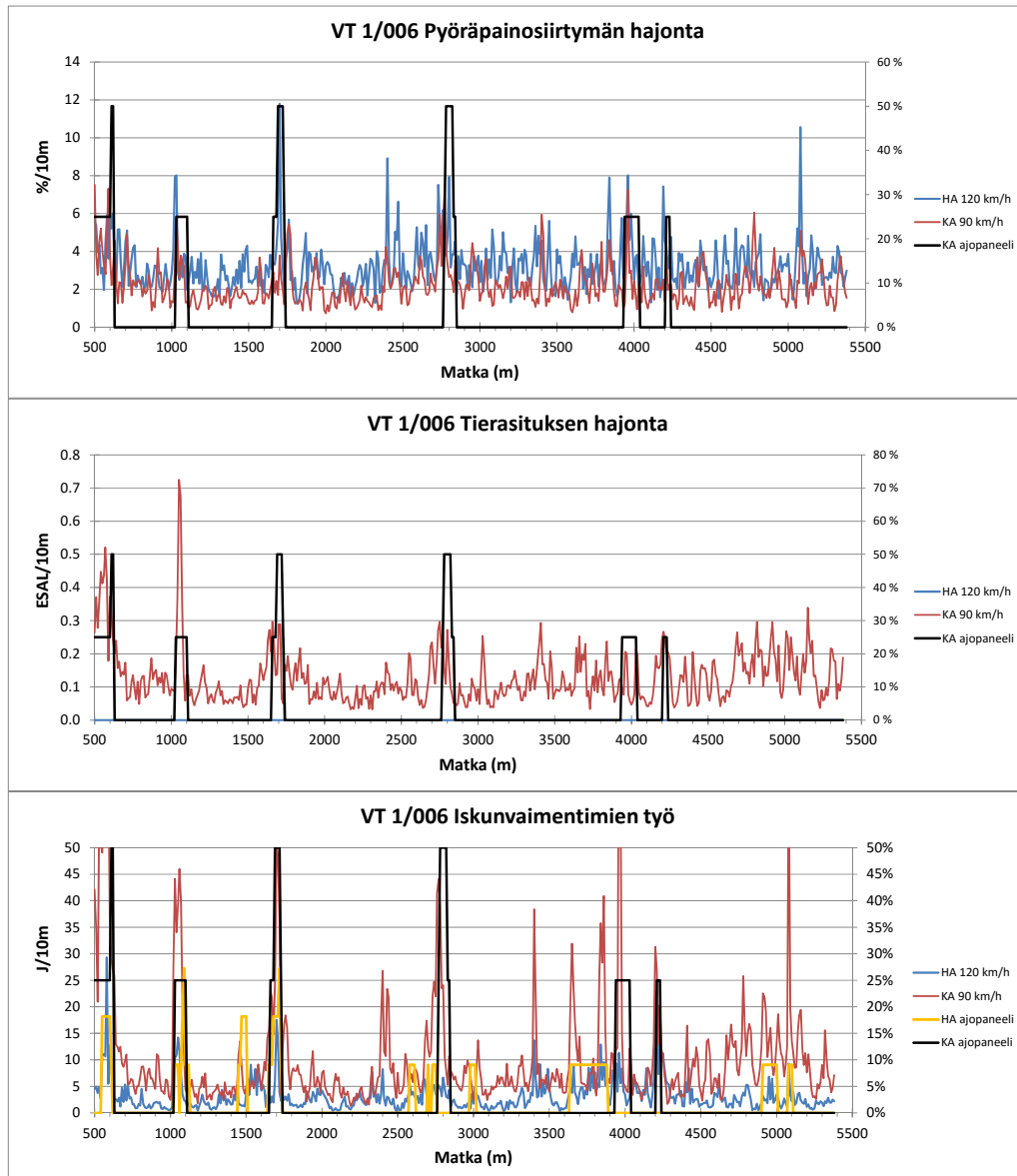
Kuva 63. Simuloitujen liikekiihtyvyydvasteiden hajontojen profiilit kohteella 1 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

### 5.2.1.5 Muut tunnusluvut

Muina tunnuslukuina tarkasteltiin pyöräpainsiirtymää, tierasitusta ja iskunvaimentimien tekemää työtä. Niiden profiilikuvat ja koettu huonous on esitetty kuvassa 64. Niistä tehtiin seuraavat huomiot:

- Pyöräpainsiirtymän hajonta tunnisti raja-arvolla 10 % koetut huonot kohdat, mutta sen lisäksi noin 2-3 muutakin kohtaa.
- Tierasituksen hajonta tunnisti raja-arvolla 0.3 koetut huonot kohdat, mutta samalla myös 5 muuta kohtaa. Se tunnisti yhden kohdan erittäin hyvin, mutta ainoastaan neljännes KA-panelisteista piti sitä kohtaa huonona.
- Iskunvaimentimien tekemä työ tunnisti raja-arvolla 40 J koetut huonot kohdat, mutta myös 4 muuta kohtaa.

- Iskunvaimentimien työtä kuvaava tunnusluku on erittäin selektiivinen, koska se lasketaan jousituksen liikkeen amplitudin ja liikenopeuden avulla. Se ottaa huomioon sekä liikkeen suuruuden että sen epämiellyttävyyden.
- Panelistit eivät ehkä tunnistanee kaikkia huonoja kohtia.

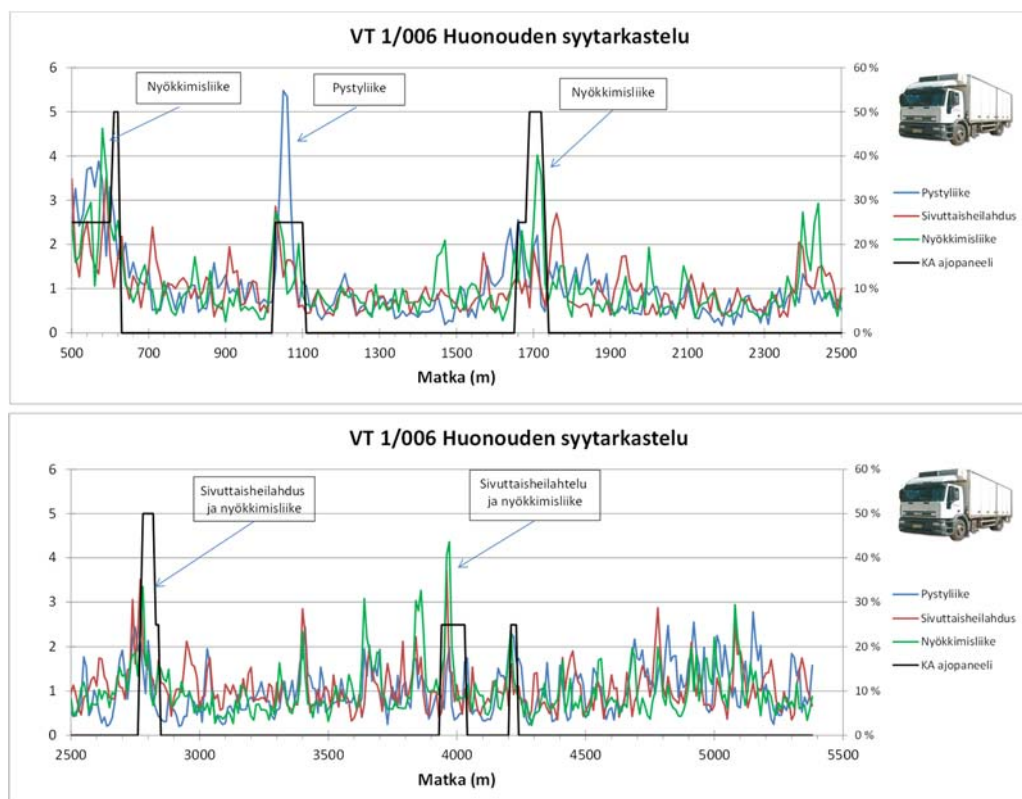


Kuva 64. Muiden simuloitujen tunnuslukujen profiilit kohteella 1 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

Huonouden syitä tarkasteltiin vertaamalla pystyliikettä, sivuttaisheilahtelua ja nyökkimisliikettä kuvaavien tunnuslukujen arvoja ja päättämällä mikä niistä oli todennäköisin huonouden syy. Tunnusluvuiksi valittiin pysty-, sivuheilahtus- ja nyökkimisliikkeiden kiihtyvyyksien hajonnat. Niistä muodostettiin ensin kaikille moottoritiekohteille (1, 2 ja 3) keskiarvot ja sen jälkeen jaettiin kunkin 10m havainnon arvo saadulla keskiarvolla. Esimerkiksi kunkin kymmenmetrisen pystykiihtyvyyden hajonta jaettiin pystykiihtyvyyksien hajontojen (kohteet 1–3) tiekeskiarvolla. Näin saatiin suhteutettua tunnusluku tien standardille ominaiselle vaihtelulle. Sen lisäksi saatiin sovitettua kolmen erilaisen tunnusluvun skaalat yhteismittallisiksi. Saatu tunnusluku osoittaa, kuinka monikertainen tunnusluvun arvon pitää olla tien standardille tyypillisen vaihtelun keskiarvoon verrattuna, jotta se tunnistuisi huonoksi. Lisäksi tunnuslukujen arvo antoi viitteen

siitä, mikä epätasaisuuden komponentti oli huonouden pääasiallinen syy. Esimerkkinä tarkastelusta on kuva 65, jossa kohteen 1 tulokset on esitetty kahdessa osassa.

Ensimmäisen huonon kohdan syy paalulla 600 m oli nyökkimisliike, tosin muidenkin liikkeiden arvot olivat poikkeuksellisen korkeita. Toisen kohdan syy paalulla 1000 m oli pystyliike, mutta sitä ei ole tunnistanut huonoksi kuin yksi KA-panelisti. Kolmannen huonon kohdan syy paalulla 1700 m oli nyökkimisliike. Neljännen huonon kohdan syy paalulla 2800 m oli sivuttaisheilahdus ja nyökkiminen. Kohteella oli lisäksi ainakin yksi potentiaalinen huono kohta paalulla 4000 m, ja sen syy oli sivuttaisheilahdus ja nyökkiminen. Tiessä olevat huonot kohdat aiheuttavat liikkuvaan ajoneuvoon pystysuuntaisia liikkeitä, sivuttaisheilautelua ja nyökkimistä. Ajomukavuus voi siis johtua joko yhdestä epämukavaksi koetusta liikkeestä tai useasta samanaikaisesta epämukavasta liikkeestä. Tasaisuutta kuvaavan tunnusluvun tulisi sisältää kaikki mainitut liikekomponentit.



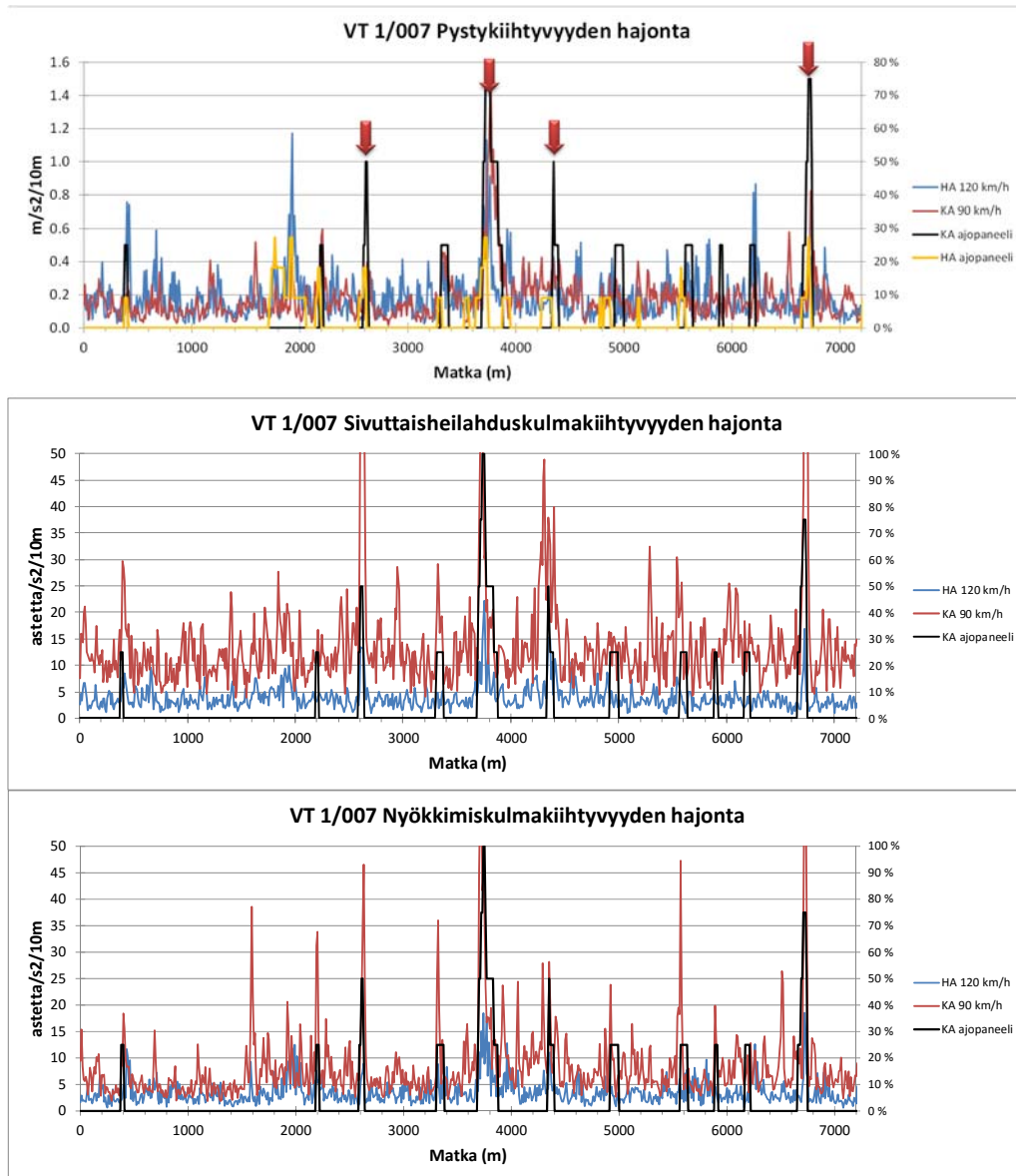
Kuva 65. Huonouden syyanalyysi kohteella 1 ja niiden rinnalla KA-panelistien tunnistamat huonot kohdat matkalla 500–2500 ja 2500–5500 m.

### 5.2.1.6 Kohde 2 (VT1/007)

Moottoritien muita kohteita (2 ja 3) tarkasteltiin samalla tavalla kuin kohdetta 1. Esimerkkinä esitetään kuvan 66 kiihtyvyydevasteiden hajontojen profiilit ja KA-paneelin huonojen kohtien osuudet. Johtopäätöksinä todetaan, että:

- Kuorma-autopanelistit löysivät neljä huonokuntoista kohtaa. Huonot kohdat olivat tunnistettavissa sekä pystykiihtyvyyden hajonnan, sivuttaiskulmakihtyvyyden hajonnan että nyökkimiskulmakihtyvyyden hajonnan profiileissa.

- Pystykiiktiivyyden hajonnan avulla tunnistettiin vain kaksi huonoa kohtaa (0.6 m/s<sup>2</sup>), sivuttaisheilaiduskulman hajonnan avulla kaikki neljä huonoa kohtaa (45 ast./s<sup>2</sup>) ja nyökkimiskulmakiiktiivyyden hajonnan avulla kolme huonoa kohtaa (40 ast./s<sup>2</sup>). Paras tunnusluku oli siis kuorma-auton sivuttaisheilaiduskulmakiiktiivyyden hajonta.
- Paras huonojen kohtien tunnusluku riippuu siitä, minkälaisia huonot kohdat tiellä ovat. Koettu huonous voi johtua joko ajoneuvon korin pystykiiktiivyydestä, sivuttaisheilaiduskiiktiivyydestä tai nyökkimiskulmakiiktiivyydestä.

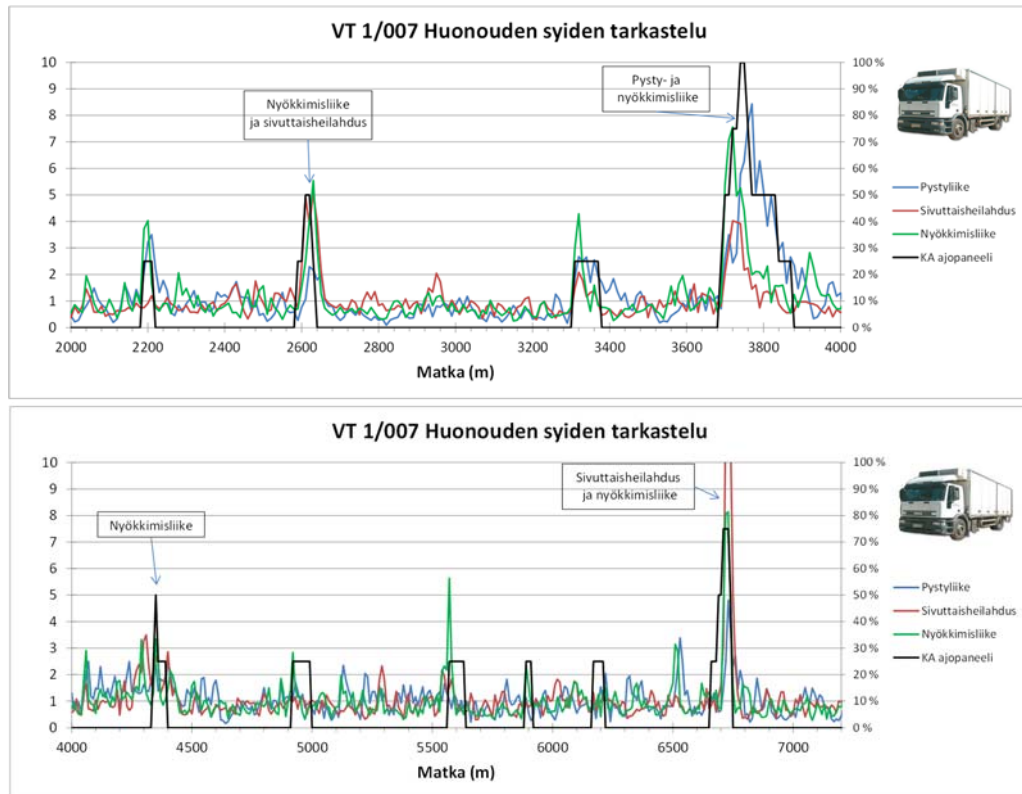


Kuva 66. Simuloitujen liikekiiktiivyydevasteiden hajontojen profiilit kohteella 2 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

Henkilöautopanelistit eivät löytäneet yhtään huonoa kohtaa ja sen takia henkilöautolle laskettujen vasteiden tunnistuskykyä ei tarkasteltu.



Ensimmäisen huonon kohdan syy kuvan 65 paalulla 2600 m oli nyökkimisliike ja sivuttaisheilautelu. Toisen kohdan syy paalulla 3700–3900 m oli pysty- ja nyökkimisliike, mutta myös sivuttaisheilautusliike oli selvä. Kolmannen huonon kohdan syy paalulla 4400 m oli nyökkimisliike. Neljännen huonon kohdan syy paalulla 6600 m oli sivuttaisheilautus ja nyökkiminen. Kohteella oli lisäksi ainakin kaksi potentiaalista huonoa kohtaa paalulla 3350 m ja 4900 m, ja niiden syyt olivat nyökkimisliike.



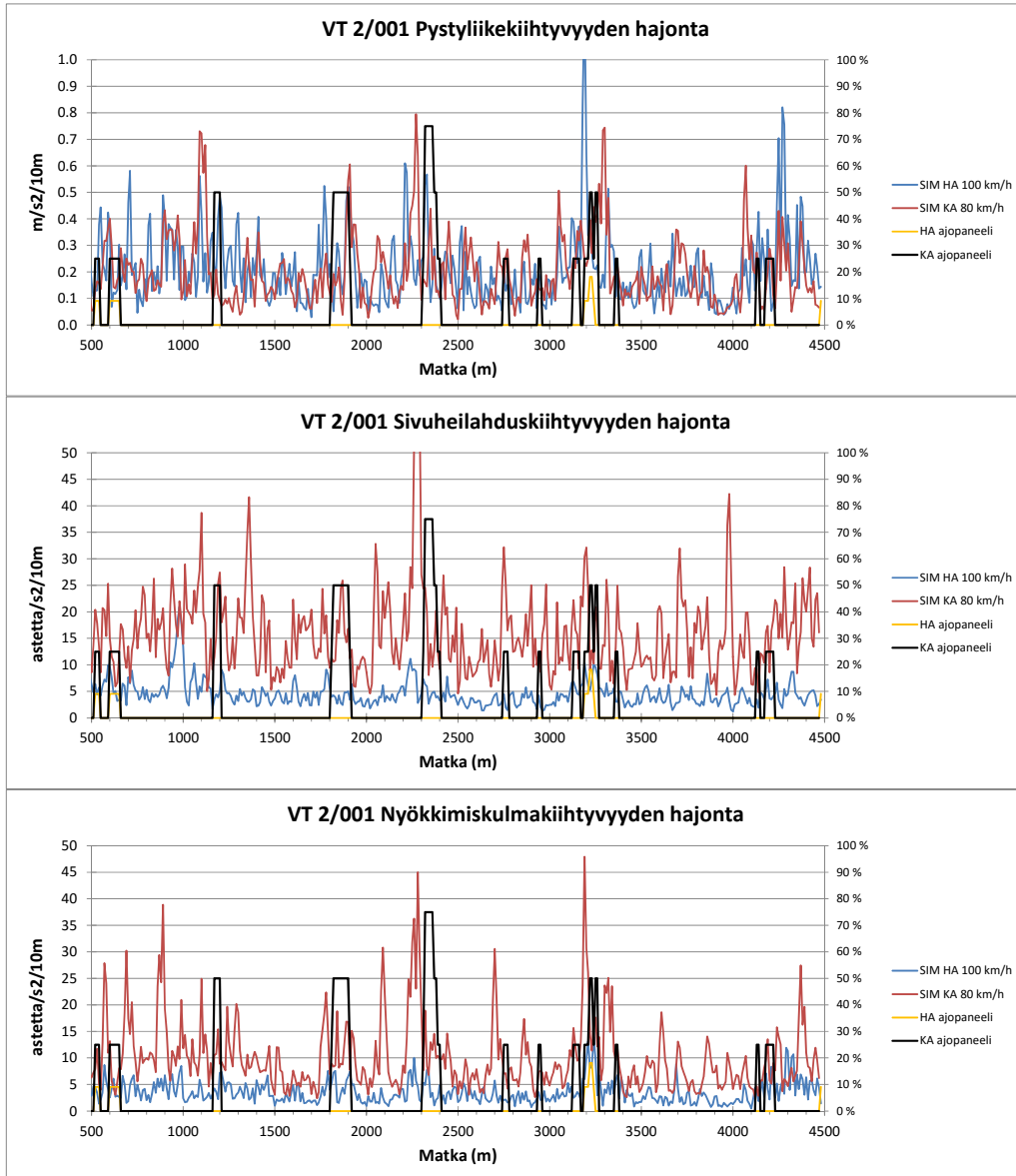
Kuva 67. Huonouden syyanalyysi kohteella 2 ja niiden rinnalla KA-panelistien tunnistamat huonot kohdat matkalla 2000–4000 ja 4000–7200 m.

## 5.2.2 Valtatieolosuhteet

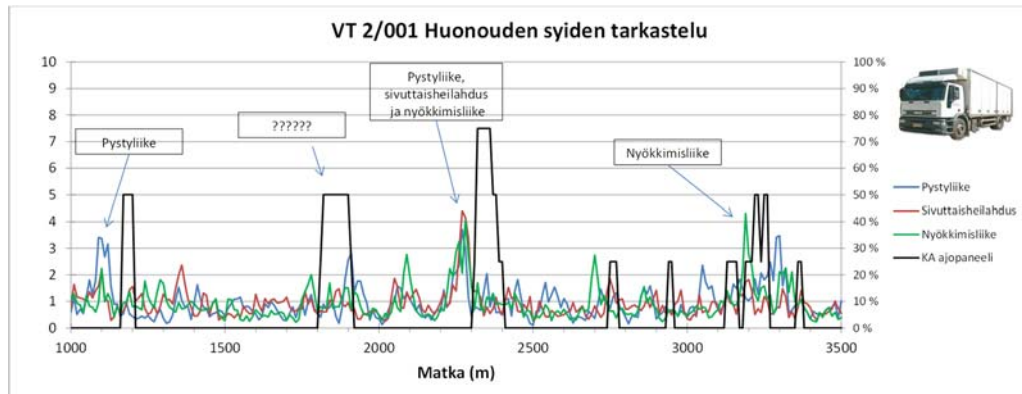
### 5.2.2.1 Kohde 4 (VT2/001)

Kohde 4 oli valtatie kahden ensimmäinen tieosa. Kuorma-autoille laskettiin vasteet nopeudella 80 km/h ja henkilöautoille nopeudella 100 km/h. Kuorma-auton kiihtyvyysovasteiden (pystyliikekiihtyvyys, sivuheilautuskiihtyvyys ja nyökkimiskiihtyvyys) hajonnat ja ajopaneelien tulokset on esitetty seuraavissa kuvissa. Kuorma-autopanelistit tunnistivat kohteelta neljä huonokuntoista kohtaa, jotka sijaitsivat paaluilla 1100, 1900, 2300 ja 3200 m. Selkein huono kohta oli paalulla 2300 m, jonka tunnisti 75 % KA-panelisteista. Henkilöautopanelistit eivät tunnistaneet kohteelta huonoja kohtia. Pystyliikekiihtyvyys tunnisti kaikki kohdat raja-arvolla  $0.6 \text{ m/s}^2$ . Sivuheilautuskiihtyvyys tunnisti kaksi huonoa kohtaa (2300 ja 3200) raja-arvolla  $30 \text{ astetta/s}^2$ , mutta myös kolme muuta kohtaa. Nyökkimiskiihtyvyys tunnisti kaksi huonoa kohtaa (2300 ja 3200) raja-arvolla  $40 \text{ astetta/s}^2$ . Sivuheilautuskiihtyvyyden suuret arvot viittaavat siihen, etteivät panelistit tunnistaneet kaikkia huonoja kohtia.

Kuvassa 69 on esitetty kohteen 4 huonouden syiden analyysi samaan tapaan kuin aiemminkin pysty-, sivuttaisheilahdus- ja nyökkimisliikkeiden hajontojen avulla. Sen mukaan ensimmäisen huonon kohdan syy oli paalulla 100 m pystyliike. Toisen huonon kohdan syy paalulla 1900 m jäi epäselväksi. Sitä ei tukenut minkään simuloidun liikevasteen vaihtelu. Kolmannen huonon kohdan syy paalulla 2300 m olivat kaikki kolme eri liikevastetta.



Kuva 68. Simuloitujen liikekihtyvyyssvasteiden hajontojen profiilit kohteella 4 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

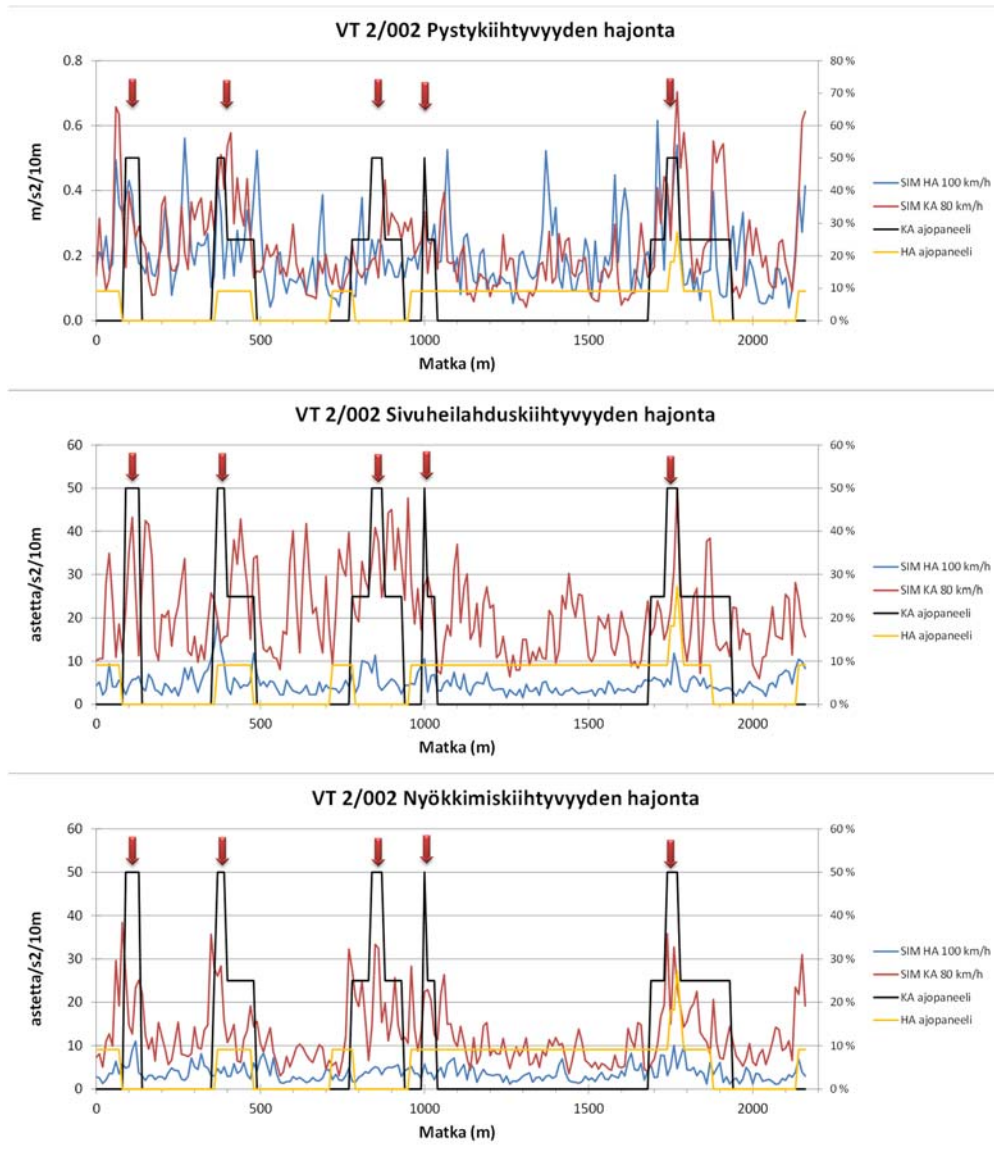


Kuva 69. Huonouden syyanalyysi kohteella 4 ja niiden rinnalla KA-panelistien tunnistamat huonot kohdat matkalla 1200, 1900, 2400 ja 3200 m.

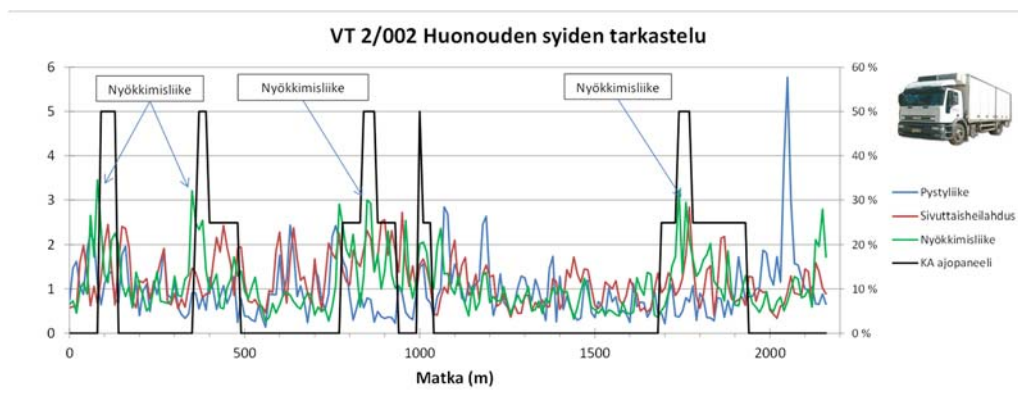
Erikoista oli, että panelistien kohdan 3 tunnistus on tapahtunut simuloituihin vasteisiin nähden lähes 100 m viiveellä (Kuva 68). Neljännen huonon kohdan pääasiallinen syy paalulla 3200 m oli nyökkimisliike.

#### 5.2.2.2 Kohde 5 (VT2/002)

Kohde 5 oli valtatie kahden toinen tieosa. Kuorma-autopanelistit löysivät viisi huonoo kohtaa, jotka sijaitsivat paaluilla 100 m, 400 m, 800 m, 1000 m ja 1300 m. Kuorma-autoille laskettiin vasteet nopeudella 80 km/h. Pystykiihtyvyyden hajonta tunnisti kaikki huonot kohdat raja-arvolla  $0.4 \text{ m/s}^2$ . Sen lisäksi se tunnisti yhden ylimääräisen kohdankin. Sivuheilahduskiihtyvyyden hajonta tunnisti kaikki huonot kohdat raja-arvolla  $40 \text{ astetta/s}^2$ , mutta samalla se tunnisti kolme muuta kohtaa huonoksi. Nyökkimiskulmakihtyvyyden hajonta tunnisti neljä huonoo kohtaa raja-arvolla  $30 \text{ astetta/s}^2$ , mutta samalla se tunnisti myös yhden ylimääräisen kohdan huonoksi. Henkilöautoille laskettiin vasteet nopeudella 100 km/h ja ne on esitetty oheisissa kuvissa sinisellä viivalla. Henkilöautopanelistit eivät löytäneet yhtään huonoo kohtaa ja sen takia henkilöautolle laskettujen vasteiden tunnistuskykyä ei tarkasteltu.



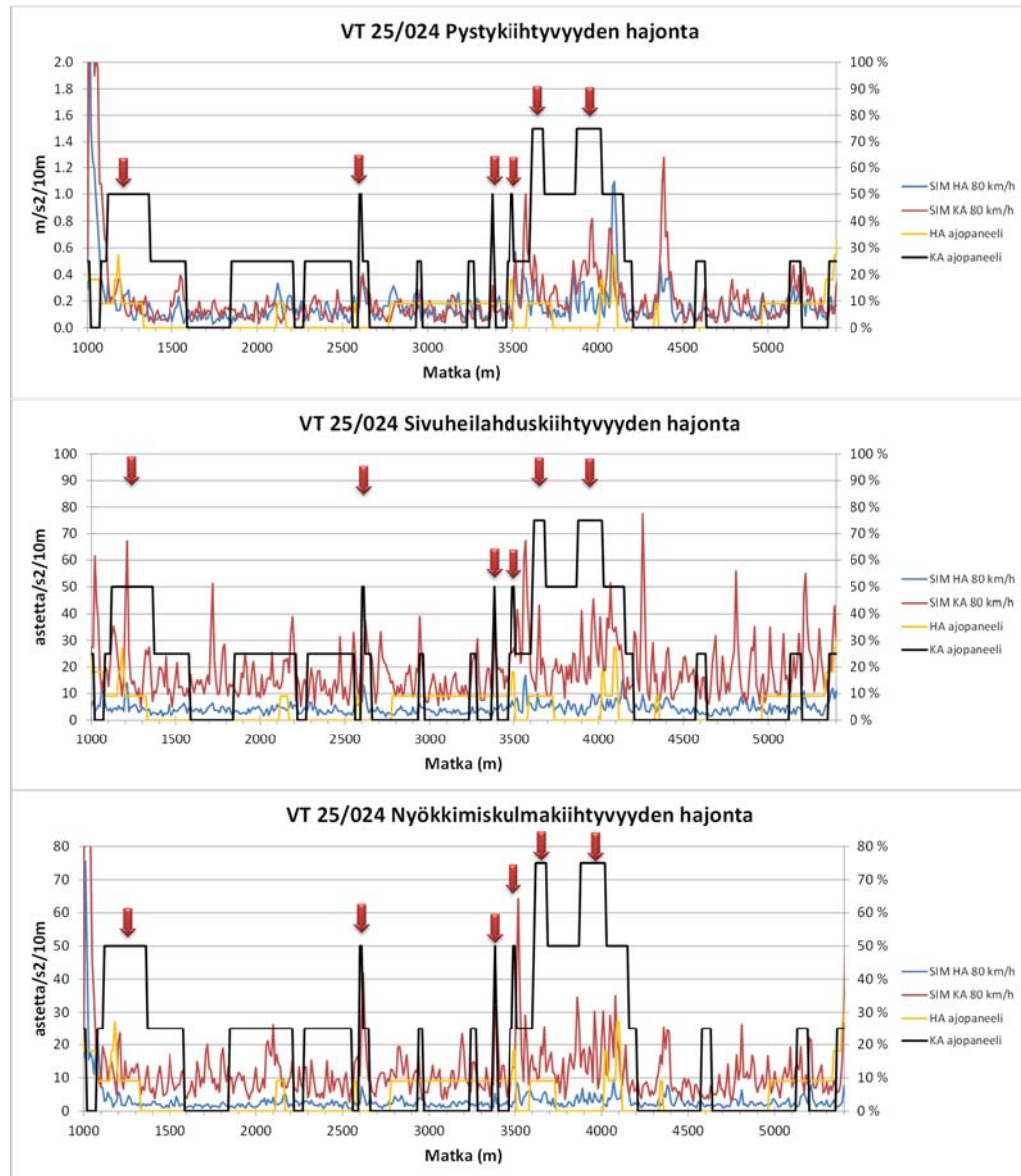
Kuva 70. Simuloitujen liikekiiktyvyydevasteiden hajontojen profiilit kohteella 5 ja niiden rinnalla huonot kohdat.



Kuva 71. Huonouden syyanalyysi kohteella 5 ja niiden rinnalla KA-panelistien tunnistamat huonot kohdat kohdissa 100, 400, 800, 1000 m ja 1800 m.

### 5.2.2.3 Kohde 6 (VT25/024)

Kohde 6 sijaitsi valtatiellä 25 tieosalla 24. Molempien ajoneuvotyyppien simulointitettiin nopeudella 80 km/h. Vain kuorma-autopanelistit tunnistivat huonoja kohtia. Huonojen kohtien lukumäärä jäi epäselväksi johtuen siitä, että panelistien kokema kuntoluokka ei ollut kaikilta osin uskottava. Nyökkimiskulmakiilisyys osui melko hyvin yhteen kolmen huonon kohdan kanssa paaluilla 2600 m, 3400 m ja 3500 m. Simuloitu data ei käynyt muiden kohtien kanssa yhteen ollenkaan. Tämän kohteen tarkempi analyysi jätettiin tekemättä.

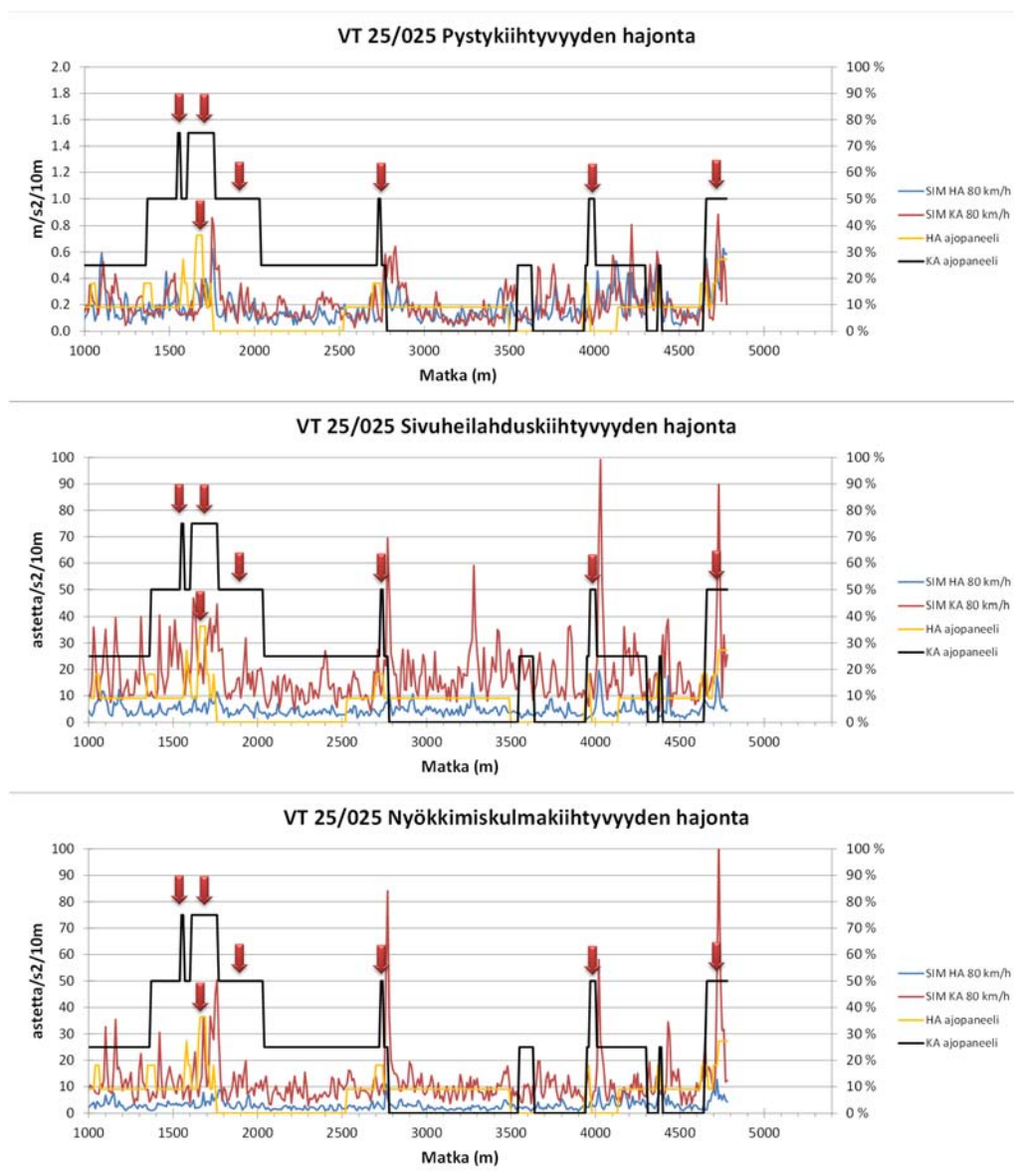


Kuva 72. Simuloitujen liikekiilisyysvasteiden hajontojen profiilit kohteella 6 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

### 5.2.2.4 Kohde 7 (VT25/025)

Kohde 7 sijaitti valtatiellä 25 tieosalla 25. Molempien ajoneuvotyyppien simuloinnit tehtiin nopeudella 80 km/h. Pääasiassa vain kuorma-autopanelistit tunnistivat huonoja kohtia. Huonojen kohtien lukumäärä jäi epäselväksi johtuen siitä, että panelistien kokemus kuntoluokka ei ollut kaikilta osin uskottava. Sekä sivuheilahduskiikkyvyys että nyökkimiskulmakiihtyvyyden osuivat melko hyvin yhteen kolmen huonon kohdan kanssa paaluilla 2700 m, 4000 m ja 4700 m. Sivuheilahduskulmakiihtyvyyden raja-arvona oli 60 astetta/s<sup>2</sup> ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden raja-arvona 50 astetta/s<sup>2</sup>. Simuloitu data ei käynyt muiden kohtien kanssa yhteen ollenkaan. Ajopaneelin pituusmitta oli noin 50 m jäljessä todellisesta paikasta. Kohteelta saatu tulos oli käyttökelpoinen kolmen huonon kohdan kohdalla.

Henkilöautopanelistit tunnistivat yhden huonon kohdan kohdassa 1700 m. Se osui joten kuten yksiin pystykiikkyvyyden kanssa, jos sallitaan noin 70 m paikannusero. Raja-arvona olisi 0.6 m/s<sup>2</sup>.



Kuva 73. Simuloitujen liikekiikkyvyydevasteiden hajontojen profiilit kohteella 7 ja niiden rinnalla huonot kohdat.

### 5.2.3 Seututieolosuhteet

#### 5.2.3.1 Kohde 8 (MT120/007)

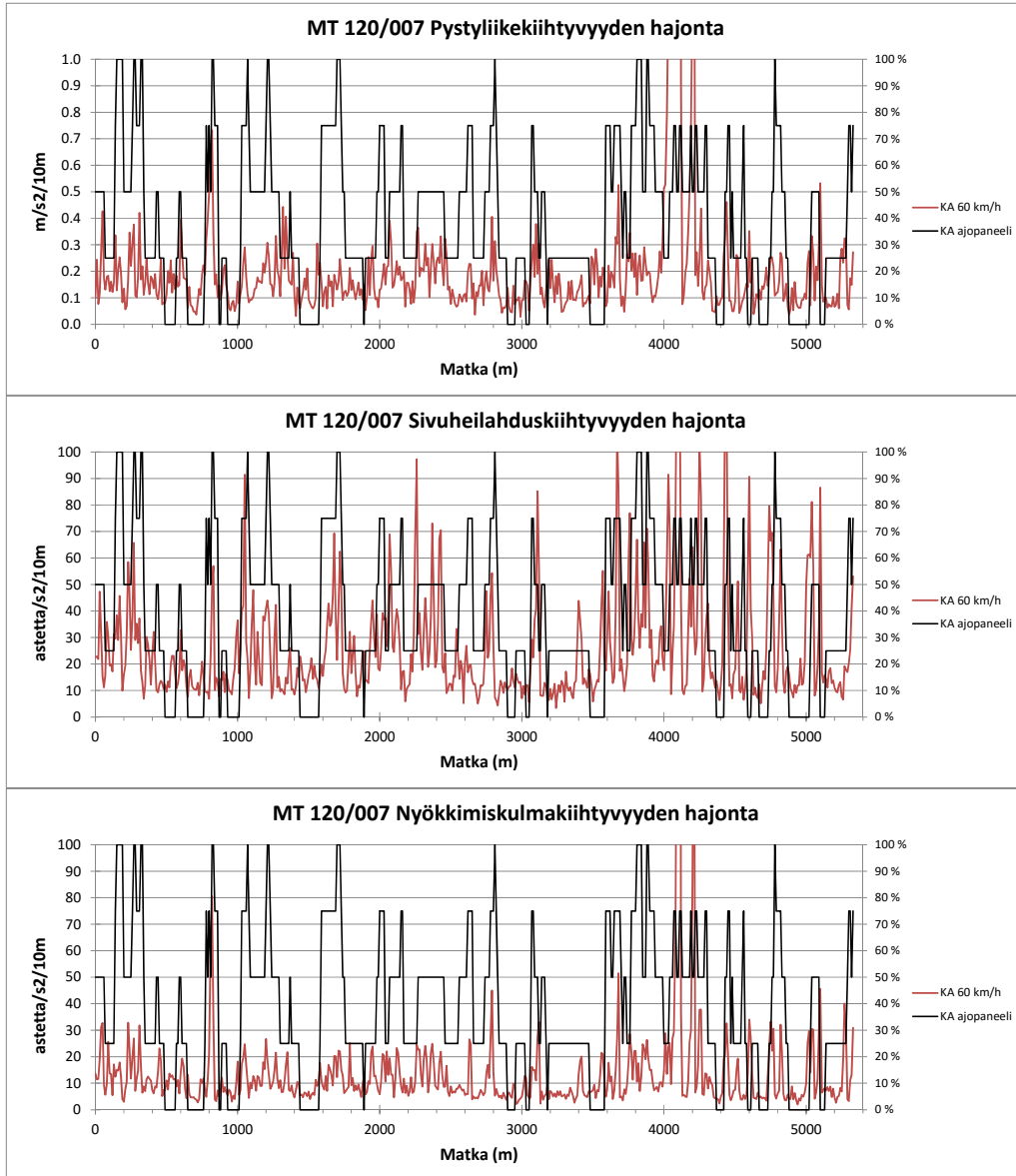
Kohde 8 sijaitsi maantiellä 120 tieosalla 7 ja se ajettiin tierekisteriosoitteen kasvusuuntaa vastaan. Simuloinnit tehtiin nopeudella 60 km/h. Kuorma-auton liikekiihtyvyyksien hajonnat ja koettu huonojen osuus on esitetty kuvassa 74 ja vastaava tilanne henkilö-autoille kuvassa 76. Kohde oli suhteellisen huonokuntoinen ja siinä oli melko runsaasti epätasaisuutta, vaurioita ja paikkauksia. Huonoja kohtia oli niin paljon, että simuloitujen tunnuslukujen ja koetun huonokuntoisuuden vertailua ei voitu tehdä yhtä yksityiskohtaisesti kuin aiemmin esitetyillä kohteilla.

Kuorma-auton liikevasteiden graafisen tarkastelun perusteella (kuva 74) tehtiin mm. seuraavat havainnot:

- Kuorma-autopanelistien mukaan kohteesta oli 45 % huonokuntoista. Simuloitujen tunnuslukujen keskiarvot koko kohteelle olivat pystykiihtyvyyden hajonnalle  $0.26 \text{ m/s}^2$ , sivuttaisheilahduskiihtyvyyden hajonnalle  $25.4 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnalle  $15.2 \text{ astetta/s}^2$ .
- Hyväkuntoiset kohdat pystyttiin erottelamaan pystykiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $0.2 \text{ m/s}^2$ , sivuheilahduskiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $20 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $10 \text{ astetta/s}^2$ .
- Kuorma-autosimuloinnissa saatiin huonojen kohtien kohdalla kaikkiin em. tunnuslukuihin suuria arvoja.

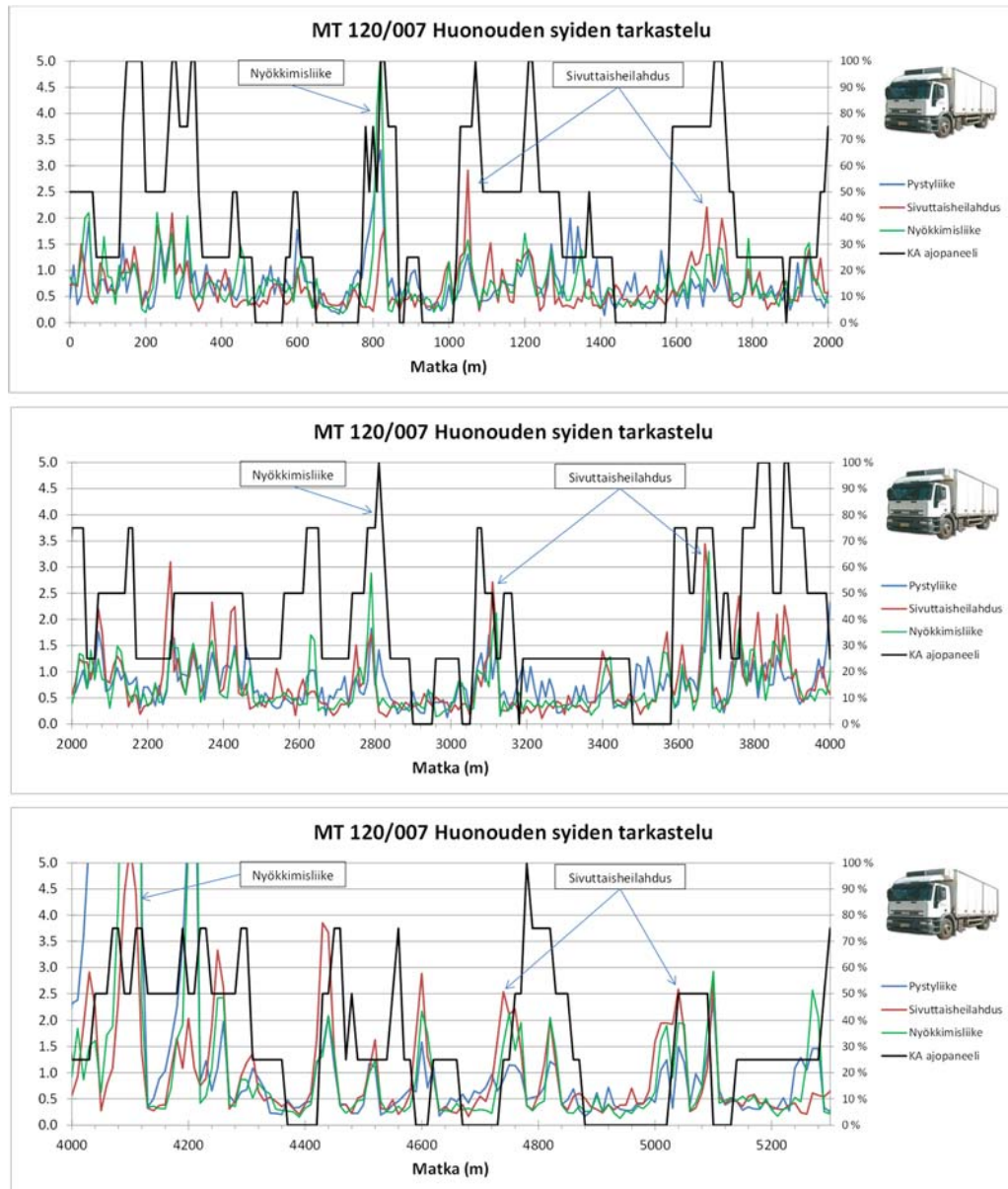
Huonouden syitä tarkasteltiin kohteella 8 samalla tavalla (kuva 75) kuin aiemmin kohteella 1. Kuorma-auton liikekiihtyvyyksistä muodostettiin tiekeskiarvot ja kunkin kymmenmetrisen arvoa verrattiin siihen. Missä arvo ylitti arvon 3, siinä yleensä oli koettu huono kohta. Se tunnusluku, joka sai suurimman arvon, oli huonouden pääasiallinen syy. Ts. se tunnusluku, joka poikkesi eniten sille tielle ominaisesta vaihtelustaan, oli sen kohdan huonouden pääasiallinen syy. Syytarkastelun perusteella tehtiin mm. seuraavat päätelmät:

- Pystykiihtyvyys oli pääasiallinen huonouden syy kohdissa 600 ja 4000–4100 m.
- Sivuheilahtelu oli pääasiallinen huonouden syy kohdissa 1050 m, 1700 m, 2300 m, 2400 m, 3100 m, 3700 m, 3800 m, 3900 m, 4300 m, 4050 m, 4600 m, 4700 m ja 5050 m.
- Nyökkimisliike oli pääasiallinen huonouden syy kohdissa 800 m, 1200 m, 1800 m, 2650 m, 2800 m ja 4100 m.
- Muissa huonoissa kohdissa huonouden syynä olivat joko kaikki eri liikevasteet tai kaksi niistä.
- Koska kohde oli melko huonokuntoinen, tuli sille laskettujen tunnuslukujen ominaisvaihteluista (pystykiihtyvyys, sivuheilahtelu ja nyökkiminen) suuria. Tällöin kymmenmetristen suhde ominaisvaihteluun tuli pieneksi eikä raja-arvo 3 toiminutkaan samalla tavalla kuin aiemmin kohteelle yksi. Ominaisvaihtelun tilalle tulisikin ottaa joko samanlaiselle, mutta parempikuntoiselle tielle tyypillinen vaihtelu tai uuden päällysteen ominaisvaihtelu.



Kuva 74. Kuorma-auton simuloitujen liikekihtyvyydvasteiden hajontojen profiilit kohteella 8 ja niiden rinnalla huonot kohdat.





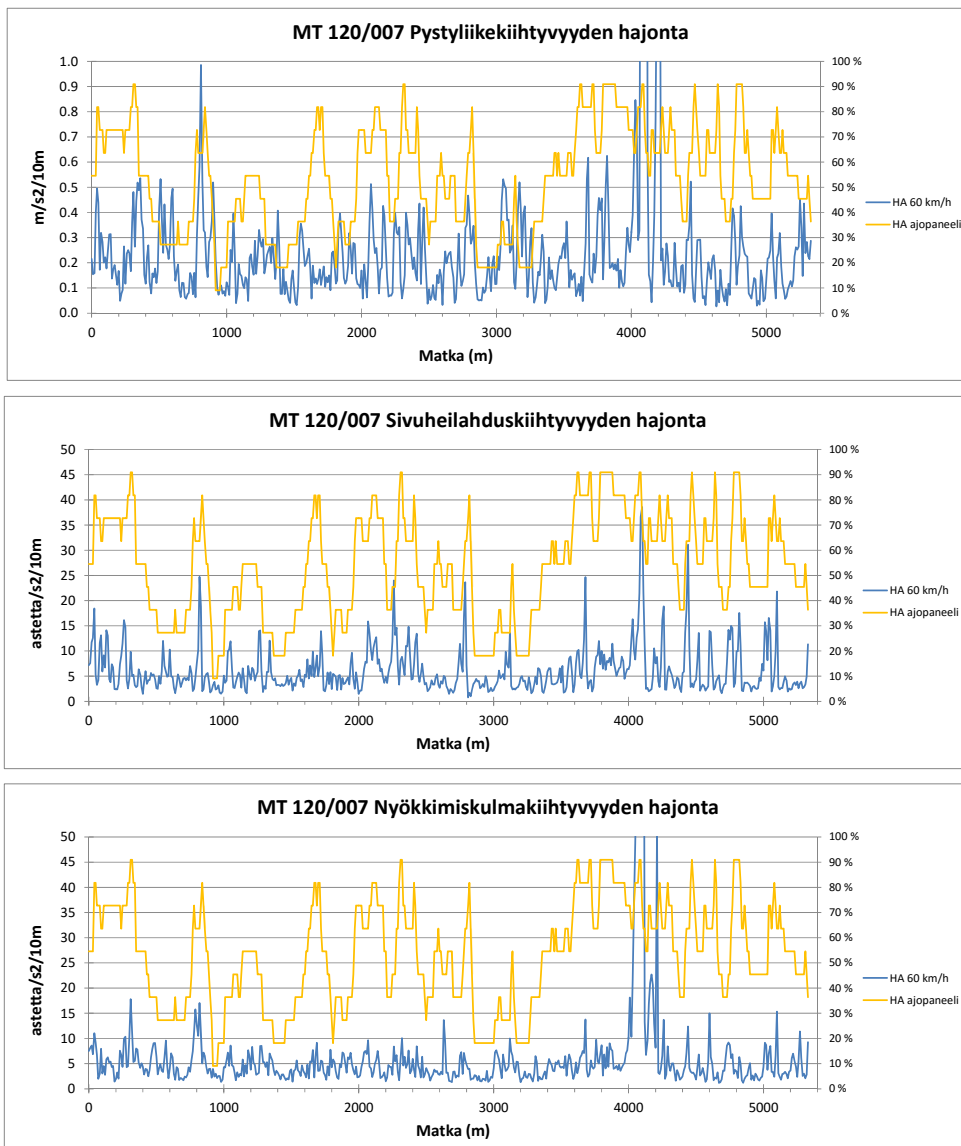
Kuva 75. Huonouden syiden tarkastelu kuorma-auton liikevasteilla kohteella 8.

Henkilöauton liikevasteiden graafisen tarkastelun perusteella (Kuva 76) tehtiin mm. seuraavat havainnot:

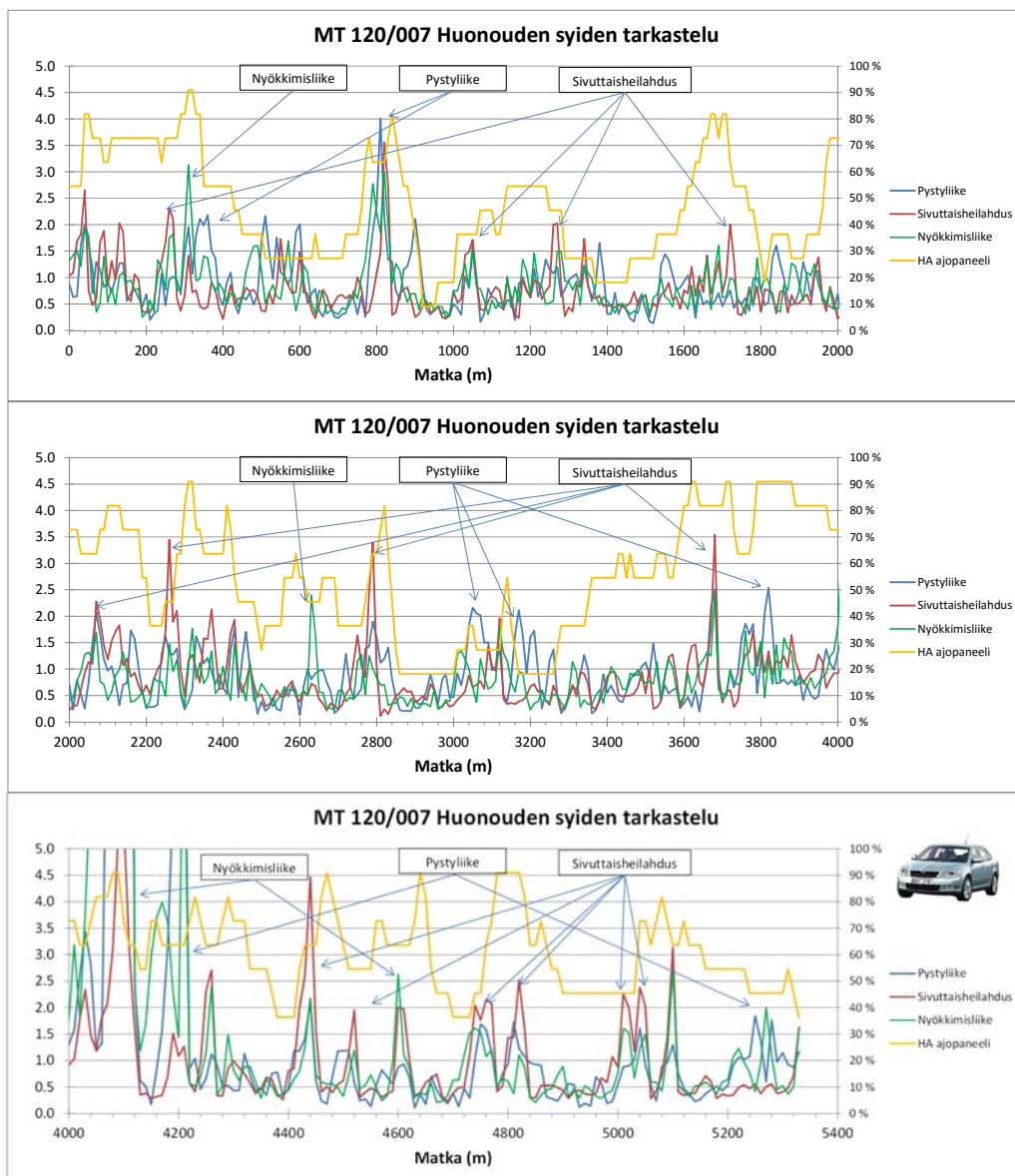
- Henkilöautopanelistien mukaan kohteesta 53 % oli huonokuntoista. Simuloidun tunnuslukujen keskiarvot olivat pystykiihtyvyyden hajonnalle  $0.27 \text{ m/s}^2$ , sivuheilahduskiihtyvyyden hajonnalle  $6.0 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnalle  $5.8 \text{ astetta/s}^2$ .
- Hyväkuntoiset kohdat pystyttiin erottelamaan pystykiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $0.2 \text{ m/s}^2$ , sivuheilahduskiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $5 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $5 \text{ astetta/s}^2$ .

Huonouden syitä tarkasteltiin vertaamalla liikevasteiden vaihtelua tielle tyypilliseen ominaisvaihteluun samalla tavalla kuin edellä (Kuva 78). Siitä tehtiin mm. seuraavat päätelmät:

- Pystykiikkyvyys oli pääasiallinen huonouden syy kohdissa 350 m, 800 m, 3050 m, 3200 m, 3800 m, 4200 m ja 5250 m.
- Sivuttaisheilaudus oli pääasiallinen huonouden syy kohdissa 250 m, 1050 m, 1250 m, 1750 m, 2100 m, 3100 m, 3200 m, 3800 m, 4200 m ja 5250 m.
- Nyökkimisliike oli pääasiallinen huonouden syy kohdissa 300 m, 2650 m, 4100 m ja 4600 m.
- Muissa huonoissa kohdissa huonouden syynä olivat joko kaikki eri liikevasteet tai kaksi niistä.
- Koska kohde oli melko huonokuntoinen, tuli sille laskettujen tunnuslukujen ominaisvaihtelusta (pystykiikkyvyys, sivuheilahtelu ja nyökkiminen) suurta. Tällöin kymmenmetristen suhde ominaisvaihteluun tuli pieneksi eikä raja-arvo 3 toiminutkaan samalla tavalla kuin aiemmin kohteelle yksi. Ominaisvaihtelun tilalle tulisikin ottaa joko samanlaiselle, mutta parempikuntoiselle tielle tyypillinen vaihtelu tai uuden päällysteen ominaisvaihtelu.



Kuva 76. Henkilöauton liikekiikkyvyysien hajonnat (sininen) ja tien huonokuntoisuus (keltainen) kohteella 8.



Kuva 77. Huonouden syiden tarkastelu henkilöauton liikevasteilla kohteella 8.

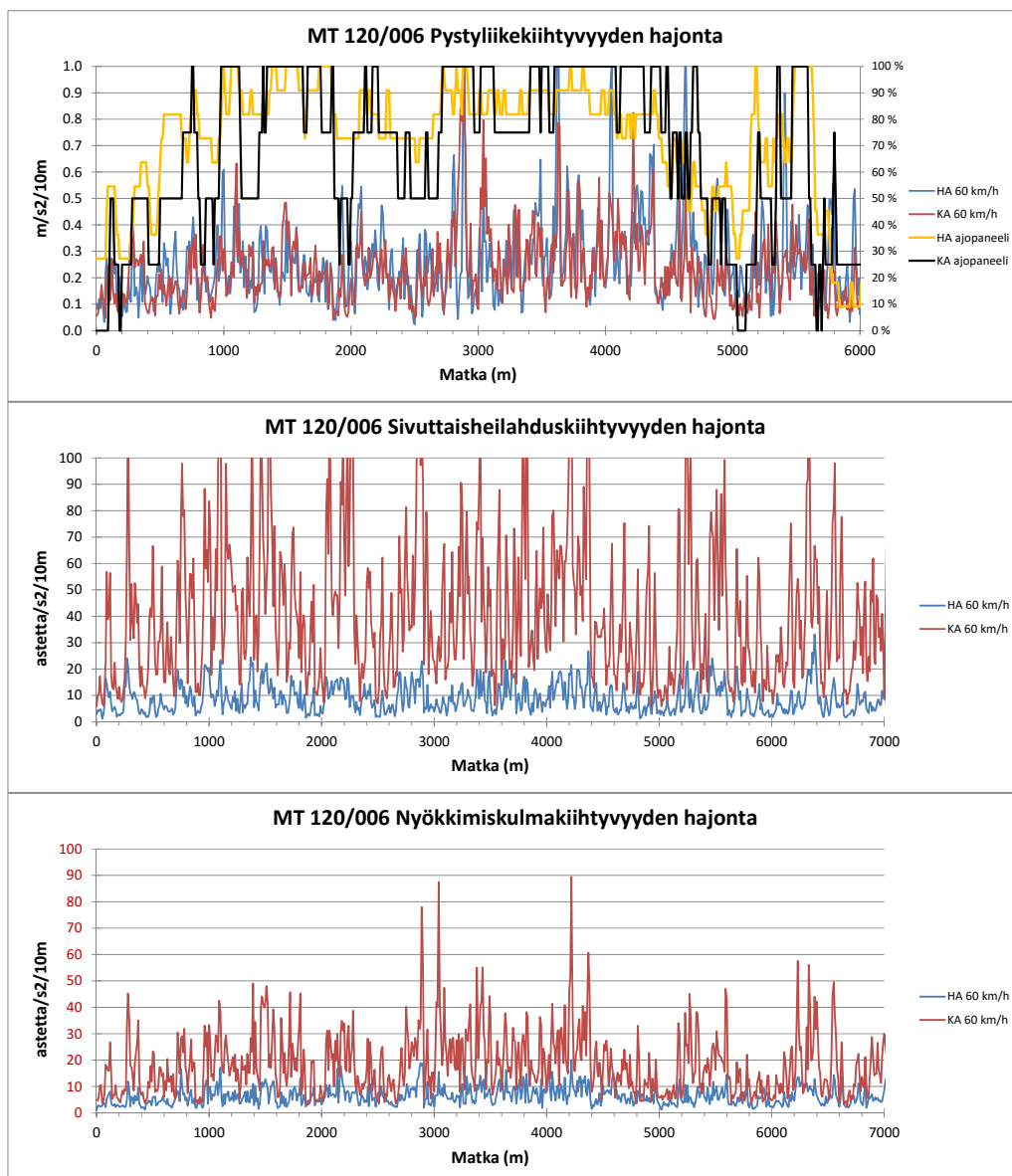
## 5.2.4 Yhdistieolosuhteet

### 5.2.4.1 Kohde 9 (MT120/006)

Kohde 9 oli maantien 120 tieosa 6 ja se ajettiin tierekisteriosoitteen kasvusuuntaa vastaan. Simuloinnit tehtiin nopeudella 60 km/h. Henkilöauton ja kuorma-auton liikekiihtyvyyksien hajonnat ja koettu huonojen osuus on esitetty kuvassa 78. Kohde oli suhteellisen huonokuntoinen ja siinä oli melko runsaasti epätasaisuutta, vaurioita ja paikkauksia. Huonoja kohtia oli niin paljon, että simuloitujen tunnuslukujen ja koetun huonokuntoisuuden vertailua ei voitu tehdä yhtä yksityiskohtaisesti kuin aiemmin esiteillä kohteilla.

Liikevasteiden graafisen tarkastelun perusteella (kuva 78) tehtiin mm. seuraavat havainnot:

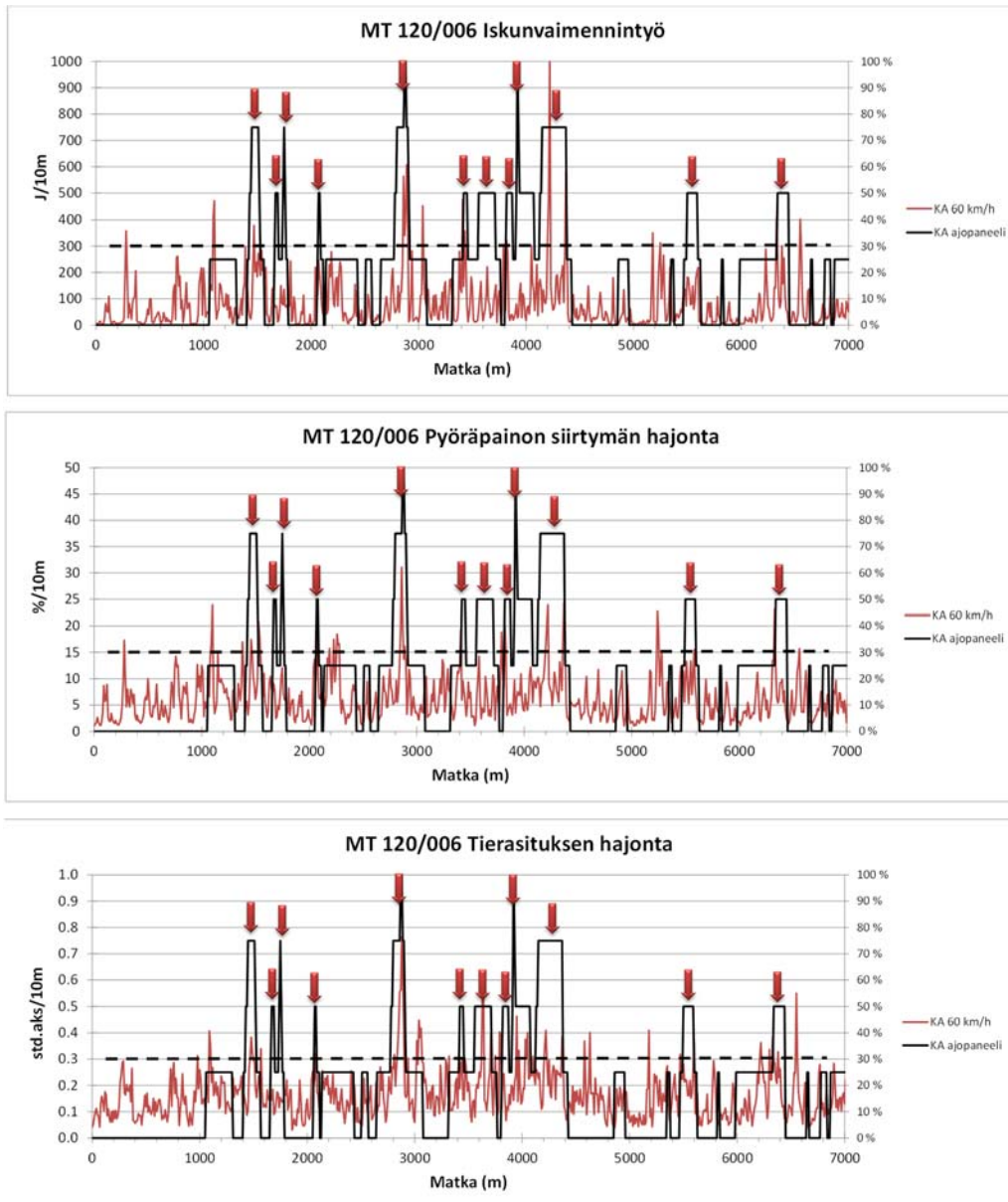
- Kuorma-autopanelistien mukaan kohteesta oli 67 % huonokuntoista. Kohteen koko pituudelle laskettu ominaisvaihtelu oli pystykiihtyvyyden hajonnalle  $0.22 \text{ m/s}^2$ , sivuttaisheilahduskiihtyvyyden hajonnalle  $40.2 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnalle  $18.0 \text{ astetta/s}^2$ .
- Hyväkuntoiset kohdat pystyttiin erottelemaan huonoista pystykiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $0.2 \text{ m/s}^2$ , sivuheilahduskiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $20 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnan raja-arvolla  $10 \text{ astetta/s}^2$ .
- Kuorma-autosimuloinnissa saatiin huonojen kohtien kohdalla kaikkiin em. tunnuslukuihin suuria arvoja.
- Henkilöautopanelistien mukaan kohteella oli 68 % huonokuntoista. Kohteen henkilöautolle simuloitujen liikevasteiden ominaisvaihtelu oli pystykiihtyvyyden hajonnalle  $0.25 \text{ m/s}^2$ , sivuttaisheilahduskiihtyvyyden hajonnalle  $8.5 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnalle  $6.3 \text{ astetta/s}^2$ .
- Hyväkuntoiset kohdat pystyttiin erottelemaan huonokuntoisista kohdista pystykiihtyvyyden raja-arvolla  $0.25 \text{ m/s}^2$ , sivuheilahtelun raja-arvolla  $5 \text{ astetta/s}^2$  ja nyökkimiskulmakiihtyvyyden raja-arvolla  $5 \text{ astetta/s}^2$ .
- Henkilöautopanelistien ja kuorma-autopanelistien kokema ajomukavuus oli melko yhtenäinen.



Kuva 78. Liikekiihtyvyyksien hajonnat ja huonokuntoisuuden osuudet kohteella 9. Ajopaneelien tulokset esitetty vain ylimmässä kuvassa.

Koska tämä kohde oli poikkeuksellisen huonokuntoinen, tarkasteltiin myös kuorma-auton pyöräpainsiirtymiä, tierasitusta ja iskunvaimentimien tekemää työtä (Kuva 79). Niitä tarkasteltiin erittäin huonoja kohtia vasten. Yhteenvetona siitä voidaan esittää seuraavat havainnot:

- Kohteella oli kuorma-autopanelistien mukaan noin 12 erittäin huonoa kohtaa.
- Iskunvaimentimien työ tunnisti niistä 6 kpl raja-arvolla 300 Joulea. Lisäksi sen mukaan panelisteilta olisi jäänyt tunnistamatta erittäin huonoksi noin viisi kohtaa. Eli ne tunnistettiin siten vain huonoksi.
- Pyöräpainsiirtymän hajonta tunnisti niistä 8 kpl raja-arvolla 15 ‰. Lisäksi sen mukaan panelisteilta olisi jäänyt tunnistamatta neljä kohtaa.
- Tierasituksen hajonta tunnisti niistä 10 kpl raja-arvolla 0.3 std.aks. Lisäksi sen mukaan panelisteilta olisi jäänyt tunnistamatta noin kuusi kohtaa.



Kuva 79. Muut tunnusluvut ja erittäin huonojen kohtien osuudet kohteella 9.

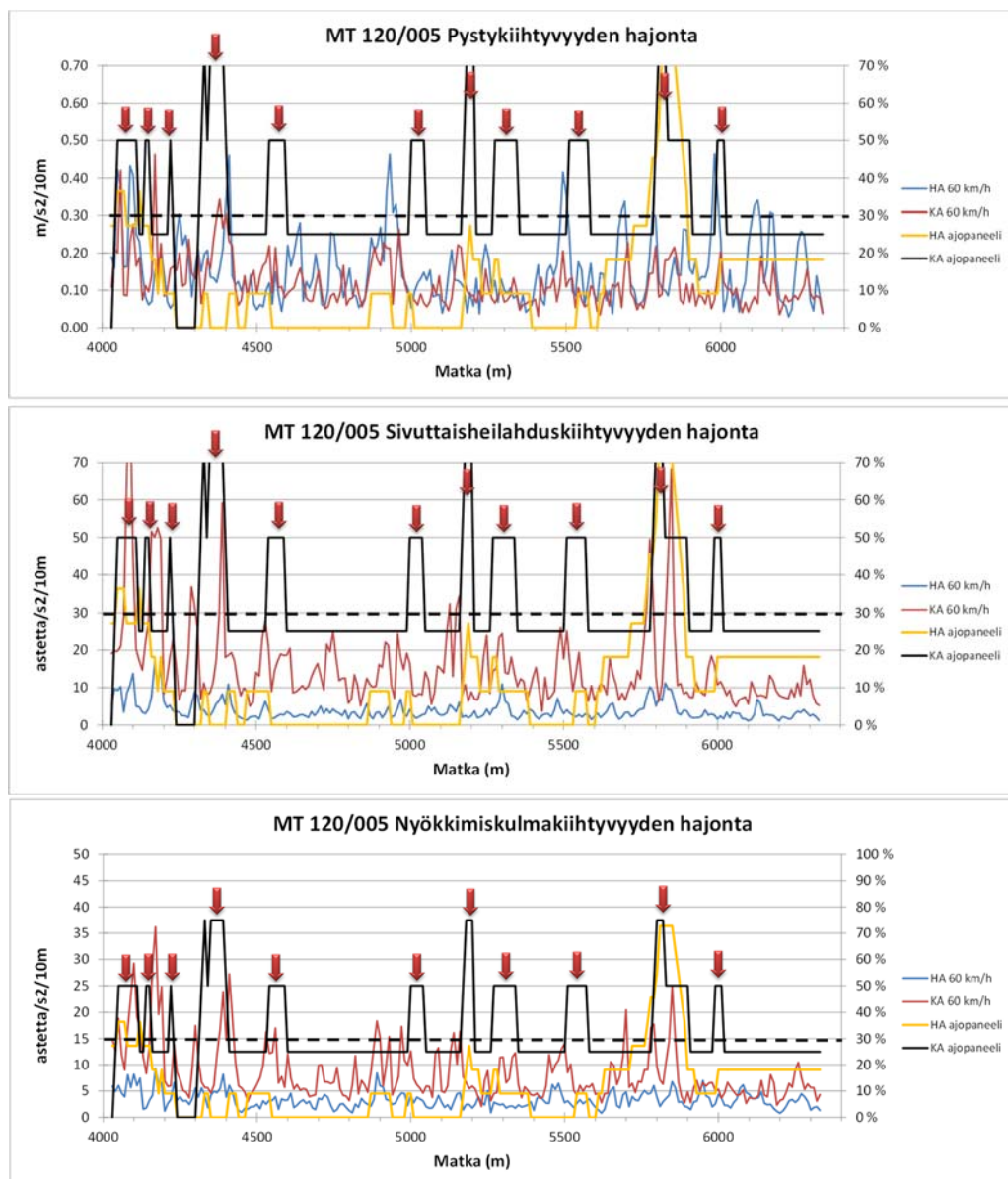
#### 5.2.4.2 Kohde 10 (MT120/005)

Kohde 10 oli maantien 120 tieosa 5 ja siitä ajettiin tierekisteriosoitteen kasvusuuntaa vastaan paaluväli 4000-6300 m. Simuloinnit tehtiin nopeudella 60 km/h. Henkilöauton ja kuorma-auton liikekiihtyvyyksien hajonnat ja koettu huonojen osuus on esitetty kuvassa 80. Kohde oli suhteellisen huonokuntoinen ja siinä oli melko runsaasti epätasaisuutta, vaurioita ja paikkauksia. Kuorma-autolle tehdystä tarkastelusta tehtiin seuraavat havainnot:

- Kohteella oli 11 huonoksi koettua kohtaa.
- Pystykiihtyvyyden hajonta tunnisti ne kaikki raja-arvolla  $0.20 \text{ m/s}^2$ .
- Sivuheilahduskiihtyvyyden hajonta tunnisti niistä 10 raja-arvolla  $20 \text{ astetta/s}^2$ .
- Nyökkimiskulmakihtyvyyden hajonta tunnisti niistä myös 10 raja-arvolla  $10\text{--}15 \text{ astetta/s}^2$ .

Henkilöautolle tehdystä tarkastelusta tehtiin seuraavat havainnot:

- Kohteella oli kolme huonokuntoista kohtaa.
- Pystykiiktyvyyden hajonnalla tunnistettiin niistä kaksi raja-arvolla  $0.30 \text{ m/s}^2$ , mutta samalla saatiin useita raja-arvon ylittäviä kohtia, joita panelistit eivät pitäneet huonona.
- Sivuheilauksen hajonnalla tunnistettiin ne kaikki raja-arvolla 10 astetta/ $s^2$ . Samalla saatiin kuitenkin kaksi raja-arvon ylittävää muuta kohtaa, joita panelistit eivät pitäneet huonona.
- Nyökkimiskulman hajonnalla tunnistettiin kaikki huonot kohdat raja-arvolla 5 astetta/ $s^2$ , mutta samalla saatiin 7 raja-arvon ylittävää muuta kohtaa, joita panelistit eivät pitäneet huonona.
- Huonojen kohtien selvin syy oli ajoneuvon sivuheilahtelu.

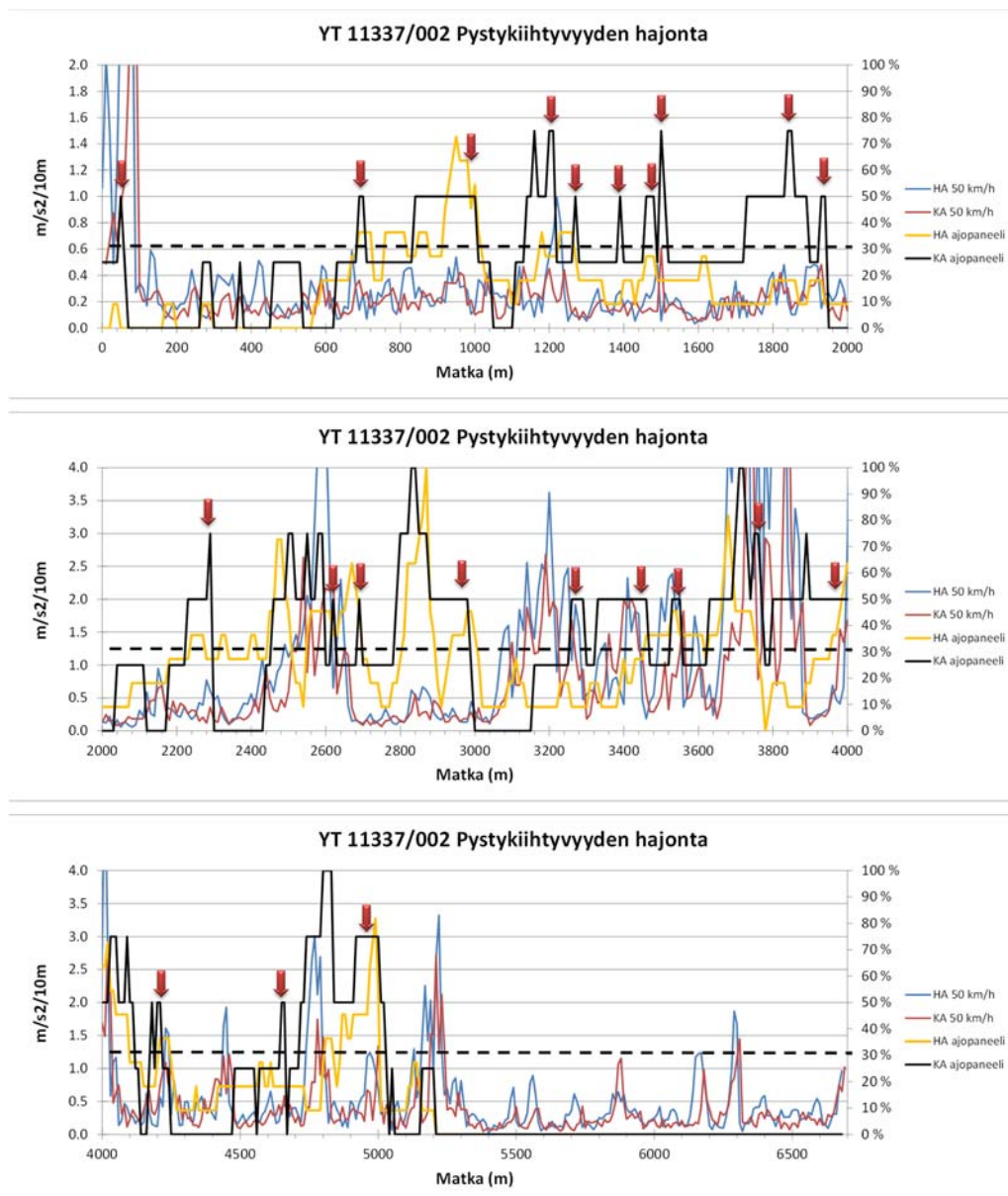


Kuva 80. Liikekiiktyvyyksien hajonnat ja huonokuntoisuuden osuudet kohteella 10.

### 5.2.4.3 Kohde 11 (YT 11337/002)

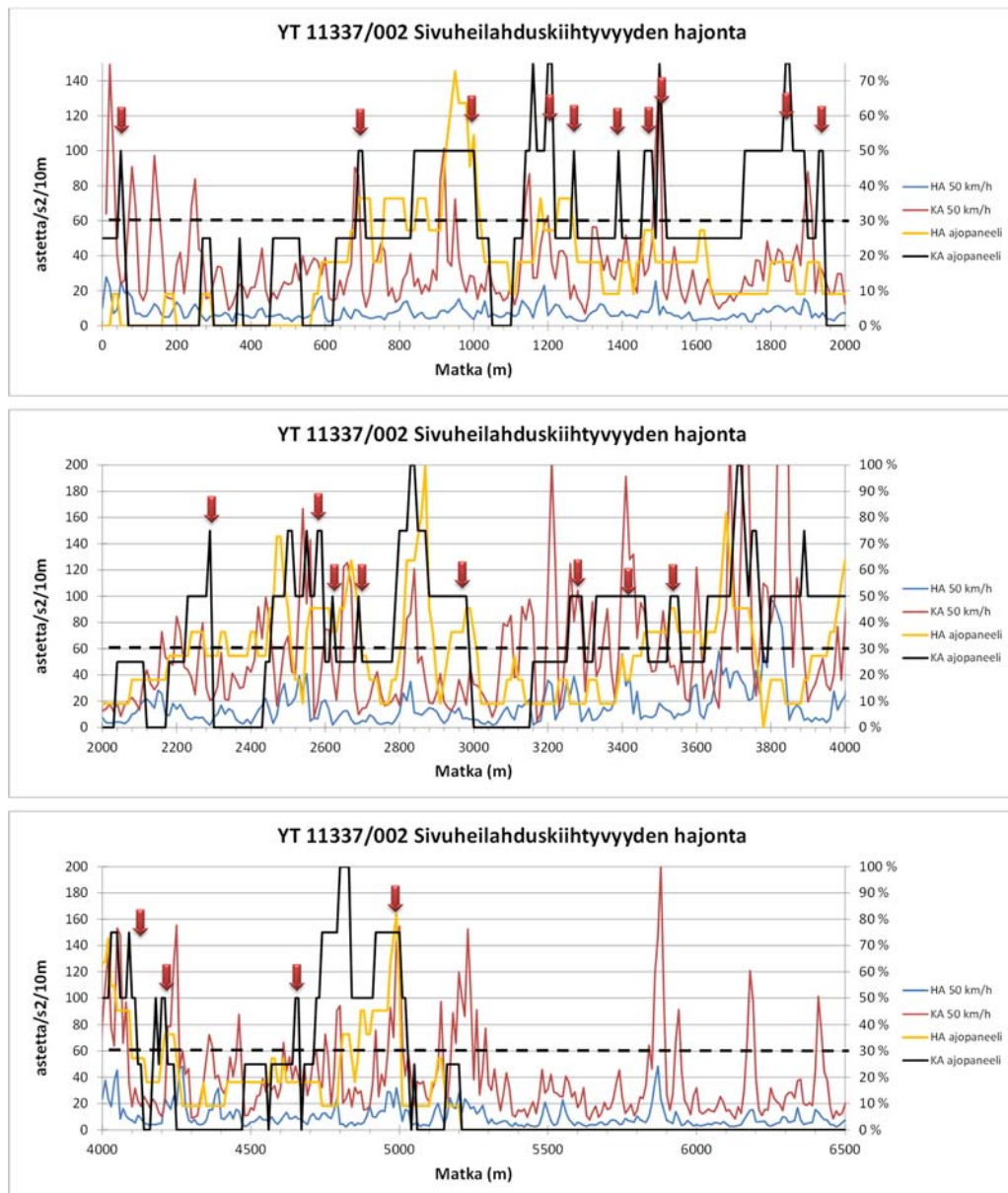
Kohde 11 oli yhdystien 11337 tieosa 2, joka ajettiin tierekisterin kasvusuuntaa vastaan noin 50 km/h. Tie oli kapea, mutkainen ja mäkinen ja siinä oli runsaasti roudaheittoja, reunapainauksia ja epätasaisuutta. Se oli sekä haastava ajettava että haastava arvioitava. Tien geometria ei mahdollistanut täyden nopeuden pitämistä. Pystykiikityvyyksien tarkastelu on esitetty kuvassa 81. Kohteella oli ainakin 22 huonoa kohtaa. Niin pi-tuudet vaihtelivat melko paljon. Henkilöautopanelistien ja kuorma-autopanelistien arvioissa oli yhtenäisyyksiä mutta myös erilaisuutta. Pystykiikityvyyden tunnistuskyvystä todettiin seuraavaa:

- Pystykiikityvyyden hajonta tunnisti huonoja kohtia raja-arvolla 0.3–0.5 m/s<sup>2</sup>. Se ei kuitenkaan tunnistanut kaikkia huonoja kohtia.
- Kohteessa oli selvästi myös muista syistä johtuvaa huonokuntoisuutta.
- Henkilöauton ja kuorma-auton pystykiikityvyyksien hajonnat olivat melkein yhtä suuria.

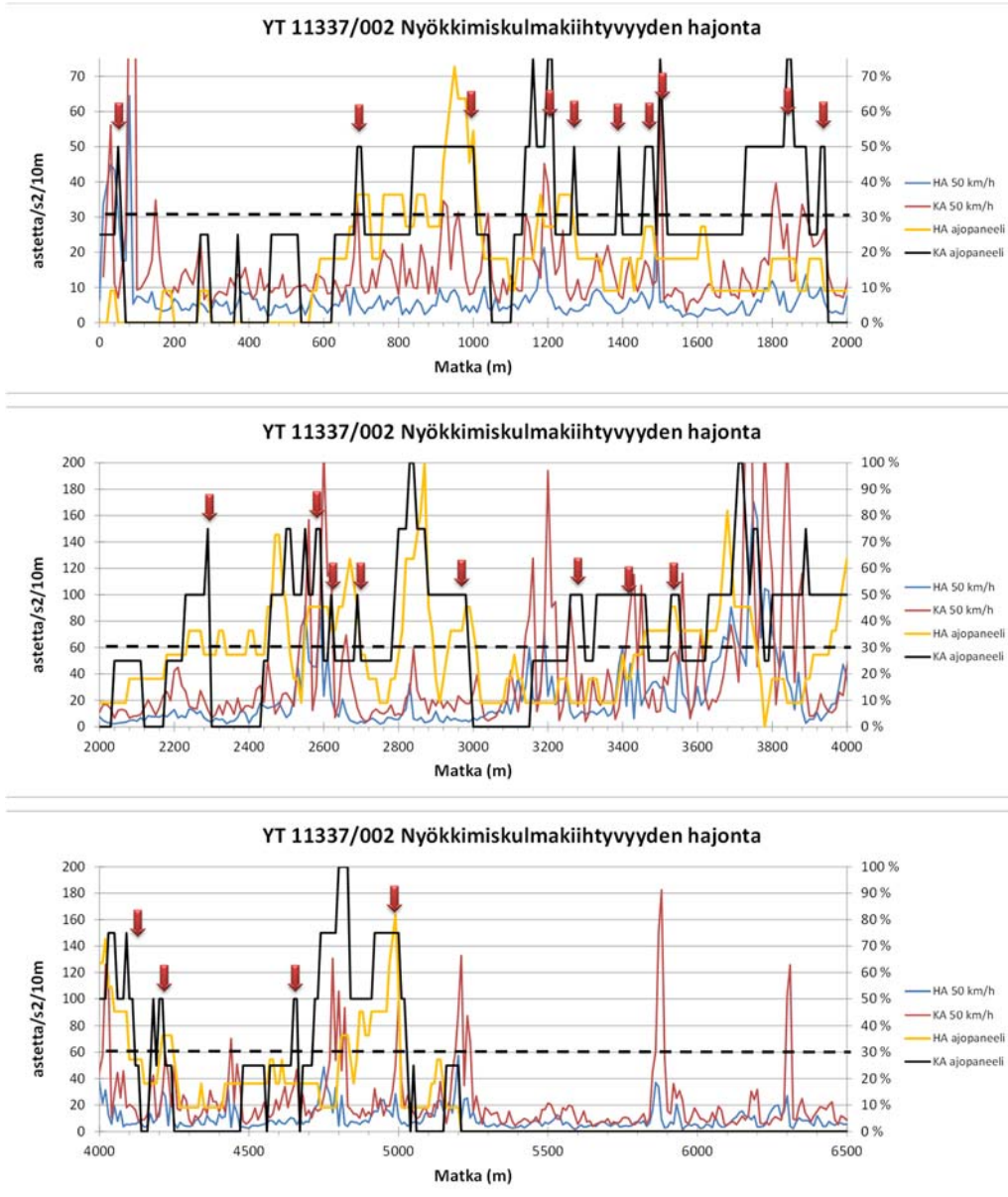


Kuva 81. Pystykiikityvyyden hajonta ja huonokuntoiset osuudet kohteella 11 kahden kilometrin pätkissä.





Kuva 82. Sivuheilahduskihtyvyyden hajonta ja huonokuntoiset osuudet kohteella 11 kahden kilometrin pätkissä.



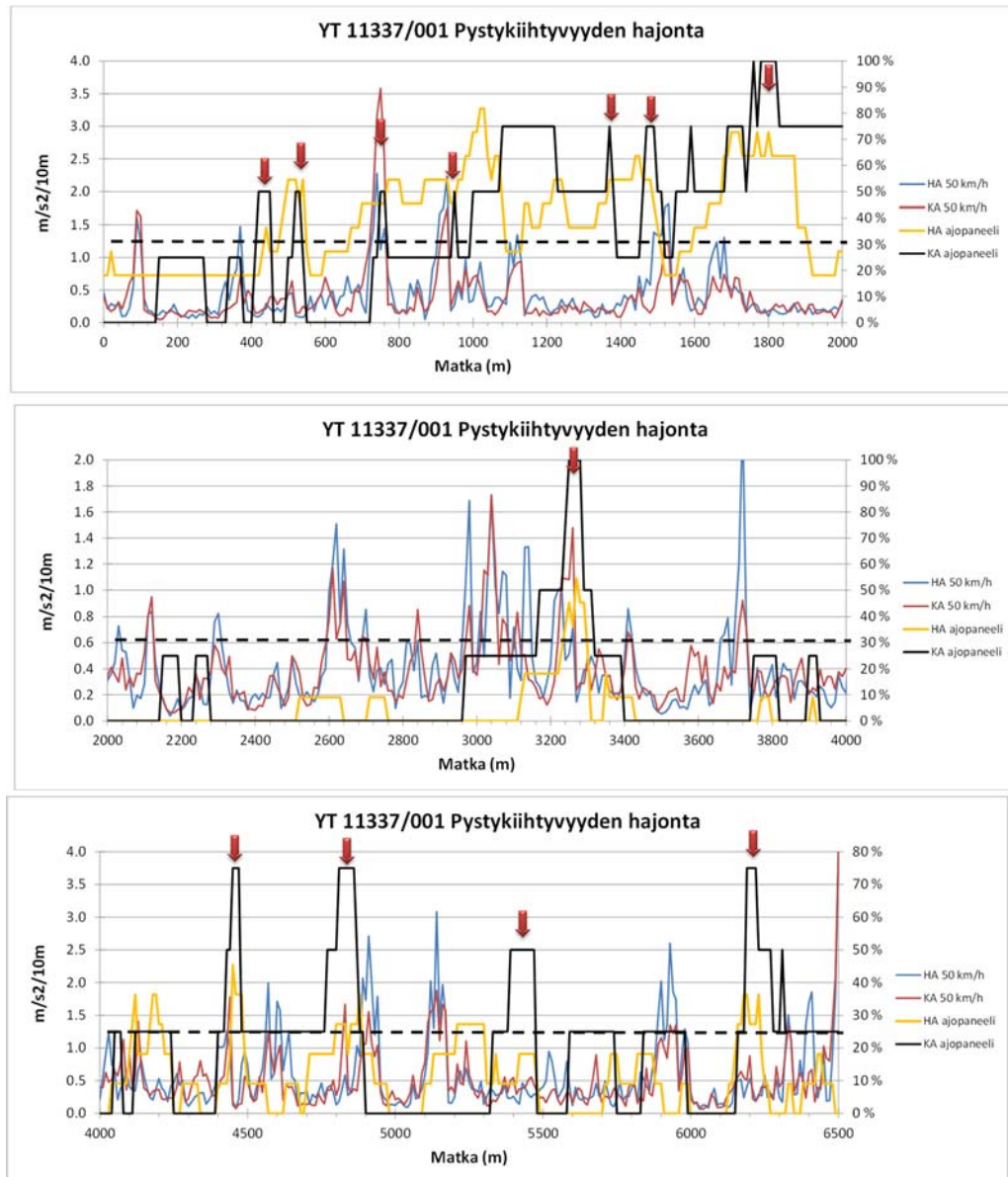
Kuva 83. Nyökkimiskulmakihtyvyyden hajonta ja huonokuntoiset osuudet kohteella 11 kahden kilometrin pätkissä.

#### 5.2.4.4 Kohde 12 (YT 11337/001)

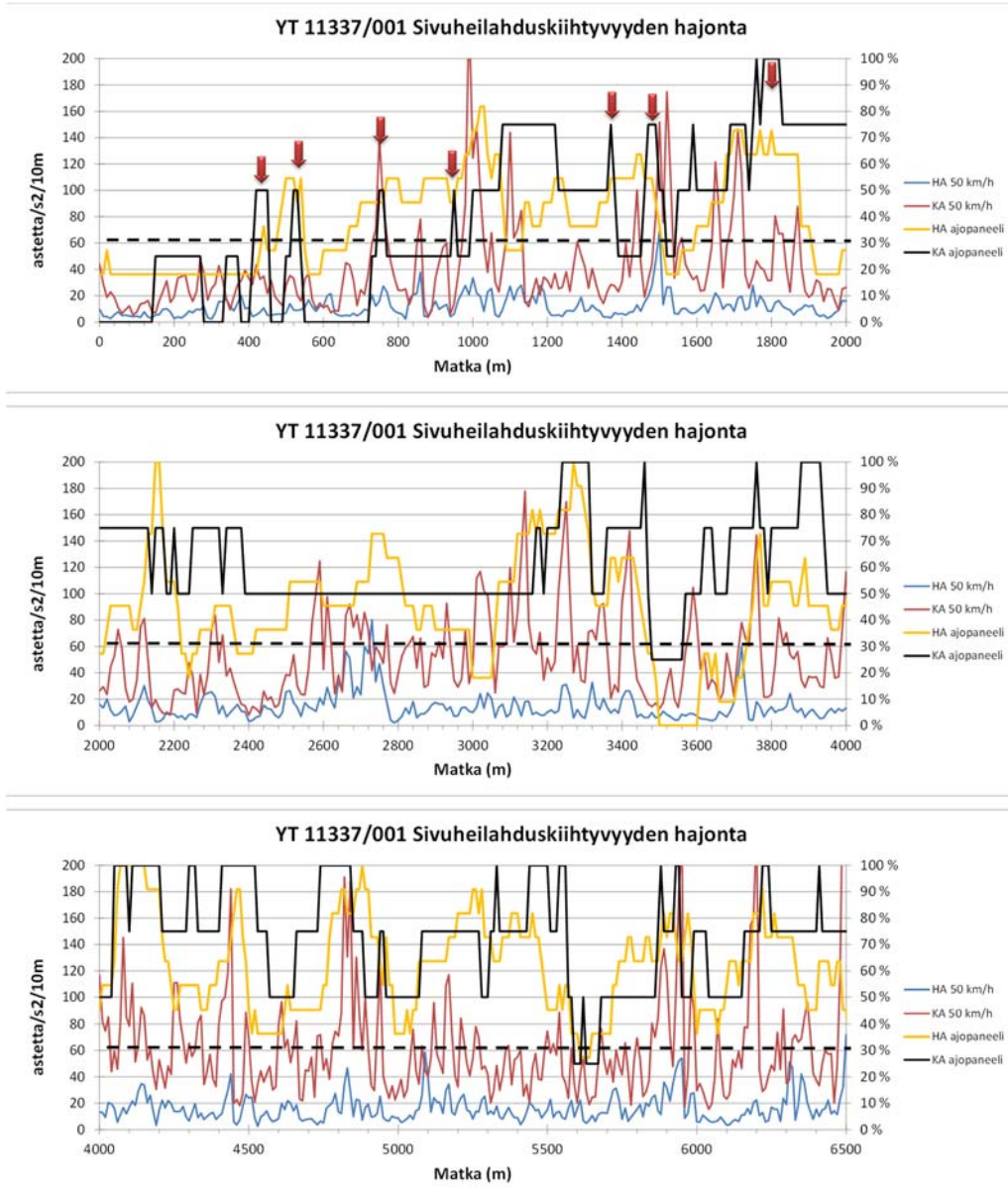
Kohde 12 oli yhdystien 11337 tieosa 1, joka ajettiin kohteen 11 tapaan tierekisterin kasvuun vastaan noin 50 km/h. Tie oli kapea, mutkainen ja mäkinen ja siinä oli runsaasti routaheittoja, reunapainauksia ja epätasaisuutta. Se oli sekä haastava ajettava että haastava arvioitava. Tien geometria ei mahdollistanut täyden nopeuden pitämistä. Pystykihtyvyyksien tarkastelu on esitetty kuvassa 8481. Suurin osa kohteesta oli huonokuntoista eikä hyvän ja huonon vaihtumiskohtia ollut kovin monta. Huonot kohdat olivat pitkiä. Henkilöautopanelistien ja kuorma-autopanelistien arvioissa oli yhtenäisyyksiä mutta myös erilaisuutta. Pystykihtyvyyden tunnistuskyvystä todettiin seuraavaa:

- Pystykihtyvyyden hajonta tunnisti huonoja kohtia raja-arvolla 0.3–0.5 m/s<sup>2</sup>. Se ei kuitenkaan tunnistanut kaikkia huonoja kohtia.
- Kohteessa oli selvästi myös muista syistä johtuvaa huonokuntoisuutta.

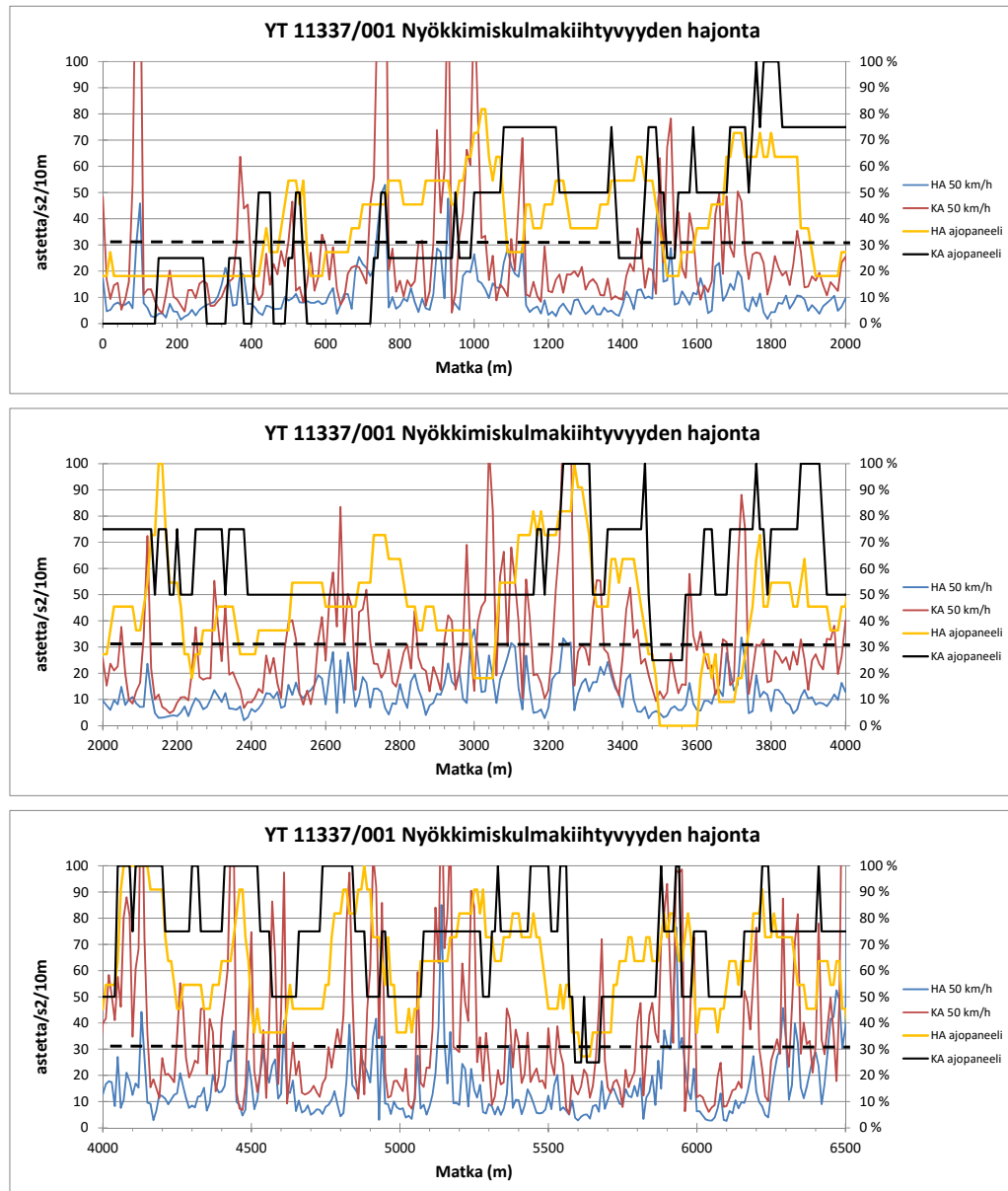
- Henkilöauton ja kuorma-auton pystykiehtyvyyksien hajonnat olivat melkein yhtä suuria.
- Sivuheilahtelun (Kuva 85) ja nyökkimiskulman (Kuva 86) perusteella heräsi epäily, että simuloinnit olisi tehty liian suurella nopeudella. Kuvia on siksi lähes mahdoton tulkita.



Kuva 84. Pystykiehtyvyyden hajonta ja huonokuntoiset osuudet kohteella 12 kahden kilometrin pätkissä.



Kuva 85. Sivuheilahduskiiktyvyyden hajonta ja huonokuntoiset osuudet kohteella 12 kahden kilometrin pätkissä.



Kuva 86. Nyökkimiskulmakihtyvyyden hajonta ja huonokuntoiset osuudet kohteella 12 kahden kilometrin pätkissä.

## 5.3 Tunnuslukujen valinta

Ajoneuvosimulointi tuotti suuren määrän erilaisia tunnuslukuja. Simuloinnissa voidaan tarkastella liikkeitä ajoneuvon akselistossa, sen korissa sekä ajoneuvon istuin-kuljettaja-systeemissä. Tässä työssä rajoituttiin vain ajoneuvon koriin kohdistuviin liikkeisiin. Samasta liikekomponentista oli tarjolla kolme erilaista tunnuslukua; liike itsessään sekä sen nopeus ja kiihtyvyys. Liikekiihtyvyys otti niistä parhaiten huomioon kuljettajaan tai matkustajaan kohdistuvia epätasaisuudesta johtuvia vaikutuksia, koska siihen liittyi liikkeen haitallisuus.

Lisäksi kullekin liikekomponentille oli tarjolla sen keskiarvo, hajonta ja maksimiarvo. Keskiarvon huonona puolena oli, että se vaihteli paljon eikä sen avulla pystytty paikallistamaan tiessä olevia huonoja kohtia kovin hyvin. Tunnuslukuja tarkasteltiin lähinnä graafisesti vertaamalla niiden arvoja ajopaneelista saatuihin huonoihin kohtiin ja siksi

tunnusluvun paikallistusominaisuus oli tärkeä. Hajontatunnusluvun hyvinä puolina oli, että se oli hyvillä tien kohdilla suhteellisen stabiilia ja sai suurimmat arvonsa juuri silloin kun tiessä oli haitallisia huonoksi koettuja kohtia. Sen arvo ei vaihdellut yhtä paljon kuin maksimiarvot, joiden suhteen raja-arvojen määrittäminen ja yhtenäisyys olisivat ongelmallisia. Liiketunnuslukujen lopullisiksi suositeltaviksi tunnusluvuiksi todettiin liikekiihtyvyyksien hajonnat. Tunnuslukujen ominaisuuksia on lueteltu taulukossa 11.

Taulukko 11. Tunnuslukujen ominaisuuksia

Vaste	Tunnus	Keskiarvo	Hajonta	Maksimiarvo
ajoneuvon korin pystyliike	VERT_s	huomioi epätasaisuutta, muttei sen haitallisuutta	paikallistaa ongelma-kohtia hiukan paremmin kuin keskiarvo	paikallistaa suuret poikkeamat
ajoneuvon korin pystyliikenopeus	VERT_v	huomioi epätasaisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	paikallistaa suuria pystyliikenopeuksia paremmin kuin keskiarvo	paikallistaa suuret pystynopeuden kohdat
<b>ajoneuvon korin pystyliikekiihtyvyys</b>	VERT_a	huomioi epätasaisuutta ja sen haitallisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	huomioi epätasaisuutta ja sen haitallisuutta ja paikallistaa ne hyvin	paikallistaa suuret pystykiihtyvyyshkohdat
ajoneuvon korin sivuttaisheilahduskulma	ROLL_s	huomioi poikittaista epätasaisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	paikallistaa sivusuuntaiset heilumisen muuttumiskohdat	paikallistaa suuret sivuheilahduskohdat
ajoneuvon korin sivuttaisheilahduskulmanopeus	ROLL_v	huomioi poikittaista epätasaisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	paikallistaa sivusuuntaisen heilumisen nopeuksien muuttumiskohdat	paikallistaa suuret sivuheilahduskulmanopeudet
<b>ajoneuvon korin sivuttaisheilahduskulmakihtyvyys</b>	ROLL_a	huomioi poikittaista epätasaisuutta ja sen haitallisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	huomioi poikittaista epätasaisuutta ja sen haitallisuutta ja paikallistaa ne hyvin	paikallistaa suuret sivuheilahduskiihtyvyydet
ajoneuvon korin nyökkimisliike	PITCH_s	huomioi epätasaisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	paikallistaa nyökkimisliikkeen muuttumiskohdat	paikallistaa suuret nyökkimisliikkeet
ajoneuvon korin nyökkimiskulmanopeus	PITCH_v	huomioi epätasaisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	paikallistaa nyökkimiskulmanopeuksien muuttumiskohdat	paikallistaa suuret nyökkimiskulmanopeudet
<b>ajoneuvon korin nyökkimiskulmakihtyvyys</b>	PITCH_a	huomioi epätasaisuutta ja sen haitallisuutta, mutta saa sekä positiivisia että negatiivisia arvoja ja on vaikea mieltää	huomioi pituussuuntaista epätasaisuutta ja sen haitallisuutta ja paikallistaa ne hyvin	paikallistaa suuret ja haitalliset pituussuuntaiset epätasaisuudet
ajoneuvon pyöräpainon siirtymä	LTR	huomioi epätasaisuutta ja varsinkin sivuheilauksia	paikallistaa sivusuuntaisen epätasaisuuden muuttumiskohdat	paikallistaa sivusuuntaisen epätasaisuuden suuret arvot
ajoneuvon aiheuttama tieriasitus	ESAL	huomioi varsinkin pituussuuntaista epätasaisuutta	paikallistaa tieriasituksen muuttumiskohdat	paikallistaa tieriasituksen suuret kohdat
ajoneuvon iskuvaimentimien tekemä työ	Ityö	huomioi erittäin hyvin kaiken-suuntaista epätasaisuutta ja sen haitallisuutta ja paikallistaa ne hyvin	-	-

Tunnuslukujen vertailuissa ajopaneelin tuloksiin todettiin, että tien huonoudelle oli useita syitä. Koettu epämukavuus johtui toisinaan liian suurista pystyliikkeistä ja toisinaan taas joko sivuheilahduksista tai nyökkimisliikkeistä. Lisäksi oli runsaasti sellaisia kohtia, joissa useampi liikekomponentti vaikutti samanaikaisesti. Tästä syystä päädyttiin suositteluun kolmen tunnusluvun käyttöä yhtä aikaa. Nämä tunnusluvut ovat pystykiihtyvyyden, sivuheilahduskulmakiihtyvyyden sekä nyökkimiskulmakiihtyvyyden hajonnat. Kukin liikekomponentti ottaa huomioon erilaisia epätasaisuuksia ja tuo siten oman täydennyksensä kokonaisajomukavuuteen, joka on usean eri komponentin tulos.

Liikekihtyvyyksiä laskettiin sekä henkilöautolle että kuorma-autolle. Ajopaneelien perusteella todettiin myös, että kuorma-autossa koettu ajomukavuus oli kriittisempi kuin henkilöautossa koettu mukavuus ts. tien huonokuntoisuus tuleekin ottaa ensisijaisesti kuorma-autolle lasketuista liikekomponenteista. Sitä puoltaa myös se, että kuorma-autosimuloinneissa on vähemmän nopeusvaihtoehtoja kuin henkilöautosimuloinneissa.

Muita melko hyviä tunnuslukuja olivat tierasituksen ja pyöräpainosiirtymien hajonnat ja iskunvaimentimien tekemä työ. Oikeastaan iskunvaimentimien tekemä työ oli tunnuslukuna kaikkein paras, koska se otti huomioon kaikki liikekomponentit, oli kaikkein selektiivisin ja lisäksi kytki tien kunnan ajotalouteen. Sen haittapuolena on kuitenkin se, ettei sitä toistaiseksi ole millään tavalla validoitu. Sen suhteen kannattaisi tehdä lisäselvityksiä. Tierasitus ja pyöräpainosiirtymien hajonnat perustuivat ajoneuvon pyöräpainoihin ja liittyivät ajoneuvon tierasitukseen. Nekin olivat melko hyviä tunnuslukuja, ja niitä suositellaan tien kuormitustarkasteluihin.

## 6 Yhteenveto ja johtopäätökset

### 6.1 Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin tien ajomukavuuteen liittyviä uusia tunnuslukuja ja niiden käyttökelpoisuutta koettuun ajomukavuuteen nähden. Uudet tunnusluvut laskettiin ajoneuvosimuloinnilla erikseen sekä henkilöautolle että kuorma-autolle. Ennen laskentaa ajoneuvomalliin tehtiin pieniä parannuksia. Tyyppiajoneuvoiksi määritettiin Suomessa eniten käytetyt ajoneuvot. Henkilöauton parametrit valittiin vastaamaan keskikokoista Toyota henkilöautoa. Kuorma-auton parametreja muutettiin vastaamaan akselimassatutkimuksessa todettua kaksiakselista kaip-ajoneuvoa. Ajoneuvosimulointia muutettiin tieosan vaihtumispisteissä niin, että liian suuret vasteet tieosan alussa poistuivat. Simuloinneissa siirryttiin käyttämään tien nopeusrajoituksen mukaista nopeutta ottaen huomioon ajoneuvokohtaiset rajoitukset.

Tunnuslukuvaihtoehtoiksi valittiin ajoneuvon korin pysty-, sivuheilahdus- ja nyökkimisliikkeitä kuvaavat liikevasteet sekä tierasitukseen liittyvät pyöräpainosiirtymä ja ajoneuvon dynaaminen rasitus. Liikevasteita olivat liike, nopeus ja kiihtyvyys. Niistä tuotettiin kustakin kolme tunnuslukua keskiarvo, hajonta ja maksimiarvo kullekin 10 m jaksolle. Lisäksi laskettiin jousituksen liikkeistä ja vaikuttavista voimista kunkin iskunvaimentimen tekemä työ, joka summattiin yhdeksi luvuksi.

Tunnuslukujen käyttökelpoisuutta tarkasteltiin vertaamalla niiden arvoja koettuun ajomukavuuteen. Tarkastelu tehtiin valitsemalla ajopaneelireitti, joka sisälsi usean eri luokan teitä siten, että reitti oli ajettavissa noin tunnissa. Reitin kokonaispituus oli 61 km. Se lähti valtatie 1:ltä Espoon Bembölestä ja jatkui sitä pitkin valtatie 2:lle, josta se meni valtatie 25:lle ja sieltä Vanhalle Porintielle maantielle 120 ja sen jälkeen yhdystielle 11337 takaisin Bemböleen. Reitin kohteilla oli kaikkia perusnopeusrajoituksia ja kukin nopeusrajoitus sisälsi kaksi tai kolme kohdetta. Kohteiden lukumäärä oli 12.

Ajopaneeliin valittiin yhteensä 15 panelistia sellaisten henkilöiden joukosta, jotka olivat tavalla tai toisella tekemisissä tienpidon kanssa Liikennevirastosta, ELY-keskuksista, Espoon kaupungilta, Rambollilta ja Destialta. Kaikki ajot teki Destian tietömittaaja. Kutakin panelistia ajatettiin reitin kohteita noudattaen kullekin kohteelle määrättyä nopeutta. Panelisti arvioi kohteen kunnon itselleen sopivalla tiheydellä neljään kuntoluokkaan käyttäen tiedon tallentamiseen paikannuksella varustettua tablettia. Ajomukavuutta kuvaavat luokat olivat 1=erittäin hyvä, 2=hyvä, 3=huono ja 4=erittäin huono. Viisiportaisen luokittelun luokka ”tyydyttävä” jätettiin tarkoituksella pois, jotta panelisti tekisi selkeämmän rajauksen hyvän ja huonon välillä. Ajopaneeli suoritettiin kahden viikon aikana toukokuussa 2015.

Ajopaneelista saadut tulokset muokattiin siten, että panelistin antama arvio saatiin jokaiselle kymmenmetriselle. Väärät tietosoitteet esim. rampit tai kevyen liikenteen väylät poistettiin. Saadusta aineistosta tuotettiin epämiellyttävien (huonojen) kohtien todennäköisyys ja keskimääräinen kuntoluokka. Tuloksia tarkasteltiin arvosanojen profiileina matkan funktiona kohteittain. Tuloksista todettiin, että päätiekohteiden kunto oli melko hyvä ja muiden kohteiden kunto oli melko huono. Tuloksissa oli melko suurta vaihtelua. Ajomukavuutta kuvaavien arvosanojen vaihtumiskohdat vaihtelivat paljon. Myös erot niiden paikantamisessa vaikuttivat tuloksiin. Suurilla ajonopeuksilla paikan-



nusviive oli suurempi kuin pienillä ajonopeuksilla. Osa arvioijista piti kohteiden ajomukavuutta hyvänä ja koki vain vähän epämiellyttäviä kohtia, kun taas osa löysi paljon epämiellyttäviä kohtia. Tien huonokuntoisuuden määritelmäksi valittiin periaate, jonka mukaan vähintään 30 % tuli pitää ajomukavuutta luokissa 3 tai 4. Henkilöautopanelistit arvioivat ajomukavuuden paremmaksi kuin kuorma-autopanelistit. Sen mukaan kuorma-auto oli tien ajomukavuutta tarkasteltaessa kriittisempi tekijä kuin henkilöauto.

Simuloitujen tunnuslukujen profiileja verrattiin huonokuntoisuuden profiileihin kohde kerrallaan. Huomiota kiinnitettiin niihin kohtiin, missä hyväkuntoinen tie vaihtui huonokuntoiseksi tieksi. Visuaalisena tarkasteluna havainnoitiin, kuinka monta huonoa kohtaa kukin tunnusluku tunnisti ja millä raja-arvolla. Lisäksi kiinnitettiin huomiota niihin tilanteisiin, missä tunnusluku tunnisti huonoja kohtia, mutta panelistit eivät. Tunnuslukujen paremmuudesta tehtiin johtopäätökset sen perusteella. On myönnettävä, että tarkastelu sisältää subjektiivisia arvioita, mutta sitä perusteltiin sillä, ettei numeerista vertailua voitu tehdä vertailtavien tietojen kohdistusongelman takia. Tarkastelusta ja sen tuloksista jäi kuitenkin suhteellisen selkeä kuva. Ajomukavuus muodostui kolmen tekijän yhteisvaikutuksena. Niitä olivat ajoneuvon kohdistuva pystyliike, sivuheilahdusliike ja nyökkimisliike. Kunkin liikekomponentin ajomukavuusvaikutusta kuvasi parhaiten sen kiihtyvyyden komponentin hajonta. Kiihtyvyys otti paremmin huomioon epätasaisuuden haitallisuutta kuin pelkkä liike tai sen nopeus. Hajonta puolestaan paikansi ongelmakohtat muista kohdista. Tien laatua ajatellen hajonnan pienuus ja tasaisuus ovat keskeisiä tavoitteita. Hajonta on tilastollinen suure, jonka pienentämiseen on helppo pyrkiä tilastollisilla menetelmillä ja aineistoilla.

## 6.2 Johtopäätökset

Teiden epätasaisuuden hallinta on perustunut kansainvälisen tasaisuusindeksin käyttöön. Käyttöä on puoltanut laser-antureihin perustuvan mittaustekniikan käyttöönotto 1990-luvun alussa. IRI-indeksi on ollut kansainvälisenä indeksinä vertailukelpoinen muiden samaa indeksiä käyttävien maiden kanssa. Sen käyttöönotto oli aikanaan luonteva toimenpide siirtyä mittaussuoriteesta riippumattoman indeksin käyttöön. Nyt kun tieverkon kunnonhallinnassa on menty pienempiin hankekokonaisuuksiin ja täsmäparantamiseen, on tullut tarve hallita tieverkon kuntopuutteita paremmin. IRI:n käyttöön on todettu monissa yhteyksissä liittyvän puutteita ja ongelmia, joista yleisimmät ovat:

- 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 huomioidussa rajoitetaan aallonpituutta puoleen metriin
- Tunnusluku ei ota huomioon kaikkia epätasaisuuksia ainakaan 100 m jaksoilla
- Tunnusluku ei vastaa koettua ajomukavuutta riittävän kattavasti

Tietotekniikka on kehittynyt viime vuosina voimakkaasti. IRI:n tuottaminen ja merkitys on vaihtunut merkittävästä indeksistä sivutuotteeksi, joka on helppo laskea joka tapauksessa. Monipuolisempien indeksien laskenta on melkein yhtä helppoa kuin IRI:n laskenta ja siihen riittävät samat lähtötiedot. Ajoneuvosimulointi on osa ajoneuvojen suunnittelua ja se on käyttökelpoista myös tiensuunnittelussa ja ylläpidossa. Ajoneuvosimulointi on luonteva väline ajomukavuuden arvioinnissa. Ajoneuvosimulointi kan-

nattaa tehdä täysajoneuvomallilla, joka on kuitenkin yksinkertainen. Täysajoneuvomallin käyttö mahdollistaa kahden muun liikesuunnan huomioimisen tien epämukavuutta arvioitaessa. Tutkittaessa tien haitallista sivukaltevuusvaihtelua vuonna 2012 ajoneuvosimulointia käytettiin pyöräpainosiirtymän tuottamiseen ja se havaittiin hyväksi sivukaltevuusvaihtelua kuvaavaksi tunnusluvuksi. Tutkittaessa tien haitallista pituussuuntaista vaihtelua 2012 nyökkimiskulma oli yksi parhaista tunnusluvuista. Nyt todettiin, että ajomukavuuteen vaikuttavat sekä ajoneuvon korin pystysuunnan liikkeet että sivuheilahdus- ja nyökkimisliikkeet. Työn tuloksena voidaan tehdä seuraavat johdot päätökset:

- Tien epätasaisuuden tarkasteluissa kannattaa ohittaa IRI-laskenta ja siirtyä täysautomalliin, joka tuottaa kolmen eri liikesuunnan komponentit. Täysautomallit kannattaa valita siten, että ne vastaavat Suomessa käytettyjä ajoneuvoja.
- Epätasaisuus on monen tekijän yhteisvaikutusta ja se hallitaan kolmen liikesuunnan huomioimisella. Nämä liikesuunnat ovat ajoneuvon korin pystyliike, sivuheilahtelu ja nyökkiminen. Todellisiin liikkeisiin perustuvat tunnusluvut ovat ymmärrettäviä.
- Epämiellyttävät kohdat paikannetaan parhaiten, kun tarkastellaan kunkin liikkeen kiihtyvyyden hajontoja 10 m laskentavälillä.
- Simuloinnissa kannattaa siirtyä tieolosuhteita kuvaavan tiekohtaisen nopeusrajoituksen käyttöön.
- Sivutuotteena RIDE-simuloinnista saadaan tien dynaamiseen kuormittumiseen liittyviä tunnuslukuja sekä epätasaisuuden vaikutuksiin liittyviä tunnuslukuja.

Taulukko 12. Uusilla tunnusluvuilla saavutettuja ominaisuuksia.

Ominaisuus	Tavoite	Saavutettiin
Kuvaavuus	Tunnusluvun tulee kuvata tien tilaa riittävän kattavasti. Sen tulee pystyä kuvaamaan koko päällystettyä tieverkkoa tai ainakin sen keskeisintä osaa. Ideaalitalanteessa sen tulee kyetä ottamaan huomioon sekä tienkäyttäjiiin, tien isännöintiin ja yhteiskuntaan liittyvät näkökulmat.	Tunnusluvut ottavat huomioon pääasiassa tien käyttäjän näkökulmaa, mutta osa tunnusluvuista liittyy myös tienpitoon.
Tiedontarve	Tunnusluvun tuottamiseen tarvittavan tiedontarpeen tulee olla rajattu ja kustannuksiltaan realistinen.	RIDE-tunnusluvut on laskettavissa kaikilta niiltä päällystetyiltä teiltä, joilta on saatavissa PTM-tieto. Uusia mittauksia ei tarvita, ainoastaan uudet laskennat.
Hankittavuus	Tunnuslukujen tuottamiseen tarvittavat lähtötiedot tulee pystyä mittaamaan liikenteen nopeudella ja jatkuvana. Tunnuslukujen tulee olla päivitettävissä.	Lähtötiedot on jo kertaalleen mitattu ja ne päivittyvät normaalien palvelutasomittausten yhteydessä.
Luotettavuus	Tunnuslukujen tulee olla toistettavia ja niille tulee pystyä tuottamaan verkolla tapahtuva vuosikehitys.	Toistettavuus asettunee vanhan IRI-tunnusluvun toistettavuuden tasolle. Toistettavuuksia ei ole tutkittu.
Ennustettavuus	Tunnuslukujen tulee olla ennustettavissa.	Ennustettavuutta ei ole tutkittu, mutta se on tutkittavissa käyttöönoton alkuvaiheissa.
Selittävyys	Tunnusluvuilla tulee olla odotettu kytkentä muihin havaintoihin, joita tiestöstä on saatavissa. Tällaisia ovat mm. vauriot ja pinnan muodossa tapahtuvat muutokset.	Tunnusluvut ovat kytkettyinä siihen miten ihminen kokee erilaisia värähtelyjä. Laskennassa käytetyt ajoneuvot vastaavat paremmin Suomessa käytettäviä ajoneuvoja. Pystyliike, sivuttaisliike ja nyökkimisliike ovat hyvin erottuvia vaikutuksia, jotka sisältyvät tunnuslukuihin.
Lisäarvo	Tunnuslukujen tulee tuottaa niiden hankkimiskustannuksia vastaava lisäarvo, jotta ne koetaan houkutteleviksi.	Alustavien tarkastelujen mukaan uudet tunnusluvut korreloivat paremmin maastohavaintojen kanssa. Lisäksi niillä saadaan tietoa siitä, minkä tyyppisestä epätasaisuudesta on kyse.

## 6.3 Jatko toimia

Siirtyminen yksipuolisen indeksin käytöstä monipuolisen indeksin käyttöön edellyttää kehitysaskelia. Kehitysaskelia pitäisi ottaa niin tiedon tuottamisessa kuin sen analysoimisessa ja käytössä. Huonokuntoisten teiden määrä saattaa muuttua, kun indeksivalikoimaa monipuolistetaan. Simuloinneilla pystytään tuottamaan epätasaisuuden syitä ja vaikutuksia, jotka nostavat epätasaisuuden ymmärtämisen ja hallinnan paremmalle tasolle. Epätasaisuus on keskeinen laatu- tai palvelutasotekijä, jonka suhteen tulisi pyrkiä jo tien elinkaaren alussa mutta myös sen aikana tasalaatuisuuteen. Monipuolisemman indeksivalikoiman käyttö olisi ulotettava myös ylläpitotoimenpiteiden suunnitteluun ja laatuvaatimuksiin. Toimenpiteitä tulisi alkaa suunnitella tunnistamalla niiden oikeat syyt. Uuden tien tasalaatuisuus voisi olla vanhojen teiden arvostelussa vertailukohta, johon kehitystä verrattaisiin. Toisaalta monipuolisten tunnuslukujen välillä uusissakin teissä on epätasaisuutta, jota pitäisi parantaa. Epätasaisuuden polttoainetalouteen liittyvää kytkentää ei ole tarpeeksi ymmärretty. Simulointien perusteella epätasaisuudella on selvä kytkentä polttoainetalouteen ja tiellä pysymiseen. Tien epätasaisuuden hallinnassa olisi suositeltavaa jatkaa kehittämistä ainakin seuraavilla osa-alueilla:

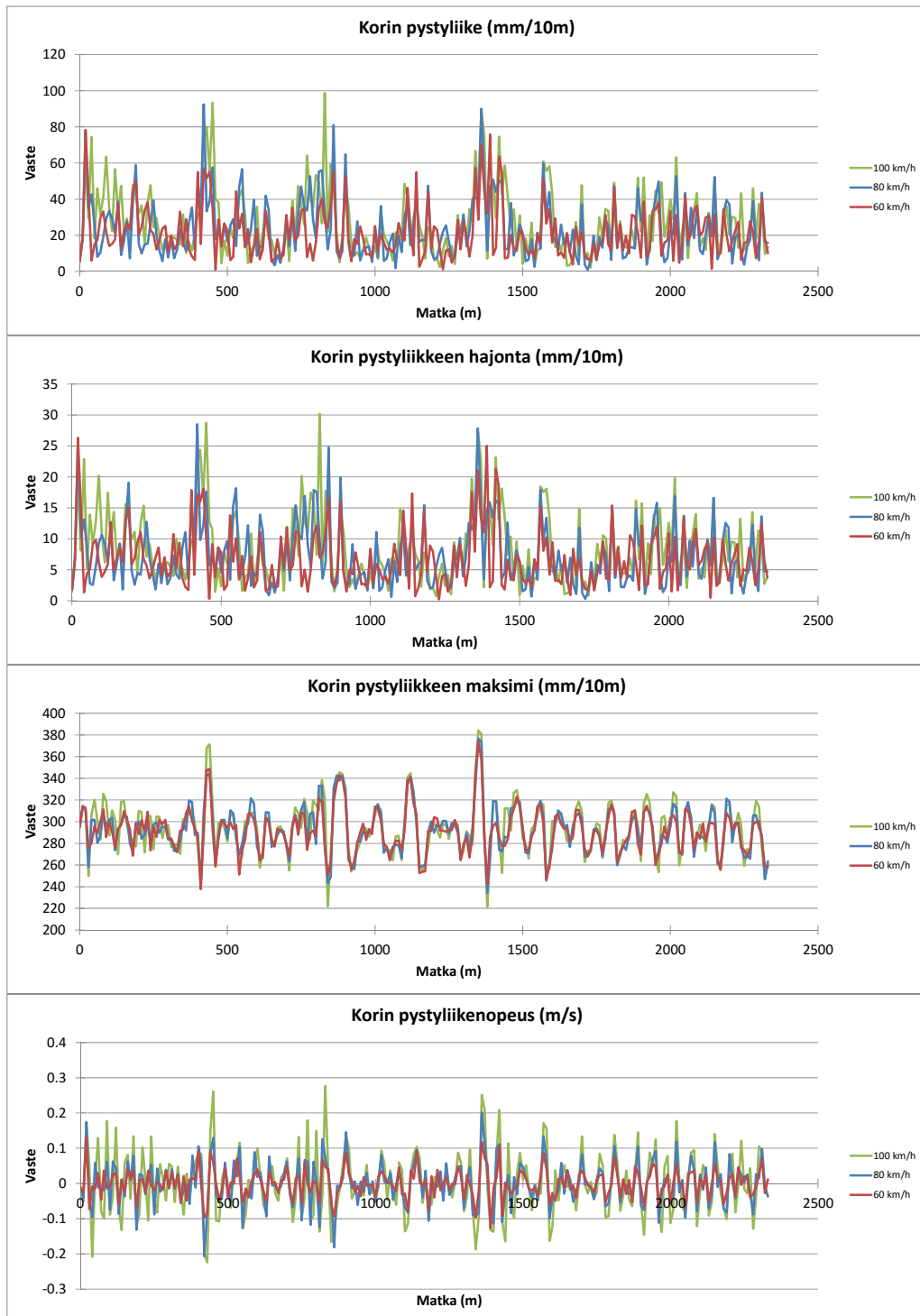
- Tiedon tuottaminen tulisi jalostaa sujuvasti tuotetuksi vakiopalveluksi, missä palvelutasomittausten 3D-profiili jalostettaisiin todellisia ilmiöitä kuvaaviksi simuloituiksi tunnusluvuiksi.
- Tiedon varastointia tulisi kehittää määrittelemällä lähtötiedot ja tulokset täsmällisesti ja lisäämällä tulokset tietovarastoihin. Simuloitujen tunnuslukujen laatu tulisi selvittää.
- Tunnusluvut tulisi tuottaa koko päällystetylle tieverkolle kattavasti ja niitä tulisi tarkastella ja analysoida.
- Tunnuslukujen käyttäytymistä tulisi analysoida sekä vuosikehityksen että toimenpiteiden vaikutusten osalta.
- Tunnuslukujen vaikutuksia ja hyötynäkökulmaa tulisi analysoida ja toimenpiteiden valinnassa tulisi siirtyä monikriteerianalyysiin perustuviin menetelmiin.

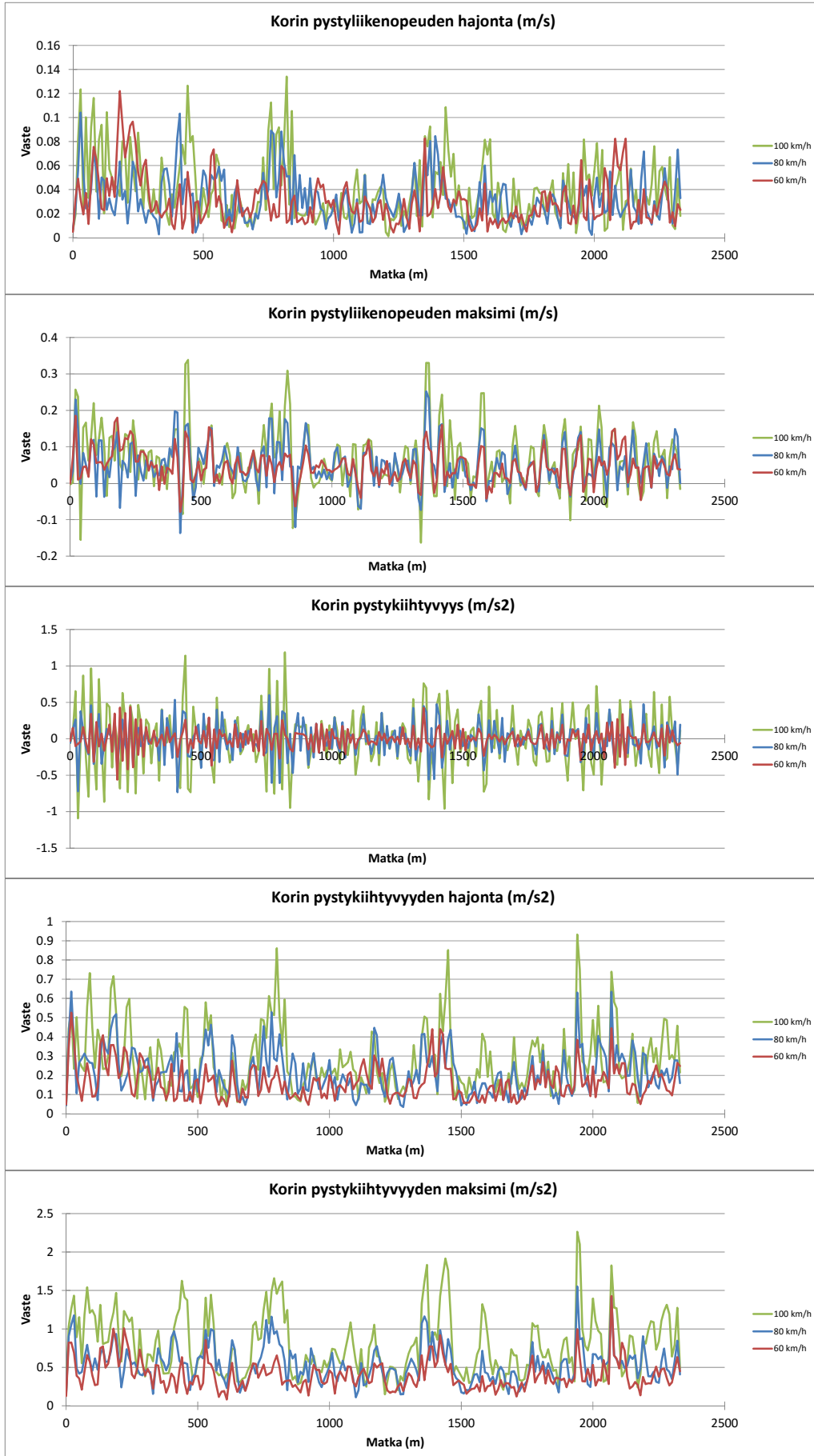
## Lähteet

1. Sayers, M.W., Gillespie, T. D., and Paterson, W.D (1986). Guidelines for the Conduct and Calibration of Road Roughness Measurements, World Bank Technical Paper No. 46, The World Bank, Washington DC, 1986.
2. Ben Creed, Nalaka Kahawatte, Scott Varnhagen (2010). Development of a Full Car Vehicle Dynamics Model for Use in the Design of an Active Suspension Control System. MAE 272 – Winter 2010 – Paper I. University of California, Davis.
3. Vägytemätning med mätbil; vägnätsmätning (2007). Utdrag ur preliminär Metodbeskrivning 2009-03-12. Publ. Preliminär version 2009-03-12. Vägverket. Sverige.
4. International Standardization Organization (ISO). (1997). Mechanical vibration and shock—Evaluation of human exposure to whole-body vibration—Part 1: General requirement, ISO 2631-1.
5. Zong-tao Zhang, Quan-man Zhao and Wan-qiao Yang (2014). Pavement Roughness Indices Related to Riding Comfort. Applied Mechanics and Materials Vols 505-506 (2014) pp 180-183 Online: 2014-01-16. © (2014) Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.505-506.180.
6. British Standards Institution (BSI). (1987). Measurement and evaluation of human exposure to whole-body mechanical vibration. BS 6841.
7. Pertti Virtala (2012): Mitä kertoo maanteiden pulssimittari? Väylät ja Liikenne –päivät 2012. Turku.
8. Defining Asset Management Level of Service Requirements for Freight on Rural Arterial Roads. Austroads Publication No. AP-T306-16. April 2016. Sydney NSW 2000 Australia.
9. International Standard Organization. 1997 Mechanical Vibration and Shock-Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration Part 1: General Requirement, ISO2631-1:1997(E), ISO, Geneva, Switzerland.

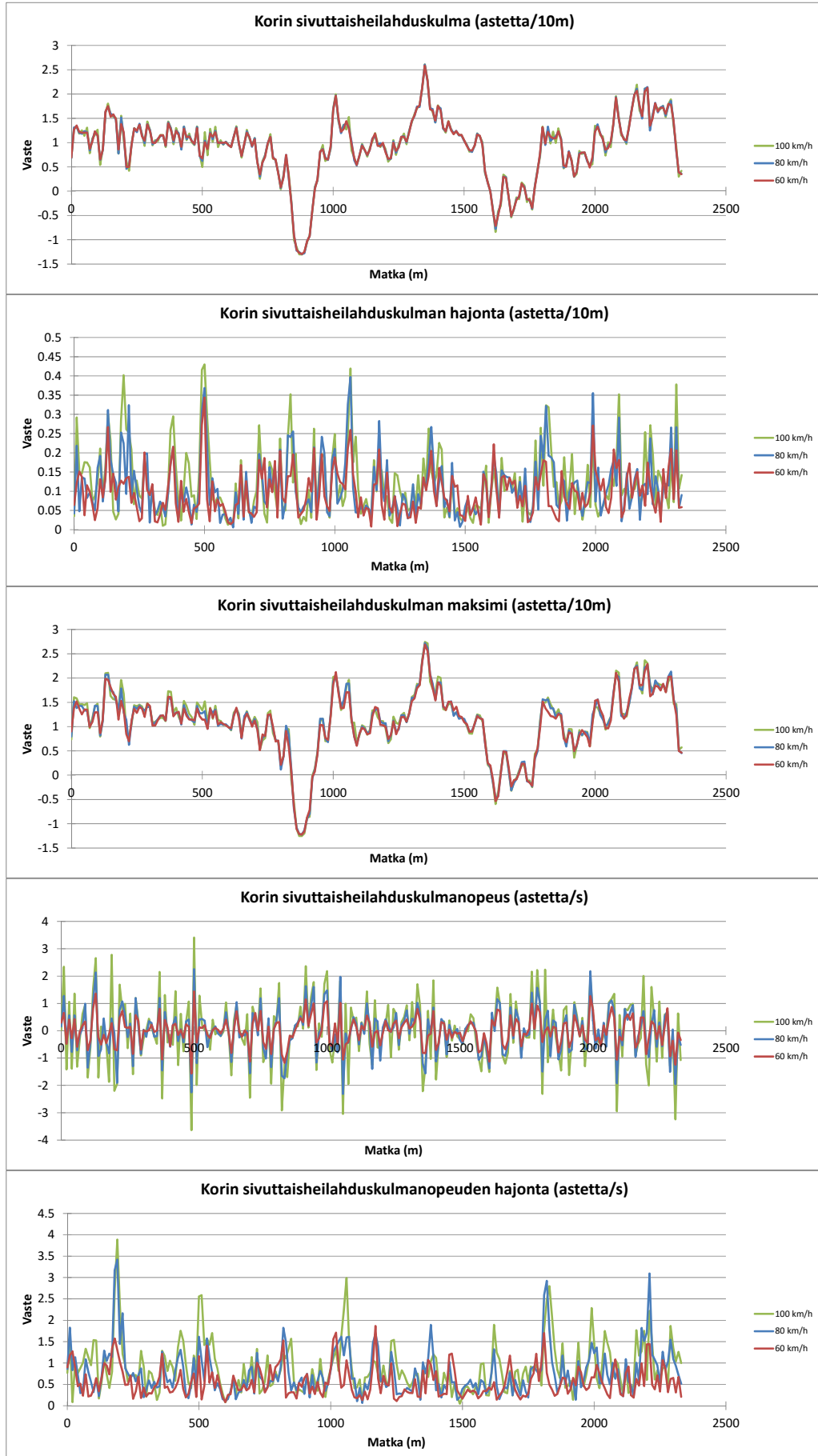


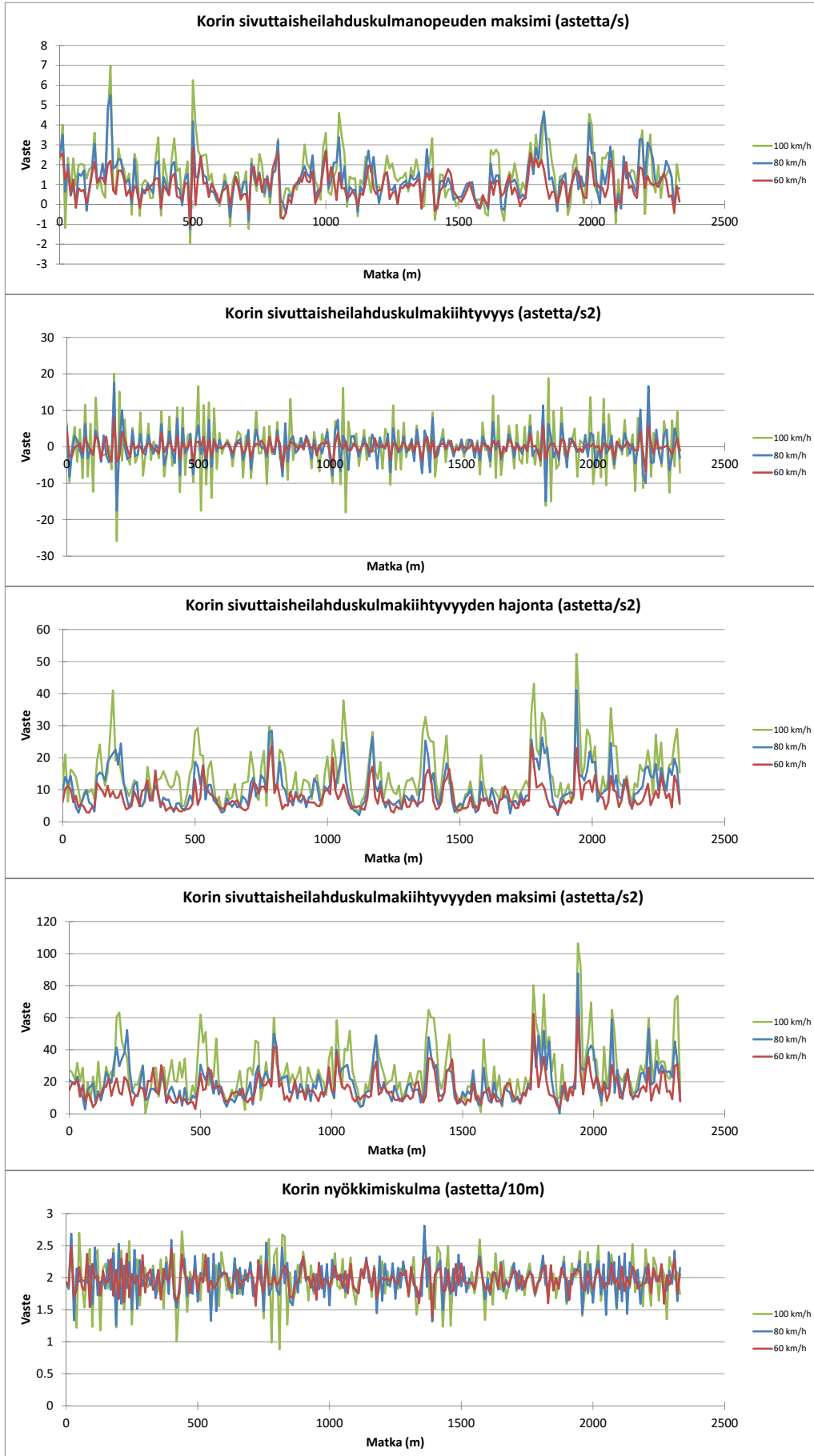
## Maantien 231 tieosan 002 simulointitulokset

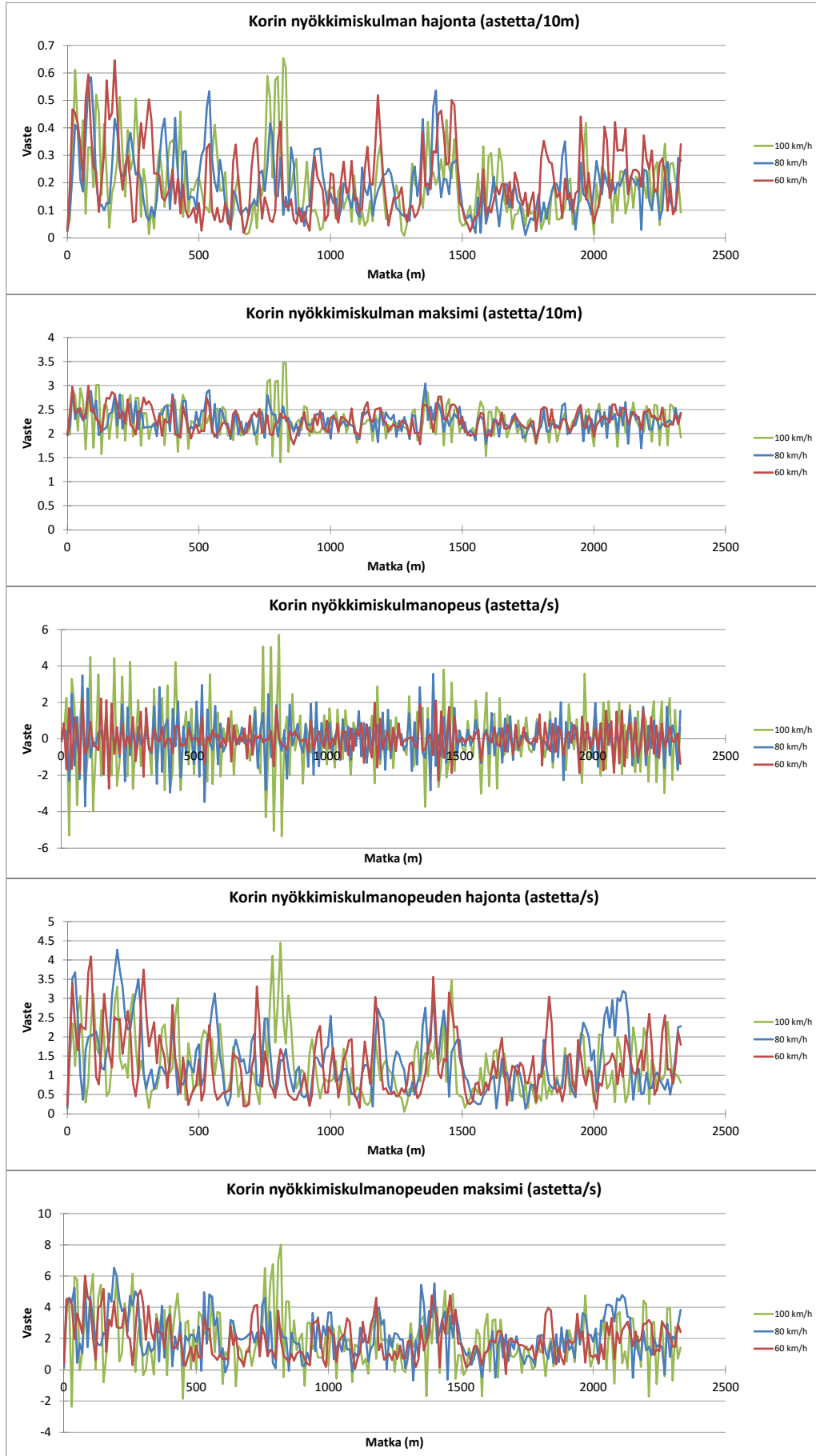


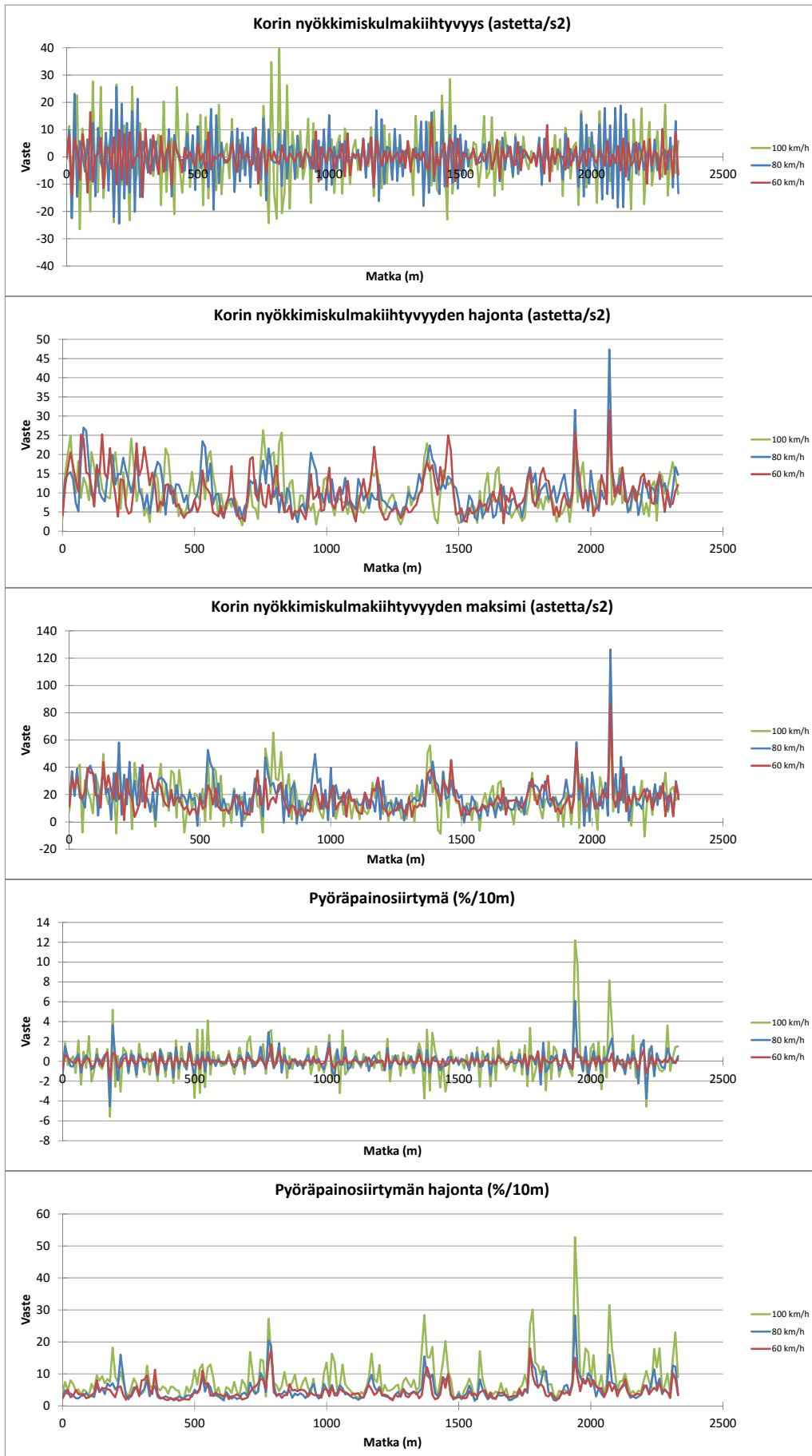


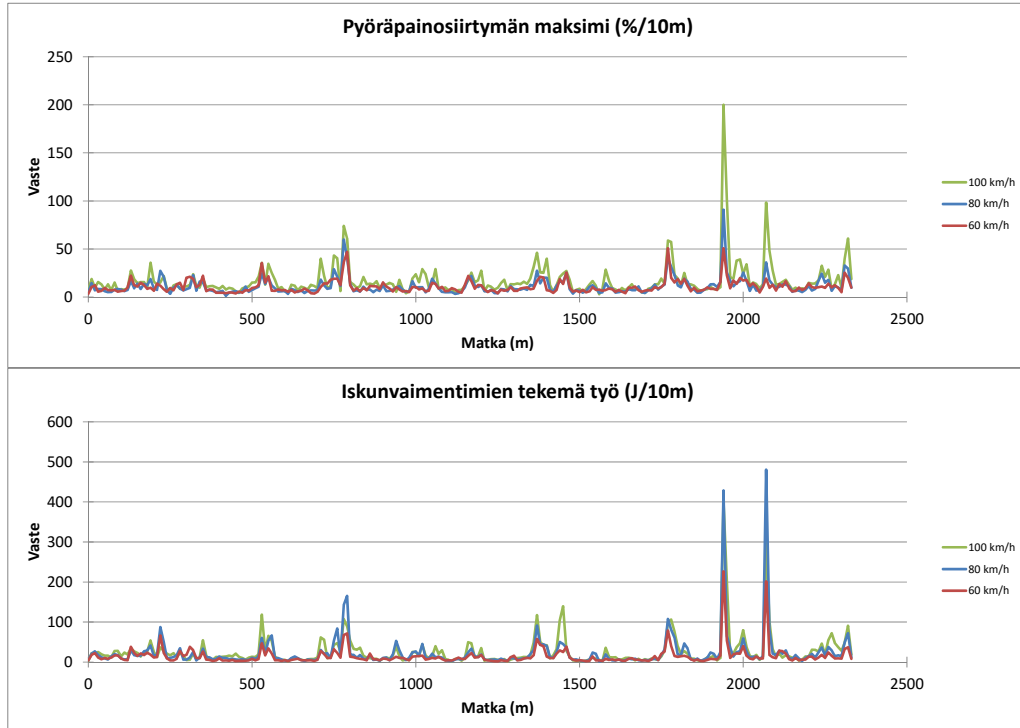
















ISSN-L 1798-6656  
ISSN 1798-6664  
ISBN 978-952-317-380-4  
[www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi)

Liik  
enne  
vira  
sto

