

Datankuvauksia – Beskrivningar av data

Joukkoliikenteellä, autolla ja kävelen: Avoin saavutettavuusaineisto pääkaupunkiseudulta

TUULI TOIVONEN^{1,2}, MARIA SALONEN¹, HENRIKKI TENKANEN¹, PERTTU SAARSALMI¹, TIMO JAAKKOLA¹ & JUHA JÄRVI³

¹Helsingin yliopisto, ²Geotieteiden ja maantieteen laitos, ³Helsingin yliopisto, Biotieteiden laitos, ³BusFaster Oy*

An open spatial data set describing multimodal accessibility patterns in the Helsinki region

Comparable data on travel times and distances by different travel modes are frequently called for in land use and urban planning. Here, we present the creation process and the content of a newly opened dataset called the Helsinki Region Travel Time Matrix, made available via Helsinki Region Infoshare service. The dataset presents modelled travel times and trip lengths by car, public transport and walking for the capital region of Finland. The multimodal travel times and distances have been calculated between 13 000 gridded (250 m) data points over the study area. The modelling is made with in-house tools and based on various open data sources, including Digiroad, Journey Planner, and OpenStreetMap, accompanied with ancillary data. In addition to describing and evaluating the dataset, this paper pioneers scientific data description article in Terra. It links to the movements for the openness of research data, open democracy and more transparent planning that highlight the responsibility of researchers to share their data.

Key words: accessibility, travel time, multimodal, open data, Helsinki Metropolitan Area

Saavutettavuus (*accessibility*) on yksi kaupunki-maantieteen keskeisistä tutkimuskohteista, sillä se kuvastaa kaupungin fyysistä ja toiminnallista rakennetta sekä vaikuttaa yksilöiden jokapäiväisiin valintoihin ja alueiden kilpailukykyyn. Saavutettavuus käsitteenä on hyödyllinen niin tutkimuksessa (Geurs & van Wee 2004; Bertolini ym. 2005) kuin käytännön yhdyskuntasuunnittelussakin (Stockholms stad 2012; Helsingin yleiskaava... 2013), sillä siihen linkittyy sekä maankäyttöön että liikenteeseen liittyviä kysymyksiä (Somerpalo 2006; Karou & Hull 2012).

Saavutettavuuskysymykset ovat olleet tiiviisti esillä myös Helsingin metropolialueen kehityksestä käydyissä keskusteluissa. Asukkaiden arjen sujuvuus sekä ekologisesti kestävien kulkutapojen asema ihmisten kulkutapavalinnoissa ovat tärkeitä teemoja seudullisia maankäyttö- ja liikennetarkaisuja tehtäessä (Helsingin seudun... 2013). Väestön kasvun ja palvelurakenteiden murroksen myötä seudun yksikeskuisen rakenteen on alkanut muuttua monikeskuisemmaksi (Laakso ym. 2005; Joutsiniemi 2010; Vaattovaara 2011; Vasa-

nen 2012). Tässä muutoksessa kestävien kulkutapojen kilpailukyky on ollut vaarassa jäädä heikoksi ja kulkutapojen väliset alueelliset erot ovat kasvaneet (Salonen ym. 2012). Samaan aikaan liikennepoliittisessa keskustelussa on kuitenkin korostettu lihasvoimaisen liikkumisen (esim. kävelyn ja pyöräilyn) ja joukkoliikenteen aseman parantamista (Kävelyn ja... 2011; Kilpailukykyä ja... 2012; Helsingin yleiskaava... 2013).

Saavutettavuuden alueellisten rakenteiden tunnistamiseksi tarvitaan entistä enemmän luotettavia ja helppokäyttöisiä menetelmiä, sillä saavutettavuuteen liittyvät selvitykset ovat edellä mainituista syistä tulleet osaksi yhdyskuntasuunnittelun arkea (Koko Uudenmaan... 2010; Helsingin yleiskaava... 2012; HLJ 2011... 2012). Saavutettavuutta ei voi kuitenkaan määritellä tai mitata yksiselitteisesti, sillä sen sisältö riippuu aina tarkastelunäkökulmasta (Geurs & van Wee 2004). Yksi käytetyimmistä mittareista saavutettavuuden arviointiin on matka-aika kohteiden välillä. Se on mittarina helposti ymmärrettävä ja sen on todettu vastaavan melko hyvin ihmisten kokemusta saavutettavuudesta (Frank ym. 2008; Mavoja ym. 2012).

Matka-aikaan perustuvat saavutettavuuslaskennat on perinteisesti tehty autoilun nopeusrajoitukseen tukeutuen (ks. Christie & Fone 2003; Yianna-

* E-mail: <tuuli.toivonen@helsinki.fi>, <maria.salonen@helsinki.fi>, <henrikki.tenkanen@helsinki.fi>

koulias ym. 2013). Etenkin ruuhkaisilla kaupunkialueilla yksityisautoilun nopeusrajoitukset tarjoavat kuitenkin epärealistisen arvion matkan kokonaiskestosta. Lisäksi pelkkään autoiluun perustuvat analyysit antavat yksipuolisen kuvan saavutettavuudesta; joukkoliikenteen ja lihasvoimaisen liikkumisen matka-aikatiedolle on suunnittelussa ilmeinen tarve, jos ja kun näiden liikkumismuotojen kulkutapaosuutta halutaan kasvattaa autoiluun nähden (Kilpailukykyä ja... 2012).

Useita kulkutapoja käsittelevien analyysien ongelmana on usein kulkutapojen välinen heikko vertailtavuus, joka johtuu matka-aikojen mallinnustapojen eroista. Avain vertailukelpoisuuteen löytyy kokonaisten matkaketjujen tarkastelusta (Lei & Church 2010; Salonen & Toivonen 2013). Kun matkoja tarkastellaan ovelta ovelle kaikki matkan vaiheet huomioiden, eri kulkutapojen matka-ajoista ja matkanpituuksista saadaan keskenään vertailukelpoisia. Siinä missä kävelijä kävelee lähtöpisteestä kohdepisteeseen, joukkoliikennematkustaja kävelee ensin lähtöpisteestä lähimmälle pysäkillle, odottaa siellä bussia, jolla jatkaa matkaa aikataulujen sanelemaa vauhtia, vaihtaa mahdollisesti linjaa, kävelee pysäkkien väliä, ja lopulta bussista pois jäätyään kävelee lopulliseen kohteeseensa. Autoilija kävelee usein lähtöpisteestään autonsa luo, ajaa muun liikenteen ja nopeusrajoitusten määrittelemää nopeutta lähelle määränpäättään, etsii pysäköintipaikan ja kävelee lopulta pysäköintipaikalta kohteeseensa. Mikäli matka-ajan laskentaperusteet ovat erilaiset eri kulkutapojen osalta, kulkutapojen matka-aikojen vertailu saattaa johtaa merkittävästi harhaan (Salonen & Toivonen 2013).

Alueellisesti kattavat monen kulkutavan matka-aika-analyysit vaativat taustalleen laadukkaat aineistot erilaisista liikenneverkkoista ja niiden aiheuttamista rajoitteista. Aineistojen vaikutus laskennallisten analyysien tuloksiin on suuri. Näin ollen lähtö- ja tulosaineistojen avoimuus on edellytys läpinäkyvälle ja avoimelle tutkimukselle ja suunnittelulle. Avoimuus antaa mahdollisuuden tarkistaa tarvittaessa aineiston merkityksellisiä yksityiskohtia jälkikäteen ja tehdä samasta lähtötiedosta tulkintoja erilaisin menetelmin.

Suomessa on viime vuosina todistettu erittäin ripeää kehitystä kohti julkishallinnon tuottamien tietoaineistojen maksuttomuutta ja avoimuutta. Myös tutkimuksen tuottamien tietoaineistojen avoimuuteen on alettu kiinnittää enemmän huomiota. Opetus- ja kulttuuriministeriö on linjannut tavoitteekseen, että vuoteen 2017 mennessä Suomi nousee johtavaksi maaksi tutkimusaineistojen avoimuudessa (Hanke edistämään... 2014). Saavutettavuusanalyysien kannalta keskeisiä aineis-

toja on tuotu saataville vähitellen, ja maksuttomat aineistot muodostavat perustan myös tässä artikkelissa esitettyihin laskentoihin. Helsingin seudun liikenteen (HSL) internet-pohjaisen Reittipalvelun sisältämät joukkoliikenteen reitti- ja aikataulutiedot ovat olleet saatavilla rekisteröityneille käyttäjille jo yli viiden vuoden ajan (Kalkati 2014). Liikenneviraston kansallinen tie- ja katutietojärjestelmä Digiroad avattiin maksuttomaan käyttöön vuoden 2013 lopulla (Hallituksen esitys... 2013). Tiedot lihasvoimaisen liikkumisen ja varsinkin pyöräilyn reiteistä ovat vielä puutteellisia, mutta melko hyvän kuvan reitistöä saa Maanmittauslaitoksen maastotietokannan, Digiroadin sekä yhteisöllisesti kerätyn OpenStreetMap-aineiston perusteella.

Olemme hyödyntäneet saatavilla olevia aineistoja uudella tavalla Helsingin yliopiston ja Katumetro-tutkimusohjelman vuosina 2011–2015 rahoittamassa MetropAccess-hankeessa. Hanke on kehittänyt kokonaismatkaketjuihin perustuvia laskennallisia työkaluja saavutettavuuden alueellisten rakenteiden tutkimiseen (Salonen & Toivonen 2013). Työkaluja on hyödynnetty esimerkiksi kaupunkipyöräjärjestelmän tuoman aikasäästön arvioinnissa (Jäppinen ym. 2013), urbaanin liikkumisen laskennallisten hiilidioksidipäästöjen tarkasteluissa (Lahtinen ym. 2013) sekä kaupunkirakenteen kehityksen tutkimisessa (Salonen ym. 2012). Käytännön suunnittelijat ovat hyödyntäneet tietoja esimerkiksi Helsingin uuden yleiskaavan taustaselvityksessä (Helsingin yleiskaava... 2012).

Esittelemme tässä artikkelissa näillä laskennallisilla työkaluilla tuotetun saavutettavuusaineiston, pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisin, joka kattaa Helsingin, Espoon, Vantaan ja Kauniaisen kunnat. Aineisto avattiin vapaaseen käyttöön keväällä 2014. Matka-aikamatriisi sisältää tiedot matkojen pituuksista ja kokonaismatka-ajoista henkilöautolla, joukkoliikenteellä ja kävellen kaikkien 250 metrin YKR-ruutujen välillä. YKR-ruudukko on Suomen ympäristökeskuksen ylläpitämän yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmän aluejako, ja yhtenevyys tämän aineiston kanssa mahdollistaa matka-aikamatriisin suoran vertailun eri yhdyskuntarakenteen muuttujiin, kuten väestö- tai maankäyttötietoihin. Aineiston avaamisen ja tämän datankuvausartikkelin tavoitteena on helpottaa saavutettavuustiedon käyttöä tutkimuksessa ja suunnittelussa ilman monimutkaista ja raskasta laskentaa, jota artikkelissa esittelemämme aineiston tuottaminen ja käyttäminen vaatisi. Aineisto on vapaasti jaossa Helsinki Region Infoshare -palvelussa osoitteessa <www.hri.fi/fi> sekä hankkeemme kotisivuilla osoitteessa <www.helsinki.fi/science/accessibility>.

Artikkelimme toimii myös uudenlaisena avauksena maantieteen suomalaisessa julkaisukulttuurissa. Maailmalla on parin viime vuoden aikana käynnistetty useita datankuvailuun tarkoitettuja julkaisukanavia, kuten *Biodiversity Data Journal*, *Earth Systems Science Data*, *Geoscience Data Journal*, sekä keväällä 2014 aloittanut Nature Publishing Groupin *Scientific Data*. Uudenlaisen julkaisumuodon toivotaan edistävän tutkijalähtöistä aineistojen avaamista ja ratkaisevan osaltaan aineistojen jakamiseen liittyviä meritoitumisongelmia. Aineistoavauksemme ja tämän artikkelin keinoin haluamme osaltamme edistää aineistojen omaehtoista avaamista myös suomalaisessa tutkimuskentässä.

Tausta-aineistot ja menetelmät

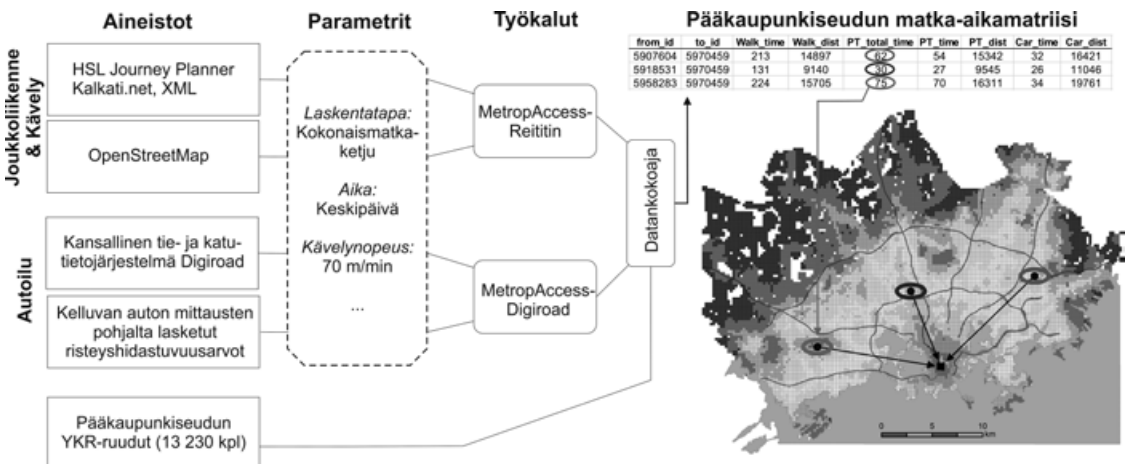
Olemme kuvanneet aineistontuotannon prosessin pääpiirteissään kuvassa 1. Laskennan pohjana on kaksi erillistä työkalua: autoilun reititykset laskimme tarkoitukseen kehitetyllä MetropAccess-Digiroad-työkalulla (MetropAccess 2014) ja joukkoliikenteen ja kävelyn reititykset MetropAccess-Reititin-työkalulla (MetropAccess & BusFaster 2014). Molemmat työkalut dokumentaatioineen ovat saatavilla avoimena lähdekoodina GNU General Public (v3) -lisenssillä verkkosivuiltamme <www.helsinki.fi/science/accessibility>.

Matka-aikamatriisiin kokonaismatka-ajat lasimme kaikkien pääkaupunkiseudun YKR-ruutujen (13 231 kpl) keskipisteistä kaikkien ruutujen keskipisteisiin. Koska lähtöpiste–kohdepiste-

parien välisiä reitityksiä saatiin kullekin kulkutavalle (autoilulle, joukkoliikenteelle ja kävelylle) yhteensä 175 059 361, jouduimme jakamaan laskentaa samanaikaisesti kymmenille eri Windows-työasemille (henkilöautoilu) ja kahdelle Linux-palvelimelle (joukkoliikenne ja kävely). Eri kulkutapojen laskentatulokset kokosimme taulukkoon, jossa kuvataan lähtö- ja kohdepiste-parien väliset kokonaismatka-ajat sekä matkan pituudet kolmella kulkutavalla.

MetropAccess-Digiroad: Henkilöautoilun matka-aikojen laskentalogiikka

Henkilöautoilun matka-aikalaskentojen laskenta perustuu MetropAccess-hankkeessa kehitettyyn laskentamalliin, joka pyrkii arvioimaan henkilöautoilun ajoaikoja ja kokonaismatka-aikoja pääkaupunkiseudulla realistisesti ja mahdollisimman yksinkertaisen lähtöaineiston avulla. Lähtökohdan henkilöautoilun reititykselle muodostavat Liikenneviraston ylläpitämän Digiroad-tieverkkoaineiston (Liikennevirasto/Digiroad 2014) geometria sekä tiedot kunkin teosuuden nopeusrajoituksista. Laskennan aikana Digiroadin antamia ajonopeuksia hidastetaan nopeusrajoitusten lisäksi risteyksiin (liikenneteknisesti liittymä) liitetyillä viivytyksillä (Jaakkola 2013) sekä kirjallisuuden perustuvalla arviolla pysäköintiin kuluva ajasta (Kurri & Laakso 2002; Kalenoja & Häyrynen 2003). Mitä suurempi risteystiheys jollakin alueella on, sitä pidemmäksi malli arvioi siellä liikkumiseen kuluvan kokonaismatka-ajan. Samanlaista lähestymistapaa



Kuva 1. Pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisiin tuotantoprosessin vaiheet.

Figure 1. Production steps of the travel time matrix for the Greater Helsinki Region.

ovat hyödyntäneet muun muassa Athanasios Ziliaskopoulos ja Hani Mahmassani (1996), Lars Volker (2008) sekä Itzhak Benenson ja kumppanit (2011).

Risteyksiin liitetyt viiveet arvioitiin eri vuorokaudenajoille perustuen Helsingin Seudun Liikenteen (HSL) ”kelluvan auton” mittausaineistoon. Tällä tarkoitetaan liikenteen sujuvuutta mittaavaa menetelmää, jossa mittausauto ajaa muun liikennevirran mukana mitaten tietyn reitin matka-aikaa (Li ym. 2011). Viiveiden määrittämiseen käytettävä mittausaineisto kattoi kaikkiaan 680 kilometrin matkan pääkaupunkiseudun liikenneverkostossa eri kulkusuuntiin aamu- ja iltaruuhkassa sekä keskipäivällä. Näitä mittauksia verifioitiin Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston keräämällä vastaavalla mittausdatalla (Jaakkola 2013).

Timo Jaakkola (2013) on havainnut opinnäytetyössään, että risteyksien lukumäärällä voidaan selittää 82 prosenttia todellisen ajonopeuden hitaudesta suhteessa liikenteen vapaaseen virtausnopeuteen (eli nopeusrajoituksen mukaiseen nopeuteen). HSL:n keräämän tiedon ja regressioanalyysin avulla muodostimme risteysten viivytykset tieluokittain eri vuorokauden ajoille. Viivytykset hidastavat vapaata tieverkoston läpiajoaikaa aina erityyppisten liikenne-elementtien kohdalla. Näitä ovat ramppi, liikennevalot (valo-ohjattu risteys), liikenneympyrä (kiertoliittymä) ja normaali risteys. Aikasakkojen laskenta perustuu lineaariseen regressiomalliin ($Y = \beta_1\chi_1 + \beta_2\chi_2 + \epsilon$), jossa selitettävänä muuttujana (Y) on reitin matka-aika ja selittävinä muuttujina ovat reitin teoreettinen matka-aika perustuen nopeusrajoituksiin ($\beta_1\chi_1$) sekä risteysten lukumäärä reitillä ($\beta_2\chi_2$). Taulukko 1 esittää regressioanalyysin tuloksena saadut aikasakot kuudessa eri tieluokassa olevien risteysten tyypeille. Risteyshidastuvuusarvot lisäsimme tieverkon nopeusrajoituksiin perustuvien liikenne-elementtien (tieverkoston keskilinjageometrian pienin yksikkö/osa) läpiajoaikojen päälle:

(1) *Liikenne-elementin läpiajoaika* =

$$\frac{\text{Liikenne-elementin pituus}}{\text{Nopeusrajoitus}} + \frac{\text{Risteys-hidastuvuus}}$$

Pysäköintiin ja pysäköintipaikalle kävelyyn kuluvan ajan arvioimme kirjallisuudessa julkaistujen haastattelu- ja kyselytutkimusten tulosten perusteella. Lähtöpaikan ja auton pysäköintipaikan sekä pysäköintipaikan ja kohdepisteen välisten kävelymatkojen on arvioitu olevan Helsingin kanta-kaupungissa 180 metriä ja kantakaupungin ulkopuolella 135 metriä (Kurri & Laakso 2002: 28). Pysäköintipaikan etsimiseen kuluva aika määräytyy pysäköintipaikan tyyppin mukaan: kadunvarsipysäköinnissä keskimääräinen aika on 0,73 minuuttia, pysäköintitalossa 0,22 minuuttia ja erillislalueilla 0,16 minuuttia. Keskimäärin parkkipaikkaa etsitään siis 0,42 minuutin ajan (Kalenoja & Häyrynen 2003: 71). Jaakkola (2013) kuvaa tutkimuksessaan tarkemmin henkilöautoilun kokonaismatka-ajanlaskentaprosessia sekä analysoi laskennan luotettavuutta.

Loimme autoilun matka-aikojen laskentamenetelmästä ArcGIS-ohjelmistolle MetropAccess-Digiroad-nimisen työkalun hyödyntäen ArcGIS:in Python-ohjelmointikielelle implementoitua arcpy-moduulia. MetropAccess-Digiroad automatisoi Digiroad-tieverkkoaineiston muokkaamisen realistisimmilla liikenne-elementtien läpiajoajoilla edellä kuvatun mukaisesti. Se myös mahdollistaa kokonaismatkaketjujen laskemisen halutuille lähtö- ja kohdepistepareille ottamalla huomioon pysäköintiin ja kävelyyn kuluvan ajan. Reitityksessä työkalu hyödyntää ArcGIS:in Network Analyysin OD Cost Matrix -työkalua.

Laskenta perustuu kokonaismatkaketjuun, joka koostuu seuraavista osista:

Taulukko 1. Risteysten viivytykset sekunteina toiminnallisen tieluokan mukaan (Jaakkola 2013).
Table 1. The impedances for crossings according to the functional road class (Jaakkola 2013).

Tieluokka	Koko päivä klo 07–17	Keskipäivä klo 09–15	Ruuhka-aika klo 07–09 & 15–17
1: Seudullinen pääkatu / valtatie	11.311	9.979	12.195
2: Seudullinen pääkatu / kantatie			
3: Alueellinen pääkatu / seututie	9.439	6.650	11.199
4: Kookoojakatu / yhdystie			
5: Liityntäkatu / tärkeä yksityistie	9.362	7.752	10.633
6: Muu yksityistie			

(2) *Kokonaismatkaketju* =

$$w_{n1} + w_p + t_d + t_p + w_{n2} + w_{dest}$$

jossa w_{n1} on euklidisen etäisyyden mukaan laskettu kävelyaika todellisesta lähtöpisteestä lähimpään verkostoviivakohteeseen, w_p on kävelyaika pysäköintipaikalle, t_d on matka-aika autolla lähtöpisteestä kohdepisteeseen, t_p on keskimääräinen pysäköintipaikan etsimiseen kuuluva aika, w_{n2} on kävelyaika pysäköintipaikalta kohteen lähimpään verkostoviivakohteeseen ja w_{dest} on euklidisen etäisyyden mukaan laskettu kävelyaika verkostoviivakohteesta todelliseen määrään päähän.

Annoimme työkalulle syötteenä lähtö- ja kohdepisteet shapefile-tiedostomuodossa sekä joukon parametreja, jotka määrittelevät esimerkiksi käytettävän reitityksen kustannusparametrin, pysäköintipaikan tyypin ja kävelynopeuden. Reitityksen tuloksena saadaan lähtö- ja kohdepisteparien välille yksityiskohtaista tietoa matkan kokonaispituudesta, matkan kokonaiskestosta ja kunkin kokonaismatkaketjun osan pituudesta ja matka-ajasta.

MetropAccess-Reititin: Joukkoliikenteen ja kävelyn matka-aikojen laskentalogiikka

Joukkoliikenteen ja kävelyn matkalaskennat teimme MetropAccess-Reitittimellä, joka on MetropAccess-hankkeen ja BusFaster Oy:n yhteistyössä kehittämä reititystyökalu pääkaupunkiseudun nopeaa joukkoliikenne- ja kävelyreititystä varten (MetropAccess 2014). Reititin pystyy optimoimaan tehokkaasti suuren joukon joukkoliikennereittejä ja tuottamaan alueellisissa saavutettavuustarkasteluissa tarvittavaa tietoa lukuisten lähtöpisteiden- ja kohdepisteiden välisestä matka-ajasta sekä matkaketjusta eri joukkoliikennevälineillä. Reitittimen reitioptimointia voi muokata erilaisilla parametreilla (esim. lähtökellonaikaa ja kävelynopeutta säätämällä, vaihdottomuutta suosimalla, sekä sulkemalla tiettyjä joukkoliikennelinjoja tai kulkumuotoja pois tarkastelusta).

Reititin käyttää joukkoliikennereittien laskennassa HSL:n Reittiopas-palvelun reitti- ja aikataulutietoja. Nykyisessä versiossa aikataulutiedot luetaan HSL:n tuottamasta Kalkati.net XML -tiedostosta, joka sisältää tiedot voimassa olevista joukkoliikenteen aikatauluista ja reiteistä (Kalkati 2014). Laskenta tehdään siten aina tietyn päivän ja tietyn hetken (kellonaika) aikataulujen mukaisesti. Kävelynopeuksien reitityksessä reititin käyttää tieosuuksien ja polkujen geometrian sisältävää OpenStreetMap-aineistoa (OSM) (OpenStreetMap 2014). Työkalu on ohjelmoitu käyttäen JavaScriptia, joten se toimii kaikissa yleisissä käyttöjärjestelmissä.

Reititintä voi hyödyntää myös pelkkien kävelyreitien ja -aikojen arviointiin. Tällöin reititys perustuu OSM-aineiston geometriaan. Reititin tallentaa tiedostot joko vektorimuodossa kml-tiedostona tai pelkkänä attribuutit sisältävänä tekstinä, jossa jokainen lähtö ja reitti ominaisuustietoineen ovat omilla riveillään. Tässä laskennassa käytimme tekstimuotoista attribuuttitietoa.

Reitittimen laskenta perustuu muokattuun Dijkstran algoritmiin (Dijkstra 1959), jota voidaan pitää reitioptimoinnin standardimenetelmänä. Dijkstran algoritmia on muokattu siten, että kustannuksen lisäksi optimoinnissa tallennetaan tiedot muun muassa kellonajasta, sijainnista graafilla ja edellisestä vierailusta pisteestä (Järvi ym. 2014). Nämä tiedot auttavat laskemaan oikean matka-ajan ottamalla huomioon muun muassa aikataulut sekä vaihtoihin ja kävelyn kuluvan ajan. Reititin sallii myös yksittäisten joukkoliikennemuotojen suosimisen, mutta tekemässämme laskennassa kaikki joukkoliikennemuodot olivat tasa-arvoisessa asemassa.

Reitittimen käyttämä algoritmi optimoi kokonaismatka-aikaa, jossa huomioidaan lähtöpisteessä odottelu reitin alussa. Usein on kuitenkin merkityksellisempää saada tietoon optimaalinen matka-aika, jossa on mukana pelkkä joukkoliikennereittiin käytetty aika. Tällöin reitittimellä tehdään hakuja useilla lähtöajoilla ja poimitaan näistä se, jossa kokonaismatka-aika on lyhin. Sopivan lähtöaikaotoksen valinnassa, eli lähtöaikojen haurkoinnin pohjana, on hyödyllistä käyttää Golombin viivoitinta (Meyer & Papakonstantinou 2009), jolla voi minimoida laskennassa käytettävien lähtöaikojen lukumäärän, mutta samalla käydä läpi mahdollisimman suuren joukon eri lähtöaikoja.

Reitittimen laskenta perustuu kokonaismatka-aikoihin. Työkalulle annetaan syötteenä lähtö- ja kohdepisteiden koordinaatit ja joukko parametreja, jotka määrittelevät esimerkiksi kellonajan ja kävelynopeuden. Reitityksen tuloksena saadaan lähtö- ja kohdepisteparien välille tieto matkan pituudesta, matkan kokonaiskestosta ja kävelyn määrästä.

Matka-aikamatriisin laskennan parametrit

Henkilöautoilun laskennoissa käytimme reitityksen impedanssina keskipäivän (klo 9–15) mukaisia tieverkoston läpiajoaikoja. Kävelynopeudeksi määrittelimme HSL:n Reittioppaan oletusarvon 70 metriä minuutissa, ja pysäköintipaikan etsimiseen kuluvan ajan määrittelimme keskiarvon mukaisesti (0,42 minuuttia). ArcGIS 10.1 -ohjelmistolla tehdyn laskennan nopeuttamiseksi teimme reititykset rinnakkain useilla Windows-työasemilla.

Joukkoliikennereititykseen käytimme perjantain 8. huhtikuuta 2013 aikataulutietoja. Kävelynopeudeksi määrittelimme 70 metriä minuutissa. Reitityksen kellonajan (lähtökellonaika) määrittelimme haarukoimalla optimaalisimman reitin kello 12:n ja 13:n väliltä. Lähtöajoina määrittelimme Golombin viivoittimen mukaisesti 12:00, 12:01, 12:06, 12:10, 12:23, 12:26, 12:34, 12:41, 12:53, 12:55. Näiden lähtöaikojen reiteistä poimimme tulokseen lyhimmän kokonaismatka-ajan saaneen reitin. Optimaalisen reitin haarukointi kymmenen lähtöajan joukosta oli laskennallisesti raskas operaatio, joka kesti useita viikkoja.

Kävelyreitit laskimme MetropAccess-Reitittimellä säätämällä joukkoliikennevälineet pois käytöstä. Laskennassa käytimme samoja laskentaparametreja kuin joukkoliikennereitityksessä, mutta vain yhdellä lähtöajalla, koska kävelyn kuluva matka-aika on laskennallisesti aina sama (kävelymallinnuksessa ei tarvitse huomioida ruuhkatilanteita tai vuorovälejä kuten joukkoliikennemallinnuksessa).

Laskentojen tarkat tekniset parametrit löytyvät aineiston mukana jaettavasta metadatatista.

Pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisin rakenne

Kokosimme pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisiin matka-aika- ja matkanpituustiedot eri kulkumuodoilla edellä kuvattujen laskentaparametrien mukaisesti. Aineisto jaettiin 13 231 tekstitiedostoon kunkin reitin kohdepisteen mukaan. Yksi tiedosto sisältää matka-aika- ja matkanpituustiedot eri kulkumuodoilla (taulukko 2) jokaisesta

YKR-ruudusta tiedoston nimen mukaiseen YKR-ruutuun. Kussakin tiedostossa on siten 13 231 riviä. Aineiston käsittelyn helpottamiseksi tulostiedostot on jaettu alakansioihin, jotka sisältävät useita (4–150) matka-aikamatriisin tulostiedostoja.

Visualisointia varten matka-aikamatriisin tiedot voidaan liittää tietokantaliitoksella Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ylläpitämään YKR-ruudukkoon. Olemme rajanneet YKR-ruudukosta valmiin matka-aikamatriisin aluerajauksella olevan ruudukon (MetropAccess-YKR-grid), joka koostuu YKR-ID:llä identifioiduista polygoneista ja on shapefile-tiedostoformaattissa. Tiedot voidaan liittää käyttäen matka-aikamatriisin kenttää *'from_id'*, jonka vastine tarjoamassamme MetropAccess-YKR-grid taulussa on *'YKR_ID'*.

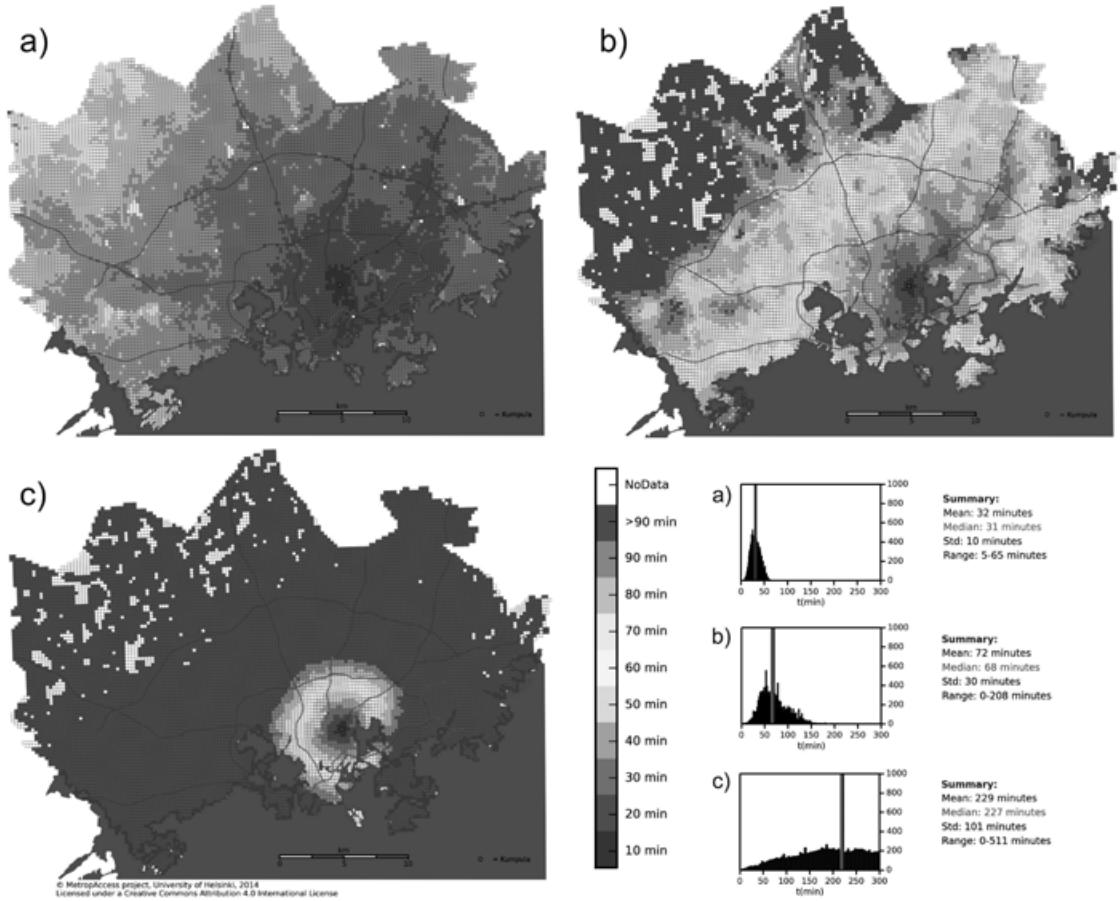
Aineisto on ladattavissa Helsinki Region Info-share -palvelun kautta osoitteesta <www.hri.fi/fi/data/paakaupunkiseudun-matka-aikamatriisi/> tai suoraan MetropAccess-hankkeen verkkosivuilta osoitteesta <www.helsinki.fi/science/accessibility> (-> Data). Verkkosivuilla aineistosta käytetään nimeä ”MetropAccess-matka-aikamatriisi”.

Havaintoja aineiston käytöstä

Tässä artikkelissa kuvailemamme aineisto antaa mahdollisuuden tarkastella saavutettavuutta pääkaupunkiseudulla sekä alueellisesti että tilastollisesti alueita tai kulkumuotoja vertaillen. Aineisto toimii helppona lähtökohdana esimerkiksi yksittäisen kohteen matka-aikojen visualisointiin (kuva 2) tai usean kohteen matka-aikojen vertailuun (kuva 3). Aineistolla on myös mahdollista tarkastella pää-

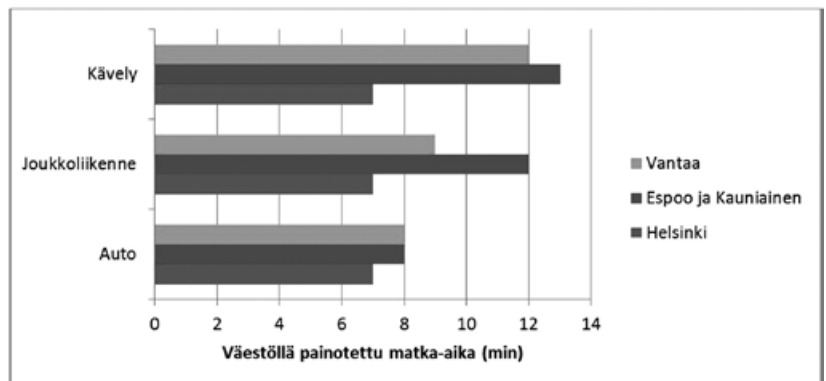
Taulukko 2. Pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisin ominaisuustiedot ja niiden selitteet.
Table 2. The attribute table structure of the Helsinki Region Travel Time Matrix.

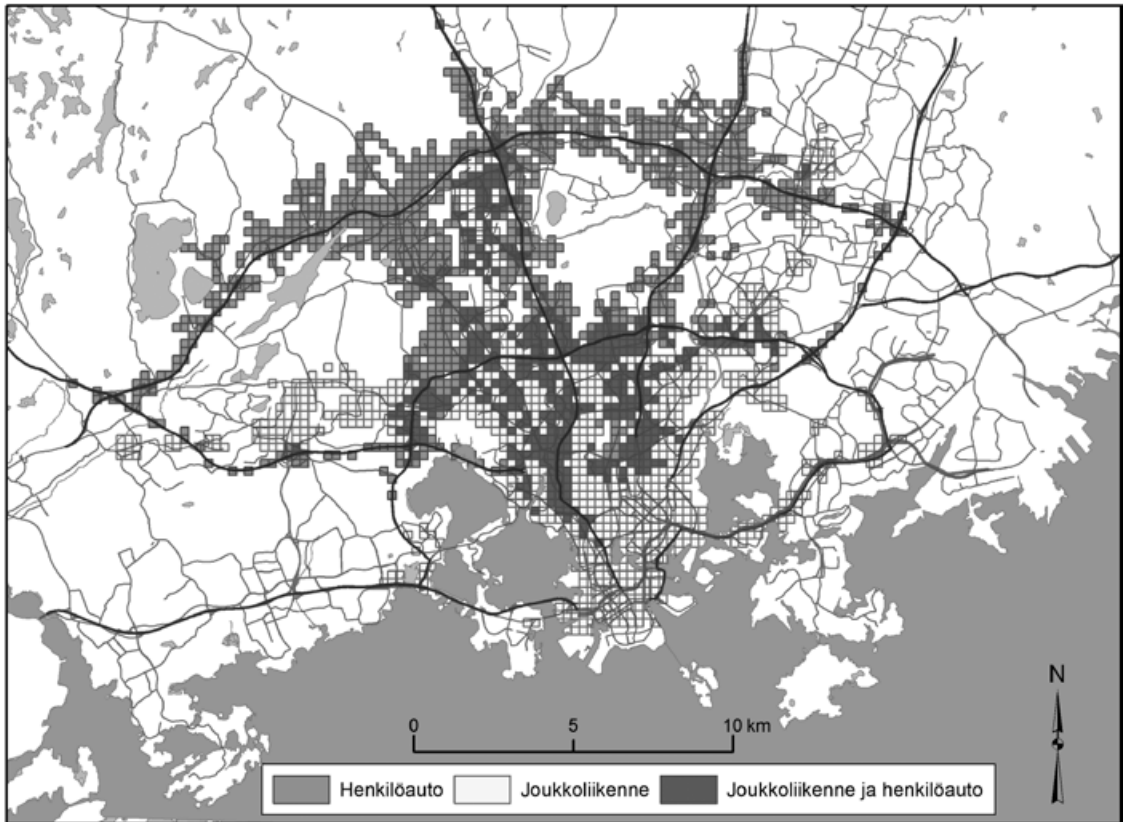
Attribuutin nimi	Selite
from_id	Reitin lähtöpisteinä olleen YKR-ruudun tunnus
to_id	Reitin kohdepisteinä olleen YKR-ruudun tunnus
Walk_time	Matka-aika lähtöruudusta kohderuutuun kävellen (minuuttia)
Walk_dist	Kävelymatkan pituus (metriä)
PT_total_time	Kokonaismatka-aika lähtöruudusta kohderuutuun joukkoliikenteellä (minuuttia) (sisältää mahdollisen lähtöpisteessä odottelun reitin alussa)
PT_time	Kokonaismatka-aika lähtöruudusta kohderuutuun joukkoliikenteellä (minuuttia) (matka-aika alkaa lähettäessä lähtöpisteestä liikkeelle)
PT_dist	Joukkoliikennematkan pituus (metriä)
Car_time	Kokonaismatka-aika henkilöautolla lähtöruudusta kohderuutuun (minuuttia) (matka-aika lasketaan kokonaismatkaketjun mukaan)
Car_dist	Henkilöautoilun kokonaismatkan pituus (metriä)



Kuva 2. Matka-ajat Kumpulan kampukselle (a) autoillen; (b) joukkoliikenteellä; sekä (c) kävellen. Kuvat on tehty tulosten automaattiseen visualisointiin kehitetyllä MetropAccess-MapGenerator-työkalulla.
 Figure 2. Travel times to the Kumpula campus in Helsinki by (a) private car; (b) public transportation; and (c) walking. The figure has been produced automatically from the travel time matrix dataset using MetropAccess-MapGenerator tool.

Kuva 3. Keskimääräinen matka-aika (minuutteina) lähimpään kauppaan eri kulkumuodoilla pääkaupunkiseudun kunnissa (ks. Saarsalmi 2014).
 Figure 3. The average travel time (in minutes) to the closest grocery store in the municipalities of the Greater Helsinki Region, using different modes of transportation (see Saarsalmi 2014).





Kuva 4. Saavutettavuudeltaan parhaat (10 %) pääkaupunkiseudun YKR-ruudut henkilöautolla ja joukkoliikenteellä kuljettaessa sekä ruudut, jotka kuuluvat saavutettavuudeltaan kulkumuotonsa parhaimpaan kymmenykseen sekä joukkoliikenteellä että henkilöautolla. Ruudun saavutettavuus on matka-aikojen mediaani kaikista muista ruuduista kyseiseen ruutuun valitulla kulkumuodolla.

Figure 4. The most accessible 10 % of the 250x250 m grid squares of the Greater Helsinki Region, by public transportation and by car. Here, the measure of accessibility is the median of travel times to each grid squares from all other grid squares.

kaupunkiseudun yleisiä saavutettavuusrakenteita eri kulkumuodoilla (kuva 4).

Aineistoa käytettäessä on tiedostettava, että mallinnettu matka-aika vastaa harvoin todellista yhden matkan tekoon kulunutta aikaa. Kaikkia osatekijöitä ei malleissa voida tai yksinkertaisuuden vuoksi edes haluta huomioida. Esimerkiksi pysäköinnin osalta olemme käyttäneet alueellisia vakioaikoja, vaikka todellisuudessa pysäköintiin kuluva aika vaihtelee huomattavasti riippuen paikasta, ajankohdasta, pysäköintioikeuksista ja satumasta. Yleisten alueellisten saavutettavuustarkastelujen ja vertailujen pohjaksi mallinnettu saavutettavuusaineisto kuitenkin sopii mainiosti, sillä se on vapaa kaupungin liikennejärjestelmässä päivittäisellä tasolla tapahtuvasta vaihtelusta.

Aineistoa hyödynnetään parhaillaan esimerkiksi toimipisteiden keskeisyyden arvioinnissa, eri alueiden liikenteellisen palvelutason vertailussa sekä kaupunkirakenteen tutkimuksessa. Koska aineisto kuvaa yhden hetken saavutettavuustilannetta pääkaupunkiseudulla ja laskenta on toistettavissa myöhemmin, se tarjoaa myös peruslähtökohdan muutoksen seurannalle eri vuosien välillä.

Olemme jakaneet laskentatyökalut sekä niiden yhtenä lopputuotteena syntyvän matka-aikamatriisin vapailla lisensseillä käyttöön ja edelleen kehitettäväksi. Toivotamme tervetulleiksi erilaiset parannukset aineistoon ja työkaluihin sekä erilaiset yhteistyöavaukset niin tutkimuksen kuin julkaisemisenkin muodossa.

Kiitokset

Lämpimät kiitokset Sakari Jäppiselle ja Jaani Lahtiselle sekä yhteistyökumppaneille sparraamisesta aineistokehityksessä. Kiitämme myös kaikkia, jotka ovat kannustaneet aineiston laadinnassa sekä jakelun toteuttamisessa. Kaupunkitutkimus- ja metropolipolitiikka -tutkimus- ja yhteistyöohjelma (Katometro) ja Helsingin yliopisto ovat rahoittaneet tutkimustamme.

KIRJALLISUUS

Arjen saavutettavuus pääkaupunkiseudulla – Makrotaso (2012). *Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä* 2012: 6. 40 s.

Benenson, I., K. Martens, Y. Rofé & A. Kwartler (2010). Public transport versus private car GIS-based estimation of accessibility applied to the Tel Aviv metropolitan area. *The Annals of Regional Science* 47: 2, 499–515.

Bertolini, L., F. le Clercq & L. Kapoen (2005). Sustainable accessibility: a conceptual framework to integrate transport and land use plan-making. Two testapplications in the Netherlands and a reflection on the way forward. *Transport Policy* 12: 3, 207–220.

Christie, S. & D. Fone (2003). Equity of access to tertiary hospitals in Wales: a traveltime analysis. *Journal of Public Health Medicine* 25: 4, 344–350.

Dijkstra, E. (1959) A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1: 1, 269–271.

Frank, L., M. Bradley, S. Kavage, J. Chapman & T. K. Lawton (2008). Urban form, travel time, and cost relationships with tour complexity and mode choice. *Transportation* 35: 1, 37–54.

Geurs, K. T. & B. van Wee (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography* 12: 2, 127–140.

Hallituksen esitys eduskunnalle laiksi tie- ja katuverkon tietojärjestelmästä annetun lain 8 §:n muuttamisesta, HE 153/2013 (2013). 1.4.2014. <www.finlex.fi>

Hanke edistämään tieteen ja tutkimuksen avoimuutta (2014). Opetus- ja kulttuuriministeriö. 1.4.2014. <www.minedu.fi>

Helsingin seudun maankäyttösuunnitelma (2013). 1.4.2014. <www.helsinginseutu.fi>

Helsingin yleiskaava, visio 2050. Kaupunkikaava – Helsingin uusi yleiskaava (2013). *Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä* 2013: 23. 83 s.

HLJ 2011 Saavutettavuustarkastelut, SAVU (2012). *HSL:n julkaisuja* 18/2012. 58 s.

Jaakkola, T. (2013). Paikkatietopohjainen menetelmä autoilun ajoaikojen ja kokonaismatka-aikojen mallintamiseen – esimerkkinä pääkaupunkiseutu. Julkaisematon pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, geotieteiden ja maantieteen laitos.

Joutsiniemi, A. (2010). Becoming metapolis – A configurational approach. *Datutop* 32. 354 s.

Jäppinen, S., T. Toivonen. & M. Salonen. (2013). Modelling the potential effect of shared bicycles on pub-

lic transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied Geography* 43: 0, 13–24.

Järvi, J., M. Salonen, P. Saarsalmi, H. Tenkanen & T. Toivonen. (2014). Reititin: an open source tool for analysing accessibility by public transport in Greater Helsinki. *Teoksessa*: Jolma, A., P. Sarkola & L. Lehto (toim.): Proceedings of the 3rd open source geospatial research & education symposium OGRS 2014. *Aalto University publication series, Science + Technology* 5, 149–154.

Kalenoja, H. & J.-P. Häyrynen (2003). Keskustan pysäköinti osana liikennejärjestelmää – Tampereen keskustan pysäköintitutkimus. Tampere University of Technology. 1.4.2014 <www.tut.fi>

Kalkati (2014). Kalkati.net, XML database dump. HSL. 17.3.2014. <developer.reittiopas.fi>

Karou, S. & A. Hull. (2012). Accessibility Measures and Instruments. *Teoksessa* Hull, A., C. Silva & L. Bertolini (toim.): *COST action TU1002 – Accessibility instruments for planning practice*, 1–20. COST – European Cooperation in Science and Technology.

Kilpailukykyä ja hyvinvointia vastuullisella liikenteellä. Valtioneuvoston liikennepoliittinen selonteko eduskunnalle 2012 (2012). *Liikenne- ja viestintäministeriö, Ohjelmia ja strategioita* 2/2012. 35 s.

Koko Uudenmaan maakuntaohjelma 2011–2014 (2010). Metropolimaakunnan toimintaympäristö ja muutokset. Lähtökohtia ja kehittämishaasteita maakuntaohjelman laadinnalle. *Uudenmaan liiton julkaisuja E* 110-2010. 28 s.

Kurri, J. & J.-M. Laakso (2002). Pysäköintipoliittiset toimet ja niiden vaikutukset pääkaupunkiseudulla. *Pääkaupunkiseudun julkaisusarja C* 2002: 18. 69 s.

Kävelyn ja pyöräilyn valtakunnallinen strategia 2020 (2011). *Liikenne- ja viestintäministeriö, Ohjelmia ja strategioita* 4/2011. 32 s.

Laakso, S., T. Halme, P. Kilpeläinen, H. A. Loikkanen & M. Vaattovaara. (2005). Kirkkonummen kunnan muuttoliiketutkimus. *Helsingin yliopiston maantieteen laitoksen julkaisuja B* 52. 83 s.

Lahtinen, J., M. Salonen. & T. Toivonen. (2013). Facility allocation strategies and the sustainability of service delivery: Modelling library patronage patterns and their related CO₂-emissions. *Applied Geography* 44, 43–52.

Lei, T. L. & R. L. Church (2010). Mapping transit-based access: integrating GIS, routes and schedules. *International Journal of Geographical Information Science* 24: 2, 283–304.

Li, Q., T. Zhang, H. Wang & Z. Zeng (2011). Dynamic accessibility mapping using floating car data: A network-constrained density estimation approach. *Journal of Transport Geography* 19: 3, 379–393.

Liikennevirasto / Digiroad. (2014). 08.08.2014. <www.digiroad.fi>

Mavoa, S., K. Witten, T. McCreanor & D. O’Sullivan (2012). GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. *Journal of Transport Geography* 20: 1, 15–22.

MetropAccess (2014). Saavutettavuuslaskentaa autoilijan näkökulmasta: MetropAccess-Digiroad. Helsingin

- gin yliopisto, Geotieteiden ja maantieteen laitos. 1.4.2014. <blogs.helsinki.fi/saavutettavuus/metropaccess-digiroad/>
- MetropAccess & BusFaster (2014). Saavutettavuuslaskeentaa joukkoliikenteen näkökulmasta: MetropAccess-Reititin. Helsingin yliopiston Geotieteiden ja maantieteen laitos & BusFaster Oy. 1.4.2014. <blogs.helsinki.fi/saavutettavuus/tyokaluja/metropaccess-reititin/>
- Meyer, C. & P. A. Papakonstantinou (2009). On the complexity of constructing Golomb Rulers. *Discrete Applied Mathematics* 157: 4, 738–748.
- OpenStreetMap (2014). 13.9.2013. <www.openstreetmap.org>.
- Saarsalmi, P. (2014). Päivittäistavarakaupan spatio-temporaalinen saavutettavuus pääkaupunkiseudulla. Julkaisematon pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, geotieteiden ja maantieteen laitos.
- Salonen, M. & T. Toivonen (2013). Modelling travel time in urban networks: comparable measures for private car and public transport. *Journal of Transport Geography* 31, 143–153.
- Salonen, M., T. Toivonen & M. Vaattovaara (2012). Arkiliikkumisen vaihtoehtoista monikeskuksistuvassa metropolissa: Kaksi näkökulmaa palvelujen saavutettavuuteen pääkaupunkiseudulla. *Yhdyskuntasuunnittelu* 3/2012, 8–27.
- Somerpalo, S. (2006). Saavutettavuuden mittarit. Alueiden saavutettavuus liikenneyhteyksien tason ja aluekehityksen edellytysten mittarina. *Liikenne- ja viestintäministeriön julkaisuja 13/2006*. 88 s.
- Stockholms stad (2012). *Frankomlighetsstrategi för Stockholm 2030*. 70 s. Stockholms stad, trafikkontoret, Stockholm.
- Vaattovaara, M. (2011). Suuri murros kaupunkirakenteen kehityksessä. *Teoksessa* Cantell, T. & T. Lahti. (toim.): *Helsinki tiedon kohteena*, 207–217. Helsingin kaupungin tietokeskus, Helsinki.
- Vasanen, A. (2012). Functional polycentricity: Examining metropolitan spatial structure through the connectivity of urban sub-centres. *Urban Studies* 49: 3627, 1–18.
- Volker, L. (2008). Route planning in road networks with turn costs. Studierarbeit. Universität Karlsruhe, Institut für theoretische Informatik.
- Yiannakoulis, N., W. Bland & L. W. Svenson (2013). Estimating the effect of turn penalties and traffic congestion on measuring spatial accessibility to primary health care. *Applied Geography* 39: 0, 172–182.
- Ziliaskopoulos, A. & H. Mahmassani (1996). Note on least time path computation considering delays and prohibitions for intersection movements. *Transportation Research B* 30: 5, 359–367.