

Joukkoliikenteen keskuspysäkkien sijaintien  
paikkatietoperusteinen optimointi  
Kainuun taajamissa

Johannes Miesmaa

Pro gradu -tutkielma  
Oulun yliopisto  
Maantieteen tutkimusyksikkö  
3.10.2018

Yksikkö: <b>Maantieteen tutkimusyksikkö</b>	Pääaine: <b>Maantiede</b>	
Tekijä: <b>Miesmaa, Johannes Gabriel</b>	Opiskelija- numero: <b>2263382</b>	Tutkielman sivumäärä: <b>70</b>
Tutkielman nimi: <b>Joukkoliikenteen keskus pysäkkien sijaintien paikkatietoperusteinen optimointi Kainuun taajamissa</b>		
Asiasanat: <b>joukkoliikenne, keskus pysäkki, sijainti, optimointi, saavutettavuus, paikkatieto, GIS</b>		
Tiivistelmä: <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää saavutettavuudeltaan paras sijainti keskus pysäkille yhdessätoista kainuulaisessa taajamassa. Kussakin taajamassa keskus pysäkin optimaalinen sijainti määritettiin paikkatietoperusteisella saavutettavuusanalyysillä. Saavutettavuusanalyysin tuloksia verrattiin keskus pysäkkien nykyisiin sijainteihin. Näin muodostettiin näkemys saavutettavuuden kannalta parhaasta sijainnista. Lisäksi Sotkamon taajaman kohdalla tutkittiin mahdollisuutta muodostaa usean keskus pysäkin malli ja suoritettiin optimointi koko taajama-alueen pysäkkiverkolle.</p> <p>Tutkimuksessa saavutettavuutta tarkasteltiin taajamassa ja sen lähellä asuvien ihmisten näkökulmasta. Liikkuemuotoina saavutettavuusanalyysissä olivat kävely ja pyöräily. Saavutettavuusanalyysissä aineistona käytettiin kansallista Digiroad-tietojärjestelmää (tieverkko ja pysäkit), YKR-ruutuaineistoa 250 m x 250 m ruutukoossa (väestö) sekä YKR-taajamarajausaineistoa.</p> <p>Tutkimuksen saavutettavuusanalyysit suoritettiin ArcMap-ohjelmiston Network Analyst -lisäosaan sisältyvällä Location-Allocation-työkalulla. Lisäksi saavutettavuuden tarkastelussa hyödynnettiin saman lisäosan Service Area -työkalua. Location-Allocation-työkalua käytettiin valitsemaan optimaalinen keskus pysäkin sijainti annetuista ehdokaspisteistä. Pääsääntöisesti ehdokaspisteinä toimivat taajamien nykyiset linja-autopysäkit. Pysäkkien puutteen takia Suomussalmen kirkonkylässä ehdokaspisteet luotiin keinotekoisesti. Analyysissä parhaaksi sijainniksi valikoitui ehdokaspisteistä se, joka oli tieverkkoa pitkin parhaiten saavutettavissa väestöpisteistä. Optimointi suoritettiin kaksi kertaa, tarkastellen ensin saavutettavuutta kävellen ja sitten polkupyörällä. Sotkamon taajamassa tutkittiin useamman keskus pysäkin mallia valitsemalla ehdokaspisteistä ensin kaksi ja sitten kolme keskus pysäkkiä. Lisäksi optimoitiin Sotkamon taajaman koko pysäkkiverkko valitsemalla nykyisistä pysäkeistä ja keinotekoisesti luoduista ehdokaspisteistä parhaan kattavuuden tarjoava yhdistelmä.</p> <p>Suuressa osassa taajamista nykyisen keskus pysäkin todettiin olevan varsin hyvin sijoittunut. Myös optimointivaraa kuitenkin löydettiin. Keskus pysäkin sijainnilla havaittiin olevan suurempi merkitys kävelyn kuin pyöräilyn näkökulmasta. Sotkamon taajamassa päädyttiin suositteluun kahden keskus pysäkin mallia. Sotkamon taajaman koko pysäkkiverkkoa tarkasteltaessa huomattiin, ettei pysäkkien sijaintien optimoinnilla päästäisi juurikaan nykyistä parempaan pysäkkiverkon kattavuuteen. Toisaalta, mikäli pysäkit sijoitettaisiin optimaalisesti, nykyisen kaltainen kattavuus voitaisiin taata myös pienemmällä määrällä pysäkkejä.</p>		
Muita tietoja:	<b>Tutkielma on laadittu yhteistyössä Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen kanssa.</b>	
Päiväys:	Oulussa, 3.10.2018	

# SISÄLTÖ

SAATTEEKSI .....	4
JOHDANTO .....	5
Tutkimusalue .....	9
TEOREETTINEN VIITEKEHYS .....	12
Liikennemaantiede .....	12
Paikkatietojärjestelmät .....	13
Saavutettavuus .....	14
Graafiteoria .....	17
Linja-autopysäkkien sijaintien optimointi kirjallisuudessa .....	18
Kävely ja pyöräily liityntäliikennemuotoina .....	20
AINEISTO .....	23
YKR – väestöaineisto ja taajamarajaukset .....	23
Digiroad – tieverkko- ja pysäkkiaineisto .....	23
MENETELMÄT .....	25
Dijkstran algoritmi .....	25
Saavutettavuusanalyysissa käytetyt työkalut .....	26
Saavutettavuusanalyysin vaiheet .....	28
TULOKSET .....	33
Erittäin pienet taajamat .....	33
Pienet taajamat .....	37
Keskisuuret taajamat .....	41
Suuret taajamat .....	45
Usean keskuspysäkin malli Sotkamon taajamassa .....	49
Sotkamon taajaman pysäkkiverkon optimointi .....	50
POHDINTA .....	55
LÄHTEET .....	63

## SAATTEEKSI

Tämä työ on toteutettu yhteistyössä Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksen kanssa. Tutkimus on osa laajempaa projektia, jossa määritettiin Kainuun keskeisten pysäkkien nykytila ja mahdolliset kehittämistoimenpiteet pysäkkien palvelutason ja sijainnin osalta. Tässä työssä keskitytään pysäkkien sijainnin optimointiin niiden saavutettavuuden näkökulmasta. Pysäkkien palvelutasoon pureudutaan projektia laajemmin käsittelevässä raportissa Joukkoliikenteen keskus pysäkkien kehittäminen Kainuussa (Miesmaa 2017).

## JOHDANTO

Liikenteellä on aina ollut keskeinen rooli ihmisten rakentamissa yhteiskunnissa. Liikenne mahdollistaa elämän sellaisena kuin sen tunnemme, kuljettaen ihmisiä, tavaroita ja informaatiota ympäri maapalloa. Liikenne kietoutuu jokapäiväiseen elämäämme erottamattomasti: keski-ikäinen suomalainen teki vuonna 2016 noin tuhat matkaa (Liikennevirasto 2018). Alati kasvavat liikennemäärät tuovat kuitenkin mukanaan myös ongelmia (Rodrigue ym. 2013). Liikenne kuluttaa valtavia määriä energiaa ja tuottaa suurimman osan kaupunkien ilmansaasteista (Euroopan komissio 2018b). Suurin ongelma ovat kuitenkin ilmastosta aiheuttavat kasvihuonepäästöt, joista liikenteen osuus Euroopassa on lähes neljännes.

Liikenteen päästöistä noin kolme neljäsosaa tuottaa tieliikenne, suurimpana tekijänä henkilö- ja pakettiautot (Euroopan komissio 2018a). Henkilöautoliikenteen tuottamien ongelmien vähentämisessä tehokkaaksi keinoksi on todettu joukkoliikenteen tukeminen (Jäppinen ym. 2013, Chen ym. 2018). Jotta ihmiset taittaisivat päivittäiset matkansa yhä enemmän henkilöauton sijasta joukkoliikenteellä, täytyy joukkoliikennejärjestelmän olla kattava ja toimiva. Toisaalta joukkoliikenne voi olla ainoa, ja näin ollen lähestulkoon elintärkeä, liikkumismuoto ihmisryhmille, joilla ei ole mahdollisuutta oman auton käyttöön. Merkittävimmät näistä ihmisryhmistä ovat lapset ja vanhuksat (Moseley & Owen 2008). Heidän kannaltaan on olennaista, että Suomessa pidetään yllä toimivaa joukkoliikennejärjestelmää. Joukkoliikennejärjestelmässä suuressa roolissa ovat pysäkit, jotka tarjoavat ihmisille pääsyn joukkoliikennevälineen kyytiin. Tämän tutkielman pyrkimyksenä on parantaa Kainuun taajamien keskeisten pysäkkien saavutettavuutta, jotta joukkoliikenne olisi mahdollisimman monen ihmisen käytettävissä.

Joukkoliikenteen järjestäminen Suomessa perustuu 3.12.2009 voimaan tulleeseen EU:n palvelusopimusasetukseen (Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1370/2007). Palvelusopimusasetuksen pohjalta muodostettiin niin ikään vuonna 2009 voimaan tullut joukkoliikennelaki (869/2009) sekä joukkoliikennelain 1.7.2018 kumonnut liikennepalvelulaki (laki liikenteen palveluista 320/2017). Palvelusopimusasetus, joukkoliikennelaki ja liikennepalvelulaki muodostavat kokonaisuuden, joka on määritellyt säännöt joukkoliikenteen järjestämiselle Suomessa

viimeisen kymmenen vuoden aikana.

Yksi Euroopan unionin keskeisiä periaatteita on yritysten välinen vapaa kilpailu (Euroopan unionin toiminnasta... 2012). Tästä johtuen myös EU:n palvelusopimusasetuksessa joukkoliikenteen lähtökohdaksi määritellään vapaaseen kilpailuun perustuva markkinaehtoinen liikenne. Palvelusopimusasetuksessa todetaan kuitenkin, etteivät kaikki välttämättömät henkilöliikenteen palvelut voi nykyään toimia kaupalliselta pohjalta. Tämän vuoksi asetuksessa määritelläänkin keinot, joilla joukkoliikenteen toimivaltainen viranomainen voi varmistaa sellaisten joukkoliikennepalvelujen tarjoamisen, jotka ovat ”muun muassa monilukuisempia, luotettavampia, korkealaatuisempia tai edullisempia kuin palvelut, joita voitaisiin tarjota pelkästään markkinoiden ehdoilla” (1 artikla 1 kohta). Yleisesti linja-autoliikenteessä erotellaankin markkinoiden ehdoilla toimiva markkinaehtoinen liikenne sekä toimivaltaisen viranomaisen palvelusopimusasetuksen mukaisesti järjestämä liikenne eli PSA-liikenne. Palvelusopimusasetuksessa mainittuja keinoja tarkennetaan kansallisessa lainsäädännössä, siis menneessä joukkoliikennelaissa ja nykyisessä liikennepalvelulaissa. Liikennepalvelulain mukaan toimivaltainen viranomainen voi alueellaan järjestää julkista liikennettä tai myöntää yksinoikeuden liikennöintiin yhdelle liikenteenharjoittajalle nimetyllä reitillä tai alueella (10 §). Sekä joukkoliikennelaissa että liikennepalvelulaissa Kainuun alueen joukkoliikenteen toimivaltaiseksi viranomaiseksi nimetään Pohjois-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY-keskus). Lisäksi Kajaanin alueella toimivaltaisena viranomaisena toimii Kajaanin kaupunki. Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus pyrkii organisoimaan Kainuun joukkoliikennepalvelut määrittelemänsä palvelutason mukaisesti (Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus 2017). Markkinaehtoinen liikenne toteutuu Kainuussa lähinnä vain maakunnan ulkopuolelle ulottuvilla pitkillä reiteillä, joten ELY-keskus järjestää suuren osan maakunnan liikenteestä PSA-liikenteenä (Miesmaa 2017).

Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus vastaa pääsääntöisesti myös Kainuun alueen maanteiden varsilla sijaitsevista linja-autopysäkeistä. Kuntien katuverkolla sijaitsevat pysäkit puolestaan ovat kuntien vastuulla, ja ELY-keskus tekeekin kuntien kanssa yhteistyötä joukkoliikenteen järjestämisen lisäksi pysäkkien kunnossapidämiseksi ja kehittämiseksi. Liikenneviraston teettämässä valtakunnallisessa pysäkkiselvityksessä pysäkkiverkon kehittämisen haasteena katsotaan olevan "korkeatasoisen, hyvin nykyisiä

matkustajia palvelevan ja samalla myös uusia matkustajia houkuttelevan pysäkkiverkon toteuttaminen niukoilla resursseilla" (Weiste ym. 2014: 18). Perinteisesti kaupungeissa ja isommissa taajamissa on toiminut linja-autoasema, ja pienissä kunnissa matkustaja- ja rahtipalveluita ovat tarjonneet Matkahuolto Oy:n asiamiespisteet. Weiste ym. (2014) toteavat kuitenkin, että linja-autoasematoiminta on hiipunut ja asiamiespisteiden toiminta on paikallisista yrittäjistä riippuvaa. Asiamiespisteiden sijainti elää palvelua hoitavan yrittäjän mukaan. Ilmiö on havaittavissa myös Kainuussa (Miesmaa 2017). Esimerkiksi Kuhmossa ja Suomussalmella linja-autot pysähtyvät vanhan linja-autoaseman pihassa, mutta asemarakennukset ovat poissa käytöstä. Hyrynsalmella Matkahuollon asiamiespiste sijaitsi ennen Hyrynsalmen torin yhteydessä, siis keskeisellä paikalla taajamassa, mutta on sittemmin siirtynyt valtatie 5:n varteen huoltoasemalle. Muutoksen seurauksena Hyrynsalmen pääpysäkin nimeäminen ei tällä hetkellä ole aivan ongelmatonta.

Weiste ym. (2014) tarjoavat pysäkkiverkon kehittämisen haasteeseen yhdeksi ratkaisuksi viranomaisen ja kunnan toteuttamia ja ylläpitämiä keskuspysäkkejä. Keskuspysäkin ideana on olla kaiken taajamassa toimivan ja taajaman kautta kulkevan joukkoliikenteen kohtauspaikka. Viranomaisen ja kunnan ylläpitämän keskuspysäkin vahvuuksia ovat selkeys, pysyvyys ja keskeinen sijainti. Tämä ajatus keskuspysäkeistä toimi lähtökohtana Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen projektille, jonka tavoitteena oli kartoittaa keskuspysäkkien nykytila ja kehittämistarpeet sekä arvioida keskuspysäkin sijoittumista taajamassa (Miesmaa 2017).

Tässä työssä käsitellään keskuspysäkkien sijaintia ja mahdollisuuksia sijainnin optimointiin väestön eli matkustajien saavutettavuuden kannalta. Matkustajat ovat liikennettä järjestävän tahon ja liikenneinfrastruktuurin ohella keskeisimpiä joukkoliikenteen tekijöitä. Ymmärrettävästi ilman matkustajia ei ole joukkoliikennettä. Näin ollen olennaista toimivan joukkoliikenteen kannalta on huolehtia siitä, että matkustajat pääsevät käyttämään joukkoliikennettä mahdollisimman vaivattomasti. Linja-autoliikenteessä ratkaisevassa osassa matkustajien ja joukkoliikenteen yhdistämisessä ovat linja-autopysäkit, jotka tarjoavat matkustajille mahdollisuuden nousta linja-auton kyytiin ja sieltä pois. Joukkoliikenteen käyttäminen on harvoin matkan varsinaisen tarkoitus. Yleensä tavoitteena on saavuttaa jokin paikka tai palvelu. Liikenneviraston (2018) mukaan suomalaisten tekemistä matkoista kaksi kolmasosaa

alkaa tai päättyy kotiin. Yleisimmin matkan kohteena on työpaikka, kauppa tai koulu. Hyvin palvelevan joukkoliikenteen näkökulmasta onkin tärkeää, että pysäkit sijaitsevat lähellä näitä kohteita.

Tutkimuksessa keskityttiin tarkastelemaan keskuspysäkkien sijainteja suhteessa ihmisten koteihin. Kunkin tarkasteluun valitun taajaman kohdalla pyrittiin vastaamaan seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Mikä on asutuksen sijoittumisen kannalta saavutettavuudeltaan paras sijainti taajaman keskuspysäkille?
2. Kuinka paljon keskuspysäkin saavutettavuutta voitaisiin parantaa sijoittamalla se uudelleen?

Perustarkastelun lisäksi mukana olevista taajamista suurimman, Sotkamon, kohdalla pureuduttiin pysäkkien saavutettavuuteen hieman syvemmälle. Sotkamon taajaman tapauksessa asetettiin ratkaistavaksi edellisten lisäksi seuraavat kysymykset:

3. Mitkä olisivat kävelyn kannalta optimaaliset sijainnit tilanteessa, jossa Sotkamon taajamassa olisi useampi kuin yksi keskuspysäkki? Kuinka hyvä olisi saavutettavuus useamman keskuspysäkin mallissa?
4. Kuinka hyvä on nykyisen pysäkkiverkon saavutettavuus Sotkamon taajamassa? Miten pysäkkien sijaintien optimointi vaikuttaisi saavutettavuuteen? Minkälainen vaikutus saavutettavuuteen olisi pysäkkien määrän muutoksella?

Vastauksia tutkimuskysymyksiin lähdetään hakemaan avaamalla ensin Teoreettinen viitekehys -luvussa liikennemaantieteen ja paikkatietojärjestelmien perusteita, saavutettavuuden ja graafiteorian teoreettista pohjaa sekä joukkoliikenteen saavutettavuuteen liittyvää tutkimusta. Tämän jälkeen esitellään tutkimuksessa käytetyt väestö- ja tieverkkoaineistot. Menetelmäluvussa tarkastellaan saavutettavuusanalyysien pohjana toimivaa Dijkstran algoritmia ja käydään läpi tutkimuksessa käytetyt työkalut sekä suoritettujen analyysien vaiheet. Pää tarkastelun tulokset esitellään ryhmiteltynä neljään taajamien kokoon perustuvaan luokkaan. Lisäksi tulososiossa esitellään Sotkamon lisäanalyysien löydökset. Pohdintaluvussa tuloksia tarkastellaan syvemmin ja tutkimuskysymyksiin esitetään vastaukset. Lopuksi arvioidaan käytettyjä tutkimusmenetelmiä sekä annetaan ehdotuksia tulevaan tutkimustyöhön.



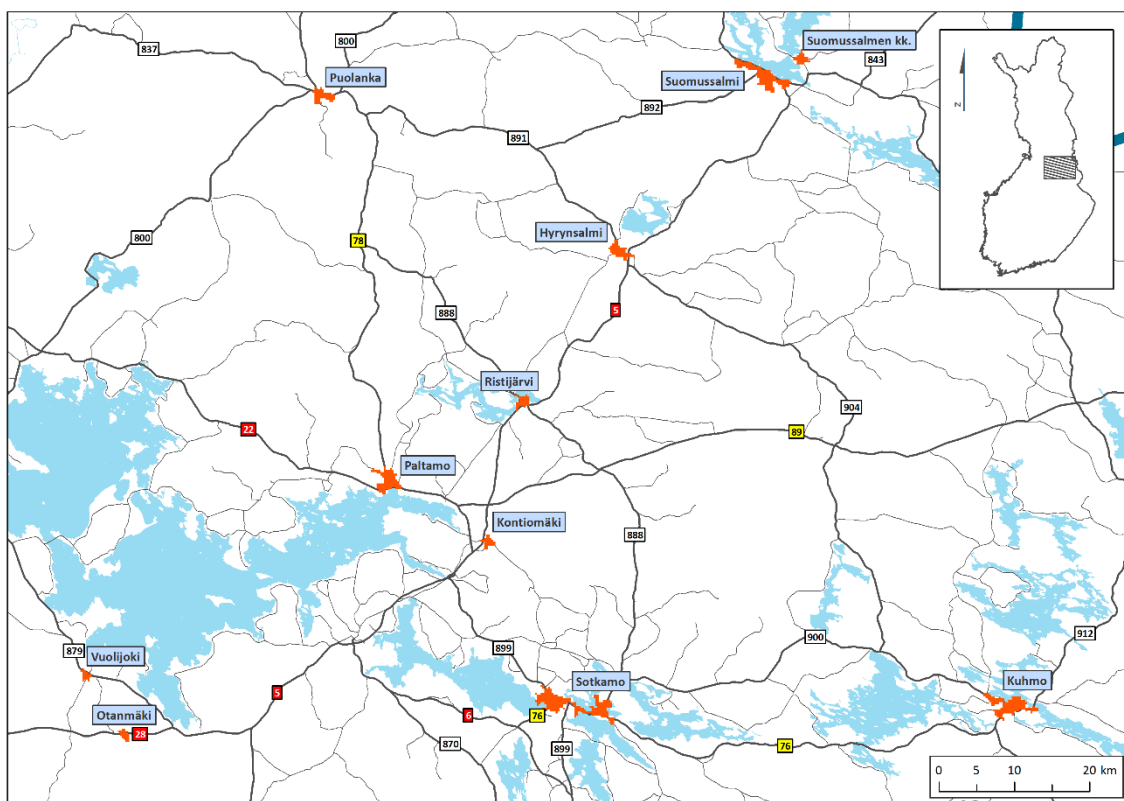
## Tutkimusalue

Tutkimuksen kohteena olevat taajamat sijaitsevat Kainuun maakunnassa. Vajaan 22 700 neliökilometrin laajuudessa Kainuussa oli vuoden 2017 lopulla noin 74 000 asukasta (Maanmittauslaitos 2018, Tilastokeskus 2018). Kainuu on pinta-alaltaan Suomen 19 maakunnasta kolmanneksi suurin ja asukasluvultaan kolmanneksi pienin. Maakuntakeskuksena toimii hieman yli 37 000 asukkaan Kajaani. Noin puolet maakunnan väestöstä asuu siis Kajaanissa, ja toinen puoli jakautuu maakunnan muiden kuntien, Hyrynsalmen, Kuhmon, Paltamon, Puolangan, Ristijärven, Sotkamon ja Suomussalmen kesken. Kainuun linja-autoliikenteen yhteydet suuntautuvat pääsääntöisesti kohti kuntakeskuksia sekä maakuntakeskus Kajaania (Miesmaa 2017). Erityisesti Kajaanista on tarjolla linja-autoyhteyksiä myös maakunnan ulkopuolelle. Kainuuta palvelee myös Kajaanin ja Paltamon kautta kulkeva rautatie sekä Kajaanissa sijaitseva lentoasema.

Kainuun alueella ajettava linja-autoliikenne poikkeaa luonteeltaan varsin paljon esimerkiksi suurten kaupunkien paikallisliikenteestä. Weiste ym. (2014) jakavat linja-autoliikenteen Suomessa kaukoliikenteeseen sekä kaupunkiseutuliikenteeseen. Kaukoliikenteeseen kuuluvat kaupunkiseutujen välillä liikennöitävä liikenne ja kaupunkiseutujen ulkopuolella liikennöitävä maaseutuliikenne. Kaupunkiseutuliikenne puolestaan käsittää kaupungin tai kaupunkiseudun sisällä liikennöitävän liikenteen, jolle ominaista ovat lyhyet matkat ja yhtenäinen lippujärjestelmä. Kainuun sisäinen joukkoliikenne täyttää kaupunkiseutuliikenteen määritelmän muun muassa yhtenäisen lippujärjestelmän osalta, mutta toisaalta matkat ovat pääsääntöisesti pitkiä ja suuri osa liikenteestä voidaan lukea maaseutuliikenteeksi.

Tässä työssä tarkasteltavaksi valittiin 11 Kainuun alueella sijaitsevaa asutuskeskusta. Lähtökohdaksi otettiin kunkin Kainuun kunnan keskustaajamat, pois lukien Kajaani. Projektin tarkoituksena oli sijainnin optimoinnin lisäksi tarkastella keskuspysäkkien palvelutasoa. Kajaaniin on suunniteltu rautatieaseman yhteyteen uutta matkakeskusta, joka valmistuessaan ottaa kunnan pääpysäkin aseman. Tästä syystä ei koettu olevan ajankohtaista tarkastella Kajaania tämän projektin puitteissa. Mukaan otettiin siis pääpysäkit seitsemästä kunnasta: Hyrynsalmi, Kuhmo, Paltamo, Puolanka, Ristijärvi, Sotkamo ja Suomussalmi. Lisäksi tarkasteluun päätettiin ottaa neljän Kainuun keskeisen asutuskeskuksen pääpysäkit. Näitä asutuskeskuksia ovat Otanmäki ja Vuolijoki

Kajaanissa, Kontiomäki Paltamossa sekä kirkonkylän taajama Suomussalmella. Työssä tarkastellut taajamat on esitetty kuvassa 1. Useimmilla tarkasteluun otetuista taajamista on selkeä pääpysäkki, joka toimii taajaman kautta kulkevan joukkoliikenteen solmu-kohtana (taulukko 1). Hyrynsalmella ja Otanmäessä tilanne ei kuitenkaan ole yhtä selvä. Molemmista voidaan nykyisellään katsoa olevan kaksi keskus pysäkkiä, Hyrynsalmella Hyrynsalmi tori ja Hyrynsalmi SEO, Otanmäessä Otanmäki Siwa ja Otanmäki SEO. Molemmista taajamissa Matkahuollon palveluita tarjotaan SEO-huoltoaseman yhteydessä. Hyrynsalmi tori ja Otanmäki Siwa puolestaan ovat keskeisemmällä paikalla taajamassa. Kummassakin taajamassa linja-autoliikenne kulkee nykyisin molempien pysäkkien kautta. Niinpä tässä työssä näiden taajamien kohdalla tarkastellaan molempia pysäkkejä. On hyvä huomata, että kaikista työssä esitellyistä pysäkeistä voi olla käytössä useita eri nimiä toimijasta riippuen. Tässä työssä pysäkeistä käytetään Digiroad-tietokantaan kirjattuja nimiä.



Kuva 1. Työssä tarkastellut taajamat. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2016, SYKE/YKR 2016.

Taulukko 1. Työssä tarkastellut taajamat ja niiden nykyiset keskuspaikat.

Kunta	Taajama	Taajaman tyyppi	Keskuspysäkki
Hyrynsalmi	Hyrynsalmi	Kunnan keskustaajama	Hyrynsalmi tori / Hyrynsalmi SEO
Kajaani	Otanmäki	Muu taajama	Otanmäki SEO / Otanmäki Siwa
Kajaani	Vuolijoki	Muu taajama	Vuolijoki MH
Kuhmo	Kuhmo	Kunnan keskustaajama	Kuhmo linja-autoasema
Paltamo	Paltamo	Kunnan keskustaajama	Paltamo
Paltamo	Kontiomäki	Muu taajama	Kontiomäki rautatieasema
Puolanka	Puolanka	Kunnan keskustaajama	Puolanka MH
Ristijärvi	Ristijärvi	Kunnan keskustaajama	Ristijärvi L/I
Sotkamo	Sotkamo	Kunnan keskustaajama	Sotkamo linja-autoasema
Suomussalmi	Suomussalmi	Kunnan keskustaajama	Suomussalmi linja-autoasema
Suomussalmi	Suomussalmen kirkonkylä	Muu taajama	Suomussalmi kk

## TEOREETTINEN VIITEKEHYS

### **Liikennemaantiede**

Liikennemaantiede (engl. transport geography) on maantieteen osa-alue, joka käsittelee rahdin, ihmisten ja informaation liikkuvuutta (Rodrigue ym. 2017). Sen pyrkimyksenä on ymmärtää liikkuvuuden spatiaalista järjestymistä tarkastelemalla rajoitteita ja ominaisuuksia suhteessa liikkeiden alku- ja loppupisteeseen, laajuuteen, luonteeseen sekä tarkoitukseen. Shaw ym. (2008: 4) tiivistävät liikennemaantieteen ytimen liikenteen spatiaalisten puolien tutkimukseksi ja jatkavat toteamalla, että liikenne on luontaisesti spatiaalista: liikenne syntyy, koska ihmisten ja tavaroiden täytyy päästä paikkoihin. Liikennejärjestelmät ovatkin yksinkertaisimmillaan ilmentymä tarpeesta yhdistää kysyntä ja tarjonta.

Rodrigue ym. (2017) katsovat liikennemaantieteen saaneen alkunsa talousmaantieteestä 1900-luvun puolenvälin jälkeen. 1960-luvulla kuljetuskustannukset nähtiin tärkeimpänä selittävänä tekijänä taloudellisten toimijoiden sijoittumisessa ja liikennemaantiede hyödynsi laajasti kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Sittenkin kuljetuskustannusten asema selittävänä tekijänä laski ja samalla liikennemaantieteen edustus talousmaantieteen piirissä väheni. 1990-luvulla nosti päätään ”uusi liikennemaantiede” ja liikenne alettiin käsittää solmujen, verkkojen ja kysynnän välisiä monimutkaisia suhteita kannattelevana järjestelmänä. Samaan aikaan liikennemaantieteen tutkimuskenttä laajeni perinteisten aiheiden ulkopuolelle.

Shaw'n ym. (2008) mukaan liikennemaantieteen tutkimus on vanhastaan keskittynyt kahteen osa-alueeseen. Toinen näistä on liikennejärjestelmien itsensä maantiede ja toinen liikenteen aikaansaamat vaikutukset. Ensimmäinen tutkailee muun muassa liikennejärjestelmien muotoa, rakennetta ja laajuutta sekä näihin vaikuttavia topografisia, taloudellisia, teknologisia, sosiopoliittisia ja spatiaalisia tekijöitä. Tutkimuskohteena voi olla esimerkiksi rahtiliikenteen ja varastojen sijoittuminen yhdysvaltalaisissa metropoleissa (Cidell 2010), lentoliikenteen verkko Kiinassa (Wang ym. 2011) tai joukkoliikennejärjestelmän aukkojen etsiminen Belgian Flandersissa (Fransen ym. 2015). Jälkimmäinen osa-alue pyrkii arvioimaan liikenteen vaikutusta muun muassa erilaisiin sosiaalisiin ja taloudellisiin ilmiöihin. Pitkään on tutkittu esimerkiksi liikenteen ja taloudellisen kehityksen välistä yhteyttä (esim. Lakshmanan 2011, Hakim & Merkert

2016). Viime vuosikymmeninä muun muassa liikenteen vaikutus ilmastonmuutokseen on ollut enenevässä määrin tutkimusten aiheena (esim. Marsden ym. 2014, Bakker ym. 2014). Sittemmin liikennemaantieteen tutkimusaiheet ovat edenneet näiden kahden perinteisen osa-alueen ulkopuolelle. Yksi esimerkki tästä on liikkuvuuden yksityiskohtaisempi tarkastelu, jonka Sheller ja Urry (2006) nimesivät ”uudeksi liikkuvuuksien paradigmaksi” (engl. new mobilities paradigm). Siinä keskitytään perinteisten auto-, lento- ja laivaliikenteen lisäksi esimerkiksi yksittäisten ihmisten ja informaation liikkuvuuteen. Tutkimuksessa katsotaan yhä enemmän liikkeen ”sisään” ja tarkastellaan muun muassa ihmisten matkatessa kohtaamiaan ja käyttämiään tiloja (Shaw ym. 2008). Tutkittu on esimerkiksi lasten kävelymahdollisuuksia kouluun (Christiansen ym. 2014), suurten elämäntapahtumien vaikutuksia liikkumiseen (Scheiner 2014) ja autoilijoiden käyttäytymistä reitinvalintatilanteissa (Ciscal-Terry ym. 2016).

Tutkimuskentän laajenemisesta huolimatta liikennemaantieteen ytimessä on edelleen tavoite parantaa liikkumisen tehokkuutta (Rodrigue 2017). Tähän tavoitteeseen päästäkseen liikennemaantieteilijät ovat omaksuneet suuren määrän usein kvantitatiivisia ja muilla tieteenaloilla kehitettyjä menetelmiä. Näitä menetelmiä ovat esimerkiksi tässäkin työssä hyödynnetyt verkkoanalyysi eli graafiteoria, paikkatietojärjestelmät (GIS) sekä niin sanottu sijainti-allokointi (engl. location-allocation).

## **Paikkatietojärjestelmät**

Paikkatietojärjestelmät (Geographic Information Systems, GIS) ovat tietokonejärjestelmiä, joita käytetään geospaatialisen tiedon eli paikkatiedon tallentamiseen, säilytykseen, analysointiin ja esittämiseen (Chang 2017). Paikkatiedolla tarkoitetaan tietoa, joka sisältää sekä kohteen maantieteellisen sijainnin että kohteeseen liitettyjä ominaisuustietoja. Esimerkiksi tässä työssä käytetty Digiroad-pysäkkiaineisto sisältää bussipysäkkien sijainnin koordinaatteina sekä ominaisuustietoja, kuten pysäkin nimen ja ylläpitäjän. Ensimmäiset paikkatietojärjestelmät kehitettiin jo 1960-luvulla (Shuurman 2004, Longley 2008), mutta laajemmin ne alkoivat yleistyä vasta 1980- ja 1990-luvuilla kotitietokoneiden ja graafisten käyttöliittymien siivittämänä (Chang 2017). Nykyään paikkatietojärjestelmät ja niitä hyödyntävät sovellukset nojaavat yhä vahvemmin internetiin ja toimivat perinteisten tietokoneiden sijasta kannettavissa laitteissa,

esimerkiksi älypuhelimissa. Paikkatietoa voidaan kerätä kannettavien satelliitti-paikannuslaitteiden avulla (Schoenau & Müller 2017) tai vaikkapa sosiaalisen median palveluista (Heikinheimo ym. 2017). Kuten Longley (2008) asian ilmaisee, paikkatietojärjestelmät tarjoavat ympäristön, jossa paikkatietoja voidaan kerätä ja analysoida sekä lopulta tuottaa digitaalisia esityksiä, jotka yksinkertaistavat oikean maailman monimutkaisuutta. Tämä ei ainoastaan auta meitä ymmärtämään, miltä maailma näyttää mutta myös, miten maailma toimii. Paikkatietojärjestelmiä voidaan hyödyntää lähestulkoon kaikilla aloilla. Muutamia esimerkkejä käyttökohteista ovat ilmastotutkimus (Hijmans ym. 2005), biodiversiteetin suojelu (Scott 1993), metsien inventointi (Store & Antikainen 2010), kansanterveyden parantaminen (Näyhä ym. 2013), turismin tutkimus (Edwards & Griffin 2013) ja rikollisuuden torjunta (Balogun ym. 2014).

Paikkatietojärjestelmiä käytetään myös liikennemaantieteen tutkimuksessa. Paikkatietojärjestelmien avulla on tehty työtä muun muassa liikenneonnettomuuksien vähentämiseksi (Yao ym. 2016) ja yhteiskäyttöpyöräjärjestelmien kehittämiseksi (O'Brien ym. 2014). Liikenteen tutkimuksessa hyödynnetyistä periaatteiden ja sovellutusten kokonaisuudesta voidaan käyttää lyhennettä GIS-T (Geographic Information Systems for Transportation, Shaw & Rodrigue 2017). Paikkatietojärjestelmien perustyökalujen lisäksi GIS-T:n valikoimaan on kehitetty useita nimenomaan liikennekysymysten ratkaisemiseen soveltuvia työkaluja. Nämä työkalut ratkovat esimerkiksi lyhimmän reitin löytämisen ongelmaa (esim. Salonen & Toivonen 2013) ja palveluiden optimaalisen sijoittamisen ongelmaa (esim. Carling ym. 2013, Yu ym. 2013). Ehkä tunnetuin GIS-T-menetelmien sovellutus ovat jokaisesta älypuhelimesta löytyvät reittiopastustoiminnot.

## **Saavutettavuus**

Saavutettavuus on tämän tutkimuksen keskeisin käsite. Farrington ja Farrington (2005) jäljittävät käsitteen synnyn Britanniaan, jossa 1950-luvun jälkeen havahduttiin joukkoliikenteen ja muiden julkisen sektorin palveluiden vähenemiseen maaseudulla. Sittenkin saavutettavuutta on määritelty eri tavoin ja eri näkökulmista. Moseleyn (2003: 106) mukaan saavutettavuus mittaa ihmisten kykyä saavuttaa tai tavoittaa asioita. Farrington ja Farrington (2005: 2) määrittelevät käsitteen ihmisten kyvyksi tavoittaa ja

ottaa osaa mahdollisuuksiin ja aktiviteetteihin. Hieman eri linjalla ovat Rodrigue ym. (2017: 340), joiden mukaan saavutettavuus mittaa sijainnin kykyä saavuttaa muita sijainteja tai olla saavutettavissa niistä. Näiden määritelmien ero on siinä, näkevätkö ne saavutettavuuden olevan ihmisiin vai paikkoihin sidottu ominaisuus. Neutens (2017) huomauttaakin, että tämä katsantokantojen ero näkyy useissa määritelmissä, mutta yhteisenä tekijänä toimii saavutettavuuden kytkeminen potentiaaliin tavoittaa spatiaalisesti hajallaan olevia aktiviteetteja. Farrington (2007: 320) toteaa kuitenkin, että saavutettavuudella on paljon tekemistä niin sijainnin tai paikan kuin ihmistenkin kanssa. Paikkojen saavutettavuus määritellään suhteessa ihmisiin, jotka puolestaan omaavat erilaiset olosuhteet ja joilla näin on erilaiset mahdollisuudet saavuttaa paikkoja. Nämä olosuhteet vaihtuvat esimerkiksi ihmisten iän, varakkuuden ja terveyden mukaan. Toisaalta ihmisiin vaikuttavat olosuhteet eivät ole kaikki kaikessa, vaan ihmisten sijainti kullakin hetkellä vaikuttaa suuresti heidän kokemaansa saavutettavuuteen.

Moseley (1979) erittelee toisistaan sosiaalisen ja fyysisen saavutettavuuden. Sosiaalisesta saavutettavuudesta on kyse esimerkiksi tilanteessa, jossa henkilön osaamistaso määrittelee, onko jokin työpaikka hänen saavutettavissaan. Sosiaalista saavutettavuutta ovat myös aiemmin mainittujen iän ja varakkuuden mukanaan tuomat mahdollisuudet, tai esteet, saavuttaa jokin asia tai paikka. Saavutettavuus onkin keskeinen tekijä sosiaalisen oikeudenmukaisuuden määrittymisessä (Farrington 2007). Saavutettavuudella on suuri merkitys taloudellisten erojen muotoutumisessa, ja köyhyyden voidaan katsoa olevan sekä huonon saavutettavuuden osatekijä että seuraus. Esimerkiksi jos henkilöllä ei ole varaa henkilöautoon, hän on sidottu julkisen liikenteen käyttöön ja hänen kykynsä tavoittaa erilaisia mahdollisuuksia, kuten työpaikkoja, edullisia ostospaikkoja ja sosiaalisia verkostoja, voi rajoittua. Ja mikäli henkilö ei näitä mahdollisuuksia kykene tavoittamaan, hänen tulotasonsa on puolestaan vaarassa rajoittua. Saavutettavuuden ja tulotason yhteyttä on tutkittu paljon, muun muassa Sri Lankassa (Ahlström ym. 2011), Kolumbiassa (Guzman ym. 2017) ja Yhdysvalloissa (Grenns 2010, Fan ym. 2012).

Sosiaalista saavutettavuutta enemmän tässä tutkielmassa ollaan kiinnostuneita fyysisestä saavutettavuudesta ja saavutettavuuteen viitattaessa tarkoitetaan pääsääntöisesti nimenomaan fyysistä saavutettavuutta. Fyysinen saavutettavuus mittaa paikkojen ja asioiden tavoitettavuutta spatiaalisessa ulottuvuudessa eli se liittyy

olennaisesti ihmisten fyysiseen liikkumiseen, esimerkiksi kävellessä, polkupyörällä, autolla tai lentokoneella. Moseley (1979) huomauttaa kuitenkin, että fyysistä saavutettavuutta ei pidä sekoittaa liikkuvuuteen, jolla viitataan yksinkertaisesti ihmisten kykyyn liikkua. Liikkuvuus riippuu muun muassa yksilön fyysisistä ominaisuuksista ja hänen mahdollisuuksistaan hyödyntää liikennevälineitä tai sopivaa infrastruktuuria. Saavutettavuuskin riippuu näistä tekijöistä, mutta lisäksi myös mahdollisuuksista, joita yksilölle voi tarjoutua liikkumisen seurauksena. On siis mahdollista, että ihmisen henkilökohtainen liikkuvuus on korkealla tasolla, mutta hänen kokemansa saavutettavuus on huono, kuten Moseleyn (2003: 106) antamassa esimerkissä: Suurella saarella asuvan kahden auton kotitalouden liikkuvuus on hyvä, mutta mantereella sijaitsevien palveluiden saavutettavuus heidän osaltaan heikko. Toisaalta heikon liikuntakyvyn takia kotiinsa sidoksissa olevan henkilön kokema saavutettavuus voi olla hyvällä tasolla, jos hänen tarvitsemansa asiat ja palvelut toimitetaan hänelle kotiin. Saavutettavuudesta voidaankin erottaa kolme elementtiä: ihminen, toiminta, joka toivotaan saavutettavan sekä linkki näiden kahden välillä.

Rodrigue ym. (2017) puolestaan katsovat saavutettavuuden nojaavan kahteen ydinkäsitteeseen: sijaintiin ja etäisyyteen. Kaikki sijainnit ovat suhteellisia verrattuna toisiin sijainteihin. Muutokset esimerkiksi liikennejärjestelmissä muuttavat sijaintien välisiä suhteita ja näihin sijainteihin liittyvien saavutettavuuksien tasoja. Nämä tasoerot johtavat siihen, että toiset sijainnit nähdään arvokkaampina kuin toiset. Sijaintien välisestä fyysisestä erosta voidaan johtaa etäisyyden käsite. Etäisyyttä kuvataan liikkumiseen aiheuttamalla ”kitkalla”. Tätä ”kitkaa”, josta käytetään myös nimityksiä impedanssi ja matkan kustannus, voidaan mitata esimerkiksi pituutena, aikana, hintana, kulutettuna energiana tai tuotettuina päästöinä (ks. esim. Vasconcelos & Farias 2012, Zahabi ym. 2012, El-Geneidy ym. 2016, Hawas ym. 2016).

Tässä tutkielmassa saavutettavuutta tarkastellaan joukkoliikennepysäkkien, siis paikkojen, ominaisuutena. Kullekin pysäkille ei kuitenkaan voida määritellä vain yhtä saavutettavuuden tasoa, vaan saavutettavuus vaihtelee muun muassa liikkumisvälineen ja saavutettavuuden kokevan henkilön mukaan. Analyysissä jokaiselle tarkastellulle sijainnille määriteltiin kaksi erilaista saavutettavuuden tasoa: saavutettavuus kävellessä ja saavutettavuus polkupyörällä. On selvää, että ihmisten kokema pysäkin saavutettavuus



vaihtelee heidän liikkumismahdollisuuksiensa mukaan. Suuri vaikutus on esimerkiksi sillä, voiko henkilö liikkua polkupyörällä vai ei.

## **Graafiteoria**

Nykyisin paikkatietojärjestelmillä suoritettavat saavutettavuustarkastelut nojaavat vahvasti matematiikan osa-alueeseen, jota kutsutaan graafiteoriaksi (engl. graph theory) tai verkkoanalyysiksi (engl. network analysis). Graafiteoria tutkii nimensä mukaisesti graafeja, jotka ovat, yksinkertaisesti ilmaistuna, verkon ja sen yhteyksien symbolisia esityksiä (Rodrigue & Ducruet 2013: 307). Graafin tavoitteena on kuvata kohteena olevan verkon rakenne, ei niinkään sen ulkomuotoa. Graafilla voidaan kuvata lukuisia erilaisia verkkoja, esimerkiksi internetiä serverineen ja niiden välisine yhteyksineen tai raide-liikenneverkkoa asemineen ja raiteineen. Tässä työssä graafiteorian avulla käsitellään tieverkkoa, jota pitkin matkustajat kulkevat saavuttaakseen joukkoliikennepysäkin.

Graafin muodostamisessa käytetään kahta peruselementtiä, solmuja ja janoja (Rodrigue & Ducruet 2013). Esimerkiksi tämän työn tapauksessa jokaisesta pysäkestä ja liikenneverkon risteyksestä muodostetaan solmukohta eli noodi (engl. node). Toisessa vaiheessa nämä solmukohdat yhdistetään toisiinsa suoralla janalla. Tätä perusrakennetta voidaan tarvittaessa monipuolistaa esimerkiksi lisäämällä solmukohtia, jotka eivät ole pysäkkejä tai risteyskohtia. Näillä solmukohdilla voidaan esimerkiksi erotella tiestä kohdat, joissa kaistojen määrä tai nopeusrajoitus muuttuu. Abstraktin graafin avulla todellisuudessa hyvinkin monimutkainen verkko voidaan esittää selkeänä kokonaisuutena.

Graafi mahdollistaa monimutkaisen verkon tarkastelun ja muun muassa lyhimmän reitin etsimisen verkon pisteestä toiseen. Tällaisessa käyttötarkoituksessa tärkeitä graafien erikoistapauksia ovat suunnattu graafi (engl. directed graph) ja painotettu graafi (engl. weighted graph). Suunnatussa graafissa janoille on määritelty kulkusuunta, jota vastaan ei graafissa voida liikkua (Marcus 2011). Painotetussa graafissa puolestaan jokaiselle janalle määritellään numeerinen painoarvo, joka kuvaa esimerkiksi solmujen välisen matkan kustannusta. Nämä kaksi graafin ominaisuutta voivat esiintyä myös samassa graafissa, kuten tässä työssä käytetyssä tieverkon mallissa.

## **Linja-autopysäkkien sijaintien optimointi kirjallisuudessa**

Iso osa saavutettavuustutkimuksista on perinteisesti keskittynyt vain yhteen liikkumismuotoon, henkilöautoon (Salonen & Toivonen 2013). Yhteiskuntien pyrkiessä edistämään kestävien liikkumismuotojen käyttöä on joukkoliikenne saanut kuitenkin yhä enemmän mielenkiintoa osakseen myös saavutettavuustutkimuksen kentällä. Joukkoliikennematkat eroavat ratkaisevasti henkilöautolla tehdyistä matkoista siinä, että ne ovat käytännössä aina multimodaalisia eli joukkoliikenteen lisäksi käytetään vähintään yhtä liikkumismuotoa, esimerkiksi kävelyä tai pyöräilyä. Joukkoliikenteen saavutettavuustutkimuksessa tarkastellaankin usein multimodaalisia matkaketjuja, jotka koostuvat matkasta lähtöpisteestä joukkoliikennepysäkille, joukkoliikennevälineellä taitetusta matkasta sekä matkasta joukkoliikennepysäkiltä päätepisteeseen (ks. esim. Arentze & Molin 2013, Kumar ym. 2013, Yap ym. 2016).

Linja-autoliikenteen saavutettavuudessa avainasemassa ovat pysäkit, jotka tarjoavat matkustajille mahdollisuuden nousta auton kyytiin ja sieltä pois. Yleinen tutkimuskohde ovatkin pysäkit, niiden sijoittaminen ja ihanteellinen lukumäärä (esim. Chien & Qin 2004, Delmelle ym. 2012, Huang & Liu 2014). Chen ym. (2018) toteavat tutkimuksissa vahvistetun, varsin järkeenkäyvästi, että kun matka pysäkille kasvaa, kokonaismatkustajamäärä laskee. Toisaalta, mikäli pysäkkejä on reitin varrella liikaa, linja-auton kulku hidastuu ja matka-aika pitenee. Tämä seikka tuottaakin varsin vaikean yhtälön, jonka ratkaisemiseksi on kirjallisuudessa esitetty lukuisia eri menetelmiä ja näkökulmia.

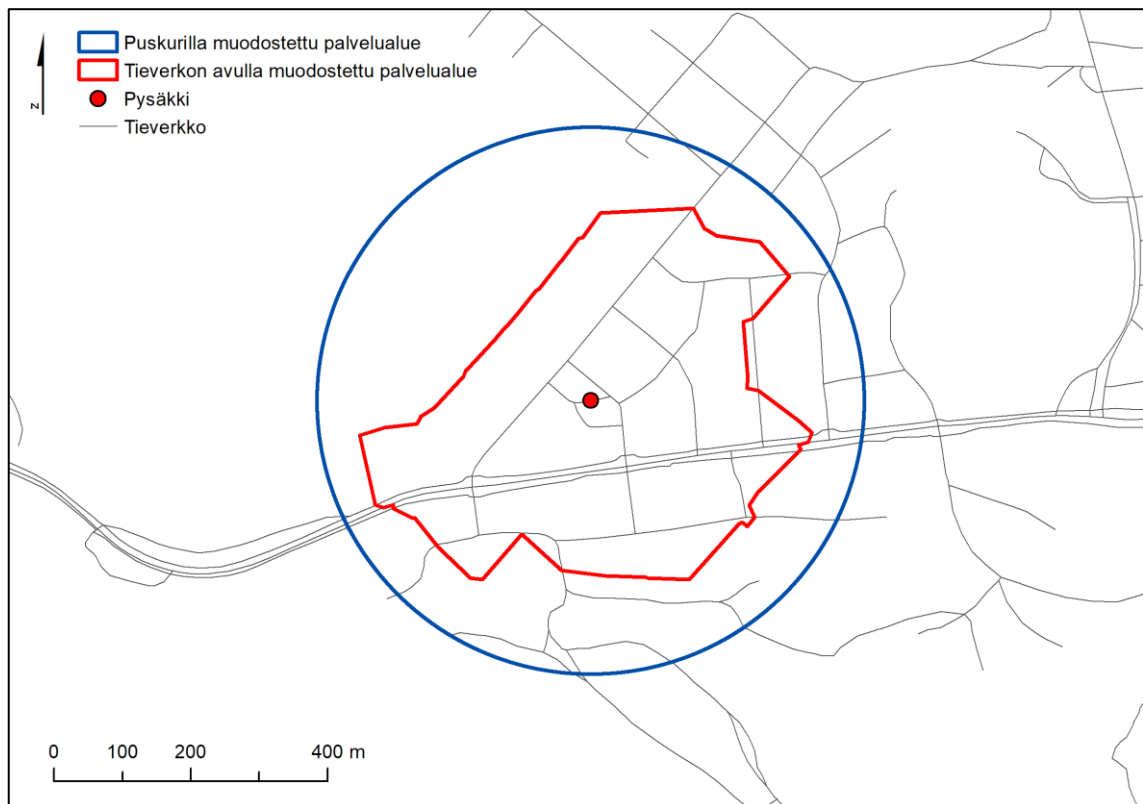
Yleensä optimointia tarkastellaan joko liikenteen järjestäjän tai matkustajien näkökulmasta. Moura ym. (2012) pyrkivät tutkimuksessaan minimoimaan liikenteen järjestäjän kustannukset optimoimalla pysäkkien sijainnit linja-auton mahdollisimman sujuvan liikkumisen saavuttamiseksi. Myös Tirachini (2014) pyrki saamaan linja-autoreitistä mahdollisimman tehokkaan arvioimalla todennäköisyyden, jolla linja-auto joutuu kullakin pysäkillä pysähtymään. Delmelle ym. (2012) puolestaan etsivät linja-auton reitiltä ”turhimpia” pysäkkejä optimoidakseen pysäkkiketjun. Matkustajien näkökulmaan keskittyivät esimerkiksi Ceder ym. (2015), jotka tarkastelivat pysäkkien optimointia mäkisessä kaupunkiympäristössä Aucklandissa, Uudessa-Seelannissa. Foth ym. (2013) puolestaan arvioivat linja-autopysäkkien sijoittumisen tasa-arvoisuutta

Torontossa, Kanadassa tarkastelemalla eri asuinalueiden keskimääräisiä tulotasoja ja joukkoliikenteen saavutettavuutta. Osassa tutkimuksista yhdistetään sekä joukkoliikenteen järjestäjän että matkustajien näkökulma. Yksi mahdollisuus tähän on optimoida pysäkkien sijainnit siten, että järjestelmän yhteiskunnallinen hinta, eli liikenteen järjestäjälle ja matkustajille koituvien kulujen summa, on mahdollisimman pieni (Chien & Qin 2004, Ibeas ym. 2010).

Chen ym. (2018) katsovat, että haluttaessa kehittää linja-autojen palveluverkoston saavutettavuutta voidaan suunnittelua lähestyä kahdella tapaa: joko suunnitella autoille uudet reitit sijoittaen pysäkit suunnittelualueelle vapaasti tai etsiä pysäkeille uudet sijoituspaikat olemassa olevien reittien varrella. Ensimmäinen tapa tarjoaa paremman mahdollisuuden pysäkkien optimaaliseen sijoittamiseen (ks. esim. Chien ym. 2003, Huang & Liu 2014). Usein olemassa olevia reittejä on kuitenkin käytännössä hankala muuttaa. Tällöin päädytään optimoimaan pysäkkien sijainnit olemassa olevien reittien varrella (ks. esim. Chien & Qin 2004, Delmelle ym. 2012)

Oli lähestymistapa kumpi tahansa, olennaista on tarkastella nimenomaan pysäkkien saavutettavuutta. Tarkasteltaessa saavutettavuutta paikkatietojärjestelmillä, hyödynnetään yleensä joko pysäkin ympärille muodostettua ympyrän muotoista puskuria (engl. buffer) tai todellisen tieverkon perusteella muodostettua verkkoaineistoa (Gutiérrez & García-Palomares 2008: 481). Käytettäessä puskuria etäisyys pysäkestä mitataan suoraa viivaa pitkin eli niin sanottuna euklidisena etäisyytenä. Toisessa tapauksessa etäisyys puolestaan mitataan graafiteorian oppeja hyödyntäen verkkoa pitkin. Gutiérrez ja García-Palomares (2008) esittävät puskurien eduksi yksinkertaisen toteutuksen, mutta huomauttavat, että puskuriin perustuvilla analyyseillä on taipumus yliarvioida pysäkkien todellinen palvelualue ja samalla palvelualueen asukasluku (kuva 2). Pysäkillä matkaa tekevä ihminen kun ei todellisuudessa matkusta kotoaan suoraa viivaa pitkin pysäkillä, vaan joutuu käyttämään olemassa olevaa tieverkkoa. Verkkoa hyödyntävä analyysi onkin puskurianalyysiä kehittyneempi ja suositeltavampi menetelmä (Foda & Osman 2010, Mavoja ym. 2012, El-Geneidy ym. 2014). Tieverkon käyttäminen analyysissä mahdollistaa puskuria tarkemman arvion lisäksi matkan kustannuksen mittaamisen pituuden sijasta aikana. Tämä, yhdessä tieosuuksille määriteltävien rajoitusten ja ominaisuuksien kanssa, mahdollistaa eri liikkumismuotojen välisten saavutettavuus-

erojen tarkastelun. Esimerkiksi tässä tutkimuksessa pysäkeille määritetään saavutettavuudet sekä kävellen että polkupyörällä.



Kuva 2. Puskurin ja tieverkon avulla muodostettujen palvelualueiden ero. Molemmat palvelualueet on muodostettu käyttäen etäisyytenä 400 metriä. Tieverkkoa pitkin mitattuna 400 metrin palvelualue muodostuu huomattavasti pienemmäksi kuin euklidisen etäisyyden mukaan muodostettu palvelualue. Aineisto: Digiroad 2017.

## Kävely ja pyöräily liityntäliikennemuotoina

Pysäkkien saavutettavuutta tutkittaessa on olennaista määritellä, kuinka kaukaa ihmiset ovat valmiita pysäkille kulkemaan. Optimoinnissa päästään realistisiin tuloksiin vain, jos tehdyt oletukset ihmisten taittamasta matkasta joukkoliikennepysäkille vastaavat todellisuutta. Tässä tutkimuksessa kussakin taajamassa suoritettiin kaksi saavutettavuusanalyysiä. Toisessa liityntäliikennemuotona toimi kävely ja toisessa pyöräily. Analyyseissä käytetyt ”liityntäetäisyydet” haettiin alan kirjallisuudesta.

Kirjallisuudessa eniten käsitelty liikkumismuoto kohti joukkoliikenteen pysäkkiä ja sieltä pois on kävely. Gutiérrezin ja García-Palomaresin (2008) mukaan kävely onkin suosituin liikkumismuoto pysäkkien saavuttamiseksi. Sama pätee myös Suomessa, jossa 95 prosenttia joukkoliikenteellä tehtävistä matkoista joko alkaa tai päättyy kävellen (Liikennevirasto 2018). Useat tutkimukset käyttävät kävelyä

tarkasteltaessa matkaa väliltä 400–800 metriä tai matka-aikaa väliltä 10–15 minuuttia (Wibowo & Olszewski 2005, Ibeas ym. 2010, Moniruzzaman & Páez 2012). Yleisin yksittäinen tutkimuksessa ja suunnittelussa käytetty lukema kohtuulliselle kävely-matkalle linja-autopysäkillä on 400 metriä (esim. Murray 2003, Horner & Murray 2004, Delmelle ym. 2012, Chia ym. 2016). Tätä lukemaa ”universaalina ratkaisuna” on kuitenkin myös kritisoitu. Danielsin ja Mulleyn (2013) tutkimuksessa Sydneyn alueella Australiassa keskimääräiseksi kävelyetäisyydeksi joukkoliikennepysäkillä havaittiin 573 metriä. Burke ja Brown (2007) mittasivat Australian Brisbanessa linja-autopysäkillä käveltävien matkojen mediaaniksi 440 metriä. Toisaalta 85 prosenttia ihmisistä oli valmiita kävelemään pysäkillä yli kilometrin. El-Geneidy ym. (2014) havaitsivat Montrealissa, Kanadassa, että 85 prosenttia linja-autopysäkeille tehdyistä kävely-matkoista oli pituudeltaan 524 metriä tai alle. Samassa tutkimuksessa ihmisten todettiin kävelevän pidemmälle, mikäli he siten pystyivät välttämään linjanvaihdon. Kävelymatka oli myös sitä pidempi, mitä pidempään linja-automatkaan se liittyi. Chenin ym. (2018) mukaan kävelymatkan pituuteen vaikuttavat monet paikalliset tekijät ja kaupunkien keskustoissa pysäkkien tulisi olla lähempänä kuin esikaupunkialueilla.

Polkupyörällä joukkoliikennepysäkillä kulkeminen on huomattavasti vähäisempää kuin kävelen. Suomessa vain yksi prosentti liityntämatkoista tehdään polkupyörällä (Liikennevirasto 2018). Toisenlaisiakin esimerkkejä toki on. Givonin ja Rietveldin (2007) mukaan Alankomaissa 38 prosenttia junalle ja kymmenen prosenttia junalta pois tehtävistä matkoista taitetaan polkupyörällä. Junan ja linja-auton liityntä-liikenteet eivät tietenkään ole suoraan verrattavissa, koska polkupyörän kuljettaminen linja-autossa voi olla matkustajalle haasteellista tai jopa mahdotonta. Toisaalta liityntäliikennettä polkupyörällä voidaan tukea esimerkiksi asentamalla linja-autopysäkillä kunnollinen pyöräteline. Polkupyörän tukeminen liityntäliikennevälineenä voikin olla kannattavaa, sillä se laajentaa pysäkin ”vaikutusaluetta” huomattavasti verrattuna kävelyyn ja sen vaatimat taloudelliset panostukset ovat huomattavasti pienemmät kuin henkilöautojen pysäköintipaikkojen rakentaminen pysäkkien yhteyteen tai liityntäliikenteen järjestäminen linja-autoilla (Pucher & Buehler 2009).

Polkupyörän suhteellinen harvinaisuus liityntäliikenteen liikkumismuotona on varmasti syy siihen, miksi aiheeseen liittyviä tutkimuksia ei juurikaan ole löydettävissä. Esimerkiksi Heinen ja Bohte (2014) eivät löytäneet yhtään tutkimusta, joka yhdistäisi

saavutettavuuden ja polkupyörän liityntäliikennemuotona. Myös Iacono ym. (2010) totesivat, että aihetta on tutkittu harmillisen vähän. Jäppinen ym. (2013) tutkivat yhteiskäyttöpyörien vaikutuksia joukkoliikenteen matka-aikoihin pääkaupunkiseudulla. He totesivat yhteiskäyttöpyöräjärjestelmän lyhentävän selvästi matka-aikoja. Geurs ym. (2016) puolestaan tutkivat pyöräilyä liikkumismuotona junien liityntäliikenteessä. He havaitsivat viiden minuutin lyhennyksen pyörämatkassa nostavan junien käyttäjämääriä 16 prosenttia. Samassa tutkimuksessa todettiin myös pyöräilijöiden matkaavan juna-asemalle tyypillisesti 10–15 minuutin tai 1,5–3,5 kilometrin päästä.

Tämän tutkimukset analyysit on suoritettu siten, ettei yli kymmenen minuutin matkan päässä pysäkiltä asuvia ihmisiä oteta huomioon. Kymmenen minuuttia vastaa kävelyanalyyseissä 700 metriä ja pyöräilyanalyyseissä kolmea kilometriä. Nämä lukemat ovat jonkin verran suurempia kuin suuressa osassa tehdystä tutkimuksesta. Suuri osa tutkimuksista on kuitenkin tehty urbaanissa ympäristössä, jossa pysäkkien odotetaan yleensä olevan lähempänä kuin maaseutumaisemmassa ympäristössä (Chen ym. 2018). Kainuun alueella tehtävät linja-automatkat ovat myös huomattavasti pidempiä kuin yleensä tarkastellut paikallisliikenteen matkat, minkä voidaan osaltaan katsoa lisäävän ihmisten valmiutta taittaa pidempiä matkoja joukkoliikennepysäkille (El-Geneidy ym. 2014). Vaikka jotkut joukkoliikenteen käyttäjät ovat tutkimuksien mukaan valmiita taittamaan kymmentä minuuttia huomattavasti pidempiäkin matkoja joukkoliikennepysäkille, todettiin kymmenen minuuttia sopivaksi raja-arvoksi tämän tutkimuksen asetelmassa. Kymmentä minuuttia voidaan pitää aikana, jonka suuri osa joukkoliikenteen käyttäjistä on valmis kulkemaan pysäkille, mutta jota kauempaa pysäkille kulkeminen kävellen tai polkupyörällä käy yhä harvinaisemmaksi.

## AINEISTO

### **YKR – väestöaineisto ja taajamarajaukset**

Yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmä (YKR) on Suomen ympäristökeskuksen (SYKE) ja Tilastokeskuksen yhteistyössä kehittämä tietojärjestelmä, joka pitää sisällään yhdyskuntarakenteen eri ominaisuuksia kuvaavan valtakunnallisen paikkatietoaineiston (Ymparisto.fi 2017b). Tilastoruuduista koostuvat aineistot sisältävät tietoa muun muassa väestöstä, työvoimasta, työpaikoista ja rakennuksista (Ymparisto.fi 2016). Osa YKR:ää ovat SYKE:n muodostamat yhdyskuntarakenteen aluejaot, joissa ruutuja on luokiteltu esimerkiksi taajamiin, kylämäisiin alueisiin tai maaseutualueisiin.

Tässä työssä on käytetty YKR:n väestöaineistoa vuodelta 2015 sekä YKR:n aluejakojen taajama-aineistoa vuodelta 2016. Väestöaineisto sisältää tiedot kussakin ruudussa asuvasta väestöstä iän ja sukupuolen mukaan jaettuna kooltaan 250 m x 250 m ruutuihin. Tässä työssä on tarkasteltu kuitenkin vain ruutujen kokonaisväestöä väestöryhmiä erittelemättä. Taajama-aineisto on muodostettu niin ikään 250 m x 250 m ruuduissa (Ymparisto.fi 2017a). SYKE:n aineistossa taajamiksi luokitellaan taajaan rakennetut alueet, joissa asuu vähintään 200 ihmistä. Väestömäärän lisäksi taajamia rajattaessa on otettu huomioon rakennusten lukumäärä, kerrosala ja keskittyneisyys. YKR:n taajamarajauksen avulla rajattiin tässä työssä tarkastellut taajamat ja niissä sijaitsevat joukkoliikenteen pysäkit.

### **Digiroad – tieverkko- ja pysäkkiaineisto**

Digiroad on Liikenneviraston ylläpitämä tietojärjestelmä, joka sisältää Suomen teiden ja katujen keskilinjageometriat sekä tiestöön ja liikenteeseen liittyviä ominaisuustietoja (Digiroad 2017). Aineisto kattaa niin autotiet, ajopolut, autoille tarkoitettua lautta- ja lossiyhteydet kuin kevyen liikenteen väylätkin. Keskilinjageometriat koostuvat tie- ja katuverkon osia edustavista viivamaisista tielinkeistä, jotka yhdistyvät toisiinsa päätepisteissään. Tielinkkien pituus on yleensä yksi liittymäväli, mutta linkkejä voi olla lyhyempiäkin. Tielinkeihin on liitetty ominaisuustietoja, jotka kertovat esimerkiksi tien omistajasta tai liikennevirran suunnasta. Lisäksi tielinkeihin on liitetty viivamaisia ja pistemäisiä ominaisuustietoja, jotka ovat voimassa vain tielinkin tiettyssä osassa.

Viivamaisilla ja pistemäisillä ominaisuustiedoilla ei ole omaa geometriaa, vaan niiden sijainti ilmoitetaan niin sanotun M-arvon avulla (Digiroad 2017). M-arvo ilmoittaa ominaisuuden etäisyyden tielinkin päätepisteistä, joten ominaisuuden sijainti on määritettävissä tielinkin geometrian avulla. Viivamaisilla ominaisuustiedoilla (esimerkiksi nopeusrajoitus) on kaksi M-arvoa, alku- ja loppuarvo. Alkuarvolla tarkoitetaan etäisyyttä tielinkin alusta ominaisuustiedon alkupisteeseen ja loppuarvolla etäisyyttä tielinkin alusta ominaisuustiedon loppupisteeseen. Pistemäisillä ominaisuustiedoilla (esimerkiksi suojatie) on vain yksi M-arvo, joka ilmaisee kohteen etäisyyden tielinkin alkupisteeseen.

Digiroad on saatavilla kahdessa eri toimitusmuodossa, R- ja K-irrotuksena (Digiroad 2017). Digiroad R -toimitusmuodossa pistemäisille ja viivamaisille ominaisuustiedoille on luotu oma geometria, mikä mahdollistaa niiden hyödyntämisen ilman tielinkkejä. Digiroad K -toimitusmuodossa tielinkit on pilkottu viivamaisten ominaisuustietojen kanssa yhtenäisiin osiin. Tämä tarkoittaa sitä, että kullakin viivamaisella ominaisuustiedolla, kuten nopeusrajoituksella, on yhden tielinkin osan kohdalla vain yksi arvo. Tämä helpottaa muun muassa saavutettavuusanalyyseissä tarvittavan matka-ajan laskemista kullekin tielinkin osalle.

Kukin Digiroad-julkaisu sisältää myös erillisen paketin joukkoliikenteen pysäkeille. Pysäkkiaineisto koostuu pistemäisistä kohteista, joihin liitetyt ominaisuustiedot kertovat muun muassa pysäkin nimen ja sijaintikunnan. Aineisto sisältää tietoa myös pysäkkien palvelutasosta, esimerkiksi löytyykö pysäkiltä penkki tai katos.

Tässä työssä on käytetty Digiroadin julkaisua 2/2017 sen K-toimitusmuodossa, rajattuna Kainuun maakunnan alueelle. Saavutettavuusanalyyseissä käytetty tielinkeistä koostuva verkko muodostettiin koko Kainuun laajuiseksi. Pysäkkiaineistosta rajattiin käyttöön kunkin taajaman kohdalla taajama-alueella sijaitsevat pysäkit.



## MENETELMÄT

Tutkimuksessa käytetyt saavutettavuusanalyysit suoritettiin ArcMap-ohjelmiston versiolla 10.4.1, tarkemmin sen Network Analyst -lisäosalla. Lisäosan sisältämistä työkaluista käytettiin Location-Allocation- sekä Service Area -työkaluja. Location-Allocation-työkalulla tehtiin varsinainen pysäkkien sijaintien optimointi, ja Service Area -työkalulla havainnollistettiin pysäkkien potentiaalisten käyttäjien maantieteellistä sijoittumista. Molempien työkalujen osalta oleellinen termi on impedanssi, joka kuvaa matkanteon kustannusta (engl. cost). Saavutettavuusanalyyseissä paras reitti on se, jonka kustannus on pienin. Kustannusta voidaan mitata esimerkiksi matkan pituutena, matka-aikana tai kulutettuna energiana. Tässä työssä impedanssina käytettiin matka-aikaa. Sekä Location-Allocation- että Service Area -työkalussa lyhimmän reitin löytäminen perustuu niin kutsuttuun Dijkstran algoritmiin (Esri 2016), jonka toimintaperiaatteet avataan seuraavassa.

### Dijkstran algoritmi

Dijkstran algoritmilla voidaan selvittää painotetussa graafissa eli verkossa lyhin reitti kahden pisteen välillä (Esri 2016). Dijkstran (1959) esittämässä ratkaisussa lyhimmän reitin ongelmaan alkupisteenä toimii piste  $P$  ja päätepisteenä piste  $Q$ .  $R$  puolestaan on piste, joka sijaitsee etsittävän lyhimmän reitin varrella. Näin ollen lyhimpään reittiin pisteestä  $P$  pisteeseen  $Q$  sisältyy lyhin reitti pisteestä  $P$  pisteeseen  $R$ . Ongelman ratkaisun löytämiseksi verkon pisteet jaetaan kolmeen joukkoon.

- A. Pisteet, joihin lyhin reitti pisteestä  $P$  tiedetään.
- B. Pisteet, joiden joukosta valitaan seuraava joukkoon A liitettävä piste.
- C. Loput pisteet.

Myös pisteitä yhdistävät janat jaetaan kolmeen joukkoon.

- I. Janat, jotka kuuluvat reitteihin matkalla pisteestä  $P$  joukon A pisteisiin.
- II. Janat, joiden joukosta valitaan seuraava joukkoon I liitettävä jana. Kuhunkin joukon B pisteeseen johtaa tasan yksi tämän joukon janoista.
- III. Loput janat.

Algoritmin suorittaminen aloitetaan sijoittamalla kaikki pisteet joukkoon C ja kaikki janat joukkoon III. Sitten piste  $P$  siirretään joukkoon A, minkä jälkeen suoritetaan kahta askelta toistuvasti peräkkäin, kunnes piste  $Q$  on siirretty joukkoon A.

1. Tarkastellaan kaikkia janoja  $r$ , jotka yhdistävät juuri joukkoon A siirrettyä pistettä ja pisteitä  $R$  joukoissa B ja C. Mikäli piste  $R$  kuuluu joukkoon B, tutkitaan johtaako janan  $r$  käyttö lyhyempään reittiin pisteestä  $P$  pisteeseen  $R$  kuin vastaavan joukossa II sijaitsevan janan käyttö. Mikäli näin on, jana  $r$  korvaa sitä vastaavan janan joukossa II. Muussa tapauksessa jana  $r$  hylätään. Jos piste  $R$  kuuluu joukkoon C, se lisätään joukkoon B ja jana  $r$  lisätään joukkoon II.
2. Kustakin pisteestä joukossa B on vain yksi reitti pisteeseen  $P$ , jos käytettävissä on vain joukon I janat sekä yksi jana joukosta II. Jokaisella pisteellä joukossa B on siis etäisyys pisteeseen  $P$ . Lisätään lyhimmän etäisyyden omaava piste joukosta B joukkoon A ja sitä vastaava jana joukosta II joukkoon I.

Yksinkertaistettuna tämä tarkoittaa, että aloitetaan pisteestä  $P$  ja edetään aina pisteeseen, jonka etäisyys pisteestä  $P$  on pienin pitäen samalla kirjaa reitistä ja etäisyydestä. Mikäli pisteeseen löydetään aiemmin löydettyä reittiä lyhyempi reitti, korvataan vanha reitti uudella. Jatketaan, kunnes löydetään reitti pisteeseen  $Q$  ja todetaan se lyhimmäksi reitiksi pisteiden  $P$  ja  $Q$  välillä.

On hyvä huomata, että Dijkstran algoritmi toimii myös tapauksissa, joissa janan kustannus riippuu siitä, kumpaan suuntaan janalla liikutaan eli kun kyseessä on niin sanottu suunnattu graafi (Dijkstra 1959). Etsittäessä nopeinta reittiä tieverkolla paikasta toiseen tällainen on esimerkiksi tilanne, jossa tieverkko sisältää yksisuuntaisia teitä.

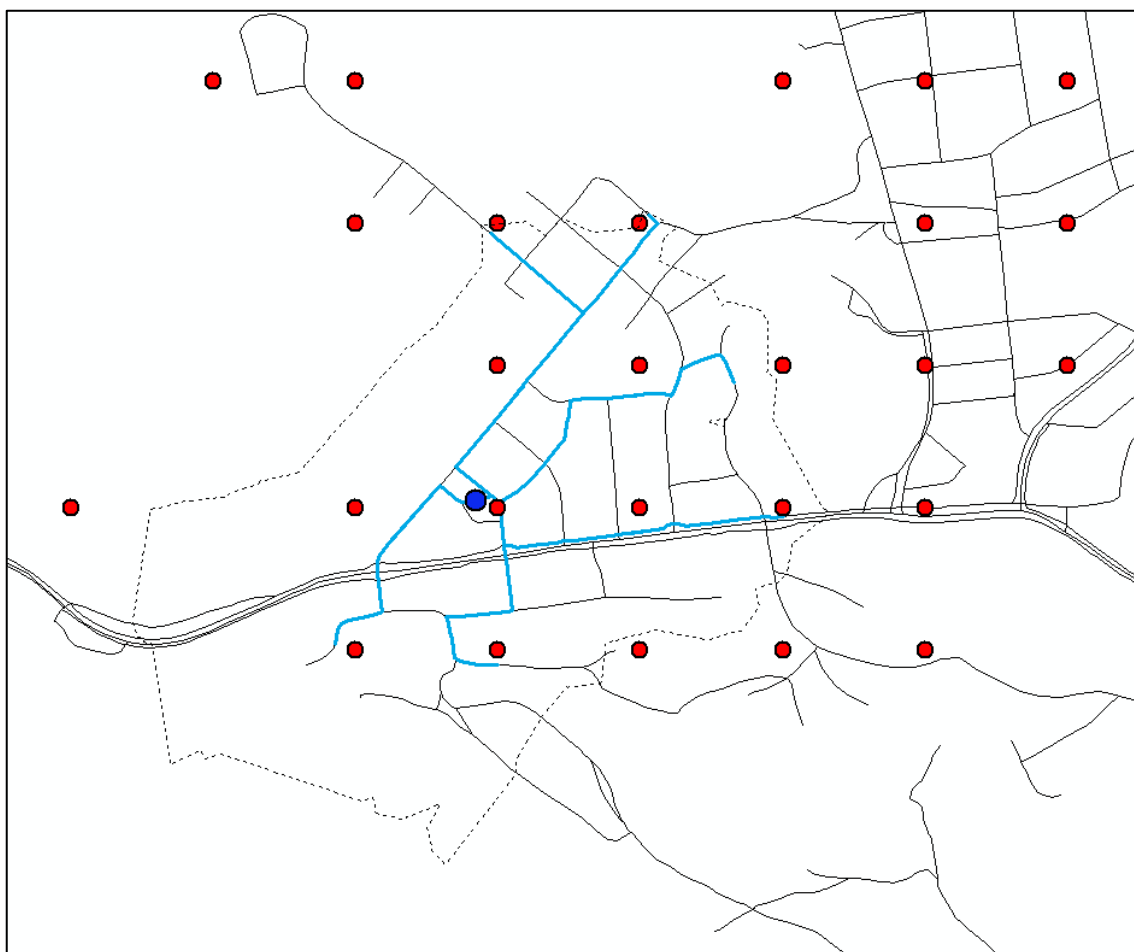
## Saavutettavuusanalysissa käytetyt työkalut

ArcMapin Network Analyst -lisäosan Location-Allocation-työkalua voidaan käyttää palvelujen optimaalisten sijaintien etsimiseen (Esri 2016). Työkalu valitsee annetuista palveluista (engl. facility) parhaat sen mukaan, miten ne ovat verkkoa (engl. network) pitkin saavutettavissa kysyntäpisteistä (engl. demand point). Kysyntäpisteille voidaan antaa erilaisia painoarvoja, esimerkiksi asukkaiden lukumäärä, kuten tässä työssä tehtiin. Koska kyseessä on kombinatorinen ongelma, jossa  $N$  määrästä ehdokaspisteitä valitaan  $P$  määrä palveluita, mahdollisten ratkaisujen määrä kasvaa nopeasti hyvin suureksi ehdokaspisteiden määrän lisääntyessä. Tämän vuoksi ratkaisua ei yleensä voidakaan etsiä tutkimalla kaikkia vaihtoehtoja vaan joudutaan turvautumaan heuristisiin menetelmiin.

Heuristiset menetelmät käyvät läpi vain osan kaikista mahdollisista ratkaisuista eikä niillä siksi välttämättä löydetä parasta mahdollista ratkaisua ongelmaan. Heuristisilla menetelmillä löydetään kuitenkin yleensä suhteellisen nopeasti riittävän hyvä ratkaisu.

Jotta Location-Allocation-työkalu voi ratkaista optimaalisen sijainnin ongelman, sen on ensin määritettävä pienimmän kustannuksen reitti kustakin kysyntäpisteestä kuhunkin palveluun (Esri 2016). Pienimmän kustannuksen reitin määrittäminen on esitetty kuvassa 3. Työkalu muodostaa nämä reitit Dijkstran algoritmia hyödyntäen ja tallettaa reiteille lasketut kustannukset niin sanottuun OD-matriisiin (engl. origin-destination matrix). Matriisiin kohdistetaan joitain muokkauksia, jotka mahdollistavat erilaisten sijaintiongelmien ratkaisun. Tämän jälkeen työkalu tuottaa joukon puolisatunnaisia ratkaisuja, joista niin sanotulla Teitzin ja Bartin heuristiikalla hiotaan hyviä ratkaisuja. Teitzin ja Bartin heuristiikassa korvataan kerrallaan yksi ratkaisun pisteistä pisteellä, joka ei kuulu ratkaisuun, ja tarkastellaan, paraneeko ratkaisu tällä muutoksella. Mikäli vastaus on kyllä, ratkaisuun kuulunut piste korvataan juuri tarkastellulla pisteellä. Muutoin ratkaisu säilytetään ennallaan. Heuristiikan avulla löydetään nopeasti hyviä ratkaisuja, mutta heuristisilla menetelmillä on myös heikkoutensa. Niillä on usein tapana ”jumiutua” paikalliseen optimiin, jolloin vielä paremmat ratkaisut jäävät löytymättä (Blum & Roli 2003). Tämän ongelman ja muiden heurististen menetelmien ongelmien korjaamiseen on kehitetty menetelmiä, joista käytetään yhteisnimitystä metaheuristiikka. Myös Location-Allocation-työkalu hyödyntää metaheuristiikkaa yhdistellen Teitzin ja Bartin heuristiikan avulla löydettyjä hyviä ratkaisuja parantaen niitä edelleen. Kun työkalu havaitsee, ettei ratkaisu enää iteroitien välillä merkittävästi parane, palauttaa se parhaan löydetyn ratkaisun.

Service Area -työkalua käytetään palvelualueiden muodostamiseen palvelupisteiden ympärille (kuva 3). Palvelualue kuvaa aluetta, jonka sisältä palvelu on kysyntäpisteiden (tai kysyntäpisteet palvelun) verkkoa pitkin saavutettavissa määrätyn impedanssin rajoissa. Myös Service Area -työkalu käyttää Dijkstran algoritmia lyhimpien reittien löytämiseen (Esri 2016). Työkalun avulla voidaan tuottaa palvelualueita kuvaamaan palvelusta verkkoa pitkin ulospäin eteneviä viivoja tai palvelualueen reunoihin rajautuvia polygoneja.



Kuva 3. Pienimmän kustannuksen reitin määrittäminen kysyntäpisteistä (punaiset) palveluun (sininen). Työkalu laskee reitit (sininen viiva) tieverkkoa (musta viiva) pitkin niistä kysyntäpisteistä, jotka ovat korkeintaan määritetyn raja-arvon (katkoviiva) päässä palvelusta. Aineisto: Digiroad 2017, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.

## Saavutettavuusanalyysin vaiheet

Saavutettavuusanalyysin tavoitteena oli löytää asutuksen sijoittumisen kannalta optimaalisin sijainti kunkin taajaman keskuspysäkille. Toisin sanoen pyrkimyksenä oli löytää keskuspysäkille sijainti, joka olisi mahdollisimman monen taajaman ja taajaman lähialueen asukkaan saavutettavissa kävelen ja polkupyörällä.

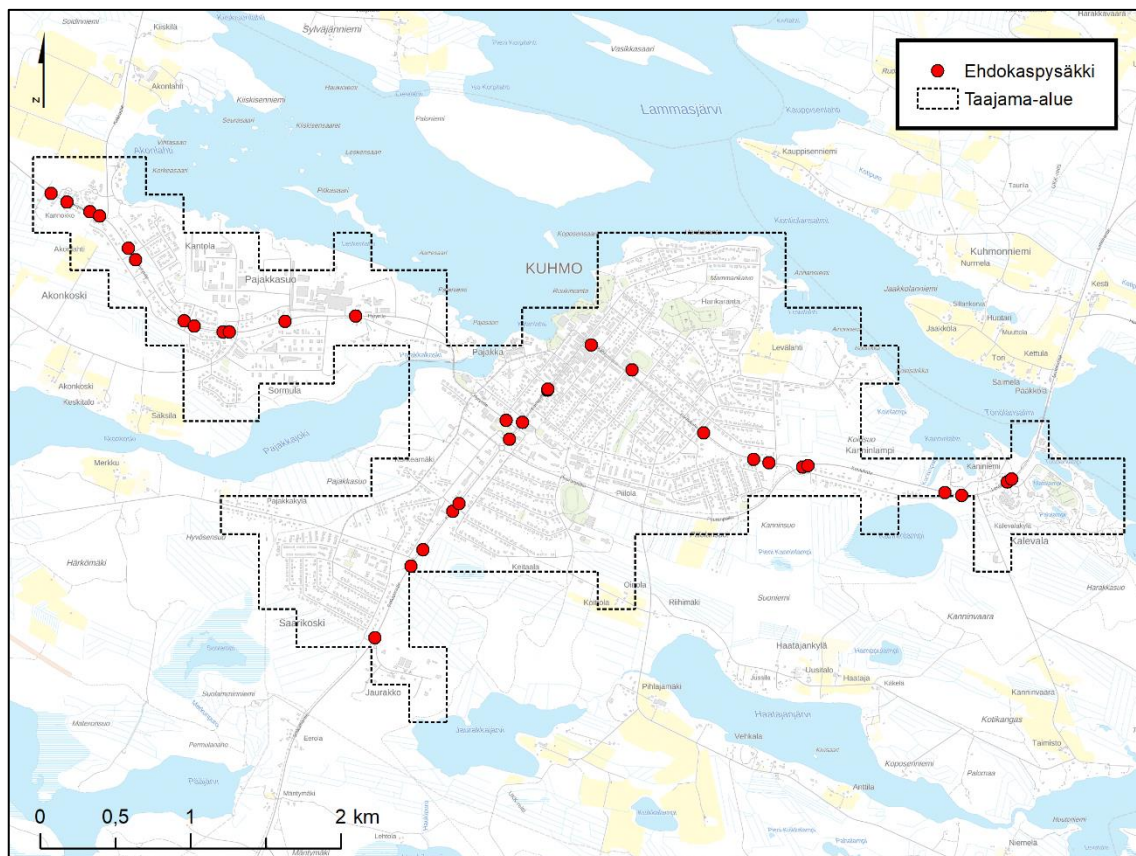
Analyysijä varten oli muodostettava Digiroad-tieaineistosta ArcMapin Network Analyst -lisäosan hyödynnettävissä oleva verkko (engl. network dataset). Aineisto rajattiin Kainuun maakunnan alueelle, ja siitä poistettiin mahdolliset moottoriteiksi tai moottoritierampeiksi luokitellut tielinkit. Näin toimittiin siksi, että kyseiset tiettyypit eivät ole kävelijöiden tai pyöräilijöiden käytettävissä. Tämän jälkeen kullekin Digiroad-aineiston tielinkille määritettiin sen pituus metreinä käyttäen ArcMapin Calculate

Geometry -työkalua. Koska analyyseissä haluttiin käyttää impedanssina matka-aikaa, laskettiin pituuksien ja määritettyjen liikkumisnopeuksien avulla kunkin tielinkin päästä päähän kulkemiseen kuluva aika sekunteina. Kävelyanalyysejä varten nopeutena käytettiin 4,2 kilometriä tunnissa, kuten myös Salonen ja Toivonen (2013) sekä Jäppinen ym. (2013) ovat omissa saavutettavuusanalyyseissään tehneet. Pyöräilynopeutena käytettiin 18 kilometriä tunnissa, Jäppisen ym. (2013) mukaisesti. Kun tielinkkien kulkemiseen kuluva aika oli laskettu, muodostettiin varsinaiset verkot, kävelylle omansa ja pyöräilylle omansa. Verkkoa muodostettaessa kävelijöille sallittiin liikkuminen kaikilla tielinkeillä molempiin suuntiin, mutta pyöräilijöiltä estettiin liikkuminen ajosuuntaa vastaan tielinkeillä, jotka oli Digiroad-aineistossa määritelty yksisuuntaisiksi.

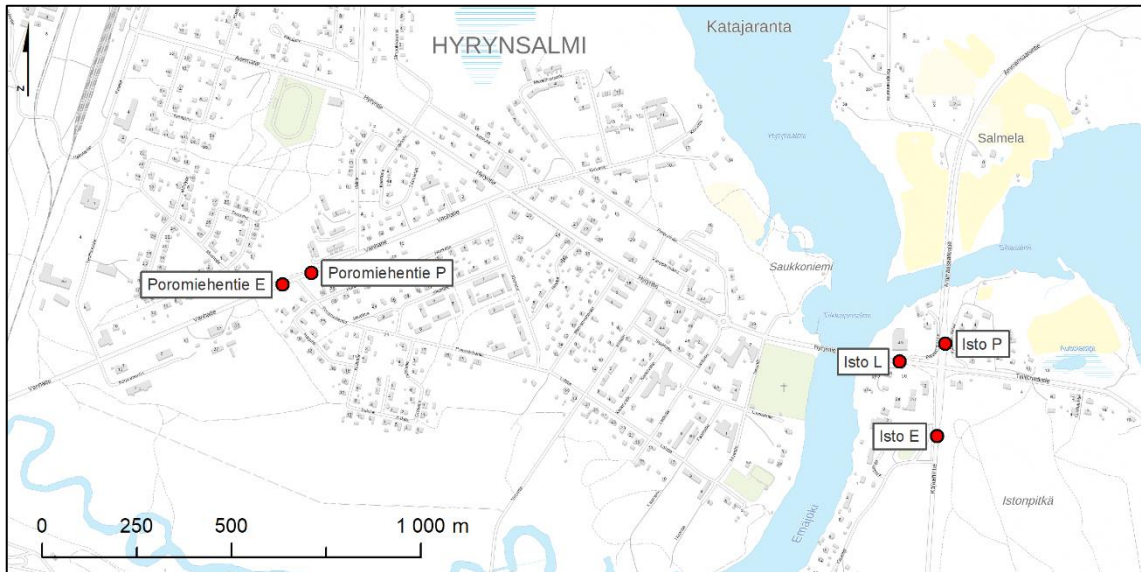
Keskuspysäkin optimaalisen sijainnin määrittämiseksi tarvittiin kunkin keskuksen kohdalla joukko ehdokaspisteitä, joiden joukosta valita saavutettavuuden perusteella paras. Tässä työssä päädyttiin Suomussalmen kirkonkylää lukuun ottamatta käyttämään taajama-alueen nykyisiä bussipysäkkejä ehdokaspisteinä (kuva 4). Tällä pyrittiin takaamaan mahdollisimman pitkälle se, että optimoinnin tuloksena saatu sijainti olisi pysäkkikäyttöön soveltuva. Lisäksi nykyisiä pysäkkejä käyttämällä saatiin ehdokaspisteitä varsin kattavasti eri puolilta kutakin taajamaa. Digiroad-pysäkkiaineistosta poimittiin YKR:n aluejakoaineistoa apuna käyttäen kunkin taajama-alueen sisällä sijaitsevat pysäkit. Mukaan valittiin ainoastaan käytössä olevat pysäkit. Analyysiä suoritettaessa saavutettavuudet laskettiin kullekin yksittäiselle pysäkille. Tienvarteen sijoittuneista pysäkeistä suuri osa palvelee kuitenkin ainoastaan yhden suunnan liikennettä. Usein tällaisella pysäkillä on olemassa ”vastinpari” tien vastakkaisella puolella, jolloin puhutaan pysäkkiparista. Näissä tapauksissa pysäkkiparin pysäkeillä on tyypillisesti sama nimi, erotuksena ainoastaan nimen lopussa ilmiansuuntaa ilmaiseva kirjain: E, P, I tai L (esimerkiksi pysäkkipari Poromiehentie E ja Poromiehentie P, kuva 5). Joskus erityisesti isompien risteysten yhteyteen sijoittuvat pysäkit voivat muodostaa myös kolmen tai jopa neljän pysäkin yhdistelmiä (esimerkiksi Isto L, Isto E ja Isto P, kuva 5). Pysäkkiparien ja useamman pysäkin ryhmien kohdalla, lopullisessa sijaintien vertailussa otetaan aina huomioon parin tai ryhmän kaikki pysäkit.

Suomussalmen kirkonkylää lukuun ottamatta ehdokaspisteiksi poimittujen pysäkkien lukumäärä vaihteli taajamittain välillä 7–59. Suomussalmen kirkonkylän taajama-alueella ei ollut tarkasteluhetkellä käytössä kuin yksi pysäkki, Suomussalmi kk.

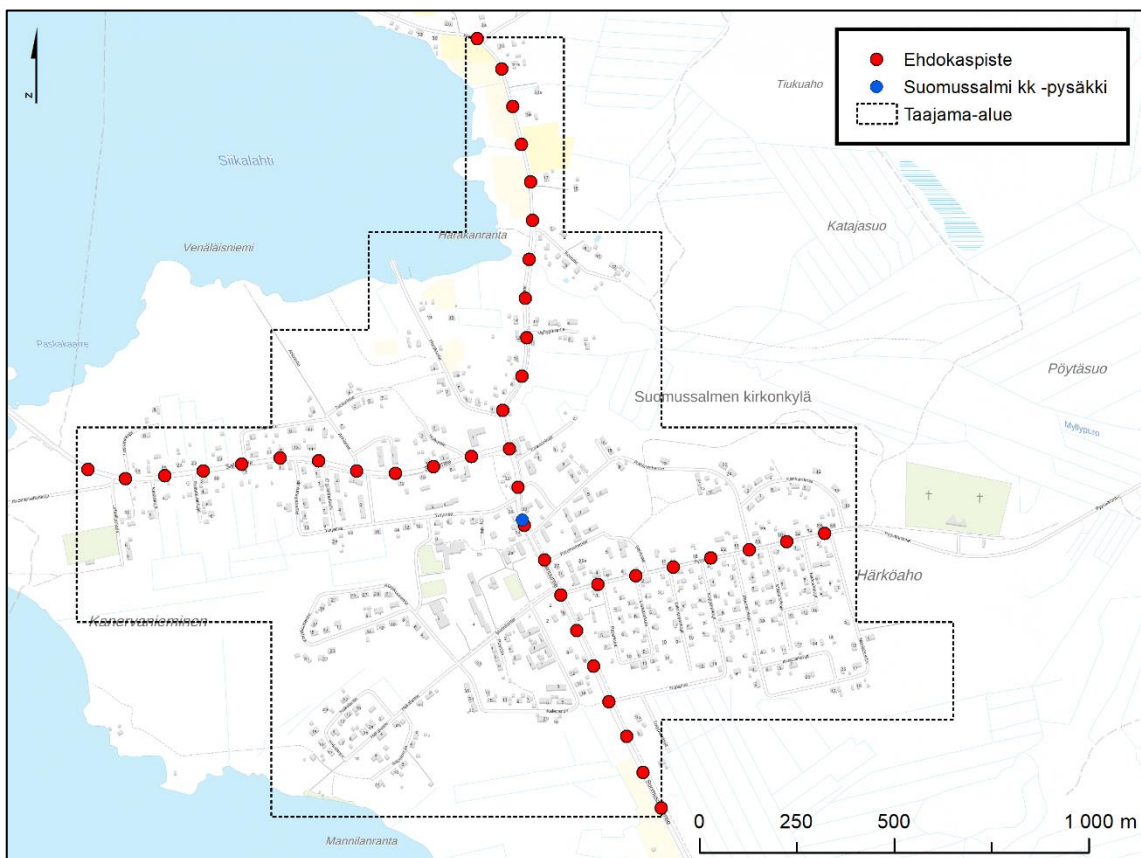
Tämän takia Suomussalmen kirkonkylän kohdalla ehdokaspisteet muodostettiin sijoittamalla taajama-alueen lävistävien maanteiden varrelle pisteitä sadan metrin välein (kuva 6). Näin ehdokaspisteitä (N=40) saatiin kattavasti eri puolilta taajamaa, mutta varmistettiin kuitenkin se, että analyysi tuotti tuloksena kohteen, jonka läheisyyteen keskuspysäkin sijoittaminen olisi mahdollista.



Kuva 4. Kuhmon taajaman ehdokaspisteet, joiden joukosta paras sijainti keskuspysäkille valittiin. Suomussalmen kirkonkylää lukuun ottamatta kaikissa taajamissa ehdokaspisteiksi valittiin taajama-alueella nykyisellään sijaitsevat pysäkit. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016.



Kuva 5. Esimerkki pysäkkiparista (Poromiehentie) ja kolmen pysäkin pysäkkiyhdistelmästä (Isto). Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017.



Kuva 6. Suomussalmen kirkonkylän ehdokaspisteet muodostettiin luomalla taajama-alueen halkojen maanteiden varrelle pisteitä sadan metrin välein (N = 40). Kirkonkylällä ei nykyisellään ole kuin yksi pysäkki (sininen piste). Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016.

Ehdokaspisteiden saavutettavuutta vertailtiin suhteessa YKR-ruutuaineiston väestötietoihin. Ruutuaineisto muutettiin pistemäiseksi aineistoksi, jossa jokaisen ruudun korvasi ruudun keskikohtaan sijoitettu piste. Kuhunkin pisteeseen siirrettiin ruudun kokonaisuuskas lukua kuvaava tieto, joka asetettiin saavutettavuusanalyysissä pisteen painoarvoksi. Jokaisen ruutuaineiston ruudun kokonaisväestö kuvattiin siis kuten se sijaitisi yhdessä pisteessä ruudun keskellä. Väestöpisteet jaettiin kunnittain siten, että kunkin keskuksen pysäkkien saavutettavuutta laskettaessa otettiin huomioon vain saman kunnan alueella sijaitsevat kysyntäpisteet.

Location-Allocation-työkalulla voidaan ratkoa useita hieman toisistaan poikkeavia palveluiden optimaaliseen sijoittamiseen liittyviä ongelmia. Tässä työssä ongelmatyypiksi valittiin Maximize Coverage. Tässä ongelmatyypissä impedanssille asetetaan raja-arvo ja työkalu pyrkii valitsemaan ehdokkaista palvelut siten, että mahdollisimman iso osa kysynnästä kykenee saavuttamaan palvelut annetun arvon rajoissa. Tässä työssä impedanssina käytettiin matka-aikaa ja raja-arvoksi asetettiin kymmenen minuuttia sekä kävely- että pyöräilyanalyyseissä. Matkustussuunnaksi valittiin kysyntäpisteistä kohti palveluita, koska tarkasteltavassa tapauksessa ihmiset kulkevat kotoaan bussipysäkille. U-käännökset sallittiin ainoastaan umpikujissa, ja pyöräilyanalyyseissä huomioitiin teiden yksisuuntaisuus.

Kunkin keskuksen kohdalla tehtiin kaksi analyysiä, joiden tuloksena saatiin keskus pysäkin optimaaliset sijainnit kävelyn ja pyöräilyn näkökulmasta. Tämän jälkeen näille optimaalisille sijainneille sekä nykyisille keskus pysäkkien sijainneille muodostettiin kymmenen minuutin palvelualueet Service Area -työkalulla. Palvelualueiden ja väestöpisteiden avulla pystyttiin visuaalisesti tarkastelemaan pysäkkien saavutettavuutta. Yhdistettynä Location-Allocation-työkalusta saatiin numeerisiin tietoihin tavoitetuista asukkaista tämä mahdollisti lopullisen parhaan sijainnin arvioinnin.



## TULOKSET

Kullekin yhdestätoista keskuksesta suoritettiin optimointi sekä kävelyn että pyöräilyn osalta. Tarkasteltujen taajamien asukasluvut vaihtelivat välillä 428–6235. Asukasluvun ja taajaman muodon vaihtelun vuoksi optimoinnissa saatiin hyvinkin erilaisia tuloksia keskusten välillä. Tästä syystä taajamat päädyttiin luokittelemaan neljään luokkaan keskuspysäkin saavutettavuuden pohjalta. Luokat muodostettiin sen mukaan, kuinka pitkään koko taajaman väestöllä menisi saavuttaa keskuspysäkin optimaalinen sijainti kävelen. Luokat ovat:

Erittäin pienet taajamat	(matka-aika alle 30 minuuttia)
Pienet taajamat	(matka-aika 30–59 minuuttia)
Keskisuuret taajamat	(matka-aika 60–119 minuuttia)
Suuret taajamat	(matka-aika 120 minuuttia tai yli)

Erittäin pienten taajamien luokkaan kuuluvat Kontiomäen, Otanmäen, Ristijärven, Suomussalmen kirkonkylän ja Vuolijoen taajamat. Pieniin taajamiin kuuluvat Hyrynsalmen ja Puolangan taajamat sekä Paltamon keskustaajama. Keskisuurten taajamien luokkaan sijoitettiin Kuhmon ja Suomussalmen taajamat ja suurten taajamien luokkaan Sotkamon taajama. Saavutettavuusanalyysin tulokset käydään tässä luvussa läpi luokittain, esitellen kunkin luokan erityispiirteet ja yhdistävät tekijät. Lisäksi kustakin luokasta esitetään esimerkinomaisesti yhden luokkaa kuvaavan keskuksen tulokset. Muiden keskusten tulokset on esitelty tarkemmin tutkimusprojektin osana tehdyssä raportissa (Miesmaa 2017). Tuloksia tarkasteltaessa optimoinnissa parhaiksi nousseita sijainteja verrataan nykyisten keskuspysäkkien sijainteihin.

### **Erittäin pienet taajamat**

Erittäin pienissä taajamissa optimaalisesti sijoitettu keskuspysäkki on saavutettavissa mistä päin taajamaa tahansa kävelen alle puolessa tunnissa (taulukko 2). Taajamat ovat pieniä: niissä on kussakin alle 1000 asukasta. Luokan keskuksista ainoastaan Ristijärven taajama on kuntansa keskustaajama. Liikenne suuntautuukin taajamista suurelta osin kuntakeskuksiin sekä maakuntakeskus Kajaaniin. Optimaalisen keskuspysäkin sijainnin saavuttaa kymmenessä minuutissa kävelen 62–83 prosenttia ja polkupyörällä sata prosenttia taajaman asukkaista. Pyöräilyn osalta keskuspysäkkien palvelualueet ulottuvat

myös taajama-alueiden rajojen ulkopuolelle. Erittäin pienissä taajamissa hyvin sijoitettu keskuspysäkki palvelee siis varsin kattavasti taajaman asukkaita. Keskuspysäkkiä voidaan tukea tarpeen mukaan muutamilla pysäkeillä eri puolilla taajamaa.

Erittäin pienestä taajamasta hyvänä esimerkkinä toimii Otanmäki. Otanmäen taajama syntyi kaivosyhdyskuntana 1950-luvulla (Tervonen 2003). Sittemmin kaivostoiminta on lakannut ja sen tilalle taajaman suureksi työnantajaksi noussut junavaunuja valmistava Transtech. Nykyään Otanmäen taajamassa asuu vajaat 700 ihmistä ja palvelut käsittävät muun muassa koulun, kirjaston, kaupan, kappelin ja maauimalan. Otanmäen taajamassa ei nykyisellään ole selvää keskuspysäkkiä. Keskuspysäkillä ominaisia piirteitä löytyy sekä Otanmäki SEO- että Otanmäki Siwa -pysäkeiltä ja taajaman kautta kulkeva joukkoliikenne pysähtyy molemmilla pysäkeillä.

Analyysin perusteella parhaiten Otanmäen pysäkeistä kymmenessä minuutissa saavutetaan kävellen Otanmäki Siwa (576 ihmistä, taulukko 3). Otanmäki SEO:n kohdalla luku jää 288 ihmiseen. Otanmäki Siwan saavuttaa jalkaisin näin ollen 288 ihmistä enemmän kuin Otanmäki SEO:n. Aivan luoteisimmissa ja kaakkoisimmissa osissa asuvia lukuun ottamatta kaikki Otanmäen taajaman asukkaat saavuttavat Otanmäki Siwa -pysäkin alle kymmenessä minuutissa (kuva 7). Sen sijaan kävelymatkaan Otanmäki SEO -pysäkillä suurella osalla Otanmäen taajaman eteläosan asukkaista kuluu yli kymmenen minuuttia. Kävellen taajamaväestö saavuttaa Otanmäki Siwa -pysäkin kokonaisuudessaan 12 minuutissa, Otanmäki SEO:n 20 minuutissa (kuva 9).

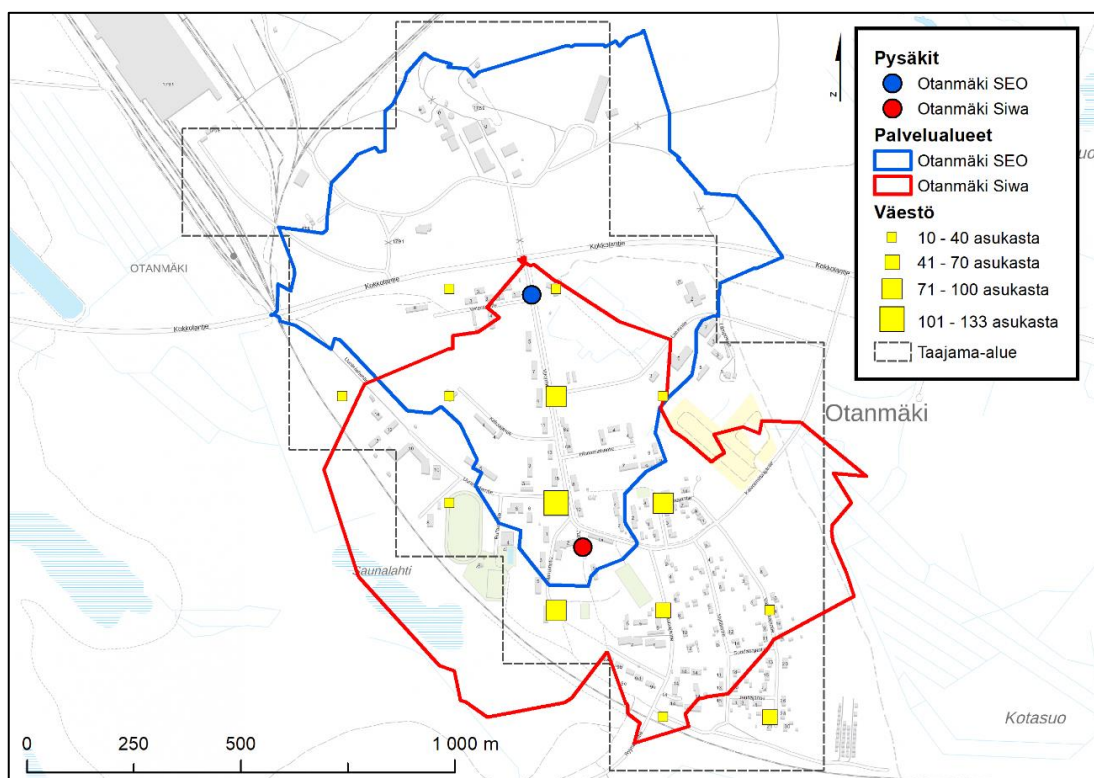
Polkupyörällä alle kymmenessä minuutissa kummankin pysäkin saavuttaa 692 ihmistä, toisin sanoen koko taajaman väestö. Pyöräilyn palvelualueet ulottuvat laajasti myös taajama-alueen ulkopuolelle, missä asutusta ei kuitenkaan ole (kuva 8). Otanmäki Siwa nousee taajaman pysäkeistä parhaiten saavutettavaksi myös polkupyörällä, sillä sen tavoittaa koko taajamaväestö alle kolmessa minuutissa, kun Otanmäki SEO:n kohdalla tähän menee noin neljä ja puoli minuuttia (kuva 10). Näin ollen saavutettavuusanalyysin perusteella Otanmäki Siwa -pysäkistä tulisikin lähteä kehittämään taajaman keskuspysäkkiä.

Taulukko 2. Keskuspysäkkien optimaalisten sijaintien saavutettavuus erittäin pienissä taajamissa. Taulukossa on ilmoitettu matka-ajat kävellen ja polkupyörällä optimaaliseen keskuspysäkin sijaintiin sekä osuus taajamaväestöstä, joka sijainnin tavoittaa alle kymmenessä minuutissa.

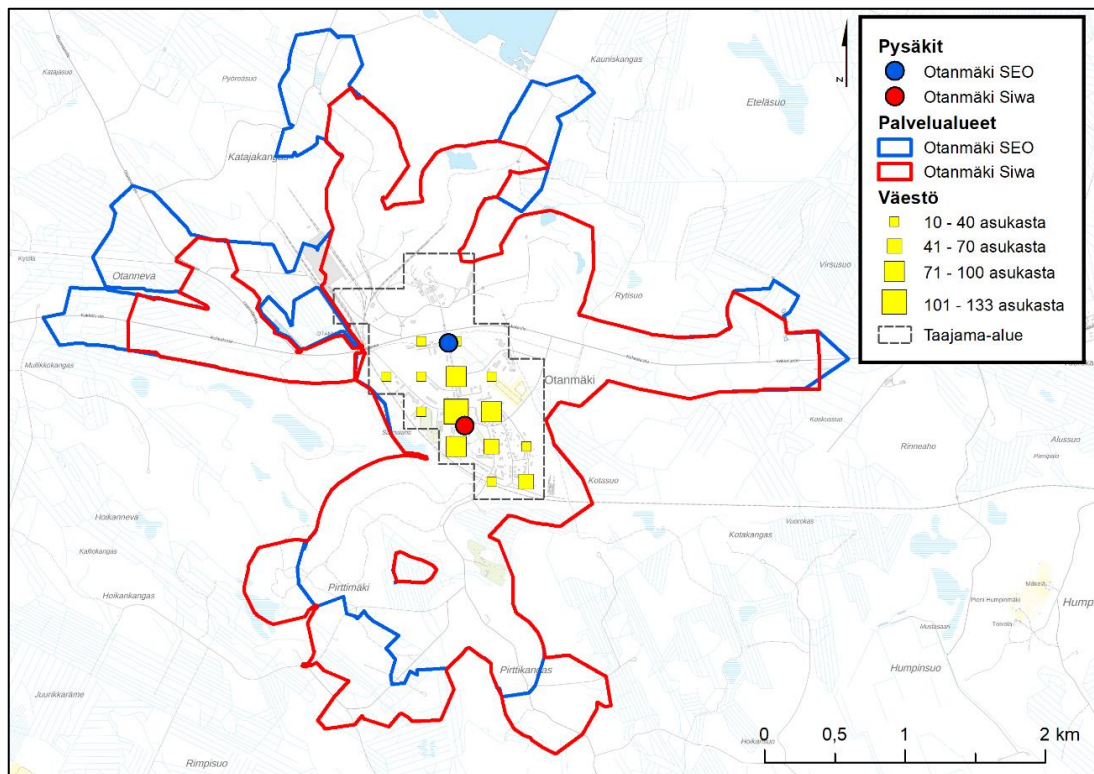
Taajama	Taajaman asukasluku	Matka-aika kävellen	Matka-aika polkupyörällä	10 min, kävellen (%)	10 min, pyörällä (%)
Kontiomäki	451	21	5	73	100
Otanmäki	692	12	3	83	100
Ristijärvi	614	28	7	65	100
Suomussalmi kk	911	21	5	62	100
Vuolijoki	428	23	6	70	100

Taulukko 3. Saavutettavuusanalyysin tulokset Otanmäen taajamassa. Taulukossa on ilmoitettu niiden asukkaiden määrä, jotka saavuttavat kunkin sijainnin alle kymmenessä minuutissa. Nykyiset keskuspysäkit on lihavoitu. Kummankin sijainnin tuloksia on verrattu toisen keskuspysäkin tulokseen.

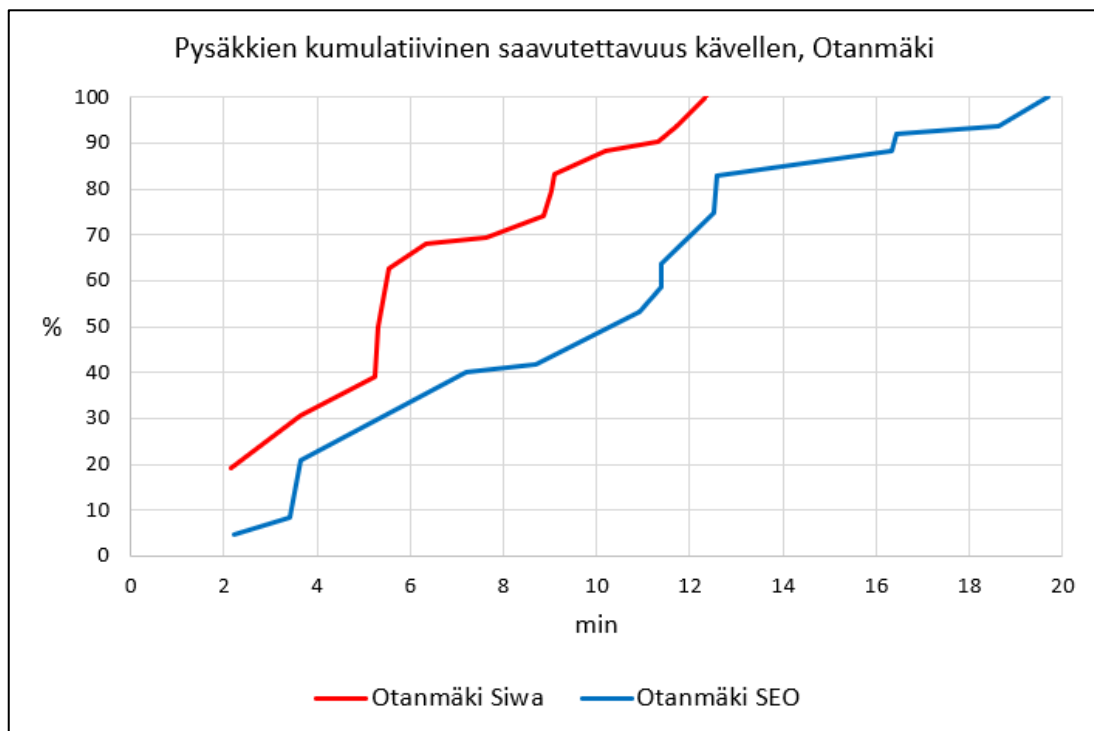
Otanmäki	Kävellen			Pyörällä		
	kpl	ero, Otanmäki SEO	ero, Otanmäki Siwa	kpl	ero, Otanmäki SEO	ero, Otanmäki Siwa
<b>Otanmäki SEO</b>	288	-	-288	692	-	0
<b>Otanmäki Siwa</b>	576	+288	-	692	0	-



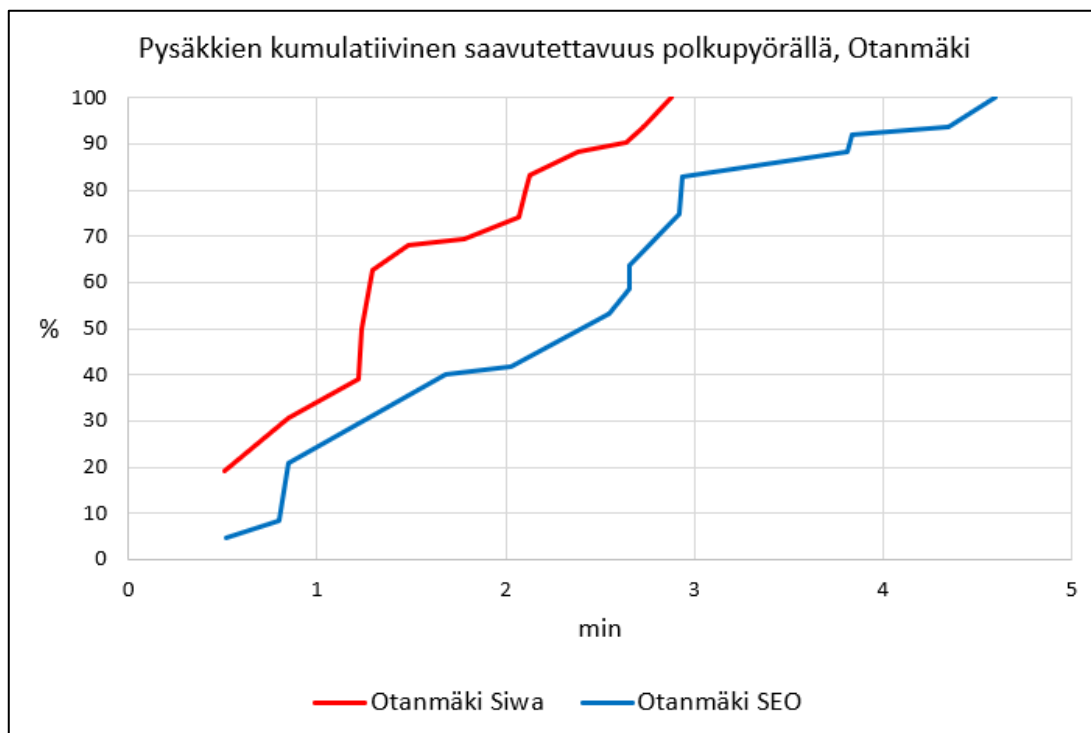
Kuva 7. Otanmäki SEO- ja Otanmäki Siwa -pysäkkien palvelualueet kävellen. Kullekin pysäkillä on rajattu omalla värillään alue, jonka sisältä pysäkillä on alle kymmenen minuutin kävelymatka. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.



Kuva 8. Otanmäki SEO- ja Otanmäki Siwa -pysäkkien palvelualueet polkupyörällä. Palvelualueen sisältä on pysäkillä korkeintaan kymmenen minuutin matka. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.



Kuva 9. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-aikaa.



Kuva 10. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-aikaa.

## Pienet taajamat

Pienissä taajamissa taajaman asukkailla on optimaaliseen keskuspysäkin sijaintiin korkeintaan 30–59 minuutin kävelymatka (taulukko 4). Nämä taajamat ovat kaikki kuntakeskuksia ja kooltaan hieman edellisen luokan taajamia suurempia: niissä asuu kussakin 1000–2000 ihmistä. Pienissä taajamissa optimaalisesti sijoitetun keskuspysäkin saavuttaa alle kymmenessä minuutissa kävellessä 26–37 prosenttia ja pyörällä 98–100 prosenttia taajaman asukkaista. Voidaankin sanoa, että optimaalisesti sijoitettu keskuspysäkki palvelee vielä tämänkin luokan taajamissa kohtuullisesti. Mikäli polkupyörän käyttöön on mahdollisuus, keskuspysäkki on hyvin saavutettavissa. Keskuspysäkkiä on kuitenkin tarpeen tukea vähintään muutamilla pysäkeillä joukkoliikenteen saavutettavuuden turvaamiseksi.

Pienistä taajamista esimerkkinä toimii Puolangan taajama. Puolanka on Kainuun maakunnan pohjoisosassa sijaitseva kuntakeskus, josta joukkoliikenneyhteydet suuntautuvat pääasiassa etelään kohti Paltamoja ja Kajaania. Parhaiten taajaman pysäkeistä saavutetaan kävellessä Kunnanvirasto I, jonka saavuttaa alle kymmenessä minuutissa 581 ihmistä (taulukko 5). Eroa nykyiseen keskuspysäkkiin, Puolanka

MH:hon, jonka saavuttaa kymmenessä minuutissa 542 ihmistä, on 39 ihmistä. Mikäli keskuspysäkki siirrettäisiin nykyiseltä paikaltaan Kunnanvirasto I:n kohdalle, keskuspysäkin saavuttaisi kävellessä alle kymmenessä minuutissa 7,2 prosenttia nykyistä useampi ihminen. Lyhyitä kävelymatkoja aina 18 minuuttiin asti tarkasteltaessa parhaiten taajamaväestön saavutettavissa on Kunnanvirasto I -pysäkki (kuva 13). Tätä pitemmillä matka-ajoilla Puolanka MH:n kumulatiivinen saavutettavuus nousee kuitenkin korkeammaksi. Puolanka MH:n saavuttamiseen menee kävellessä mistä päin taajamaa tahansa korkeintaan 37 minuuttia, Kunnanvirasto I:n saavuttamiseen 43 minuuttia.

Polkupyörällä taajaman pysäkeistä parhaiten saavutettavissa on Vihajärventie th P, jonka saavuttaa kymmenessä minuutissa 1695 ihmistä (taulukko 5). Nykyisen keskuspysäkin, Puolanka MH:n, saavuttaa samassa ajassa 1648 ihmistä. Mikäli keskuspysäkki siirrettäisiin Vihajärventie th P:n sijaintiin, keskuspysäkin saavutettavuus pyörällä paranisi 2,9 prosenttia nykyisestä. Palvelualueita (kuva 12) tarkasteltaessa huomataan, että Vihajärventie th P:n saavuttavat nykyistä keskuspysäkkiä paremmin erityisesti taajama-alueen luoteis- ja länsipuolella asuvat ihmiset. Ainoastaan taajama-alueen väestöön keskittyttäessä Vihajärventie th P jääkin saavutettavuudessa muihin sijainteihin nähden (kuva 14). Niin Vihajärventie th P, Puolanka MH kuin Kunnanvirasto I:kin on pyörällä saavutettavissa mistä päin taajamaa tahansa alle kymmenessä minuutissa, mutta Puolanka MH saavutetaan hieman nopeammin. Kuitenkaan suurta merkitystä keskuspysäkin sijainnilla ei pyöräilyn näkökulmasta ole.

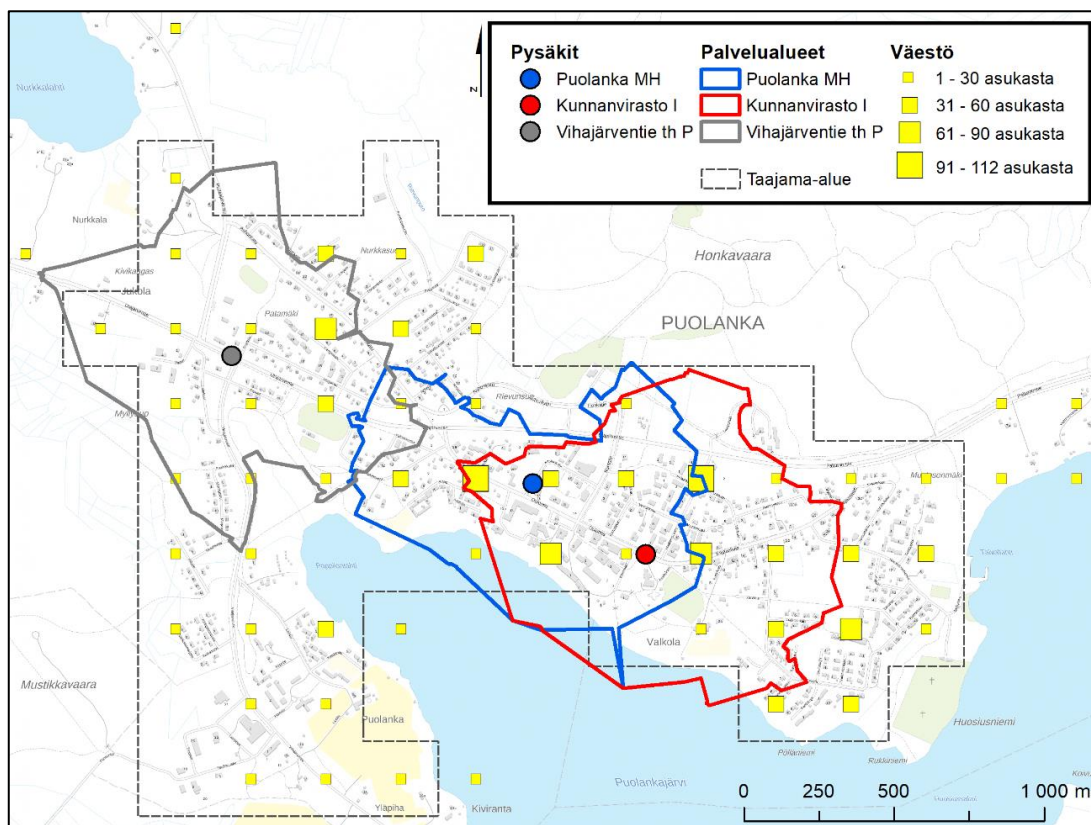
Kokonaisuudessaan Puolanka MH ja Kunnanvirasto I ovat saavutettavuudeltaan varsin lähellä toisiaan. Vihajärventie th P -pysäkki on kävelyn osalta kahta muuta pysäkkiä heikommin saavutettavissa. Sekä Puolanka MH että Kunnanvirasto I sijaitsevat varsin keskeisellä paikalla taajamassa, ja niiden saavutettavuudet ovat siksi hyvät. Puolangalla, kuten muissakin saman luokan taajamissa, kävelyn palvelualue kattaa kuitenkin vain osan taajama-alueesta, joten keskuspysäkkiä tukevia pysäkkejä tarvitaan (kuva 11).

Taulukko 4. Keskuspysäkkien optimaalisten sijaintien saavutettavuus pienissä taajamissa. Taulukossa on ilmoitettu matka-ajat kävellen ja polkupyörällä optimaaliseen keskuspysäkin sijaintiin sekä osuus taajamaväestöstä, joka sijainnin tavoittaa alle kymmenessä minuutissa.

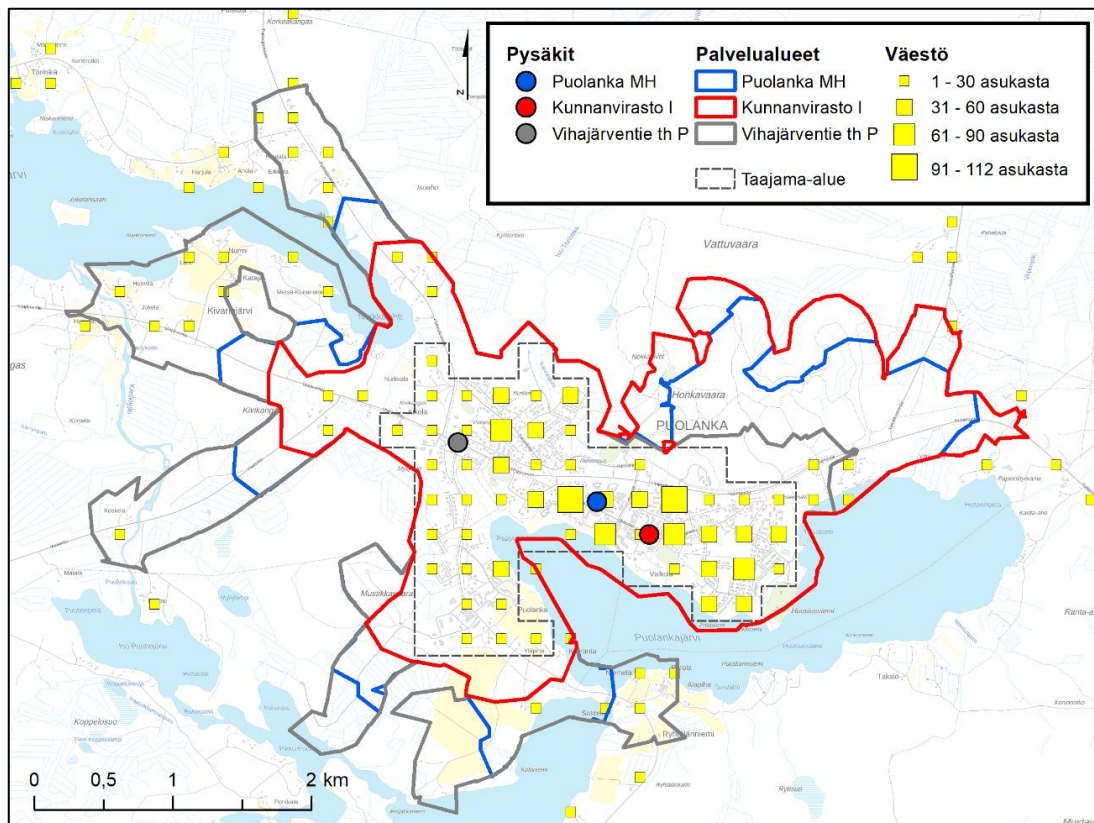
Taajama	Taajaman asukasluku	Matka-aika kävellen (min)	Matka-aika pyörällä (min)	10 min, kävellen (%)	10 min, pyörällä (%)
Hyrnsalmi	1352	34	8	34	100
Paltamo	1630	51	12	26	98
Puolanka	1589	37	9	37	100

Taulukko 5. Saavutettavuusanalyysin tulokset Puolangan taajamassa. Taulukossa on ilmoitettu niiden asukkaiden määrä, jotka saavuttavat kunkin sijainnin alle kymmenessä minuutissa. Kunkin sijainnin tuloksia verrataan nykyiseen keskuspysäkkiin (lihavoitu).

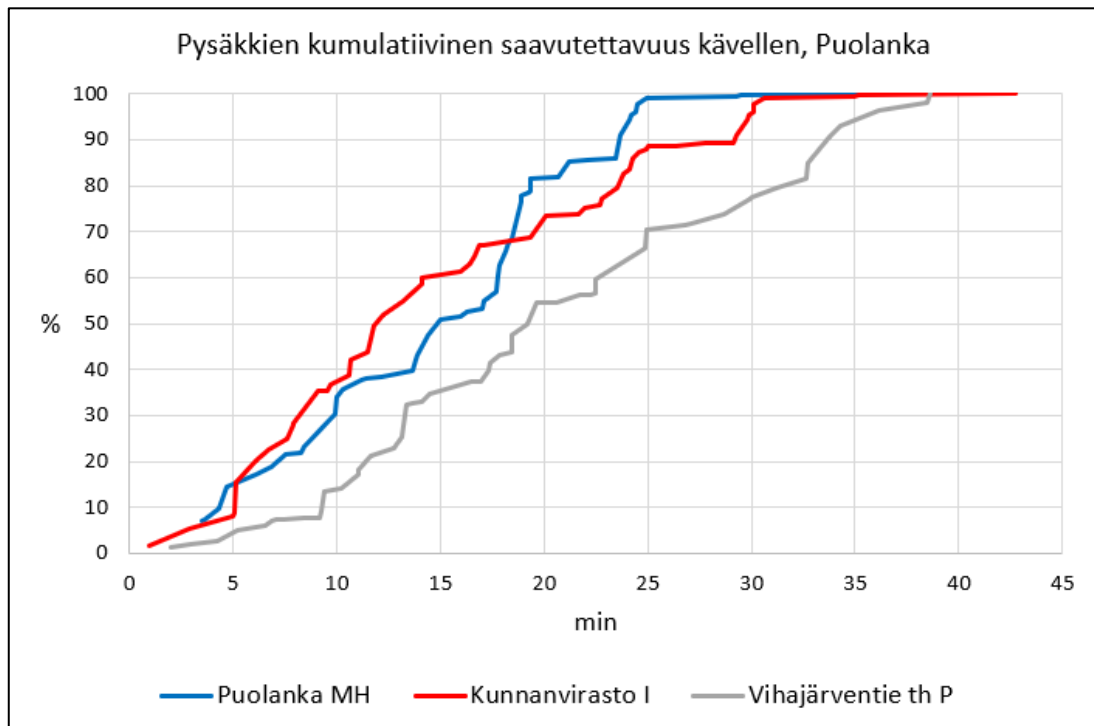
Puolanka	Kävellen			Pyörällä		
	kpl	muutos	muutos, %	kpl	muutos	muutos, %
<b>Puolanka MH</b>	542	-	-	1648	-	-
Kunnanvirasto I	581	+39	+7,2	1640	-8	-0,5
Vihajärventie th P	216	-326	-60,1	1695	+47	+2,9



Kuva 11. Puolanka MH-, Kunnanvirasto I- ja Vihajärventie th P -pysäkkien palvelualueet kävellen. Palvelualueen sisältä on pysäkillä korkeintaan kymmenen minuutin matka. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.

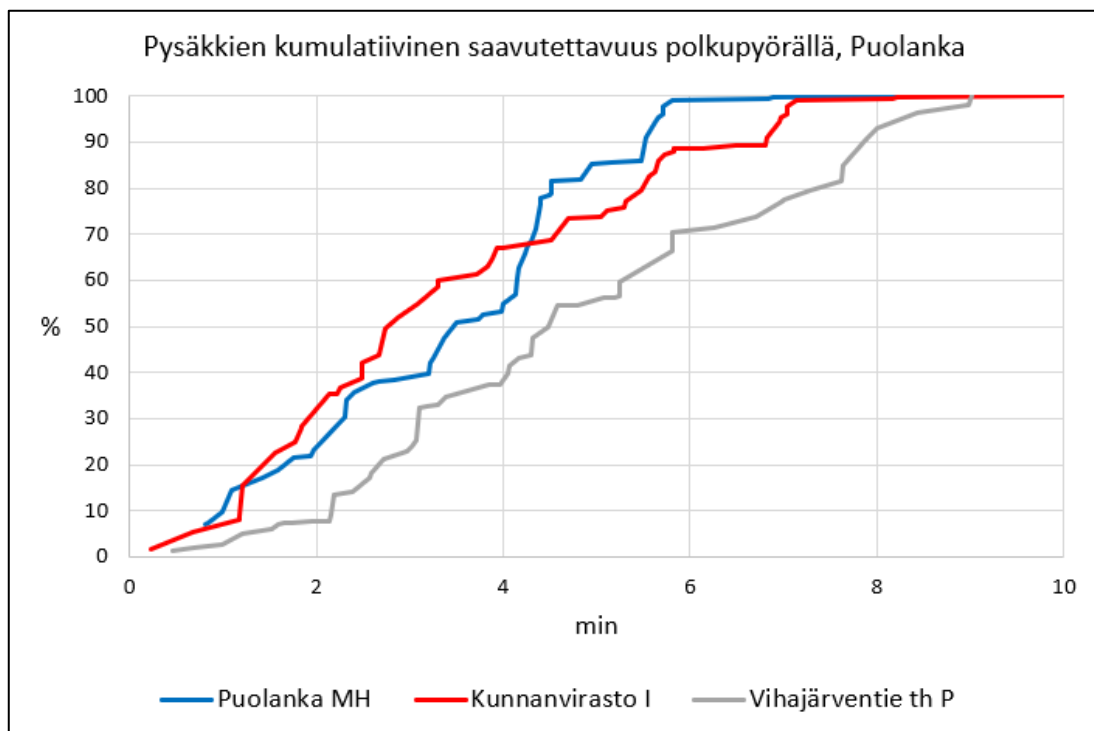


Kuva 12. Puolanka MH-, Kunnanvirasto I- ja Vihajärventie th P -pysäkkien palvelualueet polku-  
pyörällä. Palvelualueen sisältä on pysäkille korkeintaan kymmenen minuutin matka. Aineisto: Digiroad  
2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.



Kuva 13. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-  
aikaa.





Kuva 14. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-aikaa.

## Keskisuuret taajamat

Keskisuurissa taajamissa koko taajamaväestö saavuttaa optimaalisen keskuspysäkin sijainnin 60–119 minuutissa (taulukko 6). Luokan taajamat ovat jo huomattavasti pieniä taajamia suurempia: taajamaväestön koko on niissä 4000 ja 6000 asukkaan välillä. Kyseessä ovat siis Kainuun mittakaavassa jo verrattain suuret kuntakeskukset. Optimaalisen keskuspysäkin sijainnin saavuttaa kymmenessä minuutissa kävellen 20–21 prosenttia taajamaväestöstä ja polkupyörällä 81–93 prosenttia. Joukkoliikenteen saavutettavuuden turvaamiseksi keskisuurissa taajamissa keskuspysäkkiä on tarpeen tukea useilla taajama-alueelle sijoitetuilla pysäkeillä.

Esimerkkinä luokasta esitellään maakunnan itälaidalla sijaitseva Kuhmo. Joukkoliikenne kulkee Kuhmosta pääsääntöisesti länteen päin, Sotkamon kautta Kajaaniin. Nykyinen keskuspysäkki, Kuhmo linja-autoasema, sijaitsee käytöstä poistetun linja-autoasemarakennuksen pihassa, varsin keskeisellä paikalla taajamassa. Linja-autoasema ei kuitenkaan ole taajaman pysäkeistä parhaiten saavutettavissa. Parhaiten kävellen saavutetaan Koulukatu 38 I -pysäkki, linja-autoasemasta kaakkoon. Sen saavuttaa alle 10

minuutissa 1097 ihmistä (taulukko 7). Koulukatu 38 I:n saavuttaa näin ollen kävellen 11,3 prosenttia useampi ihminen kuin nykyisen keskuspysäkin.

Polkupyörällä taajaman pysäkeistä parhaiten saavutetaan Hyrynsalmi th P. Sen saavuttaa kymmenessä minuutissa 5335 ihmistä, kymmenen prosenttia enemmän kuin nykyisen keskuspysäkin (taulukko 7). Hyrynsalmi th P on nykyistä keskuspysäkkiä paremmin saavutettavissa erityisesti taajaman luoteisosassa asuvalle väestölle (kuva 16). Juuri taajaman luoteisnurkan asutuksen vuoksi Hyrynsalmi th P nousee parhaiten saavutettavaksi matka-ajan kasvaessa (kuvat 17 ja 18). Lyhyillä matka-ajoilla (5–13 min kävellen, 1–3 min pyörällä) parhaiten taajamaväestön saavutettavissa on Koulukatu 38 I. Matka-ajan ollessa 13–25 minuuttia kävellen ja 3–6 minuuttia pyörällä parhaiten saavutetaan Kuhmo linja-autoasema. Sitä pidemmällä matka-ajoilla Hyrynsalmi th P nousee parhaiten saavutettavaksi.

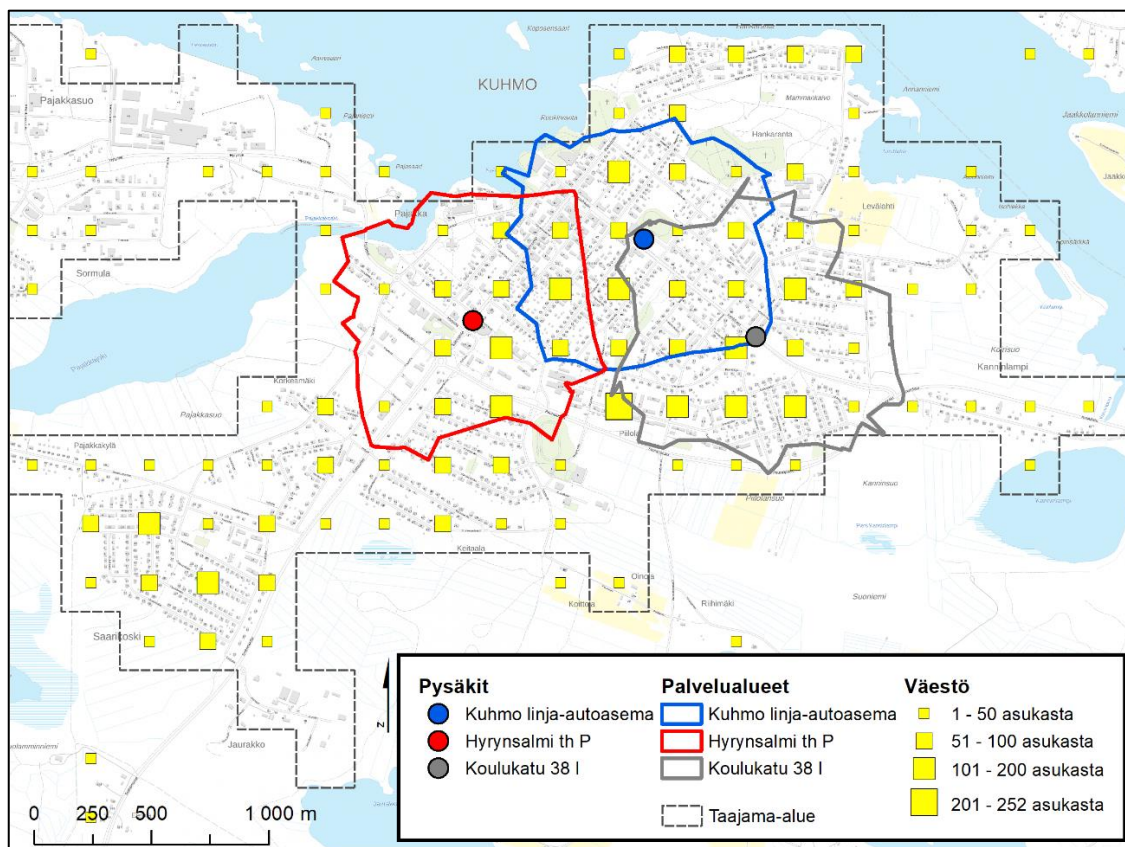
Mikäli keskuspysäkin sijainti vaihdettaisiin Koulukatu 38 I:hin, saavutettavuus kävellen paranisi, mutta kymmenessä minuutissa polkupyörällä pysäkin saavuttaisi 7,8 prosenttia nykyistä harvempi asukas. Siirrettäessä keskuspysäkki Hyrynsalmi th P:n kohdalle, saavutettavuus polkupyörällä kohenisi, mutta kävellen kymmenen minuutin saavutettavuus laskisi 8,8 prosenttia. Nykyisen keskuspysäkin, Kuhmo linja-autoaseman, sijainti onkin näiden tulosten kannalta hyvä kompromissi eikä keskuspysäkin siirtoon tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi olevan tarvetta. Tarkasteltaessa kävelyn palvelualueita huomataan, että Kuhmon kokoisessa taajamassa optimaalisestikaan sijoitettu keskuspysäkki ei enää palvele kattavasti koko taajaman väestöä (kuva 15). Vain 20 prosenttia taajamaväestöstä saavuttaa optimaalisen keskuspysäkin sijainnin kymmenessä minuutissa.

Taulukko 6. Keskuspysäkkien optimaalisten sijaintien saavutettavuus keskisuurissa taajamissa. Taulukossa on ilmoitettu matka-ajat kävelen ja polkupyörällä optimaaliseen keskuspysäkin sijaintiin sekä osuus taajamaväestöstä, joka sijainnin tavoittaa alle kymmenessä minuutissa.

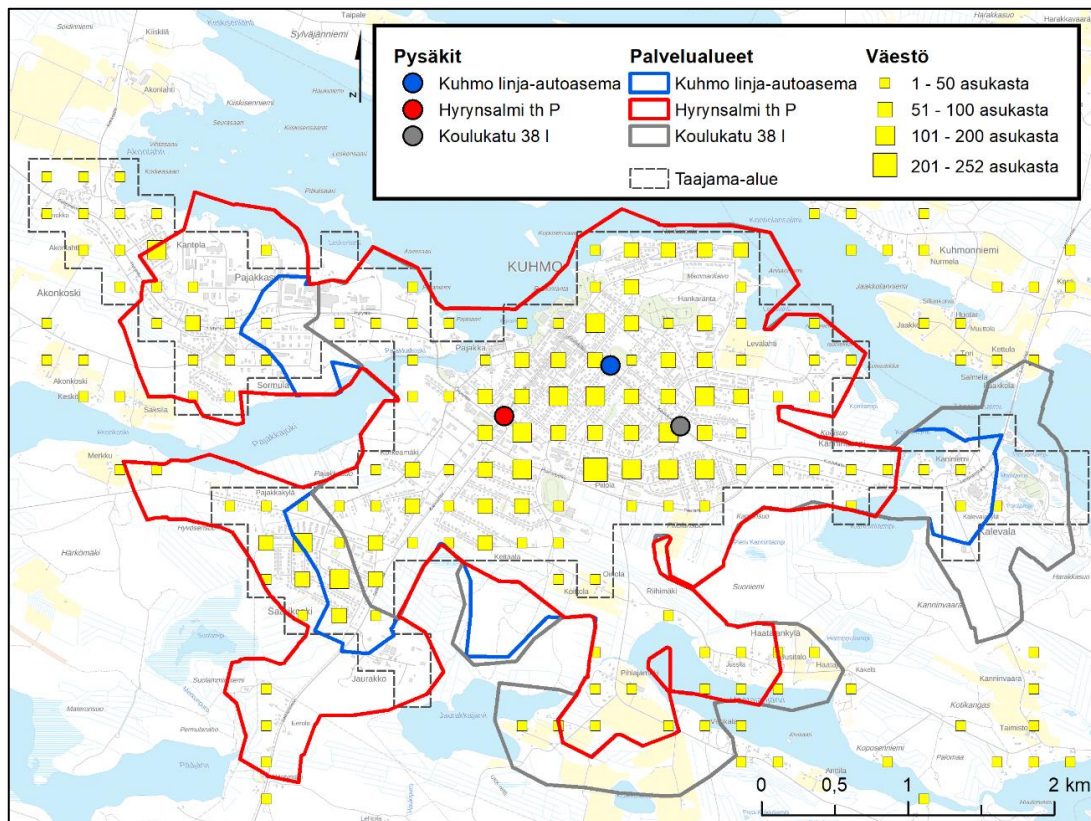
Taajama	Taajaman asukasluku	Matka-aika kävelen (min)	Matka-aika pyörällä (min)	10 min, kävelen (%)	10 min, pyörällä (%)
<b>Kuhmo</b>	5621	61	14	20	93
<b>Suomussalmi</b>	4291	66	16	21	81

Taulukko 7. Saavutettavuusanalyysin tulokset Kuhmon taajamassa. Taulukossa on ilmoitettu niiden asukkaiden määrä, jotka saavuttavat kunkin sijainnin alle kymmenessä minuutissa. Kunkin sijainnin tuloksia verrataan nykyiseen keskuspysäkkiin (lihavoitu).

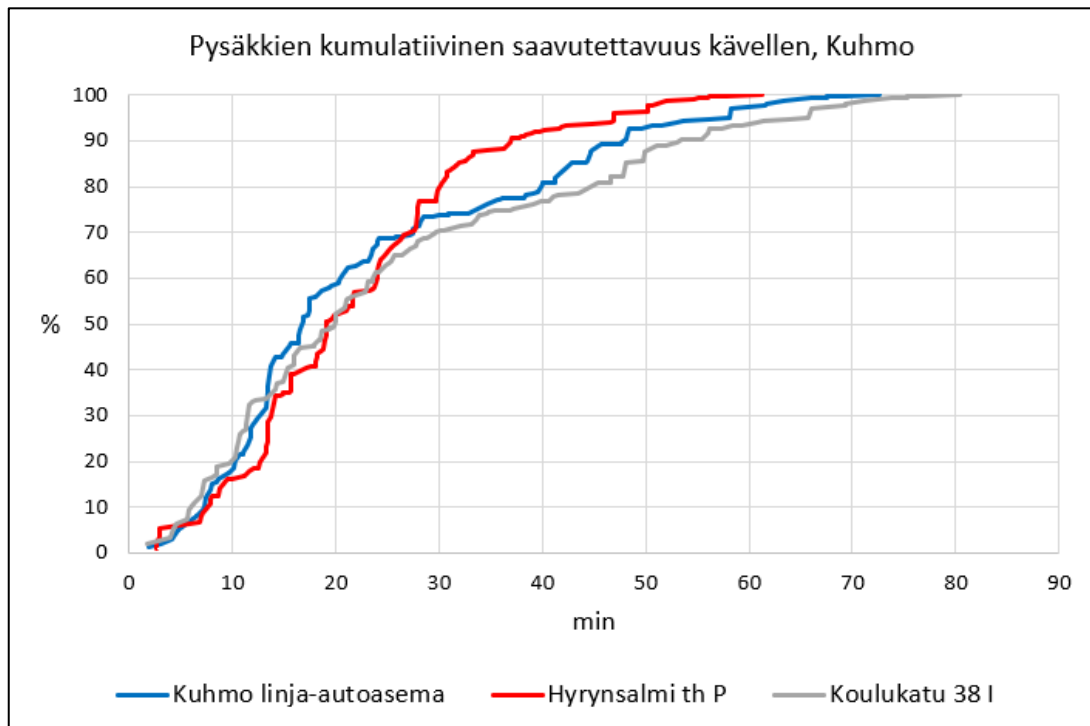
Kuhmo	Kävelen			Pyörällä		
	kpl	muutos	muutos, %	kpl	muutos	muutos, %
<b>Kuhmo linja-autoasema</b>	986	-	-	4848	-	-
Koulukatu 38 I	<b>1097</b>	+111	+11,3	4471	-377	-7,8
Hyrnsalmi th P	899	-87	-8,8	<b>5335</b>	+487	+10,0



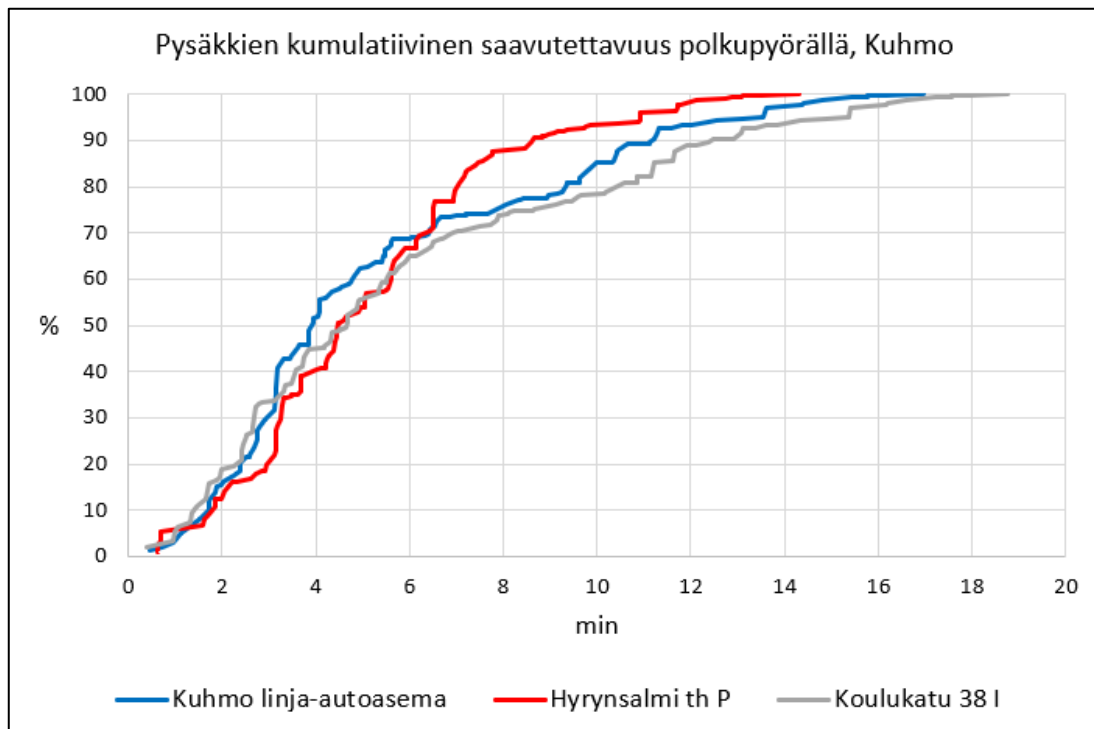
Kuva 15. Kuhmo linja-autoasema-, Hyrnsalmi th P- ja Koulukatu 38 I -pysäkkien palvelualueet kävelen. Palvelualueen sisältä on pysäkillä korkeintaan kymmenen minuutin matka. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.



Kuva 16. Kuhmo linja-autoasema-, Hyrynsalmi th P- ja Koulukatu 38 I -pysäkkien palvelualueet polkupyörällä. Palvelualueen sisältä on pysäkille korkeintaan kymmenen minuutin matka. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.



Kuva 17. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-aikaa.



Kuva 18. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-aikaa.

## Suuret taajamat

Tutkimuksessa tarkastelluista keskuksista Sotkamo nousee kokonsa vuoksi kirjaimellisesti omaan luokkaansa. Ainoastaan yhden taajaman sisältävässä suurten taajamien luokassa taajamaväestöllä kuluu yli kaksi tuntia saavuttaa optimaalinen keskuspysäkin sijainti kävellen (taulukko 8). Taajaman asukaslukukin nousee yli 6000:een. Sotkamosta on tarkastelluista taajamista parhaat linja-autoyhteydet (Miesmaa 2017). Pääsääntöisesti liikenne suuntautuu länteen päin kohti Kajaania sekä itään kohti Kuhmoa. Sotkamon taajama on laaja: siihen kuuluu varsinaisen keskustan ja sen lähialueiden lisäksi Vuokatin alue keskustasta länteen. Nykyinen keskuspysäkki, Sotkamo linja-autoasema, sijaitsee Sotkamon keskustassa, taajama-alueen itäisellä puoliskolla.

Sotkamo linja-autoasema nousee taajaman pysäkeistä parhaiten kävellen saavutettavaksi. Alle kymmenessä minuutissa sen saavuttaa 1065 ihmistä (taulukko 9). Polkupyörällä kymmenessä minuutissa saavutetaan parhaiten Rauhantie I, joka sijaitsee noin puoli kilometriä linja-autoasemasta itään. Saavutettavuuden ero linja-autoasemaan ei kuitenkaan ole suuri, sillä Rauhantie I:n saavuttaa kymmenessä minuutissa pyörällä

vain yhdeksän ihmistä enemmän (0,2%). Toisaalta, mikäli keskuspysäkki siirrettäisiin Rauhantie I:n kohdalle, kymmenen minuutin saavutettavuus kävellen laskisi 17,2 prosenttia. Tarkasteltaessa pysäkkien kumulatiivista saavutettavuutta taajamaväestön osalta (kuva 21) Sotkamo linja-autoasema näyttäisi olevan hieman paremmin saavutettavissa alle kymmenen minuutin kävelyajalla. Matka-ajan kasvaessa yli kymmenen minuutin Rauhantie I nousee puolestaan saavutettavuudessa paremmaksi. Linja-autoaseman saavutettavuus nousee kuitenkin Rauhantie I:tä paremmaksi pitkillä, yli 40 minuutin kävelyajoilla. Kumulatiivinen saavutettavuus polkupyörällä on Rauhantie I:llä parempi alle kymmenen minuutin matka-ajoilla (kuva 22). Matka-ajan kasvaessa yli kymmeneen minuuttiin, linja-autoaseman saavuttaa useampi taajaman asukas kuin Rauhantie I:n. Kaiken kaikkiaan suuria eroja ei kahden pysäkin välille syntynyt, joten tarvetta keskuspysäkin siirtämiseen ei saavutettavuuden näkökulmasta ole.

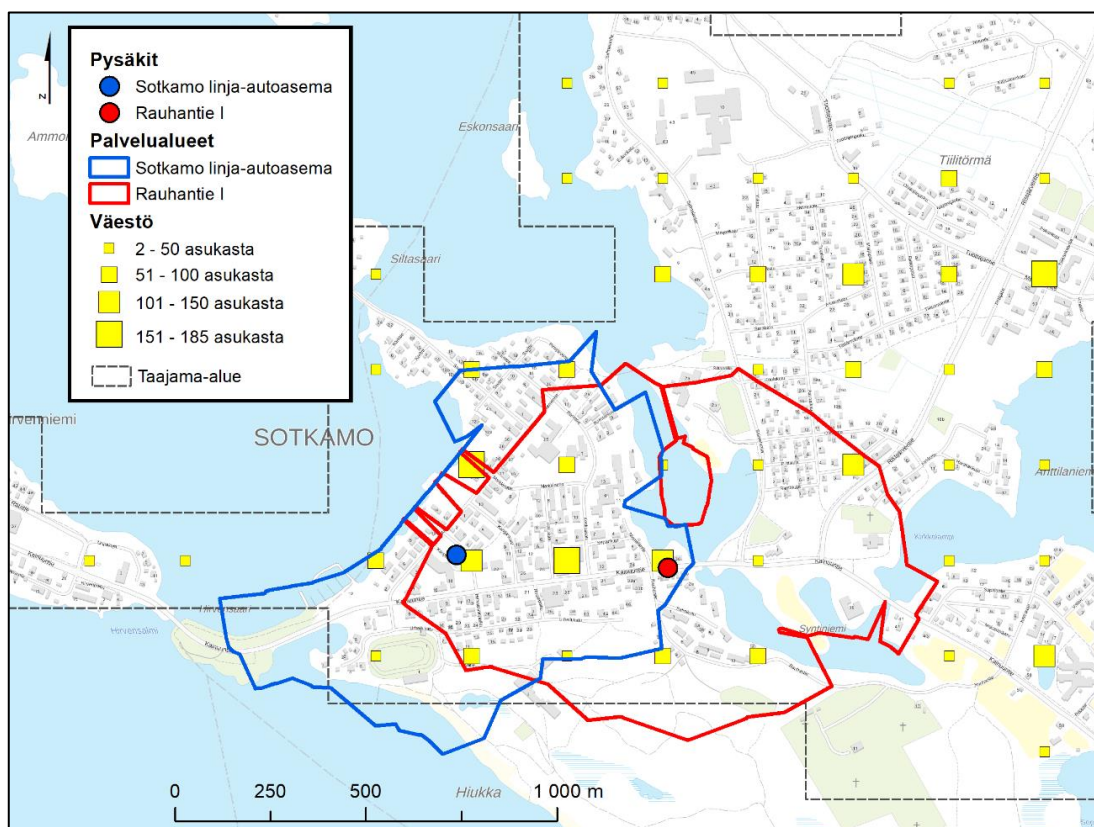
Vaikka nykyinen sijainti on keskuspysäkillä varsin optimaalinen, keskuspysäkin saavuttaa kymmenessä minuutissa kävellen vain 17 prosenttia taajaman asukkaista ja pyörälläkin vain 63 prosenttia (taulukko 8). Sama on havaittavissa palvelualueita tarkastelemalla (kuvat 19 ja 20). Kävelypalvelualue kattaa vain pienen osan taajama-alueita ja pyörälläkin ainoastaan taajaman itäisen puoliskon. Onkin selvää, että Sotkamossa keskuspysäkki vaatii tuekseen kattavan pysäkkiverkon, jotta kaikille taajaman asukkaille voidaan turvata pääsy joukkoliikenteen palveluihin. Sotkamon taajaman muoto, josta on selvästi erotettavissa länsi- ja itäpuoliskot, herättää myös ajatuksen toisen keskuspysäkin asemaan nostetun pysäkin tarpeesta. Kaiken kaikkiaan Sotkamo on kokonsa ja muotonsa puolesta tarkastelluista taajamista joukkoliikennepysäkkien saavutettavuuden kannalta mielenkiintoisin. Niinpä pysäkkien saavutettavuutta Sotkamon taajamassa päätettiin tutkia hieman syvemmin.

Taulukko 8. Keskuspysäkkien optimaalisten sijaintien saavutettavuus suurissa taajamissa. Taulukossa on ilmoitettu matka-ajat kävelen ja polkupyörällä optimaaliseen keskuspysäkin sijaintiin sekä osuus taajamaväestöstä, joka sijainnin tavoittaa alle kymmenessä minuutissa.

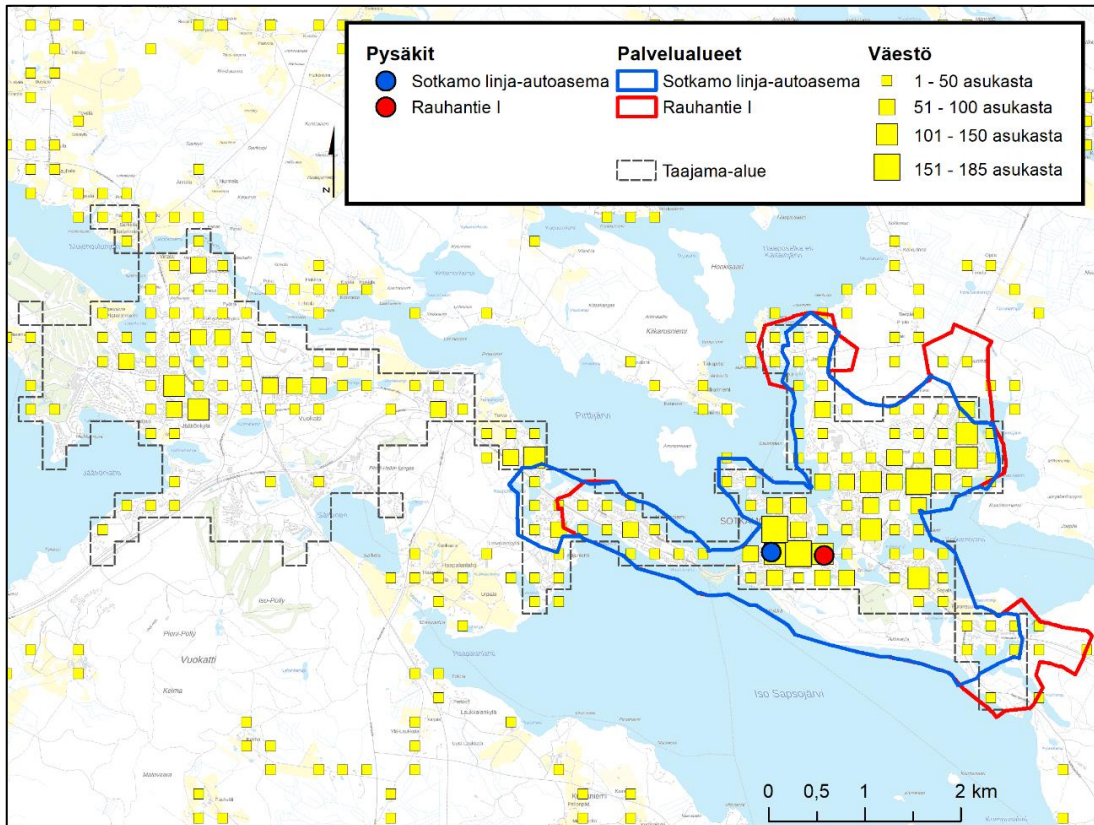
Taajama	Taajaman asukasluku	Matka-aika kävelen (min)	Matka-aika pyörällä (min)	10 min, kävelen (%)	10 min, pyörällä (%)
Sotkamo	6235	132	31	17	63

Taulukko 9. Saavutettavuusanalyysin tulokset Sotkamon taajamassa. Taulukossa on ilmoitettu niiden asukkaiden määrä, jotka saavuttavat kunkin sijainnin alle kymmenessä minuutissa. Kunkin sijainnin tuloksia verrataan nykyiseen keskuspysäkkiin (lihavoitu).

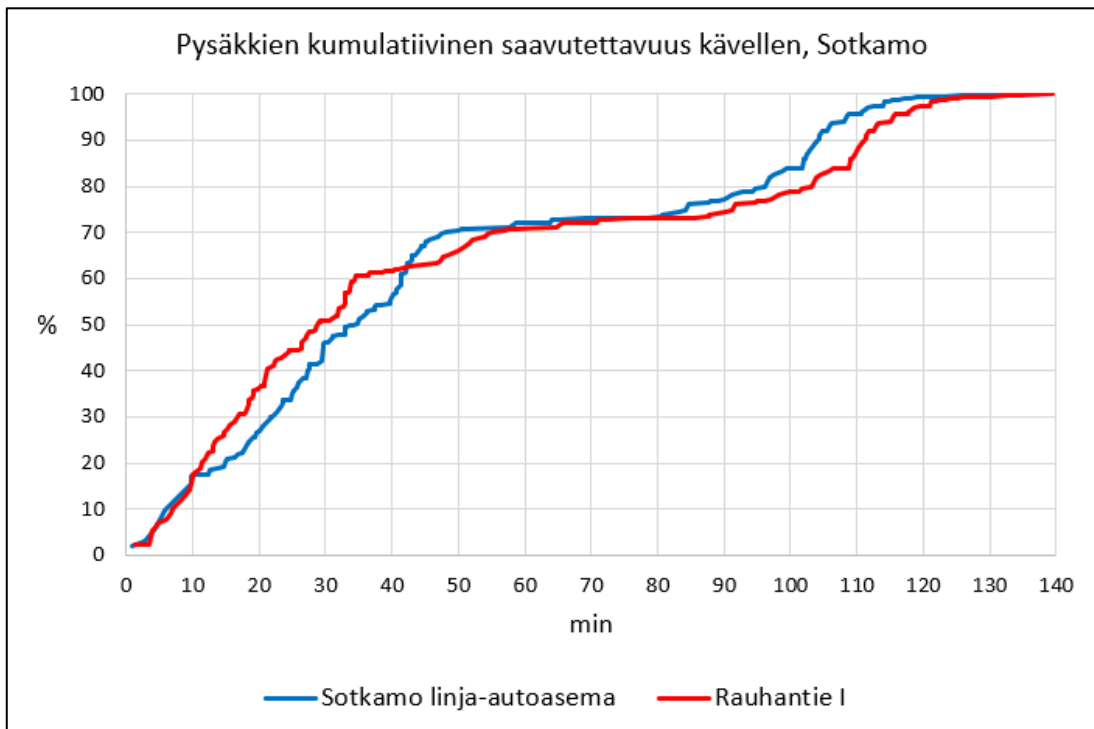
Sotkamo	Kävelen			Pyörällä		
	kpl	muutos	muutos, %	kpl	muutos	muutos, %
<b>Sotkamo linja-autoasema</b>	<b>1065</b>	-	-	3921	-	-
Rauhantie I	882	-183	-17,2	<b>3930</b>	+9	+0,2



Kuva 19. Sotkamo linja-autoasema- ja Rauhantie I -pysäkkien palvelualueet kävelen. Palvelualueen sisältä on pysäkillä korkeintaan kymmenen minuutin matka. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.

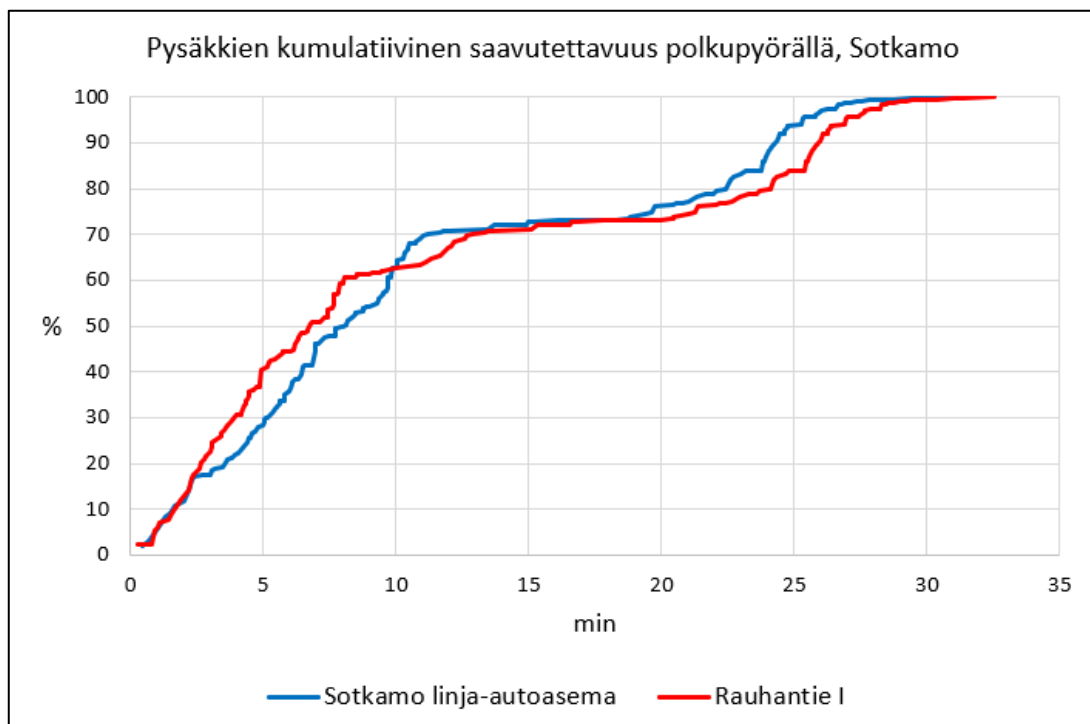


Kuva 20. Sotkamo linja-autoasema- ja Rauhantie I -pysäkkien palvelualueet polkupyörällä. Palvelualueen sisältä on pysäkillä korkeintaan kymmenen minuutin matka. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.



Kuva 21. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-aikaa.





Kuva 22. Pystyakseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaaka-akseli matka-aikaa.

## Usean keskuspysäkin malli Sotkamon taajamassa

Taajaman suuren koon ja kapean muodon vuoksi Sotkamossa tutkittiin yhden keskuspysäkin optimoinnin lisäksi useamman keskuspysäkin mallia. Tarkastelu laajennettiin siis kattamaan tilanne, jossa Sotkamon taajamassa olisi useampi kuin yksi keskuspysäkki. Analyysillä haluttiin selvittää, mihin keskuspysäkit kannattaisi sijoittaa, jotta niiden saavutettavuus kävelen olisi mahdollisimman hyvä, sekä se, kuinka hyvään saavutettavuuteen optimaalisilla sijainneilla päästäisiin.

Useamman keskuspysäkin sijainnin optimointi suoritettiin samaan tapaan kuin yhden pysäkin optimointi. Location-Allocation-työkalussa yhden valittavan pysäkin sijaan algoritmi asetettiin valitsemaan ensin kaksi ja sitten kolme pysäkkiä siten, että niiden kokonaissaavutettavuus olisi mahdollisimman hyvä. Kahden pysäkin analyysissä suurin asukasmäärä saavutettiin yhdistelmällä Sotkamo linja-autoasema (1065 asukasta) ja Tuottajantie E (952 asukasta). Tuottajantie E -pysäkki sijaitsee Ristijärventien varressa, keskustasta koilliseen. Valittaessa kolme pysäkkiä, kahden edellisen lisäksi mukaan valikoitui Ruunalampi P (733 asukasta), joka sijaitsee Vuokatissa, Katinkullantien ja Pohjavaarantien risteyksessä (kuva 23). Mielenkiintoista on, että kahden pysäkin

analyysissä pysäkit valikoituivat taajama-alueen itäpuoliskolta ja vasta kolmas pysäkki sijoittui Vuokatin alueelle. Analyyseissä käykin ilmi, että Sotkamon tiheimmät asutuskeskittymät sijaitsevat keskustassa ja sen itäpuolella. Koko taajamaväestön kumulatiivista saavutettavuutta tarkasteltaessa kahden pysäkin yhdistelmistä linja-autoasema ja Tuottajantie E on parhaiten saavutettavissa hieman yli 20 minuuttiin saakka, mutta sitä pidemmillä kävelyajoilla yhdistelmää linja-autoasema ja Ruunalampi P nousee paremmaksi (kuva 24). Kumulatiivisen saavutettavuuden käyristä huomataan myös, että saavutettavuus taajamaväestön keskuudessa kohenee nopeasti pysäkkien määrän lisääntyessä. Esimerkiksi yhden pysäkin saavuttaa jalkaisin kymmenessä minuutissa noin 17 prosenttia taajamaväestöstä. Kahdesta pysäkistä jommankumman saavuttaa noin 30 prosenttia ja jonkin kolmesta pysäkistä jo noin 44 prosenttia taajaman asukkaista.

### **Sotkamon taajaman pysäkkiverkon optimointi**

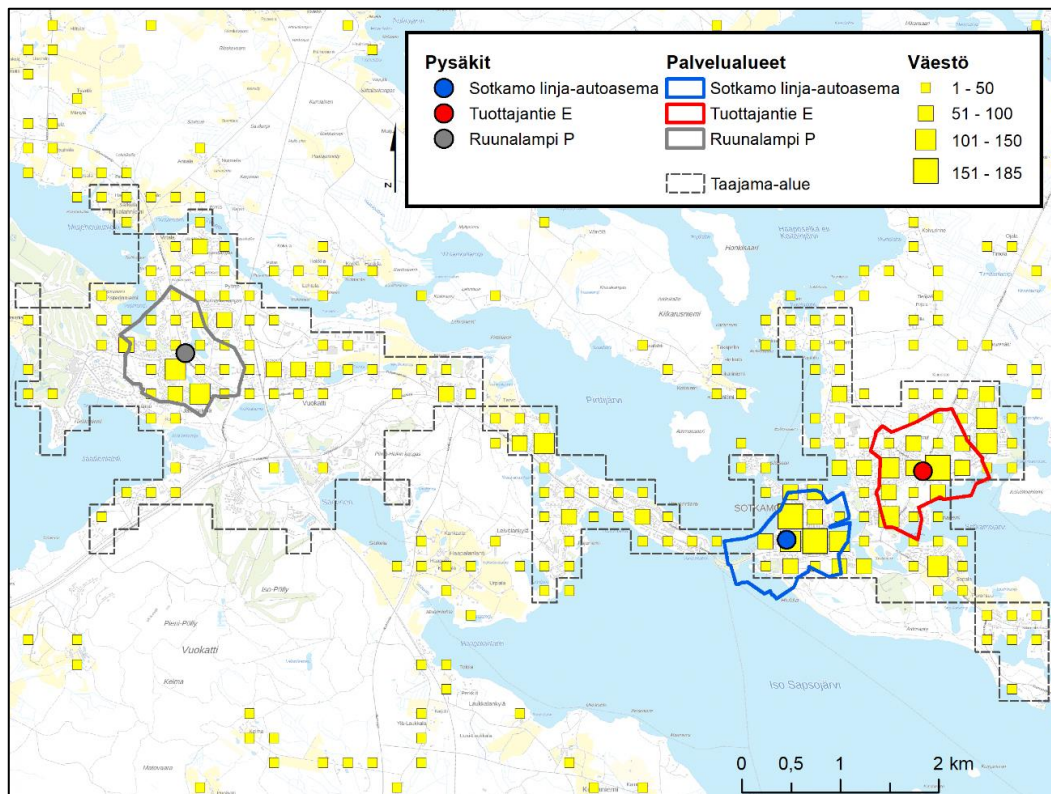
Sotkamossa suoritetuista keskuspysäkkien tarkasteluista huomataan taajaman olevan niin suuri, etteivät edes kaksi keskuspysäkkiä pysty tarjoamaan riittävää joukkoliikenteen saavutettavuutta. Keskuspysäkki tai -pysäkit tarvitsevatkin tuekseen kattavan pysäkkiverkon. Sotkamon taajamassa tutkimusta jatkettiin analysoimalla koko taajama-alueen pysäkkiverkon saavutettavuutta jalkaisin sekä mahdollisuuksia pysäkkiverkon optimoimiseksi.

Sotkamon taajaman pysäkkiverkko on varsin laaja: se käsittää nykyisellään 59 pysäkkiä. Koska pysäkkiparien ja useamman kuin kahden pysäkin yhdistelmien tapauksessa vierekkäiset pysäkit palvelevat samaa aluetta, vain eri suuntiin kulkevaa liikennettä, voidaan näitä yhdistelmiä pitää tämän tarkastelun kannalta yhtenä pysäkkinä. Näin laskien taajamassa voidaan katsoa olevan 34 pysäkkisijaintia, joista asukkaat voivat päästä bussin kyytiin. Sotkamon toisen lisäanalyysin tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin nykyinen pysäkkiverkko on taajaman asukkaiden saavutettavissa. Lisäksi haluttiin selvittää, parantaisiko pysäkkien uudelleensijoittelu pysäkkiverkon saavutettavuutta sekä miten pysäkkien määrän muuttaminen vaikuttaisi saavutettavuuteen.

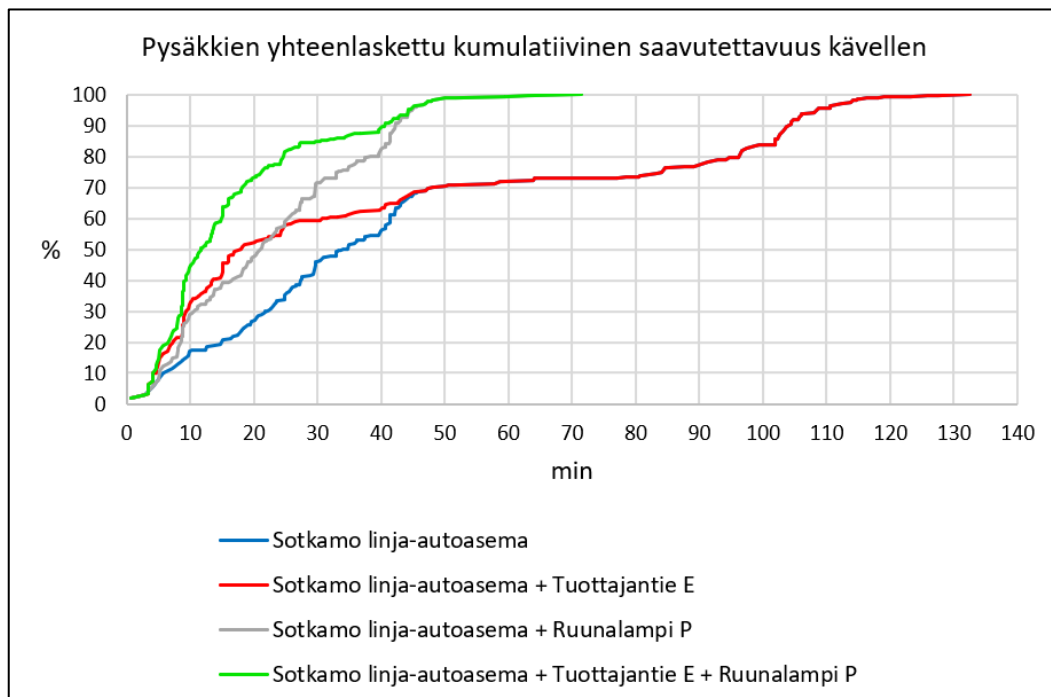
Analyysi suoritettiin Location-Allocation-työkalulla. Optimointia varten tarvittiin ehdokaspisteiden joukko, joka muodostettiin luomalla taajamaa halkovien maanteiden varrelle pisteitä sadan metrin välein (kuva 25). Lisäksi ehdokaspisteiden

joukkoon poimittiin nykyisten pysäkkien sijainnit, jolloin ehdokaspisteitä oli yhteensä 207. Ehdokaspisteiden asettelulla pyrittiin varmistamaan, että optimoinnista saadut sijainnit olisivat käyttökelpoisia pysäkkien sijoituspaikkoja. Kysyntäpisteiksi asetettiin taajama-alueen sisällä sijaitsevat asukaspisteet, joille annettiin painoarvoiksi niiden kokonaisasukasluvut. Kävelyajan raja-arvoksi asetettiin edellisten analyysien tapaan kymmenen minuuttia.

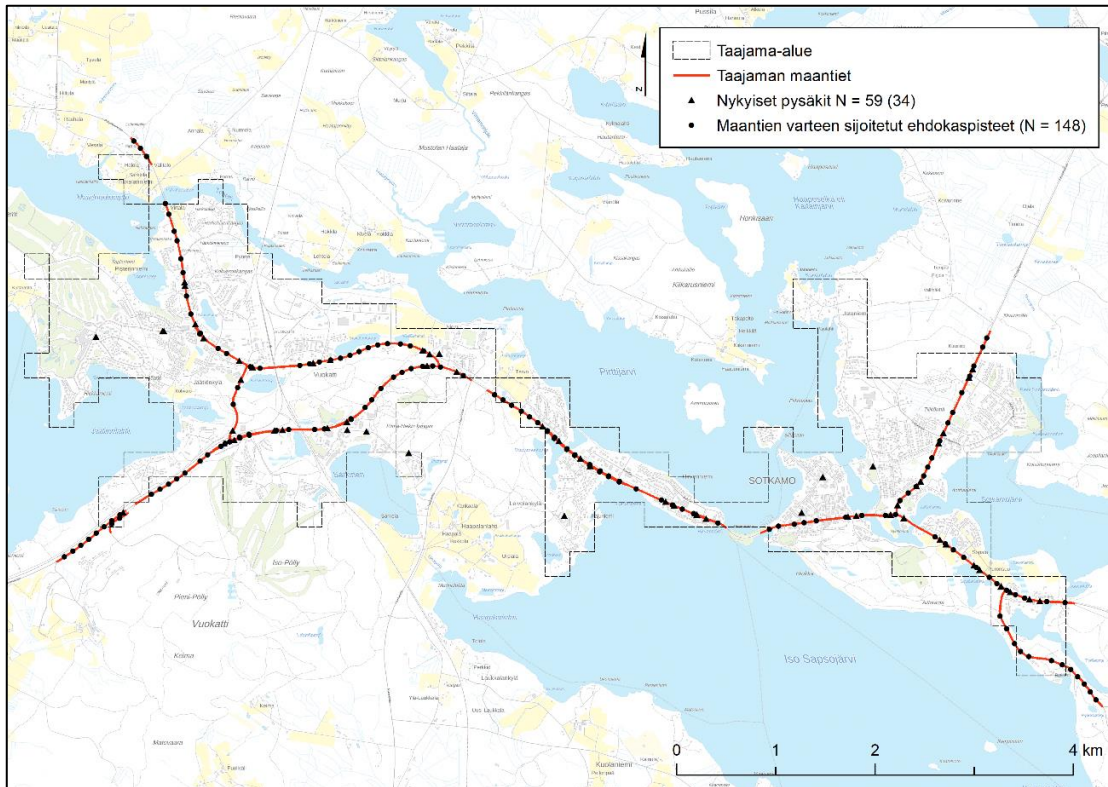
Optimointi toistettiin useita kertoja vaihtaen joka kerta valittavien pysäkkien lukumäärää. Optimointien tulokset on koottu kuvaan 26. Nykyisellään 90 prosenttia Sotkamon taajaman asukkaista saavuttaa jonkin taajaman pysäkeistä alle kymmenessä minuutissa. Kun ehdokaspisteistä valittiin nykyistä vastaava määrä sijainteja, 34 kappaletta, ainakin yhden pysäkin saavutti 92 prosenttia asukkaista. Saavutettavuus ei muuttunut, vaikka ehdokaspisteistä valittiin ensin 30 ja sitten 25 sijaintia. 20 sijainnilla saavutettavuusluku laski 91 prosenttiin, 15 sijainnilla 88 prosenttiin ja kymmenellä sijainnilla 79 prosenttiin. Viidellä sijainnilla pysäkkiverkko oli enää 59 prosentin saavutettavissa. Analyysin perusteella jopa vain 20 pysäkkisijainnilla olisi mahdollista säilyttää taajaman asukkaiden osalta nykyistä vastaava saavutettavuuden taso. Nämä sijainnit on esitetty kuvassa 27.



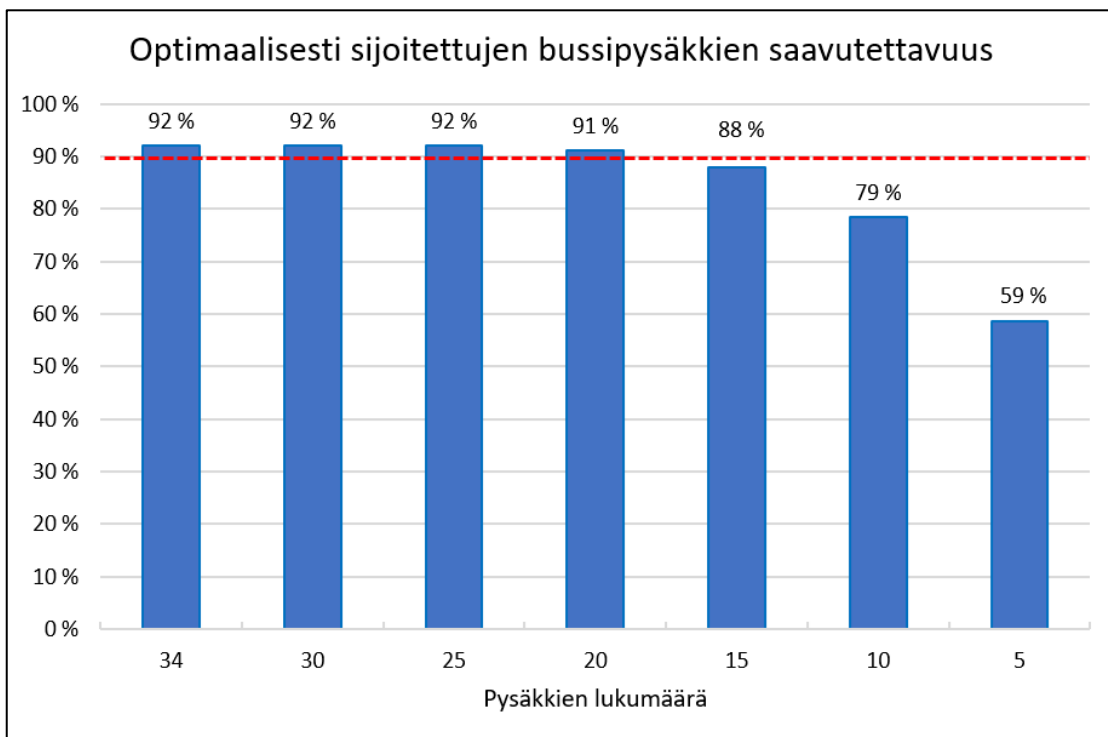
Kuva 23. Saavutettavuudeltaan paras yhdistelmä, kun Sotkamon taajaman pysäkeistä valittiin kolme, sekä pysäkkien kymmenen minuutin palvelualueet kävellessä. Näiden kolmen palvelualueen sisällä asuu 44 % taajaman asukkaista. Kahden pysäkin analyysissä mukaan valikoituivat Sotkamo linja-autoasema ja Tuottajantie E. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.



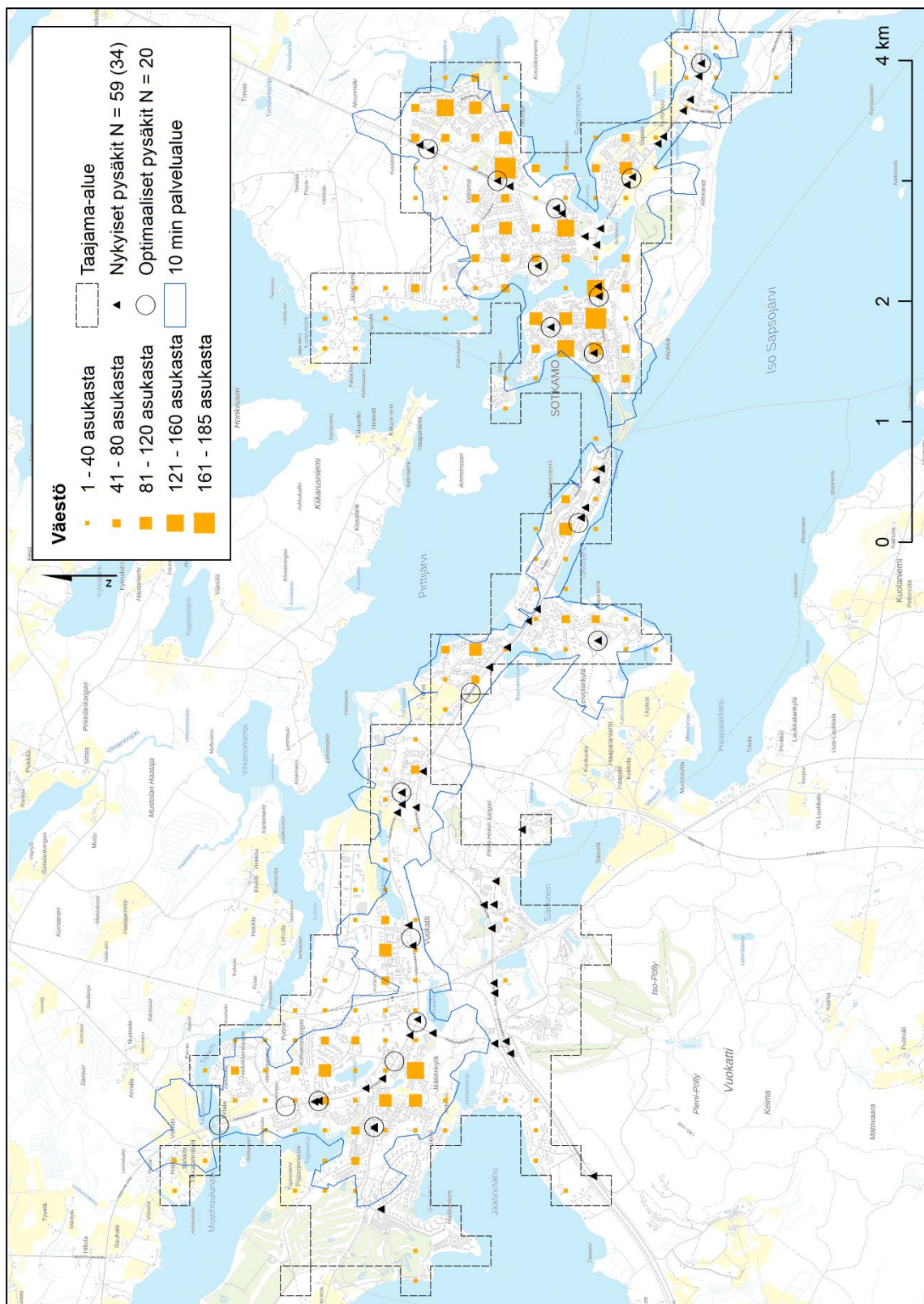
Kuva 24. Eri pysäkkiyhdistelmien kumulatiiviset saavutettavuudet. Pysty-akseli kuvaa pysäkin saavuttaneiden osuutta koko taajamaväestöstä, vaak-akseli matka-aikaa.



Kuva 25. Sotkamon taajaman pysäkkiverkon saavutettavuutta tarkastelemaan analyysiin ehdokaspisteiksi otettiin taajaman nykyiset pysäkit sekä taajama-aluetta halkovien maanteiden varsille sadan metrin välein sijoitetut pisteet. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016.



Kuva 26. Sotkamon taajaman pysäkkiverkon saavutettavuus eri pysäkkimäärillä, mikäli pysäkit sijoitettaisiin optimaalisesti. Analyysissä pysäkiparit ja useamman pysäkin yhdistelmät on katsottu yhdeksi pysäkiä. Nykyisen pysäkkiverkon saavutettavuus on esitetty katkoviivalla.



Kuva 27. Sotkamon taajaman optimoitu pysäkkiverkko. Nykyinen pysäkkiverkko sisältää 59 pysäkkiä ja 34 erillistä sijaintia. Nykyistä vastaava saavutettavuuden taso voitaisiin säilyttää 20 pysäkkisijainnalla. Aineisto: Digiroad 2017, MML 2017, SYKE/YKR 2016, väestöaineisto © YKR/SYKE ja TK 2018.

## POHDINTA

Tutkimuksen ensimmäisenä tavoitteena oli selvittää kunkin taajaman kohdalla asutuksen sijoittumisen kannalta saavutettavuudeltaan paras sijainti keskuspysäkille. Useimmissa tarkastelluista taajamista nykyinen keskuspysäkki todettiin analyysissä vaihtoehtoista parhaaksi. Yhdestätoista taajamasta vain Kontiomäessä, Puolangalla ja Suomussalmella saavutettavuusanalyysien yhteistuloksena parhaaksi nousi jokin muu kuin nykyinen keskuspysäkki (taulukko 10). Loppujen kahdeksan taajaman kohdalla saavutettavuudeltaan parhaaksi todettiin nykyinen keskuspysäkki, Hyrynsalmen ja Otanmäen tapauksessa toinen kahdesta nykyisestä keskuspysäkistä. Vuolijoella, Ristijärvellä, Sotkamossa ja Suomussalmen kirkonkylällä nykyinen keskuspysäkki todettiin taajaman pysäkeistä parhaiten saavutettavaksi kävelleen, Otanmäessä ja Paltamossa sekä kävelleen että polkupyörällä. Hyrynsalmella ja Kuhmossa liikkumismuotojen välillä tulokset jakautuivat, mutta analyyseissä parhaiksi valikoituneiden pysäkkien välissä sijaitsevan keskuspysäkin katsottiin olevan hyvä kompromissi keskuspysäkin paikaksi.

Taulukko 10. Keskuspysäkkien optimaaliset sijainnit tarkastelluissa taajamissa. Taulukossa optimaalisen sijainnin tuloksia verrataan nykyisen keskuspysäkin tuloksiin. Hyrynsalmen ja Otanmäen kohdalla tuloksia verrataan toiseen nykyisistä keskuspysäkeistä.

Nykyinen keskuspysäkki	Optimaalinen sijainti	Kävelleen		Pyörällä	
		Muutos	Muutos (%)	Muutos	Muutos (%)
Hyrynsalmi SEO / Hyrynsalmi tori	Hyrynsalmi tori	+340	+75,9	+28	+2,0
Otanmäki SEO / Otanmäki Siwa	Otanmäki Siwa	+288	+50,0	0	0,0
Vuolijoki MH	Vuolijoki MH				
Kuhmo linja-autoasema	Kuhmo linja-autoasema				
Paltamo	Paltamo				
Kontiomäki rautatieasema	Koivutie E	+118	+55,4	0	0,0
Puolanka MH	Kunnanvirasto	+39	+7,5	-8	-0,5
Ristijärvi L + Ristijärvi I	Ristijärvi L + Ristijärvi I				
Sotkamo linja-autoasema	Sotkamo linja-autoasema				
Suomussalmi linja-autoasema	Syväyksenkatu 25 E	+335	+60,5	-348	-9,9
Suomussalmi kk	Suomussalmi kk				

Toisena tavoitteena tutkimuksessa oli selvittää, kuinka paljon keskuspysäkin saavutettavuutta voitaisiin sijainnin optimoinnilla parantaa kussakin taajamassa. Kaiken kaikkiaan niin sanottu optimointivara todettiin yllättävän pieneksi suurimmassa osassa taajamista nykyisen keskuspysäkin noustessa parhaaksi. Muutamassa tapauksessa, esimerkiksi Kontiomäessä ja Suomussalmella, optimointi toi selvän parannuksen saavutettavuuteen. Erot optimoinnin tuomassa hyödyssä olivat kuitenkin suuret tarkasteltujen liikkumismuotojen välillä.

Pyöräilyn osalta useimmissa taajamissa keskuspysäkin sijainnin optimoinnilla ei saatu suuria parannuksia saavutettavuuteen. Eniten tulos parani Kuhmossa, jossa pyöräilyanalyysin parhaaksi noussut sijainti toi kymmenen prosentin parannuksen saavutettavuuteen. Muissa taajamissa sijainnin optimointi paransi saavutettavuutta vain 0–2,9 prosenttia. Syyksi tähän todettiin useimmissa tapauksissa taajamien pieni koko. Keskuspysäkin havaittiin olevan lähes tulkoon kaikkien taajaman asukkaiden saavutettavissa polkupyörällä, jos se vain sijaitsi edes jokseenkin taajaman keskellä. Taajaman ulkopuolella asukastiheys taas oli huomattavasti taajama-aluetta pienempi. Tästä syystä optimointivaraa ei pyöräilyn osalta ollut yhtä paljon kuin kävelyn osalta. Tarkastelluista taajamista ainoastaan Sotkamo on niin iso, ettei suuri osa taajama-alueesta ole saavutettavissa polkupyörälläkään alle kymmenessä minuutissa. Suuresta koostaan huolimatta myös Sotkamossa pyöräilyn kannalta optimaalinen sijainti todettiin vain 0,8 prosenttia paremmaksi kuin nykyinen keskuspysäkki.

Kävelyanalyysissä suurimmat parannukset saavutettavuudessa havaittiin Kontiomäessä (+55,4 %) ja Suomussalmella (+60,5 %). Suurempia prosenttilukuja selittää toki osaltaan polkupyöräanalyysiin verrattuna pienempi tavoitettu kokonaisasukasmäärä. Analyysien perusteella näyttäisi kuitenkin siltä, että kävelyn kannalta keskuspysäkin sijainnilla on huomattavasti suurempi merkitys kuin pyöräilyn kannalta. Erittäin pienissä taajamissa suurin osa taajamaväestöstä voi saavuttaa keskuspysäkin kävellen, mikäli pysäkki vain on sijoitettu hyvin. Taajaman koon kasvaessa yhä pienempi osa taajaman asukkaista kykenee saavuttamaan keskuspysäkin jalkaisin. Näissä taajamissa keskuspysäkin sijainnilla on kuitenkin ehkä jopa suurempi merkitys sen suhteen, kuinka hyvin pysäkki saavutetaan. Sotkamon tapauksessa etäisyys eri puolilta taajamaa optimaalisestikin sijoitetulle keskuspysäkillä kasvaa niin suureksi, että



mahdollisuuksia saavutettavuuden parantamiseen päätettiin tutkia analysoimalla taajamaa tarkemmin.

Sotkamon ensimmäisessä lisäanalyysissä haluttiin selvittää, mitkä olisivat kävelyn kannalta optimaaliset sijainnit keskuspysäkeille, jos niitä olisi taajamassa useampi kuin yksi. Kahden keskuspysäkin mallissa optimaaliset sijainnit valikoituivat keskustasta (Sotkamo linja-autoasema) ja keskustan läheisyydestä, sen koillispuolelta (Tuottajantie E). Taajaman länsipuoliskolle, Vuokatin alueelle, pysäkki (Ruunalampi P) sijoittui vasta kolmen keskuspysäkin mallissa. Ratkaisua, jossa kaksi keskuspysäkkiä sijaitsisi alle kahden kilometrin päässä toisistaan, ei kuitenkaan ole käytännössä järkevää toteuttaa. Tarkasteltaessa eri ratkaisujen saavutettavuutta koko taajamaväestön kannalta huomattiinkin, että linja-autoaseman ja Tuottajantie E:n yhdistelmä oli saavutettavuudeltaan paras lyhyillä kävelymatkoilla, mutta pisin kävelyaika taajaman sisältä keskuspysäkille oli huomattavasti lyhyempi, kun pysäkit sijoitettiin linja-autoasemalle ja Ruunalampi P -pysäkille. Keskustan ja Vuokatin yhdistelmä olisikin varmasti järkevin vaihtoehto kahden keskuspysäkin malliin. Tällä mallilla myös Vuokatin alue saisi osansa selkeän ja palvelutasoltaan korkean keskuspysäkin aiheuttamasta joukkoliikenteen houkuttelevuuden kasvusta. Myös keskustan koillispuolella, Kirkonseudulla, Ylikylässä ja Tiilitörmässä, asuvien suurten väkimäärien saavutettavuuteen on syytä kuitenkin kiinnittää huomiota. Nykyisellään Sotkamosta länteen ja etelään päin suuntautuvat linja-autovuorot eivät kulje näiden alueiden kautta (Miesmaa 2017). Tilannetta voitaisiin parantaa esimerkiksi muuttamalla Sotkamosta Kajaaniin lähteviä vuoroja siten, että ne aloittaisivatkin matkansa linja-autoaseman sijasta keskustan koillispuolelta. Samoin Kajaanista saapuvat vuorot voisivat jatkaa linja-autoasemalta matkaansa keskustasta koilliseen.

Sotkamon taajama on kooltaan niin suuri, ettei edes useamman keskuspysäkin malli tuota yksinään hyvää saavutettavuutta. Esimerkiksi linja-autoaseman ja Ruunalampi P -pysäkin yhdistelmässä jommankumman pysäkeistä saavuttaa kymmenessä minuutissa vain 32 prosenttia taajamaväestöstä. Tässä tapauksessa joukkoliikenteen saavutettavuuden kannalta onkin olennaista, että keskuspysäkkiä tai -pysäkkejä tuetaan kattavalla pysäkkiverkolla. Sotkamon kohdalla tutkimusta jatkettiin vielä analyysillä, jossa tarkasteltiin taajaman nykyisen pysäkkiverkon saavutettavuutta ja sen optimointimahdollisuuksia.

Toisessa lisäanalyysissä tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin saavutettavissa nykyinen pysäkkiverkko on ja kuinka hyvään saavutettavuuteen voitaisiin päästä, jos pysäkkien sijainnit optimoitaisiin. Lisäksi tavoitteena oli selvittää, miten pysäkkien määrän muutokset vaikuttaisivat pysäkkiverkon saavutettavuuteen. Analyysissä havaittiin, että 90 prosenttia taajaman asukkaista tavoittaa jonkin nykyisen pysäkkiverkon pysäkeistä kävellen kymmenessä minuutissa. Pysäkkien uudelleensijoittelu ei tuottanut suurta kohennusta saavutettavuuteen: optimoidun pysäkkiverkon saavutti 92 prosenttia taajamaväestöstä. Analyysissä huomattiin kuitenkin, ettei pysäkkiverkon saavutettavuus juurikaan laskisi, vaikka pysäkkien määrä vähenisi jonkin verran. Nykyisen tasoinen pysäkkiverkon saavutettavuus olisi mahdollista järjestää nykyisten 34 pysäkkisijainnin sijaan tarvittaessa vain 20 pysäkkisijainnilla.

Kuvasta 27 huomataan, että optimaalisesti sijoitetut 20 pysäkkiä sijoittuivat suurelta osin reitille, joka alkaa taajaman luoteisnurkasta kulkien seututie 899:ää ja kantatie 76:tta pitkin kohti itää kaartuen sitten seututie 888:lle kohti koillista. Sijainneista 16 valikoitui nykyisten pysäkkien kohdalle tai niiden välittömään läheisyyteen. Useat nykyisistä pysäkeistä näyttäisivätkin olevan saavutettavuuden kannalta varsin hyvin sijoittuneita ja tarpeellisia. Toisaalta joitain taajaman osia jäi optimoinnissa pysäkkiverkon palvelualueen ulkopuolelle. Esimerkiksi Vuokatin eteläosaan jäi laaja alue, josta optimaalisesti sijoitettujen 20 pysäkin saavuttaminen ei ole mahdollista kymmenessä minuutissa. Tämä johtunee siitä, että alueelle sijoittunut vakinainen asutus on vähäistä. Sen sijaan alueelle on sijoittunut hotelleja ja muuta matkailijoille tarkoitettuja majoitusmahdollisuuksia sekä paljon erilaisia urheiluun liittyviä palveluita, kuten Vuokatin laskettelurinteet. Tarvetta pysäkeille siis alueella varmasti on, vaikka asutukseen keskittyvä analyysi ei sitä kykenekään huomioimaan. Myös Sotkamon keskustan pohjoispuolella sijaitsevat Ylikylä ja Jataniemi jäävät palvelualueen ulkopuolelle. Alueet ovat verrattain kaukana maanteistä eikä niiden lähellä ole nykyisiä pysäkkejä, minkä takia ehdokaspisteiden joukosta ei löytynyt sijaintia, joka näitä alueita palvelisi.

Tutkimuksessa käytetty menetelmä keskuspysäkkien sijaintien optimointiin toimi pääsääntöisesti hyvin. Käytetyt analyysit täyttivät niille asetetut tavoitteet, ja tutkimuskysymyksiin löydettiin vastaukset. Menetelmä tarjoaa mahdollisuuden pysäkkien saavutettavuuden arviointiin ja parantamiseen, mikä puolestaan

potentiaalisesti lisää joukkoliikenteen houkuttelevuutta ja käyttäjämääriä. Menetelmästä löytyi kuitenkin myös kehitettävää. Keskuspysäkkien sijoittamiseen käytetyt saavutettavuusanalyysit eivät esimerkiksi huomioi linja-autojen käyttämiä reittejä tai taajama-alueen ulkopuolella sijaitsevia pysäkkejä. Tämä saattoi taajamien reuna-alueilla johtaa tilanteeseen, jossa analyysi oletti asukkaan kävelevän tai pyöräilevän jollekin muulle kuin todellisuudessa häntä lähimpänä olevalle pysäkille. Tällä tuskin kuitenkaan oli suurta vaikutusta analyysien lopputuloksiin. Toisaalta epäselvää on, kuinka usein joukkoliikenteen käyttäjä matkustaa keskuspysäkille, mikäli lähempänä on perustason pysäkki, jonka kautta hänen tarvitsemansa linja kulkee. Keskuspysäkin paremman vuorotarjonnan ja palvelutason aikaan saamaa ”vetovoimaa” ei ole tutkittu, joten sen vaikutusta on vaikea arvioida.

Toinen menetelmän kehityskohta liittyy analyyseissä käytettyyn väestöaineistoon. Tutkimuksessa 250 m x 250 m väestöruudut muutettiin väestöpisteiksi siirtämällä ruutujen sisältämä data kunkin ruudun keskelle luotuun pisteeseen. Asetelma ei tietenkään täysin vastaa todellisuutta. Osa pisteistä asettui sijaintiin, jossa asutusta ei tosiasiansa voi olla. Esimerkiksi Puolangalla muutama piste sijoittui vesistön kohdalle (kuva 11). Käytetyt väestöpisteet, erityisesti suuria asukaslukuja sisältävät pisteet, saattoivat hieman vinouttaa analyysejä myös toisella tapaa. Pysäkin palvelualueen reunan lähelle sijoittunut väestöpiste saattoi heilauttaa analyysin tulosta suuntaan tai toiseen sen mukaan, tuliko se lasketuksi mukaan palvelualueeseen vai ei. On vaikea sanoa, kuinka paljon tällaiset tapaukset vaikuttivat analyysien tuloksiin, mutta suurimmillaan vaikutukset olivat varmasti pienimmissä taajamissa, joissa etäisyydet ja tavoitettujen väestöpisteiden määrät olivat pienimpiä. Yksi mahdollisuus välttää edellä kuvatut ongelmat olisi yksittäisten pisteiden sijasta luoda jokaiseen ruutuun asukaslukua vastaava määrä pisteitä ja antaa kullekin pisteelle painoarvoksi yksi, hieman samaan tapaan kuin Määttä-Juntunen ym. (2013) tutkimuksessaan tekivät.

Keskuspysäkkien sijaintien optimoinnissa hyödynnettyä menetelmää käytettäessä on hyvä huomata, ettei kymmenen minuutin raja-arvolla suoritettu analyysi anna valmista tai täydellistä ratkaisua ongelmaan. Tietyllä raja-arvolla suoritettu laskenta antaa vain yksittäisen ”pysäytyskuvan” saavutettavuudesta. Tarkasteltaessa pysäkkien kumulatiivisten saavutettavuuksien käyriä huomataan, että pysäkkien väliset erot saavutettavuudessa voivat elää paljonkin eri minuuttimäärillä. Lopullista optimaalista

sijaintia valittaessa onkin syytä hyödyntää tietokoneen suorittaman optimoinnin lisäksi kumulatiivisen saavutettavuuden kuvaajia, palvelualuekarttoja sekä muuta alueesta käytettävissä olevaa tietoa. Päätökseen keskus pysäkin sijainnista vaikuttavat asukkaiden saavutettavuuden ohella lukuisat muut tekijät, kuten lähellä sijaitsevat palvelut, pysäkin liikenneyhteydet ja pysäkillä jo olemassa oleva varustelu.

Tutkimuksessa käytettyä menetelmää voitaisiin jatkossa syventää tarkastelemalla kokonaisväestön sijasta erillisiä väestöryhmiä. Hyödyllistä olisi esimerkiksi tutkia, millaisia eroja eri ikäryhmien kokemissa saavutettavuuksissa on. Todettakoon kuitenkin, ettei ryhmittäinen tarkastelu välttämättä ole mielekästä aivan pienissä taajamissa vähäisen asukasmäärän vuoksi. Sen sijaan Sotkamossa tähän voisi olla jo hyvät edellytykset.

Toinen esiin noussut jatkotutkimusaihe on liityntäliikenne polkupyörällä. Polkupyörän käyttö laajentaa huomattavasti joukkoliikennepysäkkien palvelualueita kävelyyn verrattuna, joten sen lisääminen olisi niin matkustajien kuin joukkoliikennettä järjestävien tahojenkin kannalta järkevää. Pyöräily joukkoliikennepysäkille on tällä hetkellä Suomessa vähäistä (Liikennevirasto 2018), mutta poikkeaviakin esimerkkejä löytyy. Alankomaissa pyöräilyn osuuden liityntäliikenteestä on todettu olevan kymmeniä prosentteja (Givon & Rietveld 2007). Tilaa kehitykselle siis on olemassa. Jatkotutkimuksessa voitaisiin esimerkiksi kartoittaa alueita, joilla on suuri potentiaali pyörän käyttöön sekä selvittää pyöräilyn esteitä ja ongelmia. Pyöräilyä liityntäliikennemuotona tuetaan Suomessa yleensä asentamalla pysäkeille pyörätelineitä, joihin matkustaja voi pyöränsä kiinnittää saapuessaan pysäkille. Tämä menettely ei kuitenkaan mahdollista pyörän käyttöä matkattaessa joukkoliikennepysäkiltä lopulliseen kohteeseen. Pohjois-Amerikassa asiaa on lähestytty toisella tapaa. Yhdysvalloissa ja Kanadassa linja-autoihin asennetut pyöränkuljetustelineet ovat lisänneet niin polkupyörän kuin linja-autonkin käyttöä (Pucher & Buehler 2009, Pucher ym. 2010). Uudenlaisten ratkaisujen etsiminen olisikin yksi tapa lisätä pyöräilyä.

Sotkamon taajaman koko pysäkkiverkon arviointiin käytetty menetelmä todettiin sekin toimivaksi. Analyysillä saatiin helposti määritettyä pysäkkiverkon saavutettavuuden nykytila. Pysäkkiverkon optimointi ei anna valmista ratkaisua verkon kehittämiseen, mutta sen avulla voidaan esimerkiksi tunnistaa pysäkkisijainneista saavutettavuuden kannalta tärkeimmät. Kuten keskus pysäkkien sijainnin optimoinnin

kohdalla, myös tämä menetelmä vaatii tuekseen monen tekijän tarkastelua, jotta päätösten pohjaksi saadaan kattava käsitys tilanteesta.

Pysäkkiverkon saavutettavuusanalyysistä saatua tietoa voitaisiin jatkossa täydentää muilla aineistoilla. Kainuun seudulla kerätään esimerkiksi dataa joukkoliikenteen nousuista pysäkeittäin. Näiden kahden aineiston tarkastelu yhdessä voisi paljastaa uutta tietoa joukkoliikennettä järjestävien tahojen käyttöön. Aineistojen avulla voitaisiin esimerkiksi löytää alueita, joissa sekä asutus että joukkoliikenteen käyttö on vähäistä. Näiden pysäkkien kohdalla voitaisiin pohtia tarkemmin pysäkin tarpeellisuutta. Puolestaan alueilla, joissa on paljon asutusta mutta vain vähän joukkoliikenteen nousuja, voitaisiin paneutua pohtimaan, mitkä tekijät haittaavat joukkoliikenteen käyttöä ja pyrkiä poistamaan näitä tekijöitä.

Paikkatietojärjestelmiä ja saavutettavuusanalyysiä linja-autopysäkkien sijoittelun välineinä on käsitelty kirjallisuudessa jonkin verran (esim. Chien & Qin 2004, Ibeas ym. 2010, Huang & Liu 2014, Chen ym. 2018), mutta vastaavaa tutkimusta, jossa optimoitaisiin taajamien keskuspysäkkien sijainteja, ei ole toteutettu. Aiempien tutkimusten tapaan tässäkin tutkimuksessa havaittiin pysäkeissä olevan varaa optimaalisempaan sijoitteluun, joskin keskuspysäkkien kohdalla optimointivara todettiin yllättävän pieneksi. Nyt käytetty menetelmä täydentää akateemisessa kirjallisuudessa aiemmin esiteltyä pysäkkien sijaintien optimoinnin menetelmävalikoimaa.

Kaiken kaikkiaan tutkimuksessa käytetyllä menetelmällä on suuri soveltamispotentiaali. Vastaavilla analyyseillä voitaisiin suorittaa pysäkkien sijaintien optimointia myös muilla alueilla. Joukkoliikennettä järjestävien tahojen jatkaessa keskuspysäkkien kehitystyötä (ks. Weiste ym. 2014) on saavutettavuuden arviointi yksi tärkeä tarkastelukulma. Pysäkkien parempi saavutettavuus nostaa joukkoliikenteen houkuttelevuutta liikkumismuotona lisäten näin joukkoliikenteen käyttöä. Henkilöautolla taitettujen matkojen korvautuessa joukkoliikennematkoilla edetään koko ajan kohti liikenteen päästöjen vähenemistä ja ilmastonmuutoksen hillintää. Tässä tutkielmassa esitellyn menetelmän käyttöä voidaan laajentaa linja-autopysäkeistä myös muiden joukkoliikennemuotojen, kuten junien tai raitiovaunujen, pysäkkien tarkasteluun. Samaan tapaan voitaisiin optimoida myös esimerkiksi yhteiskäyttöpyöräasemien sijainteja. Kestävien liikkumismuotojen lisäksi menetelmää voidaan käyttää apuna sijoitettaessa erilaisia palveluita, kuten päivittäistavarakauppoja, terveysasemia ja

kouluja. Lyhentämällä matkoja näihin jokapäiväisiin ja elintärkeisiin palveluihin, pystytään turvaamaan niiden saavutettavuus sekä vähentämään liikenteen aiheuttamaa raskautusta ympäristölle.

## LÄHTEET

- Ahlström, A., P. Pilesjö & J. Lindberg (2011). Improved accessibility modelling and its relation to poverty – a case study in Southern Sri Lanka. *Habitat International* 35, 316–326.
- Arentze, T. A. & E. J. E. Molin (2013). Travelers' preferences in multimodal networks: design and results of a comprehensive series of choice experiments. *Transportation Research Part A* 58 15–28.
- Bakker, S., M. Zuidgeest, H. de Coninck & C. Huizenga (2014). Transport, development, and climate change mitigation: towards an integrated approach. *Transport Reviews* 34: 3, 335–355.
- Balogun, T. F., H. Okeke & C. I. Chukwukere (2014). Crime mapping in Nigeria using GIS. *Journal of Geographic Information System* 6, 453–466.
- Blum, C. & A. Roli (2003). Metaheuristics in combinatorial optimization: overview and conceptual comparison. *ACM Computing Surveys* 35: 3, 268–308.
- Burke, M. & A. L. Brown (2007). Distances people walk for transport. *Road and Transport Research* 16: 3, 16–29.
- Carling, K., J. Håkansson & N. Rudholm (2013). Optimal retail location and CO<sub>2</sub> emissions. *Applied Economic Letters* 20: 14, 1357–1361.
- Ceder, A., M. Butcher & L. Wang (2015). Optimization of bus stop placement for routes on uneven topography. *Transportation Research Part B* 74, 40–61.
- Chang, K.-T. (2017). Geographic Information System. *Teoksessa Richardson, D., N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu & R. A. Marson (toim.): The International Encyclopedia of Geography. People, the Earth, Environment and Technology*. John Wiley & Sons, Hoboken.
- Chen, J., S. Wang, Z. Liu & X. Chen (2018). Network-level optimization of bus stop placement in urban areas. *KSCE Journal of Civil Engineering* 22: 4, 1446–1453.
- Chia, J., J. B. Lee & M. Kamruzzaman (2016). Walking to public transit: exploring variations by socioeconomic status. *International Journal of Sustainable Transportation* 10: 9, 805–814.
- Chien, S. I., B. J. Dimitrijevic & L. N. Spasovic (2003). Optimization of bus route planning in urban commuter networks. *Journal of Public Transportation* 6: 1, 53–79.
- Chien, S. I. & Z. Qin (2004). Optimization of bus stop locations for improving transit accessibility. *Transport Planning and Technology* 27: 3, 211–227.

- Christiansen, L. B., M. Toftager, J. Schipperijn, A. K. Ersbøll, B. Giles-Corti & J. Troelsen (2014). School site walkability and active school transport – association, mediation and moderation. *Journal of Transport Geography* 34, 7–15.
- Cidell, J. (2010). Concentration and decentralization: the new geography of freight distribution in US metropolitan areas. *Journal of Transport Geography* 18, 363–371.
- Ciscal-Terry, W., M. Dell’Amico, N. S. Hadjidimitriou & M. Iori (2016). An analysis of drivers route choice behaviour using GPS data and optimal alternatives. *Journal of Transport Geography* 51: 119–129.
- Daniels, R. & C. Mulley (2013). Explaining walking distance to public transport: the dominance of public transport supply. *The Journal of Transport and Land Use* 6: 2, 5–20.
- Delmelle, E. M., S. Li & A. T. Murray (2012). Identifying bus stop redundancy: a GIS-based spatial optimization approach. *Computers, Environment and Urban Systems* 36, 445–455.
- Digiroad (2017). Tietolajien kuvaus. Julkaisu 2/2017.  
<[https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/236203/Tietolajien\\_kuvaus\\_2\\_2017.pdf/f9bc6b18-5526-4f90-9ffd-a16f517737c5](https://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/236203/Tietolajien_kuvaus_2_2017.pdf/f9bc6b18-5526-4f90-9ffd-a16f517737c5)>. 3.5.2018.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik* 1, 269–271.
- Edwards, D. & T. Griffin (2013). Understanding tourists’ spatial behaviour: GPS tracking as an aid to sustainable destination management. *Journal of Sustainable Tourism* 21: 4, 580–595.
- El-Geneidy, A., M. Grimsrud, R. Wasfi, P. Tétreault & J. Surprenant-Legault (2014). New evidence on walking distances to transit stops: identifying redundancies and gaps using variable service areas. *Transportation* 41, 193–210.
- El-Geneidy, A., D. Levinson, E. Diab, G. Boisjoly, D. Verbich & C. Loong (2016). The cost of equity: assessing transit accessibility and social disparity using total travel cost. *Transportation Research Part A* 91, 302–316.
- Esri (2016). Algorithms used by the ArcGIS Network Analyst extension.  
<<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.4/extensions/network-analyst/algorithms-used-by-network-analyst.htm>>. 16.5.2018.
- Euroopan komissio (2018a). Road transport: Reducing CO2 emissions from vehicles.  
<[https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles\\_fi](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles_fi)>. 22.8.2018.
- Euroopan komissio (2018b). Transport emissions.  
<[https://ec.europa.eu/clima/policies/transport\\_fi](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport_fi)>. 22.8.2018.



- Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EY) N:o 1370/2007 <<https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:315:0001:0013:FI:PDF>>. 7.8.2018.
- Euroopan unionin toiminnasta tehdyn sopimuksen konsolidoitu toisinto (2012). *Euroopan unionin virallinen lehti* C 326, 47–390.
- Fan, Y., A. Guthrie & D. Levinson (2012). Impact of light-rail implementation on labor market accessibility. A transportation equity perspective. *Journal of Transport and Land Use* 5: 3, 28–39.
- Farrington, J. H. (2007). The new narrative of accessibility: its potential contribution to discourses in (transport) geography. *Journal of Transport Geography* 15, 319–330.
- Farrington, J. & C. Farrington (2005). Rural accessibility, social inclusion and social justice: towards conceptualisation. *Journal of Transport Geography* 13, 1–12.
- Foda, M. A. & A. O. Osman (2010). Using GIS for measuring transit stop accessibility considering actual pedestrian road network. *Journal of Public Transportation* 13: 4, 23–40.
- Foth, N., K. Manaugh & A. M. El-Geneidy (2013). Towards equitable transit: examining transit accessibility and social need in Toronto, Canada, 1996–2006. *Journal of Transport Geography* 29, 1–10.
- Fransen, K., T. Neutens, S. Farber, P. De Maeyer, G. Deruyter & F. Witlox (2015). Identifying public transport gaps using time-dependent accessibility levels. *Journal of Transport Geography* 48, 176–187.
- 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.
- Givoni, M. & P. Rietveld (2007). The access journey to the railway station and its role in passengers' satisfaction with rail travel. *Transport Policy* 14, 357–365.
- Grengs, J. (2010). Job accessibility and the modal mismatch in Detroit. *Journal of Transport Geography* 18, 42–54.
- Gutiérrez, J. & J. C. García-Palomares (2008) Distance-measure impacts on the calculation of transport service areas using GIS. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35, 480–503.
- Guzman, L. A., D. Oviedo & C. Rivera (2017). Assessing equity in transport accessibility to work and study: the Bogotá region. *Journal of Transport Geography* 58, 236–246.

- Hakim, M. M. & R. Merkert (2016). The causal relationship between air transport and economic growth: empirical evidence from South Asia. *Journal of Transport Geography* 56, 120–127.
- Hawas, Y. E., M. N. Hassan & A. Abulibdeh (2016). *Journal of Transport Geography* 57, 19–34.
- Heikinheimo, V., E. Di Minin, H. Tenkanen, A. Hausmann, J. Erkkonen & T. Toivonen (2017). User-generated geographic information for visitor monitoring in a national park: a comparison of social media data and visitor survey. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 6: 3, 85.
- Heinen, E. & W. Bohte (2014.) Multimodal commuting to work by public transport and bicycle: attitudes toward mode choice. *Transportation Research Record* 2468: 1, 111–122.
- Hijmans, R. J., S. E. Cameron, J. L. Parra, P. G. Jones & A. Jarvis (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 25: 15, 1965–1978.
- Horner, M. W. & A. T. Murray (2004). Spatial representation and scale impacts in transit service assessment. *Environment and Planning B: Planning and Design* 31, 785–797.
- Huang, Z. & X. Liu (2014). A hierarchical approach to optimizing bus stop distribution in large and fast developing cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 3, 554–564.
- Iacono, M., K. J. Krizek & A. El-Geneidy (2010). Measuring non-motorized accessibility: issues, alternatives, and execution. *Journal of Transport Geography* 18: 133–140.
- Ibeas, Á., L. dell’Olio, B. Alonso & O. Sainz (2010). Optimizing bus stop spacing in urban areas. *Transportation Research Part E* 46, 446–458.
- Joukkoliikennelaki 869/2009. <<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20090869>>. 7.8.2018.
- Jäppinen, S., T. Toivonen & M. Salonen (2013). Modelling for potential effect of shared bicycles on public transport travel times in Greater Helsinki: an open data approach. *Applied Geography* 43, 13–24.
- Kumar, P. P., M. Parida & M. Swami (2013). Performance evaluation of multimodal transportation systems. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 104, 795–804.
- Laki liikenteen palveluista 320/2017.  
<<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2017/20170320>>. 7.8.2018.

- Lakshmanan, T. R. (2011). The broader economic consequences of transport infrastructure investments. *Journal of Transport Geography* 19, 1–12.
- Liikennevirasto (2018). Henkilöliikennetutkimus 2016. Suomalaisten liikkuminen. *Liikenneviraston tilastoja 1*.
- Longley, P. A. (2008). Geographic Information Systems (GIS). *Teoksessa* Kemp, K. K. (toim.): *Encyclopedia of Geographic Information Science*, 190–194. SAGE Publications, Lontoo.
- Marcus, D. A. (2011). *Graph theory: a problem oriented approach*. The Mathematical Association of America.
- Marsden, G., A. Ferreira, I. Bache, M. Flinders & I. Bartle (2014). Muddling through with climate change targets: a multi-level governance perspective on the transport sector. *Climate Policy* 14: 5, 617–636.
- Mavoa, S., K. Witten, T. McCreanor & D. O’Sullivan (2012). GIS based destination accessibility via public transit and walking in Auckland, New Zealand. *Journal of Transport Geography* 20, 15–22.
- Miesmaa, J. (2017). Joukkoliikenteen keskuspaikkien kehittäminen Kainuussa. *Raportteja 53*. 56 s. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
- Moniruzzaman, M. & A. Páez (2012). Accessibility to transit, by transit, and mode share: application of a logistic model with spatial filters. *Journal of Transport Geography* 24, 198–205.
- Moseley, M. J. (1979). *Accessibility: the rural challenge*. 193 s. Methuen & Co Ltd, Lontoo.
- Moseley, M. J. (2003). *Rural Development. Principles and Practice*. 216 s. SAGE Publications, Lontoo.
- Moseley, M. J. & S. Owen (2008). The future of services in rural England: the drivers of change and a scenario for 2015. *Progress in Planning* 69, 93–130.
- Moura, J. L., B. Alonso, Á. Ibeas & F. J. Ruisánchez (2012). A two-stage urban bus stop location model. *Networks and Spatial Economics* 12, 403–420.
- Murray, A. T. (2003). A coverage model for improving public transit system accessibility and expanding access. *Annals of Operations Research* 123, 143–156.
- Määttä-Juntunen, H., J. Pöllänen & J. Rusanen (2013). GIS-pohjainen toimintamalli henkilöautoliikenteen tuottaman CO<sub>2</sub>-päästön arviointiin. Ilmastoystävällinen kaavoitus (ILKA) -hankkeen loppuraportti. *Nordia Tiedonantoja 2/2013*.
- Neutens, T. (2017). Accessibility, in transportation planning. *Teoksessa* Richardson, D., N. Castree, M. F. Goodchild, A. Kobayashi, W. Liu & R. A. Marson (toim.): *The*

*International Encyclopedia of Geography. People, the Earth, Environment and Technology.* John Wiley & Sons, Hoboken.

- Näyhä, S., T. Lankila, A. Rautio, M. Koironen, T. H. Tammelin, A. Taanila, J. Rusanen & J. Laitinen (2013). Body mass index and overweight in relation to residence distance and population density: experience from the Northern Finland birth cohort 1966. *BMC Public Health* 13: 938.
- 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.
- Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus (2017). Joukkoliikenteen palvelutason vahvistaminen Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksen toimivalta-alueelle 2017–2018. <[https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/13779922/Pohjois-Pohjanmaan\\_joukkoliikenteen\\_palvelutasopaatos\\_2017-2018.pdf/213536bc-649e-4b41-93a1-862446c6439a](https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/13779922/Pohjois-Pohjanmaan_joukkoliikenteen_palvelutasopaatos_2017-2018.pdf/213536bc-649e-4b41-93a1-862446c6439a)>. 8.8.2018.
- Pucher, J. & R. Buehler (2009). Integrating bicycling and public transport in North America. *Journal of Public Transportation* 12: 3, 79–104.
- Pucher, J., J. Dill & S. Handy (2010). Infrastructure, programs, and policies to increase bicycling: an international review. *Preventive Medicine* 50, 106–125.
- Rodrigue, J.-P., C. Comtois & B. Slack (toim.) (2013). *The Geography of Transport Systems*. 3. p. 411 s. Routledge, Abingdon, Oxon.
- Rodrigue, J.-P., C. Comtois & B. Slack (toim.) (2017). *The Geography of Transport Systems*. 4. p. 400 s. Routledge, Abingdon, Oxon.
- Rodrigue, J.-P. & C. Ducruet (2013). Method 2 – graph theory: definition and properties. *Teoksessa* Rodrigue, J.-P., C. Comtois & B. Slack (toim.): *The Geography of Transport Systems*. 3. p. 307–312. Routledge, Abingdon, Oxon.
- 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.
- Scheiner, J. (2014). Gendered key events in the life course: effects on changes in travel mode choice over time. *Journal of Transport Geography* 37, 47–60.
- Schoenau, M. & M. Müller (2017). What affects our urban travel behaviour? A GPS-based evaluation of internal and external determinants of sustainable mobility in Stuttgart (Germany). *Transportation Research Part F* 48, 61–73.
- Scott, J. M. (1993). Gap analysis: a geographic approach to protection of biological diversity. *Wildlife Monographs* 123. 41 s.

- Shaw, J., R. Knowles & I. Docherty (2008). Introducing transport geographies. *Teoksessa Knowles, R., J. Shaw & I. Docherty (toim.) Transport Geographies. Mobilities, Flows and Spaces*, 3–9. Blackwell Publishing, Lontoo.
- Shaw, S.-L. & J.-P. Rodrigue (2017). Method 4 – geographic information systems for transportation (GIS-T). *Teoksessa Rodrigue, J.-P., C. Comtois & B. Slack (toim.): The Geography of Transport Systems*. 4. p. 356–361. Routledge, Abingdon, Oxon.
- Sheller, M. & J. Urry (2006). The new mobilities paradigm. *Environment and Planning A* 38: 207-226.
- Shuurman, N. (2004). *GIS. A short introduction*. 150 s. Blackwell Publishing, Lontoo.
- Store, R. & H. Antikainen (2010). Using GIS-based multicriteria evaluation and path optimization for effective forest field inventory. *Computers, Environment and Urban Systems* 34, 153–161.
- Tervonen, P. (2003). Vuolijoen kulttuurimaiseman kerroksia. *Alueelliset ympäristöjulkaisut* 316. Kainuun ympäristökeskus.
- Tirachini, A. (2014). The economics and engineering of bus stops: spacing, design and congestion. *Transportation Research Part A* 59, 37–57.
- Vasconcelos, A. S. & T. L. Farias (2012). Evaluation of urban accessibility indicators based on internal and external environmental costs. *Transportation Research Part D* 17, 433–441.
- Wang, J., H. Mo, F. Wang & F. Jin (2011). Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport network: a complex network approach. *Journal of Transport Geography* 19, 712–721.
- Weiste, H., A. Mantila & M. Seila (2014). Valtakunnallinen pysäkkiselvitys – pysäkkiverkot ja pysäkkien palvelutaso. *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä* 43. 67 s.
- Wibowo, S. & P. Olszewski (2005). Modeling walking accessibility to public transport terminals: case study of Singapore mass rapid transit. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6, 147–156.
- Yao, S., B. P. Y. Loo & B. Z. Yang (2016). Traffic collisions in space: four decades of advancement in applied GIS. *Annals of GIS* 22: 1, 1–14.
- Yap, M. D., G. Correia & B. van Arem (2016). Preferences of travellers for using automated vehicles as last mile public transport of multimodal train trips. *Transportation Research Part A* 94, 1–16.
- Ymparisto.fi (2016). Yhdyskuntarakenteen seurannan aineistot.  
<[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto\\_ja\\_kaavoitus/Yhdyskuntarakenn](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenn)

*e/Tietoa\_yhdyskuntarakenteesta/Yhdyskuntarakenteen\_seurannan\_aineistot>*.  
15.5.2018.

Ymparisto.fi (2017a). Taajamien rajaus.

*<[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto\\_ja\\_kaavoitus/Yhdyskuntarakenn  
e/Tietoa\\_yhdyskuntarakenteesta/Taajamien\\_rajaus](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenn<br/>e/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta/Taajamien_rajaus)>*. 15.5.2018.

Ymparisto.fi (2017b). Tietoa yhdyskuntarakenteesta.

*<[http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto\\_ja\\_kaavoitus/Yhdyskuntarakenn  
e/Tietoa\\_yhdyskuntarakenteesta](http://www.ymparisto.fi/fi-FI/Elinymparisto_ja_kaavoitus/Yhdyskuntarakenn<br/>e/Tietoa_yhdyskuntarakenteesta)>*. 14.5.2018.

Yu, B., H. Zhu, W. Cai, N. Ma, Q. Kuang & B. Yao (2013). Two-phase optimization approach to transit hub location – the case of Dalian. *Journal of Transport Geography* 33, 62–71.

Zahabi, S. A. H., L. Miranda-Moreno, Z. Patterson, P. Barla & C. Harding (2012).

Transportation greenhouse gas emissions and its relationship with urban form, transit accessibility and emerging green technologies: a Montreal case study. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 54, 966–978.