

**PELASTUSTOIMEN RISKIANALYYSI
JA SEN KEHITTÄMINEN**

Taina Hakala

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

2016

Tekniikka ja liikenne
Maanmittaustekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Taina Hakala	Vuosi	2016
Ohjaaja	Juhani Angelva		
Työn nimi	Pelastustoimen riskianalyysi ja sen kehittäminen		
Sivu- ja liitesivumäärä	106 + 1		

Tässä tutkielmassa esitellään pelastustoimen käytössä olevan riskianalyysimenetelmän perusteet sekä ongelmakohdat. Riskianalyysin tavoitteena on ennustaa onnettomuuksien esiintymistiheyttä alueittain.

Riskianalyysimenetelmän toimivuuden arvioimiseksi kehitellään ja testataan erilaisia menetelmiä verrata riskianalyysin antamaa ennustetta havaittuun onnettomuustoteutumaan. Tutkimusaineistona käytetään Keski-Suomen alueen vanhaa riskianalyysiä sekä sen ennustamaa ajanjaksoa vastaavia onnettomuustoteutumatietoja.

Tuloksista havaitaan, ettei nykymallinen riskianalyysi pysty ennustamaan onnettomuuksia kvantitatiivisesti kovinkaan hyvin. Lisäksi havaitaan, että ennusteen tarkkuus vaihtelee alueen yleisen riskitason mukaan siten, että korkean riskin alueilla ennustevirheet ovat absoluuttisesti suuria ja matalan riskin alueilla melko pieniä. Virheiden suhteellinen tarkastelu osoittaa, että parhaiten ennuste toimii keskikorkeilla riskitasoilla ja että matalan riskin alueilla tulisi täsmällisen tiedon saamiseksi käyttää tarkempia ennusteen arvoja, kuin mitä oli käytettävissä.

Visuaalisen vertailumenetelmän avulla voidaan selvittää, minkä tyyppisillä alueilla ennusteet ovat olleet liian matalia tai korkeita toteutumaan nähden. Suppean tarkastelun perusteella näyttäisi sille, että riskianalyysi ennustaa suurten kaupunkien asuinlähiöille liian korkeaa riskiä ja vilkasliikenteisille alueille sekä pienemmille keskustoille liian matalaa riskiä.

Nykyisen riskianalyysimenetelmän toimivuuden parantamiseksi ehdotetaan käyttöön otettavaksi täsmällisempää terminologiaa sekä uudenlaisia painotuksia. Spatiotemporaalisen riskianalyysin osalta esitellään yksityiskohtaisesti nykyiseen riskianalyysiin liittyvissä ohjeissa mainittu malli sekä ideana uudenlainen malli, jonka avulla spatiotemporaalisen analyysin tarkkuutta voidaan ehkä parantaa. Esitellään myös ideoita, joiden avulla riskianalyysissä voitaisiin huomioida pelkän onnettomuustiheyden lisäksi myös seuraukset. Lisäksi annetaan ideoita kokonaan uudenlaisten riskianalyysimallien kehittämiseen.

Avainsanat ennusteet, pelastustoimi, regressioanalyysi, riskianalyysi, vertaileva tutkimus

Technology, Communication and
Transport
Degree Programme in Land Survey-
ing
Bachelor of engineering

Author	Taina Hakala	Year	2016
Supervisor	Juhani Angelva		
Subject of thesis	Improvement of Risk Analysis Methods in the Rescue Services		
Number of pages	106 + 1		

In this thesis the fundamentals and issues of the risk analysis in the Rescue Services were introduced. The main goal of risk analysis is to predict the occurrence of accidents regionally. The aim of the work was to study how well the currently used methods of the risk analysis actually work and to suggest improvements regarding the methods.

The research material consisted of the old risk analysis of Central Finland and the accident realization data of the time period corresponding to the forecast. To examine the functionality of the methods, different procedures were developed and tested to compare the accident forecast and the observed realization. To improve the performance of the risk analysis procedure, a more accurate terminology and different emphasis were introduced. Concerning spatiotemporal risk analysis and consideration of the accident consequences, new methods were devised in detail.

The results showed that the existing risk analysis cannot predict the accident realization accurately on a quantitative basis, and that the accuracy of the forecast depends on the general risk level of the area. The visual comparison method shows that the risk analysis predicts a too high risk for the suburbs of larger cities and a too low risk for the areas of busy traffic and smaller centers.

Key words comparative research, forecasts, regression analysis, rescue services, risk analysis

SISÄLLYS

ALKUSANAT.....	7
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET.....	8
1 JOHDANTO.....	10
2 RISKIANALYYSIN NYKYMENETELMÄT.....	12
2.1 Riskianalyysin perusteet.....	12
2.2 Nykymenetelmän kuvailu.....	14
2.3 Regressiomalli.....	16
3 TUTKIMUS NYKYISEN RISKIANALYYSIMETODIN TOIMIVUUDESTA ONNETTOMUUSMÄÄRIEN ENNUSTAMISESSA.....	20
3.1 Vanhan riskianalyysin ennusteen vertailu havaittuun onnettomuus- toteutumaan.....	20
3.1.1 Vertailun lähtökohdat.....	20
3.1.2 Käytetyt tiedot ja niihin liittyvät puutteet.....	21
3.1.3 Riskianalyysin tulosten kvantifiointi.....	22
3.2 Kaikkien onnettomuuksien ennusteiden ja toteutumien vertailu.....	26
3.2.1 Ennustevirheiden ja toteutamaerotusten tunnusluvut.....	26
3.2.2 Ennustevirheiden ja toteutamaerotusten jakautuminen.....	29
3.2.3 Ennustevirheiden ruutukohtainen vaihtelu.....	30
3.2.4 Yhteenveto kaikkien onnettomuuksien ennusteiden ja toteutumien vertailusta.....	36
3.3 Rakennuspaloriskitason vertailu rakennuspalototeutumaan.....	38
3.3.1 Rakennuspalojen ennustevirheiden ja toteutamaerotusten tunnus- luvut.....	38
3.3.2 Rakennuspalojen ennustevirheiden ja toteutamaerotusten jakautu- minen.....	41
3.3.3 Rakennuspalojen ennustevirheiden ruutukohtainen vaihtelu.....	42
3.3.4 Yhteenveto rakennuspalojen ennusteiden ja toteutumien vertailusta	46

3.4	Suhteelliset ennustevirheet	47
3.4.1	Suhteellisen vertailun idea.....	47
3.4.2	Kaikkien onnettomuuksien suhteelliset ennustevirheet.....	47
3.4.3	Rakennuspalojen suhteelliset ennustevirheet.....	51
3.4.4	Yhteenveto suhteellisten ennustevirheiden tarkastelusta.....	53
3.5	Visuaalinen vertailu.....	54
3.5.1	Visuaalisen vertailun idea ja konstruktio.....	54
3.5.2	Esimerkkejä visuaalisesta vertailusta.....	56
4	PARANNUSEHDOTUKSIA NYKYISEEN RISKIANALYYSIMENETELMÄÄN ..	
	61
4.1	Nykyisen menetelmän uusi muotoilu	61
4.1.1	Nykyisen muotoilun ongelmia.....	61
4.1.2	Terminologiaa.....	64
4.1.3	Tarkistetun riskiluokan määrittäminen.....	65
4.1.4	Riskianalyysin vaiheet käytännössä.....	67
4.2	Jäljellä olevat ongelmat.....	69
5	SPATIOTEMPORAALISUUSKYSYMYKSIÄ	74
5.1	Spatiotemporaalisen riskianalyysin lähtökohdat	74
5.2	Spatiotemporaalisuus: lähtökohtana aika	76
5.3	Spatiotemporaalisuus: lähtökohtana staattinen riskianalyysi	79
6	ONNETTOMUUKSIEN SEURAUSTEN HUOMIOINTI RISKIANALYYSISSÄ	
	84
6.1	Seurausten huomiointin tarve.....	84
6.2	Menetelmän kuvailu	84
6.3	Ongelmia ja kehityskohteita	88
7	IDEOITA UUSIIN TUTKIMUKSIIN	91
7.1	Uusien riskianalyysimenetelmien tarve	91
7.2	Perinteisiä onnettomuuksien ennustusmetodeja.....	91
7.3	Regressiomallin laajennus muihin onnettomuustyyppisiin.....	94
7.4	Predictive policing ja sen sovellukset.....	95
7.5	Sekalaisia ideoita lyhyesti	97

8 POHDINTA.....	101
8.1 Johtopäätökset	101
8.2 Yleistä pohdintaa	103
LÄHTEET.....	104
LIITTEET	106

ALKUSANAT

Haluaisin kiittää Keski-Suomen pelastuslaitosta, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön tekemisen mielenkiintoisen työharjoittelun ohessa. Erityiskiitokset riskienhallintapäällikkö Jarkko Jäntille, joka auttoi alkuun riskienhallintaan liittyvien peruskäsitteiden kanssa ja antoi muutenkin hyödyllisiä vinkkejä työn sisältöä ajatellen. Myös riskianalyysiryhmän jäseniltä Jussi Rahikaiselta, Pekka Itkoselta, Juha Viikiltä ja Mika Viertolalta tuli mielenkiintoisia ajatuksia, joiden pohjalta työ sai lisäulottuvuutta. Lisäksi kiitoksia Tinja Hännikäiselle sekä muulle toimiston naisväelle, jolta sain apua monenlaisiin käytännön ongelmiin.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

E_i	vanhan riskianalyysin antama numeerinen ennuste i :n ruudun uudelle kokonaisonnettomuustoteutumalle tai spatiotemporaalisessa mallissa pohjalla olevaan staattiseen riskianalyysiin liittyvä ruudun i keskimääräinen onnettomuustoteutumaennuste
i	riskiruutujen juokseva alaindeksi
$k(t)$	spatiotemporaalisessa mallissa onnettomuusriskitasokerroin ajanhetkellä t
k	alaindeksi, jolla ilmaistaan koko Suomen riskianalyysiaineiston käyttö, mikäli relevanttia
ks	alaindeksi, jolla ilmaistaan Keski-Suomen riskianalyysiaineiston käyttö, mikäli relevanttia
o	onnettomuustyyppit identifioiva yläindeksi
R_i	i :n ruudun rakennuspaloriskitaso
$R_i^{spt}(t)$	ruudun i ajanhetkeen t liittyvä spatiotemporaalinen riskitaso
RT_i	i :n ruudun rakennuspalototeutuma ruutuaineistossa
S_i	riskiruudun i odotettavissa oleva keskimääräinen onnettomuuden seurausarvo
SOM	itseorganisoituva kartta (self organizing map) (Tillander ym. 2010, 101)

T_i	riskiruudun i kokonaisonnettomuustoteutuma ruutuaineistossa tai onnettomuustoteutumaennusteen (todennäköisyyden) yleissymboli
$T_i(s)$	riskiruudun i ajanjaksoa s vastaava vuosittainen onnettomuustoteutumaluku
U	yläindeksi, jolla ilmaistaan uuden riskianalyysiaineiston käyttö toteutuma- ja ennustesuureissa, mikäli relevanttia
V	yläindeksi, jolla ilmaistaan vanhan riskianalyysiaineiston käyttö toteutuma- ja ennustesuureissa, mikäli relevanttia
$x(t)$	ajanhetkeä t vastaavan kuukauden keskimääräinen onnettomuustoteutuma
$y(t)$	ajanhetkeä t vastaavan viikonpäivän keskimääräinen onnettomuustoteutuma
$z(t)$	ajanhetkeä t vastaavan kellonajan keskimääräinen onnettomuustoteutuma
η	suhdeluku, jolla korjataan rakennuspaloriskitaso kokonaisonnettomuustoteutuman ennusteeksi
η_i	T_i / RT_i
ξ	$\sum T_i / \sum RT_i$
Σ	summa yli seuraavan merkin osoittaman lukujoukon

1 JOHDANTO

Pelastustoimen riskianalyysin tärkeänä osana on onnettomuuksien tapahtumapaikkojen ja määrien ennustaminen. Tässä perusideana on se, että jaetaan koko Suomen alue 1km*1km kokoisiin riskiruutuihin ja jokaiselle ruudulle määritellään riskiluokka joka kuvaa onnettomuuksien esiintymistodennäköisyyttä ruudun alueella. Riskiluokkia on neljä ja ne on nimetty numeroilla 1, ... , 4 siten, että suurinta onnettomuustodennäköisyyttä vastaa riskiluokka 1 ja pienintä riskiluokka 4.

Riskiluokan määrittelyssä on pohjana asukaslukuun ja kerrosalaan pohjautuvaa regressiomalli, joka antaa kullekin ruudulle riskitason ei-negatiivisena reaali-lukuna. Alustava riskiluokka määräytyy riskitason perusteella ennalta määritellyin raja-arvoin. Regressiomalli on kehitetty toteutuneiden rakennuspalojen perusteella. (Sisäasiainministeriö 2012, 7.)

Pelkkä rakennuspalojen ennustamiseen suunniteltu regressiomalli ei kuitenkaan tuo esiin kaikkia riskialttiita alueita. Esimerkiksi liikenneonnettomuuksia eivät tämän mallin selittäjinä olevat asukasluku ja kerrosala kuvaa kovin hyvin (Tillander ym. 2010, 14). Tästä syystä riskianalyysiin sisältyy myös mahdollisuus riskiruutujen alustavien riskiluokkien kiristykseen toteutuneiden onnettomuuksien perusteella (Sisäasiainministeriö 2012, 8).

Riskianalyysimallin yleisenä ongelmana on epätasapaino. Onnettomuusmäärien ennustamisen perustuessa pääasiassa rakennuspalojen pohjalta kehitettyyn regressiomalliin, on ennusteen ja havaitun toteutuman vastaavuuden kanssa ongelmia erityisesti sellaisissa ruuduissa, joissa suuri osa onnettomuuksista on jotain muuta kuin rakennuspaloja.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on esitellä eräitä pelastustoimen riskianalyysin osa-alueita ja niihin liittyviä ongelmia, sekä antaa erilaisia kehitysehdotuksia riskianalyysiin liittyen. Aluksi esitellään yksityiskohtaisesti nykyään käytössä oleva riskianalyysimenetelmä. Tämän jälkeen tutkitaan riskianalyysimenetelmän toimivuutta vertailemalla aiemmin tällä metodilla tehdyn riskianalyysin antamaa ennustetta viime vuosien onnettomuustoteutumaan, joka vastaa ennusteen kuvamaa ajankohtaa. Vertailuun ei ole olemassa mitään valmista, suoraviivaista menetelmää, joten tässä kehitetään ja kokeillaan erilaisia vaihtoehtoja. Tuloksena

saadaan tietoa siitä, millaisilla alueilla riskianalyysin onnettomuusmääriä kuvaava ennuste toimii paremmin ja millaisilla alueilla huonommin, ja sitä kautta tulee esiin myös kehityskohteita.

Seuraavaksi esitetään keinoja joiden avulla nykyistä riskianalyysimallia voisi muokata paremmin toimivaksi. Parannusehdotusten ensimmäisessä osiossa painotus on pienillä, sanamuotoiluihin ja painotuksiin liittyvillä asioilla, jotka eivät varsinaisesti vaadi ohjeen sisällön muuttamista. Loppuosassa parannusehdotuksia taas esitellään perustavanlaatuisempia muutoksia, jotka kuitenkin olisivat nyky metodiin melko helposti sovellettavissa.

Työn loppupuolella paneudutaan tarkemmin riskianalyysiin liittyviin erityisongelmiin, joita ovat spatiotemporaalinen analyysi sekä onnettomuuksien seurausten vaikutusten huomiointi. Spatiotemporaalisuuden osalta esitellään yksityiskohtaisesti kaksi menetelmää, joista ensimmäinen perustuu sisäasiainministeriön ohjeiden tulkintaan ja toinen on uudenlainen lähestymistapa ongelmaan. Onnettomuuksien seurausten huomioimiselle riskiluokkien määrittämisessä ei ole nykyisellään olemassa systemaattista metodia, mutta työssä esitellään menetelmä jolla tämän voisi saada aikaan. Lopuksi esitellään vielä yleisellä tasolla menetelmiä joita voisi hyödyntää kokonaan uudenlaisten riskianalyysimallien kehittämisessä.

Viitekehyksenä opinnäytetyöhön liittyvässä tutkimuksessa on pelastustoimen ulkopuolelta tulevan henkilön näkökulma, ja tämä saattaa tuoda uusia kehitysideoita pelastustoimen käyttöön. Opinnäytetyön tutkimus rajoittuu teorian osalta kotimaisen pelastustoimen suunnitteluohjeisiin, sekä käytännön osalta Keski-Suomen pelastuslaitoksella käytössä oleviin sovellettuihin toimintamalleihin.

2 RISKIANALYYSIN NYKYMENETELMÄT

2.1 Riskianalyysin perusteet

Pelastustoiminnan järjestämistä säätelee pelastuslaki. Tämän lain mukaan pelastustoimen tehtävänä on huolehtia alueellaan pelastustoimelle kuuluvasta ohjauksesta, valistuksesta ja neuvonnasta, pelastustoimen valvontatehtävistä, väestön varoittamisesta vaara- ja onnettomuustilanteessa sekä siihen tarvittavasta hälytysjärjestelmästä, sekä pelastustoimintaan kuuluvista tehtävistä (Pelastuslaki 379/2011 4: 27.2 §).

Pelastustoimen palveluiden tulee vastata paikallisia tarpeita ja onnettomuusuhkia ja tehtävät on suunniteltava ja toteutettava siten, että ne voidaan hoitaa mahdollisimman tehokkaalla ja tarkoituksenmukaisella tavalla ja että onnettomuus- ja vaaratilanteissa tarvittavat toimenpiteet voidaan suorittaa viivytyksettä ja tehokkaasti (Pelastuslaki 379/2011 4: 28.1 - 2 §). Alueen pelastustoimi päättää palvelutasostaan, ja päätöksessä on selvitettävä alueella esiintyvät uhat, arvioitava niistä aiheutuvat riskit, määriteltävä toiminnan tavoitteet ja käytettävät voimavarat sekä palvelut ja niiden taso (Pelastuslaki 379/2011 4: 29.1 §).

Pelastustoimen riskianalyysin laadinta pohjautuu sisäasiainministeriön julkaisuun Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje vuodelta 2012. Suunnitteluohjeen tavoitteena on auttaa määrittelemään pelastuslaitoksen tarjoama pelastustoiminnan palvelutaso, joka vahvistetaan palvelutasopäätöksessä. Pelastustoimintaan kuuluvien tehtävien hoitamiseksi määritellään riskien arvioinnin perusteella normaaliolojen toimintavalmius, sekä suunnitellaan tarvittavat muutokset häiriötilanteita varten. (Sisäasiainministeriö 2012, 4.)

Riskianalyysissä riskien alueellisen esiintymisen arvioinnin lähtökohtana on Suomen alueen jakaminen 1km*1km kokosiin ruutuihin, joita kutsutaan riskiruuduiksi. Jokaisella ruudulla on oma tunnusnumero, jonka avulla se identifioidaan. Ruudut kattavat myös Suomen merialueet, joten niitä on kaikkiaan lähes 400 000 kappaletta.

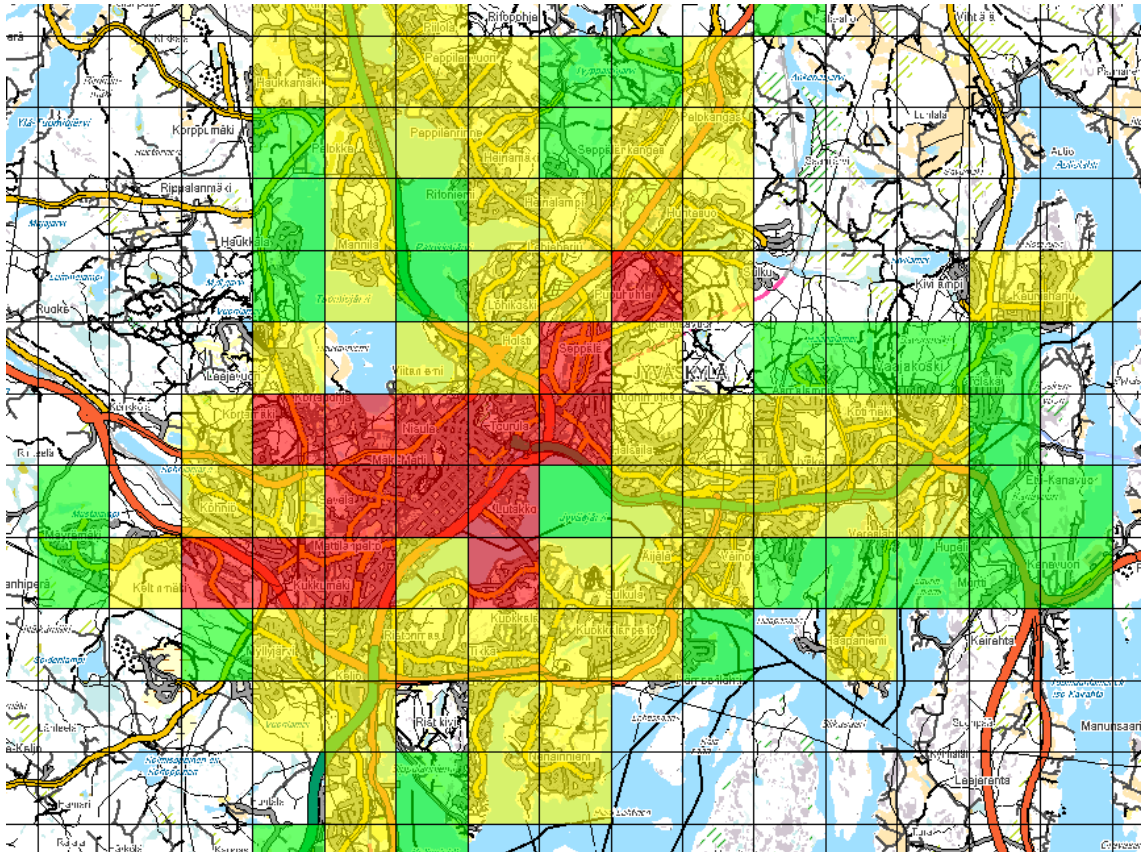
Alueiden riskialttiuden selvittämiseksi on tarkoitus määritellä jokaiselle riskiruudulle riskiluokka, joka kuvaa onnettomuusriskiä ruudun alueella. Riskiluokkia on

neljä ja niiden tunnusvärit sekä karkeat kvalitatiiviset luonnehdinnat on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Riskiluokkien tunnusvärit sekä kvalitatiiviset luonnehdinnat

riskiluokka	1	2	3	4
riski	suuri	melko suuri	melko pieni	pieni

Riskiruutuja ja niiden luokka-arvoja havainnollistetaan esittämällä riskiruudukko karttapohjan päällä ja värittämällä ruudut niiden riskiluokan osoittavilla väreillä. Esimerkiksi Jyväskylän keskustan ympäristössä riskiruutujen luokittelu voisi olla kuvion 1 mukainen.



Kuvio 1: Riskiruutujen väritys karttapohjan päällä Jyväskylän keskustan ympäristössä (Maanmittauslaitos 2016)

Riskiluokkien määrittäminen on tärkeää muun muassa siksi, että ruudun riskiluokan perusteella määrittyy sen toimintavalmiusaikataavoite taulukon 2 mukaisesti. Tässä ensimmäisen yksikön toimintavalmiusaika alkaa siitä, kun ensimmäinen yksikkö on vastaanottanut hälytyksen ja päättyy siihen, kun se saapuu onnetto-

muuspaikalle. Pelastustoiminnan toimintavalmiusaika alkaa siitä, kun ensimmäinen yksikkö vastaanottaa hälytyksen ja päättyy siihen, kun pelastusryhmä aloittaa tehokkaan pelastustoiminnan. Ensitoimenpiteisiin kuluva aika on näiden aikojen erotus. (Pelastuslaitos 2015, 7.)

Taulukko 2. Toimintavalmiusaikatavoitteet riskiluokittain (Pelastuslaitos 2015, 7)

Riskiluokka	1. yksikön toimintavalmiusaika (min)	Ensitoimenpiteisiin kuluva aika (min)	Pelastustoiminnan toimintavalmiusaika (min)
I	6	5	11
II	10	4	14
III	20	2	22
IV			

Vähimmäistavoitteena on, että kiireellisissä pelastustehtävissä ensimmäinen yksikkö saavuttaa riskiruudulle asetetun toimintavalmiusaikatavoitteen vähintään 50 %:ssa tehtävistä. Lisäksi pelastustoiminnan toimintavalmiusajan tulee täytyä vähintään 50 %:ssa tehtävistä. (Sisäasiainministeriö 2012, 12.)

2.2 Nyky menetelmän kuvailu

Riskiruutujen riskiluokkien määräytymistä ohjaa sisäasiainministeriön julkaisu Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje vuodelta 2012. Tämän ohjeen mukaan pelastustoiminnan voimavarojen mitoitusta perustetaan uhkien arviointiin, joka muodostuu seuraavista kolmesta vaiheesta:

- Pelastustoiminnan toimintavalmiuden määrittämiseksi pelastustoimen alueet jaetaan riskiluokkiin käyttäen regressiomallia ja riskiluokan määrittäviä onnettomuuksia.
- Tunnistetaan sellaiset onnettomuustyyppit sekä yksittäiset riskikohteet, tapahtumat ja yleisötilaisuudet, joiden varalta tarvitaan erityisiä järjestelyjä.
- Seurataan onnettomuusuhkien, onnettomuuksien lukumäärän ja syiden kehitystä sekä tehdään sen perusteella johtopäätöksiä tarvittavista toimenpiteistä. (Sisäasiainministeriö 2012, 7.)

Riskiluokan määrittävillä onnettomuuksilla tässä ohjeessa tarkoitetaan rakennuspaloja ja rakennuspalovaaroja, liikennevälinepaloja, muita tulipaloja, liikenneonnettomuuksia, sortumia/sortumavaaroja, räjähdyksiä/räjähdysvaaroja, vaarallis-

ten aineiden onnettomuuksia sekä kiireelliseksi luokiteltuja ihmisen pelastamistehtäviä (Sisäasiainministeriö 2012, 6). Regressiomallilla viitataan tässä VTT:n vuonna 2010 julkaisemassa tutkimuksessa Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen suositeltuun regressiomalliin, joka on kehitetty rakennuspalojen enustamiseen ja jonka selittäjinä on käytetty kerrosalaa ja asukaslukua (Tillander ym. 2010, 3). Regressiomallista ja sen käyttöön liittyvistä ongelmista kerrotaan enemmän luvussa 2.3.

Regressiomalli antaa jokaiselle riskiruudulle riskitasoksi kutsutun ei-negatiivisen lukuarvon joka siis määräytyy ruudussa olevan kerrosalan ja asukasmäärän mukaan. Ruudun (alustava) riskiluokka määräytyy riskitasosta taulukon 3 mukaisesti.

Taulukko 3. Riskiluokan määräytyminen riskitason perusteella (Sisäasiainministeriö 2012, 7)

riskitaso	≥ 1	$0,25 \leq \dots < 1$	$0,1 \leq \dots < 0,25$	$< 0,1$
riskiluokka	1	2	3	4

Lisäksi pelastuslaitos arvioi erikseen ne riskiruudut joissa viiden vuoden seurantajaksolla on tapahtunut riskiluokan määrittäviä onnettomuuksia vähintään kaksi vuodessa. Seurantajaksolla tapahtuneiden riskiluokan määrittävien onnettomuuksien kokonaismäärä jaetaan viidellä, jotta saadaan onnettomuuksien määrä vuotta kohti: tätä lukua kutsutaan jatkossa onnettomuustoteutumaksi. Tämän arvioinnin perusteella ruudun riskiluokkaa voidaan harkinnan mukaan kiristää taulukon 4 osoittamalla tavalla.

Taulukko 4. Riskiluokan kiristäminen onnettomuustoteutuman perusteella (Sisäasiainministeriö 2012, 8)

onnettomuustoteutuma	≥ 10	$2 \leq \dots < 10$
voidaan korottaa luokkaan	1	2

Tässä yhteydessä mainitaan, että edellisessä tarkastelussa voitaisiin huomioida myös vuorokaudenajan, viikompäivän ja vuodenajan mukainen vaihtelu tekemällä arvioinnit vastaaville (onnettomuusmääriltään poikkeaville) ajanjaksoille erikseen (Sisäasiainministeriö 2012, 8). Tämä kommentti liittyy spatiotemporaalisen riskianalyysin kehittämiseen, ja sen sisältöä kuvaillaan tarkemmin luvussa 5.2.

Ohjeessa määritellään myös riskikohteet sellaisina kohteina joissa toiminta tai olosuhteet aiheuttavat tavanomaista suuremman vaaran, tai jotka ovat keskeisiä yhteiskunnan kriittisten toimintojen turvaamisen kannalta. Näiden osalta tulisi määrittää onnettomuuden todennäköisyydestä ja mahdollisista seurausvaikutuksista koostuva onnettomuusriski. Onnettomuusriskin perusteella valitaan riskienhallintakeinot, joita ovat riskin poistaminen tai pienentäminen sekä onnettomuuden seurausvaikutusten pienentäminen. (Sisäasiainministeriö 2012, 8.)

Riskikohteiden onnettomuusriskien vaikutusta niitä sisältävien riskiruutujen riskiluokitukseen ei toimintavalmiuden suunnitteluohjeessa eksplisiittisesti kuvailla. Käytännön riskienhallinnassa riskikohteet kuitenkin pyritään jollain tasolla huomiomaan riskiluokituksessa, sillä näin voidaan välillisesti pienentää ainakin onnettomuuksien seurausvaikutuksia näissä kohteissa.

2.3 Regressiomalli

Nykyisen riskianalyysin pohjana oleva regressiomalli perustuu VTT:n julkaisussa Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen esitettyihin tutkimustuloksiin. Tähän liittyvässä tutkimushankkeessa oli tarkoituksena kehittää menetelmiä, joiden avulla voitaisiin ennustaa onnettomuustiheyttä entistä luotettavammin riskiruutuaineiston muuttujia apuna käyttäen. Työssä tutkittavat menetelmät olivat regressiomallit, spatiaaliset mallit sekä itseorganisoituvat kartat. Lupaavimmaksi osoittautuivat yksinkertaiset regressiomallit ja näistä kehitettiin erikseen mallit rakennuspaloille ja kiireellisille onnettomuuksille. (Tillander ym. 2010, 3.)

Regressiomalli on tilastotieteellinen menetelmä, jonka avulla pyritään selittämään millä tavoin muuttuja jota halutaan ennustaa (riippuva muuttuja) vaihtelee tunnettujen muuttujien (riippumattomat muuttujat, selittäjät) arvojen vaihdellessa. Ajatuksena on esittää riippuva muuttuja useamman riippuvan muuttujan funktiona (Explorable 2016), ja yleisessä tilanteessa kunkin muuttujan riippuvuus voi olla myös epälineaarista (Frost 2013). Regressiofunktion yleismuoto valitaan käsiteltävän datan perusteella ja funktion spesifioivat parametrit määritetään siten, että funktio kuvaa riippuvan ja riippumattomien muuttujien tunnettujen arvojen perusteella niiden suhdetta mahdollisimman hyvin.

Pelastustoimen riskianalyysissä on luontevaa käsitellä riippuvana muuttujana pelastushenkilökunnan toimia vaativien kiireellisten onnettomuuksien kokonaismäärää riskiruoudussa. Riippumattomina muuttujina olisi hyvä käyttää mahdollisimman monia erilaisia tilastoituja ja riskiruutuun paikannettavissa olevia muuttujia, joiden teoriaan tai empiriaan perustuen voidaan olettaa vaikuttavan onnettomuusmääriin.

VTT:n tutkimuksessa tehtiin kaksi regressiomallia, joista toinen ennusti pelkkiä rakennuspaloja ja toinen kaikkia kiireellisiä onnettomuuksia. Rakennuspalomallissa potentiaalisina selittäjinä (eli riippumattomina muuttujina) olivat ruutukohtainen asukasluku ja kerrosala. Kiireellisten onnettomuuksien mallissa riippumaton muuttuja oli pelkästään ruutukohtainen asukasluku. (Tillander ym. 2010, 28 – 29.)

Niukkojen laskentaresurssien takia malleja määritettäessä käytettiin vain Varsinais-Suomen, Kanta-Hämeen, Päijät-Hämeen, Pirkanmaan ja Satakunnan alueiden tilastotietoja, sillä tämän alueen katsottiin edustavan riittävän hyvin eri asukastiheyksiä koko Suomessa (Tillander ym. 2010, 30). Vertailtaviksi otettiin poissonmalli, negatiivinen binomimalli, zero-inflated negatiivinen binomimalli (sekä tavallinen että poissonjakaumaan perustuva) ja hurdle negatiivinen binomimalli (sekä tavallinen että poissonjakaumaan perustuva) (Tillander ym. 2010, 32 – 33).

Rakennuspalojen osalta parhaiten toimivaksi osoittautui negatiivinen binomimalli, joka on muotoa

$$\log(y) = \alpha + \beta_1 \log(x_1 + 1) + \beta_2 \log(x_2 + 1) + \beta_3 \log(x_1 + 1) \log(x_2 + 1) \quad (1)$$

missä

- log on luonnollinen logaritmi
- y = rakennuspalojen lukumäärä ruudussa vuotta kohti (= rakennuspaloriskitaso riskianalyysissä)
- x_1 = ruudun asukasluku
- x_2 = ruudun kerrosala neliömetreinä
- α on mallin vakiotermi ja β_1 , β_2 ja β_3 regressiokertoimet

Kiireellisten tehtävien osalta paras sopivuus oli hurdle negatiivisella binomimallilla, mutta ero negatiiviseen binomimalliin oli pieni. Siksi valittiin yhtenäisyyden vuoksi tähänkin negatiivinen binomimalli muotoa

$$\log(y) = \alpha + \beta_1 \log(x_1 + 1), \quad (2)$$

missä y = kiireellisten tehtävien lukumäärä ruudussa vuotta kohti ja muut merkinnot kuten yllä. (Tillander ym. 2010, 33.)

Mallien parametrit α , β_1 , β_2 ja β_3 laskettiin sekä erikseen seitsemälle Suomen osaluueelle että yhteisesti koko maalle ja todettiin että yhteisen mallin kertoimet edustavat riittävän hyvin kaikkia osa-alueita. Riskianalyysin käyttöön otetussa rakennuspalomallissa kyseiset kertoimet ovat taulukon 5 mukaiset.

Taulukko 5. Rakennuspalomallin regressiokertoimet (Tillander ym. 2010, 35-36)

α	β_1	β_2	β_3
-8,38	-0,159	0,65	0,2

Mallien luomiseen käytettiin vuosien 2005-2007 tilastoja ja niitä testattiin vertaamalla vuoden 2008 rakennuspalojen ja kiireellisten tehtävien määriä mallin selittäjien perusteella antamaan ennusteeseen (Tillander ym. 2010, 37, 45). Havaittiin, että rakennuspalojen malli toimii vuosien 2005-2007 osalta erinomaisesti, mutta vuoden 2008 osalta ennustaa alakanttiin, koska tuona vuonna rakennuspaloja oli poikkeuksellisen paljon (Tillander ym. 2010, 37). Kiireellisten onnettomuuksien malli taas toimi kokonaisuutena huonommin, vaikka vuoden 2008 osalta ennuste pitikin onnettomuuksien poikkeuksellisen suuren määrän vuoksi melko hyvin paikkansa (Tillander ym. 2010, 45 – 46). Kummassakin mallissa ennustevirhe ja sen hajonta kasvavat siirryttäessä suurempiin ennustemääriin, ja tällöin ennuste on yleensä liian pieni toteutumaan nähden (Tillander ym. 2010, 39, 46).

Mallien puutteet liittyvät lähinnä siihen, etteivät pelkät asukasluku ja kerrosala välttämättä riitä selittäjiksi. Sekä rakennuspaloja että kiireellisiä tehtäviä tarkasteltaessa havaittiin, että joissakin ruuduissa onnettomuusmäärä on suuri, vaikka vastaava riskitaso on matala. (Tillander ym. 2010, 52.)

Erytisesti kaikkien kiireellisten onnettomuuksien mallin tapauksessa on intuitiivisestikin selvää ettei esimerkiksi liikenneonnettomuuksia saada selitettyä pelkän

asukasluvun ja kerrosalan perusteella, joten tämän mallin toimivuuden parantamiseksi tulisi etsiä uusia selittäjiä malliin lisättäväksi. Rakennuspalomallin tapauksessa poikkeamat toteutuman ja ennusteen välillä voivat johtua myös satunnaisesta vaihtelusta, sillä rakennuspallo on suhteellisen harvinainen onnettomuustyyppi.

3 TUTKIMUS NYKYISEN RISKIANALYYSIMETODIN TOIMIVUUDESTA ONNETTOMUUSMÄÄRIEN ENNUSTAMISESSA

3.1 Vanhan riskianalyysin ennusteen vertailu havaittuun onnettomuustoteutumaan

3.1.1 Vertailun lähtökohdat

Riskianalyysin lopputuloksena saadaan tarkistetut riskiluokat, joissa siis on huomioitu rakennuspaloriskitason määräämän alustavan riskiluokan lisäksi analyysiä edeltävän seurantajakson havaittu onnettomuustoteutuma sekä mahdolliset muut erityisriskikohteet. Riskianalyysin ja riskiluokkien tarkoituksena on ennakoita seuraavien vuosien aikana tapahtuvien onnettomuuksien alueellista jakaumaa. Siten riskianalyysin toimivuutta voidaan arvioida jälkeenpäin vertaamalla sen antamaa ruutujen riskiluokitusta sellaisen ajanjakson onnettomuustoteutumaan joka vastaa riskianalyysin voimassaolokautta.

Tätä tutkimusta varten käytettävissä olivat vanhan, vuonna 2012 valmistuneen riskianalyysin lähtötiedot koko Suomen osalta ja lopputulos Keski-Suomen osalta, sekä uuden, vuonna 2016 tekeillä olevan riskianalyysin lähtötiedot koko Suomen osalta. Koko Suomen alueella ruutujen lukumäärä on 393 302 ja Keski-Suomen alueella 19 951.

Keski-Suomen osalta aineisto mahdollisti vanhan riskianalyysin lopputuloksen vertailun uuteen kokonaistoteutumaan (ks.3.2). Ennen varsinaista vertailua piti suorittaa riskianalyysin tulosten kvantifiointi, eli muuttaa tarkistetut riskiluokat numeerisiksi ennusteiksi ruutukohtaisille onnettomuusmäärille (ks 3.1.3). Vertailun vuoksi tutkittiin myös, kuinka hyvin rakennuspaloriskitaso ennusti pelkkien rakennuspalojen toteutumaa (ks. 3.3). Tämä tutkimus olisi periaatteessa ollut mahdollista tehdä koko Suomen aineistoa käyttäen, mutta isommassa aineistossa mahdollisesti esiintyvien puutteiden ja laskentatehon rajallisuuden takia päädyttiin tutkimaan tässäkin vain Keski-Suomen aineistoa. Lopuksi kokeiltiin Keski-Suomen osalta myös visuaalista tapaa esittää ennusteen ja toteutuman eroja paikallisesti (ks. 3.5).

3.1.2 Käytetyt tiedot ja niihin liittyvät puutteet

Tarkemmin eriteltynä aineistoon kuuluivat seuraavat tiedot:

- koko Suomen osalta sekä uuden että vanhan riskianalyysin pohjana toimivat ruutuaineistot, joissa oleelliset ruutukohtaiset tiedot ovat
 - asukasluvut ja kerrosalat sekä näistä regressiomallin avulla lasketut rakennuspaloriskitasot ja vastaavat rakennuspaloriskiluokat
 - riskianalyysiä edeltävän seurantajakson onnettomuustoteutumat, sekä kaikkien onnettomuuksien summana, että eroteltuina rakennuspaloihin, liikenneonnettomuuksiin ja muihin kiireellisiin onnettomuuksiin
- Keski-Suomen osalta edellä mainittujen tietojen lisäksi vanhan riskianalyysin lopputulos, eli ruutujen lopulliset tarkistettut riskiluokat

Ruutuaineistoissa oli pieniä epä johdonmukaisuuksia ja puutteita. Osittain näiden syiden takia päätettiin rajoittaa tutkimuksessa kokonaan Keski-Suomen aineistoon, joka on edelliseen riskianalyysin yhteydessä tarkistettu ja siten tuntuu luotettavammalta kuin koko Suomen aineisto.

Puutteiden laatua on kuvailtu seuraavassa:

- Keski-Suomen osalta vanhan riskianalyysin aineistoon on lisätty sarake toteutuneille kiireellisille ihmisen pelastamisille; tämä viittaa siihen, että tiedoissa ihmisen pelastamisista on joitain virheitä vanhan riskianalyysin koko Suomen pohja-aineistossa. Keski-Suomen osalta tutkimuksessa käytettiin annettuja tarkempia tietoja sellaisenaan.
- Koko suomen aineistossa kokonaistoteutuma monessa kohti eroaa muiden onnettomuustyyppien toteutumien summasta. Ero voi olla kumpaankin suuntaan tahansa, mutta keskimäärin kokonaistoteutuma on 0,00012 yksikköä pienempi kuin onnettomuustyyppien toteutumien summa. Keski-Suomen aineistossa taas kokonaistoteutuma näyttäisi olevan sama kuin muiden onnettomuustyyppien toteutumien summa. Keski-Suomen aineistossa rakennuspalojen ja liikenneonnettomuuksien toteutuma näyttäisi olevan sama kuin koko suomen aineistossa, mutta muiden kiireellisten määrä pienempi kuin koko suomen aineistossa.

- Keski-Suomen vanhan riskianalyysin lopputuloksessa oli yhdeksän ruudun riskiluokitusta kiristetty rakennuspaloriskitasoa nostavan, lähtötiedoista puuttuneen kerrosalan takia. Vastaavasti yhden ruudun riskiluokitusta oli löysennetty lähtötiedoissa virheellisesti olleen ylimääräisen kerrosalan takia. Nämä rakennuspaloriskitasojen tiedot on korjattu Keski-Suomen tulosten analyysissä käytettävään materiaaliin.
- Keski-Suomen vanhan riskianalyysin lopputuloksessa oli kolmen ruudun riskiluokitusta kiristetty seurantajakson toteutuman perusteella. Näistä kahdesta puuttui merkintä ruutuaineistosta. Tieto haettiin muualta (Keski-Suomen pelastuslaitos 2012, 39; 43 – 44) ja korjattiin Keski-Suomen tulosten analyysissä käytettävään materiaaliin.

3.1.3 Riskianalyysin tulosten kvantifiointi

Keski-Suomen alueen vanhan riskianalyysin tuloksena on siis jokaiselle riskiruudulle jokin tarkistettu riskiluokka, jonka on tarkoitus ennustaa ruudun osoittaman alueen yleistä onnettomuusriskialttiutta. Mikäli tätä ennustetta halutaan vertailla uusiin toteutumalukuihin, on jokaiselle ruudulle saatava luokan sijaan jokin numeerinen arvio tulevasta onnettomuusmäärästä. Pelkkään rakennuspaloriskitasoon perustuva ennusteluku ei huomioisi riskianalyysimallin rakenteeseen kuuluvaa riskitason kiristysmahdollisuutta toteutumaan perustuen. Siksi ruudun onnettomuusmäärän numeerisen arvion määrittelyssä on otettava huomioon se, miten ruudun riskiluokka on määräytynyt.

Tässä tutkimuksessa kvantifiointi tehtiin jakamalla ruutuaineisto kahteen osaan: niihin joissa tarkistettu riskiluokka eroaa rakennuspaloriskiluokasta seurantajakson onnettomuustoteutuman perusteella ja niihin joissa tarkistettu riskiluokka on sama kuin rakennuspaloriskiluokka (mahdolliset kerrosalavirheistä johtuvat korjaukset tehtiin rakennuspaloriskiluokkiin jo etukäteen). Näiden osien käsittelyn selkeyttämiseksi otetaan käyttöön seuraavat merkinnät:

- i: ruutujen juokseva alaindeksi (voi ajatella ID-lukuna tai järjestysnumerona)
- T_i: i:nnen ruudun kokonaisonnettomuustoteutuma ruutuaineistossa

- R_i : i:n ruudun rakennuspaloriskitaso (perustuu regressiomallin kautta ruudun asukaslukuun ja kerrosalaan vastaavassa ruutuaineistossa)
- E_i : Keski-Suomen osalta vanhan riskianalyysin antama numeerinen ennuste i:n ruudun uudelle kokonaisonnettomuustoteutumalle (ks. tarkemmin alla)
- RT_i : i:n ruudun rakennuspalototeutuma ruutuaineistossa
- $\eta_i = T_i / RT_i$
- η : suhdeluku, jolla korjataan rakennuspaloriskitaso kokonaisonnettomuustoteutuman ennusteeksi (ks. tarkemmin alla)
- Σ : summa yli seuraavan merkin osoittaman lukujoukon
- $\xi = \Sigma T_i / \Sigma RT_i$ (ks. tarkemmin alla)
- mille tahansa luvulle ilmaistaan yläindeksillä V tai U vanhan tai uuden ruutuaineiston käyttö, mikäli relevanttia
- mille tahansa luvulle ilmaistaan alaindeksillä ks tai k Keski-Suomen tai koko Suomen aineiston käyttö, mikäli relevanttia (enimmäkseen käsitellään kuitenkin vain Keski-Suomen tuloksia, jolloin näitä alaindeksejä ei tavallisesti käytetä)

Vanhan riskianalyysin antamat **ennusteet** uudeksi kokonaisonnettomuustoteutumaksi määriteltiin seuraavasti:

- Mikäli i:n ruudun tarkistettua riskiluokkaa on kiristetty rakennuspaloriskiluokkaan nähden vanhan onnettomuustoteutuman T_i^V perusteella, on ennuste suoraan luku T_i^V :

$$E_i = T_i^V \quad (3)$$

- Mikäli i:n ruudun tarkistettu riskiluokka on sama kuin sen rakennuspaloriskiluokka, on ennuste rakennuspaloriskitaso kerrottuna suhdeluvulla η (jonka määritelmistä tarkemmin alla):

$$E_i = R_i^V * \eta \quad (4)$$

Suhdeluvun η tehtävänä on korjata vanhan ruutuaineiston rakennuspaloriskitaso vastaamaan kaikkien onnettomuuksien riskitasoa. η :n määrittelyssä voidaan menetellä varmasti eri tavoin, mutta tässä tutkimuksessa on ajatuksena hakea luku η arvioimalla ruutukohtaisten kokonaistoteutumalukujen ja rakennuspalototeutumalukujen suhteiden $\eta_i^V = T_i^V / RT_i^V$ keskimääräistä arvoa. Lukuja η_i ei voi laskea suoraan, sillä nimittäjät RT_i ovat usein nollija ja aina korkeintaan yhtä suuria kuin osoittajat T_i . Lasketaan sen sijaan käänteisluvut

$$(\eta_i^V)^{-1} = RT_i^V / T_i^V \quad (5)$$

joissa nimittäjä on aina vähintään osoittajan suuruinen ja voidaan tulkita luvut 0/0 ykkösiksi. Lasketaan käänteislukujen $(\eta_i^V)^{-1}$ keskiarvo ja tulkitaan tämän keskiarvon käänteisluku etsityksi suhdeluvuksi η .

Luvun η laskemiseen käytetään tässä Keski-Suomen vanhan ruutuaineiston kokonais- ja rakennuspalototeutumalukuja ja tuloksena on

$$\eta_{ks}^V = 1,096.$$

Vertailun vuoksi laskettiin vastaavat luvut myös Keski-Suomen uuden ruutuaineiston pohjalta sekä koko Suomen vanhan ja uuden ruutuaineiston pohjalta. Tulokset olivat taulukon 6 mukaiset (taulukossa ka tarkoittaa keskiarvoa). Tästä nähdään, että suhdeluvut melko samat kaikkien käytössä olevien aineistojen perusteella.

Taulukko 6. Luku η eri aineistojen avulla laskettuna

$ka[(\eta_{i,ks}^V)^{-1}] = 0,912$	$ka[(\eta_{i,ks}^U)^{-1}] = 0,905$	$ka[(\eta_{i,k}^V)^{-1}] = 0,930$	$ka[(\eta_{i,k}^U)^{-1}] = 0,925$
$\eta_{ks}^V = 1,096$	$\eta_{ks}^U = 1,105$	$\eta_k^V = 1,075$	$\eta_k^U = 1,081$

Luvun η sijaan voisi ajatella suhdelukuna myös viiden vuoden seurantajaksolla toteutuneiden kaikkien kiireellisten onnettomuuksien lukumäärän ja rakennuspaalojen lukumäärän suhdetta. Tämä suhdeluku on sama kuin vuosikohtaisten vastaavien toteutumien summien suhde:

$$\xi = \sum T_i / \sum RT_i. \quad (6)$$

Suorittamalla laskut sekä vanhan että uuden aineiston kanssa Keski-Suomen ja koko Suomen osalta saadaan taulukon 7 mukaiset tulokset. Havaitaan, että suhteutettaessa koko aineiston kaikkien onnettomuuksien ja rakennuspalojen toteutumat kerralla, on tulos selvästi suurempi luku kuin tehtäessä suhteutus ruutu kerrallaan.

Taulukko 7. Luku ξ eri aineistojen avulla laskettuna

$\sum_i T_{i,ks}^V = 1315$	$\sum_i T_{i,ks}^U = 1427$	$\sum_i T_{i,k}^V = 27850$	$\sum_i T_{i,k}^U = 26227$
$\sum_i RT_{i,ks}^V = 305$	$\sum_i RT_{i,ks}^U = 331$	$\sum_i RT_{i,k}^V = 5015$	$\sum_i RT_{i,k}^U = 5762$
$\xi_{ks}^V = 4,3$	$\xi_{ks}^U = 4,3$	$\xi_k^V = 5,6$	$\xi_k^U = 4,6$

Keski-Suomen osalta suhdeluku ξ on sama vanhalla ja uudella aineistolla laskettuna. Koko Suomen osalta suhdeluku ξ on kummassakin tapauksessa suurempi. Erityisesti luku ξ_k^V on selvästi muita lukuja suurempi. Mahdollisena selityksenä tälle voisivat olla virheet vanhan riskianalyysin onnettomuusluokituksissa (ks. luvun 3.1.1 loppua).

Vaikka myös ξ voisi olla mahdollinen suhdeluku vertailuun, niin käytetään tässä kuitenkin lukua $\eta = \eta_{ks}^V$, joka teoriassa kuvaa juuri haluttua ruutukohtaista kaikkien onnettomuuksien ja rakennuspalojen lukumäärien suhdetta. Suhdeluvun valinta vaikuttaa ennusteen suuruusluokkaan ja siten myös ennustevirheiden suuruuteen. Tässä työssä tavoitellaan lähinnä kvalitatiivista havaintoa ennusteen toimivuudesta riskialttiudeltaan erilaisilla alueilla, joten suhdeluvun valinnalla ei ole niin suurta merkitystä. Tutkimuksesta käy kuitenkin ilmi, että jos halutaan varsinaisesti ennustaa onnettomuusmääriä mahdollisimman tarkasti, pitäisi suhdeluvun valintaa harkita tarkemmin (ks. 3.2.4).

3.2 Kaikkien onnettomuuksien ennusteiden ja toteutumien vertailu

3.2.1 Ennustevirheiden ja toteutumaerotusten tunnusluvut

Luvussa 3.1.3 esitetyn mukaisesti määriteltiin jokaiselle ruudulle ennusteluku E_i . **Ennustevirhe** määritellään uuden riskianalyysiaineiston seurantajakson onnettomuustoteutuman ja edellä lasketun ennusteen erotuksena:

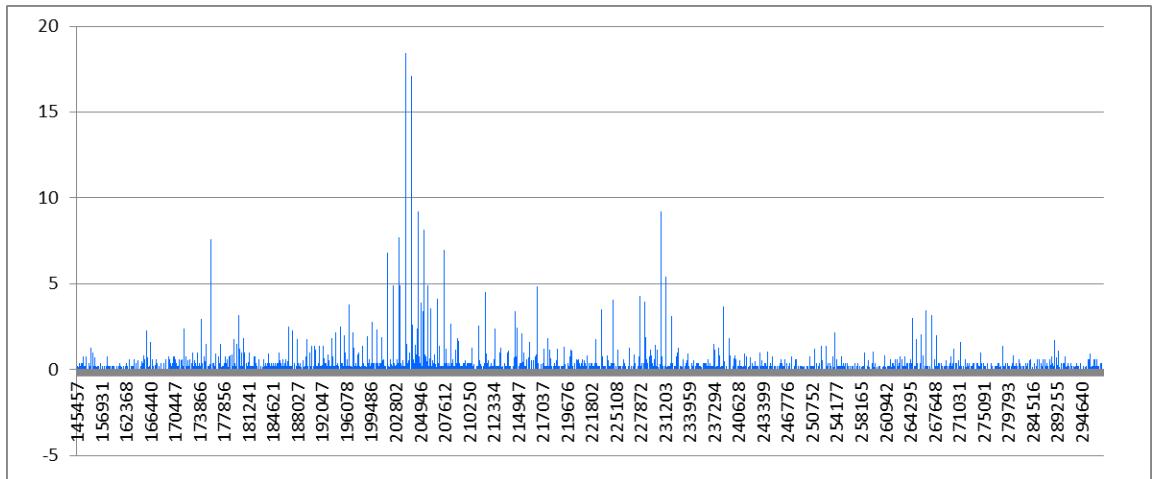
$$T_i^U - E_i.$$

Vertailun vuoksi tutkitaan tässä yhteydessä myös **uuden ja vanhan toteutuman erotusta**

$$T_i^U - T_i^V.$$

Tätä erotusta voi ajatella vaihtoehtoisena ennustevirheenä, jos ruudun ennusteena pidettäisiin suoraan vanhan toteutuman arvoja. Ennustevirheen ja toteutumaerotuksen vertailu havainnollistaa erityisesti, miten nämä erilaiset ennustevaihtoehdot toimivat korkean ja matalan riskin ruutujen kanssa: aineiston eri osissa voi olla eroja toimivuudessa.

Kuviossa 2 on esitetty ennustevirheiden vaihtelu koko Keski-Suomen ruutuaineiston osalta. Ruudut on järjestetty ID-numeroiden mukaisesti (vaaka-akselin kasvavassa järjestyksessä olevat luvut: vain osa luvuista kirjoitettu esiin), joten poikkeavien ruutujen likimääräiset ID-numerot voidaan arvioida suoraan kuviosta.



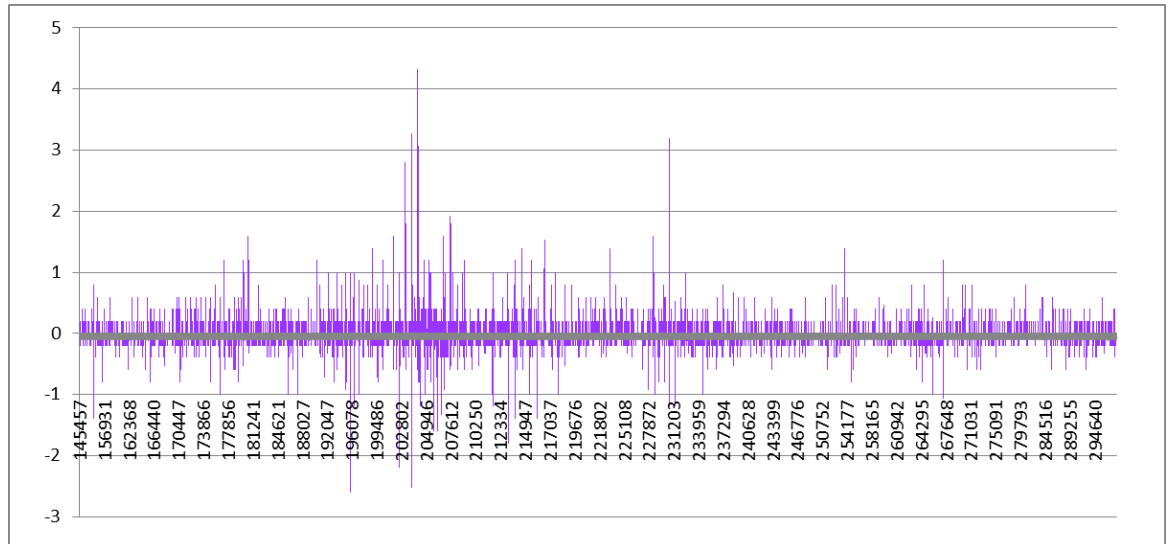
Kuvio 2. Keski-Suomen ruutuaineiston ennustevirheiden $T_i^U - E_i$ vaihtelu (vaaka-akselilla ruutujen id:t kasvavassa järjestyksessä)

Kuvion 2 ennustevirheiden $T_i^U - E_i$ joukon tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 8. Havaitaan, että ennustevirheiden keskiarvo on melko lähellä nollaa, mutta maksimiarvo on huomattavasti kauempana keskiarvosta kuin minimiarvo. Tämä näkyy myös kuviossa 2 siinä, että ennustevirheet painottuvat selvästi positiiviselle puolelle, eli toteutumat ovat olleet ennustetta suurempia.

Taulukko 8. Ennustevirheiden $T_i^U - E_i$ joukon tilastolliset tunnusluvut

keskiarvo	mediaani	maksimi	minimi	keskihajonta
0,06	0,00	18,42	-0,29	0,41

Jotta saadaan käsitys siitä, miten hyvin pelkkä vanha toteutuma toimisi uuden toteutuman ennusteena, tehdään vastaavat tarkastelut korvaamalla ennuste vanhalla toteutumalla ja ennustevirhe toteutumaerotuksella. Toteutuma-erotusten $T_i^U - T_i^V$ vaihtelu on kuvion 3 mukainen.



Kuvio 3. Keski-Suomen ruutuaineiston toteutumien erotusten $T_i^U - T_i^V$ vaihtelu (vaaka-akselilla ruutujen id:t kasvavassa järjestyksessä)

Myös toteutumien erotuksille $T_i^U - T_i^V$ voidaan laskea tilastolliset tunnusluvut. Nämä on esitetty taulukossa 9.

Taulukko 9. Toteutumaerotusten $T_i^U - T_i^V$ joukon tilastolliset tunnusluvut

keskiarvo	mediaani	maksimi	minimi	keskihajonta
0,006	0,00	4,33	-2,60	0,16

Taulukoita 8 ja 9 vertaamalla nähdään, että varsinaisten ennustevirheiden keskiarvo on kymmenkertainen toteutumaerotusten keskiarvoon nähden. Lisäksi kuvioiden 2 ja 3 perusteella toteutumaerotukset sijoittuvat selvästi tasaisemmin nol-lan molemmin puolin, ennustevirheiden ollessa enimmäkseen positiivisia.

Suuret positiiviset ennustevirheet kuvaavat sitä, että joissakin ruuduissa ennuste on mennyt huomattavasti alakanttiin toteutumaan nähden. Ennusteen poikkeaminen toteutumasta näin yhtenäisellä tavalla viittaa siihen, ettei käytetty ennusteen määritelmä ole paras mahdollinen, vaan sitä pitäisi vielä hienosäätää (tähän palataan tarkemmin luvuissa 3.2.3 ja 3.2.4).

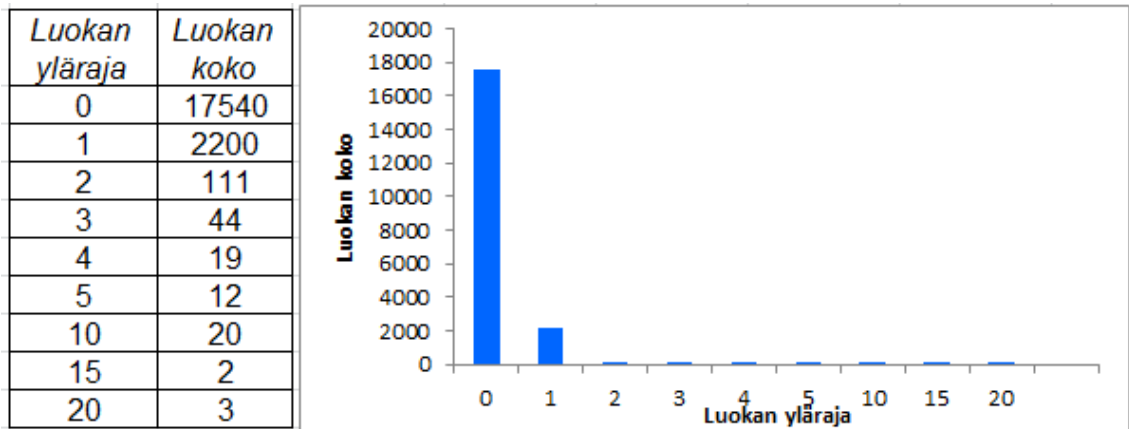
Havaitaan, että kummassakin kuvioista 2 ja 3 on kaksi suurinta piikkiä, jotka sijoittuvat suurin piirtein samoihin kohtiin. Aineiston tutkiminen osoitti, että ensimmäinen piikki (ID-numeron 203 500 tienoilla) koostuu molemmissa kuvioissa Jyväskylän keskustan alueen 1-riskiluokan ruuduista ja toinen piikki (ID-numeron 230 500 tienoilla) sisältää Äänekosken ruutuja (ennustevirheen tapauksessa

kolme ruutua keskustasta ja toteutumaerotuksen tapauksessa vain riskialtteinman keskustaruuden). Näillä alueilla siis sekä regressiomallin että vanhaan toteutumaan perustuvat ennusteet ovat menneet pahiten alakanttiin.

Toteutumaerotuksen osalta joukosta erottuu myös muutama erityisen pieni luku, mikä tarkoittaa, että toteutumaluku on pienentynyt huomattavasti aiempaan nähden. Näitä vastaavat ruudut sijaitsevat Jyväskylän lähiöalueilla ja Muuramen keskustassa. Tällaiset suuret erot uuden ja vanhan toteutuman välillä saattavat johtua sattumanvaraisesta vaihtelusta, mutta voivat toisaalta selittyä ruutujen rakennemuutoksillakin.

3.2.2 Ennustevirheiden ja toteutumaerotusten jakautuminen

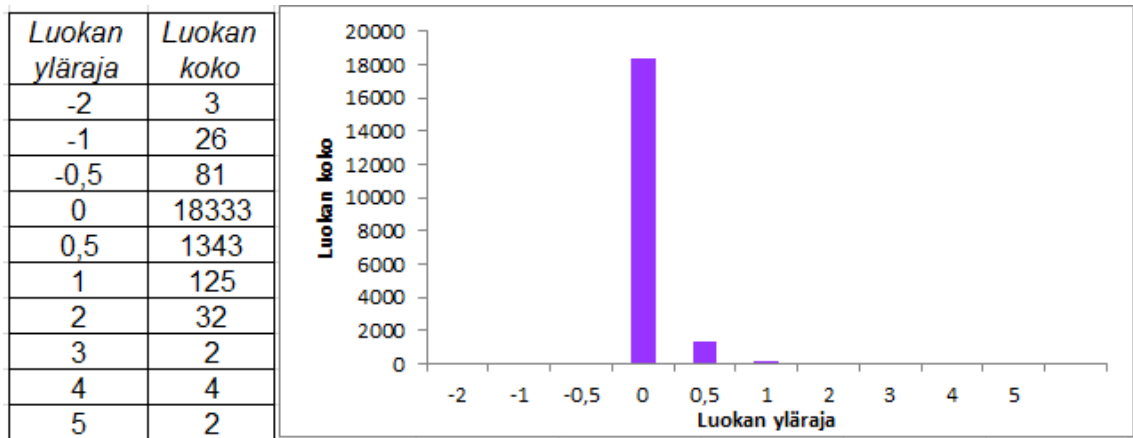
Aineistoja voidaan havainnollistaa myös histogrammin avulla: jaetaan aineisto ennustevirheiden/toteutumaerotusten suuruuden mukaan luokkiin ja esitetään kunkin luokan kohdalla sen alkioden lukumäärä. Eräät luokkajaot ja niitä vastaavat histogrammit on esitetty kuvioissa 4 ja 5.



Kuvio 4. Keski-Suomen aineisto jaettuna luokkiin ennustevirheiden $T_i^U - E_i$ suuruuden mukaan

Kuviosta 4 havaitaan, että vaikka ennustevirheiden keskiarvo onkin positiivinen, niin vain kymmenisen prosenttia ennustevirheistä on positiivisia. Valtaosassa ruutuja ennuste on siis ollut sama tai hieman suurempi kuin toteutuma (tarkemmin eroteltuna: ennustevirhe oli nolla 10 213:ssa ja negatiivinen 7327:ssä ruudussa). Myöhemmin (ks. kuviot 9 ja 10) nähdään, että tämä negatiivisten arvojen

suuri määrä tulee pienen riskin ruuduista joissa ennuste on ollut pieni positiivinen luku, mutta toteutumia ei ole seurantajaksolle osunut.

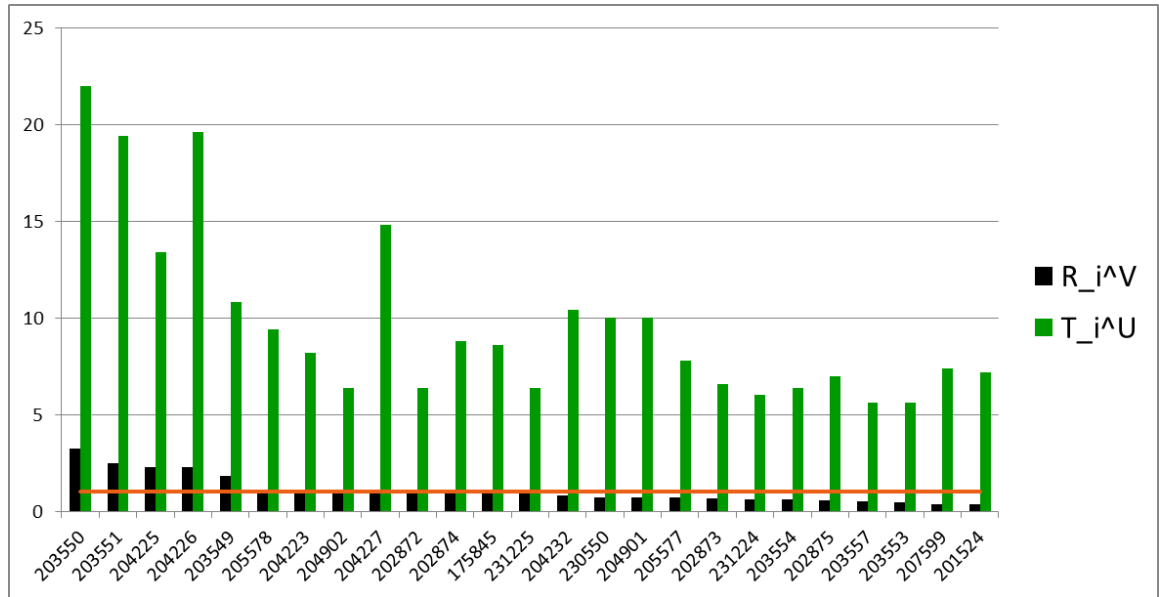


Kuvio 5. Keski-Suomen aineisto jaettuna luokkiin toteutumaerotusten $T_i^U - T_i^V$ suuruuden mukaan

Kuvion 5 perusteella myös toteutumaerotuksista valtaosa on -0,5:n ja 0:n välillä, vaikka keskiarvo tässäkin on positiivinen. Siis suurimmassa osassa ruutuja uusi toteutuma on ollut yhtä suuri vanhan toteutuman kanssa (useimmiten nolla) tai hieman sitä pienempi. Kuitenkin niissä ruuduissa joissa uusi toteutuma on vanhaa suurempi, on erotus niin suuri että kaikkien erotusten keskiarvo nousee juuri nollan yläpuolelle.

3.2.3 Ennustevirheiden ruutukohtainen vaihtelu

Selvitetään tarkemmin missä tyyppisissä ruuduissa varsinainen ennustevirhe on ollut erityisen suuri. Kuviossa 6 on esitetty ne 25 ruutua, joille ennustevirhe on yli 5, järjestettynä laskevan rakennuspaloriskitason mukaan. Pylväiden korkeudet esittävät toteutumaa T_i^U ja rakennuspaloriskitasoa R_i^V . Ykkösen korkeudella olevan vaakaviivan avulla erotetaan rakennuspaloriskitason R_i^V perusteella tarkistettua riskiluokkaa 1 ja 2 olevat ruudut toisistaan: tässä raja menee ruutujen 202 874 ja 175 845 välissä, eli tätä edeltävät ovat 1-riskiluokkaa ja jälkeiset 2-riskiluokkaa.

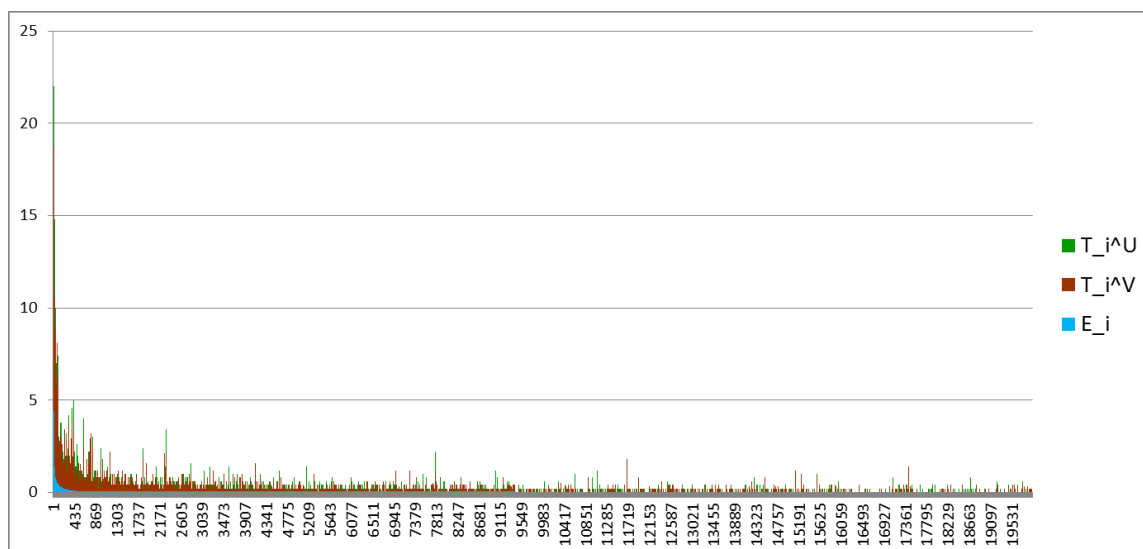


Kuvio 6. Keski-Suomen ruudut joille ennustevirhe $T_i^U - E_i$ on yli 5, järjestettynä laskevan rakennuspaloriskitason R_i^V mukaan ja toteutumaluvut T_i^U esitetty (vaaka-akselilla ruutujen ID-numerot)

Kuviossa 6 esitettyjen ruutujen joukossa ei ole niitä joiden riskiluokkaa on kiristetty toteutuman perusteella (niillähän ennustevirhe on yleensä erityisen pieni, ks. kuvio 8 alla), joten rakennuspaloriskitaso R_i^V on kerrointa $\eta = 1,096$ vaille sama kuin ennuste E_i . Siten pylväiden T_i^U ja R_i^V korkeusero antaa hyvän kuvan ennustevirheen suuruudesta. Havaitaan että toteutuma T_i^U ei täysin noudata ennusteen ($\approx R_i^V$) laskevaa trendiä, mutta jonkinlaista yhteneväisyyttä on kuitenkin nähtävissä.

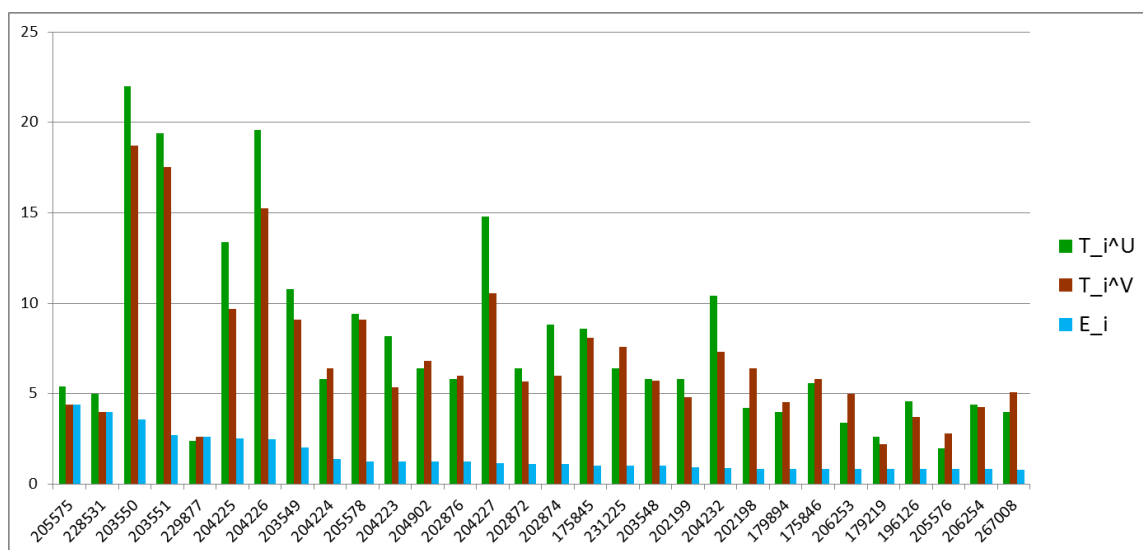
Aineistoa tutkimalla nähdään, että suurimman ennustevirheen ruudut ovat pääsääntöisesti Jyväskylän keskusta-alueen ja lähiöiden ruutuja (ID-numerot 202, 203 ja 204 –alkuiset), mutta myös Äänekosken alueen ruutuja (ID-numerot 230 ja 231-alkuiset) on useampi mukana, ja samoin yksittäisiä ruutuja muista asutuskeskuksista. Kaikkiaan 1-riskiluokan ruutuja käsiteltävässä vanhassa riskianalyyssissä oli 13 kpl, joten kaksi niistä jää kuvion 6 poiminnan ulkopuolelle.

Järjestetään sitten Keski-Suomen aineisto vielä varsinaisen ennusteen mukaan laskevaan järjestykseen ja esitetään samassa kaaviossa lisäksi sekä vanhat että uudet toteutumaluvut. Koko aineisto on esitetty kuviossa 7, josta nähdään että karkeasti ottaen suurilla toteutumilla/ennusteilla erot toteutuman ja ennusteen välillä suuria ja pienemmällä arvoilla pienempiä.



Kuvio 7. Keski-Suomen aineiston toteutumat ja ennusteet, kun ruudut laitettu ennusteen E_i mukaiseen järjestykseen (vaaka-akselilla juokseva järjestysnumero)

Selkeämmän esityksen saamiseksi tutkitaan koko aineiston sijaan sen osalualueita. Kuviossa 8 on otettu mukaan vain 30 suurimman ennusteen ruutua, jolloin ennusteen ja toteutuman vaihtelu suurilla arvoilla näkyy paremmin.



Kuvio 8. Keski-Suomen ruuduista ne 30 joilla ennuste E_i on suurin, järjestettynä ennusteen mukaan ja toteutumat T_i^U ja T_i^V esitetty (vaaka-akselilla ID-numero)

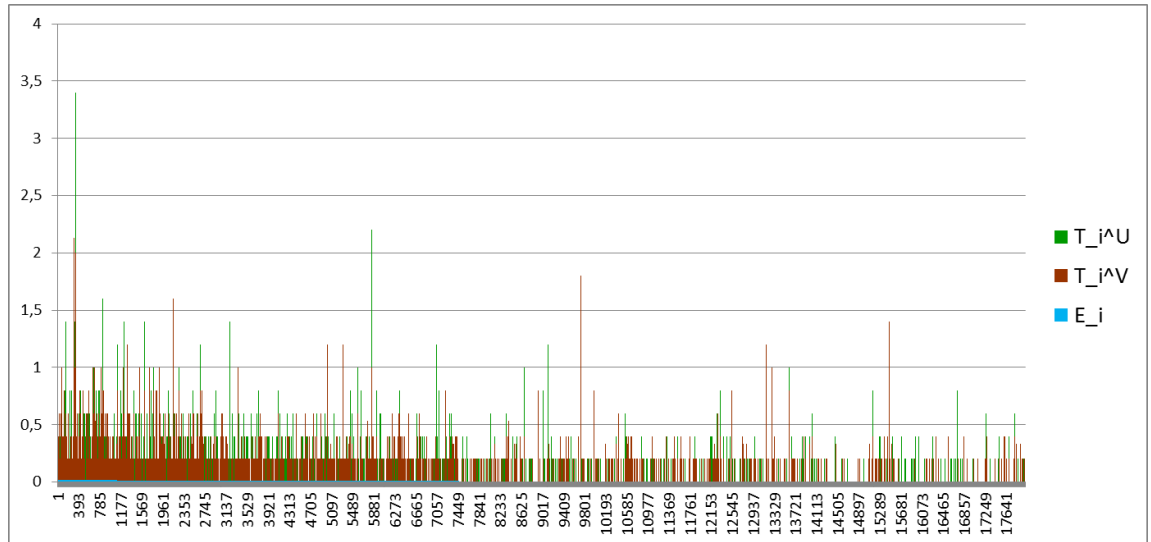
Kuviosta 8 tulee esille erityisesti toteutuma-arvojen T_i^U heittelehtiminen ennusteiden E_i laskevaan järjestykseen verrattuna. Lisäksi nähdään, että korkean riskin ruuduissa vanhat toteutumat T_i^V vastaavat uusia toteutumia T_i^U selvästi paremmin kuin ennusteet E_i .

Tässä ruuduilla 205 575, 228 531 ja 229 877 toteutuman T_i^U ja ennusteen E_i ero (eli ennustevirhe) on huomattavan pieni muihin ruutuihin verrattuna. Nämä ovat itseasiassa juuri ne ruudut jotka on korotettu 2-luokkaan toteutuman perusteella ja joilla ennusteeksi määriteltiin suoraan vanha toteutuma T_i^V .

Epäsäännöllisyys toteutuman ja ennusteen välisessä suhteessa johtuu osin siitä ettei tässä käytetty ennusteen määritelmä ole vielä loppuun asti säädetty. Paremman ennusteen saamiseksi tulisi rakennuspaloriskitasoa kokonaisriskitasoksi korottavaa suhdelukua η säätää (suurentaa) niin, että ennuste vastaisi toteutumaa paremmin ja kuvion 8 ennustepalkit nousisivat vastaamaan mahdollisimman hyvin toteutumapalkkeja. Suuremman suhdeluvun η käyttö johtaisi siihen, että ennusteluvut E_i olisivat suurempia nimenomaan niillä ruuduilla, joiden riskiluokkaa ei ole muutettu toteutumaan perustuen. Tässä tapauksessa kuviossa 8 erottuvat, toteutuman perusteella korotetut ruudut 205 575, 228 531 ja 229 877 jäisivät mahdollisesti korkeimman ennusteen ruutujen joukosta kokonaan pois.

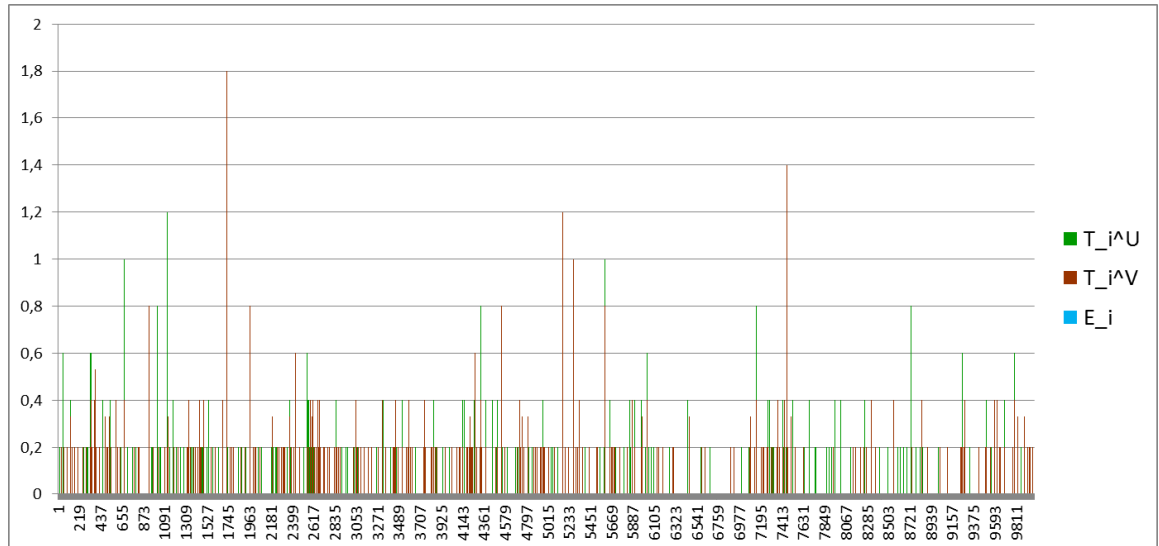
Toisaalta myös muiden kuin näiden erityisten ruutujen 205 575, 228 531 ja 229 877 osalta kuviossa 8 näkyy jonkin verran epäsäännöllisyyttä toteutumalukujen suuruusjärjestyksessä ennustelukujen järjestykseen nähden. Tämä tarkoittaa sitä, että vaikka suhdeluku η säädettäisiin ennusteen kannalta optimaaliseksi, tulisi joissakin ruuduissa toteutuma olemaan ennustetta selvästi suurempi tai pienempi. Se, että uusi ja vanha toteutuma ovat useimmiten lähellä toisiaan viittaa siihen, ettei ennustevirhe näiden ruutujen kohdalla johdu sattumasta, vaan toteutuma poikkeaa ennusteesta systemaattisesti jonkin ruudun sisäisen ominaisuuden perustella. Tämän tyyppinen ennusteen määrittelyperiaate nojautuu suoraan riskianalysimallin rakenteeseen, joten havaittu epäsäännöllisyys osoittaa myös puutteita itse mallin kyvyssä tuottaa ruututasolla täsmällisiä kvantitatiivisia arvioita odotettavissa olevista onnettomuusmääristä.

Voidaan tutkia myös kuvion 7 aineiston loppupäätä poistamalla alusta korkeamman ennusteen ruutuja. Tämä on tehty kahdella eri tasolla: kuviossa 9 on poistettu alusta noin 2000 ruutua ja kuviossa 10 noin 10 000 ruutua.



Kuvio 9. Keski-Suomen ruuduista ne 18 000 joilla ennuste on pienin, järjestettynä ennusteen mukaan ja toteutumat esitetty (vaaka-akselilla juokseva järjestysnumero)

Kuviossa 9 näkyy vaivoin se, että ennuste E_i on positiivinen ruudun nro 7499 tienoille ja tämä jälkeen menee tasan nolllaksi (aineiston alusta lukien muutos nolllaksi tapahtuu ennusteen laskevassa järjestyksessä ruudun 9413 kohdalla). On huomattava, että aineiston loppupää, jossa $E_i = 0$ on sattumanvaraisessa järjestyksessä, sillä E_i on ainoa järjestyskriteeri. Kuvioista katsoen onnettomuustiheys näyttäisikin pienenevän ennusteen pienentyessä tähän muutoskohtaan asti, mutta sen jälkeen tiheyden vaihtelu vaikuttaa satunnaisemmalta.



Kuvio 10. Keski-Suomen ruuduista ne 10 000 joilla ennuste on pienin, järjestetynä ennusteen mukaan ja toteutumat esitetty (vaaka-akselilla juokseva järjestysnumero)

Kuvion 10 aineistossa luvut E_i ovat kaikki nollija ja ruudut ovat toteutumien suhteen satunnaisessa järjestyksessä. Merkittävä ero kuvion 8 aineistoon verrattuna on se, että matalan riskitason ruuduissa vanha ja uusi toteutuma eivät nyt seuraa lainkaan toisiaan, vaan vaihtelevat sattumanvaraisesti ruudusta toiseen.

Molemmissa kuvioissa 9 ja 10 toteutumalukujen T_i^U ja T_i^V arvot ovat pääasiassa diskreettejä luvun 0,2 (= 1 onnettomuus / 5 vuotta) monikertoja, mutta vanhan toteutuman osalta joitakin poikkeuksia esiintyy. Mahdollisesti vanhaa aineistoa on jotenkin korjailtu, esimerkiksi käyttämällä seurantajakson pituutena joillekin ruuduille joitain muuta kuin 5 vuotta.

Toteutumaluvut näyttävät kuvioissa 9 ja 10 huomattavan suurilta ennusteen hyvin pieniin positiivisiin arvoihin tai nolla-arvoihin verrattuna. Kuva johtaa kuitenkin hieman harhaan, sillä siitä eivät erotu kunnolla toteutumien T_i^U nolla-arvot joita tällä alueella on huomattavan paljon. Ennustevirheen $T_i^U - E_i$ suuri ei-positiivisten arvojen määrä arvot selittyy juuri toteutumien nolla-arvojen määrällä: kun $T_i^U = 0$, niin $T_i^U - E_i \leq 0$.

Koska toteutuma-aineistossa on paljon nollija, ei ruutukohtaisesti ei voida tehdä suhteellisia arvioita siitä miten hyvin ennuste toimii korkean/matalan riskin ruuduissa. Luvussa 3.4 jaetaan ruudut isompiin, eri riskitasoja kuvaaviin luokkiin ja

määritetään näiden luokkien suhteellisia ennustevirheitä. Näin voidaan saada parempi käsitys siitä, miten ennusteen toimivuus riippuu riskitasosta.

3.2.4 Yhteenvedo kaikkien onnettomuuksien ennusteiden ja toteutumien vertailusta

Lukujen 3.2.1, 3.2.2 ja 3.2.3 analyysi osoittaa, ettei nykymallin mukaisen riskianalyysin perusteella määritelty ennuste anna kovin luotettavia numeerisia arvioita odotettavissa olevista onnettomuusmääristä ruutukohtaisella tasolla. Erityisesti korkean riskin ruuduissa vanha toteutuma näyttäisi vastaavan uutta toteutumaa huomattavasti paremmin kuin ennusteluku.

Tämä ennusteen huonous johtuu pääasiassa siitä, ettei keskimääräistä ruutukohtaista kaikkien onnettomuuksien ja rakennuspalojen lukumäärien suhdetta vastaava luku η ole paras mahdollinen kerroin ennusteen määrittelyssä rakennuspaloriskitasoon perustuen. Suurista ennustevirheistä päätellen luku η on liian pieni, jolloin ennuste on liian lähellä pelkkien rakennuspalojen ennustetta. Selityksenä tähän η :n harhaisuuteen voisi olla esimerkiksi se, että rakennuspalot keskittyvät voimakkaasti tiettyihin ruutuihin, jolloin suhdeluvun RT_i^V / T_i^V jakauma on vino ja keskiarvo kuvaa sitä huonosti.

Tarkemman tiedon saamiseksi tutkimusta olisikin syytä jatkaa kokeilemalla eri η :n arvoja ja hakemalla niistä optimaalisin, eli se jonka avulla määriteltynä virheet olisivat mahdollisimman pieniä. Optimaalista η :aa käytettäessä virheet ovat siis kauttaaltaan pienempiä ja toteutuman perusteella riskiluokaltaan kiristettyjen ruutujen asema muuttuu siten, etteivät ne välttämättä enää kuulu ennusteen mukaisen korkeimman riskin ruutujen joukkoon (vrt. kuvio 8). Vasta tällaisen hienosäädön jälkeen saataisiin selkeä kuva riskianalyysimallin toimivuudesta, ja ennusteluvuista sellaisia, että ne olisivat käyttökelpoisia varsinaiseen tulevaisuuden onnettomuusmäärien ennustamiseen.

Voi myös olla, ettei saman kertoimen η käyttäminen koko ruutujoukossa ole paras vaihtoehto, vaan tarkempia ennusteita voitaisiin saada käyttämällä korkean riskin ruuduilla suurempia kertoimia kuin matalan riskin ruuduilla. Korkean riskin ruuduissa (tyypillisesti kaupunkikeskustat) kaikkien onnettomuuksien riskin suhde rakennuspaloriskiin saattaa nousta siitä syystä, että näillä alueilla liikkuu paljon

myös sellaista ihmismassaa joka ei asu alueella eikä siten nosta regressiomallin mukaista rakennuspaloriskitasoa, vaikka yleinen onnettomuusriski kasvaakin.

Erityisesti korkean riskin ruuduissa ennusteen ja toteutuman välisessä suhteessa havaitaan myös sellaista vaihtelua joka ei ole satunnaista ja jota ei tässä käytettyä riskianalyysimallin rakenteeseen perustuvaa ennusteen määritelmää muokkaamalla saadaan poistettua. Siis vaikka η valittaisiinkin optimaalisesti, niin joidenkin ruutujen osalta toteutuma olisi silti pysyvästi korkeampi tai matalampi kuin ennuste. Tämä tarkoittaa sitä, että myöskään itse malli ei toimi ruututasolla parhaalla mahdollisella tavalla ruutujen keskinäisen riskialttiusjärjestyksen määrittämisessä. Ongelma johtunee siitä, ettei pelkkä rakennuspalojen ennustamiseen tarkoitettu malli löydä muiden onnettomuuksien riskejä kovin tehokkaasti. Pitämällä tähtäimellä tämän asian korjaamiseksi voitaisiin esimerkiksi kehittää omia regressiomalleja myös muille onnettomuustypeille ja muodostaa näistä yhteinen malli (ks. luku 7.3).

Havaittiin myös, että ruututasolla ennuste toimii eri tavoin korkean ja matalan riskin ruuduissa. Kuvion 8 perusteella näyttäisi sille, että korkean riskin ruuduissa vanha toteutuma antaisi paremman ennusteen kuin rakennuspaloriskitasoon perustuva riskianalyysi, mutta kuvio 10 osoittaa että matalan riskin ruuduissa vanha toteutuma on hyvin huono ennustusmetodi johtuen onnettomuuksien harvinaisuudesta ja satunnaisuudesta. Tätä tukitaan tarkemmin luvussa 3.4 ruuturyhmien suhteellisten ennustevirheiden kautta.

Eräs analyysiä hankaloittava tekijä on se, että aineistoa ei saada kokonaisuudessaan kunnolla järjestettyä, sillä järjestystekijänä toimiva rakennuspaloriskitasoon perustuva ennuste on noin puolelle kaikista ruuduista nolla. Tämä nollassa meneminen ei johdu itse mallista, sillä eksponenttifunktion arvona riskitaso on aina positiivinen. Ongelma liittyy lähtöaineiston laadinnassa tehtyyn turhan voimakkaaseen pyöristykseen, jonka takia rakennuspaloriskitaso menee aineistossa nollassa liian aikaisin. Tämän puutteen korjaaminen edellyttäisi sitä, että lähtöaineistossa olevien valmiiden rakennuspaloriskitasojen sijaan käytettäisiin lähtötietoina suoraan ruutujen asukaslukuja ja kerrosaloja. Tällöin laskemalla rakennuspaloriskitasot itse regressiomallin lausekkeen avulla saataisiin rakennuspaloriskitasolle (ja sitä kautta myös ennustelle) mielivaltaisen tarkkoja arvoja.

3.3 Rakennuspaloriskitason vertailu rakennuspalototeutumaan

3.3.1 Rakennuspalojen ennustevirheiden ja toteutumaerotusten tunnusluvut

Jotta saadaan jonkinlaista vertailukohtaa edellä tehtyyn ennustevirheen analyysiin, tehdään vastaavanlaiset tarkastelut korvaamalla ennuste rakennuspaloriskitasolla R_i^V ja toteutuma rakennuspalototeutumalla RT_i^U . Kuten edellä, otetaan mukaan myös vanha rakennuspalototeutuma RT_i^V , ja tutkitaan kuinka hyvin tähän perustuva ennuste toimisi.

Rakennuspaloriskitaso on määritelty regressiomallin avulla siten, että se kuvaa rakennuspalojen määrää ruudussa vuoden aikana (ks. 2.3 ja Tillander ym. 2010, 33). Voidaan määrittellä **rakennuspalojen ennustevirhe** rakennuspalototeutuman RT_i^U ja rakennuspaloriskitason R_i^V erotuksena:

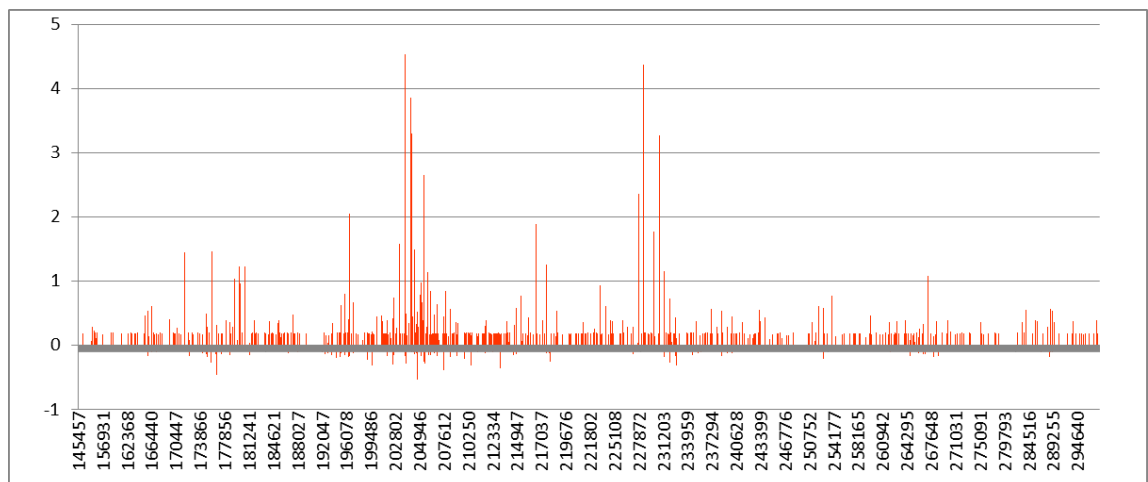
$$RT_i^U - R_i^V.$$

Vertailtavaksi otetaan **uuden ja vanhan rakennuspalototeutuman erotus**

$$RT_i^U - RT_i^V,$$

joka voidaan tulkita vaihtoehtoiseksi rakennuspalojen ennustevirheeksi.

Rakennuspalojen ennustevirheiden $RT_i^U - R_i^V$ vaihtelu Keski-Suomen ruuduissa on kuvion 11 mukainen. Tämä muistuttaa jonkin verran kaikkien onnettomuuksien suhteen tehtyä vastaavaa kuviota 2, eli ennustevirheet painottuvat nytkin positiiviselle puolelle (ts. toteutuma ennustetta suurempi), mutta niiden suuruusluokka on kuitenkin selvästi pienempi.



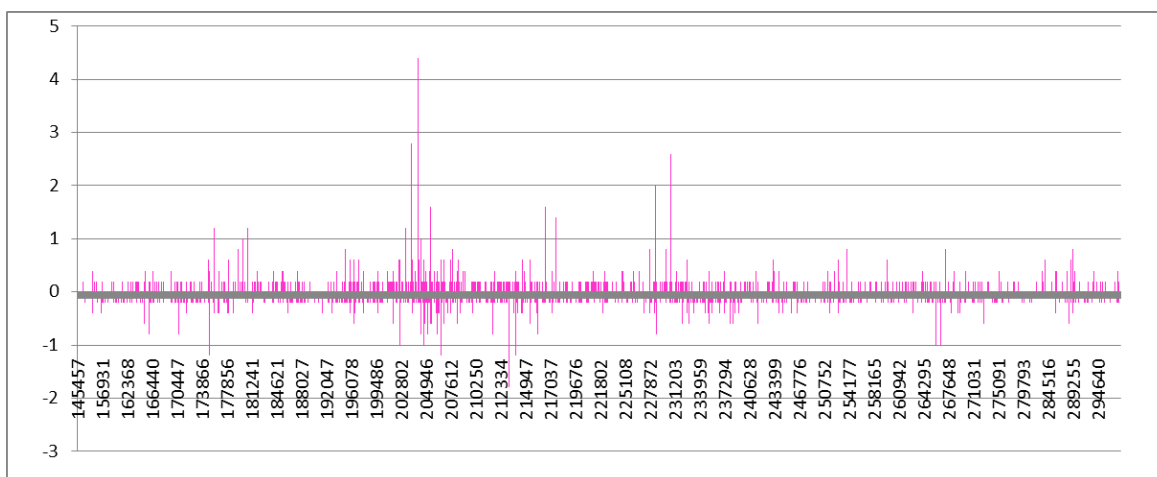
Kuvio 11. Keski-Suomen ruutuaineiston rakennuspalojen ennustevirheiden $RT_i^U - R_i^V$ vaihtelu (vaaka-akselilla ruutujen id:t kasvavassa järjestyksessä)

Rakennuspalojen ennustevirheiden $RT_i^U - R_i^V$ joukon tilastolliset tunnusluvut on esitetty taulukossa 10. Tästäkin havaitaan rakennuspalojen ennustevirheet positiivisesti painottuneiksi ja pääasiassa pienemmiksi kuin yleisessä tapauksessa (vrt. taulukko 8). Minimiarvo on kuitenkin yllättävän kaukana keskiarvosta, mikä tarkoittaa sitä, että jossain yksittäisessä ruudussa ennuste on ollut jonkin verran toteutumaa suurempi.

Taulukko 10. Rakennuspalojen ennustevirheiden $RT_i^U - R_i^V$ joukon tilastolliset tunnusluvut

keskiarvo	mediaani	maksimi	minimi	keskihajonta
0,005	0,00	4,53	-0,54	0,10

Kuten kaikkien onnettomuuksien tapauksessa, tutkitaan myös rakennuspalojen suhteen kuinka hyvin vanha toteutuma toimisi ennusteena uudelle toteutumalle. Rakennuspalototeutumaerotusten $RT_i^U - RT_i^V$ vaihtelu on kuvion 12 mukainen.



Kuvio 12. Keski-Suomen ruutuaineiston rakennuspalojen toteutumaerotusten $RT_i^U - RT_i^V$ vaihtelu (vaaka-akselilla ruutujen id:t kasvavassa järjestyksessä)

Rakennuspalototeutumien erotusten $RT_i^U - RT_i^V$ joukon tunnusluvut on esitetty taulukossa 11. Rakennuspalototeutumien erotusten keskiarvo on hyvin lähellä nollaa, mutta hajonta ja maksimi/minimi ovat kuitenkin samaa luokkaa kuin yleisen tapauksen toteutumaerotuksilla (taulukko 9) ja rakennuspalojen ennustevirheillä (taulukko 10).

Taulukko 11. Rakennuspalototeutumien erotusten $RT_i^U - RT_i^V$ joukon tilastolliset tunnusluvut

keskiarvo	mediaani	maksimi	minimi	keskihajonta
0,001	0,00	4,40	-1,80	0,10

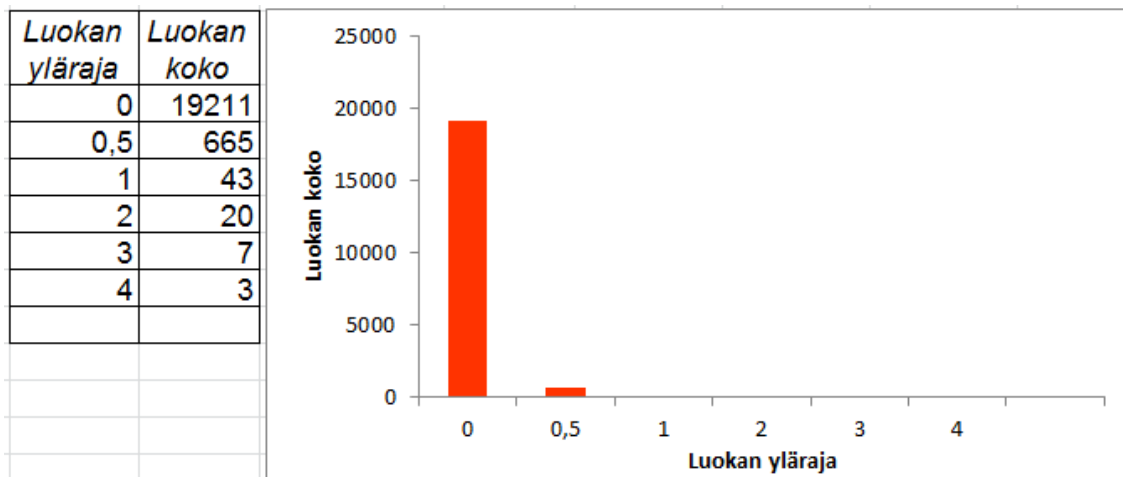
Rakennuspalojen osalta havainnot ovat samantapaisia kuin edellä kaikkien onnettomuuksien tapauksessa. Nytkin ennustevirheiden keskiarvo on selvästi suurempi kuin toteutumaerotusten, ja ennustevirheiden painopiste on enemmän positiivisella puolella toteutumaerotusten ollessa tasaisemmin nollan molemmin puolin. Rakennuspalojen tapauksessa ennustevirhe on kuitenkin huomattavasti pienempi kuin yleisessä tilanteessa, mikä onkin luonnollista siitä syystä, että ennusteen pohjana käytettävä regressiomalli on muodostettu ennustamaan nimenomaan rakennuspaloja.

Eräs syy siihen, että myös rakennuspalojen tapauksessa ennuste on hieman toteutumaa alhaisempi voisi olla se, että regressiomallia laadittaessa ei välttämättä ole huomioitu rakennuspalovaaroja, kun taas tässä käytetyssä aineistossa rakennuspaloihin luokitellaan sekä rakennuspalot että rakennuspalovaarat. Rakennuspalovaara on tullut onnettomuustyyppinä mukaan vasta regressiomallin laadinnan jälkeen, joten on vaikea saada täsmällistä tietoa siitä, miten rakennuspalovaaran tyyppisiä tilanteita on aiemmin käsitelty.

Myös kuvioissa 11 ja 12 kaksi suurinta piikkiä näyttävät osuvan suunnilleen samoihin kohtiin kuin kuvissa 2 ja 3. Tarkempi tutkimus osoittaa, että nytkin ensimmäinen piikki (ID-numeron 203 500 tienoilla) edustaa Jyväskylän keskustan korkean riskin ruutuja ja toinen piikki (ID-numeron 230 500 tienoilla) Äänekosken keskustan ruutua ja rakennuspaloennustevirheen osalta korkealle nousee myös Suolahden keskustan ruutu. Rakennuspalototeutumien erotuksen osalta poikkeuksellisen pieniä arvoja (eli rakennuspalototeutuma selvästi pienentynyt aiempaan nähden) on satunnaisten pienempien keskusten ruuduissa (Jämsä, Keuruu, Vihtavuori).

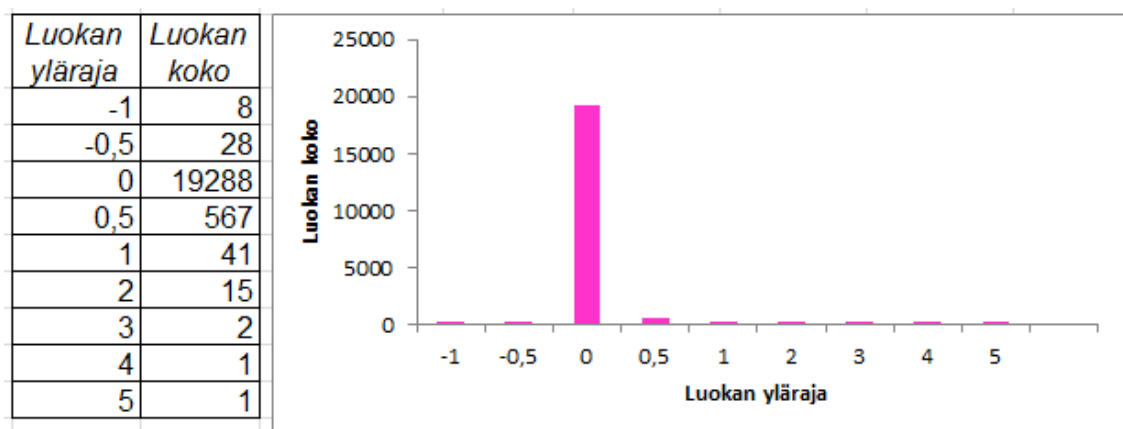
3.3.2 Rakennuspalojen ennustevirheiden ja toteutumaerotusten jakautuminen

Kuten kaikkien onnettomuuksien tapauksessa (luku 3.2.2), tutkitaan myös rakennuspalojen osalta ennustevirheiden ja toteutumaerotusten jakautumista eri suuruusluokkiin. Histogrammiesitykset rakennuspalojen ennustevirheiden ja toteutumaerotusten osalta ovat kuvioissa 13 ja 14.



Kuvio 13. Keski-Suomen aineisto jaettuna luokkiin rakennuspalojen ennustevirheiden $RT_i^U - R_i^V$ suuruuden mukaan

Kuviossa 13 luokkajako on tehty rakennuspalojen ennustevirheen mukaisesti. Tulokset osoittavat samaa kuin yleisen tapauksen vastaavat kuvion 4 tulokset, eli ylivoimaisesti suurin osa luvuista on ei-positiivisia, mutta keskiarvo nousee kuitenkin plussan puolelle positiivisten lukujen suuremman itseisarvon takia.

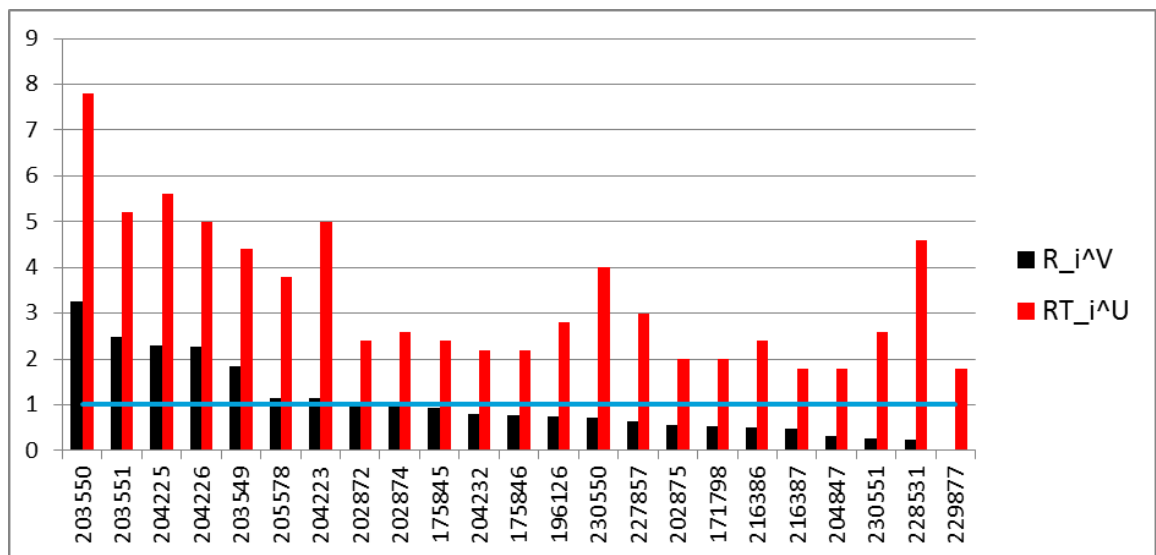


Kuvio 14. Keski-Suomen aineisto jaettuna luokkiin rakennuspalojen toteutumaerotusten $RT_i^U - RT_i^V$ suuruuden mukaan

Myös kuvion 14 perusteella päätelmät ovat samanlaisia kuin edellä, eli valtaosa toteutumaerotuksista on ei-positiivisia, vaikka keskiarvo onkin juuri ja juuri positiivinen. Kuten kuviossa 5, tämä tarkoittaa, että suurimmassa osassa ruutuja uusi toteutuma on ollut sama kuin vanha toteutuma tai hieman sitä pienempi, mutta niissä ruuduissa, joissa tilanne on toisin päin, on erotus ollut selvästi suurempi.

3.3.3 Rakennuspalojen ennustevirheiden ruutukohtainen vaihtelu

Tutkitaan missä ruuduissa rakennuspalojen ennustevirhe on ollut suurimmillaan. Kuviossa 15 ne ruudut, joissa rakennuspalojen ennustevirhe $RT_i^U - R_i^V$ on suurempi kuin 1,3 on asetettu rakennuspaloriskitason mukaiseen laskevaan järjestykseen (vrt. kuvio 6). Vaakaviiva ykkösen kohdalla auttaa erottamaan 1- ja 2-riskiluokan ruudut toisistaan. Tässä 1-luokkaan kuuluvat ruudut 203 550, ..., 202 874 ja loput ruudut kuuluvat 2-luokkaan. Itseasiassa viimeiset ruudut 228 531 ja 229 877 olisivat rakennuspaloriskitason perusteella luokkaa 3, mutta näiden tarkistetuiksi riskiluokiksi vanhassa riskianalyysissä tuli 2 aiemman seurantajakson toteutuneiden onnettomuuksien määrän perusteella.

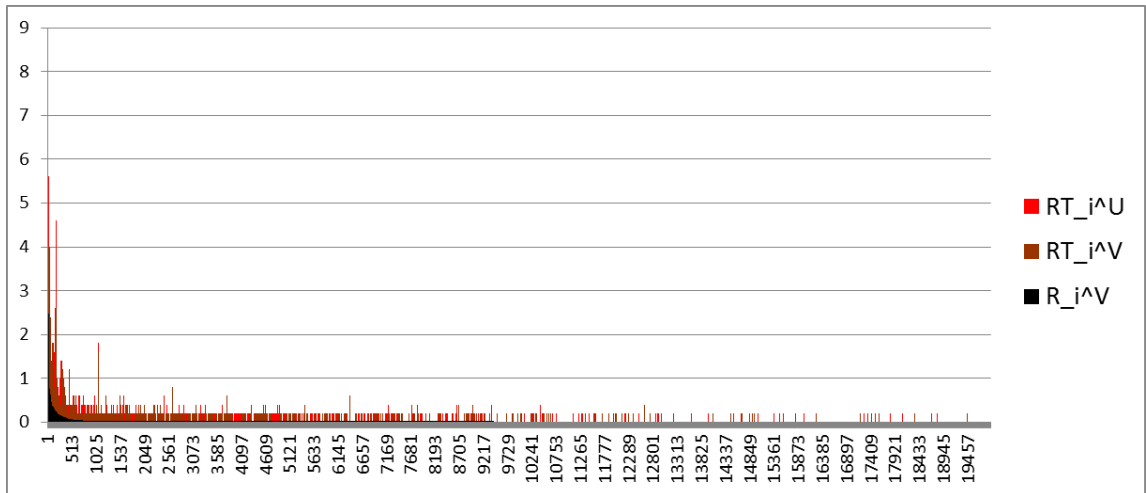


Kuvio 15. Keski-Suomen ruudut joille rakennuspalojen ennustevirhe $RT_i^U - R_i^V$ on yli 1,3, järjestettynä laskevan rakennuspaloriskitason R_i^V mukaan ja rakennuspalototeutumaluvut RT_i^U esitetty (vaaka-akselilla ruutulD:t)

Kuviosta 15 havaitaan, etteivät myöskään rakennuspalojen toteutumat RT_i^U noudata ruututasolla täysin ennusteen R_i^V trendiä, mutta yhtäläisyyttä näissä on kyllä

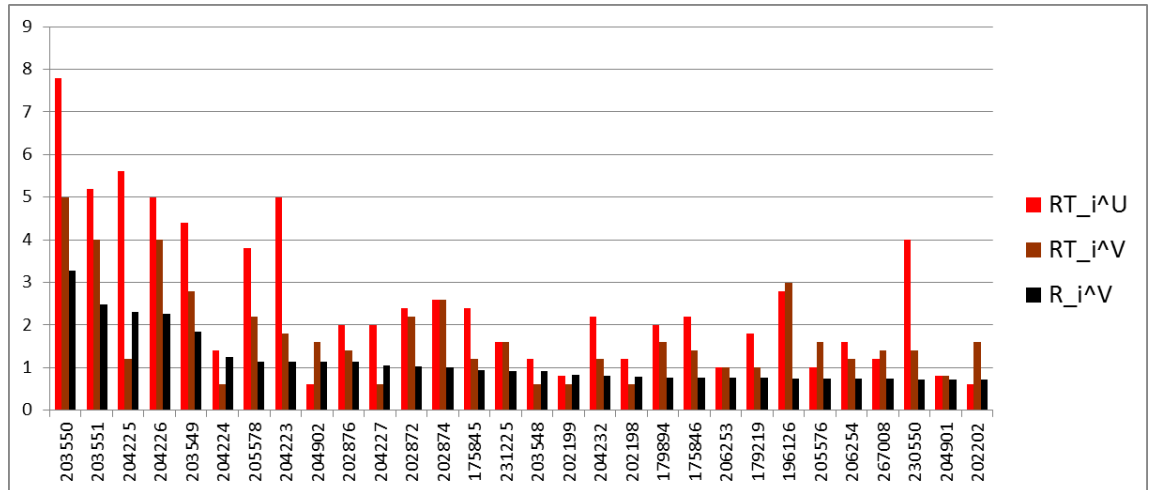
havaittavissa. Näiden suurimman rakennuspalojen ennustevirheen ruutujen sijaintialueita ovat Jyväskylän keskusta ja lähiöitä, Jämsä (keskusta ja Kaipola), Äänekoski, Suolahti, Laukaa ja Keuruu.

Järjestetään lopuksi Keski-Suomen aineisto kokonaisuudessaan rakennuspaloriskitason mukaiseen laskevaan järjestykseen ja esitetään samassa kaaviossa lisäksi sekä vanhat että uudet rakennuspalototeutumaluvut. Kuviossa 16 on esitetty tällä tavoin koko aineisto (vrt. kuvio 7), ja siitä nähdään ennustevirheen absoluuttisen arvon karkea pieneneminen ruudun riskitason pienetessä.



Kuvio 16. Keski-Suomen aineiston rakennuspalototeutumat ja rakennuspaloriskitasot kun ruudut laitettu rakennuspaloriskitason R_i^V mukaiseen järjestykseen (vaaka-akselilla juokseva järjestysnumero)

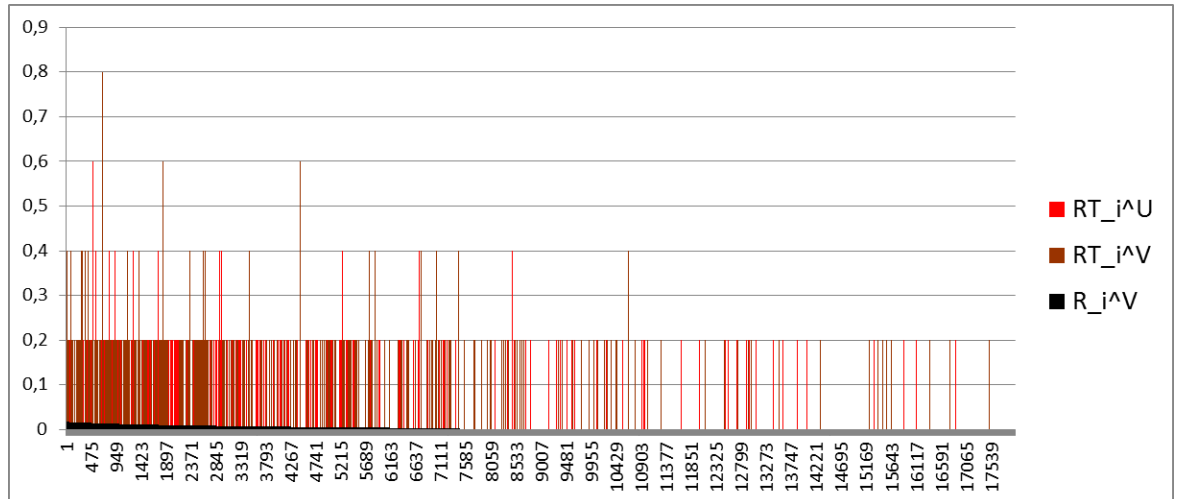
Selkeytetään jälleen tilannetta jakamalla aineisto osa-alueisiin. Kuviossa 17 on esitetty 30 suurimman rakennuspaloennusteen ruutua.



Kuvio 17. Keski-Suomen ruuduista ne 30 joilla rakennuspaloriskitaso R_i^V on suurin, järjestettynä rakennuspaloriskitason mukaan ja toteutumat RT_i^U ja RT_i^V esitetty (vaaka-akselilla Id nro)

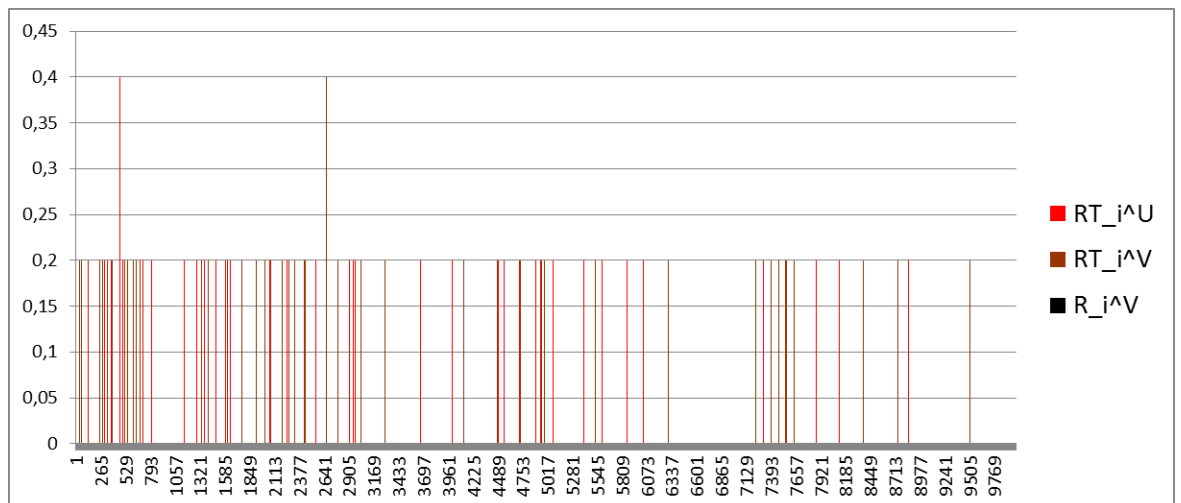
Kuvio 17 osoittaa että rakennuspalojen tapauksessa ennusteiden R_i^V ja toteutumien RT_i^U erot korkean riskin ruuduissa eivät ole suhteellisesti niin suuria kuin yleisessä tapauksessa (kuvio 8). Sekä uusi toteutuma RT_i^U että vanha toteutuma RT_i^V ovat välillä jopa ennusteen R_i^V alapuolella. Pääsääntöisesti vanha toteutuma RT_i^V tuntuisi tällä alueella kuvaavan uutta toteutumaa RT_i^U hieman paremmin kuin ennuste R_i^V , mutta useita poikkeustapauksiakin löytyy.

Tutkitaan vastaavalla tavalla aineiston matalan riskitason päätä. Kuviossa 18 on poistettu korkean riskin päästä lähtien n. 2000 ruutua, ja siitä nähdään ehkä hieman selkeämmin kuinka rakennuspaloriskitaso menee nolllaksi ruudun 7500 tienoilla (vrt. kuvio 9). Ainakin tähän asti rakennuspalototeutuma näyttäisi harvennevan riskitason alentuessa; tästä eteenpäin järjestystekijää ei aineistossa enää ole, ja toteutumatiheys saattaa olla epäsäännöllisempi.



Kuvio 18. Keski-Suomen ruuduista ne 18 000 joilla rakennuspaloriskitaso R_i^V on pienin, järjestettynä rakennuspaloriskitason mukaan ja toteutumat RT_i^U ja RT_i^V esitetty (vaaka-akselilla juokseva järjestysnumero)

Kuviossa 19 on poistettu aineiston alusta n. 10 000 ruutua, ja siinä näkyy selvästi uuden ja vanhan toteutuman satunnainen vaihtelu, eli tällä alueella rakennuspa-
lojen määrän ennustetta ei voisi perustaa vanhaan toteutumaan. Ylipäättään ma-
talan riskin ruutuja kuvaavissa aineistossa tulee nyt erityisen selvästi esille toteu-
tuma-arvojen diskreettiys, koska toteutuma-arvot ovat niin pieniä.



Kuvio 19. Keski-Suomen ruuduista ne 10000 joilla rakennuspaloriskitaso R_i^V on pienin, järjestettynä rakennuspaloriskitason mukaan ja toteutumat RT_i^U ja RT_i^V esitetty (vaaka-akselilla juokseva järjestysnumero)

Kuvioista 18 ja 19 voidaan pistää merkille myös se, että alueella jossa rakennus-
paloriskitaso R_i^V on nolla ei kai pitäisi sijaita yhtään rakennuksia, mutta kuitenkin

noiden alueiden ruuduissa on tapahtunut jonkin verran rakennuspaloja. Tämä voi johtua virheellisistä tiedoista ruutuaineiston pohjana olevissa kiinteistö- ja väestökisteritiedoissa. Toisaalta osasyynä on varmasti myös se, että käytetyssä aineistossa rakennuspaloriskitason tarkkuus ei ole kovin hyvä, eli se on pyöristetty nolllaksi liian aikaisin (eksponenttifunktion määräämä riskitasohan ei todellisuudessa mene koskaan nolllaksi). Tämä ongelma lähtötiedoissa hankaloittaa ennusteen toimivuuden tutkimista matalilla riskitasoilla.

3.3.4 Yhteenveto rakennuspalojen ennusteiden ja toteutumien vertailusta

Rakennuspalojen tapauksessa ennustevirheet ovat selvästi pienempiä kuin kaikkia onnettomuuksia käsittelevässä yleisessä tapauksessa, johtuen siitä, että ennuste on tässä tapauksessa paremmin määritelty itse tutkittavaan ilmiöön perustuen (regressiomalli). Toisin kuin yleisessä tapauksessa, korkeintaan riskin ruuduissa ei ole enää itsestään selvää, että vanha toteutuma kuvaisi uutta toteutunmaa paremmin kuin rakennuspaloriskitason antama ennuste. Syynä voi olla se, että rakennuspaloit ovat kaikkien onnettomuuksien joukossa melko harvinaisia, jolloin satunnaisvaihtelu näkyy niiden toteutumissa selvemmin kuin kaikkien onnettomuuksien toteutumissa, mistä syystä eri ajanjaksojen toteutumaluvut poikkeavat toisistaan suhteellisesti melko paljon. Yleisessä tapauksessa toki ennusteen heikkouteen vanhaan toteutumaan verrattuna vaikutti osin ennusteen määritelmä jota ei oltu säädetty optimaalisesti varsinaista ennustamista ajatellen.

Matalan riskin ruuduissa ennuste menee pohja-aineistossa tehdyn rajun pyöristyksen takia nolllaksi, eikä siten saada kovin luotettavaa informaatiota ennusteen toimivuudesta tällä alueella. Myöskään vanha toteutuma ei ennusta matalan riskitason alueella uutta toteutunmaa ruututasolla juuri mitenkään.

Eräs mahdollinen syy sille, että ennusteet ovat rakennuspalojenkin osalta pääsääntöisesti toteutunmaa pienempiä, voisi olla regressiomallin rakentaminen huomioimatta rakennuspalovaaroja. Tässä tutkimuksessa käytettävissä olevassa aineistossa rakennuspaloiksi katsottiin sekä oikeat rakennuspaloit että rakennuspalovaarat, jolloin toteutuman voisi odottaakin olevan pelkkien rakennuspalojen ennustetta suurempi.

Tässäkin analyysissä toteutumalukujen nollien suuri määrä aiheuttaa sen, ettei korkean ja matalan riskin alueilla suhteellisia ennustustarkkuuksia voida ruututasolla vertailla. Siksi luvussa 3.4 tutkitaan myös rakennuspalojen tapauksessa ruutujen jakoa riskitasoa kuvaaviin luokkiin ja näiden luokkien suhteellisia ennustevirheitä.

3.4 Suhteelliset ennustevirheet

3.4.1 Suhteellisen vertailun idea

Luvussa 3.2 vertailtiin onnettomuustoteutuman ja ennusteen välistä erotusta ruututasolla. Havaittiin, että korkean riskin ruuduissa varsinaista ennustetta paremmin onnettomuustoteutumaa kuvasi vanha onnettomuustoteutuma, kun taas matalan riskin ruuduissa ennuste meni nolaksi uuden ja vanhan toteutuman suuruuden vaihdellessa satunnaisesti.

Jotta saataisiin paremmin esille ennustevirheen vaihtelu ruudun yleisen riskitason mukaan, asetetaan ruudut riskialttiutta kuvaavaan järjestykseen ja jaetaan ne tästä järjestyksestä luokkiin. Näiden luokkien ruuduille voidaan laskea ennusteiden ja toteutumien summia sekä suhteuttaa niitä eri tavoin.

Tehdään suhteellisten virheiden analyysi ensin kaikille onnettomuuksille (luku 3.4.1), ja sitten vertailun vuoksi pelkille rakennuspaloilta (luku 3.4.2). Riskialttiutta kuvaava järjestys määritellään näissä tapauksissa hieman eri tavalla, mutta luokkakoko on molemmissa 1000.

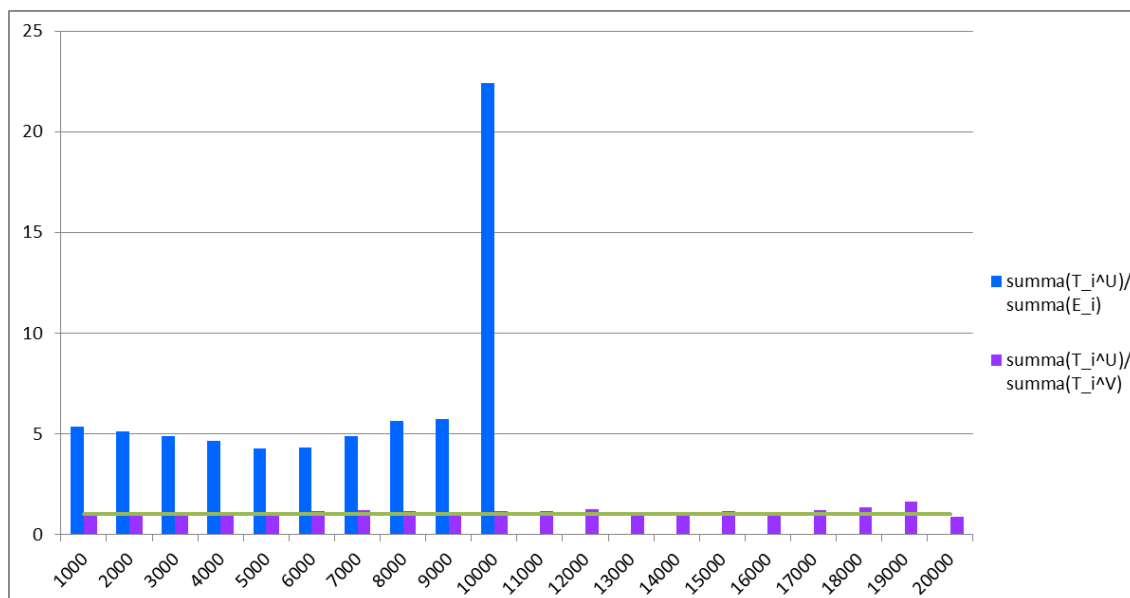
3.4.2 Kaikkien onnettomuuksien suhteelliset ennustevirheet

Kaikkien onnettomuuksien suhteellisten ennustevirheiden tutkimista varten järjestetään aineisto ennusteluvun E_i mukaisesti laskevaan järjestykseen. Erotetaan aineistosta tässä järjestyksessä n . tuhannen ruudun luokkia ja nimetään luokat niiden ylärajojen mukaan. Siis luokka 1000 sisältää ruudut 1-1000, luokka 2 ruudut 1001-2000 jne. (Teknisistä syistä jokaisen luokan koko ei ole täsmälleen 1000, mutta tällä ei ole juuri merkitystä tulosten kannalta.) Määritellään jokaiselle luokalle seuraavat suureet:

- ennuste: $\sum E_i$
- uusi toteutuma: $\sum T_i^U$
- vanha toteutuma: $\sum T_i^V$
- toteutuman ja ennusteen suhde: $\sum T_i^U / \sum E_i$
- suhteellinen ennustevirhe: $(\sum T_i^U - \sum E_i) / \sum T_i^U$
- uuden ja vanhan toteutuman suhde: $\sum T_i^U / \sum T_i^V$
- suhteellinen toteutumaerotus: $(\sum T_i^U - \sum T_i^V) / \sum T_i^U$

missä summa otetaan yli kyseisen luokan ruutujen.

Kuviossa 20 on esitetty luokittain toteutuman ja ennusteen suhde $\sum T_i^U / \sum E_i$ sekä uuden ja vanhan toteutuman suhde $\sum T_i^U / \sum T_i^V$. Vaakaviiva on ykkösen kohdalla osoittamassa missä kohti toteutuma vastaa ennustetta tai vanhaa toteutumaa hyvin.



Kuvio 20. Keski-Suomen aineiston ennusteen mukaan määriteltyjen luokkien toteutuman ja ennusteen suhde $\sum T_i^U / \sum E_i$ sekä uuden ja vanhan toteutuman suhde $\sum T_i^U / \sum T_i^V$

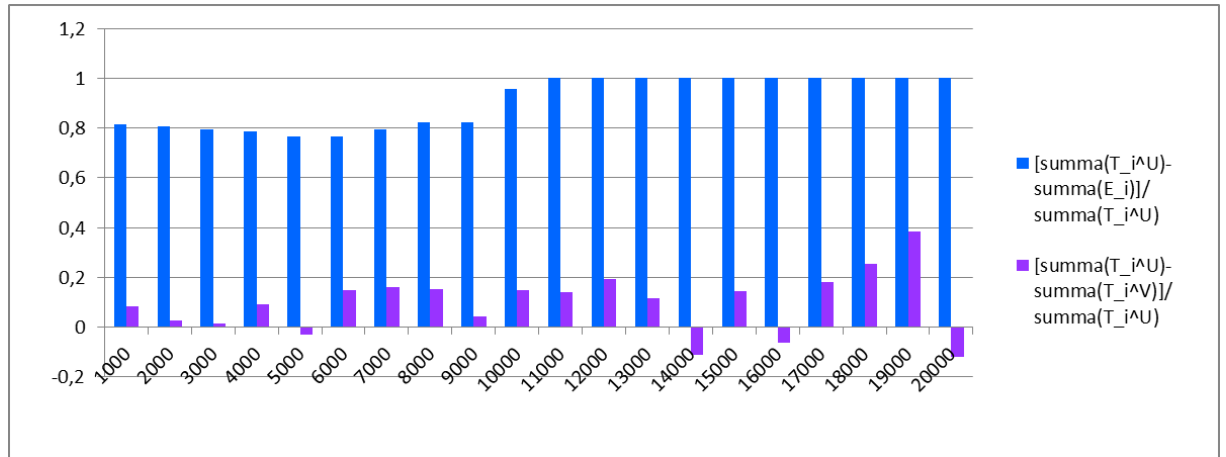
Kuviosta 20 havaitaan odotetusti, että uuden toteutuman ja ennusteen suhde $\sum T_i^U / \sum E_i$ on korkean riskin ruuduilla (luokat 1000, ... 9000) selvästi suurempi kuin uuden ja vanhan toteutuman suhde. Suuri ero toteutuman ja ennusteen välillä

johtuu nytkin siitä, ettei ennusteen määrittelyssä käytetyn kertoimen η valinta ole paras mahdollinen (ks. luku 3.2.4). Parhaiten toteutuma vastaa ennustetta sillä alueella jossa suhde $\Sigma T_i^U / \Sigma E_i$ on matalimmillaan (siis lähimpänä ykköstä), eli tässä tapauksessa luokkien 4000 – 6000 kohdalla.

Kuviossa 20 suureen $\Sigma T_i^U / \Sigma E_i$ korkea piikki luokan 10 000 kohdalla johtuu siitä että ennuste menee nolaksi "kesken" luokan, jolloin ΣE_i jää vajaaksi ja suhdeluku $\Sigma T_i^U / \Sigma E_i$ kasvaa rajusti. Loppupäässä (luokat 11 000 – 20 000) ei suhdelukua $\Sigma T_i^U / \Sigma E_i$ voida määrittellä lainkaan ennusteen ollessa tasan nolaa. Ennusteen meneminen nolaksi ei johdu itse mallista, vaan siitä että rakennuspaloriskitason määrittelevät luvut on lähtöaineistossa pyöristetty melko karkeasti, jolloin ne menevät noliksi jo varhaisessa vaiheessa. Tässä ei siis oikeastaan voida tulkita suhteellisen virheen nousevan jyrkästi, vaikka se laskennallisesti siltä näyttääkin (eli jakajan ollessa nolaa suhdeluku on ääretön). On todettava, ettei tällä rakennuspaloriskitason lähtötarkkuudella saada aikaan kunnollista arviota virheen käytöksestä aineiston matalamman riskin päässä.

Kuviosta 20 havaitaan myös, että toteutumien suhde $\Sigma T_i^U / \Sigma T_i^V$ pysyy korkeamman ennusteen alueilla hyvin lähellä ykköstä, mikä tarkoittaa, että näissä ruuduissa vanha toteutuma kuvaa uutta toteutumaa erittäin hyvin. Matalamman ennusteen alueella luku $\Sigma T_i^U / \Sigma T_i^V$ alkaa heittelemään ykkösen molemmin puolin. Tämä johtuu osin siitä, että luokasta 11 000 eteenpäin aineisto ei enää varsinaisesti ole missään järjestyksessä, sillä ainoa järjestyksiteeri (eli ruutukohtainen ennuste E_i) on vakio. Toisaalta tällä alueella myös ruutukohtaiset tapahtumamäärät ovat pieniä, mikä voi aiheuttaa heittelyä johtuen onnettomuuksien sattumisesta sijoittumisesta eri ruutuihin ja luokkiin.

Kuviossa 21 on käytetty toteutuman ja ennusteen suhteen sekä uuden ja vanhan toteutuman suhteen tilalla suhteellista ennustevirhettä $(\Sigma T_i^U - \Sigma E_i) / \Sigma T_i^U$ ja suhteellista toteutumaerotusta $(\Sigma T_i^U - \Sigma T_i^V) / \Sigma T_i^U$. Tämä esitystapa tuo paremmin esille ennustevirheiden pienten arvojen erot, kun taas suurten ennustevirheiden osalta vaihtelut tasaantuvat.



Kuvio 21. Keski-Suomen aineiston ennusteen mukaan määriteltyjen luokkien suhteellinen ennustevirhe $(\sum T_i^U - \sum E_i) / \sum T_i^U$ sekä suhteellinen toteutumaerotus $(\sum T_i^U - \sum T_i^V) / \sum T_i^U$

Kuviossa 21 esitetyt suhteelliset virheet ja erotukset ovat aina korkeintaan 1. Nollan lähellä oleminen kuvaa toteutuman hyvää vastaavuutta ennusteen tai vanhan toteutuman kanssa ja arvo 1 tilannetta jossa ennuste tai vanha toteutuma on nolla (tapaukset joita kuviossa 20 ei voitu määrittää). Luku voi olla myös negatiivinen, mikä kuvaa sitä, että toteutuma on ennustetta/vanhaa toteutumaa pienempi. Ääritapaus miinus ääretön tulee tilantessa, jossa toteutuma on nolla ja ennuste/vanha toteutuma positiivinen, mutta tätä ei kuviossa 21 esiinny.

Kuvio 21 sisältää oleellisesti saman informaation kuin kuvio 20, mutta erityisesti suhteellisen toteutumaerotuksen $(\sum T_i^U - \sum T_i^V) / \sum T_i^U$ osalta pienet poikkeamat tulevat nyt paremmin esille. Myös suhteellinen ennustevirhe $(\sum T_i^U - \sum E_i) / \sum T_i^U$ on pienimmillään luokkien 4000 – 6000 tienoilla, eikä luokkien järjestys enää ole todellinen luokasta 11 000 ylöspäin järjestystekijän E_i mennessä nollassi.

Kuvioista 20 ja 21 siis voidaan päätellä, että paras vastaavuus tässä määritellyn ennusteen ja toteutuman välillä saavutetaan keskikorkean riskin ruuduilla, ennustejärjestyksessä luokkien 4000 ... 6000 tienoilla. Tätä korkeamman riskin ruuduille vastaavuus on hieman huonompi ja myös matalampaan riskiin päin mentäessä vastaavuus näyttää huononevan, kunnes ennusteen mennessä kokonaan nollassi luokan 11 000 kohdalla järjestystekijä aineistosta häviää.

Tarkempaa rakennuspaloriskitason arvoa käyttämällä saataisiin järjestystekijä ulottumaan aineistossa pitemmälle ja siten tarkempaa tietoa virheiden käytöksestä matalamman riskin ruuduissa. Täsmällisemmän tiedon saamiseksi analyysi voisi olla hyvä toistaa myös käyttäen pienempiä luokkia (esim. 100 ruutua). Näiden korjausten tekemiseen ei tämän opinnäytetyön aikataulun puitteissa ollut mahdollisuutta, mutta käytännössä ne olisi hyvin helppo toteuttaa.

3.4.3 Rakennuspalojen suhteelliset ennustevirheet

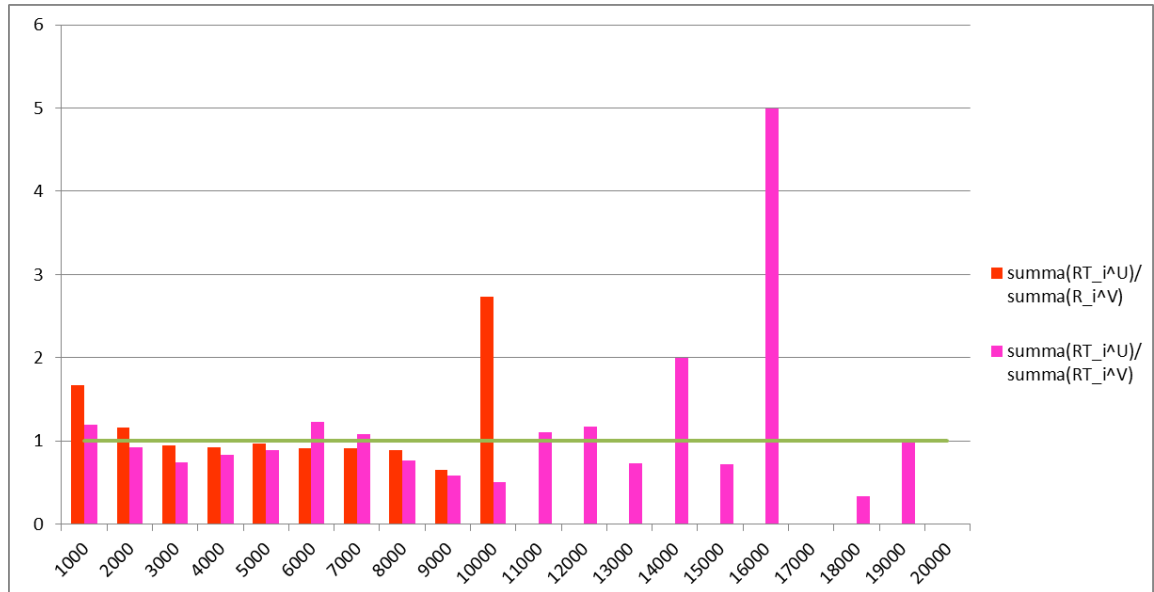
Tehdään vertailun vuoksi samanlainen analyysi käyttäen rakennuspaloihin liittyvää riskitasoa ja toteutumatietoja. Kuten luvussa 3.3 ennusteen roolissa käytetään vanhan riskianalyysin mukaista rakennuspaloriskitasoa R_i^V .

Nyt järjestetään aineisto laskevan rakennuspaloriskitason mukaan ja erotellaan n. 1000 ruudun luokiksi kuten edellä. Määritellään luokkakohtaiset suureet:

- rakennuspaloriskitaso: $\sum R_i^V$
- uusi rakennuspalototeutuma: $\sum RT_i^U$
- vanha rakennuspalototeutuma: $\sum RT_i^V$
- rakennuspalototeutuman ja riskitason suhde: $\sum RT_i^U / \sum R_i^V$
- rakennuspalojen suhteellinen ennustevirhe: $(\sum RT_i^U - \sum R_i^V) / \sum RT_i^U$
- uuden ja vanhan rakennuspalototeutuman suhde: $\sum RT_i^U / \sum RT_i^V$
- rakennuspalojen suhteellinen toteutumaerotus: $(\sum RT_i^U - \sum RT_i^V) / \sum RT_i^U$

missä summa otetaan yli kyseisen luokan ruutujen.

Kuviossa 22 on esitetty luokittain rakennuspalototeutuman ja riskitason suhde $\sum RT_i^U / \sum R_i^V$ sekä uuden ja vanhan rakennuspalototeutuman suhde $\sum RT_i^U / \sum RT_i^V$. Kuvioon 20 vertaamalla nähdään, että rakennuspalojen tapauksessa nämä suureet ovat selvästi lähempänä toisiaan kuin vastaavat kaikkia onnettomuuksia kuvaavat luvut $\sum T_i^U / \sum E_i$ ja $\sum T_i^U / \sum T_i^V$, johtuen siitä että, rakennuspaloriskitaso ennustaa rakennuspaloja paremmin kuin erikseen määritelty ennuste kaikkia onnettomuuksia.

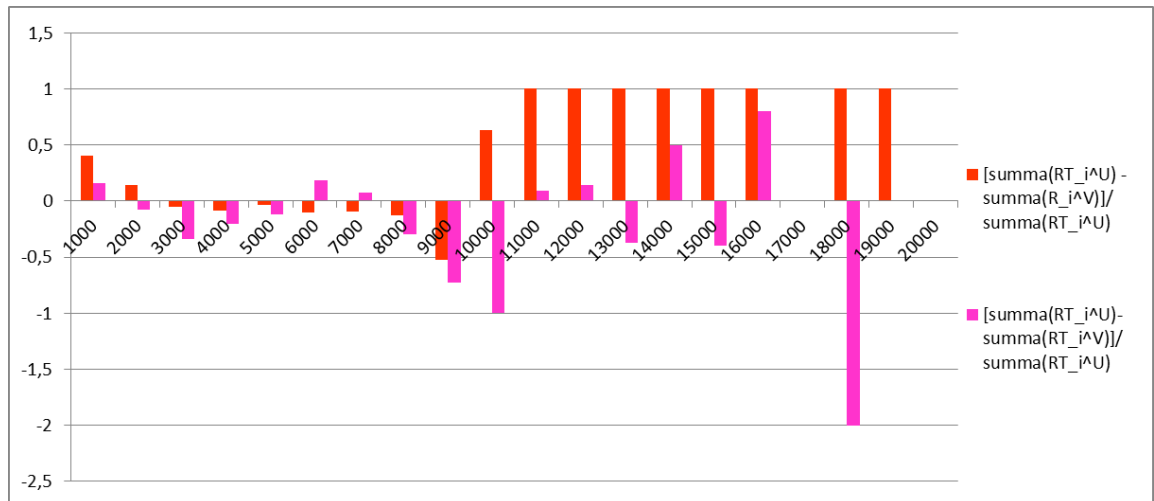


Kuvio 22. Keski-Suomen aineiston rakennuspaloriskitason mukaan määriteltyjen luokkien rakennuspalototeutuman ja riskitason suhde $\Sigma RT_i^U / \Sigma R_i^V$ sekä uuden ja vanhan rakennuspalototeutuman suhde $\Sigma RT_i^U / \Sigma RT_i^V$

Kuviossa 22 on jonkin verran on alle ykkösen olevia lukuja, mikä tarkoittaa, että rakennuspalojen toteutumamäärä on ollut pienempi kuin ennuste (eli riskitaso) tai aiempi toteutuma. Kuten kaikkien onnettomuuksien tapauksessa (kuvio 20), luvun $\Sigma RT_i^U / \Sigma R_i^V$ piikki luokan 10 000 kohdalla tarkoittaa jälleen ennusteen R_i^V menemistä nollassi kesken luokan. Tämän jälkeen (luokat 11 000, .. 20 000) suhdetta $\Sigma RT_i^U / \Sigma R_i^V$ ei voida määritellä ja toisaalta myöskään aineisto ei ole enää järjestettyä. Matalan riskin luokilla uuden ja vanhan rakennuspalototeutuman suhde $\Sigma RT_i^U / \Sigma RT_i^V$ vaihtelee suuresti johtuen paitsi järjestystekijän puutteesta, myös havaintoaineiston vähyyden aiheuttamasta satunnaisvaihtelusta.

Kuviossa 23 on käytetty rakennuspalojen suhteellista ennustevirhettä $(\Sigma RT_i^U - \Sigma R_i^V) / \Sigma RT_i^U$ ja toteutumaerotusta $(\Sigma RT_i^U - \Sigma RT_i^V) / \Sigma RT_i^U$, jolloin pienet virheet korostuvat ja suuret tasoittuvat. Kuten kuviossa 21, myös tässä nollassi lähellä olevat arvot tarkoittavat hyvää vastaavuutta ennusteen/aiemman toteutuman välillä ja ykköset tilannetta jossa ennuste (rakennuspaloriskitaso) on nolla. Tästä erottuu ehkä selvimmin se, että ennuste on parhaimmillaan (eli suhteellinen ennustevirhe $(\Sigma RT_i^U - \Sigma R_i^V) / \Sigma RT_i^U$ lähinnä nollassi) keskisuurilla riskitasoilla (luokkien 3000 – 7000 tienoilla). Luokan 10 000 jälkeen alkava suuri heittely johtuu jälleen

järjestyksen puutteesta ja pienestä aineistosta. Luokille 17 000 ja 20 000 toteutuma-arvo $\sum RT_i^U$ on nolla, joten suhteellisia erotuksia ei ole niille määritelty (myös ennuste $\sum R_i^V$ on näissä luokissa nolla, mutta vanha toteutuma $\sum RT_i^V$ positiivinen).



Kuvio 23. Keski-Suomen aineiston rakennuspaloriskitason mukaan määriteltyjen luokkien rakennuspalojen suhteellinen ennustevirhe ($\sum RT_i^U - \sum R_i^V$) / $\sum RT_i^U$ sekä rakennuspalojen suhteellinen toteutumaerotus ($\sum RT_i^U - \sum RT_i^V$) / $\sum RT_i^U$

Kuvioiden 22 ja 23 perusteella myös rakennuspaloilta ennusteen ja toteutuman vastaavuus on paras keskikorkean riskin ruuduille (luokat 3000 ... 7000). Korkeamman riskin ruuduille vastaavuus on hieman huonompi ja heikkenee myös matalampiin riskeihin päin mentäessä, kunnes menetelmän toimivuusalue loppuu luokan 11 000 kohdalla. Vertaamalla kuvioita 22 ja 23 kuvioihin 20 ja 21 nähdään, että yleisesti ottaen rakennuspalojen tapauksessa ennusteet vastaavat toteutumia korkean riskin alueella selvästi paremmin kuin yleisessä tapauksessa.

3.4.4 Yhteenveto suhteellisten ennustevirheiden tarkastelusta

Sekä kaikkien onnettomuuksien, että pelkkien rakennuspalojen tilanteessa ennusteet vastaavat toteutumaa parhaiten keskikorkean riskin ruuduilla (n. luokat 3000 ... 7000). Rakennuspalojen kohdalla vastaavuus on suorastaan hyvä, mutta kaikkien onnettomuuksien kohdalla tässä opinnäytetyössä määritelty ennuste on selvästi toteutumaa pienempi. Tämä liittyy ennusteen määrittelyssä käytetyn kertoimen η valintaan, joka ei ole paras mahdollinen.

Näiden ja luvussa 3.2 tehtyjen havaintojen perusteella riskianalyysin tarkkuutta voitaisiin ehkä parantaa painottamalla erityisesti korkean riskin ruutujen osalta enemmän vanhaa toteutunutta kuin rakennuspaloriskitasoon perustuvaa ennustetta. Keskip korkean riskin ruuduilla riskianalyysin antaman ennusteen ja toteutuman vastaavuus on parhaimmillaan, mutta ei silti kovin hyvä verrattuna vanhan ja uuden toteutuman vastaavuuteen. Tällä alueella ennusteen toimivuutta voisi parantaa määrittelemällä ennusteeseen liittyvän kertoimen η (ks. 3.1.3) tarkemmin juuri näitä ruutuja kuvaavaksi.

Matalan riskin ruutuihin päin mentäessä suhteellinen ennustevirhe näyttää myös kasvavan, mutta kovin tarkkaa analyysiä ei voida tehdä koska tässä lähtötietoina käytetyn aineiston rakennuspaloriskitason tarkkuus on melko huono, jolloin matalan riskitason aineistoa ei saada kokonaan järjestettyä sen avulla. Itse riskiluokkien määrittelyn kannalta riskitason tarkkuudeksi riittäisi paljon vähempikin (4-luokan ylärajana on 0,1), mutta riskianalyysin toimivuuden arvioimiseksi matalilla riskitasoilla tarvittaisiin suurempia tarkkuuksia. Luvun 3.3 havaintojen perusteella matalan riskin alueilla kuitenkin absoluuttinen ennustevirhe on selvästi pienempi kuin korkean riskin alueella. Tältä kannalta ajateltuna ennustetta voinee pitää matalan riskin alueella melko kelvollisena arviona onnettomuuksien määrälle. Paremman tiedon saamiseksi edelliset analyysit olisi hyvä toistaa käyttäen pienempää luokkajakoa (esim. 100 ruutua luokassa) sekä erityisesti matalan riskin alueilla tarkempaa rakennuspaloriskitason arvoa.

3.5 Visuaalinen vertailu

3.5.1 Visuaalisen vertailun idea ja konstruktio

Vanhan riskianalyysin antamaa ennustetta voidaan vertailla ennustetta vastaavan ajanjakson toteutumaan myös yksinkertaisella visuaalisella menetelmällä. Ideana on se, että lasketaan vanhasta riskianalyysistä kunkin tarkistetun riskiluokan prosenttiosuudet, asetetaan uusi ruutuaineisto järjestykseen toteutumaluvun perusteella ja jaotellaan se kvantiileja eli prosenttipisteitä käyttäen toteutumaluvun määäämiin luokkiin, joiden koot vastaavat vanhan riskianalyysin luokkien kokoja.

Toteutumaluvun perusteella määräytyvät luokat toimivat siis vertailukohtana riskianalyysin tuottamalle riskiluokitukselle: ne kuvaavat sitä minkälainen luokkajaon tulisi olla, jotta se vastaisi onnettomuustiheyden todellisuutta mahdollisimman hyvin. Asettamalla karttapohjalle vertailtavaksi sekä vanhojen riskiluokkien että toteutumaan perustuvien luokkien ruudut väritettynä luokkien väreillä saadaan havainnollisia visuaalisia esityksiä ennusteen puutteista.

Tämä menetelmä ei siis anna suoraan mitään kvantitatiivista tietoa riskiluokkennusteen virheistä, eikä se toisaalta toimi kovin laajoja alueita vertailtaessa, sillä pienillä mittakaavoilla ruutujen värityserot eivät enää näy niin hyvin. Kuitenkin esimerkiksi kaupunkikeskustan kokoisilla alueilla tämä visuaalinen analyysi voi antaa tietoa siitä minkä tyyppisissä ruuduissa ennusteessa olisi erityisesti parantamisen varaa.

Käytännössä visuaalisen vertailun toteuttaminen on hieman edellä kuvattua mutkikkaampaa. Ruutujen toteutumaluvut ovat diskreettejä (eli luvun $0.2 = 1$ onnettomuus / 5 vuotta monikertoja), jolloin matalamman riskin alueilla on paljon saman toteutumaluvun ruutuja, eivätkä nämä samanarvoisten ruutujen joukot yleensä noudata ennalta määrättyjen luokkien kokoja. Tässä asia on ratkaistu siten, että sovitettaessa laskevaan toteutumajärjestykseen asetettua ruutujoukkoa riskiluokkien kokoisiin luokkiin tutkitaan luokkien rajoilla kumpaan luokkaan olisi tulossa enemmän jotakin tiettyä toteutumalukua edustavia ruutuja, ja määritellään sitten kaikki vastaavan toteutumaluvun ruudut kuuluvaksi tähän samaan luokkaan. Näin saadut toteutumaan perustuvat luokat eivät siis ole täsmälleen saman kokoisia kuin alkuperäiset riskiluokat, mutta kuitenkin riittävän lähellä tällaista karkeaa analyysiä varten.

Taulukossa 12 on vertailtu tarkistettujen riskiluokkien ja edellä kuvatulla tavalla määriteltujen toteutumaan perustuvien luokkien kokoja. Lisäksi siinä on esitetty ne toteutumaluvun rajat, jotka tässä tapauksessa muodostuivat toteutumaan perustuvien luokkien rajoiksi. Huomataan, että nämä ”oikeiden toteutumaluokkien” 2 ja 1 alarajat (eli luvut 1,6 ja 8,0) ovat matalampia kuin nykyisessä riskianalyysissä käytettävät toteutumaluokkien rajat (eli luvut 2 ja 10 joita korkeammilla toteutumaluvuilla varustetut ruudut voidaan korottaa luokkiin 2 tai 1 vastaavasti; ks. taulukko 4).

Taulukko 12. Tarkistettujen riskiluokkien ja toteutumaan perustuvien luokkien kovertailua

Tarkistettu riskiluokka	koko	Toteutumaan perustuva luokka	koko	Toteutumaan perustuvat luokkarajat
1	13	1	13	8.0 ... 22
2	148	2	147	1,6 ... 7.8
3	214	3	245	0,8 ... 1,4
4	19576	4	19546	0 ... 0,6

Taulukossa 13 on tutkittu toteutumaan perustuvien luokkien koostumista tarkistettujen luokkien ruuduista. Kaikissa luokissa näkyy jonkin verran riskiluokkien ja toteutuman ”sekoittumista”, eli osalla ruuduista on määritelty riskitaso turhan suurena toteutumaan nähden ja osalle taas liian pienenä. Toteutumaan perustuva luokka 4 näyttäisi vastaavan parhaiten tarkistettua riskiluokkaa, mutta tässä pitää myös huomata, että toteutumalukuun perustuvassa luokittelussa piti asettaa 4-luokan yläraja siten, että tästä luokasta tuli jonkin verran pienempi kuin vastaavasta tarkistetusta riskiluokasta.

Taulukko 13. Toteutumaan perustuvien luokkien koostuminen tarkistettujen riskiluokkien ruuduista

Toteutumaan perustuva luokka	1				2				3				4			
Tarkistetun riskiluokan ruutujen osuus toteutumaan perustuvassa luokassa (%)	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	82	18	0	0	3	65	18	15	0	13	30	56	0	0	1	99

3.5.2 Esimerkkejä visuaalisesta vertailusta

Seuraavaksi havainnollistetaan visuaalista vertailumetodia muutamien Keski-Suomen asutuskeskuksen antamien esimerkkien avulla. Kukin tutkittava asutuskeskus esitetään asettamalla rinnakkain kaksi samaa aluetta esittävää karttakuva, joista vasemmanpuoleiseen on merkitty vanhan riskianalyysin mukainen tarkistettu luokkajaotus ja oikeanpuoleiseen edellä määritelty toteutumaan perustuva luokkajaotus.

Kuvio 24 esittää Jyväskylän keskustan ympäristöä, ja siinä havaitaan useita ruutuja, joissa vanhan riskianalyysin antama ennuste on poikennut toteutumasta

suuntaan tai toiseen. Erityisesti huomionarvoista on se, että tarkistettujen riskiluokkien jaotuksen perusteella kaikki 13 1-luokan ruutua sijaitsevat Jyväskylän keskustassa, kun taas toteutumaan perustuvan luokkajaon mukaan 13:sta riskialtteinna ruuduista vain 10 on Jyväskylän keskustassa ja kolme muuta sijaitsevat Jämsässä, Äänekoskella ja Vaajakoskella.

Kuvion 24 perusteella Jyväskylän keskustan ympäristössä erityisesti tietyillä asuinlähiöillä toteutumaan perustuva riskitaso tuntuisi olevan ennustettua matalampi (ruudut, jotka ovat vasemmanpuoleisessa kuvassa punaisia ja oikeanpuoleisessa keltaisia). Toisaalta Holstin risteyksen sisältävä ruutu on toteutuman mukaan riskialttiimpi kuin ennusteen mukaan (vasemmassa kuvassa keltainen, oikeassa punainen).



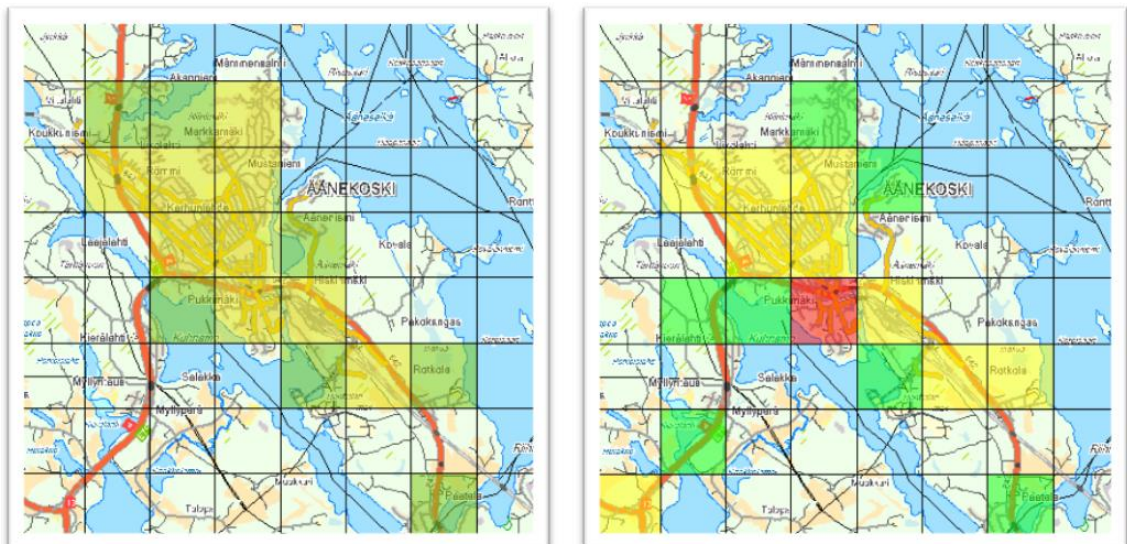
Kuvio 24. Tarkistettujen riskiluokkien (vas.) ja toteutumaan perustuvien luokkien (oik.) vertailua Jyväskylän keskustan alueella (Maanmittauslaitos 2016)

Kuviossa 25 on tutkittu vastaavalla tavalla Jämsän keskustan ympäristöä. Toteutuman mukaan Jämsän keskustassa sijaitsee siis yksi Keski-Suomen riskialtteinna ruuduista (punainen ruutu oikeanpuoleisessa kuvassa), vaikka se ei tarkistettuihin riskiluokkiin perustuvassa ennusteessa riskialttiina erotukaan. Kuvioista löytyy myös useita muita ruutuja, joissa vanhan riskianalyysin antama ennuste on poikennut toteutumasta suuntaan tai toiseen.



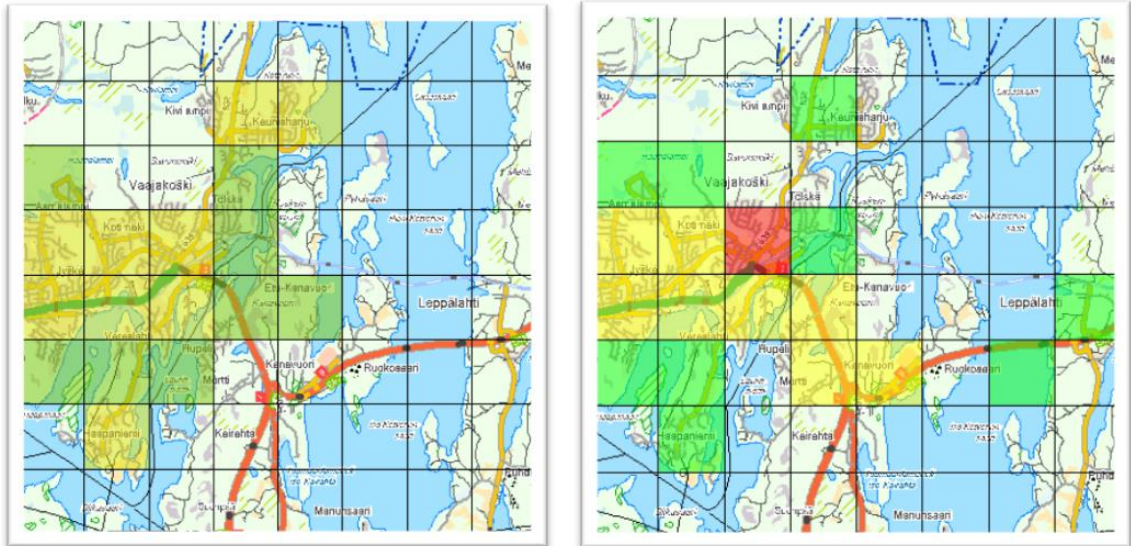
Kuvio 25. Tarkistettujen riskiluokkien (vas.) ja toteutumaan perustuvien luokkien (oik.) vertailua Jämsän keskustan alueella (Maanmittauslaitos 2016)

Kuviossa 26 on tutkittu Äänekosken aluetta. Odotettua riskialttiimmiksi tällä alueella ovat osoittautuneet muun muassa keskustaruutu (oikean puoleisen kuvan punainen ruutu) sekä alueen vasemmassa alakulmassa sijaitseva Huutomäen risteuksen (4- ja 13-tiet) ruutu, joka ennusteen mukaan on luokkaa 4, mutta toteutuman mukaan luokkaa 2.



Kuvio 26. Tarkistettujen riskiluokkien (vas.) ja toteutumaan perustuvien luokkien (oik.) vertailua Äänekosken keskustan alueella (Maanmittauslaitos 2016)

Kuviossa 27 esitetään Vaajakosken alue, joka myös sisältää yhden toteutuman mukaan luokkaan 1 kuuluvista ruuduista. Tässäkin Vaajakosken ABC:n risteys-alue (4- ja 9- tiet) erottuu selkeästi ennustetta suuremman toteutuman takia ympäristöstään (ennusteen mukaan luokkaa 4, toteutuman mukaan luokkaa 2).



Kuvio 27. Tarkistettujen riskiluokkien (vas.) ja toteutumaan perustuvien luokkien (oik.) vertailua Vaajakosken alueella (Maanmittauslaitos 2016)

Visuaaliseen vertailuun liittyvien kuvioden perusteella voidaan tehdä myös yleisempiä päätelmiä siitä minkä tyyppisissä ruuduissa riskianalyysimalli ennustaa onnettomuuksia liikaa ja missä liian vähän. Edellisen, Keski-Suomen asutuskeskuksiin kohdistuneen tarkastelun perusteella vaikuttaisiin karkeasti ottaen siltä, että nykyinen riskianalyysimalli korostaa suurten kaupunkien asuinlähiöiden riskejä turhan paljon, kun taas liikenteen ja pienempien keskustojen riskit arvioidaan liian pieniksi.

Visuaalista analyysiä voisi soveltaa myös luvussa 3.2 käsitellyyn ennusteen ja toteutuman vertailuun. Jokaiselle ruudulle voisi laskea toteutuman ja määritellyn ennusteen erotuksen (eli ennustevirheen), jakaa aineiston luokkiin ennustevirheen perusteella ja esittää tuloksen teemakarttana jossa ruudun värin sävy ja tummuusaste ilmaisisi ennustevirheen etumerkin ja itseisarvon. Näin saataisiin tarkempaa tietoa siitä, miten paljon ennuste on poikennut toteutumasta missäkin ruudussa. Luvussa 3.1.3 määritelty ennuste vaatisi kuitenkin vielä pieniä parannuksia ennen kuin tämän tyyppinen tutkimus antaisi hyviä tuloksia, joten tähän

opinnäytetyöhön varattu aika ei riittänyt tällaisen analyysin toteuttamiseen käytännössä.

4 PARANNUSEHDOTUKSIA NYKYISEEN RISKIANALYYSIMENETELMÄÄN

4.1 Nykyisen menetelmän uusi muotoilu

4.1.1 Nykyisen muotoilun ongelmia

Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjetta voisi itse riskianalyysimenetelmään liittyvien parannusten lisäksi kehittää myös muuttamalla sanamuotoiluja ja painotuksia sellaisiksi, että ne ohjaisivat käyttäjiä tekemään parempia ratkaisuja riskianalyysin tarkkuuden kannalta. Riskianalyysimenetelmä on kuvailtu tiiviisti suunnitteluohjeen luvussa 4.1 (Sisäasiainministeriö 2012, 7 – 8) ja siitä nousee mieleen seuraavat mahdolliset ongelmakohdat:

- Selkeyden puute: Sanalla ”riskiluokka” on kaksi eri merkitystä, sekä alustava, rakennuspaloja kuvaavan regressiomallin antamasta riskitasosta määräytyvä riskiluokka, että lopullinen, mahdollisesti toteutuman perusteella korotettu riskiluokka. Asialla ei sinänsä ole kovin suurta merkitystä asian ymmärtämisen kannalta, mutta se voi joissakin tilanteissa sumentaa ajatusta ja aiheuttaa virheitä, kun eri henkilöt käyttävät termiä eri merkityksissä.
- Painotus: Tekstistä voi saada sellaisen vaikutelman, että rakennuspalo-riskitason perusteella määräytyvä rakennuspaloriskiluokka olisi jotenkin ”järeämpi” kriteeri johon tehtävät muutokset (korotukset) pitää erikseen harkita ja perustella. Voisi olla parempi korostaa rakennuspalojen perusteella määräytyvää riskitasoa vain riskianalyysin yhtenä osana ja kohdella onnettomuustoteutuman perusteella määräytyvää riskitasoa samanarvoisena tämän kanssa.

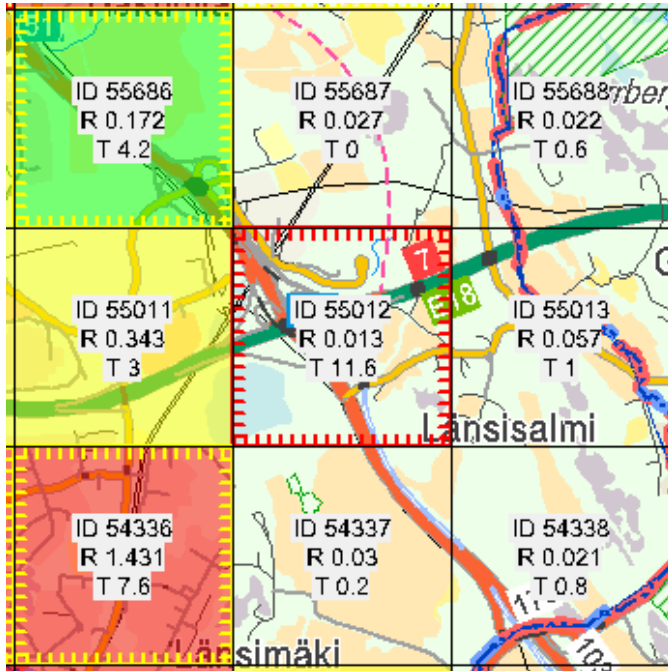
Esimerkkinä painotukseen liittyvistä ongelmista voisi mainita tavan, jolla nykyisessä Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeessa käsitellään onnettomuustoteutumaan perustuva riskiluokan kiristäminen. Asia ilmaistaan seuraavasti:

Regressiomallilla määritellyn riskitason lisäksi pelastuslaitos arvioi ne riskiruudut, joissa on tapahtunut riskiluokan määrittäviä onnettomuuksia viiden vuoden seurantajaksolla keskimäärin vähintään

kaksi vuosittain. Pelastuslaitos voi arvioinnin perusteella korottaa riskiruudun riskiluokkaa seuraavasti:

- Riskiruutu, jossa on tapahtunut vähintään 10 riskiluokan määrittävää onnettomuutta vuodessa viiden vuoden seurantajaksolla, voidaan korottaa riskiluokkaan I.
- Riskiruutu, jossa on tapahtunut vähintään kaksi mutta vähemmän kuin 10 riskiluokan määrittävää onnettomuutta vuodessa viiden vuoden seurantajaksolla, voidaan korottaa riskiluokkaan II. (Sisäasiainministeriö 2012, 8.)

Tämän ilmaisun sävy voi saada aikaan sellaisen mielikuvan, että riskiluokan kiristäminen toteutumaan perustuen olisi jotenkin ylimääräinen ja vapaaehtoinen toimenpide jonka avulla voidaan tarkentaa rakennuspaloriskitason määräämää riskiluokkaa. Joissakin tapauksissa tämä riskiluokan kiristäminen on kuitenkin välttämätöntä, mikäli rakennuspaloriski ei kuvaa alkuunkaan ruudun todellista onnettomuusmäärää. Esimerkki tällaisesta ruudusta on kuviossa 28 esitetty Vantaan alueella sijaitseva ruutu 55 012, jonka rakennuspaloriskitaso $R = 0,013$ sijoittaisi rakennuspaloriskiluokkaan 4, mutta joka (lähinnä liikenneonnettomuuksista johtuvan) onnettomuustoteutuman $T = 11,6$ perusteella harkitaan nostettavaksi riskiluokkaan 1.



Kuvio 28. Vantaan alueella sijaitseva ruutu 55 012, jossa rakennuspaloriskitaso R ja toteutumaluku T ovat räikeässä ristiriidassa (Maanmittauslaitos 2016)

Toinen riskianalyysin kokonaisuuden kannalta huomion arvoinen seikka kuvion 28 ruudun tapauksessa on siinä sattuneiden onnettomuuksien vakavuusasteen huomiointi. Onnettomuustietokanta-aineistojen tarkempi tutkimus osoittaa, että kyseisen ruudun onnettomuudet ovat olleet lähinnä pieniä peltikolareita, joten suuresta onnettomuusmäärästä huolimatta ruudun riskiluokkaa ei välttämättä ole järkeä kiristää ykköseksi. Tätä seurausten huomiointia riskiluokituksessa käsitellään tarkemmin luvussa 6.

Tässä luvussa on esitetty eräs tapa muotoilla riskianalyysin menettelyohje uudelleen. Mitään muutoksia riskianalyysimenetelmään ei tässä varsinaisesti esitetä, vaan tarkoitus on esittää sama asia yksityiskohtaisten ohjeiden kautta ja painottaen joitakin asioita eri tavoin. Asioiden jäsentely uudelleen saattaa auttaa myös tietojen käsittelyn järjestämisessä siten, että kaikki riskiluokituksen mahdollisesti vaikuttavat tekijät tulevat varmasti huomioiduksi. Luvussa 4.2 kuvaillaan niitä ongelmia, joita ei pelkällä uudella muotoilulla saada poistettua ja esitetään ajatuksia muutoksista, joiden avulla nykymallista riskianalyysiä voitaisiin tarkentaa.

4.1.2 Terminologiaa

Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeessa olevien perusmäärittelyjen lisäksi voisi ottaa käyttöön lisäterminologiaa, jonka avulla käsitteet erottuisivat selkeämmin toisistaan. Ehdotukset terminologiaksi on esitelty seuraavassa ja näitä termejä käytetään koko luvun 4 loppuosassa.

Kunkin ruudun **rakennuspaloriskitaso** on rakennuspalojen avulla luodun regressiomallin perusteella ruudussa olevan kerrosalan ja asukasluvun perusteella määräytyvä ei-negatiivinen luku (Tillander ym. 2010, 33; Sisäasiainministeriö 2012, 7). Vastaavasti ruudun **rakennuspaloriskiluokka** on uuden riskianalyysin valmistelussa käytettävä alustava riskiluokka joka perustuu rakennuspaloriskitason kautta ruudun kerrosalaan ja asukaslukuun (Sisäasiainministeriö 2012, 7). Rakennuspaloriskiluokkia on neljä ja niiden luokkarajat määräytyvät rakennuspaloriskitasosta taulukon 14 mukaisesti.

Taulukko 14. Rakennuspaloriskiluokan määräytyminen rakennuspaloriskitasosta

rakennuspaloriskitaso	≥ 1	$0,25 \leq \dots < 1$	$0,1 \leq \dots < 0,25$	$< 0,1$
rakennuspaloriskiluokka	1	2	3	4

Toteutumaluokalla tarkoitetaan jokaisen ruudun kohdalla uuden riskianalyysin valmistelussa viimeisen viiden vuoden ajalta kerätyn onnettomuustoteutumaluvun perusteella määräytyvää luokkaa. Onnettomuustoteutumaluku on kokonaisuonnettomuusmäärä vuotta kohti, eli viiden vuoden ajalta kerättyjen riskiluokan määrittävien onnettomuuksien lukumäärä jaettuna viidellä (Sisäasiainministeriö 2012, 6). Toteutumaluokkia on kolme ja ne määräytyvät onnettomuustoteutumaluvun perusteella taulukon 15 mukaisesti (tässä kirjainsymboli M viittaa matalaan toteutumaan).

Taulukko 15. Toteutumaluokan määräytyminen onnettomuustoteutumaluvusta

onnettomuustoteutumaluku	≥ 10	$2 \leq \dots < 10$	< 2
toteutumaluokka	1	2	M

Ruutukohtainen **tarkistettu riskiluokka** on riskianalyysin lopputuloksena saatava riskiruudun riskiluokka. Tarkistetun riskiluokan arviointiin käytetään rakennuspaloriskiluokkaa ja toteutumaluokkaa sekä lisäksi muitakin kriteereitä, joiden vaikutusta kuvaillaan tarkemmin luvussa 4.1.3.

4.1.3 Tarkistetun riskiluokan määrittäminen

Lähtökohtaisesti tarkistetun riskiluokan arvon määrää rakennuspaloriskiluokan arvo, mutta toteutumaluokka voi muuttaa tilannetta. Toteutumaluokkien ideana on korjata rakennuspaloriskiluokkien antamia mahdollisesti virheellisiä ennusteita tehtyihin havaintoihin perustuen. Toteutumaluokkien luonnollinen vastaavuus rakennuspaloriskiluokkien kanssa on taulukon 16 mukainen, mutta koska luokkien määrittelyt ovat toisistaan riippumattomia, ei tätä saada läheskään aina voimaan.

Taulukko 16. Toteutumaluokkien luonnollinen vastaavuus rakennuspaloriskiluokkien kanssa

rakennuspaloriskiluokka	1	2	3	4
toteutumaluokka	1	2	M	M

Peruseriaatteena on se, että mikäli ruudun toteutumaluokka on tiukempi (eli numeroarvoltaan pienempi) kuin sen rakennuspaloriskiluokka, otetaan tarkistetuksi riskiluokaksi toteutumaluokan arvo. Tällä menetelmällä tulee siis valituksi kahden erilaisen luokan määrittämisen välillä jokaiselle riskiruudulle aina se tapa joka osoittaa tiukempaa riskiluokkaa. Käytännössä vaihtoehdot ovat seuraavat:

- rakennuspaloriskiluokka 2, 3 tai 4 ja toteutumaluokka 1 -> tarkistetuksi riskiluokaksi 1
- rakennuspaloriskiluokka 3 tai 4 ja toteutumaluokka 2 -> tarkistetuksi riskiluokaksi 2

Riskiluokan kiristämistä tällä tavoin arvioidaan kuitenkin kunkin ruudun kohdalla erikseen. Kiristämistä ei tarvitse tehdä, mikäli muut seikat (kuten esim. tieosuuden tai risteyksen parantaminen lähitulevaisuudessa) viittaavat siihen, että ruudun onnettomuusriskit tulevat jatkossa olemaan pienempiä kuin seurantajakson toteutuma osoittaa.

Rakennuspaloriskiluokan ja toteutumaluokan lisäksi tarkistettua riskiluokkaa määritettäessä tarkastellaan myös erityisiä riskikohteita sekä lähtötietojen puutteista johtuvia poikkeamia. Riskikohteet ovat kohteita, joissa toiminta tai olosuhteet aiheuttavat tavanomaista suuremman vaaran tai jotka ovat keskeisiä yhteiskunnan kriittisten toimintojen turvaamisen kannalta. Nämä kohteet on huomioitava erikseen, sillä ne eivät tule esille pelkän kerrosalaan ja asukaslukuun perustuvan rakennuspaloriskitason avulla, eivätkä myöskään välttämättä toteutumaluvun kautta, mikäli kohteisiin liittyvät riskit eivät ole realisoituneet seurantajakson aikana.

Lisäksi voi olla olemassa muita sellaisia onnettomuusriskiennusteeseen vaikuttavia riskitekijöitä jotka eivät vielä ole tulleet ilmi. Tällaisia voivat olla esimerkiksi ruutuaineistosta puuttuvat kerrosalat ja/tai asukasmäärät sekä tilanne jossa alueelle on lähitulevaisuudessa tulossa merkittäviä rakennushankkeita. Myös tietyt sijainniltaan salassa pidettävät toiminnot puuttuvat ruutuaineiston pohjana olevista tietokannoista.

Tietoja riskikohteista ja muista poikkeamista kerätään alueellisten pelastuslaitosten henkilöstöltä ja kohteet paikannetaan riskiruutuihin. Ruutuaineistossa olevista väestötietojärjestelmän ja kiinteistörekisterin tiedoissa esiintyvistä virheistä voi saada vinkkejä tutkimalla aiempaa riskianalyysiä, jonka valmistelussa oletettavasti ainakin osa näistä virheistä on korjattu.

Täysin yksikäsitteistä ohjetta näistä kohteista kerättävien tietojen laadusta ja käsittelystä ei vielä ole. Periaatteena on kuitenkin se, että merkittäviä riskikohteita sisältävän ruudun riskiluokkaa voidaan harkinnan mukaan vielä kiristää siitä mihin se on rakennuspaloriskiluokan ja toteutumaluokan perusteella määräytynyt. Selkeissä virhetilanteissa (esim. liiallinen kerrosala on nostanut ruudun rakennuspaloriskitason liian suureksi) voidaan ruudun riskiluokkaa tietysti myös löysentää.

Tiivistetysti edellä kuvatun riskiluokkien määrittämisen voisi esittää karkeasti ottaen seuraavalla kaavalla:

$$\text{Riskiluokan arvo} = \min\{\text{rakennuspaloriskiluokka, toteutumaluokka}\} - \text{erityisriskikohteiden ja muiden poikkeamien huomiointi} \quad (7)$$

Minimifunktio ja miinusmerkki esiintyvät tässä sen takia että tiukempi riskitaso merkitään pienemmällä numerolla, ja erityisriskikohteet ja muut poikkeamat voivat vielä tiukentaa, eli pienentää luokan lukuarvoa.

4.1.4 Riskianalyysin vaiheet käytännössä

Tässä luvussa kuvailtava yksityiskohtainen menetelmä vastaa edellä kuvattua metodia ja Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjetta. Lisävaiheeksi on kuitenkin otettu vanhojen tarkistettujen riskiluokkien vertailu uusiin rakennuspaloriskiluokkiin. Tällä tavoin voidaan saada helpommin esille muun muassa sellaiset kerrosalaan liittyvät virheet, jotka on korjattu edelliseen riskianalyysiin, mutta jotka ovat vielä uuden riskianalyysin lähtötiedoissa entisellään. Lisäksi saadaan tietoa niistä ruuduista, joiden luokitus on muuttumassa vanhaan riskiluokitukseen nähden ja voidaan varautua muutoksiin ennalta.

Uuden riskianalyysin laadinta samalla vanhaan riskianalyysin vertaillen voidaan toteuttaa vaihe vaiheelta seuraavasti:

1. Tehdään ruutuaineistoon seuraavanlaiset luokkajaot:
 - jako rakennuspaloriskitason perusteella uusiin rakennuspaloriskiluokkiin
 - jako viimeisen 5 v seurantajakson osoittamiin toteutumaluokkiin
 - jako vanhan riskianalyysin mukaisiin tarkistettuihin riskiluokkiin

2. Paikannetaan ruutuaineiston ruutuihin erityisriskikohteet.

3. Otetaan ruutuaineistosta erilleen kolme eri ruuturyhmää:
 - ryhmä A: ne ruudut, joissa toteutumaluokka on kireämpi kuin uusi rakennuspaloriskiluokka (ks. taulukko 16)

- ryhmä B: ne ruudut, joissa uusi rakennuspaloriskiluokka poikkeaa vanhasta tarkistetusta riskiluokasta
- ryhmä C: ne ruudut, joissa on erityisriskikohteita tai muita poikkeamia

(Huomaa että ne ruudut joissa vanha tarkistettu riskiluokka ei vastaa toteutumaluokkaa sisältyvät luokkiin A ja B: jos ruutu ei kuuluisi kumpaankaan luokista A ja B, niin toteutumaluokka vastaisi rakennuspaloriskiluokkaa joka olisi sama kuin tarkistettu riskiluokka, eli toteutumaluokka vastaisi myös tarkistettua riskiluokkaa. Siksi näitä ruutuja ei tarvitse miettiä erikseen.)

4. Tarkistetaan kaikki ryhmien A, B ja C ruudut. Nämä ryhmät voivat olla osin päällekkäisiä, joten tarkistettavien ruutujen määrä on yleensä pienempi kuin ryhmien A, B ja C ruutujen summa. Lisäksi ryhmän C ruudut esiintyvät usein samaa riskikohdealuetta kuvaavina joukkoina, jolloin riittää tarkastella tällaista ruutujoukkoa yhtenä kokonaisuutena.
5. Harkinnanalaisten riskiruutujen lopullisen riskitason päättämistä varten on hyvä tehdä jokaisesta ruudusta standardimallinen yhteenvetopaperi, jonka sisältö voisi olla esimerkiksi seuraava:
 - ruudun ID ja sijainti (sanallisesti ja/tai kartalla)
 - riskitasokehitys: sekä vanhaan että uuteen riskianalyysiin liittyvästä ruutuaineistosta poimitaan ruutuun liittyvät oleelliset tunnusluvut, kuten asukasluku, kerrosala, rakennuspaloriskitaso ja/tai rakennuspaloriskiluokka, onnettomuustoteutumaluku ja vanhan riskianalyysin osalta myös lopullinen, tarkistettu riskiluokka
 - onnettomuustietokanta PRONTO:n avulla ruudussa viiden vuoden seurantajakson aikana tapahtuneista onnettomuuksista esimerkiksi seuraavat tiedot:
 - onnettomuuksien lukumäärät eroteltuina onnettomuustyypeittäin ja vuosittain; näitä voi halutessaan vielä havainnollistaa onnettomuustyyppijakaumaa ja onnettomuusmäärän vuosikehitystä esittävilla graafeilla

- henkilövahinkojen luonnehdinta: esimerkiksi kuolleiden ja lievästi/vakavasti loukkaantuneiden lukumäärät onnettomuustyypeittäin, mahdollisesti myös vuosikehitystä
- lisätietoja-osio, jossa luonnehdittu ruudun yleisimpiä onnettomuuksia (esim. liikenneonnettomuuksien tyypilliset syyt) sekä selvitetty mahdollisia ruudussa sijaitsevia erityisriskikohteita.
- ruudun karttakuva, jossa esitetty eri onnettomuustyyppit erilaisin symbolein

Esimerkki tällaisesta yhteenvedosta on liitteenä 1 esitetty Äänekosken keskusta-ruudun yhteenvedo kesällä 2016 tekeillä olevasta riskianalyysistä. Kyseinen ruutu on Keski-Suomen alueen osalta edustava siinä mielessä, että siinä on esiintynyt lähes kaikkia eriteltyjä onnettomuustyypppejä, jolloin myös tilankäyttöä yhteenve-topaperissa on jouduttu miettimään tarkemmin.

4.2 Jäljellä olevat ongelmat

Edellisessä luvussa esitellyt täsmennykset ja uudet painotukset eivät täysin korjaa nykymallisen riskianalyysin ongelmia. Edelleenkin ainoa onnettomuustyyppi, jonka riskeistä on olemassa perusteltu ennuste, ovat rakennuspalot. Muiden onnettomuustyyppien riskien arviointi perustuu vain aiempiin havaintoihin ja kuvaa siis lähinnä tilannetta menneisyydessä. Toisaalta vain riskiluokan kiristäminen on mahdollista, toisin sanoen kahdesta erilaisesta kriteeristä (rakennuspaloriskiluokka ja toteutumaluokka) valitaan aina se, jolla saadaan ruutu tiukempaan luokkaan.

Toki tällainen järjestelmä on tietyssä mielessä perusteltu. Rakennuspaloriskitason voidaan ajatella kuvaavan riskipotentiaalia ja tulevaisuuden näkymiä, kun taas mahdollisesti alhaisen toteutuman voidaan katsoa viittaavan sattumaan ja toisaalta menneisyyden tilanteeseen. Tästä syystä on luonnollista pitää uuden rakennuspaloriskiluokan osoittamaa riskin kohoamista tärkeämpänä tekijänä kuin vanhan toteutuman osoittamaa alhaista riskiä. Lisäksi turvallisuuden maksimoinnin kannalta tällainen riskiluokan kiristämiseen painottuva järjestelmä näyttää paremmalta kuin sellainen jossa joidenkin ruutujen luokitusta voisi näennäisen perusteettomasti löysentää.

Ongelmana tässä on se, että onnettomuustyyppien kannalta vinoutuneeseen lähtökohtaan yhdistettynä taipumus luokkien kiristämiseen aiheuttaa epäsuhtaa eri ruutujen välille. Toteutuma-arvojen rajat, joiden perusteella ruutujen riskiluokkien kiristämistä harkitaan, on pidettävä suhteellisen korkeina, jottei liian suuri määrä ruutuja nousisi ylimpiin riskiluokkiin. Tämän kääntöpuolena on se, että rakennuspalot dominoivat riskiluokittelussa vahvasti. Toisaalta, kuten luvussa 3.5 havaittiin, nykyisen riskianalyysin keinoin osa ruuduista tulee luokiteltua rakennuspaloriskitason kautta tarpeettoman kireään riskiluokkaan. Esimerkiksi asuinlähiöt nousevat suuren kerrosalan ja asukastiheyden takia rakennuspaloriskiluokituksessa korkealle, vaikka niissä tapahtuvien onnettomuuksien määrä on melko pieni. Nykyisellään ei ole olemassa perusteltua keinoa löysentää tällaisen ruudun riskiluokitusta koska selittäjää rakennuspaloriskitasoa systemaattisesti alemmalle toteutumalle ei ole.

Seuraavassa on kuvailtu eräitä ad hoc –tyyppisiä ratkaisuja joiden avulla nykyistä riskianalyysimallia olisi mahdollista parannella. Monien pienten parannusten läpikäyminen voi kuitenkin muodostua työlääksi, joten pitemmällä tähtäimellä varteenotettava vaihtoehto voisi olla myös kokonaan uudentyyppisten perusteiden etsiminen riskianalyysille. Eräitä optioita uudenlaisten riskianalyysimallien kehittämisen lähtökohdiksi on esitelty luvussa 7.

Luvussa 3.2 (erityisesti kuviot 6 – 10) havaittiin että pääsääntöisesti riskianalyysin rakenteeseen perustuva ennusteen määritelmä antaa korkean riskin alueilla onnettomuustoteutumalle liian pieniä arvioita, kun taas matalamman riskin alueilla ennuste pitää paikkansa jopa melko hyvin. Kuten luvussa 3.2.4 yhteenvedossa todettiin, voitaisiin ennusteen määritelmää muuttaa korjaamalla rakennuspaloriskitason kokonaistoteutuman ennusteeksi muuttavaa korotuskerrointa η siten, että ennuste vastaisi toteutumaa paremmin. Tätä ajatusta voitaisiin kehittää pitemmälle ja määrittää optimaalinen η erikseen eri riskitasojen ruuduille siten, että korkean riskin ruuduilla η olisi suurempi kuin matalan riskin ruuduilla, jolloin niidenomaan korkean riskin pään ennustevirheet korjautuisivat. Tämän jälkeen ruutujen riskiluokituksessa voitaisiin korvata rakennuspaloriskitaso ennusteen osoittamalla kokonaisriskitasolla ja korjata riskiluokat määrittäviä riskitason raja-arvoja tilanteeseen sopiviksi. Ongelmana tässä lähestymistavassa on se, että pi-

täisi kehittää uusia keinoja tunnistaa ne ruudut joissa ennusteeksi sopisi η :lla korjatun rakennuspaloriskitason sijaan paremmin vanha toteutumaluku. Lisäksi eri riskiluokkien rajapinnoilla olevat η :n hyppäykset voisivat aiheuttaa tarkkuuteen epäsäännöllisyyttä. Tämä tapa ei myöskään poistaisi kuviossa 8 näkyvää ongelmaa ennustetarkkuuden heittelemisessä korkean riskin ruuduilla.

Toinen tapa korjata nykyistä riskianalyysiä olisi painottaa korkean riskin ruuduissa toteutumaa enemmän kuin rakennuspaloriskitasoa. Luvun 3.2.3 kuvio 8 osoittaa, että korkean riskin alueella vanha toteutuma vastaa uutta toteutumaa selvästi paremmin kuin riskianalyysin rakenteeseen perustuva ennuste, eikä tähän ilmiöön voitaisi kovin tehokkaasti vaikuttaa edes ennusteen kerrointa η säätämällä. Voittaisiin siis sopia että korkean riskin ruuduissa ennusteena käytettäisiin suoraan vanhaa toteutumaa ja matalamman riskin ruuduissa (joissa vanha ja uusi toteutuma eivät vasta toisiaan) käytettäisiin rakennuspaloriskitasoon perustuvaa ennustetta. Tässä lähestymistavassa pulmana olisi sopivan rajan asettaminen sille, mistä riskitasosta alaspäin voitaisiin katsoa rakennuspaloriskitasoon perustuvan ennusteen olevan vanhaa toteutumaa parempi ennuste uudelle toteutumalle. Toisaalta ongelmaksi voi nousta ennusteen liika painottuminen aiemmin tapahtuneisiin onnettomuuksiin, jolloin nopeasti muuttuvissa ympäristöissä riskianalyysi ei pysyisi välttämättä ajan tasalla.

Eräs vaihtoehto toteutuman painoarvon nostamiseksi olisi seurata erityisesti näiden selvää ennusteen ja toteutuman välistä ristiriitaa ilmentävien ongelmaruutujen toteutumakehitystä useamman riskianalyysin seurantakerran ajalta ja sopia sitten riskitaso toteutuman mukaiseksi, ellei oleellisia muutoksia ruutujen rakenteessa ole odotettavissa. Hankaluutena tässä on työläisyys, eli joka tapauksessa pitäisi perustella kunkin ruudun rakenteen muuttumattomuus ja lisäksi useamman riskianalyysiaineiston tarkastelu kokonaisuudessaan pitäisi toistaa joka kerta uutta analyysiä laadittaessa, ettei jäätäisi jälkeen yleisestä kaupunkikehityksestä.

Ruutujaotukseen liittyen huomion arvoinen asia on myös se, että pinta-alaltaan ruutujen kanssa samaa kokoluokkaa olevien riskialttiiden alueiden huomiointi riippuu pitkälti siitä, miten ruutujen rajat sattuvat kohdistumaan alueeseen nähden.

Esimerkiksi pienen kunnan keskustaajama voi joko sijaita kokonaan yhden ruudun sisällä, tai sitten voi olla jaettuna vaikkapa neljään eri ruutuun. Rakennuspa-loriskitasoon ja toteutumaan perustuva ruutujen riskiluokitus voisi antaa ensimmäisessä tapauksessa yhdelle ruudulle tiukan riskiluokan, mutta jälkimmäisessä tapauksessa mikään ruutu ei nousisi riskiluokituksessa esille, vaikka alueen to-dellinen riskialttius olisi molemmissa tapauksissa täsmälleen sama. Alueella jolla tällaisia pieniä taajamia on useampia, voivat riskianalyysin perusteella määritetyt riskialttiudet eri taajamien välillä vaihdella sattumanvaraisesti todellisista riskeistä riippumatta.

Ruutujaotukseen liittyvän ongelman korjaaminen vaikuttaa haastavalta, sillä ruu-tujen koon muuttaminen ei sitä varsinaisesti poistaisi, vaan siirtäisi ongelmat eri kohteisiin. Esimerkiksi mainittu pieniin keskustaajamiin liittyvä ongelma olisi mah-dollista korjata pienentämällä ruutujen kokoa sellaiseksi, etteivät tyypillisen ko-koiset pikkutaajamat enää voisi mahtua yhden ruudun sisälle. Tämä voisi kuiten-kin johtaa ongelmiin esimerkiksi vaarallisten risteysalueiden kanssa, kun nykyään yhteen ruutuun mahtuva risteysalue jakautuisi useaan ruutuun, eivätkä alueen ruutujen onnettomuustoteutumaan perustuvat riskitasot enää muodostuisi niin korkeiksi, että alue erottuisi ympäristöstään.

Ennustetarkkuuteen ja ruutujen sijaintiin liittyvien ongelmien lisäksi pulmana on vielä se, että tällaisilla menetelmillä tulee käsiteltyä ruutujen riskialttiutta vain on-nettomuustiheiden kannalta. Todellisuudessa arvioitaessa ruudun riskiluokan ki-ristystä toteutuman perusteella huomioidaan myös se miten vakavia tapahtuneet onnettomuudet ovat olleet (vrt. kuvio 28). Tällaisten arvioiden tekeminen erikseen jokaiselle harkittavalle ruudulle erikseen on työlästä ja jättää mahdollisuuksia vir-heisiin tai ruutujen epätasapuoliseen kohteluun. Onnettomuuksien seurausten huomiointi systemaattisemmin vaatisi muutoksia koko riskianalyysiprosessiin. Joitakin ajatuksia tällaisen seuraukset huomioivan riskiluokittelun toteuttamisesta on esitetty luvussa 6.

Myös spatiotemporaalisuuden käsittely on nykyisessä riskianalyysissä hyvin sup-peaa. Ohjeet tähän on periaatteessa olemassa (ks. Sisäasiainministeriö 2012, 8), mutta käytännön toteutuksessa tuntuu olevan tiettyjä ongelmia. Luvussa 5

esitellään spatiotemporaalista riskianalyysiä sekä olemassa olevan menetelmän (luku 5.2) että uudenlaisen lähestymistavan (luku 5.3) kautta.

5 SPATIOTEMPORAALISUUSKYSYMYS

5.1 Spatiotemporaalisen riskianalyysin lähtökohdat

Eräs pelastustoimen kustannustehokkuutta parantava asia voisi olla spatiotemporaalinen riskianalyysi. Tämä tarkoittaa sitä, että alueiden onnettomuustiheyttä ennustavat riskitasot voisivat vaihdella ajan mukana. Spatiotemporaalisen riskianalyysin avulla voitaisiin suunnitella resurssien ajallinen sijoittaminen oikeisiin paikkoihin järjestelmällisemmin.

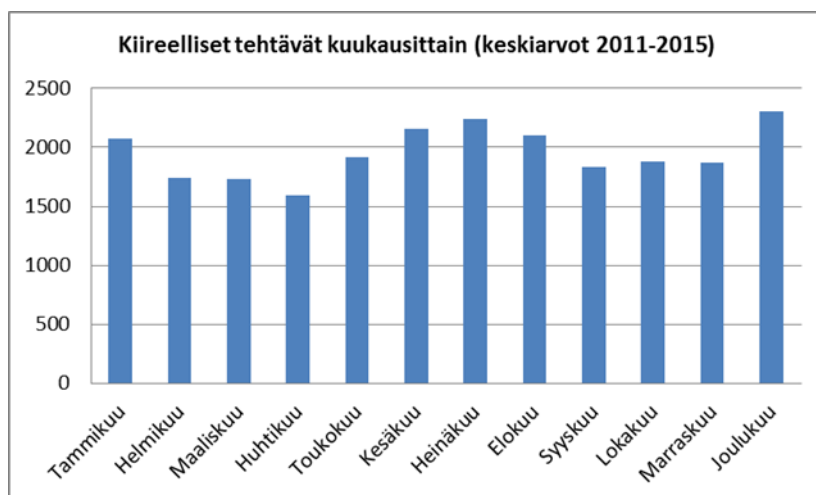
Spatiotemporaalisuuskyseminen vaikuttaa sellaiselta että sitä voitaisiin tulevaisuudessa käsitellä tiedonlouhinnan keinoin, esimerkiksi predictive policing –menetelmän johdannaisten avulla (tästä aiheesta lisää luvussa 7.4). Tässä luvussa lähestytään aihetta kuitenkin hieman yksinkertaisemmalla tasolla ja esitellään joitakin menetelmiä joiden avulla riskien ajallisen vaihtelun ennustaminen voisi onnistua nykyisin käytössä olevan tekniikan keinoin.

Aluksi kuvaillaan spatiotemporaalisen riskianalyysin perustana olevia jaksollisesti muuttuvia onnettomuusriskejä. Luvussa 5.2 pohditaan Pelastustoimen toiminta- valmiuden suunnitteluohjeessa esitettyä ajatusta, jossa otetaan lähtökohdaksi jokin ajankohta ja laaditaan sille oma riskianalyysi. Luvussa 5.3 taas esitellään toisenlainen mahdollinen ratkaisumenetelmä, jossa ajallinen riippuvuus liitettäisiin erikseen jonkin staattisen riskianalyysimallin päälle.

Onnettomuustiheyteen vaikuttavia ajasta riippuvia tekijöitä on sekä jaksollisia että jaksottomia. Jaksottomia tekijöitä voisivat olla esimerkiksi vuodenaikaan nähden poikkeuksellinen sää tai paikkakuntaan ja/tai ajankohtaan nähden epätavallisen suuri massatapahtuma. Tällaisia jaksottomia tekijöitä ei voine kovin helposti sisällyttää pitemmän aikavälin onnettomuusriskejä ennustavaan riskianalyysiin, vaan niihin on reagoitava erikseen niiden ilmaannuttua. Jaksollisia riskitekijöitä taas ovat muun muassa ihmisten luonnolliseen vuorokausi- ja viikkorytmiin sekä vuodenaikojen mukaisiin keliolosuhteisiin liittyvät riskit. Näiden riskien tunnetun vaihtelun perusteella voidaan laatia spatiotemporaalisia riskianalyysejä.

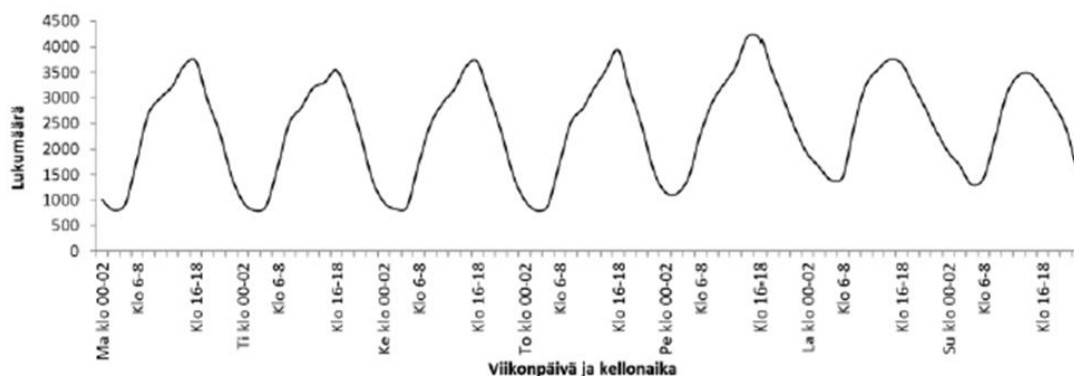
Onnettomuusmäärien yleisestä ajallisesta vaihtelusta saa käsityksen tilastoista tehtyjen graafisten esitysten avulla. Kuviossa 29 on esitetty vuosien 2011 - 2015

ajalta kerättyjen kiireellisten pelastustehtävien kuukausittaiset lukumäärät. Havaitaan, että riskialttiimpia vuodenaikoja ovat kaamos- ja kesälomakuukaudet.



Kuvio 29. Kiireellisten tehtävien lukumäärän vaihtelu kuukausittain (Pelastusopisto 2016, 12)

Kuviossa 30 taas on esitetty vuosien 2011 - 2015 ajalta pelastustoimenpiteitä vaatineiden hälytystehtävien lukumäärät viikon pituisella mallijaksolla. Tästä nähdään erityisen selvästi ihmisten luonnolliseen vuorokausirytmiiin liittyvät riskitason vaihtelut, mutta myös viikonpäivien osalta jonkinlaisia eroja riskitasojen osalta on havaittavissa.



Kuvio 30. Toimenpiteitä vaatineet hälytystehtävät viikon pituisella mallijaksolla (Pelastusopisto 2016, 13)

Tarkemman tiedon saamiseksi voitaisiin tutkia vastaavia vaihteluita myös vuosi kerrallaan ja pitemmältä ajalta, jotta selviäisi pysyvätkö vaihtelut vuodesta toi-

seen saman suuntaisina. Joka tapauksessa tuntuu uskottavalta, että onnettomuusmäärät noudattavat suhteellisen säännöllisiä vuorokauden, viikon ja vuoden pituisia jaksoja, ja tämän jaksollisuuden perusteella on mahdollista tehdä onnettomuusmääriä koskevia ennusteita.

5.2 Spatiotemporaalisuus: lähtökohtana aika

Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohjeessa on annettu jonkinlainen ohje spatiotemporaalisuuden huomiointiin riskianalysissä. Tarkkaan ottaen ohjeessa mainitaan seuraavaa:

Riskitaso ja toimintavalmius voivat vaihdella vuorokaudenajan, viikonpäivän tai vuodenajan mukaan. Jos riskitason arviointi regressiomallilla tai riskiluokan määrittävien onnettomuuksien perusteella on tehty vuorokaudenajan, viikonpäivän tai vuodenajan mukaisesti, voidaan soveltaa yllä mainittuja riskiluokkia arvioinnissa käytetyllä aikavälillä. (Sisäasiainministeriö 2012, 8.)

Tämä ohje saattaa tuntua hieman vaikeaselkoiselta ja vaatii tarkkuutta tiettyjen asioiden käsittelyssä. Seuraavassa on esitetty eräs vaiheittainen tapa ohjeen soveltamiseen.

- Valitaan ensin jokin jaksollisuustekijä (kuukausi, viikonpäivä tai vuorokaudenaika).
- Jaetaan lähtöaineiston onnettomuustiedot tämän tekijän määrittämiin ajanjaksoihin tapahtuma-ajankohdan mukaan (kuukaudet: 12 ajanjaksoa, viikonpäivät: 7 ajanjaksoa tai vuorokauden tunnit: 24 ajanjaksoa).
- Kiinnitetään jokin näistä ajanjaksoista (esim. tammikuu, tiistai tai klo 13-14) ja poimitaan Pronto-onnettomuustietokantaa käyttäen riskiruutuihin kaikki ne onnettomuudet jotka ovat tapahtuneet tarkasteluaikavälillä (esim. 5 vuotta) tuolla ajanjaksolla s (esim. kaikki tammikuussa tai tiistaisin tai klo 13 - 14 tapahtuneet onnettomuudet).
- Kunkin ruudun i kohdalla jaetaan onnettomuuksien lukumäärä tarkasteluaikavälin vuosien lukumäärällä (esim. 5:llä).

- Jokaiselle riskiruudulle i saadaan ajasta riippumattoman rakennuspaloriskitason R_i lisäksi tutkittavaa ajanjaksoa s vastaava vuosittainen onnettomuustoteutumaluku $T_i(s)$.
- Suhteutetaan toteutumaluvun rajat, joilla kiristetään ruudun luokkaa 2:een tai 1:een (eli luvut 2 ja 10; ks. esim. taulukko 4) ajanjaksoon s kertomalla ne s :n osuutta vuodesta vastaavalla kertoimella. Nämä rajat riippuvat vain ajanjakson s tyypistä ja ne on esitetty taulukossa 17.
- Määritetään jokaisen ruudun i riskiluokka rakennuspaloriskitason sekä ajanjaksoa vastaavan suhteutetun onnettomuustoteutumaluvun $T_i(s)$ perusteella.
 - Rakennuspaloriskitasolle R_i käytetään normaaleja luokkarajoja (luvut 0.1, 0.25 ja 1; ks. esim. taulukko 3) ja ajanjaksoa vastaavalle onnettomuustoteutumaluvulle $T_i(s)$ suhteutettuja rajoja.
- Siirrytään jaksollisuustekijän mukaisessa jaottelussa seuraavaan ajanjaksoon (esim. tammikuusta helmikuuhun tai tiistaista keskiviikkoon) ja toistetaan kaikkien ruutujen i riskiluokkien määrittäminen.
- Toistetaan niin kauan, että kaikki jaksollisuustekijän määräämät ajanjaksot (kuukaudet, viikonpäivät tai vuorokauden tunnit) on käsitelty.

Taulukko 17. Toteutumaluvun rajojen suhteutus ajanjakson s mukaisesti

s	Suhteutettu toteutumaluvun $T_i(s)$ raja joka kiristää ruudun i riskiluokkaa	
	2:een	1:een
kuukausi	$2 / 12 = 0,17$	$10 / 12 = 0,83$
viikonpäivä	$2 / 7 = 0,29$	$10 / 7 = 1,43$
vuorokauden tunti	$2 / 24 = 0,08$	$10 / 24 = 0,42$

Edelliseen menettelyohjeeseen liittyen on huomattava, että ajanjaksoon s liitetty toteutumaluku $T_i(s)$ kuvaa vain osaa toteutumaluvusta T_i , joka vastaa koko vuoden onnettomuustoteutumaa. Siksi toteutumalukuun T_i liitetyt riskiluokan kiristysrajat on madallettava samalle tasolle toteutumaluvun $T_i(s)$ kanssa. Rakennuspaloriskitasoa R_i sen sijaan ei tarvitse suhteuttaa ajanjakson s pituuteen, sillä sille

voidaan käyttää suoraan alkuperäisiä rakennuspaloriskiluokan rajoja. Mikäli halutaan vertailla ajanjaksoon s liitettyä toteutumalukua $T_i(s)$ rakennuspalojen enustettuun lukumäärään vastaavana aikana, on vertailu tehtävä vastaavalle ajanjaksolle suhteutetun rakennuspaloriskitason R_i kanssa.

Nykymallisessa riskianalyyssissä rakennuspaloriskitaso on hyvin dominoivassa roolissa. Toteutuman perusteella riskiluokkaa kiristetään tyypillisesti vain muutamman ruudun osalta, sillä korotusrajat ovat sen verran korkeat että harva alemman luokan ruutu saavuttaa ne. Koska rakennuspaloriskitasot ovat ajasta riippumattomia, voisi käydä niin, ettei tällaisen ajasta riippuvan riskianalyyssin avulla saataisi suurtakaan eroa tavalliseen, staattiseen riskianalyyssiin nähden. Toisaalta voisi myös olla että esimerkiksi vilkkaan liikenteen aikana esiintyvät liikenneonnettomuudet erottuisivat tässä varsin hyvin niissä ruuduissa joissa rakennuspaloriskitaso on matala. Menetelmää pitäisi kokeilla käytännössä ennen kuin sen toimivuudesta voi sanoa mitään varmaa.

Ajanjaksoa s vastaava ruudun i vuosittainen onnettomuustoteutumaluku $T_i(s)$ on aina luvun $1/n$ monikerta, missä n on toteutumien tarkastelujakson vuosien lukumäärä; esimerkiksi yleisesti käytetyn 5 vuoden tarkastelujakson antama $T_i(s)$:n porrastus 0,2. Taulukossa 17 esitetyt toteutumaluvun kiristysrajat ovat tämän suuruusluokan porrastukseen nähden niin pieniä, ettei niiden avulla välttämättä pystytä erottelemaan ruutuja järkevästi. Esimerkiksi kuukausitasolla ruudun kiristämiseksi 2-riskiluokkaan riittäisi, että ruudussa on tapahtunut yksi onnettomuus viidessä vuodessa tutkittavan kuukauden aikana ($T_i(s) = 0,2 > 0,17$). Samoin kävisi vuorokauden tuntien tasolla, eli 1 tapaus riittäisi korottamaan ruudun luokkaan 2 ($T_i(s) = 0,2 > 0,08$), mutta viikkotasolla tarvittaisiin 2 tapausta ($T_i(s) = 0,2 < 0,29 < T_i(s) = 0,4$). Tämä voi aiheuttaa sen, että toteutumien satunnaisuus pääsee vaikuttamaan ruutujen luokitteluun liiaksi.

Edellä kuvailussa menetelmässä on ongelmana myös se, että siinä tutkitaan vain yhtä jaksollisuustekijää kerrallaan. Jos siis valitaan tutkittavaksi kuukaudet, niin ei saada ennusteeseen mukaan viikonpäivän ja vuorokaudenajan mukanaan tuomia vaihteluita. Vastaavasti esimerkiksi liikenneonnettomuuksien vuorokautiset ajankohdat voivat olla kesällä erilaisia kuin talvella, jolloin valitsemalla jaksollisuustekijäksi pelkästään vuorokaudenaika ei saada näitä vuodenajan mukanaan

tuomia vaihteluita esille. Periaatteessa olisi tietysti mahdollista täsmentää arviota yhdistämällä useampi jaksollisuustekijä ja tutkia esimerkiksi tammikuisina tiistapäivinä klo 13 - 14 tapahtuneita onnettomuuksia. Tällöin kuitenkin onnettomuuksien toteutuma voisi muodostua niin pieneksi, että ne sijaitsisivat lähes sattumanvaraisesti eikä saataisi mitään luotettavia arvioita eri ruutujen riskialttiudesta tuona ajankohtana. Lisäksi tällaisessa tarkastelussa nousisi tutkittavien ajanjaksojen määrä suureksi: kuukauden, viikonpäivän ja kellonajan määäämiä ajanjaksoja on yhteensä $12 \cdot 7 \cdot 24 = 2016$ kappaletta.

5.3 Spatiotemporaalisuus: lähtökohtana staattinen riskianalyysi

Toisenlainen tapa ajatella spatiotemporaalista riskianalyysiä lähtee liikkeelle jostakin valmiista, staattisesta (eli ajasta riippumattomasta) riskianalyysistä ja aika-riippuvuus lisätään siihen erikseen. Seuraavassa on esitelty eräitä ajatuksia tämän tyyppisen riskianalyysin järjestämisestä. On huomattava, ettei tämä malli perustu mihinkään asiantuntijoiden suositukseen eikä mallin toimivuudesta käytännössä ole takeita. Mallin kehittelyn tarkoituksena on ollut antaa edellä esitellylle standardiratkaisulle vaihtoehto, jolla saatettaisiin kiertää tietyt ongelmat.

Tässä esiteltävään malliin pohjautuva spatiotemporaalinen riskianalyysi voidaan tehdä kahdella eri tasolla: joko käsitellään kaikkia onnettomuustyyppisiä yhdessä, tai erotellaan onnettomuustyyppit toisistaan. Ensin selostetaan yksinkertaistettu malli, jossa onnettomuustyyppit ovat samassa, ja sen jälkeen tämän ajatuksen luonnollisena laajenuksena varsinainen malli, jossa onnettomuustyyppit erotellaan. Yksinkertaistetun mallin käsittely on tässä esitetty lähinnä havainnollisuuden vuoksi, jotta varsinaisen mallin ymmärtäminen olisi helpompaa.

Yksinkertaisessa versiossa oletetaan, että on olemassa jokin kaikki onnettomuustyyppit sisältävä staattinen riskianalyysi, jossa jokaisen ruudun riskitasolle on annettu numeerinen arvo. Tällaiseksi riskianalyysiksi voitaisiin ottaa esimerkiksi nykymallin mukainen riskiluokitus, missä ruutujen luokat kvantifioidaan numeerisiksi arvoiksi kuten luvussa 3.1.3, tai mahdollisesti jollakin kehittyneemmällä ja tarkemmalla tavalla.

Haetaan onnettomuustietokanta Prontosta onnettomuuksien lukumäärien keskiarvot kuukausittain, viikonpäivittäin ja kellonajoittain (esim. tunnin tarkkuudella)

sellaiselta ajanjaksolta jota halutaan käyttää onnettomuusriskien vaihtelun mallina (esim. 5 viime vuotta, mutta voidaan tarvittaessa ottaa pitempikin aikaväli). Piirretään näiden kaikkien jakaumat erikseen, jolloin saadaan onnettomuustiheys ajan funktiona kolmella eri ajanjaksolla ja tarkkuudella. Kuukauden osalta siis kuva on itse asiassa sama kuin kuviossa 29. Viikonpäivän ja kellonajan osalta pitäisi tehdä vastaavat kuvat viikon ja vuorokauden pituiselta jaksolta erikseen. Periaatteessa tässä voisi kyllä hyödyntää myös viikonpäivän ja kellonajan yhdistävää kuviota 30, mutta asian esittämisen ja käytännön toteuttamisen kannalta on helpompaa pitää viikonpäivä- ja vuorokaudenaikajako tässä erillään.

Jakaumien $x(t)$, $y(t)$ ja $z(t)$ perusteella saadaan siis mille tahansa ajanhetkelle t määrättyä kolmen luvun jono. Jonon $(x(t), y(t), z(t))$ suureet määritellään taulukon 18 mukaisesti.

Taulukko 18. Lukujonon $(x(t), y(t), z(t))$ määritelmä

$x(t) =$	ajanhetkeä t vastaavan kuukauden keskimääräinen onnettomuustoteutuma
$y(t) =$	ajanhetkeä t vastaavan viikonpäivän keskimääräinen onnettomuustoteutuma
$z(t) =$	ajanhetkeä t vastaavan kellonajan keskimääräinen onnettomuustoteutuma

Kun skaalataan luvut x , y ja z ajan funktiona määrittäviä jakaumia sopivasti siten, että keskiarvot ovat kaikilla 1 (esim. suhteuttamalla yksittäiset arvot keskiarvoon), voidaan ajatella, että tulo

$$k(t) = x(t) * y(t) * z(t) \quad (8)$$

kuvaa **yleistä onnettomuusriskitasoa ajanhetkellä t** . Jos siis esimerkiksi ajanhetkellä t vallitseva kuukausi on tavallista riskialttiimpi, on luku $x(t)$ suurempi, jolloin se suurentaa lukua $k(t)$. Vastaavasti, jos ajanhetkellä t vallitseva vuorokaudenaika on onnettomuuksien kannalta hiljainen, on luku $z(t)$ pienempi ja pienentää lukua $k(t)$.

Staattisen riskianalyysin perusteella jokaiselle ruudulle i on olemassa numeerinen riskitasoa kuvaava ennuste E_i . Ruudulle i saadaan nyt määriteltä **ajanhetkeen t liittyvä spatiotemporaalinen riskitaso** tulona

$$R_i^{\text{spt}}(t) = E_i * k(t). \quad (9)$$

Spatiotemporaalinen riskitaso $R_i^{\text{spt}}(t)$ määräytyy tässä siis staattisen riskianalyysin antamasta ruudun i keskimääräisestä onnettomuusriskistä E_i , jota aikaan liittyvä riskikerroin $k(t)$ mahdollisesti nostaa tai laskee ajankohdan yleisen riskialtiuden mukaan.

Tämä kaikkia onnettomuustyyppjä yhdessä käsittelevä spatiotemporaalinen malli ei toki vielä ole kovin hienovarainen, sillä se ei ota huomioon eri onnettomuustyyppien erilaista ajallista ja paikallista vaihtelua, vaan olettaa että onnettomuustiheyden aikariippuvuus on jokaisessa ruudussa samaa muotoa. Menetelmää on kuitenkin mahdollista muokata huomioimaan eri onnettomuustyyppit paremmin käsittelemällä kutakin onnettomuustyyppiä erikseen.

Tätä varten valitaan onnettomuustyyppit, joiden perusteella erottelua halutaan tehdä (esim. rakennuspalot, liikenneonnettomuudet ja muut onnettomuudet) ja indeksoidaan ne symbolilla o . Tässä mallissa lähtökohtana on oltava olemassa staattinen riskianalyysi jokaista tarkasteltavaa onnettomuustyyppiä kohti. Siis jokaiselle riskiruudulle i ja onnettomuustyyppille o on olemassa numeerinen riskitasoa kuvaava ennuste E_i^o , joka vastaa kyseisen tyyppin onnettomuuksien lukumääräennustetta vuodessa ruudussa i . Näitä onnettomuustyyppikohtaisia riskianalyysijä voidaan kehittää esimerkiksi soveltamalla regressioanalyysiä kuhunkin onnettomuustyyppiin erikseen (ks. luku 7.3.).

Laaditaan Pronon avulla kutakin onnettomuustyyppiä kohti kuten edellä lukumäärien keskiarvot kuukausittain, viikonpäivittäin ja kellonajoittain ja piirretään näiden jakaumat. Onnettomuustyyppikohtaisten jakaumien perusteella saadaan jokaiselle onnettomuustyyppille o ja ajanhetkelle t määrättyä kolmen luvun jono $(x^o(t), y^o(t), z^o(t))$, missä jonon suureet määritellään taulukon 19 mukaisesti.

Taulukko 19. Lukujonon $(x^o(t), y^o(t), z^o(t))$ määritelmä

$x^o(t) =$	ajanhetkeä t vastaavan kuukauden keskimääräinen toteutuma onnettomuustyyppin o osalta
$y^o(t) =$	ajanhetkeä t vastaavan viikonpäivän keskimääräinen toteutuma onnettomuustyyppin o osalta
$z^o(t) =$	ajanhetkeä t vastaavan kellonajan keskimääräinen toteutuma onnettomuustyyppin o osalta

Skaalaamalla jälleen lukujen x^o , y^o , z^o aikariippuvuuden määrittäviä jakaumia siten että niiden keskiarvo on 1, esittää tulo

$$k^o(t) = x^o(t) * y^o(t) * z^o(t) \quad (10)$$

onnettomuustyyppin o riskitasoa ajanhetkellä t. Onnettomuustyyppiä o kuvaava spatiotemporaalinen ennuste ruudussa i ajanhetkellä t olisi nyt tulo $E_i^o * k^o(t)$.

Lopullinen **spatiotemporaalinen riskitaso ruudussa i ajanhetkellä t** määriteltäisiin summana

$$R_i^{spt}(t) = \sum E_i^o * k^o(t), \quad (11)$$

missä summa otetaan yli onnettomuustyyppien o. Summalausekkeessa (11) esiintyvät tulotermit $E_i^o * k^o(t)$ vastaavat siis kunkin onnettomuustyyppin o esiintymisriskiä ruudussa i hetkellä t. Esiintymisriski koostuu ruutukohtaisen vakiokerroimen E_i^o osoittamasta aikakeskiarvosta kerrottuna riskin ajallista nousua tai laskea osoittavalla ajan funktiolla $k^o(t)$. Onnettomuustyyppin o ajallisen riskin ollessa koholla nostaa se tämän onnettomuustyyppin paikallista esiintymisriskiä E_i^o jokaisessa ruudussa samalla kertoimella $k^o(t)$. Jos ajankohta t olisi sellainen, että kaikkien onnettomuustyyppien o esiintymistiheys vastaisi keskiarvoa, niin riskitaso hetkellä t ruudussa i olisi vain $R_i^{spt}(t) = \sum E_i^o$, mikä vastaa staattisen riskianalyysin tulosta ruudussa i.

Onnettomuustyyppien erottelun ideana on se, että sillä voidaan saada paremmin esiin ruutujen keskinäistä ajallista vaihtelua riskitasoissa. Jos esimerkiksi liikenneonnettomuuksien riski kohoaa ruuhka-aikoina, nousee spatiotemporaalinen kokonaisriski nimenomaan liikenneonnettomuuksien riskialueilla tähän aikaan enemmän kuin muilla alueilla. Lisäksi näin saadaan erillinen ennuste jokaista onnettomuustyyppiä kohti, mistä voi myös olla etua resurssisuunnittelun kannalta.

Onnettomuusriskin kertoimena toimiva ajan funktio $k(t)$ tai $k^o(t)$ voidaan määritellä monilla muillakin eri tavoilla. Tässä käytetty kolmen jaksotekijään liitetyn suureen tulo on yksinkertainen menetelmä saada minkä tahansa ajankohdan riskitaso ilmaistua numeerisesti, mutta myös kehittyneempiä menetelmiä voi olla tarjolla. Mahdolliseksi ongelmaksi onnettomuustyyppikohtaisen aikakerroimen $k^o(t)$ mää-

rittelyssä saattaa tässä menetelmässä muodostua harvinaisten onnettomuustyyppien kohdalla jakaumien x^o , y^o , z^o epäsäännöllisyys tai vinous. Tätä voidaan yrittää korjata yhdistämällä harvinaisempia onnettomuustyyppiejä saman indeksin o alle, mutta tällöin tietysti menetetään hieman ennusteen erottelutarkkuutta. Myös seuranta-ajanjakson valitseminen viittä vuotta selkeästi pitemmäksi voisi parantaa onnettomuustyyppikohtaisten aikajakaumien toimivuutta.

Koko menetelmä voitaisiin esittää tulojen sijaan myös summien avulla. Esimerkiksi käsiteltäessä kaikkia onnettomuustyyppiejä yhdessä, skaalataan tällöin luvut x , y ja z ajan funktiona määrittävät jakaumat siten, että keskiarvot ovat kaikilla 0. Onnettomuusriskitasoa kuvaava funktio voidaan määritellä summana $k(t) = x(t) + y(t) + z(t)$, ja edelleen ruudun i spatiotemporaalinen riskitaso hetkellä t määritellään summana $R_i^{spt}(t) = E_i + k(t)$. Menetelmässä on muutenkin runsaasti erilaisia muokkausmahdollisuuksia, joiden kautta sitä voidaan räätälöidä haluttuun suuntaan.

Etuna tämän tyyppisessä spatiotemporaalisessa analyysissä olisi luvussa 5.2 esitettyyn menetelmään verrattuna se, että saadaan kaikki kolme riskitasoon vaikuttavaa jaksoa (kuukausi, viikonpäivä ja vuorokaudenaika) kerralla mukaan. Hankaluutena menetelmässä on se, että tarkempaan malliin vaadittuja onnettomuustyyppikohtaisia staattisia riskianalyysejä ei vielä ole saatavilla, joten menetelmää ei päästä heti kokeilemaan. Tosin onnettomuustyyppikohtaisten riskianalyyysien laatiminen voi muutenkin olla tulevaisuudessa edessä osana riskianalyyysin yleistä kehittämistä (ks. 7.3). Itseasiassa korkean riskin alueilla melko hyvänä onnettomuusriskin ennusteena voi toimia jo pelkkä vanha toteutuma (ks. 3.2.4), joten käyttämällä tätä onnettomuustyyppikohtaisena riskitasona voitaisiin menetelmän toimivuutta tutkia käytännössä jo nyt.

6 ONNETTOMUUKSIEN SEURAUSTEN HUOMIOINTI RISKIANALYYSISSÄ

6.1 Seurausten huomioinnin tarve

Luvussa 4.2 mainittiin erääksi nykyisen riskianalyysin puutteeksi se, ettei siinä lähtökohtaisesti kiinnitetä huomiota ruuduissa tapahtuvien onnettomuuksien seurauksiin. Tämä voi aiheuttaa ongelmia riskiluokituksen kanssa esimerkiksi tilanteissa, jossa ruudussa on paljon onnettomuustapahtumia, mutta onnettomuudet ovat hyvin lieviä (ks. kuvio 28).

Nykyymallisessa riskianalyysissä koko harkittavien ruutujen valintaprosessi perustuu vain onnettomuustodennäköisyyden arviointiin rakennuspaloriskitason tai 5 vuoden seurantajakson onnettomuustoteutuman kautta. Onnettomuuksien seurausten perusteella riskiluokan arviointia tehdään vain harkittaviksi päätyneiden ruutujen osalta eikä tähänkään ole olemassa mitään yksiselitteisiä ohjeita. Siten onnettomuuksien seurausten huomiointi riskianalyysissä jää melko sattumanvaraiseksi ja epätasapuoliseksi.

Luvussa 6.2 esitellään eräs menetelmä, jonka avulla ruutujen riskitasojen ja -luokkien määrittelyyn voisi verrattain helposti ottaa mukaan myös seuraukset huomioivan tekijän. Menetelmä on sovellus yleisesti käytetystä tavasta jakaa aineisto luokkiin kaksiulotteisesti.

6.2 Menetelmän kuvailu

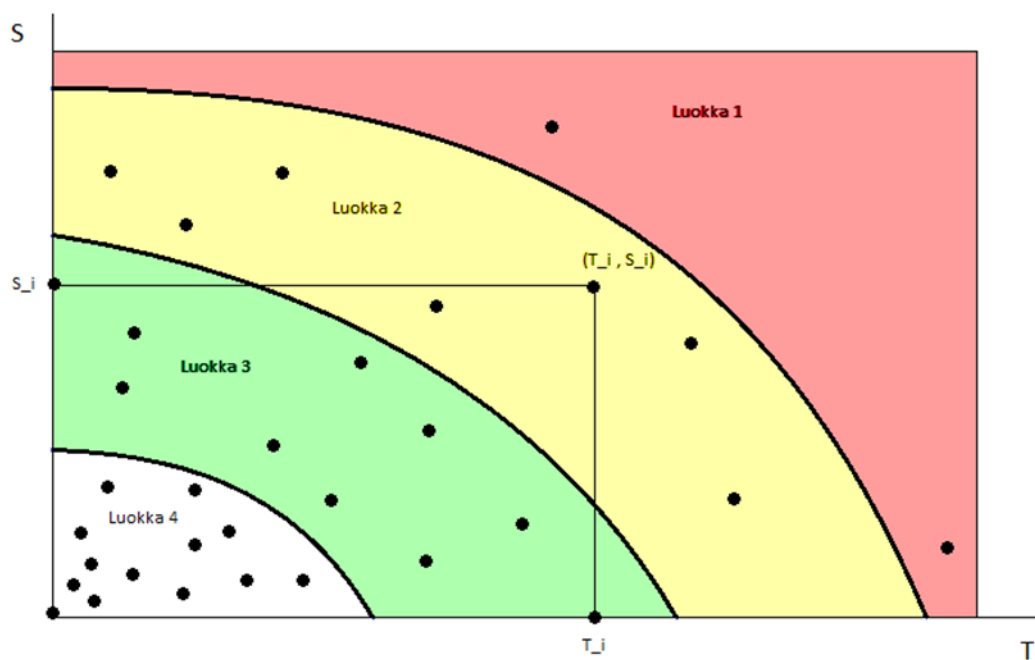
Tässä esiteltävä metodi onnettomuuksien seurausten huomioimiseksi riskianalyysissä edellyttää, että jokaista ruutua i kohti on olemassa jokin numeerinen ennuste sekä onnettomuuksien todennäköisyydestä että keskimääräisistä seurauksista. Ruutuun liitetyn todennäköisyysluvun voidaan ajatella vastaavan ennustettua onnettomuuslukumäärää ja seurausluku puolestaan kuvaa onnettomuuksien odotettavissa olevaa vakavuusastetta kyseisessä ruudussa.

Ruudun i onnettomuustodennäköisyyttä kuvaavaksi luvuksi käy periaatteessa mikä tahansa ennusteluku. Voitaisiin käyttää esimerkiksi rakennuspaloriskitasoon perustuvaa ennustetta E_i (ks. 3.1.3), seurantajakson toteutumalukua T_i (joka joissakin tilanteissa toimii ennustetta E_i paremmin; ks. kuvio 8) tai näiden

molempien kombinaationa määriteltyä tarkempaa ennustelukua. Olkoon tässä yksinkertaisuuden vuoksi **todennäköisyysennusteen** yleissymbolina T_i .

Ruudun i onnettomuuksien ennustettu seurausluku pitäisi määritellä jollain tavoin. Eräs vaihtoehto on antaa jokaiselle 5 vuoden seurantajakson aikana tapahtuneelle onnettomuudelle jokin numeerinen arvio sen seurausten vakavuudesta (esim. kokonaislukuasteikolla yhdestä viiteen) ja määritellä ruutuun i liittyvä seurausennuste (eli onnettomuuksien odotettavissa oleva seurausarvo) tässä ruudussa seurantajaksolla tapahtuneiden onnettomuuksien seurausarvojen keskiarvona. Onnettomuuden seurausten numeerisen arvon määrittämiseen liittyviä ongelmia pohditaan lisää luvussa 6.3. Muitakin määritelmiä ruutukohtaiselle odotettavissa olevalle seurausarvolle voidaan varmasti löytää, mutta tämä toteutumaan perustuva seurausarvon määritelmä sopii erityisen hyvin siihen tilanteeseen, jossa todennäköisyysennusteena toimii vastaavaan ajanjaksoon liittyvä toteutumaluku T_i (luvun 3.1. merkinnöin). Olkoon ruutuun i liittyvän **odotettavissa olevan keskimääräisen seurausarvon** symbolina S_i .

Näiden määrittelyjen jälkeen jokaista ruutua i vastaava lukuparin (T_i, S_i) määrittävä piste voidaan sijoittaa (T, S) –koordinaatistoon kuvion 31 mukaisesti. Pisteyden sijoittelussa koordinaatistoon on huomattava, että mikäli T_i :nä käytetään seurantajakson toteutumalukua, tulee T-akselin realisoituneiksi arvoiksi luvun 0,2 (= 1 onn. / 5 vuotta) monikertoja. T_i :n ollessa nolla on luontevaa määritellä myös S_i nollassa. Näillä määrittelyillä joihinkin (T, S) -tason pisteisiin voi tulla useita ruutuja: varsinkin toteutumaan perustuvia määrittelyjä käytettäessä on pisteessä $(0,0)$ (joka vastaa nollaa onnettomuutta) hyvin suuri määrä ruutuja. Tästä syystä olisikin oikeastaan hyvä ajatella kuvion 31 pistepilveä kolmiulotteisena siten, että kuvan tasosta lähtee pysty akseli kohtisuoraan ylöspäin ja jokainen samaan tasopisteeseen tuleva "osuma" sijoitetaan yhtä yksikköä korkeammalle kuin edellinen "osuma".



Kuvio 31. Riskiruudun i onnettomuuksien todennäköisyyttä ja seurauksia ennustavan lukuparin (T_i, S_i) esittäminen (T,S) –koordinaatistossa, ja tason jakaminen luokka-alueisiin

(T,S) –taso voidaan nyt jakaa kuviossa 31 esitetyn mukaisesti todennäköisyydet ja seuraukset huomioivia riskiluokkia vastaaviin osiin siten, että luokka 1 sijaitsee alueella, jossa sekä T että S ovat suurimmillaan ja luokka 4 vastaavasti alueella, jossa molemmat ovat lähellä nollaa. Määritellään siis luokat 2-ulotteisesti siten, että ruutu i kuuluu siihen luokkaan jonka alueella sitä vastaava todennäköisyys-seuraus-piste (T_i, S_i) sijaitsee. Näin menetellen ruudun i luokka ei määräydy pelkästään sen todennäköisyysarvon T_i perusteella (kuten nykyisessä riskianalyysissä), vaan samalla T_i –arvolla varustetun ruudun luokka voi olla kireämpi tai löysempi riippuen seurausarvonsa S_i korkeudesta tai mataluudesta.

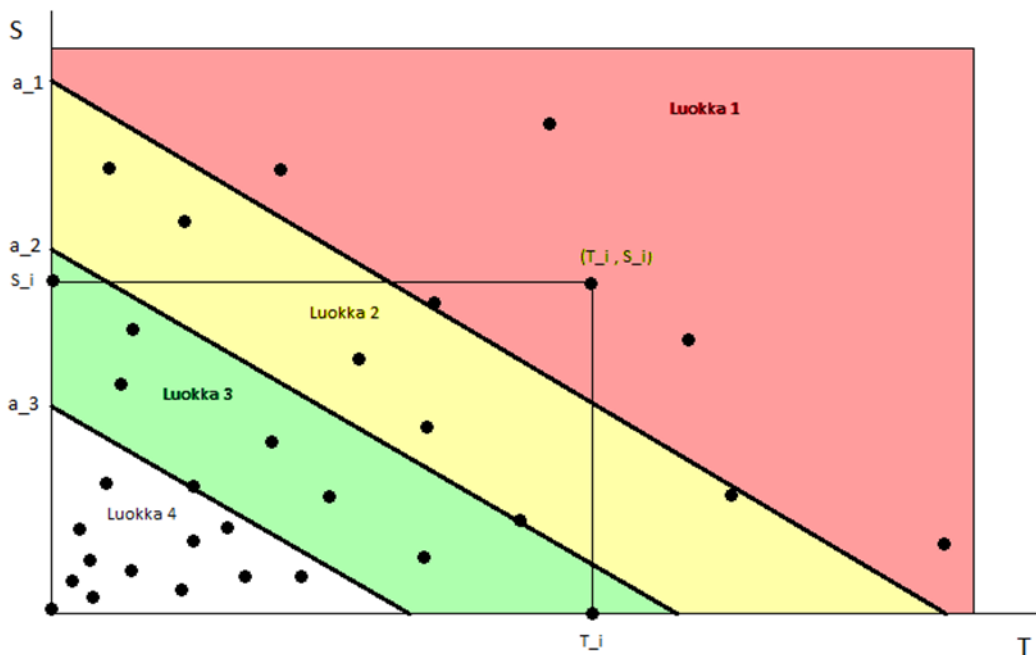
Mikäli halutaan säätää luokat ennalta määrätyn kokoisiksi (tyypillisesti luokka 4 sisältää n. 98% ruuduista ja luokka 1 alle promillen), pitäisi ajatella luokkajakoa 3-ulotteisessa pistepilvessä pystysuorilla pinnoilla joiden projektiota tasolla esitettävät viivat ovat. Näin tulee huomioitua se, että joidenkin pisteiden kohdalla on useita ruutuja. Esimerkiksi luokan 4 määräävä alue näyttää kuviossa 31 pieneltä, mutta se vastaa kuitenkin suurta joukkoa ruutuja, koska ainakin pisteeseen $(0,0)$ liittyy paljon ruutuja.

Kun riskiluokkia rajaavat (T,S) –tason viivat esitetään lausekkeina, voidaan kuta-kin luokka-alueetta kohti johtaa epäyhtälöpari joka määrittää tason pisteen kuuluminen siihen. Varsin toimiva luokkajako voidaan saada aikaan käyttämällä luokkarajoja kuvion 32 mukaisesti yhdensuuntaisia suoria (yhteinen kulmakerroin $-k < 0$), jolloin luokka-alueiden lauseke muodostuu erityisen yksinkertaiseksi. Kuviossa 32 S-akselia pisteissä a_n ja $a_{(n-1)}$ leikkaavien suorien rajaaman alueen (aläraja sisältyy, yläraja ei) määräävä epäyhtälöpari on

$$-k \cdot T + a_n \leq S < -k \cdot T + a_{(n-1)}, \quad \text{eli} \quad a_n \leq S + k \cdot T < a_{(n-1)}. \quad (12)$$

Ruudun i kuuluminen luokkaan n riippuu siis kaavan (12) mukaan siihen liittyvien todennäköisyys- ja seurauslukujen T_i ja S_i lineaarilausekkeesta $S_i + k \cdot T_i$ seuraavasti (kuvion 32 merkinnöin):

- luokka 1: $a_1 \leq S_i + k \cdot T_i$
- luokka 2: $a_2 \leq S_i + k \cdot T_i < a_1$
- luokka 3: $a_3 \leq S_i + k \cdot T_i < a_2$
- luokka 4: $S_i + k \cdot T_i < a_3$



Kuvio 32. (T,S) –tason jakaminen luokka-alueisiin yhdensuuntaisilla suorilla

Tämän tyypisellä menetelmällä voitaisiin muuttaa riskiluokkien määrittelyä siten, että pelkästään todennäköisyyttä vastaavan muuttujan T_i suhteen annettujen luokkarajojen sijaan käytettäisiin sekä todennäköisyyttä että seurauksia vastaavien muuttujien T_i ja S_i lausekkeen suhteen annettuja luokkarajoja. Kuvioon 32 liittyvässä esimerkissä luokkarajoihin liitettävä kahden muuttujan lauseke olisi siis $S + k \cdot T$ ja vastaavat luokan n rajat määrittelevät luvut a_n ja $a_{(n-1)}$ sekä rajasuorien yhteinen kulmakerroin $-k$ määritetään siten, että luokista saadaan halutun kokoisia.

6.3 Ongelmia ja kehityskohteita

Yllä kuvailtu menetelmä on teoriassa hyvin yksinkertainen tapa yhdistää kaksi eri tekijää riskiruutujen luokkien määrittelyyn. Käytännön toteuttamista varten on toki vielä ratkaistava joitakin asioita.

Ruutukohtaisten odotettavissa olevien seurausarvojen S_i määrittelyyn vaihtoehtoista yksinkertaisimmalta vaikuttaisi havaittuun toteutumaan perustuva määrittely. Tämä (ja luultavasti muutkin seurausarvon määrittelyyn vaihtoehdot) edellyttäisi sitä, että onnettomuuksiin liittyvät aineelliset vahingot ja henkilövahingot saataisiin jotenkin yhteismitallisiksi. Aineelliset vahingot mitataan euromääräisinä, joten voisi olla luontevaa antaa myös eriasteisille henkilövahingoille (kuolema ja vakava tai lievä loukkaantuminen) jotkut ennalta sovitut euromääräiset arvot.

Tähän henkilövahinkojen arvon määrittelyyn voi liittyä tiettyjä eettisiä kysymyksiä esimerkiksi siitä, tulisiko kaikkien ihmisten henkeä pitää joka tilanteessa samanarvoisena. Varsinkin kuoleman arvoa tulisi periaatteessa pitää melko suurena, mutta tästä voisi olla seurauksena se, että esimerkiksi jossain syrjäisessä paikassa yksittäinen jäihin hukkuminen voisi kiristää alueen riskiluokkaa tarpeettomasti.

Huomioitava asia on myös se, että riskianalyysissä käytettävät ruutukohtaiset todennäköisyys- ja seurausarvot tulisi valita jollain tavoin toisiaan vastaaviksi. Esimerkiksi käytettäessä sekä todennäköisyys- että seurausarvona vanhaan toteutumaan perustuvia arvoja (eli T_i on ruudun i toteutumaluku ja S_i tapahtuneiden onnettomuuksien seurausarvojen keskiarvo), vastaavat nämä toisiaan siinä mielessä, että jos ruudussa i on tapahtunut onnettomuuksia, on sillä myös määritelty

positiivinen seurausarvo, ja päinvastoin. Jos kuitenkin halutaan käyttää esimerkiksi todennäköisyysennusteena T_i jotain paremmin tulevaisuutta kuvaavaa suuretta (kuten rakennuspaloriskitasoa tai sen johdannaisia), pitäisi myös seurausarvioksi S_i löytää jokin vastaavaa ajankohtaa kuvaava ennuste, sillä vanhaan toteutumaan perustuva S_i voisi johtaa harhaan, jos ruudussa on tapahtunut merkittäviä rakennemuutoksia.

Ylipäättään todennäköisyysennusteeseen sopimaton seurausennusteen valinta voi johtaa tilanteisiin joissa ruudun todennäköisyysennuste T_i on positiivinen ja seurausennuste S_i nolla tai päinvastoin. Teoriassa tällä ristiriidalla ei ole kovin suurta merkitystä, sillä voidaan aina määrittellä myös (T,S) –tason akseleilla olevat osat otettaviksi mukaan riskiluokan määritteleviin alueisiin, mutta olisi hyvä tutkia käytännössä aiheuttaako tällainen määrittely vääristymiä luokkien suhteisiin.

Muut menetelmän pulmakohdat liittynevät lähinnä siihen, miten malli saadaan säädettyä oikein ja testattua. Kovin monimutkaisista asioista ei tässä kuitenkaan ole kyse, joten perustietotekniikalla luulisi pärjäävän melko pitkälle.

Tässä esitetty onnettomuuksien seuraukset huomioiva riskiluokittelu olisi myös verrattain helppo yhdistää luvussa 5.3 esiteltyyn spatiotemporaaliseen malliin. Lähtökohdaksi tarvittaisiin siis jokaista ruutua i ja onnettomuustyyppiä o kohti jokin onnettomuustodennäköisyyttä kuvaava ennuste T_i^o (esim. onnettomuustyyppin vanha toteutumaluku tai onnettomuustyyppikohtaisen riskianalyysin antama riskitaso ruudussa i , ks. 7.3) sekä seurausennuste S_i^o (esim. onnettomuustyyppin o seurausten keskiarvo ruudussa i vanhasta toteutumasta).

Luvussa 5.3. kuvailussa mallissa käytettävä ruutu- ja onnettomuustyyppikohtainen numeerinen onnettomuusmääräennuste E_i^o korvattaisiin nyt onnettomuusmäärät ja seuraukset huomioivan riskiluokan määrittelyssä käytettävällä T_i^o :sta ja S_i^o :sta riippuvalla lausekkeella; esimerkiksi kuvan 32 mukaisessa tilanteessa siis lineaarilausekkeella $S_i^o + k * T_i^o$. Spatiotemporaalinen onnettomuusmäärät ja seuraukset huomioiva riskitaso ruudulle i hetkellä t olisi nyt muotoa

$$R_i^{\text{spt}}(t) = \sum (S_i^o + k * T_i^o) * k^o(t) = \sum S_i^o * k^o(t) + k * \sum T_i^o * k^o(t), \quad (13)$$

missä summa otetaan yli onnettomuustyyppien o ja $k^o(t)$ on luvun 5.3. mukainen onnettomuustyyppiin o liittyvä aikakerroin.

Tuloksen $R_i^{spt}(t)$ numeerisesta arvosta ei siis sinänsä voida enää erotella ajasta riippuvaa onnettomuusmääräennustetta ja seurausten odotusarvoa toisistaan. Kuitenkin seuraukset huomioivan riskianalyysin määrittelyssä käytetyn lausekkeen ollessa tämän kaltainen yksinkertainen lineaarilauseke, voidaan $R_i^{spt}(t)$ laskea kaavan (13) mukaisesti myös summana kahdesta lausekkeesta, jotka kuvaavat seurausten ja toteutumaennusteen aikariippuvuutta erikseen.

Spatiotemporaalisuuden ja seuraukset huomioivan riskianalyysin yhdistämisessä voisi mennä vielä askeleen pitemmälle pohtimalla riippuuko myös onnettomuustyyppin o seurausten vakavuus ajankohdasta t (esim. ovatko aamuyön liikenneonnettomuudet mahdollisesti vakavampia kuin ruuhka-aikana sattuneet?). Mikäli vakavuuden aikariippuvuus näyttää oleelliselta, voitaisiin pelkkiä todennäköisyyksiä vastaava aikariippuvuusluku $k^o(t)$ korvata sellaisella aikariippuvuudella joka huomioisi myös seuraukset.

7 IDEOITA UUSIIN TUTKIMUKSIIN

7.1 Uusien riskianalyysimenetelmien tarve

VTT:n tutkimusraportissa Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen ja Sisäasiainministeriön julkaisussa Pelastustoimen toimintavalmiuden suunniteluohje päädyttiin suositteluun regressiomalliin perustuvaa menetelmää riskiluokkien määrittelyyn (Tillander ym. 2010, 113; Sisäasiainministeriö 2012, 7). Mikäli halutaan ennustaa onnettomuuksia entistä tarkemmin, olisi hyvä laajentaa nykyistä, pelkästään rakennuspalojen ennustamiseen keskittyvää regressiomallia vastaamaan paremmin myös muita onnettomuustyypppejä.

Tässä luvussa esitellään muutamia vaihtoehtoisia onnettomuuksien ennustamiseen käytettyjä menetelmiä, joita voisi käyttää kokonaan uudenlaisten riskianalyysimallien kehittämisessä. Lisäksi kuvaillaan uudenlaista, hieman eri alalta peräisin olevaa menetelmää jota voidaan mahdollisesti hyödyntää tulevaisuudessa myös pelastustoimessa.

7.2 Perinteisiä onnettomuuksien ennustusmetodeja

Regressiomalli ei ole ainoa mahdollinen vaihtoehto onnettomuusennustemalliksi, vaan on olemassa myös muita menetelmiä mallin luomiseen. Pekingin yliopiston tutkijat X. Zheng ja M. Liu tekivät artikkelissaan An overview of accident forecasting methodologies yhteenvedon seitsemästä onnettomuusriskien arviointiin yleisesti käytetystä menetelmästä sekä niiden erityisominaisuuksista. Seuraavassa on esitelty nämä menetelmät yleisellä tasolla. Myös jo aiemmin käsitelty regressioanalyysi on näiden menetelmien joukossa. Teknisiin yksityiskohtiin meneminen olisi tämän opinnäytetyön kannalta turhan syvällistä, mutta asiantuntijat tai muuten vain kiinnostuneet voivat saada näistä uusia ajatuksia riskianalyysin kehittämiseksi.

Skenaarioanalyysi on menetelmä, jossa analysoidaan mahdollisia tulevaisuuden tapahtumia visioimalla eri mahdollisuuksia lopputuloksille. Onnettomuuden kehittyminen riippuu vuorovaikutuksesta turvallisuusjärjestelmän ja ympäristön kanssa, ja lisäksi mahdollisesti tapahtuvat virheet saattavat riippua toisistaan.

Skenaarioanalyysissä pyritään määrittämään todennäköisyydet kullekin lopputulokselle sekä identifioimaan onnettomuuteen johtavat tekijät. (Zheng & Liu 2009, 484.)

Regressiomalli perustuu aiemmin kerättyyn numeeriseen dataan. Tässä valitaan ensin riippuva muuttuja jota halutaan ennustaa, joukko riippumattomia muuttujia joiden avulla riippuvaa muuttujaa yritetään selittää, sekä jokin funktio johon mallin halutaan perustuvan. Sitten muokataan ennustefunktiota laskemalla parametrit, joiden avulla funktio saadaan parhaiten sopimaan vanhaan dataan. Lopulta tehdään muokatun funktion avulla ennusteita riippuvasta muuttujasta käyttämällä riippumattomilla muuttujilla uusia arvoja. Tässä menetelmässä tarvitaan asiantuntijuutta siihen, että osataan valita mallifunktio sekä riippumattomat muuttujat oikealla tavalla; funktion valinta riippuu siitä, minkälainen jakauma riippumattomalla muuttujalla on aiemmin ollut ja riippumattomiksi muuttujiksi valitaan ne joista ennustettava muuttuja kokemuksen tai teorian perusteella voisi riippua. (Zheng & Liu 2009, 485.) Tutkimuksessa Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen mainitussa regressiomallissa mallinfunktiona on negatiivinen binomifunktio sekä riippumattomina muuttujina asukasluvu ja kerroasala (Tillander ym. 2010, 33).

Aikasarjametodissa käytetään ilmiöön liittyvää aiemmin kerättyä numeerista tietoa tulevaisuuden tapahtumien ennustamiseen. Aikasarjaan vaikuttavat yleensä seuraavat neljä tekijää: pitkän ajan trendi, sesonki, jaksollisuus ja epäsäännöllisyys. Erityisesti onnettomuuksien ennustuksessa käytettäviä aikasarjametodin alalajeja ovat eksponentiaalinen tasoitus (exponential smoothing) ja ARMA (autoregressive moving average). (Zheng & Liu 2009, 485.)

Markovin ketjut on stokastinen prosessi joka parametrisoidaan kokeellisesti arvioimalla eri tilojen välisiä muuttumistodennäköisyyksiä. Muuttumistodennäköisyydet kuvaavat sattumanvaraisten tekijöiden sekä sisäisten säännöllisyyksien vaikutuksia. Markovin ketjussa tulee toteutua nk. Markovin ominaisuus, eli jonkin tietyn tilan kohdalla tulevaisuuden tilat eivät riipu menneisyyden tiloista. Mikäli Markovin ominaisuus ei sellaisenaan toteudu, voidaan käsitellä korkeamman kertaluvun Markovin ketjuja, jossa seuraava tila riippuu kahdesta tai useammasta menneisyyden tilasta. (Zheng & Liu 2009, 486.)

Grey-malli, tai grey box model, eli ”harmaan laatikon malli” yhdistää teoreettista rakennetta ja dataan perustuvia malleja. Tässä mallissa käytetään koodikieltä jossa ”musta laatikko” tarkoittaa mallia, joka perustuu täysin datan arviointiin ja ”valkoinen laatikko” tarkoittaa mallia, joka on täysin teoreettinen. Useimmat mallit ovat jotakin tältä väliltä, eli ”harmaita laatikoita”. (Hauth 2008, xvii.)

Neuroverkoksi kutsutaan informaatiota sisältävää mallia, joka on saanut inspiraationsa biologisista hermoverkoista, kuten aivoista (Stergiou & Siganos 2016). Neuroverkot poikkeavat edellä mainituista ennustusmetodeista siinä, että niissä ei tarvita taustalla mitään ennalta määrättyä riippuvan ja riippumattomien muuttujien suhdetta. Menetelmä on osoittautunut tehokkaaksi muihin menetelmiin huonosti istuvien, monimutkaisia ja epälineaarisia muuttujariippuvuuksia sisältävien onnettomuustyyppien ennustuksessa. (Zheng & Liu 2009, 486.) Tutkimuksessa Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen testattiin onnettomuusmäärien ennustamiseen erästä neuroverkkotyyppiä nimeltä itseorganisoituvat kartat (self organizing maps, SOM). Tulokset olivat tuolloin melko epätarkkoja käytäntöön soveltamiseksi, mutta kehitys- ja jatkotutkimusideoita esitettiin (Tillander ym. 2010, 79, 101; ks. myös 7.5).

Bayesin verkot on probabilistinen graafinen malli, jonka avulla voidaan kuvailla ja kvantifioida mutkikkaita syy - seuraussuhteita eri tekijöiden välillä. Mallia käytetään esimerkiksi etsittäessä syitä joilla on suurin vaikutus onnettomuuksiin. (Zheng & Liu 2009, 487.)

Zhengin ja Liun mukaan jokaisella mallilla on omat ominaispiirteensä, jotka tekevät sen erityisen soveliaaksi johonkin tiettyyn tilanteeseen, mutta mitään malleista ei yksinään voida pitää merkittävästi muita paremmin yleiseen käyttöön soveljavana. Sen sijaan merkittäviä parannuksia yksittäisiin malleihin nähden saataisiin käyttämällä usean eri mallin kombinaatiota. Mallien yhdistämisestä löytyy melko paljon alan kirjallisuutta, mutta esimerkiksi virheiden arvioinnin tekemiseen näille yhdistetyille malleille ei ole helppoa löytää ohjeita, mistä voikin johtua, ettei yhdistettyjä malleja välttämättä vielä käytetä kovin yleisesti. (Zheng & Liu 2009, 488.)

Taulukossa 20 on tiivistetty edellä käsiteltyjen menetelmien ominaisuudet. Kunkin menetelmän osalta on esitetty luonnehdinta optimaalisesta ennustusaikavälistä sekä esimerkkejä sovellusaloista.

Taulukko 20. Tiivistelmä onnettomuuksien ennustusmetodien ominaisuuksista (Zheng & Liu 2009, 487)

Menetelmä	Ennustusaikaväli	Sovellusala
Skenaarioanalyysi	lyhyt - pitkä	tutkitaan vaihtoehtoisia mahdollisuuksia
Regressiomalli	lyhyt - keskipitkä	suuri otos, säännöllinen jakauma ja matala epävarmuus
Aikasarjametodi	lyhyt	riippuva muuttuja vaihtelee ajan kuluessa
Markovin ketjut	lyhyt - pitkä	datassa paljon satunnaista vaihtelua, mutta ei trendiä
Grey-malli	lyhyt - keskipitkä	onnettomuustieto vähäistä, trendi eksponentiaalinen
Neuroverkot	lyhyt - pitkä	kompleksinen epälineaarinen systeemi
Bayesin verkot	lyhyt - pitkä	epälineaarinen systeemi, korkea epävarmuus

7.3 Regressiomallin laajennus muihin onnettomuustyyppihin

VTT:n tutkimusraportissa Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen mainitaan eräänä kehitysideana kaikkien kiireellisten tehtävien jakoa yksittäisiin onnettomuustyyppihin ja kunkin tyyppin mallittamista erikseen regressiomallilla onnettomuustyyppiin liittyvien relevanttien selittäjien avulla. Tämän jälkeen yhteinen ennustemalli voitaisiin koota näistä osista. (Tillander ym. 2010, 55.)

Tämä voisi olla hyvä kehityssuunta siitä syystä, että regressiomallin laatiminen on suhteellisen suoraviivaista ja siihen on olemassa hyvä malli tämän aiemman tutkimuksen pohjalta. Lisäksi onnettomuustyyppikohtaiset erilliset riskianalyysit olisivat sinällään mielenkiintoisia ja voisivat myös auttaa erään spatio-temporaalisen riskianalyysimallin kehittämisessä (ks. 5.3).

Tällaisen riskianalyysin kehittämisen vaiheet olisivat lyhyesti ilmaistuna seuraavat:

- Valitaan sopivat onnettomuustyyppiluokat (esim. vain pääluokat kuten rakennuspalot (rakennuspalot ja –vaarat), liikenneonnettomuudet ja muut kiireelliset; tai sitten jako vielä useampiin luokkiin).
- Sovelletaan regressiomallia kuhunkin onnettomuustyyppiluokkaan.
 - Jokaiselle luokalle on valittava aineiston jakauman perusteella omat selittäjämuuttujat ja mallifunktio sekä tehtävä soveltuvuustestit ja määritettävä parametrit.

- Tuloksena saadaan jokaiselle onnettomuustyyppiluokalle oma riskitasofunktio, joka kuvaa onnettomuusmäärää selittäjämuuttujien avulla ilmaistuna. Summafunktiona saadaan kokonaisriskitaso, joka kuvaa onnettomuuksien kokonaismäärää samojen selittäjien avulla.
- Määritetään uudet riskiluokkarajat kokonaisriskitasoluvulle (esim. siten, että riskiluokkien prosenttiosuudet pysyvät samoina kuin nykyään).

Oleellisesti uutena asiana tässä olisi onnettomuustyyppikohtaisten selittäjämuuttujien keksiminen ja liittäminen ruutuaineistoon. Esimerkiksi liikenneonnettomuuksien selittäjinä voisivat olla tieluokka ja risteystyyppi, jotka pitäisi pystyä ilmaisemaan jokaisessa ruudussa lukumäärämuodossa, vaikka ruudussa olisi useita erityyppisiäkin mukana. Voitaisiin esimerkiksi antaa jokaiselle tie- ja risteystyypille jokin kerroin, jolla kunkin tyyppin pituuslukema tai lukumäärä ruudussa kerrottaisiin ruutukohtaisen tunnusluvun laskemiseksi. Muiden kiireellisten onnettomuuksien selittäjiksi luultavasti tarvittaisiin melko suuri määrä muuttujia, liittyen esimerkiksi retkeilypalveluihin ja niiden kävijämääriin, laskettelukeskuksiin ja niiden oheistoiminnan runsauteen, jne. Tällaisia arvioita pitäisi kehittää kaikille malliin otettaville onnettomuustyypeille ja lisäksi testata niiden toimivuutta.

Toisena haasteena on mallifunktioiden valinta jokaiselle onnettomuustyypille erikseen. Sopivien funktioiden ideointi ja valinnassa käytettävien tilastollisten testien suorittaminen vaatii jonkin verran tilastotieteellistä osaamista.

7.4 Predictive policing ja sen sovellukset

Poliisivoimien käyttöön on kehitetty uusia mielenkiintoisia metodeja, joilla voidaan ennustaa missä ja milloin rikoksia tulee tapahtumaan. Predictive policing –teknologiassa aiempiin rikoksiin liittyvät aika- ja paikkatiedot sekä muut relevantit yksityiskohdat syötetään tietokoneohjelmistoon, joka tietyillä matemaattisilla menetelmillä laskee näiden tietojen pohjalta arvioita rikoksen tapahtumisen todennäköisyydestä mille tahansa paikalle ja tulevaisuuden ajanhetkelle. Näiden arvioiden perusteella voidaan suunnitella mihin poliisihenkilöstöä kannattaa mihinkin aikaan sijoittaa jotta saataisiin rikoksenteot keskeytettyä tai jopa estettyä ennalta. Lisäksi predictive policing –teknologialla voidaan ennustaa tulevaisuuden rikosten tekijöitä ja uhreja. (Perry, McInnis, Price, Smith & Hollywood 2013.)

Predictive policing-teknologiaa on kuvailtu poliisivoimien kollektiiviseksi muistiksi, joka pystyy käsittelemään enemmän tietoa kuin yksikään ihminen. Tässä mielessä se voisi siis tavallaan korvata tai tukea kokemusperäistä intuitiota. Toisaalta on varottava, ettei ohjelma ala itse kehittää virheellisesti korkeaa riskiä tietyille alueille. Esimerkiksi jos poliisi käy toistuvasti ohjelman kehotuksesta tarkistamassa jonkin tietyn alueen ja sieltä löytyy uutta rikollisuutta, joka syötetään ohjelman tietoihin, voi käydä niin että tämän alueen riskitaso nousee perusteettomasti verrattuna lähialueisiin joita ei käydä tarkistamassa yhtä usein. (TNO Time 2016.)

Tämä teknologia poikkeaa tavanomaisista tilastollisista ennustusmetodeista siinä, että se käyttää analyysin pohjana huomattavasti laajempaa tietomäärää kuin mitä olisi perinteisin metodein mahdollista käsitellä. Tietoa haetaan poliisin oman rikostiedon lisäksi muun muassa yleisötapahtumien ja sääilmiöiden ajasta ja paikasta. (TNO Time 2016.)

Teknologian käyttö on toistaiseksi vielä poliisivoimissakin melko rajoittunutta, sillä kaupallisiin ohjelmistopaketteihin ei ole haluttu investoida. Myynnissä on kuitenkin nähtävästi eri tasoisia malleja ja varsinkin pienemmille laitoksille melko edullinenkin vaihtoehto voisi riittää. (Perry ym. 2013) Tällaisten pitkälle automatisoitujen ennustusmenetelmien yleisenä miinuspuolena on se, että menetetään ehkä syvälinen ymmärrys menetelmän teoreettisesta taustasta jolloin ongelmatilanteiden korjaaminen voi olla haasteellista. Toisaalta etuna on ennusteiden helppous ja vaivattomuus. Muun muassa Amsterdamin poliisi on testannut predictive policing teknologiaa viimeisen vuoden ajan. Kokemuksia kuvaillaan erittäin positiiviseksi, mutta tieteellistä tukimusta siitä, miten paljon tekniikka on vähentänyt rikoksia, ei vielä ole. (TNO Time 2016.)

Predictive policing –tekniikka vaikuttaisi sellaiselta, että jotain vastaavaa voisi hyödyntää tulevaisuudessa myös pelastustoimen riskianalyysissä. Poliisivoimien käytössä predictive policing –ohjelmisto siis antaa lähitunneille ennustekartan joka kuvaa eri alueiden riskitasoja ja partiointia tehostetaan riskialttiilla alueilla. Pelastustoimessa vastaava teknologia voisi tuottaa dynaamisen riskikartan alueellisesti muuttuvista riskitasoista. Näistä tiedoista voitaisiin ensinnäkin irrottaa

normaalitilanteen jaksollisten vaihteluiden (vuorokaudenaika, viikonpäivä, vuodenaika jne.) tuottamat tilannekartat joiden avulla voitaisiin suunnitella resurssien jaksollista jakamista pitemmälle ajalle ennakkoon. Mikäli ohjelmistoon syötetään ennustetietoa esimerkiksi säätilasta ja yleisötapahtumista, antaisi dynaaminen kartta myös ennusteen lähiaikojen poikkeustilanteesta johon voitaisiin siten varautua etukäteen. Nykytilanteessahan erityisesti tällaisten poikkeustilanteiden näkeminen ennakkoon vaatii mahdollisten riskitekijöiden aktiivista seurantaakin sekä paljon kokemusta, jotta osataan suhteuttaa riskit järkevästi toisiinsa nähden.

Täsmällistä tietoa predictive policing –ohjelmien taustalla olevista analyysimenetelmistä tai ohjelmien soveltamisesta laajemmin poliisialan ulkopuolella on vaikea saada, koska tekniikka on vielä niin uutta ja osin kehitysvaiheessakin. Luultavasti tällä hetkellä myynnissä olevat ohjelmistot ovat niin pitkälti poliisikäyttöön spesioituja, ettei niitä ilman muokkausta ja testaamista voi kovin tehokkaasti hyödyntää muilla aloilla. Voisi kuitenkin kuvitella, että tulevaisuudessa vastaavat teknologiat leviäisivät laajempaan käyttöön ja pelastustoimenkin riskianalyysi tulisi jossain vaiheessa olemaan melko pitkälle tietokoneohjelmien antamiin ennustuksiin perustuvaa. Erityisesti spatiotemporaaliseen onnettomuusriskien ennustamiseen tällainen menetelmä sopisi erittäin hyvin.

Pääasiallinen vaatimus tämän tyyppisten ennustusmetodien käyttämiseen tulevaisuudessa olisi riittävän tarkan ja yhtenäisen tiedon kerääminen kaikista sattuneista onnettomuuksista. Jos halutaan valmistautua ennalta tällaisiin tiedonlouhintaan perustuviin riskienhallintamenetelmiin, tulisi kiinnittää huomiota onnettomuusselosteiden laatuun ja kattavuuteen. Lisäksi tulisi liittää onnettomuustiedon yhteyteen erilaista olosuhdetietoa (sää, yleisötapahtuma yms.) sellaisessa muodossa että sitä voidaan käsitellä koneellisesti. Raportoinnin laajentamisessa tulisi myös huomioida sen helppous, jotta raportin laatijoille ei tulisi kohtuuttomasti lisätyötä.

7.5 Sekalaisia ideoita lyhyesti

VTT:n tutkimuksessa Pelastustoimen riskianalyysin kehittäminen testattiin vaihtoehtoisina riskianalyysimalleina myös spatiaalisia malleja ja itseorganisoituvia

karttoja, sekä sellaisenaan että lisäämällä sosioekonomista tietoa muuttujiksi (Tillander ym. 2010, 3). Alla on kuvailtu kokeilujen tuloksia ja kehitysehdotuksia lyhyesti.

Spatiaalisissa malleissa ruudun onnettomuusennusteeseen vaikuttaa ruudun onnettomuuksien selittäjätekijöiden lisäksi myös sen sijainti. Siis esimerkiksi matalan riskin alueilla, joilla ruutujen onnettomuustoteutumat määräytyvät enemmän sattumanvaraisesti kuin selittäjien perusteella, voidaan riskiarviota tasoittaa oletamalla naapuriruutujen riskitasot suunnilleen saman suuruisiksi. (Tillander ym. 2010, 56.)

Tässä VTT:n tutkimuksessa spatiaalisilla malleilla ei päästy yksinkertaista regressiomallia parempiin ennusteisiin. Mallin etuna kuitenkin on, että se voi toimia ilman selittäjiä mutta pystyy myös hyödyntämään selittäjiä, mikäli niitä on saatavilla. Yleisesti ottaen spatiaaliset mallit ovat joustava apuväline riskianalyysin tueksi, mutta ne vaativat käyttäjältään tilastotieteellistä osaamista. (Tillander ym. 2010, 77.)

Spatiaalisten mallien ongelmana oli laskennallinen raskaus sekä käytettävissä olleiden aikasarjojen lyhyys. Tätä riskianalyysityyppiä voitaisiin kehittää kokeilemalla erilaisia, laskennallisesti kevyempiä vaihtoehtoja sekä uudempia, tarkemmin eriteltyjä tilastotietoja. (Tillander ym. 2010, 77 – 78.)

Itseorganisoituvat kartat (self organizing maps, SOM) ovat eräs neuroverkko-tyyppi. Neuroverkkoa opetetaan havaintoaineiston esimerkkien avulla, minkä jälkeen se hallitsee muuttujien epälineaariset riippuvuudet. (Tillander ym. 2010, 80 – 81.)

SOM-mallin etuna on, että kaikki käytettävissä olevat selittäjät voidaan ottaa huomioon laskentakustannusten merkittävästi kasvamatta. Lisäksi SOM-malli pystyy antamaan ennusteita, vaikka joidenkin selittävien muuttujien arvot puuttuisivat, mutta tällöin tosin muiden muuttujien suhteellinen merkitys ruudun luokittelussa korostuu ja tarkkuus huononee. (Tillander ym. 2010, 101.)

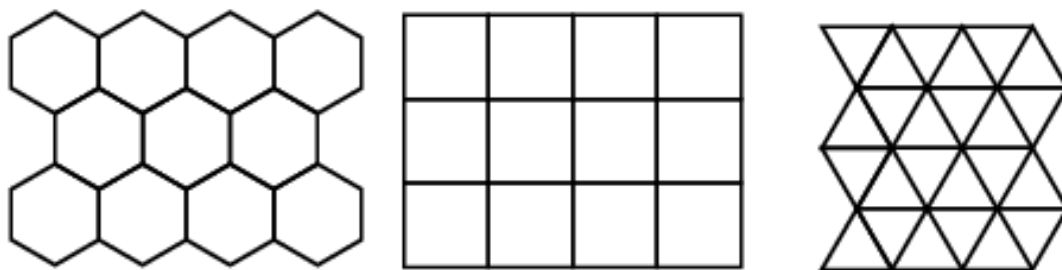
Havaittiin, että SOM pystyy jossain määrin tunnistamaan kartalta riskin kannalta toisistaan poikkeavat alueet, mutta ei juurikaan sovellu absoluuttisten onnetto-

muuksien ennustamiseen varsinkaan korkean riskin alueilla. Erityisesti riskiluokan 1 ruutuja SOM ei tunnistanut juuri lainkaan, mikä viittaa siihen, että käytettävissä olleet selittäjät eivät riittäneet ruutujen välisten erojen tunnistamiseen ja sen selittämiseen, miksi toisaalla tapahtuu paljon onnettomuuksia ja toisaalla ei. SOM-mallin tärkein kehityskohde olisi eri onnettomuustyyppien tärkeimpien taustamuuttujien tunnistaminen ja niiden käyttäminen verkon rakentamisessa. (Tillander ym. 2010, 101.)

Sosioekonomisen tiedon lisäämistä SOM-malliin tutkimuksessa kokeiltiin suppeasti Keski-Uudenmaan pelastuslaitoksen toimialueen osalta (Tillander ym. 2010, 103). Tulokset eivät olleet huomattavasti tavallista SOM-mallia parempia, mutta asiaa tulisi testata vielä suuremmilla alueilla, sillä uskotaan, että sosioekonomisilla seikoilla olisi suuri merkitys ainakin rakennuspaloja ennustettaessa (Tillander ym. 2010, 107 – 108).

Tässä esitellyt mallit tuntuvat selvästi yksinkertaista regressiomallia mutkikkaammilta, eikä niihin ollut mahdollisuutta tutustua kovin syvällisesti. Vaikuttaisi kuitenkin siltä, että noita malleja kannattaisi vielä tutkia näistä kokeiluista viisastuneena ja kattavampia aineistoja käyttäen.

Pelastustoimen riskianalyysiryhmän kokouksessa 9.5.2016 tuli jossakin yhteydessä esille kuusikulmaisten alueiden käyttö riskiluokittelun hilana nykyisten neliömäisten alueiden sijaan. Ajatuksen mielenkiintoisuutta kuvaa seuraava esimerkki. Ainoat tason säännölliset monikulmiojaotukset ovat tasasivuisten kolmioiden, neliöiden ja kuusikulmioiden antamat jaotukset, jotka on esitetty kuviossa 33.



Kuvio 33. Tason jako säännöllisillä monikulmioilla (Wolfram MathWorld 2016)

Kuusikulmio on näistä monikulmioista se, jonka kaikki pisteet ovat suhteellisesti lähimpänä monikulmion keskustaa, eli tavallaan kuusikulmion piiri ympäröi sisältämänsä alueen tehokkaimmin. Lisäksi kiinnitetyn kuusikulmion kaikki naapurit ovat yhtä lähellä sitä, toisin kuin esimerkiksi neliöjaotuksessa jossa neliön diagonaaliset naapurit ovat siitä selvästi kauempana kuin sivunaapurit. (Hexnet 2016.)

Näistä syistä kuusikulmiojaotuksella, eli heksagonaalisella tesselaatiolla on tiettyjä etuja nelikulmiojaotukseen nähden. Tämä voi olla hyödyllinen ajatus erityisesti sellaisia riskianalyysimalleja ajatellen, joissa ruudun halutaan jollakin tavoin ”kommunikoivan” naapureidensa kanssa (esim. spatiaaliset mallit yllä).

Nykyisen neliöjaotuksen muuttaminen heksagonaaliseksi tesselaatioksi kaikissa erilaissa järjestelmissä on toki jonkin verran työtä vaativa operaatio, ja esimerkiksi tilastokeskuksen tilastoruutuaineistojen liittäminen tietoaaineistoon vaikeutuisi. Tästä syystä ennen muutokseen ryhtymistä olisi tutkittava saadaanko tästä mitään erityistä hyötyä riskianalyysin kannalta. Käsittelyn kannalta ero neliöjaotukseen ei varmaankaan olisi kovin kummoinen; saadaanhan kuusikulmiot sopivalla sivujen valinnalla pinta-alaltaan 1 km^2 kokoisiksi.

8 POHDINTA

8.1 Johtopäätökset

Tässä tutkielmassa on esitelty pelastustoimen riskianalyysin periaatteita ja toimivuutta sekä esitetty uusia ideoita riskianalyysin kehittämiseksi. Seuraavassa vedetään tehdyt havainnot lyhyesti yhteen.

Pääasiallisena tutkimustuloksena voidaan pitää luvussa 3 esitettyä riskianalyysimetodin toimivuusarviota, joka osoitti millä alueilla malli toimii paremmin ja millä alueilla huonommin. Luvussa 3.2 osoittautui, että käsiteltäessä kaikkia onnettomuustyyppisiä yhdessä, korkean riskin ruuduissa riskianalyysin antamaa ennustetta huomattavasti paremmin toimi aiemman toteutumaluvun antama ennuste. Eräs syy riskianalyysiin perustuvan ennusteen heikkoon toimimiseen oli rakennuspaloriskitason ja ennusteen välisen kertoimen valinta epäoptimaalisesti, mutta riskianalyysimallissa on myös sisäisiä tekijöitä jotka aiheuttavat siihen perustuvissa ennusteissa epätasaisuutta toteutumaan nähden.

Vertailukohtana luvussa 3.3 tehtiin vastaava analyysi pelkkien rakennuspalojen osalta käyttäen ennusteena suoraan rakennuspaloriskitasoja. Tässä havaittiin ennustevirheiden olevan selvästi pienempiä kuin yleisessä tapauksessa, johtuen pitkälti siitä, että ennusteen pohjana oleva regressiomalli on suunniteltu nimenomaan rakennuspalojen ennustamiseen. Toteutumat olivat tosin rakennuspaloil- lekin hieman ennustetta suurempia, mikä saattaa johtua siitä, että regressiomalli on laadittu pelkkien rakennuspalojen pohjalta, kun taas tässä tutkimuksessa rakennuspaloksi katsottiin sekä varsinaiset rakennuspalot että rakennuspalovaa- rat.

Suhteellisia virheitä tarkasteltiin luvussa 3.4 jakamalla aineisto 1000 ruudun luok- kiin ja vertailemalla luokkakohtaisia toteutuma- ja ennustearvoja eri tavoin. Paras vastaavuus ennusteen ja toteutuman välillä saavutettiin keskisuuren riskin ruu- duissa. Matalan riskin ruuduissa suhteellisia ennusteita ei voitu määrittää kovin pitkälle ennusteen mennessä pyöristysten takia nolaksi turhan aikaisin. Suhteel- listen virheiden tarkastelussa voitaisiin saada lisätietoa jakamalla aineisto pie-

nempiin luokkiin (esim. 100 ruutua luokassa). Ylipäätään paremman kuvan saamiseksi ennusteen toimivuudesta matalan riskitason ruuduille olisi vastaavanlaiset tutkimukset hyvä tehdä uudelleen käyttäen tarkempaa riskitason arvoa.

Visuaalisen analyysin avulla saatiin vertailtua riskianalyysin antamaa ruutujen ”tärkeysjärjestystä” toteutumaan perustuvaan järjestykseen. Havaittiin riskianalyysin antavan usein suurten kaupunkien asuinlähiöiden osalta liian korkeita riskiarvioita ja vilkkaan liikenteen sekä pienempien keskustojen osalta liian matalia riskiarvioita (ks. 3.5).

Oleellinen osa työtä oli myös itse vertailumethodien kehittäminen, sillä valmista mallia näihin ei ollut olemassa. Menetelmiä ei varmastikaan saatu työn aikana kehitettyä huippuunsa, mutta kunkin luvun kohdalla on annettu ideoita siitä, miten menetelmiä voisi helposti parantaa.

Nyky menetelmien selkeyttämiseen liittyvät lähinnä luvut 4.1 ja 5.2. Näissä luvuissa annetaan yksityiskohtaiset menettelyohjeet sekä tavallisen riskianalyysin että sen spatiotemporaalisen laajennuksen tekemiseen niin, että tulokset ovat yhtenäisiä ja virheiden mahdollisuus pienenee.

Spatiotemporaaliseen riskianalyysiin ja onnettomuuksien seurausten huomioitiin liittyen esiteltiin uudenlaisia ideoita, joihin myös liitettiin yksityiskohtaiset menetelmäkuvaukset. Spatiotemporaalisuuden osalta luvussa 5.3 esiteltiin malli, jolla voisi olla tiettyjä etuja spatiotemporaalisuuden standardimalliin nähden, mutta jota pitäisi vielä tutkia tarkemmin ja kokeilla käytännössä. Onnettomuuksien seurausten huomiointia riskianalyysissä pohdittiin luvussa 6, jossa myös esitettiin eräs suhteellisen helposti toteutettavissa oleva malli tämän saavuttamiseksi.

Luvussa 7 esiteltiin joukko erilaisia ideoita, joiden pohjalta voitaisiin kehitellä kokonaan uusia riskianalyysimenetelmiä. Osa näistä ideoista (esim. regressiomallin laajentaminen muihin onnettomuustyyppeihin, 7.3) vaikuttaa melko suoraviivaisilta toteuttaa käytännössä, kun taas osa vaatii enemmän teoreettista hiomista.

8.2 Yleistä pohdintaa

Opinnäytetyön aihetta miettiessäni sain sen käsityksen, ettei pelastustoimen riskianalyysin toimivuutta ole aiemmin tutkittu kovin systemaattisella tavalla. Aihe kehittyikin työn edistyessä kuin itsestään pitkälti omien mielenkiinnon kohteideni ja esiin tulleiden uusien ongelmien ohjaamana.

Työhön käytettävissä olevan rajallisen ajan takia läheskään kaikkea mielenkiintoista tutkittavaa ei kuitenkaan ollut mahdollista käydä läpi. Erityisesti luvussa 3 esitellyt vertailumenetelmät olisivat mielestäni kaivanneet jatkokehitystä, ja niistä voisikin pienellä vaivalla saada varsin toimivia riskianalyysin työkaluja. Spatiotemporaalisten tarkastelujen (luku 5) testaaminen ja kehittäminen eivät myöskään tuntuisi vaativan kovin suuria ponnisteluja. Onnettomuuksien seurausten analysoinnin liittäminen riskianalyysin osaksi luvussa 6 esitetyllä metodilla vaati-nee jonkin verran hiomista, mutta ei vaikuta kovin vaikealta sekään. Luvussa 7 esitetyistä ideoista regressiomallin laajennukset vaikuttaisivat suhteellisen yksinkertaisilta toteuttaa käytännössä. Muut luvun 7 uudet ideat taas kuuluvat edistyk-sellisempään kategoriaan, ja vaatinevat hieman enemmän perehtyneisyyttä kuin mihin lyhyellä harjoittelujaksolla oli mahdollisuutta. Erittäin mielenkiintoisia kehitysideoita näissäkin toki on.

Oma kokemukseni opinnäytetyöstä ja siihen liittyvästä työharjoittelusta pelastus-toimen parissa on, että riskianalyysi on aihepiirinä yllättävän mielenkiintoinen ja tutkittavaa ja kehitettävää tuntuu riittävän monella alueella. Toivon että tästä opin-näytetyöstä on jatkossa hyötyä myös pelastustoimen riskianalyysin selkeyttämi-ssä ja kehittämisessä.

LÄHTEET

Explorable 2016. Multiple Regression Analysis. Viitattu 14.9.2016 <https://explorable.com/multiple-regression-analysis>.

Frost, J. 2013. Curve Fitting with Linear and Nonlinear Regression. The Minitab Blog. Viitattu 14.9.2016 <http://blog.minitab.com/blog/adventures-in-statistics/curve-fitting-with-linear-and-nonlinear-regression>.

Hauth, J. 2008. Grey-Box Modelling for Nonlinear Systems. Fachbereich Mathematik der Universität Kaiserslautern. Luonnontieteiden tohtorin väitöskirja.

Hexnet 2016. Hexagonal Geometry. Hexagonal Tessellation. Viitattu 8.7.2016 <http://hexnet.org/content/hexagonal-geometry>.

Keski-Suomen pelastuslaitos 2012. Pelastustoimen palvelutasopäätös 2013-2016.

Maanmittauslaitos 2016. Riskiluokittelu väestötietojärjestelmään ja rakennustietoihin perustuen regressiomallilla. Maastotietokanta. MapInfo 12.5.2.

Pelastuslaitos 2015. Riskianalyysiryöryhmän raportti 2012-2014. Pelastuslaitosten kumppanuusverkoston julkaisu 2/2015.

Pelastuslaki 29.4.2011 / 379.

Pelastusopisto 2016. Pelastustoimen taskutilasto 2011-2015. Pelastusopiston julkaisu. D-sarja: Muut 4/2016.

Perry, W., McInnis, B., Price, C., Smith, S. & Hollywood, J. 2013. Predictive Policing: Forecasting Crime for Law Enforcement. Rand Corporation. Viitattu 7.6.2016 http://www.rand.org/pubs/research_briefs/RB9735.html.

Sisäasiainministeriö 2012. Pelastustoimen toimintavalmiuden suunnitteluohje. Sisäinen turvallisuus. Sisäasiainministeriön julkaisuja 21/2012. Helsinki 2012.

Stergiou, C & Siganos, D. 2016. Neural Networks. Viitattu 1.9.2016 https://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html.

Tillander, K., Matala, A., Hostikka, S., Tiittanen, P., Kokki, E. & Taskinen, O. 2010. Pelastustoimen riskianalyysimallien kehittäminen. VTT Tiedotteita. Research Notes 2530.

TNO Time 2016. How Big Data is Reducing Burglaries in Amsterdam? Viitattu 9.6.2016 <https://time.tno.nl/en/articles/how-big-data-is-reducing-burglaries-in-amsterdam/>.

Wolfram MathWorld 2016. Regular Tessellation. Viitattu 8.7.2016 <http://mathworld.wolfram.com/RegularTessellation.html>.

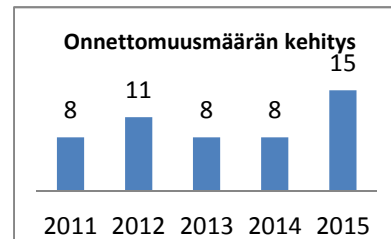
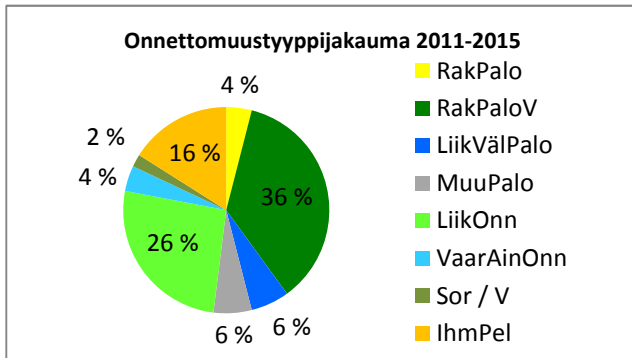
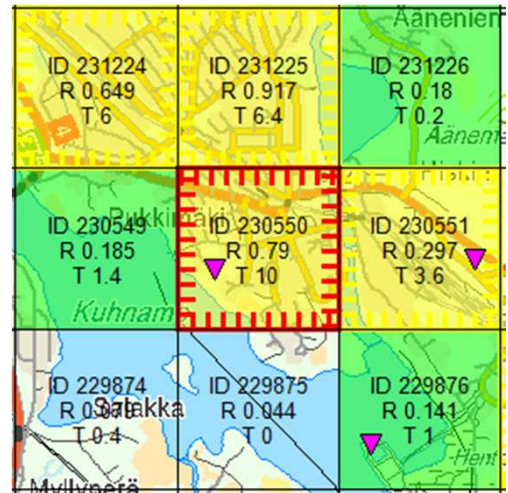
Zheng, X. & Liu, M. 2009. An Overview of Accident Forecasting Methodologies. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 22 (2009) 484-491.

LIITTEET

- Liite 1. Äänekosken keskustaruudun tietojen yhteenveto uudessa riskianalyyssissä

Liite 1: Äänekosken keskustaruudun tietojen yhteenveto

ID_NRO	230550	
Sijainti	Äänekoski	
Riskitasokehitys	vanha	uusi
Asukasluke	1121	1075
Kerrosala	111050	122991
Riskitaso	0,731	0,79
Rakennuspaloriskiluokka	2	2
Tarkistettu riskiluokka	2	
Toteutuma / v	6,8	10



Onnettomuustyytit vuosittain

Vuosi	RakPalo	RakPaloV	LiikVälPalo	MuuPalo	LiikOnn	VaarAinOnn	Sor / V	IhmPel	Yht
2011	0	4	0	1	2	0	0	1	8
2012	1	2	2	2	2	0	0	2	11
2013	0	3	0	0	3	1	0	1	8
2014	1	4	0	0	2	0	0	1	8
2015	0	5	1	0	4	1	1	3	15
Yht	2	18	3	3	13	2	1	8	50

Henkilövahingot (mukana myös ei-kiir. IhmPel): 1 Kuol ja 6 LievLouk LiikOnn; 1 VakLouk IhmPel; 2 LievLouk RakPaloV.

Lisätietoja

Rakennuspalot ja -vaarat pääasiassa yksityisasunnoissa tapahtuneita vahinkoja. Liikenneonnettomuudet risteys- ja suistumisonnettomuuksia alhaisilla nopeuksilla. Polkupyöräilijä kuollut yhdessä liikenneonnettomuudessa. Ihmisen pelastamiset enimmäkseen hissikeikkoja. Sortumavaara: marketin betonipylväs halkeili. VaarAinOnn: auton bensavuoto ja sairaalapotilaan rikkoma happiyhde. Erytysriskikohde: tulossa uusi lukio ja hoivakoti (7060 krsm2) sekä asuintornitalo; pelkästään mainitulla krsalan lisäyksellä tuleva riskitaso on R=0,826; tornitalon myötä kuitenkin kerrosala ja asukasmäärä kasvavat enemmänkin.

Karttakuvassa myös ei-kiir IhmPel

