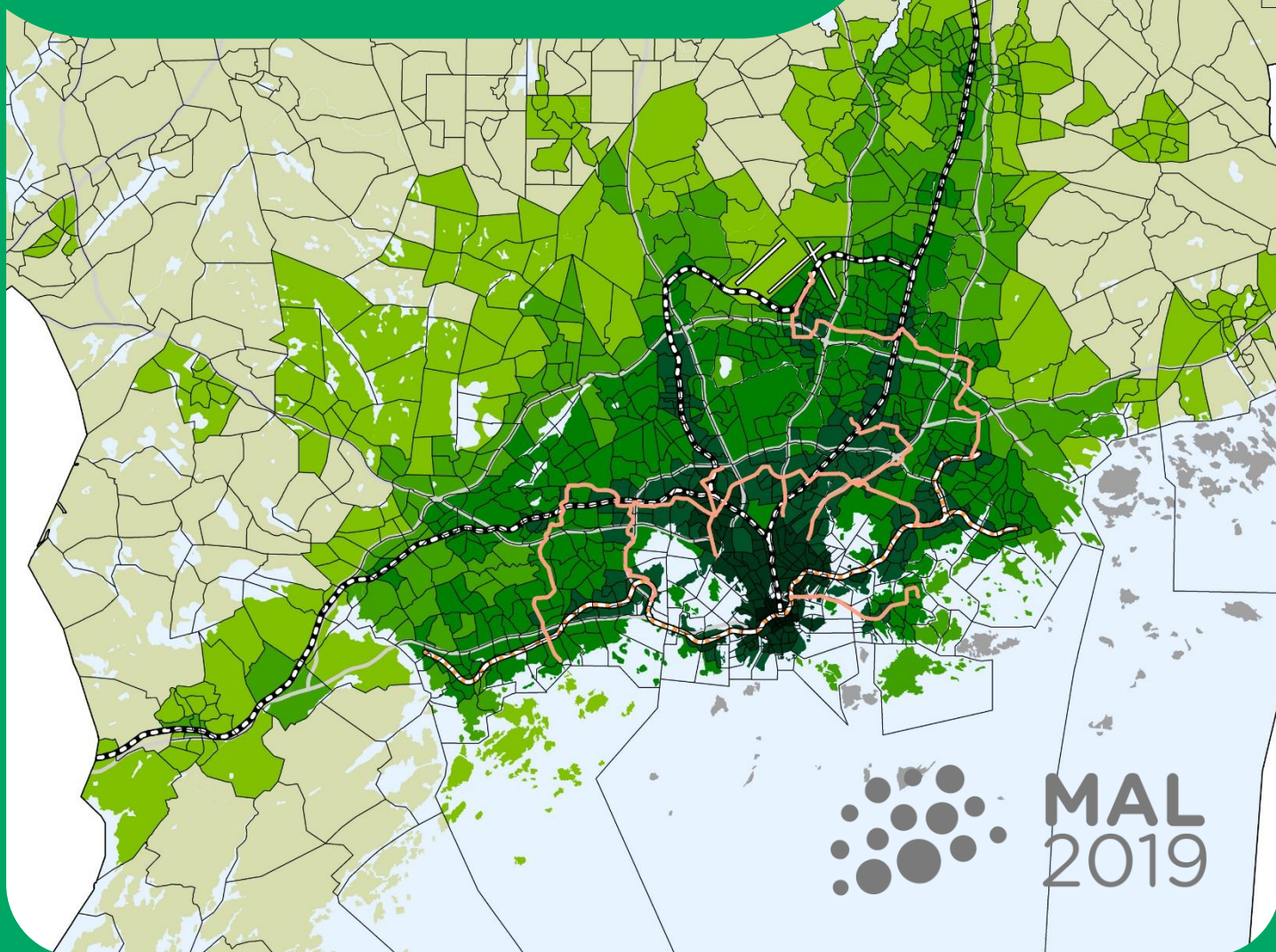


MALPAKKA 2.0

Saavutettavuuden ja maankäytön tehokkuuden välinen yhteys Helsingin seudulla

1.7.2019



MAL
2019

Sisällysluettelo

1	Tiivistelmä	4
2	Johdanto	5
2.1	MALPAKKA 2.0 -projektin lähtökohdat ja tavoitteet	5
2.2	MALPAKKA 2.0 -kokonaisuus	5
3	Kirjallisuuskatsaus	6
3.1	Johdanto kirjallisuuskatsaukseen	6
3.2	Kaupunkitaloustieteen teoriapohja	6
3.2.1	Liikenne ja saavutettavuus	7
3.2.2	Maankäyttömalli	7
3.3	Liikenteen ja maankäytön välisen yhteyden empiiriset tulokset	9
3.3.1	Liikennejärjestelmä ja kiinteistöjen hinnat	9
3.3.2	Liikennejärjestelmä ja maankäytön tehokkuus	9
3.3.3	Maankäytön tehokkuus ja kiinteistöjen hinnat	10
3.3.4	Helsingin seutua käsittelevät tutkimukset	10
3.4	Mallintaminen maankäyttö- ja LUTI-malleilla	11
3.4.1	Maankäyttömallien soveltaminen kaupunkialueiden analyysissä	12
3.4.2	LUTI-mallien historia ja perusrakenne	13
3.4.3	Maankäyttö LUTI-malleissa - Mistä kysyntä syntyy?	14
3.4.4	LUTI-mallien liikenne-ennustemallit ja saavutettavuuden mitta	15
3.4.5	LUTI-mallien tulevaisuuden suuntauksia	16
4	MALPAKKA 2.0 -projektin mallit ja arviot	16
4.1	MALPAKKA 2.0 -lähestymistapa	16
4.2	Lähtöaineistojen kuvaus	18
4.2.1	Saavutettavuusaineisto	18
4.2.2	Hinta-aineisto	20
4.2.3	Maankäyttöaineisto	21
4.3	Saavutettavuusmuuttujat	21
4.4	MALPAKKA 2.0 -hintamallit	26
4.5	MALPAKKA 2.0 -maankäyttömallit	28
4.6	Saavutettavuuden mahdollistama maankäytön tehokkuus	31
5	Mallien tulosten soveltaminen suunnittelussa	39
5.1	MALPAKKA 2.0 -aineistojen lyhyt kuvaus	39
5.2	Soveltaminen kuntien ja seudun suunnittelussa	39
5.3	Esimerkkianalyysit tiivistämispotentiaalista	40
6	Projektin johtopäätökset ja jatkosuositukset	50
7	Lähteet	52
	Liite A - Saavutettavuusindikaattoreiden (logsum) funktiot ja tunnuslukuja	56
	Liite B - Tonttiaineiston tunnuslukuja	58
	Liite C - Hintamallien funktio ja esimerkkimalli	59

Liite D - Maankäyttömallien funktio ja esimerkkimalli	60
Liite E - Karttatulosteet saavutettavuuden mahdollistamista tonttitehokkuuksista sijoittelualueittain	61

1 Tiivistelmä

MALPAKKA 2.0 -projekti on jatkoa HSL:n aikaisemmille selvityksille (Laakso et al., 2016c; Laakso, 2015), joiden tavoitteena on kehittää menetelmiä ja työkaluja maankäytön ja liikenteen yhteissuunnittelulle ja taloudellisten vaikutusten arviointiin Helsingin seudulla. Projektissa sovelletaan kaupunkitaloudellisia menetelmiä saavutettavuuden ja maankäytön välisen yhteyden käsittelemiseen.

Projektin kirjallisuuskatsauksessa on käyty läpi uusimpia liikenteen ja maankäytön välisen yhteyden empiirisen tutkimuksen tuloksia sekä liikenne-maankäyttö-vuorovaikutusmalleihin (LUTI-mallit) liittyviä näkemyksiä keskeisistä tieteellisistä julkaisuista. Kirjallisuuskatsauksen pohjalta vahvistui näkemys, että liikenteen ja maankäytön vuorovaikutusmallit olisivat hyödyllisiä suunnitteluprosesseja tukevia työkaluja, mutta että myös liikenne-ennustemallia ja erillistä maankäyttömallia soveltamalla voidaan analysoida kaupunkialueiden liikennejärjestelmän ja maankäytön kokonaisuutta.

MALPAKKA 2.0 -projektissa on kokeiltu HELMET-liikenne-ennustemallin saavutettavuuden hyötyä kuvaavien logsum-saavutettavuusindikaattoreiden soveltamista empiirisissä hinta- ja maankäyttömalleissa, joissa asuntojen hintoja ja maankäytön tehokkuutta selitetään saavutettavuudella. Laadittujen analyysien perusteella erityisesti HELMET-mallin kestävien kulkumuotojen (joukko liikenne, pyöräily) saavutettavuuden logsumit soveltuvat hyvin maankäytön tehokkuuden selittämiseen.

Empiiristen hinta- ja maankäyttömallien lisäksi hankkeen keskeinen lopputuote on laaditut karkeat arviot potentiaalisesta maankäytön tehokkuudesta eri alueilla Helsingin seudulla. Laaditut arviot perustuvat kestävien kulkumuotojen saavutettavuuteen, eikä niissä ole huomioitu muita maankäytön kysyntään vaikuttavia tai rakentamista rajoittavia tekijöitä. Aikaisempaan MALPAKKA-hankkeeseen (Laakso et al., 2016c) verrattuna tarkasteluja laajennettiin kattamaan koko Helsingin seutu sekä aikaperspektiivin osalta myös tulevaisuuden skenaarioihin.

Laadittuja arvioita kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta tonttitehokkuudesta eri alueilla Helsingin seudulla voidaan käyttää lähtötietona maankäytön ja liikenteen suunnittelussa. Niitä voidaan hyödyntää esimerkiksi tunnistamaan tiivistämispotentiaaleja, joita nykyinen liikennejärjestelmä mahdollistaa, sekä uusien liikennejärjestelmäinvestointien maankäyttöpotentiaalien arviointiin. Projektissa tuotettuja aineistoja ja malleja voidaan myös soveltaa esimerkiksi liikennehankkeiden kaupunkitaloudellisten vaikutusten arvioinneissa.

Arvioita kestävien kulkumuotojen mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta olisi hyödyllistä soveltaa seudullisessa MAL-suunnittelussa sekä Helsingin seudun kuntien maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, jotta voitaisiin paremmin tunnistaa ja hyödyntää liikennejärjestelmän tarjoamia rakentamisen mahdollisuuksia ja tiivistämispotentiaaleja. Laaditun karkean analyysin perusteella Helsingin seudulla on huomattavasti tiivistämispotentiaalia erityisesti raideliikenteen vaikutusalueilla.

2 Johdanto

2.1 MALPAKKA 2.0 -projektin lähtökohdat ja tavoitteet

Maankäytön kysyntä on vahvasti riippuvaista saavutettavuudesta. Helsingin seudulla ei ole kuitenkaan aina onnistuttu hyödyntämään saavutettavuudeltaan hyviä sijainteja ja niiden potentiaalia riittävällä maankäytön tehokkuudella (esim. Laakso, 2015). Kaupunkitaloudellisten menetelmien avulla on mahdollista käsitellä tehokkaasti saavutettavuuden ja maankäytön välistä yhteyttä ja tunnistaa seudullisesti saavutettavuudeltaan merkittäviä kehittämiskohteita.

Helsingin seudun maankäytön, asumisen ja liikenteen seudullisessa MAL-suunnittelussa on jo aikaisemmin tunnistettu tarve kehittää menetelmiä ja työkaluja maankäytön ja liikenteen yhteissuunnittelulle ja taloudellisten vaikutusten arviointiin. HSL:n aikaisemmissa selvityksissä ”Maankäyttö, liikenne ja asuntojen hinnat - Paikkatietoaineistot ja mallityökalut - MALPAKKA” (Laakso et al., 2016c) ja ”Maankäyttö, liikenne ja asuntojen hinnat - Saavutettavuuden ja yhdyskuntarakenteen vaikutuksista asuntojen hintaan ja maankäytön tehokkuuteen” (Laakso, 2015) on tutkittu asuntojen hintojen, maankäytön tehokkuuden ja saavutettavuuden suhdetta sekä muodostettu karkeita suosituksia maankäytön tiivistämispotentiaalista pääkaupunkiseudulla.

MALPAKKA 2.0 -projektin päämääränä on ollut jatkokehittää aikaisempien selvitysten pohjalta tarkempia ja myös tulevaisuuden huomioivia menetelmiä liikenteen ja maankäytön yhteissuunnittelua varten, sekä laajentaa tarkastelua koko Helsingin seudulle. Projektin päätavoitteena on ollut tuottaa arvioita saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta Helsingin seudun eri alueilla, mitä voidaan soveltaa sekä seudullisessa että kuntien maankäytön ja liikenteen suunnittelussa. Tavoitteena on myös ollut kokeilla tuotettujen arvioiden soveltamista tiivistämispotentiaalien analysointiin. Projektin muina tavoitteina on ollut käydä läpi kansainvälistä tutkimuskirjallisuutta maankäytön ja liikenteen yhteissuunnittelusta ja kerätä tuloksia ja suuntaviivoja Helsingin seudun maankäyttöarvioiden laatimisen tueksi. Kirjallisuuskatsauksessa erityisfokuksena on ollut liikenteen ja maankäytön vuorovaikutteiset mallit. Lisäksi projektin tavoitteena on ollut tutkia Helsingin seudulla käytössä olevan liikenne-ennustemallin, HELMET:n, tarjoamia mahdollisuuksia ja kokeilla mallin tarjoamien saavutettavuuden hyötyä kuvaavien indikaattorien soveltamista hinta- ja maankäyttömalleissa sekä maankäytön tehokkuusarvioiden laatimisessa.

2.2 MALPAKKA 2.0 -kokonaisuus

MALPAKKA 2.0 -projekti koostuu kirjallisuuskatsauksesta, asuntojen hintojen ja saavutettavuuden sekä maankäytön tehokkuuden ja saavutettavuuden välisen yhteyden mallintamisesta, mallien pohjalta tehdyistä maankäytön tehokkuusarvioista, ohjeistuksesta tehokkuusarvioiden soveltamiseen suunnittelussa sekä tiivistämispotentiaaliarvioista. Projektin tuotokset ovat saatavilla kartta-, excel- ja paikkatietomuodossa MAL-ekstranetistä.

Projektin loppuraportti alkaa osiolla 3, josta löytyy kirjallisuuskatsaus. Osiossa 4 on kuvattu asuntojen hintojen ja maankäytön tehokkuuden mallinnuksessa käytetyt lähtötiedot, hinta- ja maankäyttömallit sekä maankäytön tehokkuusarviot. Osiossa 5 on kuvattu ajatuksia tehokkuusarvioiden soveltamisesta suunnittelussa sekä laadittu karkea arvio maankäytön tiivistämispotentiaalista Helsingin seudulla. Osio 6 kokoaa yhteen projektin johtopäätökset ja jatkosuositukset. Liitteistä löytyy varsinaisen raportin osioita täydentävää tarkempaa tietoa.

MALPAKKA 2.0 -projektin on toteuttanut projektiryhmä, johon ovat kuuluneet Helsingin kaupungilta Mikko Jääskeläinen (projektipäällikkö), Oskari Harjunen ja Juha Niemelä, HSL:ltä Niko-Matti Ronikonmäki (kevääseen 2018 asti) ja Lauri Vuorio (syksystä 2018

alkaen), sekä Kaupunkitutkimus TA Oy:stä Seppo Laakso. Projektia on ohjannut ohjausryhmä, johon on kuulunut HSL:ltä Aarno Kononen (kesästä 2018 alkaen), Tuire Valkonen (syksyyn 2018 asti) ja Jens West sekä Helsingin kaupungilta Heikki Salmikivi, Antti Mentula, Jouko Kunnas ja Anton Silvo.

3 Kirjallisuuskatsaus

3.1 Johdanto kirjallisuuskatsaukseen

Kaupunkitaloustieteellisessä kirjallisuudessa liikenteen ja maankäytön välistä yhteyttä lähestytään maankäyttömallin avulla (mm. Fujita, 1989; Laakso & Loikkanen, 2004; Brueckner, 2011). Sen juuret ovat on Thünenin (1826) maavuokrateoriassa ja teorian modernin ajan edistäjinä ovat olleet mm. Alonso (1964) sekä Fujita (1989). Teoreettista viitekehystä on sovellettu käytäntöön 1950-luvulta lähtien, mutta laajamittaisten ja kokonaisvaltaisten mallien käyttö on vielä toistaiseksi melko harvinaista (Hansen, 1959; Acheampong & Silva, 2015). Tässä kirjallisuuskatsauksessa keskitytään tarkastelemaan maankäyttömallin soveltamismahdollisuuksia liikenteen ja maankäytön välisen vuorovaikutuksen analyyseissä. Painopiste on kaupunkitaloustieteen teoreettisen maankäyttömallin ja sen sovellusten lisäksi myös ns. "LUTI"-mallien, eli liikenne-maankäyttö-vuorovaikutusmallien, tarkastelussa. Nämä mallit ovat olleet käytännön sovellutuksia teoreettisille maankäyttömalleille, mutta kuten myöhemmin todetaan, teorian vieminen käytäntöön on tässä viitekehyksessä haastava tehtävä.

Suomessa taloustieteen soveltaminen maankäytön ja liikenteen suunnittelun tukena on ollut melko rajallista, joskin liikenteen osalta kustannus-hyöty-analyyseillä on pitkä perinne myös suomalaisessa liikennesuunnittelun traditiossa. Liikenteen ja maankäytön välinen vuorovaikutus voidaan nähdä osana liikennehankkeiden laajempia taloudellisia vaikutuksia. Laakso et al. (2016a; 2016b) tutkimukset kuvaavat yleisellä tasolla laajempien taloudellisten vaikutusten arviointia Suomessa ja he toteavat aihepiiriin vaativan merkittäviä panostuksia tulevaisuudessa. Maankäytön ja liikenteen välistä yhteyttä on selvitetty Suomessa Helsingin seudulla Laakso (2015) toimesta ja työn tuloksena on syntynyt MALPAKKA-työkalu (Laakso et al., 2016c), joka on karkean tason työkalu liikennejärjestelmän maankäyttövaikutusten arvioimiseksi.

Esittelemme tässä katsauksessa kaupunki- ja liikennetaloustieteellisen viitekehyksen luvussa 3.2. Liikenteen ja maankäytön välisiä empiirisiä tuloksia esittelemme luvussa 3.3. Luvussa 3.4 käsittelemme mallintamista maankäyttömallilla sekä liikenteen ja maankäytön vuorovaikutuksen LUTI-malleja. Kirjallisuuskatsauksen loppupäätelmät löytyvät osiosta 6, joka kokoaa projektin johtopäätökset ja jatkosuositukset.

3.2 Kaupunkitaloustieteen teoriapohja

Liikenne- ja maankäyttömallien teoreettinen viitekehys ja pohja on kaupunki- ja liikennetaloustieteessä. Erityisesti kaupunkitaloustiede ja sen osana oleva kaupunkialueen maankäyttömalli ovat keskeisessä osassa, kun malleille rakennetaan teoreettisia perustuksia. Liikenne- ja maankäyttömallien tarkoituksena on mallintaa spatiaalista vuorovaikutussuhdetta, jossa maankäyttö ja liikennejärjestelmä ovat toisistaan riippuvaisia. Kuten tässä luvussa huomaamme, kaupunkitaloustieteen teoriat antavat oivallisen pohjan näiden analyysien tekemiselle.

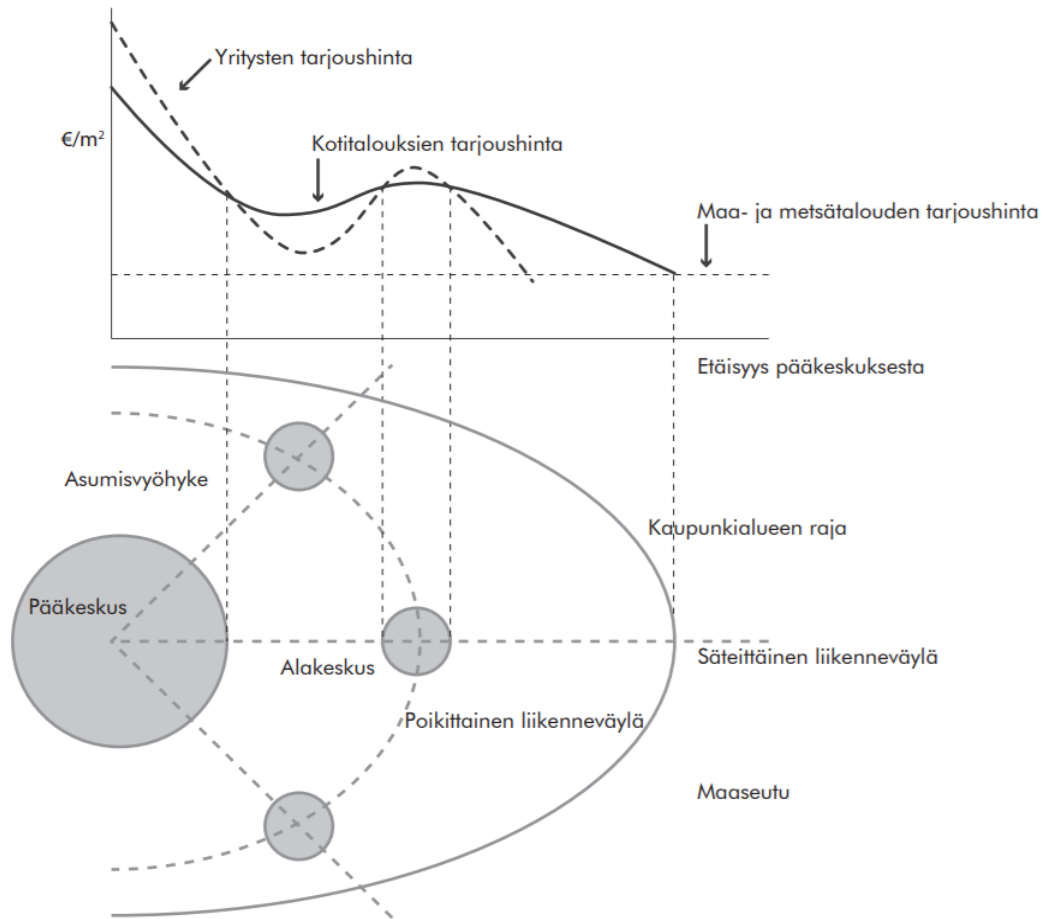
3.2.1 Liikenne ja saavutettavuus

Kaupunkitaloustieteellisessä kirjallisuudessa liikennettä ja liikkumista kaupungeissa lähestytään yksilölle aiheutuvien kustannusten näkökulmasta. Kirjallisuudessa puhutaan järjestään liikkumiskustannuksista, joilla viitataan kahden paikan välisen liikkumisen aiheuttamiin kokonaiskustannuksiin. Nämä kokonaiskustannukset, yleensä kirjoitettu muodossa $T(c)$, sisältävät matkasta aiheutuvat rahalliset, ajalliset sekä matkustusmukavuuteen vaikuttavat tekijät. Voidaankin siis puhua kahden paikan välisestä matkavastuksesta, joka kuvaa kahden paikan välistä etäisyyttä ja mikä voidaan kuvata aikana, rahana tai koettuna hyötynä. (Brueckner, 2011; Laakso & Loikkanen, 2004, Fujita, 1989)

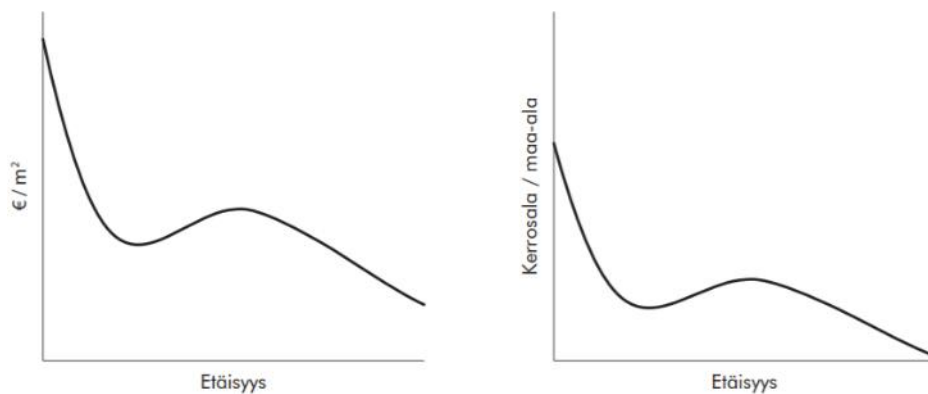
3.2.2 Maankäyttömalli

Oletuksiltaan yksinkertaistetut kaupunkitaloustieteen teoreettiset maankäyttömallit (mm. Fujita, 1989; Laakso & Loikkanen, 2004; Loikkanen & Laakso, 2016) soveltuvat hyvin analyysihin saavutettavuuden, maankäytön kysynnän, maan hinnan, maankäytön tehokkuuden, maankäytön eri toiminnoille jakautumisen sekä kaupunkialueen laajuuden yhteyksien välillä (mm. Bertaud, 2015; Laakso, 2015). Suomessa maankäyttömallia ovat tehneet tunnetuksi Laakso & Loikkanen (2004) monikeskuksisen maankäyttömallin esittelyllään. Ensimmäiset viitteet maankäyttömallista löytyvät von Thünenin (1826) maatalousmaan markkinoita käsittelevistä teksteistä. Modernilla ajalla keskeisiä teorian kehittäjiä ovat olleet mm. Alonso (1964) ja Fujita (1989).

Maankäyttömallit pohjautuvat kaupunkialueen taloudellisen toiminnan dynamiikalle ja kaupunkialueen tarjoamille kasautumiseduille, missä maankäyttö ja liikenne ovat talouden johdettua kysyntää. Maankäyttömalleissa maankäytön tehokkuus ja maankäytön jakautuminen eri toimijoiden välillä eri sijainneissa pohjautuu eri toimijoiden tarjousvuokriin eli maksuhalukkuuteen. Tarjousvuokrat ovat suurempia lähempänä pääkeskusta ja alakeskuksia, koska useimmat toimijat hyötyvät muiden toimijoiden ja toimintojen läheisyydestä eli pienemmistä liikkumis-, kuljetus- ja kommunikointikustannuksista. Monet yritykset hyötyvät asukkaiden ja muiden yritysten läheisyydestä mm. työvoiman saatavuuden sekä asiakkaiden, toimittajien ja yhteistyökumppaneiden läheisyyden kautta. Vastaavasti asukkaat hyötyvät eri toimintojen läheisyydestä mm. työpaikkojen valikoiman, sosiaalisen kanssakäymisen ja monipuolisten kulutusmahdollisuuksien kautta. Sijoittumalla kauemmaksi keskuksista asukkaiden ja yritysten keskimääräiset liikkumiskustannukset kasvavat, koska keskimääräinen matkavastus kaupunkialueen muihin toimijoihin ja toimintoihin kasvaa. Korkeampien liikkumiskustannuksien vastapainoksi tarjousvuokrat ovat matalammat kauempana keskuksista. Lähempänä keskuksia niukka maan tarjonta ja korkea kysyntä nostavat maan hintaa, mikä kannustaa tehokkaampaan maankäyttöön eli tiheämpään ja korkeampaan rakentamiseen. Kauempana keskuksista toimijat kärsivät korkeammista liikkumiskustannuksista, mutta pystyvät matalammasta maan hinnasta johtuen nauttimaan suuremmasta väljyydestä eli kuluttamaan enemmän maa-alaa ja rakennettua kerrosalaa. (mm. Fujita, 1989; Laakso & Loikkanen, 2004; Bertaud, 2015; Laakso, 2015; Loikkanen & Laakso, 2016) Monikeskuksisen maankäyttömallin mukainen hintojen ja maankäytön tehokkuuksien käyttäytyminen on visualisoitu kuviossa 1 ja 2 (Loikkanen & Laakso, 2016). Teoriassa tarjousvuokrafunktioihin perustuva maankäyttömallin ennustama markkinaehtoinen maankäyttö, mikä pohjautuu kuluttajien hyötyfunktioihin ja yritysten tuotantofunktioihin optimoi sekä kotitalouksien että yritysten hyvinvoinnin (Bertaud, 2015).



Kuvio 1: Yritysten ja kotitalouksien tarjoushinnat ja kaupunkialueen maankäyttö (Loikkanen & Laakso, 2016)



Kuvio 2: Maan markkinahinta ja markkinaehtoinen maankäytön tehokkuus (Loikkanen & Laakso, 2016)

3.3 Liikenteen ja maankäytön välisen yhteyden empiiriset tulokset

Liikennejärjestelmän ja maankäytön välistä yhteyttä on tutkittu empiirisesti erityisesti liikennejärjestelmän ja kiinteistöjen hintojen yhteyden näkökulmasta sekä pienemmässä määrin liikennejärjestelmän ja maankäytön tehokkuuden yhteyden kautta. Tutkimuksesta riippuen tarkastelun kohteena ovat joko liikennejärjestelmän fyysisten pisteiden, kuten rautatieasemien, vaikutukset kiinteistömarkkinoihin, mutta tarkasteluja on tehty myös saavutettavuuden muutosten näkökulmasta. Suurimmassa osassa empiirisistä tutkimuksista on kuitenkin kyse ainakin epäsuorasti kaupunkitaloustieteen maankäyttömallien mukaisten teorioiden sovelluksista. Kaikista harvalukuisimpia ovat maankäytön tehokkuuden ja hintojen välistä yhteyttä käsittelevät tutkimukset.

3.3.1 Liikennejärjestelmä ja kiinteistöjen hinnat

Monet viimeaikaiset liikennejärjestelmän kiinteistöjen hintavaikutuksia selvittäneet tutkimukset ovat keskittyneet erityisesti raideliikenteen vaikutuksiin. Mohammad et al. (2013) meta-analyysin perusteella suurimmassa osassa tutkimuksista on raideliikenteelle löydetty positiivisia vaikutuksia kiinteistöjen hintoihin, mutta osassa tutkimuksista on havaittu neutraali tai negatiivinen vaikutus. Eroilla eri tutkimusten menetelmissä ja tutkimuskonteksteissa vaikuttaisi olevan vaikutusta tuloksiin. Meta-analyysin tulosten mukaan esimerkiksi vaikutukset toimitilojen arvoihin ovat yleensä suuremmat kuin asuntojen arvoihin. Lisäksi vaikutus kiinteistöjen arvoihin vaikuttaisi olevan suurempi eurooppalaisissa ja itä-aasialaisissa kaupungeissa verrattuna autopainotteisiin Pohjois-Amerikan kaupunkeihin. Myös uudempien tutkimusten tuloksissa aasialaisissa kaupungeissa on havaittu raideliikenteen positiivinen hintavaikutus (mm. Sadayuki, 2018; Diao et al., 2017; Mohammad & Melo, 2017), kun taas Pohjois-Amerikan kaupungeissa vaikutus on ollut neutraalimpi tai jopa negatiivinen (mm. Cohen & Brown, 2017; Wagner et al., 2017). Neutraaleita tai negatiivisia hintavaikutuksia saattaa selittää kyseisten tutkimusten raidehankkeiden heikko kilpailukyky suhteessa muiden kilpailevien kulkumuotojen tarjoamiin mahdollisuuksiin (Mohammad et al., 2013). Eri kulkumuotojen kilpailutilanne saattaa kuitenkin muuttua esimerkiksi yksittäisen kulkumuodon kustannusten kasvamisen takia (Mohammad et al., 2013), kuten on havaittu tapahtuneen esimerkiksi Pekingissä, jossa kaupungin asettamat rajoitukset yksityisautoilulle nostivat asuntojen hintoja erityisesti metroasemien läheisyydessä (Xu et al., 2015).

Kulkumuotojen ja maantieteellisten erojen lisäksi saavutettavuuden ja hintojen välisessä tutkimuksessa nousee esiin kysymys yksikeskustaisen ja monikeskustaisen maankäyttömallin eroista sekä eri matkaryhmien merkityksestä. Ahlfeldtin (2011) tutkimuksen mukaan yksikeskustainen maankäyttömalli selittää Berliinissä suhteellisen hyvin asuntojen hintoja, mutta vetovoimapohjainen työpaikkojen saavutettavuusindikaattori, joka huomioi työpaikkojen hajaantumisen myös keskustan ulkopuolisiin keskuksiin, selittää hintoja vielä paremmin. Ahlfeldtin (2011) johtopäätöksenä on myös, että nimenomaan työmarkkinasaavutettavuus soveltuu erittäin hyvin hintojen selittämiseen. Myös Osland & Thorsen (2008) toteavat Stavangerin laajaan työssäkäyntialueeseen perustuvan tutkimuksensa pohjalta, että vetovoimapohjainen työssäkäynnin saavutettavuusindikaattori soveltuu hyvin asuntojen hintojen selittämiseen, mutta sitä on hyvä täydentää keskustasaavutettavuuden indikaattorilla, joka huomioi muiden keskustaan keskittyneiden tekijöiden, kuten kulttuuripalveluiden ja ravintoloiden, vaikutuksen asuntojen hintoihin.

3.3.2 Liikennejärjestelmä ja maankäytön tehokkuus

Maankäytön tehokkuuteen keskittyvien tutkimusten maantieteellinen laajuus ja aikajänne on usein hintatutkimuksia laajempi saattaen käsittää jopa useita vuosikymmeniä kokonaisen

valtion tasolla. Kasraian et al. (2016) käy läpi tutkimuksia liikennejärjestelmän pitkän ajan vaikutuksista maankäytön muutoksiin Yhdysvalloissa, Euroopassa ja Aasiassa. Katsauksen perusteella vaikuttaisi, että rautatieinfrastruktuurin läheisyys todennäköisemmin lisää väestönkasvua ja asukastiheyttä, kun taas tieinfra liittyy usein työpaikkatiheyden kasvamiseen ja kokonaan uuden maankäytön lisääntymiseen. Kasraianin katsauksen tutkimuksista Kotavaara et al. (2011) analysoivat tie- ja rautatieliikennesaavutettavuuden vaikutusta väestön kasvuun Suomessa, jossa tulosten mukaan koko maan tasolla tieliikennesaavutettavuus selittää väestönkasvua rautatieliikennettä enemmän, mikä on luontevaa sen ollessa koko maan tasolla yleisin henkilöliikenteen muoto. Rautatieliikenteen saavutettavuuden merkitys taas on vaihdellut, ja selittänyt väestönkasvua parhaiten 1970- ja 2000-luvulla.

Kasraianin et al. (2016) katsauksen mukaan lisäksi monilla ulkoisilla tekijöillä kuten liikenneteknologian kehitymisellä, julkissektorin toimenpiteillä, talouden kysynnällä, maan saatavuudella ja alueiden houkuttelevuudella näyttäisi olevan vaikutusta maankäytön muutoksiin. Johtopäätösten muodostaminen on kuitenkin haastavaa johtuen eroissa tutkimusten metodeissa, aineistolähteissä, ajallisissa ja tilallisissa mittakaavoissa sekä löydöksissä. Lisäksi useimmat tutkimukset keskittyvät analysoimaan liikennejärjestelmän vaikutuksia maankäyttöön, kun todellisuudessa vuorovaikutussuhde on kahdensuuntainen. Johtopäätöksenä tutkijat tarjoavat myöhemmin käsiteltäviin LUTI-malleihin läheisesti liittyvää kehikkoa, jossa liikennejärjestelmän ja maankäytön vuorovaikutusta voi luokitella sen mukaan, kuinka saturoituneita maankäyttö ja liikennejärjestelmä ovat. Esimerkiksi maankäytön ollessa saturoituneempaa, toimii se todennäköisesti impulssina liikennejärjestelmän kehittämiselle. Pääinvastaisessa tilanteessa liikennejärjestelmän hyödyntämätön kapasiteetti hyvän saavutettavuuden sijainneissa johtaa todennäköisesti maankäytön kehittämiseen.

Kasraianin et al. (2016) kartoittamien tutkimusten lisäksi Lee & Sener (2017) tutkivat Houstonissa pikaraitiotien vaikutusta maankäyttöön. Tutkimuksesta tekee mielenkiintoisen Houstonin olematon kaavoitusjärjestelmä ja auto-orientoituneisuus. Houstonissa pikaraitiotien vaikutuspiirissä havaittiin kiihtynyttä maankäytön kehitystä noin 4-10 vuotta linjan avaamisen jälkeen, kun taas uudemman linjan varrella kehitys oli vaatimatonta. Tutkimuksen menetelmien rajoitusten vuoksi tutkijat toteavat kuitenkin johtopäätösten tekemisen olevan haastavaa. (Lee & Sener, 2017). Barr & Cohen (2014) tutkivat hyvin laajalla aineistolla keskustaetäisyyden ja tonttitehokkuuden (FAR) ja suhdetta New Yorkissa, mikä eroaa useimmista muista asukas- ja työpaikkatiheyteen keskittyvistä tutkimuksista. Vaikka tutkijat havaitsivat tonttitehokkuusgradienttien pohjalta alakeskuksia, eivät monikeskuksiset mallit kuitenkaan juuri tuoneet parannuksia verrattuna yksikeskuksiseen malliin.

3.3.3 Maankäytön tehokkuus ja kiinteistöjen hinnat

Vähiten tutkimuksia löytyy maankäytön tehokkuuden ja hintojen suhteesta. Fesselmeyerin et al. (2018) tutkimuksessa Singaporen aineistoilla havaittiin negatiivinen yhteys rakentamisen tehokkuudella ja hinnoilla, mikä on voimakkainta väljillä alueilla. Toisaalta täydennysrakentamisen hintavaikutusta niin ikään Singaporessa selvittäneessä tutkimuksessa Ooi & Le (2013) havaitsivat pääinvastaisen vaikutuksen, jossa täydennysrakentaminen johti tiivistyvällä alueella nykyisen asuntokannan hintojen nousuun.

3.3.4 Helsingin seutua käsittelevät tutkimukset

Helsingin seudulla maankäytön, liikennejärjestelmän ja hintojen suhdetta on tutkittu aiemmin muutamissa tutkimuksissa ja selvityksissä. Liikennejärjestelmän saavutettavuuden

kapitalisoituminen asuntojen hintoihin on osoitettu metroa käsittelevissä tutkimuksissa (Harjunen, 2018; Laakso, 1997). Harjunen (2018) havaitsi tutkimuksessaan, että Länsimetron rakentamispäätös nosti olemassa olevan asuntokannan arvoa 800 metrin säteellä Länsimetron asemista noin 4 % jo ennen raideyhteyden avautumista. Laakso (1997) tutki Helsingin metron vaikutusta asuntojen hintoihin, ja havaitsi asuntojen hintojen nousseen noin 0–6 % metroasemien läheisyydessä, kun taas alueilla, jotka siirtyivät metron liityntälinjaston piiriin, matka-ajat pidentyivät, mikä laski hintoja noin 5 %.

Lönnqvist tutki väitöskirjassaan (2015) joukkoliikenne- ja henkilöautotyöpaikkasaavutettavuuden vaikutusta asuntojen hintoihin koko pääkaupunkiseudulla kolmen erillisen indikaattorin kautta: keskustasaavutettavuus, etäisyydellä painotettu saavutettavuus kaikkiin työpaikkoihin sekä 30 minuutin etäisyydellä kultakin alueelta saavutettava työpaikkojen määrä. Kaikkien indikaattorien perusteella työpaikkasaavutettavuudella näyttäisi olevan merkittävä positiivinen vaikutus asuntojen hintoihin Helsingin seudulla, mutta joukkoliikenteen ja auton suhteellinen merkitys vaihtelee hieman saavutettavuusindikaattorista riippuen sekä myös kerrostalojen ja rivitalojen välillä. Tutkimuksen mukaan keskustasaavutettavuuden rooli hintojen selittäjänä näyttäytyy edelleen voimakkaana, vaikka työpaikkojen määrä keskustan ulkopuolella on kasvanut huomattavasti.

Helsingin seudun maankäyttösuunnitelman MASU ja HLJ 2015 -projektien yhteydessä tunnistettiin tarve kehittää maankäytön ja liikennejärjestelmän muutosten taloudellisten vaikutusten arviointia. Tavoitteena oli kehittää arviointimenetelmiä kaupunkialueen maankäytön ja liikenteen muutosten taloudellisten vaikutusten arviointia varten, niiltä osin kuin alun perin valtakunnallisten väylähankkeiden arviointia varten kehitetty hyöty-kustannusanalyysi ei anna mahdollisuuksia. Tätä tarvetta varten MALPAKKA-esiselvityksessä (Laakso, 2015) tutkittiin saavutettavuuden, asuntojen hintojen ja maankäytön tehokkuuden välistä suhdetta Helsingin seudulla. Selvityksen mukaan saavutettavuudella on erittäin suuri vaikutus asuntojen hintatasoon Helsingin seudun kaikilla aluetyypeillä. Maankäytön tehokkuutta voidaan myös selittää suurelta osin asuntojen aluehintojen ja saavutettavuuden kautta erityisesti kerrostalovaltaisilla alueilla. Pientalovaltaisilla alueilla selitysaste on sen sijaan matalampi.

3.4 Mallintaminen maankäyttö- ja LUTI-malleilla

Maankäytön ja liikenteen yhteissuunnittelun näkökulmasta mielenkiintoisin osa-alue kaupunkitaloustieteen soveltamisessa ovat siitä johdetut mallit. Käytännön sovellusten näkökulmasta mielenkiintoisimpia muutostilanteita ovat pitkän aikavälin maankäytön muutosten arviointi sekä asumisen että yritysten näkökulmasta. Näiden muutosten arvioinnilla voidaan päästä käsiksi kaupunkiseuduilla piileviin maankäytön potentiaaleihin olemassa olevan liikennejärjestelmän mahdollistaman saavutettavuuden näkökulmasta, mutta myös erilaisten liikennejärjestelmätoimenpiteiden maankäytöllisiin vaikutuksiin.

Aikaisemman kirjallisuuden perusteella vahvan mikrotaloustieteellisen pohjan omaava kaupunkitaloudellinen viitekehys sopii mainiosti laadulliselle liikenteen ja maankäytön välisen suhteen analyysille. Käytännön tasolla tämän yhteyden mallintaminen on kuitenkin jäänyt melko etäiseksi kaupunkitaloustieteellisestä teoriasta, koska ekonometrisillä menetelmillä on ollut hyvin haastavaa havaita ja huomioida monimuotoisia kaupunkiin ja alueisiin liittyviä ominaisuuksia. Tämä näkyy myös kirjallisuuskatsauksen empiirisiä tuloksia käsittelevässä osiossa, missä läpikäytyissä tutkimuksissa keskitytään usein melko yksiulotteisesti yhteen ilmiöön kerrallaan.

Todellisuus koostuu kuitenkin kaupungeissa tapahtuvista päällekkäisistä prosesseista ja niiden vuorovaikutussuhteista, joihin käsiksi pääseminen, identifiointi ja tulkinta on paikoin hyvin haastavaa tai jopa mahdotonta. Näitä prosesseja ovat asuin- tai työpaikan valinta, maamarkkinat tai liikenteen markkinat. Yhdessä nämä luovatkin merkittäviä haasteita

luotettavien kausaalisuhteiden tutkimiselle ja tekee liikenteen ja maankäytön välisen vuorovaikutussuhteen tutkimisesta sekä soveltamisesta käytännön suunnitteluun erityisen haastavaa. Vaikka aiheen tieteellinen keskustelu on monipuolista, liikenteen ja maankäytön välinen yhteys on kuitenkin tunnistettu periaatteellisella tasolla ja sitä tukee myös eri yhteyksissä saadut empiiriset tulokset. (Acheampong & Silva, 2015)

Kaupunkitaloudellisen viitekehyksen soveltaminen suunnittelun tueksi voidaan jakaa karkeasti kahteen kategoriaan: kaupunkitalousteorian ja maankäyttömallin suora soveltaminen empiirissä tutkimuksissa sekä varsinaiset maankäytön ja liikenteen vuorovaikutteiset sekä iteroituvat mallit, eli LUTI-mallit. Maankäyttömalleja ja niiden teoreettista taustaa käsiteltiin luvussa 3.2 "Kaupunkitaloustieteen teoriapohja". LUTI-mallit ja niiden historia esitellään tarkemmin myöhemmin tässä luvussa.

3.4.1 Maankäyttömallien soveltaminen kaupunkialueiden analyysissä

Yksinkertaisten, mallinnukseen pohjautuvien maankäyttömallien soveltamista suunnitteluun kannustaa mm. Bertaud (2015), jonka mukaan monet kaupunkistrategiat ja -suunnitelmat kaatuvat huonoon työ- ja maamarkkinoiden ymmärrykseen. Bertaudin mukaan maankäyttömallilla on mahdollista arvioida liikennejärjestelmän muutoksen vaikutuksia, kaupunkialueen tonttien ja asuntojen hintojen sekä tiheyksien muutoksia, sekä erilaisista markkinahäiriöistä ja rajoituksista aiheutuvia kustannuksia. Esimerkkejä maankäyttömallin soveltamisesta suunnittelukysymysten ratkaisemiseksi löytyy myös akateemisista julkaisuista (mm. Farooq & Miller, 2012; Farooq et al., 2013; Li et al., 2013).

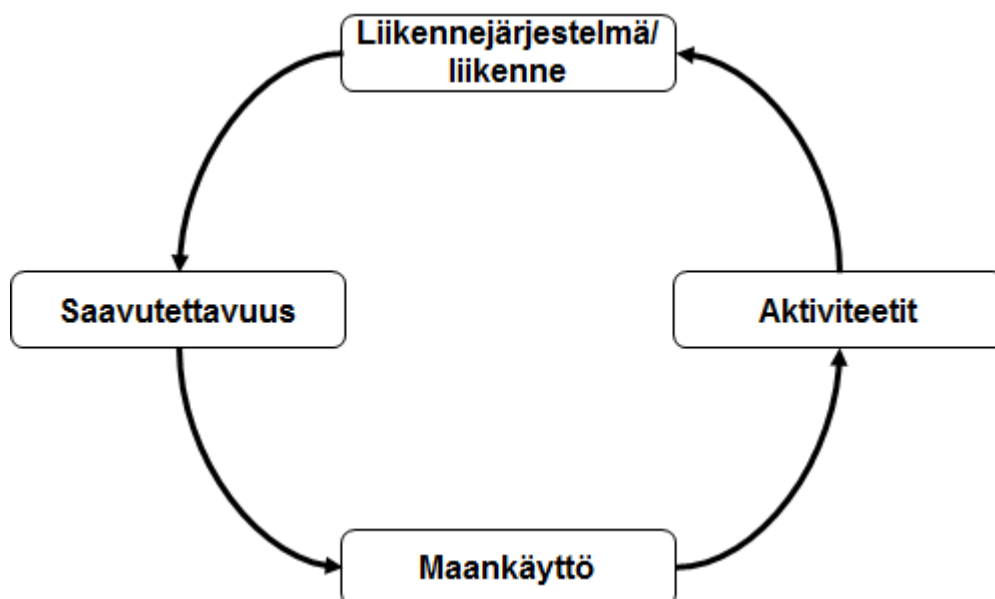
Maankäyttömallien eri versiot vaihtelevat lähtöoletuksien ja mallin yksinkertaistusten osalta, mutta ne perustuvat kirjallisuuskatsauksessa esitettyyn teoreettiseen kaupunkitaloustieteen maankäyttömalliin (Alonso, 1964; Fujita, 1989). Maankäytön tehokkuuden mitta vaihtelee mallista riippuen ja voi tarkoittaa asukkaiden ja työpaikkojen tiheyttä tai rakentamisen tiheyttä. Etäisyyden mittana on mallista ja tapauksesta riippuen joko etäisyys kilometreinä, matka-aika tai matkavastus eri kulkumuodoilla. Yksinkertaisimmissa maankäyttömalleissa ei huomioida saavutettavuuden lisäksi sijaintien kysyntään vaikuttavia muita tekijöitä kuten esimerkiksi ympäristöhaittoja tai sosioekonomisia tekijöitä. Maankäyttömallin kehittyneimmissä ja monimutkaisimmissa versioissa pystytään keventämään tiukkoja oletuksia ja selittämään ilmiöitä, jotka eivät selity perusmallilla (esim. Wrede, 2015). Myöhemmin käsiteltäviä LUTI-malleja voidaan pitää yhtenä pisimmälle viedyistä maankäyttömallien sovellutuksista.

Huolimatta perusmallin yksinkertaistetuista lähtöoletuksista, on sen selitysvaima ja käyttökelpoisuus kuitenkin korkea, koska toimijoiden maksuhalukkuus eri sijainneista on loppupeleissä riippuvaista saavutettavuudesta, joka on maankäytön tiheyden ja liikenteellisen etäisyyden yhteisvaikutus (Laakso, 2015). Yksinkertaisten maankäyttömallien etuna LUTI-malleihin verrattuna on pienempi kaupunkikohtaisen aineistojen ja parametrien tarve (Bertaud, 2015). Bertaudin tarkastelujen pohjalta yksinkertainen keskustaetäisyyteen perustuva laskeva eksponentiaalinen funktio selittää yllättävän hyvin asukastiheyksiä ja maan hintoja kaupungeissa, joissa on toimivat maamarkkinat. Tarkkojen aluekohtaisten asukastiheyksien ennustaminen on kuitenkin pelkän maankäyttömallin avulla haastavaa. Lisäksi funktiomuoto on kaupunkikohtainen ja muuttuu myös ajassa mm. tulotason muutoksen ja liikenneteknologian kehityksen myötä. (Bertaud, 2015) Tästä syystä eri kaupunkeihin pohjautuvien liikenteen ja maankäytön empiiristen tulosten suora soveltaminen yksittäisen kaupunkialueen analyysiin on myös haastavaa.

3.4.2 LUTI-mallien historia ja perusrakenne

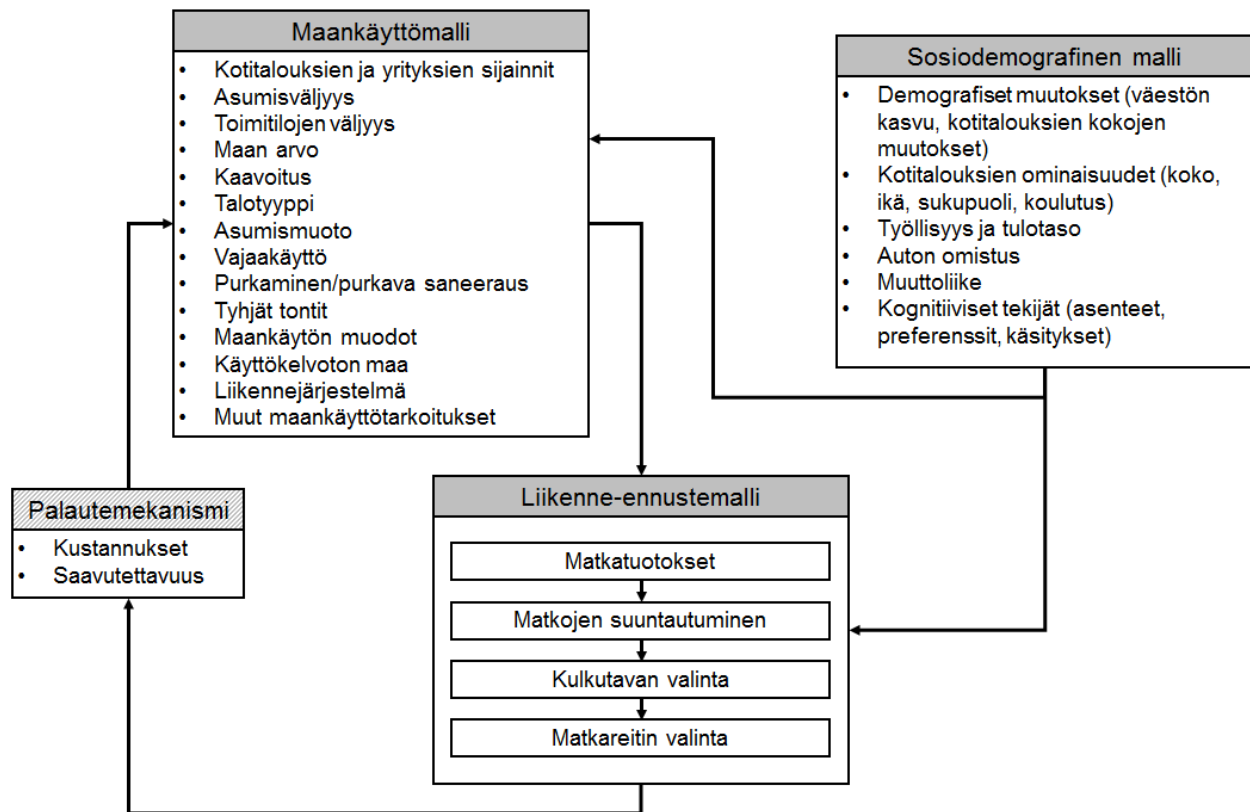
Maankäytön ja liikenteen välisten vuorovaikutusmallien ("spatial interaction models") kehittäminen alkoi sen sijaan varsinaisesti Lowry (1964) tekemästä työstä Pittsburghin kaupungissa. Hänen mallinsa juuret olivat sosiaalisessa fysiikassa ja perustui newtonilaiseen ajatukseen gravitaation kaltaisesta voimasta, joka vallitsee myös ihmisten välisissä vuorovaikutussuhteissa. Mallin teoreettinen pohja ei kuitenkaan ollut täysin uskottava, eikä se ota huomioon mm. työpaikkojen ja työntekijöiden suhteellisten sijaintien merkitystä (de la Barra 1989). 1970-luvulle tultaessa McFaddenin (1973) esittämä hyötyteoria (RUT) nousi hallitsevaksi voimaksi liikenteen ja maankäytön mallintamisessa, mikä mahdollisti entistä kompleksisempien valintadynamiikkojen mallintamisen kokonaisvaltaisesti sekä luotettavasti paikkaan sidottujen ominaisuuksien avulla. Myöhemmin myös odotetun hyödyn teoria (EUT) sekä muut hyötyteoriat ovat toimineet maankäytön ja liikenteen mallintamisen teoreettisina ankkureina. (Acheampong & Silva, 2015)

Liikenteen ja maankäytön välisen yhteyden tehokas, looginen ja robusti analysointi vaatii sen määrittelyä sekä konseptualisointia. Acheampong & Silvan (2015) mukaan maankäytön ja liikenteen välinen takaisinkytkentäkehä on oiva tapa konseptualisoida tämä dynaaminen yhteys. Maankäytön ja liikenteen takaisinkytkentäkehä on havainnollistettu kuviossa 3. Tätä lähestymistapaa on käyttänyt mm. Wegener (2004) ja se on tunnistettu myös suomalaisissa liikenteen ja maankäytön välistä yhteyttä tutkineissa selvityksissä sekä tutkimuksissa (Laakso et al., 2016a & 2016b; Haapamäki & Somerpalo, 2018). Lähestymistapa lähtee siitä oletuksesta, että alueen maankäyttö määrittää spatiaaliset aktiviteetin pisteet sekä alueet ja kulkutarpeet näiden välillä luovat liikenteen kysyntää. Saavutettavuus syntyy liikennejärjestelmän ja maankäytön muodostamasta kokonaisuudesta, jossa liikennejärjestelmä luo mahdollisia yhteysvälejä sekä vähentää tai lisää kitkaa näiden pisteiden välille syntyneille yhteysväleille. Muutokset saavutettavuudessa muuttavat kysyntää eri paikkojen välillä, minkä vuoksi vuoropuhelu maankäytön ja liikenteen välillä on molemmin suuntaista. On kuitenkin huomioitavaa, että saavutettavuus voi muuttua sekä maankäytön että liikennejärjestelmän muutosten kautta ja on viime kädessä mitattavissa mahdollisuuksina saavuttaa tiettyjä aktiviteetin paikkoja tietyllä todennäköisyydellä, ajalla tai muulla mitattavalla määreellä. (Acheampong & Silva, 2015)



Kuvio 3. Maankäytön ja liikenteen takaisinkytkentäkehä (laadittu soveltaen lähdettä Wegener & Fürst, 1999; Haapamäki ja Somerpalo, 2018)

Nykyiset LUTI-mallit rakentuvat liikenteen, maankäytön sekä sosioekonomisten ominaisuuksien mallintamiseen tarkoitetuista malleista. Täten LUTI-mallin luomiseksi tulee olla käytettävissä luotettava liikenne-ennustemalli, maankäytön ennustamisen malli sekä sosiodemografisia tekijöitä ennustava malli (Kuvio 4.). Nämä mallit voivat olla täysin integroituja toisiinsa tai ne voivat olla myös melko löyhästi toisiinsa sidottuina ja täten toimia täysin itsenäisinä malleina. Maankäytön ja liikenteen mallintamista on lähestytty myös kolmiportaisen ja kahden takaisinkytkennän mallin kautta (Su et al. 2014). Käytännössä LUTI-mallintamisen on todettu vaativan merkittäviä panostuksia aineistoihin ja empiiriseen mallinnukseen (Donnelly, 2018).



Kuvio 4: Yleiskuvaus tyypillisestä LUTI-mallista (laadittu soveltaen lähdettä Acheampong & Silva, 2015)

3.4.3 Maankäyttö LUTI-malleissa - Mistä kysyntä syntyy?

Useimmat olemassa olevat mallit, kuten MEPLAN tai UrbanSim, sisältävät hyvinkin tarkkoja maa- ja asuntomarkkinoita kuvaavia malleja. (Clay & Johnston, 2006; Acheampong & Silva, 2015) Perinteisissä LUTI-malleissa, kuten TRANUS, MEPLAN tai UrbanSim, asuinpaikan valinnan mallintaminen on perustunut eksogeenisille työpaikkaoletuksille. Tämä oletus on kuitenkin viimeaikaisen empiirisen tutkimuskirjallisuuden perusteella vanhentunut, sillä valinnat sekä työpaikan että asuinpaikan suhteen ja niihin liittyvät liikkumispäätökset tehdään yhteisesti eikä kutakin osa-aluetta erikseen optimoiden (mm. Boschmann, 2011). Tämä aiheuttaa sen, että liikenne-maankäyttö-mallien pitää pystyä tunnistamaan tämä dynamiikka ja ennustamaan entistä tarkemmin paitsi asuinpaikan valintaa, myös työpaikkojen muutoksia. Tämä on kuitenkin tunnistettu kirjallisuudessa erittäin haastavaksi tehtäväksi. (Acheampong & Silva, 2015).

Lisää tutkimusta tarvitaan kuitenkin myös muiden kuin liikennejärjestelmän vaikutuksista maankäyttöön, jotta voidaan päästä realistisempiin arvioihin kullekin kaupunkiseudulle ominaisista piirteistä maankäytön suhteen. Näitä voivat olla väestön demografiset ominaisuudet, kotitalouksien työssäkäyvien määrien muutokset ja asumisuraan liittyvät muutokset (Acheampong & Silva, 2015; Lee & Waddell, 2010), mutta myös kaupunkialueen maantieteeseen liittyvät tekijät, kuten vesialueiden rajoittamat alueet Helsingin tapaan.

3.4.4 LUTI-mallien liikenne-ennustemallit ja saavutettavuuden mitta

LUTI-malleissa liikennettä lähestytään liikennetaloustieteen viitekehyksestä, erityisesti liikenteen kysynnän ennustamisen näkökulmasta. Acheampong & Silvan (2015) mukaan tällöin mielenkiinnon kohteeksi nousevat erityisesti matkan lähtö- ja kohdepaikkojen, kulkumuodon valinnan sekä matkan aikataulutuksen analyysit. Nämä ovat perinteisessä LUTI-mallin viitekehyksessä kuvattu olevan alisteisia maankäytön rakenteelle sekä sosiodemografisille tekijöille. Estimointeja on perinteisesti tehty liikenne-ennustemalleilla, jotka voidaan jakaa neliporrasmalleihin sekä aktiviteettipohjaisiin malleihin.

Neliporrasmallia on ensimmäisen kerran sovellettu liikenteen ennustamiseen 1950-luvulla ja se edustaakin liikenne-ennustamisen perinteistä lähestymistapaa. Neliporrasmalli koostuu nimensä mukaisesti neljästä erillisestä vaiheesta, joissa tuotetaan matkamäärien ennuste, matkojen jakautuminen määränpää-kohde-pareihin, kulkumuodon valinta sekä reitinvalinta (Acheampong & Silva, 2015). Näiden ominaisuuksien ennustaminen tapahtuu liikenne-ennustealueiden tasolla, jotka on määritelty kullekin mallille ominaisella tavalla, esimerkiksi Helsingin seudun HELMET-mallissa näitä alueita on n. 1700 kappaletta. Neliporrasmallien haasteena on, että kukin matkatyyppi (työmatka, koulumatka, jne.) mallinnetaan erikseen, minkä vuoksi niillä ei päästä käsiksi matkoja tuottavien yksilöiden matkojen syihin ja niiden takana piileviin käyttäytymismalleihin yhtä tehokkaasti kuin aktiviteettipohjaisilla malleilla (Acheampong & Silva, 2015). Kuitenkin huolellisesti käytettyinä niiden avulla voidaan arvioida tehokkaasti ja luotettavasti saavutettavuuden muutoksia liikenne-ennustealueiden tasolla, mikä mahdollistaa niiden hyödyntämisen myös LUTI-mallien rakentamisessa.

Aktiviteettimallit lähestyvät liikenteen kysynnän ennustamista epäsuorasti ihmisten, eli liikennejärjestelmän käyttäjien, aktiviteeteista, tarpeesta liikkua eri aktiviteettien välillä sekä aktiviteettien välisten suhteiden sidonnaisuuksista. Tämän vuoksi aktiviteettimallit pyrkivät kuvaamaan liikennettä vahvemmin yksilöiden matkaketjujen ja yksilöiden monimutkaisten vuorovaikutusprosessien näkökulmasta. Mallit pyrkivätkin vastaamaan ensisijaisesti aktiviteettien syihin, joista sitten pystytään johtamaan varsinainen liikenteen kysyntä. Koska aktiviteettimallit keskittyvät liikenteen epäsuoran kysynnän syihin, ovat ne lähes järjestään yksilömalleja, eli niiden yksikkönä ovat liikenne-ennustealueiden sijaan yksittäiset käyttäjät ja heidän käyttäytyminen. Mallien haasteina on kuitenkin niiden vaikea estimointi, mihin liittyy erityisesti laajat vaatimukset käytettävissä olevasta tiedosta ja aineistoista sekä melko raskaat laskentaprosessit. (Acheampong & Silva, 2015)

Liikenne-ennustemallin avulla laskettua yleistettyä matkavastusta on yleisesti käytetty saavutettavuuden mitan määrittämisessä, mikä osaltaan on toiminut osana takaisinkytkentää maankäytön mallintamisessa (Acheampong & Silva, 2015). Logit-malleihin pohjautuvissa liikenne-ennustemalleissa, kuten Helsingin seudun HELMET-mallissa, yleistetyn matkavastuksen kuvaamiseen käytetään Logsum:ia, joka sisältää eri kohteiden saavuttamisesta saatavan hyödyn eri kulkumuodoilla matemaattisesti ilmaistuna (HSL, 2016a). Käytännössä sen avulla kuvataan miten hyvin eri kohdevaihtoehdot ovat saavutettavissa eri kulkutavoilla yksittäisestä lähtöpisteestä tai alueelta (HSL, 2016a).

3.4.5 LUTI-mallien tulevaisuuden suuntauksia

LUTI-mallien viimeaikaisena trendinä on ollut mallintamisen siirtyminen kohti aktiviteettipohjaisia malleja, joiden avulla voidaan vastata perinteisten aggregaattisten mallien, kuten MEPLAN, haasteisiin mallintamiseen liittyvien oletusten, virheiden ja käyttäytymisdynamiikkojen suhteen. Mutta kuten jo liikenne-ennustemallien suhteen todettiin, on mikrosimulaatiopohjaisten mallien tuottaminen haastavaa aineistojen saannin sekä mallin kalibroinnin näkökulmasta (Acheampong & Silva, 2015).

Clayn ja Valdezin (2017) tutkivat tarjousvuokrafunktion hyödyllisyyttä maankäyttö- ja liikennemallien viitekehyksessä. Myös he nostivat esille yksilöpohjaiset (agent-based) mallit ja niiden hyödyllisyyden. Kirjoittajien paperissa kuvataan yhtä esimerkkiä maankäytön ja liikenteen mallinnuksesta UrbanSim -tyyppisellä työkalulla. Clayn ja Valdezin mukaan yleisenä tavoitteena mallinnuksessa on tehostaminen ja yksinkertaistaminen, sillä edellisissä vaiheissa ns. LUTI-mallit ovat kaatuneet ylivoimaisiin tuotantokustannuksiin ja viestinnällisiin ongelmiin. Kirjoittajat nimittävät tavoitteellista mallinnustapaa SE³, tarkoittaen "simple", "Efficient", "Elegant" ja "Effective".

Huolimatta suuntauksista myös kohti yksinkertaisempia LUTI-malleja, kaikkien LUTI-mallien rakentaminen vaatii kuitenkin laajaa empiiristä tutkimusta, joiden varaan mallien parametrit rakennetaan. Vastaava problematiikka on esillä yleisesti kaupunkialueiden taloudellisten aktiviteettien mallintamisessa (Holmes & Holger, 2015). Ilman kattavaa ja luotettavaa tutkimusta, on mallien rakentaminen käytännössä mahdotonta. Lähtökohtana mallin rakentamiselle tulisi olla laaja tutkimus- ja kehittämisohjelma sekä yhteistyö akateemisen liikenne- ja kaupunkitaloustieteellisen tutkimuksen kanssa.

4 MALPAKKA 2.0 -projektin mallit ja arviot

4.1 MALPAKKA 2.0 -lähestymistapa

Tässä kappaleessa tarkemmin kuvattu MALPAKKA 2.0 -malli perustuu osiossa 3.2 esiteltyyn kaupunkitaloustieteen teoriapohjaan sekä osiossa 3.4 käsiteltyihin maankäyttömallien soveltamiseen sekä liikenne-maankäyttö-vuorovaikutusmalleihin. Lisäksi MALPAKKA 2.0 -mallien muodostamisessa on huomioitu osion 3.3 empiiristen tutkimusten havaintoja ja näkökulmia. Maankäyttömallien lähtökohtana on kaupunkialueen maankäyttömalliin perustuva vaikutusmekanismi, jonka mukaan saavutettavuus vaikuttaa maan markkina-arvoon, joka puolestaan vaikuttaa markkinaehtoisesti toteutuvaan maankäytön tehokkuuteen. Mitä kalliimpaa maa on, sitä tehokkaammin se pyritään rakentamaan. Yksittäisen tontin näkökulmasta saavutettavuutta voidaan pitää ulkopuolisena (eksogeenisena) tekijänä, jonka muutokset heijastuvat suoraan hintoihin ja niiden välityksellä markkinaehtoiseen tehokkuuteen. Saavutettavuuden lisäksi myös muut tekijät, kuten rakennettu ympäristö ja luonnonympäristö, alueen palvelut, sosioekonominen ympäristö sekä maaperä (rakennettavuuden kannalta), voivat vaikuttaa maan markkina-arvoon ja edelleen maankäytön tehokkuuteen.

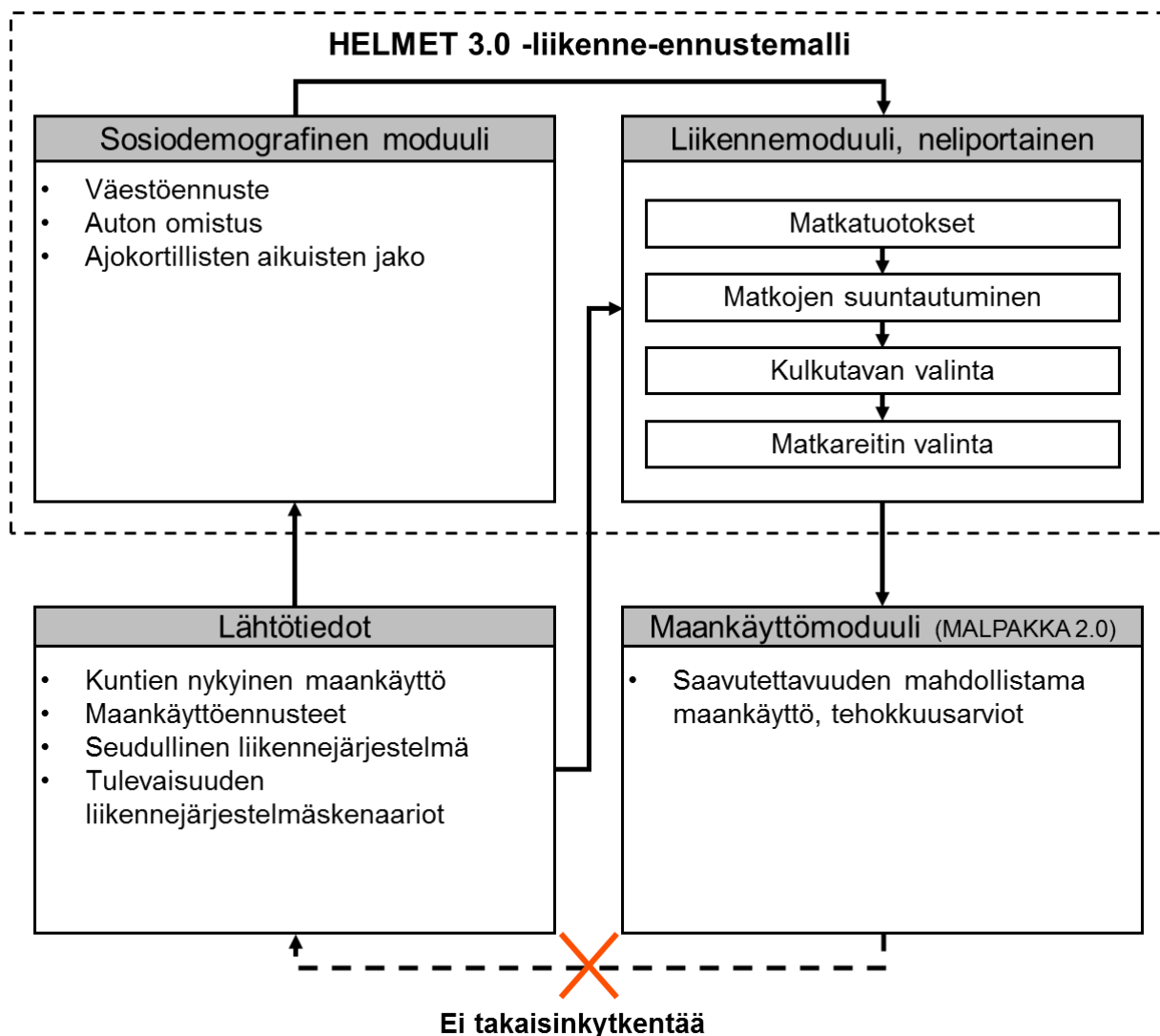
MALPAKKA 2.0 -mallissa keskitytään pelkästään saavutettavuuden vaikutukseen maankäytön kysyntään, koska se on yksi merkittävimmistä alueeseen sidotuista maankäytön kysyntään vaikuttavista tekijöistä, johon on mahdollista vaikuttaa liikennejärjestelmän ja maankäytön suunnittelulla. Saavutettavuuden kehitystä ja muutosta on myös mahdollista ennustaa tulevaisuuden skenaarioissa. Lisäksi saavutettavuus korreloi monien alueeseen sidottujen tekijöiden, kuten esimerkiksi palveluiden määrän suhteen, jolloin se epäsuorasti kuvaa myös joidenkin muiden maankäytön kysyntään vaikuttavien tekijöiden vaikutusta. MALPAKKA 2.0 -mallin päätavoitteena onkin tuottaa tietoa saavutettavuuden luomasta

maankäytön kysynnästä ja kysynnän mahdollistamasta maankäyttöpotentiaalista Helsingin seudun eri alueilla. Vastaavaa lähestymistapaa on sovellettu MALPAKKA-työkalun ensimmäiseen versioon (Laakso et al., 2016c; Laakso, 2015). MALPAKKA 2.0 -projektin tavoitteena on jatkokehittää menetelmää ja mallia tarkemmaksi, laajentaa mallia koko Helsingin seudulle sekä arvioida maankäyttöpotentiaalia myös tulevaisuuden liikennejärjestelmäskenaarioiden osalta.

Saavutettavuuden vaikutusta toteutuneeseen maankäytön kysyntään on tutkittu tässä projektissa sekä suhteessa asuntojen hintoihin koko Helsingin seudulla, että suhteessa maankäytön kaavoitettuun ja/tai toteutuneeseen rakennustehokkuuteen pääkaupunkiseudulla. MALPAKKA 2.0 -työn keskeinen kysymys on maankäytön tehokkuuden ja saavutettavuutta kuvaavien mallien estimointi ja niiden soveltaminen maankäyttöpotentiaalin arvioimiseen erityisesti tulevaisuuden liikennejärjestelmäskenaarioissa. Saavutettavuuden ja asuntojen hintojen välisen suhteen tarkasteluilla on kuitenkin saatu lisätietoa saavutettavuusindikaattoreiden selitysvoimasta. Asuntojen hinnat mukautuvat markkinoiden kysynnän ja tarjonnan mukaan, ja sisältävät siten markkinakysyntään pohjautuvaa tietoa saavutettavuuden arvostuksesta. Asuntojen hinta-aineisto kattaa lisäksi koko Helsingin seudun.

Maankäytön tehokkuuden tutkimisessa rajoitteena on SeutuRamavan tonttikohtaisen aineiston kattavuus vain pääkaupunkiseudulle. Lisäksi julkisen sektorin asettamat rajoitukset tai tarjoamat kannustimet vaikuttavat merkittävästi toteutuvaan rakennustehokkuuteen. Merkittävimmät rajoitukset perustuvat asemakaavaan, jossa määritellään tontin rakennustehokkuus sekä lukuisia muita rakentamiseen liittyviä reunaehtoja. Kaavoituksessa rakennustehokkuutta rajoitetaan mm. luontoarvojen sekä rakennus- ja kulttuurihistoriallisten arvojen seurauksena, ympäristöhäiriöiden takia ja myös esimerkiksi pysäköintipaikkannormien johdosta. Tämä aiheuttaa haasteita maankäytön kysynnän mukaisella rakennustehokkuudella toteutuneiden kohteiden tunnistamiseen.

MALPAKKA 2.0 -mallin viitekehystä, jossa maankäytön tehokkuutta arvioidaan saavutettavuuden pohjalta, kuvaa kuvio 5. MALPAKKA 2.0 -työssä keskiössä on ”Maankäyttömoduuli”, jossa mallinnetaan saavutettavuuden suhdetta maankäytön tehokkuuteen, ja tehdään arvioita maankäytön potentiaalisesta tehokkuudesta eri alueilla. Saavutettavuusaineisto pohjautuu HELMET 3.0 -liikenne-ennustemalliin, jossa keskiössä on neliportainen ”Liikennemoduuli” (varsinainen liikennemalli, lisätietoja neliportaisesta liikennemallista löytyy osiosta 3.4.4). Liikennemoduuli hyödyntää ”Sosiodemografisen moduulin” tietoja mm. alueellisista väestöennusteista, autonomistusasteista ja ajokortillisista aikuisista. Syötteenä liikenne-ennustemalliin tulee myös tiedot nykyisestä ja tulevasta maankäytöstä sekä seudullisesta liikennejärjestelmästä. Huomioitava seikka MALPAKKA 2.0 -mallissa on takaisinkytkennän puute ”Maankäyttömoduulista” ”Lähtötietoihin” eli MALPAKKA 2.0 -mallissa maankäyttöä, liikennettä ja saavutettavuutta ei iteroida LUTI-mallien tavoin.



Kuvio 5: MALPAKKA 2.0 -mallin kuvaus kaaviona

4.2 Lähtöaineistojen kuvaus

MALPAKKA 2.0 -projektissa käytetyt saavutettavuusaineistot on tuotettu Helsingin seudun HELMET 3.0 -liikenne-ennustemallilla, hinta-aineistot pohjautuvat Kiinteistövälitysalan keskusliiton asuntojen hinta-aineistoon ja maankäyttöaineistot SeutuCD:n ja YKR:n maankäyttöaineistoihin. Seuraavissa osioissa on kuvattu tarkemmin käytetyt eri lähtöaineistot.

4.2.1 Saavutettavuusaineisto

MALPAKKA 2.0 -projektin mallinnuksissa ja analyyseissä on käytetty pohjana HELMET 3.0 -liikennemallin seudullisia saavutettavuustietoja, jotka kattavat Helsingin seudun kaikki 14 kuntaa. Saavutettavuustiedot ovat saatavilla HELMET 3.0 -liikennemallin aluejaottelulla, joka sisältää yhteensä 1753 sijoittelualuetta. Alueiden koot ovat pienempiä tiheimmin rakennetuilla alueilla ja laajempia harvaan rakennetuilla alueilla. Projektissa on hyödynnetty MAL 2019 -työn yhteydessä tehtyjä mallinnuksia nykytilanteessa vuonna 2016 ja vuoden 2030 tilanteessa eri suunnitelmaversioissa. MALPAKKA 2.0 -hankkeeseen sovelletut vuoden 2030 saavutettavuustiedot pohjautuvat siten MAL 2019 -työn skenaarioiden liikenneverkkoihin ja maankäyttöennusteisiin. Työssä on sovellettu seuraavassa taulukossa

esitettyjä MAL 2019 -työn skenaarioita. Lisätietoa MAL 2019 -työstä ja skenaarioista löytyy MAL 2019 -suunnitelmaraportilta sekä MAL 2019 -vaikutustenarviointiselostuksesta. MALPAKKA 2.0 -projektissa käytetty 2030 VE3-skenaario on MAL 2019 -työn luonnosvaiheen versio, joten se ei sisällä Pisara-rataa ja Espoon kaupunkirataa ulottuu Espoon keskukseen eikä Kauklahteen asti.

Skenaario	Lyhyt kuvaus	Sisältö
nykytila	vuoden 2016 lopun tilanne	• vuoden 2016 lopun liikenneverkko ja maankäyttö • Huom! ei sisällä Länsimetroa
2030 VE0	sisältää rakenteilla olevat ja jo päätetyt liikennehankkeet	• Pasila-Riihimäki 1. vaihe, Pasilan läntinen lisäraide ja Helsingin ratapihan toimivuuden parantaminen • Länsimetro Kivenlahteen • Raide-Jokeri pikaraitiotie • Laajasalon pikaraitiotie • Kantakaupungin raitioverkon laajennukset • Uudet bussirunkolinjat ja nykyisten jatkeet (500, 510, 530, 560 Matinkylään, 570) • Klaukkalan ohikulkutie • HSL-lippuvyöhykeuudistus
2030 VE3	MAL 2019 - suunnitelmaluonnosversio	2030 VE0 -skenaariion liikennehankkeet + seuraavat: • Metron automatisointi ja kääntöraide Matinkylässä • Espoon kaupunkirata Leppävaara-Espoo • Pasila - Riihimäki kapasiteetin parantaminen 2. vaihe • Lähijunaliikenteen seisontavarikot • Pikaraitiotie Mellunmäki-Tikkurila-Aviapolis-Lentoasema • Vihdintien pikaraitiotie Pohjois-Haagaan • Viikin-Malmin pikaraitiotie • Tuusulanväylän pikaraitiotie Käskynhaltijantielle • Pikaraitiotie Matinkylä-Suurpelto-Kera-Leppävaara • Keski-Uudenmaan logistiikan poikittaisyhteydet (Järvenpää-Kt45) • Kehä III välillä Askisto-Pakkala • VT4 Lahdenväylä (lisäkaistat Kehä III-Koivukylänväylä-Kulomäentie) • Malmin lentokentän alueen yhteydet (Tattarisilta) • Kehä I Maarinsolmu (ja Hagalundin tunneli) • Tienkäyttömaksut ja joukkoliikenteen lippuhintojen alennus

Taulukko 1. MAL 2019 -skenaarioihin sisältyvät liikennehankkeet

MALPAKKA 2.0 -projektin tavoitteena on ollut soveltaa työn analyyseissä HELMET 3.0 - liikenne-ennustemallin hyötyfunktioita, joita on hyödynnetty vähemmän erilaisissa saavutettavuusanalyyseissä. HELMET 3.0 -mallissa saavutettavuuden laskennallista hyötyä kuvataan hyötyfunktioista koostuvilla logsumeilla, jotka kuvaavat eri alueiden saavutettavuudesta saatavaa potentiaalista hyötyä lähtöalueen näkökulmasta.

Saavutettavuuden hyötyä kuvaava logsum voidaan laskea lähtöalueelta suhteessa kaikille Helsingin seudun alueille (yleissaavutettavuus) tai yksittäisille alueille. Logsumin hyötyfunktioit kuvataan HELMET 3.0 -mallissa matkaryhmittäin (erilaiset hyötyfunktioit esim. työmatkoille ja ostosmatkoille). Matkaryhmäkohtaiseen logsumiin voidaan sisällyttää

saavutettavuus kaikilla eri kulkumuodoilla, tai vaihtoehtoisesti matkaryhmäkohtaisia logsumeja voidaan muodostaa kulkumuodoittain.

Logsumin laskennan taustalla olevissa hyötyfunktioissa on huomioitu monipuolisesti alueiden saavutettavuudesta saatavaan hyötyyn vaikuttavat tekijät. Eri alueiden saavutettavuudesta saatavaan potentiaaliseen hyötyyn vaikuttaa liikkumiseen liittyvä vaiva ja kustannukset kuten mm. matka-ajat eri kulkumuodoilla ja matkoihin liittyvät rahalliset kustannukset kuten esimerkiksi joukkoliikennelippujen hinnat tai henkilöauton pysäköintikustannukset. Lisäksi kaikkien alueiden saavutettavuuden, eli yleissaavutettavuuden logsumin, laskennassa on huomioitu kohdealueiden houkuttelevuus matkakohteena. Kohdealueiden houkuttelevuuteen vaikuttaa kohdealueella sijaitsevien toimintojen kuten työpaikkojen, palveluiden ja muiden asukkaiden määrä. Kohdealueiden saavutettavuudesta saatava potentiaalinen hyöty on siten suurempi, jos kohdealueella on enemmän esimerkiksi työpaikkoja ja palveluita.

Logsumin soveltaminen saavutettavuusindikaattorina tarjoaa monia etuja suhteessa eri kulkumuotojen matka-ajoista johdettuihin indikaattoreihin erityisesti yleissaavutettavuuden suhteen. Logsumin etuna on liikennemallista saatavan aineiston suora käyttökelpoisuus jatkomallinnuksiin ja -analyysihin: kultakin alueelta saadaan suoraan matkaryhmittäin yksi lukuarvo, joka kuvaa saavutettavuudesta saatavaa hyötyä kaikille alueille. Lukuarvon laskennassa on hyödynnetty HELMET 3.0 -liikennemallin hyötyfunktioita, joten eri matka-aikaetäisyyksillä olevia kohteita ei tarvitse erikseen painottaa, vaan logsumin hyötyfunktioit huomioivat sen, että esim. matka-ajaltaan lähempänä olevien kohteiden ja toimintojen hyötypotentiaali on suurempi. Logsum saadaan myös ulos liikennemallista suhteellisen pienellä työllä, ja se on saatavilla kaikista HELMET 3.0 -liikennemallilla tehdyistä seudullisista liikennemallinnuksista. Koska logsumin ottaminen liikennemallista on suoraviivaista, eikä se vaadi mittavaa manuaalista jatkokäsittelyä, logsumia hyödyntäen onkin mahdollista tehdä jatkotarkasteluja kohtuullisella työmäärällä useista eri liikenneverkkoskenaarioista.

Logsumeihin liittyy myös rajoitteita, jotka on hyvä huomioida tulkittaessa MALPAKKA 2.0 -työn mallinnusten ja analyysien tuloksia. Logsumien laskennassa ei huomioida Helsingin seudun ulkopuolisten alueiden saavuttamisesta saatavaa hyötyä. Tämä saattaa vaikuttaa erityisesti lähellä Helsingin seudun reunaa olevien alueiden saamiin yleissaavutettavuuden logsumien arvoihin aliarvioivasti. Koska logsumit pohjautuvat HELMET 3.0 -hyötyfunktioihin, koskee niitä myös kaikki HELMET 3.0 -liikennemallia yleisesti koskevat rajoitteet ja mallin parametreihin liittyvät epävarmuustekijät. HELMET-liikennemallia on käsitelty tarkemmin mm. HSL:n raporteissa ”Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän kysyntämallit 2014” ja ”Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2014”. Logsumien tarkempi kuvaus ja funktiot löytyvät liitteestä A - ”Saavutettavuusindikaattoreiden (logsum) funktiot ja tarkempi kuvaus”.

Hyötyfunktioihin liittyvä yksittäinen merkittävä rajoitus koskee aluekohtaisen autonomistustasteen suurta vaikutusta henkilöauto-logsumien arvoihin, jotka kuvaavat lähtöalueelta eri alueiden saavuttamisesta saatavaa hyötyä henkilöautolla. Tämä rajoittaa niiden saavutettavuusindikaattoreiden soveltamista, joiden arvoihin henkilöautosaavutettavuudella on suuri vaikutus. Asiaa on käsitelty tarkemmin osiossa 4.3.

4.2.2 Hinta-aineisto

MALPAKKA 2.0 -projektin asuntojen hintamallinnukset pohjautuvat Kiinteistövälittäjien keskusliiton (KVKL) asuntohinta-aineistoon, joka perustuu suurimpien asuntovälittäjien välittämiin asuntokauppoihin. MALPAKKA 2.0 -projektiin käytettiin tietoja Helsingin seudun asuntokaupoista vuosina 2014–2016. Kauppahinta-aineisto sisältää sekä kerrostalojen, rivitalojen että omakotitalojen kauppvoja. Kauppahinnan lisäksi aineisto sisältää tietoja

asuntojen ominaisuuksista ja sijainnista. Vuosien 2014–2016 tiedot sisältävät tiedot lähes 40 000 asuntokaupasta Helsingin seudulla, mitä voidaan pitää kattavana aineistona suhteessa kaikkiin tehtyihin kaappoihin.

4.2.3 Maankäyttöaineisto

MALPAKKA 2.0 -projektin pääasiallinen maankäyttötietojen lähde on SeutuRamava 2017, josta on hyödynnetty tonttikohtaisia tietoja pääkaupunkiseudulta. MALPAKKA 2.0 -mallin arvioiden pohjalta tehdyissä jatkoanalyysseissä on hyödynnetty lisäksi SeutuCD:n 2018 ja YKR:n 2017 tietoja.

SeutuRamava 2017 sisältää tonttikohtaiset tiedot pääkaupunkiseudulta lähes 74 000 tontilta vuoden 2017 lopun tilanteen mukaisesti. MALPAKKA 2.0 -työssä on hyödynnetty tietoja tonttien pinta-aloista, kaavamerkinnoista, kaavojen mukaisista rakennusoikeuksista sekä lisärakennusoikeuksista, käyttönotetusta kerrosalasta, tonttien kaavojen vahvistamis- ja lainvoimaistumisvuosista sekä tietoja tonttien sijainnista. SeutuRamavan tietojen lisäksi MALPAKKA 2.0 -mallin pohjalta tehtyjen arvioiden jatkoanalyysseissä on hyödynnetty SeutuCD:n 2018 tietoja pääkaupunkiseudulta kuntien maa-alasta sekä rakennusten sijainneista ja kerrosalasta. SeutuRamavan ja SeutuCD:n tiedot eivät ole muuttujakohtaisesti täydellisen kattavia, mutta tietojen luotettavuustasoa voidaan pitää hyvänä MALPAKKA 2.0 -projektin tarpeiden näkökulmasta. SeutuRamavan ja SeutuCD:n tietojen tarkemmat kuvaukset ja rajaukset löytyvät HSY:n julkaisuista "SeutuCD'17 Ohjekirja" ja "SeutuCD'17 Tietuekuvaukset".

MALPAKKA 2.0 -mallin pohjalta tehtyjen arvioiden jatkoanalyysseissä KUUMA-kuntien alueella on hyödynnetty YKR:n 2017 250m * 250m ruutukohtaisia tietoja maa-alasta sekä rakennusten kerrosalasta.

4.3 Saavutettavuusmuuttujat

MALPAKKA 2.0 -mallinnukset pohjautuvat osiossa 4.2 esiteltyihin HELMET 3.0 -liikenne-ennustemallista saataviin logsumeihin, jotka kuvaavat saavutettavuudesta saatavaa potentiaalista hyötyä. Logsumien tarkempi kuvaus ja funktiot löytyvät liitteestä A - "Saavutettavuusindikaattoreiden (logsum) funktiot ja tunnuslukuja".

Tätä työtä varten hyödynnettiin kahdenlaisia logsumeja, jotka on tuotettu kaikille osiossa 4.2. kuvatuille seudullisille liikennejärjestelmäskenaarioille (2016, 2030 VE0 ja 2030 VE3):

1. **Yleissaavutettavuuden logsum:** logsum HELMET 3.0:n suuntautumismallista, joka kuvaa lähtöalueen näkökulmasta kaikkien Helsingin seudun alueiden saavutettavuudesta saatavaa potentiaalista hyötyä
2. **Keskustasaavutettavuuden logsum:** logsum HELMET 3.0:n kulkutapavalintamallista alueelle 101, mikä kuvaa lähtöalueen näkökulmasta seudun pääkeskuksen saavutettavuudesta saatavaa potentiaalista hyötyä

Sekä yleissaavutettavuuden logsum että keskustasaavutettavuuden logsum saadaan HELMET 3.0 -mallista erikseen matkaryhmittäin, jotka ovat:

- MR1 = kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat
- MR3 = kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat
- MR4 = kotiperäiset muut matkat

Matkaryhmä MR2 = kotiperäiset koulumatkat (7–17 vuotiaat) ei ole mukana tarkastelussa, koska niiden hyötyfunktio estimoidaan eri tavalla kuin muiden matkaryhmien hyötyfunktio. Muut kuin kotiperäiset matkat, kuten työpaikkojen väliset asiointimatkat, eivät ole myöskään

mukana tarkasteluissa, koska niiden kohdistaminen ja yhdenmukaistaminen kotiperäisten matkojen kanssa ei ole suoraviivaista. Tarkastelussa mukana olevien matkaryhmien kotiperäiset matkat kattavat kuitenkin suurimman osan seudun matkatuotoksesta, ja ne sisältävien logsumien arvioidaan toimivan hyvin indikaattoreina yleiselle saavutettavuudelle, mikä palvelee MALPAKKA 2.0 -projektin analyysien tarpeita.

Matkaryhmäkohtaiset yleissaavutettavuuden sekä keskustasaavutettavuuden logsumit sisältävät saavutettavuuden hyötypotentiaalin kaikilla kulkumuodoilla (henkilöauto, joukkoliikenne, pyöräily). Kaikki kulkumuodot sisältävien logsumien lisäksi, MALPAKKA 2.0 -työtä varten muodostettiin myös matkaryhmäkohtaisesti henkilöautoyleis- ja keskustasaavutettavuuden logsumit sekä kestävät kulkumuodot (joukkoliikenne, pyöräily) sisältävät yleis- ja keskustasaavutettavuuden logsumit.

Matkaryhmäkohtaisista yleissaavutettavuuden sekä keskustasaavutettavuuden logsumeista muodostettiin lisäksi kaikki matkaryhmät yhdistäviä keskiarvoja, jotka kuvaavat saavutettavuudesta saatavaa hyötyä kaikille matkaryhmille. Keskiarvojen laskennassa eri matkaryhmien logsumeja painotettiin matkaryhmäkohtaisilla matkatuotoksilla (koko arkivuorokauden matkatuotos vuonna 2016, keskiarvot kaikista alueista). Kaikkien matkaryhmien keskiarvoissa kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat (MR1) ja kotiperäiset muut matkat (MR4) saivat kumpikin vajaan 40% painon ja kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat (MR3) reilun 20% painon. Keskiarvot yli matkaryhmien muodostettiin kaikille edellä luetelluille logsumeille.

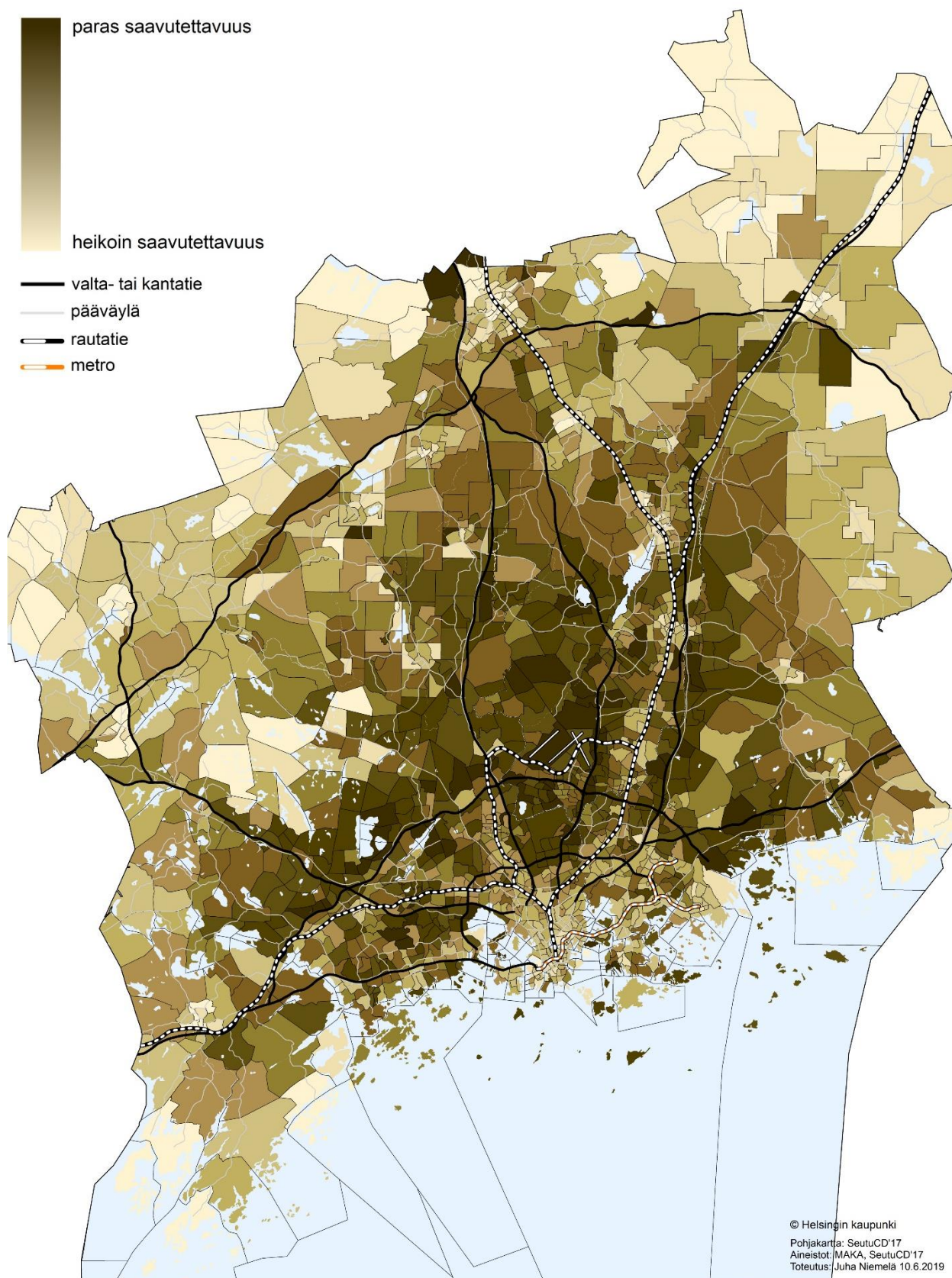
Projektin käytössä olleet saavutettavuusindikaattorit on listattu taulukossa 2. Kaikki taulukossa listatut logsumit muodostettiin kaikille tarkastelluille seudullisille MAL 2019 -työn liikennejärjestelmäskenaarioille (2016, 2030 VE0, 2030 VE3).

Saavutettavuus-indikaattori	Matkaryhmät	Saavutettavuuden kohdealue	Kulkumuodot
logsum_MR1	MR1	kaikille alueille	henkilöauto, joukkoliikenne, pyöräily
logsum_MR3	MR3		
logsum_MR4	MR4		
logsum_keskiarvo	MR1, MR3, MR4		
logsum_kest_MR1	MR1	kaikille alueille	joukkoliikenne, pyöräily
logsum_kest_MR3	MR3		
logsum_kest_MR4	MR4		
logsum_kest_keskiarvo	MR1, MR3, MR4		
logsum_auto_MR1	MR1	kaikille alueille	henkilöauto
logsum_auto_MR3	MR3		
logsum_auto_MR4	MR4		
logsum_auto_keskiarvo	MR1, MR3, MR4		
logsum(101)_MR1	MR1	alueelle 101 (Helsingin keskusta)	henkilöauto, joukkoliikenne, pyöräily
logsum(101)_MR3	MR3		
logsum(101)_MR4	MR4		
logsum(101)_keskiarvo	MR1, MR3, MR4		
logsum(101)_kest_MR1	MR1	alueelle 101 (Helsingin keskusta)	joukkoliikenne, pyöräily
logsum(101)_kest_MR3	MR3		
logsum(101)_kest_MR4	MR4		
logsum(101)_kest_keskiarvo	MR1, MR3, MR4		
logsum(101)_auto_MR1	MR1	alueelle 101 (Helsingin keskusta)	henkilöauto
logsum(101)_auto_MR3	MR3		
logsum(101)_auto_MR4	MR4		
logsum(101)_auto_keskiarvo	MR1, MR3, MR4		

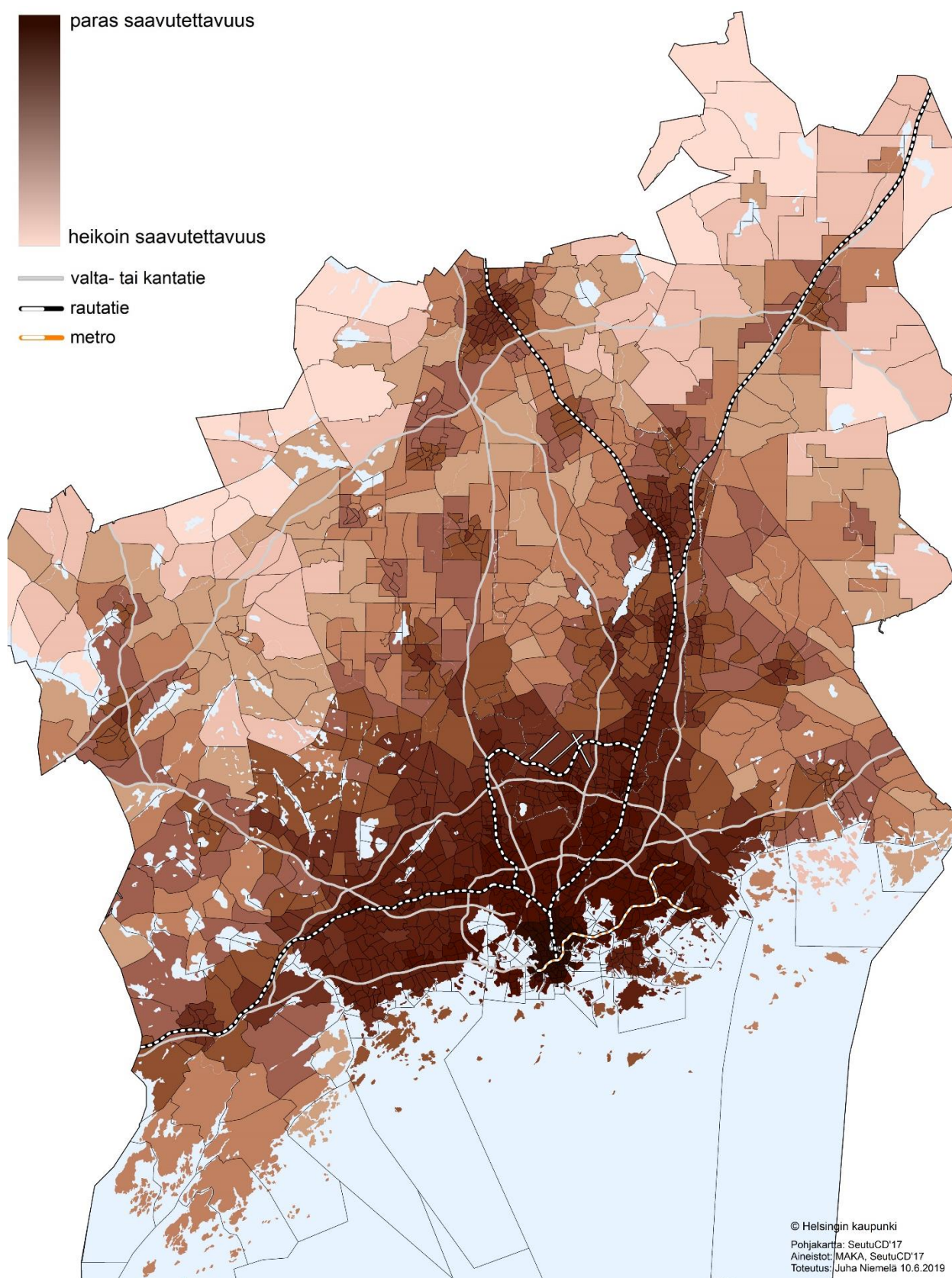
Taulukko 2. Logsum-saavutettavuusindikaattorit.

Saavutettavuusindikaattoreiden analyysissä havaittiin, että henkilöautosaavutettavuuden logsumeihin liittyy haasteita, jotka vaikeuttavat kyseisten indikaattorien hyödyntämistä MALPAKKA 2.0 -projektin kaltaisiin analyysihin. Samat haasteet näkyvät myös kaikki kulkumuodot sisältävässä yleissaavutettavuuden logsumissa, joiden arvoihin henkilöautoyleissaavutettavuudella on huomattava vaikutus. Henkilöautosaavutettavuuden arvoin vaikuttaa merkittävästi kunkin liikennemallin sijoittelualueen keskimääräinen autonomistusaste. Karkeasti sanottuna, erityisesti henkilöautoyleissaavutettavuus saa korkeimpia arvoja niillä alueilla, joilla on korkein autonomistusaste. Autonomistusaste vaikuttaa erityisesti henkilöautoyleissaavutettavuuden logsumin arvoon niin voimakkaasti, että henkilöautoliikenteen matka-aikojen ja saavutettavien kohteiden merkitys vaikuttaisi jäävän toissijaiseksi. Vaikka indikaattorit tuottavat HELMET 3.0 -malliin oikeanlaisia autoliikenteen kysyntä- ja suorite-ennusteita, kyseiset indikaattorit näyttäisivät kuitenkin toimivan epäjohdonmukaisesti kuvaamaan henkilöautosaavutettavuuden yleistä potentiaalia.

Henkilöautoyleissaavutettavuuden ja kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuuden arvot (logsum, kaikkien matkaryhmien keskiarvo) vuoden 2016 tilanteessa on esitetty kartoissa 1 ja 2.



Kartta 1. Henkilöautoyleissaavutettavuus (logsum_auto_keskiarvo) 2016 sijoittelualueittain



Kartta 2. Kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuus (logsum_kest_keskiarvo) 2016
sijoittelualueittain

4.4 MALPAKKA 2.0 -hintamallit

MALPAKKA 2.0 -projektissa on estimoitu suuri määrä empiirisiä malleja, joissa asuntojen kauppahintoja selitetään nykytilan (vuoden 2016) saavutettavuudella sekä asuntojen ominaisuuksilla. Aineistona on Kiinteistövälittäjien keskusliiton (KVKL) asuntohinta-aineisto Helsingin seudulta vuosilta 2014–2016. Kauppahinnat sisältävät tiedot asuntojen sijainneista, joiden perusteella niihin on liitetty HELMET-sijoittelualueitasolle laskettuja saavutettavuusindikaattoreita. Saavutettavuusindikaattoreina käytetään käytettävissä olevia pääkeskussaavutettavuuden ja yleissaavutettavuuden indikaattoreita (kuvattu tarkemmin osiossa 4.3).

Hintamallit ovat ns. hedonisia hintamalleja, joissa asunnon kokonaishinnan ajatellaan koostuvan asunnon ja naapuruston eri ominaisuuksista. Hintamalleissa asuntojen kauppahintoja on selitetty (kontrolloitu) saavutettavuuden lisäksi asuntojen ominaisuusmuuttujilla (asunnon pinta-ala, ikä, talotyyppi, kunto, saunan ja parvekkeen olemassaolo, asunnon sijaintikerros, rakennuksen kerrosten lukumäärä). Lisäksi hintamalleissa on myös kontrolloitu yleinen asuntojen hintakehitys vuosi- ja vuosineljännesmuuttujilla. Kaikissa malleissa sekä selitettävänä muuttujana olevat kauppahinnat että saavutettavuutta kuvaavat logsumit on logaritmoitu, jolloin logsum - muuttujan kerroin kuvaa saavutettavuuden muutosten suhdetta hintojen prosentuaaliseen muutokseen. Logsumien tapauksessa kertoimesta ei voi tehdä kuitenkaan perinteistä joustotulkintaa, koska logsumien arvoilla suhteessa nollatasoon ei ole tulkintaa. Hintamallit kuitenkin kuvaavat logsumin ja hintojen välistä yhteyttä. Logaritminen funktiomuoto on yleisesti käytetty oletus vastaavanlaisissa empiirisissä malleissa.

Hintamalleja on käytetty maankäyttömallien tukena maankäytön kysyntää selittävien saavutettavuusindikaattoreiden tunnistamisessa. Hinta-aineiston etuna suhteessa projektin maankäyttöaineistoon on sen kattavuus koko Helsingin seudulle. Lisäksi asuntojen kauppahinnat määräytyvät markkinaehtoisesti asuntojen kysynnän mukaan, jolloin ne kuvastavat todellisia arvostuksia. Hinta-aineiston rajoituksena on kuitenkin niiden kattavuus vain asuntojen kauppahintoihin. Toimitilojen kauppahinnoista tai vuokrista ei ollut käytettävissä vastaavaa kattavaa aineistoa.

Hintamalleja estimoitiin pääkaupunkiseudun hinta-aineistoon eri saavutettavuusindikaattoreilla ja niiden kombinaatiolla. Eri saavutettavuusmuuttujat sisältävien mallien selitysasteet ja saavutettavuusmuuttujien kertoimet on esitetty taulukossa 3. Kaupunkitaloustieteen teorioiden mukaan työmatkasaavutettavuus on määräävä kaupunkialueen maankäytön markkinoita muovaava tekijä. Pääkaupunkiseudun hinta-aineistoilla estimoitujen mallien selitysasteet olivat kuitenkin samaa suuruusluokkaa, käytettiinpä selittävänä tekijänä työmatkasaavutettavuuden (matkaryhmä MR1) eri indikaattoreita tai kaikkien matkaryhmien (MR1, MR3 ja MR4) keskiarvon sisältäviä saavutettavuusindikaattoreita (selitysaste kertoo, kuinka suuren osan selitettävän muuttujan vaihtelusta voidaan selittää kontrollimuuttujien avulla).

Kulkumuotojen osalta saavutettavuusindikaattoreissa eroteltiin henkilöautosaavutettavuus ja kestävien kulkumuotojen saavutettavuus, koska niiden hyödyt määräytyvät osittain eri tekijöiden johdosta. Lisäksi henkilöautoyleissaavutettavuus- ja kaikki kulkumuodot sisältävään yleissaavutettavuusindikaattoriin liittyy haasteita autonomistusasteesta johtuen (käsitelty tarkemmin osiossa 4.3). Kestävien kulkumuotojen saavutettavuus yksinään vaikuttaa selittävän asuntojen hintoja hyvin. Henkilöautoyleissaavutettavuuden selitysvaikutus yksinään on sen sijaan heikompi, eikä sen lisääminen malleihin kestävien kulkumuotojen lisäksi juurikaan paranna mallien selitysvaikutusta. Henkilöautokeskustasaavutettavuus sen sijaan selittää hintoja hyvin. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuusindikaattoreista sekä yleis- että keskustasaavutettavuus selittävät asuntojen hintoja käytännössä yhtä hyvin. Molempien muuttujien lisääminen samaan malliin ei juuri lisää selitysvaikutusta, mikä johtunee muuttujien vahvasta korrelaatiosta.

Saavutettavuusindikaattori (vuosi 2016)	Muuttujan kerroin	Selitysaste (adjusted R ²)
In_logsum_kest_keskiarvo	3,2***	0,768
In_logsum_auto_keskiarvo	-0,9**	0,690
In_logsum_kest_keskiarvo & In_logsum_auto_keskiarvo	3,2*** 0,1	0,768
In_logsum_kest_MR1	4,4***	0,767
In_logsum_auto_MR1	1,2**	0,689
In_logsum(101)_kest_keskiarvo	4,4***	0,773
In_logsum(101)_auto_keskiarvo	6,4***	0,804
In_logsum(101)_kest_keskiarvo & In_logsum(101)_auto_keskiarvo	2,6*** 4,9***	0,827
In_logsum(101)_kest_MR1	5,3***	0,784
In_logsum(101)_auto_MR1	5,6***	0,793
In_logsum_kest_keskiarvo & In_logsum(101)_kest_keskiarvo	1,2* 3,0***	0,775

Taulukko 3. Pääkaupunkiseudun hinta-aineistoon estimoituja hintamalleja (asuntojen ominaisuudet ja aika kontrolloitu), merkitsevyystaso *** =99,9%, **=99,0%, *=95%

Koko seudun hinta-aineistoon estimoiduissa hintamalleissa selitysasteet ovat samaa luokkaa kuin pelkän pääkaupunkiseudun hinta-aineistoon estimoiduissa malleissa. Tämä ei ole yllättävää, koska koko Helsingin seutua koskevissa tarkasteluissa pääkaupunkiseudun asuntokaupoilla on suuri painoarvo. Pelkästään KUUMA-kuntiin estimoiduissa hinta-aineistoissa selitysasteet ovat sen sijaan jopa korkeampia, ja kestävien kulkumuotojen ja henkilöauton välillä on vähemmän eroja selitysasteissa. Kestävien kulkumuotojen selitysasteet ovat kuitenkin hieman korkeammat.

Yhteenvedon voidaan todeta, että käytössä olevista saavutettavuusindikaattoreista erityisesti sekä kestävien kulkumuotojen yleis- että keskustasaavutettavuus, mutta myös henkilöautokeskustasaavutettavuus vaikuttaisivat selittävän asuntojen hintoja hyvin sekä pääkaupunkiseudulla että koko Helsingin seudulla. Projektin käytössä ei ollut toimitilojen osalta vastaavaa hinta-aineistoa. Tästä syystä saavutettavuusindikaattoreiden selitysvoimaa on voitu tutkia ainoastaan suhteessa asuntojen hintoihin.

Hintamallien tulosten tulkinnassa pitää kuitenkin noudattaa varovaisuutta. Tutkitut saavutettavuuden ja hintojen väliset korrelaatiot perustuvat poikkileikkausaineistoon, eikä tuloksista voida päätellä todellista kausaliteettia. Malleista puuttuu todennäköisesti myös hintoihin vaikuttavia tekijöitä, mikä aiheuttaa malleihin endogeenisuusharhaa. Lisäksi on huomioitava, että tulokset pohjautuvat HELMET 3.0 -liikenne-ennustemallin logsumeihin. HELMET:n muilla ohjelmaversioilla tuotetut logsumit pohjautuvat hieman erilaisiin malliparametreihin, ja niillä tuotettujen logsumien arvot todennäköisesti eroavat HELMET 3.0 -mallilla tuotetuista.

Verrattuna aikaisemman MALPAKKA-projektin hintamallien tuloksiin (Laakso, 2015), selitettäessä hintoja logsumeilla, yleissaavutettavuuden rooli hintojen selittämisessä näyttäytyy suurempana, kuin käytettäessä matka-vastuksista laskettua keskustavastusta ja yleisvastusta. Tämä saattaa johtua siitä, että logsumit muodostetaan hyötyfunktioiden avulla, jotka yhteismitallistavat eri tekijöiden vaikutukset saavutettavuuteen. Lisäksi logsumeihin pohjautuva yleissaavutettavuus, erityisesti kestävien kulkumuotojen osalta, huomioi hyvin myös pääkeskuksen merkityksen, ja toimii siksi hyvin selittäväksi indikaattoriksi.

Liitteessä C - ”Hintamallien funktio ja esimerkkimalli” on kuvattu tarkemmin hintamallien spesifikaatio sekä esimerkkinä yksittäisen mallin tuloste. Kattava listaus malleista on saatavilla pyydettyäessä.

4.5 MALPAKKA 2.0 -maankäyttömallit

MALPAKKA 2.0 -projektin pääfokus ovat empiiriset maankäyttömallit, joissa toteutunutta tai toteutuvaksi arvioitua kaavoitettujen tonttien tonttitehokkuutta selitetään nykytilan (vuoden 2016) saavutettavuudella sekä kaavoituksen vaikutusta kuvaavilla muuttujilla. Kaikissa malleissa sekä selitettävänä muuttujana oleva tonttitehokkuus että saavutettavuutta kuvaavat logsumit on logaritmoitu, jolloin logsum -muuttujan kerroin kuvaa saavutettavuuden muutosten suhdetta tonttitehokkuuden prosentuaaliseen muutokseen. Logsumien tapauksessa kertoimesta ei voi tehdä kuitenkaan perinteistä joustotulkintaa, koska logsumien arvoilla suhteessa nollassa ei ole tulkintaa. Maankäyttömallit kuitenkin kuvaavat logsumin ja maankäytön tehokkuuden välistä yhteyttä. Logaritminen funktiomuoto on yleisesti käytetty oletus vastaavanlaisissa empiirisissä malleissa. Aineistona on pääkaupunkiseudun SeutuRamava-aineiston vuoden 2017 tilannetta kuvaava poikkileikkaus pääkaupunkiseudun kaupunkien kaavoitetuista tonteista, joihin on liitetty useita HELMET-mallilla laskettuja saavutettavuusindikaattoreita HELMET-sijoittelualueiden tasolla. Saavutettavuusindikaattoreina käytetään käytettävissä olevia pääkeskussaavutettavuuden ja yleissaavutettavuuden indikaattoreita (kuvattu tarkemmin osiossa 4.3).

Tontin rakennustehokkuuden indikaattorina käytetään tontin kaavoitettua (lisättynä mahdollisella lisärakennusoikeudella) tai toteutunutta kerrosalaa, näistä kahdesta aina korkeampi, suhteessa tontin pinta-alaan. Tarkasteluun on otettu mukaan AK, AP, K ja C -kaavamerkinnän tontit (asuinkerrostalot, asuinpientalot, liike- ja toimistorakennukset sekä keskustatoiminnot), jotka kattavat yli 90% Ramava-aineiston tonteista. Tehokkuuteen liittyvien kaavoitusperusteiden ajallista kehitystä kuvataan kaksiarvoisilla indikaattorimuuttujilla (dummy-muuttujat), jotka on määritelty kaavan vahvistumisvuosikymmenen perusteella (vuosikymmenet 2010, 2000 ja 1990, referenssiryhmänä sitä aikaisemmat vuosikymmenet). Muutokset heijastavat yhtäältä kaupunkiseudun kasvun aikaansaamaa markkinaehtoista painetta tehokkuuden lisäämiseen hyvin saavutettavissa sijainneissa ja toisaalta kaavoitusperiaatteiden ja -näkemysten muuttumista.

Edellä kuvattujen maankäyttömallien ongelmana on se, että pääkaupunkiseudun tonttien toteutunut rakennustehokkuus ei sellaisenaan kuvaa markkinaehtoista rakennustehokkuutta ainakaan kaikissa sijainneissa, koska kaavamääräykset toimivat rajoitteena. Maankäyttö ei rajoituksista johtuen pääse sopeutumaan markkinakysynnän mukaisesti. Kaavoituksessa rakennustehokkuutta rajoitetaan mm. luontoarvojen sekä rakennus- ja kulttuurihistoriallisten arvojen seurauksena, ympäristöhäiriöiden takia ja myös esimerkiksi pysäköintipaikkannormien johdosta. Kuitenkaan rajoitteen merkittävyys ei ole yhdenmukaista kaupunkialueella, vaan riippuu sijainnista. Oletettavasti hyvin saavutettavilla vanhoilla alueilla, esimerkiksi ydinkeskustassa, rajoite on voimakkaampi kuin uusilla keskusta-alueilla, kuten Kalasatamassa. Sen sijaan kaupunkialueen pientalovaltaisilla reuna-alueilla asemakaavat voivat mahdollistaa markkinaehtoisen tehokkuuden toteutumisen. Tutkimuksen haasteena oli se, että käytettävissä olevilla aineistoilla ja menetelmillä ei ollut mahdollista selvittää, mikä markkinaehtoinen rakennustehokkuus olisi ollut eri sijainneissa, jos kaavoituksen asettamia rajoituksia ei olisi.

Koska rakennustehokkuutta kuvaavaan tonttiaineistoon liittyy edellä mainittuja haasteita kaavamääräysten rajoitteista johtuen, tonttiaineistoa suodatettiin niin, että saatiin käyttöön paremmin markkinaehtoista rakennustehokkuutta kuvaavaa aineistoa. Suodattamiseen käytettiin menetelmää, jossa tonttiaineisto jaettiin 20 osaan kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuuden mukaan. Kustakin 20 saavutettavuusluokasta poimittiin tämän jälkeen

50%, 25% tai 10% tehokkaimmat tontit, mitkä muodostivat varsinaisen aineiston, johon empiiriset maankäyttömallit estimoituihin. Koko tonttiaineiston ja tehokkaimpien tonttien otosten tarkempia tunnuslukuja on esitelty Liitteessä B - "Tonttiaineiston tunnuslukuja".

Estimoiduissa empiirisissä malleissa on tutkittu eri saavutettavuusmuuttujien selitysvoimaa maankäytön tehokkuuden suhteen (selitysaste kertoo, kuinka suuren osan selitettävän muuttujan vaihtelusta voidaan selittää kontrollimuuttujien avulla). 25% tehokkaimpien tonttien aineistoon estimoitujen mallien selitysasteet ja saavutettavuusmuuttujien kertoimet on esitetty taulukossa 4. Maankäyttömalleihin liittyy saavutettavuusindikaattoreiden selitysvoiman suhteen samanlaisia havaintoja kuin hintamalleihin, mikä vastaa myös teoriaa hintojen ja rakennustehokkuuden yhteydestä. Huomioitavaa kuitenkin on, että hintamalleissa saavutettavuudella selitetään pelkästään asuntojen hintoja, kun taas maankäyttömalleissa mukana on myös muiden käyttötarkoitusten tontteja.

Matkaryhmien suhteen työmatkat (MR1) vaikuttaisivat selittävän maankäytön tehokkuutta yhtä hyvin kuin kaikkien matkaryhmien (MR1, MR3, MR4) keskiarvon sisältävät saavutettavuusindikaattorit. Kulkumuotojen suhteen maankäyttömalleissa kestävien kulkumuotojen saavutettavuusindikaattorit selittävät maankäytön tehokkuutta parhaiten. Yleissaavutettavuuden osalta henkilöautosaavutettavuus ei toimi selittäjänä loogisesti, vaan saa jopa negatiivisia arvoja. Keskustasaavutettavuusindikaattoreiden osalta henkilöautojen keskustasaavutettavuuden logsum selittää taas erittäin heikosti maankäytön tehokkuutta. Tulokset autosaavutettavuuden osalta ovat odotettuja ottaen huomioon autosaavutettavuuden logsumiin liittyvät haasteet autonomistusasteen suhteen, joita on käsitelty tarkemmin osioissa 4.3.

Parhaiten maankäytön tehokkuutta selittävien kestävien kulkumuotojen keskusta- ja yleissaavutettavuuden välillä ei ole merkittävää eroa selitysasteessa, vaan kummatkin selittävät yhtä hyvin maankäytön tehokkuuden vaihtelua. Tämä onkin odotettavaa indikaattoreiden suuresta korrelaatiosta johtuen. Molempien muuttujien lisääminen samaan malliin ei kasvata mallien selitystasetta.

Saavutettavuusindikaattori (vuosi 2016)	Muuttujan kerroin	Selitysaste (adjusted R ²)
In_logsum_kest_keskiarvo	10,1***	0,578
In_logsum_auto_keskiarvo	-9,1***	0,388
In_logsum_kest_keskiarvo & In_logsum_auto_keskiarvo	8,1*** -4,1***	0,627
In_logsum_kest_MR1	14,1***	0,579
In_logsum_auto_MR1	-11,2***	0,264
In_logsum(101)_kest_keskiarvo	13,7***	0,514
In_logsum(101)_auto_keskiarvo	0,2	0,042
In_logsum(101)_kest_keskiarvo & In_logsum(101)_auto_keskiarvo	14,6*** -4,5***	0,541
In_logsum(101)_kest_MR1	15,9***	0,576
In_logsum(101)_auto_MR1	1,1***	0,044
In_logsum_kest_keskiarvo & In_logsum(101)_kest_keskiarvo	9,0*** 1,7***	0,579

Taulukko 4. Pääkaupunkiseudun tonttiaineistoon (25 % tehokkaimmat tontit) estimoituja maankäyttömalleja, merkitsevyydestä ***=99,9%, **=99,0%, *=95%

Empiirisiä maankäyttömalleja estimoituihin myös erikseen aineistoihin, joihin oli valikoitu koko tonttiaineisto tai 50%, 25% tai 10% tehokkaimmat tontit saavutettavuusluokittain. Eri tonttiaineistoihin estimoitujen mallien selitysasteet ja saavutettavuusmuuttujien kertoimet on esitetty taulukossa 5 kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuuden kaikkien matkaryhmien

keskiarvon osalta (ln_logsum_kest_keskiarvo). Kun valikoitua tonttiaineistoa rajataan pienempään ja tehokkaampaan otokseen, saavutettavuusmuuttujan kerroin suurenee, eli estimoidun käyrän jyrkkyys kasvaa. Myös selitysasteet kasvavat, mikä on odotettua, koska rajatussa otoksessa tonttien tehokkuuden vaihtelu on pienempi.

Tonttiaineisto	Muuttujan kerroin	Selitysaste (adjusted R ²)
kaikki tontit	7,3***	0,369
50 % tehokkaimmat tontit	9,1***	0,484
25 % tehokkaimmat tontit	10,1***	0,578
10 % tehokkaimmat tontit	10,5***	0,642

Taulukko 5. Pääkaupunkiseudun tonttiaineistoon estimoituja maankäyttömalleja, saavutettavuusmuuttujana ln_logsum_kest_keskiarvo, merkitsevyystaso *** =99,9%, **=99,0%, *=95%

Yleishavaintona estimoiduista empiirisistä malleista voidaan todeta, että kaavoitetut ja rakennetut tonttitehokkuudet ovat nousseet ajan kuluessa. Käytetyllä vuosikymmenjaottelulla 2010-luvulla on keskimäärin kaavoitettu aikaisempia vuosikymmeniä tehokkaammin (esim. maankäyttömallituloste liitteessä D – Maankäyttömallien funktio ja esimerkkimalli). Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden logsum vaikuttaisi myös selittävän maankäytön tehokkuutta paremmin kuin henkilöautosaavutettavuus. Myös hintamallien tulokset tukevat tätä näkökulmaa. Hintamalleissa henkilöautokeskustasaavutettavuuden logsum tosin selitti maankäyttömalleista poiketen asuntojen hintoja erittäin hyvin. Ero saattaa mahdollisesti johtua siitä, että hintamalleissa henkilöautokeskustasaavutettavuuden logsum korreloi saavutettavuuden lisäksi myös esimerkiksi alueiden sosiodemografisten tekijöiden kanssa.

Edelliseen MALPAKKA-projektiin verrattuna (Laakso et al., 2016c; Laakso, 2015) yleissaavutettavuus saa MALPAKKA 2.0 -projektissa suuremman merkityksen maankäytön tehokkuuden selittämisessä. Tämä johtuu todennäköisesti eroista saavutettavuusindikaattoreissa. Logsumit muodostetaan hyötyfunktioiden avulla, jotka yhteismitallistavat eri tekijöiden vaikutukset saavutettavuuteen. Lisäksi logsumeihin pohjautuva yleissaavutettavuus, erityisesti kestävien kulkumuotojen osalta, huomioi hyvin myös pääkeskuksen merkityksen, ja toimii siksi hyvin selittävänä indikaattorina. Huomioitavana erona edelliseen MALPAKKA-projektiin on myös malleihin sovellettu tonttiaineisto: edellisessä projektissa mallit estimoitiin koko valittuun tonttiaineistoon, kun tässä projektissa tonttiaineistosta suodatettiin tehokkaimmat tontit.

Maankäyttömallien tulosten tulkinnassa pitää kuitenkin noudattaa varovaisuutta. Suurimmat rajoitukset estimoiduissa maankäyttömalleissa liittyvät käytettyyn tonttiaineistoon. Ensinnäkin, tonttikohtaista tietoa rakennetusta ja kaavoitetusta kerrosalasta ei ollut käytettävissä KUUMA-kuntien alueelta. Toiseksi, käytetty maankäytön tehokkuuden indikaattori, kaavoitettu tai rakennettu kerrosala, näistä korkeampi, saattaa joillakin yksittäisillä alueilla hieman yliarvioida potentiaalista tonttitehokkuutta, jos kohteeseen on kaavoitettu tehokkaammin kuin miten rakentuminen tulee toteutumaan. Tämä nähdään kuitenkin hyvin pieneksi riskiksi käytetyssä aineistossa. Kolmanneksi, maankäyttömalleissa käytetty tonttiaineisto on rajattu AK- (asuinkerrostalot), AP- (asuinpientalot), K- (liike- ja toimistorakennukset) ja C (keskustatoiminnot) -kaavamerkintöjen tontteihin. Näin ollen osa käyttötarkoituksista ei ole mukana tarkastelussa. Mukana olevien tonttien voidaan kuitenkin arvioida edustavan hyvin niitä käyttötarkoituksia, joiden kysyntälähtöiseen maankäyttöön henkilöliikenteeseen perustuvalla saavutettavuudella on eniten vaikutusta.

Tutkitut saavutettavuuden ja maankäytön tehokkuuden väliset korrelaatiot perustuvat myös poikkileikkausaineistoon, eikä tuloksista voida päätellä todellista kausaliteettia. Mallista puuttuu todennäköisesti myös maankäytön tehokkuuteen vaikuttavia tekijöitä, mikä aiheuttaa malliin endogeenisuusharhaa. Lisäksi on huomioitava, että tulokset pohjautuvat HELMET 3.0 -liikenne-ennustemallin logsumeihin. HELMET:n muilla ohjelmaversioilla tuotetut logsumit

pohjautuvat hieman erilaisiin malliparametreihin, ja niillä tuotettujen logsumien arvot todennäköisesti eroavat HELMET 3.0 -mallilla tuotetuista.

Liitteessä C - ”Maankäyttömallien funktio ja esimerkkimalli” on kuvattu tarkemmin maankäyttömallien spesifikaatio sekä esimerkkinä yksittäisen mallin tuloste. Kattava listaus malleista on saatavilla pyydettäessä.

4.6 Saavutettavuuden mahdollistama maankäytön tehokkuus

Projektin keskeinen lopputuote on osiossa 4.5 käsiteltyjen estimoitujen empiiristen maankäyttömallien avulla laaditut arviot saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuuspotentiaalista Helsingin seudulla. Arviot on laadittu MAL 2019 -työn skenaarioiden nykytila (vuosi 2016), 2030 VE0 ja 2030 VE3 saavutettavuustietojen pohjalta tonttitehokkuuksina sijoittelualueittain. Tonttitehokkuuspotentiaalia eri skenaarioissa on ennustettu kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuudella (kaikkien matkaryhmien keskiarvo) sekä 2010-luvun kaavoitusperiaatteita kuvaavalla dummy-muuttujalla. Arviot pohjautuvat maankäyttömalleihin, joissa on mukana kaavamerkintöjen AK (asuinkerrostalot), AP (asuinpientalot), K (liike- ja toimistorakennukset) ja C (keskustatoiminnot) tontit. Arviot on laadittu erikseen 50%, 25% ja 10% tehokkaimpien tonttien aineistoihin perustuvien mallien kertoimilla (menetelmä kuvattu tarkemmin osiossa 4.5). Arviot pohjautuvat tietoihin pääkaupunkiseudun tonttitehokkuuksista, joiden perusteella on tehty ekstrapoloidut arviot myös muualle Helsingin seudulle.

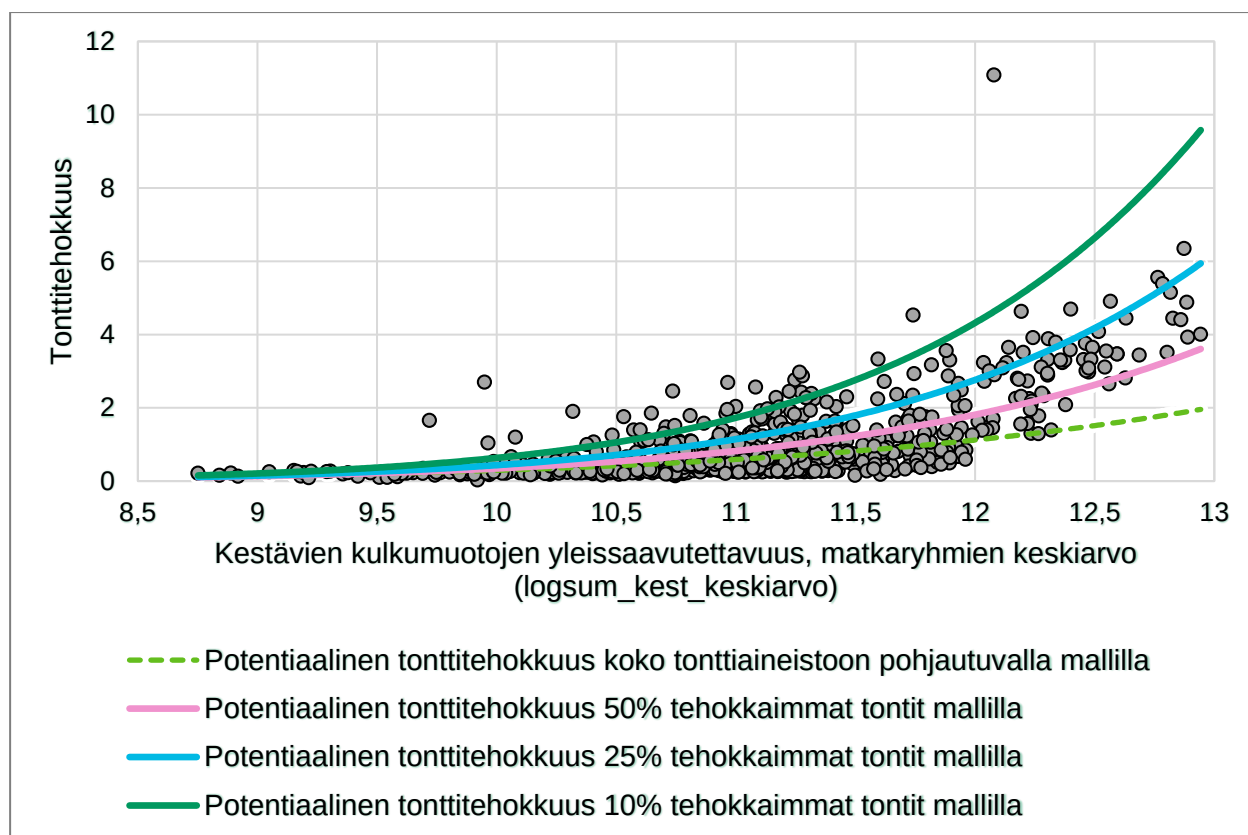
Arvioiden laadintaan on valittu malli, jossa selittävä muuttuja on kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuus (kaikkien matkaryhmien keskiarvo) usean perusteltavissa olevan näkökulman perusteella:

- Valittu saavutettavuusindikaattori on tutkituista saavutettavuusindikaattoreista yksi parhaiten maankäytön tehokkuutta selittävä indikaattori. Lisäksi maankäytön tehokkuusarvioiden laatimisessa on haluttu huomioida työmatkojen (MR1) lisäksi myös muiden matkaryhmien merkitys. Yleissaavutettavuuden vahvuutena on, että se huomioi sekä pääkeskuksen että muiden keskusten saavutettavuuden merkityksen eri alueille. Yleissaavutettavuus kuvaakin keskustasaavutettavuutta paremmin monikeskuksista kaupunkiseutua.
- Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden soveltaminen maankäytön tehokkuuden arvioinnissa on perusteltua verrattuna henkilöautosaavutettavuuteen. HELMET-mallin henkilöautosaavutettavuuden logsumiin liittyy haasteita, jotka hankaloittavat sen soveltamista MALPAKKA 2.0 -työn kaltaisiin analyyseihin, mikä näkyy myös estimoiduissa hinta- ja maankäyttömalleissa. Lisäksi kasvavalla kaupunkiseudulla henkilöautoliikenne ruuhkautuu herkemmin kuin kestävien kulkumuotojen liikenne, koska erityisesti joukkoliikenteen kapasiteettia on helpompi kasvattaa verrattuna henkilöautoliikenteen kapasiteettiin.

Laadittuja arvioita saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuuspotentiaalista on yhteensä yhdeksän kappaletta kullekin sijoittelualueelle (liikennejärjestelmäskenaariot 2016, 2030 VE0 ja 2030 VE3 sekä 50%, 25% ja 10% tehokkaimpien tonttien malleilla). Keskeisimmät arviot koko seudun kaikille alueille on esitetty kartoissa tämän osion lopussa. Loput koko seudun arvioista löytyvät liitteestä E - ”Karttatulosteet tonttitehokkuuksista sijoittelualueittain”. Tarkemmat sijoittelualuekohtaiset lukuarvot löytyvät projektin tuottamista paikkatieto- ja excel-aineistoista, jotka ovat saatavilla MAL-ekstranetistä.

Liikennemallin sijoittelualuejaon mukaan tehtyjä arvioita potentiaalisista tonttitehokkuuksista voidaan pitää alarajana kullekin sijoittelualueelle, kuinka tehokasta rakentamista alueen saavutettavuus mahdollistaa (kestävien kulkumuotojen saavutettavuudella mitattuna).

Kuviossa 6 on esitetty pisteinä pääkaupunkiseudun sijoittelualueiden keskimääräiset tonttitehokkuudet¹ vuoden 2017 lopussa sekä alueiden kestävien kulkumuotojen saavutettavuus vuoden 2016 tilanteessa. Kuvaajan käyrät pohjautuvat eri tonttiaineistopoimintoihin (50%, 25% ja 10% tehokkaimmat tontit sekä koko aineisto) estimoituihin maankäyttömalleihin, joiden avulla on laadittu arviot potentiaalisesta tonttitehokkuudesta vuoden 2016 saavutettavuuden mukaan. Kuvioista näkyy, että jos arvio potentiaalisista tonttitehokkuuksista tehdään koko tonttiaineiston tai 50% tehokkaimpien tonttien aineistoon pohjautuvilla malleilla, parhaimman saavutettavuuden alueilla ennuste jää nykyisten maankäytön tehokkuuksien alapuolelle. MALPAKKA 2.0 -projektin asiantuntijoiden näkemysten mukaan tehokkuuden alarajana olisi hyvä pitää vähintään 25% tehokkaimpien tonttien mukaan tehtyä arviota. Parhaimman saavutettavuuden alueilla suositeltavaa olisi soveltaa 10% tehokkaimpien tonttien mukaan tehtyjä arvioita. Näillä alueilla markkinaehtoiset kysyntään pohjautuvat tehokkuudet saattavat olla vielä 10% tehokkaimpien tonttien mallilla tehtyjä arvioita korkeammat.



Kuvio 6. Kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuus vuonna 2016 ja keskimääräiset tonttitehokkuudet sijoittelualueittain pääkaupunkiseudulla vuoden 2017 lopussa sekä eri tonttiaineistopoimintoihin pohjautuvilla malleilla arvioidut potentiaaliset tonttitehokkuudet vuoden 2016 saavutettavuuden mukaan

Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama maankäytön tehokkuus on arvioitu eri tonttiaineistopoimintoihin (50%, 25% ja 10% tehokkaimmat tontit) pohjautuvilla malleilla kolmelle eri liikennejärjestelmäskenaariolle:

Vuoden 2016 arviot perustuvat MAL 2019 -työn vuoden 2016 liikennejärjestelmän ja maankäytön saavutettavuuteen. Huomionarvoista on, että kyseiseen liikennejärjestelmään ei kuitenkaan kuulu vielä Länsimetroa. Vuoden 2016 saavutettavuustietoihin pohjautuvat arviot ovat tästä syystä jo hieman vanhentuneet, mutta kuvaavat kuitenkin monilla alueilla

¹varsinaiset empiiriset mallit on kuitenkin estimoitu aineistoon, joka käsittää kaikki yksittäiset tontit. Kuvion pisteissä on käytetty sijoittelualueiden keskimääräisiä tonttitehokkuuksia.

(poissulkien Etelä-Espoo) likimain nykyisen liikennejärjestelmän saavutettavuuden mahdollistamaa maankäytön tehokkuutta. Vuoden 2016 liikenneverkon mukaiset arviot kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta 25% tehokkaimpien tonttien mallilla arvioituna on esitetty kartassa 3.

Vuoden 2030 VE0 skenaarion mukaiset arviot perustuvat saavutettavuusaineistoon, joka pohjautuu vuoden 2030 seudulliseen maankäytön ennusteeseen ja liikennejärjestelmään, johon sisältyy jo rakenteilla olevat tai päätetyt liikennehankkeet. Näin ollen 2030 VE0 -arvioita saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta voidaan pitää liikennejärjestelmän osalta melko luotettavina. Huomionarvoista 2030 VE0- (ja VE3) -skenaarioissa on niihin sisältyvä joukkoliikenteen lippuvyöhykeuudistus, jonka vaikutus saavutettavuuteen ja siten maankäytön tehokkuusarvioihin näkyy erityisesti monilla alueilla Espoossa ja Vantaalla. Vuoden 2030 VE0 -skenaarion mukaiset arviot kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta 25% tehokkaimpien tonttien mallilla arvioituna on esitetty kartassa 4.

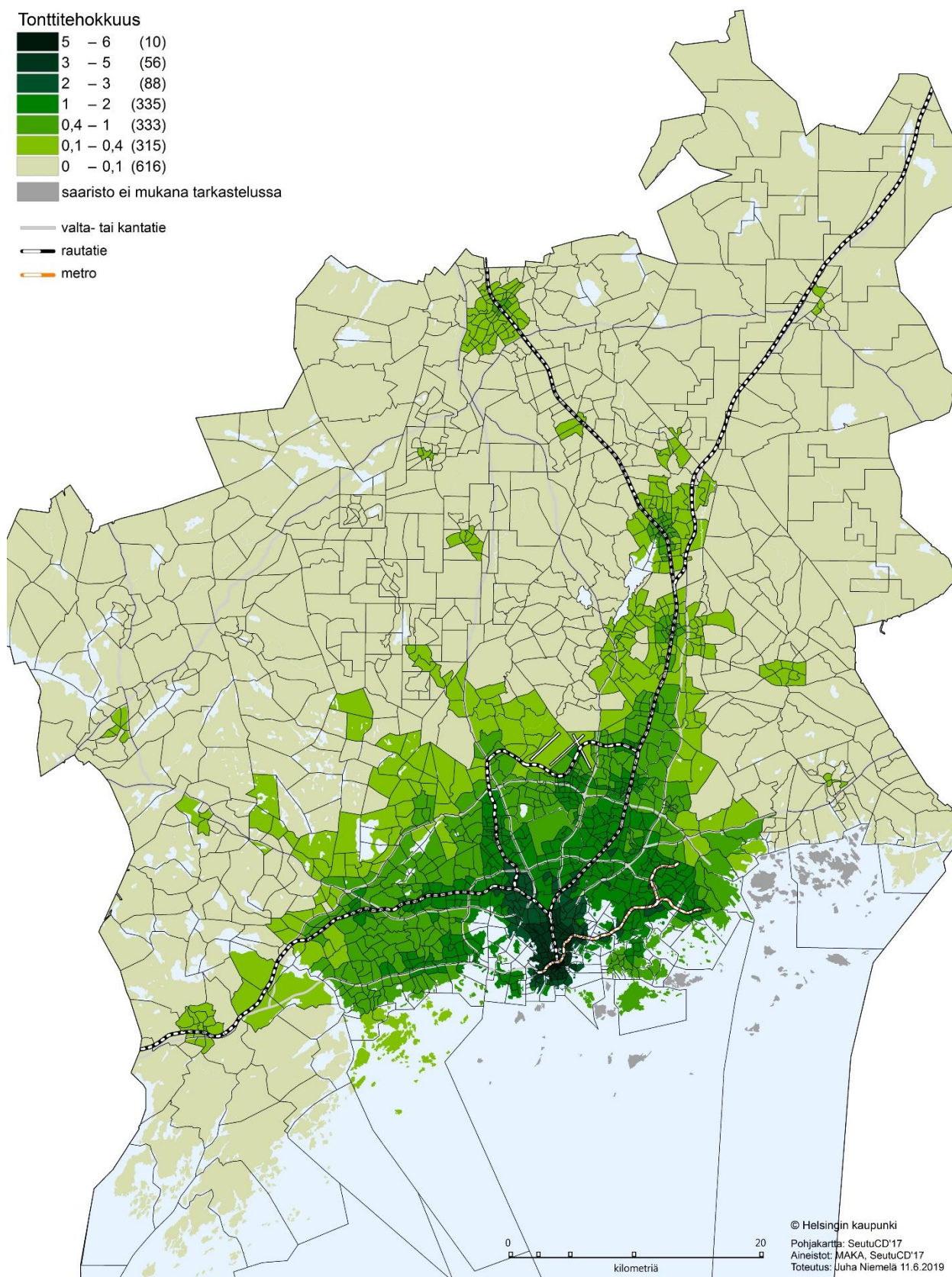
Vuoden 2030 VE3 skenaarion mukaisiin arvioihin liittyy enemmän epävarmuutta, koska ne pohjautuvat MAL 2019 -suunnitelmaluonnoksen vuoden 2030 seudulliseen maankäytön ennusteeseen ja liikennejärjestelmään, johon sisältyy VE0 -skenaarion liikennehankkeiden lisäksi monia vielä varhaisessa suunnitteluvaiheessa olevia liikennehankkeita. 2030 VE3:n mukaiset arviot saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta kuvaavat siten näiden lisäliikennehankkeiden tuomaa parannusta kestävien kulkumuotojen saavutettavuuteen, ja sen mahdollistamaa lisäpotentiaalia rakentamisen tehokkuuteen verrattuna skenaarioon VE0. Lisäksi merkittävänä erona verrattuna skenaarioon VE0 on skenaarioon VE3 sisältyvät tienkäyttömaksut ja joukkoliikenteen lippujen hintojen alennukset. VE3 -skenaarion liikennejärjestelmässä ei kuitenkaan ole huomioitu Pisara-rataa ja Espoon kaupunkiradan jatkamista Espoon Keskuksesta Kauklahteen asti, jotka lisättiin MAL-suunnitelmaan luonnoksen kommentointivaiheen jälkeen. Vuoden 2030 VE3 -skenaarion mukaiset arviot kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta 25% tehokkaimpien tonttien mallilla arvioituna on esitetty kartassa 5. Erillisessä kartassa 6 on myös esitetty tonttitehokkuuksien erotuksena kuinka paljon skenaarion VE3 liikennehankkeet lisäävät maankäyttöpotentiaaleja alueittain verrattuna skenaarioon VE0. Kuvassa näkyy mm. monien pikaraitiotiehankkeiden sekä raskaan raideliikenteen parannusten vaikutus kasvaneina tonttitehokkuuksina raideliikennekäytävien varrella sekä yleinen joukkoliikenteen saavutettavuuden paraneminen.

Tehtyihin arvioihin potentiaalisista tonttitehokkuuksista liittyy monia huomioitavia rajoitteita. Arviot pohjautuvat pelkästään saavutettavuuteen, eikä muita maankäytön kysyntään vaikuttavia tekijöitä, kuten esimerkiksi rakennettavuus, mahdolliset ympäristöhäiriöt tai meren ja viheralueiden läheisyys, ole huomioitu arvioiden laadinnassa. Myöskään mahdollisia rakennustehokkuutta rajoittavia tekijöitä, kuten mm. luontoarvoja sekä rakennus- ja kulttuurihistoriallisia arvoja tai esimerkiksi pysäköintipaikkainormien vaikutusta ei ole huomioitu laadituissa maankäytön tehokkuusarvioissa. Arvioiden rajoitteena on myös niiden pohjautuminen pääkaupunkiseudun kuntien tonttien tonttitehokkuuksiin perustuviin malleihin, joiden pohjalta on ekstrapoloitu arviot myös muihin Helsingin seudun kuntiin. Näin ollen pääkaupunkiseudun ulkopuolisten kuntien arvioihin tulee suhtautua suuremmalla varauksella.

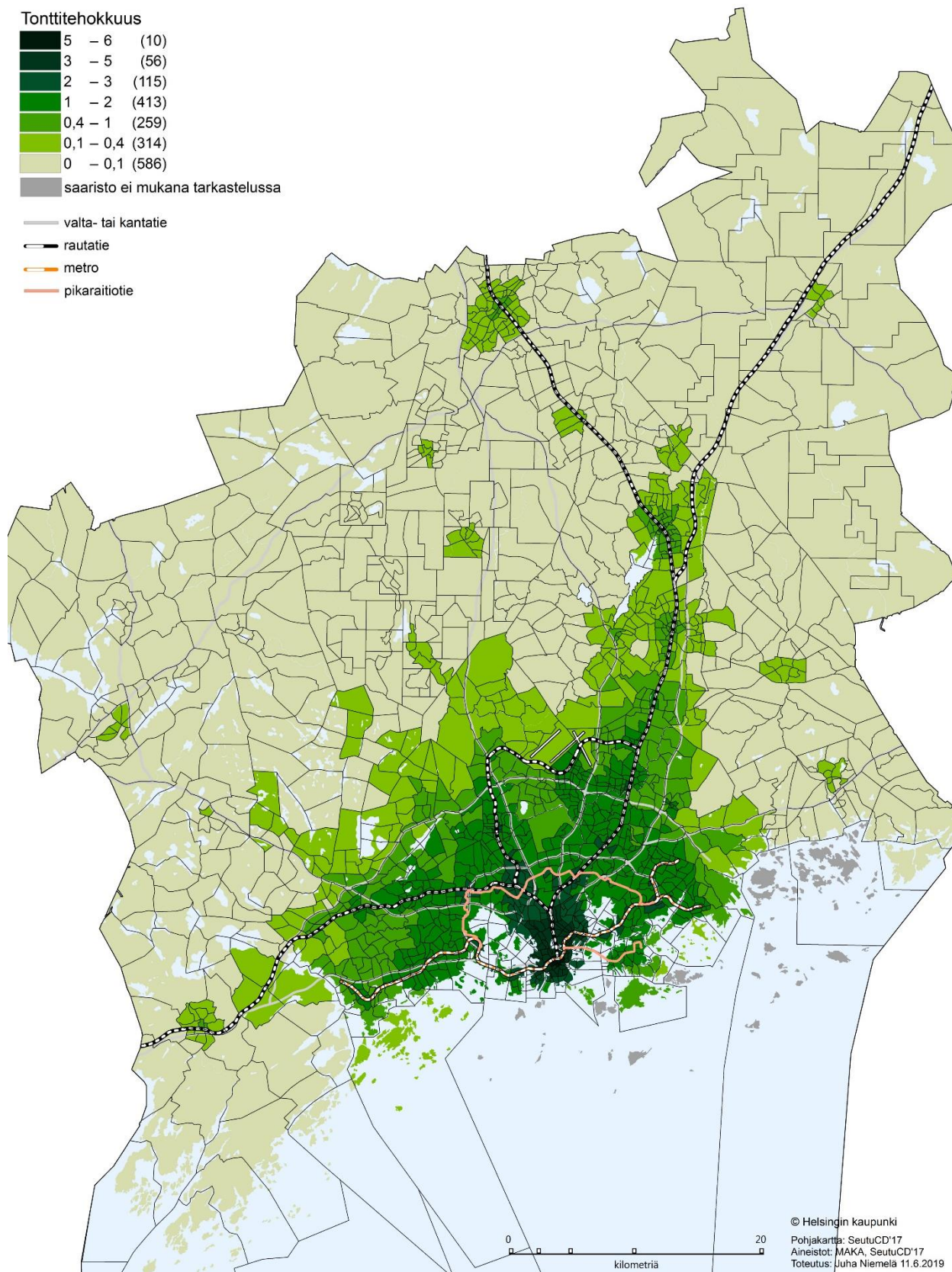
Vaikka arviot pohjautuvat malleihin, joissa on yritetty tunnistaa tehokkaimpia tontteja, on kuitenkin mahdollista erityisesti seudun pääkeskuksessa, että markkinaehtoisesti toteutunut maankäytön tehokkuus olisi tätäkin korkeampi. Mallien pohjalla on tonttien kaavoitettu tai rakentunut tehokkuus, näistä kahdesta aina tehokkaampi, joten pienenä riskinä on tehokkuuksien yliarviointi sellaisilla alueilla erityisesti yhdyskuntarakenteen reuna-alueilla, joiden kaavoitetut tontit eivät rakennu. Tämä riski arvioidaan kuitenkin hyvin pieneksi pääkaupunkiseudun alueella, minkä tonttiaineistoon mallit pohjautuvat.

Lisäksi on huomioitava, että arviot on laadittu tonttitehokkuuksina, mutta mallissa ei suoraan oteta kantaa siihen, kuinka suuri osa eri alueiden maa-alasta on tonttimaata. Tonttimaan osuudella on tonttitehokkuuden lisäksi suuri vaikutus kokonaiskerrosalapotentiaaliin. Huomioitavaa on myös, että arviot pohjautuvat kaavamerkintöjen AK (asuinkerrostalot), AP (asuinpientalot), K (liike- ja toimistorakennukset) ja C (keskustatoiminnot) tontteihin, jotka kuitenkin kattavat yli 90% tonteista. Näin ollen tulosten perusteella voidaan tehdä suoria päätelmiä parhaiten vastaavien käyttötarkoitusten rakennuksille. Tehdyt arviot saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta eivät ota kuitenkaan tarkemmin kantaa rakennusten käyttötarkoituksiin, vaan arviot ovat karkeita tonttitehokkuuksia.

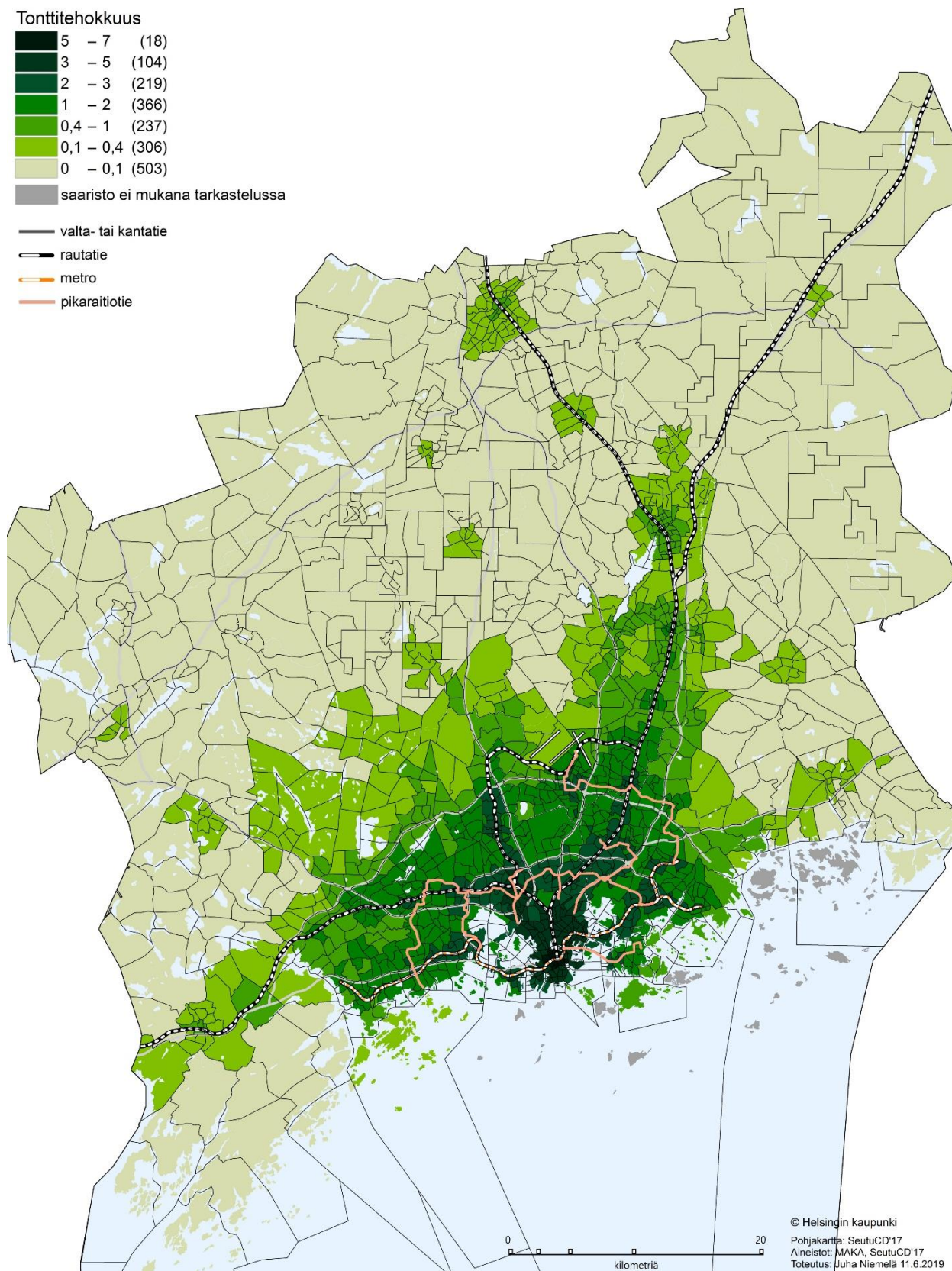
Tehokkuusarviot pohjautuvat HELMET-mallin logsum-saavutettavuusmuuttujiin, joihin liittyy HELMET-malliin yleisesti liittyvät epävarmuustekijät ja rajoitteet. Logsumin merkittävänä rajoitteena on, että se huomioi saavutettavuuden vain muualle Helsingin seudulla. Tällä saattaa olla vaikutusta saavutettavuusmuuttujien arvoihin erityisesti Helsingin seudun reuna-alueilla (esim. Riihimäen saavutettavuuden merkitys Hyvinkäälle). Tästä syystä reuna-alueiden arvioihin saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta liittyy riski maankäyttöpotentiaalin aliarvioinnista. Toinen saavutettavuusmuuttujiin liittyvä rajoite on HELMET-mallin sijoittelualuejako, joka rajoittaa laadittujen arvioiden tarkkuuden sijoittelualuetasolle. Sijoittelualuejako on tiheämpi hyvin saavutettavilla ja tiheämmin rakennetuilla alueilla, mutta huomionarvoista on, että saavutettavuus saattaa kuitenkin vaihdella sijoittelualueiden sisällä. Tämän takia varsinkin suurten sijoittelualueiden suhteen arvioihin saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta pitää suhtautua varauksella. Kolmanneksi, arviot pohjautuvat kotiperäisten (edestakaisten) matkojen avulla arvioituihin logsum-saavutettavuusmuuttujiin. Näin ollen saavutettavuusindikaattoreissa ei ole huomioitu esim. työpaikkojen välistä asiointia. Kotiperäisten matkojen saavutettavuuden logsumien nähdään kuitenkin toimivan riittävän hyvin indikaattoreina yleiselle seudun saavutettavuudelle. Neljänneksi, HELMET-mallissa saavutettavuuden laskennan pohjalla on MAL 2019 -työssä käytetyt arviot seudullisesta maankäytöstä ja liikennejärjestelmästä. MALPAKKA 2.0 -työssä tehdyt arviot maankäytön tehokkuuspotentiaaleista eroavat useimmilla alueilla MAL 2019 -työn maankäyttöarvioista. Jos maankäyttö toteutuisi MALPAKKA 2.0 -työn arvioiden mukaisesti, olisi sillä edelleen vaikutusta liikenteeseen ja saavutettavuuteen, mikä vaikuttaisi takaisin maankäytön tehokkuuspotentiaaleihin. MALPAKKA 2.0 -mallissa ei ole kuitenkaan tehty tällaista liikenne-maankäyttö-vuorovaikutusmalleihin (LUTI-mallit) sisältyvää takaisinkytkentää ja iterointia.



Kartta 3. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2016 liikenneverkko, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla

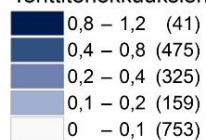


Kartta 4. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2030 VE0-liikenneverkko, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla



Kartta 5. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2030 VE3-liikenneverkko, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla

Tonttitehokkuuksien erotus (VE3-VE0)



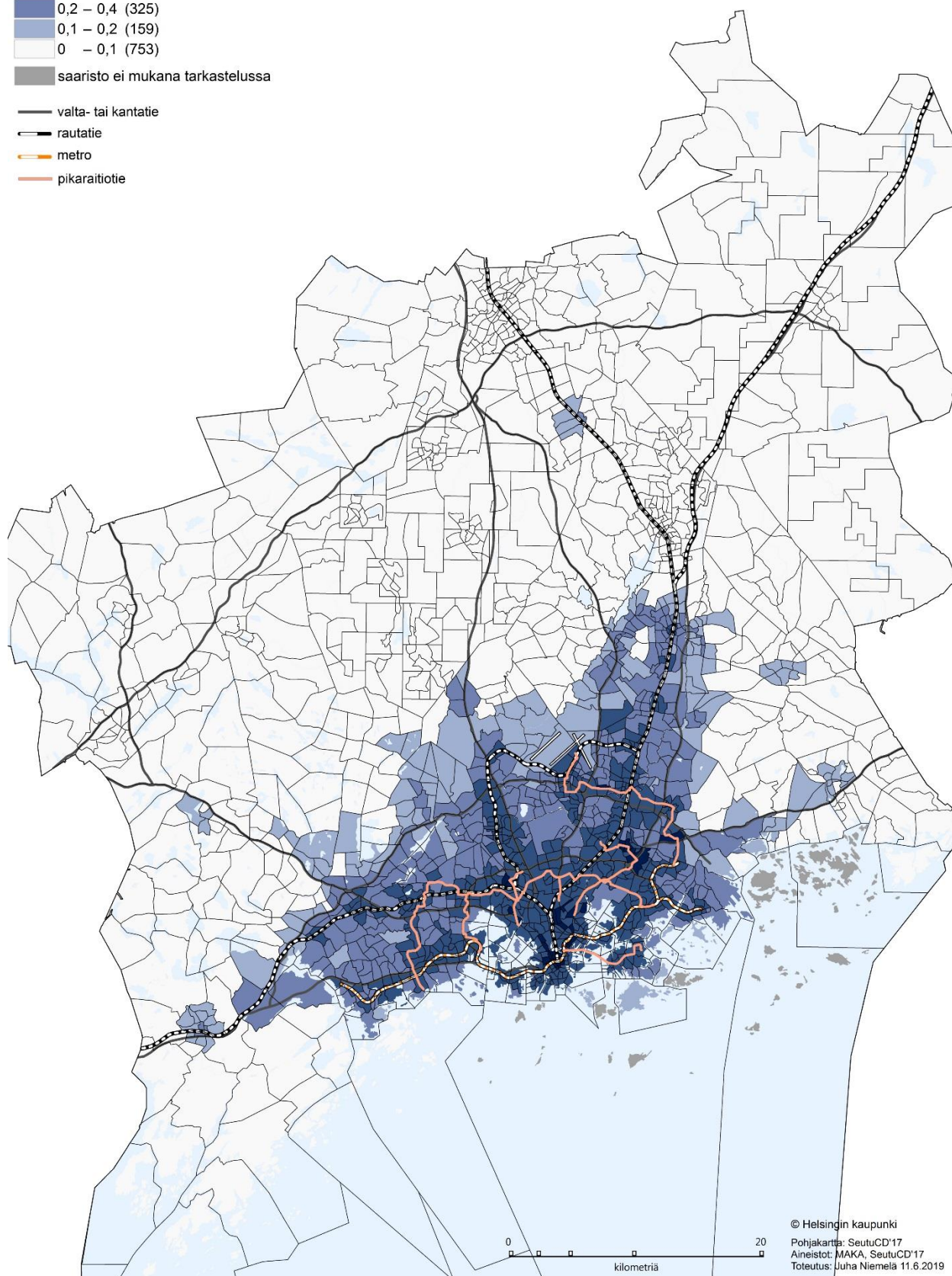
saaristo ei mukana tarkastelussa

— valta- tai kantatie

— rautatie

— metro

— pikaraitiotie



© Helsingin kaupunki
Pohjakartta: SeutuCD'17
Aineistot: MAKA, SeutuCD'17
Toteutus: Juha Niemela 11.6.2019

Kartta 6. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2030 VE3 ja VE0 -liikenneverkkojen erotus, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla

5 Mallien tulosten soveltaminen suunnittelussa

5.1 MALPAKKA 2.0 -aineistojen lyhyt kuvaus

MALPAKKA 2.0 -projektissa on arvioitu kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamaa maankäytön tehokkuutta Helsingin seudulla. Laaditut arviot kuvaavat minkälaisen tonttikohtaisen maankäytön tonttitehokkuuden kestävien kulkumuotojen (joukkoliikenne, pyöräily) saavutettavuus mahdollistaa eri alueilla Helsingin seudulla. Arviot pohjautuvat pelkästään saavutettavuuteen eikä niissä ole huomioitu muita maankäytön kysyntään vaikuttavia tai rakentamisen tehokkuutta rajoittavia tekijöitä.

Arviot ovat saatavilla paikkatieto-, kartta- ja excel-muodossa MAL-ekstranetistä HELMET-liikennemallin sijoittelualuejaon mukaisesti jaoteltuna. Karttatulosteet löytyvät myös tämän raportin osiosta 4.6. ja Liitteestä E - ”Karttatulosteet tonttitehokkuuksista sijoittelualueittain”. Arviot on laadittu seuraavien MAL 2019 -työn skenaarioiden saavutettavuustietojen pohjalta (tarkempi lista skenaarioihin liittyvistä hankkeista löytyy osiosta 4.2):

- nykytila (vuosi 2016, ei sisällä Länsimetroa)
- 2030 VE0 (sisältää jo päätetyt ja rakenteilla olevat liikennehankkeet sekä lippuvyöhykeuudistuksen)
- 2030 VE3 (MAL-suunnitelmaluonnos, ei sisällä Pisara-rataa, sisältää tienkäyttömaksut ja joukkoliikenteen lippuhintojen alennuksen)

Kullekin skenaariorille on laadittu kolme eri arviota kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta. Arviot on laadittu malleilla, jotka pohjautuvat pääkaupunkiseudun 50%, 25% ja 10% tehokkaimpien nykyisten tonttien aineistoihin (käyttötarkoitukset AK, AP, K ja C). MALPAKKA 2.0 -projektin asiantuntijoiden näkemysten mukaan tehokkuuden alarajana olisi hyvä pitää vähintään 25% tehokkaimpien tonttien mallilla tehtyjä arvioita, mutta monilla erinomaisen saavutettavuuden alueilla suositeltavaa olisi soveltaa 10% tehokkaimpien tonttien mallilla tehtyjä arvioita tai niitä korkeampia tehokkuuksia. Arvioiden laadintamenetelmät ja niihin liittyvät epävarmuustekijät on kuvattu tarkemmin tämän raportin osiossa 4.

5.2 Soveltaminen kuntien ja seudun suunnittelussa

MALPAKKA 2.0 -projektissa tuotettuja arvioita saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta voidaan hyödyntää Helsingin seudun kuntien maankäytön ja liikenteen suunnittelussa sekä seudullisessa suunnittelussa. Mahdollisia hyödyntämiskohteita ovat mm:

- Nykyisen liikennejärjestelmän tarjoaman saavutettavuuden mahdollistaman tiivistämispotentiaalin tunnistaminen
- Uusien liikennejärjestelmäinvestointien maankäyttöpotentiaalien arviointi
- Liikenneinvestointien maankäyttöhyötyjen kaupunkitaloudelliset arviot
- Rakentamisen rajoittamisen taloudellisten vaikutusten arviointi

Nykyisen liikennejärjestelmän tiivistämispotentiaalien tunnistamisessa hyvä lähtökohta ovat MAL 2019 -työn nykytilan (2016) ja vuoden 2030 VE0 -skenaarioiden pohjalta laaditut arviot saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta. Vuoden 2016 pohjalta tehdyt arviot kuvaavat monilla alueilla hyvin nykyisen liikennejärjestelmän tarjoamaa saavutettavuutta ja sen mahdollistamaa maankäytön tehokkuutta. Huomioitavaa on, että vuoden 2016 liikennejärjestelmässä ei ole mukana Länsimetroa. Vuoden 2030 VE0 -skenaario sisältää sen sijaan jo päätetyt liikennejärjestelmähankkeet (esim. Kruunusilta) ja muutokset (esim. joukkoliikennevyöhykeuudistus). Vuoden 2030 VE0 -skenaarioiden arviot soveltuvat siten hyvin lähitulevaisuuden tiivistämispotentiaalien arvioimiseen. Tarkempi

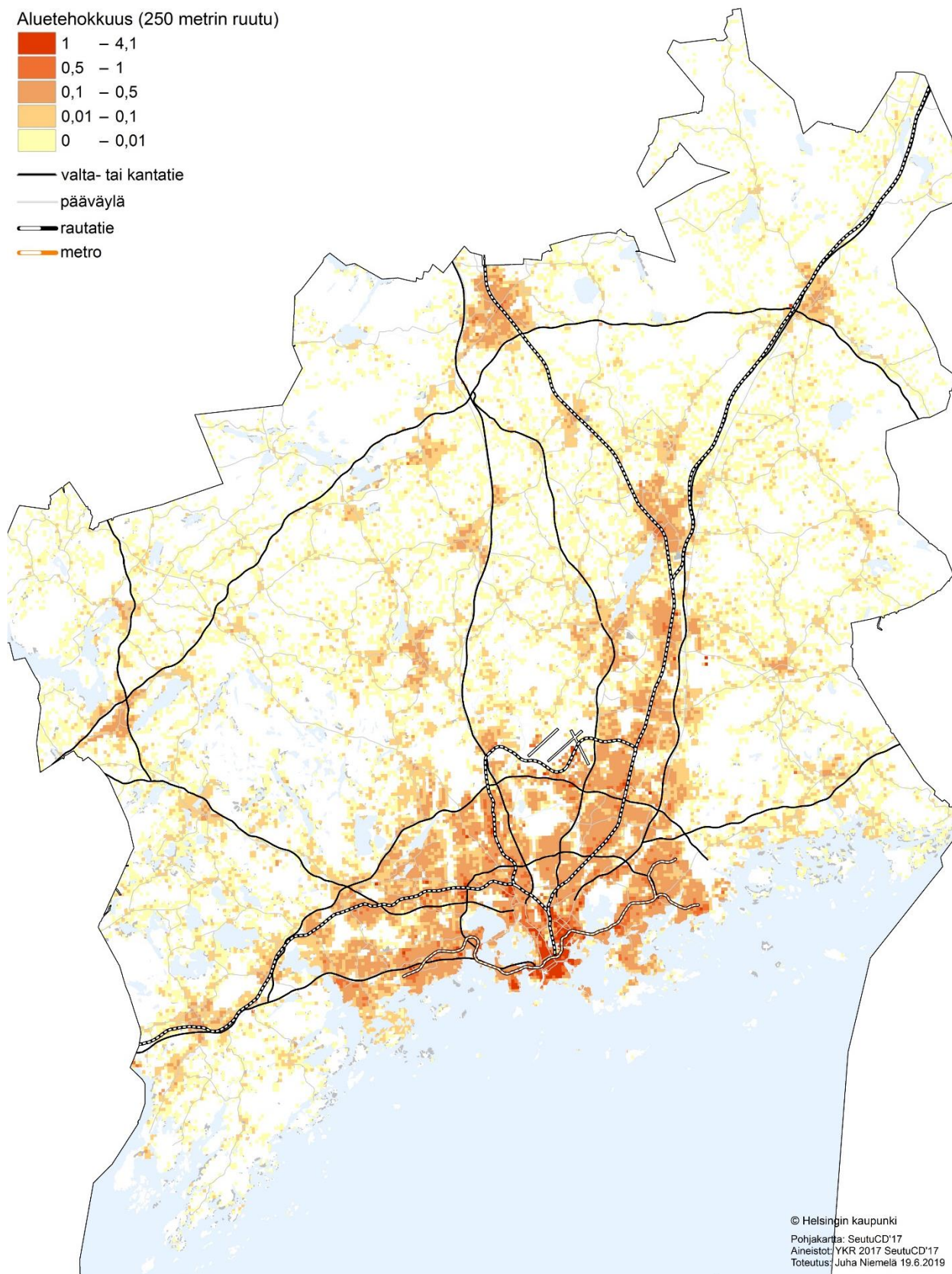
listaus vuoden 2030 VE0 -skenaarioon sisältyvistä hankkeista löytyy tämän raportin osiosta 4.2.

Arvioitaessa suunnitteluasteella olevien uusien liikennejärjestelmähankkeiden vaikutusta maankäyttöpotentiaaleihin, hyvä lähtökohta on MAL 2019 - työn vuoden 2030 VE3 - skenaarion pohjalta laaditut arviot saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta. Vuoden 2030 VE3 -liikennejärjestelmäskenaario sisältää monia seudulle suunniteltavia merkittäviä liikennehankkeita (sekä mm. tienkäyttömaksut), joilla on vaikutusta saavutettavuuteen ja siten maankäyttöpotentiaaliin. Tarkempi listaus 2030 VE3 -skenaarioon kuuluvista liikennehankkeista löytyy tämän raportin osiosta 4.2. Jos ollaan kiinnostuneita sellaisen kestävien kulkumuotojen saavutettavuutta merkittävästi muuttavan liikennehankkeen mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta, joka ei sisälly MAL 2030 VE3 -skenaaron hankkeisiin, MALPAKKA 2.0 -työn mallien estimoiduilla kertoimilla ja HELMET-liikennemallin saavutettavuutta kuvaavilla logsumeilla on mahdollista laatia arvio liikennehankkeen vaikutuksesta maankäyttöpotentiaaliin.

Arvioita kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta ja niiden pohjalta arvioituja alueiden maankäyttöpotentiaaleja voidaan myös käyttää lähtötietona erilaisissa kaupunkitaloudellisissa vaikutusten arvioinneissa. Maankäyttöpotentiaalien pohjalta on mahdollista arvioida esim. liikenneinvestointien hyötyjä maankäytön markkinoilla. Lisäksi maankäyttöpotentiaalien kautta on mahdollista laatia arvioita esim. rakentamista rajoittavien toimenpiteiden taloudellisista vaikutuksista.

5.3 Esimerkkianalyysit tiivistämispotentiaalista

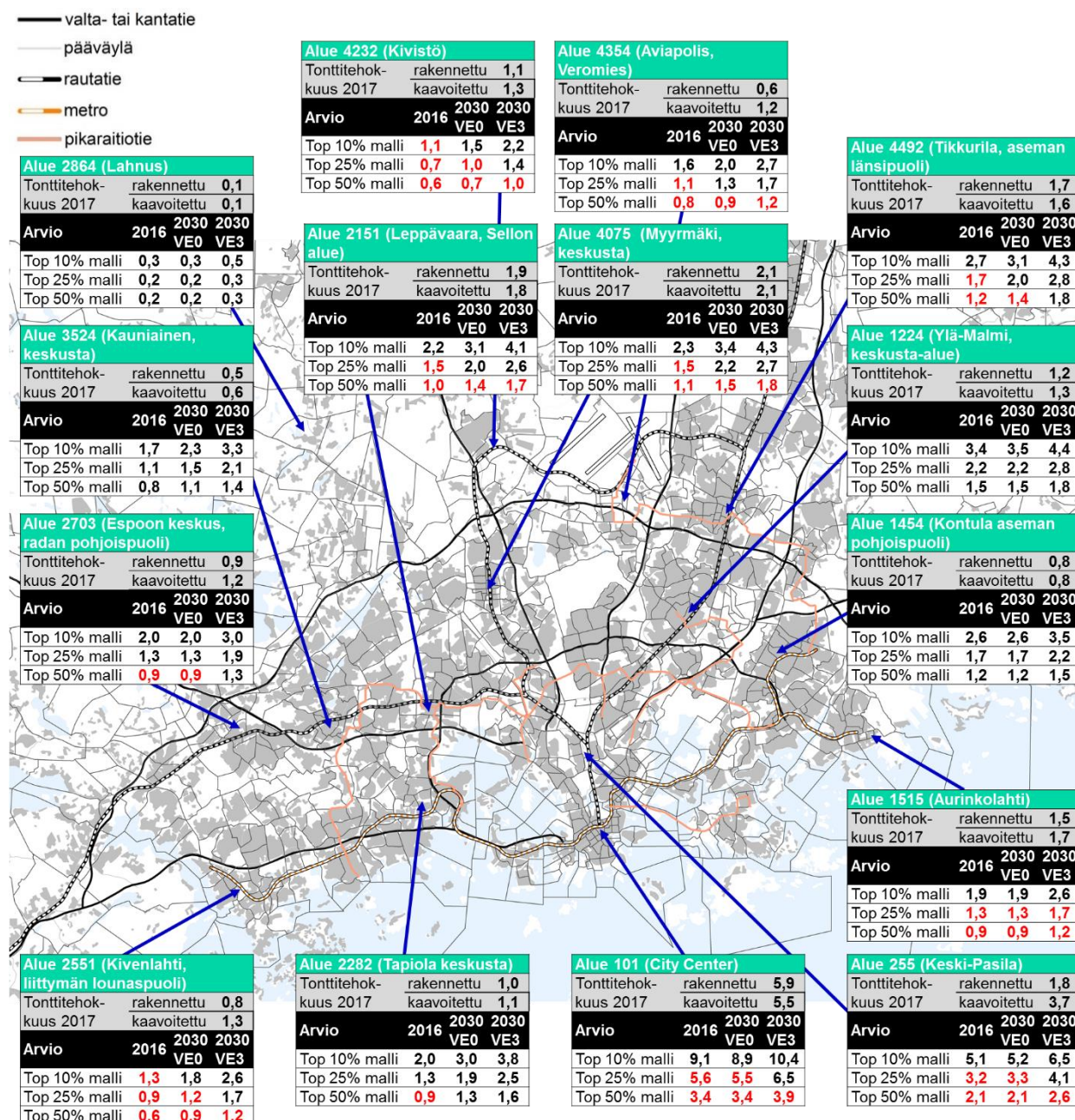
Osana MALPAKKA 2.0 -projektia on laadittu karkeita kartta-analyysejä maankäytön tiivistämispotentiaalista Helsingin seudulla. Helsingin seudun nykyinen maankäytön tehokkuus YKR-ruuduittain on esitetty aluetehokkuuksina kartassa 7.



Kartta 7. Aluetehokkuus vuonna 2017 (250 metrin ruudut)

Kartta 8 havainnollistaa muutamien pääkaupunkiseudun esimerkkialueiden tiivistämisspotentiaalia. Kartassa on esitetty esimerkkialueille nykyisten kaikkien käyttötarkoitusten tonttien keskimääräinen rakennettu ja kaavoitettu tonttitehokkuus sekä

kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus (pohjautuen käyttötarkoituksiin AK, AP, K ja C). KUUMA-kuntien osalta vastaavaa tonttikohtaista vertailua ei ole tehty, koska KUUMA-kunnista ei ollut käytettävissä tonttikohtaista aineistoa nykyisistä tonttitehokkuuksista. Esimerkkialueiden vertailu potentiaaliin saavutettavuuden mahdollistamiin tonttitehokkuuksiin havainnollistaa kuinka paljon alueen nykyisillä kaavoitetuilla tonteilla olisin kysyntään nähden tiivistämispotentiaalia tontin täydennysrakentamisen, rakennusten korottamisen tai purkavan täydennysrakentamisen kautta. Esimerkkialueista voidaan havaita, kuinka pääkaupunkiseudulla usealla raskaan raideliikenteen asemanseudulla olisi pelkästään nykyisillä tonteilla saavutettavuuteen pohjautuen paljon tiivistämisvaraa.



Kartta 8. Pääkaupunkiseudun esimerkkialueiden nykyinen rakennettu ja kaavoitettu tonttitehokkuus sekä kestävien kulkumuotojen mahdollistama maankäytön tehokkuus eri skenaarioissa ja eri malleilla arvioituna

Pääkaupunkiseudun esimerkkialueiden lisäksi maankäytön tehokkuusarvioita on hyödynnetty koko seudun kattaviin analyysihin maankäytön tiivistämispotentiaalista.

Tiivistämispotentiaalit on esitetty kartoissa 9 – 13. Analyysit pohjautuvat MAL 2019 -työn 2030 VE0- ja VE3 -liikennejärjestelmäskenaarioiden saavutettavuuden pohjalta laadituille arvioille kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta. Arviot on laadittu malleilla, jotka pohjautuvat 25% tehokkaimpiin tontteihin, sekä pääkaupunkiseudulle 2030 VE3 -skenaariossa myös mallilla, joka pohjautuu 10% tehokkaimpiin tontteihin.

Analyysissa kullekin sijoittelualueelle on laskettu kokonaiskerrosalapotentiaali MALPAKKA 2.0 -maankäyttömalleilla arvioiduilla tonttitehokkuuksilla sekä oletuksella tonttimaan osuudesta. Tonttimaan osuuden suhteen kokonaispotentiaalin laskennassa on käytetty oletusta 60 %, mikä kuvaa kuvitteellista tilannetta, jossa 60 % kaikkien sijoittelualueiden maa-alasta olisi tonttimaata². Valitulla menetelmällä on saatu vertailukelpoisesti laskettua kunkin alueen teoreettinen kokonaiskerrosalapotentiaali. Kokonaiskerrosalapotentiaalia on verrattu alueiden nykytilanteen rakennettuun kerrosalaan, minkä erotuksena syntyy alueen tiivistämispotentiaali. Pääkaupunkiseudun osalta tiedot nykytilan rakennetusta kerrosalasta pohjautuvat SeutuCD:n rakennuskohtaiseen aineistoon vuoden 2018 lopun tilanteessa. KUUMA-kuntien osalta nykytila pohjautuu YKR:n 250m x 250m ruutujen tietoihin rakennetusta kerrosalasta vuoden 2017 lopun tilanteessa.

Koko seudulle tehty tiivistämisanalyysit kuvaavat kullakin sijoittelualueella kokonaistiivistämispotentiaalia, joka syntyy nykyisten tonttien mahdollisesta tiivistämisestä sekä uusien kaavoitettavien tonttien rakentamisesta, jos alueella tonttimaan osuus on alle 60% maa-alasta (joillakin sijoittelualueilla nykyinen tonttimaan osuus maa-alasta on yli 60 %, mutta niillekin kokonaiskerrosalapotentiaali on laskettu oletuksella 60 % tonttimaata). Nykyisillä tonteilla tiivistämispotentiaali voisi toteutua tontin täydennysrakentamisen, rakennusten korottamisen tai purkavan täydennysrakentamisen kautta. Tehtyjen karkeiden tiivistämispotentiaalitarkastelujen pohjalta nähdään, että pääkaupunkiseudulla on kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden pohjalta arvioituna monilla alueilla paljon tiivistämispotentiaalia suhteessa nykyiseen rakennuskantaan ja kaavoitettuun tonttimaahan.

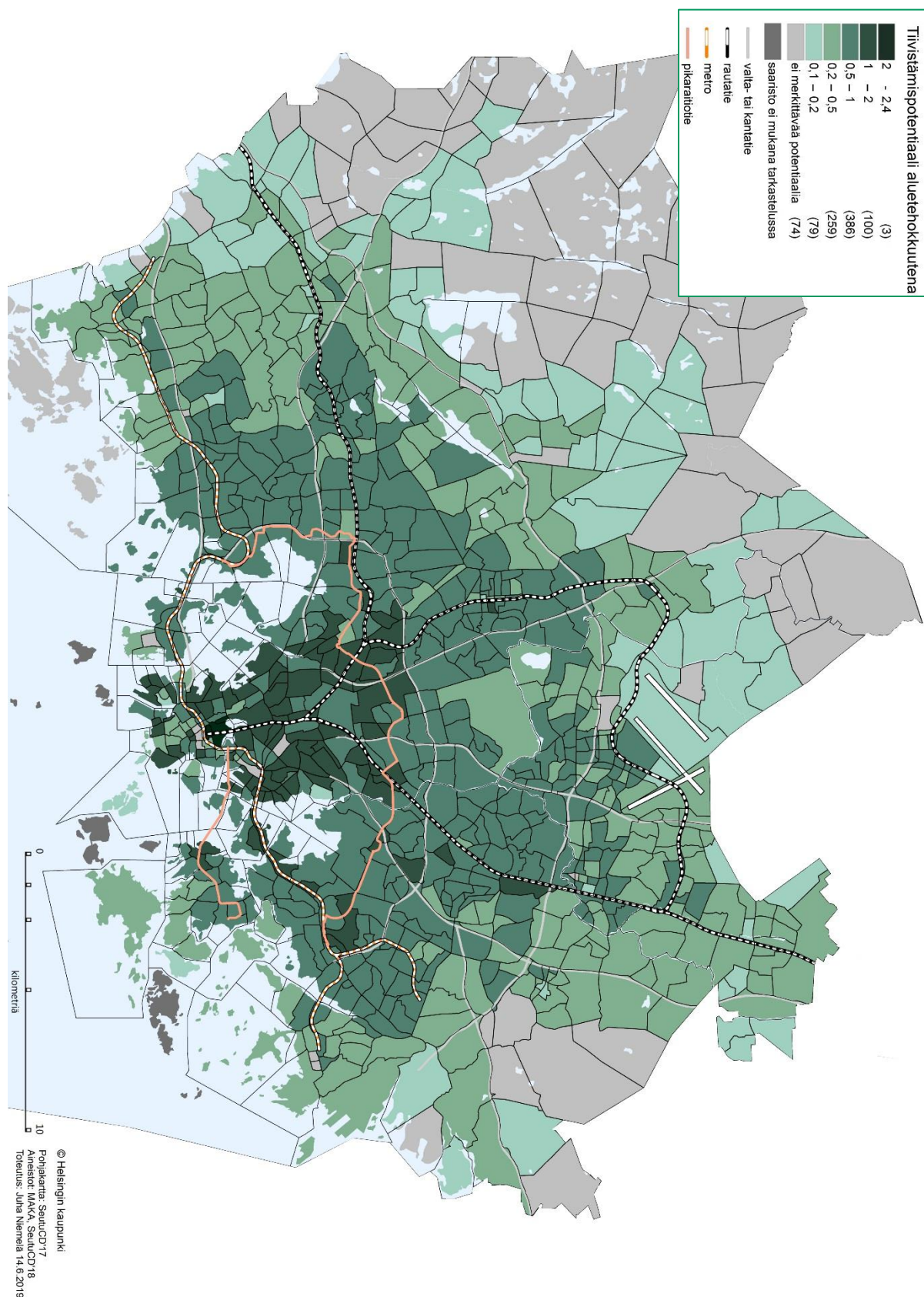
Kartta-analyysien mukaan suurimmat tiivistämispotentiaalit ovat kantakaupungin alueella sekä niiden alueiden lähistöllä, jossa tuleva Raide-Jokeri kohtaa raskaan raideliikenteen. Tämän lisäksi myös monilla muilla, erityisesti raskaaseen raideliikenteeseen tukeutuvilla alueilla olisi paljon tiivistämispotentiaalia. KUUMA-kunnissa tiivistämispotentiaali vaikuttaisi keskittyvän myös raskaan raideliikenteen vaikutuspiiriin erityisesti pääkaupunkiseudun lähialueille. Analyyseistä näkyy myös, kuinka MAL 2019 -työn skenaariossa VE3 uusien liikennehankkeiden parantama saavutettavuus lisää tiivistämispotentiaalia verrattuna skenaarioon VE0. Pääkaupunkiseudun parhaan saavutettavuuden alueilla tiivistämispotentiaalin arvioimiseen voi olla perusteltua käyttää 10% tehokkaimpiin tontteihin pohjautuvia arvioita potentiaalisesta maankäytön tehokkuudesta, minkä pohjalta arvioituna esimerkiksi Helsingin niemellä olisi huomattavasti tiivistämispotentiaalia.

Tuloksia tulkittaessa on kuitenkin huomioitava, että tehty analyysi on karkea arvio tiivistämispotentiaaleista, jonka tarkoituksena on auttaa tunnistamaan alueita, joissa voisi olla merkittävää tiivistämispotentiaalia. Tarkempi realistisen tiivistämispotentiaalin arviointi vaatisi tarkempia analyysejä alueittain. KUUMA-kuntien alueen tiivistämispotentiaaleja tulkittaessa on myös huomattava, että arviot saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytöstä pohjautuvat pääkaupunkiseudun nykyisten tonttien pohjalta tehtyjen mallien tulosten ekstrapolointiin, joten niihin liittyy enemmän epävarmuustekijöitä kuin pääkaupunkiseudun tuloksiin. Lisäksi käytetty saavutettavuusindikaattori ei huomioi Helsingin seudun

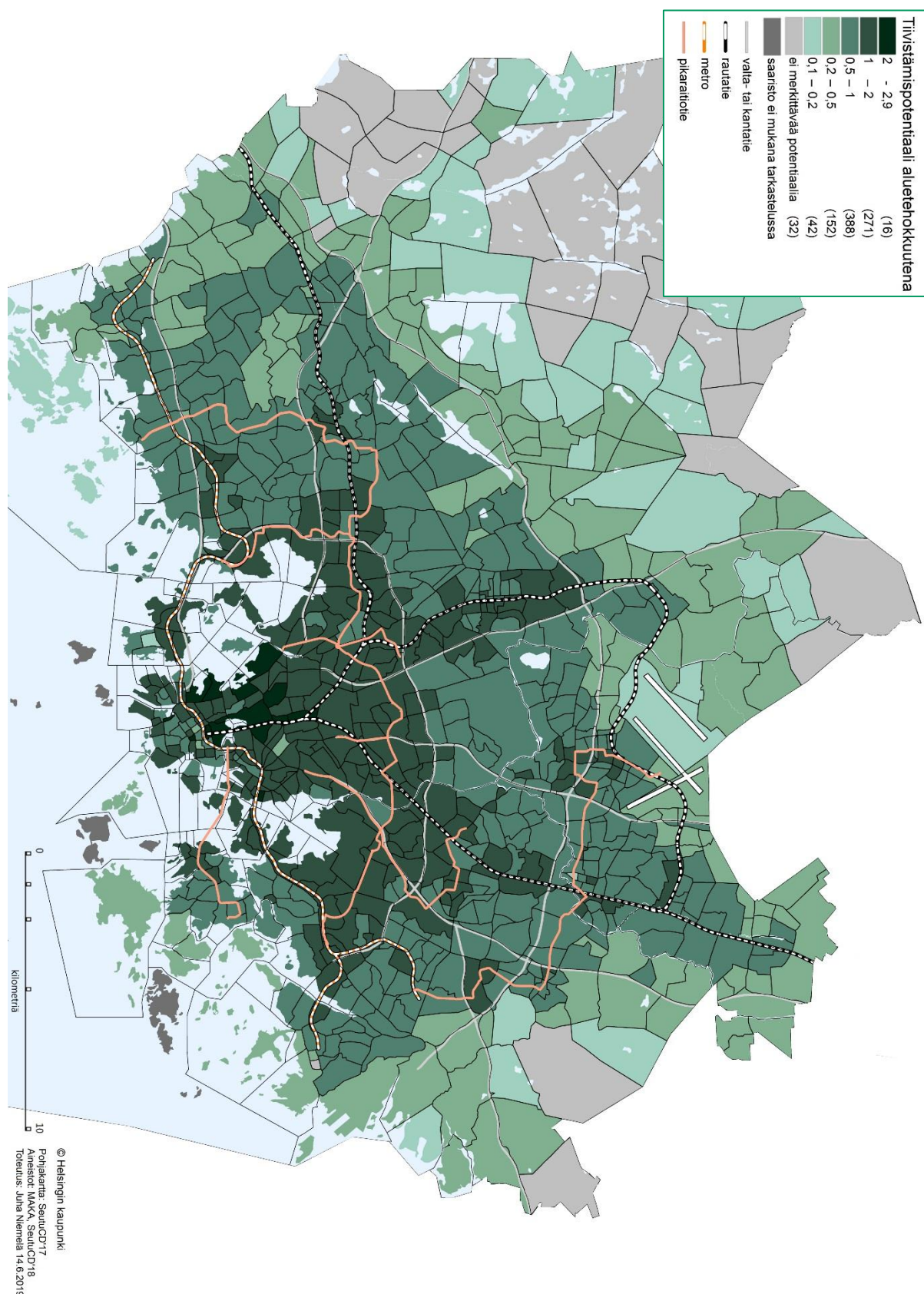
² Pääkaupunkiseudun kaikilla niillä sijoittelualueilla, joilla on nykyisin vähintään yksi kaavoitettu tontti, tonttimaan osuus oli vuoden 2017 lopun tilanteessa keskimäärin 45% maa-alasta. Jos valitaan näistä sijoittelualueista mediaania tehokkaammat sijoittelualueet tonttimaan osuuden mukaan, on niiden osalta keskimääräinen tonttimaan osuus maa-alasta noin 61%.

ulkopuolisten alueiden vaikutusta, mikä saattaa vaikuttaa tuloksiin aliarvioivasti erityisesti seudun reuna-alueilla.

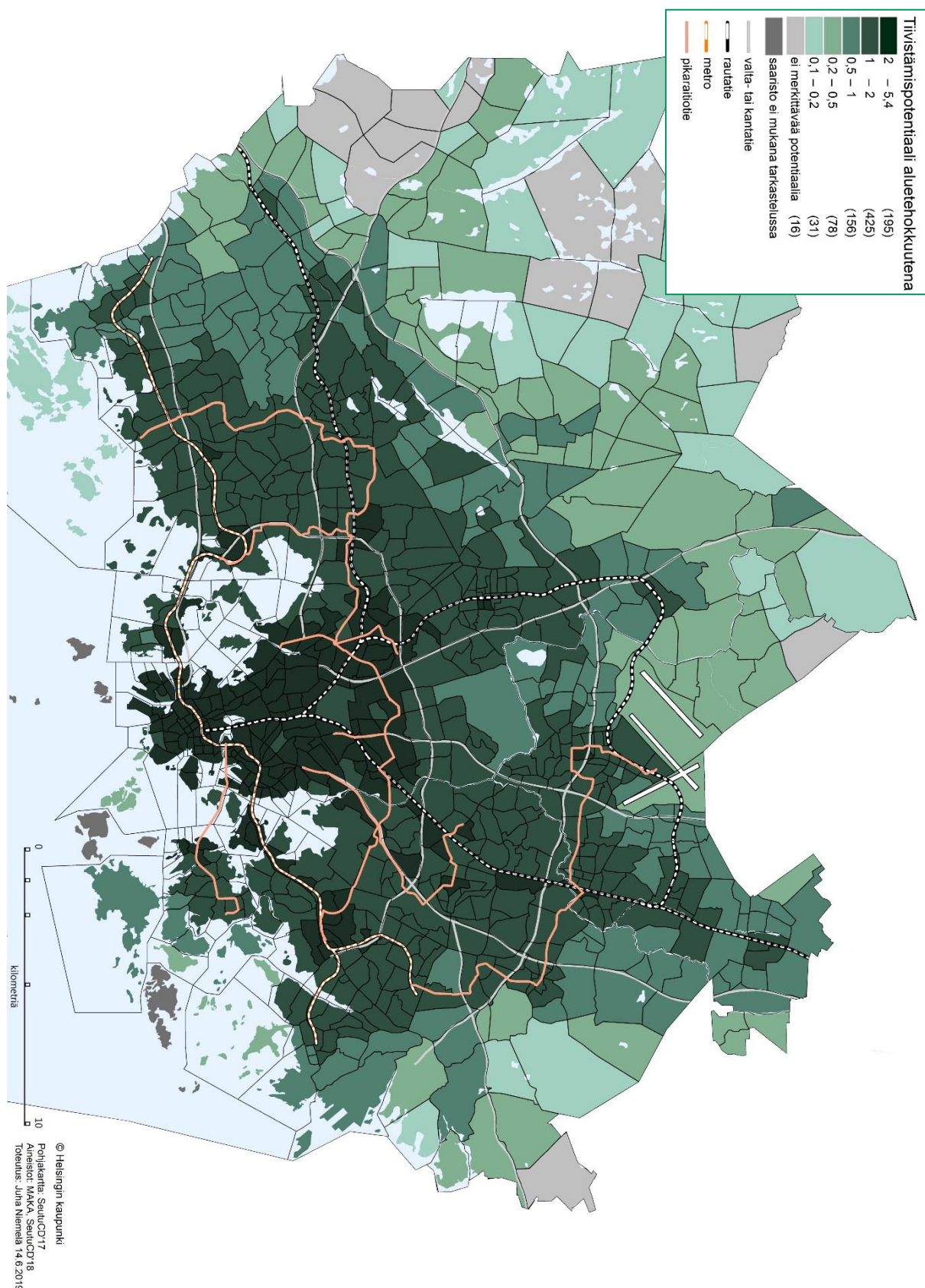
Tulosten tulkintaa liittyy myös yleisesti epävarmuustekijöitä ja rajoitteita. Arviot pohjautuvat pelkästään saavutettavuuteen eikä niissä ole huomioitu muita maankäytön kysyntään vaikuttavia tai rakentamisen tehokkuutta rajoittavia tekijöitä, kuten meren läheisyyttä, luontoarvoja, rakennus- ja kulttuurihistoriallisia arvoja tai esimerkiksi lentomelualueita. Esimerkiksi KUUMA-kunnissa monilla alueilla seudulliseen saavutettavuuteen pohjautuva arvio maankäytön kysynnästä ei välttämättä anna oikeanlaista kuvaa alueiden todellisesta maankäytön kysynnästä, joka voi pohjautua alueiden muihin paikallisiin vetovoimatekijöihin. Arviot saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta on laadittu pohjautuen AK-, AP-, C- ja K-kaavamerkintöihin, kun taas alueiden nykyiseen maankäyttöön sisältyy myös muiden käyttötarkoitusten rakennuksia. Koko seudun kattavassa tarkastelussa tiivistämispotentiaalien laskennassa on jouduttu tekemään oletus tonttimaan osuudesta kaikesta maa-alasta (60%), eikä laskennassa ole siten huomioitu esim. luonnonsuojelualueiden tai merkittävän liikenneinfran vaatimaa maa-alaa. Arviossa ei ole myöskään huomioitu esim. alueiden perustamisolosuhteita tai tiivistämisen mahdollisesti vaatimaa nykyisten rakennusten purkamista. Arvioissa myös verrataan maankäytön tehokkuuspotentiaalia vuoden 2018 tai 2017 lopun rakennettuun kerrosalaan, eli analyysi ei huomioi uusia kaavoja, jotka eivät ole vielä rakentuneet. Analyysin tavoitteena onkin havainnollistaa karkeasti, millä alueilla vaikuttaisi olevan eniten mahdollista tiivistämispotentiaalia suhteessa nykyiseen rakennuskantaan.



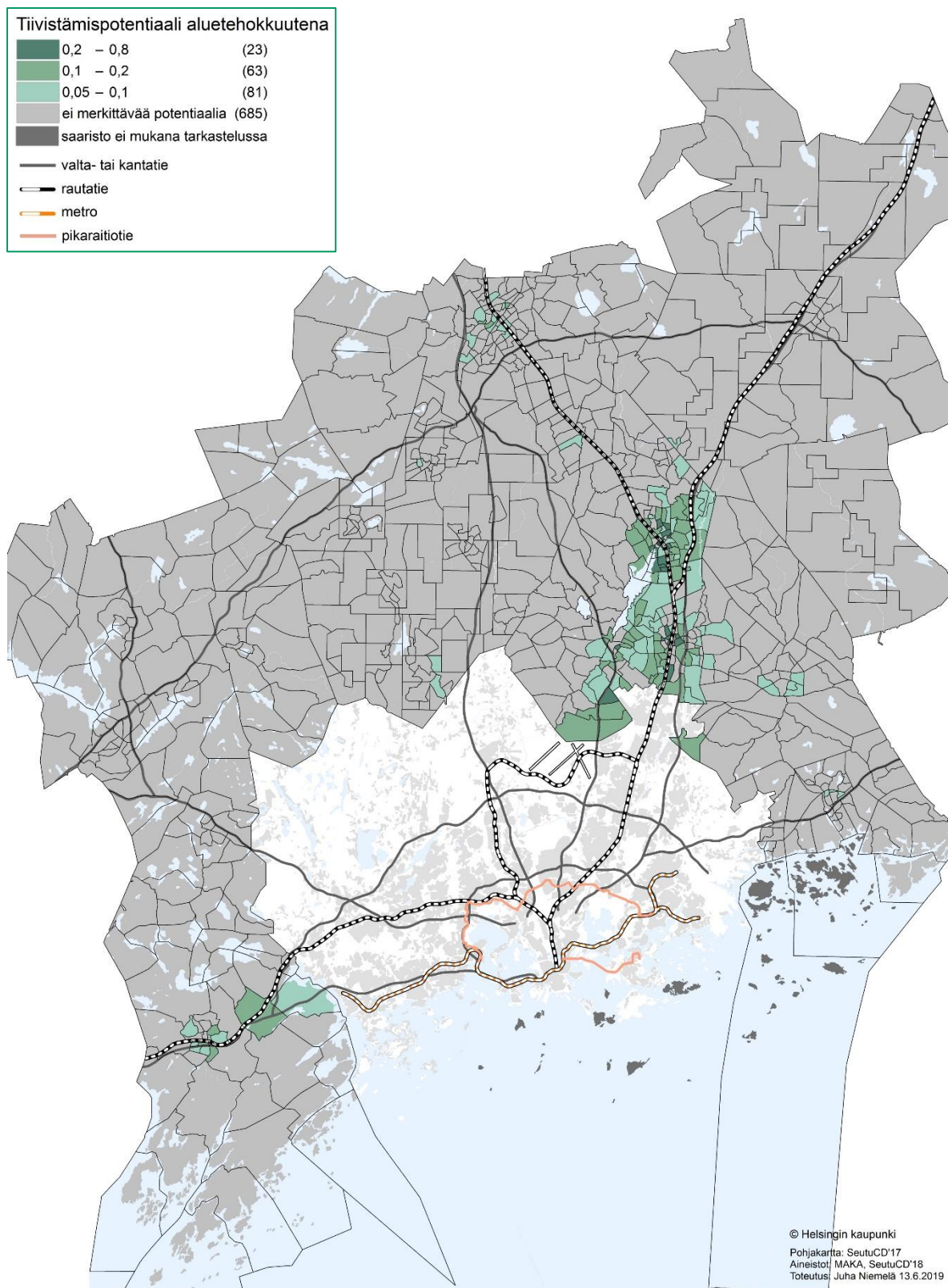
Kartta 9. Rakentamisen tiivistämispotentiaali aluetehokkuutena sijoittelualueittain pääkaupunkiseudulla. 2030 VE0-liikenneverkko, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla



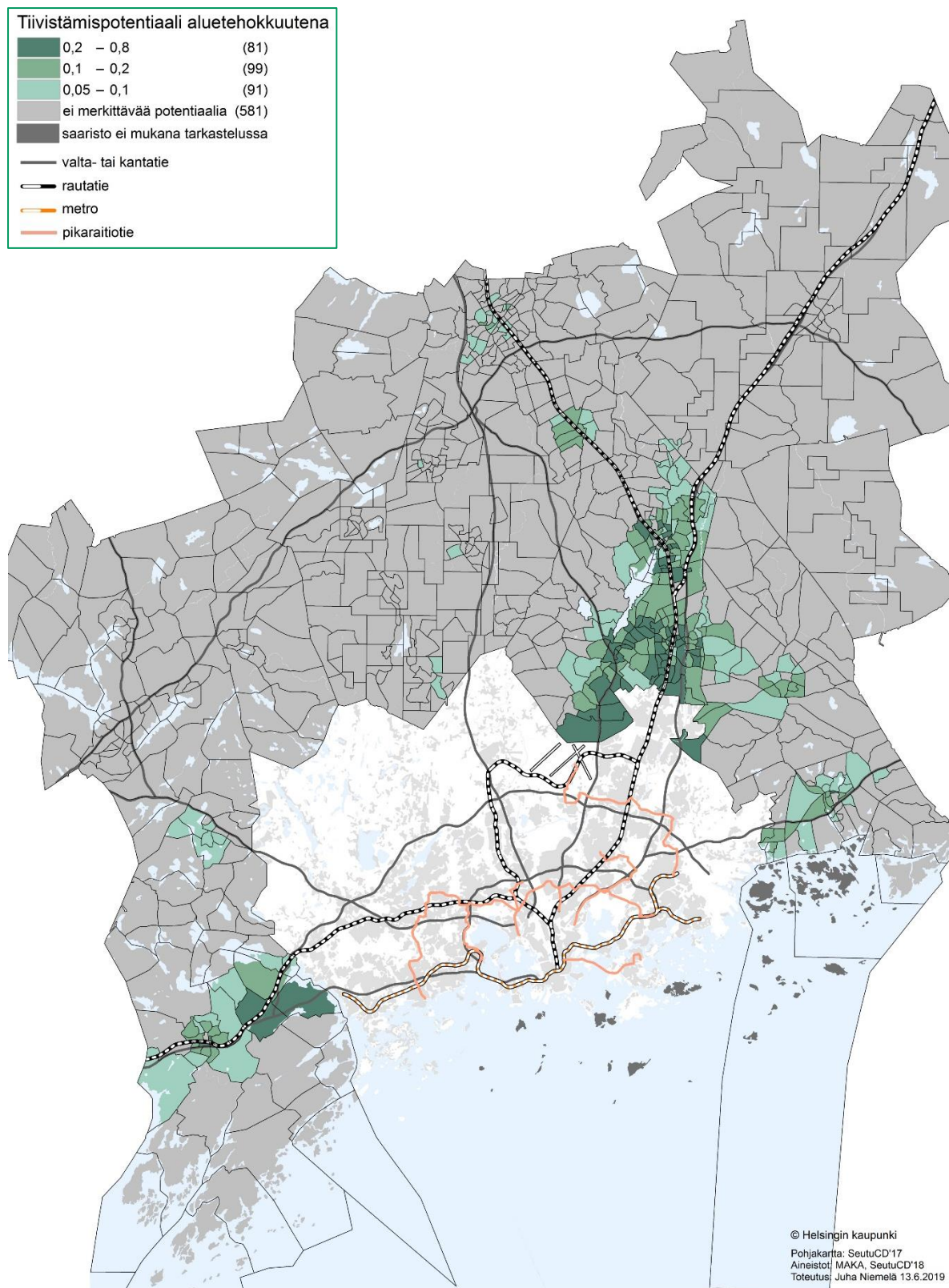
Kartta 10. Rakentamisen tiivistämispotentiaali aluetehokkuutena sijoittelualueittain pääkaupunkiseudulla. 2030 VE3-liikenneverkko, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla



Kartta 11. Rakentamisen tiivistämispotentiaali aluetehokkuutena sijoittelualueittain pääkaupunkiseudulla. 2030 VE3-liikenneverkko, 10% tehokkaimpien tonttien mallilla



Kartta 12. Rakentamisen tiivistämispotentiaali aluetehokkuutena sijoittelualueittain KUUMA-kunnissa. 2030 VE0-liikenneverkko, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla



Kartta 13. Rakentamisen tiivistämispotentiaali aluetehokkuutena sijoittelualueittain KUUMA-kunnissa. 2030 VE3-liikenneverkko, 25% tehokkaimpien tonttien mallilla

6 Projektin johtopäätökset ja jatkosuositukset

MALPAKKA 2.0 -projekti kokoaa yhteen ajantasaista tutkimustietoa ja kehittää eteenpäin työkaluja ja aineistoja maankäytön ja liikenteen yhteissuunnittelun tueksi Helsingin seudulla. Projektin kirjallisuuskatsauksessa on käyty läpi uusimpia liikenteen ja maankäytön välisen yhteyden empiirisen tutkimuksen tuloksia sekä liikenne-maankäyttö-vuorovaikutusmalleihin (LUTI-mallit) liittyviä näkemyksiä keskeisistä tieteellisistä julkaisuista. Hankkeessa on hyödynnetty HELMET-liikenne-ennustemallin saavutettavuuden hyötyä kuvaavia logsum-saavutettavuusindikaattoreita empiirisissä hinta- ja maankäyttömalleissa, joissa asuntojen hintoja ja maankäytön tehokkuutta selitetään saavutettavuudella. Laadittujen analyysien perusteella HELMET-mallin logsumeista kestävien kulkumuotojen (joukkoliikenne, pyöräily) saavutettavuus soveltuu hyvin maankäytön tehokkuuden selittämiseen.

Empiiristen hinta- ja maankäyttömallien lisäksi hankkeen keskeinen lopputuote on laaditut karkeat arviot maankäytön tehokkuuspotentiaalista eri alueilla Helsingin seudulla. Laaditut arviot perustuvat kestävien kulkumuotojen saavutettavuuteen, eikä niissä ole huomioitu muita maankäytön kysyntään vaikuttavia tai rakentamista rajoittavia tekijöitä. Aikaisempaan MALPAKKA-hankkeeseen (Laakso et al., 2016c) verrattuna tarkasteluja laajennettiin kattamaan koko Helsingin seutu sekä aikaperspektiivin osalta myös tulevaisuuden skenaarioihin.

Laadittuja tonttitehokkuusarvioita voidaan käyttää lähtötietona maankäytön suunnittelussa esimerkiksi tunnistamaan tiivistämispotentiaaleja, joita nykyinen liikennejärjestelmä mahdollistaa, sekä uusien liikennejärjestelmäinvestointien maankäyttöpotentiaalien arviointiin. Projektissa tuotettuja aineistoja ja malleja voidaan myös hyödyntää esimerkiksi liikennehankkeiden kaupunkitaloudellisten vaikutusten arvioinneissa. Arvioita kestävien kulkumuotojen mahdollistamasta rakentamisen tehokkuudesta olisi hyödyllistä soveltaa seudullisessa MAL-suunnittelussa sekä Helsingin seudun kuntien maankäytön ja liikenteen suunnittelussa, jotta voitaisiin paremmin tunnistaa ja hyödyntää liikennejärjestelmän tarjoamia rakentamisen mahdollisuuksia ja tiivistämispotentiaaleja. Laaditun karkean analyysin perusteella Helsingin seudulla on huomattavasti tiivistämispotentiaalia erityisesti raideliikenteen vaikutusalueilla.

Kirjallisuuskatsauksen pohjalta vahvistui käsitys siitä, että maailmalla liikenteen ja maankäytön vuorovaikutusmallit (LUTI-mallit) on nähty hyödyllisiksi suunnitteluprosesseja tukeviksi työkaluiksi (Kii et al., 2016; Soria-Lara & Aguilera-Benavente, 2016), mutta niiden käyttöä voitaisiin yhä laajentaa. Olisikin tarkoituksenmukaista pohtia mallien kehittämistä myös suomalaisen viitekehykseen sekä luoda tarvittavia instituutioita niiden kehittämiseksi ja soveltamiseksi. MALPAKKA 2.0 -projektissa laadittuja maankäytön tehokkuusarvioita voidaan pitää esiasteena matkalla kohti varsinaisia LUTI-malleja. Erona varsinaisiin LUTI-malleihin on takaisinkytkennän puute maankäyttöarvioista liikenne-ennustemalliin.

Aikaisempiin empiirisiin tuloksiin sekä MALPAKKA 2.0 -projektin malleihin pohjautuen, Helsingin seudun kontekstissa on vahvaa näyttöä siitä, että saavutettavuus ohjaa kysyntää ja vaikuttaa asuntojen hintoihin. Kansainvälisiin tutkimustuloksiin nojaten voidaan olettaa, että vaikutus toimitilojen hintoihin on vähintäänkin yhtä suuri. Helsingin seudulla olisi kuitenkin hyvä tutkia tarkemmin myös saavutettavuuden ja toimitilojen hintojen tai vuokrien suhteen voimakkuutta. Tämä vaatisi kuitenkin kattavan aineiston toimitilamarkkinoiden hinnoista. Hintainformaation kautta saatava näyttö kysynnästä saavutettavuudelle toimii myös näyttönä maankäytön kysynnälle eli sitä voidaan käyttää tukena maankäytön potentiaalien tunnistamiseen. Viimeaikaisissa hintatutkimuksissa vaikuttaa korostuvan erityisesti joukkoliikenteen rooli, mikä on perusteltua tiivistyvien kaupunkiseutujen kontekstissa, missä joukkoliikenteen merkitys ja kilpailukyky korostuvat.

Maankäytön tehokkuuksien empiiriset tutkimukset ovat monesti harmittavasti mittakaavaltaan hintatutkimuksia suurempia keskittyen karkeammalla tasolla kaupunkiseutujen ja

laajempienkin alueiden maankäyttöön. Niiden pohjalta voidaan kuitenkin vetää samansuuntaisia johtopäätöksiä kuin liikennejärjestelmän ja hintojen suhteesta. Pääkaupunkiseudulla etuna on saatavilla oleva laaja tonttiaineisto, joka mahdollistaa tarkempien analyysien toteuttamisen. Jatkossa olisi hyödyllistä, jos myös KUUMA-kuntien alueelta koottaisiin kaavoitetuilta alueilta tonttikohtaista tietoa. Tärkeä yksittäinen havainto maankäyttömalleihin liittyen on tunnistaa, että sekä liikennejärjestelmä että maankäyttö voivat olla satureituneita tai vajaasti hyödynnettyjä, mikä luo mahdollisuuksia ja tarpeita liikennejärjestelmän tai maankäytön kehittämiseksi. Helsingin seudun kontekstissa tunnistetaan todennäköisesti paremmin liikennejärjestelmän kehitystarpeet vakiintuneen liikennemallintamisen kautta, mutta maankäytön vajaakäyttö hyvin saavutettavilla alueilla jää pienemmälle huomiolle. Näiden ilmiöiden tunnistaminen olisi hyödyllistä myös käytännön maankäytön ja liikenteen suunnitteluprosesseja silmällä pitäen.

Helsingin seudulla vahvuutena liikenteen ja maankäytön vuorovaikutuksen analysoinnissa on kehittynyt liikenne-ennustemalli, HELMET, joka mahdollistaa myös tulevaisuuden skenaarioiden analysoinnin liikennejärjestelmän näkökulmasta. Tulevaisuuden yhtenä mahdollisuutena olisi jossain vaiheessa siirtyä kohti aktiviteettipohjaista liikennemallia, jossa päästäisiin paremmin käsiksi matkoihin yksilötasolla, mikä voisi mahdollistaa tarkemmat ennusteet matkaryhmittäin sekä hienommalla aluetasolla. Aktiviteettipohjainen liikennemalli vaatisi kuitenkin riittäviä valmiuksia käytettävissä olevien aineistojen ja laskentaprosessien suhteen. Lisäksi saavutettavuusindikaattoreiden muodostaminen MALPAKKA 2.0 -projektin kaltaisten analyysien tarpeisiin saattaisi aktiviteettipohjaisessa mallissa olla kuitenkin hankalampaa kuin keskiarvoihin pohjautuvassa mallissa.

Myös nykyistä HELMET-mallia ja siihen sisältyviä saavutettavuuden hyötyä kuvaavia logsumeja voisi hyödyntää nykyistä enemmän erilaisissa analyyseissä. Logsumien soveltamista todennäköisesti helpottaisi, jos muodostettaisiin kokonaisvaltainen diskreettivalintateorian viitekehys saavutettavuuden ja maankäytön yhteydestä. MALPAKKA 2.0 -projektissa logsumeihin liittyen tunnistettiin myös joitakin haasteita. Projektin analyysien kaltaisiin tarkoituksiin soveltuisi paremmin henkilöautosaavutettavuutta kuvaava indikaattori, johon autonomistusasteella ei olisi vaikutusta. Lisäksi liikenne-ennustejärjestelmää olisi hyvä jatkokehittää, niin että se huomioisi seudun ulkopuolisten kohteiden merkityksen. Tämä on tärkeää erityisesti Helsingin seudun reuna-alueilla.

Haasteena Helsingin seudulla on maankäytön potentiaalien mallintaminen, johon MALPAKKA 2.0 -projektissa on sovellettu yhtä mahdollista lähestymistapaa. Helsingin seudulla on aikaisemmin hyödynnetty liikennejärjestelmän ja maankäytön vaikutusten arvioinneissa empiiristä tutkimustietoa saavutettavuuden muutoksen vaikutuksesta hintojen muutokseen, mutta ei niinkään maankäytön potentiaalien arvioimiseen. Projektista saatujen kokemusten perusteella HELMET-liikenne-ennustemalli ja logsum soveltuvat tietyn varauksin hyvin maankäytön potentiaalien tutkimiseen ja analysointiin. Projektissa tuotettua aineistoa ja malleja on mahdollista hyödyntää sekä seudullisessa että kuntien maankäytön ja liikenteen yhteissuunnittelussa ja vaikutusten arvioinneissa.

Nykyistä HELMET-mallia, joka sisältää jo valmiiksi suppean sosiodemografisen mallin, voisi hyödyntää myös LUTI-mallin rakentamisessa. Varsinaisen maankäyttömallin rakentaminen vaatisi kuitenkin todennäköisesti huomattavia panostuksia erityisesti aineistoihin ja empiiriseen mallinnukseen. Kevyempi etenemistapa maankäytön potentiaalien analysoimiseen on hyödyntää HELMET-mallista saatavia kattavia saavutettavuusaineistoja lähtötietona maankäyttömallin mukaisten arviointien toteuttamisessa ilman LUTI-mallien mukaista takaisinkytkentää kuten MALPAKKA 2.0 -projektissa on tehty.

Kaikkia LUTI-mallin kehittämisen osa-alueita varten tarvitaan kuitenkin merkittäviä panostuksia tutkimukseen ja kehittämiseen, jotta saataisiin estimoitua mm. luotettavia joustoja, joita voitaisiin soveltaa maankäyttö- ja LUTI-malleihin sekä mm. kaupunkitaloudellisiin arviointeihin. Tämä tarkoittaa paitsi akateemisen tutkimuksen

kehittämistä, mutta myös olemassa olevien instituutioiden valmiuksien parantamista sekä tiedonkeruun organisoimista. Liikenteen ja maankäytön mallintaminen vaatii huolellista ekonometrista tutkimusta sekä pitkäjänteisen kehittämistyön yhteistyössä mallien soveltajien ja akateemisen tutkimuksen välillä. Pitkäjänteisen ja kunnianhimoisen tutkimusohjelman käynnistäminen aihepiiriin ympärille olisikin välttämätön ehto suomalaisen LUTI-mallin kehittämiseksi. Hyvää tämän suuntaista kehitystä MALPAKKA 2.0 -projektin lisäksi on käynnissä oleva LVM:n ”Liikennehankkeiden dynaamiset vaikutukset” -hanke, jossa tehdään laajempaa empiiristä tutkimusta liikennejärjestelmän vaikutuksista kiinteistöjen hintoihin, ja kartoitetaan aineistopuutteita ja aineistojen kehittämismahdollisuuksia.

7 Lähteet

Acheampong, R. & Silva, E., 2015. *“Land use-transport interaction modeling: A review of the literature and future research directions”*. Journal of Transport and Land use vol. 8 (3).

Ahlfeldt, G., 2011. *“If Alonso was right: modeling accessibility and explaining the residential land gradient”*. Journal of Regional Science vol. 51 (2).

Alonso, W., 1964. *“Location and land use: toward a general theory of land rent”*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.

Barr, J. & Cohen, J., 2014. *“The floor area ratio gradient: New York City, 1890-2009”*. Regional Science and Urban Economics vol. 48.

Bertaud, A. 2015. *“The Spatial Distribution of Land Prices and Densities: The Models Developed by Economists”*. Working paper. Marron Institute of Urban Management.

Boschmann, E. E., 2011. *“Job access, location decision, and the working poor: A qualitative study in the Columbus, Ohio, metropolitan area”*. Geoforum 42.

Brueckner J., 2011. *“Lectures on Urban Economics”*. MIT Press.

Clay, M. & Valdez, A., 2017. *“The Bid-rent Land Use Model of the simple, efficient, elegant, and effective model of land use and transportation”*. Transportation Planning and Technology vol. 40.

Clay, M.J. & Johnston, R.A., 2006. *“Multivariate uncertainty analysis of an integrated land use and transportation model: MEPLAN”*. Transportation Research Part D: Transport and Environment vol. 11 (3).

Cohen, J. & Brown, M., 2017. *“Does a new rail rapid transit line announcement affect various commercial property prices differently?”*. Regional Science and Urban Economics vol. 66.

Diao, Mi., Leonard, D. & Foo Sing, T., 2017. *“Spatial-difference-in-differences models for impact of new mass rapid transit line on private housing values”*. Regional Science and Urban Economics vol. 67.

de la Barra, T., 1989. *“Integrated Land Use and Transport Modeling: Decision Chains and Hierarchies”*. Cambridge University Press.

Donnelly, R., 2018. *“Oregon's transportation and land use model integration program: A retrospective”*. Journal of Transport and Land Use vol. 11 (1).

Farooq, B., Miller, E. & Haider, M., 2013. "A multidimensional decisions modeling framework for built space supply". *Journal of Transport and Land Use* vol. 6 (3).

Farooq, B. & Miller, E. J., 2012. "Towards integrated land use and transportation: A dynamic disequilibrium based microsimulation framework for public space markets". *Transportation Research Part A* vol. 46.

Fesselmeyer, E., Ying Sky Seah, K. & Ci Yi Kwok, J., 2018. "The effect of localized density on housing prices in Singapore". *Regional Science and Urban Economics* vol. 68.

Fujita, M., 1989. "Urban Economic Theory: Land Use and City Size". Cambridge University Press.

Haapamäki, T., & Somerpalo, S., 2018. "Maankäyttö hankearvioinnissa". Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 01/2018.

Hansen, W. G., 1959. "How accessibility shapes land use". *Journal of the American Institute of Planners* 25 (2).

Harjunen, O., 2018. "Metro Investment and the Housing Market Anticipation Effect". City of Helsinki Urban Research and Statistics Working Papers 2018:2.

Holmes, T. & Holger, S., 2015. "Structural Estimation in Urban Economics". *Handbook of Regional and Urban Economics* vol 5A.

HSL Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä, 2019. "MAL 2019: Helsingin seudun maankäyttö, asuminen ja liikenne".

HSL Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä, 2018. "MAL 2019 vaikutusten arviointiselostusluonnos 30.10.2018".

HSL Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä, 2016a. "Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän kysyntämallit 2014". Julkaisuja 21.

HSL Helsingin seudun liikenne -kuntayhtymä, 2016b. "Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän tarjontamallit 2014". Julkaisuja 22.

Kasraian, D., Maat, K., Stead, D. & van Wee, B., 2016. "Long-term impacts of transport infrastructure networks on land-use change: an international review of empirical studies". *Transport Reviews* vol 36 (6).

Kii, M., Nakanishi, H., Nakamura, K. & Doi, K., 2016. "Transportation and spatial development: An overview and a future direction". *Transport Policy* vol. 49.

Kotavaara, O., Antikainen, H. & Rusanen, J., 2011. "Population change and accessibility by road and rail networks: GIS and statistical approach to Finland 1970-2007". *Journal of Transport Geography* vol. 19.

Laakso, S., Koistiainen, E. & Metsäranta, H., 2016a. "Liikennehankkeiden laajempien taloudellisten vaikutusten arviointi", esiselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 28/2016.

Laakso, S., Koistiainen, E. & Metsäranta, H., 2016b. "Liikennehankkeiden laajemmat taloudelliset vaikutukset". *Kansantaloudellinen aikakauskirja* vol. 112 (4).

Laakso, S., Koponen, V. & Moilanen, P. 2016c. *“Maankäyttö, liikenne ja asuntojen hinnat - Paikkatietoaineistot ja mallityökalut - MALPAKKA”*. Helsingin seudun liikenne.

Laakso, S., 2015. *“Maankäyttö, liikenne ja asuntojen hinnat - Saavutettavuuden ja yhdyskuntarakenteen vaikutuksista asuntojen hintaan ja maankäytön tehokkuuteen”*. Helsingin seudun liikenne & Helsingin seudun MAL-neuvottelukunta.

Laakso S. & Loikkanen H., 2004. *“Kaupunkitalous - Johdatus kaupungistumiseen, kaupunkien maankäyttöön sekä yritysten ja kotitalouksien sijoittumiseen”*. Gaudeamus, Helsinki.

Laakso, S., 1997. *“Urban housing prices and the demand for housing characteristics - study on housing prices and the willingness to pay for housing characteristics and local public goods in the Helsinki Metropolitan Area”*. ETLA, The Research Institute of the Finnish Economy.

Lee, R. & Sener, I., 2017. *“The effect of light rail transit on land use in a city without zoning”*. The Journal of Transport and Land Use vol. 10 (1).

Lee, B. H. Y. & Waddell, P., 2010. *“Residential mobility and location choice: A nested logit model with sampling of alternatives”*. Transportation vol. 37.

Li, Z., Chen, Y., Wang, Y., Lam, W. & Wong, S., 2013. *“Optimal density of radial major roads in a two-dimensional monocentric city with endogenous residential distribution and housing prices”*. Regional Science and Urban Economics vol. 43.

Loikkanen, H. & Laakso, S., 2016. *“Tiivistävä kaupunkirakenne - tuottavuuden kasvun perusta”*. Tehokkaan tuotannon tutkimussäätiö.

Lowry, I. S., 1964. *“A Model of Metropolis. Santa Monica, CA”*. RAND Corporation.

Lönnqvist, H., 2015. *“On the effects of urban natural amenities, architectural quality and accessibility to workplaces on housing prices”*. City of Helsinki Urban Facts 2015:5.

McFadden, D., 1973. *“Conditional logit analysis of qualitative choice behaviour”*. Frontiers of Econometrics. Academic Press.

Mohammad, S., Melo, P., 2017. *“The effect of the Dubai Metro on the value of residential and commercial properties”*. Journal of Transport and Land Use vol. 10 (1).

Mohammad, S., Graham, D., Melo, P. & Anderson, R., 2013. *“A meta-analysis of the impact of rail projects on land and property values”*. Transportation Research Part A vol. 50.

Ooi, J. & Le, T., 2013. *“The spillover effects of infill developments on local housing prices”*. Regional Science and Urban Economics vol. 43.

Osland, L. & Thorsen, I., 2008. *“Effects on housing prices of urban attraction and labor-market accessibility”*. Environment and Planning A vol. 40.

Sadayuki, T., 2018. *“Measuring the spatial effect of multiple sites: An application to housing rent and public transportation in Tokyo, Japan”*. Regional Science and Urban Economics vol. 70.

SeutuCD'17. *“Ohjekirja”*. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.

SeutuCD'17. *“Tietokuvaukset”*. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä.

Soria-Lara, J.A. & Aguilera-Benavente, F. & Arranz-López, A., 2016. "*Integrating land use and transport practice through spatial metrics*". Transport Research Part A vol. 91.

Su, H., Wu, J.H., Tan, Y., Bao, Y., Song, B. & He, X., 2014. "*A land use and transportation integration method for land use allocation and transportation strategies in China*". Transportation Research Part A vol. 69.

Thünen, J. Heinrich von., 1826, "*Der isolirte Staat in Beziehung auf Landwirthschaft und Nationalökonomie, oder, Untersuchungen über den Einfluss, den die Getreidepreise, der Reichthum des Bodens und die Abgaben auf den Ackerbau ausüben*". Hamburg: F. Perthes.

Wagner, G., Komarek, T. & Martin, J., 2017. "*Is the light rail "Tide" lifting property values? Evidence from Hampton Roads, VA*". Regional Science and Urban Economics vol. 65.

Wegener, M., 2004. "*Overview of land-use transport models*". Handbook of Transport Geography and Spatial Systems 5.

Wrede, M., 2015. "*A continuous spatial choice logit model of a polycentric city*". Regional Science and Urban Economics vol. 53.

Xu, Y., Zhang, Q. & Zheng, S., 2015. "*The rising demand for subway after private driving restriction: Evidence from Beijing's housing market*". Regional Science and Urban Economics vol. 54.

Liite A - Saavutettavuusindikaattoreiden (logsum) funktiot ja tunnuslukuja

MALPAKKA 2.0 -projektissa on hyödynnetty saavutettavuusindikaattoreina HELMET 3.0 -liikennemallin hyötyfunktioiden pohjalta laskettuja logsumeja. Logsumit kuvaavat matemaattisesti liikennejärjestelmän saavutettavuudesta saatavaa hyötyä.

HELMET 3.0 -mallissa on kahdenlaisia logsumeja: 1. kulkutapavalintamallin logsumit ja 2. suuntautumismallin logsumit:

1. Kulkutapavalintamallin logsum kuvaa lähtöpaikan näkökulmasta yhden alueen saavutettavuudesta saatavaa hyötyä eri kulkumuodoilla. Sen laskennassa on huomioitu eri kulkutapojen valinnasta saavutettava hyöty yhdelle kohdealueelle. Esimerkiksi kulkutapavalintamallin logsum työmatkoille on matemaattiselta muodoltaan seuraava:

$\logsum_m = \ln \sum e^{U_k}$, jossa U_k on kulkutavan k hyötyfunktio. Esimerkiksi henkilöauton hyötyfunktio alueelle i on muodoltaan seuraava:

$$U_{HA,i} = \beta_1 \times matka - aika + \beta_2 \times \ln(ajokustannus) + \beta_3 \times pysäköintikustannus + \beta_{HA}$$

$\beta_1 \dots \beta_3$ ovat muuttujien kertoimet, jotka suhteuttavat matka-ajan ja kustannukset hyötyarvoltaan samanarvoisiksi, kerroin β_{HA} on kulkutapakohtainen vakio. HELMET 3.0 -mallissa on eri kulkutavoille omat vastaavat hyötyfunktiot.

2. Suuntautumismallin logsum kuvaa lähtöpaikan näkökulmasta kaikkien alueiden saavutettavuudesta saatavaa hyötyä eri kulkumuodoilla. Sen laskennassa on huomioitu eri kulkutapojen valinnasta saavutettavan hyödyn lisäksi matkakohteen valinnasta saavutettava hyöty, mitä mitataan esimerkiksi kohteen työpaikka- ja opiskelupaikkamäärällä. Esimerkiksi suuntautumismallin logsum työ- ja opiskelumatkoille on matemaattiselta muodoltaan seuraava:

$$\logsum_d = \ln \sum e^{U_s} \text{ jossa } U_{s,i} = \beta_1 \logsum_m + \ln(\text{työpaikat} + \beta_2 * \text{oppilaspaikat})$$

$U_{s,i}$ on suuntautumismallin hyötyfunktio alueelle i , $\logsum_m$ on kulkutapavalintamallin logsum työ- ja opiskelumatkoille ja β_1 sekä β_2 ovat muuttujien kertoimet.

Tarkempi mallien kuvaus löytyy esimerkiksi HSL:n julkaisusta ”Helsingin seudun työssäkäyntialueen liikenne-ennustejärjestelmän kysyntämallit 2014”. (käsittelee aiempaa liikenne-ennustemallia HELMET 2.1, HELMET 3.0:n osalta vastaava julkaisu on työn alla.)

Projektin käytössä olleiden logsumien sijoittelualuekohtaisten arvojen vaihteluvälit sekä keskiarvot on kuvattu indikaattoreittain taulukossa 6. Matkaryhmät MR1, MR3 ja MR4 sisältävät keskiarvot on laskettu painottamalla kutakin matkaryhmää niiden tuotoksen suhteessa (kaikkien sijoittelualueiden tuotoksien keskiarvot). Logsumien lukuarvot kuvaavat saavutettavuudesta saatavaa hyötyä, mutta ne ovat laskennallisia eikä niillä ole yksikköä. Ne soveltuvat kuitenkin alueiden välisten erojen tutkimiseen.

Hinta- ja maankäyttömalleja varten kaikista logsumeista on otettu luonnollinen logaritmi. Keskustasaavutettavuuden logsumit on muutettu positiivisiksi lisäämällä niiden arvoihin vakio 20, jotta logaritointi on mahdollista. Logsumeihin voidaan lisätä vakio, koska niiden arvoilla ei ole tulkintaa suhteessa nollassa. Taulukossa on esitetty keskustasaavutettavuuden logsumien arvot ennen vakion lisäämistä.

Saavutettavuus- indikaattori (logsum)	2016		2030 VE0		2030 VE3	
	min-max	keskiarvo	min-max	keskiarvo	min-max	keskiarvo
logsum_MR1	9,2 – 13,0	11,3	9,3 – 13,1	11,4	9,4 – 13,1	11,5
logsum_MR3	8,8 – 16,3	12,7	9,0 – 16,5	12,8	8,8 – 16,0	12,6
logsum_MR4	8,8 – 16,4	12,8	9,0 – 16,5	12,8	8,9 – 16,0	12,7
logsum_keskiarvo	9,0 – 15,1	12,2	9,2 – 15,2	12,3	9,1 – 14,9	12,2
logsum_kest_MR1	3,2 – 12,5	9,8	3,4 – 12,6	10,0	3,4 – 12,7	10,2
logsum_kest_MR3	1,1 – 13,2	8,8	1,1 – 13,0	8,9	1,1 – 13,3	9,3
logsum_kest_MR4	1,4 – 13,3	8,9	1,4 – 13,1	9,0	1,4 – 13,4	9,4
logsum_kest_keskiarvo	2,3 – 12,9	9,2	2,3 – 12,9	9,4	2,3 – 13,1	9,7
logsum_auto_MR1	8,9 – 12,8	10,8	8,9 – 12,9	10,9	9,2 – 12,9	10,9
logsum_auto_MR3	8,6 – 16,2	12,3	8,8 – 16,4	12,4	8,6 – 15,9	12,0
logsum_auto_MR4	8,6 – 16,3	12,4	8,9 – 16,5	12,5	8,7 – 16,0	12,1
logsum_auto_keskiarvo	8,8 – 15,0	11,8	9,0 – 15,1	11,9	8,9 – 14,8	11,6
logsum(101)_MR1	-7,6 – 0,9	-3,2	-7,8 – 0,9	-3,3	-7,7 – 0,9	-3,1
logsum(101)_MR3	-8,3 – 0,1	-3,8	-8,3 – 0,0	-3,8	-8,4 – 0,1	-3,6
logsum(101)_MR4	-8,3 – 0,2	-3,8	-8,3 – 0,1	-3,8	-8,4 – 0,2	-3,6
logsum(101)_keskiarvo	-8,0 – 0,4	-3,6	-8,1 – 0,4	-3,6	-8,1 – 0,4	-3,4
logsum(101)_kest_MR1	-12,7 – 0,9	-3,7	-12,7 – 0,9	-3,7	-11,6 – 0,9	-3,4
logsum(101)_kest_MR3	-14,5 – 0,1	-5,2	-14,5 – 0,0	-5,2	-14,5 – 0,1	-4,7
logsum(101)_kest_MR4	-14,5 – 0,2	-5,2	-14,5 – 0,1	-5,2	-14,5 – 0,2	-4,7
logsum(101)_kest_keskiarvo	-13,8 – 0,4	-4,6	-13,8 – 0,4	-4,6	-13,4 – 0,4	-4,2
logsum(101)_auto_MR1	-7,7 – -2,4	-4,9	-8,4 – -2,5	-5,1	-7,9 – -2,5	-5,1
logsum(101)_auto_MR3	-8,3 – -2,0	-4,8	-8,5 – -2,2	-4,8	-8,5 – -2,3	-5,0
logsum(101)_auto_MR4	-8,3 – -1,9	-4,7	-8,5 – -2,2	-4,8	-8,4 – -2,3	-4,9
logsum(101)_auto_keskiarvo	-8,0 – -2,1	-4,8	-8,5 – -2,3	-4,9	-8,2 – -2,4	-5,0

Taulukko 6. Saavutettavuuden logsumien tunnuslukuja. Logsum(101) on saavutettavuus pääkeskukseen liikennemallin sijoittelualueelle 101, muut logsumit ovat yleissaavutettavuuksia koko seudulle. MR1 = kotiperäiset työ- ja opiskelumatkat, MR3 = kotiperäiset ostos- ja asiointimatkat, MR4 = kotiperäiset muut matkat.

Liite B - Tonttiaineiston tunnuslukuja

Alla olevissa taulukoissa on kuvattu SeutuRamava 2017 tonttiaineiston pohjalta muodostettujen tonttitehokkuuksien tunnuslukuja koko tonttiaineistoille sekä MALPAKKA 2.0 -analyysihin mukaan valituille AK, AP, K ja C käyttötarkoitusten tonteille. Tonttikohtainen tonttitehokkuus on tontin kaavoitettu rakennusoikeus lisärakennusoikeus mukaan lukien tai rakennettu kerrosala, näistä aina korkeampi, jaettuna tontin pinta-alalla. Tonttiaineistoon sisältyy muutama hybridirakentamisen tontti mm. Pasilassa ja Kalasatamassa, joiden tonttitehokkuus on merkittävän suuri johtuen tonttien maa-alan laskemisen teknisestä toteutuksesta (esim. rautatien päällä sijaitsevat rakennukset). Näiden yksittäisten kohteiden vaikutus kokonaisuuteen on kuitenkin pieni.

Pääkaupunkiseudun kaikki tontit			
Alue	Tonttien lkm	Tonttitehokkuus vaihteluväli (min-max)	Tonttien tonttitehokkuuksien keskiarvo
Koko PKS	73 664	0 - 118	0,53
Espoo	21 656	0 - 17	0,38
Helsinki	30 374	0 - 118	0,77
Kauniainen	1 016	0 - 3	0,34
Vantaa	20 618	0 - 11	0,35

Taulukko 7. Koko tonttiaineiston tunnuslukuja

Pääkaupunkiseudun tontit AK, AP, K ja C (MALPAKKA 2.0 -analyysihin rajattu tonttiaineisto)			
Alue	Tonttien lkm	Tonttitehokkuus vaihteluväli (min-max)	Tonttien tonttitehokkuuksien keskiarvo
Koko PKS	68 757	0 - 86	0,51
Espoo	20 510	0 - 17	0,36
Helsinki	27 840	0 - 86	0,75
Kauniainen	981	0 - 3	0,33
Vantaa	19 426	0 - 11	0,34
PKS 50% tehokkaimmat*	34 335	0 – 86	0,72
PKS 25% tehokkaimmat*	17 182	0 – 86	0,99
PKS 10% tehokkaimmat*	6 854	0 – 86	1,50

Taulukko 8. MALPAKKA 2.0 -maankäyttömalleissa käytetyn tonttiaineiston tunnuslukuja sisältäen käyttötarkoitukset AK (asuinkeuhkotalot), AP (asuinpienitalot), K (liike- ja toimistorakennukset) ja C (keskustatoiminnot). *Tonttiaineisto on jaettu kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden perusteella 20 luokkaan, joista kustakin on poimittu 50%, 25% tai 10% tehokkaimmat tontit.

Liite C - Hintamallien funktio ja esimerkkimalli

Hintamalleissa asuntojen kauppahintoja selitetään saavutettavuudella. Hintamallissa sijoittelualueella s , vuonna t myydyn, asunnon i hinta voidaan kirjoittaa muotoon:

$$\ln(hinta_{its}) = \alpha + \beta * \ln(saavutettavuus)_i + \partial X_i + \mu_t + \varepsilon_{its}$$

, jossa kiinnostuksen kohteena on saavutettavuuden logsumin luonnollisen logaritmin kerroin β . X on asuntojen ominaisuudet sisältävä vektori, μ_t sisältää vuosittaiset kiinteät vaikutukset ja ε_{its} on mallin virhetermi. Käytetty hinta-aineisto on Kiinteistövälittäjien keskusliiton (KVKL) asuntohinta-aineisto vuosilta 2014–2016 ja saavutettavuusaineisto HELMET 3.0 -liikennemallin suuntautumis- ja kulkutapavalintamallista saadut logsumit. Mukana on seuraavat asuntojen ominaisuudet: pinta-ala, pinta-ala², ikä, ikä², talotyyppi, kunto, saunan ja parvekkeen olemassaolo, asunnon sijaintikerros ja rakennuksen kerrosten lukumäärä.

Alla olevassa esimerkkimallissa pääkaupunkiseudun hintoja selitetään kestävien kulkumuotojen (joukkoliikenne, pyöräily) yleissaavutettavuudella (matkaryhmien MR1, MR3 ja MR4 keskiarvo).

```
. reg logwholeprice ln_logsum_kest_keskiarvo $housecont i.yearquar if pks==1 & saleyear>2013,
clu(sij2016)
```

Linear regression

```
Number of obs   =    30,340
F(26, 644)      =    388.92
Prob > F        =    0.0000
R-squared       =    0.7681
Root MSE       =    .22565
```

(Std. Err. adjusted for 645 clusters in sij2016)

logwholeprice	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
ln_logsum_kest_keskiarvo	3.223879	.2098216	15.36	0.000	2.811862	3.635896
area	.0141863	.0004932	28.76	0.000	.0132178	.0151547
area2	-.0000237	1.70e-06	-13.97	0.000	-.000027	-.0000204
age	-.0116323	.0009965	-11.67	0.000	-.013589	-.0096756
age2	.00012	.0000103	11.71	0.000	.0000999	.0001402
1.row	.1248798	.0195618	6.38	0.000	.0864671	.1632924
1.singlehouse	.1278805	.0278874	4.59	0.000	.0731192	.1826418
c_unknown	.0067643	.0162617	0.42	0.678	-.025168	.0386965
c_poor	-.0866247	.0090761	-9.54	0.000	-.1044469	-.0688024
c_good	.1275126	.0046566	27.38	0.000	.1183686	.1366566
c_excellent	.2148056	.0211069	10.18	0.000	.173359	.2562522
1.saunadum	.0737408	.011466	6.43	0.000	.0512255	.0962562
1.balconydum	.0020294	.0053557	0.38	0.705	-.0084873	.0125461
floornumber	.0106028	.0012853	8.25	0.000	.0080789	.0131267
floors	.0035855	.0037109	0.97	0.334	-.0037015	.0108724
yearquar						
62	.0063742	.0054065	1.18	0.239	-.0042423	.0169907
63	-.0066027	.0059486	-1.11	0.267	-.0182838	.0050784
64	-.0162213	.0057243	-2.83	0.005	-.0274618	-.0049808
65	.0005194	.0058248	0.09	0.929	-.0109185	.0119573
66	.005137	.0058906	0.87	0.383	-.0064301	.016704
67	.0060785	.0065525	0.93	0.354	-.0067883	.0189452
68	.0050915	.0069186	0.74	0.462	-.0084942	.0186772
69	.0111202	.006552	1.70	0.090	-.0017456	.023986
70	.0262871	.0068785	3.82	0.000	.0127802	.0397941
71	.0244942	.0075585	3.24	0.001	.0096519	.0393366
72	.0316324	.0076952	4.11	0.000	.0165217	.046743
_cons	3.686051	.5114529	7.21	0.000	2.681734	4.690368

Kuvio 7. Hintamalli, jossa selittävänä saavutettavuusmuuttujana on kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuus (logsumin logaritmi).

Liite D - Maankäyttömallien funktio ja esimerkkimalli

Maankäyttömalleissa tonttitehokkuutta selitetään saavutettavuudella. Maankäyttömallissa sijoittelualueella s sijaitsevan tontin i tehokkuus voidaan kirjoittaa muotoon:

$$\ln(\text{tehokkuus}_{is}) = \alpha + \beta * \ln(\text{saavutettavuus})_s + D2010_i + D2000_i + D1990_i + \varepsilon_{is}$$

, jossa kiinnostuksen kohteena on saavutettavuuden logsumin luonnollisen logaritmin kerroin β . Mallissa on lisäksi mukana tontin kaavoitusvuosikymmentä kuvaavat dummy-muuttujat sekä virhetermi. Maankäyttömalleissa tonttiaineistona on SeutuRamava 2017 tietojen pohjalta lasketut tonttitehokkuudet pääkaupunkiseudun tonteille, kaavoitettu tai rakennettu, näistä korkeampi sisältäen käyttötarkoitukset AK, AP, K ja C. Saavutettavuusaineistona on HELMET 3.0 -liikennemallin suuntautumis- ja kulkutapavalintamallista saadut logsumit. Kaavoitusvuosikymmenten dummy-muuttujien referenssiryhmänä on ennen vuotta 1990 kaavoitetut tontit.

Alla oleva esimerkkimalli on estimoitu tonttiaineistoon, johon on poimittu 25% tehokkaimmat tontit 20 saavutettavuusluokasta (aineisto jaettu saavutettavuusluokkiin kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuuden perusteella). Tonttitehokkuutta selitetään kestävien kulkumuotojen (joukkoliikenne, pyöräily) yleissaavutettavuudella (matkaryhmien MR1, MR3 ja MR4 keskiarvo).

```
. reg l_tontin_teho_lroik ln_logsum_kest_keskiarvo d2010 d2000 d1990 if top75==1, ro
```

Linear regression

```
Number of obs   =    17,182
F(4, 17177)     =    6026.05
Prob > F        =    0.0000
R-squared       =    0.5776
Root MSE      =    .53737
```

<code>l_tontin_teho_lroik</code>	Coef.	Robust Std. Err.	t	P> t	[95% Conf. Interval]	
<code>ln_logsum_kest_keskiarvo</code>	10.12628	.0686083	147.60	0.000	9.991802	10.26076
<code>d2010</code>	.6016107	.01455	41.35	0.000	.5730912	.6301302
<code>d2000</code>	.3677897	.0107537	34.20	0.000	.3467113	.3888681
<code>d1990</code>	.2819142	.0104327	27.02	0.000	.261465	.3023634
<code>_cons</code>	-24.7486	.1625645	-152.24	0.000	-25.06725	-24.42996

Kuvio 8. Maankäyttömalli, jossa selittävänä saavutettavuusmuuttujana on kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuus (logsumin logaritmi). Mallissa on mukana pääkaupunkiseudun 25% tehokkaimmat tontit.

Liite E - Karttatulosteet saavutettavuuden mahdollistamista tonttitehokkuuksista sijoittelualueittain

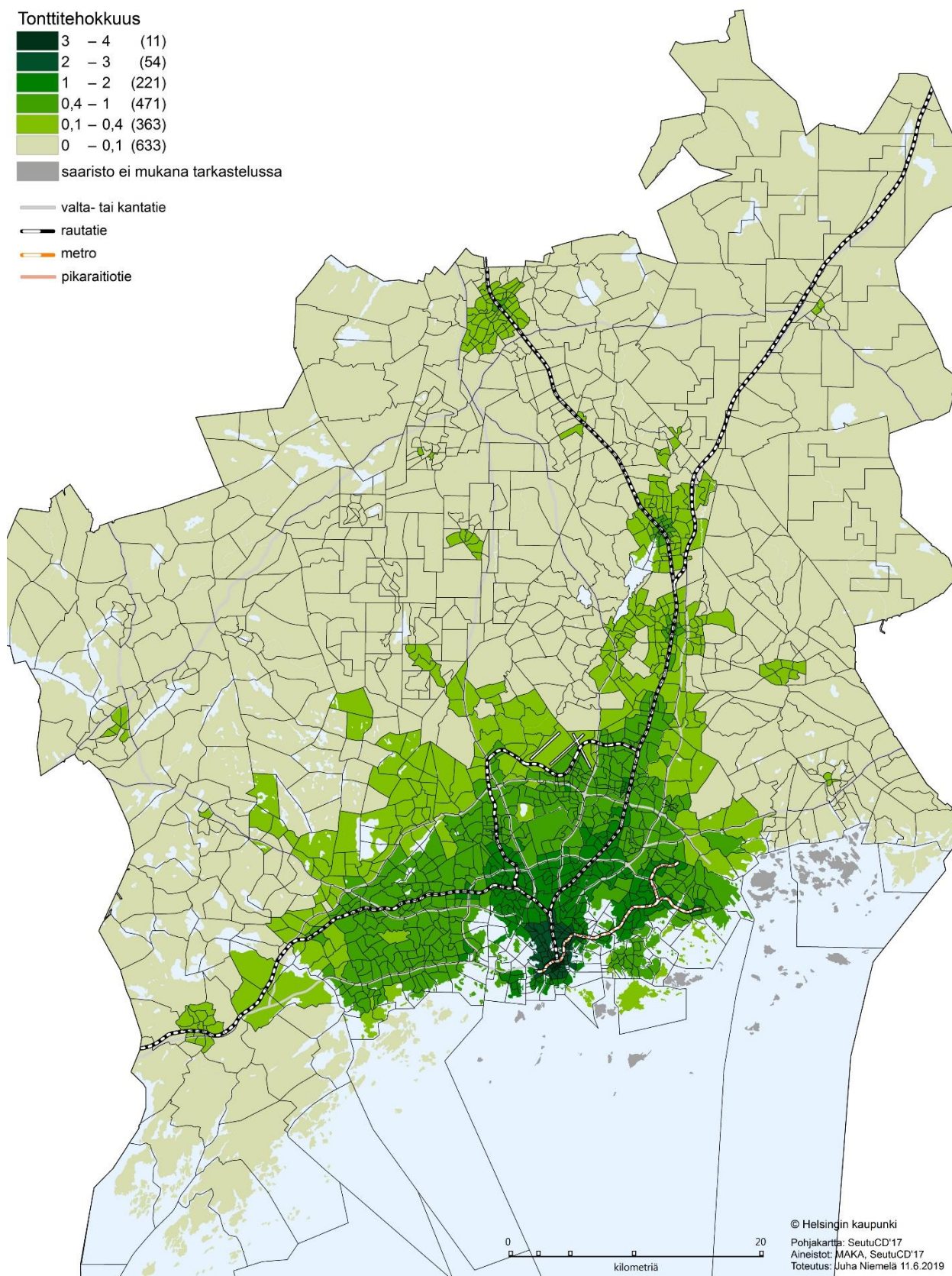
Karttavisualisoinnit kestävien kulkumuotojen yleissaavutettavuuden mahdollistamasta tonttitehokkuudesta on laadittu kolmelle eri MAL 2019 -työn skenaariolle 50%, 25% ja 10% tehokkaimpiin tontteihin pohjautuvilla malleilla.

Seuraavat karttavisualisoinnit kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta löytyvät raportin osiosta 4.6.:

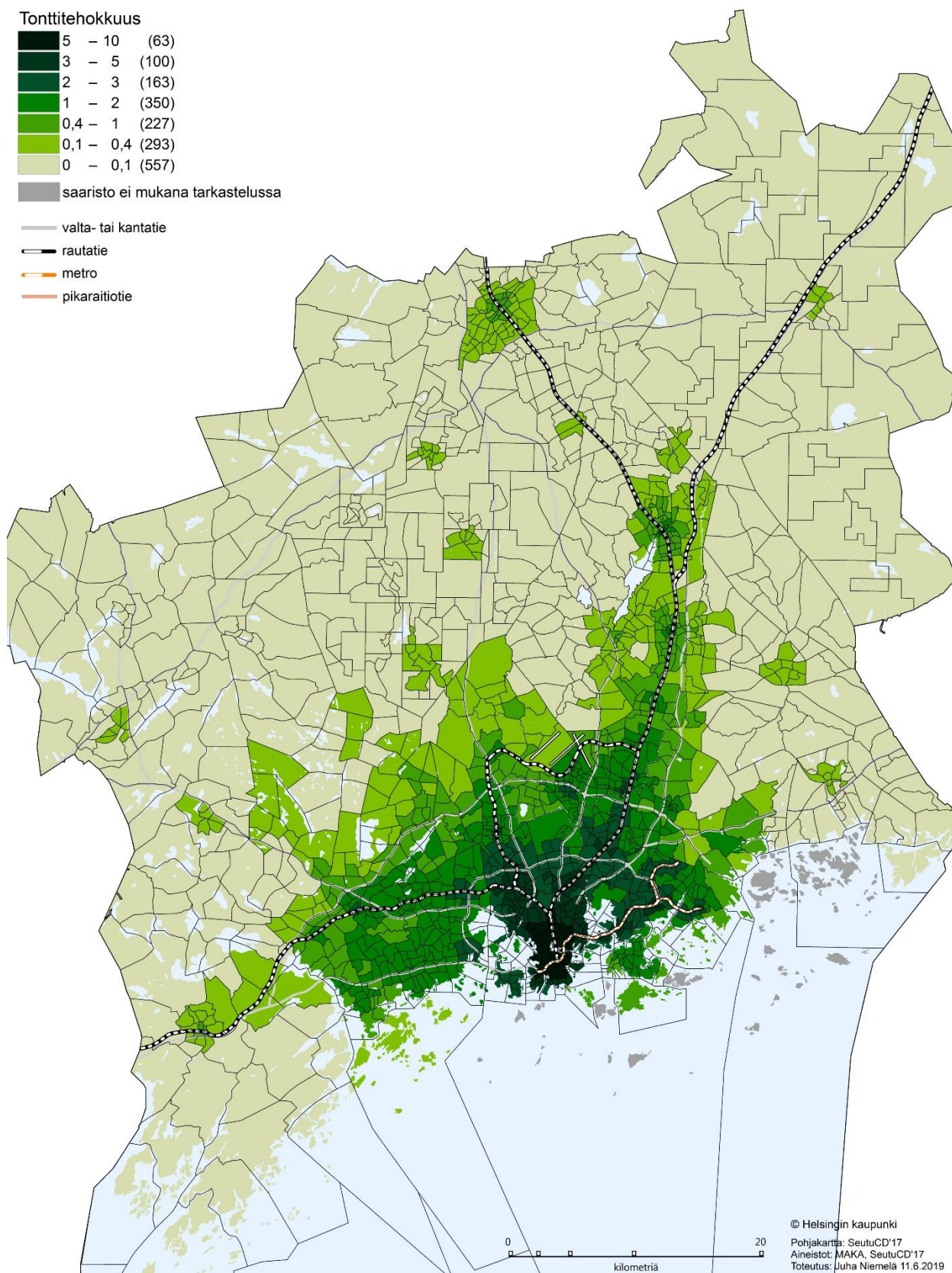
- 2016 liikenneverkko - 25% tehokkaimpien tonttien mallilla
- 2030 VE0 liikenneverkko - 25% tehokkaimpien tonttien mallilla
- 2030 VE3 liikenneverkko - 25% tehokkaimpien tonttien mallilla

Seuraavat karttavisualisoinnit kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistamasta maankäytön tehokkuudesta löytyvät tästä liitteestä:

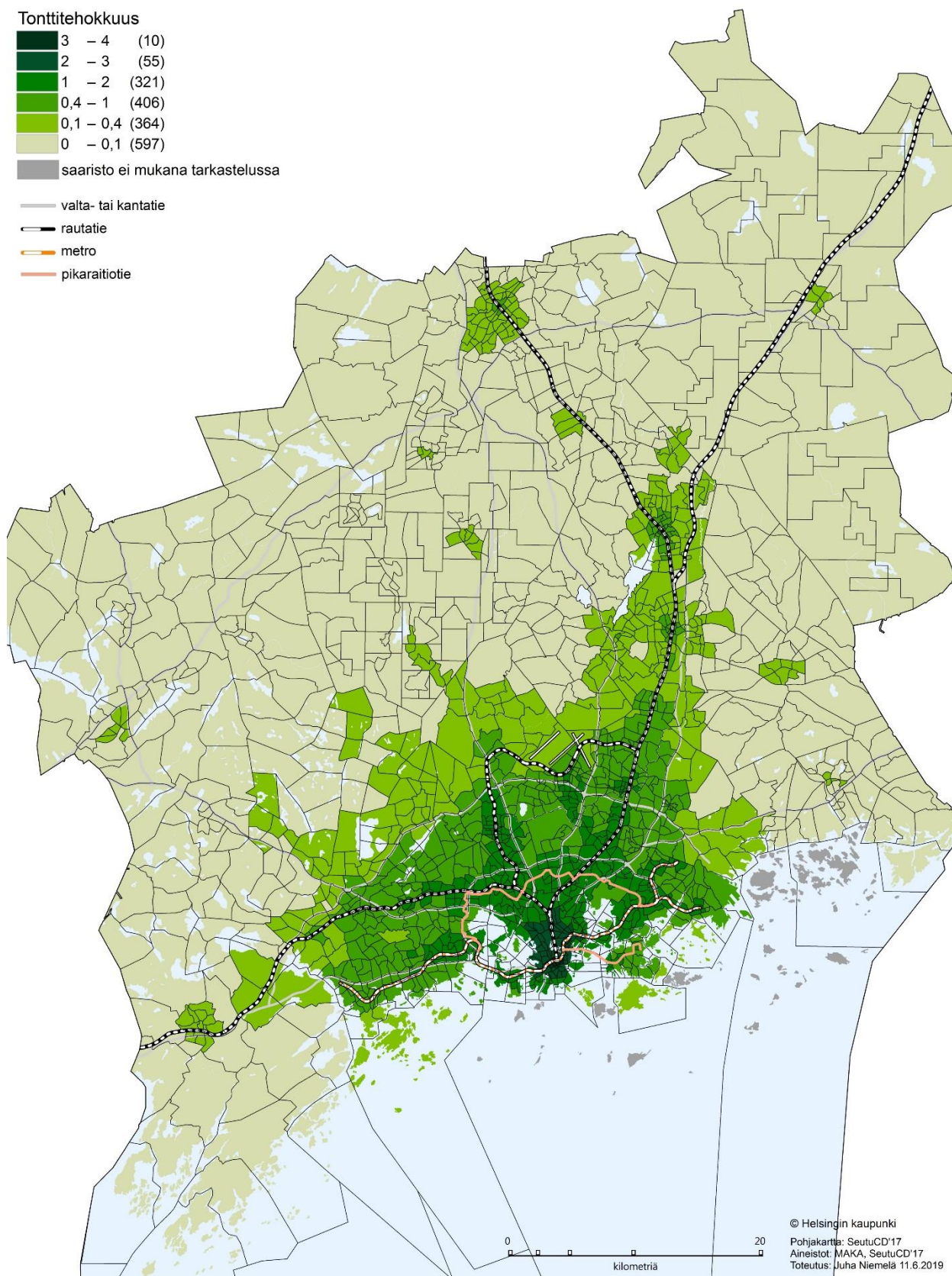
- 2016 liikenneverkko - 50% tehokkaimpien tonttien mallilla
- 2016 liikenneverkko - 10% tehokkaimpien tonttien mallilla
- 2030 VE0 liikenneverkko - 50% tehokkaimpien tonttien mallilla
- 2030 VE0 liikenneverkko - 10% tehokkaimpien tonttien mallilla
- 2030 VE3 liikenneverkko - 50% tehokkaimpien tonttien mallilla
- 2030 VE3 liikenneverkko - 10% tehokkaimpien tonttien mallilla



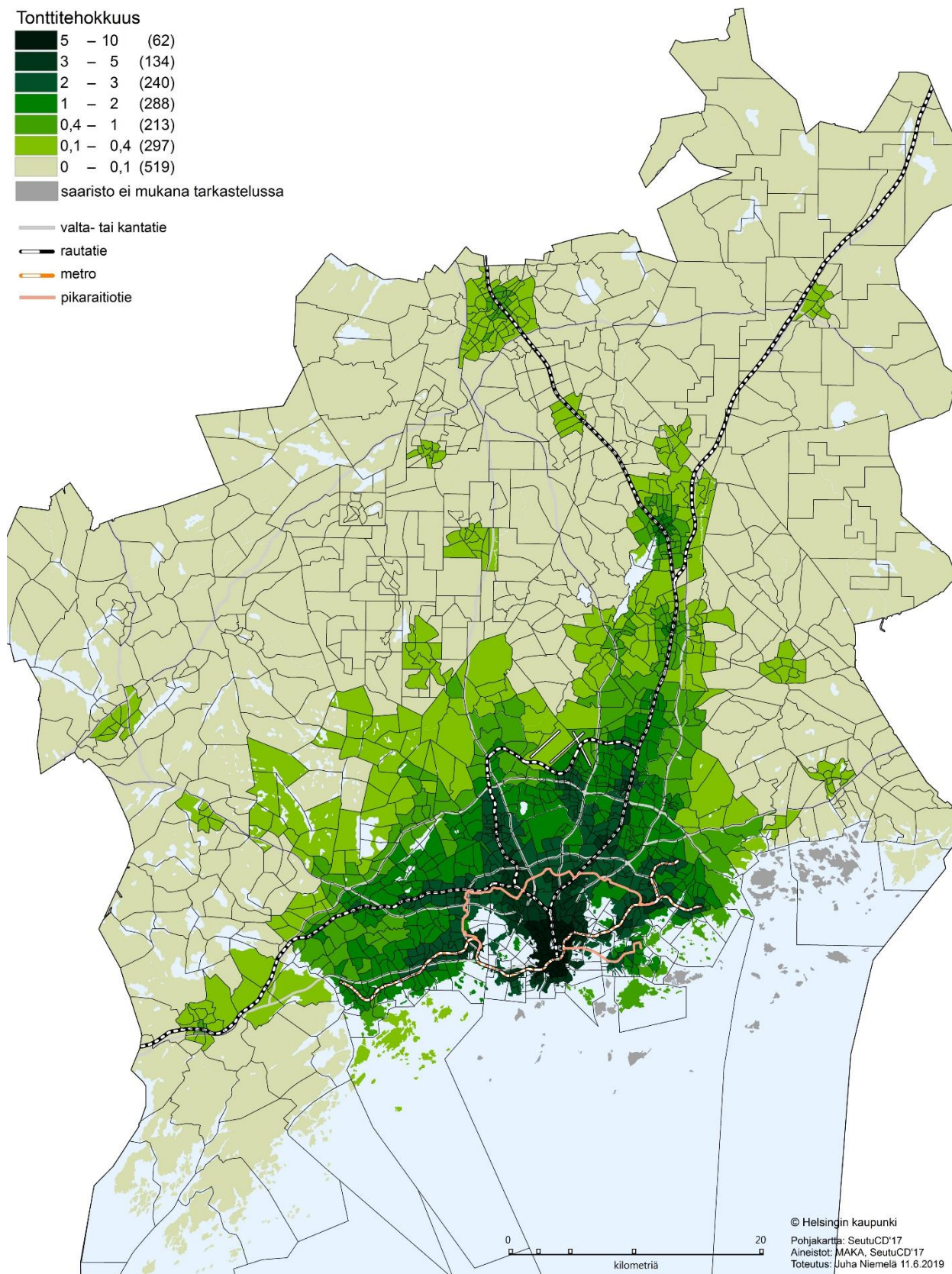
Kartta 14. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2016 liikenneverkko, 50% tehokkaimpien tonttien mallilla



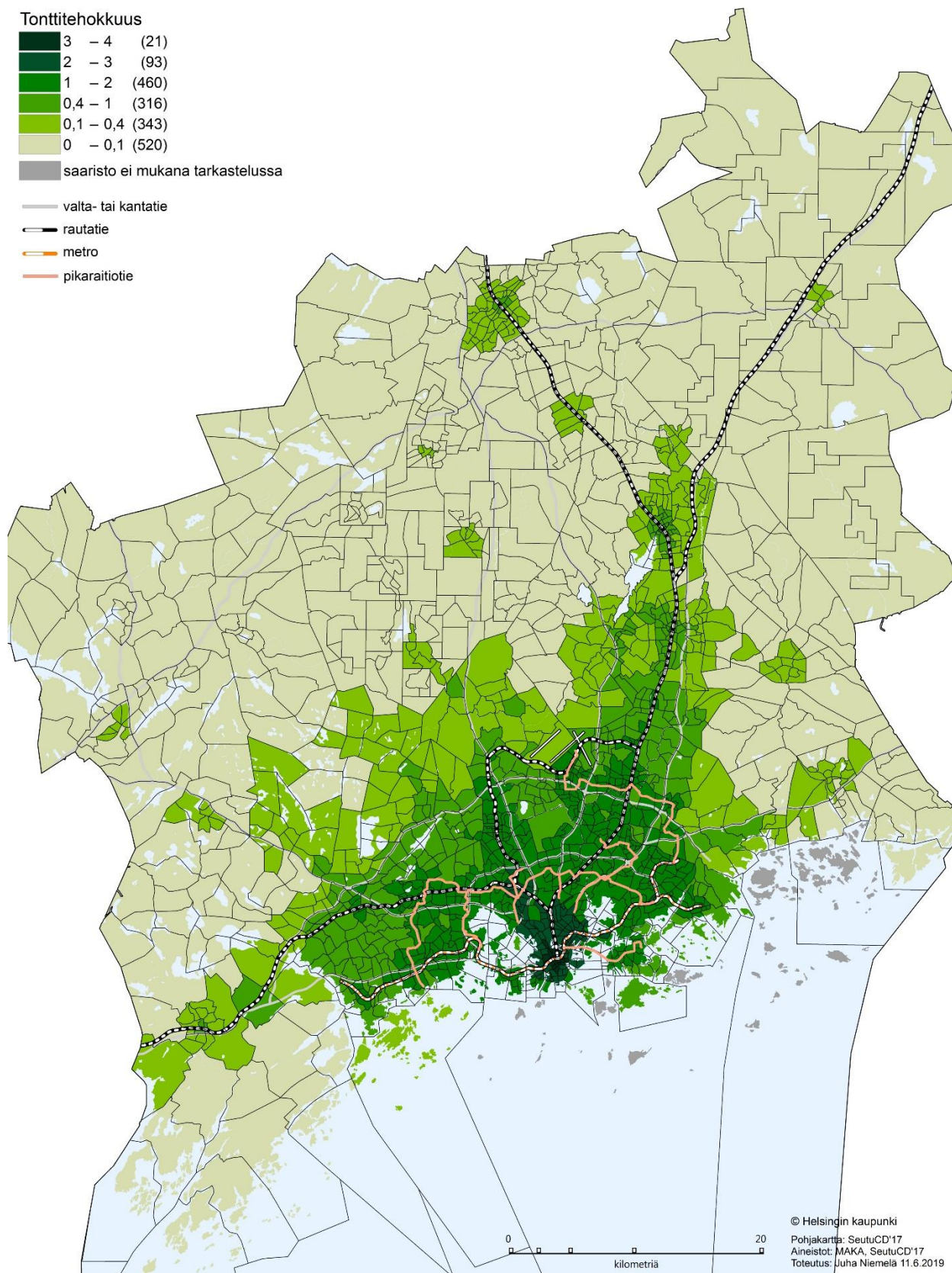
Kartta 15. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2016 liikenneverkko, 10% tehokkaimpien tonttien mallilla



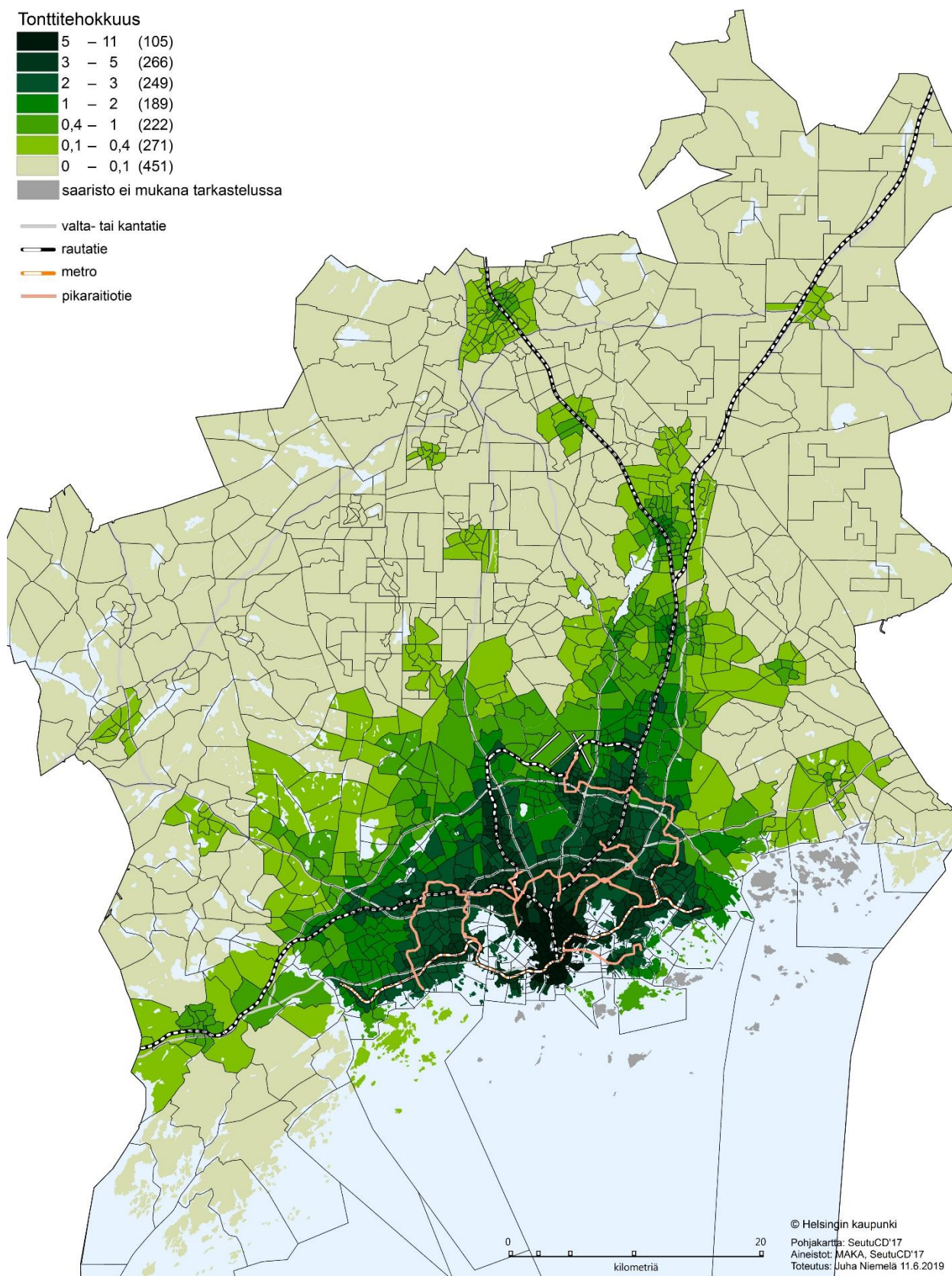
Kartta 16. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2030 VE0-liikenneverkko, 50% tehokkaimpien tonttien mallilla



Kartta 17. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2030 VE0-liikenneverkko, 10% tehokkaimpien tonttien mallilla



Kartta 18. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2030 VE3-liikenneverkko, 50% tehokkaimpien tonttien mallilla



Kartta 19. Kestävien kulkumuotojen saavutettavuuden mahdollistama tonttitehokkuus sijoittelualueittain. 2030 VE3-liikenneverkko, 10% tehokkaimpien tonttien mallilla