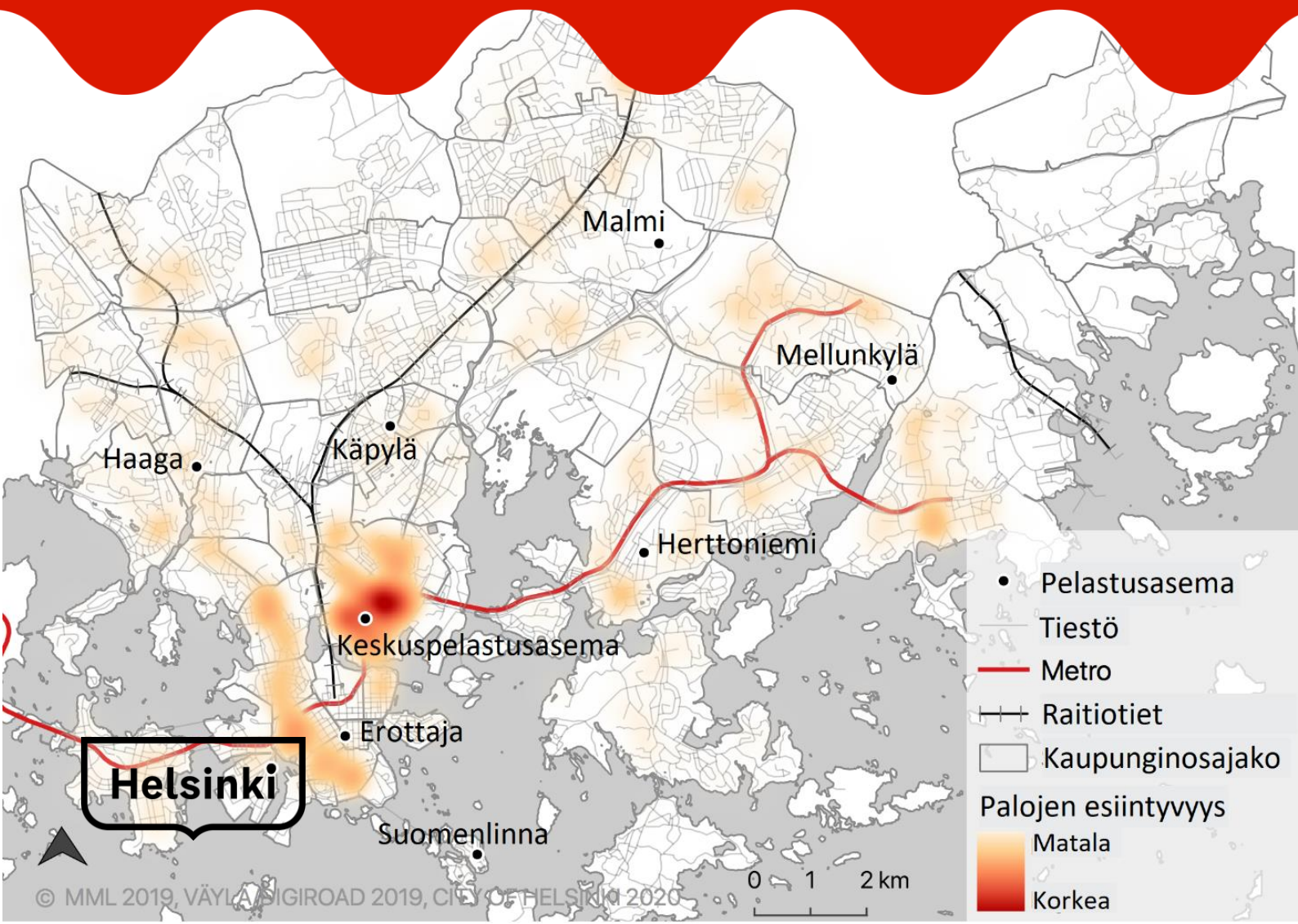




Asuinrakennuspalon riskin ja siihen vaikuttavien tekijöiden maantieteellinen mallinnus Helsingin pelastustoimen alueella





Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen julkaisuja 2020:1

Asuinrakennuspalon riskin ja siihen vaikuttavien tekijöiden maantieteellinen mallinnus Helsingin pelastustoimen alueella

Sara Todorović, Hanna Rekola, Petteri Muukkonen, Venla Bernelius

Julkaisija | Helsingin kaupungin pelastuslaitos
Tekijät | Sara Todorović, Hanna Rekola, Petteri Muukkonen, Venla Bernelius
Kannen kuva | Sara Todorović

ISBN | 978-952-331-865-6

ISSN | 2323-7899

Tiivistelmä

Tulipalo asuinrakennuksessa voi johtaa merkittäviin henkilö- ja omaisuusvahinkoihin – erityisesti kaupunkialueilla. Tulipalojen syttymistiheyden on havaittu olevan yhteydessä naapurustojen ja niiden asukkaiden ominaispiirteisiin; esimerkiksi sosioekonomiseen asemaan. Yhteyksien syy-seuraussuhteet ovat kuitenkin mutkikkaita, mikä vaikeuttaa esimerkiksi onnettomuuksien ennakoimista. Riskien maantieteellinen mallintaminen ja paikkatietoanalyysit tarjoavat uudenlaisia mahdollisuuksia ilmiön tutkimiseen, onnettomuuksien ehkäisyyn ja niihin varautumiseen.

Tässä julkaisussa on esitelty tiiviisti Sara Todorovićin pro gradu –tutkielmassa (geoinformatiikan suuntautumisvaihtoehto, maantieteen maisteriohjelma, Helsingin yliopisto) saatuja tuloksia Helsingin alueella vuosina 2014–2018 tapahtuneista asuinrakennuspaloista ja riskitekijöistä niiden taustalla (Todorović 2020). Tutkimuksessa tarkasteltiin asuinrakennuspalojen alueellista riippuvuutta tutkimalla rakennuspalojen klusteroitumista ja luotiin malli asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavista tekijöistä hyödyntämällä lineaarista regressiota ja maantieteellisesti painotettua regressiota (*Geographically Weighted Regression, GWR*), joka huomioi datan spatiaalisen heterogeenisuuden.

Tulokset osoittivat, että asuinrakennuspaloit ovat Helsingissä alueellisesti klusteroituneita. Asuinrakennuspalojen keskittymiä löytyi kantakaupungin alueelta sekä pienempinä esiintyminä itäisessä Helsingissä. Tulosten perusteella naapurustojen rakenteelliset piirteet, sosioekonominen asema ja kotitalouksien ominaispiirteet vaikuttavat asuinrakennuspalon syttymisen todennäköisyyteen. Asuinrakennuspalon todennäköisyyttä lisääviä tekijöitä olivat väestötiheys, matala koulutustaso, työttömyys, asumisväljyys ja omistusasuminen. Asuinrakennuspalon todennäköisyyttä madaltavia tekijöitä olivat asuinrakennustalojen rakennustiheys, rakennusten ikä, korkea koulutustaso ja omistusasuminen (vaikutti alueesta riippuen sekä riskiä nostavasti että sitä laskevasti). Yleisesti tutkimusalueella nämä kahdeksan muuttujaa selittivät noin puolet asuinrakennuspalon esiintymisen alueellisesta vaihtelusta. Lineaarisen regression ja maantieteellisesti painotetun regression (GWR) välillä GWR:n selitysaste oli perinteistä lineaarista regressiota merkittävämpi, ja maantieteellisesti painotettu malli onnistui myös tunnistamaan tilastollisesti merkitseviä alueellisia vaihteluita selittävien tekijöiden vaikutuksissa.

Kattava ymmärrys asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavista tekijöistä niin laajemmilla alueilla kuin paikallisella tasolla on tärkeää pelastustoimelle, sekä onnettomuuksien ehkäisyn suunnittelun että toimintavalmiuden suunnittelun näkökulmasta. Siksi tulevaisuudessa tulisi laatia yhä kehittyneempiä malleja paloriskin ja siihen vaikuttavien tekijöiden ymmärtämiseksi. Erityistä huomiota tulisi kiinnittää edistyneempien tutkimusmenetelmien ja mallinnuskeinojen soveltamiseen sekä asuinrakennuspalojen riskin ajallisen vaihtelun tarkasteluun ja palojen aiheuttamien vahinkojen tutkimiseen.

Avainsanat: asuinrakennuspalo, geoinformatiikka, maantieteellisesti painotettu regressio (GWR), paloriski, rakennuspalo, riskimalli, riskitekijä

Sammanfattning

Geografisk modellering av risken för bränder i bostadshus och faktorer som påverkar den i Helsingfors räddningsverks område

Brand i bostadshus kan leda till betydande person- och egendomsskador – i synnerhet i urbana områden. Det har konstaterats att brandfrekvensen har ett samband till särdragen i grannskap och invånarna i dem, till exempel den socioekonomiska ställningen. Orsaks- och konsekvenssambanden är dock komplicerade, vilket försvårar till exempel förutseende av olyckor. Geografisk modellering av riskerna och geodataanalyser erbjuder nya möjligheter att undersöka fenomenet, förebygga olyckor och skaffa sig beredskap inför dem.

Den här publikationen presenterar i kortfattad form resultaten från Sara Todorović pro gradu-avhandling (inriktning geoinformatik, magisterprogrammet i geografi, Helsingfors universitet). Resultaten behandlar bränder i bostadshus i Helsingforsområdet 2014–2018 och riskfaktorerna bakom dem (Todorović 2020). I undersökningen granskades det regionala beroendet hos bränder i bostadshus genom att undersöka klusterbildningen i bränderna och togs fram en modell av faktorer som påverkar risken för bränder i bostadshus genom att utnyttja linjär regression och geografiskt viktad regression (*Geographically Weighted Regression*, GWR), som beaktar den spatiala heterogeniteten i data.

Resultaten visade att bränder i bostadshus bildar regionala kluster i Helsingfors. Koncentrationer med bränder i bostadshus återfanns i stadskärnans område och mindre förekomster i östra Helsingfors. Resultaten visar att på sannolikheten för uppkomsten av bränder i bostadshus inverkar grannskapens strukturella drag, socioekonomiska ställning och hushållens särdrag. Faktorer som ökar sannolikheten för bränder i bostadshus var befolkningstäthet, en låg utbildningsnivå, arbetslöshet, boenderymlighet och boende i ägarbostäder. Faktorer som minskar sannolikheten för bränder i bostadshus var bostadshusens byggnadstäthet, byggnadernas ålder, en hög utbildningsnivå och boende i ägarbostäder (denna faktor både ökade och minskade risken beroende på området). I undersökningens område generellt förklarade dessa åtta variabler ungefär hälften av den regionala variationen i förekomsten av bränder i bostadshus. Av den linjära regressionen och geografiskt viktade regressionen (GWR) kunde GWR förklara orsaker i en större omfattning än den traditionella linjära regressionen, och den geografiskt viktade modellen kunde även identifiera statistiskt signifikanta regionala variationer i förklaringsfaktorernas påverkan.

Att räddningsverket har en omfattande förståelse av de faktorer som påverkar risken för bränder i bostadshus både i större områden och mer lokalt är viktigt både ur perspektivet för planeringen av olycksförebyggande åtgärder och planeringen av beredskapen. Därför borde man i framtiden utarbeta allt mer avancerade modeller för att förstå brandrisken och de faktorer som inverkar på den. Särskild uppmärksamhet borde fästas vid tillämpningen av mer avancerade forsknings- och modelleringsmetoder, på att granska den tidsmässiga variationen i risken för bränder i bostadshus och på att undersöka de skador som bränderna orsakar.

Nyckelord: brand i bostadshus, geoinformatik, geografiskt viktad regression (GWR), brandrisk, byggnadsbrand, riskmodell, riskfaktor

Summary

Geographical modelling of urban residential fire risk and its driving factors in Helsinki rescue region

Residential building fires cause casualties as well as property damage and financial losses, especially in urban areas. Fire incidence has been found to have a strong connection with the characteristics of neighborhoods and their inhabitants. For instance, socioeconomic background of the residents and features of the buildings have been found to influence the fire risk. However, the influencing factors are complex and often interconnected, which has made it difficult to make accurate assessments. Risk modelling and spatial data analysis have provided effective means to study these complexities. To date, knowledge of the spatial risk factors affecting residential fire incidence is yet limited in Helsinki.

This publication summarizes the findings of Sara Todorović's Master's thesis (Geoinformatics, Master's Programme, Geography, University of Helsinki) in which she studied the residential building fire incidence and its driving factors in Helsinki City Area in 2014–2018 (Todorović 2020). In her study, Todorović analysed residential fires in Helsinki at a 250 x 250 m grid level and investigated the spatial dependence of fires by observing statistically significant clusters of fires. The study also presented a risk model to identify the underlying structural, socioeconomic, and household characteristics of neighborhoods that affect the residential fire incidence. The driving factors were assessed using linear regression and Geographically Weighted Regression (GWR), which takes into account spatial heterogeneity in the phenomenon.

According to the results, residential fires are spatially clustered in Helsinki. A significant large concentration of fires was found especially in the inner-city area and smaller concentrations in eastern Helsinki. Various independent factors were found to have an influence on the fire risk, including structural features of the neighborhood, socioeconomic status, and household circumstances. These factors both increased and decreased the fire risk. More specifically, population density, low education, unemployment, occupancy rate of dwellings, and home ownership were found to increase the fire risk and residential building density, age of the buildings, high education, and home ownership (was found to both increase and decrease the risk in different parts of Helsinki) decreased the risk on neighborhood level. These eight variables explained about half of the variance of residential fire incidence. The GWR model explained the variation of fire risk better than traditional linear regression. GWR was also able to identify significant local variations in the effects.

A comprehensive understanding of the residential fire risk and its influencing factors is important for rescue services, especially in terms of planning risk management, accident prevention, response readiness and allocation of resources. There is still demand for more precise models which would provide a more comprehensive understanding of residential fire risk and the factors affecting it. Particular attention should be paid to the quality of data and diversity of applied methods. Also, the temporal dimension and the consequences of fires should be taken into account.

Keywords: Building fire, Fire risk, Geographically Weighted Regression, Geoinformatics, GIS, Residential building fire, Risk factor, Risk model

Alkusanat

Tässä julkaisussa on tiivistetty Sara Todorovićin pro gradu -tutkielma, joka on tehty osana geoinformatiikan suuntautumisvaihtoehdon opintoja maantieteen maisteriohjelmassa Helsingin yliopistossa keväällä 2020. Työn tavoitteena oli tarkastella ja ymmärtää asuinrakennuspalojen taustalla olevia riskitekijöitä Helsingissä naapurustotasolla sekä hyödyntää edistyneempiä paikkatieto- ja tilastomenetelmiä ilmiön mallintamisessa. Työn tulokset korostivat, että asuinrakennuspalon syttymiseen vaikuttavat tekijät ovat monimutkaisia, mutta että naapurustojen sosioekonomiset piirteet vaikuttavat syttymisen todennäköisyyteen eri puolilla kaupunkia. Pelastustoimen ja kokonaisvaltaisen riskienhallinnan näkökulmasta tulokset antavat arvokasta lisätietoa sekä asuinrakennuspalon alueelliseen jakautumiseen ja riskitekijöihin liittyen, että varmuutta edistyneempien ja avoimien menetelmien hyödynnettävyydestä myös pelastustoimen riskianalysissä.

Työn ohjaajina toimivat Helsingin pelastuslaitokselta tutkuspäällikkö Hanna Rekola sekä Helsingin yliopistosta yliopistonlehtori Petteri Muukkonen ja apulaisprofessori Venla Bernelius. Tutkimuksessa hyödynnettiin Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustietokannan (PRONTO) tietoja asuinrakennuspaloista ja asuinrakennuspalovaaroista Helsingissä vuosina 2014–2018. Lämpimät kiitokset kaikille työn eri vaiheessa mukana olleille sekä ohjaajille arvokkaista kommentteista ja keskustelusta.

Tekijät

Sisällys

1	Johdanto.....	2
2	Taustaa.....	3
2.1	Tulipalojen riskianalyysi.....	3
2.2	Asuinrakennusten paloriskiin vaikuttavia tekijöitä	4
2.3	Asuinrakennusten paloriskien mallintaminen	6
3	Aineisto ja menetelmät.....	8
3.1	Aineisto ja sen valmistelu	8
3.2	Spatiaalinen riippuvuus	9
3.3	Maantieteellisesti painotettu regressio (GWR).....	11
4	Tulokset.....	12
4.1	Spatiaalinen riippuvuus	12
4.2	Perinteisen regressiomallin tulokset	13
4.3	Maantieteellisesti painotetun regressiomallin tulokset	15
5	Johtopäätökset ja pohdintaa	21
5.1	Keskeisimmät havainnot asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavista tekijöistä	21
5.2	Mallin toimivuus.....	23
5.3	Tutkimuksen pätevyys ja luotettavuus	23
5.4	Johtopäätökset.....	24
	Lähdeluettelo.....	26

1 Johdanto

Tulipalot ovat muinoin olleet pääasiassa luonnonilmiöitä, mutta nykypäivän yhteiskunnissa niissä voidaan tunnistaa merkittäviä sosiaalisia ulottuvuuksia niin syiden kuin seurausten osalta. Tulipalot uhkaavat ihmishenkiä ja voivat aiheuttaa mittavia taloudellisia vahinkoja ja menetyksiä (Corcoran ja Higgs 2013; Jennings 2013; Špatenková ja Virrantaus 2013; KC ja Corcoran 2017). Asuinrakennuksissa tapahtuvat tulipalot johtavat muissa rakennuksissa tapahtuvia paloja todennäköisemmin henkilövahinkoihin (Ceyhan ym. 2013).

Aiemmat tutkimustulokset ovat osoittaneet, että asuinrakennuksissa tapahtuvien tulipalojen esiintyvyydessä voidaan havaita alueellista vaihtelua eli tulipalon riski on korkeampi tietyillä alueilla kuin toisilla. Erityisesti sellaisia keskittymiä, joissa asuinrakennuspaloriski on korkea, tavataan matalan sosioekonomisen aseman asuinalueilla (Wuschke ym. 2013; Guldåker ym. 2018). Tutkimustuloksissa on myös havaittu, että asuinrakennuspaloriskiin vaikuttavat kaupunkiolosuhteissa lukuisat suorat ja epäsuorat tekijät (Corcoran ym. 2011b). Esimerkiksi juuri asuinalueen asukkaiden matala sosioekonominen asema, syrjäytyneisyys sekä rakennusten kunto vaikuttavat paitsi tulipalon syttymisen todennäköisyyteen myös palokuoleman todennäköisyyteen (Gunther 1981; FEMA 1997; Duncanson ym. 2002; Jennings 2013).

Aiheen tutkimus on erityisesti viime vuosina lisääntynyt, mutta tieto asuinrakennuspalojen alueellisista riippuvuuksista ja maantieteelliseen jakautumiseen vaikuttavista tekijöistä on edelleen suhteellisen rajallista ja keskittynyt pääosin Isoon-Britanniaan, Australiaan, Kanadaan, Ruotsiin ja Suomeen (Corcoran ym. 2007; Chhetri ym. 2010; Asgary ym. 2010; Corcoran ym. 2011b; Špatenková ja Virrantaus 2013; Wuschke ym. 2013; Guldåker ym. 2018; Ardianto ja Chhetri 2019).

Asuinrakennuspalon syttymisen ja tulipalossa loukkaantumisen riskitekijöitä on tutkittu Suomessa jonkin verran (Kokki ja Jäntti 2009; Kokki 2014; Östman 2015), mutta alueellisiin riippuvuuksiin ja ilmiön paikallisiin erityispiirteisiin keskittyviä tutkimuksia on vähän. Viimeisimmät paikkatietoanalyysit Helsingissä hyödyntäneet tutkimukset on toteutettu vuosien 2005–2008 aineistoilla (Tillander ym. 2010; Špatenková ja Stein 2010; Špatenková ja Virrantaus 2013).

Suomessa pelastuslaki velvoittaa pelastuslaitokset huolehtimaan alueellaan tulipalojen ehkäisemisestä ja niiden seurausten rajoittamisesta sekä pelastustoiminnasta tulipalotilanteessa (Pelastuslaki 379/2011). Kansallisissa strategioissa peräänkuulutetaan dynaamisempaa ja tietoperusteisempaa riskianalyysia ja päätöksentekoa (Sisäministeriö 2016; 2019). Tämä edellyttää perusteellisempaa ymmärrystä asuinrakennuspalojen taustalla vaikuttavista tekijöistä sekä ilmiön paikallisista erityispiirteistä. Tunnistamalla alueita, joilla asuinrakennuspalon riski on tai tulee olemaan korkea, pelastuslaitoksen ennaltaehkäisyyn ja pelastustoiminnan toimintavalmiuteen käyttämät resurssit voidaan kohdentaa tarkoituksenmukaisesti.

Tässä tutkimuksessa on pyritty vastaamaan aiemman tutkimuskirjallisuuden pohjalta havaittuun tarpeeseen tarkastella asuinrakennuspalon riskin ja riskitekijöiden alueellista vaihtelua kaupunkiympäristössä Helsingissä. Tutkimuksen tavoitteena on saada päivitetty kuva asuinrakennuspalojen alueellisesta jakaumasta Helsingissä, laatia asuinrakennuspalon todennäköisyyttä ennustava alueellinen malli sekä tunnistaa keskeisimmät kaupunkiympäristössä asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavat tekijät.

2 Taustaa

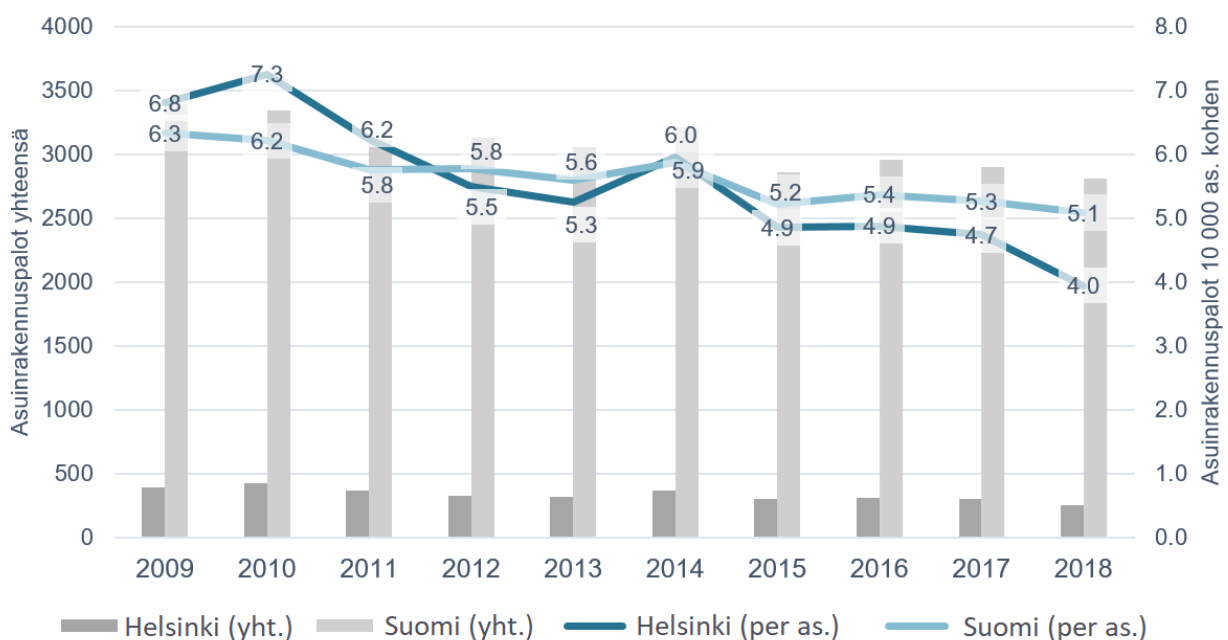
2.1 Tulipalojen riskianalyysi

Tulipalon riskillä tarkoitetaan palon syttymisen todennäköisyyttä sekä sen odotettuja seurauksia (Watts ja Hall 2002). Täten riski voidaan jakaa kahteen osaan, joista ensimmäinen muodostuu tapahtuman todennäköisyydestä ja toinen seurauksista. Tapahtuman todennäköisyyteen ja seurausten suuruuteen voivat vaikuttaa eri tekijät. Tässä tutkimuksessa on keskitytty tapahtuman todennäköisyyteen huomioimatta niiden todennäköisiä seurauksia.

Tulipalon riskejä tutkitaan tyypillisesti kaupunkialueilla useasta syystä. Erityisesti asuinrakennuspalojen riski on selkeästi yhteydessä suureen ja tiheään väestötiheyteen, joka nostaa useiden tutkimusten mukaan tulipalon esiintymisen todennäköisyyttä (November 2004). Kaupunkialueilla asuinrakennuspalojen määrä muodostuu siten korkeaksi, mikä erityisesti mahdollistaa tulipalojen riskin ja siihen vaikuttavien tekijöiden tutkimisen tilastollisin menetelmin (Wallace ja Wallace 1984; Jennings 2013; KC ja Corcoran 2017; Ardianto ja Chhetri 2019).

Asuinrakennuspalojen osuus kaikista rakennuspaloista on merkittävä. Suomessa tilastojen mukaan jopa 70 % rakennuspaloista tapahtuu asuinrakennuksissa (Pelastusopisto 2020). Helsinki on maan merkittävin urbaani keskittymä ja vuosina 2014–2018 yli 10 % kaikista Suomen asuinrakennuspaloista tapahtui Helsingissä (Pelastusopisto 2020).

Suomessa rakennuspaloissa tapahtuvista vakavista henkilövahingoista noin 70 % syntyy asuinrakennuksissa (Pelastusopisto 2020). Vaikka rakennuspalojen määrä on Suomessa laskenut viime vuosina (Kuva 1), väkilukuun suhteutettuna palokuolemien ja tulipaloissa syntyvien vakavien loukkaantumisten määrä on ollut Suomessa perinteisesti muita Pohjoismaita korkeampi (Sisäministeriö 2019).



Kuva 1. Asuinrakennuspalojen määrä sekä asukaslukuun suhteutettu määrä Helsingissä ja Suomessa 2009–2018. Lähteet: Pelastusopisto (2020); Suomen virallinen tilasto (2020).

Riskianalyysillä tarkoitetaan sitä systemaattista prosessia, jossa tunnistetaan ja ymmärretään riskiin vaikuttavat tekijät. Riskianalyysiin kuuluu määritelmällisesti myös riskienhallinta (Ceyhan ym. 2013). Riskienhallinta kattaa systemaattisen analyysin, suunnittelun ja päätöksenteon ja siinä voidaan tunnistaa toisiinsa liittyviä toimintoja kuten ehkäisy, valmius, vaste ja toipuminen (Ceyhan ym. 2013, 226).

Suomessa pelastuslaki velvoittaa pelastuslaitokset huolehtimaan alueellaan tulipalojen ehkäisemisestä ja niiden seurausten rajoittamisesta sekä pelastustoiminnasta tulipalotilanteessa (Pelastuslaki 379/2011). Kansallisen pelastustoimen strategian (Sisäministeriö 2016) ja onnettomuuksien ehkäisyn toimintaohjelman (Sisäministeriö 2019) tavoitteina on lisätä viranomaisyhteistyötä ja tutkimustoimintaa erityisesti onnettomuuksien ennaltaehkäisyn osalta. Tutkimuksen ja riskianalyysin odotetaan uusia tutkimusmenetelmiä ja näkökulmia hyödyntämällä tarjoavan perusteellisempaa ymmärrystä riskeistä ja niihin vaikuttavista tekijöistä (Sisäministeriö 2016).

Paikallisesti pelastuslaitoksissa riskianalyysillä viitataan myös lakisääteiseen palvelutasopäätöksen perusteluosaan. Uudenmaan pelastuslaitokset ovat laatineet vuosina 2018–2020 yhteisen riskianalyysin, joka kattaa toimintaympäristön ja siinä odotettavan kehityksen kuvauksen, arvion toimintaympäristössä havaittavista riskeistä, niiden syistä ja todennäköisistä seurauksista sekä arvioita pelastuslaitosten riskienhallintamenetelmien vaikuttavuudesta. Riskianalyysissä on hyödynnetty onnettomuustilastoja, paikkatietoanalyseja sekä kirjallisia lähteitä (Uudenmaan pelastuslaitokset 2020).

2.2 Asuinrakennusten paloriskiin vaikuttavia tekijöitä

Tutkimuksissa on osoitettu, että riski tulipalon syttymiselle kotona ei esiinny samanlaisena kaikille ja kaikkialla. Yksilöiden, kotitalouksien ja asuinalueiden sosioekonominen asema ja muut ominaispiirteet vaikuttavat tutkimustulosten perusteella merkittävästi tulipalojen esiintyvyyteen (Jennings 1999; Jennings 2013). Tulipalon todennäköisyyteen vaikuttavia tekijöitä on tutkittu jo pitkään, ja yhteyksiä on löydetty esimerkiksi kohonneen paloriskin ja korkean väentihyden, sosioekonomisen aseman, koulutustason, asuntokuntien koon ja asumisväljyyden, omistusasumisen, rakennusten iän ja rakennusmateriaalien välillä (Gunther 1981; FEMA 1997; Duncanson ym. 2002; Holborn ym. 2003; Corcoran ym. 2007; Chhetri ym. 2010; Corcoran ym. 2011b; Xiong ym. 2015; Turner ym. 2017; Jonsson ja Jaldell 2020). Tutkimustulokset 1970-luvulta 2000-luvulle asti olivat epäjohdonmukaisia, mutta myöhemmissä tutkimuksissa on löydetty selkeitä yhteyksiä sosioekonomisten tekijöiden ja korkeamman paloriskin välillä (Wallace ja Wallace 1984; Jennings 1999; Jennings 2013).

Jo 1980-luvun alussa Yhdysvalloissa tunnistettiin, että alueellinen tulotason kasvu johti tulipalojen esiintymisen vähenemiseen. Tutkimuksessa löydettiin yhteyksiä myös matalan tulostason sekä korkean tulipalojen esiintyvyyden välillä (Gunther 1981). Myöhemmin lukuisat empiiriset tutkimukset ovat tunnistaneet vastaavia yhteyksiä sosioekonomisten piirteiden ja paloriskin välillä (Duncanson ym. 2002; Holborn ym. 2003; Chhetri ym. 2010; Corcoran ym. 2011b; Jonsson ja Jaldell 2020). Matalan sosioekonomisen aseman on havaittu tutkimuksissa liittyvän riskialttiiseen käyttäytymiseen, päihteidenkäyttöön ja tupakointiin, jotka nostavat tulipalon riskiä ja todennäköisyyttä henkilövahingoille (Duncanson ym. 2002; Runyan ym. 1992; Holborn ym. 2003). Vastaavia tuloksia on saatu myös Suomessa (Kokki ja Jäntti 2009; Kokki 2014; Östman 2015).

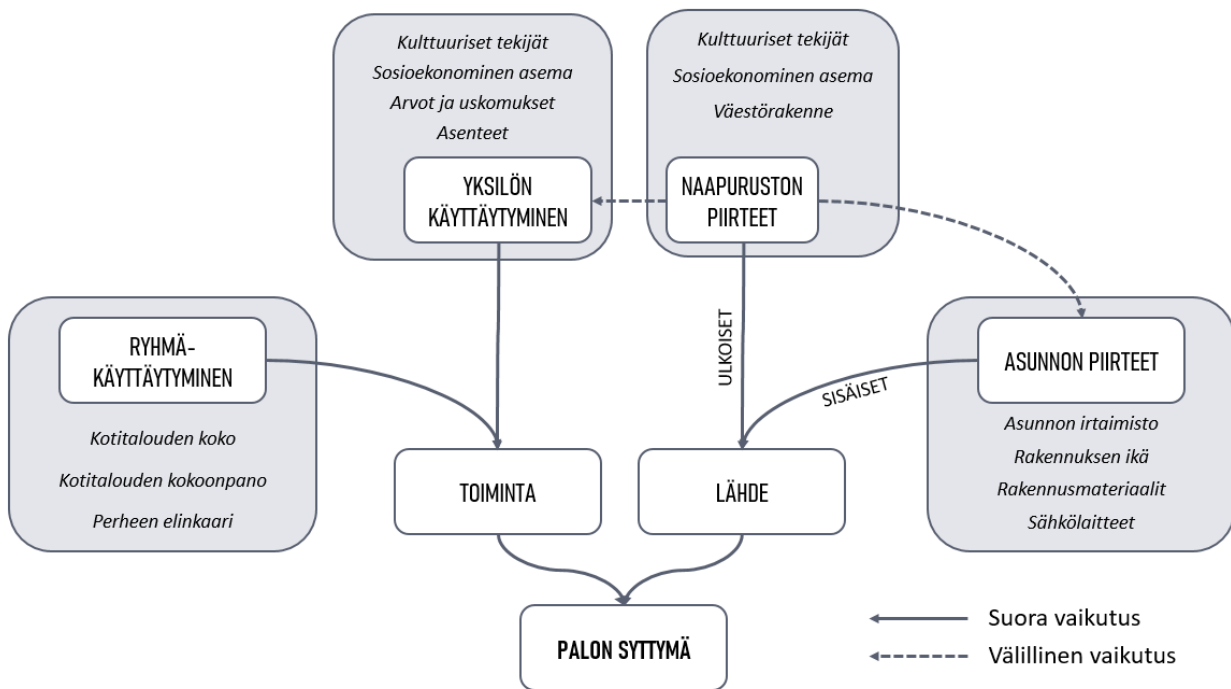
2000-luvulta alkaen paikkatietoanalyysit ovat yleistyneet asuinrakennuspalojen riskejä tarkastelevissa tutkimuksissa. Tutkimuksissa on havaittu, että tulipalot usein keskittyvät tietyille asuinalueille monissa kaupungeissa (Jennings 2013; Wuschke ym. 2013; Guldåker ym. 2018). Monesti näiden alueellisten keskittymien taustalta on löytynyt samoja tekijöitä, jotka vaikuttavat myös yksilön kohonneeseen riskialttiuteen (Chhetri ym. 2010; Corcoran ym. 2011b; Guldåker ym. 2018). Kaupunginosien välisen sosiaalisen eriytymisen eli segregaatoin nähtiin tutkimuksissa vaikuttavan tiettyjen kaupunkialueiden kohonneeseen tulipalorisktiin. Palojen keskittyminen tietyille asuinalueille osoitti, että alueellisella eriytyemisellä olisi kytkös myös tulipalojen alueelliseen esiintyvyyteen.

Helsingissä kaupunginosien sosiaalisen eriytymisen ja yleisesti sosioekonomisen aseman ei välttämättä voida olettaa vaikuttavan paloriskin alueellisuuteen yhtä voimakkaasti, koska sosiaalinen eriytyminen ei ole samaa luokkaa kuin muissa tutkimusmaissa. Helsingissä asuinalueiden eriarvoistuminen on kansainvälisesti vertailtuna suhteellisen vähäistä ja asuntokanta ja sosiaali- ja terveystalvet korkeatasoisia (Saikkonen ym. 2018). Esimerkiksi Tukholmassa asuinrakennuspalojen riskien alueellinen keskittyminen on voimakasta ja kaupunki on tunnustettu myös yhdeksi Euroopan sosiaalisesti eriytyneimmistä kaupungeista (Musterd ym. 2017). Tämän vuoksi esimerkiksi Ruotsissa tehtyjen tutkimusten havaintoja on syytä tarkastella Helsingin kontekstissa tarkemmin.

Yhteydet taustalla vaikuttavien tekijöiden ja asuinrakennuspalon riskin välillä ovat monimutkaisia. Tutkimuksissa onkin löydetty myös monia toisiaan vastakkaisia tuloksia. Erilaiset tekijät vaikuttavat riskiin myös eri tavoin riippuen siitä, onko tarkastelun kohteena tulipalon syttyminen vai vakavien seurausten syntyminen. Tässä tutkimuksessa keskityttiin tulipalon syttymiseen vaikuttaviin tekijöihin. Tekijät voivat vaikuttaa syttymän todennäköisyyteen suoraan tai epäsuorasti ja vaikutusketjut voivat olla hyvin mutkikkaita, minkä vuoksi riskitekijöitä on hyödyllistä laatia eri tekijöiden vaikutusketjuja havainnollistava malli. Monissa tutkimuksissa onkin tunnustettu kattavan ja perusteellisen riskimallin puuttuminen (Corcoran ym. 2011b; Corcoran ja Higgs 2013; Jennings 2013; Wuschke ym. 2013; Ardianto ja Chhetri 2019). Perusteellisempi teoreettinen viitekehys auttaisi paitsi paloriskien mallinnuksessa ja siihen vaikuttavien tekijöiden tunnistamisessa myös pelastuslaitoksia niiden toiminnan suunnittelussa.

Tässä tutkimuksessa on hyödynnetty 2010-luvun alussa laadittua teoreettista viitekehystä tulipalojen riskiin vaikuttavista tekijöistä (Corcoran ym. 2011b), johon on sittemmin viitattu laajalti myös muualla alan tutkimuksessa (Jennings 2013; Song ym. 2017; Zhang ym. 2018; Ardianto ja Chhetri 2019; Nilson ja Bonander 2020). Mallin mukaan palon syttyminen vaatii palon lähteen sekä palon aiheuttavan toiminnan tai tapahtuman. Syttymislähteeseen vaikuttavat sisäiset ja ulkoiset tekijät. Sisäisiä tekijöitä ovat asunnon piirteet, joihin lukeutuvat asunnon rakenteeseen, materiaaleihin, varusteluun, ikään ja irtaimistoon liittyvät ominaisuudet. Ulkoihin tekijöihin kuuluvat fyysinen ympäristö, naapuruston piirteet kuten sosioekonominen status ja väestörakenne sekä sääolosuhteet.

Palon aiheuttava toiminta on tyypillisesti seurausta ihmisten käyttäytymisestä, lukuun ottamatta tilanteita, joissa palo aiheutuu esimerkiksi laiteviasta. Ihmisten toimintaan vaikuttavat esimerkiksi opitut käytösmallit, arvot, sosioekonominen asema sekä kulttuuriset tekijät. Epäsuorasti käyttäytymiseen vaikuttavat myös kalenteritapahtumat, kuten esimerkiksi pyhäpäivät tai lomamat (Corcoran ym. 2011b). Se, miten eri tekijät vaikuttavat toisiinsa ja suorasti tai epäsuorasti tulipalon riskiin on myös voimakkaasti tilannekohtaista (Ardianto 2018). Näin ollen asuinrakennuspalon syttyessä, voidaan taustalla vaikuttavia syitä pyrkiä hahmottamaan myös laajemmin kuin uhrin henkilökohtaisten ominaisuuksien perusteella (Kuva 2).



Kuva 2. Teoreettinen viitekehys asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavista tekijöistä. Mukailten Corcoran ym. (2011b).

2.3 Asuinrakennusten paloriskien mallintaminen

Aikaisemmissa tutkimuksissa on mallinnettu asuinrakennusten paloriskejä monilla eri menetelmillä. Varhaisessa kirjallisuudessa pitäydyttiin kuvailevissa tutkimusmenetelmissä ja myöhemmin määrälliset menetelmät ja paikkatietoanalyysit ovat yleistyneet. Tyypillisesti käytettyjä menetelmiä ovat esimerkiksi erilaiset klusterianalyysit, todennäköisyysmallit, regressiomallit sekä viime vuosina myös spatiaaliset mallit.

Spatiaalisen mallinnuksen eli paikkatietoanalyysiin perustuvan mallinnuksen piiristä tutkimuksissa on käytetty menetelminä muun muassa ydinstimointia (*Kernel Density Estimation, KDE*), *comap*-analyysijä (Brunsdon 2001), *Bayes*-verkkotodennäköisyysmallia, piste-estimointia sekä perinteistä ja maantieteellisesti painotettua regressiomallia. Erityisesti regressiomalleja on käytetty asuinrakennuspalojen riskin mallintamisessa laajasti (Corcoran ym. 2007; Chhetri ym. 2010; Tillander ym. 2010; Corcoran ym. 2011a; Taylor ym. 2012; Hu ym. 2019). Tässä tutkimuksessa Helsingin asuinrakennuspalojen riskien alueellista jakautumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä tarkasteltiin regressiomallien avulla.

Perinteisessä regressiossa riippuvaa muuttujaa Y selitetään joukolla riippumattomia muuttujia X , niille lasketuilla regressiokertoimilla sekä virhetermillä. Tarkasteltaessa asuinrakennuspalon riskiä riippuva muuttuja on laskennallisesti määritetty tulipalon riski, esimerkiksi palojen määrä alueyksikköä kohti. Riskin suuruutta selitetään valituilla selittävillä tekijöillä, jotka valitaan esimerkiksi aikaisemman tutkimuskirjallisuuden tai muiden hypoteesien perusteella. Tällä hetkellä Suomessa pelastuslaitosten käyttämä riskimalli, jonka perusteella määritellään esimerkiksi tavoiteaikoja toimintavalmiusajoille, perustuu perinteiseen monimuuttujaregressioon, jossa tulipalojen määrää maantieteellisen ruudukon ruuduissa selitetään väestömäärällä ja rakennetun kerrosalan määrällä.

Asuinrakennuspalon riskin on havaittu tutkimusten perusteella painottuvan tietyille alueille. Tällöin perinteinen regressiomalli voi jättää huomiotta monia paikallisia erityispiirteitä. Regressiomallissa riippuvaa muuttujaa

selittäville tekijöille lasketaan regressiokertoimet, jotka ovat vakioita koko tutkittavalle alueelle. Käytännössä ne ovat keskiarvoja sille, miten suurella voimakkuudella eri tekijät vaikuttavat riippuvaan muuttujaan koko tutkittavalla alueella. Dynaamisesti käyttäytyvän ilmiön kohdalla voidaan kuitenkin kyseenalaistaa, vaikuttavatko eri tekijät tulipalon riskiin yhtä voimakkaasti kaikissa tutkittavan alueen osissa. Koska tulipalot ovat ilmiönä dynaamisia, voidaankin kyseenalaistaa, vaikuttavatko samat riskitekijät tulipalojen esiintyvyyteen yhtä voimakkaasti kaikkialla tutkimusalueella, vai vaikuttavatko eri alueilla riskin todennäköisyyteen eri tekijät. Toisin sanoen voidaanko olettaa, että esimerkiksi työttömyys vaikuttaa tulipalon esiintyvyyteen samalla voimakkuudella koko tutkimusalueella, vai esiintykö muuttujan vaikutuksessa tulipalon riskiin eroja tutkimusalueen sisällä.

Maantieteellisesti painotettu regressio (*Geographically Weighted Regression, GWR*) ottaa huomioon tällaiset alueelliset vaihtelut. Mallissa regressiokertoimet ja virhetermit on laskettu erikseen kaikille tutkittavan alueen alueyksiköille, esimerkiksi ruudun ruuduille. Malli pyrkii selvittämään, missä tutkittavan alueen osissa selittävät tekijät vaikuttavat riippuvaan muuttujaan voimakkaimmin ja missä ilmiö käyttäytyy poikkeavalla tavalla (Taulukko 1).

Maantieteellisesti painotettua regressiota on käytetty asuinrakennuspalon riskiä tarkastelevissa tutkimuksissa vain jonkin verran. Suomessa mallia on aiemmin käytetty Helsingin asuinrakennuspalojen riskitekijöiden mallintamisessa 2010-luvun alussa (Špatenková ja Virrantaus 2013). Tutkimuksessa käytettiin asuinrakennuspalon riskiä selittävinä tekijöinä esimerkiksi rakennustyyppiä, asuntokuntien rakennetta, väentheyttä ja tulotasoa. Tulosten perusteella havaittiin, että maantieteellisesti painotettu regressiomalli selitti asuinrakennuspalojen riskejä perinteistä regressiomallia paremmin.

Taulukko 1. Perinteisen regression ja maantieteellisen regression vertailu. Mukailten Fotheringham ym. (2002).

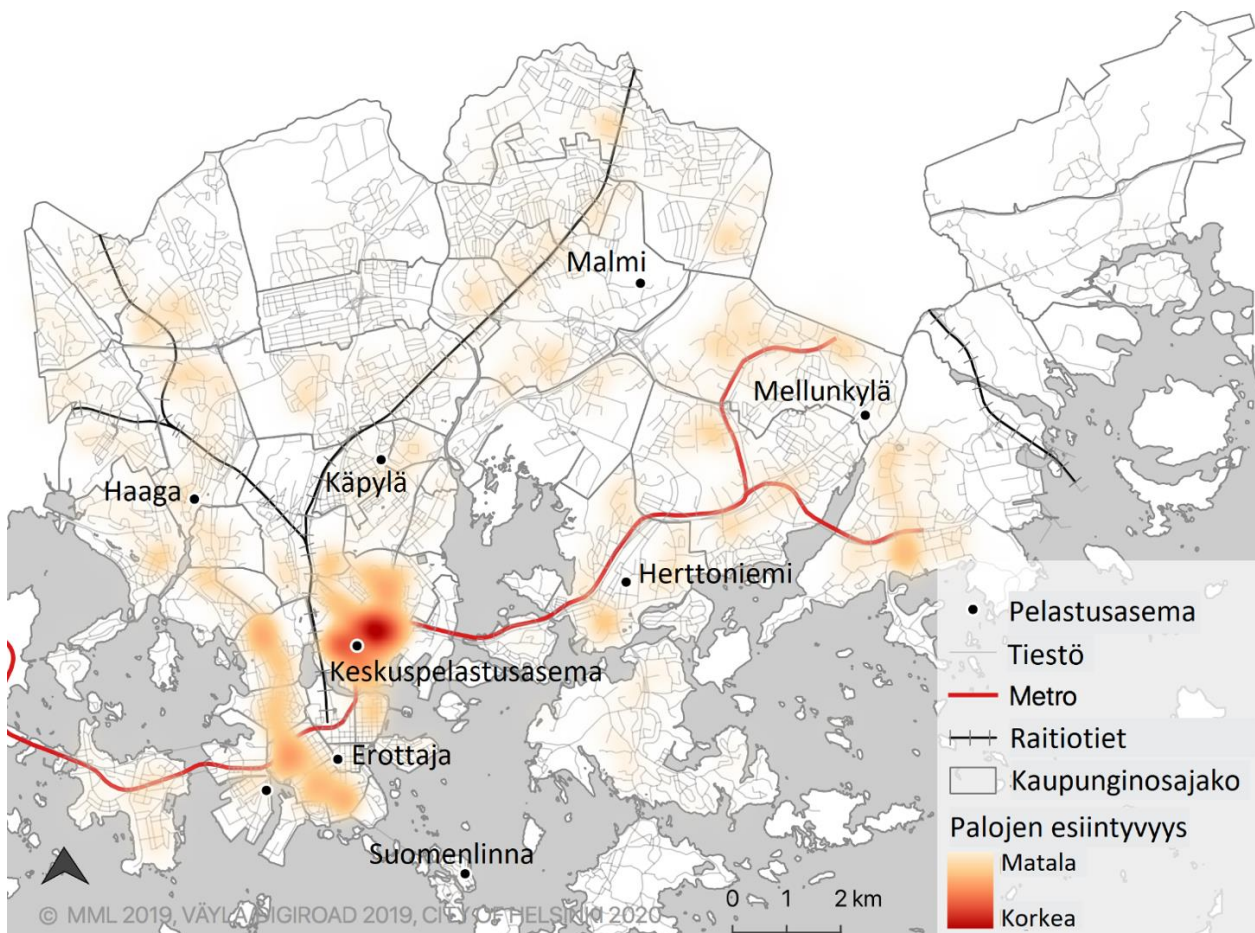
Perinteinen regressio	Maantieteellisesti painotettu regressio
Yleistys koko tutkittavasta alueesta	Paikalliset tarkennukset
Koko aluetta kuvaavat yksittäiset tilastot	Yksittäisiä sijainteja kuvaavat paikalliset tilastot
Ei voida esittää kartalla	Voidaan esittää kartalla
Ei sovellu paikkatietoanalyysiin	Soveltuu paikkatietoanalyysiin
Ei huomioi alueellisia eroja	Huomioi alueelliset eroavaisuudet
Etsii lainmukaisuuksia	Etsii poikkeuksia ja paikallisia erityispiirteitä

3 Aineisto ja menetelmät

3.1 Aineisto ja sen valmistelu

Tämän tutkimuksen tutkimusalueena oli Helsingin pelastustoimen alue. Helsinki on pääkaupunkina ja Suomen suurimpana kaupunkikeskittymänä kiinnostava tutkimusalue kaupunkialueiden asuinrakennuspalojen riskien osalta. Helsingissä on kahdeksan pelastusasemaa, joista seitsemän on käytössä ympärivuotisesti (Kuva 3). Helsinki on Suomen tiheimmin asuttu kaupunki, ja vuoden 2018 lopussa väestömäärä Helsingissä oli 648 042 asukasta, joka on 11,7 % koko maan väestöstä (Helsingin kaupunki 2019b).

Tutkimuksessa käytettiin aineistona Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustietokannan (PRONTO) tietoja asuinrakennuspalloista ja asuinrakennuspalovaaroista, joissa pelastuslaitos on kutsuttu paikalle. Aineisto sisältää tiedot muun muassa palojen sijainnista, ajankohdasta ja tyypistä sekä tietoja kyseessä olleesta rakennuksesta. Rakennustietojen perusteella aineistosta poimittiin asuinrakennuksissa tapahtuneet palot. Määritelmällisesti rakennuspalovaarojen kohdalla palo ei ole päässyt leviämään ensimmäisenä syttyneestä irtaimistosta tai rakenteesta, mutta kohteessa on ollut merkkejä palosta ja on ilmeistä, että ilman sammutustoimenpiteitä tilanteesta olisi voinut kehittyä rakennuspalo (Pelastusopisto 2015). Käytetyssä aineistossa oli kokonaisuudessaan 1546 asuinrakennuspaloa tai -vaaraa, jotka olivat sattuneet Helsingissä vuosina 2014–2018 (Kuva 3).



Kuva 3. Asuinrakennuspalojen alueellinen levinneisyys Helsingissä vuosina 2014–2018 visualisoituna Kernel-tiheyspintana. Suomenlinnan pelastusasema on valmiudessa toukokuusta syyskuuhun, muut pelastusasemat ympäri vuoden. Keskuspelastusasema sijaitsee Kallion kaupunginosassa.

Muita tutkimuksessa käytettyjä aineistoja olivat Tilastokeskuksen ruututietokanta (Tilastokeskus 2019) ja Yhdyskuntarakenteen seurannan tietokanta (YKR 2019). Aineistot ovat maantieteellisiä ruudukoita, joissa kukin halkaisijaltaan 250 x 250 metrin ruutu sisältää tietoja esimerkiksi väestömäärästä, keskimääräisestä tulotasosta, koulutustasosta, työllisyysasteesta, asukkaiden ikärakenteesta, vuokra- ja omistusasuntojen osuuksista sekä rakennusten ja asuntojen piirteistä (Taulukko 2). Aineistosta on piilotettu niiden ruutujen tiedot, joissa asuu alle kolme henkeä.

Tulipaloaineisto valmisteltiin tutkimusta varten liittämällä ruututietokantojen ruutuihin niissä syttyneiden tulipalojen määrän paikkatieto-ohjelman avulla. Analysoitavaan aineistoon tuli yhteensä 1823 ruutua, jotka sisälsivät tietoja tulipalojen määrästä sekä edellä kuvatuista muuttujista. Ruuduista 90 prosentissa ei ollut sattunut lainkaan asuinrakennuspaloja tarkasteltavalla aikavälillä. Korkein yksittäisessä ruudussa sattuneiden palojen määrä oli 25 ja keskimäärin yksittäisessä ruudussa oli sattunut 0,83 asuinrakennuspaloa.

3.2 Spatiaalinen riippuvuus

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa tutkittiin asuinrakennuspalon riskin spatiaalista eli alueellista riippuvuutta. Alueellisen riippuvuuden avulla tutkitaan sitä, miten paljon lähellä toisiaan olevat arvot muistuttavat toisiaan suhteessa kauempana oleviin kohteisiin. Toisin sanoen alueellisen riippuvuuden avulla pyritään selittämään kohteiden välistä riippuvuutta tilassa, eli sitä keskittyvätkö tietyntyläiset kohteet tietyille alueille, vai onko niiden alueellinen esiintyminen sattumanvaraista. Käytännössä tutkimuksen ensimmäisessä osassa tarkasteltiin sitä, ovatko asuinrakennuspalot Helsingissä alueellisesti keskittyneitä eli klusteroituneita, vai esiintyvätkö ne sattumanvaraisesti kaupungin eri osissa.

Spatiaalista riippuvuutta voidaan tutkia laskemalla aineistolle Moran I -indeksi, joka on yleinen tilastollinen menetelmä klusteroitumisen todentamiseksi (Moran 1950). Globaali Moran I -indeksi kuvaa arvojen klusteroitumisen voimakkuutta koko aineistossa ja paikalliset Moran I -indikaattorit (*Local Indicators of Spatial Association, LISA*) osoittavat, missä tutkittavalla alueella klusteroituminen on erityisen voimakasta tai erityisen heikkoa.

Taulukko 2. Perinteisen regressiomallin ensimmäisessä vaiheessa käytettyjen muuttujien kuvaus.

Muuttuja	Muuttuja kuvaus ja mittaus	Vuosi	Aineistolähde
Väentiheys	Asukkaita per neliökilometri	2018	Tilastokeskus (2019)
Asuinrakennustiheys	Asuinrakennuksia per neliökilometri	2018	Tilastokeskus (2019)
Rakennusvuosi	Rakennusvuosi luokiteltuna: <u>1920</u> = ennen 1920, <u>1929</u> = 1921-1929, <u>1939</u> = 1930-1939, <u>1949</u> = 1940-1949, <u>1959</u> = 1950-1959, <u>1969</u> = 1960-1969, <u>1979</u> = 1970-1979, <u>1989</u> = 1980-1989, <u>1999</u> = 1990-1999, <u>2009</u> = 2000-2009, <u>2010</u> = 2010 eteenpäin	2018	YKR (2019)
Koulutus		2018	Tilastokeskus (2019)
Matala koulutustaso	Osuus yli 18-vuotiaista asukkaista, joilla ainoastaan perustason koulutus		
Korkea koulutustaso	Osuus yli 18-vuotiaista asukkaista, joilla ylempi korkeakoulututkinto		
Tulotaso	Asukkaiden vuosittainen mediaanitulo (€)	2017	Tilastokeskus (2019)
Työttömyys	Työttömien 15-64-vuotiaiden asukkaiden osuus	2018	Tilastokeskus (2019)
Asumisväljyys		2017–2018	Tilastokeskus (2019) ja YKR (2019)
Pinta-ala	Keskimääräinen asunnon pinta-ala asukasta kohden		
Huoneiden määrä	Keskimääräinen huoneiden määrä asukasta kohden		
Kotitalouden rakenne		2018	Tilastokeskus (2019)
Taloudet, joissa lapsia	Osuus kotitalouksista, joissa 0-17-vuotiaita asukkaita		
Aikuisia	Osuus kotitalouksista, joissa vain aikuisia		
Eläkeläiset	Osuus kotitalouksista, joissa vähintään yksi eläkeläinen		
Asunnon hallintaoikeus		2018	Tilastokeskus (2019)
Omistusasuminen	Osuus kotitalouksista, jotka asuvat omistusasunnossa		
Vuokra-asuminen	Osuus kotitalouksista, jotka asuvat vuokra- ja asumisoikeusasunnoissa		

3.3 Maantieteellisesti painotettu regressio (GWR)

Maantieteellisesti painotettu regressio (*Geographically Weighted Regression, GWR*) on muunnos perinteisestä lineaarisesta regressiosta, joka ottaa huomioon spatiaalisen autokorrelaation eli samanlaisten arvojen klusteroitumisen aineistossa. Perinteisessä regressiossa parametrit, eli regressiokertoimet ja virhetermi, on laskettu keskimääräisesti koko tarkasteltavalle aineistolle. Perinteiseen regressioon verrattuna maantieteellisesti painotetussa regressiossa vastaavat parametrit on laskettu erikseen kullekin tutkittavan aineiston havainnolle eli tyypillisimmin alueyksikölle. Tässä tutkimuksessa alueyksiköinä käytettiin edellä kuvattuja 250 x 250 metrin ruutuja, jotka sisälsivät tiedot ruudun alueella tapahtuneista asuinrakennuspalloista sekä ruudukkoon lasketuista selittävästä muuttujista (Taulukko 2).

Maantieteellisesti painotettu regressio (GWR) noudattaa samaa logiikkaa kuin perinteinen regressiomalli (Brunsdon ym. 1996; Fotheringham ym. 2002; Charlton ja Fotheringham 2009), mutta huomioi mallin parametrien laskennassa maantieteelliset painokertoimet, jotka on laskettu aineiston kullekin sijainnille, ja jotka kuvaavat aineiston havaintojen välistä maantieteellistä yhteyttä. Painokertoimet määritellään ennen analyysiä ja ne vaikuttavat siihen, kuinka suuri vaikutus havaintoa ympäröivien havaintojen arvoilla on kyseisen havainnon arvoon. Käytännössä painokertoimet lasketaan määrittämällä tietyn kokoinen ja muotoinen tiheysfunktio, joka antaa regressioyhtälössä enemmän painoarvoa kohteen lähellä oleville arvoille kuin kauempana oleville arvoille.

Mallin lopputuloksena saadaan riippuvaa muuttujaa selittävien muuttujien regressiokertoimet, niiden tilastollinen merkitsevyys, mallin virhetermi sekä selitysaste erikseen koko aineistolle. Tällöin eri selittävien muuttujien vaikutusta riippuvaan muuttujaan voidaan arvioida erikseen eri osissa tutkittavaa aluetta ja tulokset voidaan esittää havainnollistavasti kartalla.

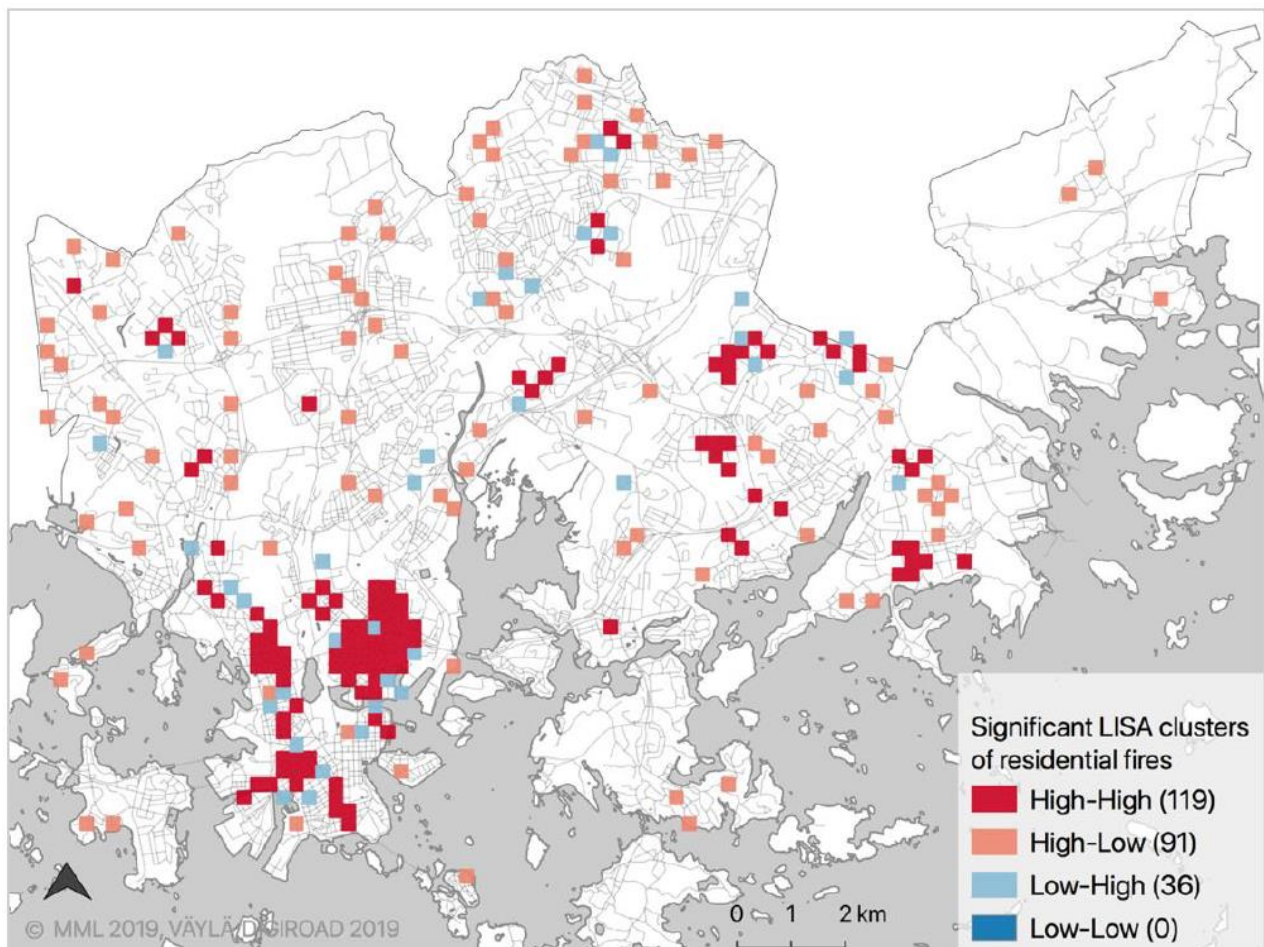
Maantieteellisesti painotetun regressiomallin soveltuvuutta aineistolle ja tutkittavalle ilmiölle voidaan arvioida vertaamalla mallin diagnostisia tunnuslukuja perinteisen regressiomallin tunnuslukuihin. Maantieteellisesti painotetun regression sopivuutta arvioidaan usein käyttämällä AICc-lukua (*Corrected Akaike Information Criterion*), joka on vertailukelpoinen perinteisen regressiomallin AIC-lukuun (Charlton ja Fotheringham 2009). Mallille voidaan myös laskea mallin toimivuutta koko aineistossa kuvaava keinotekoinen selitysaste, jota voidaan verrata perinteisen regressiomallin selitysasteeseen.

4 Tulokset

4.1 Spatiaalinen riippuvuus

Spaatialista autokorrelaatiota arvioitiin laskemalla aineistolle globaali Moran I -indeksi. Indeksillä saatiin arvo 0,34, joka oli tilastollisesti merkitsevä ja viittaa positiiviseen spatiaaliseen autokorrelaatioon. Tulos viittaa siihen, että naapurustoja, joissa asuinrakennuspalon riski on korkea, ympäröi tyypillisesti naapurustot, joissa riski on vastaavasti myös korkea. Tulipalojen alueellinen jakautuminen ei ole siis satunnaista ja siihen vaikuttavat tietyt prosessit, jotka eivät käyttydy alueellisesti satunnaisesti.

Paikallista klusteroitumisen voimakkuutta arvioivat indikaattorit (LISA) on kuvattu kartalla kuvassa 4. Kartta kuvaa alueet, joilla korkeita arvoja lähellä on havaittavissa keskimääräistä enemmän korkeita arvoja (*high-high*), alueet, joilla korkeita arvoja lähellä on keskimääräistä enemmän matalia arvoja (*high-low*), alueet, joilla matalia arvoja lähellä on keskimääräistä enemmän matalia arvoja (*low-low*) sekä alueet, joilla matalia arvoja lähellä on korkeita arvoja (*low-high*).



Kuva 4. Tilastollisesti merkitsevät LISA klusterit asuinrakennuspalloista (p -arvo < 0.05). Laskennallinen p -arvo on laskettu 999 aineiston satunnaisen permutaation avulla.

Tulosten perusteella voidaan havaita, että asuinrakennuspalojen esiintyminen ei ole Helsingissä satunnaista vaan esiintymisessä on havaittavissa korkeiden arvojen klusteroitumista kantakaupungin ympäristöön sekä kaupungin itäisiin ja koillisiin osiin. Aineistossa havaittu spatiaalinen autokorrelaatio kannustaa maantieteellisesti painotetun regressiomallin käyttämiseen, koska malli ottaa huomioon spatiaaliset rakenteet aineistossa.

4.2 Perinteisen regressiomallin tulokset

Tutkimusaineistoon sovitettiin maantieteellisesti painotetun regressiomallin lisäksi perinteinen *Ordinary Least Squares (OLS)*-regressiomalli. Mallissa käytettiin 14 selittävää muuttujaa, joiden vaikutus asuinrakennuspalon riskiin aineistossa on esitetty taulukossa 3. Mallin selitysaste on 47 % eli se jättää selittämättä noin puolet riippuvan muuttujan, eli asuinrakennuspalon riskin, vaihtelusta.

Kaikkien selittävien muuttujien vaikutus asuinrakennuspalon riskiin ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Tilastollisesti merkitsevän regressiokertoimen saivat väestötiheys, matalasti koulutetun väestön osuus, työttömyysaste, asuinrakennustiheys ja rakennusten rakennusvuosi (Taulukko 3).

Taulukko 3. Tulokset perinteiselle OLS-regressiomallille, jossa mukana kaikki selittävät muuttujat.

Muuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo ¹	VIF ²
Vakiotermi	12,6937	4,6012	2,759	0,006 **	---
Väentiheys	0,0002	0,0000	30,464	0,000 ***	1,5
Asuinrakennustiheys	-0,0003	0,0001	-2,121	0,034 *	1,5
Rakennusvuosi	-0,0086	0,0020	-4,289	0,000 ***	1,3
Koulutus					
Matala koulutustaso	1,4467	0,4725	3,062	0,002**	3,6
Korkea koulutustaso	-0,5906	0,4120	-1,433	0,151	4,0
Tulotaso	-0,0000	0,0000	-0,310	0,756	4,7
Työttömyys	4,0249	0,9903	4,064	0,000 ***	2,0
Asumisväljyys					
Pinta-ala	0,0089	0,0059	1,516	0,12964	2,8
Huoneiden määrä	0,1615	0,1336	1,209	0,227	2,1
Kotitalouden rakenne					
Taloudet, joissa lapsia	2,1925	2,1907	1,001	0,317	113,2
Aikuisia	2,6914	2,2378	1,203	0,229	173,4
Eläkeläiset	2,1702	2,2249	0,975	0,329	107,2
Asunnon hallintaoikeus					
Omistusasuminen	1,0601	1,1087	0,956	0,339	167,7
Vuokra-asuminen	0,7244	1,0921	0,663	0,507	170,8

¹p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***)

²VIF-arvot, jotka ylittävät viiden viittaavat vakavaan multikollinearisuuteen.

Mallin muuttujissa havaittiin runsaasti multikollinearisuutta eli selittävien muuttujien korreloimista keskenään mallin sisällä. Tämä on ongelmallista regressiomalleissa, koska mallin toimivuuden oletuksiin kuuluu, että selittävät muuttujat eivät korreloi keskenään vaan ovat toisistaan riippumattomia. Selittävien muuttujien multikollinearisuutta mittaa VIF-arvo, jonka ollessa yli viisi, regressiokertoimien luotettavuus kyseenalaistuu (Taulukko 3).

Mallia yksinkertaistettiin poistamalla siitä selittäviä muuttujia yksi kerrallaan heikomman tilastollisen merkitsevyyden mukaisesti. Parhaiten suoriutuva malli valittiin matalimman AIC-arvon (*Akaike Information Criterion*) ja selitysasteen perusteella. Yksinkertaistettuun OLS-regressiomalliin jäi kahdeksan selittävää muuttujaa (Taulukko 4). Multikollinearisuutta kuvaavat VIF-arvot laskivat yksinkertaistetussa mallissa kaikkien muuttujien osalta alle viiteen ja regressiokertoimet olivat tilastollisesti merkitseviä 95 % luottamuskäytöllä.

Yksinkertaistetun OLS-regressiomallin mukaan asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavat nostavasti väentiheys, matala koulutusaste, korkea työttömyysaste, asumisväljyys ja omistusasuminen. Asuinrakennuspalon riskiä madalsivat mallissa asuinrakennustiheys, rakennusvuosi sekä korkea koulutustaso.

Vaikka asukastiheys itsessään korreloi korkeamman asuinrakennuspalon riskin kanssa, asuinrakennustiheyden osalta mallin tulokset osoittavat, että sellaisilla alueilla, joilla yksinomaan asuinrakennuksia on valtaosa rakennuskannasta, asuinrakennuspalojen riski on matalampi. Rakennusvuoden osalta tulokset viittaavat siihen, että naapurustoissa, joissa rakennuskanta on uudempaa, asuinrakennuspalojen riski on matalampi (Taulukko 4).

Naapuruston asukkaiden koulutustasolla vaikuttaisi tulosten perusteella olevan merkittävä vaikutus asuinrakennuspalon riskiin. Matalasti koulutettujen osuuden kasvaessa asuinrakennuspalojen esiintyvyys vastaavasti kasvaa. Mallin tulosten mukaan myös työttömyysasteen, asumisväljyyden ja omistusasumisen osuuden kasvaessa asuinrakennuspalojen esiintyvyys kasvaa (Taulukko 4).

Taulukko 4. Tulokset perinteiselle OLS-regressiomallille, jossa selittäviä muuttujia on karsittu.

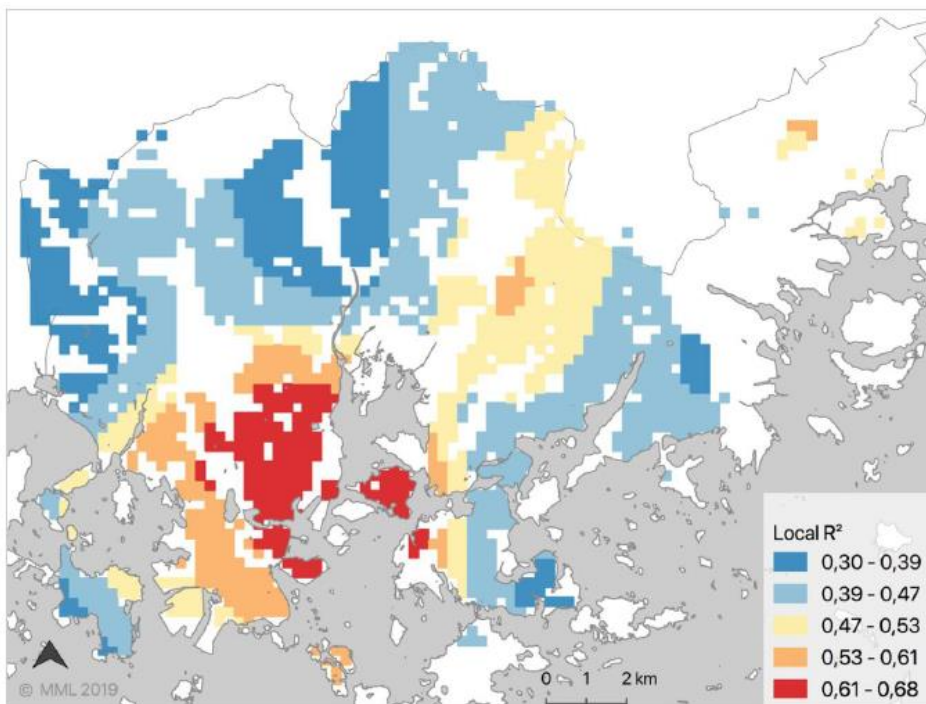
Muuttuja	Estimaatti	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo ¹	VIF ²
Vakiotermi	17,5588	3,7243	4,715	0,000 ***	---
Väentiheys	0,0002	0,0000	33,860	0,000 ***	1,3
Asuinrakennustiheys	-0,0004	0,0001	-2,881	0,004 **	1,3
Rakennusvuosi	-0,0093	0,0019	-4,990	0,000 ***	1,1
Matala koulutustaso	1,1234	0,4205	2,672	0,007 **	2,9
Korkea koulutustaso	-0,8628	0,3517	-2,453	0,014 *	2,9
Työttömyys	4,3926	0,9532	4,608	0,000 ***	1,9
Asumisväljyys (pinta-ala)	0,0107	0,0045	2,397	0,017*	1,6
Omistusasuminen	0,2662	0,1351	1,971	0,049 *	2,5

¹p < 0,05 (*), p < 0,01 (**), p < 0,001 (***)

4.3 Maantieteellisesti painotetun regressiomallin tulokset

Maantieteellisesti painotetussa regressiomallissa käytettiin yksinkertaistetussa perinteisessä regressiomallissa säilytettyjä kahdeksaa selittävää muuttujaa (Taulukko 4). Mallin suoriutumista kuvaava AIC-arvo oli maantieteellisesti painotetussa regressiomallissa parempi kuin perinteisen OLS-regressiomallin laajassa tai yksinkertaistetussa versiossa. Maantieteellisesti painotettu regressiomalli siis selitti Helsingissä asuinrakennuspalon riskiä ja sen alueellista vaihtelua parhaiten.

Maantieteellisesti painotetun regressiomallin parametrit voidaan kuvata kartalla erikseen kaikille aineiston alueyksiköille eli tässä tapauksessa spatiaalisen ruudukon ruuduille. Mallin selitysaste (R^2 -arvo) vaihtelee 30–68 % välillä kaupungin eri osissa (Kuva 5). Korkeimpia selitysasteita saa kantakaupungin alue sekä kaupungin koillisosat. Keskimääräistä heikommin malli selittää asuinrakennuspalon riskin vaihtelua Luoteis- ja Pohjois-Helsingissä.



Kuva 5. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset selitysasteet (R^2 -arvot). Keltaisilla ja punaisilla alueilla maantieteellisesti painotettu regressiomalli selittää riippuvan muuttujan vaihtelua paremmin kuin perinteinen regressiomalli.

Mallissa käytettyjen selittävien muuttujien saamat regressiokertoimet vaihtelevat tutkittavan alueen eri osissa, joten taulukossa 5 on esitetty kertoimien tilastollinen jakauma. Taulukossa on kuvattu myös perinteisen regressiomallin antamat kertoimet kullekin muuttujalle.

Regressiokertoimet sekä regressiokertoimien tilastollinen merkitsevyys mallin eri selittäville muuttujille vaihtelevat aineistossa. Toisin sanoen tiettyjen selittävien muuttujien vaikutus asuinrakennuspalon riskiin ei välttämättä ole tilastollisesti merkitsevä kaikkialla Helsingin alueella. Seuraavissa kartoissa (Kuvat 6–13) on esitetty vain tilastollisesti merkitsevät (p -arvo $\leq 0,1$) regressiokertoimien arvot mallin selittäville muuttujille. Positiiviset regressiokertoimen arvot viittaavat siihen, että kyseisellä alueella selittävän muuttujan arvojen kasvaessa myös asuinrakennuspalon riski kasvaa ja vastaavasti negatiiviset arvot kertovat päinvastaisesta trendistä.

Väentiheys vaikuttaa asuinrakennuspalon riskiin sitä nostavasti kaikkialla Helsingissä (Kuva 6). Asuinrakennustiheys vaikuttaa mallin mukaan asuinrakennuspalon riskiin sitä madaltavasti. Vaikutus on

voimakkain kantakaupungin alueella (Kuva 7). Rakennusvuosi vaikuttaa myös paloriskiin sitä laskevasti. Mitä uudempaa naapuruston rakennuskanta on, sitä matalampi on asuinrakennuspalon riski. Vaikutus on voimakkain kantakaupungin alueella (Kuva 8).

Matalan ja korkean koulutustason osalta malli antoi huomionarvoisia tuloksia. Matala koulutustaso vaikutti asuinrakennuspalon riskiin sitä nostavasti ja Helsingin alueella voitiin havaita kaksi selkeää aluetta, joilla muuttujan vaikutus paloriskiin on tilastollisesti merkitsevää. Tällaisia alueita oli luoteisessa Helsingissä Haagan aseman pohjoispuolella sekä itäisessä Helsingissä Herttoniemen aseman pohjoispuolella (Kuva 9). Korkea koulutustaso vaikutti asuinrakennuspalon riskiin sitä madaltavasti ja kaupungin eri alueista erityisesti kantakaupungin alueella tämä selittävä tekijä oli tilastollisesti merkitsevää (Kuva 10).

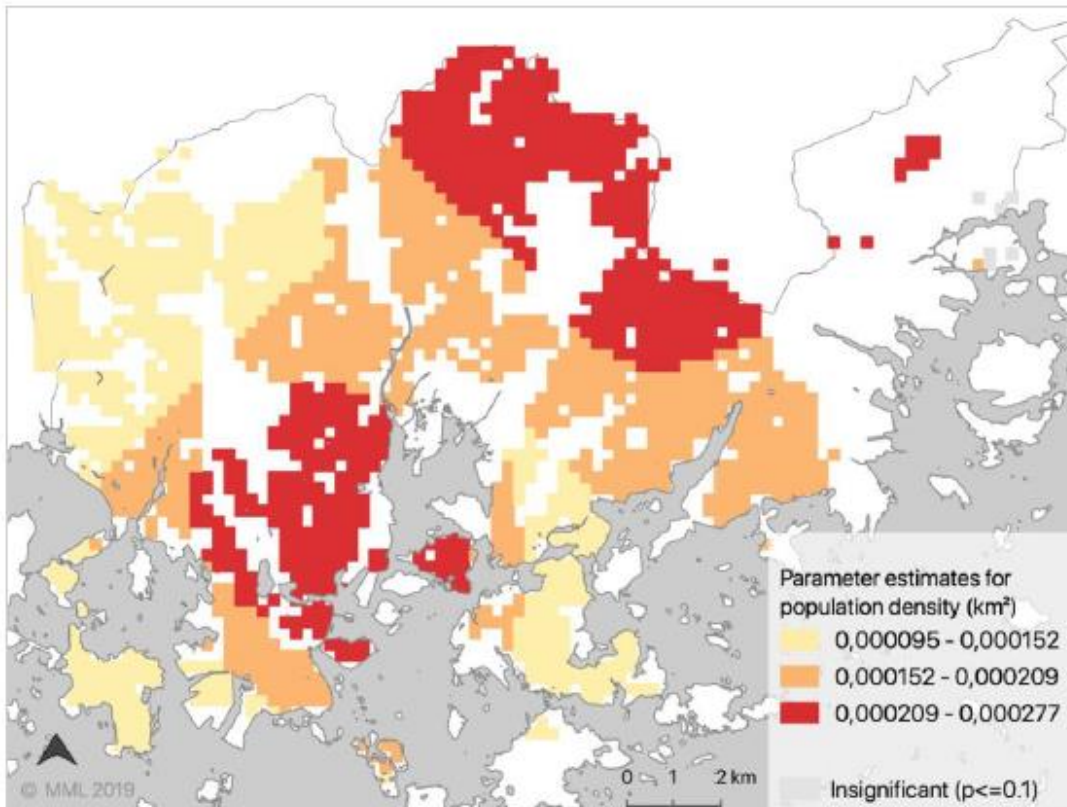
Työttömyysaste vaikutti mallissa asuinrakennuspalon riskiin sitä nostavasti laajoilla alueilla Helsingissä (Kuva 11). Erityisesti kantakaupungin alueella regressiokertoimen arvot ovat korkeita eli työttömyysasteen noustessa asuinrakennuspalojen määrä nousee merkittävästi.

Asumisväljyyden vaikutus asuinrakennuspalon riskiin on myös mallissa positiivinen eli väljemmän asumisen yleisyys alueella nostaa mallissa asuinrakennuspalojen määrää. Erityisesti regressiokertoimen arvot tälle selittävälle muuttujalle ovat korkeita kantakaupungin alueella, mutta myös laajalla alueella Mellunkylän pelastusaseman koillispuolella (Kuva 12).

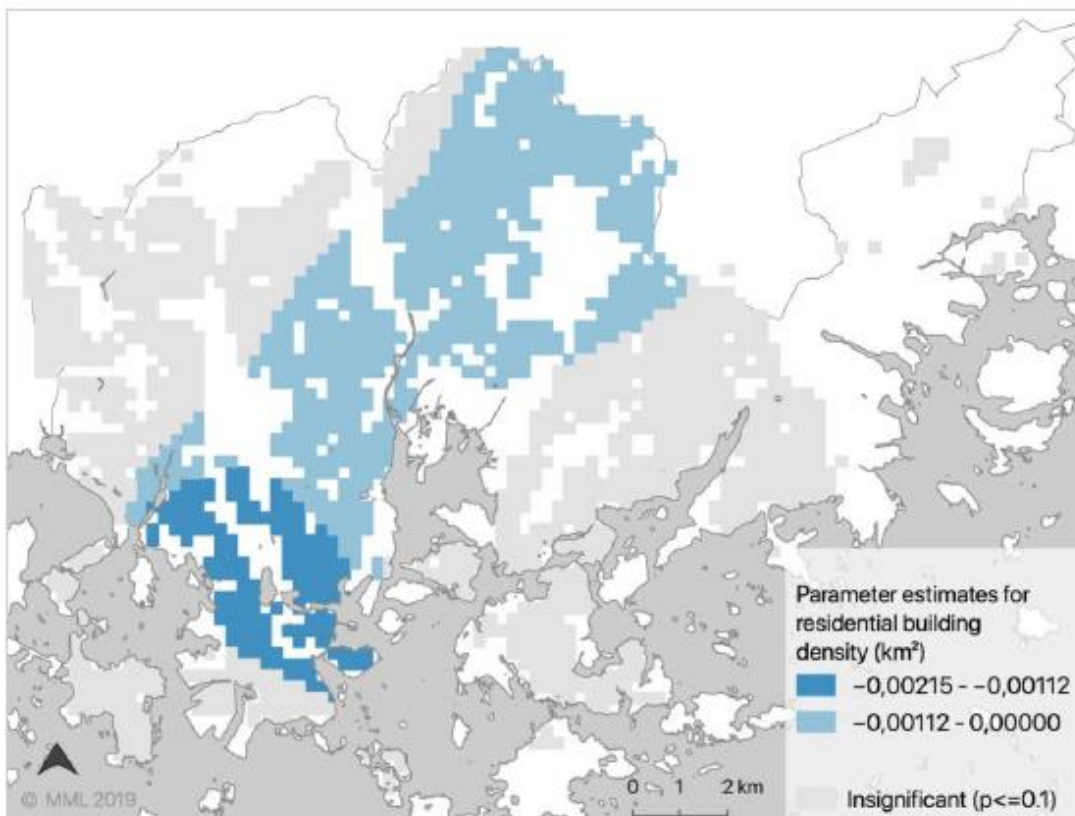
Viimeinen selittävä muuttuja mallissa on omistusasuntojen osuus alueella. Tällä muuttujalla on Helsingissä sekä nostava että laskeva vaikutus asuinrakennuspalon riskiin riippuen tarkasteltavasta kaupunginosasta. Voimakkaimmin muuttuja vaikuttaa asuinrakennuspalon riskiin sitä nostavasti kantakaupungissa, erityisesti Erottajan asemalta pohjoiseen. Toisaalta Haagan aseman pohjoispuolella omistusasuntojen osuus vaikuttaa asuinrakennuspalon riskiin sitä laskevasti (Kuva 13).

Taulukko 5. Regressiokertoimen estimaatit maantieteellisesti painotetussa regressiomallissa.

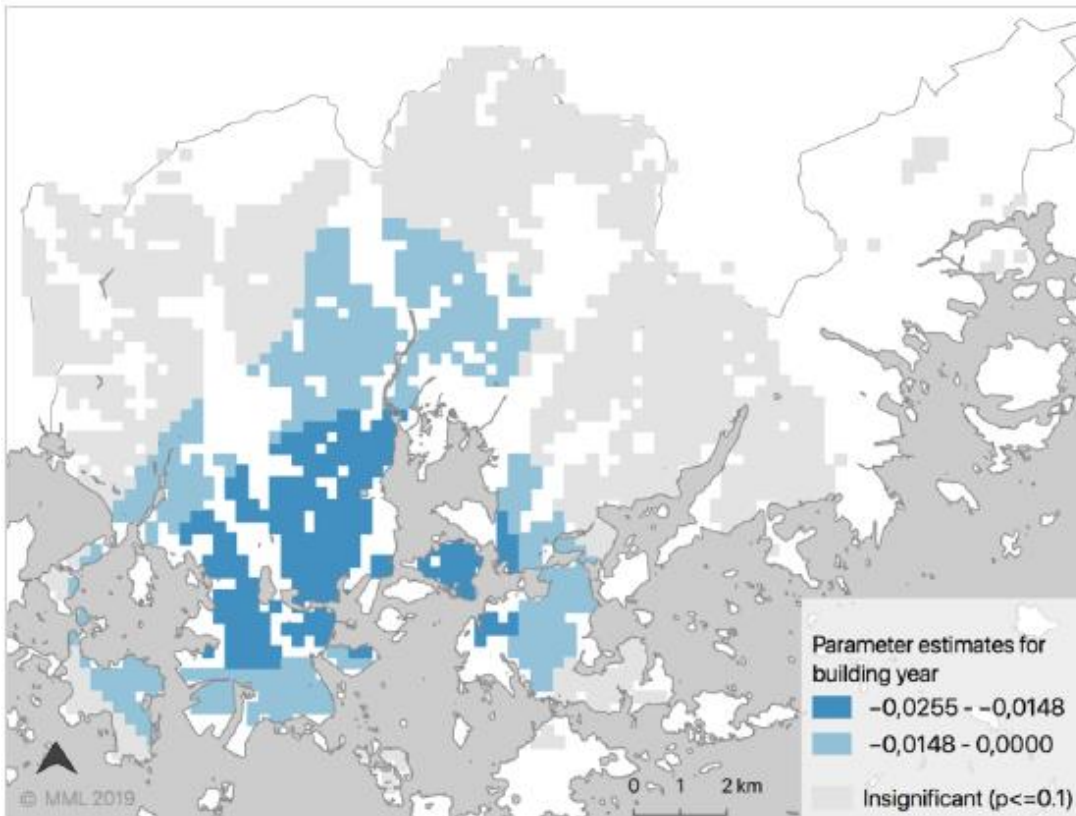
Muuttuja	Min	1. kvartaali	Mediaani	3. kvartaali	Max	OLS
Vakiotermi	-18,9788	6,5783	12,8200	21,8843	48,6382	17,5588
Väentiheys	0,0001	0,0001	0,0002	0,0002	0,0003	0,0002
Asuinrakennustiheys	-0,0022	-0,0007	-0,0004	-0,0002	0,0008	-0,0004
Rakennusvuosi	-0,0255	-0,0113	-0,0070	-0,0038	0,0097	-0,0093
Matala koulutustaso	-1,3611	0,9285	1,3181	1,6773	2,2116	1,1234
Korkea koulutustaso	-7,1624	-0,9051	-0,3731	0,2897	1,4796	-0,8628
Työttömyys	-5,7226	2,6149	3,7479	4,9407	27,8873	4,3926
Asumisväljyys (pinta-ala)	-0,0151	0,0048	0,0149	0,0209	0,0378	0,0107
Omistusasuminen	-1,0454	-0,0814	0,1831	0,5599	1,9451	0,2662



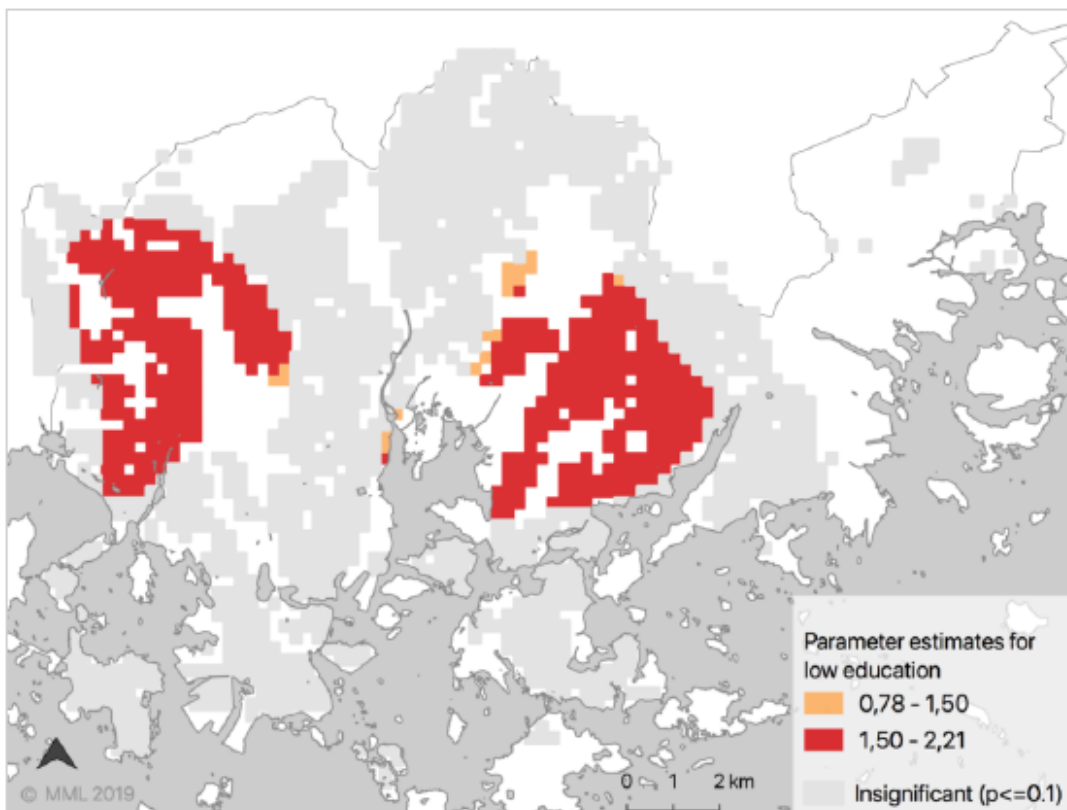
Kuva 6. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit väentihedelle (asukasta per neliökilometri).



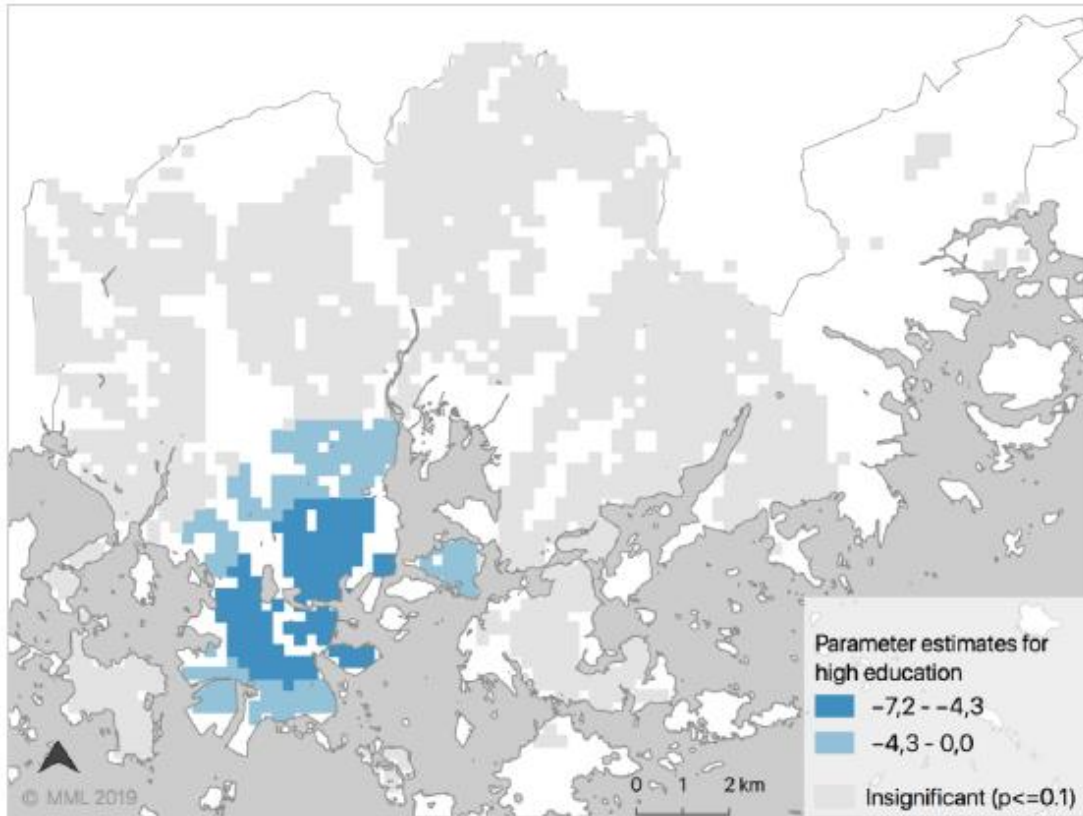
Kuva 7. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit asuinrakennustiheydelle (asuinrakennusten määrä per neliökilometri).



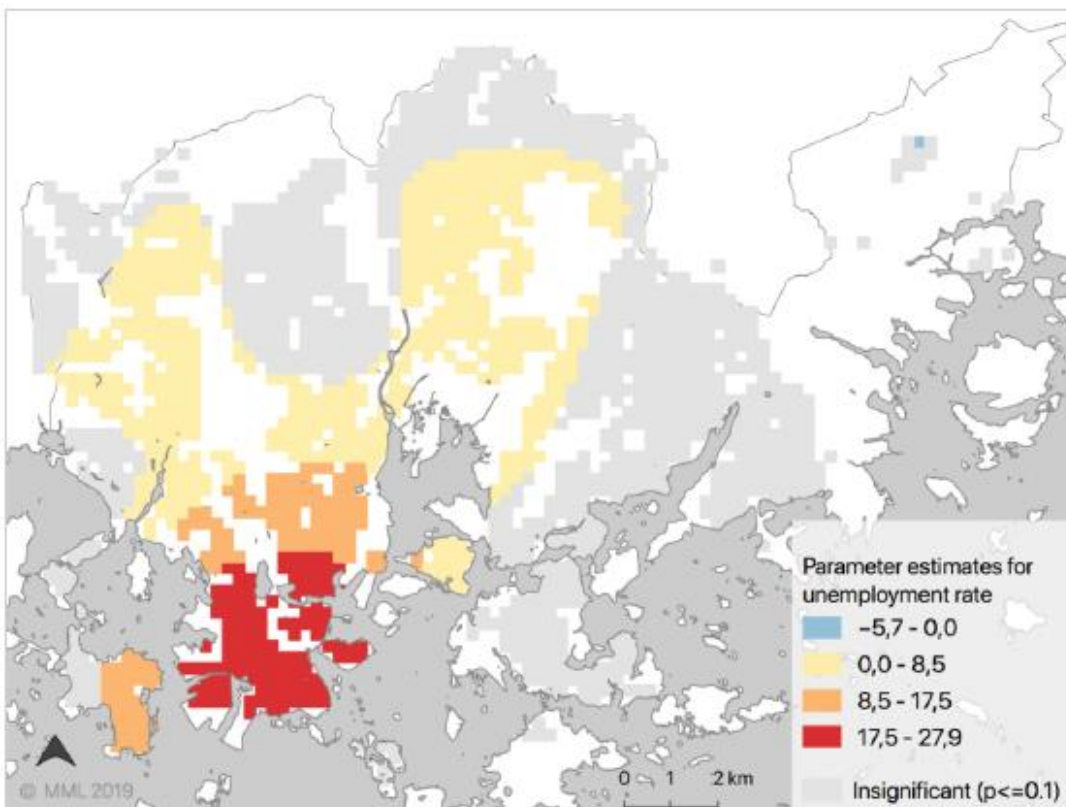
Kuva 8. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit keskimääräiselle rakennusvuodelle.



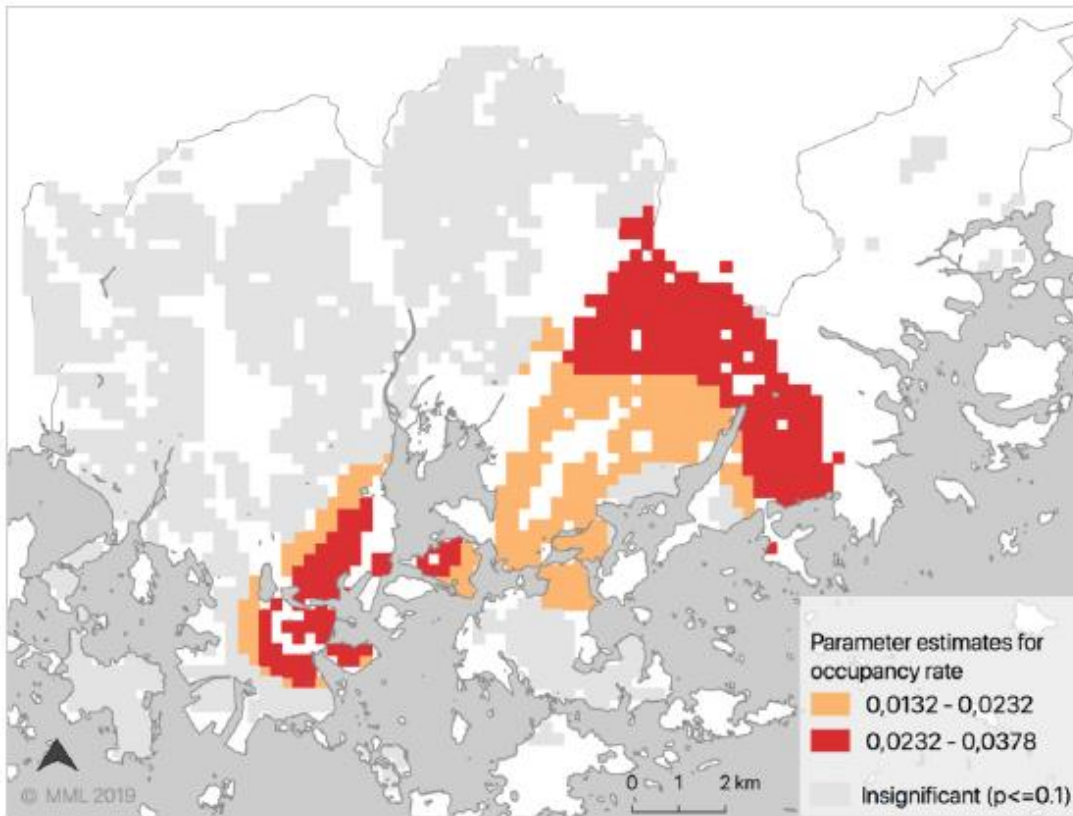
Kuva 9. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit matalasti koulutetun väestön osuudelle.



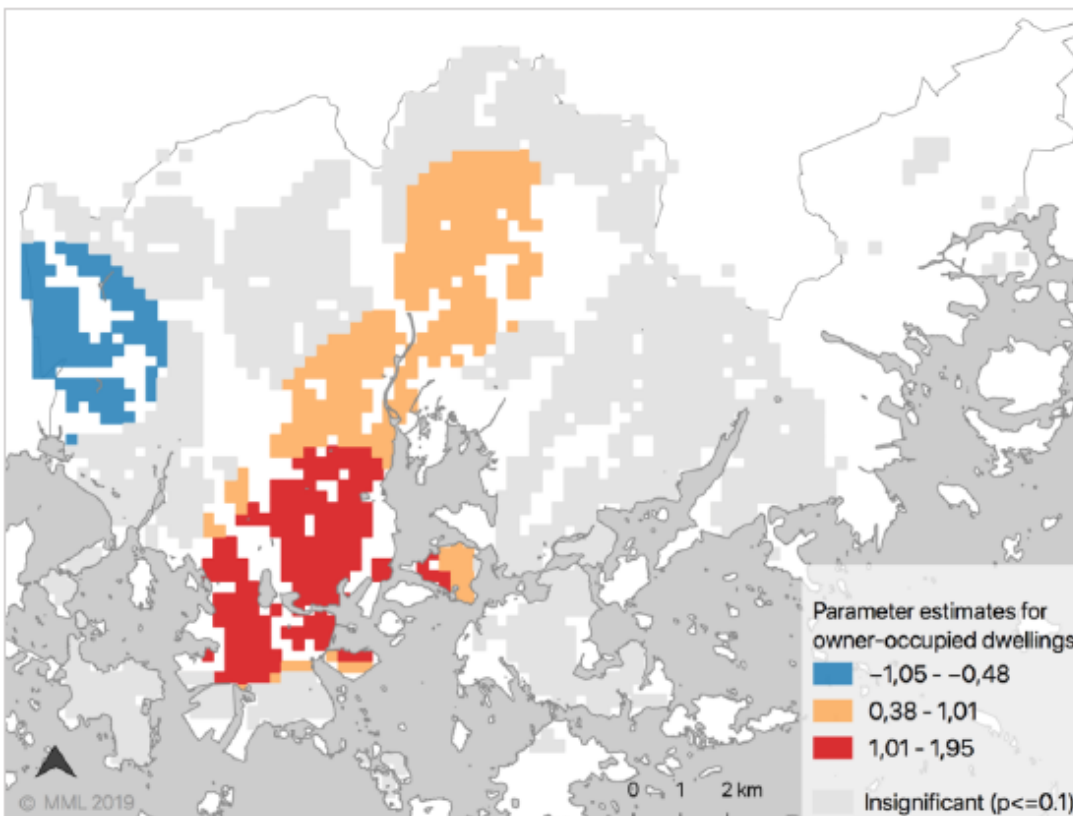
Kuva 10. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit korkeasti koulutetun väestön osuudelle.



Kuva 11. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit työttömyysasteelle.



Kuva 12. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit asumisvälijyhdelle.



Kuva 13. Maantieteellisesti painotetun regressiomallin paikalliset parametrin estimaatit omistusasumiselle.

5 Johtopäätökset ja pohdintaa

5.1 Keskeisimmät havainnot asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavista tekijöistä

Tutkimuksen tulokset osoittivat, että asuinrakennuspalot ovat Helsingissä spatiaalisesti klusteroituneita eli ne vaikuttavat keskittyvän tietyille alueille. Tutkimuksessa tunnistettiin myös useita tekijöitä, jotka vaikuttavat asuinrakennuspalon riskiin naapurustoissa sitä nostavasti tai laskevasti. Riskiä nostavia tekijöitä olivat väentiheys, matalasti koulutetun väestön osuus, työttömyysaste, asumisväljyys sekä omistusasunnoissa asuvien kotitalouksien osuus, joka jossain tapauksissa myös laskee asuinrakennuspalon riskiä. Riskiä alentavia tekijöitä olivat asuinrakennusten tiheys, rakennusvuosi ja korkeasti koulutetun väestön osuus. Maantieteellisesti painotetulla regressiomallilla pystyttiin tutkimuksessa tunnistamaan tilastollisesti merkitsevää alueellista vaihtelua mallin parametreissa. Eri selittävät tekijät vaikuttivat asuinrakennuspalon riskin suuruuteen kaupungin eri osissa erilaisella voimakkuudella.

Taulukko 6. Asuinrakennuspalon riskiä nostavia ja laskevia tekijöitä Helsingissä naapurustotasolla (250 x 250 m ruudukossa).

Asuinrakennuspalon riskiä nostavia tekijöitä	Asuinrakennuspalon riskiä laskevia tekijöitä
Korkea väentiheys (as. per km ²)	Korkea asuinrakennustiheys (asuinrakennuksia per km ²)
Matala koulutustaso	Uudempi rakennusvuosi (alueen keskimääräinen rakennusten rakennusvuosi)
Korkea työttömyysaste	Korkea koulutustaso
Suurempi asumisväljyys (keskimääräinen asuinpinta-ala per asukas)	Omistusasuminen (omistusasunnossa asuvien kotitalouksien osuus)
Omistusasuminen (omistusasunnossa asuvien kotitalouksien osuus)	

Väentiheys vaikutti asuinrakennuspalojen esiintymiseen merkittävästi, mikä oli odotettua ja osoitettu myös useissa muissa tutkimuksissa aiemmin, niin Helsingissä (Tillander ym. 2010; Špatenková ja Virrantaus 2013) kuin muualla maailmassa.

Asuinrakennusten rakennustiheys vaikutti tämän tutkimuksen tulosten perusteella asuinrakennuspalon riskiin joistakin aiemmista tutkimuksista poikkeavalla tavalla. Kun aiemmissa tutkimuksissa korkean asuinrakennusten rakennustiheyden on havaittu nostavan asuinrakennuspalon riskiä (Ceyhan ym. 2013; Ardianto 2018), Helsingissä tällä muuttujalla havaittiin riskiä vähentävä vaikutus. Tähän vaikuttaa luultavasti Helsingin poikkeava kaupunkirakenne, jossa tiheimmin asutuissa kaupunginosissa sijaitsee tyypillisesti hyväosaisimpia naapurustoja. Korkea rakennustiheys siis todennäköisesti toimii Helsingin tapauksessa lähinnä indikaattorina sosiaalisesta hyväosaisuudesta. On mahdollista, että korkea rakennustiheys lisäisi itsenäisenä tekijänä paloriskiä myös Suomen oloissa, jos väestö olisi kaikilla asuinalueilla samanlainen, mutta

koska korkea rakennustiheys yhdistyy Helsingin kaupunkirakenteessa nimenomaan korostuneeseen sosiaaliseen hyväosaisuuteen, rakennustiheys näyttäytyikin mallissa paloriskiä vähentävänä ilmiönä.

Tämän tutkimuksen tulokset rakennusten vanhemman iän asuinrakennuspalon riskiä nostavasta vaikutuksesta on myös todettu aiemmissa tutkimuksissa (Runyan ym. 1992; Xiong ym. 2015). Vanhemmissa rakennuksissa palotekniikka ja paloturvalliset rakennusmateriaalit eivät välttämättä ole vastaavalla tasolla kuin uusissa rakennuksissa.

Asukkaiden sosioekonominen asema ja erityisesti sosioekonominen huono-osaisuus on laajalti tutkittu teema paloriskeihin liittyvässä tutkimuksessa. Useissa tutkimuksissa on havaittu naapurusten sosioekonomista asemaa kuvaavien muuttujien korreloivan asuinrakennuspalon riskin kanssa (FEMA 1997; Duncanson ym. 2002; Chhetri ym. 2010; Corcoran ym. 2011a; Corcoran ym. 2011b; Jennings 2013). Tyypillisesti tutkimuksissa naapuruston sosioekonomista asemaa kuvaamaan on käytetty erilaisia selittäviä tekijöitä yhdisteleviä indeksejä. Tässä tutkimuksessa muuttujia käytettiin malleissa erillisinä. Havainnot tukivat aiemmissa tutkimuksissa saatuja tuloksia (Duncanson ym. 2002; Corcoran ym. 2007; Chhetri ym. 2010; Hastie ja Searle 2016), lukuun ottamatta tulotasoa, jota ei todettu tilastollisesti merkitseväksi tässä tutkimuksessa sovitetuissa malleissa. Aikaisemmissa tutkimuksissa tyypillisesti tulotason ja paloriskien välillä on havaittu yhteyksiä (Gunther 1981; Duncanson ym. 2002; Holborn ym. 2003; Špatenková ja Virrantaus 2013).

Huomionarvoista on, että vuonna 2013 Helsingissä toteutetussa tutkimuksessa (Špatenková ja Virrantaus 2013) tulotason havaittiin korreloivan rakennuspalojen esiintymisen kanssa. Tutkimuksessa koulutustason tai työttömyysasteen ei kuitenkaan havaittu vaikuttavan paloriskiin merkittävästi. Erot voivat johtua mallien sisäkorrelaatiosta, eli selittävien muuttujien korreloimisesta keskenään. Helsingissä asuinalueiden eriarvoistuminen on jossain määrin lisääntynyt (Kortteinen ja Vaattovaara 2015; Helsingin kaupunki 2019b), vaikka se onkin edelleen vähäistä verrattuna moniin muihin pohjoismaisiin pääkaupunkeihin. Tämä on tärkeää ottaa huomioon paitsi kaupunkisuunnittelussa, myös pelastustoimen resurssienkäytössä ja toimintavalmiuden suunnittelussa.

Asumisväljyyden osalta tässä tutkimuksessa saatiin aiemmista havainnoista poikkeavia tuloksia. Kun aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu ahtaammin asumisen nostavat asuinrakennuspalon riskiä (Gunther 1981; FEMA 1997; Duncanson ym. 2002; Nilson ym. 2015), tässä tutkimuksessa havaittiin päinvastaisesti, että naapurustoissa, joissa asuttiin keskimäärin väljemmin, asuinrakennuspalon riski on tyypillisesti korkeampi. On huomioitava, että monissa aiemmissa tutkimuksissa selittävänä tekijänä on käytetty WHO:n (2018) määritelmää asumisväljyydestä, joka ottaa huomioon sen ovatko talouden asukkaat keskenään parisuhteessa ja onko osa asukkaista lapsia. Tässä tutkimuksessa näitä tekijöitä ei voitu huomioida. Suurempi asumisväljyys saattaa olla yhteydessä myös siihen, että kotona on enemmän mahdollisia syytymän aiheuttavia sähkölaitteita ja muita paloriskiä nostavia tekijöitä.

Viimeinen mallissa tilastollisesti merkitsevästi asuinrakennuspalon riskiin vaikuttanut selittävä muuttuja oli omistusasuminen. Aikaisemmassa tutkimuksessa omistusasumisen on havaittu laskevan paloriskiä (Duncanson ym. 2002). Tämä saattaa johtua omistusasumisen yhteydestä korkeampaan sosioekonomiseen statukseen ja naapurustojen hyväosaisuuteen. Kodinomistajat voivat myös olla tietoisempia naapurustonsa riskeistä johtuen runsaammasta kanssakäymisestä naapureiden kanssa (Ardianto 2018). Tässä tutkimuksessa omistusasumisen havaittiin sekä lisäävän että laskevan paloriskiä riippuen tarkasteltavasta kaupunginosasta. Aiemmassa tutkimuksessa viitteitä omistusasumisen riskiä lisäävästä vaikutuksesta ei ole havaittu. Yhteys saattaa liittyä samaan ilmiöön kuin asumisväljyyden osalta; kotona on enemmän mahdollisia syytymän aiheuttavia sähkölaitteita ja muita paloriskiä lisääviä tekijöitä. Toisaalta omistusasuminen saattaa myös olla yleisempää asuinalueilla, joilla asuntojen hintataso on matalampaa. Tällöin omistusasumisen yleisyys saattaakin olla merkki naapuruston huono-osaisuudesta tai sosioekonomisesta eriarvoisuudesta asuinalueen sisällä.

Omistusasumisen vaikutus mallissa osoittaa huomionarvoisella tavalla, miten tiettyjen rakennuspalon riskiä selittävien tekijöiden vaikutus riippuu voimakkaasti asuinalueiden erilaisista piirteistä ja miten selittävät muuttujat vaikuttavat riskiin eri alueilla erilaisten prosessien kautta. Tämä kannustaa käyttämään alueelliset erot huomioivaa maantieteellisesti painotettua regressiomallia, kun tutkitaan rakennuspalon riskiä selittäviä tekijöitä. Samalla havainnot korostavat tarvetta kaupunkirakenteen erityispiirteiden tunnistamiseen, jotta tilastollisia malleja tai paikallisia syy-seuraus-suhteita on mahdollista tulkita mielekkäällä tavalla.

5.2 Mallin toimivuus

Lopullisessa mallissa hyödynnetyt kahdeksan selittävää muuttujaa selittivät perinteisessä OLS-regressiomallissa 47 % asuinrakennuspalon riskin vaihtelusta. Maantieteellisesti painotettu regressio selitti erityisesti kantakaupungin alueella paikallisesti jopa 68 % vaihtelusta samojen selittävien muuttujien perusteella. Toisaalta kaupungin reuna-alueilla, erityisesti pohjoisissa ja itäisissä osissa malli toimi heikommin. Näillä alueilla myös asuinrakennuspalojen määrä oli matalampi.

Koska mallin selitysaste on suhteellisen matala, voidaan päätellä, että mallista puuttuu joukko paloriskin vaihtelua selittäviä tekijöitä. Tämä johtaa todennäköisesti myös puuttuvan muuttujan harhaan (*omitted variable bias*) tuloksissa. Puuttuvan muuttujan harha aiheutuu olennaisten selittävien muuttujien puuttumisesta mallista ja aiheuttaa sen, että malliin sisällytetyt mallit heijastavat mallista puuttuvien muuttujien vaikutusta riippuvaan muuttujaan eli palorisktiin. Tästä esimerkkeinä toimivat edellä esitetyt huomiot asumisväljyyteen ja omistusasumiseen liittyen.

Koska asuinrakennuspalon riskiin vaikuttavat niin voimakkaasti ihmisten toiminta ja asukkaisiin ja heidän valintoihinsa ja asenteisiinsa liittyvät tekijät, on odotettavissa, että erilaisissa paloriskissä selittävissä malleissa havaitaan runsaasti vaikeasti selitettävää ja odottamatonta vaihtelua (Merrall 2002). Tätä taustaa vasten tässä tutkimuksessa sovitettujen paloriskissä selittävät mallit ennustavat riskin vaihtelua suhteellisen hyvin.

Ekologinen virhepäätelmä (*ecological fallacy*) on argumentaatiovirhe, jolla viitataan yksilöitä koskevien päätelmien tekemiseen kollektiivitason (tässä tapauksessa naapuruston) korrelaatioista. Tässä tutkimuksessa laadittujen asuinrakennuspalon riskiä koskevien mallien perusteella ei voida tehdä päätelmiä esimerkiksi työttömyyden vaikutuksesta yksittäisen henkilön riskiin joutua tulipaloon tai tehdä johtopäätöstä, että työttömyys kasvattaisi tätä riskiä. Sen sijaan voidaan tunnistaa jonkinlainen vaikutusketju, jonka myötä korkeampi työttömyysaste naapurustossa nostaa asuinrakennuspalojen esiintyvyyttä. Tällaiset vaikutusketjut ovat kuitenkin merkittävästi vaikeammin tulkittavissa kuin yksilötasolla tehdyt mallit ja kausaalipäätelmät. Niiden tutkimisella ja asuinalueiden paloriskiin vaikuttavien tekijöiden tunnistamisella voi kuitenkin olla merkittävä rooli riskienhallinnan ja pelastustoimen resurssien ja toimintavalmiuden suunnittelun näkökulmasta.

5.3 Tutkimuksen pätevyys ja luotettavuus

Asuinrakennuspalon riskin ja siihen vaikuttavien tekijöiden mallintamisen luotettavuus riippuu merkittävästi mallinnuksessa käytettyjen aineistojen tarkkuudesta ja laadusta. Rakennuspalot kirjataan pelastustoimessa Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustietokantaan (PRONTO). Kirjauksen tekee pelastustoimintaa johtanut päällystöviranhaltija. Rakennuspalo yhdistetään rakennuksen ominaisuustietoihin pysyvän rakennustunnuksen (PRT) perusteella. Vaikka PRONTO-tietokannan tiedoissa on havaittu puutteellisuuksia, rakennuspalojen osalta tiedot ovat suurimmalta osin paikkansapitäviä (Majuri ja Kokki 2010).

Käytetyssä aineistossa on huomioitu vain sellaiset rakennuspalot Helsingissä, joissa pelastuslaitos on hälytetty onnettomuuspaikalle. On hyvin todennäköistä, että kaupungissa sattuu paljon myös pieniä esimerkiksi rakennuspalovaaraksi määriteltäviä tulipaloja, jotka eivät tule kirjatuksi PRONTO-tietokantaan. Eräässä tutkimuksessa Yhdysvalloissa arvioitiin, että jopa 95 % rakennuspalloista ei tulisi pelastuslaitosten

tietoon (Greene 2012). Tässä voidaan todennäköisesti tunnistaa eroja eri maiden ja kaupunki- ja maaseutualueiden välillä. Tässä tutkimuksessa käytetty aineisto kuitenkin sisältää sellaiset rakennuspalot, jotka todennäköisemmin voisivat aiheuttaa vakavia henkilövahinkoja tai taloudellisia vahinkoja ja menetyksiä.

Yksi tämän tutkimuksen kohtaamista haasteista oli paloriskin kvantifiointi eli riskin muuttaminen määrällisesti mitattavaan muotoon. Koska rakennuspalojen esiintyminen korreloi voimakkaasti väentihyden kanssa, rakennuspalojen esiintyvyys eli määrä tietyllä alueella voi antaa harhaanjohtavan kuvan rakennuspalon riskistä tai todennäköisyydestä (Chhetri ym. 2010; Ardianto 2018). Palojen määrä alueella ei väentihyden eroista johtuen kerro, kuinka todennäköistä yksittäisen henkilön on joutua tulipaloon. Tarkasteltaessa naapurustojen ja asuinalueiden eroja, tällaisen todennäköisyyden selittäminen ei välttämättä kuitenkaan edes ole mielekästä. Palojen määrän käyttäminen selitettävänä tekijänä riskimallisissa palvelee myös paremmin pelastustoimen resurssienkäytön ja toimintavalmiuden suunnittelua, koska resursseja halutaan keskittää sinne, missä paloja sattuu paljon.

Maantieteellisesti painotetulla regressiomallilla havaittiin olevan merkittäviä etuja paloriskien alueellista jakautumista ja siihen vaikuttavien tekijöiden havaitsemisessa sekä syväluotaavassa analyysissä ja tulkintojen tekemisessä. Se ei kuitenkaan sovellu perinteisen regressiomallin tavoin yhtä hyvin rakennuspalojen ennustamiseen (Oliveira ym. 2014). Malli tuo lisäarvoa erityisesti paloriskiin vaikuttavien tekijöiden alueellisten erojen ymmärtämiseen. Perinteisen regressiomallin tarjoamat ennusteet eivät koskaan pysty ottamaan huomioon kaikkea selitettävän muuttujan vaihtelua ja siihen vaikuttavia alueellisia prosesseja.

5.4 Johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa käytettiin erilaisia tilastollisia ja paikkatietomenetelmiä asuinrakennuspalon riskin alueellisen vaihtelun ja siihen vaikuttavien tekijöiden tarkastelussa. Tutkimuksen ennako-odotuksena oli, että asuinrakennuspalon riskin vaihteluun kaupungin eri osissa vaikuttavat monimutkaiset spatiaalisia rakenteita ilmentävät prosessit. Tästä syystä perinteisen regressiomallin lisäksi ilmiötä tutkittiin hyödyntämällä myös maantieteellisesti painotettua regressiota, joka ottaa huomioon edellä mainittujen prosessien olemassaolon ja ilmiön spatiaalisuuden. Myös aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, että maantieteellisesti painotettu regressio toimii perinteistä regressiota paremmin, kun pyritään selittämään asuinrakennuspalojen esiintyvyyttä (Yamashita 2008; Špatenková ja Virrantaus 2013; Oliveira ym. 2014; Song ym. 2017; Ardianto 2018).

Tutkimuksen keskeinen anti on päivitetty kuva asuinrakennuspalon riskin alueellisesta vaihtelusta ja siihen vaikuttavista tekijöistä Helsingissä. Tutkimuksen tulokset tukevat laajasti aikaisemmassa tutkimuksessa tehtyjä havaintoja ja päätelmiä ja ne antavat osaltaan lisäarvoa myös asuinrakennuspalojen riskistä ja siihen liittyvistä tekijöistä käytävään tieteelliseen keskusteluun ja teoriapohjaan.

Jatkotutkimuksissa voitaisiin keskittyä ongelmiin mallin selittävien muuttujien sisäkorrelaatioissa sekä jäsentää ja tarkentaa edelleen asuinrakennuspalojen riskitekijöihin liittyvää teoreettista viitekehystä. Helsingin kontekstissa ymmärrystä tulisi parantaa asuinrakennuspalojen riskiin vaikuttavista tekijöistä erityisesti alueilla, joilla tässä tutkimuksessa sovitettut mallit eivät suoriutuneet optimaalisesti. Tulevaisuudessa voitaisiin lähestyä myös asuinrakennuspalojen riskin spatio-temporaalista vaihtelua eli palojen esiintyvyydessä havaittuja ajallisia eroja alueellisen vaihtelun ohella. Vuorokaudenajalla ja vuodenajalla on havaittu useissa tutkimuksissa olevan vaikutusta asuinrakennuspalojen riskin vaihteluun (Asgary ym. 2010; Corcoran ym. 2011b; Špatenková ja Virrantaus 2013; Rekola ja Itkonen 2016; Song ym. 2017; Ardianto ja Chhetri 2019).

Rakennuspalon riski täydessä merkityksessään sisältää palotapahtuman todennäköisyyden lisäksi myös arvion odotetuista seurauksista. Rakennuspalojen aiheuttamiin vahinkoihin tulisi kiinnittää tulevaisuudessa enemmän huomiota sekä tunnistaa tarkemmin myös niitä tekijöitä, jotka johtavat palotilanteissa vakavampiin lopputuloksiin. Tämä on todettu myös aiempien tutkimusten johtopäätöksissä (Jennings 1999). Huomionarvoista voisi olla myös tarkastella rakennuspalojen taustalla vaikuttavia syitä ja sovittaa palojen

esiintymistä selittäviä malleja erikseen eri syistä syttyneille paloille. Vastaava tutkimus on toteutettu hiljattain esimerkiksi Ruotsissa (Guldåker ym. 2018).

Tutkimuksessa hyödynnettiin erityisesti avoimen lähdekoodin ohjelmistoja, joiden käyttäminen on yleistymässä myös julkisella sektorilla pelastustoimi mukaan lukien. Pelastuslaitoksilla on sisäisen turvallisuuden viranomaisena pääsy moniin muutoin rajoitettuihin tietoihin ja avoimia ohjelmistoja hyödyntämällä myös mahdollisuus tässä tutkimuksessa käytettyjen menetelmien soveltamiseen omista riskianalyyseissään. Pelastustoimen kansallisessa strategiassa toimialan tavoitteena on jatkuvaan analyysiin perustuva kokonaiskuva yhteiskunnan riskeistä (Sisäministeriö 2016; 2019). Asuinrakennuspalojen riskianalyysi ja sen kehittäminen auttavat ymmärtämään ilmiötä paremmin, ennakoimaan paloriskin kehittymistä eri alueilla, vähentämään onnettomuusvahinkoja, tehostamaan riskienhallintaa ja pelastustoimintaa sekä pelastamaan ihmishenkiä.

Lähdeluettelo

- Ardianto, R. (2018). Modelling spatial temporal patterns and drivers of urban residential fire risk. Doctoral dissertation, 167 p. School of Business IT and Logistics, College of Business, RMIT University.
- Ardianto, R. ja Chhetri, P. (2019). Modeling Spatial–Temporal dynamics of urban residential fire risk using a Markov Chain technique. *International Journal of Disaster Risk Science*, 10(1), pp. 57–73.
- Asgary, A., Ghaffari, A. ja Levy, J. (2010). Spatial and temporal analyses of structural fire incidents and their causes: A case of Toronto, Canada. *Fire Safety Journal*, 45(1), pp. 44–57.
- Brunsdon, C. (2001). The comap: exploring spatial pattern via conditional distributions. *Computers, Environment and Urban Systems*, vol. 25, pp. 53–68.
- Brunsdon, C., Fotheringham, A. S. ja Charlton, M. (1996). Geographically weighted regression: a method for exploring spatial non-stationarity. *Geographical Analysis*, 28(4), pp. 281–298.
- Ceyhan, E., Ertuğay, K. ja Düzgün, Ş. (2013). Exploratory and inferential methods for spatio-temporal analysis of residential fire clustering in urban areas. *Fire Safety Journal*, 58, pp. 226–239.
- Charlton, M. ja Fotheringham, A. S. (2009). Geographically Weighted Regression. White Paper, 14 p. National Centre for Geocomputation, National University of Ireland Maynooth Maynooth, Co Kildare, Ireland.
- Chhetri, P., Corcoran, J., Stimson, R. ja Inbakaran, R. (2010). Modelling potential socio-economic determinants of building fires in South East Queensland. *Geographical Research*, 48(1), pp. 75–85.
- Corcoran, J. ja Higgs, G. (2013). Special issue on spatial analytical approaches in urban fire management. *Fire Safety Journal*, 62, pp. 1–2.
- Corcoran, J., Higgs, G., Brunsdon, C., Ware, A. ja Norman, P. (2007). The use of spatial analytical techniques to explore patterns of fire incidence: A South Wales case study. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6), pp. 623–647.
- Corcoran, J., Higgs, G. ja Higginson, A. (2011a). Fire incidence in metropolitan areas: A comparative study of Brisbane (Australia) and Cardiff (United Kingdom). *Applied Geography*, 31(1), pp. 65–75.
- Corcoran, J., Higgs, G., Rohde D. ja Chhetri, P. (2011b). Investigating the association between weather conditions, calendar events and socio-economic patterns with trends in fire incidence: an Australian case study. *Journal of Geographical Systems*, 13(2), pp. 193–226.
- Duncanson, M., Woodward, A. ja Reid, P. (2002). Socioeconomic deprivation and fatal unintentional domestic fire incidents in New Zealand 1993–1998. *Fire Safety Journal*, 37, pp. 165–179.
- FEMA = Federal Emergency Management Agency (1997). Socioeconomic factors and the incidence of fire. National Fire Data Center, United States Fire Administration, Report no. FA170.
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C. ja Charlton, M. (2002). Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships. John Wiley & Sons, Chichester.
- Greene, M. A. (2012). Comparison of the characteristics of fire and non-fire households in the 2004–2005 survey of fire department-attended and unattended fires. *Injury Prevention*, 18(3), pp. 170–175.
- Guldåker, N., Hallin, P-O., Nilsson, J. ja Tykesson, M. (2018). Bostadsbränder i storstadsområden. (In Swedish). Malmö universitet och Lunds universitet: Myndigheten för samhällsskydd och beredskap.

- Gunther, P. (1981). Fire-cause patterns for different socioeconomic neighborhoods in Toledo, Ohio. *Fire Journal*, 75(3), pp. 52–58.
- Hastie, C. ja Searle, R. (2016). Socio-Economic and Demographic Predictors of Accidental Dwelling Fire Rates. *Fire Safety Journal* 84:50–56.
- Helsingin kaupunki (2019a). Helsinki facts and figures 2019. City Executive Office, Urban Research and Statistics. <https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/19_06_14_HKI-taskutilasto2019_eng_w.pdf>. Viitattu: 30.3.2020.
- Helsingin kaupunki (2019b). Helsinki's present state and development 2019. City of Helsinki, Executive Office, Urban Research and Statistics. <https://www.hel.fi/hel2/tietokeskus/julkaisut/pdf/19_08_27_Helsingis_presentstate_and_development_2019.pdf>. Viitattu: 13.5.2020.
- Holborn, P. G., Nolan, P. F. ja Golt, J. (2003). An analysis of fatal unintentional dwelling fires investigated by London fire brigade between 1996 and 2000. *Fire Safety Journal*, 38, pp. 1–42.
- Hu, J., Shu, X., Xie, S., Tang, S., Wu, J. ja Deng, B. (2019). Socioeconomic determinants of urban fire risk: A city-wide analysis of 283 Chinese cities from 2013 to 2016. *Fire Safety Journal*, 110, Article 102890.
- Jennings, C. (1999). Socioeconomic characteristics and their relationship to fire incidence: a review of the literature. *Fire Technology*, 35(1), pp. 7–34.
- Jennings, C. (2013). Social and economic characteristics as determinants of residential fire risk in urban neighbourhoods: a review of the literature and commentary. *Fire Safety Journal*, 62, pp. 13–19.
- Jonsson, A. ja Jaldell, H. (2020). Identifying sociodemographic risk factors associated with residential fire fatalities: a matched case control study. *Inj Prev.* 2020 Apr; 26(2):147–152.
- KC, K. ja Corcoran J. (2017). Modelling residential fire incident response times: a spatial analytic approach. *Applied Geography*, 84, pp. 64–74.
- Kokki, E. (2014). Palokuolemat vähentyneet - Suomen palokuolematilastot 2007–2013. (In Finnish). Julkaisu/Tutkimusraportti, 24 p. Emergency Services Academy Finland, Kuopio. <https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/2016/12/52749_B2_2014.pdf>. Viitattu: 8.3.2020.
- Kokki, E. ja Jäntti, J. (2009). Vakavia henkilövahinkoja aiheuttaneet tulipalot 2007–2008. Research report, 119 p. (In Finnish). Emergency Services Academy Finland, Kuopio. <http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_B/B2_2009.pdf>. Viitattu: 8.3.2020.
- Kortteinen, M. ja Vaattovaara, M. (2015). Segregation aika. (In Finnish). *Yhteiskuntapolitiikka*, 80(8), pp. 562–574.
- Majuri, M. ja Kokki, E. (2010). Pronton luotettavuus. Pelastusopiston julkaisu: B-sarja. Research report, 60 p. (In Finnish). Emergency Services Academy Finland, Kuopio. <http://info.smedu.fi/kirjasto/Sarja_B/B4_2010.pdf>. Viitattu: 20.4.2020.
- Merrall, S. (2002). Anthropogenic Accidental Dwelling Fire: Incident Distribution, Theory and the Fire Service. Doctoral Dissertation, University of Liverpool.
- Moran, P. (1950). Notes on Continuous Stochastic Phenomena. *Biometrika*, Vol. 37, No. 1/2, pp. 17–23.
- Musterd, S., Marcińczak, S., van Ham, M., ja Tammaru, T. (2017). Socioeconomic segregation in European capital cities. Increasing separation between poor and rich. *Urban Geography*, 38(7), pp. 1062–1083.

- Nilson, F. ja Bonander, C. (2020). Household Fire Protection Practices in Relation to Socio-demographic Characteristics: Evidence from a Swedish National Survey. *Fire Technology*, 56, pp. 1077–1098.
- Nilson, F., Bonander, C. ja Jonsson, A. (2015). Differences in Determinants Amongst Individuals Reporting Residential Fires in Sweden: Results from a Cross-Sectional Study. *Fire Technology*, 51(3), pp. 615–626.
- November, V. (2004). Being close to risk. From proximity to connexity. *International Journal of Sustainable Development*, 7(3), pp. 273–286.
- Oliveira, S., Pereira, J. M., San-Miguel-Ayanz, J. ja Lourenço, L. (2014). Exploring the spatial patterns of fire density in Southern Europe using Geographically Weighted Regression. *Applied Geography*, 51(C), pp. 143–157.
- Suomen virallinen tilasto (2020). Kuntien avainluvut 1987-2019. Tilastokeskuksen PxWeb-tietokannat. <https://pxnet2.stat.fi/PXWeb/pxweb/fi/Kuntien_avainluvut/>. Aineisto haettu: 30.3.2020.
- Pelastuslaki (379/2011). Annettu Helsingissä 1.7.2011. Ajantasainen lainsäädäntö sähköisesti osoitteessa:<<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2011/20110379>>. Viitattu: 4.11.2019.
- Pelastusopisto (2015). Onnettomuustyyppin valinta. PRONTO - Dynaaminen koulutuskansio, ohje 48214 C. <https://www.pelastusopisto.fi/wp-content/uploads/2017/02/63021_c_onnettomuustyyppin_valinta.pdf>. Viitattu: 18.8.2020.
- Pelastusopisto (2020). Pelastustoimen resurssi- ja onnettomuustietokanta (PRONTO). <<http://prontonet.fi>>. Aineisto haettu: 2.1.2020.
- Rekola, H. ja Itkonen, P. (2016). Spatiotemporaalisia tarkasteluja pelastustoimen tehtävistä Helsingissä 2011-2015. (In Finnish). Helsinki: Helsingin kaupungin pelastuslaitos. Helsingin kaupungin pelastuslaitoksen julkaisuja, 2/2016, 67 p. <<https://www.hel.fi/static/liitteet/pela/Spatiotemporaalisia%20tarkasteluja%20pelastustoimen%200tehtavista%20Helsingissa%20web.pdf>>. Viitattu: 13.5.2020.
- Runyan, C., Bangdiwala, S., Linzer, M., Sacks, J. ja Butts, J. (1992). Risk factors for fatal residential fires. *The New England Journal of Medicine*, 327(12), pp. 859–863.
- Saikkonen, P., Hannikainen, K., Kauppinen, T., Rasinkangas, J. ja Vaalavuo, M. (2018). Sosiaalinen kestävyys: asuminen, segregatio ja tuloerot kolmella kaupunkiseudulla. (In Finnish). Terveysten ja Hyvinvoinnin Laitos, Raportti 2/2018, 172 p. <http://www.julkari.fi/bitstream/handle/10024/136125/URN_ISBN_978-952-343-084-6.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Viitattu: 13.5.2020.
- Shai, D. (2006). Income, housing and fire injuries: A census tract analysis. *Public Health Report no. 121*, pp. 149-154.
- Sisäministeriö (2016). Turvallinen ja kriisinkestävä Suomi - pelastustoimen strategia vuoteen 2025. Sisäministeriön julkaisu 8/2016. <https://www.pelastustoimi.fi/download/68067_182016.pdf?5c65b6fc0e5bd488>. Viitattu: 26.8.2020.
- Sisäministeriö (2019). Turvallinen ja onnettomuuksista vapaa arki 2025: Pelastustoimen toimintaohjelma onnettomuuksien ehkäisemiseksi. Sisäministeriön julkaisu 2019:33. <<http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-324-304-0>>. Viitattu: 9.3.2020.
- Song, C., Kwan, M. ja Zhu, J. (2017). Modeling fire occurrence at the city scale: A comparison between geographically weighted regression and global linear regression. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14, 296.

- Špatenková O. ja Stein, A. (2010). Identifying factors of influence in the spatial distribution of domestic fires. *International Journal of Geographical Information Science*, 24(6), pp. 841–858.
- Špatenková, O. ja Virrantaus, K. (2013). Discovering spatio-temporal relationships in the distribution of building fires. *Fire Safety Journal*, 62, pp. 49–63.
- Taylor, M. J., Higgins, E., Lisboa, P. J. G. ja Kwasnica, V. (2012). An exploration of causal factors in unintentional dwelling fires. *Risk Management*, 14(2), pp. 109–125.
- Tilastokeskus (2019). Ruututietokanta 2019. Aineisto haettu: 10.1.2020.
- Tillander, K., Matala, A., Hostikka, S., Tiittanen, P., Kokki, E. ja Taskinen, O. (2010). Pelastustoimen riskianalysimallien kehittäminen. (In Finnish). VTT tiedotteita - research notes 2530. 133 p. <<https://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2010/T2530.pdf>>. Viitattu: 9.3.2020.
- Todorović, S. (2020). Modelling risk factors in urban residential fires in Helsinki. Master's thesis in Geography, Geoinformatics. University of Helsinki. May, 2020.74 pp. + 1.
- Turner, S., Johnson, S., Weightman, A., Rodgers, S., Arthur, G., Bailey, R. ja Lyons, R. (2017). Risk factors associated with unintentional house fire incidents, injuries and deaths in high-income countries: A systematic review. *Injury Prevention*, 23(2), 131.
- Uudenmaan pelastuslaitokset (2020). Uudenmaan pelastuslaitosten riskianalyysi 2020 [julkaistaan verkossa 2021].
- Wallace, D. N. ja Wallace, R. (1984). Structural fire as an urban parasite: population density dependence of structural fire in New York City, and its implications. *Environment and Planning*, 16(2), pp. 249–260.
- Watts, J. M. ja Hall, J. R. (2002). Introduction to Fire Risk Analysis. In: Hurley M.J. et al. (eds.) *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*. Springer, New York, NY.
- WHO = World Health Organization (2018). WHO Housing and health guidelines. Geneva. <<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/276001/9789241550376-eng.pdf>>. Viitattu: 10.3.2020.
- Wuschke, K., Clare, J. ja Garis, L. (2013). Temporal and geographic clustering of residential structure fires: A theoretical platform for targeted fire prevention. *Fire Safety Journal*, 62, pp. 3–12.
- Xiong, L., Bruck, D. ja Ball, M. (2015). Comparative investigation of 'survival' and fatality factors in accidental residential fires. *Fire Safety Journal*, 73, pp. 37–47.
- Yamashita, K. (2008). Understanding urban fire: Modeling fire incidence using classical and geographically weighted regression. Thesis. University of Colorado at Boulder.
- YKR = Yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmä (2019). Asuinhuoneistot ja rakennukset. Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Tilastokeskus. Aineisto haettu: 20.12.2019.
- Zhang, X., Yao, J. ja Sila-Nowicka, K. (2018). Exploring spatiotemporal dynamics of urban fires: A case of Nanjing, China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(1), 7.
- Östman, L. (2015). Varför omkommer det fler personer i bostadsbränder i Finland än i Sverige? (In Swedish). Thesis, 77 p. Department of Fire Safety Engineering, Lund University, Sweden.



onnettomuuksien ehkäisy | pelastustoiminta | ensihoito | väestönsuojelu | varautuminen

PL1, 00099 HELSINGIN KAUPUNKI
PB 112, 00099 HELSINGFORS STAD

Helsinki City Rescue Department
+358 9 310 1651 Helsingfors stads räddningsverk