



Väyläviraston julkaisu
3/2020

TASORISTEYSTEN ONNETTOMUUSENNUSTEET

Onnettomuusmallien päivitys 2019

TRAFICOM

Liikenne- ja viestintävirasto
Transport- och kommunikationsverket
Finnish Transport and Communications Agency



Harri Peltola, Anne Silla

Tasoristeysten onnettomuusennusteet

Onnettomuusmallien päivitys 2019

Väyläviraston julkaisuja 3/2020

Väylävirasto
Helsinki 2020

Kannen kuva: Mikko Kallio

Verkojulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0745

ISBN 978-952-317-756-7

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puh. 0295 34 3000

Harri Peltola ja Anne Silla: Tasoristeysten onnettomuusennusteet – Onnettomuusmallien päivitys 2019. Väylävirasto. Helsinki 2020. Väyläviraston julkaisuja 3/2020. 30 sivua ja 1 liite. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-756-7.

Avainsanat: tasoristeykset, turvallisuus, onnettomuudet, mallinnus, ennusteet

Tiivistelmä

Tavoitteena oli kehittää tasoristeyksissä tapahtuvien onnettomuuksien ennustemenetelmää. Sitä varten tarkasteltiin autoliikenteen käytössä olevien tasoristeysten turvallisuuteen vaikuttavia tekijöitä ja vertailtiin erilaisia onnettomuusmalleja sekä niiden perusteella tuotettuja onnettomuusennusteita.

Nykyään käytössä olevassa Tarva LC -arviointiohjelmassa tasoristeysten onnettomuusennusteet perustuvat 19 vuoden onnettomuushistorian ja seitsemän muuttujan avulla laaditun onnettomuusmallin tietojen yhdistämiseen. Ennusteiden on todettu kuvaavan hyvin tasoristeysten välillä olevia eroja onnettomuusalttiudessa.

Autoliikenteen tasoristeyksissä tapahtuneiden onnettomuuksien lukumäärän mallintaminen aloitettiin tarkastelemalla mallinnukseen käytettävissä olevia muuttujia sekä niiden yksittäisvaikutuksia onnettomuusriskiin tasoristeykseen saapuvaa tieajoneuvoa kohti. Keskeisimpiä onnettomuusriskiin vaikuttavia tekijöitä olivat varoituslaitteiden olemassaolo, sekä auto- ja junaliikenteen vuorokausiliikennemäärä. Näiden tekijöiden perusteella laaditun perusmallin avulla tarkasteltiin muiden tekijöiden vaikutusta tasoristeyksen onnettomuusriskiin. Laskentojen tuloksia voidaan käyttää tasoristeysten turvallisuuden parantamistoimenpiteiden suuntaamisen tausta-aineistona.

Tarkastelujen perustella Tarva LC:ssä ehdotetaan kevään 2020 päivityksestä alkaen käytettäväksi onnettomuusmallia, joka perustuu kymmenen vuoden onnettomuusaineistoon. Ehdotettavassa tasoristeysonnettomuuksien riskiä saapuvaa tieajoneuvoa kohti kuvaavassa mallissa muuttujina ovat tasoristeyksen varoituslaitteet yhdessä näkemäpuutteiden kanssa, tieluokka sekä tasoristeyksessä kulkevien autojen ja junien määrä vuorokaudessa. Ehdotettavalla mallilla on hyvä selitysaste ja muuttujien tilastollinen merkitsevyys. Mallin valintaan vaikuttivat mallinuksissa vakaana pysyvät muuttujien vaikutukset, selkeä tulkinta ja loogisuus. Samaa mallirakennetta ja muuttujia ehdotetaan käytettäväksi sekä kaikille onnettomuuksille että Euroopan unionin rautatieviraston (ERA) määritelmän mukaisille merkittäville onnettomuuksille.

Harri Peltola och Anne Silla: Plankorsningars olycksprediktioner – uppdatering av olycksmodeller 2019. Trafikledsverket. Helsingfors 2020. Trafikledsverkets publikationer 3/2020. 30 sidor och 1 bilaga. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-756-7.

Sammanfattning

Syftet var att utveckla metoden för att predicera olyckor vid plankorsningar. För detta ändamål undersöktes de faktorer som påverkar säkerheten vid plankorsningar som används av vägtrafik och olika olycksmodeller och olycksprediktioner som producerats av olycksmodellerna jämfördes.

I det nuvarande Tarva LC-utvärderingsprogrammet baserar sig plankorsningarnas olycksprediktioner på en kombination av 19 års olyckshistorik och en olycksmodell med sju variabler. Prediktionerna har konstaterats beskriva skillnaderna i olycksbenägenhet mellan plankorsningar väl.

Modelleringen av antalet olyckor vid plankorsningar påbörjades med att undersöka de tillgängliga variablerna och deras individuella effekt på olycksrisken per ankommande vägfordon. Närvaron av varningsanordningar och den dagliga trafikvolymen för fordon och tåg var de väsentligaste variablerna som påverkar olycksrisken. En grundmodell baserad på dessa tre variabler användes för att undersöka de andra variablernas inverkan på plankorsningars olycksrisk. Resultaten kan användas som bakgrundsmaterial för att rikta åtgärder som förbättrar säkerheten vid plankorsningar.

Utifrån resultaten rekommenderas en olycksmodell baserad på 10 års olycksdata för Tarva LC i och med uppdateringen på våren 2020. Variablerna i den föreslagna modellen för risken för plankorsningsolyckor per ankommande vägfordon är: plankorsningens varningsanordningar i kombination med brister i sikten, vägklass och antalet fordon och tåg som passerar planeringskorsningen per dag. Den föreslagna modellen har en bra förklaringsgrad och alla variabler är statistiskt signifikanta. Vi föredrog variabler med tydlig tolkning och med logiska och stabila effekter i modellen. Samma modellstruktur och variabler rekommenderas för att predicera alla olyckor och för betydande olyckor som definierats av Europeiska järnvägsbyrån (ERA).

Harri Peltola and Anne Silla: Estimation of the number of accidents at level crossing – Update of accident prediction models in 2019. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2020. Publications of the FTIA 3/2020. 30 pages and 1 appendix. ISSN 2490-0745, ISBN 978-952-317-756-7.

Abstract

This study aims at developing estimation methods for the number of accidents occurring at level crossings. We therefore studied the factors affecting safety at level crossings used by road vehicles and compared different accident prediction models and the safety estimates based on them.

The current Tarva LC tool (safety estimates for level crossings) bases its predictions on a 19-year accident history combined with accident models containing seven variables. These predictions seem to fit well with the variations in accident susceptibility between level crossings.

We started modelling the number of accidents at level crossings by analysing the available variables and their individual effects on the accident risk per road vehicle arriving at the level crossing. The most important factors affecting the risk were existence of warning devices and daily number of road and rail vehicles. We used a basic model with these three variables to analyse the effects of all the other variables on accident risk. The results on factors affecting safety are useful background data for planning safety measures for level crossings.

Based on the analyses, we suggest using 10-year accident data when updating the accident model for the Tarva LC tool, planned for the spring of 2020. The model we suggest for predicting the accident risk per arriving vehicle includes the following variables: type of warning device and line-of-sight flaws; road class; and daily number of road and rail vehicles. The model's coefficient of determination is good, and all its variables are statistically significant. We selected variables that had clear interpretation and logical and stable effects on the models. The same variables and model structure should be used for predicting the number of all accidents as well as significant accidents as defined by the European Union Agency for Railways.

Esipuhe

Tämä tutkimus on tehty Turvallinen liikenne 2025 -konsortiohankkeessa (<http://www.vtt.fi/proj/tl2025/>). Hankkeen jäseniä vuonna 2019 olivat

- Väylävirasto
- Liikenne- ja viestintävirasto Traficom
- Nokian Renkaat Oyj
- Kehto-foorumi (21 kaupunkia)
- Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy.

Tutkimuksen tekivät Harri Peltola (projektipäällikkö) ja Anne Silla Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:stä. Työn ohjausryhmään kuuluivat heidän lisäksi Väylävirastosta Jouni Hytönen ja Jarmo Koistinen sekä Traficomista Kirsi Pajunen ja Ville Vainiomäki. Esko Lehtonen VTT:stä esitarkasti käsikirjoituksen. Julkaisun tekijät vastaavat kuitenkin lopputuotoksesta.

Helsingissä tammikuussa 2020

Väylävirasto
Liikenne- ja ympäristöturvallisuus

Sisältö

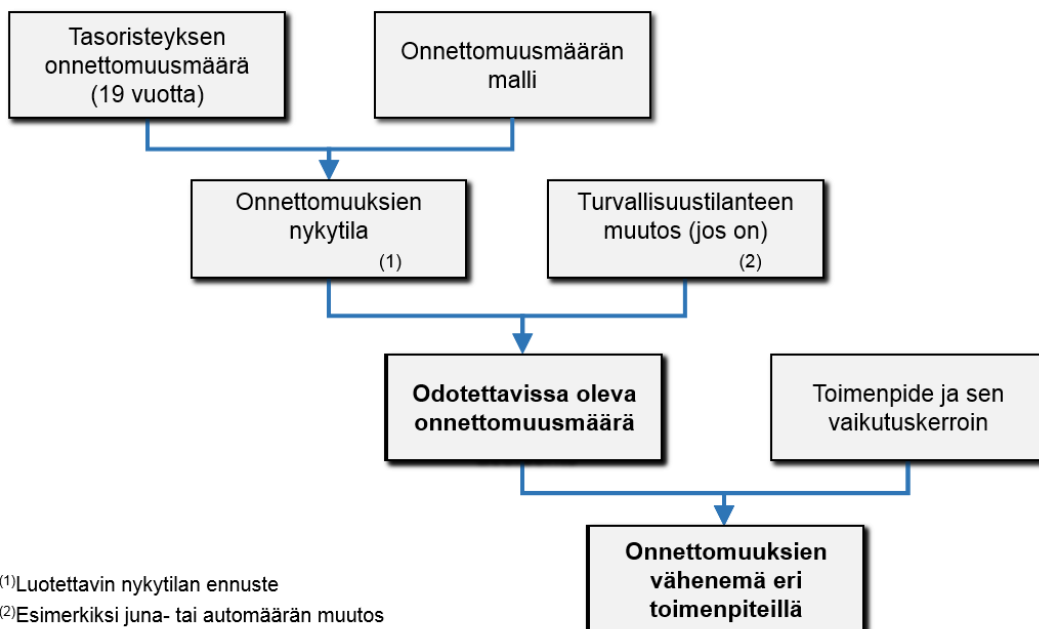
1	JOHDANTO	8
1.1	Tausta.....	8
1.2	Tavoitteet.....	11
2	TUTKIMUSMENETELMÄ.....	12
2.1	Tutkimusasetelma	12
2.2	Lähtötiedot	13
3	TASORISTEYSONNETTOMUUKSIEN ENNUSTAMINEN	15
3.1	Onnettomuusmäärän mallintaminen	15
3.2	Mallin ja historian tietojen yhdistäminen	24
3.3	Mallin päivityksen vaikutus onnettomuusennusteisiin	25
4	TULOSTEN TARKASTELU JA SUOSITUKSET	28
LIITTEET		
Liite 1	Onnettomuusmalli, Tarva LC 6.1	

1 Johdanto

1.1 Tausta

Rautateiden tasoristeyksiin liittyviä tietoja on Väyläviraston ja sitä edeltävien organisaatioiden toimeksiannosta inventoitu Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ssä vuodesta 1999 lähtien. Kaikki tiedot eivät ole jatkuvasti ajan tasalla, mutta tietoja päivitetään jonkin verran vuosittain (Kallberg ym. 2009, Tarva 2019).

Tasoristeysten turvallisuuden arviointiin on vuodesta 2011 alkaen ollut käytössä turvallisuuden arviointiohjelma Tarva LC, josta vuonna 2019 on käytössä versio 6.1 (Tarva 2019). Se perustuu ajatukseen ennustaa tietyssä tasoristeyksessä odotettavissa olevien onnettomuuksien lukumäärä yhdistämällä onnettomuusmallin ja kyseisessä tasoristeyksessä tapahtuneiden onnettomuuksien lukumäärä matemaattisella kaavalla, joka ottaa huomioon onnettomuusmäärän tilastollisen luotettavuuden. Odotettavissa olevan onnettomuusmäärän ja suunniteltujen toimenpiteiden vaikutuskertoimien avulla voidaan arvioida toimenpiteillä tai toimenpidekokonaisuuksilla saavutettava onnettomuuksien vähenemä kyseisessä tasoristeyksessä (kuva 1). Tarva-ohjelman taustalla oleva onnettomuusmallinnus perustuu Kulmalan (1995) kehittämään mallinnustapaan, jonka soveltamista Tarvaan on kuvattu mm. lähteissä (Peltola ym. 2012, Peltola, Rajamäki & Luoma 2013 ja Peltola ym. 2019).



Kuva 1. Tarva LC -laskentaperiaate versiossa 6.1.

Tarva LC -ohjelman autoliikenteen tasoristeysten onnettomuusmallissa on kuusi luokiteltua muuttujaa: 1) tasoristeuksen varoituslaitteet, 2) tien liikennemäärä, 3) tien nopeusrajoitus, 4) radan nopeusrajoitus, 5) kasvillisuuden raivauksen jälkeisen 8 metrin näkemän osuus näkemävaatimuksesta, ja 6) tien päällyste (taulukko 1). Näiden lisäksi tasoristeuksen kautta kulkevien junien päivittäinen lukumäärä on mallissa jatkuvana muuttujana.

Taulukko 1. Tarva LC -mallinnuksessa mukana olevien tasoristeysten (TR) lukumäärä luokiteltujen mallimuuttujien mukaan (versio 6.1).

Muuttuja ja sen arvo	TR lukumäärä	Osuus	
Tasoristeuksen varoituslaitteet	Valo & ääni	28	1,0 %
	Puomi	637	23,3 %
	Ei	2067	75,7 %
	Yhteensä	2732	100,0 %
KVL (tieajoneuvoja/vrk)	>100	529	19,4 %
	10–100	935	34,2 %
	<10	1268	46,4 %
	Yhteensä	2732	100,0 %
Tien nopeusrajoitus	80 km/h	1967	72,0 %
	Alle 80 km/h	765	28,0 %
	Yhteensä	2732	100,0 %
Radan nopeusrajoitus	>=110 km/h	892	32,7 %
	<=100 km/h	1840	67,3 %
	Yhteensä	2732	100,0 %
Lyhimmän raivatus 8 m näkemän osuus näkemävaatimuksesta	<40 %	532	19,5 %
	>=40 %	2200	80,5 %
	Yhteensä	2732	100,0 %
Tien päällyste	Sora	2075	76,0 %
	Muut yht.	657	24,0 %
	Yhteensä	2732	100,0 %

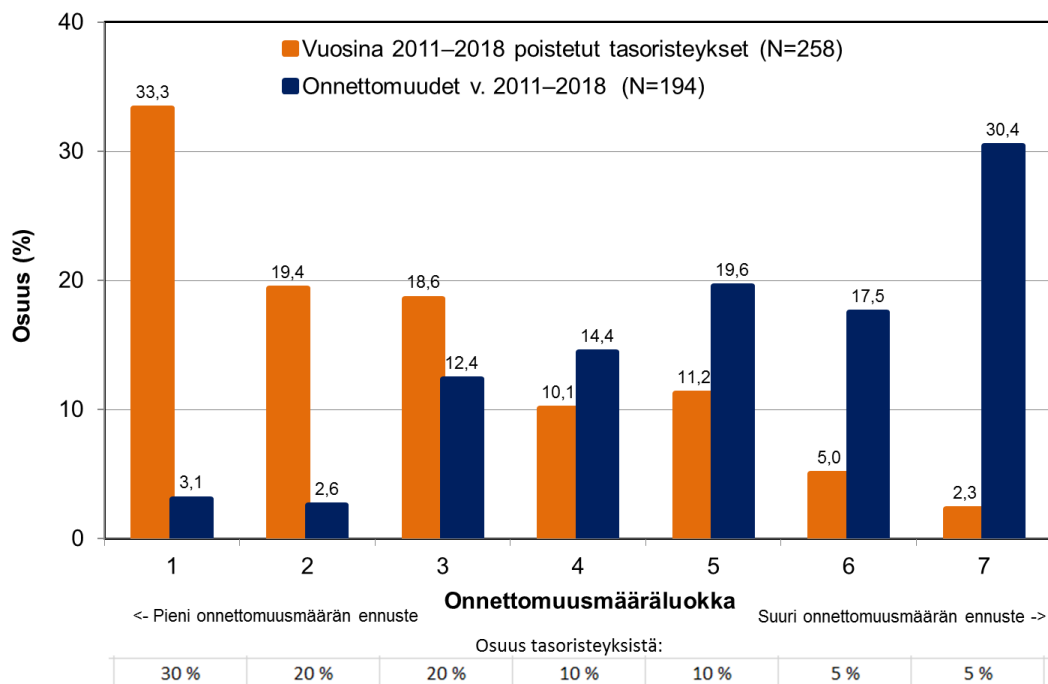
Autoliikenteen tasoristeysten onnettomuusmäärän mallia Tarva LC:n versiossa 6.1 (päivitetty vuonna 2019) on kuvattu liitteessä 1. Pelkästään jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden käytössä olevien tasoristeysten onnettomuusmallina on autoliikenteen määrän puuttuessa käytetty keskimääräistä onnettomuusmäärää kyseisenlaisilla varoituslaitteilla.

Tarva LC:n malliin sisällytettävät muuttujat ja mallirakenne on säilytetty samantapaisena kuin se oli Tarva LC:n käyttöönottovuonna 2011 (Peltola ym. 2012). Käytetyistä muuttujista kaksi – raivatus näkemän osuus vaaditusta ja tien päällyste (soratie) – eivät ole uusimman päivityksen aineistolla tilastollisesti merkitseviä 95 % varmuustasolla (liite 1), vaikka ne olivat sitä vuonna 2011. Tämä osaltaan kannustaa tarkistamaan käytetyn mallin.

Kuten kuvassa 1 esitettiin, Tarva LC:n onnettomuusmäärän ennuste perustuu onnettomuusmallin ja onnettomuushistorian tietojen yhdistämiseen. Mallin ja historian ennustamien onnettomuustietojen yhdistämisestä on kuvattu lähemmin luvussa 3.2. Onnettomuusmallien vuosittaisen päivityksen yhteydessä on myös seurattu sitä, kuinka hyvin onnettomuusennusteet ovat onnistuneet ennustamaan seuraavien vuosien onnettomuuksien sijoittumista eri tasoristeuksiin ja onko vuosittain poistettu tasoristeuksia, joiden onnettomuusmäärän ennusteet

ovat suuria. Seurantaan varten tasoristeykset on jaettu seitsemään onnettomuusmääräluokkaan niissä kymmenen vuoden aikana tapahtuvaksi ennustettujen onnettomuuksien lukumäärän perusteella. Yhteensä 2 847 tasoristeystä sijoitettiin onnettomuusmääräluokkiin vuonna 2011 laadittujen onnettomuusennusteiden mukaan siten, että luokkaan 7 kuuluivat ne 5 % tasoristeyksistä, joissa ennustettu onnettomuusmäärä oli suurin (vähintään 0,3710 onnettomuutta kymmenessä vuodessa). Luokkaan 6 kuuluivat ne 5 % tasoristeyksistä, joissa onnettomuusennuste oli seuraavaksi suurin (vähintään 0,2169 onnettomuutta kymmenessä vuodessa). Vastaavasti luokkaan 5 kuuluivat ne 10 % tasoristeyksistä, joissa onnettomuusennuste oli seuraavaksi suurin (vähintään 0,1090 onn./10v), luokkaan 4 seuraavat 10 % tasoristeyksistä (vähintään 0,0683 onn./10v), luokkaan 3 seuraavat 20 % tasoristeyksistä (vähintään 0,0307 onn./10v), luokkaan 2 seuraavat 20 % tasoristeyksistä (vähintään 0,0118 onn./10v) ja loput 30 % tasoristeyksistä kuuluivat luokkaan 1.

Kuvassa 2 on tarkasteltu ennusteen laatimista seuraavina vuosina tapahtuneiden onnettomuuksien ja tasoristeysten poistojen jakautumista em. onnettomuusmääräluokkien tasoristeyksiin.



Kuva 2. Vuosina 2011–2018 tapahtuneiden onnettomuuksien ja v. 2011–2018 poistettujen tasoristeysten jakautuminen vuoden 2011 ennusteen mukaisiin onnettomuusmääräluokkiin.

Kuvasta 2 havaitaan, että:

- Onnettomuusmääräluokan 7 tasoristeyksissä (5 % onnettomuusaltteimmiksi ennustettuja tasoristeyksiä) tapahtui lähes kolmasosa (30 %) ennusteen laatimista seuraavien vuosien onnettomuuksista.
- Lähes puolet (48 %) onnettomuuksista tapahtui luokkien 6 ja 7 tasoristeyksissä eli siinä kymmenesosassa tasoristeyksiä, jotka ennustettiin onnettomuusaltteimmiksi.

- Vuosina 2011–2018 poistettiin tasoristeyksiä melko tasaisesti kaikista onnettomuusmääräluokista, mutta onnettomuusaltteimpia luokan 7 tasoristeyksiä poistettiin hieman keskimääräistä harvemmin ja pienen onnettomuusennusteen luokan 1 tasoristeyksiä poistettiin hieman keskimääräistä useammin.

Onnettomuusmallien ja onnettomuushistorian tietojen yhdistämisellä määritetty onnettomuusmääräluokka ennustaa suhteellisen hyvin tulevaisuuden onnettomuusmääriä. Tasoristeyksien poistoja suunniteltaessa lopullisiin päätöksiin poistettavista tasoristeyksistä vaikuttavat onnettomuusennusteiden ohella mm. tasoristeysten poistomahdollisuudet ja rataverkon suunnitelmallinen kehittäminen. Tästä seuraa, että aina ei poisteta niitä tasoristeyksiä, joiden poisto olisi onnettomuusmäärien pienentämisen kannalta tehokkainta.

1.2 Tavoitteet

Tavoitteena oli kehittää autoliikenteen käytössä olevien tasoristeysten onnettomuusmäärän mallinnusta ottaen huomioon mm. suhteellisen pienet onnettomuusmäärät (noin 30 vuodessa), tasoristeysten inventointien välillä tapahtuvien parannustöiden haasteet sekä nyt ensimmäistä kertaa käytettävissä olevien tietojen suomat mahdollisuudet.

Yksityiskohtaisina tavoitteina oli:

- Testata mallinnuksessa aikaisempaa lyhyemmän ajanjakson perusteella laadittavia onnettomuusmalleja
- Tuottaa tietoa eri tekijöiden yksittäisvaikutuksista tasoristeyksen onnettomuusmäärään
- Päivittää mallien rakenne ja käytettävät muuttujat niin, että malleja voidaan käyttää jatkossa mm. Tarva LC -ohjelman ennusteiden vuosipäivityksissä
- Vertailla uusilla malleilla saatuja onnettomuusennusteita samalla aineistolla lasketun, mutta vanhojen muuttujien ja mallirakenteen perusteella saatuihin onnettomuusennusteisiin.

Mallinnuksen tietoja voidaan hyödyntää mm. Tarva LC:n päivityksissä ja tasoristeysonnettomuuksiin vaikuttavien tekijöiden arvioissa.

2 Tutkimusmenetelmä

2.1 Tutkimusasetelma

Onnettomuusmallin tietoja tarvitaan onnettomuushistorian ohella nykytilan turvallisuuden luotettavaan arviointiin. Pelkän onnettomuushistorian käyttäminen nykytilan (ja turvallisuusvaikutusten) arvioinnin pohjana saattaa johtaa satunnaisvaihtelun vuoksi suuriin virheisiin (Peltola, Kulmala & Kallberg 1994).

Tasoristeysten turvallisuuden arviointiin tarkoitettun Tarva LC -arviointiohjelman onnettomuusmallien rakenne ja muuttujat on määritetty vuonna 2011. Tuolloin laadittiin onnettomuusmäärän ennustamisessa käytetyt onnettomuusmallit vuosien 2000–2010 onnettomuusmäärien ja tuolloin käytettävissä olleiden muuttujien perusteella (luku 1.1). Onnettomuusennusteet on päivitetty vuosittain, kun on saatu lisää onnettomuusaineistoa. Samassa yhteydessä malliin on päivitetty myös uusimmat olosuhde- ja liikennetiedot.

Mallinnuksessa on vuosi vuodelta käytetty aikaisempaa pidemmän ajanjakson onnettomuustietoja, mutta nyt testattiin käytettävien onnettomuustietojen rajaamista kymmenen vuoden aineistoon. Mallinnukseen oli myös joitakin uusia muuttujia, kuten risteyskulma radan eri puolilta, radan pääväyläluokittelu ja tieto rataa käyttävistä junatyypeistä. Käytettävissä olleen aineiston pohjalta laadittiin uudet onnettomuusmallit (luku 3.1), kuvattiin mallin ja historiatietojen yhdistämistä (luku 3.2) ja vertailtiin aiemmalla ja nyt ehdotettavalla mallirakenteella saatavien onnettomuusennusteiden yhdenmukaisuutta (luku 3.3).

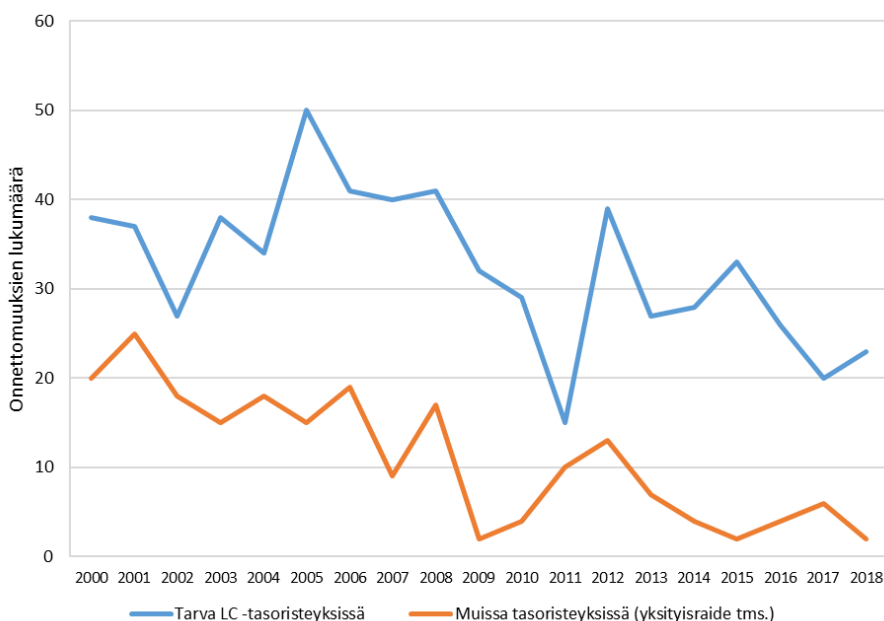
Kuten aiemmissakin Tarva LC -malleissa (Peltola ym. 2012), onnettomuusmallit laadittiin SPSS-tilasto-ohjelman yleisten lineaaristen mallien avulla. Mallintamisessa käytettyjä periaatteita on tarkemmin kuvattu Risto Kulmalan väitöskirjassa (Kulmala 1995).

Mallinnuksen lähtökohtana oli mallintaa onnettomuuksien lukumääriä, mutta mallinnusteknisistä syistä mallista poistettiin tasoristeykseen saapuvien autojen määrän vaikutus (onnettomuusmäärät jaettiin offset-käskyllä tasoristeykseen vuodessa saapuvien autojen määrällä). Tällöin käytännössä mallinnuksen tuloksena saatiin tasoristeysonnettomuuksien riskiä kuvaavat mallit (onnettomuudet/vuodessa tasoristeykseen saapuvien autojen määrä). On syytä huomata, että Tarva LC -ohjelman malleilla pyritään arvioimaan turvallisuuden nykytilaa. Siksi mallien muuttujien ei tarvitse välttämättä kuvata syy-seuraussuhdetta, eivätkä ne aina sitä teekään. Mallien tulisi kuitenkin olla suhteellisen pysyviä ja kuvata hyvin onnettomuusriskin vaihteluja.

2.2 Lähtötiedot

Tässä tutkimuksessa käytettiin pääosin samoja lähtötietoja ja ne saatiin samoista lähteistä kuin nykyisin käytössä olevassa Tarva LC -arvioissa (Tarva 2019, Kallberg ym. 2009):

- Tasoristeysonnettomuuksien tiedot ovat peräisin Väylävirastosta, joka vuosittain kerää keskeiset tiedot kaikista Tarva LC:n tasoristeyksissä (valtion rataverkko) tapahtuneista onnettomuuksista, niiden olosuhteista ja seurauksista. Tasoristeysonnettomuuksien vuosittaiset lukumäärät valtion Tarva LC- ja muissa tasoristeyksissä on esitetty kuvassa 3. Vuosittain tapahtuneiden onnettomuuksien lukumäärä on tarkasteluajanjaksona vähentynyt niin, että kun vuosina 2000–2008 autoliikenteen Tarva LC -tasoristeyksissä tapahtui yhteensä keskimäärin 33,1 onnettomuutta vuodessa, niin vuosina 2009–2019 tapahtui keskimäärin 27,2 onnettomuutta vuodessa. Vastaava vähenemä muissa kuin Tarva LC -tasoristeyksissä eli valtion rataverkon ulkopuolella oli vielä suurempi (11,6 -> 5,4 /vuosi).
- Tasoristeysten olosuhdetiedot ovat peräisin Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy:ssä määrävälein tehdyistä inventoinneista, jotka on toteutettu Väyläviraston ja sen edeltäjäorganisaatioiden toimeksiannosta. Tietoja on osin päivitetty tasoristeysten muutostöiden yhteydessä Väyläviraston rekistereihin kerätyillä tiedoilla.
- Junaliikenteen ja tieliikenteen liikennemäärät ovat peräisin Väyläviraston rekistereistä. Tieliikenteen liikennemäärät perustuvat maanteiden osalta määrävälein tehtäviin yleisiin liikennelaskentoihin. Yksityisteiden ja katujen osalta arviot on alun perin tehty em. inventointien yhteydessä mm. tasoristeysten läheisyydessä olevien asuntojen lukumäärän pohjalta, mutta tietoja on tarpeen mukaan täydennetty laskennoilla.



Kuva 3. Vuosina 2000–2018 tapahtuneiden onnettomuuksien lukumäärä Tarva LC- ja muissa tasoristeyksissä vuosittain.

Tässä tutkimuksessa tehdyn mallinnuksen merkittävimmät erot Tarva LC 6.1 -version mallinnukseen verrattuna:

- Käytetään vain kymmenen viimeisimmän käytettävissä olevan vuoden onnettomuusaineistoa (Tarva LC:ssä koko käytettävissä oleva historia eli versiossa 6.1 oli käytössä 19 vuoden aineisto).
- Käytöstä jo poistettujen tasoristeysten tietoja ei käytetä edes niiltä vuosilta, kuin tasoristeykset olivat vielä käytössä.

Em. rajauksiin päädyttiin käytännön syistä: tasoristeysten onnettomuusmäärä on vuosien kuluessa vähentynyt (kuva 3), joten kovin pitkän ajanjakson aineiston käyttö tuottaisi hieman liian suuria onnettomuusmäärän ennusteita ja hidastaisi liikenneturvallisuuden kehityksessä mahdollisesti tapahtuneiden muutosten heijastumista onnettomuusmallien tuloksiin. Käytettävien vuosien rajausta kymmeneen tarkoittaa käytännössä myös sitä, että käytöstä jo poistettujen tasoristeysten mukaan ottamisella ei juurikaan saataisi lisäaineistoa mallinnukseen.

Kymmenen vuoden aineiston käytön vaikutuksia tarkasteltiin vertailemalla eri pituisten aikajaksojen tuottamia onnettomuusennusteita. Erot mallien tuottamissa ennusteissa olivat niin pieniä, että rajautumista kymmenen vuoden aineiston käyttöön pidettiin perusteltuna. Havaitut erot onnettomuusennusteiden välillä aiheutuivat lähinnä siitä, onnettomuusmalliin yhdistettävän onnettomuushistorian tiedot olivat erilaisia tapauksissa, joissa oli tapahtunut vähintään yksi onnettomuus 11–19 vuotta sitten eli vuosina, joiden historiaa ei nyt käytetä onnettomuusmäärän ennustetta laskettaessa (katso luku 3.2).

3 Tasoristeysonnettomuuksien ennustaminen

3.1 Onnettomuusmäärän mallintaminen

Autoliikenteen tasoristeyksissä tapahtuneiden onnettomuuksien lukumäärän mallintaminen aloitettiin tarkastelemalla mallinnukseen käytettävissä olevia muuttujia sekä niiden yksittäisvaikutuksia onnettomuusriskiin. Sen jälkeen kuvattiin keskeisten muuttujien mallin muodostamista ja erilaisten lisämuuttujien testaamisen aikana tehtyjä havaintoja ja johtopäätöksiä. Luvun 3.1 lopuksi kuvataan ehdotus Tarva LC -ohjelmassa jatkossa käytettävistä onnettomuusmalleista – sekä kaikkien onnettomuuksien että Euroopan unionin rautatieviraston (ERA) määritelmän mukaisten merkittävien onnettomuuksien lukumäärän ennustamiseksi.

Muuttujat ja niiden yksittäisvaikutukset

Mallinnuksessa käytettävät muuttujat on niiden jakautuman perusteella jaettu mallinnusta varten kahteen tai kolmeen luokkaan. Taulukossa 2 esitetään kaikki ne muuttujat, jotka on mallinnusta varten luokiteltu kolmeen osaan, kuten esimerkiksi tien liikennemäärä (KVL alle 10, 10–100 tai yli 100 ajoneuvoa vuorokaudessa). Taulukossa on esitetty:

- Suhteellinen riski eli muuttujan arvojen vaikutus onnettomuusriskiin, verrattuna riskiin muuttujan perustilanteessa, kun kyseinen muuttuja on ainoa tasoristeysten riskiä kuvaava muuttuja. Esimerkiksi KVL-arvolla 10–100 ajoneuvoa/vrk riski on vain 33 % siitä, mitä se on perustilanteessa eli kun KVL on alle 10.
- Muuttujan tilastollinen merkitsevyys. 95 % varmuustasolla merkitsevät tulokset on lihavoitu.
- Tasoristeysten ja tasoristeykseen tietä pitkin saapuvien ajoneuvojen jakautuminen muuttujan eri arvoille.

Taulukko 2. Muuttujien yksittäisvaikutukset onnettomuusmäärään – muuttujat, joilla on kolme luokkaa.

Varoituslaitteet	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%) ⁽³⁾	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
Valo ja ääni	0,05	0,000	2,4	6,5
Puomi	0,02	0,000	23,6	86,1
Ei varoa, perustilanne	1,00		73,9	7,4

Tien KVL, ajoneuvoja	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%) ⁽³⁾	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
Yli 100 /vrk	0,12	0,000	20,6	95
10–100 /vrk	0,33	0,000	34,8	4,7
Alle 10 /vrk, perustilanne	1,00		44,6	0,3

Junamäärä/vrk	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%)	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
Yli 15/vrk	2,62	0,000	20,1	19,6
5–15/vrk	1,65	0,001	32,3	43,4
Alle 5/vrk, perustilanne	1,00		47,6	36,9

Risteyskulma inventoinneista ⁽⁴⁾	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%) ⁽³⁾	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
>110°	1,05	0,812	9,6	17,8
<70°	0,92	0,720	7,7	19,9
70-110°, perustilanne	1,00	.	82,7	62,3

Risteyskulma kartalta ⁽⁴⁾	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%) ⁽³⁾	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
>110°	1,02	0,919	11,2	23,2
<70°	0,74	0,141	11,8	27,7
70-110°, perustilanne	1,00	.	77	49,1

Tieluokka	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%) ⁽³⁾	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
Yksityistie	1,25	0,365	75,9	6,6
Katu	1,90	0,006	8,1	54,5
Maantie, perustilanne	1,00	.	16,1	38,9

Suurin arvioitu ylitynopeus	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%) ⁽³⁾	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
> 20 km/h	1,10	0,858	16,4	62,8
6-20 km/h	1,32	0,587	64,8	37,1
<=5 km/h, perustilanne	1,00	.	18,8	0,1

¹ Vaikutuskerroin eli suhteellinen riski verrattuna perustilanteeseen, jonka riskiä on kuvattu arvolla 1.

² Todennäköisyys, että ero johtuu satunnaisvaihtelusta. Esim. 0,001 tarkoittaa 99,9 % varmuustasolla tilastollisesti merkitsevää tulosta. 95 % varmuustasolla tilastollisesti merkitsevät erot on esitetty lihavoituna.

³ Olosuhteiden yleisyys on laskettu erikseen tasoristeysten lukumäärän ja tasoristeykseen saapuvien autojen lukumäärän perusteella.

⁴ Inventoinneissa on kirjattu keskiarvo eri puolien risteyskulmasta, mutta kartalta on arvioitu radan eri puolet erikseen ja käytetty näkemältä huonomman puolen tietoja.

Taulukon 2 mukaan tilastollisesti merkitseviä eroja tasoristeysten riskiin aiheuttavat tasoristeyksen varoituslaitteet, tien liikennemäärä, junamäärä sekä tieluokka. Taulukosta näkyy, että suuri osa tasoristeyksistä on vartioimattomia vähäliikenteisiä yksityistien tasoristeyksiä, mutta suuri osa autoista ylittää tasoristeyksen melko vilkkaassa katu- tai maantietasoristeyksessä, jossa on puomit.

Taulukossa 3 on esitetty taulukkoa 2 vastaavat tiedot kahteen osaan luokitelluista muuttujista. Taulukossa on esitetty tarkasteltavan tilanteen (esimerkiksi tien nopeusrajoitus 80 km/h) yleisyys sekä sen turvallisuus verrattuna kaikkiin muihin tasoristeyksiin (esimerkissä kaikki muut kuin 80 km/h nopeusrajoitus). Kahden muuttujan yksittäisvaikutuksista tilastollisesti merkitseviä yksittäisvaikutuksia on vain nopeusrajoituksella (yleisrajoituksella 80 km/h riski on vain 60 % siitä, mitä se on muilla nopeusrajoituksilla) sekä huonoilla näkemillä (kun huonoin raivatuista näkemistä on alle 40 % vaaditusta, riski on 54 % suurempi kuin muissa tasoristeyksissä). On syytä huomata, että muuttujien vaikutukset eivät välttämättä kuvaa syy-seuraus-suhdetta. Selitys tähän ennen-jälkeen-tutkimusten tulosten vastaiseen havaintoon lienee se, että nopeusrajoituksia on alennettu etenkin tasoristeyksissä, joissa riski on eri syistä koholla, mutta se ei ole riittänyt alentamaan riskiä keskiarvon alapuolelle.

Taulukko 3. Muuttujien yksittäisvaikutukset onnettomuusmäärään – muuttujat, joilla on kaksi luokkaa.

Tarkasteltava tilanne (perustilanne on aina kaikki muut tasoristeykset)	Suhteellinen ⁽¹⁾ riski	Tilastollinen ⁽²⁾ merkitsevyys	Osuus (%)	
			Tasoristeyksistä	Ajoneuvoista
Soratie	1,11	0,608	74,6	8,7
Tien rajoitus 80 km/h	0,60	0,002	70,2	8,6
Huonoin näkemä <40 % vaaditusta	1,54	0,007	18,9	27,1
Radan maksimiraj. väh.110 km/h	0,85	0,380	30,0	22,1
Lavetti voi ylittää tasoristeyksen	0,89	0,624	75,8	99,2
STOP-merkin olemassaolo	1,18	0,297	11,3	3,7
Ennakkomerkin olemassaolo	1,31	0,089	42,4	92,3
Lähestymismerkin olemassaolo	0,94	0,695	32,6	71,8
Vähintään kaksi raidetta	0,81	0,584	2,4	6,2
Inventoinnissa kaarre	1,13	0,433	22,6	23,1
Inventoinnissa mäki tai kukkula	1,14	0,359	63,3	22,2
Odotustasanne kunnossa	1,14	0,362	61,8	27,3
Tasoristeys ei ole verkon pääväylällä	0,95	0,774	69,3	65,9
Kulkee pendoliinoja	0,69	0,161	9,7	10,3
Kulkee kiskobusseja	0,97	0,870	27,3	19,4
Kulkee tavarajunia	1,01	0,982	90,0	82,0
Kulkee matkustajajunia	0,96	0,800	47,8	38,0

¹ Vaikutuskerroin eli suhteellinen riski verrattuna perustilanteeseen, jonka riskiä on kuvattu arvolla 1.

² Todennäköisyys, että ero johtuu satunnaisvaihtelusta. Esim. 0,001 tarkoittaa 99,9 % tasolla tilastollisesti merkitsevää tulosta. 95 % varmuustasolla tilastollisesti merkitsevät erot on esitetty lihavoituna.

Perusmalli ja muiden muuttujien vaikutukset

Aikaisempien onnettomuusmallien muuttujien vaikutuskertoimien yhdenmukaisuuden ja loogisuuden sekä edellä kuvattujen yksittäisvaikutusten perusteella laadittiin perusmalli, johon lisämuuttujia testattiin yksi kerrallaan. Tämä perusmalli sisältää kolme keskeistä muuttujaa, joiden merkitys ja suuruusluokka ovat säilyneet Tarva LC:n alkuvuosista lähes muuttumattomina: tasoristeyksen varoituslaitteet ja auto- sekä junaliikenteen vuorokautinen määrä (taulukko 4 ja kuva 4). Mallin tulkinta on kuvattu liitteessä 1.

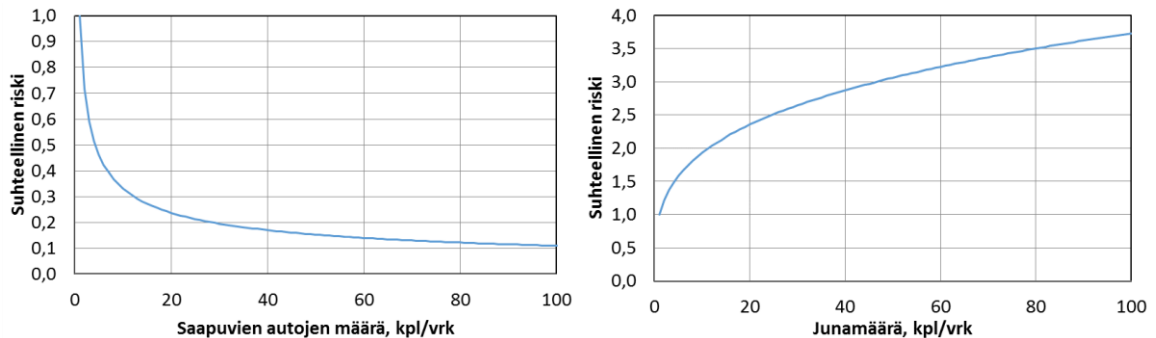
Taulukko 4. Autoliikenteen taseisteysten onnettomuusriskiä (onnettomuudet /taseisteykseen saapuva auto) kuvaava, keskeiset muuttujat sisältävä onnettomuusmalli ($K=1,37$ ja selitysaste=56,1 %).

Parametri	B-kerroin ¹ mallissa	Std. Error	95% Wald Confidence Interval		Hypothesis Test			Vaikutus- kerroin ³
			Lower	Upper	Wald Chi- Square	df	Sig. ²	
(Vakio)	-9,906	0,2497	-10,395	-9,417	1573,837	1	0	0,0000499
Ln_junamaara	0,286	0,0712	0,146	0,426	16,109	1	0	(kuva 4)
Ln_KVL	-0,48	0,0467	-0,572	-0,389	105,988	1	0	(kuva 4)
[Varo=Valo ja ääni]	-1,198	0,3886	-1,96	-0,437	9,512	1	0,002	0,30
[Varo=Puomi]	-2,501	0,2319	-2,955	-2,046	116,285	1	0	0,082
[Varo=Ei varoa]	0	-	-	-	-	-	-	1

¹ Kerroin GLIM-mallissa. Kertoimen tulkintaa auttaa sarake "Vaikutuskerroin".

² Tilastollinen merkitsevyys on esitetty virheellisen tulkinnan todennäköisyytenä (esim. 0,002 = merkitsevä 99,8 % varmuustasolla).

³ Vakiotermin kerroin kuvaa onnettomuuksien lukumäärää tiettyä saapuvien autojen määrää kohti muuttujien perusarvoilla (=ne muuttujien arvot, joiden vaikutuskerroin on 1). Muiden muuttujien vaikutuskertoimet kuvaavat suhteellista riskiä kyseisellä muuttujan arvolla.



Kuva 4. Autojen ja junien vuorokautisen lukumäärän vaikutus suhteelliseen onnettomuusriskiin keskeisten muuttujien mallissa (taulukko 4).

Keskeisten muuttujien onnettomuusmallista havaitaan mm. seuraavaa (taulukon 4 sarake 'Vaikutuskerroin' sekä kuva 4):

- Onnettomuusriski on valo- ja ääni-varoitustilteilla varustetuissa taseisteyksissä 30 % ja puomilla varustetuissa taseisteyksissä 8,2 % siitä, mitä se on varoitustilteettomissa taseisteyksissä
- Toisin kuin aiemmissa onnettomuusmalleissa, auto- ja junaliikenteen määrät ovat mallissa jatkuvina muuttujina koska se parantaa mallin selitysastetta. Lisäksi siten voidaan välttää luokkarajojen läheisyydessä tapahtuvien pienten liikennemäärämuutosten aiheuttamat epäjatkuvuudet silloin, kun liikennemäärä vuosipäivityksessä siirtyy luokkarajan yli.

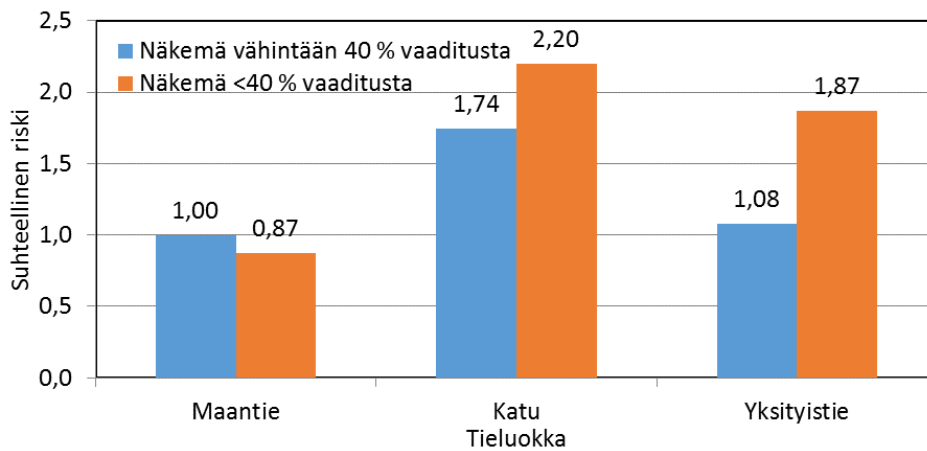
- Kaikkein pienimmillä autoliikenteen määrillä (alle 10 ajoneuvoa/vrk) jokainen lisäauto vuorokaudessa pienentää onnettomuusriskiä yhtä autoa kohti suhteellisen paljon. Lisäauton merkitys pienenee automäärän kasvaessa.
- Jokainen vuorokautinen lisäjuna lisää jonkin verran riskiä yhtä autoa kohti, mutta riski ei kohoa yhtä nopeasti kuin junien määrä lisääntyy.

Keskeiset muuttajat lisättiin onnettomuusmalliin yksi kerrallaan, mihin liittyy mielenkiintoinen havainto: varoituslaite ainoana mallin muuttujana selitti 46,4 % onnettomuusriskin vaihtelusta. Kun malliin lisättiin sen lisäksi autoliikenteen KVL, selitysaste nousi 54,9 prosenttiin ja kun kolmanneksi muuttujaksi lisättiin junaliikenteen määrä, selitysaste oli 56,1 %. Käytännössä siis onnettomuusmallin selitysaste nousee jo yhdellä muuttujalla melko hyväksi ja selitysasteen paraneminen hidastuu nopeasti muuttujia lisättäessä.

Keskeisten muuttujien malliin lisättiin yksi kerrallaan jokainen käytössä oleva muuttuja sellaisenaan sekä yhdysvaikutuksena muiden muuttujien kanssa ja näin saaduista malleista tehtiin mm. seuraavanlaisia johtopäätöksiä:

- **Huomiovalo- ja varoitusvalolaitteilla varustetuissa** tasoristeyksissä suhteelliset riskit näyttäisivät olevan jopa hieman pienempiä kuin perinteisillä valo- ja äänivaroituslaitteilla varustetuissa tasoristeyksissä. Tulokset tosin perustuvat melko pieniin aineistoihin, eikä näiden tasoristeysten erittelyn lisääminen paranna mallin selitystasoa.
- **Nopeusrajoituksen** vaikutus yksin perusmalliin lisättynä oli samansuuntainen kuin aiemmissa malleissa (80 km/h rajoituksella onnettomuusriski on pienempi kuin muilla rajoituksilla). Yhdysvaikutuksena varoituslaitteiden kanssa nopeusrajoituksen vaikutus oli osin samansuuntainen kuin aiemmissakin mallinnuksissa, mutta puomilla varustetuissa tasoristeyksissä 80 km/h nopeusrajoituksen turvallisuusvaikutus oli erisuuntainen kuin aiemmin (liite 1). Melko hyvästä selitystasosta huolimatta nopeusrajoituksen lisäämistä malliin ei voida pitää hyvänä vaihtoehtona, koska nopeusrajoituksia ollaan parhaillaan päivittämässä. Siksi nopeusrajoituksen vaikutus mallissa on vaarassa muuttua. Lisäksi nopeusrajoitus kuvannee enemmän muiden tekijöiden vaikutusta riskiin kuin nopeusrajoituksen suoraa vaikutusta, koska tasoristeyksen ylittäminen 80 km/h nopeudella ei usein ole edes käytännössä mahdollista.
- **Tieluokkia** tarkasteltaessa katujen tasoristeyksissä riskit ovat 90 % ja yksityisteiden tasoristeyksissä 25 % suurempia kuin maanteiden tasoristeyksissä. Tämän muuttujan lisäyksen ansiosta mallin selitystaso nousi 56,1 -> 56,6 % ja muuttuja on tilastollisesti merkitsevä varmuustasolla 98,3 %.
- **Risteyskulman** vaikutusta koskevat tulokset olivat ristiriitaisia, eivätkä ne suurelta osalta olleet tilastollisesti merkitseviä, tarkasteltiinpa inventoinnissa havaittuja risteyskulmia (eri suuntien keskiarvo) tai kartalta eri suunnista mitattuja arvoja. Risteyskulman yhdysvaikutusten tarkastelu näkemäpuutteiden tai tieluokan kanssa ei muuttanut tätä johtopäätöstä.

- **Lyhimmän raivatun 8 m näkemän osuuden ollessa alle 40 % näkemävaatimuksesta**, tasoristeyksen riski on 54 % suurempi kuin muissa tasoristeyksissä. Tämän muuttujan lisäyksen ansiosta mallin selitysaste nousi 56,1 -> 56,6 % ja muuttuja on tilastollisesti merkitsevä varmuustasolla 99,3 %.
- **Tieluokan ja raivattuna alle 40 % näkemien** yhdysvaikutuksesta voidaan arvioida huonojen näkemien lisäävän hieman jo muutoinkin koholla olevaa riskiä kaduilla. Yksityisteillä riski kohoaa selvästi, jos näkemät ovat huonot (kuva 5). Huonojen näkemien vaikutusta on tarkasteltu myös jäljempänä kohdassa *Ehdotus Tarva LC:ssä käytettäväksi malleiksi*.



Kuva 5. Raivattuna alle 40 % näkemän ja tieluokan yhteisvaikutus suhteelliseen riskiin.

Ehdotus Tarva LC:ssä käytettäväksi malleiksi

Tarva LC:tä varten pyrittiin laatimaan malli, jolla on hyvä selitysaste ja muuttujien tilastollinen merkitsevyys, mallinuksissa vakaana pysyvät muuttujien vaikutukset, selkeä tulkinta ja loogisuus sekä kaikkien onnettomuuksien että ERAn määritelmän mukaisten merkittävien onnettomuuksien osalta.

Erialaisten onnettomuusmallien tarkastelujen pohjalta ehdotetaan Tarva LC:ssä käytettäväksi onnettomuusmallia, jossa tasoristeysonnettomuuksien riskiä selittää tasoristeyksen varoituslaitteiden ja raivattuna alle 40 % näkemien yhdysvaikutus, tieluokka sekä tasoristeyksessä kulkevien autojen ja junien määrä vuorokaudessa (taulukko 5). Mallin kaikki muuttujat ovat tilastollisesti merkitseviä 95 % varmuustasolla. Mallin tulkintaperiaate on kuvattu liitteessä 1.

Taulukko 5. Ehdotus Tarva LC:ssä käytettäväksi, autoliikenteen tasoristeysten **kaikkien onnettomuuksien määrä** kuvaavaksi onnettomuusmalliksi ($K=1,54$ ja selityssaste=57,1 %).

Parametri	B-kerroin ¹ mallissa	Std. Error	95% Wald Confidence Interval		Hypothesis Test			Vaikutus- kerroin ³
			Lower	Upper	Wald Chi- Square	df	Sig. ²	
(Vakio)	-9,839	0,2623	-10,354	-9,325	1407,04	1	0	0,0000533
[Valo&ääni]*[Näkemäpuute]	-0,32	0,4663	-1,234	0,594	0,472	1	0,492	0,73
[Valo&ääni]*[Ei näk.puute]	-1,886	0,6047	-3,072	-0,701	9,732	1	0,002	0,15
[Puomi]*[Näkemäpuute]	-2,212	0,3133	-2,826	-1,598	49,871	1	0	0,11
[Puomi]*[Ei näk.puute]	-2,499	0,2638	-3,016	-1,982	89,709	1	0	0,08
[Ei varoa]*[Näkemäpuute]	0,348	0,1916	-0,027	0,724	3,302	1	0,069	1,42
[Ei varoa]*[Ei näk.puute]	0	.	.	.	.	.	.	1,00
[Katu]	0,491	0,1923	0,114	0,868	6,511	1	0,011	1,63
[Maantie, Yksit.tie]	0	.	.	.	.	.	.	1,00
Ln_KVL	-0,537	0,0535	-0,642	-0,432	100,802	1	0	(kuva 4)
Ln_junamaara	0,291	0,0723	0,149	0,432	16,15	1	0	(kuva 4)

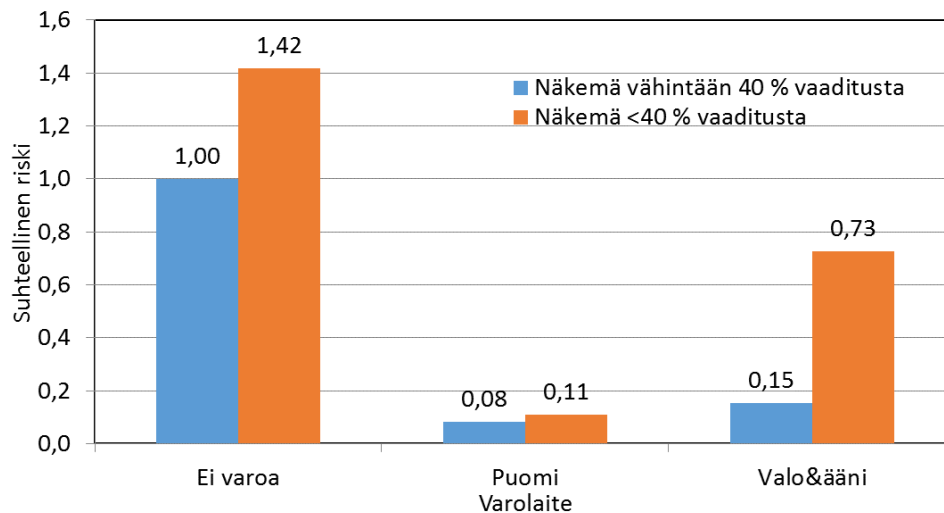
¹ Kerroin GLIM-mallissa. Kertoimen tulkintaa auttaa sarake "Vaikutuskerroin".

² Tilastollinen merkitsevyys on esitetty virheellisen tulkinnan todennäköisyytenä (esim. 0,002 = merkitsevä 99,8 % varmuustasolla).

³ Vakiotermin kerroin kuvaa onnettomuuksien lukumäärää tiettyä saapuvien autojen määrää kohti muuttujien perusarvoilla (=ne muuttujien arvot, joiden vaikutuskerroin on 1). Muiden muuttujien vaikutuskertoimet kuvaavat suhteellista riskiä kyseisellä muuttujan arvolla.

Kaikkien tasoristeysonnettomuuksien lukumäärän mallin kertoimista havaitaan mm. seuraavaa:

- Huonot näkemät ovat yhteydessä kohonneeseen onnettomuusriskiin varoituslaitteista riippumatta – näkemien vaikutus on pienin puomilisisä tasoristeyksissä ja selvästi suurin valo- ja äänivaroituslaitteilla varustetuissa tasoristeyksissä (kuva 6).
- Näkemien ollessa vähintään 40 % vaaditusta, riski valo- ja äänivaroituslaitteilla varustetuissa tasoristeyksissä on vain 15 % siitä, mitä se on varoituslaitteettomissa tasoristeyksissä.
- Riski katujen tasoristeyksissä on maanteiden ja yksityisteiden riskiä keskimäärin 63 % suurempi.
- Auto- ja junaliikenteen vuorokausimäärien vaikutuskertoimet ovat käytännössä lähes samoja, mitä ne ovat keskeisten muuttujien mallissakin (vertaa taulukko 5 ja taulukko 4).



Kuva 6. Varoituslaitteiden ja näkemäpuutteiden yhteisvaikutus onnettomuuksien suhteelliseen riskiin (taulukko 5).

Merkittävien onnettomuuksien määrän onnettomuusmalli (taulukko 6) laadittiin samoilla muuttujilla kuin kaikkien onnettomuuksien malli. Myös merkittävien onnettomuuksien mallin kaikki muuttujat ovat tilastollisesti merkitseviä 95 % varmuustasolla. Mallin tulkintaperiaate on kuvattu liitteessä 1.

Taulukko 6. Ehdotus Tarva LC:ssä käytettäväksi, autoliikenteen tasoristeysten **merkittävien onnettomuuksien määrä** kuvaavaksi onnettomuusmalliksi ($K=9,5$ ja selitystasaste=48,2 %).

Parametri	B-kerroin ¹ mallissa	Std. Error	95% Wald Confidence Interval		Hypothesis Test			Vaikutus- kerroin ³
			Lower	Upper	Wald Chi- Square	df	Sig. ²	
(Vakio)	-11,476	0,5651	-12,583	-10,368	412,385	1	0	0,000010
[Valo&ääni]*[Näkemäpuute]	-0,239	1,0242	-2,247	1,768	0,055	1	0,815	0,79
[Valo&ääni]*[Ei näk.puute]	-1,023	1,0561	-3,093	1,047	0,938	1	0,333	0,36
[Puomi]*[Näkemäpuute]	-2,48	0,7888	-4,026	-0,934	9,882	1	0,002	0,08
[Puomi]*[Ei näk.puute]	-1,511	0,4596	-2,412	-0,611	10,813	1	0,001	0,22
[Ei varoa]*[Näkemäpuute]	0,362	0,3972	-0,416	1,141	0,833	1	0,361	1,44
[Ei varoa]*[Ei näk.puute]	0	.	.	.	.	.	.	1,00
[Katu]	0,807	0,3852	0,052	1,563	4,393	1	0,036	2,24
[Maantie, Yksit.tie]	0	.	.	.	.	.	.	1,00
Ln_KVL	-0,701	0,1074	-0,912	-0,491	42,628	1	0	(kuva 7)
Ln_junamaara	0,614	0,1679	0,284	0,943	13,35	1	0	(kuva 7)

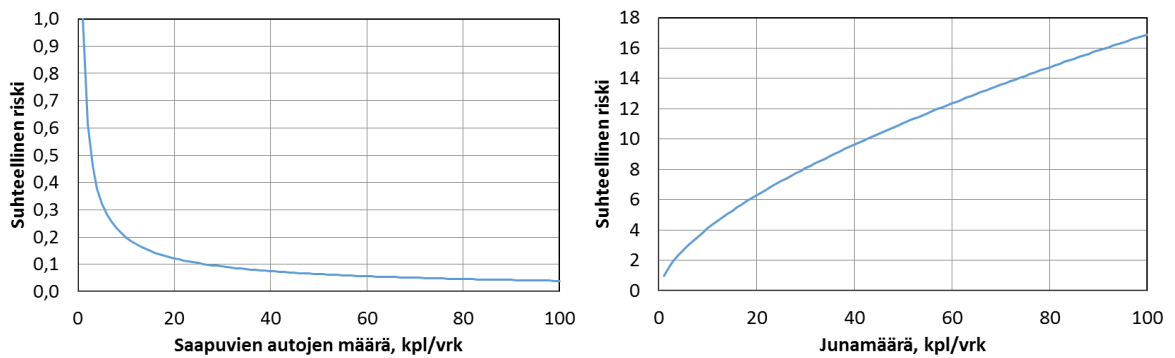
¹ Kerroin GLIM-mallissa. Kerroimen tulkintaa auttaa sarake "Vaikutuskerroin".

² Tilastollinen merkitsevyys on esitetty virheellisen tulkinnan todennäköisyytenä (esim. 0,002 = merkitsevä 99,8 % varmuustasolla).

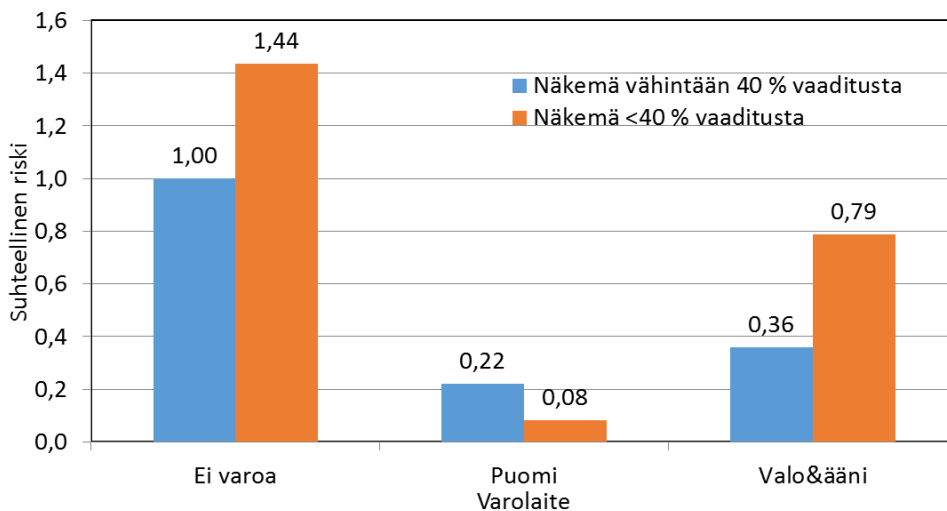
³ Vakiotermin kerroin kuvaa onnettomuuksien lukumäärää tiettyä saapuvien autojen määrää kohti muuttujien perusarvoilla (=ne muuttujien arvot, joiden vaikutuskerroin on 1). Muiden muuttujien vaikutuskertoimet kuvaavat suhteellista riskiä kyseisellä muuttujan arvolla.

Merkittävien tasoristeysonnettomuuksien lukumäärän mallin kertoimista havaitaan mm. seuraavaa:

- Huonot näkemät näyttäisivät olevan yhteydessä kohonneeseen onnettomuusriskiin varoituslaitteettomissa sekä valo- ja äänivaroituslaitteiden tasoristeyksissä (kuva 8), mutta puomilla varustetuissa tasoristeyksissä malli viittaisi jopa päinvastaiseen yhteyteen (tulos ei tilastollisesti merkitsevä).
- Kuten kaikkien onnettomuuksien riski, myös merkittävien onnettomuuksien riski katujen tasoristeyksissä on maanteiden ja yksityisteiden riskiä keskimääräistä suurempi, keskimäärin yli kaksinkertainen.
- Merkittävien onnettomuuksien mallissa autoliikenteen vuorokausiliikennemäärän vaikutuskertoimet ovat lähellä kaikkien onnettomuuksien mallin kertoimia (kuvat 4 ja 7), mutta junien vuorokausiliikenteen määrällä on suurempi vaikutus merkittävien kuin kaikkien onnettomuuksien riskiin.



Kuva 7. Autojen ja junien vuorokautisen lukumäärän vaikutus suhteelliseen merkittävien onnettomuuksien riskiin Tarva LC:ssä käytettäväksi ehdotettavassa mallissa.



Kuva 8. Varoituslaitteiden ja näkemäpuutteiden yhteisvaikutus merkittävien onnettomuuksien suhteelliseen riskiin (taulukko 6).

3.2 Mallin ja historian tietojen yhdistäminen

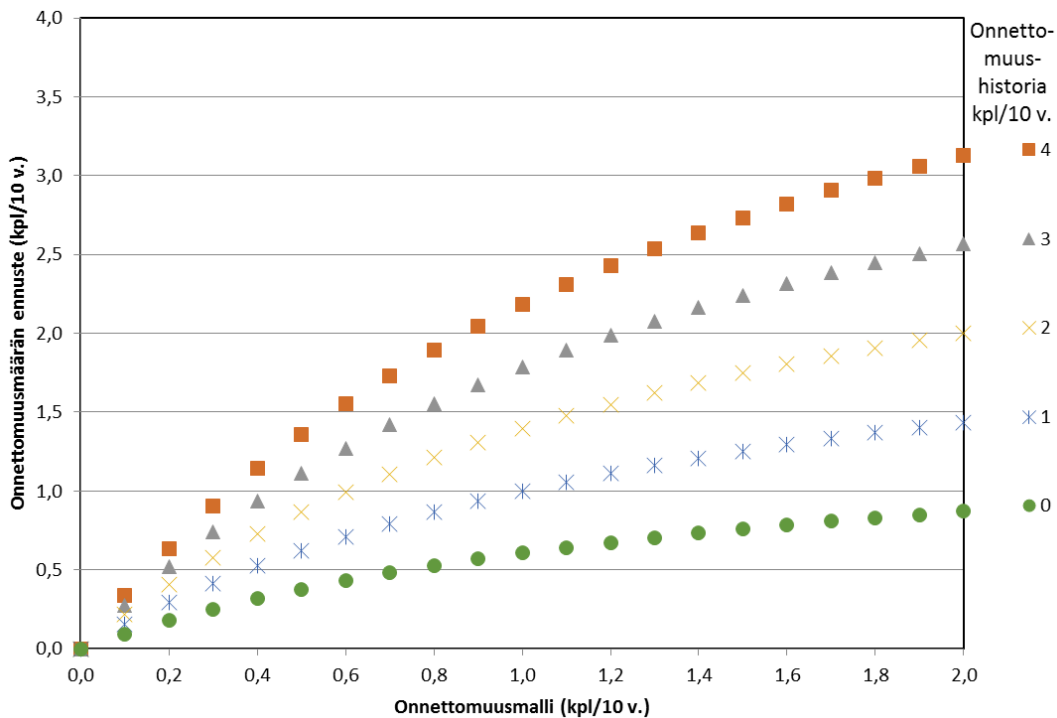
Mallin ja historiatietojen yhdistämiseen vaikuttaa mallin hyvyyttä kuvaava K-arvo ja tasoristeykseen mallilla ennustettujen onnettomuuksien lukumäärä. Nykytilan turvallisuus lasketaan kaavalla (Peltola, Rajamäki & Luoma 2013):

$$\text{Onnettomuudet}_{\text{ennuste}} = (A * \text{Onnettomuudet}_{\text{malli}}) + (1-A) * \text{Onnettomuudet}_{\text{historia}}$$

Kaavassa oleva onnettomuusmallin painoarvo A lasketaan puolestaan kaavalla:

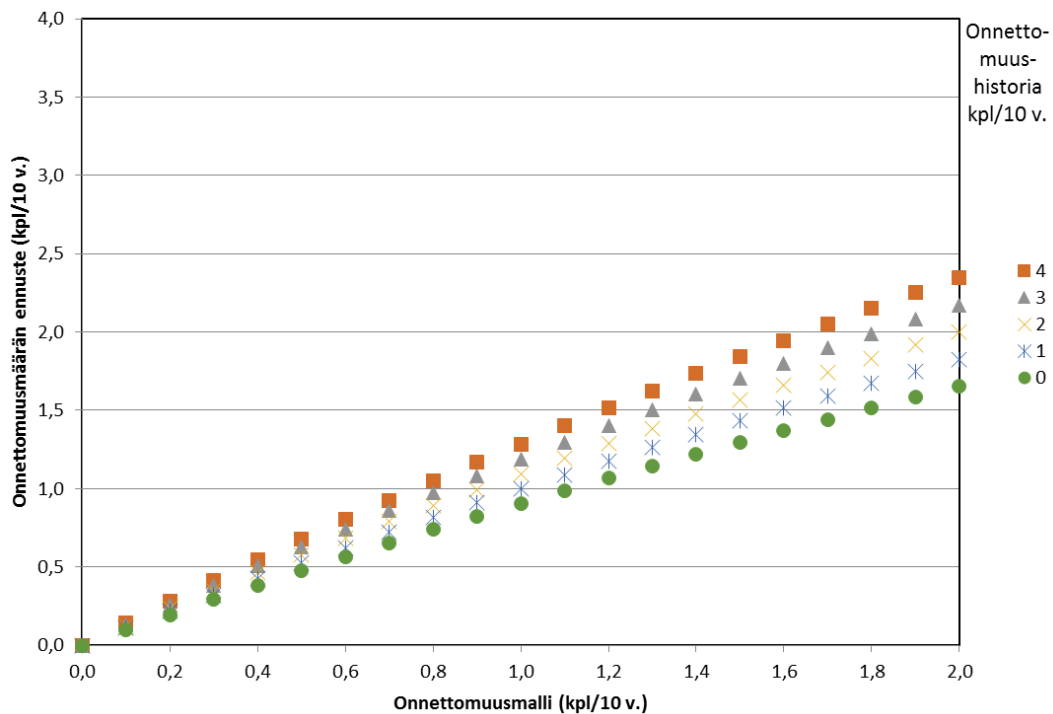
$$A = K / (K + \text{Onnettomuudet}_{\text{malli}}).$$

K-arvon vaikutusta havainnollistetaan kahdella kuvalla, joissa on esitetty historian ja mallin tietojen yhdistäminen tasoristeysonnettomuuksissa (kuva 9) ja ERA:n määritelmän mukaisissa merkittävässä onnettomuuksissa (kuva 10). Käytännön esimerkki onnettomuushistorian ja mallin tietojen yhdistämisestä (kuva 9): jos onnettomuusmalli ennustaa 1,7 onnettomuutta/10 v., mutta historiassa ei ole tapahtunut yhtään onnettomuutta, yhdistetty ennuste on 0,8 onn./10v. Jos taas historiassa on tapahtunut yksi onnettomuus, vastaava ennuste on 1,3 onn./10v., mutta jos historiassa on tapahtunut kaksi onnettomuutta, ennuste on 1,9 onn./10v.



Kuva 9. Onnettomuusmäärän ennuste onnettomuusmallin ja kymmenen vuoden historian perusteella kaikkien tasoristeysonnettomuuksien mallissa (K-arvo 1,54).

Tarva LC -arviointiohjelma laskee automaattisesti ennustetun onnettomuusmäärän, joten käyttäjän ei tarvitse käytännössä tietää mallin ja historian yhdistämisen yksityiskohtia.



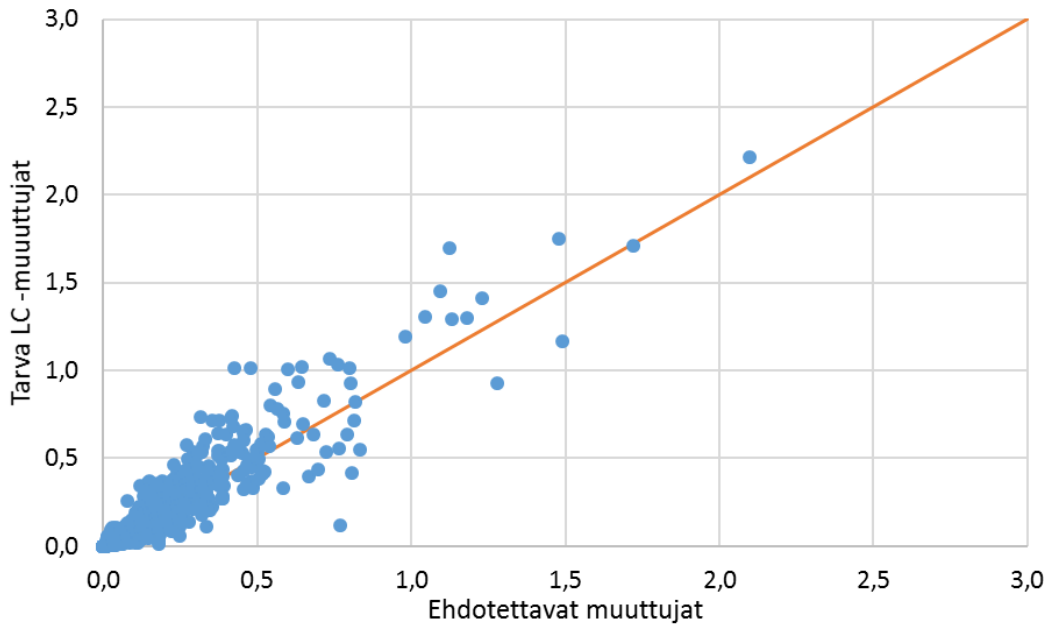
Kuva 10. Onnettomuusmäärän ennuste onnettomuusmallin ja historian perusteella merkittävien tasoristeysonnettomuuksien mallissa (K-arvo 9,5).

Käytännössä onnettomuusmallin painokertoimet (A-arvo) vaihtelevat tasoristeysonnettomuuksia ennustettaessa pääosin välillä 80–100 %, painottuen hieman lähemmäksi 100 %. Merkittävien onnettomuuksien lukumäärää ennustettaessa onnettomuusmallin painokertoimet ovat tyypillisesti vähintään 90 %, mikä johtuu merkittävien onnettomuuksien kaikkia onnettomuuksia pienemmästä lukumäärästä ja mallin suuresta K-arvosta.

3.3 Mallin päivityksen vaikutus onnettomuusennusteisiin

Jotta ehdotettavien muuttujien (luku 3.1) vaikutusta nykyisiin onnettomuusennusteisiin voitiin verrata, laskettiin aluksi Tarva LC 6.1:ssä käytetyillä muuttujilla uudet mallit samalla aineistolla millä nyt ehdotettavat mallit laadittiin (onnettomuustiedot vuosilta 2009–2018). Tarva LC:n muuttujien vaikutuskertoimet eivät juurikaan muuttuneet, kun mallinnuksessa käytettiin 19 vuoden sijaan kymmenen vuoden aineistoa. Merkittävimpiä muutoksia olivat soratien ja raivattuna alle 40 % näkemän suhteellisen riskin kohoaminen ja näiden vaikutusten muuttuminen tilastollisesti merkitseviksi. Tarva LC 6.1:ssä käytettävillä muuttujilla, mutta kymmenen vuoden onnettomuustiedoilla laaditun mallin selitysaste oli 54,5 % eli hieman huonompi kuin tässä työssä ehdotettavassa mallissa (57,1 %) – siitä huolimatta, että Tarva LC -muuttujien mallissa oli ehdotettavaa mallia enemmän muuttujia.

Kun myös Tarva LC 6.1 -version muuttujien kymmenen vuoden onnettomuusmallin tiedot yhdistettiin onnettomuushistoriatietoihin (K=2,07), voitiin tarkastella mallinnuksessa käytettävien muuttujien vaikutusta onnettomuusennusteisiin. Tarva LC 6.1 -version muuttujilla onnettomuusennuste (219,2) oli hieman pienempi kuin tässä työssä ehdotetuilla muuttujilla (224,1). Yksittäisten tasoristeysten onnettomuusmäärät eri malleilla korreloivat hyvin, mutta joissakin yksittäisissä ennusteissa oli selviä eroja (kuva 11).



Kuva 11. Ennustettu onnettomuusmäärä kymmenessä vuodessa Tarva LC:n nykyisillä ja ehdotettavilla muuttujilla laskettuna. Kukin piste edustaa yhtä autoliikenteen tasoristeystä ja viiva kuvaa tilannetta, jossa tasoristeysten onnettomuusmäärän ennuste säilyy ennallaan.

Kaikkiaan 61,1 % tasoristeyksistä päätyi täsmälleen samaan onnettomuusmääräluokkaan Tarva LC:ssä käytettyjen ja nyt ehdotettavien muuttujien malleilla (taulukko 7, oranssilla taustalla merkityt tasoristeysten lukumäärät). Uusien muuttujien käyttöönoton myötä onnettomuusmääräluokka alenisi enemmän kuin yhden luokan kuudessa tasoristeyksessä (aiempaa pienempi onnettomuusennuste, sinisellä taustalla merkityt tasoristeysten lukumäärät), mutta nousi enemmän kuin yhden luokan 60 tasoristeyksessä (aiempaa suurempi onnettomuusennuste, vihreällä taustalle merkityt tasoristeysten lukumäärät).

Yleisesti havaitaan, että Tarva LC -muuttujilla pienimpiin onnettomuusmääräluokkiin sijoittuvissa tasoristeyksissä uuden mallin käyttöönoton myötä luokka useammin nousi kuin alenisi – esimerkiksi luokasta kaksi luokkaan kolme nousi 191 tasoristeystä, mutta vain 7 tasoristeysten luokka alenisi kolmesta kahteen. Sen sijaan Tarva LC -muuttujilla suurimpiin onnettomuusmääräluokkiin sijoittuvissa tasoristeyksissä uuden mallin käyttöönoton myötä luokka useammin alenisi kuin nousi – esimerkiksi luokasta kuusi luokkaan seitsemän nousi 10 tasoristeystä, mutta 38 tasoristeysten luokka alenisi seitsemästä kuuteen.

Taulukko 7. Tasoristeysten lukumäärä eri onnettomuusmääräluokissa kymmenen vuoden onnettomuusaineistolla Tarva LC- ja ehdotettavilla muuttujilla ennustettuna.

Tarva LC -muuttujat	Ehdotettavat muuttujat							Yht.
	1	2	3	4	5	6	7	
1	628	142	17	0	0	0	0	787
2	1	136	191	8	3	0	0	339
3	1	7	201	194	26	1	0	430
4	0	4	34	142	120	4	0	304
5	0	0	0	47	212	24	1	284
6	0	0	0	1	64	71	10	146
7	0	0	0	0	0	38	83	121
Yht.	630	289	443	392	425	138	94	2411

Verrattaessa ehdotettujen muuttujien ja Tarva LC version 6.1 mallien (19 vuotta edellä tarkastellun 10 vuoden sijaan) ennusteita keskenään, luokkien alenemisten ja nousemisten lukumäärät jakautuvat tasaisemmin: uusilla muuttujilla onnettomuusmääräluokka alenisi 30 ja nousisi 56 tasoristeyksessä enemmän kuin yhden luokan.

4 Tulosten tarkastelu ja suositukset

Tarva LC -arviointiohjelma on tasoristeysten nykyisen turvallisuuden sekä toimenpiteiden turvallisuusvaikutusten arviointiin tarkoitettu ohjelmisto. Ohjelmaa varten lasketaan vuosittain onnettomuusmallin ja onnettomuushistorian tietoja yhdistämällä jokaiselle valtion rataverkon tasoristeykselle onnettomuusmäärän ennuste. Ennustetta laadittaessa käytetyssä autoliikenteen tasoristeysten onnettomuusmallissa on vuodesta 2011 alkaen ollut kuusi luokiteltua muuttujaa (varoitustilat, tien liikennemäärä ja nopeusrajoitus, radan nopeusrajoitus ja kasvillisuuden raivauksen jälkeisen 8 metrin näkemän pieni osuus näkemävaatimuksesta sekä tien päällyste) ja jatkuvana muuttujana tasoristeuksen kautta kulkevien junien päivittäinen lukumäärä. Onnettomuusmallien lukuarvot on vuosittain laskettu uudelleen lähtötietojen päivityksen yhteydessä, mutta mallinnuksessa käytettyjä muuttujia ei ole muutettu vuoden 2011 jälkeen. Viimeisimmän lukuarvojen päivityksen tulosten mukaan kaikki mallin muuttujat eivät ole enää tilastollisesti merkitseviä, mistä syystä tässä työssä tarkasteltiin eri vaihtoehtoja mallin rakenteeksi ja malliin sisällytettäväksi muuttujiksi.

Mallinnuksessa käytettävä onnettomuushistoria

Tasoristeyksissä vuosittain tapahtuvien onnettomuuksien suhteellisen pienen lukumäärän vuoksi Tarva LC -ohjelman uusimmat onnettomuusennusteet on laskettu 19 vuoden onnettomuusaineiston perusteella. Tehtyjen vertailulaskelmien perusteella päädyttiin nyt tehdyissä mallinnuksissa käyttämään kymmenen vuoden onnettomuusaineistoa. Onnettomuusennusteet suositellaan jatkossa laadittavan kymmenen vuoden aineiston perusteella, koska se näyttäisi olevan riittävän suuri aineisto mallinnukseen ja saadut tulokset vastaavat hyvin aikaisempia, pidemmän aikavälin aineistolla saatuja tuloksia. Aikajakson lyhentämisellä kymmeneen vuoteen vähennetään vuosien kuluessa tapahtuvien olosuhdemuutosten tuloksia vinouttavia vaikutuksia.

Autoliikenteen tasoristeysten riskiin vaikuttavat tekijät

Autoliikenteen tasoristeyksissä tapahtuneiden onnettomuuksien lukumäärän mallintaminen aloitettiin tarkastelemalla mallinnukseen käytettävissä olevia muuttujia sekä niiden yksittäisvaikutuksia onnettomuusriskiin. Eri pituisten aikajaksojen onnettomuusaineistojen ja eri vuosina tehtyjen mallinnusten mukaan seuraavien muuttujien vaikutus yhtä tasoristeuksen saapuvaa tieajoneuvoa kohti laskettuun onnettomuusriskiin näyttäisi säilyvän samankaltaisena:

- Riski on suurin tasoristeyksissä, joissa ei ole varoitustilaita, selvästi pienempi valo- ja äänivaroitustilaitteiden varustetuissa tasoristeyksissä ja kaikkein pienin puomilla varustetuissa tasoristeyksissä.
- Riski on sitä pienempi, mitä suurempi on tien vuorokautinen liikennemäärä.
- Riski on sitä suurempi, mitä suurempi on tasoristeuksen vuorokautinen junamäärä.
- Lyhimmän raivatun 8 m näkemän osuuden ollessa alle 40 % näkemävaatimuksesta, tasoristeuksen riski on suurempi kuin muissa tasoristeyksissä.
- Riski on maanteiden tasoristeuksiin verrattuna koholla etenkin katuliittymissä, mutta hieman myös yksityistieliittymissä.

Useimpien tarkasteltujen muuttujien vaikutus onnettomuusriskiin ei ollut tilastollisesti merkitsevä ja kaikkien muuttujien vaikutus riippuu siitä, mitä muita muuttujia mallissa on mukana. Siksi mallinnus tehtiin siten, että aikaisempien onnettomuusmallien muuttujien vaikutuskertoimien yhdenmukaisuuden ja loogisuuden sekä muuttujien yksittäisvaikutusten perusteella laadittiin perusmalli, johon testattiin yksi kerrallaan lisämuuttujia. Tämä perusmalli sisälsi kolme keskeistä muuttujaa: tasoristeyksen varoituslaitteet ja auto- sekä junaliikenteen vuorokautisen määrän.

Varoituslaitteet ainoana mallin muuttujana selitti 46,4 % onnettomuusriskin vaihtelusta. Kun malliin lisättiin sen lisäksi autoliikenteen KVL, selitysaste nousi 54,9 prosenttiin ja kun kolmanneksi muuttujaksi lisättiin junaliikenteen määrä, perusmallin selitysaste oli 56,1 %. Jo yksi keskeinen muuttuja selittää melko suuren osan tasoristeykseen saapuvaa ajoneuvoa kohti lasketun riskin vaihtelusta, ja seuraavan lisämuuttujan vaikutus selitysasteeseen on aina olennaisesti pienempi kuin edellisen. Käytännössä tämä tulos puoltaa aikaisempaa yksinkertaisemmän mallin käyttöä onnettomuusennusteita laadittaessa.

Ehdotus tasoristeysten onnettomuusriskin mallintamisesta

Tarva LC:ssä ehdotetaan käytettäväksi tasoristeykseen saapuvaa autoa kohti laadittua onnettomuusriskin mallia, jossa riskiä selittää tasoristeyksen varoituslaitteiden ja raivattuna alle 40 % vaatimuksesta olevien näkemien yhdysvaikutus ja tieluokka sekä tasoristeyksessä vuorokaudessa kulkevien autojen ja junien määrä.

Malliin ehdotetuilla neljällä muuttujalla onnettomuusriskin selitysaste oli 57,1 %. Samalla onnettomuusaineistolla, mutta Tarva LC 6.1:ssä käytettävillä seitsemällä muuttujalla laaditun mallin selitysaste oli vain 54,5 %. Lisäksi yksi kyseisistä seitsemästä muuttujasta, radan nopeusrajoitus, ei ollut uudella mallinnusaineistolla tilastollisesti merkitsevä muuttuja.

Euroopan unionin rautatieviraston (ERA) määritelmän mukaisten merkittävien onnettomuuksien mallinnus ehdotuksen mukaisilla muuttujilla ja mallirakenteella tuotti samansuuntaiset tulokset eri muuttujien vaikutuksista kuin kaikkien onnettomuuksien malli. Myös merkittävien onnettomuuksien mallissa kaikki muuttujat olivat tilastollisesti merkitseviä ja malli selitti 48,2 % onnettomuusriskin vaihtelusta. Siksi kaikkien onnettomuuksien ja merkittävien onnettomuuksien mallinnuksessa suositellaan käytettäväksi samanlaista mallirakennetta ja samoja muuttujia.

Ehdotettava maaliirakenne ja mallin muuttujat suositellaan otettavaksi käyttöön Tarva LC:ssä kevään 2020 päivityksestä alkaen.

Lähteet

Kallberg V-P., Seise A., Ahonen T. & Öörni R. 2009. Safety inspections of railway-road level crossings. Rouhiainen V, editor. In Scientific activities in Safety & Security 2009. VTT Technical Research Centre of Finland. s. 84–85.

Kulmala, R. 1995. Safety at rural three- and four-arm junctions. Development and application of accident prediction models. VTT Publications 233. Espoo.

Peltola, H., Kulmala, R. & Kallberg, V-P. 1994. Why use a complicated accident prediction model when a simple one is just as good. 22nd European Transport Forum (The PTRC Summer Annual Meeting).

Peltola, H., Rajamäki, R. & Luoma, J. 2013. A tool for safety evaluations of road improvements. Accident Analysis and Prevention, Vol. 60, 2013, s. 277–288. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2013.04.008> (8.11.2019).

Peltola, H., Ristikartano, J., Malin, F. & Heikkilä, K. 2019. Vakavat loukkaantumiset liikenneviraston vaikutusarvioinneissa. Ehdotus arviointitavasta. Väyläviraston julkaisuja 33/2019.

Peltola H., Seise A., Leden L. & Virkkunen M. 2012. Rautateiden tasoristeysten turvallisuuden arviointi – Tarva LC. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 38/2012.

Tarva. 2019. Tasoristeysten turvallisuuden ja turvallisuusvaikutusten arviointiin tarkoitettu ohjelma. <http://www.tarva.net/main/lc/> (8.11.2019).

Onnettomuusmalli, Tarva LC 6.1

Autoliikenteen tasoristeysten onnettomuusriskin ennustemalli (riski/tieajoneuvo)

Muuttuja ja sen arvo	B ¹⁾ , kerroin mallissa	Std. Error	Confidence Interval		Hypothesis Test			Muuttujan ³⁾ vaikutuskerroin
			Lower	Upper	Wald Chi-Square	df	Sig. ²⁾	
Perusriski	-10,060	,2308	-10,513	-9,608	1899,997	1	,000	0,0000428
Valo&ääni, 80 km/h	-1,352	1,0035	-3,319	,615	1,815	1	,178	0,26
Valo&ääni, alle 80 km/h	-2,150	,2585	-2,656	-1,643	69,164	1	,000	0,12
Muu varo, 80 km/h	-2,760	,2564	-3,262	-2,257	115,834	1	,000	0,06
Muu varo, alle 80 km/h	-3,263	,1490	-3,555	-2,971	479,555	1	,000	0,04
Ei varo, 80 km/h	-,291	,1229	-,532	-,050	5,598	1	,018	0,75
Ei varo, alle 80 km/h	0	.	.	.	.	.	.	1
KVL >100	-2,005	,2038	-2,404	-1,605	96,815	1	,000	0,13
KVL 10-100	-1,120	,1528	-1,419	-,820	53,652	1	,000	0,33
KVL <10	0	.	.	.	.	.	.	1
Raivattu näkemä <40 %	,175	,1107	-,042	,392	2,492	1	,114	1,19
Raivattu näkemä >=40 %	0	.	.	.	.	.	.	1
Soratie	,149	,1419	-,129	,427	1,103	1	,294	1,16
Muu kuin soratie	0	.	.	.	.	.	.	1
Radan rajoitus >=110 km/h	-,255	,1267	-,504	-,007	4,063	1	,044	0,77
Radan rajoitus <=100 km/h	0	.	.	.	.	.	.	1
Junia/vrk	,395	,0579	,281	,508	46,482	1	,000	junamäärä ^{0,395}

K-arvo (käytetään onnettomuushistorian ja mallin tietojen yhdistämisessä):

1,13

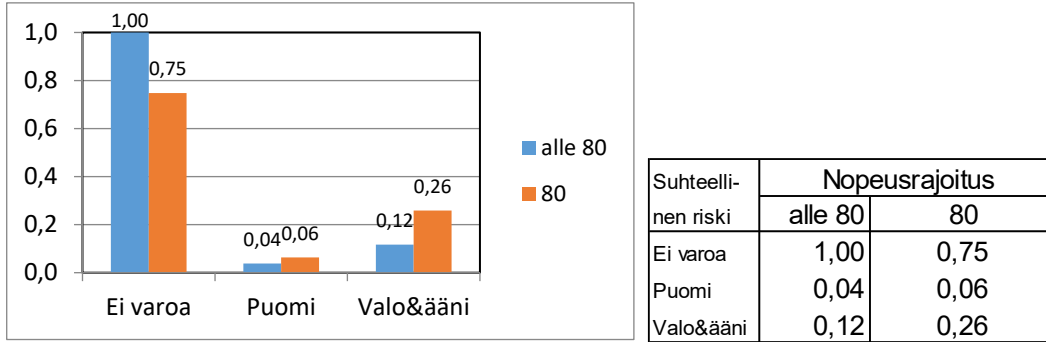
1) Kerroin GLIM-mallissa. Sitä voi verrata seuraaviin sarakkeisiin, mutta kertoimen tulkintaa auttaa sarake "Muuttujan vaikutuskerroin"

2) Soratien ja näkemien muuttujat eivät ole enää aivan tilastollisesti merkitseviä. Significance on esitetty virheellisen tulkinnan todennäköisyytenä (esim. 0,010 = merkitsevä 99 % varmuustasolla)

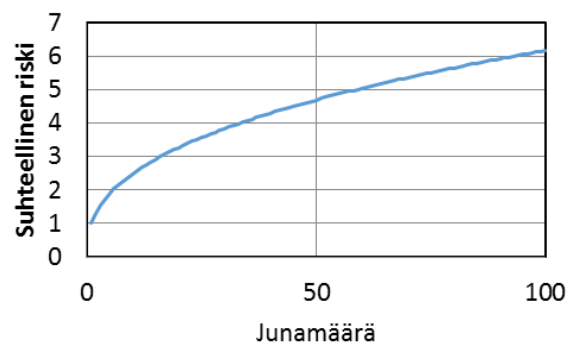
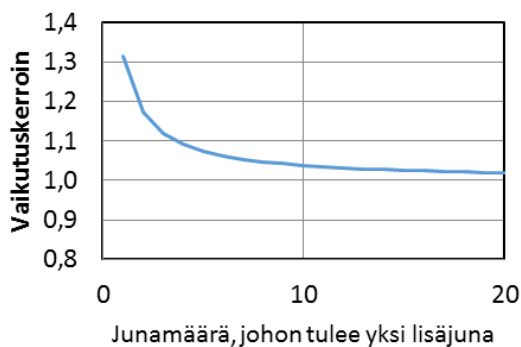
3) Perusriski tarkoittaa onnettomuuksien lukumäärää tiettyä saapuvien autojen määrää kohti muuttujien perusarvoilla (=ne muuttujien arvot, joiden vaikutuskerroin on 1). Muiden muuttujien vaikutuskertoimet tarkoittavat millä kertoimella perustilan riski kerrotaan, kun ollaankin ko. tilassa. Tulosten tulkintaa on kuvattu tarkemmin seuraavassa tulkintaesimerkissä.

Kaikkien onnettomuuksien riskin ennustemallin tulkintaesimerkki

- 1) Perusriski (0,0000428) kuvaa sitä, kuinka monta onnettomuutta tapahtuu tasoristeykseen vuodessa saapuvaa tieajoneuvoa kohti ns. perustilanteessa eli tilanteissa, joilla sarakkeessa "Muuttujan vaikutuskerroin" on arvo 1 (ei varoituslaitteita, nopeusrajoitus <80 km/h, tien KVL alle 10 ajoneuvoa/vrk, huonoin näkemä raivattuna olisi yli 40 % vaaditusta näkemästä, päällyste muu kuin sora, radan nopeusrajoitus olisi enintään 100 km/h ja radalla kulkisi 0,1 junaa vuorokaudessa. Perustilanne on mallinustekniikkaa, se ei ole keskimääräinen tilanne tms. Tämä riskiluvun sijaan kannattaa vertailuissa esim. tieliikenteeseen käyttää varsinaisia riskilukuja, koska tämä perusriski ei kuvaa keskimääräistä riskiä, se on vain mallinuksen perusarvo.
- 2) Varoituslaitteiden ja tien nopeusrajoituksen vaikutukset eivät ole toisistaan riippumattomia, niillä on yhdysvaikutusta. Vaikutukset on helpoiten hahmotettavissa alla näkyvästä kuvasta ja taulukosta. Riskin perusarvo (=1) on tilanteessa ei varoituslaitetta, tien nopeusrajoitus alle 80 km/h. Riskit ovat suurimmillaan ilman varoituslaitteita ja pienimmillään puomillisissa tasoristeyksissä. Nopeusrajoituksella 80 km/h on 25,0 % alhaisempia rajoituksia pienempi riski ilman varoituslaitteita ("Ei varoa"), mutta muutoin nopeusrajoituksen vaikutus on päinvastainen.



- 3) Perustilassa tasoristeykseen saapuvien autojen määrä on alle 10 vuorokaudessa. Kun autojen määrä on välillä 10–100 vuorokaudessa, riski on 33 % perustilanteen riskistä ja autojen määrällä yli 100 vuorokaudessa, riski on 13 % perustilanteen riskistä. Siis kasvanut automäärä on yhteydessä autojen määrää kohti lasketun riskin pienenemiseen.
- 4) Kun tasoristeyksen 8 metrin näkemistä huonoin olisi raivauksen jälkeenkin alle 40 % tasoristeyksen näkemävaatimuksesta (huomautus: vanhat vaatimukset), riski on 19 % suurempi kuin perustilanteessa eli sitä suuremmilla miniminäkemillä (lähtökohtana on arvio raivauksen jälkeen mahdollisesta näkemästä).
- 5) Sorateiden tasoristeyksissä riski on 16 % suurempi, kuin muiden päällysteiden tasoristeyksissä (ei tilastollisesti merkitsevä).
- 6) Kun radan nopeusrajoitus on vähintään 110 km/h, riski tasoristeyksissä on 23 % pienempi kuin mitä se on muissa tasoristeyksissä. Eron suunta on esimerkki siitä, että suuremman nopeusrajoituksen tasoristeyksissä on sellaisia mallissa muutoin näkymättömiä parannuksia, jotka pienentävät riskiä (tämä on tyypillinen tulos myös maanteiden nopeusrajoitusten ja riskin yhteydestä).
- 7) Päivittäisen junamäärän vaikutusta saapuvien autojen määrää kohti laskettuun riskiin on kuvattu alla kahdella kuvalla: Vasemmanpuoleinen kuva esittää sitä, kuinka paljon yksi lisäjuna kasvattaa riskiä (esimerkiksi junamäärän muutos 2->3 kasvattaa riskiä kertoimella 1,17, mutta muutos 10->11 kertoimella 1,04). Oikeanpuoleinen kuva alla kertoo riskin junamäärän mukaan suhteessa riskiin, kun radalla kulkee vain yksi juna (esimerkiksi junamäärän lisääntyminen 1->10 kasvattaa riskiä kertoimella 2.5).





ISSN 2490-0745
ISBN 978-952-317-756-7
www.vayla.fi