

# Taksimatkojen yhdistelypotentiaalin arviointi paikkatietoanalyysillä

HARRI ANTIKAINEN<sup>1</sup>, JARMO RUSANEN<sup>1</sup> & PÄIVI TILLMAN<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maantieteen tutkimusyksikkö, Oulun yliopisto & <sup>2</sup>Kelan tutkimus



Antikainen, Harri, Jarmo Rusanen & Päivi Tillman (2018). Taksimatkojen yhdistelypotentiaalin arviointi paikkatietoanalyysillä (Evaluating the shareability of taxi trips using geographical information analysis). *Terra* 130: 4, 163–173.

While being an indispensable mode of transportation, the occupancy rate of taxi vehicles is generally low. In this study, we used a large data set on actual taxi trips to assess how ride sharing could provide means to decrease the number of trips and traveled distance. We implemented a method based the notion of a shareability network, allowing us to determine the set of trips associated with the highest benefit of sharing. Due to the complexity of the problem, we only considered pairwise ride sharing. Even with this limitation, we found that potentially a considerable number of taxi trips can be shared. Our analysis suggested that up to two out of three trips are shareable with at least one other trip. Although shareability is dependent on the length of the time window, a significant proportion of sharing opportunities can be realized even in short time windows.

Key words: taxi transportation, GIS, ride sharing, shareability network

Harri Antikainen, Geography Research Unit, University of Oulu, Pentti Kaiteran katu 1, P. O. Box 8000, FI-90014 Oulu. E-mail: <harri.antikainen@oulu.fi>

Taksiliikenne on tärkeä osa julkista liikennettä, sillä se mahdollistaa liikkumisen ilman tarvetta oman auton omistamiseen lähes missä ja milloin tahansa – myös alueilla, joilla joukkoliikenteen palvelutaso on huono tai sitä ei ole ollenkaan. Taksi on tärkeä kuljetusmuoto myös henkilöille, jotka eivät esimerkiksi liikuntarajoitteen vuoksi pysty käyttämään joukkoliikennettä.

Hyödyistään huolimatta taksiliikenne on varsin tehottomasti käytetty kuljetusmuoto. Suomessa taksien kuljetuskapasiteetin käyttöaste on keskimäärin 26 prosenttia kaikki taksiliikenne huomioiden, ja muun kuin säännöllisen tilausliikenteen osalta käyttöaste on vain 20 prosenttia (Julkisen... 2017: 23). Käytännössä taksissa on siis usein vain yksi matkustaja. Taksiliikenteen tehokkuutta olisi mahdollista parantaa huomattavasti nostamalla taksiliikenteessä käytettävien ajoneuvojen käyttöastetta. Tämä edellyttäisi matkojen yhdistelyä.

Taksimatkojen sekä muiden henkilökuljetusten yhdistely on aihe, jota on viime vuosina tutkittu melko runsaasti monilla aloilla. Lisääntyneen kiinnostuksen taustalla ovat paitsi taloudelliset myös ilmanlaatuun, kaupunkitilan käyttöön, liikenteen toimivuuteen ja energiankulutukseen liittyvät syyt. Matkojen yhdistelyn on katsottu parantavan liikennejärjestelmän tehokkuutta, helpottavan ruuhkau-

tumista, vähentävän onnettomuuksia, pienentävän polttoaineen kulutusta sekä alentavan ympäristölle ja terveydelle haitallisia päästöjä (Fellows & Pitfield 2000; Caulfield 2009; Jacobson & King 2009; Agatz ym. 2012). Toisaalta myös paikannus- ja viestintäteknologian tuoma murros perinteisen taksiliikenteen kanssa kilpailevien kuljetuspalveluiden tuottamisessa on lisännyt tarvetta matkojen yhdistelyä koskevalle tutkimukselle (Furuhata ym. 2013; Cetin & Deakin 2017). Tunnetuimpia esimerkkejä uudenlaisista, yksityishenkilöiden omistamilla autoilla tehtävien matkojen jakamista hyödyntävistä palveluista ovat Uber ja Lyft (Cramer & Krueger 2016). Osaltaan matkojen yhdistelyyn liittyy myös ajatus liikkumisesta palveluna (*Mobility as a Service*, MaaS), johon kuuluu joukkoliikenteen ohella taksien ja yksityisautojen käytön jakaminen (Jittrapirom ym. 2017). Näihin liittyen myös Suomessa on tällä hetkellä meneillään hankkeita, joilla etsitään ratkaisuja päästövähennystavoitteiden saavuttamiseksi julkisilla varoilla rahoitettuja kuljetuksia yhdistelemällä (Laita 2018).

Aiheeseen liittyvää akateemista tutkimusta ja menetelmäkehitystä on tehty erityisesti operaatiotutkimuksessa ja tietojenkäsittelytieteissä. Tutkimukset ovat keskittyneet paljolti yksittäisten matkojen yhdistelyyn teknisenä ratkaisuna, joka olisi sovellet-

tavissa tilauksia käsittelevään tietojärjestelmään liiketaloudellisesti tuottavalla tavalla (Furuhata ym. 2013; Santos & Xavier 2015). Tutkimuksessa on kuitenkin kiinnitetty vähemmän huomiota siihen, kuinka matkojen yhdistely vaikuttaisi reaali maailman liikennejärjestelmiin. Tähän asti tutkimukset ovat rajoittuneet koskemaan tiheästi asuttuja metro-poleja, joissa myös taksiliikenteen tiheys on suuri, kuten esimerkiksi New Yorkia (Santi ym. 2014), San Franciscoa (Li ym. 2014), Atlantaa (Agatz ym. 2011), Singaporea (Wang ym. 2018), Pekingiä (Ma ym. 2013) ja Santiago de Chileä (Massaro 2017). Sen sijaan aiemmissa tutkimuksissa ei juurikaan ole tarkasteltu Suomelle tyypillisiä olosuhteita, joissa liikennevirrat ovat ohuita ja mahdollisuudet yhdistellä matkoja vähemmän ilmeisiä.

Tutkimuksemme perustuu Kansaneläkelaitoksen (Kelan) sairausvakuutuslain (1224/2004) perusteella korvaamiin taksimatkoihin Tampereen yliopistollisen sairaalan (TAYS) erityisvastuualueella (erva) vuonna 2015. Tutkimus liittyy Kelan tutkimuksen sekä Oulun yliopiston maantieteen tutkimusyksikön yhteistyönä toteutettuun hankkeeseen, jonka aihioittajana toimi Kela. Hankkeeseen liittyen olemme aiemmin selvittäneet todellisuudessa toteutuneiden taksimatkojen yhdistelyjen tuomia säästöjä sekä yhdistelemättä jääneisiin matkoihin liittyvää toteutumaton säästöpotentiaalia (Antikainen ym. 2018). Tutkimusaineisto tarjoaa kuitenkin myös mahdollisuuden osoittaa, että lähtökohtaisesti taloudellisilla perusteilla tapahtuva taksimatkojen yhdistely voi osaltaan tarjota mahdollisuuden vähentää liikennettä ja sen aiheuttamia haittoja Suomessa.

Tässä tutkimusartikkelissa esitämme menettelytavan, jolla taksimatkojen yhdistelypotentiaali voidaan mallintaa tietyin rajoituksin. Kuvaamme myös aineiston prosessoinnin vaiheet sekä erilaiset ratkaisut, joiden avulla varsin suuren tutkimusaineiston tarkastelu kokonaisuudessaan oli mahdollista paikkatietojärjestelmässä. Lisäksi esitämme tekemämme mallinnuksen perusteella arvion taksimatkojen yhdistelypotentiaalista sekä siitä, missä määrin potentiaali riippuu ajankohdasta ja käytettävästä aikaikkunasta.

## Taksimatkojen yhdistelyongelma

Taksimatkojen yhdistelyssä on yleisemmällä tasolla kyse ajoneuvon reititysongelmasta (*vehicle routing problem*, VRP), jota on eri variaatioineen tutkittu runsaasti jo vuosikymmenien ajan (Cordeau & Laporte 2003; Hosni ym. 2014; Qiang & Shuang-Shuang 2018). Reititysongelmien ratkaisemiseksi on kehitetty lukuisia ohjelmistotyökaluja,

joita sisältyy myös yleiskäyttöisiin paikkatietojärjestelmistöihin. Tällä hetkellä ehkä paras esimerkki tästä on ArcGIS-ohjelmiston Network Analyst -laajennusosa ja siihen sisältyvä Vehicle Routing Problem -työkalu (ArcGIS... 2018), joka soveltuu monentyyppisten reititys-, kuljetus- ja aikataulutongelmien ratkaisuun.

Taksimatkojen yhdistelyongelman voidaan täsmällisemmin katsoa olevan tyyppiltään kutsuliikenteen yhdistelyongelma (*dial-a-ride problem*, DARP), jonka tavoitteena on saada matkoja yhdistelemällä ajoneuvon kuljetettavaksi mahdollisimman monta matkustajaa (Cordeau & Laporte 2007; Tulevaisuuskuva... 2015). DARP-ongelmassa määritellään joukko edullisimman kustannuksen reittejä, joilla toteutetaan tehdyt kuljetustilaukset. Jokainen tilaus koskee tietyn matkustajajoukon kuljettamista tietyistä lähtöpisteistä tiettyyn kohdepisteeseen. Eri tilauksiin liittyvät matkustajat voivat matkustaa samassa ajoneuvossa sen kuljetuskapasiteetin asettamissa rajoissa. Ongelmaan voi sisältyä rajoituksia koskien matkustusajan pituutta sekä lähtö- ja saapumisajan siirtymistä yhdistelyn vuoksi (Cordeau & Laporte 2003; Masson ym. 2014). Ongelma voi lisäksi olla luonteeltaan joko staattinen tai dynaaminen. Staattisessa yhdistelyssä kaikki tilaukset tiedetään etukäteen, kun taas dynaamisen yhdistelyn tapauksessa uusia tilauksia voidaan yhdistellä jo liikkeellä oleviin matkoihin (Cordeau & Laporte 2007). DARP-ongelmaa on tutkittu erityisesti liikuntarajoitteisille henkilöille tarjottavien kuljetuspalvelujen kohdalla, koska näiden kuljetusten järjestely on usein DARP-tyyppinen: asiakkaita kuljetetaan kysyntäohjautuvasti ovelta ovelle, kuitenkin siten että autoissa kuljetaan kerrallaan useampaa kuin yhtä asiakasta (Hunsaker & Savelsbergh 2002).

DARP on monien muiden sijainti- ja reititysongelmien tavoin vaikeasti ratkaistava kombinatorinen ongelma, jolloin optimaalisten ratkaisujen löytäminen eksaktisti on käytännössä mahdollista vain suhteellisen pienille aineistoille (Calvo & Colomi 2007; Cordeau & Laporte 2007; Ma ym. 2015). Kirjallisuudessa on runsaasti tutkimuksia, joissa on ehdotettu erilaisia heuristisia menetelmiä DARP-ongelman ja sen variaatioiden ratkaisemiseksi. Heuristiikka tarkoittaa yleisesti keinoja löytää laskennallisesti vaativaan ongelmaan nopeasti hyvä, joskaan ei välttämättä paras mahdollinen ratkaisu (Pearl 1984). Usein DARP-tyyppisen ongelman ratkaisussa hyödynnetään kaksivaiheista menetelmää, jonka ensimmäisessä vaiheessa luodaan kärkeä alkuratkaisu, jota sitten parannetaan jollakin heuristiikalla (Ma ym. 2015). Ongelman ratkaisussa voidaan käyttää useita menetelmiä, kuten tabuetsintää (esim. Detti ym. 2017), geneettisiä algorit-

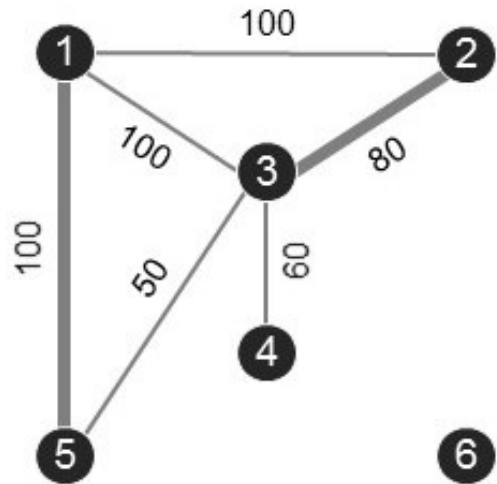
meja (Masmoudi ym. 2017) tai agenttipohjaista simulointia (Campbell ym. 2016). DARP-ongelman ratkaisemiseksi ehdotetuista menetelmistä (sekä todellisen optimin löytämiseen tähtäviä eksakteja menetelmiä että laskentaa helpottavia heuristisia menetelmiä) on julkaistu myös joitakin katsaus-tyyppisiä tutkimusartikkeleita (Hosni ym. 2014; Molenbruch ym. 2017).

Vaikka DARP-ongelmaan liittyvää tutkimusta on tehty kohtalaisen paljon, varsinaisia paikkatietojärjestelmään yhdistettävissä olevia ohjelmistotyökaluja on vähän. Kuitenkin muun muassa ArcGIS-ohjelmistoon sisältyvä Vehicle Routing Problem -työkalua on mahdollista soveltaa monien VRP-ongelmien ratkaisemiseen, DARP-tyyppisten yhteiskuljetusten optimointi mukaan lukien. Työkalu perustuu tabu-etsintään, jota pidetään parhaiten VRP-tyyppisten ongelmien ratkaisemiseen soveltuvana metaheuristisena menetelmänä (Cordeau ym. 2002). ArcGIS:n tarjoamaa ohjelmistotyökalua ovat Suomessa hyödyntäneet henkilökuljetusten yhdistelymahdollisuuksia koskevassa tutkimuksessa tuotantotaloustieteilijä Heikki Liimatainen ja kumppanit (2015), jotka ovat tarkastelleet Tampereen Logistiikan operoimia vammaispalvelulain ja sosiaalihuoltolain mukaisten matkojen sekä Tampereen Aluetaksin välittämien sairausvakuutuslain mukaisten matkojen yhdistelymahdollisuuksia Pirkanmaan sairaanhoitopiirin alueella. Vastaavalla tavalla ryhmäkuljetusten optimointia Tampereen alueella on tutkinut myös Suvi-Tuuli Mansikkamäki (2014). Molemmissa tutkimuksissa todettiin, että henkilökuljetuksissa on merkittävä yhdistelypotentiaalia. VRP-työkalun suhteellisen tehokkaasta laskentakyvystä huolimatta tutkimuksissa pystyttiin kuitenkin käyttämään pelkästään yhden tyyppiliseksi katsotun päivän tai vain yhden aamupäivän mittaista otosta suurista matkatietoaineistoista.

Vaikka aiemmat tutkimukset ovat osoittaneet, että henkilökuljetuksiin liittyy Suomessa merkittäviä yhdistelymahdollisuuksia, ei tutkimuksissa ole juurikaan tavoiteltu suurten aineistojen tarjoaman tietosisällön analysointia kokonaisuudessaan. Matkojen yhdistelyongelmissa laajasti käytettyihin heuristisiin menetelmiin liittyy myös epävarmuuden ongelma, joka korostuu kun pienen otoksen avulla saatuja tuloksia halutaan yleistää koko ilmiötä koskevaksi. Heuristinen ratkaisutapa soveltuu hyvin käytännön reititykseen, jossa riittää mielekkään ratkaisun nopea löytäminen. Sen sijaan laajemman yhdistelypotentiaalin arvioinnissa heuristiikka ei välttämättä ole ihanteellinen lähestymistapa. Siksi päädyimme käyttämään omassa tutkimuksessamme erilaista, tietojenkäsittelytieteilijä Paolo Santin ja kumppaneiden (2014) kuvaamaa menetelmää taksimatkojen yhdisteltävyyden

selvittämiseksi. Tämä menetelmä perustuu yhdisteltävyyden (shareability network) muodostamiseen ja sen pohjalta tapahtuvaan maksimaalisen yhdisteltävyyden laskemiseen.

Yhdisteltävyyden ajatuksena on esittää matkojen keskinäinen yhdisteltävyys graafin muodossa, jolloin yhdistelyongelma voidaan ratkaista graafiteorian mukaisilla menetelmillä. Graafi tarkoittaa nodeista ja niitä yhdistävistä linkeistä koostuvaa tietorakennetta (ks. esim. Cormen ym. 2009). Taksimatkojen yhdisteltävyyttä kuvaavassa yhdisteltävyyden verkossa kukin noodi edustaa yhtä taksimatkaa (kuva 1). Kahden noodin (eli matkan) välillä on linkki, mikäli kyseiset matkat ovat spatiaalisten, ajallisten tai muiden kriteerien puolesta yhdisteltävissä. Linkki voidaan painottaa yhdistelyn tuottamalla säästöllä, jolloin kyseessä on painotettu graafi. Yhdistelypotentiaali on tällöin laskettavissa graafianalyysointien ryhmään kuuluvalla



Kuva 1. Yhdisteltävyyden verkko ja painotetun maksimaalisen sovittamisen periaate. Jokainen noodi (1–6) edustaa yhtä matkaa, ja linkki niiden välillä yhdistelymahdollisuutta. Linkin paino osoittaa yhdistelyyn liittyvän säästön. Suurin mahdollinen yhdistelyillä saatavissa oleva säästö muodostuu niistä toisiinsa kytkeytymättömistä linkeistä, joiden yhteispaino on mahdollisimman suuri (linkit 1–5 ja 2–3).

Figure 1. A schematic illustration of the shareability network and maximum weighted matching. Each node (1–6) represents a single trip, while a link between a pair of nodes indicates shareability. The weight value denotes the saving associated with the link. The maximum saving achievable by ride sharing is composed of the non-adjacent links having the highest combined weight (links 1–5 and 2–3).

painotetun maksimaalisen sovituksen menetelmällä (*maximum weighted matching*) (Santi ym. 2014).

Mikäli kaikki tietyn tutkimusaineiston matkat olisivat keskenään yhdisteltävissä, olisi yhdisteltävyyssverkossa kaikkiaan  $n(n-1)/2$  linkkiä, missä  $n$  tarkoittaa matkojen määrää aineistossa. Näin esimerkiksi tuhannen matkan aineisto mahdollistaisi lähes puoli miljoonaa kahden matkan yhdistelmää. Jos toisiinsa halutaan yhdistellä enemmän kuin kaksi matkaa, ei yllä kuvattu menettely ole enää sellaisenaan sovellettavissa. Yhdistelyjä ei voi tällöin mallintaa yksinkertaisen graafin muodossa, vaan yhdistelmistä muodostuu hypergraafi, jolloin ongelma muuttuu olennaisesti vaikeammaksi. Santin ja kumppaneiden (2014) mukaan ongelma on vielä ratkaistavissa heuristisesti, mikäli kerrallaan toisiinsa yhdisteltävien matkojen määrä on kolme, mutta tätä suuremmilla arvoilla ongelman ratkaisu on erittäin vaikeaa, jos käytetään reaali maailmalle tyypillisen kokoisia tutkimusaineistoja. Kombinatorisen haastavuuden rajaamiseksi tarkastelimme tutkimuksessamme vain kahden matkan yhdistelmiä.

## Aineistot ja menetelmät

### Taksimatkat ja reititys

Käytimme tutkimusaineistonaamme Tampereen yliopistollisen sairaalan (TAYS) erityisvastuualueella (erva) vuonna 2015 Kelan tilausvälityskeskuksesta tilattujen taksimatkojen tietoja. TAYS:n erva-alue koostui tutkimusajankohtana Etelä-Pohjanmaan, Pirkanmaan, Kanta-Hämeen ja Päijät-Hämeen sairaanhoitopiireistä. Vuoden 2018 alusta lähtien Päijät-Häme on kuulunut Helsingin seudun yliopistollisen keskussairaalan erityisvastuualueeseen (Sairaanhoitopiiri... 2017). Vuonna 2015 TAYS:n erva-alueella asui yhteensä noin 1,1 miljoonaa henkilöä.

Kelan toimittama aineisto sisälsi tiedot muun muassa matkojen lähtö- ja kohdeosoitteista ja toteutusajankohdista. Aineiston sisältämien tietojen mukaisesti *matka* tarkoittaa tässä tutkimuksessa Kelan maksamaa matkakorvausta saaneen asiakkaan tilaamaa ja tekemää yhdensuuntaista matkaa lähtö- ja kohdepisteen välillä.

Aineisto sisälsi kaikkiaan 674 113 matkaa 79 066 yksittäisen asiakkaan tekeminä. Matkoista 12 prosenttia oli tehty osana Kelan alueellisten tilausvälityskeskusten järjestelmiä yhteiskuljetuksia, joissa samaan taksiin pyritään sijoittamaan useita suunnitellen samaan aikaan ja samaan suuntaan meneviä matkustajia. Menettelyn tavoitteena on saavuttaa

säästöjä matkojen korvausmenoissa (Tillman & Kaliva 2016). Loput, eli 88 prosenttia aineiston sisältämistä matkoista, oli yhdistelemättömiä, eli sellaisia, joissa taksi oli kuljettanut vain yhtä asiakasta. Näistä 2,5 prosenttia oli matkoja, joiden matkustajalla oli SV 67 -todistuksella myönnetty yksinmatkustusoikeus. Tässä tutkimuksessa olimme erityisesti kiinnostuneita yhdistelemättömistä, mutta yksinmatkustusoikeuden puuttuessa yhdistelykelteisistä taksimatkoista, koska näiden avulla saatoimme tarkastella hypoteettista tilannetta, jossa taksimatkoja yhdistellään ilman ennakkoon tehtyjä tilauksia.

Hyödynsimme tutkimuksessamme myös Esri Finlandin toimittamaa Suomen tie- ja katuverkkoaineistoa (STK) vuodelta 2014. STK-aineisto perustuu Liikenneviraston ylläpitämään, avoimesti saatavilla olevaan Digiroad-aineistoon.

### Geokoodaus

Selvitimme matkojen lähtö- ja kohdepaikkojen sijaintikoordinaatit geokoodaamalla (Li 2018). Käytimme vertailuaineistona edellä kuvattua STK-aineistoa, jota voidaan reitityksen ohella hyödyntää myös geokoodauksessa. Teimme geokoodauksen ArcGIS-ohjelmistolla, ja geokoodausta varten siivosimme ja yhdenmukaistimme osoitteet. Pystyimme saamaan kaikkiaan 98,5 prosenttia tutkimusaineiston sisältämistä yksittäisistä osoitteista geokoodauksen edellyttämään muotoon. Virheellisten paikannustulosten vähentämiseksi hyväksyimme geokoodaus-prosessissa kuitenkin vain ne paikanukset, joiden täsmävyys vertailuaineiston kanssa oli täydellinen. Käytännössä hylkäsimme muun muassa ne tapaukset, joissa paikannus oli tapahtunut pelkän kunnan perusteella, tai kadun perusteella ilman osoitenumeroa.

Geokoodauksen jälkeen tutkimusaineistoon jäi 561 551 matkaa, eli 83,3 prosenttia aineiston alkuperäisestä matkamäärästä. Näistä 485 015 oli yhdistelemättömiä matkoja, joille yhdistely olisi kuitenkin ollut sallittu. Nämä matkat muodostivat käyttämämme aineiston.

### Yhdisteltävyyssverkko

Seuraavaksi määritimme yhdisteltävyyssverkon, jonka avulla oli mahdollista löytää suurimman kokonaissäästön tuottava joukko kahden matkan yhdistelmiä. Määritimme minkä tahansa matkan laskennallisen ajoreitin, testasimme kahden matkan keskinäisen yhdistelykelppoisuuden, laskimme mahdollisen yhdistelyn tuoman säästön, muodostimme

yhdisteltävyyden sekä laskimme optimaalisen yhdistelyratkaisun. Toteutimme nämä vaiheet Python-ohjelmointikielillä ArcGIS-ympäristössä. Hyödynsimme toteutuksessa myös ArcGIS-ohjelmiston ominaisuuksia reittien laskemista varten, sekä matemaatikko Aric Hagbergin ja kumppaneiden (2008) laatimaa NetworkX-ohjelmistokirjastoa optimaalisen yhdistelyratkaisun määrittämiseksi.

Yhdisteltävyyden verkossa kaksi matkaa on keskenään yhdistelykelpoisia, mikäli yhdistellyn matkan kustannus on pienempi kuin erikseen tehtyjen matkojen yhteenlaskettu kustannus. Pelkkä yhdistelyn tuoma säästö ei kuitenkaan ole riittävä ehto yhdistelylle, vaan lisäksi yhdistelyn tulee tapahtua annettujen aikakriteerien puitteissa. Käytimme tutkimuksessa Kelan määrittämiin enimmäisaikoihin perustuvia kriteerejä, joiden mukaan matka-aika voi pidentyä yhdistelyn takia enintään kaksinkertaiseksi verrattuna suoraan taksimatkaan, tai enintään kahdella tunnilla. Lisäksi matkustaja voi

yhdistelyn vuoksi saapua menomatallaan perille korkeintaan tunteja aikaisemmin ja paluumatkallaan lähteä vastaavasti korkeintaan tunteja myöhemmin kuin hän olisi ollut muutoin valmis lähtemään.

Käytimme oletuksena, että taksi ajaa pääsääntöisesti lyhintä reittiä pitkin, mutta pääväyliä suosien. Toteutimme tämän käyttämällä STK-aineiston hierarkia-attribuuttia, joka perustuu toiminnalliseen tieluokitukseen. Hierarkia-attribuuttia käyttämällä lyhintä ajoreittiä ei esimerkiksi muodosteta asuinalueiden läpi kulkevien paikallisteiden kautta, vaikka reitti olisikin silloin fyysisesti lyhyempi. Taksimatkojen laskennallisten kustannusten arvioinnin pohjana käytimme säädöksissä asetettuja enimmäishintoja vuodelta 2015 (Valtioneuvoston asetus... 796/2015). Emme voineet huomioida laskennallisten kustannusten määrittämisessä odotusmaksua tai asiakkaan luokse ajosta johtuvia kustannuksia, koska tietoa taksin alkuperäisestä lähtöpaikasta ei ollut käytettävissä. Emme siis laskeneet taksien ajoreittejä niiden asemapaikoista lähtien, joten työmme poikkesi jossain määrin tyypillisestä DARP-tyyppisen ongelman tarkastelusta.

Taksimatkan laskennallinen kustannus ei koskaan vastannut täydellisesti matkan toteutunutta tutkimusaineistoon merkittävää kustannusta, vaan pääsääntöisesti laskennallinen kustannus oli aliarvio toteutuneesta kustannuksesta. Taksimatkojen laskennallisen ja todellisen kustannuksen suhteen saamien arvojen muodostaman frekvenssijakautaman perusteella hyväksyimme yhdistelyanalyysiin vain ne matkat, joiden osalta laskennallinen kustannus oli 70–100 prosenttia todellisesta kustannuksesta. Hylkäsimme matkoista 24 prosenttia. Emme ottaneet huomioon taksiajoneuvon kuljetuskapasiteettia matkojen yhdistelykelpoisuutta arvioitaessa, koska tarkastelimme tässä tutkimuksessa vain kahden matkan yhdistelmiä.

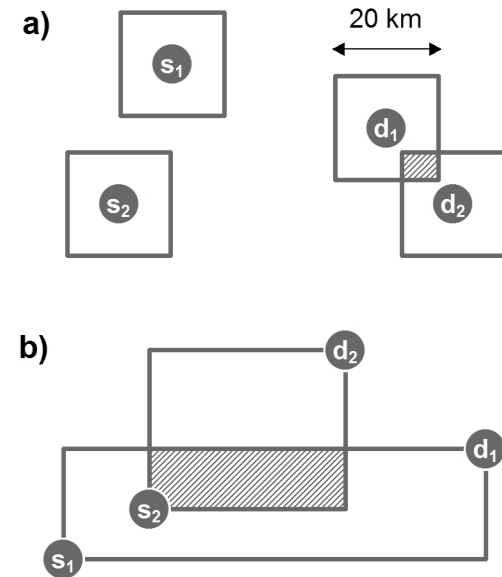
Kun kaksi matkaa yhdistellään, voidaan yhdistelty matka suorittaa neljää reittiä pitkin riippuen siitä, missä järjestyksessä lähtö- ja kohdepisteiden kautta ajetaan. Yleisesti ilmaistuna kahden matkan  $(i, j)$  yhdistelymahdollisuuksia ovat:

$$s_i \rightarrow s_j \rightarrow d_i \rightarrow d_j$$

$$s_i \rightarrow s_j \rightarrow d_j \rightarrow d_i$$

$$s_j \rightarrow s_i \rightarrow d_i \rightarrow d_j$$

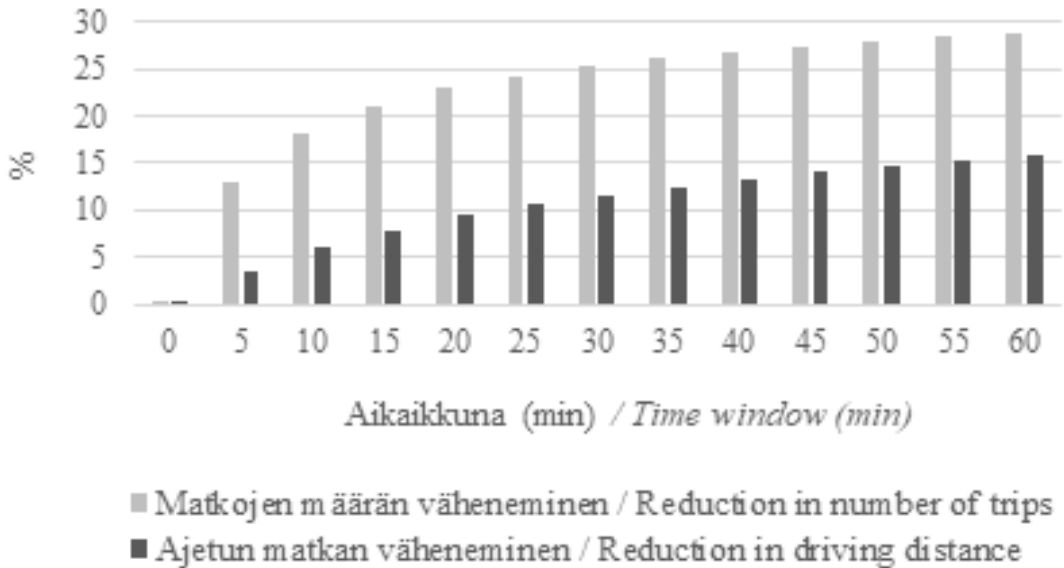
$$s_j \rightarrow s_i \rightarrow d_j \rightarrow d_i$$



Kuva 2. Periaatekuva tarkempaan arviointiin otettavien matkaparien valinnassa käytetyistä spatiaalisista kriteereistä. A: Matkojen lähtö- ( $s_1, s_2$ ) tai kohdepisteiden ( $d_1, d_2$ ) ympärille määritetyt neliöt leikkaavat toisiaan (viivoitettu alue). B: Kummankin matkan reittipisteiden ( $s_1, d_1$  ja  $s_2, d_2$ ) mukaan piirretyt suorakaiteet leikkaavat toisiaan (viivoitettu alue).

Figure 2. A schematic illustration of the spatial criteria used to select trip pairs for closer evaluation. A: Squares drawn around start ( $s_1, s_2$ ) and destination ( $d_1, d_2$ ) points overlap (hatched region). B: Rectangles drawn between the route points ( $s_1, d_1$  and  $s_2, d_2$ ) of each of the two trips overlap (hatched region).

missä  $s$  tarkoittaa matkan lähtöpistettä ja  $d$  kohdepistettä. Yhdisteltävyyden muodostaminen



Kuva 3. Taksimatkoja pareittain yhdistelemällä saavutettavissa oleva säästö matkojen ja ajomatkan suhteellisessa määrässä aikaikkunoittain.

Figure 3. The percentage of saved trips and driving distance by time window attainable by pairwise taxi ride sh

edellyttää periaatteessa kaikkien matkaparien ja niiden eri reittivaihtoehtojen arviointia. Käyttämämme tutkimusaineisto oli kooltaan niin suuri, ettei kaikkien mahdollisten matkaparien yhdistelykelpoisuuden arviointi olisi ollut käytännössä mahdollista. Siksi hyväksyimme arvioitaviksi vain ne matkaparit, jotka olivat ajallisesti päällekkäisiä, kun saapumis- ja odotusaikaa koskevat kriteerit otettiin huomioon. Rajasimme yhdistelyvaihtoehtoja edelleen keskittymällä vain niihin matkoihin, jotka olivat keskenään samansuuntaisia ja noudattelivat suunnilleen samoja reittejä. Matkojen lähtö- tai päätepisteiden ympärille määritettyjen, sivumitaltaan 20 kilometrin kokoisten neliöiden oli leikattava toisiaan matkan lähtö- tai kohdepäässä (Kuva 2a). Vaihtoehtoisesti matkojen lähtö- ja kohdepisteiden mukaan piirrettyjen suorakaiteiden oli leikattava toisiaan (kuva 2b). Jälkimmäisen ehdon avulla varmistimme, että pystymme tekemään yhdistelyjä myös niissä tapauksissa, joissa yksi matka sijaitsee toisen matkan varrella.

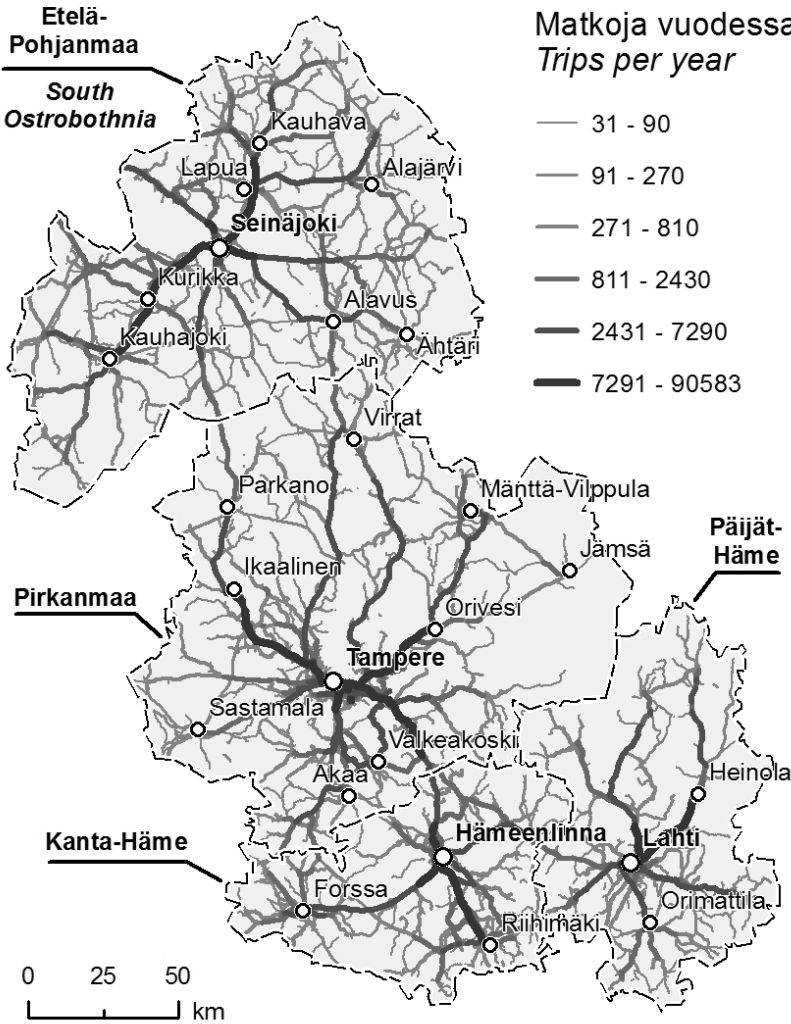
Suoritimme matkojen yhdistelyanalyysin toteuttamiemme skriptien avulla koko aineistolle käyttäen eri aikaikkunoita nollan ja 60 minuutin välillä viiden minuutin askelin. Käyttämämme aikaikkuna liittyi sallittuun saapumisajan aikaistumiseen menomatkoilla sekä lähtöajan myöhentymiseen paluumatkoilla. Muodostimme yhdisteltävyyssuunnan erikseen jokaiselle aikaikkunalle, ja teimme painotetun maksimaalisen so-

vituksen kullekin yhdisteltävyyssuunnalle. Tuloksena saimme optimaalisen yhdistelyratkaisun, joka maksimoisi saavutettavissa olevan säästön aikaikkunakohtaisesti.

## Tulokset ja pohdinta

Suorittamamme analyysin perusteella TAYS:n erä-alueella toimivien tilausvälityskeskusten vuonna 2015 välittämiä ja erikseen ajettuja, mutta yksinmatkustusoikeuden puuttuessa yhdistelykelpoisia matkoja yhdistelemällä matkojen määrää olisi voinut vähentää jopa lähes 30 prosenttia suurinta (60 min) aikaikkunaa käyttäen. Ajetun kokonaismatkan osalta tämä olisi tarkoittanut noin 15 prosentin suhteellista vähentymistä (kuva 3). Ajokilometreinä kyseinen säästö olisi ollut noin kaksi miljoonaa kilometriä. Vaikka yhdistelymahdollisuuksien määrä luonnollisesti lisääntyy aikaikkunan kasvaessa, on merkillepantavaa, kuinka matkojen määrän sekä ajokilometrien suhteellinen väheneminen tasaantuvat varsin nopeasti. Merkittävä osa yhdistelyn tuomista hyödyistä toteutuisi siis jo varsin lyhyillä odotusajoilla, eikä aikaikkunan kasvattamisella välttämättä saavutettaisi huomattavaa lisähyötyä.

On huomattava, että tulos perustuu vain niihin matkoihin, joiden osalta laskennallisen ja todellisen kustannuksen suhde oli sallimissamme rajoissa. Emme siis hyväksyneet analyysimme matkoja,



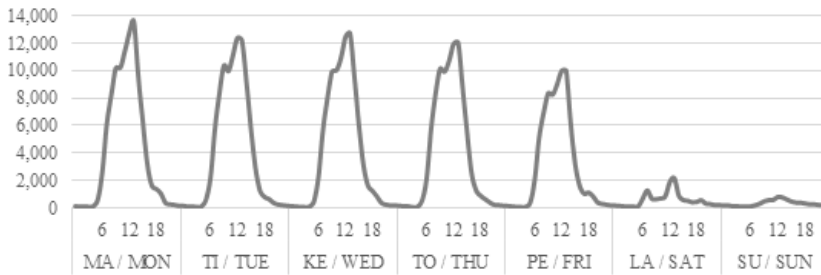
Kuva 4. Tutkimusaineiston sisältämien taksimatkojen muodostamat virrat tutkimusalueella vuonna 2015 perustuen lyhimpiin reitteihin. Tietosuojan vuoksi kartalla on esitetty vain yli 30 matkan tiheydet. Lisäksi viivojen päistä on rajattu pois vaihtelevan mittaiset osuudet.

Figure 4. The density of trips contained in the research data set in the study area in 2015 based on shortest routes. For the protection of privacy, only trip densities greater than 30 are shown on the map, and the lines have been truncated by segments of variable length.

joita emme pystyneet rekonstruoimaan luotettavasti. Tutkimusaineistomme matkoissa voi siten olla enemmänkin yhdistelymahdollisuuksia kuin mitä analyysimme osoittaa. Lisäksi on muistettava, että todellisuudessa yhdistellyt taksimatkat eivät olleet mukana aineistossamme. Näiden matkojen osuus oli lähes 12 prosenttia TAYS:n erä-alueen matkoista, ja ne vähensivät taksikuljetusten määrää arviolta 58 prosenttia verrattuna tilanteeseen, jossa kukin asiakas olisi kuljetettu erikseen. Toteutuneet yhteiskuljetukset koskevat erityisesti matkoja, joissa yhdistelyn tuoma hyöty on ilmeisin, eikä yhdistely edellytä matkustajilta pitkää odostusaikaa. Mikäli nämä matkat olisivat sisältyneet tutkimusaineistoomme, olisimme todennäköisesti löytäneet enemmän yhdistelymahdollisuuksia pienimmillä aikaikkunoilla.

Kelan sairausvakuutuslain mukaan korvaamiin taksimatkoihin liittyvä yhdistelypotentiaali selittyy osin korridorivaikutuksella (Stiglic ym. 2016). Matkatiheyskartta havainnollistaa, kuinka matkat keskittyivät tutkimusalueen suurimpiin kaupunkien johtaville pääväylille (kuva 4). Tyypillisesti matkoja tehtiin kunkin sairaanhoitopiirin sisällä keskussairaalan sijaintipaikkakunnalle, sekä koko erityisvastuualueen puitteissa Tampereelle.

Matkojen spatiaalisen keskittymisen ohella yhdisteltävyyden kannalta olennaista on myös matkojen esiintymisfrekvenssin ajallinen profiili (kuva 5). Matkoista suurin osa tehtiin arkipäivisin keskipäivän molemmin puolin, kello 7:n ja 17:n välillä. Viikonloppuisin matkoja tehtiin huomattavasti vähemmän. Koska kysymys on sairausvakuutuslain mukaan korvattavista matkoista, tehdään matkat

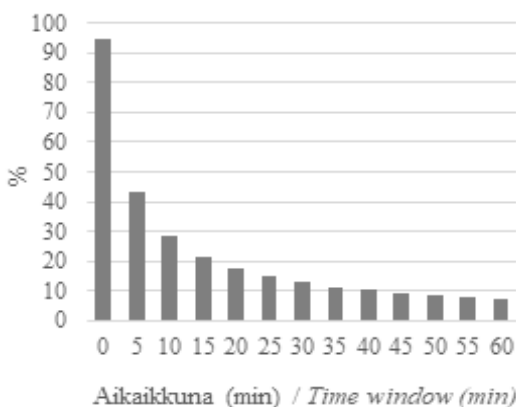


Kuva 5. Tutkimusaineiston sisältämien taksimatkojen frekvenssi viikonpäivän ja kellonajan mukaan.

Figure 5. The frequency of taxi trips included in the research data set by day of week and time of day.

tyypillisesti terveydenhuollon palvelujen aukioloaikojen mukaisesti.

Tutkimuksessamme saatujen tulosten osalta on korostettava, että pyrimme määrittämään nimenomaan ne kahden matkan yhdistelmät, jotka yhdessä olisivat tuottaneet suurimman mahdollisen säästön: emme siis etsineet suurinta mahdollista parittaisten yhdistelyjen määrää. On myös otettava huomioon, että erilaisia kahden matkan yhdistelymahdollisuuksia on paljon, eivätkä kaikki voi toteutua samanaikaisesti. Suurinta aikaikkunaa (60 min) käytettäessä optimaaliseen ratkaisuun sisältyvät matkaparit edustavat alle kymmentä prosenttia kaikista kahden matkan yhdistelymahdollisuuksista (kuva 6). Aikaikkunan pienentyessä optimiratkaisuun sisältyvien matkaparien osuus kaikista matkapareista kasvaa merkittävästi, mutta vielä viiden minuutin aikaikkunankin tapauksessa osuus on 50 prosenttia. Käytännössä tämä tarkoittaa, että matkojen välillä oli paljon vaihtoehtoisia yhdistelymahdollisuuksia.



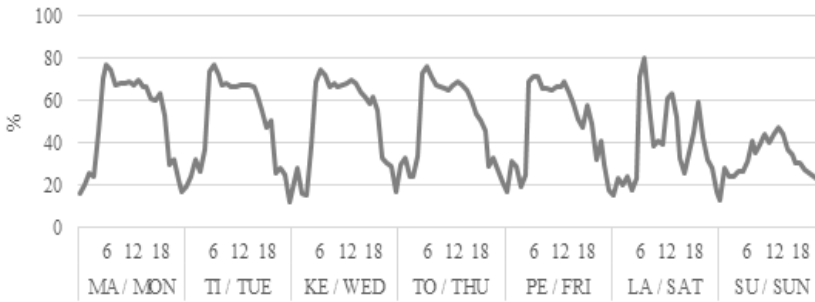
Kuva 6. Optimiratkaisuun sisältyvien matkaparien osuus kaikista yhdistelykelpoisista matkapareista eri aikaikkunoilla.

Figure 6. The percentage of trip pairs belonging to the optimum solution, relative to all shareable trip pairs per time window.

Taksimatkojen yhdisteltävyyspotentiaalia voidaan arvioida myös tarkastelemalla niiden matkojen osuutta kaikista matkoista, jotka ovat yhdisteltävissä johonkin toiseen matkaan. Havaitsemamme yhdisteltävyyssaste vaihteli merkittävästi vuorokaudenajan sekä jossain määrin myös viikonpäivän mukaan johtuen matkojen epätasaisesta jakautumisesta eri kellonajoille. Matkojen yhdisteltävyyssaste oli korkeimmillaan yli 70 prosenttia kaikkien viikonpäivien aamuina paitsi sunnuntaisin (kuva 7). Vaikka matkojen määrä ei ollutkaan korkeimmillaan aamuisin, nämä matkat suuntautuvat useammin samoihin kohteisiin (esim. sairaaloihin) kuin muina vuorokaudenaikoina tehdyt matkat. Näin niiden yhdisteltävyys oli hyvä. Yhdisteltävyyssaste oli selvästi alhaisempi öisin sekä sunnuntaisin, jolloin matkojen kokonaismäärä oli olennaisesti pienempi ja siten myös yhdistelymahdollisuuksia on vähemmän.

Kaiken kaikkiaan jopa lähes kaksi kolmasosaa matkoista olisi ollut yhdisteltävissä johonkin toiseen matkaan. Yhdisteltävyyssastetta voidaan pitää varsin korkeana, joskin tässä tutkimuksessa arvioitu yhdisteltävyyden taso on tutkimusalueen laajuuden ja suhteellisen hajallaan sijaitsevan väestön vuoksi alhaisempi kuin suurkaupunkeihin keskittyvissä tarkasteluissa. Esimerkiksi New Yorkin taksimatkoista tehdyssä tutkimuksessa Santi ja kumppanit (2004) havaitsivat, että lähes kaikki Manhattanin alueen taksimatkat olivat yhdisteltävissä johonkin toiseen matkaan pelkästään viiden minuutin odotusajan puitteissa. Remi Tachet ja kumppanit (2017) taas päättelivät tutkimuksessaan, että taksimatkojen yhdisteltävyys noudattaa New Yorkin kaltaista mallia useissa muissakin maailman suurkaupungeissa, kuten San Franciscossa, Singaporessa ja Wienissä. Oman tutkimuksemme perusteella voidaan katsoa, että Suomessa tarvittavan aikaikkunan merkittävien yhdistelyhyötyjen saavuttamiselle on oltava suurempi kuin maailman suurkaupungeissa, mutta saavutettava yhdisteltävyyssaste on sinänsä korkea. Tältä osin tuloksemme noudattaa Santin ja kumppaneiden (2014) näkemystä, jonka mukaan korkeita taksimatkojen





Kuva 7. Johonkin toiseen matkaan yhdisteltävissä olevien matkojen osuus tutkimusaineiston matkoista viikonpäivän ja kellonajan mukaan 60 minuutin aikaikkunalla.

Figure 7. The percentage of shareable trips in the research data set by day of week and time of day using a 60-minute time window.

yhdistelyasteita voi saavuttaa myös alhaisemmillä liikennetiheyksillä. Arviomme ajetun taksimatkan kokonaissäätöstä vastaa lisäksi suhteelliselta suuruusluokaltaan Shuo Man ja kumppaneiden (2015) tekemää simulaatiota Pekingistä, jossa taksimatkojen yhdistelyn arveltiin pystyvän vähentämään ajokilometrejä 11 prosentin verran. Taksimatkojen yhdistely Suomen olosuhteissa näyttää siis olevan monelta osin yhdenmukainen muualla maailmassa tehdyissä tutkimuksissa saatujen tulosten kanssa.

Tutkimuksemme mukaan taksimatkojen yhdistely vaikuttaa vähentävästi ennen kaikkea ajettujen matkojen määrään, kun taas säästö ajetuissa kilometreissä on pienempi. Syynä tähän on todennäköisesti yhdistelyjen kohdistuminen erityisesti kaupungeissa tehtäviin lyhyisiin matkoihin (ks. Antikainen ym. 2018). Tällöin yhdistelyn hyötyinä ovat liikkeellä olevien ajoneuvojen määrän väheneminen kaupunkiliikenteessä sekä kustannusten säästö.

## Lopuksi

Tutkimuksemme osoittaa, että taksimatkoissa on merkittävää yhdistelypotentiaalia. Havaitsemamme yhdisteltävyys saattaa lisäksi olla aliarvio kahdesta syystä. Ensinnäkin, tilausvälityskeskukset ovat voineet yhdistellä helpoimmin yhdisteltävät matkat, jotka eivät siis sisällyneet tutkimusaineistoomme. Toiseksi, tässä tutkimuksessa tarkastelimme laskennan helpottamiseksi vain kahden matkan yhdistelmiä. Havaitsemamme yhdistelyvaihtoehtojen suuri määrä erityisesti suuremmilla aikaikkunoilla viittaa siihen, että mahdollisuuksia useamman matkan yhdistelyihin on olemassa. Toisaalta nimenomaan suurimpiin aikaikkunoihin liittyvä arvio yhdistelypotentiaalista saattaa olla ylimitoitettu, koska todellisuudessa kohteeseen saapumisen ja vastaanottoajan alkamisen ja toisaalta vastaanottoajan päättymisen ja paluumatkan alkamisen välillä on todennäköisesti kulunut aikaa, joka lyhentää tosiasiallista aikaikkunaa matkojen yhdistelyyn kannalta. Analyysimme otti myös huomioon kaikki

marginaalisimmatkin yhdistelyn kautta laskennallisesti saavutettavat säästöt: todellisessa tilanteessa olisi epävarmaa, olisivatko tällaiset yhdistelyt välttämättä mielekkäitä.

Tutkimuksemme tulosten tulkintaan liittyy luonnollisesti muitakin rajoitteita. Taksimatkojen rekonstruointi osoittautui yllättävän vaikeaksi, mikä vuoksi matkan laskennallinen ja todellinen kustannus poikkesivat usein huomattavasti toisistaan. Myös osoitteiden paikannukseen liittyi ongelmia, joiden vuoksi osa tutkimusaineistosta jouduttiin jättämään pois analyysistä. Sinänsä tässä tutkimuksessa käytettyä taksitilausaineistoa voidaan kuitenkin pitää tietojensa osalta hyvin laadukkaana.

Taksimatkojen yhdisteltävyyttä koskevan tutkimuksen teknisenä haasteena on suurin tutkimusaineistoihin liittyvä laskennallinen vaativuus, joka korostuu kombinatorisissa ongelmissa. Vaikka perustutkimuksen piirissä kehitetään varsin aktiivisesti menetelmiä matkojen yhdistelyn toteuttamista varten, ei näitä menetelmiä ole juurikaan integroitu osaksi paikkatietojärjestelmiä. Onnistuimme kuitenkin osoittamaan, että tietyin rajoituksin taksimatkojen yhdistelyanalyysin voi toteuttaa yleiskäyttöisen paikkatieto-ohjelmiston yhteydessä myös varsin suurelle tutkimusaineistolle.

Suorittamamme tutkimus vahvistaa rajoituksesta huolimatta sen, että taksimatkoihin liittyy Suomessa huomattavaa yhdistelypotentiaalia. Tutkimusta olisi kuitenkin mielenkiintoista laajentaa koskemaan myös muita kuin sairausvakuutuslain perusteella korvattavia taksimatkoja, koska eri syistä tehdyt taksimatkat voivat keskittyä eri reiteille ja eri ajankohtiin.

## Kiitokset

Kiitämme Kelan rahoittamaa tutkimushanketta ”Pirkanmaan erä-alueen taksimatkojen yhdistelyllä saavutettavien säästöjen arviointi”, Suomen Akatemian rahoittamaa hanketta numero 267995 sekä IMPRO-hanketta, jota rahoittaa Suomen Akatemian yhteydessä toimiva Strategisen tutkimuksen neuvosto. Lisäksi haluamme kiittää tutkimusavustaja Mikko Kesälää tutkimusaineiston sisältämien osoitteiden tarkastamisesta.

## KIRJALLISUUS

- Agatz, N., A. Erera, M. Savelsbergh & X. Wang (2011). Dynamic ride-sharing: a simulation study in metro Atlanta. *Transportation Research Part B* 45: 9, 1450–1464.
- Agatz, N., A. Erera, M. Savelsbergh & X. Wang (2012). Optimization for dynamic ride-sharing: a review. *European Journal of Operational Research* 223: 2, 295–303.
- Antikainen, H., J. Rusanen & P. Tillman (2018). Sairausvakuutuksen korvaamien taksimatkojen yhdistelyllä saavutettavien säästöjen arviointi. *Kela, Työpa-pereita* 142. 48 s.
- ArcGIS Network Analyst (2018). Esri. 29.10.2018. <[www.esri.com](http://www.esri.com)>
- Calvo, R. & A. Colorni (2007). An effective and fast heuristic for the dial-a-ride problem. *4OR – A Quarterly Journal of Operations Research* 5: 1, 61–73.
- Campbell, I., M. Ali & M. Fienberg (2016). Solving the dial-a-ride problem using agent-based simulation. *South African Journal of Industrial Engineering* 27: 3, 143–157.
- Caulfield, B. (2009). Estimating the environmental benefits of ride-sharing: a case study of Dublin. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14: 7, 527–531.
- Cetin, T. & E. Deakin (2017; *painossa*). Regulation of taxis and the rise of ridesharing. *Transport Policy*.
- Cordeau, J.-F., M. Gendreau, G. Laporte, J. Potvin & F. Semet (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society* 53: 5, 512–522.
- Cordeau, J.-F. & G. Laporte (2003). A tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem. *Transportation Research Part B: Methodological* 37: 6, 579–594.
- Cordeau, J.-F. & G. Laporte (2007). The dial-a-ride problem: models and algorithms. *Annals of Operations Research* 153: 1, 29–46.
- Cormen, T., C. Leiserson, R. Rivest & C. Stein (2009). *Introduction to algorithms*. 3. p. 1292 s. The MIT Press, Cambridge.
- Cramer, J. & A. Krueger (2016). Disruptive change in the taxi business: the case of Uber. *American Economic Review* 106: 5, 177–182.
- Detti, P., F. Papalini & G. Zabalo Manrique de Lara (2017). A multi-depot dial-a-ride problem with heterogeneous vehicles and compatibility constraints in healthcare. *Omega* 70, 1–14.
- Fellows, N. & D. Pitfield (2000). An economic and operational evaluation of urban car-sharing. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 5: 1, 1–10.
- Furuhata, M., M. Dessouky, F. Ordóñez, M.-E. Brunet, X. Wang & S. Koenig (2013). Ridesharing: the state-of-the-art and future directions. *Transportation Research Part B: Methodological* 57, 28–46.
- Hagberg, A., D. Schult & P. Swart (2008). Exploring network structure, dynamics, and functions using NetworkX. *Teoksessa* Varoquaux, G., T. Vaught & J. Millman (toim.): *Proceedings of the 7<sup>th</sup> Python in Science Conference (SciPy2008)*, 11–15.
- Hosni, H., J. Naoum-Sawaya & H. Artail (2014). The shared-taxi problem: formulation and solution methods. *Transportation Research Part B: Methodological* 70, 303–318.
- Hunsaker, B. & M. Savelsbergh (2002). Efficient feasibility testing for dial-a-ride problems. *Operations Research Letters* 30: 3, 169–173.
- Jacobson, S. & D. King (2011). Fuel saving and ridesharing in the US: motivations, limitations, and opportunities. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 14: 1, 14–21.
- Jittrapirom, P., V. Caiati, A.-M. Feneri, S. Ebrahimigharehbaghi, M. Alonso-González & J. Narayan (2017). Mobility as a service: a critical review of definitions, assessments of schemes, and key challenges. *Urban Planning* 2: 2, 13–25.
- Julkisen liikenteen suoritetilasto 2015 (2017). *Liikenneviraston tilastoja* 6/2017. 45 s.
- Laita, S. (2018). Julkiset ja yksityiset liikkumispalvelut samalle tarjottimelle. 6.11.2018. <[www.sitra.fi](http://www.sitra.fi)>
- Li, B., D. Krushinsky, H. Reijers & T. Van Woensel (2014). The share-a-ride problem: people and parcels sharing taxis. *European Journal of Operational Research* 238: 1, 31–40.
- Li, P. (2018). Geocoding and reverse geocoding. *Teoksessa* Huang, B. (toim.): *Comprehensive geographic information systems*, 95–109. Elsevier, Amsterdam.
- Liimatainen, H., P. Metsäpuro & L. Nykänen (2015). *Yhteiskunnan korvaamien kuljetusten tehostaminen – esiselvitys Pirkanmaan alueella*. 45 s. Liikenteen tutkimuskeskus Verne, Tampere.
- Ma, S., Y. Zheng & O. Wolfson (2013). T-Share: a large-scale dynamic taxi ridesharing service. *Proceedings of the 29<sup>th</sup> IEEE International Conference on Data Engineering*, 410–421.
- Ma, S., Y. Zheng & O. Wolfson (2015). Real-time city-scale taxi ridesharing. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering* 27: 7, 1782–1795.
- Mansikkamäki, S.-T. (2014). Ryhmäkuljetusten optimointi. Julkaisematon diplomityö. Rakennustekniikan koulutusohjelma, Tampereen teknillinen yliopisto.
- Masmoudi, M., K. Braekers, M. Masmoudi & A. Dammak (2017). A hybrid genetic algorithm for the heterogeneous dial-a-ride problem. *Computers & Operations Research* 81, 1–13.
- Massaro, E. (2017). A study of ride sharing opportunities in the City of Santiago de Chile. *Teoksessa* Kompatsiaris, I., J. Cave, A. Satsiou, G. Carle, A.

- Passani, E. Kontopoulos, S. Diplaris & D. McMillan (toim.): *Internet Science: 4<sup>th</sup> International Conference, INSCI 2017, Thessaloniki, Greece, November 22-24, 2017, Proceedings*, 159–173. Springer, Cham.
- Masson, R., F. Lehuédé & O. Péton (2014). The dial-a-ride problem with transfers. *Computers & Operations Research* 41, 12–23.
- Molenbruch, Y., K. Braekers & A. Caris (2017). Typology and literature review for dial-a-ride problems. *Annals of Operations Research* 259: 1–2, 295–325.
- Pearl, J. (1984). *Heuristics*. 382 s. Addison-Wesley, Reading.
- Qiang, X. & Y. Shuang-Shuang (2018). Clustering algorithm for urban taxi carpooling vehicle based on data field energy. *Journal of Advanced Transportation* 2018: 3853012.
- Sairaanhoidopiirien jäsenkunnat (2017). Kuntaliitto. 27.3.2018. <[www.kuntaliitto.fi](http://www.kuntaliitto.fi)>
- Sairausvakuutuslaki 1224/2004 (2004). 27.3.2018. <[www.finlex.fi](http://www.finlex.fi)>
- Santi, P., G. Resta, M. Szell, S. Sobolevsky, S. Strogatz & C. Ratti (2014). Quantifying the benefits of vehicle pooling with shareability networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 37, 13290–13294.
- Santos, D. & E. Xavier (2015). Taxi and ride sharing: a dynamic dial-a-ride problem with money as an incentive. *Expert Systems with Applications* 42: 19, 6728–6737.
- Stiglic, M., N. Agatz, M. Savelsbergh & M. Gradisar (2016). Making dynamic ride-sharing work: The impact of driver and rider flexibility. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 91, 190–207.
- Tachet, R., O. Sagarra, P. Santi, G. Resta, M. Szell, S. Strogatz & C. Ratti (2017). Scaling law of urban ride sharing. *Scientific Reports* 7: 42868.
- Tillman, P. & K. Kaliva (2016). Kuka ei tilaa taksimatkaansa Kelan tilausvälityskeskuksesta? *Kela, Työpa-pereita* 107. 29 s.
- Tulevaisuuskuva kysyntäohjautuvan autonomisen tieliikenteen tilauspalvelusta (2015). *HSL:n julkaisu* 4/2015. 71 s.
- Valtioneuvoston asetus taksiliikenteen kuluttajilta perittävästä enimmäishinnoista 796/2015 (2015). 27.3.2018. <[www.finlex.fi](http://www.finlex.fi)>
- Wang, Y., B. Zheng & E.-P. Lim (2018). Understanding the effects of taxi ride-sharing: a case study of Singapore. *Computers, Environment and Urban Systems* 69, 124–132.

