



HELSINGIN YLIOPISTO
HELSINGFORS UNIVERSITET
UNIVERSITY OF HELSINKI

Pro gradu -tutkielma
Maantiede
Geoinformatiikka

PYÖRÄILYN NOPEUKSIEN JA MATKA-AIKOJEN PAIKKATIEPOHJAINEN
MALLINNUS PÄÄKAUPUNKISEUDULLA

Ainokaisa Tarnanen

2017

Ohjaajat:
Tuuli Toivonen
Maria Salonen
Henrikki Tenkanen

HELSINGIN YLIOPISTO
MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA
GEOTIETEIDEN JA MAANTIETEEN LAITOS
MAANTIEDE

PL 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)
00014 Helsingin yliopisto



| | | | |
|--|---|--|--|
| Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta | | Laitos/Institution– Department Geotieteiden ja maantieteen laitos | |
| Tekijä/Författare – Author Ainokaisa Tarnanen | | | |
| Työn nimi / Arbetets titel – Title Pyöräilyn nopeuksien ja matka-aikojen paikkatietopohjainen mallinnus pääkaupunkiseudulla | | | |
| Oppiaine /Läroämne – Subject Maantiede (geoinformatiikka) | | | |
| Työn laji/Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma | Aika/Datum – Month and year Syyskuu 2017 | Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages 84 s. + liitteet 7 s. | |
| Tiivistelmä/Referat – Abstract <p>Kaupunkiliikenteen keskeisiä haasteita ovat kasvavien liikennemäärien synnyttämä ruuhkautuminen ja ympäristöhaitat. Näitä haittoja voidaan pyrkiä vähentämään edistämällä kestäviä liikkumistapoja, kuten pyöräilyä. Pyöräilyn kulkutapaosuuden lisäämiseksi sen tulee olla houkutteleva ja saavutettavuuden näkökulmasta kilpailukykyinen vaihtoehto muihin kulkutapoihin verrattuna. Helsingin yliopiston Digital Geography Lab on kehittänyt keskenään vertailukelpoisia menetelmiä eri kulkutapojen saavutettavuuden mallinnukseen ja vertailuun pääkaupunkiseudulla, mutta pyöräily on puuttunut tarkastelusta, sillä sitä on aiemmin mallinnettu yksinkertaisin oletuksin vakionopeudella ikään kuin nopeutettuna kävelynä. Tämän oletuksen realismia ei ole kuitenkaan aiemmin juuri tutkittu. Tämän työn tavoitteena onkin kehittää aiempaa realistisempi paikkatietomalli pyöräilyn optimaalisten reittien ja matka-aikojen laskentaan pääkaupunkiseudulla huomioiden mallin yleistettävyyden ja toteuttamiskelpoisuuden. Tämän lisäksi tarkastellaan mitkä tekijät vaikuttavat pyöräilynopeuksiin ja voiko nopeuksiin vaikuttavia ympäristötekijöitä käyttää matkaimallin vastuksina, millaisia alueellisia eroja pyöräilynopeuksissa on, ja kuinka realistista pyöräilyn matka-aikojen mallinnus vakionopeudella on seudullisessa mittakaavassa.</p> <p>Kirjallisuuden perusteella pyöräilyyn vaikuttavat useat tekijät, joista tämän työn analyysiin valittiin keskeisiksi ympäristötekijöiksi tunnistetut korkeusvaihtelut, risteykset ja liikennevalot. Niiden vaikutusta pyöräilynopeuksiin pääkaupunkiseudulla tarkasteltiin sekä yksittäisten reittien osalta että koko aineistosta reitti- ja segmenttiakohtaisesti lineaarisen regression avulla. Pyöräilyaineistona käytettiin vapaaehtoisten pyöräilijöiden lahjoittamaa urheilusovelluksilla tallennettua GPS-dataa. Pyöräilijöistä kerättiin myös taustatietoja, joita käytettiin henkilökohtaisten tekijöiden vaikutusten tarkastelussa. Mallin tiiverkostona käytettiin HSL:n kävelyn ja pyöräilyn reittioppaan verkostoa, johon GPS-aineisto yhdistettiin kehittämällä paikkatietopohjainen menetelmä aiempaa autoilun GPS-aineistolle tarkoitettua menetelmää soveltaen. Reittisegmenteille laskettiin suuntaisuuden huomioiva korkeusgradientti Maanmittauslaitoksen 2 metrin korkeusmallista ja liikennevalotiedot johdettiin Digiroadista. Mallinnuksessa käytetyt python-skriptit ovat saatavilla GitHubissa.</p> <p>Pyöräilynopeuksissa on havaittavissa pyöräilijäkohtaisia eroja muun muassa pyöräilyaktiivisuuden suhteen: lähes joka viikonpäivä pyöräilevien mediaaninopeus on 24 km/h, 3-5 päivänä viikossa pyöräilevien 22 km/h ja muutaman kerran viikossa pyöräilevien 18 km/h. Ylämäet ja liikennevaloristeykset hidastavat ja alamäet kasvattavat pyöräilynopeuksia yksittäisillä reiteillä. Koko aineiston tasolla nopeuden ja korkeusgradientin sekä nopeuden ja eri risteystyyppien välillä on heikko negatiivinen riippuvuusuhde. Seudullisella tasolla liikennevaloristeysten hidastava vaikutus on muita ympäristötekijöitä suurempi, mutta jyrkillä ylämäillä on voimakkain hidastava vaikutus reittiakohtaisiin keskinopeuksiin. Regressiomallien selityksasteet ovat kuitenkin heikkoja ($R^2 \approx 0,1$), joten tiiverkoston implementointiin vakionopeuksiin perustuva matka-aikamalli. Nopeuksina käytettiin edellä mainittuja pyöräilyaktiivisuuteen perustuvia mediaaninopeuksia. Alueellisen tarkastelun perusteella pyöräilynopeudet ovat osissa Helsingin keskustaa 0,8 kertaa alueen muita nopeuksia hitaampia, joten kyseisille osuksille asetettiin muuta verkostoa hitaammat pyöräilynopeudet.</p> <p>Korkeusvaihteluilla, liikennevaloilla ja muilla risteyksillä on vaikutusta pyöräilynopeuksiin yksilötasolla, muttei seudullisessa mittakaavassa. Validoinnin perusteella vakionopeuden mallin matka-ajat vastaavat hyvin GPS-aineiston todellisia matka-aikoja. Keskustan hidasteen huomioiva malli on marginaalisesti pelkkää vakionopeuden mallia parempi, mutta ero on hyvin pieni ja vaikuttaa vain keskustan kautta kulkevilla reiteillä. Eri vakionopeuksien aiheuttama ero matka-aikoihin on huomattavasti merkittävämpi. Vakionopeutta voidaan siis pitää pätevänä oletuksena pyöräilyn matka-aikojen vertailukelpoiseen mallintamiseen pääkaupunkiseudulla, mutta pyöräilynopeuksien henkilökohtaiset ja alueelliset erot tulee ottaa huomioon.</p> | | | |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords pyöräily, saavutettavuus, paikkatieto, pääkaupunkiseutu, matka-aika, urheilusovellusaineisto | | | |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited HELDA | | | |
| Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information | | | |



| | | | |
|--|-----------------------------|---|--|
| Tiedekunta/Osasto Fakultet/Sektion – Faculty | | Laitos/Institution– Department | |
| Faculty of Science | | Department of Geosciences and Geography | |
| Tekijä/Författare – Author | | | |
| Ainokaisa Tarnanen | | | |
| Työn nimi / Arbetets titel – Title | | | |
| GIS-based modelling of cyclists' speed and travel times in Helsinki region | | | |
| Oppiaine /Läroämne – Subject | | | |
| Geography (geoinformatics) | | | |
| Työn laji/Arbetets art – Level | Aika/Datum – Month and year | Sivumäärä/ Sidoantal – Number of pages | |
| Master's thesis | September 2017 | 84 pp. + appendices 7 pp. | |
| Tiivistelmä/Referat – Abstract | | | |
| <p>Transportation in cities is facing the challenges of congestion and environmental impact caused by the increase in traffic flows. These issues can be reduced by promoting more sustainable transport modes, such as cycling. To increase its modal share, cycling has to be an attractive and competitive choice compared to other travel modes. Digital Geography Lab in University of Helsinki has developed comparable measures for modelling accessibility with different travel modes in Helsinki region. However, cycling is missing from the data because it has been previously modelled with simplistic assumptions of constant travel speed. Little research has been carried out to assess the applicability of this assumption. The main objective of this thesis is to develop a more realistic GIS model for calculating optimal routes and travel times of cycling in Helsinki region taking into account the feasibility of the model. Other objectives are to find out what factors affect cyclists' travel speed and can the environmental factors be used as impedances in the travel time model, what kind of spatial differences the cycling speeds have, and how realistic it is to model cyclists' travel times with constant speed on a regional scale.</p> <p>According to previous research, among the various things affecting cycling some of the main environmental factors are slope, junctions and traffic lights. The effects of these factors to cycling speeds in Helsinki region were analysed based on individual cycling routes and on a route and segment level from the whole data with linear regression models. GPS data of cycling was collected from volunteers who had been tracking their cycling in Helsinki region with mobile sports applications. Basic background information of the cyclists was also collected to analyse the variations in speed between different background variables. Road network for cycling and walking by Helsinki Region Transport was used as the modelling network. A GIS based map-matching method for the cycling GPS data was developed by applying a method developed for map-matching GPS data of cars. Slope was calculated for route segments using NLS 2 meter digital elevation model and the traffic light information was derived from Digiroad. Python scripts used in modelling are available on GitHub.</p> <p>The cycling speeds vary by cycling frequency: cyclists who stated to cycle almost every day of the week, 3-5 times a week, or a few times a week have median speeds of 24 km/h, 22 km/h and 18 km/h, respectively. Uphill slope and signalized junctions decelerate and downhill slopes accelerate cycling speeds on individual routes. Looking at the whole data, speed has a weak negative correlation between slope and different junction types. On a regional scale the effect of signalized junctions is the greatest, whereas uphill slope has the greatest effect on route-based mean speeds. The regression models do not explain the variation in cycling speeds very well ($R^2 \approx 0.1$) so a travel time model based on constant speeds corresponding to the different median speeds of frequent and less frequent cyclists was implemented on the network. Spatial examination shows that mean cycling speeds in parts of central Helsinki are 0.8 times slower than in rest of the area, so the cycling speeds of the model were slowed down on those segments.</p> <p>Slope, traffic lights and other junctions affect cycling speeds on an individual level but not on the regional scale. Based on model validation the travel times of the constant speed model correlate strongly with the real travel times of the GPS data. The model taking into account the slower parts of central Helsinki is marginally better but the difference is only slight and affecting only the routes going via the city centre. The difference in travel times caused by different constant speeds is much greater. Constant speed can hence be seen as an adequate assumption to model cyclists' travel times in Helsinki region but the personal and spatial differences in cycling speeds should be taken into account.</p> | | | |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords | | | |
| cycling, accessibility, GIS, Helsinki region, travel time, mobile sports application data | | | |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited | | | |
| HELDA | | | |
| Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information | | | |

Sisällysluettelo

| | |
|---|----|
| 1. JOHDANTO..... | 3 |
| 2. TAUSTAA | 5 |
| 2.1 Saavutettavuuden käsite ja mittaaminen..... | 5 |
| 2.2 Paikkatietomenetelmät saavutettavuuden mallinnuksessa..... | 7 |
| 2.2.1 Verkostanalyysit | 7 |
| 2.3 Pyöräily kulkutapana | 9 |
| 2.3.1 Pyöräilyn edistäminen pääkaupunkiseudulla | 10 |
| 2.4 Pyöräilyn tutkimus ja mallinnus | 11 |
| 2.4.1 Pyöräilytutkimuksen osa-alueet..... | 11 |
| 2.4.2 Pyöräilyn tutkimuksen aineistolähteet..... | 13 |
| 2.5 Pyöräilyyn vaikuttavat tekijät | 16 |
| 2.5.1 Matkan pituus | 17 |
| 2.5.2 Korkeusvaihtelut..... | 17 |
| 2.5.3 Pyöräilyinfrastruktuuri | 19 |
| 2.5.4 Käännökset, risteykset ja liikennevalot | 20 |
| 2.5.5 Liikenteen määrä | 21 |
| 2.5.6 Pyöräilijöiden henkilökohtaiset ominaisuudet | 22 |
| 3. AINEISTO JA MENETELMÄT | 23 |
| 3.1 Tutkimusalue | 23 |
| 3.2 Aineistot..... | 24 |
| 3.2.1 HSL:n pyöräilyn ja kävelyn verkosto..... | 25 |
| 3.2.2 Pyöräilyaineisto ja sen tunnusluvut | 25 |
| 3.2.3 Muut aineistot..... | 27 |
| 3.3 Aineistojen käsittely | 28 |
| 3.3.1 Tieverkon muokkaus | 29 |
| 3.3.2 Risteysten luokittelu | 31 |
| 3.3.3 Pyöräilyaineiston käsittely..... | 32 |
| 3.3.4 GPS-pisteiden liittäminen tieverkkoon..... | 33 |
| 3.3.5 Korkeusgradientin laskenta | 36 |
| 3.3.6 Risteystietojen ja GPS-pisteiden tunnuslukujen yhdistäminen reittisegmentteihin | 36 |
| 3.4 Pyöräilynopeuksien tarkastelu | 37 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.5 | Risteysten ja korkeusvaihteluiden vaikutuksen mallinnus | 38 |
| 3.5.1 | Yksittäisten reittien tarkastelu | 38 |
| 3.5.2 | Tilastollinen tarkastelu | 38 |
| 3.6 | Mallin implementointi | 41 |
| 3.7 | Validointi | 41 |
| 3.8 | Pyöräilyn saavutettavuustarkastelu matka-aikamallin eri parametreilla | 42 |
| 4. | TULOKSET | 42 |
| 4.1 | Reitityksen tulokset..... | 42 |
| 4.2 | Pyöräilynopeudet | 43 |
| 4.2.1 | Pyöräilijöiden taustatekijöiden vaikutus nopeuteen | 44 |
| 4.2.2 | Alueelliset ja ajalliset erot | 45 |
| 4.3 | Korkeusvaihteluiden vaikutus pyöräilynopeuksiin..... | 49 |
| 4.4 | Risteysten vaikutus pyöräilynopeuksiin | 51 |
| 4.5 | Ympäristötekijöiden yhteisvaikutus | 56 |
| 4.6 | Regressiomallien tulokset | 57 |
| 4.7 | Validoinnin tulokset..... | 60 |
| 4.8 | Kauppakeskusten saavutettavuus pyöräillen | 62 |
| 5. | KESKUSTELU | 69 |
| 5.1 | Pyöräilynopeuksissa on henkilökohtaisia ja alueellisia eroja | 69 |
| 5.2 | Korkeusvaihtelut, liikennevalot ja risteykset vaikuttavat pyöräilynopeuksiin yksilötasolla mutteivät seudullisessa mittakaavassa..... | 70 |
| 5.3 | Pyöräilyn realistinen mallinnus on haasteellista | 72 |
| 5.4 | Vakionopeus on pätevä oletus pyöräilyn matka-aikojen realistiseen mallintamiseen pääkaupunkiseudun tasolla | 74 |
| 5.5 | Jatkoehdotukset..... | 74 |
| | KIITOKSET | 77 |
| | KIRJALLISUUS | 78 |
| | LIITTEET | 85 |
| | Liite 1. Datankeräyskampanjan taustatietolomake | 85 |
| | Liite 2. Pyöräilyn matka-ajat Forumiin ja Jumboon | 88 |

1. JOHDANTO

Pyöräily kulkutapana on viime vuosina noussut keskeiseksi osaksi kestävästä liikennejärjestelmästä niin kansainvälisesti kuin pääkaupunkiseudullakin (Vaismaa ym. 2011; Handy ym. 2014; KSV 2014). Kaupunkiliikenteen suuria haasteita ovat muun muassa kasvavien liikennemäärien synnyttämä ruuhkautuminen ja ympäristöhaitat, kuten kasvihuonekaasupäästöt ja liikennemelu (EEA 2016). Näitä haittoja voidaan pyrkiä vähentämään liikennepolitiikan muutoksella, joka edistää kestävämpää kaupunkiliikkumista suosimalla kävelyä, pyöräilyä ja joukkoliikennettä, ja pyrkii pois henkilöautoliikenteen priorisoinnista. Pyöräily onkin päästötön, meluton, vähän tilaa vievä, ihmisten liikkumista ja terveyttä edistävä sekä liikkujalle ja yhteiskunnalle edullinen kulkutapa (Liikenne- ja viestintäministeriö 2011).

Laajempien liikennepoliittisten linjausten lisäksi pyöräily on ajankohtainen aihe pääkaupunkiseudulla, jossa se on viime aikoina ollut paljon esillä muun muassa Helsingin tuoreen kaupunkipyöräjärjestelmän suuren suosion ja laajenemisen sekä erilaisten pyöräilyinfrastruktuurin kehittämishankkeiden myötä (HS 2017; KSV 2017). Arkipyöräilijän kannalta kiinnostavaa onkin pyöräilyn sujuvuus, helppous ja nopeus sekä yhdistettävyyden muihin kulkutapoihin, mitä muun muassa laadukas infrastruktuuri ja kaupunkipyöräjärjestelmä edistävät.

Pyöräilyn kulkutapaosuuden lisäämiseksi sen tulee olla houkutteleva ja kilpailukykyinen vaihtoehto muihin kulkutapoihin verrattuna. Liikenne- ja kaupunkisuunnittelun sekä liikkumisen ohjauksen tukena voidaan käyttää erilaisia malleja ja analyyseja, joilla verrataan kohteiden saavutettavuutta eri kulkutavoilla. Saavutettavuuden mittarina voidaan käyttää matkan kulkemisesta aiheutuvia erilaisia kustannuksia, kuten matka-aikaa (Geurs & Van Wee 2004). Matka-ajan onkin todettu olevan tärkeimpiä tekijöitä erityisesti työmatkapyöräilijöiden reittipäätöksissä (Stinson & Bhat 2003). Vertailtaessa saavutettavuutta eri kulkutapojen välillä, on tärkeää käyttää keskenään vertailukelpoisia menetelmiä ja mittareita, jotta saadaan todenmukainen kuva eri kulkutapojen kilpailukyvyistä esimerkiksi matka-ajan suhteen (Salonen & Toivonen 2013).

Autoilun reittimallinnuksessa nopeimman reitin määrittäminen valittujen pisteiden välillä on yksinkertaisimmillaan toteutettu käyttäen tieverkolle määritettyjä nopeusrajoituksia, jolloin saadaan laskettua ”vapaa virtauksen” ajoaikoja tiesegmenteille (Salonen & Toivonen 2013). Tällöin ei kuitenkaan huomioida esimerkiksi ruuhkan tai risteyksissä pysähtymisen vaikutusta matka-aikaan (Jaakkola 2013). Kävelyn mallinnuksessa vastaava vakionopeuden oletus on järkevä, mutta ongelmaksi saattaa muodostua puutteellinen verkosto jalankululle, sillä kävelijät

voivat käyttää lukuisia reittejä, jotka eivät ole autoille mahdollisia. Aiemmissä tutkimuksissa myös pyöräilyn on usein oletettu tapahtuvan vakionopeudella ja samoilla tieverkoston reiteillä kuin jalankulku, ikään kuin ”nopeutettuna kävelynä” (Jäppinen 2012; Salonen ym. 2014; Kumar ym. 2016). Tämän oletuksen realistisuuden analysointiin ei kuitenkaan ole juuri keskitytty, vaikka pyöräily ei aina ole sallittua tai mielekästä samoilla väylillä kuin jalankulku tai autoilu, ja pyöräilyyn vaikuttavat useat erilaiset ympäristötekijät ja hidasteet (Heinen ym. 2010).

Helsingin yliopiston Digital Geography Lab on kehittänyt pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisiin, joka sisältää etäisyydet ja matka-ajat kaikista pääkaupunkiseudun 250 x 250 m tilastoruuduista kaikkiin ruutuihin kävellen, henkilöautolla ja joukkoliikenteellä keskenään vertailukelpoisin menetelmin laskettuna (Toivonen ym. 2015). Autoilun matka-ajoissa otetaan huomioon risteysten, ruuhka-aikojen ja pysäköinnin aiheuttamat hidasteet, ja joukkoliikenteen matka-ajat perustuvat todellisiin joukkoliikenteen aikatauluihin huomioiden pysäkillä kävelyyn ja vaihtoihin kuluvan ajan. Pyöräily kuitenkin puuttuu aineistosta, sillä sitä on aiemmin mallinnettu edellä mainituilla yksinkertaisilla oletuksilla, eikä mallinnusmenetelmän vertailukelpoisuudesta suhteessa muihin kulkutapoihin ole ollut varmuutta. Pyöräilyn lisääminen matka-aikamatriisiin vertailukelpoisena kulkutapana edellyttää pyöräilyn mallinnuksen tarkempaa tarkastelua. Tämän työn tavoitteena on:

- Kehittää aiempaa realistisempi paikkatietomalli pyöräilyn optimaalisten reittien ja matka-aikojen laskentaan pääkaupunkiseudulla huomioiden mallin yleistettävyyden ja toteuttamiskelpoisuuden

Matka-aikojen mallintamista lähestytään pyöräilynopeuksien ja niihin vaikuttavien tekijöiden kautta. Mallinnuksen pohja-aineistona käytetään vapaaehtoisten pyöräilijöiden erilaisilla urheiluovelluksilla keräämää GPS-dataa pyöräilystä pääkaupunkiseudulla. Työssä keskitytään pyöräilyyn nimenomaan paikasta toiseen liikkumiseen tarkoitettuna kaupunkiliikenteen kulkutapana eikä urheilumuotona.

Matka-aikamallinnusmenetelmän kehittämisen lisäksi työssä tarkastellaan seuraavia tutkimuskysymyksiä:

- Mitkä tekijät vaikuttavat pyöräilynopeuksiin? Voiko nopeuksiin vaikuttavia ympäristötekijöitä käyttää matka-aikamallin vastuksina?
- Millaisia alueellisia eroja pyöräilynopeuksissa on havaittavissa?
- Kuinka realistista pyöräilyn matka-aikojen mallinnus vakionopeudella on seudullisessa mittakaavassa?

Pyöräilynopeuksiin vaikuttavia tekijöitä tarkastellaan yleisellä tasolla kirjallisuuskatsauksen perusteella, sekä pääkaupunkiseudun kontekstissa pyöräilyaineiston perusteella erotellen ympäristö- ja henkilökohtaiset tekijät. Vaikutuksia tarkastellaan sekä yksittäisen pyöräilijän reitin kannalta että seudullisella tasolla. Menetelmän kehittämisen rinnalla pohditaan urheilusovellusaineiston laatua ja käytettävyyttä pyöräilyn mallinnuksessa ja sitä, millainen merkitys valituilla mallinnusparametreilla on pyöräilyn saavutettavuutta tarkasteltaessa.

2. TAUSTAA

2.1 Saavutettavuuden käsite ja mittaaminen

Saavutettavuus on keskeinen maantieteellinen käsite kuvattaessa ihmisten liikkumista, ja sen tarkkan määrittelyn ja mittaamisen hankaluutta kuvaavat hyvin sille vuosien saatossa annetut lukuisat määritelmät. Klassisia saavutettavuuden määritelmiä ovat muun muassa Hansenin (1959) ”potentiaali vuorovaikutuksen mahdollisuuksiin”, jonka mukaan pisteiden välinen saavutettavuus on suoraan verrannollinen tarjolla oleviin aktiviteetteihin ja kääntäen verrannollinen pisteiden väliseen etäisyyteen, ja Ingramin (1971) suhteellista saavutettavuutta kuvaava ”aste tai määrä, jolla kaksi samalla pinnalla sijaitsevaa paikkaa (tai pistettä) ovat yhteydessä toisiinsa”. Geertman & Ritsema Van Eck (1995) taas määrittelevät saavutettavuuden spatiaalisten ja sosiaalisten tekijöiden yhdistelmänä ja ”kykynä hallita liikennevälineitä joita tarvitaan haluttujen sijaintien saavuttamiseen soveltuvina aikoina”. Geurs & Van Wee (2004) näkevät saavutettavuuden ja sen mittarit indikaattoreina maankäytön, liikenteen kehittymisen ja suunnittelun vaikutuksista yhteiskuntaan, ja heidän määritelmänsä mukaan saavutettavuus on ”se laajuus tai määrä, jolla maankäyttö ja liikennejärjestelmä mahdollistavat yksilöiden saavuttaa aktiviteetteja tai kohteita jonkin liikennemuodon tai niiden yhdistelmän avulla”. Saavutettavuus onkin käsitteenä vahvasti yhteydessä liikkumiseen ja liikenteeseen, ja kytkeytyy merkittävästi maankäyttöön ja sen luomiin mahdollisuuksiin ja rajoitteisiin. Saavutettavuutta voidaan myös pitää mittana paikasta toiseen siirtymisestä aiheutuville kustannuksille ja ”vaihtokauppana” saataville hyödyille paikan saavuttamisesta (Batty 2009). Määritelmien laajasta kirjosta huolimatta kaikille yhteistä on pyrkimys selittää tai mitata paikkojen, niiden tarjoamien mahdollisuuksien ja niiden välisen etäisyyden tai kitkan ylittämisen välistä suhdetta huomioiden yksilöiden tarpeet ja kyvyt.

Saavutettavuus myös jaetaan usein eri osa-alueisiin. Ingram (1971) jakaa saavutettavuuden suhteelliseen, mikä kuvaa kahden pisteen välistä yhteyttä, ja kokonaisuuteen kuuluvaan saavutettavuuteen, mikä kuvaa yhden pisteen suhdetta kaikkiin muihin pisteisiin. Liikennejärjestelmien kontekstissa saavutettavuus on jaettu muun muassa yksilöihin ja tarjolla oleviin mahdollisuuksiin liittyviin tekijöihin, sekä liikennejärjestelmän kykyyn ylittää näiden välinen etäisyys (Dalvi & Martin 1976). Geurs & Van Wee (2004) tunnistavat saavutettavuuden eri osa-alueet jakamalla sen neljään komponenttiin: 1) maankäyttö-, 2) liikenne-, 3) ajallinen ja 4) yksilöllinen komponentti, jotka ovat vuorovaikutuksessa keskenään suorasti, epäsuorasti ja erilaisten takaisinkytkentöjen kautta. Maankäyttökomponentti kuvaa sijainneissa tarjolla olevien mahdollisuuksien – esimerkiksi työpaikkojen – määrää, laatua ja alueellista jakautumista, kysynnän – esimerkiksi asukkaiden – sijainteja, ominaisuuksia ja jakautumista, ja mahdollista kysynnän ja tarjonnan vastakkainasettelua, mikä saattaa johtaa kilpailuun rajallisista resursseista, kuten työ-, koulu- tai sairaalapaikoista. Liikennekomponentti kuvaa liikennejärjestelmää ja -infrastruktuuria, sekä kohteiden välisen matkustamisen helppoutta jollakin liikennemuodolla. Tällöin huomioidaan matkaan kuluva aika, kustannukset ja vaiva, kuten liikennemuodon mukavuus ja luotettavuus. Ajallinen komponentti kuvaa ajan asettamia rajoitteita saavutettavuuteen, kuten erilaisten aktiviteettien toteuttamisen mahdollisuuden vaihtelua eri vuorokaudenaikoina, tai yksilöllä käytettävissään olevan ajan rajoitteita. Yksilöllinen komponentti puolestaan heijastuu kaikkiin muihin komponentteihin ja kuvaa yksilöiden tarpeita, kykyjä ja mahdollisuuksia käyttää esimerkiksi erilaisia kulkuvälineitä tai lähellä sijaitsevia palveluita.

Saavutettavuuden määrittämisessä keskeistä on käsitteen yhteydessä käytettävät mittarit, jotka kuvaavat yhtä tai useampaa saavutettavuuden komponenttia. Geurs & Van Wee (2004) jakavat myös saavutettavuuden mittarit neljään kategoriaan: 1) infrastruktuuri-, 2) sijainti-, 3) henkilö- ja 4) hyötyperusteisiin. Infrastruktuuriperusteiset mittarit kuvaavat yleensä liikenneinfrastruktuurin palvelutasoa, esimerkiksi tieverkoston keskimääräistä matkustusnopeutta tai ruuhkaisuutta. Sijaintiperusteiset mittarit käsittelevät saavutettavuutta sijainneissa yleensä makrotasolla, kuvaten esimerkiksi työpaikkojen määrää tietyn matka-ajan sisällä jostakin lähtöpisteestä. Henkilöperusteiset mittarit keskittyvät yksilön aika-tila-maantieteeseen ja erityisesti käytettävissä olevan ajan luomiin mahdollisuuksiin ja rajoitteisiin saavuttaa kohteita. Hyötyperusteiset mittarit puolestaan perustuvat saavutettavuuden usein taloudellisiin kustannuksiin ja hyötyihin yksilön tai ryhmän tasolla. Geertman & Ritsema Van Eck (1995) puolestaan jakavat saavutettavuuden mittarit vertaileviin ja yhdistäviin. Vertailevat tai suhteelliset mittarit esittävät saavutettavuuden paikkojen välisten etäisyyden yksikköjen ja saavutettaviksi muuttuvien kohteiden

määrän vaihtona. Paikan yleinen saavutettavuustaso voidaan siis mitata esittämällä saavutettavissa olevien mahdollisuuksien määrä, kun etäisyys lähtöpisteestä kasvaa. Yhdistelmämittarit taas yhdistävät paikkojen välisen etäisyyden ja paikkojen hyödyllisyyden samaan indeksiin, jolloin paikkojen välistä saavutettavuutta voidaan suoraan vertailla. Yleinen yhdistelmämittari on potentiaalimalli, joka kuvaa paikan houkuttelevuuden, etäisyyden ja etäisyyden ylittämisen kitkan välistä suhdetta (Giuliano 1998).

Tässä tutkielmassa keskitytään saavutettavuuden osalta Geurs & Van Ween (2004) jaottelun mukaisesti saavutettavuuden liikennekomponenttiin, sillä tarkasteltavana on kohteiden välinen matkustaminen tietyllä liikennemuodolla, pyöräillen. Tarkasteltavat ja mallinnettavat saavutettavuuden mittarit taas ovat laajemman pyöräiltävyyden käsitteen sijasta infrastruktuuriperusteinen pyöräilynopeus ja sijaintiperusteinen matka-aika tutkimusalueen kohteiden välillä.

2.2 Paikkatietomenetelmät saavutettavuuden mallinnuksessa

Saavutettavuuden mallinnusta paikkatietomenetelmin voidaan lähestyä rasteri- tai vektoripohjaisen mallinnuksen kautta (Steinberg & Steinberg 2006: 172-177). Rasteriaineistosta voidaan muodostaa esimerkiksi erilaisia kustannuspintoja, joiden avulla pyritään löytämään edullisin reitti kohteiden välillä. Vektoripohjaista verkostanalyysia taas käytetään yleensä analyyseissä, joissa kohteiden väliset yhteydet seuraavat valmiiksi määritettyjä väyliä. Tällaisia ovat yleensä liikenteeseen liittyvät analyysit, sillä esimerkiksi tieverkko on helppo kuvata teitä edustavilla viivoilla.

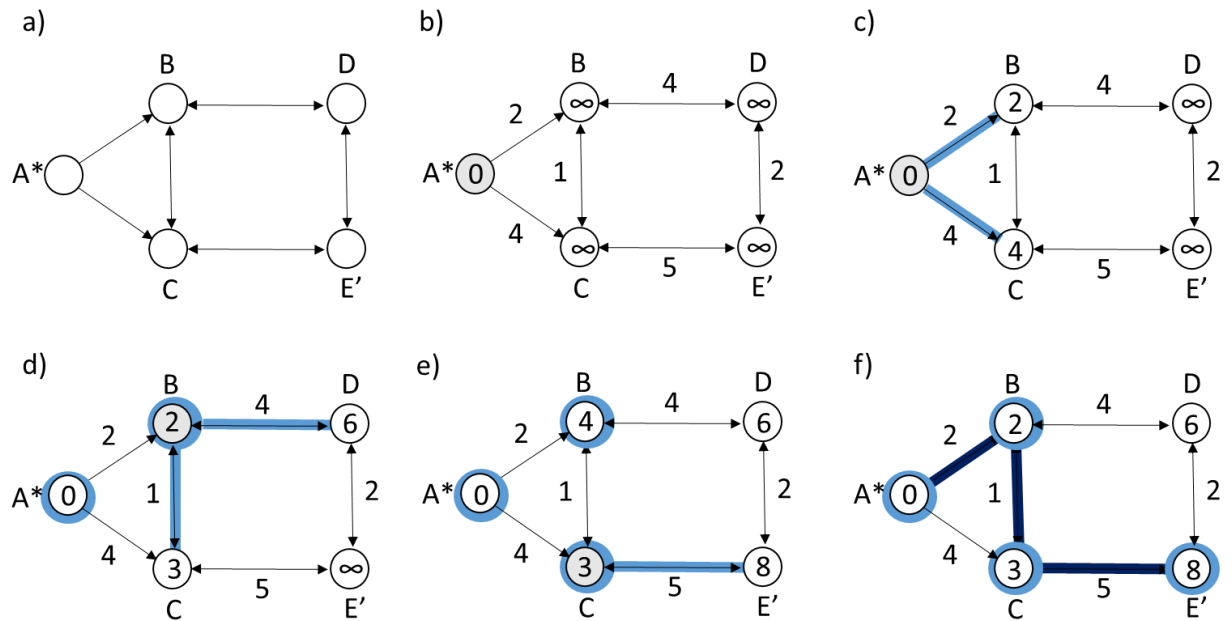
2.2.1 Verkostanalyysit

Vektorimuotoinen verkosto muodostuu pisteistä eli noodeista ja niitä yhdistävistä viivoista eli linkeistä. Paikkatietopohjaisten verkostojen ja verkostanalyysien teoria pohjaa vahvasti matemaattiseen graafiteoriaan ja topologiaan (Curtin 2007). Topologisten sijaintiominaisuuksien, kuten yhdistyvyyden ja vierekkäisyyden lisäksi verkostot voivat sisältää kartografisia ominaisuuksia kuten elementtien muoto ja pituus, sekä elementtien ominaisuustietoja. Paikkatietopohjaisen verkoston rakenteen ja ominaisuustietojen määrittämisen jälkeen verkostolle voidaan määrittää edelleen mm. käännöshidasteita, impedansseja eli verkoston vastuksia, yksisuuntaisia linkkejä, esteitä, verkoston hierarkia, tai noodin tai linkin kapasiteetti, jolloin verkostoa voidaan käyttää esimerkiksi reititysongelmien ratkaisemiseen (de Smith ym. 2009: 393-394). Verkoston impedanssi eli vastus kuvaa sitä kustannusta, joka linkin kautta kulkemisesta aiheutuu, ja se voidaan määrittellä esimerkiksi etäisyyteen tai nopeuteen perustuvana, tai ajallisena tai rahallisenä kustannuksena (Niaraki & Kim 2009).

Verkostoanalyysit liittyvät usein optimaalisten reittien tai sijaintien löytämiseen verkostoja pitkin. Tällaiset optimointiongelmat ovat laskennallisesti hyvin vaativia, ja niiden ratkaisuun käytettävät menetelmät voidaan jakaa deterministisiin, ei-deterministisiin, heuristisiin ja metaheuristisiin algoritmeihin (de Smith ym. 2009: 395-406). Heuristiset algoritmit tarjoavat deterministisiin algoritmeihin verrattuna laskennallisesti nopeamman menetelmän, jossa pyritään löytämään lähellä optimia oleva ratkaisu, joka ei välttämättä kuitenkaan ole kaikkein optimaalisin. Metaheuristiset algoritmit taas ovat jatkokehitelmiä heuristisista algoritmeista, jotka pyrkivät löytämään globaalin optimin ahneiden heurististen algoritmien käyttämän paikallisen etsinnän sijasta.

Yksi yleisimmistä reittioptimointiongelmissa on lyhimmän reitin ongelma, jossa pyritään löytämään yksi tai useampi lyhin tai pienimmän kustannuksen reitti verkostoa pitkin lähtöpisteestä yhteen tai useampaan kohdepisteeseen. Yleisimpiä kyseisen ongelman ratkaisussa käytettäviä algoritmeja ovat Dantzigin (1960), Dijkstran (1959) ja A*-algoritmit (de Smith ym. 2009: 421-422).

Dantzigin algoritmissa matka noodien välillä lasketaan askel askeleelta tunnistuen aina lyhimmän tai edullisimman reitin noodista seuraavaan lisäen kustannuksen ja reitin muistiin, kunnes kaikki noodit on käyty läpi ja lyhimmän reitin pituus tai kustannus on saatu selville (de Smith ym. 2009: 421). Dijkstran algoritmin toimintaperiaate on hyvin samanlainen, mutta siinä kaikkien noodien välistä lyhintä etäisyyttä ei lasketa, vaan edetään paikallisen edullisimman arvon mukaan. Algoritmi tallentaa kaikille noodeille alustavan etäisyysarvon lähtönoodista, mikä on aluksi ääretön, ja tallentaa muistiin vierailtujen noodien listan. Algoritmi laskee naapurinoodille etäisyyden aktiivisesta noodista, päivittää naapurinoodin etäisyysarvon jos se on alustavaa etäisyyttä lyhempi ja lisää pienimmän etäisyyden noodin vierailtujen listaan (Kuva 1). Vierailuille noodeille etäisyysarvoa ei lasketa enää uudestaan, ja seuraavaksi aktiiviseksi noodiksi valitaan se vierailematon noodi, johon kumulatiivinen etäisyys lähtöpisteestä on lyhin. Tätä toistetaan niin kauan, kunnes kohdenoodi on saavutettu (de Smith ym. 2009: 421; Cormen ym. 2009: 659). A* puolestaan on heuristinen algoritmi, johon Dijkstran algoritmi perustuu. Algoritmi käy noodeja läpi laskemalla euklidisen etäisyyden siihen mennessä saavutetusta noodista kohdenoodiin ja asettaa siten vierailtavat naapurinoodit järjestykseen etäisyyden mukaan, jolloin noodien läpi käynti ja ratkaisun löytyminen on nopeampaa (de Smith ym. 2009: 422).



Kuva 1. Dijkstran algoritmi (mukaillen Cormen ym. 2009: 659): a) Verkoston noodit ja linkit. b) Aktiivinen noodi on lähtöpiste A^* ja muille noodeille annetaan alustavaksi etäisyysarvoksi ääretön. c) Algoritmi laskee etäisyyden naapurinooodeihin (korostetut linkit) ja päivittää niiden etäisyysarvot. d) Noodin B arvo on pienin, joten se muuttuu vierailuksi. Algoritmi laskee etäisyydet B:n naapurinooodeihin, ja päivittää etäisyysarvot jos ne ovat aiempaa pienemmät. e) Noodi C on aktiivinen ja algoritmi laskee etäisyydet vain sen vierailemattomiin naapurinooodeihin. f) Kohdenoodi E' on lisätty vierailtujen noodien joukkoon ja laskenta päättyy. Muodostunut lyhin reitti on korostettu kuvaan.

2.3 Pyöräily kulkutapana

Pyöräily nähdään keskeisenä osana ratkaisua nykyhetken ja tulevaisuuden liikennejärjestelmien ja arkiliikkumisen haasteisiin (Vaismaa ym. 2011). Monin paikoin pyöräilyn suosio jää kuitenkin henkilöautoilun ja joukkoliikenteen taakse. Pyöräilyn valintaan kulkutavaksi vaikuttavatkin monet eri tekijät, jotka voidaan jakaa yksilöllisiin ja sosio-kulttuurisiin tekijöihin, pyöräilyn ja muiden liikennemuotojen kokonaiskustannuksiin sekä paikallisen viranomaisen poliittisiin toimiin (Metsäpuro ym. 2014). Yksilöllisiä ja sosio-kulttuurisia tekijöitä ovat muun muassa ikä, sukupuoli, tulotaso, yhteiskuntaluokka, pyöräilyn asema muihin kulkutapoihin nähden ja poliittinen tahtotila. Pyöräilyn kokonaiskustannukset tai matkavastukset koostuvat suorien rahallisten kustannusten lisäksi matkaan kuluvasta ajasta, turvallisuuden ja mukavuuden kokemuksesta, fyysisestä kuormittavuudesta ja loukkaantumisen tai varkauden riskistä. Viranomaisen poliittisilla toimilla voidaankin vaikuttaa pyöräilyn ja muiden liikennemuotojen kokonaiskustannuksiin vaikuttamalla esimerkiksi pyöräilyinfrastruktuuriin, kaupunkirakenteeseen ja muiden kulkutapojen käytön hinnoitteluun. Pyöräilystä saadaan houkuttelevaa silloin, kun sen kokonaiskustannukset ovat muita kulkutapoja pienemmät, eli kun pyöräily on esimerkiksi henkilöautoilua mukavampaa, nopeampaa ja rahallisesti edullisempaa.

Pyöräilyn kulkutapaosuudet vaihtelevat huomattavasti maittain ja kaupungeittain. Esimerkiksi Yhdysvalloissa, Kanadassa, Australiassa ja Isossa-Britanniassa pyöräily on kulkutapana hyvin marginaalinen noin 1-2 % kulkutapaosuudella kaikista matkoista (Pucher & Buehler 2008; Handy ym. 2014), kun taas eurooppalaisissa pyöräilyn suurmaissa Tanskassa ja Alankomaissa pyöräilyn kulkutapaosuus on 16 % ja jopa 26 % (Ministerie van Verkeer en Waterstaat 2009; Cycling Embassy of Denmark 2017). Suomessa pyöräilyn kulkutapaosuus kaikista matkoista on ollut pitkään 10 % luokkaa, tuoreimpien tilastojen mukaan vuosina 2010-2011 8 % (Liikennevirasto 2012).

Pääkaupunkiseudulla pyöräilyn osuus liikkumismuodoista on hyvin samaa luokkaa valtakunnallisen tason kanssa. Pyöräilyn kulkutapaosuus pääkaupunkiseudun asukkaiden pääkaupunkiseudulla syksyn arkivuorokauden aikana tekemistä matkoista vuonna 2012 oli 8 %: kunnittain jaoteltuna Helsingissä 6 %, Espoossa 8 %, Kauniaisissa 6 % ja Vantaalla 9 % (HSL 2013). Helsingiläisten liikkumistottumusten tutkimusten mukaan syksyn arkivuorokauden pyöräilyn kulkutapaosuus kaikista matkoista Helsingissä oli vuonna 2012 11 % ja vuonna 2016 10 % (KSV 2016a).

2.3.1 Pyöräilyn edistäminen pääkaupunkiseudulla

Pyöräilyn kulkutapaosuuden kasvattaminen muiden kestävien liikennemuotojen ohella on noussut viime vuosina kaupunkien keskeiseksi tavoitteeksi niin kansainvälisesti kuin Suomesakin (Metsäpuro ym. 2014). Pääkaupunkiseudun kunnat pyrkivät edistämään kestävästä liikunnasta ja ovat sitoutuneet Brysselin julistuksen tavoitteeseen kasvattaa pyöräliikenteen osuus 15 %:iin vuoteen 2020 mennessä (Pyöräilymetropoli 2017). Helsingin kaupungin pyöräilyn edistämishjelman visiona on luoda Helsingistä maailman paras kestävästä liikkumisen metropoli (KSV 2014). Kaupungin strategiassa on nostettu esiin hyvien edellytysten luominen kävelyille ja pyöräilylle, pyöräilyinfrastruktuurin tihentäminen ja kehittäminen, jossa tärkeänä tekijänä on pyöräilyn laatuikäytävien, baanojen, laajentaminen tärkeimmille työmatkareiteille, kaupunkipyöräijärjestelmän toteuttaminen sekä pyöräilyn markkinoinnin lisääminen. Keskeistä on pyrkiä pois kevyen liikenteen ajattelusta ja erottaa pyöräily selkeästi omaksi kulkumuodokseen (Helsingin kaupunki 2016). Vantaalla pyritään edistämään pyöräilyä erityisesti keskusta-alueilla, niiden välisillä joukkoliikennevyöhykkeillä ja pientalovaltaisilla alueilla panostamalla laadukkaisiin pyöräilyn pääväyliin ja varmistamalla hyvät pyöräily-yhteydet asuinalueiden ja palveluiden välillä (Vantaan kaupunki 2016). Espoon tavoitteena on olla matkaketjujen ja pyöräilyn laatureittien mallikaupunki, ja tavoitteeseen pyritään kattavien ja turvallisten sekä viih-

tyisien ja mukavien reittien, nopeiden yhteyksien, sujuvien matkaketjujen ja kannustavan ilma-
piirin avulla (Espoon kaupunki 2013). Matkaketjujen osalta keskeistä on asemien saavutetta-
vuus pyöräillen ja pyörien liityntäpysäköinti. Lisäksi Espoossa toteutetaan kaupunkipyöräko-
keilu kesällä 2017 (HSL 2017a). Seudullisena tavoitteena on, että pyöräilyn laatukäytävät jat-
kuvat saumattomasti saman laatusina yli kuntarajojen (KSV 2017). Absoluuttiset pyöräilijä-
määrät pääkaupunkiseudulla ovatkin kasvaneet viime vuosina, ja pyöräilyyn suhtaudutaan
myönteisesti (Pyöräilymetropoli 2017).

Potentiaalia pyöräilyn kulkutapaosuuden kasvattamiseen on erityisesti alle 5 kilometrin mat-
koilla, joita pidetään kaupunkialueilla potentiaalisimpina pyöräilymatkoina, sillä lyhyillä mat-
koilla liikkuminen pyörällä etenkin ruuhka-aikoina voi olla henkilöautoa ja joukkoliikennettä
sujuvampaa ja nopeampaa (Metsäpuro ym. 2014). Pääkaupunkiseudulla suuri osa alle 5 kilo-
metrin matkoista tehdään kuitenkin henkilöautolla, joten pääkaupunkiseudun päivittäisissä
matkoissa on vielä runsaasti potentiaalia korvata henkilöautoilu pyöräilyllä (Pyöräilymetropoli
2017).

2.4 Pyöräilyn tutkimus ja mallinnus

2.4.1 Pyöräilytutkimuksen osa-alueet

Saavutettavuustutkimuksissa on perinteisesti keskitytty lähinnä moottoriajoneuvoilla tapahtu-
vaan liikkumiseen, kun taas pyöräilyä ja kävelyä on tutkittu vähemmän (Iacono ym. 2010).
Viime vuosikymmeninä kevyen liikenteen liikkumismuotojen, ja erityisesti pyöräilyn, tutkimus
on kuitenkin kasvanut, sillä sille on havaittu olevan tarvetta muun muassa kestävässä liikkumisen
suunnittelun ja edistämisen kannalta (Heinen ym. 2010). Pyöräilyn tutkimuksessa onkin saavu-
tettavuuden lisäksi keskitytty kulkutavan ja reitin valintaan, liikennesuunnitteluun ja pyöräilyn
terveysvaikutuksiin liittyviin haaroihin sekä edellä mainituista ammentaviin liikennepolitiikkaa
käsitteleviin osa-alueisiin.

Saavutettavuuden mittareita voidaan hyödyntää muun muassa pyöräilyn liikennemäärien ja kul-
kutavan valinnan mallinnuksessa. Perinteisiä saavutettavuuden mittareita on kuitenkin kriti-
soitu siitä, että ne kuvaavat usein vain lyhimmän etäisyyden matkoja ja toimivat lähinnä auto-
liikenteen lainalaisuuksien mukaan, ja soveltuvat siksi huonosti pyöräilyn saavutettavuuden
mittaamiseen (Iacono ym. 2010; Zimmermann ym. 2017). Ongelmia pätevien saavutettavuus-
mittareiden tuottamiseen pyöräilylle aiheuttavat useimmiten puutteelliset aineistot pyöräilyver-
kostosta, maankäytöstä ja pyöräilijöiden käyttäytymisestä, sekä huonosti pyöräilyä kuvaavat

impedanssifunktiot (Iacono ym. 2010). Zimmermannin ym. (2017) mukaan pyöräilyn saavutettavuuden realistiseen mittaamiseen olisikin tärkeää sisällyttää pyöräilijöiden reittimieltymykset ja lukuisten sub-optimaalisten reittivaihtoehtojen määrä yhden parhaan reitin hyödyllisyyden tai houkuttelevuuden sijaan. Pyöräilyn kontekstissa saavutettavuuteen liittyykin keskeisesti liikenneverkon soveltuvuus ja houkuttelevuus pyöräilyyn. Tämän pyöräiltävyyden (*bikeability*) mittaamiseen on kehitetty erilaisia indeksejä, joissa soveltuvuus pyöräilyyn on nostettu keskiöön. Esimerkiksi Winters ym. (2013) kehittivät Vancouveriin Kanadaan pyöräiltävyys-indeksin, joka huomioi pyöräreittien tiheyden, jatkuvuuden ja yhdistyvyyden muihin reitteihin, pyöräväylien erottelun muusta liikenteestä, topografian ja potentiaalisten kohteiden tiheyden. Vastaavia mittareita, kuten Yhdysvalloissa kehitetty Cycle Zone Analysis, joka koostuu vyöhyke-, pyöräteiden ja liittymien laadun analyysistä ja indekseistä, on käytetty pyöräilyn potentiaalinen arviointiin ja alueiden pyöräiltävyyden kehittämiseen (Metsäpuro ym. 2014). Saavutettavuutta tarkasteltaessa pyöräily on myös yhdistetty muihin kulkutapoihin osana matkaketjua esimerkiksi raideliikenteen asemien syöttöliikennemuotona tai kaupunkipyöräjärjestelmän myötä osana muuta joukkoliikennettä (Jäppinen ym. 2013; Geurs ym. 2016).

Yksi pyöräilytutkimuksen keskeinen haara on kulkutavan ja reitin valinnan tutkimus, jolla on pyritty selvittämään erilaisten ympäristötekijöiden ja ihmisten henkilökohtaisten ominaisuuksien ja mieltymysten vaikutusta pyöräilyyn. Vaikuttavia tekijöitä on tutkittu keskittyen laajemmin kulkutavan valintaan (Hunt & Abraham 2007; McKibbin 2011; Broberg & Sarjala 2015) sekä erityisesti pyöräilijöiden reitin valinnan mallintamiseen (Menghini ym. 2010; Broach ym. 2012; Ehr Gott ym. 2012). Reitin valinnan mallit perustuvat erilaisiin logit-muotoisiin malleihin ja kehittyneisiin algoritmeihin, ja kuvaavat matkaajan todennäköisyyttä valita jokin reittivaihtoehto perustuen tämän mieltymyksiin tai muihin matkustamiseen vaikuttaviin tekijöihin (Kumar ym. 2016). Mallin tarkastelemat vaikuttavat tekijät perustuvat ilmoitettujen tai todellisten reittien aineistoon erilaisista reiteistä (Zimmermann ym. 2017). Useimmat reitin valinnan mallit ovat reittiperustaisia, jolloin äärettömästä määrästä reittivaihtoehtoja kaikkien lähtö- ja kohdepisteparien välillä on rajattava jokin pyöräilijän käytettävissä oleva reittivalikoima esimerkiksi linkkejä poistavan (Menghini ym. 2010) tai reittejä nimeävän (*route labelling*) algoritmin avulla (Broach ym. 2012). Menetelmää on kritisoitu siitä, ettei algoritmien tuottama reittivalikoima välttämättä edusta pyöräilijän todellisia reittivaihtoehtoja, ja toiseksi lähestymistavaksi on esitetty linkkiperusteista mallinnusta, jossa optimaalinen reitti rakentuu optimaalisten linkkien ketjusta (Ehr Gott ym. 2012; Zimmermann ym. 2017). Yleisesti käytetty monimuuttujamalli (*multinomial logit model*) myös olettaa vaihtoehtoisten reittien olevan täysin erilaisia

ilman päällekkäisiä osuuksia, ja tätä epärealistista oletusta täytyy korjata erilaisilla menetelmillä, jotka huomioivat reittien samanlaisuuden, kuten path-size logit –funktiolla (Menghini ym. 2010; Hood ym. 2011; Broach ym. 2012). Reitin valinnan malleja voidaan käyttää pohjana liikennemäärien ennustamisessa ja mallinnuksessa, sekä pyöräilijöille suunnatuissa reittiopissa (Hood ym. 2011).

Liikennesuunnittelun näkökulmasta liikennemäärien sekä suosittujen reittien ja väylätyyppien lisäksi kiinnostavaa on pyöräilynopeuksien tutkimus muun muassa pyöräilyinfrastruktuurin palvelutason mittaamiseksi ja sopivien mitoitusnopeuksien suunnittelun tueksi. Pyöräilynopeuksien tutkimuksessa on keskitytty muun muassa väylätyypin, korkeuserojen ja pyöräilijöiden henkilökohtaisten tekijöiden, kuten iän vaikutuksiin sekä risteysnopeuksiin (El-Geneidy ym. 2007; Parkin & Rotheram 2010). Nimenomaan pyöräilynopeuteen vaikuttavien tekijöiden tutkimusta on kuitenkin tehty verraten vähän, ja muun muassa tämän vuoksi reitin valinnan malleissa yleinen oletus on pyöräilijän liikkuminen verkostossa vakionopeudella, vaikka erilaisten ympäristötekijöiden, kuten ylämäkien ja risteysten potentiaalinen vaikutus pyöräilynopeuksiin tiedostetaan (Larsen & El-Geneidy 2011; Broach ym. 2012; Ehr Gott ym. 2012).

Kuluttavan ja reitin valinnan mallinnuksessa keskitytään yleensä työmatkapyöräilyyn tai arkimatkojen kulkemiseen, jolloin pyritään yleensä löytämään nopein tai muutoin tehokkain reitti. Toinen näkökulma on pyöräily urheiluaktiviteettina, jolloin optimaalisin reitti ei välttämättä ole nopein ja helpoin, vaan esimerkiksi korkeusvaihteluiltaan haastava (Payne & Dror 2015). Molempiin näkökulmiin voidaan yhdistää pyöräilyyn liittyvien terveysvaikutusten tutkimus, ja pyöräilyllä onkin todettu olevan terveyttä edistäviä vaikutuksia (Krenn ym. 2014; Griffin & Jiao 2015). Suuri osa kirjallisuudesta keskittyy myös pyöräilyn edistämisen keinoihin ja parhaiden käytäntöjen vertailuun eri maissa ja kaupungeissa (Pucher ym. 2010; Vaismaa ym. 2011; Handy ym. 2014).

2.4.2 Pyöräilyn tutkimuksen aineistolähteet

Pyöräilytutkimuksia on toteutettu sekä ilmaistujen että todellisten arvostusten menetelmillä. Pyöräilyn volyymia on perinteisesti tutkittu kiinteiden tai liikkuvien pyörälaskureiden avulla, pyöräilijöiden reittejä on kartoitettu GPS-laitteiden avulla, ja mieltymyksiin liittyviä tekijöitä on analysoitu kyselytutkimuksin. Viime vuosina näiden perinteisten menetelmien rinnalle on noussut big dataan rinnastettavien tai joukkoistamalla hankittujen aineistolähteiden käyttö (Griffin & Jiao 2015; Romanillos ym. 2016).

Pyöräilijöiden kulkutavan ja reitin valintaan liittyviä mieltymyksiä on usein kartoitettu kyselytutkimuksin. Tavoitteena on ollut selvittää mitkä ympäristö- tai muut tekijät vaikuttavat kulkutavan tai reitin valintaan yleisesti tämänhetkisissä olosuhteissa, potentiaalisissa infrastruktuurin muutostilanteissa, tai täysin hypoteettisissa tilanteissa erilaisten vaihtoehtojen välillä (Rodríguez & Joo 2004; Krizek ym. 2007; Tilahun ym. 2007; Sener ym. 2009; KSV 2016b).

Kyselytutkimusten keskeinen ongelma on kuitenkin ihmisten väitetyn ja todellisen käyttäytymisen erot. Paikkatiedon käytön yleistymisen ja internet-pohjaiset kyselyt mahdollistivat vastaajien todellisten reittien ja niiden ominaisuustietojen lisäämisen kartalle hypoteettisten reittien tai valintatilanteiden sijaan (Larsen & El-Geneidy 2011; Zimmermann ym. 2017). Suosituksi todellisten arvostusten tutkimusmenetelmäksi on noussut pyöräilijöiden liikkeiden, nopeuden ja reittivalintojen seuraaminen GPS-havaintojen avulla (Menghini ym. 2010; Parkin & Rotheram 2010; Broach ym. 2012). GPS-dataan perustuvien tutkimusten haasteita ovat kuitenkin riittävän suuren ja edustavan pyöräilijäjoukon rekrytointi tutkimusta varten, GPS-laitteiden jakelun, käytön ja keräämisen haasteet sekä datan mahdolliset epätarkkuudet heikon GPS-signaalin tai kohinan vuoksi. Raaka GPS-data vaatii myös paljon prosessointia, sillä se muodostuu usein valtavasta määrästä tallennuspisteitä, joista käyttökelpoiset pisteet, erilliset matkat ja taustatietojen puuttuessa myös kulkutapa täytyy erottaa, ja yhdistää analyysissa käytettävään tieverkkoon (Shen & Stopher 2014).

GPS-laitteiden avulla kerättyä dataa on pyritty rikastamaan yhdistämällä siihen reittipäiväkirja ja pyöräilymatkan varrelta kerättyä video- tai kuvamateriaalia. Esimerkiksi Tukholmassa tehdyssä pyöräilyn sujuvuuden tutkimuksessa tutkimushenkilöt pyöräilivät GPS-vastaanottimen ja videokameran kanssa, ja analyysiohjelma yhdisti GPS-mittaukset ja videomateriaalin muodostaen niistä karttaesityksen ja reittiä kuvaavia parametreja (Gustafsson & Archer 2013). Kuvamateriaaliin perustuvaa tiedonkeruuta on myös joukkoistettu kannustamalla ihmisiä keräämään valokuvia, jotka yhdistetään GPS-pohjaiseen sijaintiin, jolloin tallennettua aineistoa voidaan hyödyntää karttasovelluksen avulla esimerkiksi pyöräväylien kunnossapidon tai suunnittelun tarpeisiin (Espoon kaupunki 2016; Mapillary 2017).

GPS-datan käytön seuraava askel onkin ollut älypuhelisten yleistymisen myötä varta vasten tutkimustarkoituksiin räätälöityjen mobiilisovellusten tai yleisesti käytössä olevien urheilusovellusten käyttö datan keruussa (Hood ym. 2011; Zimmermann ym. 2017). Älypuhelisten paikannustarkkuus on nykyään riittävä pyöräilytutkimusten tarpeisiin, ja puhelimella käytettäviä

sovelluksia pidetään edullisena, nopeana ja suurempia osallistujamääriä saavuttavana menetelmänä verrattuna erillisten GPS-laitteiden jakamiseen osallistujille (Romanillos ym. 2016; Korpilo ym. 2017). Erityisesti yleisesti käytetyillä urheilusovelluksilla, kuten Strava, Endomondo, Map My Ride ja SportsTracker, voidaan saavuttaa moninkertainen määrä pyöräilijöitä ja aineistoa verrattuna perinteiseen tutkimushenkilöiden rekrytointiin (Romanillos ym. 2016). Esimerkiksi Strava on havainnut aineistojen potentiaalin tutkimus- ja suunnittelutarkoituksissa, ja Strava Metro myy käyttäjien tallennuksia liikenne- ja kaupunkisuunnitteluviranomaisille muun muassa pyöräilyinfrastruktuurin parantamisen ja suunnittelun tueksi (Strava Metro 2014). Sovelluksen käyttäjien yksityisyydensuojan takaamiseksi data ja käyttäjien demografiset tiedot ovat kuitenkin aggregoidussa muodossa, jolloin yksittäisiin reitteihin ja pyöräilijöiden henkilökohtaisiin preferensseihin ei päästä käsiksi. Urheilusovellusdatan käyttöä on myös kritisoitu siitä, ettei se edusta hyvin koko pyöräilypopulaatiota, vaan on vinoutunut muun muassa käyttäjien iän, sukupuolen, ja älypuhelimien omistuksen ja käytön suhteen sekä kuvastaa enemmän urheilullisia pyöräilysuorituksia kuin arkisia matkoja (Griffin & Jiao 2015; Oksanen ym. 2015). Toisaalta urheilusovellusten käyttäjien on havaittu käyttävän pitkälti samoja reittejä kuin muidenkin pyöräilijöiden erityisesti pyöräilyn huippuaikoina (Jestico ym. 2016). Yksittäisiä pyöräilytutkimuksia varten kehitettyjen mobiilisovellusten etuna onkin kyselyn sisällyttäminen reitin tallennuksen yhteyteen. Näin voidaan kerätä hyvinkin tarkkoja demografisia, pyöräilyaktiivisuuteen ja matkan tarkoitukseen liittyviä tietoja, joita urheilusovellusdatasta ei suoraan ole saatavilla (Zimmermann ym. 2017).

Viimeisen 10 vuoden aikana yleistyneet elektroniseen hallintaan perustuvat ”kolmannen sukupolven” kaupunkipyöräjärjestelmät ovat myös tarjonneet monipuolisen datalähteen perinteisten menetelmien rinnalle (O’Brien ym. 2014; Romanillos ym. 2016). Kaupunkipyöräasemat tallentavat tiedon pyörän lainaus- ja palautusajasta, ja tietoja voidaan hyödyntää kaupunkipyöröiden käytön spatio-temporaalisessa analyysissä muun muassa suosituimpien asemien tarkasteluun, pyöröiden tarpeen ennustamiseen, uusien asemien suunnittelun tukena ja erilaisten käyttäjäryhmien tunnistamiseen. Toistaiseksi useimmat järjestelmät eivät kuitenkaan tallenna tietoa itse kuljetusta matkasta, joten kaupunkipyörädataa ei voi suoraan hyödyntää reitin valinnan ja nopeuteen vaikuttavien tekijöiden kysymyksissä.

2.5 Pyöräilyyn vaikuttavat tekijät

Pyöräilyn mallinnuksessa ongelmallista on se, että reittivalintoihin vaikuttavat autoilua enemmän erilaiset vaikeasti mallinnettavat laadulliset, kokemukselliset ja esteettiset tekijät, sekä palveluiden sijoittelu ja muut ympäristötekijät (Rodríguez & Joo 2004; Iacono ym. 2010). Tieto liikkujien käyttäytymisestä on usein puutteellista ja hyvin paikkakohtaista eikä siten yleistettävissä muille alueille. Kuvassa 2 ja kappaleissa 2.5.1-2.5.6 on esitetty yleisimpiä kirjallisuudessa tunnistettuja pyöräilyyn – niin kulkutavan kuin reitin valintaan että nopeuksiin – vaikuttavia tekijöitä. Näitä ovat matkan pituus, pyöräilyinfrastruktuurin laatu ja kunnossapito sekä muu rakennettu ympäristö palveluineen ja maisemineen, risteykset, käännökset ja liikennevalot, maaston korkeuserot, sää ja vuodenaikojen vaihtelu, muun liikenteen määrä sekä pyöräilijän sosio-ekonomiset ominaisuudet, asenteet ja tavat (Heinen ym. 2010; Iacono ym. 2010; Menghini ym. 2010; Parkin & Rotheram 2010; Metsäpuro ym. 2014; Buehler & Dill 2015).



Kuva 2. Pyöräilynopeuksiin ja reitin valintaan vaikuttavia tekijöitä.

Vaikka tässä työssä keskitytään nimenomaan eri tekijöiden vaikutuksiin pyöräilynopeuteen ja matka-aikaan, nojaa analyysissä käytettävien tekijöiden valinta vahvasti myös kirjallisuuteen reitin valinnan malleista, sillä sitä on enemmän kuin nopeuksiin keskittyviä tarkasteluja. Havaitut vapaan virtauksen pyöräilynopeudet vaihtelevat eri tutkimuksissa 10–28 km/h välillä riippuen muun muassa tutkimusalueesta ja käytetystä menetelmästä (El-Geneidy ym. 2007).

GPS-aineistoihin perustuvissa tutkimuksissa pyöräilijöiden havaitut keskinopeudet ovat vaihdelleet Zürichin 10,1 km/h ja Leedsin 21,5 km/h välillä (Menghini ym. 2010; Parkin & Rotheram 2010). Pohjois-Euroopasta kerätyn Sports Tracker –aineiston pyöräilyn keskinopeudet olivat noin 20 km/h riippuen matkan kestosta (Sainio ym. 2015), ja Helsingissä kahden pyöräilijän 70 matkaan perustuvassa GPS-aineistossa pyöräilijöiden keskinopeus oli 15,4 km/h ja mediaaninopeus 18,1 km/h (Malmberg ym. 2014). Pyöräilyn matka-aikojen mallinnukseen pääkaupunkiseudulla on aiemmin käytetty 15-20 km/h vakionopeuksia (Tulikoura & Jäppinen 2012; Jäppinen ym. 2013; Salonen ym. 2014) ja HSL:n pyöräilyn ja kävelyn reittiopas käyttää reitityksessään pyöräilyn oletusnopeutena 17 km/h (HSL 2016a).

2.5.1 Matkan pituus

Pyöräilyn tapauksessa reitin pituuden on todettu olevan merkittävimpiä tekijöitä niin kulkutavan kuin reitin valinnassa, sillä etäisyys vaikuttaa suuresti matka-aikaan ja matkaan vaadittavaan fyysiseen ponnistukseen (Heinen ym. 2010; Menghini ym. 2010). Pitkät etäisyydet tekevät pyöräilystä vähemmän houkuttelevaa (Hunt & Abraham 2007) ja vähentävät pyörällä tehtyjen matkojen osuutta kaikista matkoista. Erityisesti työmatkapyöräilyn osalta optimaalisimmiksi etäisyyksiksi on määritelty alle 5 kilometrin matkat, joskin alle 8-10 kilometrin matkojen pyöräilypotentiaalia voidaan pitää vielä hyvänä (Metsäpuro ym. 2014).

Jos tarkastellaan pyöräilyä tehokkaan kulkumuodon eikä urheilusuorituksen näkökulmasta, pyöräilijät pyrkivät ensisijaisesti valitsemaan lyhimmän reitin (Menghini ym. 2010). Lyhin reitti ei kuitenkaan aina ole nopein tai muuten optimaalisin, ja erilaisilla ympäristötekijöillä onkin havaittu olevan huomattavia vaikutuksia niin reitin valintaan kuin pyöräilijän nopeuteen ja matka-aikaan.

Matkan pituuden kasvun on myös havaittu kasvattavan pyöräilyn nopeuksia. Mailin kasvu tie-segmentin pituudessa tai koko matkan pituudessa lisää pyöräilijän nopeutta 0,39-0,51 km/h, kun pyöräilijöiden henkilökohtaiset tekijät otetaan huomioon ja kaikki muut nopeuksiin vaikuttavat tekijät pidetään vakiona (El-Geneidy ym. 2007).

2.5.2 Korkeusvaihtelut

Pyöräilyreitin korkeusvaihteluilla on todettu olevan vaikutusta pyöräilyn nopeuteen ja kiihtyvyyteen. Parkin & Rotheram (2010) havaitsivat pyöräilijäjoukon keräämästä GPS-datasta, että 1 %:n ylämäkigradietti eli pituuskaltevuus hidastaa pyöräilijän nopeutta 0,4002 m/s ja 1 %:n alamäkigradietti lisää nopeutta 0,2379 m/s. Ylämäen hidastava vaikutus on siis suurempi kuin alamäen nopeuttava vaikutus. Jyrkemmissä kuin 3 %:n gradientin alamäissä pyöräilijä ei

yleensä pysty hyödyntämään täysin nopeuden kasvua, sillä nopeus halutaan pitää turvallisena tien kuntoon nähden ja mahdollista pysähtymistä varten. Ylämäkeen polkeminen myös vaatii pyöräilijältä huomattavasti enemmän energiaa, joten satunnaisista nopeuttavista alamäkiosuuksista huolimatta mäkisellä alueella pyöräily ei ole yhtä suotuisaa kuin tasaisella. Yksi lähtökohta topografian hidastavan vaikutuksen mallinnuksessa onkin olettaa, että ylämäet lisäävät matka-aikaa, mutta alamäet eivät koskaan vähennä sitä (Rodríguez & Joo 2004).

Korkeusvaihteluiden vaikutusta pyöräilyyn on tutkittu myös käyttämällä verkoston impedanssina matka-ajan sijasta laskennallista energiankulutusta. Iseki & Tingstrom (2014) kehittivät metodin jolla yhdistää topografian vaikutus, risteysten hidastava vaikutus sekä pyöräilijän kulluttama energia impedanssiksi, jonka avulla voi laskea pyöräilyn palvelualueita (*bikeshed*) kohteiden ympärillä. Korkeusvaihteluiden lisäksi laskennallisessa energiankulutuksessa huomiottiin pyörän ja pyöräilijän massa, renkaiden vierintävastus ja ilmanvastus. Tutkimuksessa vertailtiin pikaraitiotieasemien saavutettavuusalueita laskemalla absoluuttisen gradientin sekä eri kulkusuunnat huomioivan gradientin ja risteyksissä tapahtuvan hidastamisen ja kiihdyttämisen aiheuttaman energiankulutuksen vaikutukset pyörällä saavutettavaan alueeseen. Korkeusvaihtelut huomioiden lasketut saavutettavuusalueet olivat selkeästi pienemmät kuin pelkkään verkostoetäisyyteen perustuvat alueet. Toisaalta kaikissa käytetyissä metodeissa pyöräilijän oletettiin kulkevan vakionopeudella, joten esimerkiksi ylämäissä pyöräilijän nopeuden ei missään vaiheessa oletettu hidastuvan, vain ainoastaan energiankulutuksen kasvavan.

Ehrgott ym. (2012) olettivat, että reitillä olevat ylämäet vaikuttavat ennemmin reitin valintaan kuin pyöräilyn nopeuteen ja matka-aikaan, ja huomioivat ylämäet reitin houkuttelevuutta heikentävänä tekijänä kehittämässään pyöräilyn soveltuvuusluokituksessa. Broach ym. (2012) totesivat GPS-dataan perustuvassa reittimallissaan, että pyöräilijät pyrkivät välttämään tieosuuksia joilla on suuri osuus yli 2 % gradientin ylämäkiä. Menghini ym. (2010) puolestaan havaitsivat pyöräilijöiden välttävän jyrkkiä maksimigradietteja, mutta reitin keskimääräisillä korkeusvaihteluilla ei ollut suurta merkitystä reitin valintaan.

Vaikka korkeusvaihteluiden ja erityisesti ylämäkien on todettu laajasti olevan pyöräilijöille epämiellyttävä tai matkantekoa hidastava ominaisuus, joissakin tutkimuksissa on saatu ristiriitaisia tuloksia, joissa pyöräilijät suosivat mäkiä maastoa enemmän kuin tasaista. Erityisesti kunto- ja vapaa-ajan pyöräilijät saattavat suosia mäkiä maastoa, koska se tarjoaa enemmän haastetta ja tekee matkanteosta vaihtelevampaa (Sener ym. 2009; Heinen ym. 2010).

Korkeuserojen vaikutus reitin valintaan tunnistetaan myös pyöräliikenteen suunnitteluohjeissa, ja hyvän laatustandardin pääreiteillä gradientti ei saisi olla, korkeuserosta riippuen, yli 3-5 % eikä muillakaan pyöräreiteillä koskaan yli 8 % (Helsingin kaupunki 2016). Jo 5 % kaltevuus saattaa olla joillekin pyöräilijöille niin jyrkkä, että pyörää joutuu taluttamaan, mikä heikentää merkittävästi väylän palvelutasoa (Tielaitos 1998).

2.5.3 Pyöräilyinfrastrukturi

Käytettävissä olevat erityyppiset pyöräväylät vaikuttavat keskeisesti pyöräilijän reitin valintaan sekä paikoin nopeuteen ja matka-aikaan (El-Geneidy ym. 2007; Broach ym. 2012). Vaikka pyöräilijät yleensä pyrkivätkin käyttämään lyhintä reittiä lähtöpisteestä määränpäähän, heidän on havaittu poikkeavan merkittäviäkin matkoja lyhimmältä reitiltä käyttääkseen pyöräilylle suunniteltuja väyliä. Pyöräilyinfrastruktuurin vaikutusta reitin valintaan on tutkittu melko paljon kyselytutkimusten avulla. Esimerkiksi Minneapolisissa Yhdysvalloissa toteutetussa tutkimuksessa pyöräilijöiden havaittiin olevan valmiita poikkeamaan suorimmalta reitiltä keskimäärin 4,2 kilometriä käyttääkseen hyvälaatuista erillistä pyöräväylää, mikä tarkoitti 67 % lisäystä lyhimmän reitin pituuteen (Krizek ym. 2007). Montréalissa Kanadassa eri väylätyyppien käyttöä ja niiden etäisyysvastuksia (*distance decay*) suhteessa lyhimpään reittiin verrattaessa havaittiin, että erilliset pyöräväylät saavat pyöräilijät poikkeamaan reitiltään huomattavasti enemmän kuin tien varressa kulkevat pyörätiet tai asfalttiin merkityt pyöräkaistat (Larsen & El-Geneidy 2011).

Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös GPS-aineistoihin perustuvassa analyysissä, jossa havaittiin erillisten pyöräteiden ja –bulevardien olevan suosittumia kuin pyöräkaistojen, mutta kaikkia pyöräilyyn tarkoitettuja väyliä suositettiin verrattuna vilkasliikenteisillä teillä ajamiseen (Broach ym. 2012). Myös vaihtelevat väylätyypit ja infrastruktuurin heikko jatkuvuus koetaan reitin houkuttelevuutta vähentäväksi tekijäksi (Heinen ym. 2010; Malmberg ym. 2014). Eri väylätyyppien suosio on kuitenkin hyvin riippuvainen kaupungista ja sen liikenneverkosta, ja esimerkiksi Itävallassa tehdyssä tutkimuksessa ero pyöräilijöiden käyttämien ja lyhimmän mahdollisen reitin välillä oli selkeästi pienempi kuin pohjoisamerikkalaisissa tutkimuksissa (Krenn ym. 2014). Lisäksi pyöräilijöiden henkilökohtaisilla ominaisuuksilla ja matkan tarkoituksella on havaittu olevan selkeitä vaikutuksia pyöräilyinfrastruktuurin suosimiseen (Hunt & Abraham 2007; Krizek ym. 2007; Sener ym. 2009).

Erilaisten pyöräväylien vaikutusta pyöräilynopeuksiin on myös tutkittu GPS-datan perusteella, ja erillisellä pyöräväylällä nopeuden havaittiin olevan 1,14 km/h suurempi kuin pyöräkaistalla

tai muun liikenteen seassa, kun muut nopeuteen vaikuttavat tekijät kuten matkan pituus, liikennevaloristeysten ja muun liikenteen määrä ja pyöräilijän henkilökohtaiset ominaisuudet pidettiin keskiarvossaan (El-Geneidy ym. 2007). Vaikka henkilökohtaisten ominaisuuksien vaikutusta olikin kontrolloitu, on niillä ja paikallisella infrastruktuurilla kuitenkin ainakin osittainen vaikutus tuloksiin, mikä heikentää niiden yleistettävyyttä muille alueille sopiviksi.

2.5.4 Käännökset, risteykset ja liikennevalot

Vaikka käännöshidasteiden mallinnus on keskittynyt lähinnä autoliikenteeseen, on pyöräilijöiden risteyksen ylittämiseen ja mahdolliseen kääntymiseen kuluva aika tutkittu muun muassa risteyksistä tallennettujen videonauhojen avulla lisätiedon tuottamiseksi esimerkiksi kevyen liikenteen liikennevalojen syklien suunnitteluun (Pein 1997; Rubins & Handy 2005). Broach ym. (2012) käsittelivät käännösten vaikutusta reitin valintaan, ja heidän mallinsa perusteella käännösten yleisyys reitillä (käännökset oikealle ja vasemmalle / maili) vaikuttaa negatiivisesti reitin valintaan ja yhden käännöksen lisäämisellä mailin matkalle on sama vaikutus kuin matkan pituuden 4,2–7,4 % kasvulla riippuen matkan tarkoituksesta. Käännösten todettiin mahdollisesti hidastavan pyöräilijöitä sekä lisäävän reitin henkistä epämukavuutta, koska pyöräilijän tuli muistaa missä ja mihin suuntaan kääntyä. Erityisesti vasemmalle kääntyminen kohtalaisessa tai vilkkaassa liikenteessä on havaittu olevan pyöräilijöille epämieluisa ja hidastava tekijä, ja suorat reitit ovat houkuttelevampia kuin useat käännökset (Zimmermann ym. 2017).

Myös risteysten on havaittu hidastavan pyöräilijöitä, joskin liikenteen määrällä ja ohjauksella on suuri merkitys risteysten määrän vaikuttavuuteen reitin valinnan kannalta (Broach ym. 2012). Mitä suurempi päivittäinen liikennemäärä liikennevalottomassa risteyksessä on, sitä suurempi negatiivinen vaikutus sillä on reitin valintaan. Helsingissä GPS-aineistoa ja videomateriaalia hyödyntävässä tutkimuksessa havaittiin, että pyöräilijät joutuvat pysähtymään usein risteyksissä ja liikennevaloissa, keskimäärin 1,1 pysähdystä/km, mikä hidastaa pyöräilijöitä ja tekee matkanteosta epämukavampaa (Malmberg ym. 2014). Helsingissä tienylitysviivytyksiä on myös arvioitu autoliikenteen määrän lineaarisena funktiona niin, että suuremmat liikennemäärät tuottavat pidemmän viivytyksen, joka on kuitenkin korkeintaan 12,5 sekuntia (Strafica 2015).

Sekä GPS-aineistoihin että kyselyihin pohjautuvissa reitin valinnan analyyseissä pyöräilijöiden on havaittu välttävän liikennevaloristeyksiä (Stinson & Bhat 2003; Menghini ym. 2010; Krenn ym. 2014). Liikennevalot ja stop-merkit risteyksissä vähentävät reitin houkuttelevuutta, mutta

niiden negatiivinen vaikutus pyöräilijän reitin valintaan on huomattavasti pienempi kuin suurten liikennemäärien valo-ohjaamattomien risteysten (Broach ym. 2012). Pyöräilijät siis pyrkivät välttämään liikennevaloja, mutta vilkkaasti liikennöidyillä tieosuuksilla he saattavatkin suosia niitä tavallisten risteysten sijaan. On kuitenkin epäselvää johtuuko tämä siitä, että liikennevalot nopeuttaisivat liikkumista vilkkaissa risteyksissä, vai kasvattavatko ne pyöräilijän turvallisuudentunnetta reitillä. Liikennevalojen vaikutuksista on siis hieman ristiriitaisia tuloksia, jotka saattavat johtua erilaisista tutkimusmenetelmistä, tai siitä että jotkin muut reitin ominaisuudet koetaan liikennevalojakin epämiellyttävimmiksi (Heinen ym. 2010). Liikennevalojen vaikutusta on yleensä analysoitu reitillä tai sen osuudella olevien liikennevaloristeysten määrän mukaan, mutta liikennevalojen hidastavaa vaikutusta on pyritty myös mallintamaan lisäämällä analyysissä käytettävän liikenneverkon risteysiin ylimääräisiä noodeja ja linkkejä, joille on määritetty hidastearvot punaisen valon palamisen ajan ja liikennevalojen vaihtumisen kokonaissyklin suhteen perusteella (Ehrgott ym. 2012).

2.5.5 Liikenteen määrä

Pyöräilijöiden on havaittu suhtautuvan negatiivisesti vilkkaasti liikennöityihin väyliin, joskin liikennemäärien vaikutus kytkeytyy paljon risteysten ja liikennevalojen vaikutukseen, sekä erilaisten pyöräilyväylien suosioon (Heinen ym. 2010). Pyöräilijät pyrkivät välttämään reittejä, joilla liikennemäärät ovat suuria eikä pyöräilylle ole omia väyliä. Broach ym. (2012) havaitsivat että pyöräilijät käyttävät katuja joissa liikennemäärä on yli 20 000 ajoneuvoa päivässä vain jos hiljaisemman liikenteen reittien käyttäminen vaatii hyvin pitkää kiertotietä. Zimmermannin ym. (2017) mukaan sekä keskisuurten (yli 8000 ajoneuvoa päivässä) että suurten (yli 20 000 ajoneuvoa päivässä) liikennemäärien negatiivinen vaikutus reitin valintaan on yhtä suuri, ja mailin pyöräily vilkkaan liikenteen seassa vastaa 1,45 mailia hiljaisessa liikenteessä. Erillisten pyöräkaistojen tai –väylien on kuitenkin todettu kumoavan suurten liikennemäärien negatiivisia vaikutuksia reitin valintaan. Moottoriajoneuvojen lisäksi myös suuret jalankulkijoiden ja pyöräilijöiden määrät saattavat aiheuttaa ruuhkia pyöräilyyn tarkoitetuilla väylillä ja konflikteja eri kulutapojen välillä, mikä aiheuttaa hidastuksia ja tekee pyöräilystä epämukavampaa (Gustafsson & Archer 2013; Malmberg ym. 2014).

2.5.6 Pyöräilijöiden henkilökohtaiset ominaisuudet

Pyöräilyn suosioon kulkutapana sekä reitin valintaan ja pyöräilynopeuksiin vaikuttavat useat sosio-ekonomiset ja asenteisiin liittyvät psykologiset tekijät. Miesten on esimerkiksi havaittu pyöräilevän useammin, pidempiä matkoja ja nopeammin kuin naisten, joskin tuloksissa on maakohtaisia eroja (Rodríguez & Joo 2004; El-Geneidy ym. 2007; Heinen ym. 2010; Parkin & Rotheram 2010). Naiset ja lapset taas suosivat miehiä enemmän moottoroidusta liikenteestä erotettuja väyliä (Garrard ym. 2008; Larsen & El-Geneidy 2011). Iän vaikutukset ovat huomattavasti epäselvempiä, mutta pyöräilyaktiivisuuden on todettu vähenevän vanhemmissa ikäluokissa (Dill & Voros 2007). Myös tulojen vaikutuksesta pyöräilyaktiivisuuteen on ristiriitaisia tuloksia. Joissakin tutkimuksissa suurituloisten on havaittu pyöräilevän enemmän (Dill & Voros 2007; Heesch ym. 2014), kun taas toisissa tulojen ja pyöräilyaktiivisuuden välillä on havaittu negatiivinen tai tilastollisesti merkityksetön suhde (Heinen ym. 2010). Asenteisiin liittyvistä tekijöistä positiivinen suhtautuminen fyysiseen aktiivisuuteen kasvattaa pyöräilyaktiivisuutta (Heesch ym. 2014), kun taas pyöräilyyn liittyvä turvattomuuden tunne vähentää sitä (Pucher & Buehler 2008; Heinen ym. 2010).

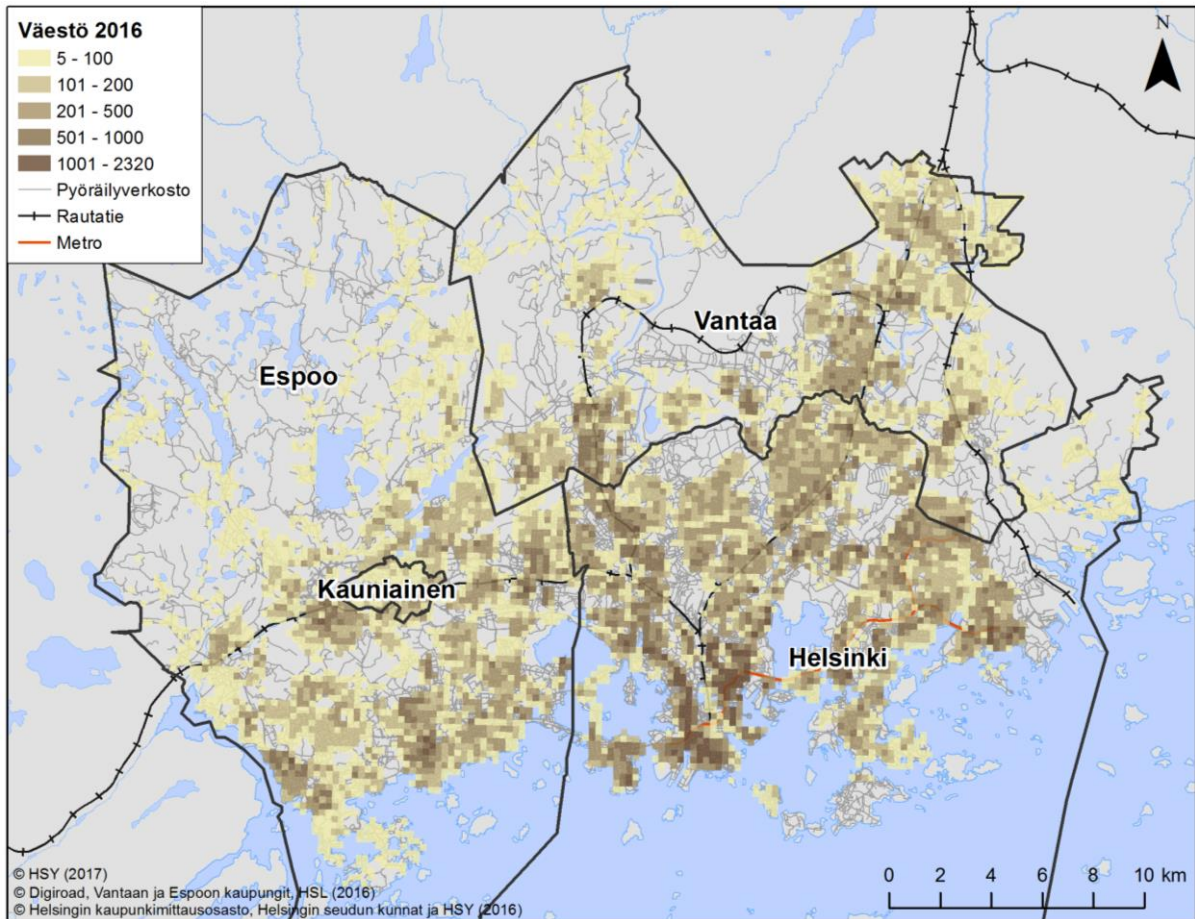
Pyöräilijän kokeneisuudella tai pyöräilyaktiivisuudella ja matkan tarkoituksella on myös merkitystä. Kokeneet pyöräilijät esimerkiksi kulkevat pidempiä matkoja suuremmilla keskinopeuksilla (El-Geneidy ym. 2007; Larsen & El-Geneidy 2011). Ympäristötekijöillä on myös havaittu olevan suurempi merkitys vapaa-ajan pyöräilijöiden reittivalintoihin, kun taas työmatkapyöräilijöille tärkeintä on lyhin ja nopein reitti (Broach ym. 2012). Työmatka- ja kokemattomat pyöräilijät kokevatkin epäjatkuvat reitit suurempina häiriöinä kuin kokeneet ja vapaa-ajan pyöräilijät (Stinson & Bhat 2003; Heinen ym. 2010). Yleensä kokemattomat ja vapaa-ajan pyöräilijät suosivat erillisiä pyöräilyväyliä kokeneita enemmän, vaikka toisaalta taas työmatkapyöräilijöiden ja kokeneidenkin pyöräilijöiden on havaittu suosivan pyöräväyliä hyvin suurien liikennemäärien seassa pyöräilemisen sijaan (Hunt & Abraham 2007; Sener ym. 2009; Larsen & El-Geneidy 2011; Broach ym. 2012). Birling (2014) jakaakin suomalaiset työmatkapyöräilijät osin edellä mainittujen tekijöiden perusteella kolmeen tyyppiin: tavoitteelliseen kuntopyöräilijään, kokeneeseen työmatkapyöräilijään ja satunnaiseen työmatkapyöräilijään. Yleistetty luokittelu pohjaa pyöräilijätyyppien asenteisiin, käytettävän pyörän tyyppiin ja pyöräilyvarusteisiin, sään, pyöräilyinfrastruktuurin ja työmatkan pituuden vaikutukseen pyöräilijän kulkutapa- ja reittipäätöksiin sekä vaatimuksiin työpaikan fasiliteeteista.

3. AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Tutkimusalue

Työn tutkimusalueena ovat pääkaupunkiseudun kunnat Helsinki, Vantaa, Espoo ja Kauniainen. Aluerajaus on sama kuin pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisissa ja muissa MetropAccess-työkaluissa ja aineistoissa (Toivonen ym. 2015).

Pääkaupunkiseudulla asuu noin 1,1 miljoonaa ihmistä, ja väestö on keskittynyt pitkälti Helsingin kantakaupunkiin ja rautateiden ja pääväylien varsille (Kuva 3). Pääkaupunkiseudulla on noin 3000 kilometriä pyöräteitä (HSL 2016b), joista Helsingissä noin 1200 km (KSV 2014) ja Espoossa jalankulku- ja pyöräteitä noin 1015 km (Espoon kaupunki 2013). Pyöräilyverkoston lisäksi moottoriliikenteen verkosto on tiheä ja liikennemäärät paikoin suuria. Aluetta halkovat kehätiet ja Helsingin keskustan suuntaan säteittäiset moottoritiet, joilla pyöräily ei ole sallittua. Alueen maankäyttö ja pyöräilyolosuhteet ovat vaihtelevia keskusta-alueiden vilkkaasta kaupunkiympäristöstä Espoon ja Vantaan pohjoisimpien osien metsä- ja maaseutumaisemaan. Helsingin ja Espoon alueella on runsaasti rantaviivaa, ja maaston korkeuserot ovat vaihtelevat alueen pohjoisosien korkeimpien mäkien noin 110 metristä rannikon merenpinnan tasoon (MML 2015). Pohjoinen sijainti aiheuttaa vuodenaikojen mukaan vaihtelevat sääolosuhteet, ja pyöräilijöiden määrä onkin suurimmillaan touko-syyskuussa (KSV 2016c).



Kuva 3. Työn tutkimusalue ja väestö 2016 250 x 250 m ruuduittain (HSY 2017).

3.2 Aineistot

Työssä käytetyt aineistot on kuvattu lyhyesti taulukossa 1 ja tarkemmin kappaleissa 3.2.1-3.2.3.

Taulukko 1. Työssä käytettyjen aineistojen tiivis kuvaus ja lähde.

| Aineisto | Kuvaus | Lähde |
|--------------------------|--|--|
| Pyöräilyverkosto | HSL:n pyöräilyn ja kävelyn reittioppaan paikkatietomuotoinen pääkaupunkiseudun tieverkko | Digiroad, Vantaan ja Espoon kaupungit, HSL (2016) |
| Pyöräilyaineisto | Urheilusovelluksilla kerättyä GPS-dattaa pyöräilystä pääkaupunkiseudulla | Yksittäiset henkilöt |
| Korkeusmalli | 2 metrin digitaalinen korkeusmalli | Maanmittauslaitos (2015) |
| Liikennevalotiedot | Pääkaupunkiseudun liikennevalojen sijainti | MetropAccess-Digiroad (2015) |
| YKR-tilastoruudut | 250 x 250 m tilastoruudut pääkaupunkiseudulta (13 231 kpl) | Pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisi 2015 (Toivonen ym. 2015) |
| Väestötietoruudukko 2016 | 250 x 250 m ruutuaineisto pääkaupunkiseudun väestöstä vuonna 2016 (5804 ruutua) | HSY (2017) |
| Seutukartta 2015 | Karttojen tausta-aineistot | Helsingin kaupunkimittausosasto, Helsingin seudun kunnat ja HSY (2016) |

3.2.1 HSL:n pyöräilyn ja kävelyn verkosto

Pyöräilyn reititykseen käytettiin Helsingin seudun liikenteen (HSL) pyöräilyn ja kävelyn reittioppaan verkostoa, joka kattaa koko tutkimusalueen sekä osin ympäryskuntia. Aineisto on yhdistelmä Liikenneviraston Digiroadia, Espoon ja Vantaan kaupunkien keskilinja-aineistoja, sekä HSL:n omia aineistoja kävely- ja pyöräilyväylistä. Aineistosta on poistettu valmiiksi moottoritiet, moottoritierampit ja vastaavat pyöräilyyn tai kävelyyn soveltumattomat väylätyypit. Aineisto sisälsi valmiin reitityskelpoisen yhdistelmän eri aineistoista keväältä 2016, sekä aineiston tuottajan mukaan jaotellut tieverkostot huhtikuulta 2015, jotka sisälsivät kattavat ominaisuustiedot väylätyypeistä. Koska nämä ominaisuustiedot vaihtelivat alkuperäisen aineiston tuottajan mukaan ja olivat eri ajanhetkeltä kuin verkostoyhdistelmä, verkosto vaati muokkausta ominaisuustietojen yhdistämiseksi ennen analyysivaihetta. Lopullinen tutkimusalueen ympärille 5 kilometrin bufferilla rajattu verkosto sisälsi 169644 linkkiä ja 131050 noodia.

3.2.2 Pyöräilyaineisto ja sen tunnusluvut

Tutkielmassa käytettyjä menetelmiä testattiin aluksi GPS-aineistolla, joka oli kerätty huhti-toukokuussa 2011 Helsingin yliopiston geotieteiden ja maantieteen laitoksella järjestetyllä kursilla. Opiskelijat tallensivat pääosin ennalta määrätyt pyöräilyreitinsä erillisellä GPS-paikantimella tai älypuhelimien paikannustoiminnon avulla, ja täyttivät erilliseen lomakkeeseen lisätietoja, kuten iän, pyöräilykokemuksen, pyörän mallin ja tekemiään havaintoja pyöräilyolosuhteista matkan aikana. Tämä aineisto oli kuitenkin pieni (61 matkaa) ja osin huonolaatuinen, joten kattavamman aineiston hankkimiseksi järjestettiin datankeruukampanja syys-lokakuussa 2016. Ihmisiä pyydettiin antamaan tutkimuskäyttöön jollakin puhelimen urheilusovelluksella, pyöräilytietokoneella tai vastaavalla tallennettua GPS-dataa pyöräilemistään reiteistä. Data kerättiin e-lomakkeella, jolla kysyttiin myös joitakin pyöräilijän taustatietoja, kuten ikää, sukupuolta ja pyöräilyaktiivisuutta, sekä pyörän ja tallennusvälineen tyyppiä (liite 1). Lisäksi vastaaja sai vapaasti kertoa omista pyöräilytottumuksistaan ja tallentamistaan reiteistä. Vastaajia pyydettiin lataamaan tallentamansa pyöräilyt lomakkeelle gpx-tiedostomuodossa. Pyöräilyreittien tallennusajankohtaa tai määrää ei ollut rajoitettu. Tietoa datankeruukampanjasta levitettiin pääasiallisesti Helsingin yliopiston opiskelija-ainejärjestöjen sähköpostilistojen sekä Helsingin polkupyöräilijät ry:n Facebook-sivun kautta.

Datankeruukampanjan aikana taustatietolomakkeen täytti yhteensä 49 vastaajaa. Viidestä vastauksesta puuttui kuitenkin GPS-aineisto, joten työn analyyseissa on käytetty 44 henkilön pyö-

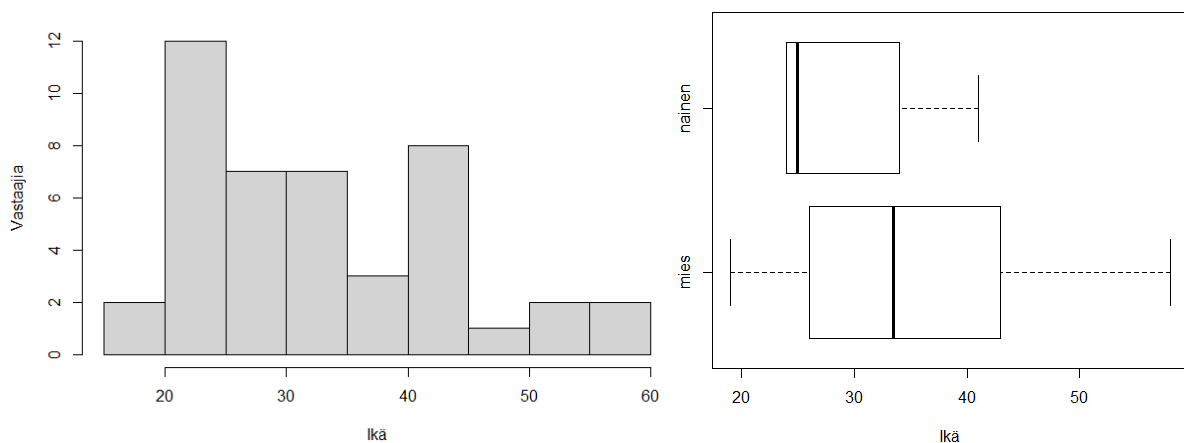
räilydataa. Tiedostoja ladattiin yhteensä 6155 kappaletta, ja yhden vastaajan lataamien tiedostojen määrä vaihteli suuresti (Taulukko 2). Pyöräilydatan prosessoinnin aikana kuitenkin poistui useita tallennuksia, jotka olivat tutkimusalueen ulkopuolella, laadultaan heikkoja tai pituudeltaan liian lyhyitä. Toisaalta yksittäinen tiedosto saattoi sisältää usean reitin, esimerkiksi kaikki pyöräilyt yhden päivän ajalta, jolloin yhden henkilön pyöräilemien reittien todellinen määrä saattoi olla tiedostomäärää suurempi. Tallennuksia oli aikaleimojen mukaan vuosilta 2010-2016, mutta suurin osa datasta oli vuodelta 2016.

Taulukko 2. Datankeruukampanjassa vastaajien tallentamien tiedostomäärien tunnuslukuja.

| Summa | Keskiarvo | Mediaani | Moodi | Minimi | Maksimi | Keskihajonta |
|-------|-----------|----------|-------|--------|---------|--------------|
| 6155 | 139,8 | 9 | 2 | 1 | 2372 | 412,4 |

Pyöräilyaineiston esiprosessoinnin jälkeen käyttökelpoisia reittejä oli yhteensä 8131. Lopulliseen analyysiin valittiin kuitenkin satunnaisesti maksimissaan 100 reittiä/pyöräilijä, jotta muutamat yksittäiset pyöräilijät eivät olisi aineistossa yliedustettuina. Näin lopulliseen analyysiin valittiin yhteensä 1327 reittiä vuosilta 2010-2016.

Vastaajista 34 oli miehiä ja 10 naisia. Vastaajat olivat 19-58 vuotiaita, joista suurin osa 20-25 vuotiaita (Kuva 4). Vastaajien keski-ikä oli 34 vuotta. Pyöräilyaktiivisuuden osalta 58 % vastasi pyöräilevänsä 3-5 päivänä viikossa, 33 % 6-7 päivänä viikossa, ja 9 % 1-2 päivänä viikossa. Yksikään vastaajista ei ilmoittanut pyöräilevänsä harvemmin kuin kerran viikossa. Aktiivisuuden voidaan ajatella kuvaavan kesäkauden tilannetta, sillä talvipyöräilyn aktiivisuutta kysyttiin erikseen, ja 56 % vastaajista pyöräili säännöllisesti myös talvikaudella, 21 % satunnaisesti, ja 23 % ei lainkaan.



Kuva 4. Kaikkien vastaajien ikäjakauma, sekä ikäjakaumat sukupuolittain jaettuna.

Yleisimmät sovellukset reittien tallentamiseen olivat SportsTracker ja Strava (Taulukko 3). Niin tallennussovelluksen kuin pyörän tyyppinkin kohdalla yksi vastaaja sai valita useamman vaihtoehdon, sillä reittejä oli saatettu tallentaa eri sovelluksilla ja ajaa eri pyörillä. Lomakkeessa erikseen mainittujen mobiilisovellusten ohella suosituimpia tallennuslaitteita olivat Garminin pyöräilytietokoneet, joiden lisäksi oli käytetty Polarin, Suunton ja TomTom:n tallennuslaitteita sekä yksittäisesti muita mobiilisovelluksia.

Taulukko 3. Vastaajien käyttämät sovellukset pyöräilyreittien tallentamiseen. Muut-luokkaan kuuluvia sovelluksia ja laitteita olivat TomTom, Suunto, MyTrails, Runtastic, CycleTracks, OruxMaps, ja Rena for Sailfish.

| Tallennussovellus | | | | | | |
|-------------------|--------|-----------|-----------|------------------|-------|------|
| SportsTracker | Strava | Endomondo | HeiaHeia! | Garmin (Connect) | Polar | Muut |
| 13 | 13 | 1 | 2 | 10 | 3 | 7 |

Yleisimpiä pyörätyyppejä olivat maantiepyörät, hybridit ja cyclocross-pyörät (Taulukko 4). Kyselyssä kaupunkipyörällä tarkoitettiin kaupunkiajoon soveltuvaa ”peruspyörää”, ei siis välttämättä Helsingin kaupunkipyöräjärjestelmään kuuluvaa pyörää.

Taulukko 4. Vastaajien käyttämien pyörien jakauma. Yksi vastaaja saattoi valita useamman vaihtoehdon.

| Pyörän tyyppi | | | | | | |
|---------------|-------------|---------|---------------|------------|-----------|-----|
| Maantiepyörä | Maastopyörä | Hybridi | Kaupunkipyörä | Cyclocross | Nojapyörä | Muu |
| 14 | 4 | 13 | 8 | 12 | 2 | 1 |

3.2.3 Muut aineistot

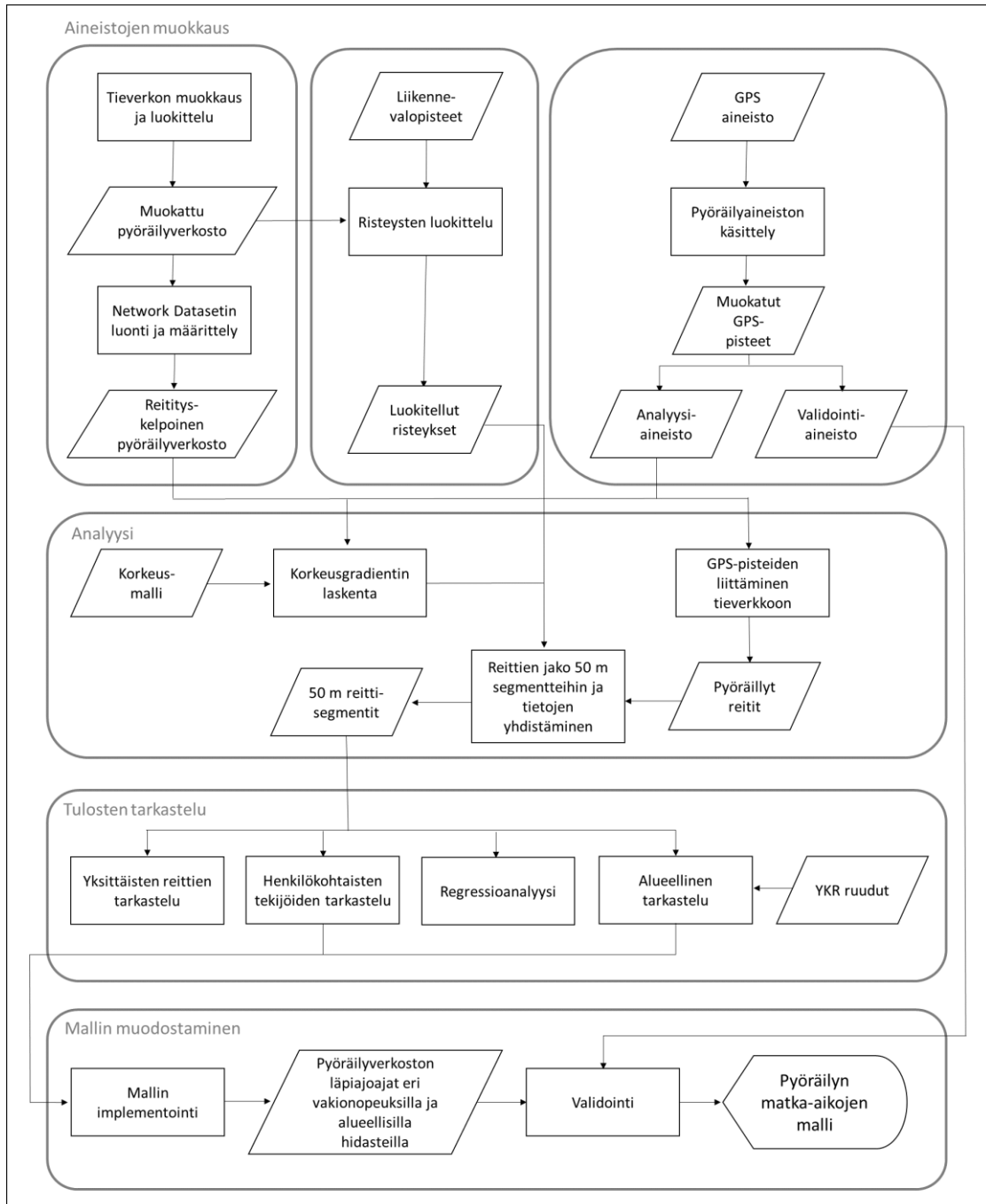
Korkeusvaihteluiden vaikutuksen arvioimiseen käytettiin Maanmittauslaitoksen 2 metrin digitaalista korkeusmallia (MML 2015). Tutkimusalueen tieverkon kattava korkeusmalli mosaikoitiin karttalehtien mukaan jaotelluista 6 x 6 km geotiff-muotoisista korkeusmalleista arcpy-skriptin avulla. Pyöräilyreittien GPS-tiedot sisälsivät myös korkeustiedot, mutta ne olivat usein hyvin epätarkkoja tai virheellisiä, minkä vuoksi korkeusmallin tietoja käytettiin niiden sijasta.

Liikennevaloristeysten määrittämiseksi analyyseissa käytettiin MetropAccess-Digiroad 2015:sta (2015) johdettuja tiesegmenttejä, joiden dynaamisena tyyppiä arvona oli liikennevalotieto. Aineistolähde ja käytetty menetelmä ovat yhteneviä Jaakkolan (2013) autoilun risteyshidastuvuuksien tarkastelussa käytetyn liikennevaloristeysten määrittelyn kanssa.

Pyöräilyn saavutettavuutta analysoitiin myös suhteessa väestöön. Väestötarkasteluissa käytettiin Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymän tuottamaa 250 x 250 m väestötietorudukkoa vuodelta 2016 (HSY 2017).

3.3 Aineistojen käsittely

Työn analyseissa käytettiin ArcGIS 10.3 -ohjelmistoa ja suuri osa työvaiheista automatisoitiin python-skriptien ja arcpy-moduulin avulla. Työssä käytetyt python-skriptit löytyvät GitHubista: <https://github.com/ainoT/pyoraily-matka-aikamalli>. Tilastolliset tarkastelut tehtiin R-ohjelmistolla. Yksittäisten reittien tarkastelut visualisoitiin Excelillä. Matka-aikamallin muodostamisen päävaiheet on kuvattu vuokaaviossa (Kuva 5).



Kuva 5. Matka-aikamallin muodostamisen vaiheet.

Vaikka pyöräilyyn ja pyöräilynopeuksiin vaikuttavat useat ympäristötekijät (kappale 2.5), tässä työssä keskitytään ympäristömuuttujien osalta tarkastelemaan vain risteysten, liikennevalojen ja korkeusvaihteluiden vaikutusta pyöräilynopeuksiin. Mallin muodostus haluttiin pitää riittävän yksinkertaisena tarkastelemalla vain muutamaa keskeistä muuttujaa, ja kyseisillä tekijöillä on aiemmissa tutkimuksissa havaittu olevan selkeitä vaikutuksia pyöräilijöiden reitin valintaan ja nopeuksiin. Lisäksi liikennevaloista ja korkeustiedoista oli saatavilla laadukasta paikkatietomutoista aineistoa. Myös pyöräilyinfrastruktuurilla on havaittu olevan vaikutusta pyöräilyyn, mutta väylätyyppi jätettiin analyysistä pois, koska sen luokittelu vaihteli eri alkuperäisaineistoista johtuen (kappale 3.2.1) ja GPS-aineiston laadun vaihtelun ja käytetyn menetelmän vuoksi kaikki muodostetut reitit eivät välttämättä noudata todellisuudessa käytettyjä väyliä.

3.3.1 Tieverkon muokkaus

Tieverkkoaineisto leikattiin tutkimusalueelle käyttäen 5 kilometriä tutkimusalueen kuntarajat ylittävää bufferia. Ominaisuustiedot yhdistettiin erillisistä aineiston tuottajien aineistoista yhdistettyyn tieverkostoon spatiaalisella liitoksella. Alkuperäiset verkostot ja yhdistelmä eivät olleet täysin yhtenevät, joten tietoja jouduttiin paikoin päivittämään käsin. Joiltakin väyliltä luokitus puuttui kokonaan, ja väylätyypin karkea luokitus tehtiin vertaamalla väylää Open Street Mapiin ja satelliittikuviin.

Verkostoyhdistelmä kuvasi kävelyn ja pyöräilyn väylien kevään 2016 tilannetta, mutta koska pyöräilyaineistoa oli myös kesältä ja syksyltä 2016, verkostoon lisättiin kesäkuussa 2016 avattu Isoisänsilta Mustikkamaan ja Kalasataman välille, syyskuussa 2016 avattu Kehä I:n ylittävä Viikin puistosilta sekä Espoossa Tapiolan liikenneympyrä, sillä näiden kautta kulkevia tallennuksia oli aineistossa useita. Kyseiset reitit olisivat muuten jääneet ratkaisematta tai kulkeneet epärealistisen kaukaa pisteitä tieverkolle liitettäessä.

Väylätyypit luokiteltiin ensin autoliikenteen ja kevyen liikenteen väyliin. Tämän jälkeen näistä erotettiin väylät, joilla pyöräily ei ole sallittu sekä väylät, jotka on erityisesti suunnattu pyöräilyyn (Taulukko 5).

Taulukko 5. Tieverkoston alkuperäisten väylätyyppien luokittelu autoliikenteen ja kevyen liikenteen väyliin, sekä pyöräilyä kiellettyihin ja erityisesti pyöräilyyn tarkoitettuihin väyliin.

| Autoliikenne | Kevyt liikenne | Kielletty |
|---|-----------------------------------|---|
| Maantie | Kevyen liikenteen väylä | Portaat |
| Katu | Erillinen kevyt liikenne | Joukkoliikenneterminaali |
| Yksityistie | Kevyt liikenne (katuun liittyvä) | Jalkakäytävä |
| Seudullinen pääkatu / kantatie | Suojatie | Jalankulkuyhteys (silta tai tunneli) |
| Alueellinen pääkatu / seututie | Tien ylitys | |
| Kokoojakatu / yhdystie | Alikulkusillat | Pyöräväylä |
| Liityntäkatu / tärkeä yksityistie | Alikulku (jalankulku ja pyörätie) | Pyörätie |
| Tontti-/asunto-/liityntäkatu | Ylikulkusillat | Pyörätien osa |
| Tonttiliittymä | Ylikulku (jalankulku ja pyörätie) | Pyörätie ja jalkakäytävä rinnakkain |
| Pihakatu | Kulkuluiskat | Yhdistetty pyörätie ja jalkakäytävä |
| Joukkoliikennekatu | Tori/Aukio | Pääreitti asfaltti (jalankulku ja pyörätie) |
| Tie ilman kev.liik.väylää | Käytävä | Paikallisreitti asfaltti (jalankulku ja pyörätie) |
| Jalkakäytävällinen tie | Jalankulkualan osa | Valtakunnan reitti asfaltti |
| Ajorata | Jalankulkuyhteys | Valtakunnan reitti sorapinta |
| Ajorata risteysalueella | Puisto | |
| Moniajorataisen tien osa, ei moottoritie | Puistokäytävä | |
| Yksiajorataisen tien osa | Puistoraitti | |
| Kiertoliittymän osa | Asukaspuisto | |
| Yleinen pysäköintialue (LP) | Viheralue | |
| Pysäköinti | Suojelualue | |
| Pyöräverkoston osana toimiva katu tai muu | Ulkoilureitti | |
| Valtakunnan reitti katu | Kuntorata | |
| | Sorapintainen pääreitti | |
| | Sorapintainen paikallisreitti | |
| | Kuntoilupaiikka | |
| | Leikkipaikka | |
| | Laituri | |
| | Liikennevihreä | |
| | Kiinteistön piha | |
| | Rakentamaton Y-tontti | |

Tieverkoston luokittelun jälkeen siitä rakennettiin reitityskelpoinen Network Dataset, joka asetettiin käyttämään oletusvastuksena tiesegmentin pituutta. Väylille määritettiin yksisuuntaisuuden rajoite Digiroadin ominaisuustietojen pohjalta. Network Dataset asetettiin välttämään yksisuuntaisilla kaduilla liikennevirtaa vastaan ajoa sekä kielletyksi luokiteltuja väyliä (Taulukko 6), mutta niillä kulkua ei estetty kokonaan, koska pyöräilyn GPS-datan perusteella pyöräilijät olivat joiltakin osin käyttäneet myös esimerkiksi jalankulkuun tarkoitettuja väyliä tai ajaneet yksisuuntaista liikennettä vastaan. Lisäksi Network Dataset asetettiin lievästi suosimaan pyöräilyyn tarkoitettuja väyliä, jotta reititys ohjautuisi ensisijaisesti pyöräväylälle esimerkiksi tilanteissa, jossa ajorata ja pyörätie kulkevat rinnakkain.

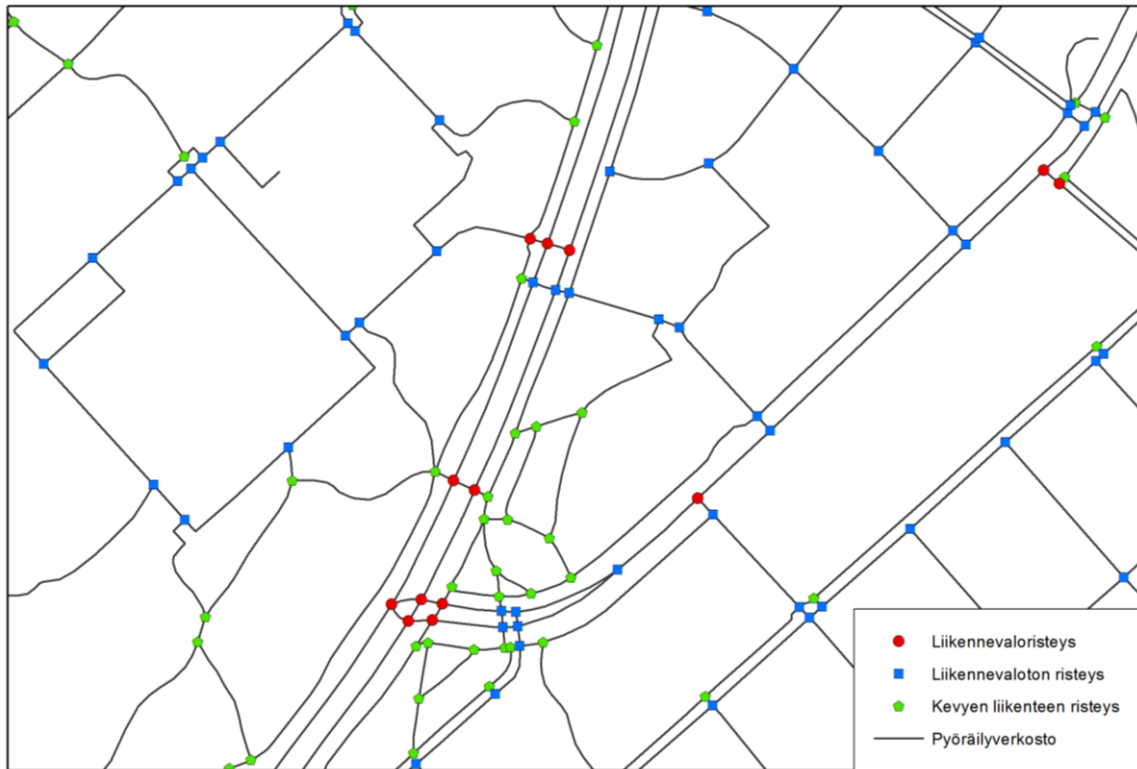
Taulukko 6. Pyöräilyverkostosta rakennetun Network Datasetin reititysominaisuudet.

| Network Dataset Attribute Properties | | | | |
|---|--------------|--------------|------------------|----------------------|
| Name | Usage | Units | Data Type | Default Value |
| Length | Cost | Meters | Double | - |
| EiPyoralla | Restriction | - | Boolean | Avoid: High |
| Yksisuuntaiset | Restriction | - | Boolean | Avoid: High |
| Pyoratie | Restriction | - | Boolean | Prefer: Low |

3.3.2 Risteysten luokittelu

Risteyksiksi valittiin tieverkosta muodostetun Network Datasetin risteyspisteistä vain ne, joihin leikkaa vähintään kolme tiesegmenttiä. Risteykset luokiteltiin kolmeen luokkaan tieverkon kärkeen väylätyyppi-luokituksen sekä liikennevalotietojen perusteella. Työn hypoteesina oli, että liikennevaloristeykset hidastavat pyöräilijää enemmän kuin valottomat moottoriliikenteen risteykset, ja kaikkein vähiten vaikutusta olisi jalkakäytävien, pyöräteiden, puistoteiden ja vastavien jalankululle ja pyöräilylle tarkoitettujen väylien risteyksillä.

Liikennevalotieto erotettiin Metropaccess Digiroad 2015 liikenne-elementeistä, joissa dynaamisen tyyppiarvon perusteella liikennevalosegmenteiksi määritellyt osuudet muunnettiin pisteiksi. Tämän jälkeen tehtiin Near-analyysi, jolla etsittiin 20 metrin etäisyydellä liikennevalopisteistä sijaitsevat risteyspisteet. Näiden risteysten voidaan ajatella kuuluvan liikennevalojen vaikutusalueelle (Jaakkola 2013). Tämän jälkeen tehtiin risteysten varsinainen luokittelu. Ensin risteyksistä valittiin kaikki autoliikenteen väylien kanssa leikkaavat pisteet. Näistä risteyksistä valittiin kaikki 20 metrin säteellä liikennevalopisteistä olevat risteykset, ja ne luokiteltiin liikennevaloristeyksiksi. Loput autoliikenteen väylien kanssa leikkaavat pisteet luokiteltiin tavallisiksi liikennevalottomiksi risteyksiksi. Kevyen liikenteen risteykset saatiin valitsemalla vielä kerran kaikki autoliikenteen väylien kanssa leikkaavat pisteet ja kääntämällä valinta. Näin kaikki risteykset joihin leikkaa yksikin autoliikenteen väylä – pois lukien liikennevaloristeykset – tulevat luokitelluiksi liikennevalottomiksi risteyksiksi, ja kevyen liikenteen risteysiksi ovat vain ne, joissa kolme tai useampi kevyen liikenteen väylää kohtaavat. Liikennevaloristeyksiksi luokiteltiin yhteensä 1870 pistettä, liikennevalottomiksi risteyksiksi 38 428 pistettä ja kevyen liikenteen risteyksiksi 34 524 pistettä. Kuva 6 havainnollistaa eri risteystyyppisiä tieverkolla.



Kuva 6. Esimerkki tieverkon luokitelluista risteyksistä Kumpulassa Kustaa Vaasan tien ympäristössä (Digiroad, Vantaan ja Espoon kaupungit, HSL 2016).

3.3.3 Pyöräilyaineiston käsittely

Gpx-muodossa oleva pyöräilyaineisto muunnettiin ensin shapefile-muotoon ja projisoitiin tieverkon kanssa samaan koordinaatistoon. Tämän jälkeen GPS-pisteet leikattiin tutkimusalueen sisälle, ja niille laskettiin etäisyys, aika, nopeus ja suunta edellisestä pisteestä seuraavaan ArcGIS:n Tracking Analyst –työkalulla. Jotkin tiedostot saattoivat sisältää usean reitin samassa tallennuksessa, tai laite oli saattanut jäädä päälle jonkin pidemmän pysähdyksen ajaksi, joten reitit tuli erotella omiksi tiedostoikseen. Lisäksi aineisto sisälsi pisteitä, joilla oli epätodellisen suuria nopeuksia GPS-signaalin hyppimisen vuoksi. Tässä prosessointivaiheessa hyödynnettiin Bergmanin & Oksasen (2016) ja Dillin & Glieben (2008) pyöräilyn GPS-datan prosessointiin käyttämiä etäisyyden ja nopeuden kynnsarvoja. Jos GPS-pisteiden välillä kului aikaa yli viisi minuuttia tai peräkkäisten pisteiden etäisyys toisistaan oli yli 200 metriä, reitti erotettiin osiin. Jos jäljelle jäävä reitti koostui alle 20 GPS-pisteestä, se hylättiin liian lyhyenä. Tämän lisäksi yksittäiset pisteet, joiden nopeus oli yli 20 m/s, poistettiin virrehavaintoina, joissa GPS-laitteen signaali on todennäköisesti hyppinyt huomattavasti.

Reittien erottelun jälkeen niiden alusta ja lopusta poistettiin kaikki GPS-pisteet niiden etäisyysarvoihin perustuen noin 200 metrin matkalta reitin lähtö- ja päätepisteen anonymisointiseksi. Samalla poistui myös valtaosa reittiosuuksien alussa tai lopussa olevista GPS-tallennuksen päälle unohtumisesta johtuvista lähes paikallaan pysyvistä pisteistä. GPS-tallennuksen päälle unohtumisesta johtuneita paikallaan pysyviä pisteryppäitä poistettiin myös manuaalisesti pisteiden reititysvaiheessa.

Pisteiden tieverkolle liittäminen toteutettiin automatisoitua reititystä hyödyntäen, ja sen helpottamiseksi aineisto jaettiin kahden eri kohteen välillä kuljettuihin matkareitteihin, sekä lenkkimäisiin reitteihin. Jako toteutettiin Bergmanin & Oksasen (2016) käyttämällä reitin lähtö- ja päätepisteen väliseen etäisyyteen perustuvalla menetelmällä. Jos reitin lähtö- ja päätepisteen välinen etäisyys oli yli 1/10 koko reitin pituudesta, reitti luokiteltiin kahden pisteen välillä kuljetuksi reitiksi, ja muutoin pyöräilylenkiksi.

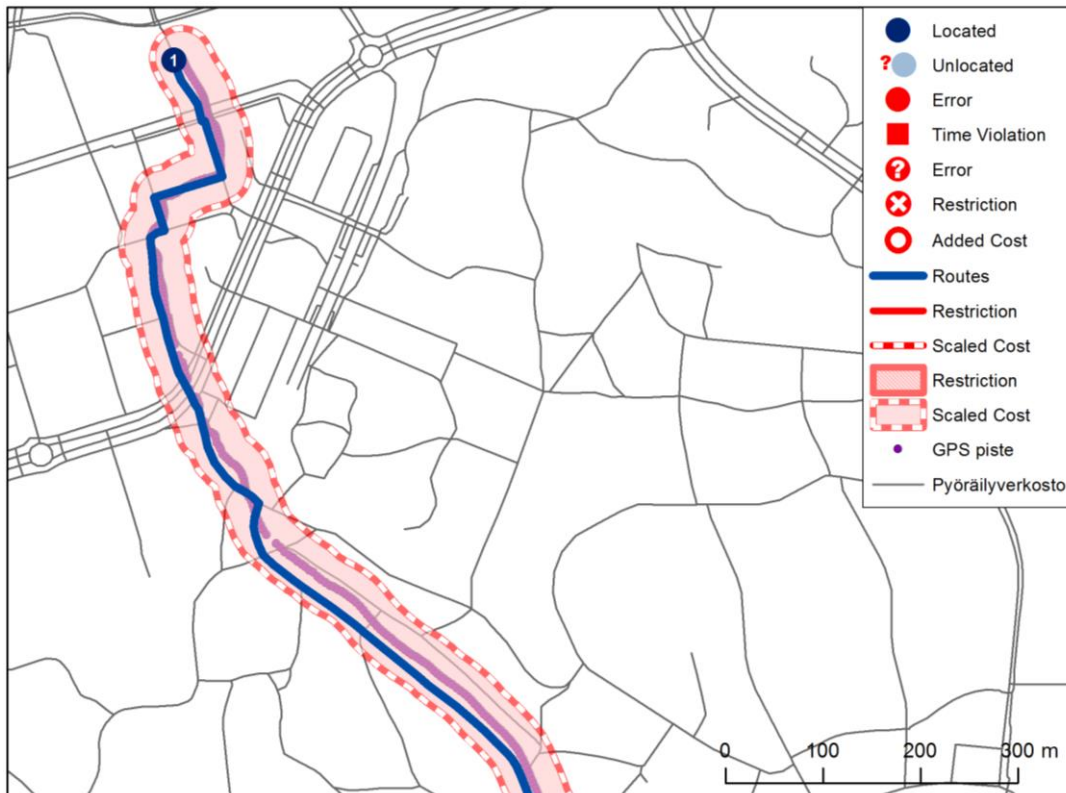
Koska pyöräilyaineiston määrä henkilöä kohden oli hyvin epätasaisesti jakautunut, analyysiin otettiin jokaiselta pyöräilijältä enintään 100 reittiä, jotta yksittäiset pyöräilijät eivät olisi yliedustettuja. Jos pyöräilijällä oli yli 100 reittiä, lenkkimäiset reitit hylättiin, ja kahden pisteen välillä kuljetuista reiteistä valittiin satunnaiset 100 reittiä analyysiin. Valinnan ulkopuolelle jääneistä matkareiteistä valittiin lisäksi satunnaisesti maksimissaan 100 reittiä validointiaineistoksi. Jos pyöräilijällä oli yhteensä alle 100 reittiä, kaikki kahden pisteen välillä kuljetut reitit valittiin mukaan analyysiin. Lisäksi kyseisten pyöräilijöiden lenkkimäiset reitit katkaistiin kahden osaan lenkin kauimmaisessa pisteessä, ja lisättiin analyysiin erillisinä reiteinä. Yhteensä analyysiin valittiin 1327 erillistä reittiä, joista 40 oli lenkkimäisistä reiteistä erotettuja. Aineistossa havaittiin kuitenkin vielä myös reititysvaiheessa reittejä, joissa oli verrattain pitkiä pysähdyksiä tai lenkkejä välissä. Automaattisen reitityksen helpottamiseksi noita reittejä päätettiin kyseisiltä kohdilta osiin, jolloin reititettävien pyöräilyreittien määrä kasvoi.

3.3.4 GPS-pisteiden liittäminen tieverkkoon

GPS-pisteiden liittämisessä tieverkkoon sovellettiin Dalumpinesin & Scottin (2011) kehittämää paikkatietojärjestelmässä tapahtuvaa reititystä hyödyntävää menetelmää. Perinteisissä map matching –menetelmissä ei yleensä huomioida tieverkon rajoituksia kuten yksisuuntaisuutta, kääntymisrajoitteita tai tieluokkia, jotka puolestaan voidaan ottaa huomioon paikkatietojärjestelmässä tehtävässä reitityksessä ja sitä kautta pisteiden sijoittamisessa (Quddus ym. 2007; Dalumpines & Scott 2011).

Dalumpines & Scott (2011) sijoittivat autoliikenteestä tallennettua GPS-dataa tieverkolle käyttäen ArcGIS:n Network Analystin reititystä. Menetelmässä kuljetun reitin GPS-pisteistä muodostetaan viiva, jonka ympärille luodaan kulkua rajoittava bufferi. Tämän jälkeen reitin ensimmäinen ja viimeinen GPS-piste asetetaan reitin lähtö- ja päätepisteiksi, ja optimaalisin reitti lasketaan lyhimmän reitin algoritmilla, joka on ArcGIS:n Network Analystissa Dijkstran algoritmi (ESRI 2016a). Reititys ohjautuu bufferin rajaamana niille tieverkoston osille, joiden lähellä GPS-pisteiden muodostama reitti on kulkenut. Menetelmän toimiva käyttö edellyttää, ettei GPS-aineistossa ole merkittävästi muista havainnoista poikkeavia pisteitä tai suuria aukkoja. Bufferin säteen suositeltavaksi kooksi Dalumpines & Scott (2011) määrittivät 5-6 kertaa GPS-tarkkuuden mittaisen matkan. Kyseisessä tutkimuksessa käytetyn GPS-laitteen tapauksessa optimaalinen säteen pituus oli 50 metriä.

Älypuhelinien paikannustarkkuus riippuu GPS-paikannukseen yleisesti vaikuttavien tekijöiden, kuten satelliittien näkyvyyden lisäksi puhelimen mallista, käyttöjärjestelmästä, mahdollisista avustavista paikannusmenetelmistä, sekä urheilusovellusdatan tapauksessa käytetystä sovelluksesta (Bauer 2013). Tämän tutkielman aineiston osalta ei ollut mahdollista tietää tallennushetkellä vallinnutta paikannustarkkuutta tallennusvälineiden, -sovellusten ja – ajankohtien laajan variaation vuoksi. Älypuhelinien GPS-tarkkuuden voidaan yleisesti olettaa vaihtelevan 1-20 metrin välillä (Wu ym. 2015). Zandbergen (2009) on määrittänyt 3G iPhoneen GPS-tarkkuudeksi 7,7 metriä, ja Korpilo ym. (2017) määrittivät Helsingin keskuspuistossa eri urheilusovelluksilla tehtyjen tallennusten GPS-tarkkuuden keskihajonnaksi 9 metriä. Tuolloin oletetun GPS-tarkkuuden perusteella optimaaliseksi bufferin säteeksi voidaan määrittää noin 39-54 metriä. Pyöräilyn verkosto on kuitenkin autoliikenteen verkostoa tiheämpi, jolloin 40-50 metrin rajoitusbufferi antoi reititykselle liikaa mahdollisia väyliä käytettäväksi. Bufferin sädettä pienennettäessä ongelmaksi muodostuivat kuitenkin GPS-pisteiden sekä verkoston epätarkkuudet. Pienemmällä säteellä tehdyllä bufferilla reiteille ei löytynyt ratkaisua, sillä kuljettava väylä tai risteys saattoi paikoin sijaita bufferin ulkopuolella. Tämän vuoksi kulkua rajoittavan bufferin sijaan reitityksessä käytettiin skaalatun kustannuksen bufferia, jonka sisällä kulkemisen vastus määritettiin 10 kertaa pienemmäksi kuin sen ulkopuolella kulkeminen. Näin reititys suosi bufferin sisällä kulkua, mutta saattoi poiketa sen ulkopuolelle tarvittaessa. Erikokoisilla buffereilla tehtyjen testien perusteella bufferin säteeksi asetettiin 30 metriä (Kuva 7).



Kuva 7. GPS-pisteiden liittämässä tieverkolle käytetty skaalatun kustannuksen bufferi ja sen sisälle muodostunut reitti.

Lähtö- ja päätepisteiden sijoittamisessa hyödynnettiin lisäksi Network Analystin bearing-ominaisuutta, joka tarkastelee pisteen liikkeen suuntaa suhteessa edelliseen pisteeseen ja piste pyritään sijoittamaan liikkeen suuntaiselle tiesegmentille (ESRI 2016b). Bearing-ominaisuuden toleranssina käytettiin 30 astetta. Reitityksen vastuksena käytettiin etäisyyttä, ja se huomioi luvussa 3.3.1 reititykselle asetetut rajoitteet. Koska menetelmä pyrkii muodostamaan bufferin rajoittamana mahdollisimman lyhyen reitin, reitti ei aina täysin vastaa GPS-pisteitä lähimpänä olevaa tieverkon väylää. Kokonaisuus on kuitenkin ehjä reitti, johon yksittäiset virheelliset GPS-havainnot vaikuttavat vähemmän kuin suoraan lähimpään tieverkon segmenttiin yhdistettäessä. GPS-aineiston esiprosessoinnista huolimatta aineistoon oli jäänyt joitakin lenkkimäisiä reittiosuuksia sekä GPS-signaalin hyppimisestä ja pysähdyksistä aiheutuneita virhepisteitä, jolloin reititys katkesi tai ohjautui välillä bufferin ulkopuolelle. Virheellisiä reititystuloksia korjattiin manuaalisesti ja pisteaineistoa muokattiin poistamalla virheellisiä tai paikallaan pysyneitä GPS-pisteitä.

3.3.5 Korkeusgradientin laskenta

Korkeusvaihteluiden vaikutusten tarkastelemiseksi oli mielekästä jakaa kuljetut reitit lyhempiin osiin, jolloin ylä- ja alamäkien vaikutus pystyttiin erottamaan selvemmin kuin esimerkiksi koko reitin mäkisyyttä tarkasteltaessa. Korkeusgradientti on aiemmissa tutkimuksissa laskettu vaihdellen suoraan tiesegmenttien pituudelle tai 10-100 metrin matkalle (Rodríguez & Joo 2004; Dill & Gliebe 2008; Menghini ym. 2010; Broach ym. 2012). Tieverkkoaineiston tiesegmenttien pituuden vaihteluväli oli yli 3100 m, joten se ei soveltunut suoraan gradientin määrittämiseen. Koska kehitettävän mallin on tarkoitus tarkastella pyöräilynopeuksiin vaikuttavia tekijöitä seudullisessa mittakaavassa, valittiin tarkasteltavaksi segmentin pituudeksi 50 metriä, jolloin matka on sama kaikille reittiosuksille, ja jota voidaan pitää tarpeeksi pitkänä yleispiirteisen tarkastelun puitteissa, mutta tarpeeksi lyhyenä korkeusvaihteluiden aiheuttamien erojen havaitsemiseksi. Lisäksi se on hyvin lähellä tutkimusalueen tiesegmenttien pituuden keskiarvoa 60,5 m.

Reittien tarkistuksen ja korjausten jälkeen ne jaettiin noin 50 metrin mittaisiin segmentteihin korkeuden gradientin laskemiseksi. GPS-reittipisteet sisälsivät myös korkeustiedon, mutta ne olivat paikoin hyvin epätarkkoja ja virheellisiä. Tämän vuoksi gradientin laskentaan käytettiin Maanmittauslaitoksen 2 metrin korkeusmallia (2015), josta interpoloitiin korkeusarvot segmentoiduille pyöräreiteille. 50 metrin segmenttien suuntaisuuden huomioiva gradientin arvo saatiin kaavan 1 mukaan vähentämällä segmentin alkupisteen korkeusarvo sen loppupisteen korkeusarvosta, ja jakamalla erotus segmentin pituudella (Iseki & Tingstrom 2014).

$$\frac{(\text{loppupiste } Z - \text{alkupiste } Z)}{\text{segmentin pituus}} * 100 \% \quad (1)$$

3.3.6 Risteystietojen ja GPS-pisteiden tunnuslukujen yhdistäminen reittisegmentteihin

Reitillä olevien luokiteltujen risteysten tiedot yhdistettiin 50 metrin segmentteihin jaettuihin gradientitiedon sisältäviin reitteihin spatiaalisella liitoksella. Jokaiselle 50 metrin osuudelle laskettiin siihen leikkaavien liikennevalo-, autoliikenteen ja kevyen liikenteen risteysten määrä. Tämän lisäksi 50 metrin segmenteille liitettiin tieto osuuden vallitsevasta tietyypistä.

GPS-pisteiden ja reittitiedostojen tiedot yhdistettiin laskemalla near-analyysillä kullekin GPS-pisteelle sitä lähinnä oleva 50 metrin reittisegmentti. Tämän jälkeen lähimmän reittisegmentin tiedot yhdistettiin kuhunkin GPS-pisteeseen. Kullekin 50 metrin reittisegmentille aggregoitiin

takaisin sitä lähimpänä olevien GPS-pisteiden lukumäärä, nopeuden keskiarvo, mediaani, minimi, maksimi ja keskihajonta, sekä etäisyyden ja ajan summa ja muita ominaisuustietoja R-ohjelmistossa. Osa pisteistä oli yhdistynyt near-analyysissä vääriin reitteihin, joten 16 reittiä jouduttiin poistamaan lopullisesta tarkastelusta, jolloin analysoitavien reittien määräksi jäi 1329.

3.4 Pyöräilynopeuksien tarkastelu

Aineiston pyöräilynopeuksia tarkasteltiin pyöräilijäkohtaisesti aineistoa luovuttaneiden pyöräilijöiden antamiin taustamuuttujiin nähden, sekä alueellisesti ja ajallisesti. Pyöräilynopeuksille laskettiin tilastollisia tunnuslukuja ryhmiteltynä sukupuolen, iän, pyöräilyaktiivisuuden ja talvipyöräilyaktiivisuuden mukaan. Tämän lisäksi nopeuksien ajallista vaihtelua havainnointiin tarkastelemalla pyöräilynopeuksien kuukausikohtaisia eroja.

Taustamuuttujien ja ympäristötekijöiden vaikutusten lisäksi haluttiin karttatarkastelun avulla selvittää esiintyykö pyöräilynopeuksissa selkeitä alueellisia eroja. Pyöräilynopeuksien oletettiin olevan hitaampia keskusta-alueilla, kuin esimerkiksi laajoilla viheralueilla tai maantieosuuksilla. R-ohjelmistolla segmenteille aggregoidut nopeustiedot yhdistettiin takaisin reitteihin segmenteille luotujen ID-arvojen perusteella. Tämän jälkeen reitit yhdistettiin samaan tiedostoon, jossa päällekkäin osuville reittisegmenteille laskettiin niiden keskimääräisen nopeuden mediaani. Segmenttien nopeudet visualisoitiin GPS-aineiston keskinopeuden (6,3 m/s; 22,7 km/h) ylittäviin ja alittaviin osuuksiin mahdollisten alueellisten erojen havaitsemiseksi. Nopeuden alueellisia vaihteluita tarkasteltiin myös yhdistämällä nopeustiedot suoraan GPS-pisteistä pääkaupunkiseudun 250 x 250 m tilastoruudukkoon. Kaikki GPS-pisteet yhdistettiin samaan tiedostoon, josta pisteiden tiedot liitettiin spatiaalisella liitoksella ruudukkoon. Tarkastelusta poistettiin ne ruudut, joissa oli vain yhden pyöräilijän reittejä, jotta analyysi ei perustuisi vain yhden pyöräilijän nopeuksiin. Pyöräilynopeuksille laskettiin ruutukohtainen keskiarvo, mediaani, minimi, maksimi ja keskihajonta. Ruutukohtaiset nopeudet visualisoitiin luokittelemalla ne eri pyöräilijätyyppien mediaaninopeuksien perusteella.

3.5 Risteysten ja korkeusvaihteluiden vaikutuksen mallinnus

Korkeusvaihteluiden ja eri risteystyyppien vaikutusta pyöräilynopeuksiin tarkasteltiin yksittäisten reittien tasolla graafisesti, sekä koko aineiston osalta tilastollisesti reitti- ja segmenttikohdaisesti korrelaatioiden ja lineaarisen regression avulla alueellisen tason vaikutusten havaitsemiseksi.

3.5.1 Yksittäisten reittien tarkastelu

Ympäristötekijöiden vaikutusta pyöräilynopeuksiin tarkasteltiin yksittäisten reittien tasolla, jotta pystyttäisiin havaitsemaan nopeuteen paikallisesti vaikuttavat tekijät. Tarkastelu toteutettiin erikseen korkeusvaihteluiden ja risteysten osalta, sekä molemmat vaikuttavat tekijät huomioiden. Tarkasteltavat reitit valittiin pyöräilyaktiivisuudeltaan erilaisten pyöräilijöiden reittien joukosta niin, että toiset edustavat pyöräilijätyyppiä joka on ilmoittanut pyöräilevänsä 6-7 päivänä viikossa, ja toiset tyyppiä joka on ilmoittanut aktiivisuudekseen 1-2 päivää viikossa. Korkeusvaihteluiden vaikutuksen tarkasteluun valittiin reittejä joilla korkeusvaihtelut ovat suuria, ja risteysten vaikutusten tarkasteluun reittejä joilla esiintyy paljon eri risteystyyppisiä. Korkeusvaihteluiden ja eri risteystyyppien vaikutus nopeuteen yksittäisillä reiteillä visualisoitiin Excelissä.

3.5.2 Tilastollinen tarkastelu

Yksittäisten reittien lisäksi korkeusvaihteluiden ja risteysten riippuvuussuhteita ja vaikutusta pyöräilynopeuksiin tarkasteltiin koko aineistosta korrelaatioiden ja lineaarisen regression avulla. Segmenttikohtaisten nopeuksien lisäksi jokaiselle reitille laskettiin sen keskinopeus aggregoitujen nopeustietojen avulla. Reittikohtaisen keskinopeuden avulla laskettiin jokaiselle 50 metrin segmentille muutos keskinopeudesta vähentämällä reittikohtainen keskinopeus yksittäisen segmentin keskinopeudesta. Näin pystytään havaitsemaan millaisia muutoksia pyöräilynopeudessa on tapahtunut kullakin segmentillä verrattuna kyseisen reitin nopeuden keskiarvoon. Samalla pyöräilijöiden henkilökohtaiset ja reittikohtaiset erot tasoittuvat, jos nopeuden muutosta verrataan vain kyseiseen reittiin eikä koko aineistoon. Tilastollisesta tarkastelusta poistettiin pisteistä segmentteihin virheellisesti yhdistyneet reitit (kappale 3.3.6). Esiprosessoinnista huolimatta aineistoon oli jäänyt myös joitakin huomattavan korkeita ajan arvoja, ja tilastollisesta tarkastelusta poistettiin ääriarvoina segmentit, joille aggregoitunut aika-arvo oli yli 1000 s.

Korkeuden gradientin, kaikkien risteysten sekä liikennevalo-, liikennevalottomien ja kevyen liikenteen risteysten riippuvuussuhteita 50 metrin segmentin pyöräilynopeuteen sekä nopeuden

muutokseen reitin keskinopeudesta tarkasteltiin hajontakuvioiden ja korrelaatioiden avulla R-ohjelmistossa. Edellä mainittujen muuttujien vaikutusta nopeuteen ja nopeuden muutokseen pyrittiin myös mallintamaan lineaarisella regressiomallilla, joka noudattaa kaavaa 2

$$y = b_0 + b_1x_1 + \dots + b_kx_k \quad (2)$$

jossa y on selitettävä muuttuja, b regressiokerroin ja x selittävä muuttuja (Holopainen & Pulkkinen 2002). Lineaarinen regressio valittiin tilastolliseksi mallinnusmenetelmäksi, sillä se on yleisesti käytetty menetelmä muuttujien välisten syy-seuraussuhteiden kuvaamiseen ja sitä on käytetty myös aiemmin pyöräilyn nopeuksiin vaikuttavien tekijöiden vaikutusten mallintamiseen (Krizek ym. 2007; Parkin & Rotheram 2010). Regressiomalleja luotiin sekä yhden että usean selittävän muuttujan tarkasteluina. Selitettävänä muuttujina käytettiin 50 metrin segmentin keskinopeutta ja nopeuden muutosta suhteessa reitin keskinopeuteen (Taulukko 7). Selitettävälle muuttujalle kokeiltiin myös tehdä logaritmi- ja neliöjuurimuunnokset niiden jakaumia paremmin vastaavan mallin löytämiseksi, mutta tämä ei tuottanut selitysteeltään parempia tuloksia, joten analyysia jatkettiin muokkaamattomilla muuttujilla.

Samanlainen korrelaatioiden tarkastelu ja regressioanalyysi toteutettiin myös reittikohtaisesti koko aineistolle. Selitettävänä muuttujana käytettiin reittien keskinopeutta, ja selittävinä muuttujina kaikkien risteysten ja eri risteystyyppien määrää kilometrillä, liikennevalojen osuutta kaikista risteyksistä sekä reitin keskimääräistä ylämäkigradianttia (Taulukko 7). Reittikohtaisissa tarkasteluissa käytettiin vain ylämäkien gradienttien keskiarvoa, koska reittikohtaiset gradienttien keskiarvot olivat hyvin lähellä nollaa, mikä tarkoittaa, että reitteihin sisältyi lähes samassa suhteessa ylä- ja alamäkiä. Lisäksi ylämäen hidastavan vaikutuksen oletettiin olevan merkittävämpi kuin alamäen nopeuttavan vaikutuksen (Parkin & Rotheram 2010).

Segmenttikohtaisten nopeuksien ja nopeuden muutosten regressiomalleissa (mallit 1-16) testattiin myös nopeuksien ääriarvojen poistoa kvartiilimenetelmällä (Dawson 2011; Jaakkola 2013). Myös ajan käyttämistä suoraan selitettävänä muuttujana testattiin, mutta edellä mainittujen mallien selitysteet eivät kuitenkaan olleet alkuperäisiä parempia, joten ne jätettiin lopullisesta mallien esittelystä ja tulosten tarkastelusta pois.

Taulukko 7. Työssä testatut lineaariset regressiomallit.

| Malli | Selitettävä | Selittävät muuttujat |
|--------------|-----------------------|--|
| Malli 1 | Segmentin keskinopeus | Gradientti |
| Malli 2 | Segmentin keskinopeus | Kaikki risteykset |
| Malli 3 | Segmentin keskinopeus | Liikennevaloristeykset |
| Malli 4 | Segmentin keskinopeus | Liikennevalottomat risteykset |
| Malli 5 | Segmentin keskinopeus | Kevyen liikenteen risteykset |
| Malli 6 | Segmentin keskinopeus | Gradientti Kaikki risteykset |
| Malli 7 | Segmentin keskinopeus | Gradientti Liikennevaloristeykset Liikennevalottomat risteykset Kevyen liikenteen risteykset |
| Malli 8 | Nopeuden muutos | Gradientti |
| Malli 9 | Nopeuden muutos | Kaikki risteykset |
| Malli 10 | Nopeuden muutos | Liikennevaloristeykset |
| Malli 11 | Nopeuden muutos | Liikennevalottomat risteykset |
| Malli 12 | Nopeuden muutos | Kevyen liikenteen risteykset |
| Malli 13 | Nopeuden muutos | Gradientti Kaikki risteykset |
| Malli 14 | Nopeuden muutos | Gradientti Liikennevaloristeykset Liikennevalottomat risteykset Kevyen liikenteen risteykset |
| Malli 15 | Nopeuden muutos | Liikennevaloristeykset Liikennevalottomat risteykset Kevyen liikenteen risteykset |
| Malli 16 | Nopeuden muutos | Gradientti Liikennevaloristeykset Kevyen liikenteen risteykset |
| Malli 17 | Reitin keskinopeus | Kaikki risteykset/km |
| Malli 18 | Reitin keskinopeus | Liikennevaloristeykset/km |
| Malli 19 | Reitin keskinopeus | Liikennevaloprosentti |
| Malli 20 | Reitin keskinopeus | Keskimääräinen ylämäkigradientti Kaikki risteykset/km |
| Malli 21 | Reitin keskinopeus | Keskimääräinen ylämäkigradientti Liikennevaloristeykset/km Liikennevalottomat risteykset/km Kevyen liikenteen risteykset/km |

3.6 Mallin implementointi

Regressiomallien selitysasteiden jäädessä heikoksi (kappale 4.6) tieverkolle implementoitiin vakionopeuteen perustuva malli. Tieverkon segmenteille lisättiin työssä käytetyn pyöräilyaineiston eri pyöräilijätyyppejä vastaavat vakionopeuskentät. ”Peruspyöräilijän” vakionopeudeksi annettiin 18 km/h, ”rivakan arkipyöräilijän” 22 km/h, ja ”aktiivipyöräilijän” 24 km/h. Nopeudet vastaavat kunkin pyöräilyaktiivisuudeltaan erilaisen pyöräilijäryhmän GPS-aineiston mukaista mediaaninopeutta (kappale 4.2.1). Tieverkolle lisättiin myös matka-aikakentät, joihin laskettiin tiesegmentin pyöräilyyn kuuluva aika minuutteina vastaavilla nopeuksilla.

Koska Helsinginniemen alueelta aineistoa oli runsaasti ja sieltä oli havaittavissa selkeitä hitaampia alueita (kappale 4.2.2), laskettiin Helsinginniemen sisällä koko aineiston keskinopeuden alittavien 250 x 250 m tilastoruutujen ja koko aineiston keskinopeuden ylittävien ruutujen keskinopeuksien välinen suhde. Kyseisellä alueella keskinopeuden alittavien ruutujen sisälle jäävien tiesegmenttien vakionopeuksia hidastettiin lasketun hidastuskertoimen mukaan. Koko keskustan pyöräilynopeuksia ei hidastettu, koska alueella oli myös selkeitä nopeampia osuuk-sia. Tieverkolle laskettiin myös vastaavat osalla keskusta-alueen segmenteistä tapahtuvan hidastumisen huomioivat matka-ajat.

3.7 Validointi

Tulosten validointiin käytettiin osaa alkuperäisestä pyöräilijöiden GPS-aineistosta. Validointiaineistoksi valittiin pyöräilyreittejä niiltä pyöräilijöiltä, joiden luovuttamassa aineistossa oli yli 100 matkareittiä. Noiden reittien joukosta valittiin satunnaisesti maksimissaan 100 reittiä/pyöräilijä validointia varten. Validointireittejä oli yhteensä 808 kappaletta yhdeksältä pyöräilijältä, joista kahdeksan kuului pyöräilyaktiivisuudeltaan luokkaan, joka pyöräili 3-5 päivänä viikossa, ja yksi luokkaan, joka pyöräili 6-7 päivänä viikossa.

Validointiin säästetyt GPS-pisteet reititettiin kappaleessa 3.3.4 kuvatulla menetelmällä. Kaikkia reittejä ei pystytty ratkaisemaan, ja lopulliseen validointiin jätettiin 475 reittiä. GPS-pisteistä laskettua reittien kulkemiseen käytettyä todellista matka-aikaa verrattiin pyöräilijätyyppiä vastaavan keskinopeuden mukaiseen vakionopeuden mallilla laskettuun matka-aikaan, sekä keskustan hidastuksen huomioivaan matka-aikaan. Mallien soveltuvuutta arvioitiin matka-aikojen korrelaatioiden avulla.

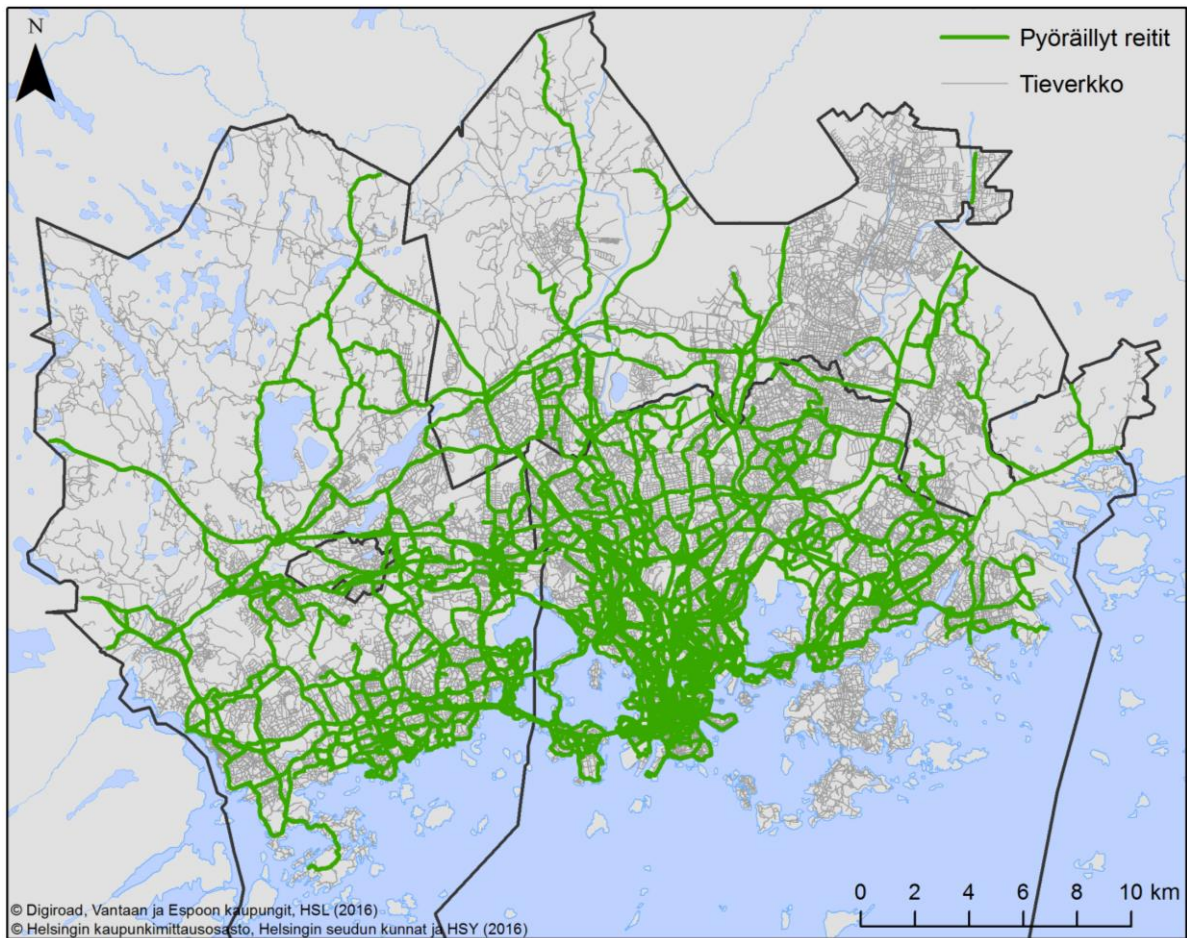
3.8 Pyöräilyn saavutettavuustarkastelu matka-aikamallin eri parametreilla

Implementoidun mallin avulla tarkasteltiin kahden kauppakeskuksen, Forumin ja Jumbon, saavutettavuutta pyöräillen. Tarkasteluun valittiin kaksi sijainniltaan hyvin erilaista kauppakeskusta: Forum sijaitsee aivan Helsingin ydinkeskustassa edustaen keskustan kauppakeskusta, joka on hyvin saavutettavissa eri kulkutavoilla, ja Jumbo Vantaalla Kehä III:n varressa edustaen kehäteiden kauppakeskusta, joka on parhaiten saavutettavissa autolla (Salonen ym. 2012). Matka-ajat kauppakeskuksiin laskettiin kaikista pääkaupunkiseudun YKR-tilastoruuduista muodostamalla lähtöpisteiden ja kohteen välinen kustannusmatriisi. Vastuksena käytettiin 18 ja 24 km/h vakionopeudella laskettuja matka-aikoja sekä vastaavien nopeuksien keskustan hidasteen huomioivia matka-aikoja nopeimpien reittien muodostamiseksi. Laskennassa tieverkolla käytettiin samoja reititysominaisuuksia kuin GPS-pisteiden liittämässä tieverkkoon (Taulukko 6). Tämän lisäksi yhtenäisen pyöräilyverkoston ulkopuolella olevat alueet kuten Suomenlinna rajattiin tarkastelusta pois. Kauppakeskusten saavutettavuutta pyöräillen ja mallien välisiä eroja tarkasteltiin myös suhteessa vuoden 2016 väestötietoihin.

4. TULOKSET

4.1 Reitityksen tulokset

Reititysmenetelmällä pyöräilyverkkoon liitettäväksi valittiin yhteensä 1367 pyöräilymatkaa, joista saatiin ratkaistua 1345 reittiä. Reitit sisälsivät yhteensä 1 453 956 GPS-pistettä. Automaattinen menetelmä ei tuottanut kaikkien reittien osalta GPS-aineistoa vastaavia tuloksia, ja yhteensä 30 % ratkaistuista reiteistä muokattiin käsin. Kaikkien reittien kohdalla GPS-pisteiden tietojen yhdistäminen reittitietoihin ei toiminut toivotulla tavalla, vaan ne yhdistyivät virheellisesti muihin reitteihin. Nopeustietojen osalta virheelliset reitit poistettiin, ja lopulliseen tilastolliseen analyysiin jäi 1329 reittiä (Kuva 8). Suurin osa reiteistä kulkee Helsingin kantakaupungissa, mutta reitit kattavat melko hyvin koko tutkimusalueen lukuun ottamatta Laajasalaa, pääradan vartta Itä-Vantaalla ja Vantaan ja Espoon luoteisosia.



Kuva 8. Tilastollisessa analyysissä käytetyt pyöräilyreitit (n = 1329).

4.2 Pyöräilynopeudet

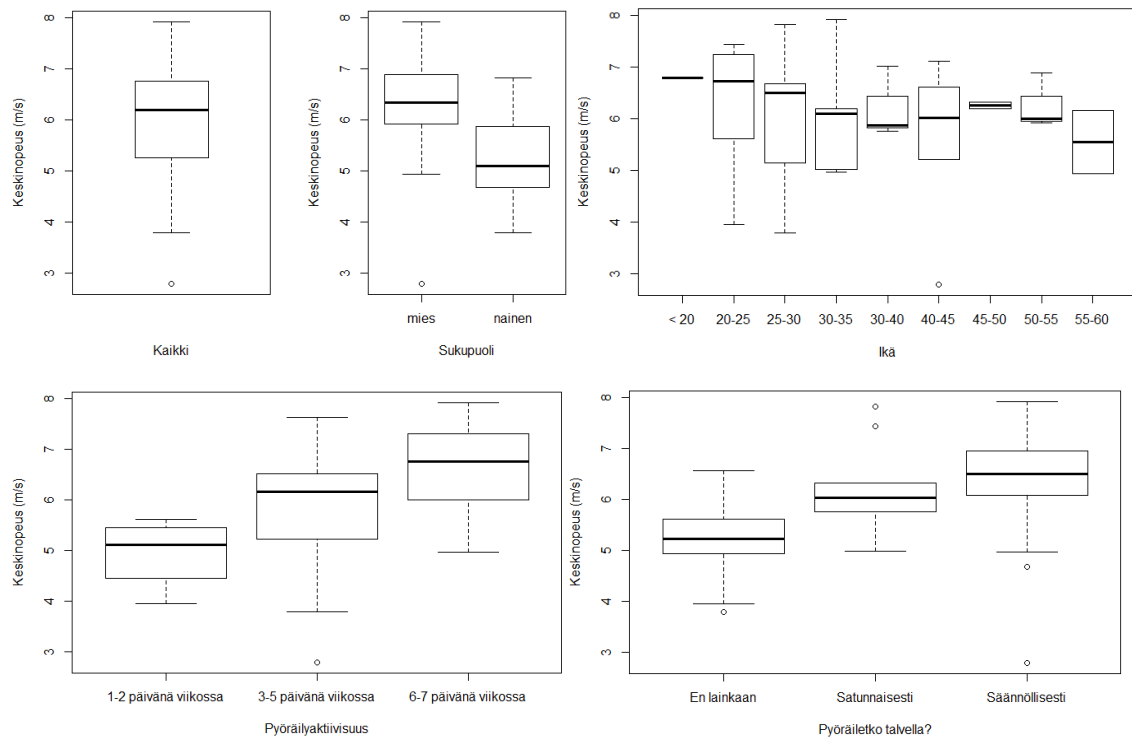
Analyysissä käytetyn GPS-aineiston keskinopeus on 6,306 m/s ja mediaaninopeus 6,317 m/s (22,7 km/h). Keskimääräiset nopeudet kuitenkin vaihtelevat tarkasteluyksikön mukaan (Taulukko 8). Segmenteille aggregoidut nopeudet ovat selvästi koko GPS-aineistoa suurempia, kun taas pyöräilijäkohtaiset nopeudet ovat hieman muita tarkasteluyksiköitä hitaampia. Työn tarkasteluissa pyöräilyaineiston keski- ja mediaaninopeutena on käytetty GPS-pisteiden arvoja, ellei toisin mainita.

Taulukko 8. Pyöräilyaineiston keski- ja mediaaninopeudet eri tarkasteluyksiköittäin.

| Nopeudet | GPS-pisteet | | 50 m segmentit | | Reitit | | Pyöräilijät | |
|-----------|-------------|------|----------------|------|--------|------|-------------|------|
| | m/s | km/h | m/s | km/h | m/s | km/h | m/s | km/h |
| Keskiarvo | 6,306 | 22,7 | 6,851 | 24,7 | 6,566 | 23,6 | 6,056 | 21,8 |
| Mediaani | 6,317 | 22,7 | 6,807 | 24,5 | 6,632 | 23,9 | 6,191 | 22,3 |

4.2.1 Pyöräilijöiden taustatekijöiden vaikutus nopeuteen

Pyöräilijäkohtaisten keskinopeuksien mediaani on 6,191 m/s (22,3 km/h), ja nopeuksissa on selkeitä eroja taustamuuttujien suhteen (Kuva 9, Taulukko 9). Miesten pyöräilynopeudet ovat keskimäärin 1,242 m/s (4,5 km/h) suurempia kuin naisten. Myös ikä vaikuttaa pyöräilynopeuksiin niin, että nuoremmissa ikäryhmissä nopeudet ovat suuremmat. Erityisesti alle 30-vuotiaiden nopeudet ovat selkeästi suurempia kuin tästä vanhempien ryhmien. Aktiivisemmin pyöräilevien nopeudet ovat suurempia kuin harvemmin pyöräilevien. 6-7 päivänä viikossa pyöräilevien nopeudet ovat keskimäärin 0,583 m/s (2,1 km/h) suurempia kuin 3-5 päivänä viikossa pyöräilevien, ja keskimäärin 1,635 m/s (5,9 km/h) suurempia kuin 1-2 päivänä viikossa pyöräilevien. Sama trendi näkyy niin yleisessä pyöräilyaktiivisuudessa, kuin talvipyöräilyn kohdalla.



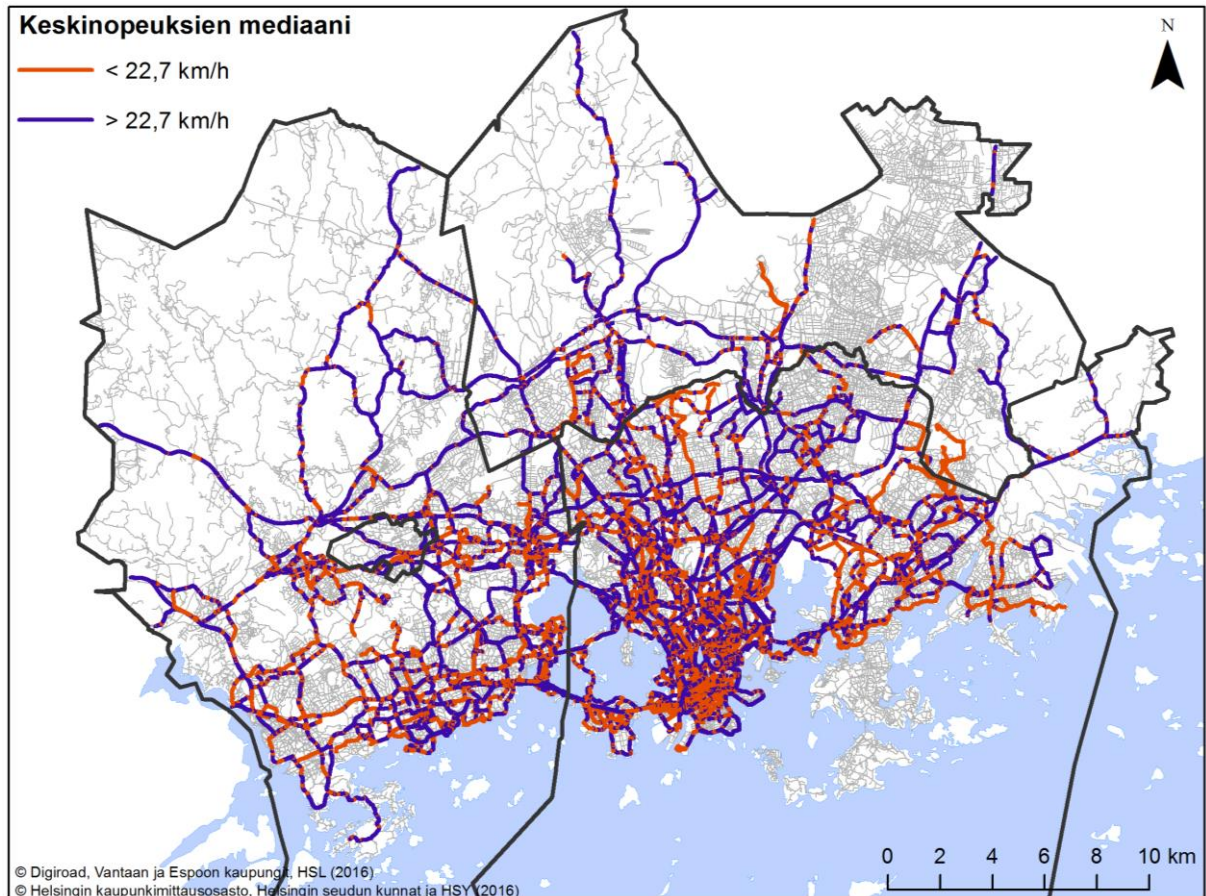
Kuva 9. Pyöräilijäkohtaisissa keskinopeuksissa on havaittavissa selkeitä eroja erilaisten henkilökohtaisten taustamuuttujien mukaan.

Taulukko 9. Pyöräilijöiden keskinopeuksien mediaaniarvoja ryhmiteltynä eri taustamuuttujien perusteella. * Pyöräilyaktiivisuus ja Talvipyöräily taustamuuttujista puuttuvat yhden vastaajan tiedot, joten pyöräilijöiden ja reittien määrät eivät vastaa kokonaissummaa. ** Nopeudet on laskettu alkuperäisistä GPS-pisteistä, jolloin reittien kokonaislukumäärä on 1345. Reittisegmentteihin perustuvissa analyyseissa reittien kokonaismäärä on 1329, sillä virheellisesti yhdistyneitä reittejä jouduttiin poistamaan.

| Taustamuuttuja | Keskinopeuden mediaani (m/s) | Keskinopeuden mediaani (km/h) | Pyöräilijöitä | Reittejä** |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------|-------------|
| Kaikki | 6,191 | 22,288 | 44 | 1345 (1329) |
| Ikä | | | | |
| < 20 | 6,786 | 24,431 | 1 | 100 |
| 20-25 | 6,725 | 24,210 | 9 | 139 |
| 25-30 | 6,503 | 23,411 | 10 | 377 |
| 30-35 | 6,104 | 21,974 | 8 | 323 |
| 35-40 | 5,870 | 21,132 | 3 | 124 |
| 40-45 | 6,010 | 21,634 | 6 | 120 |
| 45-50 | 6,259 | 22,532 | 2 | 50 |
| 50-55 | 5,998 | 21,593 | 3 | 105 |
| 55-60 | 5,554 | 19,993 | 2 | 7 |
| Sukupuoli | | | | |
| mies | 6,345 | 22,841 | 34 | 1178 |
| nainen | 5,103 | 18,372 | 10 | 167 |
| Pyöräilyaktiivisuus* | | | | |
| 6-7 päivänä / vk | 6,753 | 24,310 | 14 | 262 |
| 3-5 päivänä / vk | 6,170 | 22,212 | 25 | 1003 |
| 1-2 päivänä / vk | 5,118 | 18,424 | 4 | 33 |
| 1-3 päivänä / kk | - | - | 0 | 0 |
| Harvemmin | - | - | 0 | 0 |
| Talvipyöräily* | | | | |
| Säännöllisesti | 6,503 | 23,411 | 24 | 1013 |
| Satunnaisesti | 6,041 | 21,748 | 9 | 186 |
| En lainkaan | 5,221 | 18,796 | 10 | 99 |

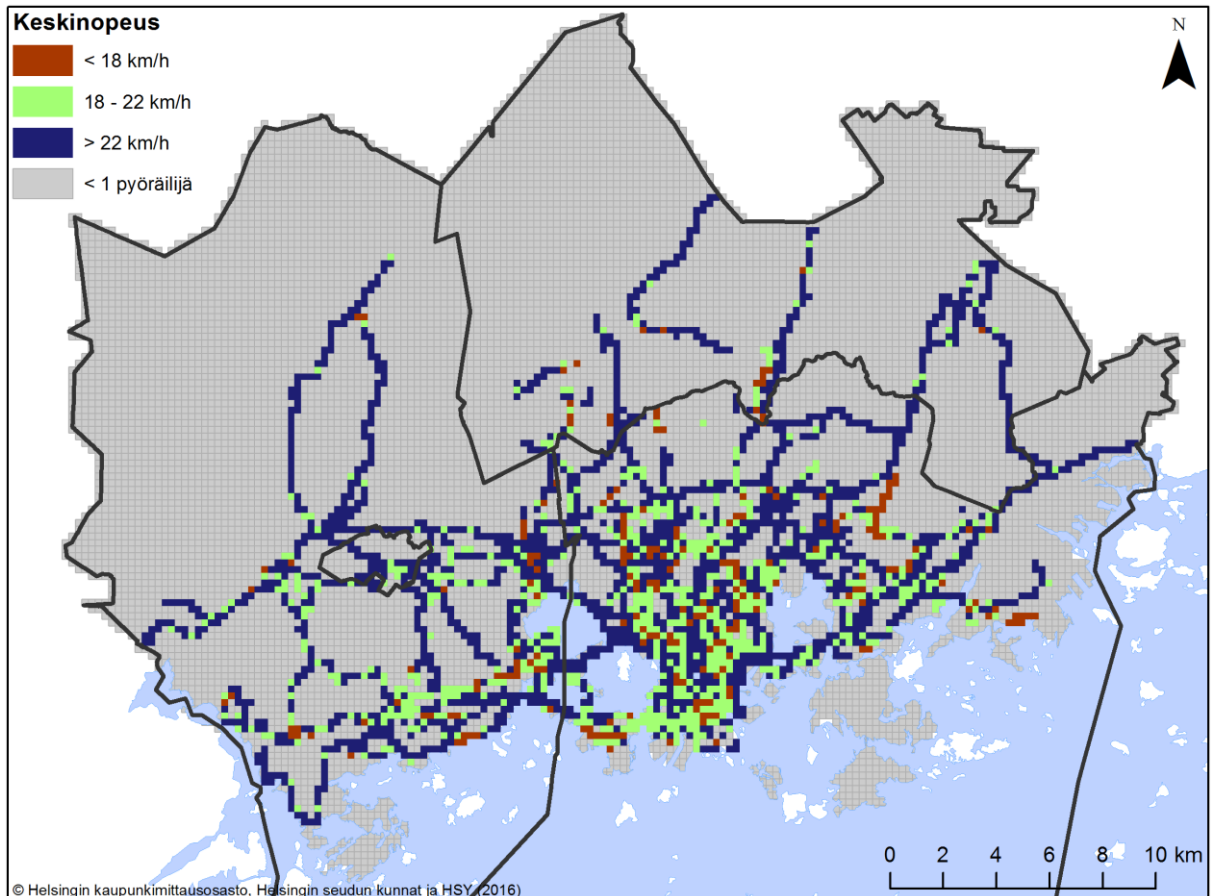
4.2.2 Alueelliset ja ajalliset erot

Reittitasoisesta alueellisesta tarkastelusta voidaan havaita, että 50 metrin segmenttien keskinopeuksien mediaanit vaihtelevat reittien sisällä mutta myös alueittain (Kuva 10). Selkeitä yhtenäisempiä suurempien nopeuksien osuuksia on havaittavissa tutkimusalueen laidoille suuntautuneista pidemmistä pyörämatkoista, sekä Helsingin ja Espoon rantareiteillä pois lukien Vuosaaren hitaammat osuudet. Yhtenäisiä hitaampien nopeuksien reittejä taas löytyy Helsingin keskustasta ja vaihdellen osuuksilta Pohjois- ja Itä-Helsingissä, Lauttasaassa sekä Luoteis-Espoossa.



Kuva 10. Pyöräillyt reitit jaettuna GPS-aineiston keskinopeuden (22,7 km/h) ylittäviin ja alittaviin osuuksiin.

Myös ruututason tarkastelu näyttää, että nopeudet ovat jokseenkin hajaantuneita ympäri tutkimusalueetta (Kuva 11). Tarkasteluun on valittu vain ne 250 x 250 m YKR-tilastoruudut, joissa on pyöräillyt useampi kuin yksi pyöräilijä, jotta yksittäisen henkilön pyöräilynopeudet eivät vaikuttaisi alueen kokonaiskuvaan. Suurempia nopeuksia esiintyy systemaattisesti Espoon ja Vantaan pohjoisosissa sekä Östersundomissa ajetuilla reiteillä, jotka ovat oletettavasti maantielenkkejä tai muita urheilumielessä tehtyjä lenkkejä. Muita yhtenäisiä nopeita osuuksia on myös erotettavissa rannikoita sivuavilla reiteillä, sekä pääradan varrella. Hitaampia nopeuksia esiintyy Helsingin keskustan ja kantakaupungin alueella, Leppävaarassa, Lauttasaarassa, Luoteis- ja Itä-Helsingissä sekä hajanaisemmin eteläisessä Espoossa ja Vantaan ja Helsingin raja-alueilla.

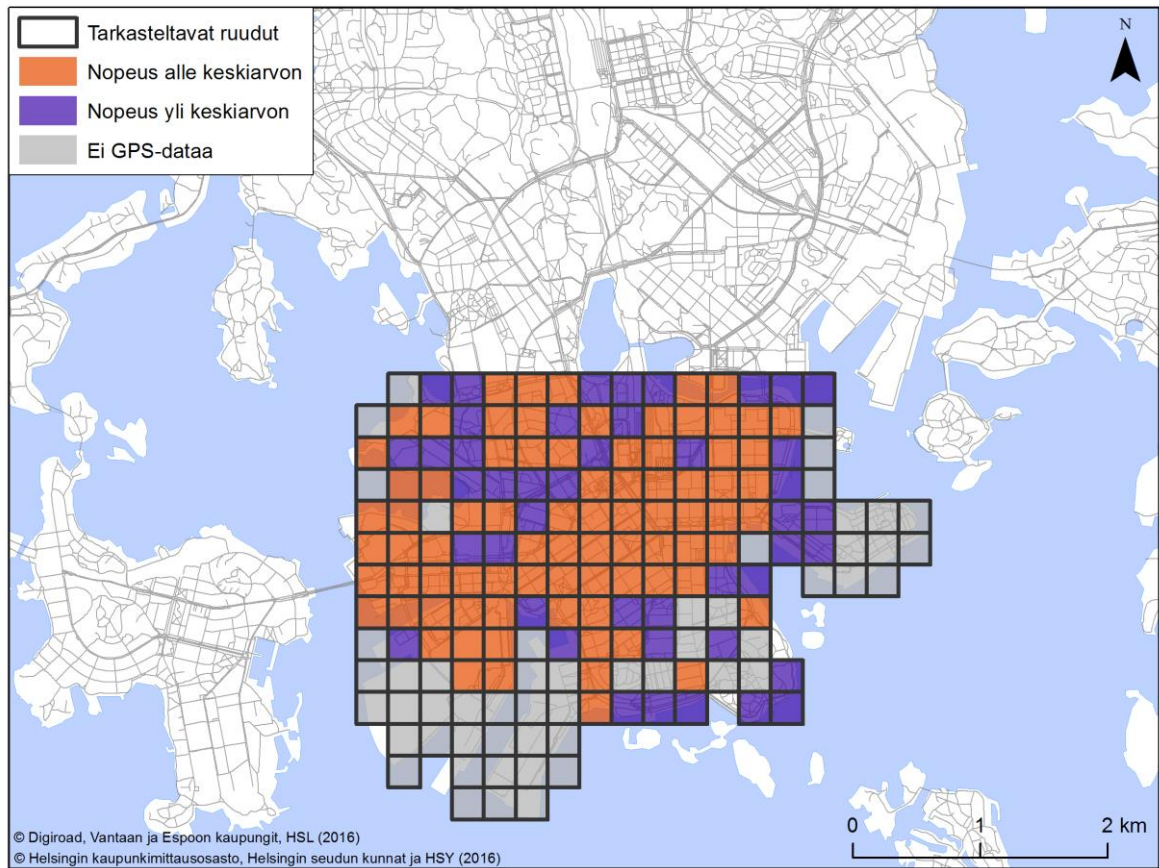


Kuva 11. GPS-aineiston keskinopeuksien ruututarkastelu. 250 x 250 m ruutujen keskinopeudet on esitetty vain jos niissä on pyöräillyt useampi kuin yksi henkilö.

Helsinginniemen alueella pyöräilyn keskinopeudet ovat hieman koko GPS-aineiston keskinopeutta matalampia, ja keskinopeuden alittavissa ruuduissa pyöräily on tarkastelun perusteella noin 0,8 kertaa hitaampaa kuin muissa ruuduissa (Taulukko 10, Kuva 12). Näin matka-aikamallin kunkin pyöräilijätyypin vakionopeudeksi keskusta-alueen hitaampien ruutujen sisälle jäävillä tiesegmenteillä tulee 14,4 km/h, 17,6 km/h ja 19,2 km/h.

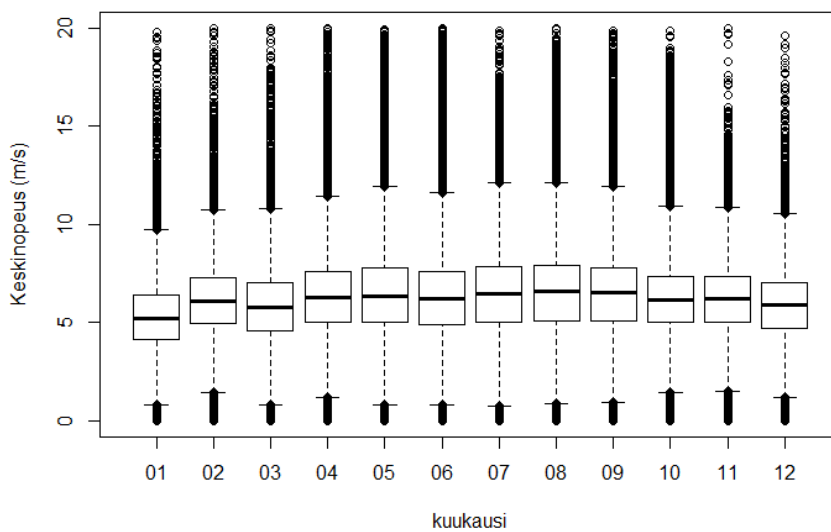
Taulukko 10. Helsinginniemen ruutujen keskinopeudet ja niiden välinen suhde.

| | Keskinopeus m/s | Keskinopeus km/h |
|--|------------------|------------------|
| Koko Helsinginniemi | 5,931 | 21,35 |
| Keskiarvon alittavat | 5,466 | 19,67 |
| Keskiarvon ylittävät | 6,811 | 24,52 |
| | Suhdeluku | |
| Keskiarvon alittavat / keskiarvon ylittävät | 0,802549 | |



Kuva 12. Helsinginniemen 250 x 250 m ruudut jaettuna GPS-aineiston keskinopeuden ylittäviin ja alittaviin ruutuihin.

Ajallisen tarkastelun perusteella kuukausikohtaiset nopeudet ovat hyvin lähellä toisiaan, ainoastaan tammikuiset nopeudet erottuvat selkeästi muista hitaampina (Kuva 13). Pyöräilyaineisto painottuu kuitenkin vahvasti touko-syyskuulle, ja talvikuukausina tallennettujen reittien määrät ovat selkeästi muita vähäisempiä (Taulukko 11).



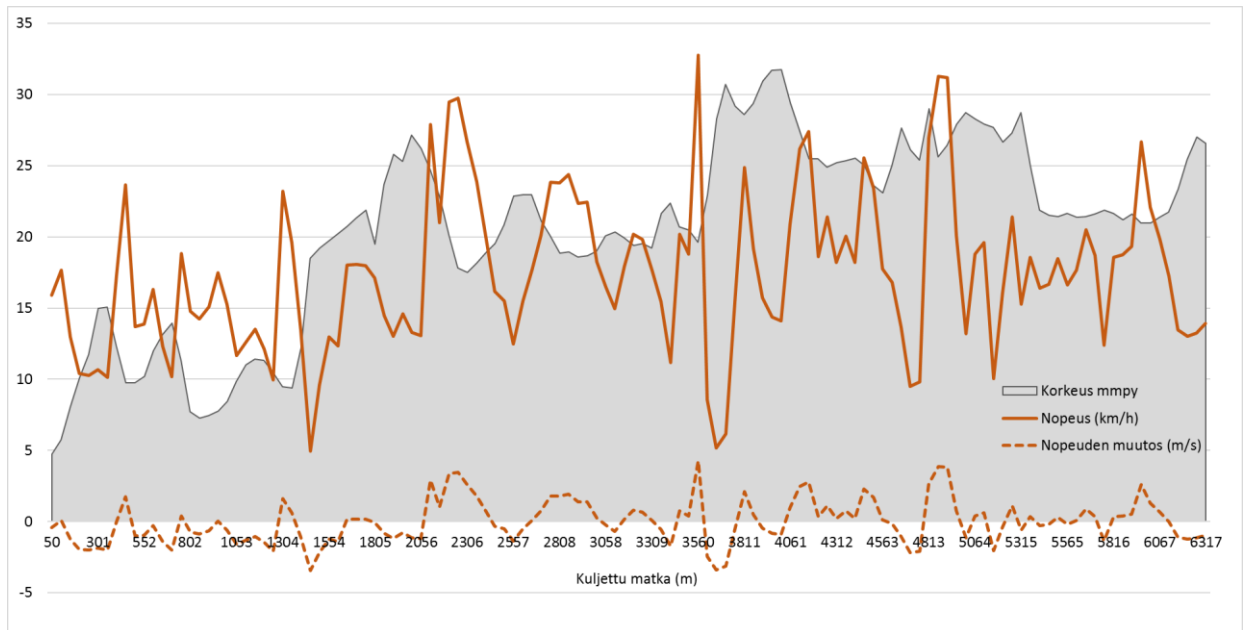
Kuva 13. Pyöräilyaineiston kuukausikohtaiset keskinopeudet vuosilta 2010-2016.

Taulukko 11. Mediaaninopeudet sekä aineiston osuus kuukausittain.

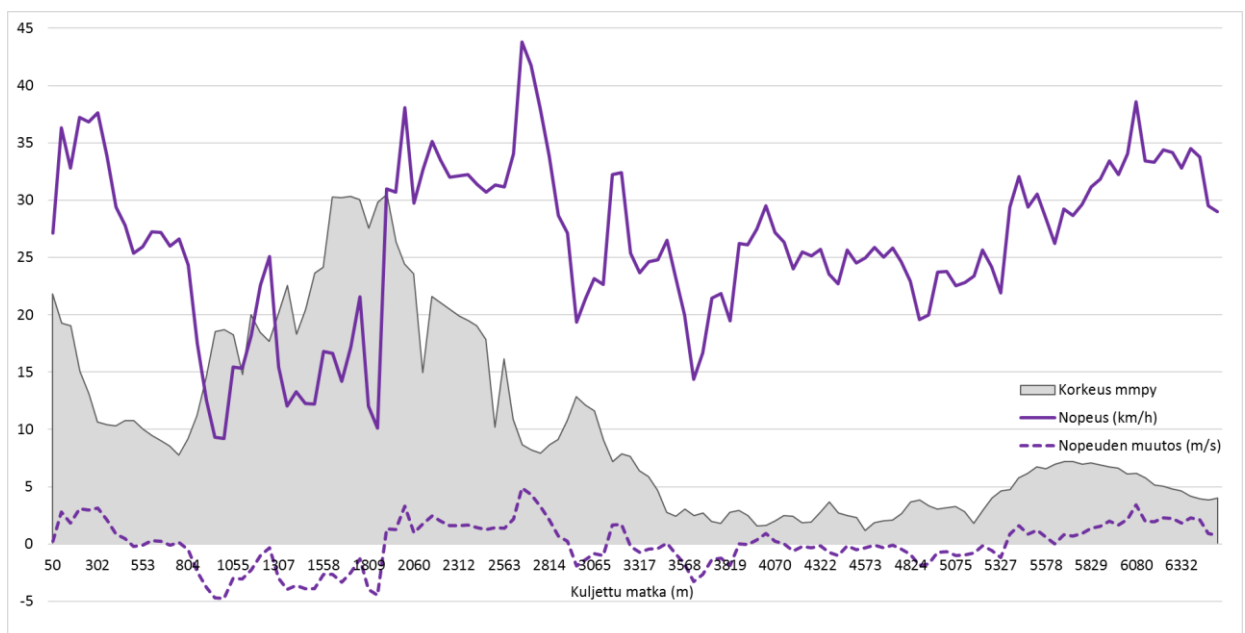
| Kuukausi | Mediaaninopeus (m/s) | Mediaaninopeus (km/h) | GPS pisteitä | %-osuus |
|-----------|-------------------------|--------------------------|--------------|---------|
| tammikuu | 5,229 | 18,824 | 38901 | 2,7 |
| helmikuu | 6,119 | 22,029 | 33902 | 2,3 |
| maaliskuu | 5,789 | 20,842 | 47769 | 3,3 |
| huhtikuu | 6,269 | 22,570 | 95999 | 6,6 |
| toukokuu | 6,349 | 22,858 | 176357 | 12,1 |
| kesäkuu | 6,200 | 22,320 | 230602 | 15,9 |
| heinäkuu | 6,498 | 23,393 | 157425 | 10,8 |
| elokuu | 6,566 | 23,638 | 253631 | 17,4 |
| syyskuu | 6,534 | 23,521 | 244656 | 16,8 |
| lokakuu | 6,175 | 22,231 | 127341 | 8,8 |
| marraskuu | 6,194 | 22,300 | 31407 | 2,2 |
| joulukuu | 5,905 | 21,257 | 15966 | 1,1 |
| kaikki | 6,317 | 22,741 | 1453956 | 100 |

4.3 Korkeusvaihteluiden vaikutus pyöräilyn nopeuksiin

Yksittäisiä reittejä tarkasteltaessa voidaan nähdä korkeusvaihteluiden paikallinen vaikutus pyöräilyn nopeuteen 1-2 päivänä viikossa pyöräilevän ”peruspyöräilijän” kohdalla (Kuva 14). Yleisesti nopeudet hidastuvat ylämäissä ja kasvavat alamäissä, ja muutoksen voimakkuus näyttää kulkevan suhteessa mäen jyrkkyyteen. Nopeudessa on kuitenkin myös vaihteluita jotka eivät suoraan noudata tätä logiikkaa. Esimerkiksi 5500-6000 metrin välisellä tasaisemmalla osuudella nopeus ensin hidastuu ja kasvaa sitten voimakkaasti. 6-7 päivänä viikossa pyöräilevän ”aktiivipyöräilijän” yksittäisen reitin kuvaajasta nähdään keskimääräisten nopeuksien olevan ”peruspyöräilijää” suurempia (Kuva 15). Korkeusvaihteluiden hidastava ja nopeuttava vaikutus on jälleen selkeästi nähtävissä alkupuolella matkaa, mutta esimerkiksi noin 5500 metrin kohdalla nopeus ei juurikaan hidastu vaan pikemminkin kasvaa ylämäestä huolimatta.

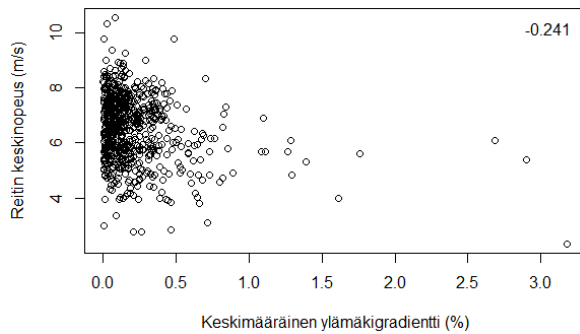


Kuva 14. "Peruspyöräilijän" yksittäisen reitin korkeusprofiili, keskinopeus ja nopeuden muutos verrattuna koko reitin keskinopeuteen. Korkeusprofiili on liioiteltu suhteessa reitin pituuteen.



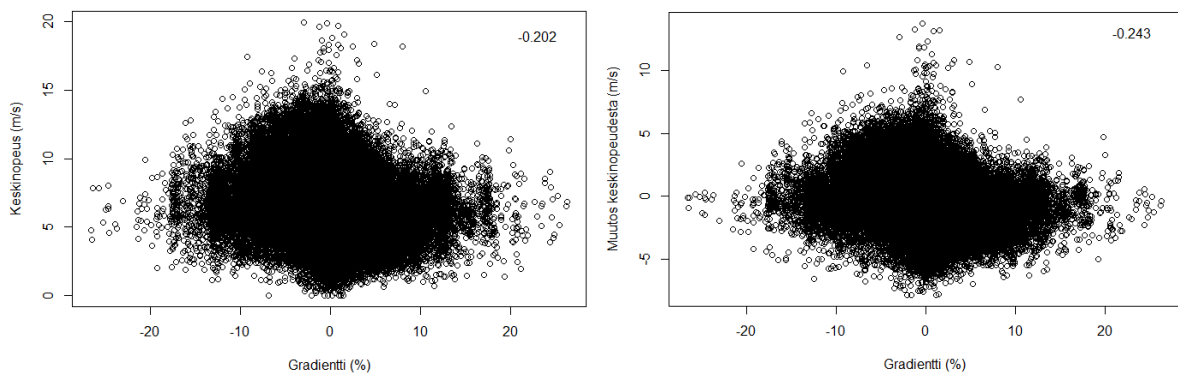
Kuva 15. "Aktiivipyöräilijän" yksittäisen reitin korkeusprofiili, nopeus ja nopeuden muutos verrattuna reitin keskinopeuteen.

Koko aineiston reittien keskinopeuksien ja reittien ylämäkien gradienttien keskiarvojen välinen korrelaatio on heikosti negatiivinen ($r = -0,241$) (Kuva 16). Keskinopeudet ovat siis jossain määrin hitaampia niillä reiteillä, joilla on jyrkemmät ylämät. Korrelaatio on tilastollisesti erittäin merkitsevä (p -arvo $\ll 0,001$), vaikka muuttujien välinen riippuvuussuhde ei olekaan voimakas.



Kuva 16. Reittikohtaisten keskinopeuksien ja ylämäkigradienttien välillä on heikko negatiivinen korrelaatio ($r = -0,241$).

Korkeusvaihteluiden vaikutuksen segmenttikohtainen tilastollinen tarkastelu koko aineistolla osoittaa, että 50 metrin reittisegmenttien keskinopeuden ja korkeuden gradientin välillä ei ole selkeää lineaarista riippuvuussuhdetta (Kuva 17). Muuttujien välillä on melko heikko negatiivinen korrelaatio ($r = -0,202$), joka osoittaa nopeuden hidastuvan kun korkeusgradientti kasvaa. Reitin keskinopeudesta lasketun segmenttikohtaisen nopeuden muutoksen ja korkeuden gradientin välillä vallitsee myös heikko negatiivinen korrelaatio ($r = -0,243$). Nopeuden muutoksen ja gradientin välinen korrelaatio on hieman keskinopeuden ja gradientin välistä korrelaatiota voimakkaampi. Molempien muuttujaparien korrelaatiot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä (p -arvo $\ll 0,001$).



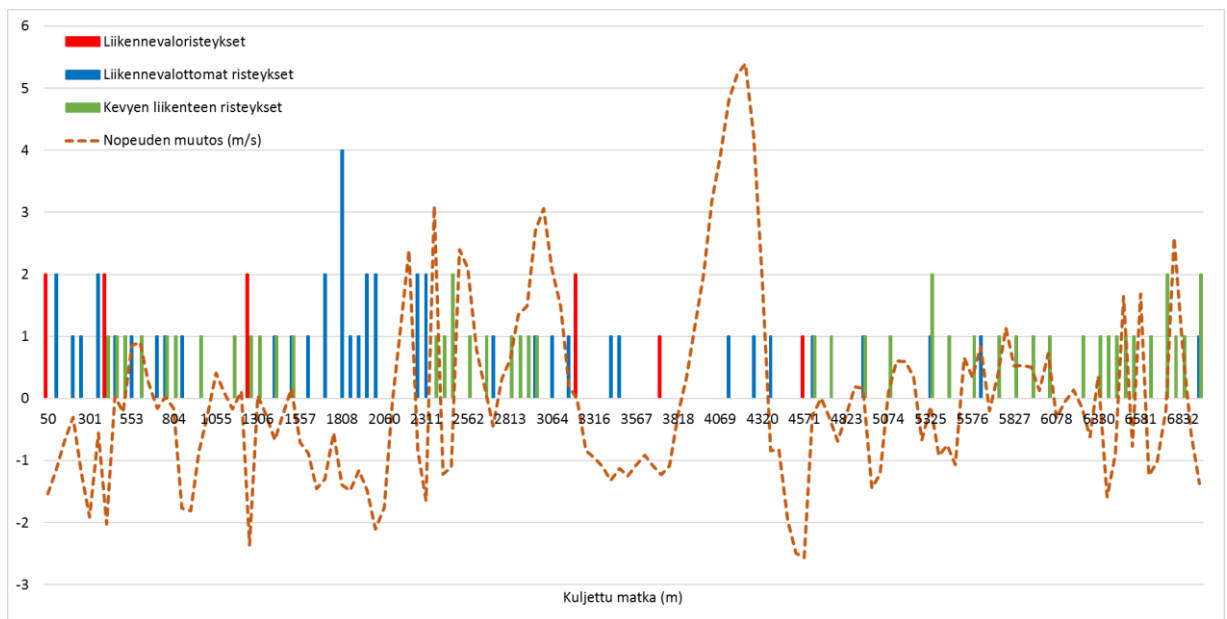
Kuva 17. 50 metrin reittisegmenttien keskinopeuden ja korkeuden gradientin välinen Pearsonin korrelaatiokerroin $r = -0,202$ on hieman reitin keskinopeuteen verrattun reittisegmenttien nopeuden muutoksen ja korkeuden gradientin välistä korrelaatiota $r = -0,243$ heikompi.

4.4 Risteysten vaikutus pyöräilynopeuksiin

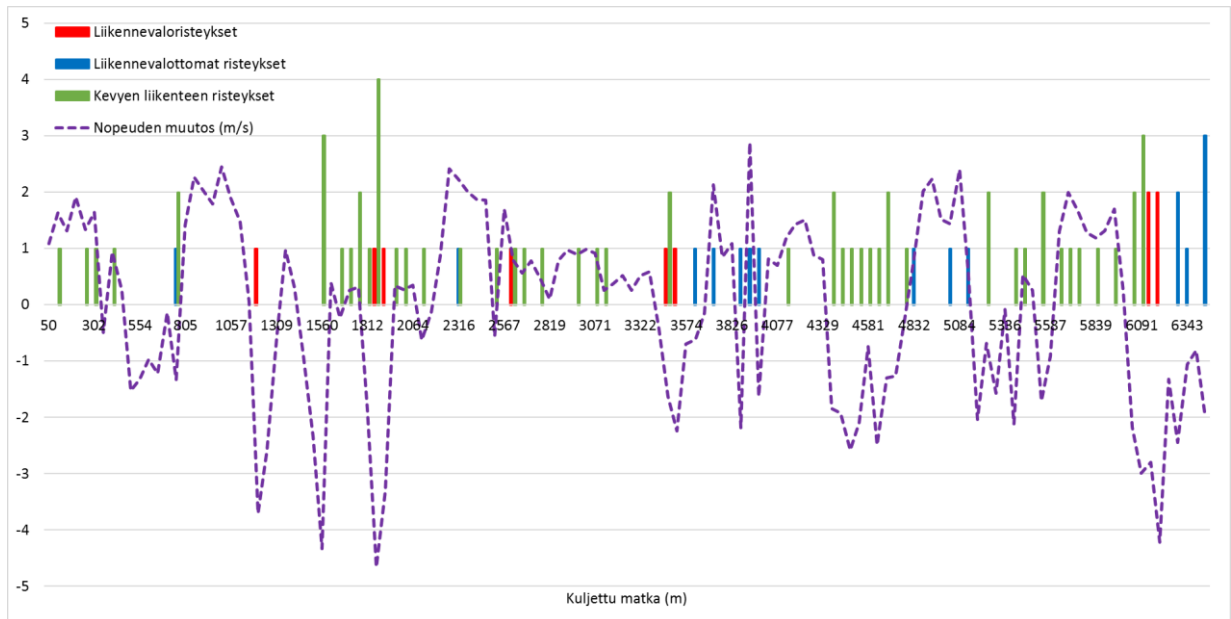
Yksittäiseltä reitiltä voidaan havaita eri risteystyyppien vaikutus 50 metrin segmenttien nopeuden muutokseen reitin keskinopeudesta. ”Peruspyöräilijän” kohdalla liikennevaloristeyksillä voidaan nähdä selvä hidastava vaikutus pyöräilynopeuteen, ja erityisesti jos liikennevaloristeyksiä on 50 metrin matkalla useampia kuin yksi (Kuva 18). Myös useat liikennevalottomat

risteykset esimerkiksi 1800-2000 metrin matkaosuudella näyttävät hidastavan nopeutta selkeästi. Toisaalta taas nopeus kasvaa huomattavasti 3800-4200 metrin osuudella liikennevalottomista risteyksistä huolimatta. Kevyen liikenteen risteyksiä on reitillä useita, ja niiden kohdalla selkeitä säännönmukaisuuksia ei ole yhtä lailla havaittavissa.

”Aktiivipyöräilijän” reitillä on havaittavissa samanlaisia selkeitä hidastuksia liikennevaloristeysten kohdilla (Kuva 19). Liikennevalottomien risteysten osalta yhtä selkeää vaikutusta ei ole havaittavissa, ja nopeudet paikoin kasvavat tai laskevat niiden kohdilla. 800-1000 metrin välisellä osuudella ei ole ollenkaan risteyksiä, ja siinä on nähtävissä selkeä nopeuden kasvu. Useiden kevyen liikenteen risteysten kohdilla esimerkiksi 4300-4700 metrin matkaosuudella nopeuden laskevat huomattavasti, mutta toisaalla nopeudet kasvavat tai muutoksia ei juurikaan ole havaittavissa kevyen liikenteen risteysten kohdilla.

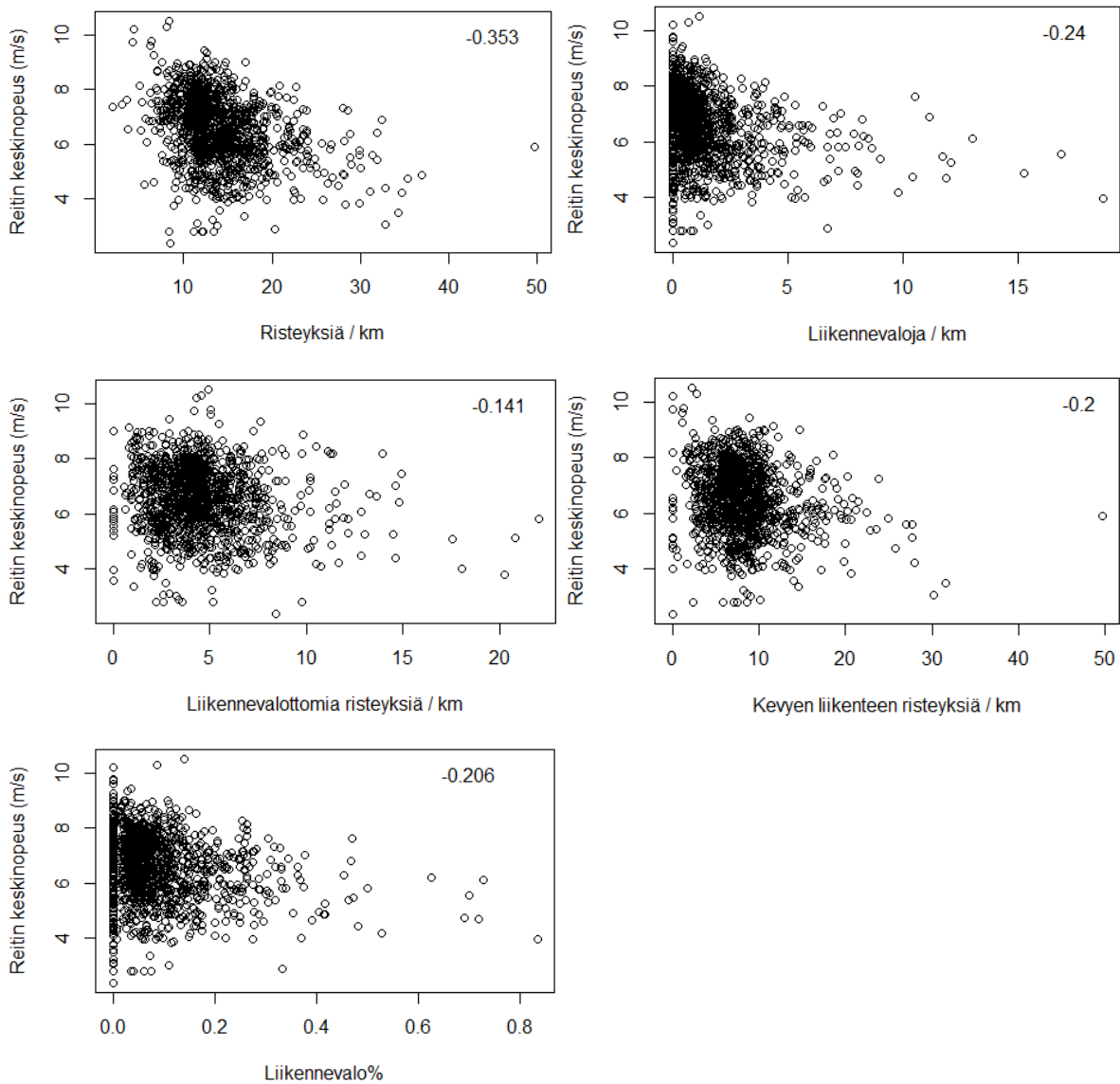


Kuva 18. "Peruspyöräilijän" yksittäinen reitti ja erilaisten risteysten vaikutus nopeuden muutokseen reitin keskinopeudesta.



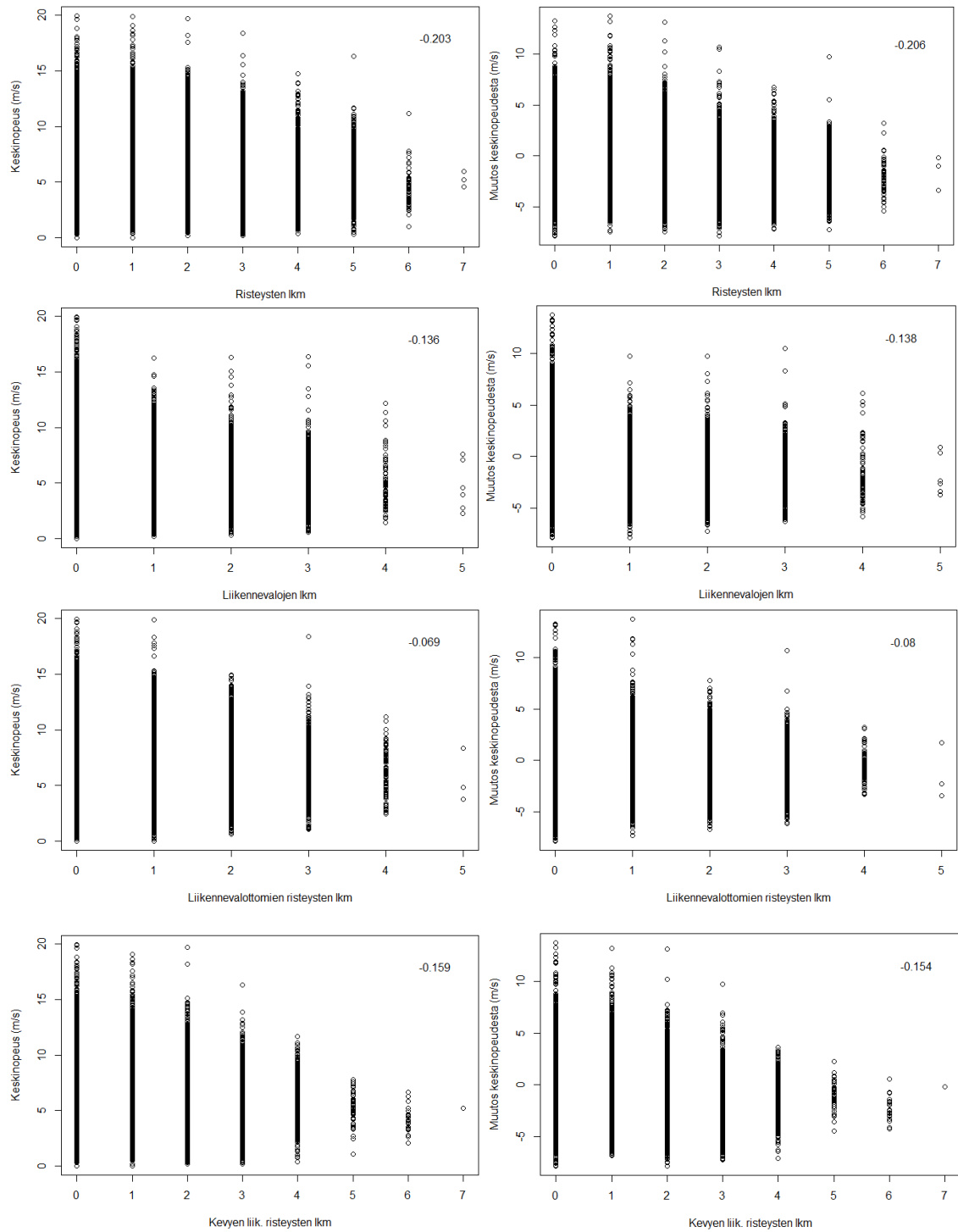
Kuva 19. "Aktiivipyöräilijän" yksittäinen reitti ja eri risteystyyppien vaikutus nopeuden muutokseen reitin keskinopeudesta.

Risteystiheyden ja reittien keskinopeuksien välinen korrelaatio koko aineiston tasolla tarkasteltuna on heikosti negatiivinen (Kuva 20). Reitin keskinopeuden ja kaikkien risteysten määrän / km välinen lineaarinen riippuvuus on melko heikko ($r = -0,353$), mutta voimakkaampi kuin erillisten risteystyyppien ja keskinopeuksien väliset riippuvuussuhteet. Liikennevaloristeysten määrän / km ja reittien keskinopeuksien suhde ($r = -0,24$) on hyvin samaa luokkaa liikennevaloprosentin korrelaation kanssa ($r = -0,206$). Liikennevalottomien risteysten tiheyden ja reittien keskinopeuksien lineaarinen riippuvuus on selvästi heikoin ($r = -0,141$), kun taas kevyen liikenteen risteysten tiheyden ja nopeuden välinen korrelaatio on samaa luokkaa liikennevaloristeysten kanssa ($r = -0,2$). Kaikki korrelaatiot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä (p -arvo $\ll 0,001$). Risteystyypeittäin eriteltynä liikennevaloristeysten ja keskinopeuden välinen riippuvuus on siis voimakkain.



Kuva 20. Reittien keskinopeuksien ja risteystiheyksien tarkastelu hajontakuvioin ja Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla osoittavat heikkoa negatiivista riippuvuutta.

50 metrin segmenttien keskinopeuksien sekä nopeuden muutosten ja eri risteystyyppien välillä on myös heikko negatiivinen korrelaatio. Sekä segmenttien keskinopeuksien ja kaikkien risteysten välinen, että segmenttien nopeuden muutoksen ja kaikkien risteysten välinen korrelaatiokerroin $r \approx -0,2$ (Kuva 21). Liikennevaloristeysten riippuvuussuhde on edellistä heikompi ($r \approx -0,14$). Liikennevalottomien risteysten korrelaatio sekä keskinopeuksiin että nopeuden muutokseen taas on lähes olematon ($r = -0,069$ ja $r = -0,08$). Ennako-oletusten vastaisesti kevyen liikenteen risteysten lineaarinen riippuvuus on erillisistä risteystyypeistä suurin, joskin silti hyvin heikko ($r = -0,159$ ja $r = -0,154$). Kaikki korrelaatiot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä (p -arvo $\ll 0,001$).

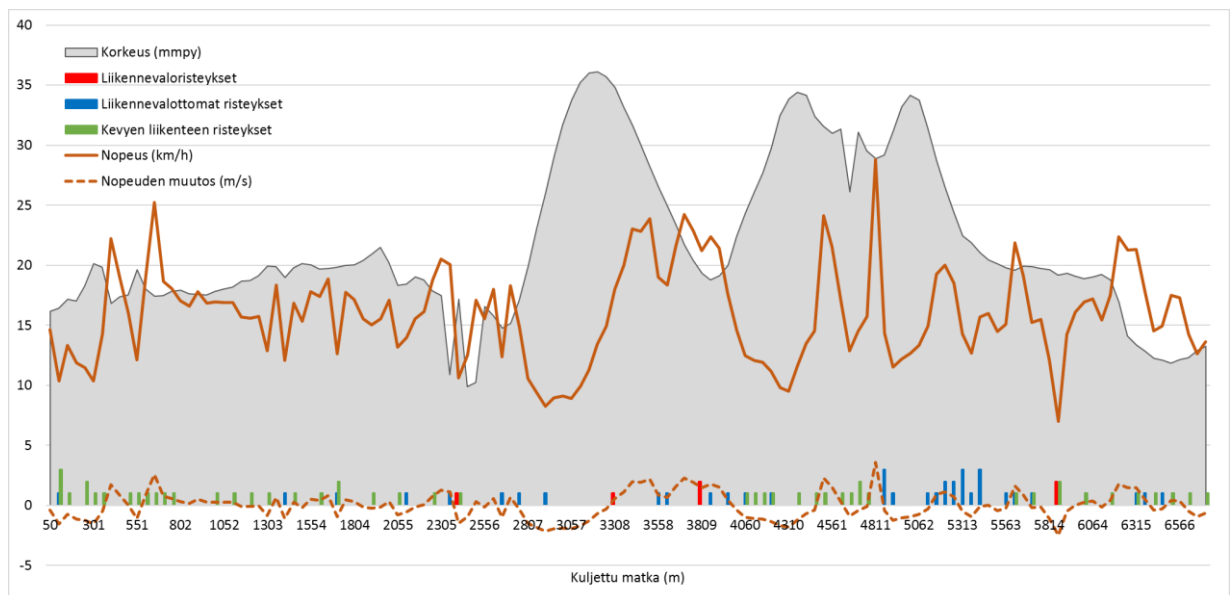


Kuva 21. Segmenttikohtaisten nopeuksien ja nopeuden muutosten ja eri risteystyyppien väliset korrelaatiot ovat heikosti negatiivisia.

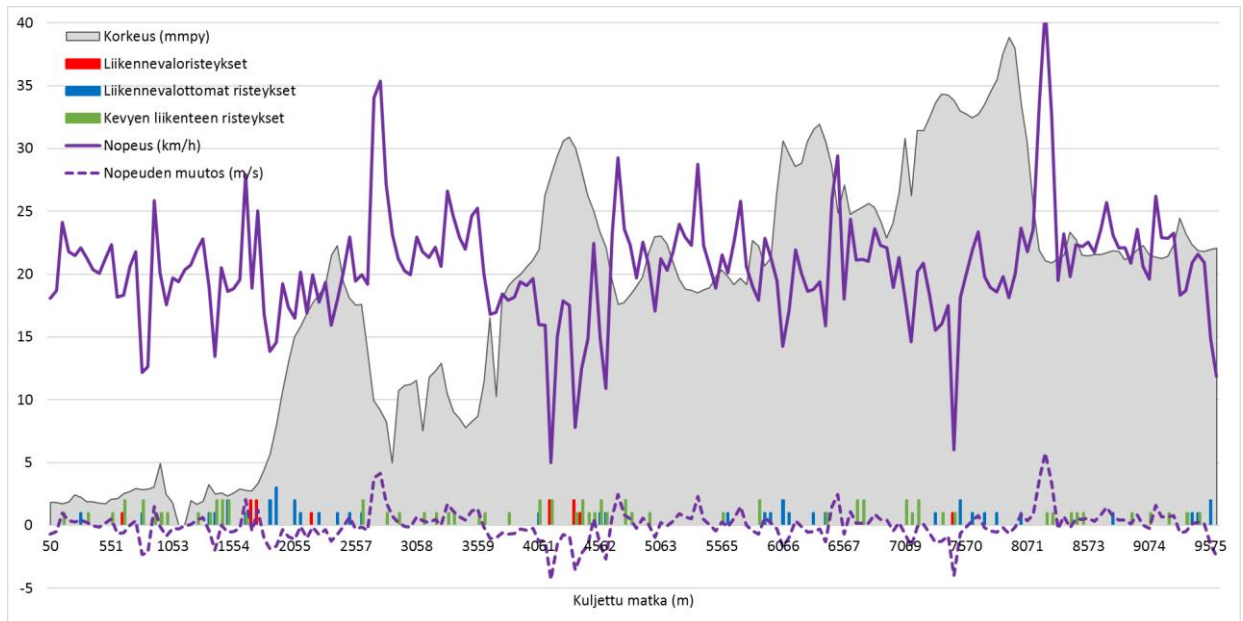
4.5 Ympäristötekijöiden yhteisvaikutus

Korkeusvaihteluiden ja risteysten tarkastelu yhtä aikaa yksittäisillä reiteillä näyttää aiemmin todetut ylämäkien hidastavan, alamäkien nopeuttavan ja erityisesti liikennevaloristeysten hidastavan vaikutuksen (Kuva 22). ”Peruspyöräilijän” reitin kuvaaja näyttää myös hyvin, miten korkeusvaihteluiden ja risteysten vaikutukset paikoin kumoavat toisensa. Esimerkiksi noin 3300 metrin kohdalla nopeus kasvaa liikennevaloristeyksestä huolimatta, sillä negatiivisen gradientin eli alamäen vaikutus on ilmeisesti suurempi. Tarkastelusta voidaan myös havaita analyysin virhelähteitä, sillä esimerkiksi noin 2400 metrin kohdalla olevat hyvin suuret edestakaiset korkeusvaihtelut eivät ole todellisia. Suuri äkillinen korkeusvaihtelu johtuu tässä tapauksessa kyseisellä kohdalla moottoritien yli kulkevasta sillasta, joka ei näy korkeusmallissa, vaan reittisegmentin gradientin lasketaan käytetyt korkeusarvot ovat tulleet ylempää sillan alku- ja loppupäistä, sekä alemmaa moottoritien tasosta.

Samoja ilmiöitä on havaittavissa aktiivipyöräilijän nopeudesta ja sen muutoksista (Kuva 23). Nopeus hidastuu selvästi esimerkiksi 4000 ja 6000 metrin kohdalla olevissa ylämäissä. 4500 metrin kohdalla risteykset hidastavat nopeutta äkillisesti alamäessä kasvaneen nopeuden jälkeen. Koko reitin keskimääräisen nopeuden voidaan myös havaita olevan korkeampi kuin ”peruspyöräilijän” tapauksessa.



Kuva 22. Korkeusvaihteluiden ja risteysten yhteisvaikutuksista on havaittavissa aiemmin todettuja säännönmukaisuuksia sekä joitakin poikkeamia. Korkeuden yhtäkkiset vaihtelut myös havainnollistavat korkeusmallista aiheutuneita analyysin epätarkkuuksia.



Kuva 23. Aktiivipyöräilijän kuvaajasta voidaan havaita nopeuden suuri vaihteluväli reitillä, sekä korkeuserojen ja risteysten aiheuttamat paikalliset nopeuden muutokset.

4.6 Regressiomallien tulokset

Tilastollinen tarkastelu lineaarisen regression avulla osoittaa, että pelkästään gradientti ja risteysten määrä eivät selitä kovin hyvin muutoksia segmenttikohtaisessa keskinopeudessa tai nopeuden muutoksessa (Taulukot 12 & 13). Kaikki selittävät muuttujat ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä (p-arvot $\ll 0,001$), lukuunottamatta mallin 8 vakiomuuttujaa. Myös mallien F-testit ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä (p-arvot $\ll 0,001$), joten niiden perusteella mallit sopivat hyvin aineistoon ja niillä siis periaatteessa pystytään selittämään selitettävien muuttujien vaihtelua. Mallien selitysasteet ovat kuitenkin erittäin heikot jääden parhaimmillaankin 0,1:n tasolle.

Vahvimmat selitysasteet ovat malleilla 13 ja 14 (Taulukko 13). Mallissa 13 selitettävänä muuttujana on segmenttikohtainen nopeuden muutos, ja selittävinä muuttujina ovat gradientti ja kaikki risteykset. Mallin regressiokertoimet osoittavat, että risteysten hidastava vaikutus on gradientin hidastavaa vaikutusta selkeästi suurempi. Yksi minkä tahansa tyyppin risteys lisää 50 metrin segmentillä hidastaa pyöräilijän keskinopeutta noin 0,35 m/s (1,3 km/h) ja gradientin kasvaessa prosentilla hidastava vaikutus on noin 0,13 m/s (0,5 km/h).

Taulukko 12. 50 metrin segmenttien keskinopeutta selittävien regressiomallien tulokset. *** Tulos on tilastollisesti merkitsevä 0,001 tasolla.

| Malli | Muuttuja | Kerroin | Keski- virhe | t | p-arvo | Residuaalien keskivirhe | R2 | Adj. R2 | F | p-arvo |
|---------|------------|---------|-----------------|---------|-----------|----------------------------|-------|---------|-------|-------------|
| Malli 1 | Vakio | 6.851 | 0.00390 | 1756.99 | <2E-16*** | 1.856 | 0.041 | 0.041 | 9599 | <2.2E-16*** |
| | Gradientti | -0.129 | 0.00132 | -97.98 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 2 | Vakio | 7.124 | 0.00478 | 1489.05 | <2E-16*** | 1.855 | 0.041 | 0.041 | 9687 | <2E-16*** |
| | Rist_yht | -0.423 | 0.00430 | -98.42 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 3 | Vakio | 6.898 | 0.00401 | 1721.33 | <2E-16*** | 1.877 | 0.019 | 0.019 | 4278 | <2E-16*** |
| | Rist_lv | -0.877 | 0.01341 | -65.41 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 4 | Vakio | 6.905 | 0.00430 | 1606.82 | <2E-16*** | 1.890 | 0.005 | 0.005 | 1071 | <2E-16*** |
| | Rist_auto | -0.255 | 0.00778 | -32.73 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 5 | Vakio | 7.019 | 0.00450 | 1559.87 | <2E-16*** | 1.871 | 0.025 | 0.025 | 5843 | <2E-16*** |
| | Rist_kevyt | -0.438 | 0.00573 | -76.44 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 6 | Vakio | 7.125 | 0.00468 | 1522 | <2E-16*** | 1.815 | 0.082 | 0.082 | 10110 | <2E-16*** |
| | Gradientti | -0.130 | 0.00129 | -100.5 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_yht | -0.424 | 0.00420 | -100.9 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 7 | Vakio | 7.114 | 0.00468 | 1521.11 | <2E-16*** | 1.810 | 0.087 | 0.087 | 5422 | <2.2E-16*** |
| | Gradientti | -0.129 | 0.00129 | -100.67 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_lv | -0.826 | 0.01298 | -63.68 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_auto | -0.287 | 0.00746 | -38.51 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_kevyt | -0.416 | 0.00556 | -74.74 | <2E-16*** | | | | | |

Taulukko 13. 50 metrin segmenttien nopeuden muutosta selittävien regressiomallien tulokset.

| Malli | Muuttuja | Kerroin | Keski- virhe | t | p-arvo | Residuaalien keskivirhe | R2 | Adj. R2 | F | p-arvo |
|----------|------------|---------|-----------------|----------|-----------|----------------------------|-------|---------|-------|-------------|
| Malli 8 | Vakio | 0.000 | 0.00316 | -0.032 | 0.974 | 1.505 | 0.059 | 0.059 | 14230 | <2.2E-16*** |
| | Gradientti | -0.128 | 0.00107 | -119.287 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 9 | Vakio | 0.228 | 0.00392 | 58.12 | <2E-16*** | 1.519 | 0.042 | 0.042 | 10050 | <2.2E-16*** |
| | Rist_yht | -0.352 | 0.00352 | -100.25 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 10 | Vakio | 0.039 | 0.00328 | 11.75 | <2E-16*** | 1.537 | 0.019 | 0.019 | 4414 | <2.2E-16*** |
| | Rist_lv | -0.729 | 0.01098 | -66.44 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 11 | Vakio | 0.052 | 0.00352 | 14.65 | <2E-16*** | 1.547 | 0.006 | 0.006 | 1471 | <2.2E-16*** |
| | Rist_auto | -0.244 | 0.00637 | -38.35 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 12 | Vakio | 0,133 | 0,00369 | 36,04 | <2E-16*** | 1,533 | 0,024 | 0,024 | 5483 | <2.2E-16*** |
| | Rist_kevyt | -0,348 | 0,00470 | -74,05 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 13 | Vakio | 0.228 | 0.00379 | 60.2 | <2E-16*** | 1.471 | 0.102 | 0.102 | 12850 | <2.2E-16*** |
| | Gradientti | -0.128 | 0.00105 | -122.4 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_yht | -0.354 | 0.00341 | -103.9 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 14 | Vakio | 0.220 | 0.00379 | 57.96 | <2E-16*** | 1.467 | 0.107 | 0.107 | 6781 | <2.2E-16*** |
| | Gradientti | -0.128 | 0.00104 | -122.68 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_lv | -0.693 | 0.01052 | -65.87 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_auto | -0.272 | 0.00605 | -44.93 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_kevyt | -0.330 | 0.00451 | -73.13 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 15 | Vakio | 0.219 | 0.00391 | 55.92 | <2E-16*** | 1.515 | 0.048 | 0.048 | 3774 | <2.2E-16*** |
| | Rist_lv | -0.694 | 0.01086 | -63.91 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_auto | -0.269 | 0.00624 | -43.1 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_kevyt | -0.328 | 0.00465 | -70.56 | <2E-16*** | | | | | |
| Malli 16 | Vakio | 0.160 | 0.00357 | 44.96 | <2E-16*** | 1.473 | 0.099 | 0.099 | 8294 | <2E-16*** |
| | Gradientti | -0.128 | 0.00105 | -121.98 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_lv | -0.671 | 0.01055 | -63.59 | <2E-16*** | | | | | |
| | Rist_kevyt | -0.327 | 0.00453 | -72.35 | <2E-16*** | | | | | |

Mallissa 14 selittävinä muuttujina ovat gradientti ja risteukset tyypeittäin ryhmiteltynä (Taulukko 13). Kyseinen malli taas vahvistaa oletusta siitä, että liikennevaloristeysten hidastava vaikutus on muita risteystyyppejä voimakkaampi. Liikennevaloristeysten määrän kasvu hidastaa keskinopeutta segmentillä noin 0,69 m/s (2,5 km/h). Seuraavaksi voimakkain, mutta huomattavasti heikompi, hidastava vaikutus on kevyen liikenteen risteyksillä, noin 0,33 m/s (1,2 km/h). Liikennevalottomien risteysten vaikutus on lähes samaa luokkaa kevyen liikenteen risteysten kanssa gradientin vaikutusten jäädessä heikoimmiksi. Kaiken kaikkiaan liikennevaloristeykset ovat tämän tarkastelun muuttujista keskinopeuteen ja nopeuden muutokseen voimakkaimmin vaikuttava tekijä.

Myös reittikohtaisessa tarkastelussa kaikki selittävät muuttujat ja kaikki mallit ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä (Taulukko 14). Parhaat selitysasteet ovat malleilla 20 ja 21, joskin nekin ovat vain 0,1 luokkaa. Myös reittikohtaisesta tarkastelusta voidaan havaita, että risteys- tai liikennevalotiheyden kasvu hidastaa keskimääräistä pyöräilynopeutta. Liikennevaloristeysten tiheyden kasvun hidastava vaikutus näyttää jälleen muita risteystyyppejä suuremmalta, noin 0,13-0,16 m/s (0,5-0,6 km/h). Malleissa 20 ja 21 keskimääräisen ylämäkigradientin kasvu näyttää kuitenkin vaikuttavan reittien keskinopeuksiin eniten, noin 0,7 m/s (2,5 km/h). Mitä jyrkempiä ylämäkiä matkalla siis on, sitä enemmän ne hidastavat reitin keskimääräistä pyöräilynopeutta. Lisäksi ylämäkien ja risteysten vaikutusten yhdistäminen selittää keskimääräistä nopeutta pelkkiä risteys- tai liikennevalotiheyksiä paremmin.

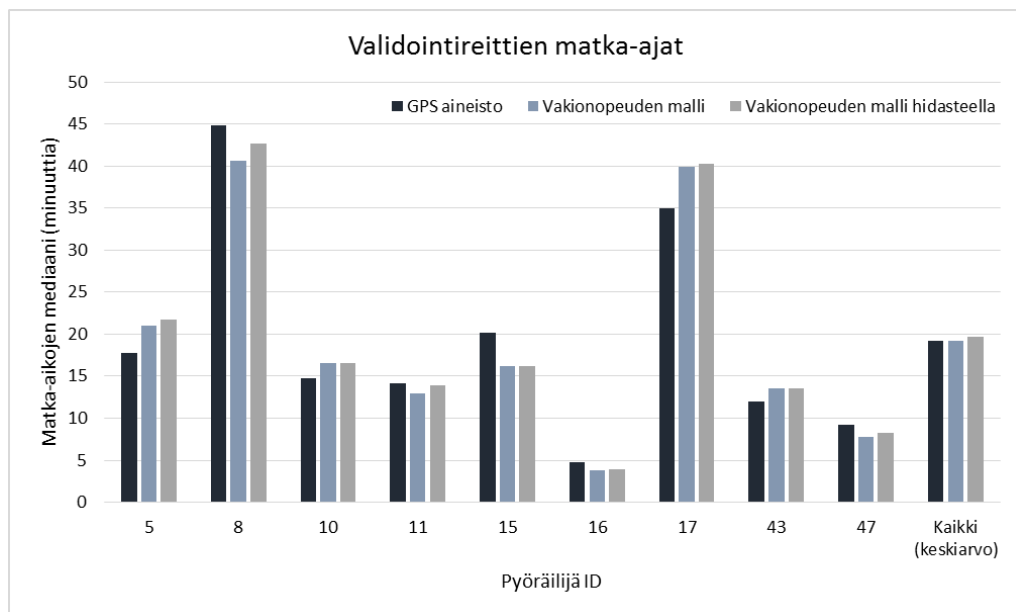
Taulukko 14. Reittien keskinopeutta selittävien regressiomallien tulokset. *** Tulos on tilastollisesti merkitsevä 0,001 tasolla.

| Malli | Muuttuja | Kerroin | Keski- virhe | t | p-arvo | Residuaalien keskivirhe | R2 | Adj. R2 | F | p-arvo |
|----------|----------|---------|-----------------|--------|-------------|----------------------------|-------|---------|-------|-------------|
| Malli 17 | Vakio | 7.891 | 0.10123 | 77.96 | <2.2E-16*** | 1.120 | 0.125 | 0.124 | 188.7 | <2.2E-16*** |
| | Rist_km | -0.095 | 0.00694 | -13.74 | <2.2E-16*** | | | | | |
| Malli 18 | Vakio | 6.781 | 0.03979 | 170.44 | <2.2E-16*** | 1.162 | 0.058 | 0.057 | 81.37 | <2.2E-16*** |
| | LV_km | -0.160 | 0.01778 | -9.02 | <2.2E-16*** | | | | | |
| Malli 19 | Vakio | 6.797 | 0.04405 | 154.30 | <2.2E-16*** | 1.172 | 0.042 | 0.042 | 58.54 | 3,81E-14*** |
| | LV_pros | -2.645 | 0.34570 | -7.65 | 3,81E-14*** | | | | | |
| Malli 20 | Vakio | 7.777 | 0.14265 | 54.52 | <2E-16*** | 1.111 | 0.141 | 0.138 | 54.8 | <2.2E-16*** |
| | Ylämäki | -0.737 | 0.15598 | -4.724 | 2,81E-06*** | | | | | |
| | Rist_km | -0.081 | 0.01014 | -8.029 | 4,44E-15*** | | | | | |
| Malli 21 | Vakio | 7.701 | 0.15494 | 49.7 | <2E-16*** | 1.108 | 0.149 | 0.144 | 29.06 | <2.2E-16*** |
| | Ylämäki | -0.744 | 0.15631 | -4.759 | 2,38E-06*** | | | | | |
| | LV_km | -0.133 | 0.02358 | -5.641 | 2,51E-08*** | | | | | |
| | Auto_km | -0.070 | 0.02055 | -3.414 | 0,000679*** | | | | | |
| | Kevyt_km | -0.069 | 0.01140 | -6.093 | 1,87E-09*** | | | | | |

Regressioanalyysistä voidaan päätellä, että gradientin ja eri risteystyyppien lisäksi pyöräilynopeuksiin vaikuttavat niin segmentti- kuin reittikohtaisestikin keskeisesti muut tekijät, joita ei tässä työssä ole pystytty mallintamaan. Eri muuttujien vaikutukset ja suhteet toisiinsa ovat tilastollisesti merkitseviä, mutta koska mallit kokonaisuuksina selittävät pyöräilynopeuksia ja niiden vaihteluita vain heikosti, ei mallien mukaisia vastusarvoja implementoitu matka-aikamalliin.

4.7 Validoinnin tulokset

Vakionopeuden mallilla lasketut matka-ajat ovat keskimäärin yhtä pitkiä kuin GPS-aineiston matkat-ajat (Kuva 24, Taulukko 15). Jos matka-aikojen laskennassa otetaan huomioon osalle Helsinginniemen segmenteistä asetetut hitaammat pyöräilynopeudet, ovat matka-ajat keskimäärin hieman GPS-aineistoa pidempiä. Erot ovat kuitenkin reitti- ja pyöräilijäkohtaisia, ja vaihtelut ovat osin suuriakin. Esimerkiksi pyöräilijöiden 15 ja 16 mallinnetut matka-ajat ovat keskimäärin noin 20 % todellisia matka-aikoja nopeampia, kun taas pyöräilijän 5 vakionopeudella mallinnetut matka-ajat ovat 18,5 % ja hidasteen huomioivat matka-ajat 22,7 % GPS-aineiston matka-aikoja hitaampia. Kaikkien pyöräilijöiden osalta pelkällä vakionopeuden ja hidasteen huomioivalla mallilla ei ole eroa: esimerkiksi pyöräilijöiden 10, 15 ja 43 tapauksessa reitit eivät ole kulkeneet ollenkaan keskustan kautta, jolloin matka-ajat ovat samat molemmilla mallinnusmenetelmillä. Mallinnetut reitit ovat molemmilla matka-ajan laskentamenetelmillä samat ja niiden pituudet ovat hyvin lähellä GPS-aineiston reittien pituuksia.

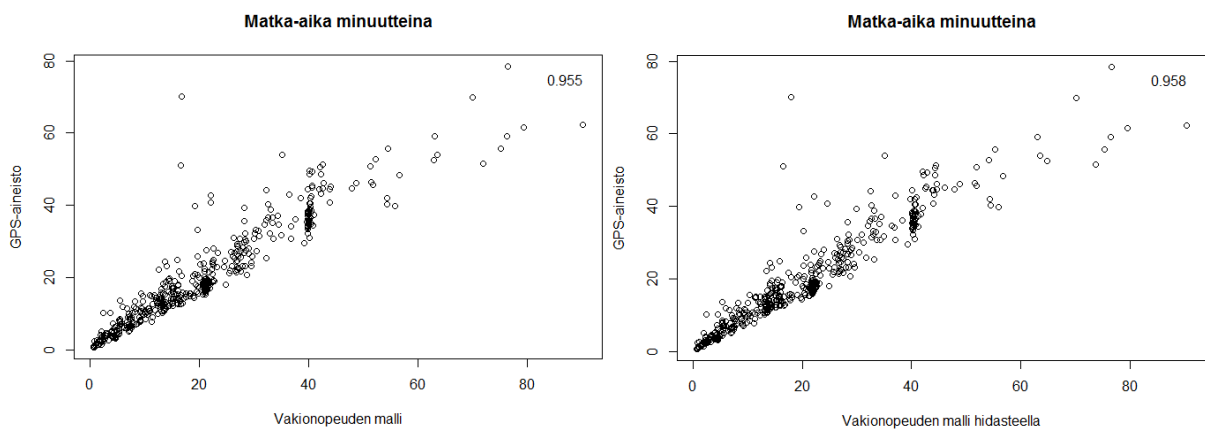


Kuva 24. Validointireittien pyöräilijäkohtaiset matka-aikojen mediaanit GPS-aineiston, vakionopeuden mallin ja keskustan hidasteen huomioivan vakionopeuden mallin mukaan.

Taulukko 15. Validointireittien kahdella mallinnusmenetelmällä lasketut matka-ajat ja pituudet verrattuna GPS-aineiston tietoihin. Positiivinen suhteellinen muutos tarkoittaa, että mallinnettu aika on hitaampi tai reitti pidempi kuin GPS-aineistossa, ja negatiivinen ero kertoo nopeammasta mallinnetusta matka-ajasta tai lyhemmästä reitin pituudesta.

| Pyöräilijä ID | Pyöräily-aktiivisuus | Reittien määrä (n=475) | GPS-aineisto | | Vakionopeuden malli | | | Vakionopeuden malli keskustan hidasteella | | | |
|---------------|----------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|---|---------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| | | | Matka-aikojen mediaani (min) | Reittien pituuden mediaani (km) | Matka-aikojen mediaani (min) | Reittien pituuden mediaani (km) | Matka-aikojen ero GPS-aineistoon (%) | Matka-aikojen mediaani (min) | Reittien pituuden mediaani (km) | Matka-aikojen ero GPS-aineistoon (%) | Pituuden ero GPS-aineistoon (%) |
| 5 | 3-5 pv/vk | 87 | 17,8 | 7,56 | 21,0 | 7,71 | 18,5 | 21,8 | 7,71 | 22,7 | 2,0 |
| 8 | 3-5 pv/vk | 22 | 44,9 | 14,71 | 40,6 | 14,90 | -9,4 | 42,6 | 14,90 | -5,0 | 1,3 |
| 10 | 3-5 pv/vk | 64 | 14,8 | 6,19 | 16,6 | 6,09 | 12,1 | 16,6 | 6,09 | 12,1 | -1,6 |
| 11 | 3-5 pv/vk | 69 | 14,2 | 4,69 | 12,9 | 4,74 | -8,9 | 13,9 | 4,74 | -2,1 | 1,1 |
| 15 | 3-5 pv/vk | 72 | 20,1 | 6,04 | 16,2 | 5,93 | -19,6 | 16,2 | 5,93 | -19,6 | -1,9 |
| 16 | 6-7 pv/vk | 42 | 4,8 | 1,53 | 3,8 | 1,52 | -20,8 | 3,9 | 1,52 | -19,0 | -0,5 |
| 17 | 3-5 pv/vk | 59 | 35,0 | 14,29 | 39,9 | 14,63 | 14,0 | 40,2 | 14,63 | 14,9 | 2,4 |
| 43 | 3-5 pv/vk | 40 | 11,9 | 4,97 | 13,6 | 4,97 | 13,5 | 13,6 | 4,97 | 13,5 | 0,1 |
| 47 | 3-5 pv/vk | 20 | 9,3 | 2,87 | 7,7 | 2,84 | -16,6 | 8,3 | 2,84 | -10,4 | -1,1 |
| Mediaani | | 59 | 14,8 | 6,04 | 16,2 | 5,93 | 9,2 | 16,2 | 5,93 | 9,2 | -1,9 |
| Keskiarvo | | 52,8 | 19,2 | 6,98 | 19,2 | 7,04 | -0,2 | 19,7 | 7,04 | 2,5 | 0,8 |

Molempien mallien matka-ajat korreloivat voimakkaasti GPS-aineiston matka-aikojen kanssa (Kuva 25). Korrelaatiot ovat tilastollisesti erittäin merkitseviä ja niiden selitysasteet ovat korkeita (Taulukko 16). Keskustan hidasteen huomioivan vakionopeuden mallin selitysaste on hie- man pelkkää vakionopeuden mallia korkeampi, mutta ero on vain tuhannesosien luokkaa. Mo- lemmilla mallinnustavoilla laskettujen matka-aikojen voidaan siis todeta vastaavan hyvin GPS- aineiston todellisia matka-aikoja.



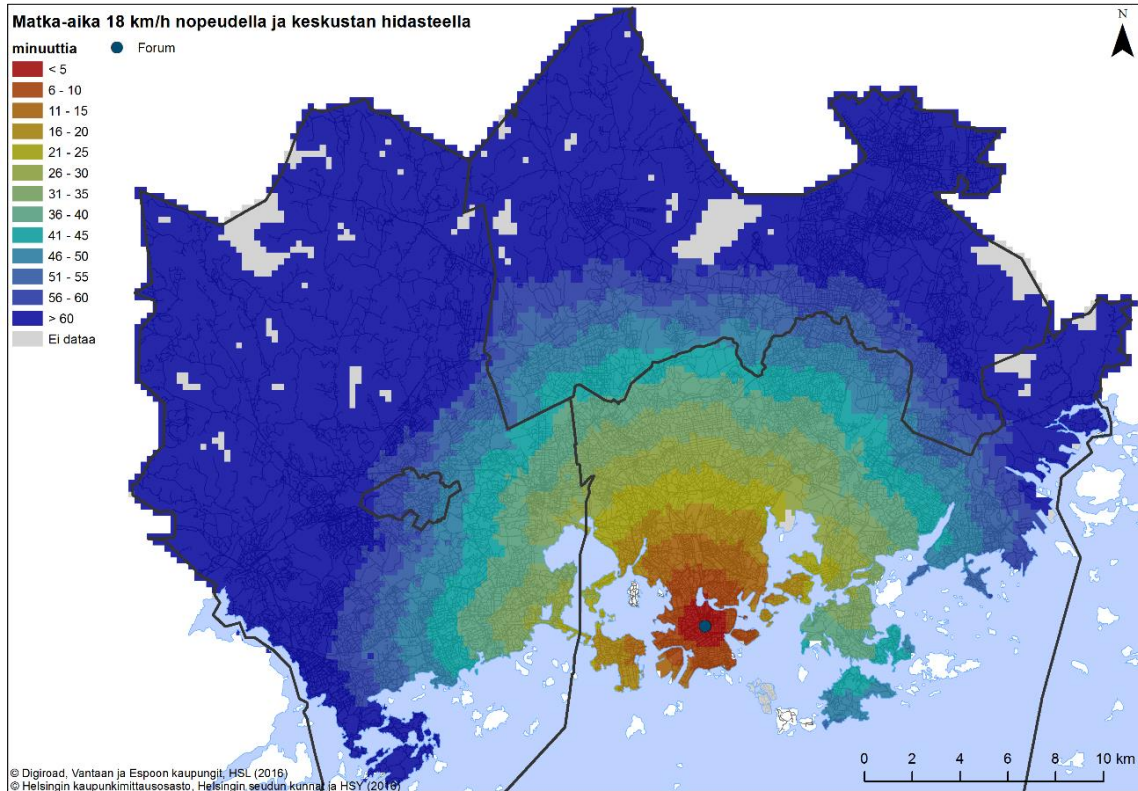
Kuva 25. GPS-aineiston ja vakionopeuden mallilla laskettujen validointireittien matka-aikojen välillä on selvä lineaarinen riippuvuus.

Taulukko 16. Keskustan hidasteen huomioivan mallin matka-ajat selittävät hieman paremmin GPS-aineiston matka-aikoja, joskin mallien välinen ero on todella pieni. *** Tulos on tilastollisesti merkitsevä 0,001 tasolla.

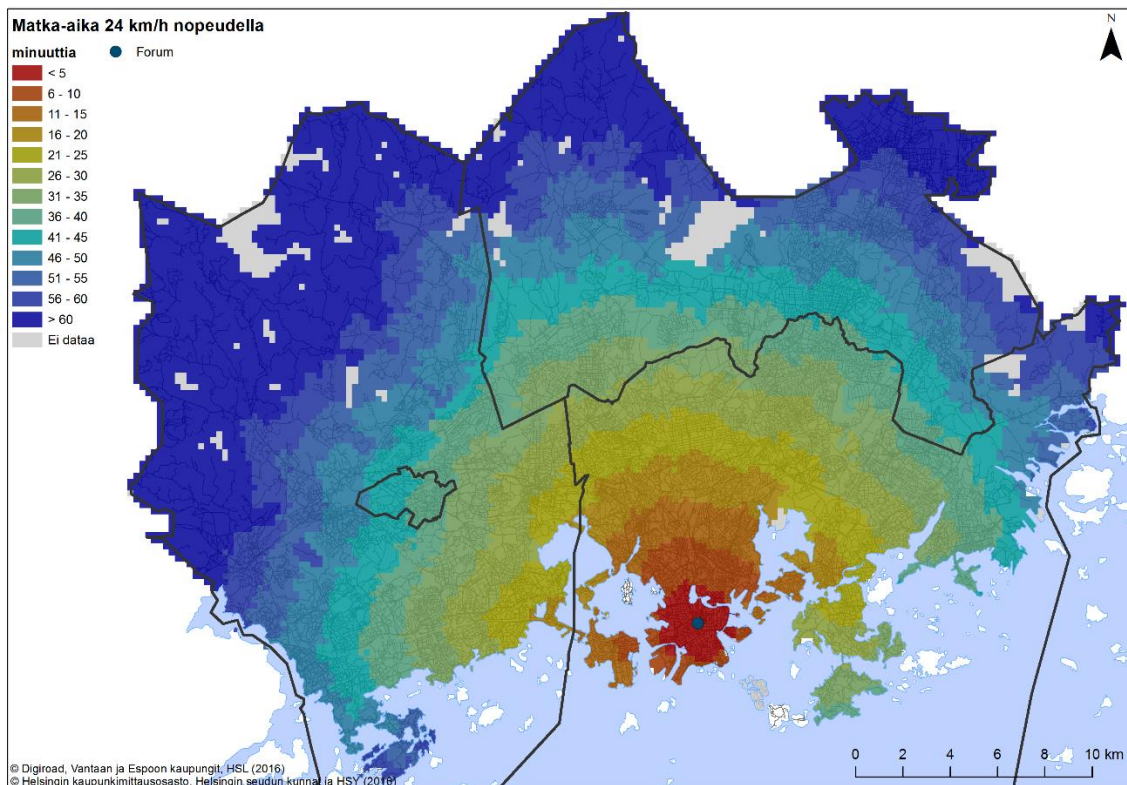
| Malli | Selitettävä | Selittävä muuttuja | Korrelaatiokerroin (Spearman) | R2 | p-arvo |
|-----------------------------------|--------------------------------|--|-------------------------------|-------|-------------|
| Vakionopeus | GPS-aineiston matka-ajat (min) | Vakionopeuden mallin matka-ajat (min) | 0,955 | 0,913 | <2,2E-16*** |
| Vakionopeus keskustan hidasteella | GPS-aineiston matka-ajat (min) | Hidasteen huomioivan vakionopeuden mallin matka-ajat (min) | 0,958 | 0,917 | <2,2E-16*** |

4.8 Kauppakeskusten saavutettavuus pyöräillen

18 km/h vakionopeudella ja keskustan hitaammat osuudet huomioiden kauppakeskus Forum on saavutettavissa pyöräillen puolessa tunnissa idässä Herttoniemeen, pohjoisessa Oulunkylään, Pirkkolaan ja Pitäjänmäkeen sekä lännessä Espoon puolella Otaniemeen ja Keilaniemeen rajautuvalla alueella (Kuva 26). 24 km/h vakionopeudella laskettujen matka-aikojen perusteella Forumin puolen tunnin pyöräilysaavutettavuus laajenee idässä Puotilaan ja Myllypuroon, pohjoisessa Malmille, Paloheinään ja Malminkartanoon sekä lännessä Leppävaaraan ja Haukilahteen rajautuvaan alueeseen (Kuva 27). Muilla mallinnusparametreilla lasketut puolen tunnin saavutettavuusalueet sijoittuvat edellä mainittujen välille (liite 2).



Kuva 26. Matka-aika pyöräillen kauppakeskus Forumiin 18 km/h nopeudella ja keskustan hidastetuilla osuuksilla.



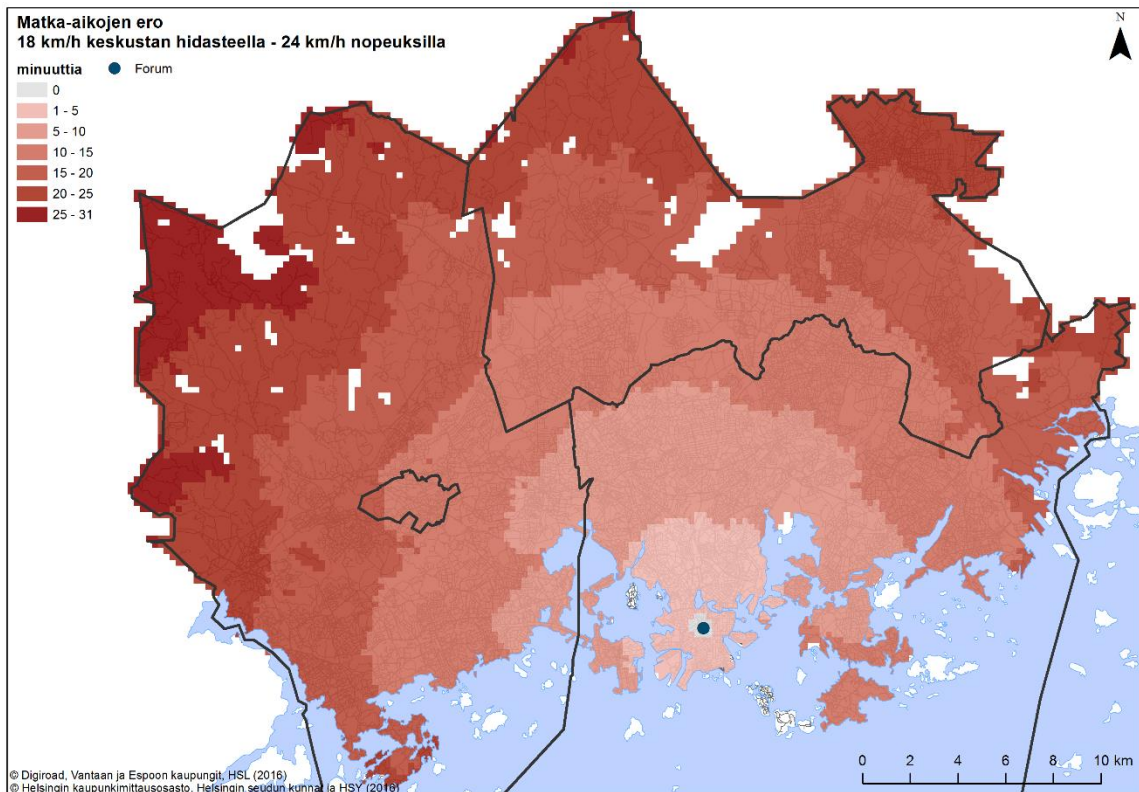
Kuva 27. Matka-aika pyöräillen kauppakeskus Forumiin 24 km/h vakionopeudella.

Erilaiset mallinnusparametrit tuovat selkeitä eroja kauppakeskus Forumiin saavutettavuuteen pyöräillen. Kun verrataan kaikkein hitaimmat matka-ajat tuottavaa menetelmää – 18 km/h nopeus ja keskustan hidastetut osuudet – ja kaikkein nopeimmat ajat tuottavaa vaihtoehtoa – 24 km/h vakionopeus koko verkostolla –, havaitaan että erot ovat lähellä kohdetta lähes olemattomia tai hyvin pieniä, mutta kasvavat jopa puoleen tuntiin tutkimusalueen luoteisreunalla (Kuva 28). Matka esimerkiksi Kumpulasta tai Lauttasaaresta Forumiin voi siis kestää hitaammalta ”peruspyöräilijältä” noin viisi minuuttia kauemmin kuin tasaista nopeutta kiitävältä ”aktiivi-pyöräilijältä”.

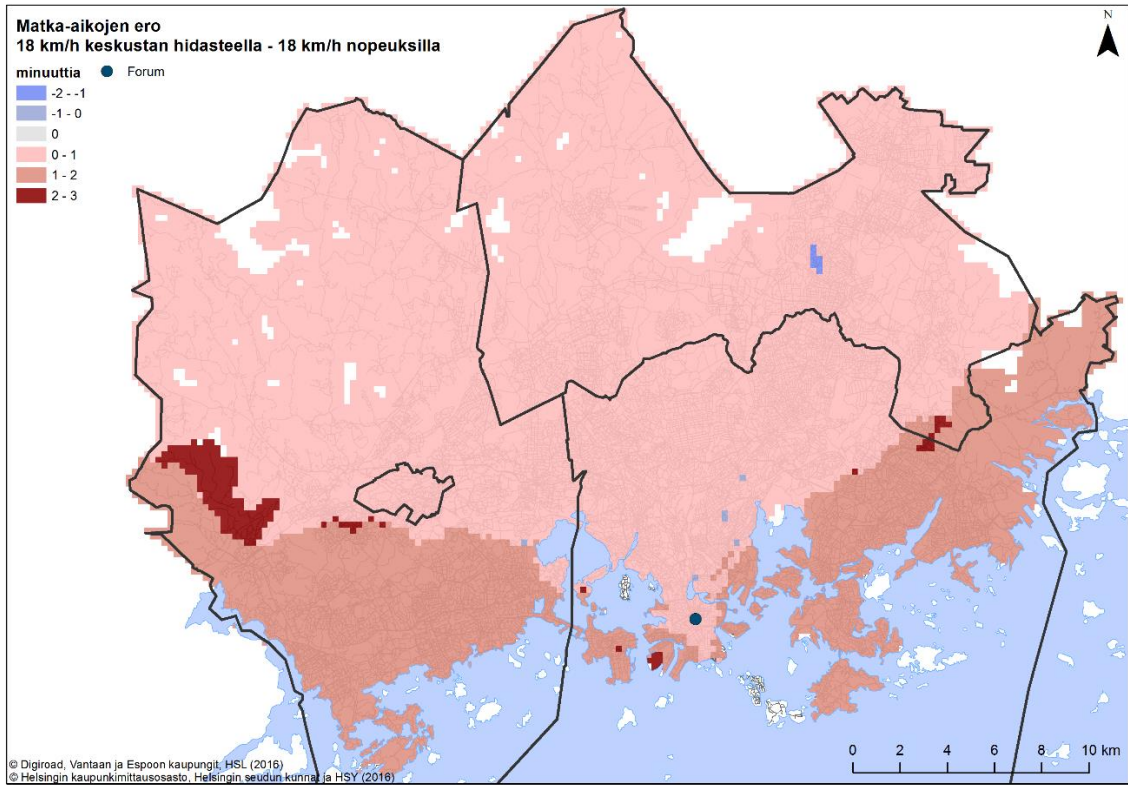
Vaikka vakionopeuden malli ja Helsinginniemen hitaammat osuudet huomioiva malli ovat validoinnin perusteella hyvin lähellä toisiaan (kappale 4.7), aiheuttavat myös eri mallinnusparametrit pieniä alueellisia eroja Forumiin saavutettavuuteen. Suurimmassa osassa tutkimusaluetta hitaammat osuudet huomioiva malli tuottaa alle kaksi minuuttia vakionopeuden mallia hitaammat matka-ajat (Kuva 29). Suurimmillaankin matka-ajat ovat vain 3 minuuttia hitaampia Melunmäessä ja Länsimäessä, Jätkäsaarella, Tuomarilassa ja Espoon keskuksessa sekä Kauklahden ja Espoonkartanon alueilla. Hidasteen huomioiva malli tuottaa myös alle minuutin vakio-

nopeuden mallia nopeampia matka-aikoja yksittäisiin ruutuihin Laajalahdessa, Kalliossa, Hermannissa, Kumpulassa ja Veräjämäessä sekä 1-2 minuuttia nopeampia matka-aikoja Simonkylästä.

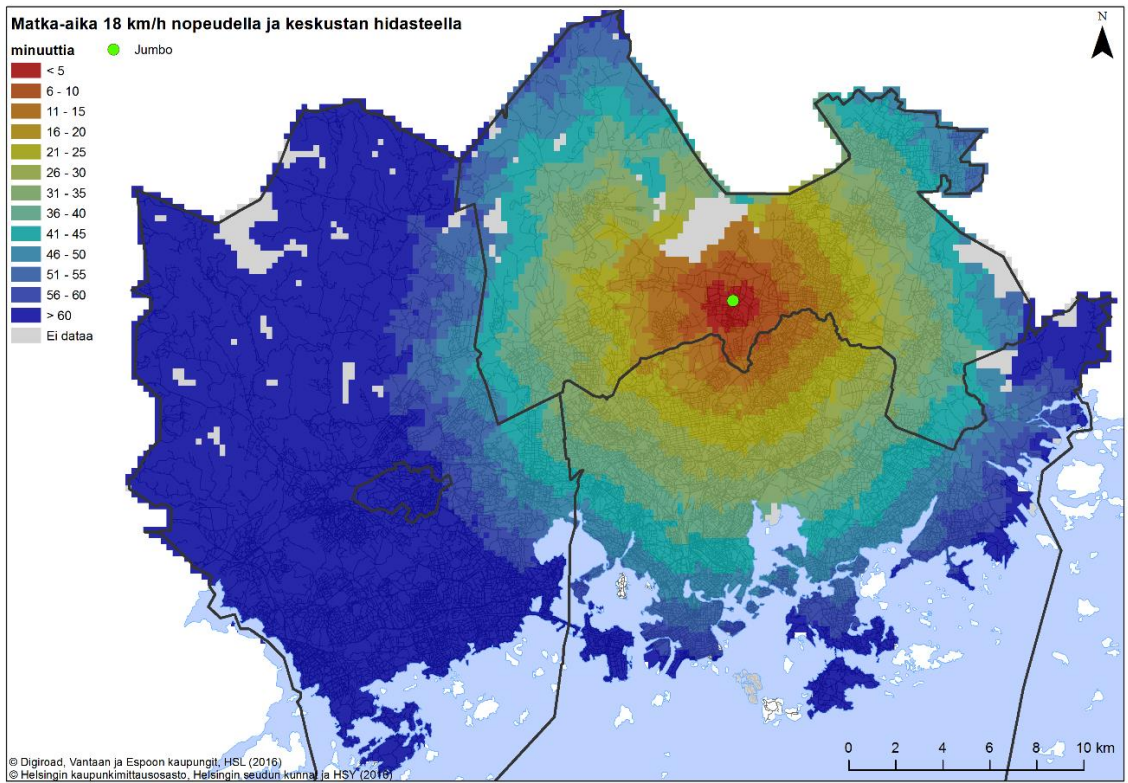
Kauppakeskus Jumbon puolen tunnin saavutettavuusalue 18 km/h vakionopeudella pyöräillen rajautuu idässä Koivukylään, Hakkilaan ja Heikinlaaksoon, etelässä Pihlajamäkeen, Oulunkylään ja Pirkkolaan sekä lännessä Myyrmäkeen, Martinlaaksoon ja Kivistöön (Kuva 30). Pohjoisessa puolen tunnin matka-ajan alueet jäävät osin tutkimusalueen ulkopuolelle. 24 km/h vakionopeudella pyöräillen Jumbon puolen tunnin saavutettavuusalue laajenee idässä Päiväkumpuun, Itä-Hakkilaan ja Kontulaan, etelässä Viikkiin, Kumpulaan ja Pohjois-Haagaan, lännessä Hämeenkylään ja Petikkoon ja pohjoisessa Seutulaan asti (Kuva 31).



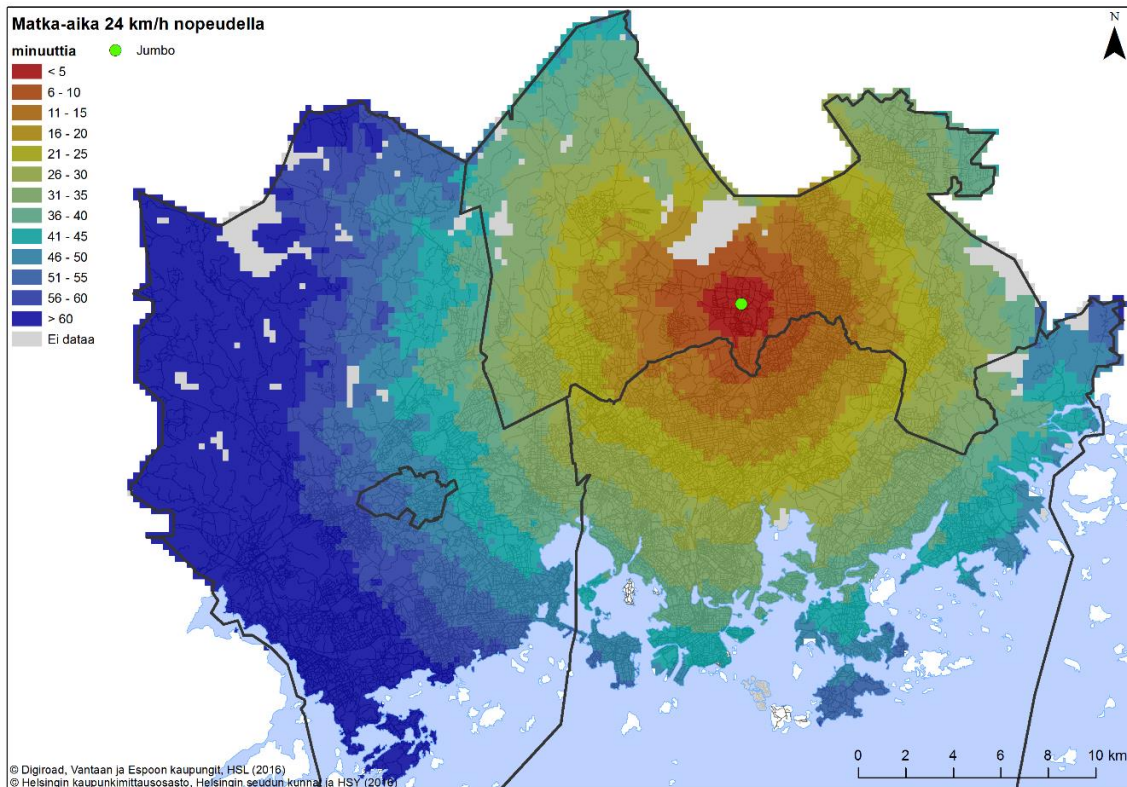
Kuva 28. Erotus 18 km/h nopeudella ja keskustan hidasteella laskettujen ja 24 km/h vakionopeudella laskettujen matka-aikojen välillä matkalla kauppakeskus Forumiin.



Kuva 29. Ero keskustan hidasteen huomioivien ja pelkällä 18 km/h vakionopeudella laskettujen matka-aikojen välillä matkalla kauppakeskus Forumiin.

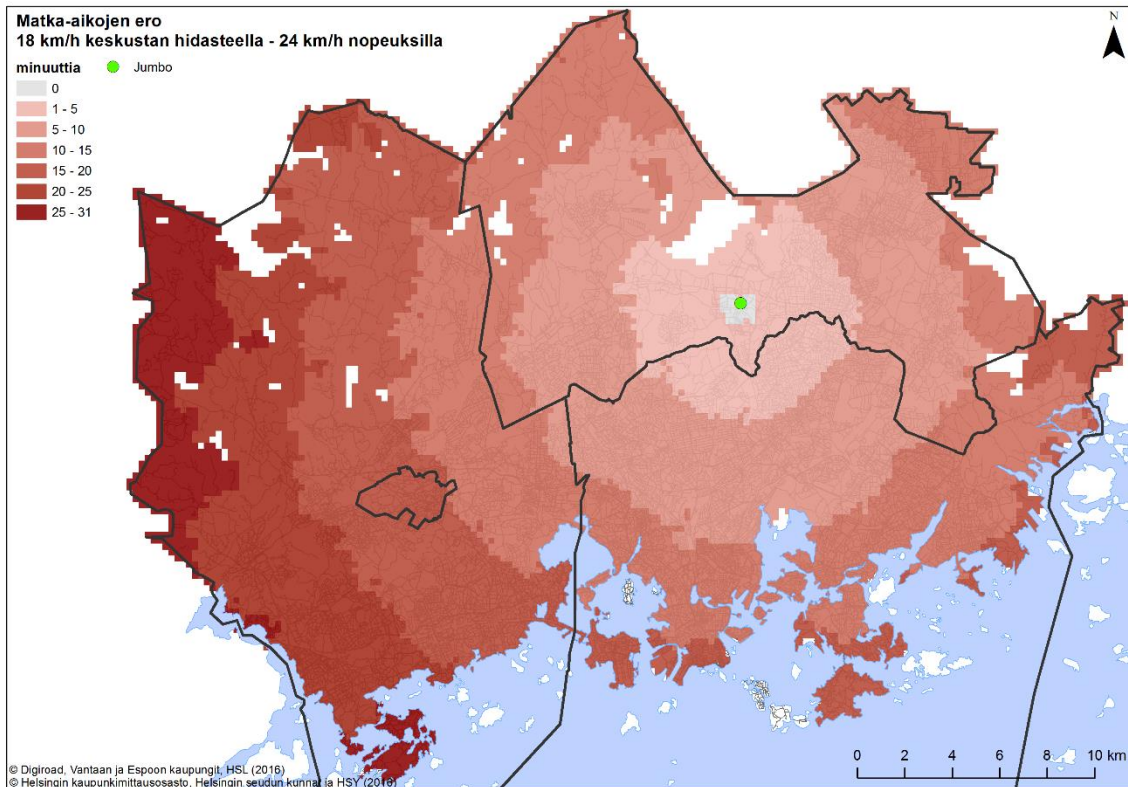


Kuva 30. Matka-aika pyöräillen kauppakeskus Jumboon 18 km/h nopeudella keskustan hidastetut osiot huomioiden.

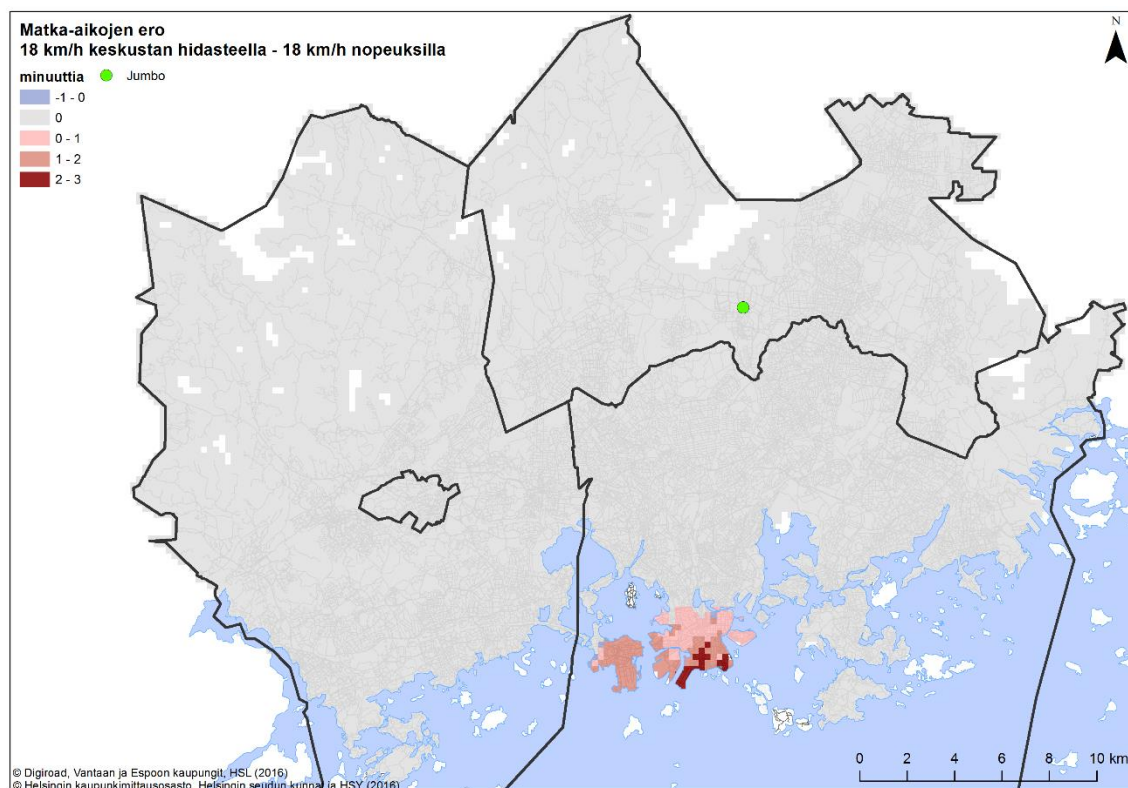


Kuva 31. Matka-aika pyöräillen kauppakeskus Jumboon 24 km/h vakionopeudella.

Myös Jumbon saavutettavuudessa on selviä eroja eri nopeuksilla laskettujen matka-aikojen välillä. Jumbon ympärillä oleva alue, jossa mallien matka-aikojen ero on alle minuutin, on hieman Forumin vastaavaa suurempi (Kuva 32). Matka-aikojen erot ovat melko laajalla alueella alle viisi minuuttia, mutta kasvavat lähes puoleen tuntiin tutkimusalueen laidilla. Vakionopeuden mallin ja Helsingin keskustan hidasteen huomioivan mallin väliset erot ovat Jumbon saavutettavuuden kannalta merkityksellisiä vain Helsingin niemellä ja Lauttasaarella (Kuva 33). Muualta pääkaupunkiseudulta nopeimmat pyöräilyreitit Jumboon eivät siis kulje Helsingin keskustan hitaampien alueiden kautta. Keskustan hitaammat osuudet aiheuttavat maksimissaan kolme minuuttia hitaampia matka-aikoja Jumboon Hernesaaresta, Eirasta, Punavuoresta ja Kaivopuistosta. Hidasteet huomioiva malli tuottaa myös minuutin nopeampia matka-aikoja Jumboon Kaisaniemestä ja Lauttasaaren länsiosista.



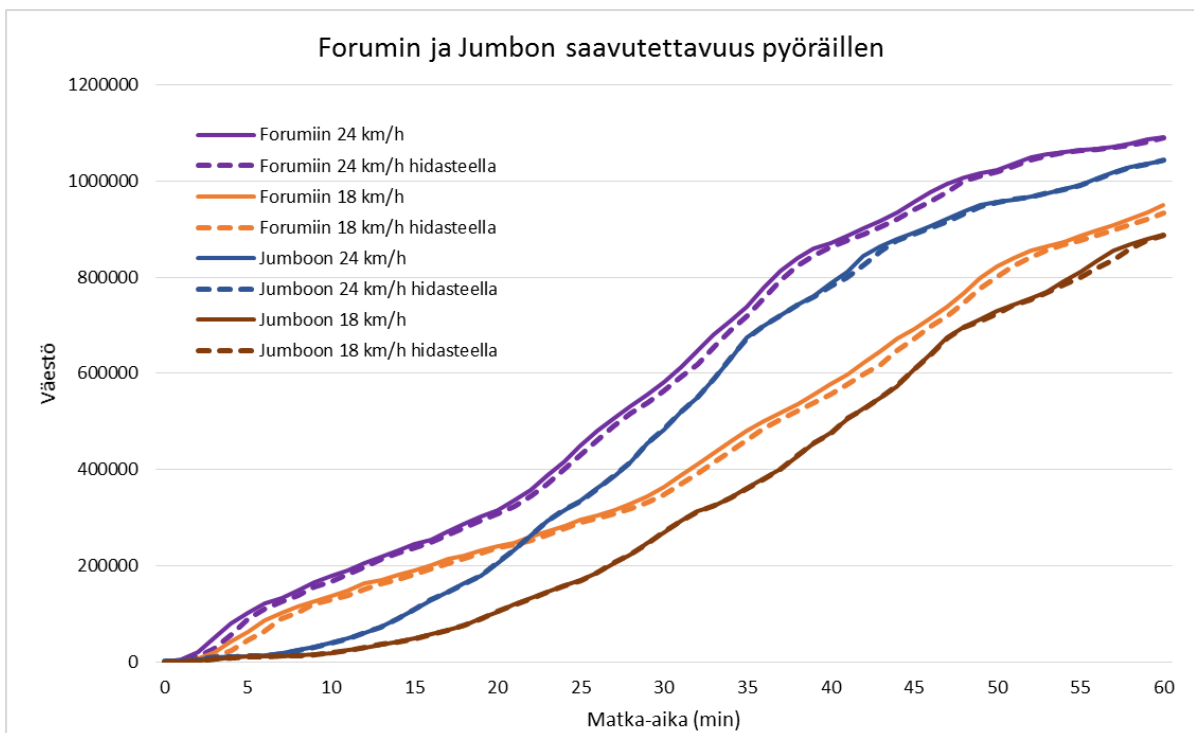
Kuva 32. 18 km/h nopeudella ja keskustan hidasteella laskettujen ja 24 km/h vakionopeudella laskettujen matka-aikojen erotus matkalla kauppakeskus Jumboon.



Kuva 33. Keskustan hidasteen huomioivien ja pelkällä 18 km/h vakionopeudella laskettujen matka-aikojen erotus matkalla kauppakeskus Jumboon.

Myös saavutettavuustarkastelu suhteessa pääkaupunkiseudun väestöön osoittaa sekä eri nopeuksilla laskettujen matka-aikojen että kauppakeskusten pyöräilysaavutettavuuden selvät erot (Kuva 34). 24 km/h vakionopeudella pyöräillen kauppakeskus Forumin saavuttaa puolessa tunnissa noin 580 000 asukasta, kun taas Jumboon saavuttaa samassa ajassa ja samalla vakionopeudella noin 480 000 asukasta. Jos Helsingin keskustan hidastava vaikutus huomioidaan, Forumin saavuttaisi 24 km/h nopeudella puolessa tunnissa noin 560 000 asukasta, kun taas Jumboon puolen tunnin saavutettavuuteen hidasteella ei ole vaikutusta. Helsingin keskustan hitaamman pyöräilynopeuden vaikutus näkyy Jumboon osalta suuremmalla keskinopeudella 40 minuutin matka-ajan tienoilla ja 18 km/h keskinopeuden mallin osalta vasta 50 minuutin matka-ajan kohdilla.

Pyöräilyn matka-aikamallissa käytetyn vakionopeuden vaikutus on suuri molempien kauppakeskusten saavutettavuudelle, ja erot kasvavat matka-ajan kasvaessa. Forumin saavuttaa puolessa tunnissa 18 km/h pyöräilynopeudella noin 360 000 asukasta, tai keskustan hidasteen huomioiden noin 350 000 asukasta, mikä on yli 200 000 asukasta vähemmän kuin 24 km/h keskinopeuden mallilla. Hitaammalla keskinopeudella pyöräillen Jumboon saavuttaa puolessa tunnissa noin 270 000 asukasta, eikä keskustan hitaammalla nopeudella ole puolen tunnin matka-ajan sisällä vaikutusta.



Kuva 34. Forumin ja Jumboon saavutettavuus pyöräillen matka-aikamallin eri parametreilla laskettuna.

5. KESKUSTELU

5.1 Pyöräilynopeuksissa on henkilökohtaisia ja alueellisia eroja

Tässä tutkielmassa käytetyn pyöräilyaineiston perusteella keskimääräiset pyöräilynopeudet vaihtelevat henkilökohtaisten tekijöiden, kuten pyöräilyaktiivisuuden, sukupuolen ja iän mukaan. Lähes jokaisena viikonpäivänä pyöräilevien keskinopeudet ovat nopeampia kuin 3-5 päivänä viikossa pyöräilevien nopeudet, ja selvästi nopeampia kuin pari kertaa viikossa pyöräilevien keskinopeudet. Vaikka edellä mainittujen tekijöiden vaikutusten voimakkuutta pyöräilynopeuksiin ei suoraan tässä työssä testattu, vahvistavat tulokset aiempia havaintoja siitä, että kokeneet pyöräilijät pyöräilevät keskimäärin kokemattomia pyöräilijöitä nopeammin (El-Geneidy ym. 2007). Tässä työssä nopeuden perusteella eroteltujen pyöräilijätyyppien voidaan myös ajatella vastaavan melko hyvin Birlingin (2014) jaottelua suomalaisista työmatkapyöräilijöistä. Tämän työn 24 km/h nopeudella polkeva ”aktiivipyöräilijä” vastaisi Birlingin tavoitteellista kuntopyöräilijää, 22 km/h nopeudella matkaava ”rivakka arkipyöräilijä” kokenutta työmatkapyöräilijää, ja 18 km/h keskinopeuden ”peruspyöräilijä” satunnaista työmatkapyöräilijää. Birlingin (2014) mukaan 25 km/h keskinopeus on tavoitteelliselle kuntopyöräilijälle helppo saavuttaa, mutta muiden pyöräilijätyyppien oletettuihin keskinopeuksiin ei oteta kantaa.

Pyöräilynopeuksissa on myös alueellisia eroja. Useilla Helsingin keskustan osuuksilla nopeudet ovat muuta tutkimusaluetta hitaampia. Vastaavia tuloksia on saatu esimerkiksi Tukholmassa, jossa pyöräilijöiden nopeudet kaupungin keskustassa olivat noin 20 % koko aineiston keskinopeutta hitaampia (Gustafsson & Archer 2013). Nopeuden alueelliset erot kytkeytyvät todennäköisesti vahvasti pyöräilyinfrastruktuuriin ja liikennemääriin. Vilkkaasti liikennöidyllä keskusta-alueella pyöräilijä on alttiimpi pysähdyksille ja konflikteille muun liikenteen kanssa, mikä hidastaa matkan tekoa (Malmberg ym. 2014). Tämän työn alueellisesta tarkastelusta on nähtävissä, että Helsinginniellä on myös suurempien keskinopeuksien osuuksia muun muassa Baanalla, Kaivopuiston rannassa ja Töölönlahdella, jossa on erilliset pyöräily-väylät. Tämä tukee aiempia havaintoja siitä, että erillisillä pyöräilyväylillä pyöräily on nopeampaa ja sujuvampaa (El-Geneidy ym. 2007), vaikka tilastollista tarkastelua pyöräilyväylän vaikutuksesta nopeuteen ei tässä työssä pystyttykään toteuttamaan GPS-aineiston laadun ja tieverkon epäyhentäisten ominaisuustietojen vuoksi.

Alueellisia rajoitteita ei tietävästi ole juurikaan sovellettu suoraan matka-aikojen laskentaan, vaikka alueellisiin ominaisuuksiin perustuvaa pyöräiltävyyden ja pyöräilypotentiaalin arviointia on tehty melko runsaasti (Winters ym. 2013; Metsäpuro ym. 2014). Tulokset olisivatkin

ehkä paremmin vertailtavissa ja yleistettävissä, jos päästäisiin tarkemmin kiinni siihen mitkä ovat keskustan hitaammat nopeudet aiheuttavia tekijöitä.

5.2 Korkeusvaihtelut, liikennevalot ja risteykset vaikuttavat pyöräilynopeuksiin yksilötasolla mutteivat seudullisessa mittakaavassa

Ylämäet hidastavat ja alamäet nopeuttavat pyöräilijää hetkellisesti yksittäisen reitin tasolla tarkasteltuna. Reittikohtaisesti tarkasteltuna ylämäkien hidastava vaikutus on hieman Parkinin ja Rotheramin (2010) havaitsemaa vaikutusta suurempi, mutta segmenttikohtaisesti tarkasteltuna heikompi. Tuloksia ei voi kuitenkaan suoraan vertailla keskenään erilaisten analyysimenetelmien vuoksi, sillä Parkin & Rotheram tarkastelivat ylä- ja alamäkigradienttien vaikutusta erikseen suhteessa pyöräilyn lähtönopeuksiin ja -kiihtyvyyksiin. Muutoin tulosta on vaikea verrata, sillä korkeusvaihteluiden vaikutusta pyöräilynopeuksiin on tutkittu varsin vähän tutkimuksen keskittyessä pääasiassa reittivalintoihin (mm. Menghini ym. 2010; Broach ym. 2012).

Vaikka korkeusvaihteluilla on vaikutusta yksilö- ja reittitasolla, seudullisella tasolla tarkasteltuna ne eivät juurikaan selitä nopeuden muutoksia. Tämä johtuu todennäköisesti siitä, että pääkaupunkiseudulla korkeuserot ovat melko pieniä, ja ylä- ja alamäkiä esiintyy pyöräilyillä reiteillä tasaisesti kumoten toistensa hidastavat ja nopeuttavat vaikutukset. Lisäksi tuloksiin ovat voineet vaikuttaa käytetyn korkeusmallin epätarkkuudet ja tarkastelun valinnat. Esimerkiksi useiden siltojen kohdilla muodostuneet gradienttien ääriarvot saattavat aiheuttaa tuloksiin virheitä, ja noiden ääriarvojen poistaminen analyysistä olisi saattanut vaikuttaa regressioanalyysin tuloksiin. Toisaalta tarkan raja-arvon määrittäminen suurien gradienttiarvojen poistamiseen olisi ollut haasteellista, koska hajontakuvioissa ei ollut nähtävissä selkeitä yksittäisiä poikkeavia havaintoja. Valitsemalla tarkasteluun vain segmenttien ylämäkigradientit tai luokitellut arvot jatkuvien sijasta, tai vaihtamalla tarkastelusegmentin pituutta tulokset olisivat myös saattaneet olla erilaisia. Voidaan myös pohtia, että jos korkeusgradientin vaikutus nopeuksiin olisi lisätty kehitettyyn malliin, olisiko sillä ollut matka-aikojen kannalta juurikaan merkitystä. Todennäköisesti vaikutus olisi jälleen ollut nähtävissä yksittäisillä reiteillä, mutta seudullisessa tarkastelussa eroja ei välttämättä edellä mainittujen syiden vuoksi syntyisi. Mäkien suuntaisuuden huomiointi seudullisen tason mallissa olisi myös ollut haastavaa.

Segmenttikohtaisesti tarkasteltuna risteysten vaikutus pyöräilynopeuksiin on korkeusvaihteluita suurempi, ja kaikkein suurin vaikutus on liikennevaloristeyksillä. Tämä vahvistaa näkemystä siitä, että pyöräilijät pyrkivät välttämään liikennevaloristeyksiä, koska ne aiheuttavat pysähdyksiä ja hidastavat matkan tekoa (Stinson & Bhat 2003; Menghini ym. 2010; Krenn ym.

2014). Ennako-oletusten vastaisesti liikennevalottomien risteysten vaikutus on pienempi kuin kevyen liikenteen risteysten. Tämä viittaisi siihen, että pyöräilijät joutuvat paikoin hidastamaan useammin muita pyöräilijöitä ja jalankulkijoita risteyksissä kohdatessaan, kuin liikennevalottomia autoteitä ylittäessään. Konfliktit jalankulun kanssa onkin tunnistettu esimerkiksi Helsingissä pyöräilyn sujuvuuden ongelmaksi erityisesti keskusta-alueella (Malmberg ym. 2014). Reittikohtaisessa tarkastelussa liikennevalottomilla ja kevyen liikenteen risteyksillä ei juurikaan ole eroa, mutta liikennevaloristeukset korostuvat jälleen voimakkaampana tekijänä. Risteysten ja erityisesti liikennevalojen vaikutus nopeuteen on siis korkeusvaihteluja voimakkaampi seudullisella tasolla (lyhyillä osuuksilla tarkasteltuna), kun taas jyrkkien ylämäkien vaikutus on niitä suurempi koko reitin keskinopeutta ajatellen.

Vaikka korkeusgradientti ja eri risteystyypit olivat tilastollisesti merkitseviä pyöräilynopeuksiin ja niiden muutoksiin vaikuttavia tekijöitä, regressiomallien heikot selityksasteet kertovat siitä, että malleista puuttuu olennaisia selittäviä tekijöitä. Lisäksi mallin vaihtaminen ei-lineaariseen tai malliin, jolla ei ole normaalisuusoletuksia, esimerkiksi gamma-jakautuneeseen yleistettyyn lineaariseen malliin (GLM) (Holopainen & Pulkkinen 2002; Davidian 2005), saattaisi parantaa tuloksia, koska lineaarinen riippuvuus tarkasteltavien muuttujien välillä oli melko heikko eivätkä muuttujat vastanneet kaikkia lineaarisen regression normaalisuusoletuksia. Malleista puuttuvia selittäviä ympäristötekijöitä voivat mahdollisesti olla kirjallisuuskatsauksessa tunnistetut pyöräilyinfrastruktuuri ja liikennemäärät. Erilaisten väylätyyppien vaikutusta ei kuitenkaan pystytty luotettavasti tarkastelemaan aineiston ja menetelmien rajoitteiden vuoksi (kappale 5.3). Moottoriliikennemäärätietoja taas ei sisällytetty tarkasteluun, koska matka-aikamallin muodostus haluttiin pitää mahdollisimman yksinkertaisena ja liikennemäärien vaikutuksen on todettu olevan kytköksissä lähinnä reittivalintojen kautta eri väylätyyppien ja liikennevaloristeysten suosioon (Heinen ym. 2010; Broach ym. 2012). Pyöräiliikenteen ja jalankulun määrien vaikutusta pyöräilynopeuksiin olisi ollut kiinnostavaa tarkastella vilkkaimmilla osuuksilla, mutta esimerkiksi pyöräilystä on olemassa vain pistemäistä tietoa pyörälaskentojen muodossa (KSV 2016c), joten mahdollisia vaikutuksia olisi ollut vaikeaa sijoittaa koko verkostolle. Toisaalta tässä työssä havaittua ja mallinnettua keskustan hitautta voitaneen pitää eräänlaisena indikaattorina muun muassa suurempien liikennemäärien aiheuttamista hidasteista.

5.3 Pyöräilyn realistinen mallinnus on haasteellista

Työn analyysiprosessi osoitti, että pyöräilyn realistisen mallinnuksen keskeisiä haasteita ovat tieverkko- ja pyöräilyaineiston laatu ja edustavuus. Tässä työssä käytetty HSL:n pyöräilyn ja kävelyn reittioppaan verkostoyhdistelmä oli geometrialtaan laadukas ja siitä oli valmiiksi poistettu suuri osa pyöräilyyn soveltumattomista väylistä, mutta ominaisuustietojen yhtenäistäminen eri alkuperäislähteistä oli haastavaa, ja johti hyvin yksinkertaistettuun luokitteluun autoliikenteen ja kevyen liikenteen väylistä, sekä pyöräilyltä kielletyistä ja pyöräilyyn suunnatuista väylistä. Keskeinen haaste oli myös ajallinen epäjatkuvuus, sillä verkostossa tapahtuu ajan myötä muutoksia. Verkostoyhdistelmän geometria vastasi tilannetta keväällä 2016, mutta alkuperäisaineistojen ominaisuustiedot olivat vuodelta 2015, jolloin niissä oli osin jo vanhentunutta tietoa. Uusin pyöräilyaineisto taas oli syksyiltä 2016, jolloin joitakin uusia pyöräilyreittejä ei ollut valmiissa verkostossa, vaan ne lisättiin siihen manuaalisesti. Kaikkia syksyyn 2016 mennessä tapahtuneita muutoksia oli kuitenkin mahdoton jäljittää, joten verkosto ei vastaa täysin johdonmukaisesti mitään ajan hetkeä. Hyvän ja ajantasaisen vaihtoehdon pyöräilyn reititykselle voisi tarjota OpenStreetMap, jonka on todettu sopivan hyvin tarkoitukseen (Bergman & Oksanen 2016) ja jota myös HSL:n Reittiopas nykyisin käyttää (HSL 2017b). OpenStreetMap-aineisto on avoimesti saatavilla ja tieluokitukseltaan yhtenevä kaikkialla, jolloin esimerkiksi eri väylätyyppien mahdolliset vaikutukset pyöräilyyn olisivat helpommin yleistettävissä eri alueille.

Mallinnuksessa käytettävän pyöräilyaineiston laatu ja edustavuus vaikuttavat käytettäviin menetelmiin ja tuloksiin. Urheilusovellusaineistojen heikkoudeksi on tunnistettu se, etteivät ne edusta hyvin koko pyöräilevää väestöä, ja tämänkin työn pyöräilyaineisto sisältää monia vinoumia. Aineisto on valtaosin aktiivisten pyöräilyharrastajien tuottamaa, jolloin ainakin osa reiteistä on ajettu urheilumielessä suuria nopeuksia tavoitellen. Miehet ovat aineiston tuottajissa yliedustettuina, mikä on yleinen urheilusovellusaineistojen vinouma (Oksanen ym. 2015). Toisaalta suuri osa aineistosta edustaa nuoria 20-25 vuotiaita, kun taas urheilusovellusten käyttäjien suurin ikäryhmä on yleensä 35-45 vuotiaat miehet (Griffin & Jiao 2015; Jesticco ym. 2016). Tämän työn aineiston vinoumat johtuvat osin siitä, että datakampanjaa aineiston keräämiseksi mainostettiin lähinnä yliopisto-opiskelijoille, joista suurin osa kuuluu 20-25-vuotiaiden ikäryhmään, sekä Helsingin polkupyöräilijät ry:n Facebook-sivun kautta laajemmalle pyöräilystä kiinnostuneelle yleisölle. Vaikka hankittu aineisto on pyöräilijämäärältään pienehkö, 44 henkilöä, oli tallennusten määrä suuri, yli 6000. Aineiston volyymin ero oli siis huomattava mene-

telmien testaukseen käytettyyn Helsingin yliopiston kurssilla erillisiä GPS-laitteita käyttäen kerättyyn aineistoon verrattuna. Toisaalta urheilusovellusaineiston määrä kuvaa myös yhtä sen vinoumaa, datamäärien epäsuhtaa pyöräilijöitä kohden. Tallennusten määrän mediaani per pyöräilijä oli 9, mutta parilta pyöräilijältä reittejä oli tuhansia, ja muutamilta vain yksi. Tämä osallistumisen epätasa-arvo, jossa suurimman osan aineistosta tuottavat yksittäiset käyttäjät, on tunnistettu vapaaehtoisesti tuotetun tiedon ja joukkoistamisen ongelmaksi (Oksanen ym. 2015). Tätä vinoumaa pyrittiin kuitenkin tasaamaan valitsemalla analyysiin kultakin pyöräilijältä maksimissaan 100 reittiä, jottei mallinnus kuvaisi liikaa yksittäisten henkilöiden pyöräilyä. Voidaan myös pohtia, olisiko lenkkimäisistä reiteistä ositetujen reittien jättäminen pois analyysistä kuvannut paremmin ympäristötekijöiden vaikutusta nimenomaan arkiliikkujien paikasta toiseen tapahtuvaan pyöräilyyn. Tätä ei kuitenkaan tehty, koska kyseisten reittien määrä oli pieni verrattuna koko aineistoon, ja tuolloin joidenkin pyöräilijöiden aineistomäärä olisi vähentynyt huomattavasti suhteessa toisiin.

Pyöräilyaineiston edustavuuden lisäksi GPS-aineiston laatu tuotti analysointiin haasteita. Aineistossa oli paikoin suuria pisteiden välisiä aukkoja ja hyppyjä, pitkiä pysähdyksiä ja päälle unohtuneita tai virheellisesti yhdistyneitä tallennuksia. Lisäksi GPS-paikannuksen tarkkuus heitteli välillä voimakkaasti, jolloin aineistosta ei pystynyt luotettavasti päättelemään mitä väylää pyöräilijä oli todellisuudessa kulkenut esimerkiksi rinnakkaisen autotien ja kevyen liikenteen väylän tapauksessa. Esiprosessoinnista huolimatta huonolaatuisia pisteitä tai osuuksia jäi mukaan tieverkolle liitettäväksi, ja niitä jouduttiin poistamaan manuaalisesti prosessin edetessä.

Työssä kehitettiin uusi paikkatietopohjainen menetelmä pyöräilyn GPS-aineiston liittämiseksi tieverkolle Dalumpines'n & Scottin (2011) autoliikenteen GPS-pisteiden reitittämiseen kehittämää menetelmää soveltaen. Automatisoitu menetelmä toimi hyvin hyvälaatuisen GPS-datan kanssa tuottaen riittävällä tarkkuudella sitä vastaavia reittejä. Jos GPS-data oli heikkolaatuisempaa tai tieverkossa oli reitin kohdalla topologiavirheitä, reititys vaati käsin muokkausta, jotta se vastaisi mahdollisimman hyvin alkuperäistä aineistoa. Tiukemmilla rajoitteilla datan esiprosessoinnissa suurempi osa heikkolaatuisesta datasta ja ääriarvoista olisi saatu suodatettua pois, mikä olisi helpottanut analyysin myöhempiä vaiheita ja todennäköisesti parantanut reititysmenetelmän onnistumisprosenttia.

5.4 Vakionopeus on pätevä oletus pyöräilyn matka-aikojen realistiseen mallintamiseen pääkaupunkiseudun tasolla

Työn tulokset osoittavat, että vakionopeuden mallilla lasketut pyöräreittien matka-ajat vastaavat hyvin GPS-aineiston todellisia matka-aikoja. Näin ollen pyöräilyn mallinnusta vakionopeudella voidaan pitää pääkaupunkiseudulla seudullisen mittakaavan tarkasteluissa realistisena oletuksena. Lisäämällä malliin Helsinginniemen osuukien hitaammat nopeudet, matka-ajat vastaavat marginaalisesti paremmin GPS-aineiston matka-aikoja. Ero on kuitenkin hyvin pieni, ja vaikutus on huomattavissa vain keskustan kautta kulkevilla reiteillä, kuten kauppakeskus Forumin ja Jumbon saavutettavuustarkastelu osoittaa. Huomattavasti suurempi vaikutus on sillä, mitä vakionopeutta matka-aikojen laskennassa käytetään.

Pyöräilyaineiston keskinopeus 22,7 km/h on aiempiin pääkaupunkiseudun havaintoihin verrattuna suuri. Helsingissä pyöräilyn sujuvuutta tutkineessa analyysissä lähinnä kantakaupungin halki kulkeneilla reiteillä keskinopeus oli GPS-aineiston perusteella 15,4 km/h ja mediaaninopeus 18,1 km/h (Malmberg ym. 2014). Kyseisessä tutkimuksessa otos oli kuitenkin varsin pieni, 70 matkaa kahden pyöräilijän pyöräilemänä. Sen sijaan esimerkiksi Tukholmassa ja Isossa-Britanniassa tehdyissä tutkimuksissa keskinopeudet olivat lähemmäs samaa luokkaa tämän työn tulosten kanssa, noin 20,4 km/h ja 21,5 km/h (Parkin & Rotheram 2010; Gustafsson & Archer 2013). Ottaen kuitenkin huomioon tämän työn analyysi- ja validointiaineiston vinoumat ja suuret keskinopeudet, voitaneen keskustan hidasteet huomioivaa 18 km/h nopeudella lasketta mallia pitää tässä tarkastelussa toteutetuista vaihtoehdoista parhaiten tavallista peruspyöräilijää kuvaavana, vaikka ero mallien välillä onkin pieni. Vaihtoehtoisia matka-aikoja kuvaamaan erilaisia pyöräilijöitä voidaan myös helposti laskea muuttamalla matka-aikamallissa käytettävää vakionopeutta. Lisäksi säätämällä reitityksen rajoitusten voimakkuutta, esimerkiksi oletusta pyöräväylien hienoisesta suosimisesta, voidaan mahdollisesti saada pieniä eroja nopeimpiin reitteihin. Vaikka tämän työn tulokset eivät edusta koko pyöräilevää väestöä, ne osoittavat sen, että henkilökohtaiset tekijät ja sen myötä erilaiset matkanopeudet on syytä ottaa huomioon pyöräilyn mallinnuksessa ja suunnittelussa.

5.5 Jatkoehdotukset

Vinoumistaan huolimatta urheilusovellusdatan voidaan tämänkin tutkielman perusteella todeta sopivan hyvin pyöräilyn mallintamiseen. Sillä on etunsa erilliseen GPS-laitteilla tapahtuvaan datankeruuseen verrattuna, koska sitä tuotetaan runsaasti, ja sen hankkiminen ja jakaminen on vaivattomampaa kuin tutkimushenkilöiden rekrytointi ja erillisten laitteiden jako (Bergman &

Oksanen 2016; Korpilo ym. 2017). Jos urheilusovellusaineistoa käytetään laajemmin, olisi sen laatua ja edustavuutta hyvä pystyä vertaamaan virallisempiin lähteisiin, kuten pyörälaskentoihin ja kyselytutkimuksiin. Helsingin uusi kaupunkipyöräjärjestelmä tarjoaa myös kiinnostavan uuden aineistolähteen pyöräilyn tutkimukseen pääkaupunkiseudulla. Urheilusovellusdatasta poiketen sen voidaan olettaa kuvaavan erityisesti arjen kaupunkimatkoja ja se tarjoaa kiinnostavan ajallisen näkökulman kaupungissa pyöräilyyn. Sekä urheilusovellus- että kaupunkipyörädatan kanssa huomiota tulee kuitenkin kiinnittää siihen keitä datan tuottajat ovat, ja miten kattavasti he edustavat koko pyöräilevää väestöä.

Työssä kehitettyä menetelmää pyöräilyn GPS-aineiston liittämiseen tieverkostoon voidaan pitää käyttökelpoisena, mutta aineiston tulee olla hyvin esiprosessoitua parhaiden tulosten saavuttamiseksi. Lisäksi reititysbufferin säteen ja Network Datasetille asetettujen rajoitteiden optimointi sekä mallin laskenta-aikojen lyhentäminen vaatisivat lisää testausta. Tärkeä jatkotutkimuksen aihe olisi myös pyöräilyinfrastruktuurin vaikutus pyöräilynopeuksiin, mikä olisi tarkasteltavissa vastaavilla menetelmillä, mutta vaatisi korkealaatuiset GPS- ja tieverkkoaineistot sekä tarkempia rajoituksia pisteiden tieverkolle liittämässä.

Muodostetun matka-aikamallin tuloksena syntyy pisteiden välinen nopein reitti, mutta on muistettava, että lyhin tai nopein reitti ei aina ole pyöräilijälle optimaalisin (Menghini ym. 2010; Krenn ym. 2014). Vaikka korkeuserot, risteykset ja liikennevalot eivät vaikuta pyöräilynopeuksiin seudullisella tasolla, olisi syytä tarkastella niiden ja muiden ympäristötekijöiden vaikutuksia pyöräilijöiden reittivalintoihin pääkaupunkiseudulla. Bergman ja Oksanen (2016) ovat kehittäneet menetelmiä optimaalisten pyöräilyreittiehdotusten tuottamiseen Helsingissä SportsTracker-aineiston perusteella, mutta reittien optimaalisuus perustuu niiden suosioon sovelluksen käyttäjien joukossa, eikä tähän suosioon vaikuttavia ympäristötekijöitä ole suoranaisesti tarkasteltu. Tämän työn yksittäisten reittien tarkastelut osoittavat korkeusvaihteluiden ja erilaisten risteysten vaikutuksen yksilön pyöräilynopeuksiin, ja jos vaikutus on pyöräilijälle riittävän epämieluisa, hän saattaa valita toisen, mahdollisesti etäisyydeltään pidemmän ja kokonaismatka-ajaltaan hitaamman, mutta miellyttävämmän reitin. Tällöin reitin valinnalla on matka-aikaan suurempi vaikutus kuin pelkillä nopeuden vaihteluilla. Toisaalta esimerkiksi työmatkapyöräilijöiden on todettu pitävän tärkeimpänä reitin valinnan kriteerinä matka-aikaa (Stinson & Bhat 2003), jolloin tämän työn lyhimpien matka-aikojen voidaan ajatella kuvaavan hyvin esimerkiksi työmatkapyöräilijöiden tilannetta.

Kehitettyä matka-aikamallia voidaan käyttää muihin kulkutapoihin nähden vertailukelpoiseen pyöräilyn matka-aikojen laskentaan ja eri kulkutapoja voidaan vertailla yhdistämällä tiedot pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisiin (Toivonen ym. 2015). Myös saavutettavuuden tulevaisuusskenaarioita pääkaupunkiseudulla on tutkittu autoilun, joukkoliikenteen ja kävelyn osalta (Repo 2017), ja tämän työn mallinnusmenetelmien ja esimerkiksi Helsingin kaupungin julkaiseman pyöräilyn tavoiteverkon 2025 avulla olisi kiinnostavaa tutkia myös tulevaisuuden pyöräilysaavutettavuuden skenaarioita.

KIITOKSET

Ensimmäisenä haluan kiittää kaikkia pyöräilydataansa tätä tutkielmaa varten lahjoittaneita ja datan keruussa muutoin auttaneita, ilman heidän kiinnostustaan aihetta kohtaan ei työn analyseja olisi syntynyt. Suuri kiitos ohjaajilleni Tuuli Toivoselle, Maria Saloselle ja Henriikki Tenkaselle hyvistä keskusteluista, neuvoista ja tuesta työn tekemisessä. Kiitokset myös pääkaupunkiseudun kaupunkien, HSY:n, Helsingin polkupyöräilijät ry:n ja Pyöräilykuntien verkoston pyöräilyasiantuntijoille keskusteluista ja näkemyksistä keskeisten mallinnettavien teki-
joiden löytämiseksi työn alkuvaiheissa ja Helsingin seudun liikenteen paikkatietoasiantun-
joille pyöräilyverkosto-aineiston toimittamisesta. Haluan myös kiittää koko Digital Geo-
graphy Lab -tutkimusryhmää mukavasta ja kannustavasta työskentely-ympäristöstä ja Joonas
Repoa ratkaisevista ideoista sopivan map-matching -menetelmän löytämisessä, Paula Berg-
mania neuvoista tilastollisiin tarkasteluihin liittyen sekä kaikkia muita työn eri vaiheissa aut-
taneita.

KIRJALLISUUS

- Batty, M. (2009). Accessibility: in search of a unified theory. *Environment and Planning B: Planning and Design* 36, 191–194.
- Bauer, C. (2013). On the (In-) Accuracy of GPS Measures of Smartphones: A Study of Running Tracking Applications. *11th International Conference on Advances in Mobile Computing & Multimedia (MoMM2013), At Vienna, Austria, Volume: 11*. Wien.
- Bergman, C. & J. Oksanen (2016). Conflation of OpenStreetMap and Mobile Sports Tracking Data for Automatic Bicycle Routing. *Transactions in GIS* 20:6, 848–868.
- Birling, N. (2014). Työmatkapyöräily Suomessa: nykytila ja edistämistoimet. 65 s. Maisterin tutkinnon tutkielma. Johtamisen ja kansainvälisen liiketoiminnan laitos, Aalto yliopiston kauppakorkeakoulu.
- Broach, J., J. Dill, & J. Gliebe (2012). Where do cyclists ride? A route choice model developed with revealed preference GPS data. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46:10, 1730–1740.
- Broberg, A. & S. Sarjala (2015). School travel mode choice and the characteristics of the urban built environment: The case of Helsinki, Finland. *Transport Policy* 37, 1–10.
- Buehler, R. & J. Dill (2015). Bikeway Networks: A Review of Effects on Cycling. *Transport Reviews* 36:1, 9–27.
- Cormen, T.H., C.E. Leiserson, R.L Rivest & C. Stein (2009). *Introduction to Algorithms*. 3. p. 1292 s. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.
- Curtin, K.M. (2007). Network Analysis in Geographic Information Science: Review, Assessment, and Projections. *Cartography and Geographic Information Science* 34:2, 103–111.
- Cycling Embassy of Denmark (2017). Facts about Cycling in Denmark. 2.9.2017. <<http://www.cycling-embassy.dk/facts-about-cycling-in-denmark/statistics/>>
- Dalumpines, R. & D.M. Scott (2011). GIS-based map-matching: Development and demonstration of a postprocessing map-matching algorithm for transportation research. Teoksessa Geertman, S., W. Reinhardt, & F. Toppen (toim.) *Advancing Geoinformation Science for a Changing World. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*, 101–120. Springer, Berlin Heidelberg.
- Dalvi, M.Q. & K.M. Martin (1976). The measurement of accessibility: some preliminary results. *Transportation* 5, 17–42.
- Davidian, M. (2005). Generalized linear models for nonnormal response. Teoksessa *ST 732 Applied Longitudinal Data Analysis: Lecture Notes*, 423–464. Department of Statistics, North Carolina State University.
- Dawson, R. (2011). How Significant Is A Boxplot Outlier? *Journal of Statistics Education* 19:2, 1-13.
- Digiroad, Vantaan ja Espoon kaupungit, HSL (2016). Helsingin seudun liikenteen pyöräilyn ja kävelyn reittioppaan verkosto.
- Dill, J. & J. Gliebe (2008). *Understanding and measuring bicycling behavior: a focus on travel time and route choice*. 61 s. Final report OTREC-RR-08-03, Oregon

Transportation Research and Education Consortium.

- Dill, J. & K. Voros (2007). Factors Affecting Bicycling Demand: Initial Survey Findings from the Portland, Oregon, Region. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2031, 9–17.
- EEA = European Environment Agency (2016). *Transitions towards a more sustainable mobility system, TERM 2016: Transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe*. EEA Report 34/2016. EEA, Kööpenhamina. 88 s.
- Ehrgott, M., J. Wang, A. Raith & C. van Houtte (2012). A bi-objective cyclist route choice model. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 46:4, 652–663.
- El-Geneidy, A., K.J. Krizek & M. Iacono (2007). Predicting bicycle travel speeds along different facilities using GPS data: a proof of concept model. Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Washington DC. 13 s.
- Espoon kaupunki (2013). *Pyöräilyn edistämishjelma 2013–2024*. 75 s. 23.5.2017. <http://www.espoo.fi/fi-FI/Asuminen_ja_ymparisto/Kadut_ja_liikenne/Kavely_ja_pyoraily>
- Espoon kaupunki (2016). Pyörätiet kuntoon! Kaupunkilaiset ja kaupungin työntekijät testasivat katujen kuvausta. 12.6.2017. <http://www.espoo.fi/fi-FI/Pyoratiet_kuntoon_Kaupunkilaiset_ja_kaup>
- ESRI (2016a). Algorithms used by the ArcGIS Network Analyst extension. 22.5.2017. <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm>>
- ESRI (2016b). What are Bearing and BearingTol fields? 11.3.2017. <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/network-analyst/bearing-and-bearingtol-what-are.htm>>
- Garrard, J., G. Rose & S.K. Lo (2008). Promoting transportation cycling for women: The role of bicycle infrastructure. *Preventive Medicine* 46:1, 55–59.
- Geertman, S.C.M. & J.R. Ritsema Van Eck (1995). GIS and models of accessibility potential: an application in planning. *International Journal of Geographical Information Systems* 9.1, 67–80.
- Geurs, K.T., L. La Paix. & S. Van Weperen (2016). A multi-modal network approach to model public transport accessibility impacts of bicycle-train integration policies. *European Transport Research Review* 8:25, 1-15.
- Geurs, K.T. & B. Van Wee (2004). Accessibility evaluation of land-use and transport strategies: review and research directions. *Journal of Transport Geography* 12, 127–140.
- Giuliano, G. (1998). Urban Travel Patterns. Teoksessa Hoyle, B.S. & R. D. Knowles (toim.) *Modern transport geography*. 374 s. Wiley, Chichester.
- Griffin, G.P. & J. Jiao (2015). Where does bicycling for health happen? Analysing volunteered geographic information through place and plexus. *Journal of Transport & Health* 2, 238–247.
- Gustafsson, L. & J. Archer (2013). A naturalistic study of commuter cyclists in the greater Stockholm area. *Accident Analysis and Prevention* 58, 286–298.
- Handy, S., B. Van Wee & M. Kroesen (2014). Promoting Cycling for Transport: Research

- Needs and Challenges. *Transport Reviews* 34:1, 4–24.
- Hansen, W.G. (1959). How Accessibility Shapes Land Use. *Journal of the American Institute of Planners* 25:2, 73–76.
- Heesch, K.C., B. Giles-Corti & G. Turrell (2014). Cycling for transport and recreation: Associations with socio-economic position, environmental perceptions, and psychological disposition. *Preventive Medicine* 63, 29–35.
- Heinen, E., B. van Wee & K. Maat (2010). Commuting by Bicycle: An Overview of the Literature. *Transport Reviews* 30:1, 59–96.
- Helsingin kaupunki (2016). *Pyöräliikenteen suunnitteluohje*. 28.5.2017. <<http://pyoraliikenne.fi/>>
- Helsingin kaupunkimittausosasto, Helsingin seudun kunnat ja HSY (2016). Seutukartta 2015. 14.6.2017. <<http://ptp.hel.fi/avoindata/>>
- Holopainen, M. & P. Pulkkinen (2002). *Tilastolliset menetelmät*. 1.-2. p. 338 s. WSOY, Helsinki.
- Hood, J., E. Sall & B. Charlton (2011). A GPS-based bicycle route choice model for San Francisco, California. *Transportation Letters* 3:1, 63-75.
- HS (2017). Kaupunkipyörät palaavat Helsinkiin vapun jälkeen - kartta näyttää uusien pyöräasemien sijainnin. *Helsingin Sanomat* 1.5.2017. 28.5.2017. <<http://www.hs.fi/kaupunki/art-2000005192340.html>>
- HSL = Helsingin seudun liikenne (2013). *HLJ 2015 Liikkumistottumukset Helsingin seudulla 2012*. HSL:n julkaisuja 27/2013. 126 s.
- HSL (2016a). Reittiopas: ohjeet. 2.9.2017. <<https://www.hsl.fi/reitit-ja-aikataulut/reittiopas-ohjeet>>
- HSL (2016b). Pyörät on pistetty pyörimään. 3.11.2016. <<https://www.hsl.fi/pyoraily>>
- HSL (2017a). Kaupunkipyörien pilottikokeilu Espooseen. 28.5.2017. <<https://www.hsl.fi/uutiset/2017/kaupunkipyorien-pilottikokeilu-espooseen-9599>>
- HSL (2017b). Reittiopas: Tietoja palvelusta. 2.9.2017. <<https://www.reittiopas.fi/tietoja-palvelusta>>
- HSY = Helsingin seudun ympäristöpalvelut (2017). Väestötietoruudukko 2016. 27.8.2017. <<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/avoindata/Sivut/Avoindata.aspx?dataID=7>>
- Hunt, J.D. & J.E. Abraham (2007). Influences on bicycle use. *Transportation* 34, 453–470.
- Iacono, M., K.J. Krizek & A. El-Geneidy (2010). Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution. *Journal of Transport Geography* 18:1, 133–140.
- Ingram, D.R. (1971). The concept of accessibility: A search for an operational form. *Regional Studies* 5:2, 101–107.
- Iseki, H. & M. Tingstrom (2014). A new approach for bikeshed analysis with consideration of topography, street connectivity, and energy consumption. *Computers, Environment and Urban Systems* 48, 166–177.
- Jaakkola, T. (2013). Paikkatietopohjainen menetelmä autoilun ajoaikojen ja kokonaismatka-aikojen mallintamiseen – esimerkkinä pääkaupunkiseutu. 87 s. Pro gradu - tutkielma.

Helsingin yliopisto, geotieteiden ja maantieteen laitos.

- Jäppinen, S., T. Toivonen & M. Salonen (2013). Modelling the potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: An open data approach. *Applied Geography* 43, 13–24.
- Jestico, B., T. Nelson & M. Winters (2016). Mapping ridership using crowdsourced cycling data. *Journal of Transport Geography* 52, 90–97.
- Korpilo, S., T. Virtanen & S. Lehvävirta (2017). Smartphone GPS tracking—Inexpensive and efficient data collection on recreational movement. *Landscape and Urban Planning* 157, 608–617.
- Krenn, P.J., P. Oja & S. Titze (2014). Route choices of transport bicyclists: a comparison of actually used and shortest routes. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity* 11:31.
- Krizek, K.J., A. El-Geneidy & K. Thompson (2007). A detailed analysis of how an urban trail system affects cyclists' travel. *Transportation* 34, 611–624.
- KSV = Helsingin kaupunkisuunnitteluvirasto (2014). *Pyöräilyn edistämishjelma*. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosaston selvityksiä 2014:4. 63 s.
- KSV (2016a). *Helsinkiiläisten liikkumistottumukset 2016*. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosaston selvityksiä 2016:7. 51 s.
- KSV (2016b). *Pyöräilybarometri 2016*. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosaston selvityksiä 2016:4. 61 s.
- KSV (2016c). *Pyöräiliikenteen laskennat Helsingissä 2016*. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston liikennesuunnitteluosaston selvityksiä 2016:5. 36 s.
- KSV (2017). *Pyöräilykatsaus 2017*. Helsinki suunnittelee 2017:3. 30 s.
- Kumar, A., J. Kang, C. Kwon & A. Nikolaev (2016). Inferring origin-destination pairs and utility-based travel preferences of shared mobility system users in a multi-modal environment. *Transportation Research Part B: Methodological* 91, 270–291.
- Larsen, J. & A. El-Geneidy (2011). A travel behavior analysis of urban cycling facilities in Montréal, Canada. *Transportation Research Part D* 16, 172–177.
- Liikenne- ja viestintäministeriö (2011). *Kävelyn ja pyöräilyn valtakunnallinen strategia 2020*. Ohjelmia ja strategioita 4/2011. 30 s.
- Liikennevirasto, 2012. *Henkilöliikennetutkimus 2010–2011: Suomalaisten liikkuminen*. 98 s. Kopijyvä Oy, Kuopio.
- Malmberg, O., L. Bergström, K. Isaksson & U. Troeng (2014). *Framkomlighetsstudie av cykelvägnätet i Helsingfors*. Sweco TransportSystem AB. 24 s.
- Mapillary (2017). Street-level imagery for the future of maps. 12.6.2017. <<https://www.mapillary.com/>>
- McKibbin, M. (2011). The influence of the built environment on mode choice – evidence from the journey to work in Sydney. *34th Australasian Transport Research Forum (ATRF) Proceedings, September 2011*, Adelaide, Australia.
- Menghini, G., N. Carrasco, N. Schüssler & K.W. Axhausen (2010). Route choice of cyclists in Zurich. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 44:9, 754–765.

- MetropAccess-Digiroad 2015 (2015). MetropAccess-hanke / Accessibility Research Group, Helsingin Yliopisto. 14.4.2016. <<http://blogs.helsinki.fi/saavutettavuus/metropaccess-digiroad-2015/>>
- Metsäpuro, P., K. Vaismaa, K. Karhula, T. Luukkonen, J. Mäntynen & T. Rantala (2014). *Vaihdetta isommalle - Pyöräilyn potentiaalın hyödyntäminen*. 145 s. Tampereen teknillinen yliopisto, Liikenteen tutkimuskeskus Verne, Tampere.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat (2009). *Cycling in the Netherlands*. 74 s. Fietsberaad, Utrecht.
- MML = Maanmittauslaitos (2015). Korkeusmalli 2 m. 19.2.2016. <<https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>>
- Niaraki, A.S. & K. Kim (2009). Ontology based personalized route planning system using a multi-criteria decision making approach. *Expert Systems with Applications* 36:2, 2250–2259.
- O'Brien, O., J. Cheshire & M. Batty (2014). Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems. *Journal of Transport Geography* 34, 262–273.
- Oksanen, J., C. Bergman, J. Sainio & J. Westerholm (2015). Methods for deriving and calibrating privacy-preserving heat maps from mobile sports tracking application data. *Journal of Transport Geography* 48, 135–144.
- Parkin, J. & J. Rotheram (2010). Design speeds and acceleration characteristics of bicycle traffic for use in planning, design and appraisal. *Transport Policy* 17.5, 335–341.
- Payne, K.C. & M. Dror (2015). Construction of a topographical road graph for bicycle tour routes. *Sports Technology*, 1-11.
- Pein, W. (1997). Bicyclist Performance on a Multiuse Trails. *Transportation Research Record* 1578:1, 127–131.
- Pucher, J. & R. Buehler (2008). Making Cycling Irresistible: Lessons from The Netherlands, Denmark and Germany. *Transport Reviews* 28:4, 495–528.
- Pucher, J., J. Dill & S. Handy (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: an international review. *Preventive medicine* 50:1, 106–125.
- Pyöräilymetropoli (2017). *Pyöräilymetropoli 2017: Fakta ja fiiiksii pyöräiikenteestä*. 15 s. WSP Finland Oy, Espoon kaupunki, Vantaan kaupunki, Helsingin kaupunki, Helsingin seudun liikenne. 27.5.2017. <https://www.hsl.fi/sites/default/files/uploads/pyorailymetropoli_2017.pdf>
- Quddus, M.A., W.Y. Ochieng & R.B. Noland (2007). Current map-matching algorithms for transport applications: State-of-the art and future research directions. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 15:5, 312–328.
- Repo, J. (2017). *Palveluiden saavutettavuuden muutos pitkällä aikavälillä: tapaustutkimuksena pääkaupunkiseudun kirjastoverkko*. 115 s. Pro gradu -tutkielma, Helsingin yliopisto, geotieteiden ja maantieteen laitos.
- Rodríguez, D.A. & J. Joo (2004). The relationship between non-motorized mode choice and the local physical environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 9:2, 151–173.

- Romanillos, G., M. Zaltz Austwick, D. Ettema & J. De Kruijf (2016). Big Data and Cycling. *Transport Reviews* 36:1, 114–133.
- Rubins, D.I. & S. Handy (2005). Times of Bicycle Crossings - Case Study of Davis, California. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 1939, 22–27.
- Sainio, J., J. Westerholm & J. Oksanen (2015). Generating Heat Maps of Popular Routes Online from Massive Mobile Sports Tracking Application Data in Milliseconds While Respecting Privacy. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 4:4, 1813–1826.
- Salonen, M., A. Broberg, M. Kyttä & T. Toivonen (2014). Do suburban residents prefer the fastest or low-carbon travel modes? Combining public participation GIS and multimodal travel time analysis for daily mobility research. *Applied Geography* 53, 438–448.
- 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* 50:3, 8-27.
- Sener, I.N., N. Eluru & C. Bhat (2009). An analysis of bicycle route choice preferences in Texas, US. *Transportation* 36, 511–539.
- Shen, L. & P.R. Stopher (2014). Review of GPS Travel Survey and GPS Data-Processing Methods. *Transport Reviews* 34:3, 316–334.
- de Smith, M.J., M.F. Goodchild & P.A. Longley (2009). *Geospatial analysis: a comprehensive guide to principles, techniques and software tools* 3. p. 560 s. Matador, Leicester.
- Steinberg, S. & S. Steinberg (2006). *Geographic Information Systems for the Social Sciences: Investigating Space and Place*. 252 s. SAGE, Thousand Oaks, California.
- Stinson, M.A. & C.R. Bhat (2003). Commuter Bicyclist Route Choice: Analysis Using a Stated Preference Survey. *Transportation Research Record* 1828, 107–115.
- Strafica (2015). *Pyöräilyn yhteystarpeiden tutkiminen ja alustavan pääverkon suunnittelu Helsingin esikaupunkialueilla*. 13 s.
- Strava Metro (2014). 27.3.2017. <<http://metro.strava.com/>>
- Tielaitos (1998). *Kevyen liikenteen suunnittelu*. 151 s. Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka, Helsinki.
- Tilahun, N.Y., D.M. Levinson & K.J. Krizek (2007). Trails, lanes, or traffic: Valuing bicycle facilities with an adaptive stated preference survey. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 41:4, 287–301.
- Toivonen, T., H. Tenkanen, V. Heikinheimo, T. Jaakkola, J. Järvi & M. Salonen (2015). Helsinki Region-Travel Time Matrix 2015. DOI: 10.13140/RG.2.1.1901.3201
- Tulikoura, S. & S. Jäppinen (2012). *Arjen saavutettavuus pääkaupunkiseudulla - Makrotaso*. Helsingin kaupunkisuunnitteluviraston yleissuunnitteluosaston selvityksiä 2012:6. 40 s.
- Vaismaa, K., J. Mäntynen, P. Metsäpuro, T. Luukkonen, T. Rantala & K. Karhula (2011).

Parhaat eurooppalaiset käytännöt pyöräilyn ja kävelyn edistämiseksi. 269 s. Tampereen teknillinen yliopisto, Liikenteen tutkimuskeskus Verne, Tampere..

- Vantaan kaupunki (2016). *Vantaan liikennepoliittinen ohjelma*. 44 s. 28.5.2017.
<http://www.vantaa.fi/instancedata/prime_product_julkaisu/vantaa/embeds/vantaawwwstructure/124639_Vantaan_liikennepoliittinen_ohjelma_VALO_120516.pdf>
- Winters, M., M. Brauer, E.M. Setton & K. Teschke (2013). Mapping bikeability: a spatial tool to support sustainable travel. *Environment and Planning B: Planning and Design* 40:5, 865–883.
- Wu, C., Z. Yang, Y. Xu, Y. Zhao & Y. Liu (2015). Human mobility enhances global positioning accuracy for mobile phone localization. *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems* 26:1, 131–141.
- Zandbergen, P.A. (2009). Accuracy of iPhone Locations: A Comparison of Assisted GPS, WiFi and Cellular Positioning. *Transactions in GIS* 13:1, 5–26.
- Zimmermann, M., T. Mai & E. Frejinger (2017). Bike route choice modeling using GPS data without choice sets of paths. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 75, 183–196.

LIITTEET

Liite 1. Datankeräyskampanjan taustatietolomake

GPS-dataa pyöräilystä

Kerään mobiilisovelluksilla tallennettua GPS-dataa pyöräilystä Helsingin yliopistossa tehtävää maantieteen pro gradu -tutkielmaani varten. Aineiston avulla on tarkoitus selvittää miten erilaiset hidastavat tekijät, kuten reitin korkeusvaihtelut ja risteykset, vaikuttavat pyöräilyn nopeuksiin ja matka-aikoihin. Työn tutkimusalue on pääkaupunkiseutu (Helsinki, Espoo, Vantaa, Kauniainen), ja tallennettujen reittien toivotaan olevan nimenomaan tältä alueelta. Aineistosta johdettavan paikkatietomallin tulokset tullaan yhdistämään [pääkaupunkiseudun matka-aikamatriisiin](#), joka kuvaa pääkaupunkiseudun tilastoruuhtujen välisiä matka-aikoja autolla, joukkoliikenteellä, kävellen ja pyöräillen.

Voit lähettää jollakin urheilusovelluksella tallentamaasi gpx-muotoista dataa pyöräilemistäsi matkoista. Lomakkeella kerätään lisäksi muutamia taustatietoja pyöräilijästä sekä tallennustavasta. Datan luovuttajien yksityisyydensuojan takaamiseksi jokaisesta reitistä poistetaan kaikki GPS-pisteet 200 metrin matkalta reitin alusta ja lopusta. Yksittäistä vastaajaa tai yksittäisiä reittejä ei voi tunnistaa tutkielman lopullisista tuloksista.

Ohjeita gpx-tiedostojen lataamiseen sekä lisätietoja tämän työn taustoista ja tutkimusryhmän muista töistä löytyy Accessibility Research Group -tutkimusryhmän [sivuilta](#).

Jos sinulla on jotain kysyttävää opinnäytetyöstä, datan tallentamisesta tai datan käytöstä, voit ottaa yhteyttä osoitteeseen [ainokaisa.tarnanen\(at\)helsinki.fi](mailto:ainokaisa.tarnanen(at)helsinki.fi).

Taustatiedot

Taustatietoja kerätään pyöräilijöiden henkilökohtaisten erojen vaikuttavuuden arviointia varten.

Syntymävuosi

Sukupuoli

Pyöräilyaktiivisuus

| | 6-7 päivänä viikossa | 3-5 päivänä viikossa | 1-2 päivänä viikossa | 1-3 päivänä kuukaudessa | Harvemmin |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| Kuinka usein (keskimäärin) pyöräilet? | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> |
| | Säännöllisesti | Satunnaisesti | En lainkaan | | |
| Pyöräiletkö myös talvella? | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | | |

Kuvaile vapaasti itseäsi pyöräilijänä:

Sovellus- ja pyörätiedot

Tallennukseen käytetty sovellus

- Sports Tracker
- Strava
- Endomondo
- HeiaHeia!
- MapMyRide
- Runkeeper
- Joku muu, mikä?

Pyörän tyyppi

- Maantiepyörä
- Maastopyörä
- Hybridi
- Kaupunkipyörä
- Muu, mikä?

Lisätietoa reiteistä

Seuraavassa kentässä voit halutessasi kertoa lisätietoja tallentamistasi reiteistä (esim. oliko kyseessä työ/koulumatka, vapaa-ajan matka vai edustavatko reitit monia eri matkatyyppejä, onko reiteillä joitain reittivalintaan tai nopeuteen vaikuttavia tekijöitä jne.) Reittitiedostot tallennetaan seuraavalla sivulla.

Suostumus osallistumisesta

Luovutan tallentamani GPS-tiedot pyöräilemistäni reiteistä sekä lomakkeella antamani taustatiedot Helsingin yliopiston Accessibility Research Group-ryhmän tutkimuskäyttöön.

- Hyväksyn

Valitse myös seuraava ruutu, jos anonymisoitua pyöräily-dataasi saa julkaista avoimena paikkatietona.

- Luovuttamaani dataa saa julkaista avoimena paikkatietoaineistona sen jälkeen kun se on anonymisoitu

Gpx-tiedostot lisätään liitteiksi Tallenna-napin painamisen jälkeen avautuvalla sivulla. Voit lisätä useita liitetiedostoja (max 16 MB).

Muistathan painaa "Lähetä tiedosto" jokaisen liitteen kohdalla, ja kaikki liitteet lähetettyäsi "Tallennus valmis"!

Tietojen lähetys

Kiitos osallistumisestasi!

Liite 2. Pyöräilyn matka-ajat Forumiin ja Jumboon

