

Nordia
Tiedonantoja

Numero 2/2013

GIS-pohjainen toimintamalli
henkilöautoliikenteen tuottaman
CO₂-päästön arviointiin
"Ilmastoystävällinen kaavoitus (ILKA)"
-hankkeen loppuraportti

Heidi Määttä-Juntunen, Janne Pöllänen & Jarmo Rusanen

Nordia Tiedonantoja

Pohjois-Suomen maantieteellisen seuran
ja
Oulun yliopiston maantieteen laitoksen
julkaisuja

Osoite: Maantieteen laitos
PL 3000
90014 OULUN YLIOPISTO

Toimittaja: Teijo Klemettilä

Nordia Tiedonantoja
ISBN 978-952-62-0303-4
ISSN 1238-2078

Oulun Kopiokeskus Oy
Oulu 2013

Sisällys

Esipuhe	5
Johdanto	7
Henkilöautolla liikkuminen Oulun seudulla (Oulun seudun liikennetutkimus)	9
GIS-pohjainen toimintamalli CO ₂ -päästön arvioimiseen	13
Tapausesimerkki 1: Hiukkavaaran asuinalue	13
Aineistot ja menetelmä	13
Tulokset ja pohdinta	17
Tapausesimerkki 2: Uuden asuinalueen sijoittaminen	19
Aineistot	22
Digiroad-tieverkosto	22
Yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmä (YKR)	23
Menetelmä	23
Tulokset ja pohdinta	26
Pilottikokeilu: Seudullinen henkilöautoliikenteen CO ₂ -päästömalli	28
Esimerkki päästölaskurin tuottamisesta ArcGIS-ohjelmistolla	35
GIS-analyysimenetelmät kaavoituksen tueksi?	42
Lähteet	44

Vipuvoimaa
EU:lta
2007-2013

 Elinkeino-, liikenne- ja
ympäristökeskus


Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

OULU


POHJOIS-POHJANMAAN LIITTO
Council of Oulu Region



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU



Esipuhe

Tässä raportissa kuvataan ”Ilmastoystävällinen kaavoitus (ILKA)” -hankkeen tulokset. Hankkeessa kehitettiin paikkatietopohjainen toimintamalli liikenteen tuottaman CO₂-päästön arviointiin eri kaavoitustilanteissa. Toimintamallin kehittäminen tehtiin kaavoituksen tapausesimerkkien kautta. Ensimmäinen raportissa kuvattu esimerkki on asemakaavatason tapaus, jossa arvioidaan suunnitellun Hiukkavaaran asuinalueen sisäistä päästöä henkilöautoliikenteen näkökulmasta. Toisessa kaavoituksen tapausesimerkissä arvioidaan uuden asuinalueen sijainnin saavutettavuuteen liittyvää henkilöautoliikenteen tuottamaa hiilidioksidipäästöä suhteessa muihin potentiaalisin asuinalueisiin. Lisäksi hankkeessa on tehty pilottikokeilu henkilöautoliikenteen tuottaman hiilidioksidipäästön mallintamisesta tieverkostoon.

Hanketta rahoittivat Euroopan aluekehitysrahasto (EAKR), Oulun kaupunki, Pohjois-Pohjanmaan liitto ja Oulun yliopisto. Kiitämme ohjausryhmän jäseniä Heikki Aronpäättä, Antti Huttusta ja Juhani Kaakista Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskuksesta, Olli Eskelistä ja Eija Salmea Pohjois-Pohjanmaan liitosta, Paula Paajasta Oulun kaupungilta, Marketta Karhua Oulun seudun ympäristötoimesta, Pentti Kelaa ja Anne Leskistä Oulun seudulta, Esa Pellikaista Oulun kauppakamarilta sekä Tuomo Vesajokea ja Sonja Aarniota Liidea/ Ramboll Liikennejärjestelmät Oy:stä hyvästä yhteistyöstä. Kiitämme myös Oulun yliopiston maantieteen laitoksen Geoinformatiikan tutkimusryhmän jäseniä.

Toivomme loppuraportin täyttävän rahoittajan työlle asettamat vaatimukset.

Oulussa, 3.10.2013

Heidi Määttä-Juntunen ja Jarmo Rusanen

GIS-pohjainen toimintamalli henkilöautoliikenteen tuottaman CO₂-päästön arviointiin

”Ilmastoystävällinen kaavoitus (ILKA)” -hankkeen loppuraportti

Heidi Määttä-Juntunen, Janne Pöllänen & Jarmo Rusanen
Oulun yliopisto, maantieteen laitos

Tiivistelmä: Ilmastoystävällinen kaavoitus -hankkeessa kehitettiin paikkatietopohjaista toimintamallia henkilöautoliikenteen tuottaman hiilidioksidipäästön arviointiin eri kaavoitustilanteissa. Arviontityökalussa sovelletaan ArcGIS-paikkatieto-ohjelmiston olemassa olevia työkaluja, ja sen kehittäminen tehtiin kahden kaavoituksen tapausesimerkin kautta. Asemakaavatason esimerkkinä käytettiin Oulun Hiukkavaaran asuinaluetta ja yleiskaavatason tapausesimerkissä tarkasteltiin uuden asuinalueen sijoittamisen päästövaikutuksia. ILKA-hankkeessa tehtiin myös pilottikokeilu GPS-pohjaisen aineiston tuottaman henkilöautojen polttoaineenkulutustiedon mallintamisesta tiieverkostoon. Hankkeessa tehtyjen tarkasteluiden perusteella ilmastoystävällinen kaavoitus on yhdyskuntarakennetta tiivistävä sekä liikenteen sujuvuutta painottava. GIS-menetelmien nähdään toimivan päätöksenteon tukena.

Johdanto

Oulun seudun ympäristötoimen (Kuusiola ja Monni 2012) teettämän raportin mukaan liikenne tuottaa hieman yli 20 % nykyisen Oulun CO₂-päästöistä ja on toiseksi suurin päästölähde kaukolämmityksen jälkeen. Samaa luokkaa ovat liikenteen tuottamat päästöt myös koko Suomen tasolla liikenteen tuottaessa 20–25 % Suomen hiilidioksidipäästöistä. On selvää, että liikenteellä on merkittävä ja yhä kasvava rooli kasvihuonekaasujen, erityisesti hiilidioksidipäästöjen tuottajana. Päästöjen vähentämiseen on asetettu tavoitteita sekä kansallisesti, seudullisesti että paikallisesti erilaisilla ilmastostrategioilla. Esimerkiksi

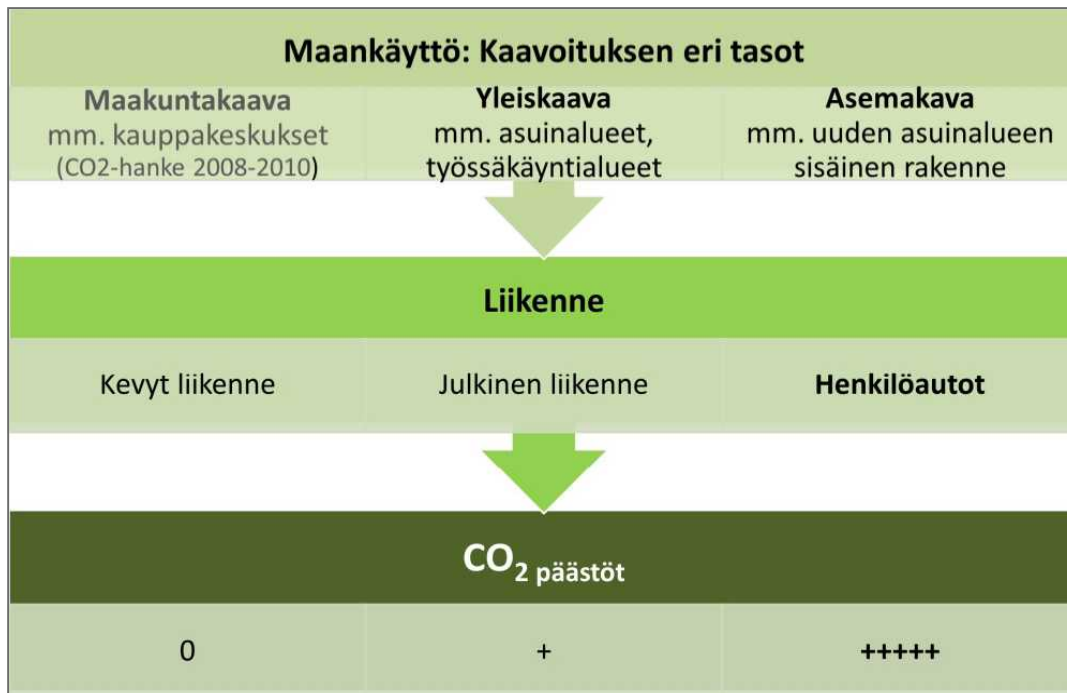
valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet ohjaavat aluesuunnittelua huomioimaan henkilöautoliikenteen tarpeen vähentäminen muun muassa yhdyskuntarakennetta eheyttämällä (Ympäristöministeriö 2009). Maankäytön suunnittelu nähdään näin ollen merkittävänä keinona vastata ilmastonmuutoksen haasteisiin.

Valtakunnallisten alueidenkäyttöta-voitteiden lisäksi rakennetun ympäristön energiatehokkuuteen sekä muun muassa maankäytön ja liikenteen välisen suhteen parantamiseen pyritään Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017 -toimintaohjelmalla. ERA17-toimintaohjelmaa koordinoivat Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes, ja sen tavoitteena on ohjata

maankäyttöä, rakentamista ja rakennusten ylläpitoa energiatehokkaammaksi. Maankäytön osalta ohjelman tavoitteena on muun muassa rakennuksia ja liikennettä koskevien päästölaskelmien käyttöönotto kaavojen vaikutusten arvioinnin yhteydessä, täydennysrakentamisen edistäminen, palveluyöhykemallien kehittäminen, liikenteen suunnittelun ja kaavoituksen yhteistyön parantaminen sekä henkilöajoneuvosuuritteen vähentäminen ja joukkoliikenteen tehostaminen (Martinkauppi 2010). Myös Pohjois-Pohjanmaan ja Oulun seudun ilmastostrategioiden tavoitteina on parantaa alueiden energiatehokkuutta ja vähentää liikkumistarvetta yhdyskunta- ja liikennejärjestelmäsuunnittelun keinoin (Karhu 2009; Pohjois-Pohjanmaan liitto 2011).

Ilmastoystävällinen kaavoitus (ILKA) -hankkeen tavoitteena on ollut kehittää paikkatietopohjainen (*geographic information systems*, GIS) toimintamalli henkilöauto-

liikenteen tuottaman hiilidioksidipäästön arviointiin eri kaavoitusvaihtoehdoissa. Hankkeen alkaessa ohjausryhmä valitsi kaksi kaavoituksen tapausesimerkkiä, joiden avulla arviointityökalua kehitettiin. Asemakaavatason esimerkkinä on Oulun Hiukkavaaran asuinalue ja yleiskaavatason tapausesimerkissä tarkastellaan uuden asuinalueen sijaintia suhteessa henkilöautoliikenteen tuottamiin päästöihin (kuva 1). Toimintamallia laadittaessa on käytetty ArcGIS-paikkatieto-ohjelmistoa ja sovellettu ohjelmistosta löytyviä valmiita työkaluja. Aineistoina on hyödynnetty muun muassa Oulun seudun liikennetutkimusta, Digiroad-tieverkostoa sekä Yhdyskuntarakenteen seurantarjestelmän (YKR) ruutuaineistoa, jonka tarkkuus on 250 x 250 metriä. Lisäksi hankkeessa on tehty pilottikokeilu henkilöautoliikenteen tuottaman hiilidioksidipäästön mallintamisesta GPS-aineistosta tieverkostoon.



Kuva 1. ILKA-hankkeessa kehitetään GIS-pohjaista toimintamallia henkilöautoliikenteen tuottaman CO₂-päästön arviointiin. Kaavoituksen tapausesimerkit ovat yleis- ja asemakaavatasolta.

Henkilöautolla liikkuminen Oulun seudulla (Oulun seudun liikennetutkimus)

Oulun seudun liikennetutkimus suoritettiin vuonna 2009. Tutkimus koostuu henkilöhaastatteluista, ajoneuvoliikenteen tutkimuksesta sekä ajoneuvoliikenteen ja kevyen liikenteen laskennoista. ILKA-hankkeessa on hyödynnetty henkilöhaastatteluista muodostettua tietokantaa koskien henkilöautolla tehtyjä matkoja. Liikennetutkimuksen henkilöhaastatteluaineisto koostuu noin 5000 vastaajan matkapäiväkirjoista sisältäen havainnot noin 14 000 matkasta. Liikennetutkimuksen tulokset on raportoitu neljässä osaraportissa, joista osaraportti 1 sisältää henkilöliikennetutkimuksen tulokset (Kalenoja 2010).

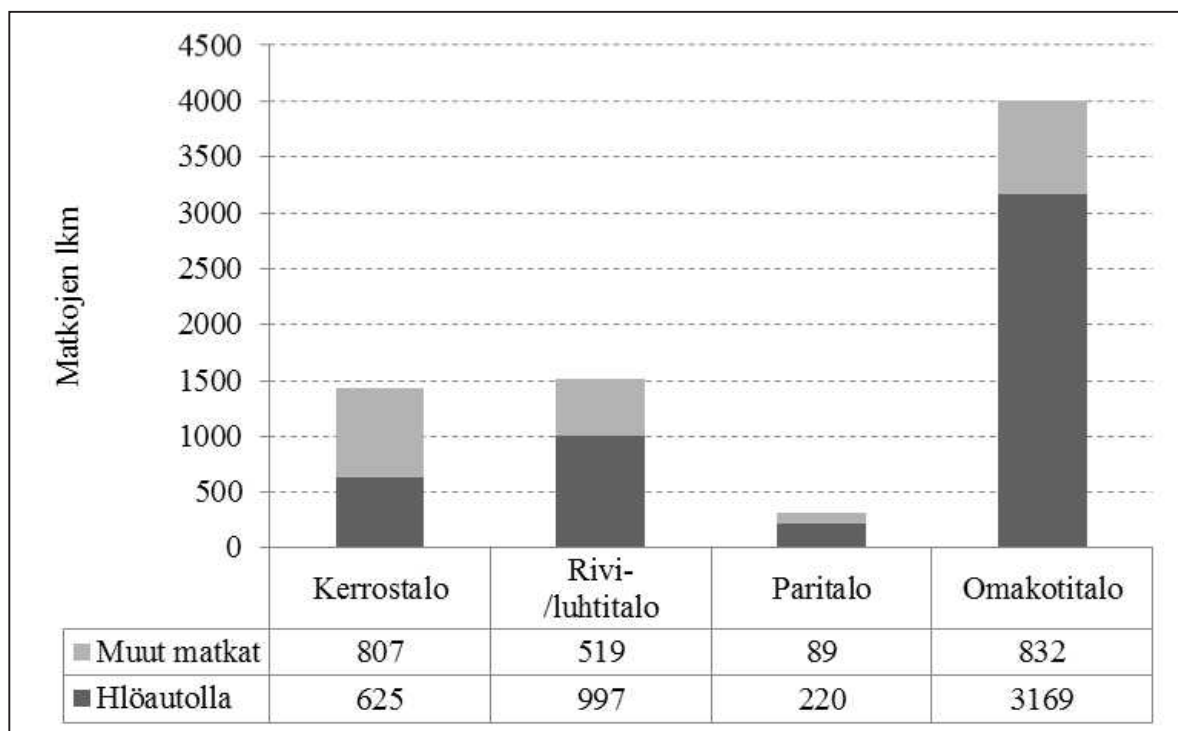
Oulun seudun liikennetutkimus on toiminut keskeisenä aineistona Ilmastoystävällinen kaavoitus -hankkeessa. Liikennetutkimuksesta on määritetty auton käytön useus asuntotyypeittäin. Tietoa on tarvittu laskettaessa asuinalueen sisäisen rakenteen tuottaman henkilöautoliikenteen hiilidioksidipäästöä (tapausesimerkki 1). Tarkastelua varten liikennetutkimusaineistosta on poimittu 18–64-vuotiaiden tekemät kotoa lähtevät tai kotiin palaavat matkat. Matkoista on eroteltu henkilöautolla kuljettajana tai matkustajana tehdyt matkat, ja matkojen jakaumaa on tarkasteltu asuntotyyppikohtaisesti. Autonkäyttö asuntotyypeittäin on esitetty kuvissa 2 ja 3. Omakotitaloista on tehty eniten kotiperäisiä matkoja: yhteensä noin 4000 matkaa, joista 79 % on tehty henkilöautolla. Henkilöautonkäytön osuus kotoa lähtevistä tai kotiin palaavista matkoista on alhaisin kerrostaloissa, joista noin 44 % matkoista on tehty henkilöautolla.

Uuden asuinalueen sijainnin päästöarviota (tapausesimerkki 2) varten liikennetutkimuksesta on tarkasteltu henkilöauton käytön määrää etäisyyden suhteen matkan tarkoituksen mukaan. Työ- ja ostosmatkat muodostavat yhteensä hieman yli puolet kotoa lähtevistä tai kotiin palaavista henkilöautolla kuljettajana tai matkustajana tehdyistä matkoista (kuva 4). Lukumäärällisesti ostosmatkat muodostavat 26 % ja työmatkat 25 % henkilöautolla tehdyistä kotoa lähtevistä tai kotiin palaavista matkoista. Matkojen pituuksien summaa tarkasteltuna ostosmatkojen osuus on 20 % ja työmatkojen 33 %. Ostosmatkoista hypermarketeihin henkilöautolla tehdyt kotoa lähtevät tai kotiin palaavat matkat muodostavat lähes 30 % joko matkojen lukumäärää tai matkojen pituuksien summaa tarkasteltaessa (kuva 5). Matkat hypermarketeihin, supermarketeihin ja lähikauppaan muodostavat yhteensä lukumäärällisesti 63 % ostosmatkoista.

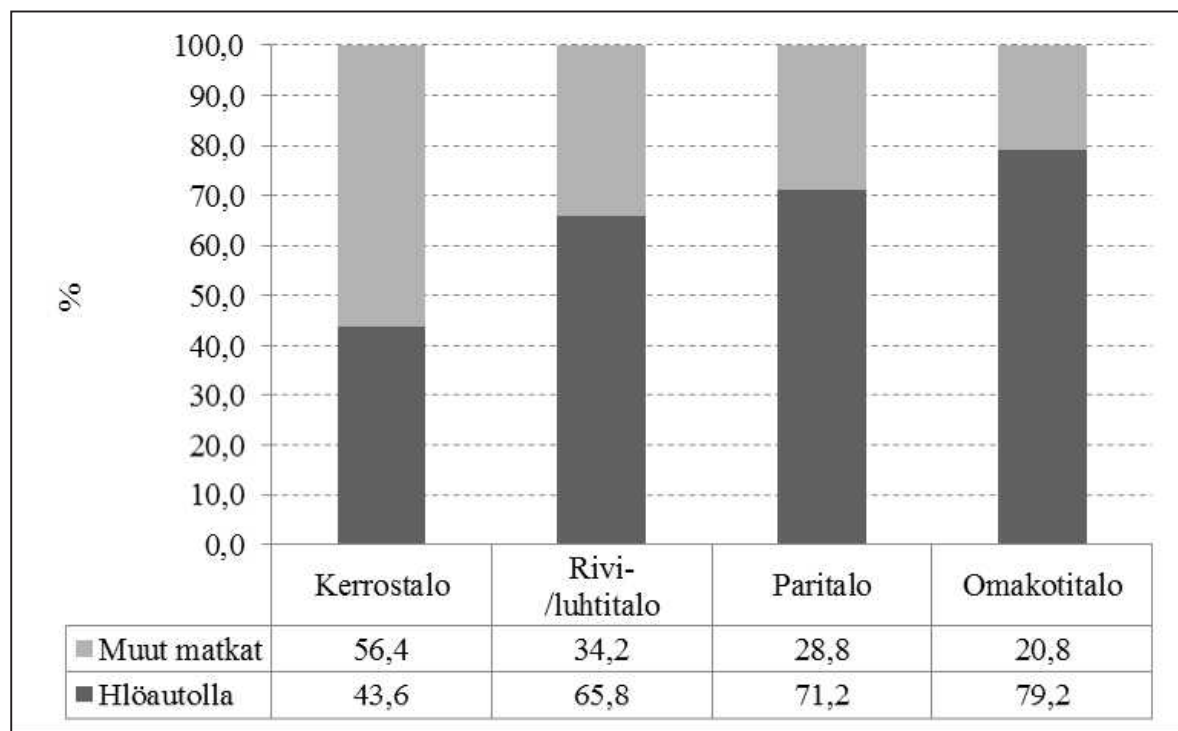
Työmatkat ja ostosmatkoista lähikauppaan, supermarketeihin ja hypermarketeihin kohdistuvat matkat tuottavat liikennetutkimuksen perusteella suuren osan henkilöautolla ajamisen suoritteesta tarkasteltaessa kotoa lähteviä tai kotiin palaavia matkoja. Etäisyyshaittafunktioiden määrittämistä varten tarkasteltiin matkojen lukumäärää etäisyyden suhteen matkatyyppikohtaisesti. Matkojen jakauman todettiin noudattavan negatiivista eksponenttijakaumaa:

$$f(c_{ij}) = \exp(-\beta c_{ij})$$

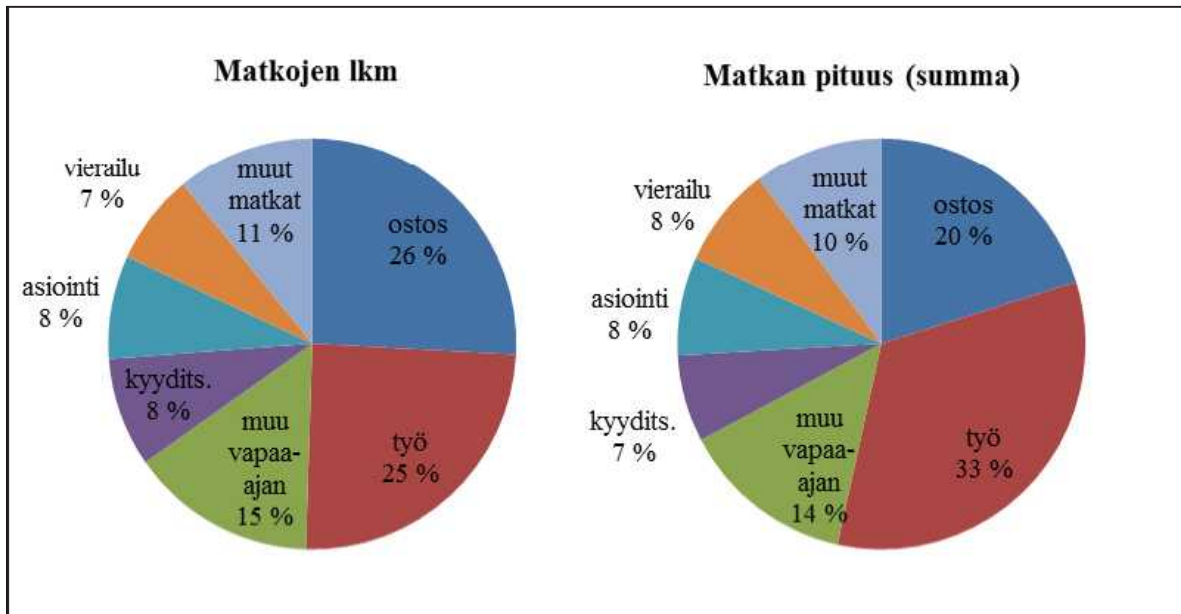
jossa matkan kustannus c_{ij} on lähtöpisteen ja päätepisteen välinen etäisyys kilometreinä. Parametri β kuvaa funktion kuvaajan jyrkkyyttä ja on määritetty tässä tapauksessa matkatyyppittäin henkilöautolla tehtyjen



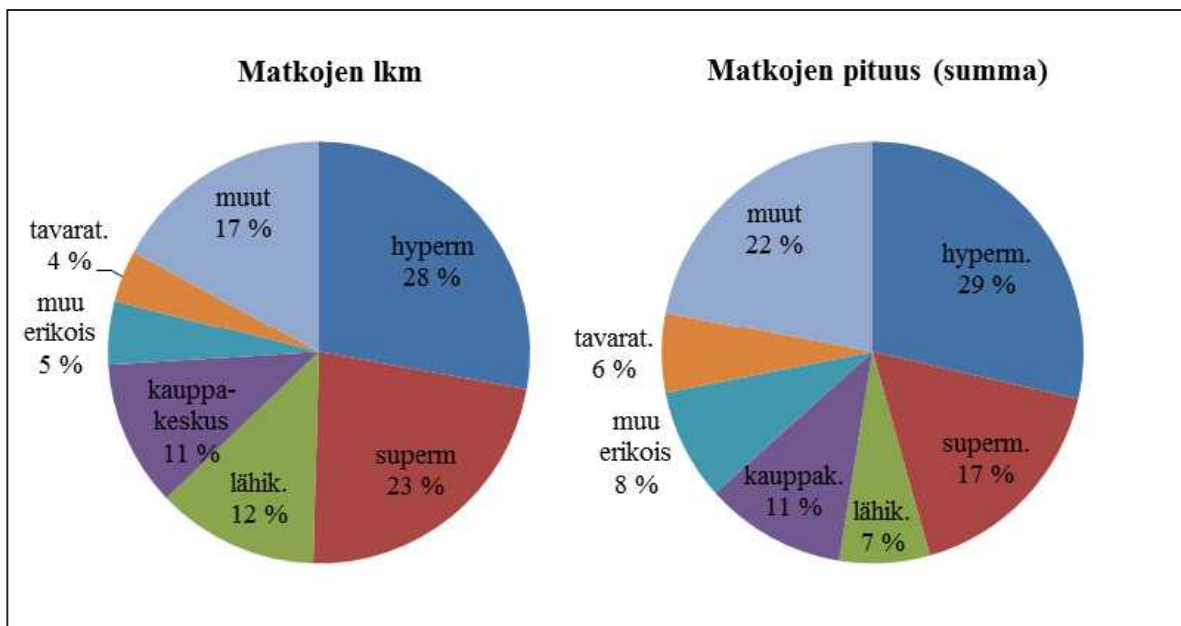
Kuva 2. Kotoa lähtevien tai kotiin palaavien 18–64-vuotiaiden tekemien matkojen lukumäärä talotyypeittäin. (Aineisto: Oulun seudun liikennetutkimus/ henkilöhaastattelut 2009 -tietokanta)



Kuva 3. Henkilöauton käytön useus kotoa lähtevillä tai kotiin palaavilla matkoilla. (Aineisto: Oulun seudun liikennetutkimus/ henkilöhaastattelut 2009 -tietokanta)



Kuva 4. Matkojen jakautuminen matkan tarkoituksen mukaan. Muut matkat sisältävät mm. koulu- tai opiskelumatkoja ja päivähoitomatkoi. (Oulun seudun liikennetutkimus/ henkilöhaastattelut 2009 -tietokanta)

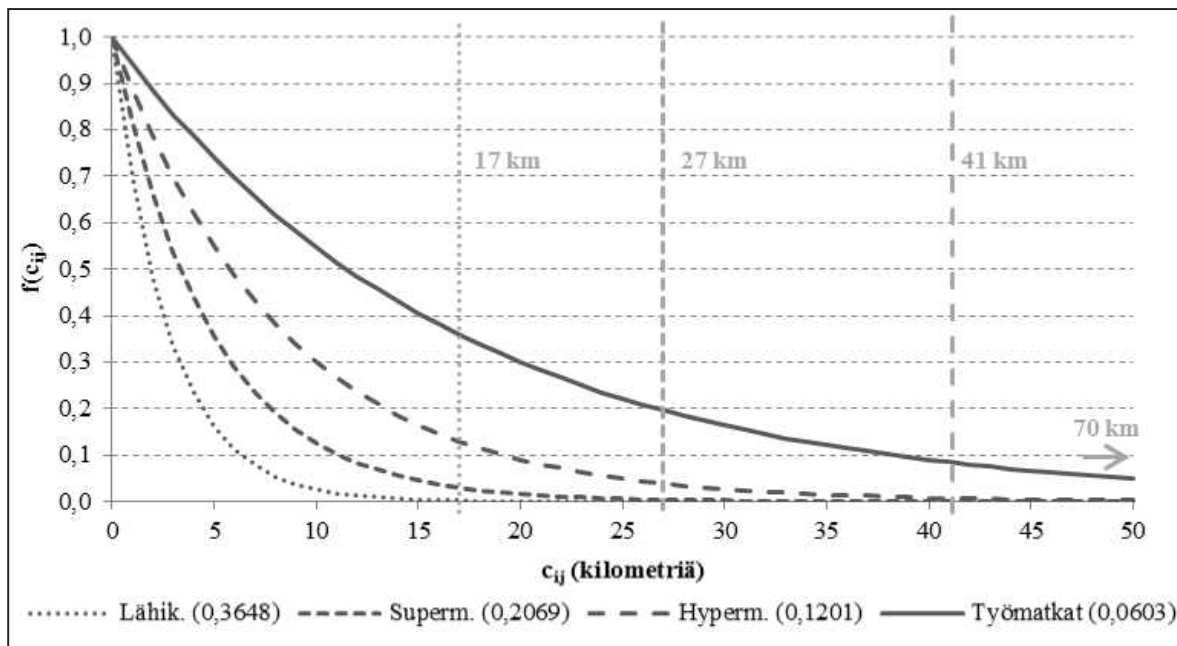


Kuva 5. Ostosmatkojen jakautuminen määränpääryhmän mukaan. Muut matkat sisältävät matkoja mm. apteekkiin ja huoltoasemalle. (Oulun seudun liikennetutkimus/ henkilöhaastattelut 2009 -tietokanta)

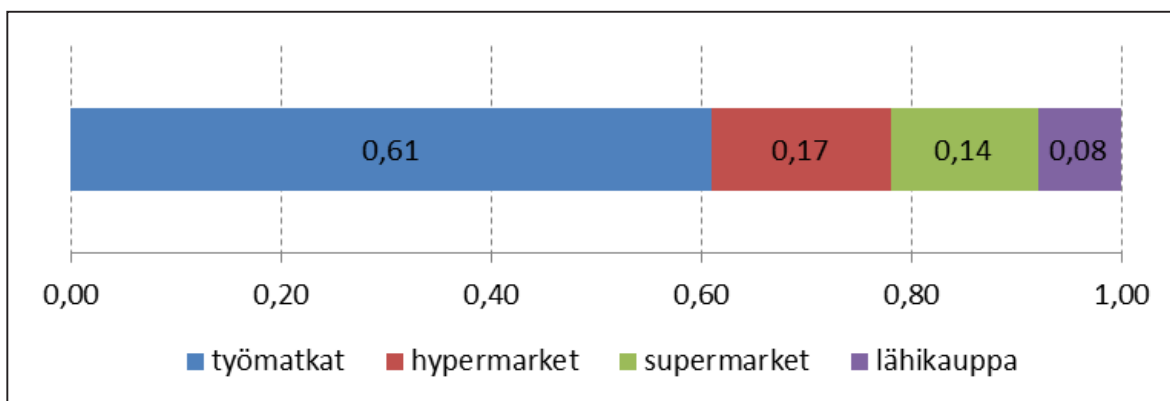
kotoa lähtevien tai kotiin palaavien matkojen matkamatriisin mediaaniarvon perusteella. Parametrit ovat: lähikauppa 0,3648; supermarket 0,2069; hypermarket 0,1201 ja työmatkat 0,0603. Funktioiden kuvaajat on esitetty kuvassa 6. Funktion arvo $f(c_{ij})$ kertoo matkan tekemisen todennäköisyyden. Todennäköisyys on 1, kun matkan pituus on 0, ja asioinnin todennäköisyys vähenee etäisyyden kasvaessa. Lähikauppoihin suuntautuvilla matkoilla matkan toteutumisen todennäköisyys pienenee etäisyyden kasvaessa nopeammin kuin esimerkiksi hypermarketeihin suuntautuvilla matkoilla. Työmatkoilla todennäköisyyden väheneminen on hitaampaa kuin kaikilla ostosmatkatyypeillä; toisin sanoen pidempiä työmatkoja tehdään keskimääräisesti enemmän kuin pidempiä ostosmatkoja. Kuvaan 6 on merkitty myös matkatyyppikohtaiset arvot, joissa funktion kuvaajan katsotaan olevan tasoittunut. Nämä kynnyksarvot ('cut

point') ovat: lähikauppa 17 km, supermarket 27 km, hypermarket 41 km ja työmatkat 70 km. Tasoittumisen kriteerinä on se, että matkan toteutumisen todennäköisyyden muutos kilometriä kohden on alle 0,001.

Kotoa lähtevistä tai kotiin palaavista henkilöautoilla tehdyistä lähikauppaan, super- tai hypermarkettiin suuntautuneista ostosmatkoista sekä työmatkoista tarkasteltiin lisäksi matkojen määrän suhdetta toisiinsa tapausesimerkissä 2 tuotettua asuinalueen CO₂-päästöä kuvaavaa rasteripintaa varten. Työmatkat muodostavat matkamatriisista suurimman osan, noin 61 %. Tarkasteluun valittujen ostosmatkojen osuus on tällöin 39 %, joista lähikaupan osuus 20 %, supermarketin 36 % ja hypermarketin 44 %. Lähikauppaan suuntautuneiden matkojen painoarvo on kokonaismallissa siten 0,08, supermarketien 0,14 ja hypermarketien 0,17 (kuva 7).



Kuva 6. Etäisyshaittafunktiot matkatyypeittäin. Funktioiden kuvaajat kuvaavat henkilöautolla tehtyjen kotoa lähtevien tai kotiin palaavien matkojen jakautumista etäisyyden suhteen. Kullekin matkatyyppille on määritetty oma β -parametri (suluisissa) sekä leikkauspiste, jossa asioinnin todennäköisyyden väheneminen on tasoittunut (muutos/km < 0,001). (Aineisto: Oulun seudun liikennetutkimus/ henkilöhaastattelut 2009 -tietokanta)



Kuva 7. Matkatyyppien painoarvo lopullisessa CO₂-rasteripinnassa matkojen lukumäärän mukaan.

GIS-pohjainen toimintamalli CO₂-päästön arvioimiseen

Ilmastoystävällinen kaavoitus -hankkeen alkaessa ohjausryhmä valitsi kaksi kaavoituksen tapausesimerkkiä, joiden avulla on kehitetty toimintamallia henkilöautoliikenteen tuottaman hiilidioksidipäästön arvioimiseen eri kaavoitusratkaisussa. Esimerkki 1 on asemakaavatasoinen tapaus Oulun Hiukkavaaran asuinalueelta. Esimerkki 2 on yleiskaavatasoinen tapaus, jossa selvitetään uuden asuinalueen sijainnin CO₂-päästöpotentiaalia. Toimintamalli perustuu paikkatietoaineistoihin ja -menetelmiin ja sitä laadittaessa on sovellettu ArcGIS-paikkatieto-ohjelmistossa valmiina olevia työkaluja.

Tapausesimerkki 1: Hiukkavaaran asuinalue

Oulussa sijaitseva Hiukkavaaran asuinalue rakentuu vanhan kasarmialueen ympärille. Asuinalueen suunnittelun lähtökohtana on pidetty kestävästä kaupunkisuunnittelusta. Hiukkavaaraan tullaan sijoittamaan noin 10 000 asuntoa noin 20 000 asukkaalle. Alueelle sijoitetaan muun muassa yhtenäis-

koulu, päiväkotija, sosiaali- ja terveysasema, kirjasto, kaksi kaupan suuryksikköä sekä muita päivittäis- ja erikoistavaraliikkeitä.

Lisätietoa Hiukkavaarasta:

<http://www.ouka.fi/oulu/hiukkavaara/etusivu>

Aineistot ja menetelmä

Tapausesimerkin 1 aineistot on kerätty Hiukkavaaran kaavarunkoraportista (Tekninen keskus 2008). Alueelle on tehty kolme rakennemallivaihtoehtoa. Rakennemallit kiinnitettiin koordinaatistoon ja niistä digitoitiin tarvittava aineisto piste-, viiva- ja aluemuotoisiksi. Digitoitavia kohteita olivat tieverkosto sekä palveluille ja asunnoille osoitetut alueet. Tieverkosto jaettiin kahteen luokkaan pääkaduiksi ja kokoojakaduiksi. Samoin asuntoalueet luokiteltiin kaavarunkosuunnitelman mukaan kaksiluokkaiseksi, jolloin alueista eroteltiin asuinkeuhkoalueita (AK) sekä asuinpientalo, rivitalo ja erillispientalo (AP, AR, AO) -valtaiset asuntoalueet. Lisäksi digitoitiin työpaikka-alueet, kaupallisten ja kunnallisten palveluiden sijainnit sekä urheilukeskuksen paikka.

Kaikissa rakennemalleissa aluekeskusta sijoittuu pääkadun varrelle. Aluekeskustaan on sijoitettu kerrostalovaltaiset asuntoalueet, työpaikkoja ja urheilukeskus sekä kaupallisia ja kunnallisia palveluita. Vaihtoehdossa 1 ja 2 on lisäksi kaksi muuta kaupallisen palvelun sijaintia, vaihtoehdossa 3 aluekeskustan lisäksi yksi kaupallisen palvelun sijaintipaikka. Rakennemalli vaihtoehtojen 1 ja 2 tieverkoston rakenne on kehämäinen, vaihtoehdon 3 puolestaan asuinalueen ohi kulkevan Vaalantien suuntainen (kuva 8).

Asuinalueen sisäisen henkilöautoliikenteen päästöjen määrittämiseen käytettiin ESRI:n tuottamaa ArcGIS 10.0 -ohjelmistoa ja erityisesti Network Analyst -lisäosaa, joka mahdollistaa verkostopohjaisten analyysien tekemisen. Päästöjen laskemisen kannalta tärkeimpiä lisäosan ominaisuuksia ovat vastuksen (impedance) määrittäminen sekä muuttujien kerryttäminen (accumulation). Analyysissä käytettiin pääasiassa Closest Facility -työkalua, joka mahdollistaa reittien määrittämisen useasta kohdepisteestä (Incidents) lähimpään palveluun (Facilities) tiettyä vastusmuuttujaa kuten ajoaikaa käyttäen, jolloin matkat määrittyvät nopeinta reittiä pitkin. Lähtökohtana päästöjen laskemiseen on määrittää matkat asuinalueen asunnoista (Incidents) lähimpään poistumispisteeseen (Facilities) nopeinta reittiä pitkin ja akkumuloida kyseisiltä matkoilta ajamisen tuottama CO₂-päästö painotettuna asuntotyyppikohtaisella autonkäytön kertoimella. Ajatuksena on, että kustakin asunnosta tehdään matka alueen reunalle ja takaisin ikään kuin tehtäisiin työmatka asuinalueen ulkopuolelle. Asuinalueen ulkopuolella tapahtuvalla matkalla ei

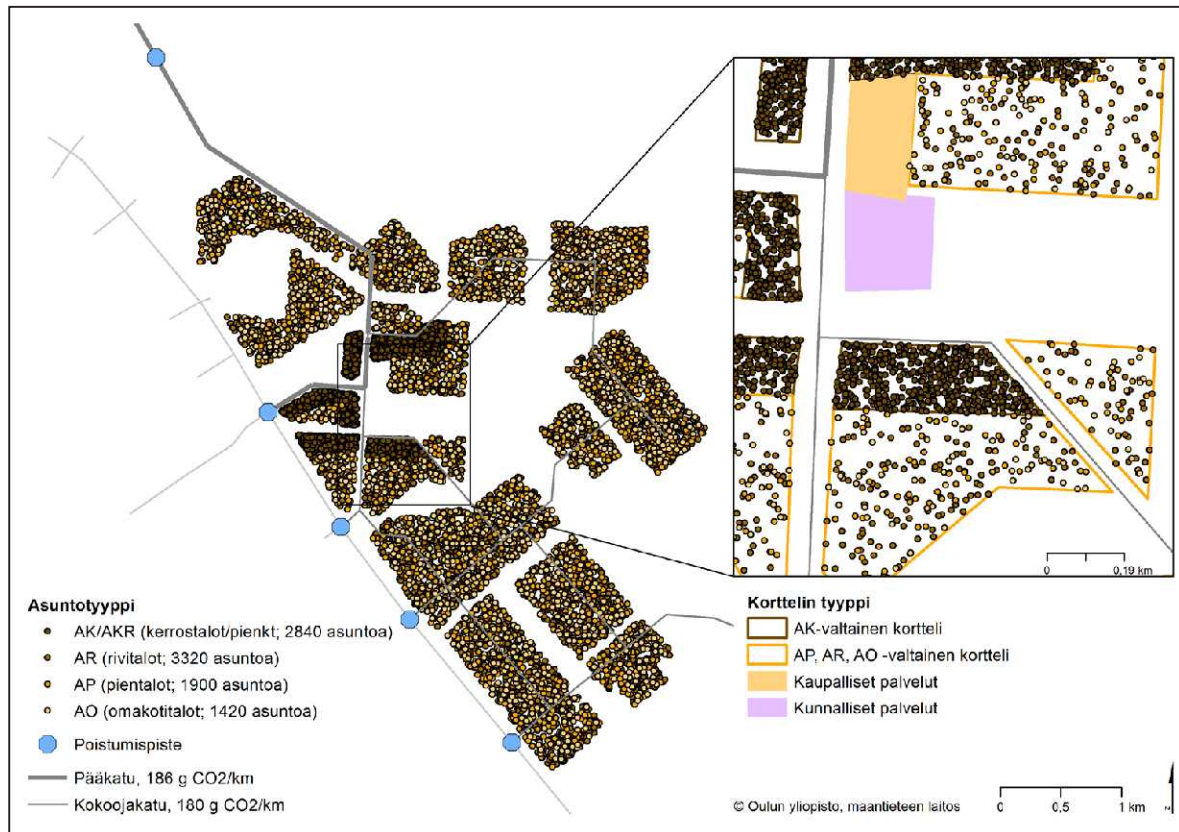
näin ollen katsota olevan vaikutusta siihen, paljonko päästöä syntyy alueen sisäpuolella.

Kaavarunkoraportin rakennemallit sisältävät vain yleispiirteisen kuvauksen siitä, mihin asunnot tullaan alueelle sijoittamaan, joten laskentaa varten tehtiin tarkempi asuntojen sijoittelu. Sijoittelu suoritettiin satunnaisesti ArcGIS-ohjelmiston Create Random Points -työkalulla asuntoalueuokittain kunkin korttelin pinta-ala huomioiden, jolloin asuntojen lukumäärä korttelissa vastaa kyseisen korttelin osuutta kortteleiden kokonaispinta-alasta. Rakennemallien mukaan asuinkerrostalojen asunnot, yhteensä 2840, sijoitettiin AK-merkityille alueille (kuva 9). Rivitalot (3320 kpl), asuinpientalot (1900 kpl) ja erillispientalot (1420 kpl) sijoitettiin AP, AR, AO -valtaisille alueille. Lisäksi asuntoihin liitettiin tieto asuntotyypistä ja tyyppikohtaisesta autonkäytönkertoimesta (taulukko 1).

Päästölaskennassa asunnot toimivat lähtöpisteinä. Päätepisteiksi määritettiin tieverkoston varrella olevat poistumispisteet, jotka kytkevät asuinalueen sisäisen tieverkoston alueen ulkopuoliseen tiestöön. ArcGIS-ohjelmiston Closest Facility -työkalulla määritettiin reitit asunnoista lähimpään poistumispisteeseen nopeinta reittiä pitkin. Reitiltä akkumuloitiin CO₂-päästö, minkä edellytyksenä oli, että tieverkkoon on lisätty tieto CO₂-päästöstä. Päästöarvot perustuvat VTT:n kuntakohtaisiin päästölaskelmiin (VTT 2010). Oulussa CO₂-päästöarvo pääkaduille on 186 g/km ja kokoojakaduille 180 g/km. Reittikohtaiset päästöarvot painotettiin asuntotyyppikohtaisella henkilöautonkäytön kertoimella niin, että esimerkiksi kerrostaloasunnoista tehtyjä matkoja painotettiin vähemmän (kerroin 0,436) kuin



Kuva 8. Hiukkavaaran kaavarungon rakennemallivaihtoehdot. Aineisto on digitoitu kaavarunkoportista (Tekninen keskus 2008). Olemassa oleva, alueen ulkopuolinen tieverkosto on merkattu kuvaan vaaleanharmaalla.



Kuva 9. Asunnot sijoiteltiin kortteleihin satunnaisesti, kuitenkin asuntotyyppi huomioiden. Asuntojen lukumäärä korttelissa määräytyi korttelin pinta-alan mukaan.

Taulukko 1. Kaavarunkoraportin (Tekninen keskus 2008) mukaan Hiukkavaaraan sijoitetaan noin 10 000 asuntoa ja lähes 20 000 asukasta. Auton käytön todennäköisyys asuntotyypeittäin perustuu Oulun seudun liikennetutkimukseen (Kalenoja 2010).

Asuntotyyppi	Asuntojen lkm	Asukkaita/asunto	Asukkaita yht.	Autonkäyttö-%
Asuinkerrostalot (AK/AKR)	2840	1,5	4260	43,6
Rivitalot (AR)	3320	1,9	6308	65,8
Asuinpientalo (AP)	1900	2,5	4750	71,2
Erillispientalo (AO)	1420	3,0	4260	79,2
<i>Yhteensä</i>	<i>9480</i>	-	<i>19578</i>	-

rivitaloista tehtyjä matkoja (kerroin 0,658). Lopuksi kaikkien matkojen tuottama päästö summattiin rakennemallivaihtoehdoittain rakennemallien vertailua varten.

Rakennemalleista tarkasteltiin henkilöautoliikenteen tuottaman päästön lisäksi lähipalveluiden saavutettavuutta. Saavutettavuustarkastelussa ei huomioitu CO₂-päästöä, vaan laskettiin ainoastaan matkojen pituuksia metreinä tieverkostoa pitkin sekä linnuntie-etäisyyksinä, jotta huomioitaisiin myös liikkuminen alueen sisällä kävellen tai pyörällä. Kaupan palveluille on esitetty vaihtoehdoissa 1 ja 2 kolme sijaintipaikkaa, mutta vaihtoehdossa 3 vain kaksi. Jokaisessa rakennemallissa on sijaintipaikat myös kunnalliselle palvelulle ja urheilukeskukselle. Asunnoista määritettiin matkat ja laskettiin matkojen pituudet jokaiseen palveluun sekä kaupallisen palvelua tarkasteltaessa lähimpään kaupan sijaintipaikkaan. Matkojen pituudet laskettiin yhteen kohdetyypin perusteella rakennemallivaihtoehtojen vertailua varten. Lisäksi rakennemallista 3, joka sai päästötarkastelussa pienimmän päästöarvion, palveluiden sijainnit optimoitiin kuljettavan etäisyyden minimoimiseksi.

Tulokset ja pohdinta

Hiukkavaaran asuinalue toimi kaavoituksen tapausesimerkkinä asuinalueen sisäisen henkilöautoliikenteen tuottaman CO₂-päästön arvioimisessa. Tarkastelu perustuu kolmeen kaavarunkoraportin rakennemalliin. Tarkastelun pääperiaate on sijoittaa suunnitelman mukaiset asunnot asuntotyyppikohtaisesti eri kortteleihin, määrittää matkat asunnoista lähimpään poistumispaikasta ja laskea matkan tuottama CO₂-päästö, jota

painotetaan talotyyppikohtaisella autonkäytön kertoimella. Tarkastelun perusteella rakennemallivaihtoehto 3 tuottaa vähiten CO₂-päästöjä, 1293 kg, verrattuna kahteen muuhun vaihtoehtoon (VE1: 1632 kg; VE2: 1615 kg; ks. taulukko 2). Vaihtoehdon 1 tuottama päästö on 26 % suurempi kuin vaihtoehdon 3 erotuksen ollessa 339 kg CO₂.

Päästösumman lisäksi laskettiin myös muita tilastollisia tunnuslukuja vaihtoehtojen vertailua varten (taulukko 2). Asunnoista lähimpään poistumispaikasta kuljettujen matkojen lyhin etäisyys oli 71,2 metriä rakennemallivaihtoehdossa 3. Maksimietäisyys 3735,4 km laskettiin vaihtoehdosta 2. Samoin kuin autonkäytön kertoimella painotettu päästöarvo, myös etäisyyden ja painottamattoman päästöarvon summa oli alhaisin tapauksessa 3 ja korkein vaihtoehdossa 1. Keskihajonta, joka kuvaa havaintoarvojen poikkeamaa keskiarvosta oli alhaisin vaihtoehdossa 3. Vaihtoehdossa 3 asunnot ovat tämän mukaan keskittyneet pienemmälle alueelle, jolloin myös etäisyyden ja päästöarvon maksimi oli vaihtoehdoista kaikista pienin.

Päästötarkastelun lisäksi Hiukkavaaran tapausesimerkissä selvitettiin lähipalveluiden saavutettavuutta kussakin rakennemallivaihtoehdossa. Asunnoista määritettiin matkat sekä tieverkkoa pitkin että linnuntie-etäisyyksinä kaupan yksiköihin, kunnallisiin palveluihin ja urheilukeskukseen. Vaihtoehdoissa 1 ja 2 on rakennemalliin merkitty kolme sijaintia kaupan palvelulle, vaihtoehdossa 3 kaksi sijaintipaikkaa. Sekä linnuntie että tieverkostoa pitkin lasketut etäisyydet olivat lyhimät tapauksessa 1 ja pisimmät tapauksessa 3, lukuun ottamatta etäisyyttä urheilukeskukseen, joka oli lyhin

Taulukko 2. Asuinalueen sisäistä saavutettavuutta ja henkilöautoliikenteen tuottamaa päästöä kuvaavia tilastollisia tunnuslukuja. Luvut on laskettu asunnoista lähimpään poistumispaikkaan määritetyistä matkoista. Minimi (Min) kuvaa siis lyhintä (m) tai vähiten päästöä (CO₂) tuottavaa matkaa (Max = maksimi; Sum = summa; \bar{x} = keskiarvo; S = keskihajonta). Painotettu CO₂ on muuttujista tärkein: matkan päästöarvo on painotettu talotyypikohtaisella autonkäytön kertoimella.

ETÄISYYS	Min (m)	Max (m)	Sum (km)*	(m)	S (m)**
VE 1	97.5	3690.0	13949.2	1472.5	884.0
VE 2	89.0	3735.4	13823.9	1458.5	868.8
VE 3	71.2	2809.5	11028.4	1163.7	625.4
CO₂	Min (g)	Max (g)	Sum (kg)*	(g)	S (g)**
VE 1	18.1	671.9	2540.6	268.2	160.6
VE 2	16.0	678.1	2518.8	265.8	157.4
VE 3	13.2	509.0	2004.9	211.6	113.4
PAINOTETTU CO₂	Min (g)	Max (g)	Sum (kg)*	(g)	S (g)**
VE 1	7.9	530.8	1631.8	172.3	119.6
VE 2	10.2	537.0	1614.8	170.4	118.3
VE 3	6.9	403.1	1292.6	136.4	87.1

* Huom. Arvo on kilometriä/kilogrammaa metrin/gramman sijasta.

** Keskihajonta kuvaa havaintojen poikkeamaa keskiarvosta.

Taulukko 3. Keskimääräiset etäisyydet asunnoista lähipalveluihin linnuntie-etäisyyksinä sekä tieverkostoa myöten mitattuna. Vaihtoehto 3 sai pienimmän CO₂-päästöarvon, mutta lähipalveluiden saavutettavuuden todettiin olevan huonoin. Sijainnin optimoinnilla saatiin parannettua saavutettavuutta (A: ei optimointia, B: palveluiden sijainti optimoitu, C: kolme kaupan sijaintipaikkaa optimoitu kahden sijaan).

Keskimääräinen etäisyys (m)		VE 1	VE 2	VE 3 (A)	VE 3 (B)	VE 3 (C)
...lähimpään kaupan palveluun*	linnuntie	784	806	960	916	798
	tieverkosto	902	905	1148	1042	823
...kunnalliseen palveluun	linnuntie	1382	1455	1480	1398	-
	tieverkosto	1747	1903	1774	1600	-
...urheilukeskukseen	linnuntie	1343	1414	1417	1398	-
	tieverkosto	1868	2081	1603	1600	-

* lähtötilanne: kaupan palveluiden lukumäärä VE 1/ VE 2 = 3; VE 3 = 2

tapauksessa 3 (1603 m) ja pisin tapauksessa 2 (2081 m) (taulukko 3).

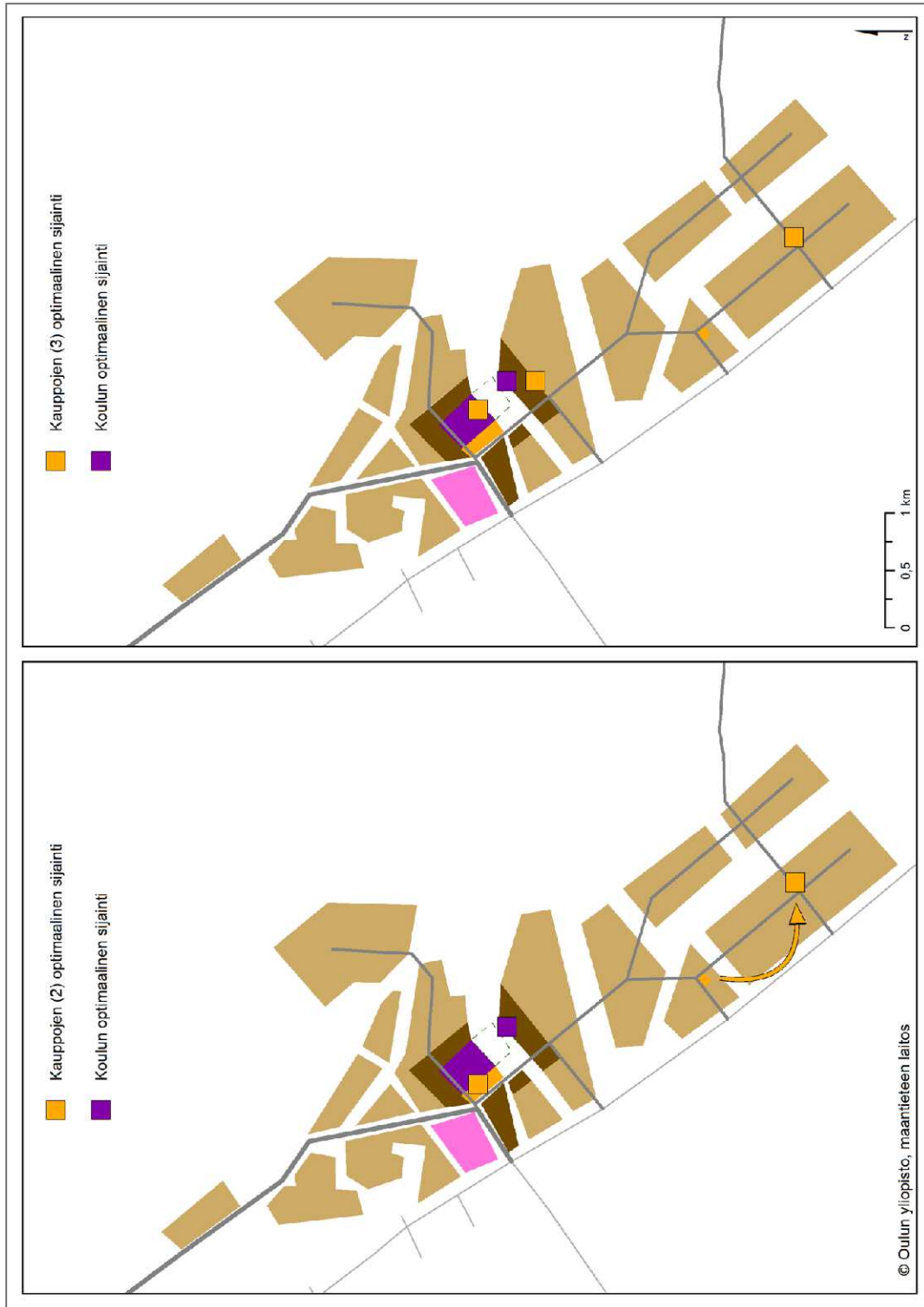
Rakennemallivaihtoehto 3 tuotti pienimmän CO₂-päästöarvon, mutta lähipalveluiden saavutettavuus oli tapauksista kaikista huonoin. Sen vuoksi vaihtoehtoa tarkasteltiin tarkemmin ja palveluiden sijainti optimoitiin. Optimoinnin tulokset on kuvattu taulukossa 3 sekä kuvassa 10. Tieverkostoa pitkin mitattuna kunnallisen palvelun ja urheilukeskuksen sijainnin optimointi pudotti keskimääräisen etäisyyden pienemmäksi kuin vaihtoehdossa 1. Linnuntie-etäisyyksinä laskettuna etäisyyden lasku oli liian pieni, jotta se olisi tavoittanut vaihtoehdon 1. Kaupallisten palveluiden optimoinnin tuottama parannus saavutettavuudessa ei ollut riittävä, jotta etäisyydet olisivat pienemmät kuin vaihtoehdossa 1. Rakennemallivaihtoehtoon 3 lisättiin kuitenkin myös kolmas kaupan sijaintivaihtoehto vastaamaan samaa lukumäärää kuin tapauksissa 1 ja 2 (kuva 10). Kaikki kolme kaupan sijaintipaikkaa optimoitiin, jolloin keskimääräinen matkan pituus putosi 960 metristä (A) 798 metriin (C) linnuntie-etäisyytenä mitattuna ja 1148 metristä (A) 823 metriin (C) tieverkkoa pitkin määritettynä.

Etäisyyslaskennan lisäksi kullekin asuinalueen asunnolle määritettiin optimoiduista kaupan sijaintipaikoista lähin rakennemallivaihtoehdossa 3. Hiukkavaaran aluekeskustassa sijaitseva kauppa on optimoituna lähin noin 7000 asunnolle, joissa lähes 14 000 asukasta (kuva 11). Toinen kauppa sijaitsee lähimpänä noin 2500 asuntoa ja melkein 6000 asukasta. Kun rakennemallivaihtoehtoon 3 lisätään kolmas kauppa, aluekeskustan kauppapaikka on lähin noin 4500 asunnolle ja lähes 9000 asukkaalle.

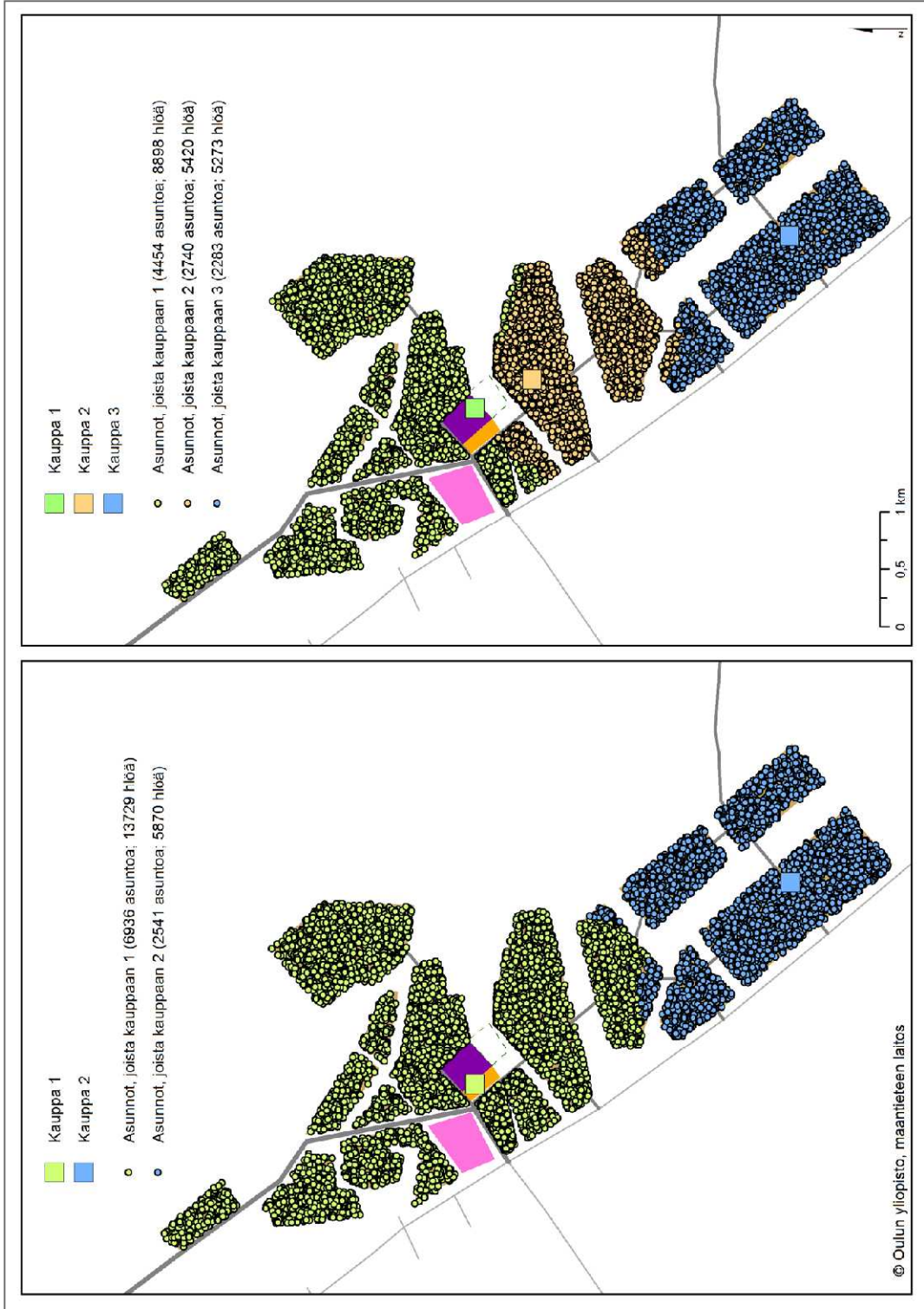
Tapausesimerkki 2: Uuden asuinalueen sijoittaminen

Ilmastoystävällinen kaavoitus -hankkeessa toiseksi kaavoituksen tapausesimerkiksi valittiin yleiskaavatason tapaus, jossa vertaillaan Oulun seudulla sijaitsevien uusien potentiaalisten asuinalueiden sijainnin tuottamaa hiilidioksidipäästöä. Samoin kuin tapausesimerkissä 1, myös yleiskaavatason esimerkissä laskentamallilla arvioidaan henkilöautoliikenteen tuottamaa päästöä.

Pääperiaatteena asuinalueen sijainnin päästövertailussa on määrittää asuinalueille niihin mahdollisesti (*potentiaalisesti*) kohdistuvat matkat. Laskentamalliin on valittu kotia (eli asuinalueelta) lähtevät ja sinne palavat työ- ja ostomatkat, jotka Oulun seudun liikennetutkimuksen mukaan muodostavat hieman yli puolet henkilöautolla tehdyistä kotiperäisistä matkoista. Ostosmatkoista on määritelty erikseen matkat asuinalueelta hypermarketeihin, supermarketeihin ja lähikauppaan. Matkojen tuottama päästö on summattu asuinaluekohtaisesti. Ensimmäisessä vaiheessa potentiaalinen päästö on laskettu jo olemassa oleviin kaupan yksiköihin sekä työpaikkoihin. Toisessa vaiheessa laskentamalliin on lisätty suunnitellut kaupan yksiköt ja niiden tuottamia päästösummia on verrattu ensimmäisen vaiheen päästöarvoihin. Kolmannessa vaiheessa malliin on lisätty vielä suunnitteilla oleva Poikkimaantien silta. Lopuksi matkamatriisista on poistettu alle kilometrin mittaiset sekä kynnyksarvon ylittävät matkat, joissa asioimisen todennäköisyyden on katsottu olevan erittäin vähäinen.



Kuva 10. Palveluiden sijainnin optimointi rakennemallissa 3. Kunnallisen palvelun, kuten koulun, sijainti siirtyy vähän optimoinnin seurauksena. Kahden kaupan optimoinnissa toinen kaupan sijaintipaikka pysyy ennallaan, mutta toinen sijaintipaikoista siirtyy huomattavasti. Kolmas kauppa sijoittuu optimoinnissa aluekeskustan läheisyyteen.



Kuva 11. Kahden kaupan sijainnin optimoinnilla kauppa 1 tavoittaa asuinalueelta 6936 asuntoa ja yhteensä 13 729 asukasta. Kauppa 2 on lähin 2541 asunnolle ja 5870 asukkaalle. Kolmen kaupan sijoittelu vähentää kaupan 1 tavoitettavaa asunto- ja asukasmäärää.

Aineistot

Tapausesimerkin 2 tavoitteena on määrittää ja vertailla potentiaalisilta asuinalueilta kauppa- ja työpaikkoihin suuntautuvan henkilöautoliikenteen tuottamia CO₂-päästöarvoja. Digiroad-tieverkostoa hyödyntäen on määritetty asuinalueilta työ- ja kauppapaikoille suuntautuvat matkat. Yhdyskuntarakenteen seurannan tietojärjestelmää (YKR) on käytetty potentiaalisten asuinalueiden määrittämisessä. Aineistosta on saatu myös ruutukohtainen tieto työpaikkojen lukumäärästä. Oulun seudun liikennetutkimuksesta on määritetty asiointityyppien painokertoimet sekä etäisyyshaittafunktiot. Päivittäistavarakauppojen sijainti on saatu pisteaineistona Oulun seudun yleiskaavoituksesta. Kaupat on luokiteltu päästölaskentaa varten pinta-alan mukaan. Myyntipinta-alaltaan alle 400 m² kaupat on luokiteltu lähikaupoiksi, pienet (400–1000 m²) ja isot (1000–2500 m²) supermarketit supermarketiksi ja hypermarketiksi yli 2500 m² kaupat. Aineisto sisälsi myös suunniteltujen kaupan yksiköiden sijaintitiedot.

Digiroad-tieverkosto

Digiroad on katutietojärjestelmä, joka sisältää koko Suomen tieverkoston tarkat sijainnit ja tärkeimmät ominaisuustiedot kuten nopeusrajoitukset sekä kääntymis- ja ajokiellot (Liikennevirasto 2012). Digiroadia ylläpitävät Maanmittauslaitos, Liikennevirasto ja kunnat.

Laskentaa varten tiet on tyypitelty kahteen luokkaan maanteiksi ja kaduiksi. Hai-
luodon mantereeseen yhdistämistä varten

aineistosta on poimittu myös lauttareitti. Kevyenliikenteen väylät ja rautatiet jätettiin analyysin ulkopuolelle. Maantie-luokkaan kuuluvaksi luokiteltiin tiet, jotka olivat aineiston alkuperäisen luokituksen mukaan maanteita sekä lisäksi ne yksityistiet, jotka sijaittivat taajama-alueen ulkopuolella. Katu-luokkaan luokiteltiin alkuperäiseen katu-luokitukseen kuuluvien teiden lisäksi taajama-alueella olevat yksityistiet.

Tieverkoston lisättiin tieto kunkin tieosuuden pituudesta, ajamiseen kuluva ajasta sekä CO₂-päästöstä. Nopeustietoa tarvittiin päästölaskennassa nopeimman reitin määrittämistä varten. Suurimmalle osalle tiesegmenteistä oli aineistossa jo valmiiksi tien nopeusrajoitus, jonka perusteella tieosuuden ajamiseen kuluva aika oli helppo laskea. Lopuille segmenteistä nopeusrajoitus määritettiin tietyyppin perusteella. VTT:n (2011) mukaan keskimääräinen ajonopeus on maanteilla 92,8 km/h ja katuajossa 30 km/h. Nopeusrajoitusten lisäksi analyysiin lisättiin risteyksissä hiljentämiseen tai pysähtymiseen kuluva aika. Peruseriaate on, että vasemmalle kääntyminen vie enemmän aikaa (aikasakko 24 s) kuin oikealle kääntyminen (aikasakko 12 s). Aikasakko suoraan mentäessä oli 6 sekuntia ja 30 sekuntia tehtäessä U-käännös. Vastaavia aikaviiveitä on käytetty muun muassa laskettaessa kaupan suuryksiköiden saavutettavuuteen liittyviä hiilidioksidipäästöjä (Määttä-Juntunen ja Rusanen 2010; Määttä-Juntunen ym. 2011). Päästömuuttuja sisältää kunkin tieverkoston osuuden eli segmentin päästöarvon sen pituuden perusteella. Päästöarvot perustuvat VTT:n (2011) laskelmiin ja ne ovat maanteilla 168 g/km ja katuajossa 196 g/km. Luokittelemalla tietyyppit kahteen luok-

kaan saatiin huomioitua erilaiset olosuhteet maantie- ja katuajossa. Maanteillä ajo on sujuvampaa, joten päästöarvo on pienempi kuin katuajossa, jossa tehdään paljon jarrutuksia ja kiihdytyksiä.

Poikkimaantien sillan vaikutusten selvittämistä varten luotiin toinen tieverkostoaineisto, johon digitoitiin Poikkimaantien silta katusuunnitelmien mukaisesti (Oulun kaupunki 2010). Lisäksi Poikkimaantielle asetettiin nopeusrajoitukseksi 60 km/h ja päästökseen määritettiin koko tieosuudelle 168 g/km.

Yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmä (YKR)

Yhdyskuntarakenteen seurantajärjestelmä (YKR) on Suomen ympäristökeskuksen ja Tilastokeskuksen kokoama yhdyskuntarakenteen eri ominaisuuksia kuvaava paikkatietoaineisto. Tietojärjestelmä sisältää tilastoruuduittain tietoja koko Suomesta vuodesta 1980 alkaen muun muassa väestöstä, työpaikoista, työvoimasta ja rakennuksista (SYKE 2010).

Rakentamattomien asuinalueiden määrittämistä varten Oulun seudulle luotiin 1x1 km ruudukko ja kuhunkin ruutuun liitettiin YKR-ruutuaineiston sisältämä tieto asuinrakennusten lukumäärästä. Tieto rakennuksista on vuodelta 2010. Potentiaalisiksi asuinalueiksi valittiin ruudut, joissa ei ollut yhtään asuinrakennusta ja jotka sijaitsivat 500 metrin etäisyydellä olemassa olevasta tieverkostosta. YKR-aineistosta saatiin lisäksi tieto työpaikkojen lukumäärästä 250x250 metrin ruuduissa. Työpaikkatieto on vuodelta 2007.

Menetelmä

Laskennan pääperiaatteena on määrittää matkat nopeinta reittiä pitkin potentiaalisilta asuinalueilta (asuinrakennuksia 0, etäisyys tieverkostosta 500 m) työpaikkoihin sekä lähikauppoihin, supermarketeihin ja hypermarketeihin (kuva 12). Laskennassa käytettiin pääasiassa ArcGIS-ohjelmiston OD Cost Matrix -työkalua, joka mahdollistaa reittien määrittämisen useasta lähtöpisteestä (origins) moneen päätepisteeseen (destinations) ja tuottaa taulukon kultakin reitiltä kerrytettyjen (accumulation) muuttujien arvoista. Kerrytettäviä muuttujia tässä tapauksessa olivat matkan pituus ja CO₂-arvo. Matkojen vastuksena (impedance) käytettiin aikaa eli reitit määritettiin nopeinta reittiä pitkin.

Laskennan lähtöpisteiksi määritettiin potentiaalisista asuinalueista muodostetun 1x1 km ruudukon ruutujen keskipisteet. Reittien laskenta tehtiin neljä kertaa, jolloin päätepisteinä olivat 1 a) lähikauppojen sijainti, 1 b) supermarketien sijainti ja 1 c) hypermarketien sijainti, sekä 2) työpaikat 250x250 m ruudukossa. Näin saatiin muodostettua asiointityyppikohtaiset matkamatriisit, joista laskettiin kullekin asuinalueelle potentiaalinen päästösumma P_{CO2i} :

$$P_{CO2i} = \sum_j \frac{f(c_{ij}) \times CO2}{\sum_i f(c_{ij})}$$

jossa c_{ij} on lähtöpisteen i ja päätepisteen j välinen etäisyys kilometreinä, $f(c_{ij})$ on asiointityyppikohtaisen etäisyyshaittafunktion antama todennäköisyysarvo kyseisellä etäisyydellä ja CO₂ on kyseiseltä matkalta kerrytetty CO₂-päästö. Laskennassa määri-

tettiin siis todennäköisyys matkan ja matkasta aiheutuvan CO₂-päästön toteutumiseksi [matkan potentiaalinen CO₂-päästö: $f(c_j) \times CO_2$] ajatuksena, että kussakin asuinruudussa todennäköisyyksien summa käydä päätepisteissä on 1 [potentiaalinen päästö jaettuna matkapotentiaalien asuinaluekohtaisella summalla $\sum_i f(c_j)$].

Työpaikoille suuntautuvien matkojen laskenta poikkesi kauppoihin suuntautuvien matkojen laskennasta. Samoin kuin kaupan asioinnille, myös työmatkoille laskettiin matkan potentiaalinen CO₂-päästö suhteutettuna matkapotentiaalien asuinaluekohtaiseen summaan. Työmatkoissa otettiin kuitenkin huomioon työpaikkojen lukumäärä kussakin 250x250 metrin ruudussa (kuva 12), joten matkan toteutumisen todennäköisyys $f(c_j)$ kerrottiin työpaikkojen lukumäärällä W_j . Tällöin potentiaalinen päästösumma on:

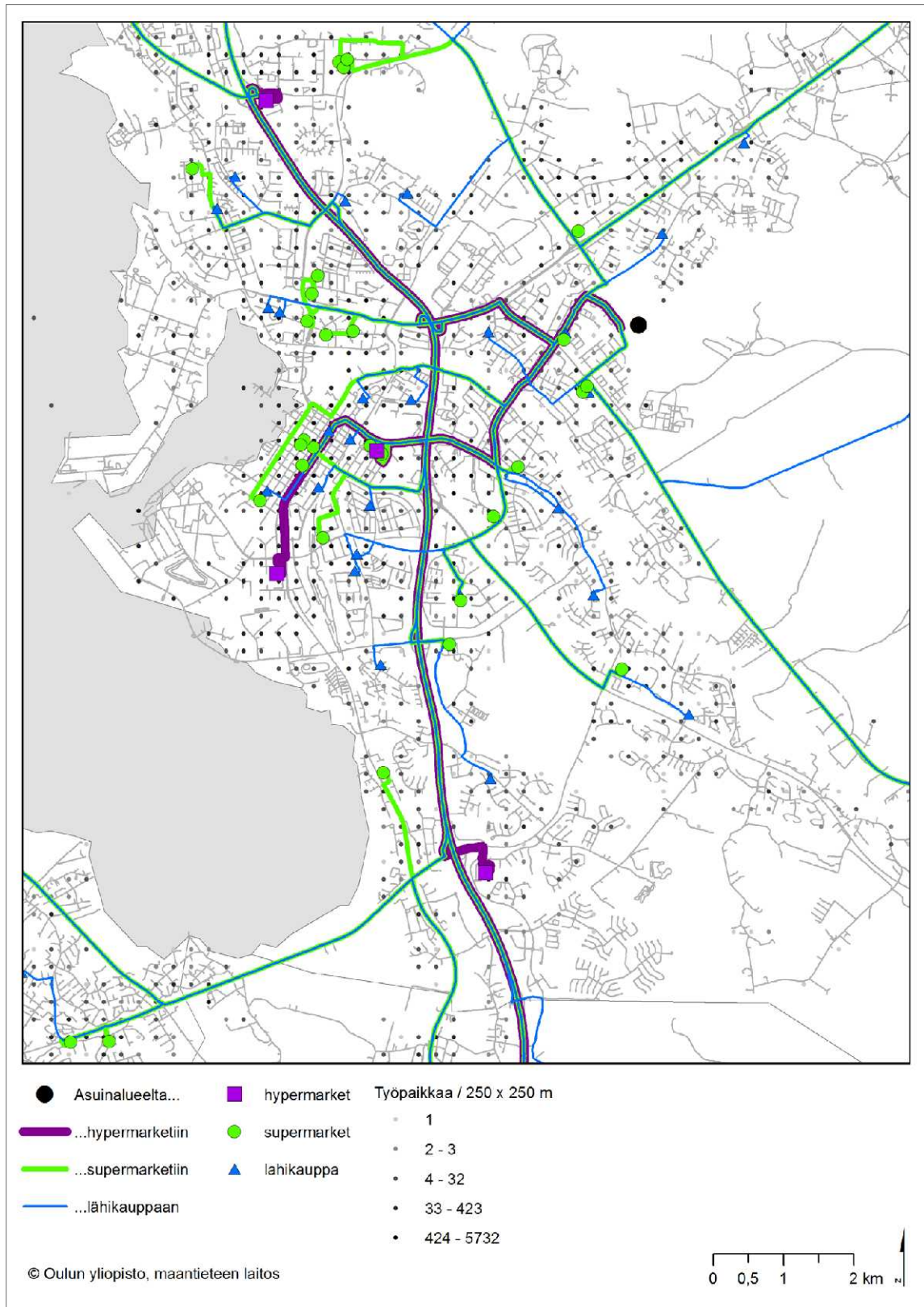
$$P_{CO_2i} = \sum_j \frac{W_j \times f(c_j) \times CO_2}{\sum_i W_j \times f(c_j)}$$

Kullekin asuinalueudulle summatettiin potentiaalinen päästöarvo neljästä eri asiointityypistä. Esimerkiksi kuvan 12 tapauksessa hypermarketeille suuntautuvien matkojen päästöpotentiaaliumma on 1639 g, supermarketeille 1002 g ja lähikauppoihin 812 g sekä työpaikoille 1466 g (taulukko 4). Potentiaaleista rakennettiin kullekin asiointityypille oma rasteripinta, joka sisältää matkojen päästösumman 1x1 km ruuduittain. Lopuksi rasteripinnat yhdistettiin ja niistä laskettiin painotettu summa ArcGIS-ohjelmiston Weighted Sum -työkalulla painottaen rasteritasoja Oulun seudun liikennetutkimuksesta määritetyn asiointien lukumäärään perustuvan kertoimen (k) mukaan. Tällöin edellä mainitussa esimerkissä kaupan asioinnin tuottama päästöpotentiaali on 485 g ja työpaikalle suuntautuvan liikenteen tuottama päästö 894 g (taulukko 4).

Taulukko 4. Esimerkki potentiaalisen päästösumman laskemisesta kuvan 12 esimerkkiin perustuen. Painokerroin (k) perustuu Oulun seudun liikennetutkimuksesta määritettyyn asiointien lukumäärään.

Asuinalueelta...	β^*	kerroin (k)	P_{CO_2i}	$k \times P_{CO_2i}$
1 a) hypermarketeihin	0,1201	0,44	1639	721
1 b) supermarketeihin	0,2069	0,36	1002	361
1 c) lähikauppoihin	0,3648	0,20	812	162
Kaupan asioinnin muodostama potentiaalinen CO ₂ -päästösumma				Σ 1244
1) kaikkiin kauppoihin		0,39	1244	485
2) työpaikkoihin	0,0603	0,61	1466	894
Kaupan asioinnin ja työmatkojen muodostama CO ₂ -päästösumma				Σ 1379

*) Etäisyshaittafunktion (negatiivisen eksponenttifunktion) β -parametri



Kuva 12. Päästölaskenta perustuu matkoihin, jotka on määritetty potentiaalisilta asuinalueilta lähikauppaan, hypermarketeihin ja supermarketeihin sekä työpaikoille 250 x 250 metrin ruuduissa.

Tulokset ja pohdinta

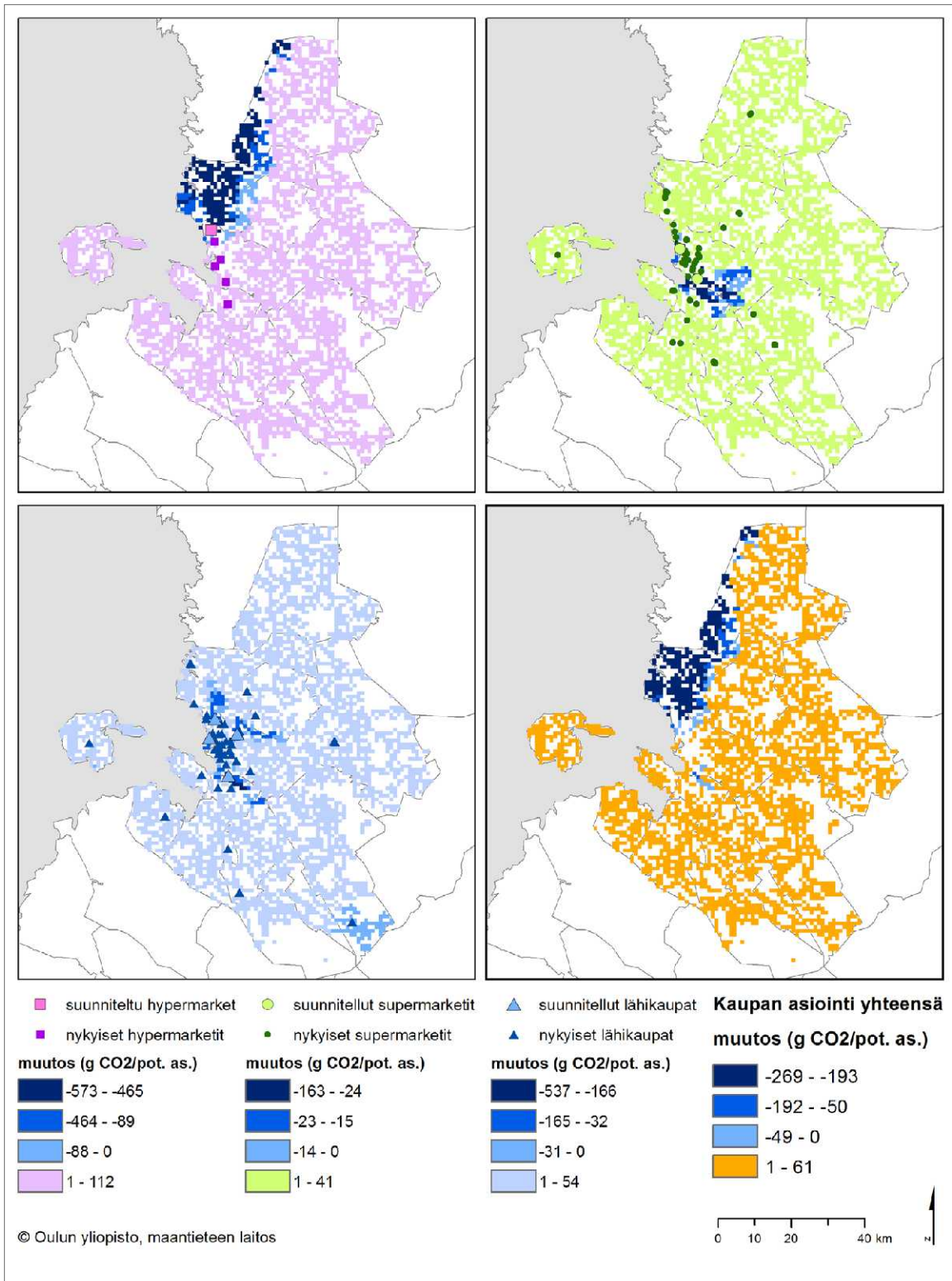
Tapausesimerkin 2 tarkoituksena on kehittää toimintamalli uuden asuinalueen sijaintiin liittyvän henkilöautoliikenteen tuottaman CO₂-päästön arviointiin. Toimintamallin pääperiaatteena on määrittää matkat asuinalueelta kaupan yksiköihin sekä työpaikkoihin ja laskea matkoilta kertyvä CO₂-päästö. Päästölaskennassa on huomioitu matkan toteutumisen todennäköisyyden vähentyminen eksponentiaalisesti etäisyyden kasvaessa (etäisyshaittafunktio) ja asioinnin volyymi eri määränpäätyypeissä. Ensimmäisessä vaiheessa potentiaalinen päästö on laskettu olemassa oleviin kaupan yksiköihin sekä työpaikkoihin. Toisessa vaiheessa laskentamallissa on ollut mukana olemassa olevien yksiköiden lisäksi suunnitellut kaupan yksiköt. Toisen vaiheen päästösummia on verrattu ensimmäisen vaiheen päästöarvoihin uusien kauppohen vaikutusten selvittämiseksi. Kolmannessa vaiheessa malliin on lisätty Poikkimaantien silta. Lopuksi matkamatriisista on poistettu alle kilometrin mittaiset sekä kynnyksarvon ylittävät matkat ja tuotettu lopullinen CO₂-päästöpinta potentiaalisten asuinalueiden sijaintien vertailua varten.

Oulun pohjoisosaan rakennettavalla uudella hypermarketilla on huomattavin vaikutus Oulun seudun pohjoisosaan (kuva 13). Parhaimmillaan potentiaalinen CO₂-arvo pieneni 573 g potentiaalista asiointimatkaa kohden. Hypermarketiasiointia kuvaavan etäisyshaittafunktion muoto on loiva. Matkan tekemisen todennäköisyys hypermarkettiin vähenee hitaasti etäisyyden kasvaessa eli oletetaan, että myös kauempaa asioidaan melko todennäköisesti hypermarketissa. Sen vuoksi myös uuden hypermarketin rakenta-

misen vaikutukset ulottuvat laajalle verrattuna supermarketin ja lähikaupan lisäämisen vaikutukseen. Toisaalta supermarketien ja lähikaupan verkosto on tiheämpi, jolloin yhden kaupan lisääminen ei ennusta huomattavia muutoksia henkilöautoliikenteeseen. Kaupan yksiköiden verkoston tihentyminen parantaa kuitenkin yleisesti ottaen saavutettavuutta, pienentää asiointietäisyyksiä ja hyödyntää erityisesti kevyttä liikennettä etäisyyksien lyhentyessä. Suunnitteilla olevia supermarketteja lisättiin malliin kaksi ja lähikauppoja neljä. Supermarketien lisääminen laski enimmillään päästöarviota asuinalueilla 163 g/ potentiaalinen asiointimatka lisättyjen kauppohen läheisyydessä. Myös lähikauppohen lisäämisen vaikutukset olivat hyvin paikalliset.

Tarkasteltaessa kauppohen vaikutuksia yhteensä (kuva 13), hypermarketin lisääminen vaikuttaa huomattavasti Oulun seudun pohjoisosassa päästöjen alenemiseen. Vaikka malli ennustaakin päästöjen vähentyvän kauppohen läheisyydessä, päästöjen kokonaissumma kasvaa ja lisätyistä yksiköistä kauempana sijaitsevien asuinalueiden päästöarvio on suurempi kuin nykyisillä yksiköillä lasketussa mallissa. Tämän oletetaan johtuvan siitä, että etäisyyden ollessa suuri kaupassa asioimiselle on olemassa kuitenkin vähäinen todennäköisyys. Kun kaupan yksiköitä on enemmän, on samalla enemmän potentiaalisesti tehtäviä asiointimatkoja, vaikka niiden todennäköisyys olisikin hyvin vähäinen. Lopullisessa mallissa käytetäänkin kynnyksarvoja, joiden perusteella mallista jätetään pois ne matkat, joiden todennäköisyys on erittäin vähäinen.

Seuraavassa vaiheessa käytettiin tieverkostoa, johon oli digitoitu Poikkimaantien silta ja nostettu tien nopeusrajoitus



Kuva 13. Potentiaalisen CO₂-päästön muutos kun laskentamalliin on lisätty suunnitellut hypermarketit, supermarketit ja lähikaupat.

60 km/h:ssa. Malliin otettiin päätepisteiksi työpaikka-aineisto ja kaupan yksiköistä sekä nykyiset että suunnitellut päivittäistavarakaupat. Tulokset on esitetty kuvassa 14. Malli arvioi potentiaalisilta asuinalueilta suuntautuvan henkilöautoliikenteen CO₂-päästön vähenevän lähestulkoon koko seudun alueelta. Suurimmillaan muutos on Hiukkavaaran asuinalueen kohdalla. Sillan rakentamista ja Poikkimaantien kehittämistä onkin pidetty edellytyksenä asuinalueen rakentamiselle (Tekninen keskus 2008).

Lopuksi matkamatriisista poistettiin matkat, joiden pituus ylitti asioimisen kynnyksen. Kynnyksarvot olivat lähikaupalle 17 kilometriä, supermarketeille 27 kilometriä, hypermarketeille 41 kilometriä ja työpaikoille 70 kilometriä. Lisäksi alle yhden kilometrin matkoille annettiin päästöarvoksi 0. Laskentaan otettiin tieverkosto, joka sisältää Poikkimaantien sillan, sekä nykyiset ja suunnitellut kauppojen sijainnit, jotta saataisiin laskettua tulevan tilanteen CO₂-päästöt. Vastaavalla tavalla kuin edellä, päästöarvoista tuotettiin rasteripinta, joka osoittaa kunkin 1 x 1 km kokoisen potentiaalisen asuinalueen päästöpotentiaalin (kuva 15). Päästöarvo kuvaa mahdolliselta uudelta asuinalueelta lähikauppoihin, supermarketeihin, hypermarketeihin ja työpaikoille suuntautuvien potentiaalisten matkojen tuottamaa painotettua päästösomaa. Päästöpotentiaali on pienin Oulun keskustan läheisyydessä ja kasvaa seudun reunoja kohti mentäessä. Keskustan ja reuna-alueen välillä on kuitenkin muutamia keskittymiä, joissa päästöarvo on samaa suuruusluokkaa kuin reuna-alueella (kuva 15). Kaupan palvelut ja työpaikat ovat etäällä näistä alueista, eikä näille alueille ole suunniteltu rakennettavan uusia päivittäistavarakaupan yksiköitä, koska

alueet eivät ole ensisijaisia kohteita asuntorakentamiselle. Lähellä reunaa sijaitsevat alueet, joissa päästöpotentiaali on alhainen, sijaitsevat puolestaan sen verran kaukana palveluista ja työpaikoista, että asioimisen kynnyksen arvo ylittyy osalla matkoista. Tällöin näistä matkoista ei myöskään kerry päästöä.

Kuvassa 16 on esitetty 20 pienintä päästöarvon saanutta aluetta. Alueet sijaitsevat Oulun keskustan läheisyydessä. Päästöarviot on esitetty taulukossa 5. Laskelma osoittaa, että täydennysrakentamisella ja kaupunkirakenteen tiivistämisellä voidaan vaikuttaa CO₂-päästöjen vähentämiseen. Keskustan lähialueilla kaupan palveluverkosto on kattava, työpaikat ovat lähellä ja joukkoliikenneverkosto tiheä, mikä vähentää henkilöauton tarvetta ja lyhentää autolla tehtyjä matkoja. Oulussa sijaitsevien suunniteltujen asuinalueiden vertailussa päästöpotentiaali oli alhaisin Rannanperällä sekä Hiukkavaarassa (kuva 17, taulukko 6).

Pilottikokeilu: Seudullinen henkilöautoliikenteen CO₂-päästömalli

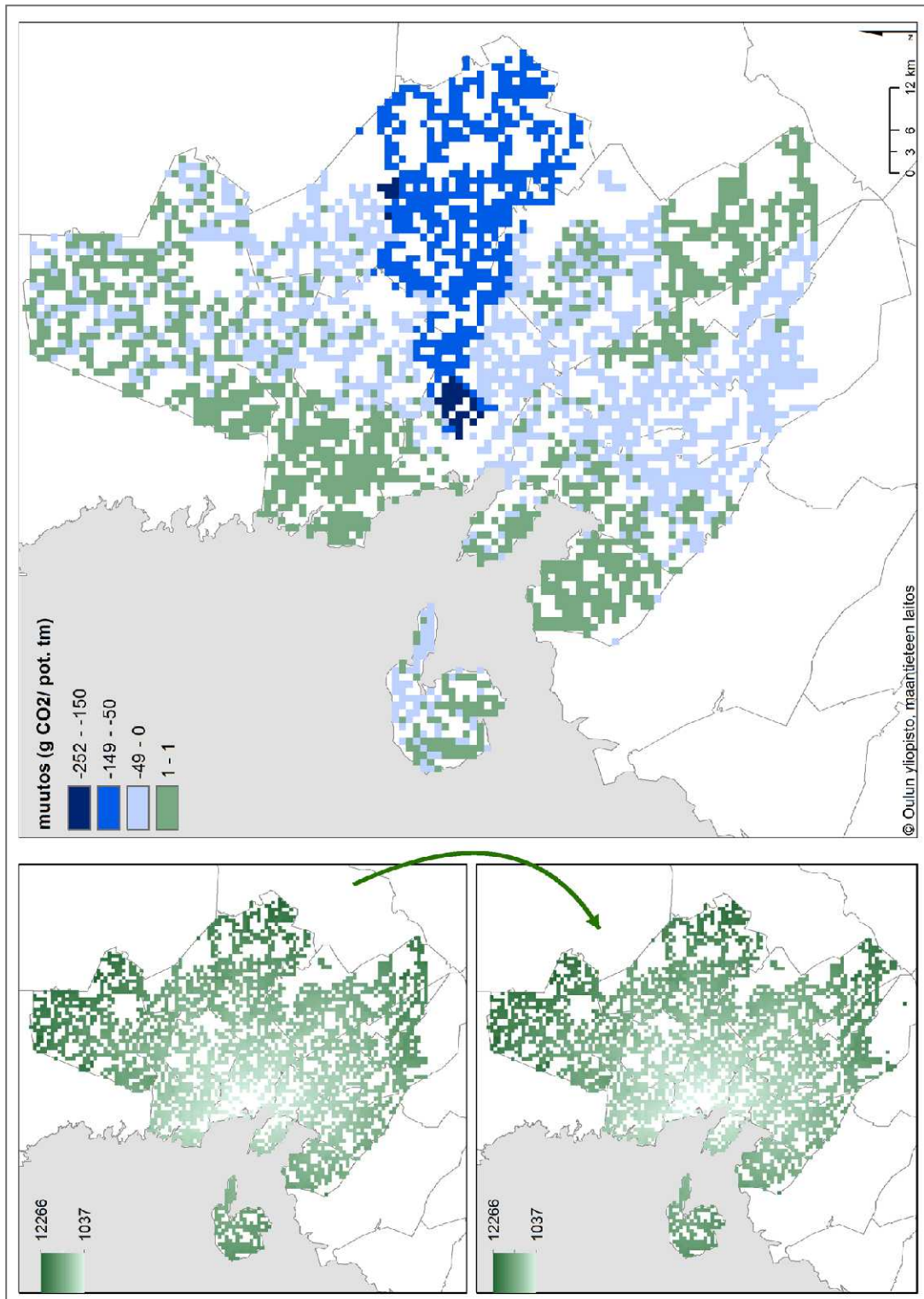
Ilmastoystävällinen kaavoitus -hankkeessa tehtiin pilottikokeilu henkilöautoliikenteen tuottaman hiilidioksidipäästön mallintamisesta tieverkkoon. Päästöarvojen lähteaineistona käytettiin VTT:n tuottamaa GPS-pohjaista liikennetietoaineistoa (OuluFOT). Aineisto tarjoaa korkealaatuista tietoa liikenteen päästöistä ja mahdollistaa todellisiin kulutusarvoihin pohjautuvan päästölaskennan. Tavoitteena oli selvittää pystytäänkö OuluFOT-aineiston pohjalta tuottamaan tarkempi päästölukittelu tieverkostolle kuin ILKA-hankkeessakin käytetty kaksiluokkainen päästölukittelu.

Taulukko 5. Pienimmän päästöpotentiaalın (g CO₂ / potentiaaliset asiointimatkat) saaneet alueet.

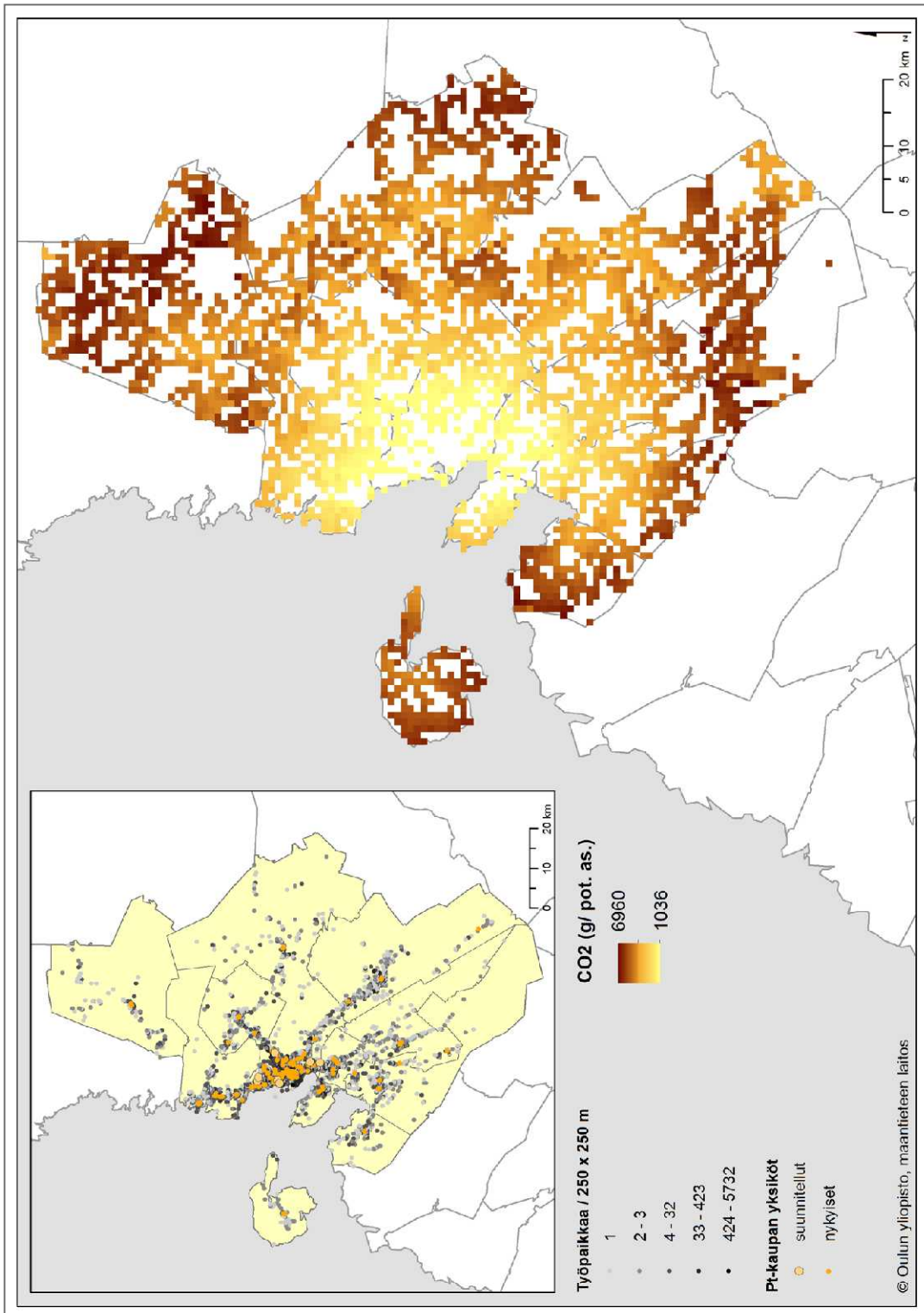
Alue		CO ₂ (g/ pot. as.)	Suhdeluku
1	Laanila	1036	1,00
2	Äimärautio	1223	1,18
3	Toppilansaari	1227	1,18
4	Hiironen	1232	1,19
5	Niittyaro	1258	1,21
6	Oulunlahti	1260	1,22
7	Takalaanila, etelä	1276	1,23
8	Takalaanila, pohjoinen	1328	1,28
9	Nuottasaari - Limingantulli	1379	1,33
10	Rannanperä	1382	1,33
11	Hiironen - Iinatti	1391	1,34
12	Teknologiakylä - Itä-Patela	1424	1,37
13	Vanha Hiukkavaara	1437	1,39
14	Maikkula	1446	1,40
15	Toppila	1458	1,41
16	Rajahauta	1475	1,42
17	Kaijonranta	1480	1,43
18	Rantavainio	1492	1,44
19	Taskila	1527	1,47
20	Hietasaari - Vihreäsaari	1584	1,53

Taulukko 6. Suunniteltujen asuinalueiden päästöpotentiaalın vertailu.

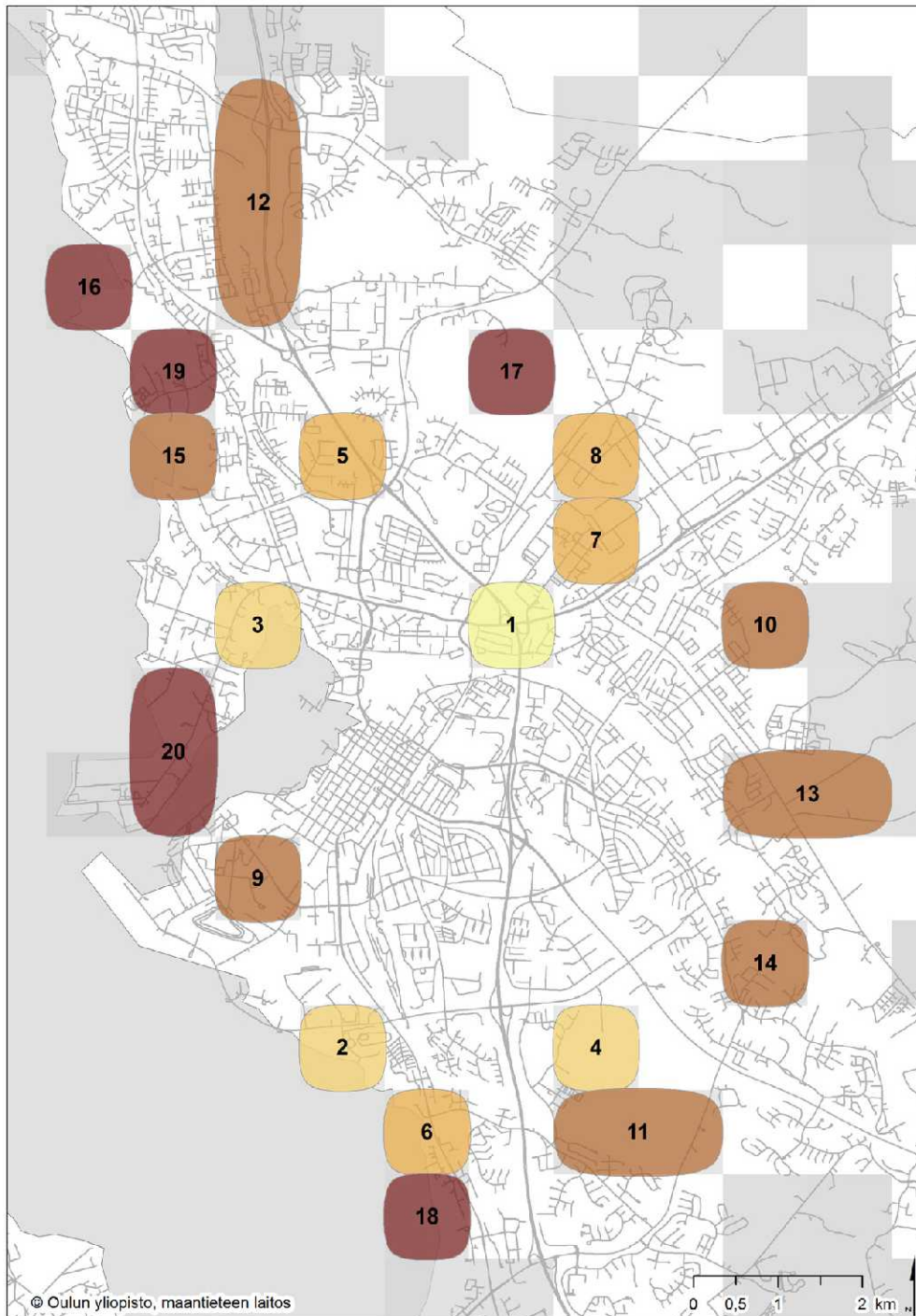
Alue		CO ₂ (g/ pot. as.)	Suhdeluku
1	Rannanperä	1382	1,00
2	Hiukkavaaran keskus, etelä	1489	1,08
3	Hiukkavaaran keskus, pohj	1620	1,17
4	Linnakangas (Kempele)	1729	1,25
5	Kivikkokangas	1855	1,34
6	Pohjois-Ritaharju, itäosa	1855	1,34
7	Metsokangas, itäosa	1932	1,40
8	Pohjois-Ritaharju	2031	1,47



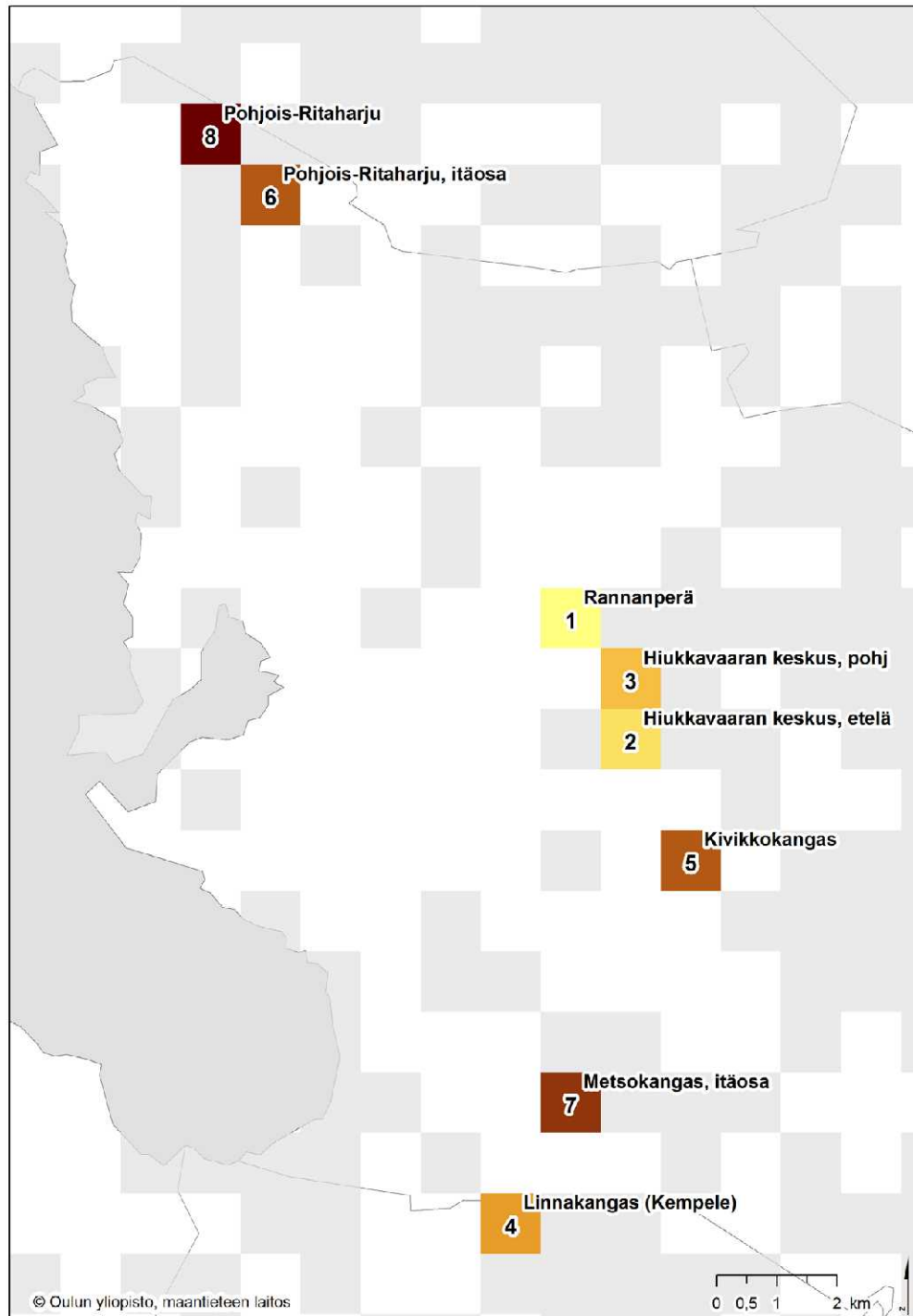
Kuva 14. Poikkimaantien sillan rakentamisen vaikutus potentiaalisten asuinalueiden CO₂-päästöihin. Laskentamallin mukaan henkilöauto liikenteen päästöt vähenevät lähestulkoon koko seudulla sillan rakentamisen ja Poikkimaantien kehittämisen vaikutuksesta.



Kuva 15. Henkilöautoliikenteen tuottama CO₂-päästöpotentiaali mahdollisille uusille asuinalueille. Päästöarvio muodostuu hypermarketeihin, supermarketeihin, lähikauppaan ja työpaikoille suuntautuvista matkapotentiaaleista.



Kuva 16. Henkilöautoliikenteen tuottama CO₂-päästö on arviolta pienempi Oulun keskustan lähellä sijaitsevilla mahdollisilla uusilla asuinalueilla. Osa alueista onkin jo kaavoitettu asutukselle tai niitä täydennysrakennetaan.



Kuva 17. Rannanperä ja Hiukkavaaran keskus saivat laskennassa tarkasteluun valituista suunnitelluista asuinalueista pienimmän päästöpotentialin.

Hankkeessa tuotettiin muutamia tunnuslukuja koskien Oulun seudun tieverkoston hiilidioksidipäästöjä. Näiden tunnuslukujen pohjalta vertailtiin kaksiluokkaista päästöluokittelua todellisiin kulutusarvoihin perustuvaan luokitteluun. Välillisenä tavoitteena oli selvittää aineiston jatkokäyttömahdollisuuksia ilmastoystävällisen kaavoituksen edistämiseksi.

OuluFOT-aineisto perustuu VTT:n TeleFOT-hankkeeseen, jossa tutkittiin mobiilien ajo-opastuspalveluiden vaikutusta ajokäyttäytymiseen. Tutkimusta tehtiin kahdeksassa EU-maassa. Suomessa tutkimus toteutettiin valtaosin Oulussa, mutta testikuljettajia oli myös Tampereella ja Helsingissä. Oulussa 162 kuljettajaa ajoi vuoden aikana yli 300 000 kilometriä. Matkat suuntautuivat ympäri Suomea, mutta suurin osa aineiston kilometreistä on ajettu Oulun seudulla. Yksi tutkimuskohde TeleFOT-hankkeessa oli erilaisten sovellusten ja sovelluskokoonpanojen testaus. ILKA-hankkeessa hyödynnettiin erityisesti Driveco-sovelluksen tuottamaa aineistoa, josta saatiin polttoaineen kulutustietoja. Osalla tutkimukseen osallistuneista oli ajoneuvonsa diagnostiikkaan kytketty mobiilisovellus, joka keräsi tietoa polttoaineen kumulatiivisesta kulutuksesta kahden minuutin välein sekä informoi kuljettajaa kulutuksen kertymisestä ajon aikana. Tämä sovellus oli yhteensä 131 kuljettajalla, jotka ajoivat 94 000 reittiä. Koska polttoaineen kulutus on suoraan verrannollinen hiilidioksidipäästöihin, polttoaineen kulutusarvoista saatiin tieto ajon tuottamasta CO₂-päästöstä.

OuluFOT-tutkimukseen osallistui kuljettajia, joilla oli vuosimallia 2000 uudempi bensinikäyttöinen auto tai vuosimallia 2003 uudempi dieselauto. Lisäksi vaadittiin E

tai N -sarjaa oleva Nokian matkapuhelin, jotta testattavia GPS-sovelluksia voitiin käyttää. Valtaosa osallistuneista oli miehiä ja osallistujien keski-ikä oli 43 vuotta. Otos ei näin ollen ole edustava, mutta aineiston pohjalta määritetyt tiekohtaiset hiilidioksidipäästöt ovat keskenään vertailukelpoisia. Kulutukseen vaikuttavat kuljettajan lisäksi myös muutkin seikat, kuten vuodenaika. Aineistosta havaittiin, että kesäkuukausina hiilidioksidipäästöt olivat alhaisimpia. Päästöihin vaikuttavat myös auton tyyppi, keliolosuhteet ja kellonaika. Työmatkaliikenteen havaittiin tuottavan CO₂-päästöä muuta liikennettä enemmän.

GPS-havaintopisteet kiinnitettiin tieverkkoon ArcGIS:n Network Analyst -työkalulla niin, että ne kohdentuivat lähimpänä olevaan Digiroad-tieverkoston viivaelementtiin. Tämän jälkeen pisteiden välinen reitti estimoitii nopeinta reittiä pitkin. Muodostuneet reitit yhdistettiin overlay-tekniikalla tieverkkoon, jotta jokaiselle tieosuudelle kohdentui kaikkien siitä kulkeneiden reittien arvot. Näistä laskettiin mediaani jokaiselle tieosuudelle. Alle kymmenen havaintoa sisältäneet tieosuudet poistettiin tarkastelusta. Kuvissa 18a ja 18b on esitetty tiekohtaiset CO₂-päästöt kaupungin alueella yksittäisinä arvoina sekä luokiteltuna desiileittäin, jolloin jokainen päästöluokka sisältää 10 % päästöarvon saaneista teistä. Arvot kuvaavat hiilidioksidipäästön kilometriä kohden. Keskiarvoista päästötasoa edustaa esimerkiksi Kuusamontie. Alhaisen päästön teitä ovat muun muassa Pohjantien pohjoisosa ja Kemintie. Lähes koko Oulun keskustan teiden päästöt ovat muita alueita korkeammat. Lisäksi moottoritien rampit ja useat risteysalueet ovat päästöiltään pääosin keskiarvon yläpuolella. Tieosuuksien CO₂-päästöar-

vojen mediaaniksi muodostui 184 g/km, joka vastaa ILKA-hankkeessakin käytettyjä päästöarvoja. Hajonta tieosuuksittain on kuitenkin huomattavaa vaihteluvälin ollessa 95–1181 g/km.

Kuvassa 19 on verrattu muutamia tieosuuksia. Tarkasteluun on otettu kahdeksan nelikaistaista tieosuutta, joista Uusikatu, Aleksanterinkatu, Kemintie ja Bertel Jungin tie kokonaan ja Saaristonkadusta sen nelikaistainen osuus. Pohjantieltä on valittu tien vilkkain osuus eli Kuusamontien ja Kainuuntien ramppien välinen kohta. Kajaanintieltä ja Kainuuntieltä tarkasteluun on valittu Oulunsuuntien ja keskustan välinen osuus. Vertailussa olleilla tieosuuksilla päästö on alhaisin Kemintiellä. Saaristonkadulla suoritettu ajo tuottaa Kemintiehen verrattuna lähes kaksinkertaisen päästön; toisin sanoen Kemintiellä voidaan vastaavalla kulutuksella ajaa kaksi kilometriä kuin Saaristonkadulla yksi kilometri.

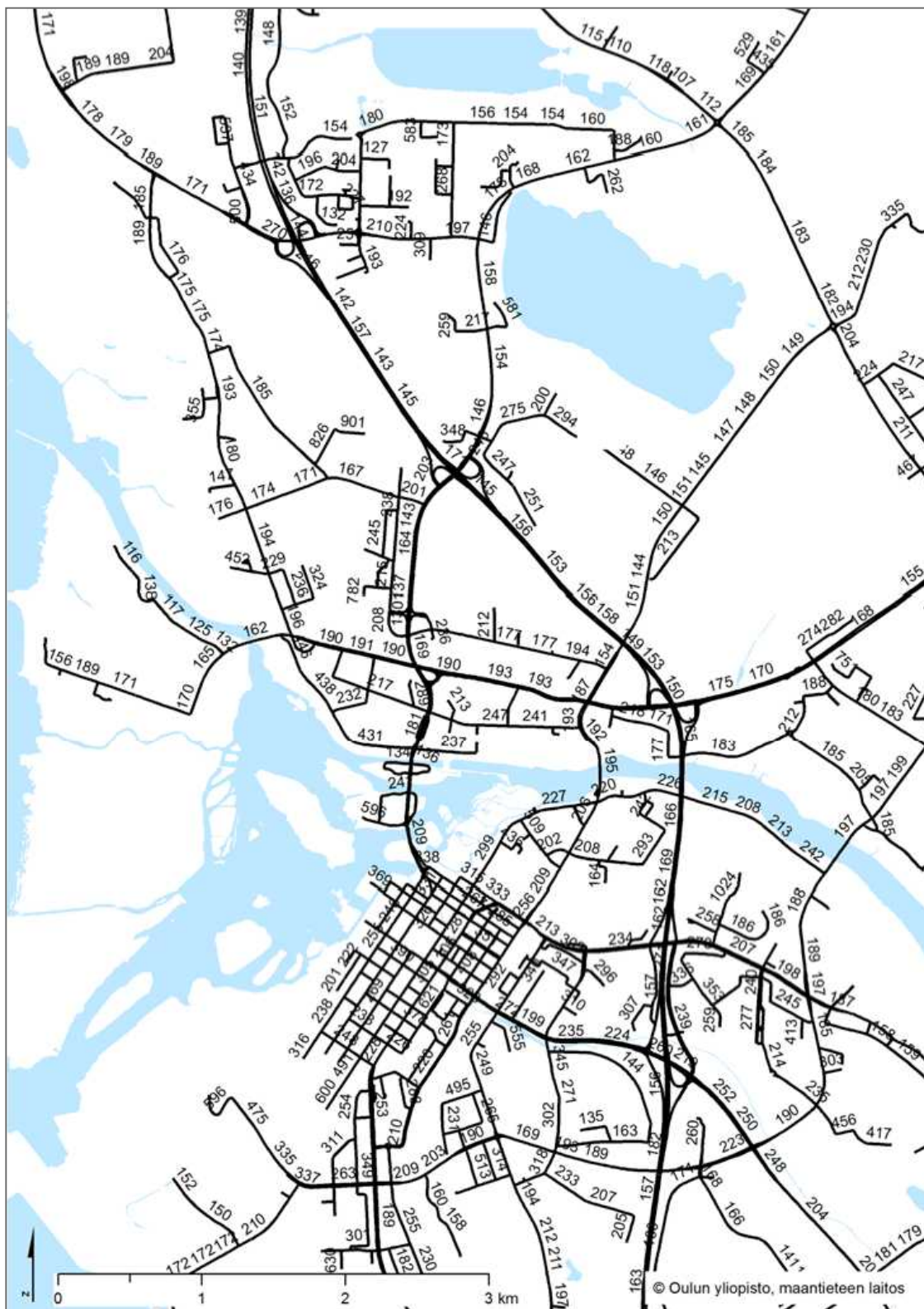
Tieosuuksien CO₂-päästöarvojen eroavaisuuksia on tarkasteltu myös reittivalinnan kautta (kuva 20). Lähtöpisteeksi kuvan esimerkissä on valittu Mäntylässä Snellmantien risteys ja määränpääksi Linnanmaa. Kuvassa on esitetty kaksi reittivaihtoehtoa, jotka molemmat ovat lähes samanmittaisia. Toinen reiteistä kulkee keskustan kautta, Aleksanterintietä pitkin Tuiran läpi, toinen reitti Pohjantietä pitkin. Huolimatta siitä, että Pohjantien reitti on puoli kilometriä pidempi, se on polttoaineen kulutuksen kannalta taloudellisin ja täten myös ilmastoystävällisin.

Esimerkki päästölaskurin tuottamisesta ArcGIS-ohjelmistolla

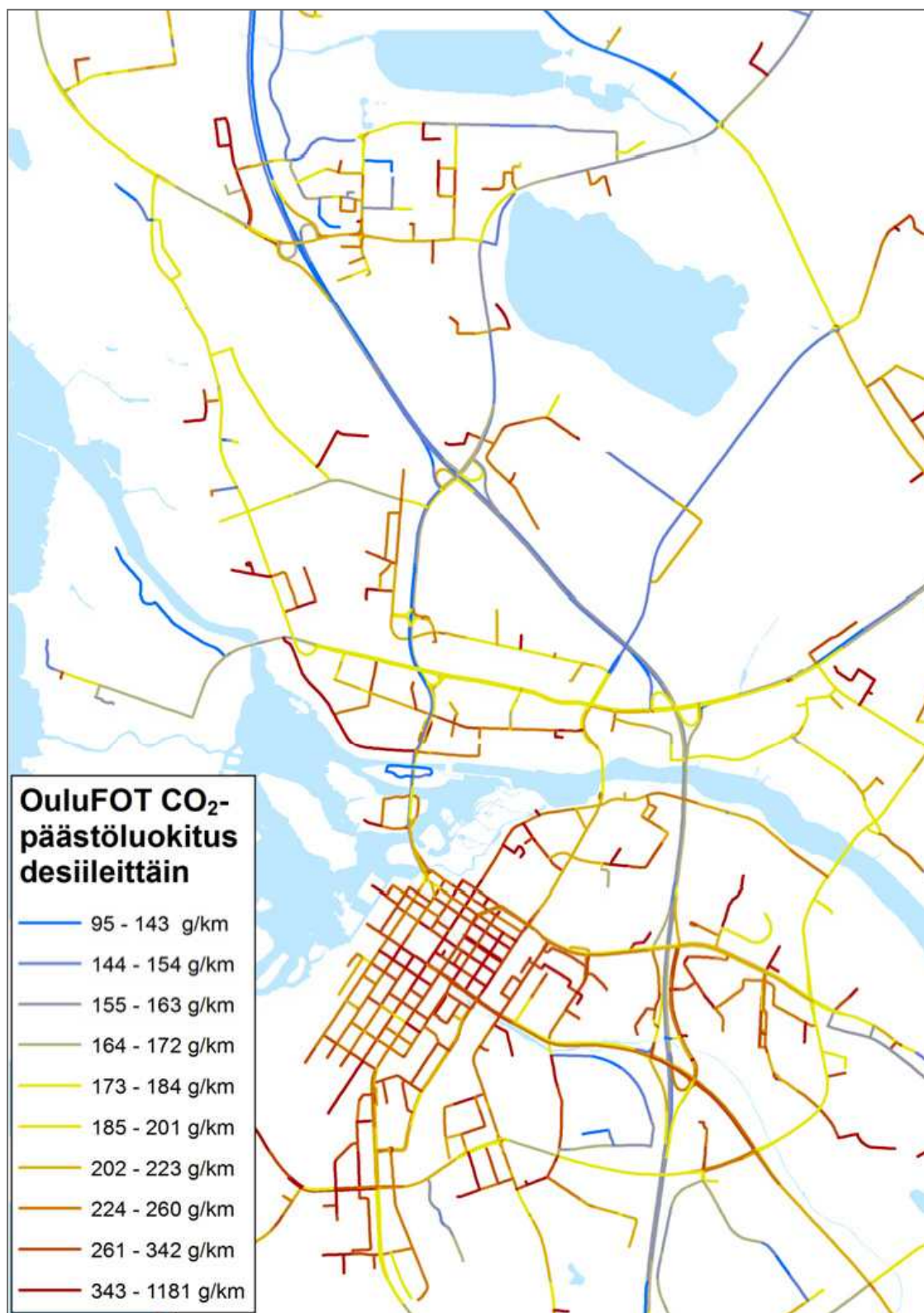
ArcGIS-ohjelmiston Model Builder -sovellus mahdollistaa analyysien mallintamisen työkulkua kuvaavina kaavioina sekä aineistojen automaattisen prosessoinnin (ESRI 2012). Seuraavassa esitellään hankkeessa Model Builder -sovelluksella tuotettu työkalu asuinalueen sisäisen henkilöautoliikenteen tuottaman CO₂-päästön laskentaa varten.

Laskentaan tarvitaan kolme aineistoa: 1) tieverkosto, joka sisältää tiedon CO₂-päästöstä tieosuuksittain, 2) asuntojen sijainti pistetiedostona, jonka ominaisuustaulukossa tieto asuntotyypistä ja auton käytön useudesta, sekä 3) poistumispaikat (kuva 21). Laskuri määrittää matkat Network Analyst -laajennoksen Closest Facility -työkalulla tieverkostoa myöten asunnoista lähimpään poistumispaikaseen ja kerryttää käyttäjän valitsemat muuttujat (CO₂) reittikohtaiseksi taulukoksi sekä laskee muuttujien summan. Käyttäjän tehtävänä on syöttää työkaluun tarvittavat aineistot sekä valita muun muassa tallennuksen kohdekansio sekä summattavat muuttujat (kuva 22).

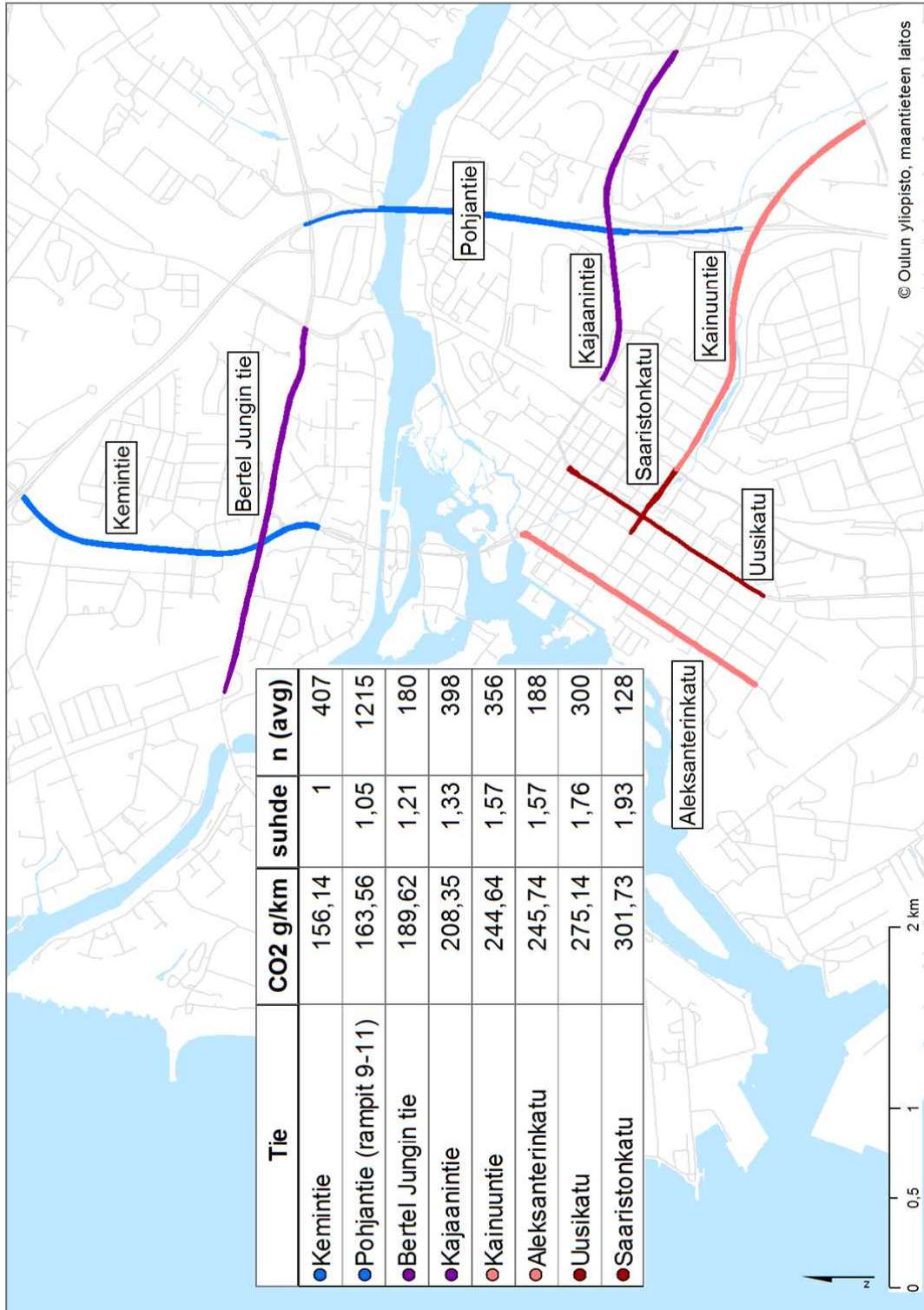
Vastaavalla tavalla voidaan mallintaa ja automatisoida päästöpotentiaalien laskeminen uuden asuinalueen sijainnille. Tällöin laskenta suoritetaan Closest Facility -työkalun sijaan OD Cost Matrix -työkalulla. Aineistoina ovat tieverkosto (Digiroad), potentiaalisten asuinalueiden sijainnit (origins) sekä kaupan yksiköiden ja työpaikkojen sijainnit (destinations). ILKA-hankkeessa tehdyssä laskennassa huomioitiin etäisyyden vaikutus matkan toteutumisen todennäköisyyteen sekä asioinnin useus asiointityypeit-



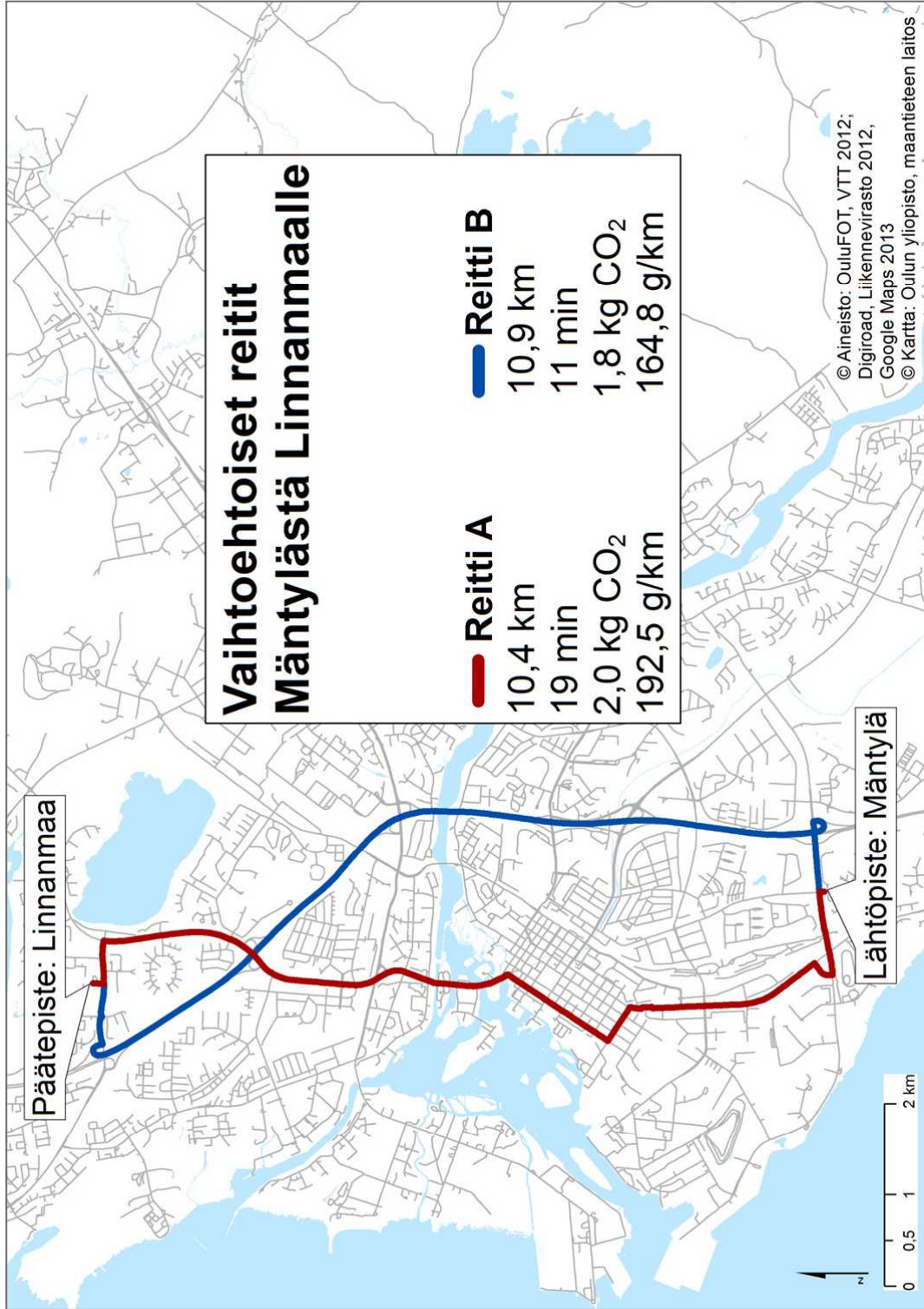
Kuva 18a. Hiilidioksidipäästö (g/km) teiosuuksittain yksittäisinä arvoina Oulun keskustan alueella.



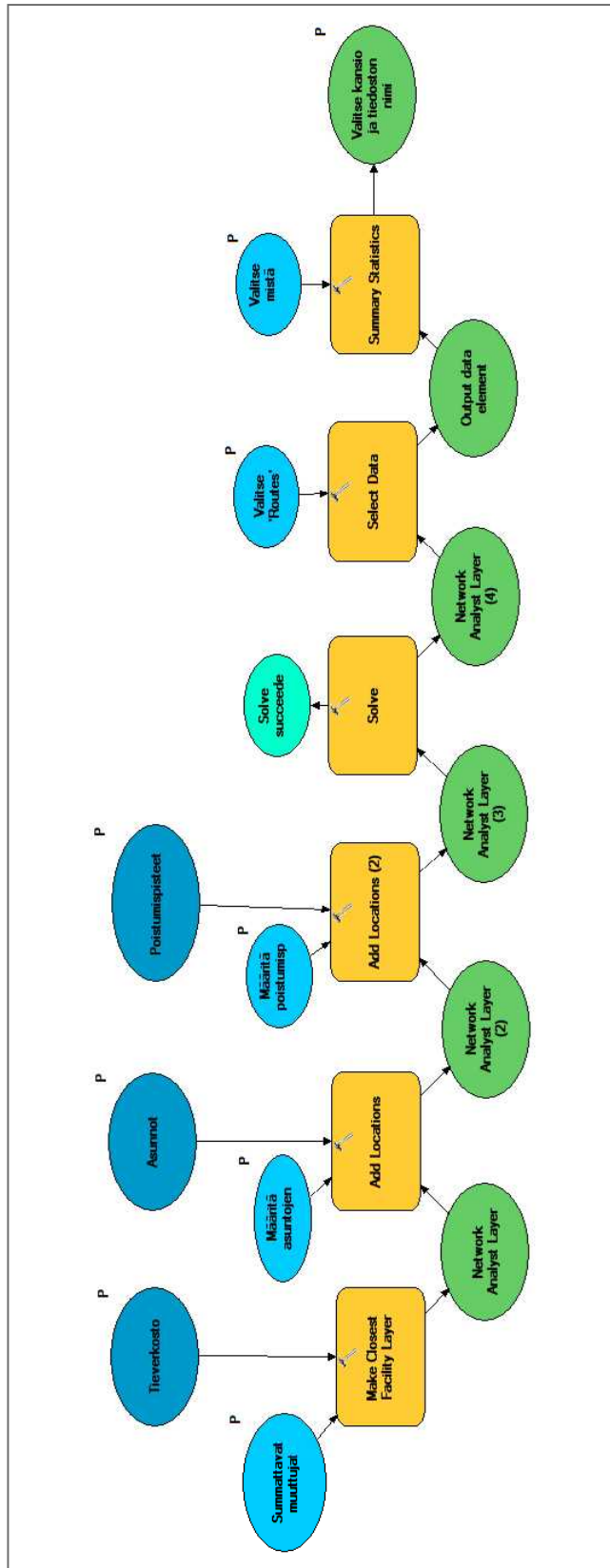
Kuva 18b. Hiilidioksidipäästö (g/km) teosuuksittain luokiteltuna Oulun keskustan alueella.



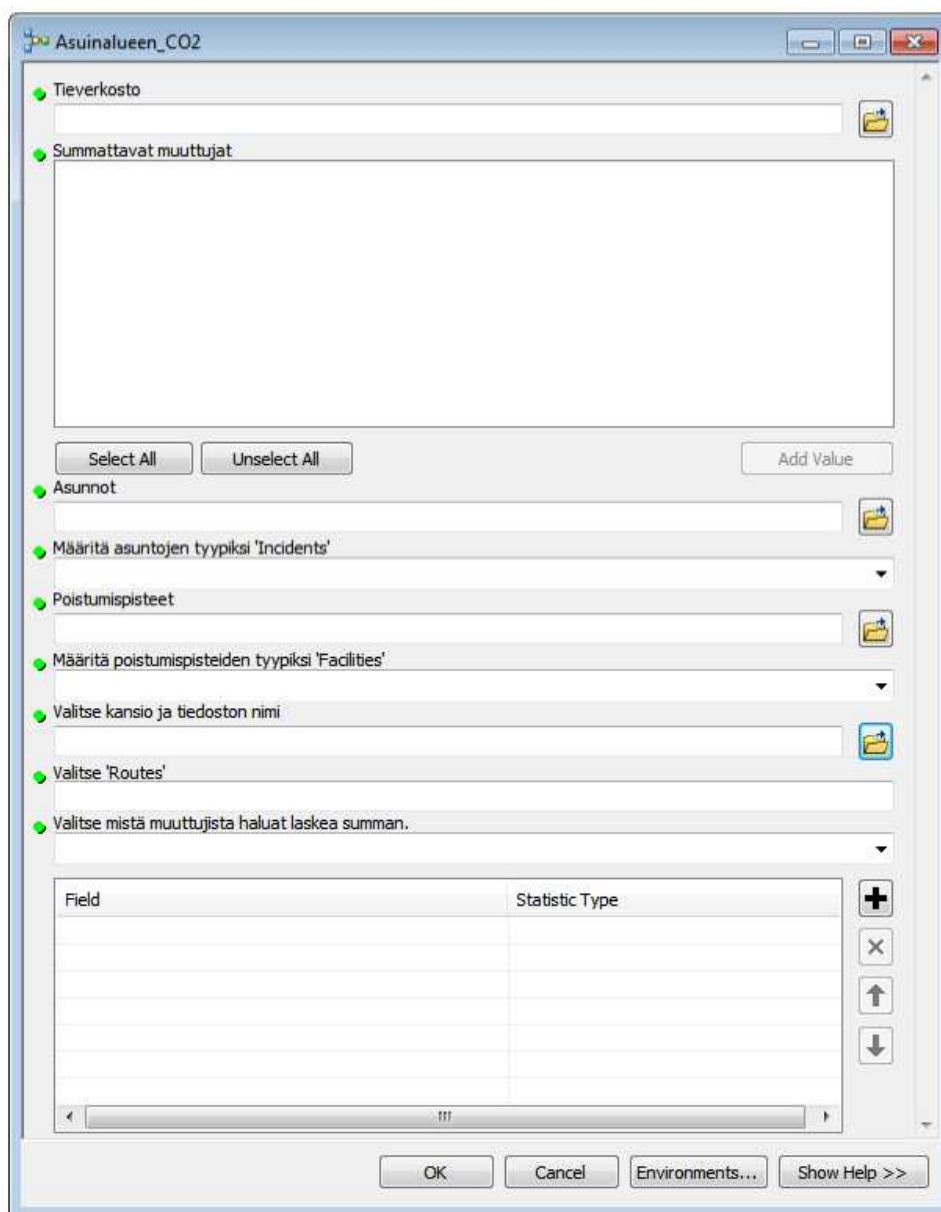
Kuva 19. CO₂-päästön vertailu eri teosuoksilla. Saaristonkadulla ajettu ajokilometri tuottaa lähes kaksinkertaisen päästön Kemintiellä tehtyyn ajokilometriin verrattuna. Kuvan taulukossa on esitetty myös havaintojen keskimääräinen lukumäärä teosuoksilla (n (avg)).



Kuva 20. Reittivalinnan vaikutus CO₂-päästöön. Oulun keskustan kautta kulkeva reitti (A) on Pohjanfiestä menevää reittiä (B) lyhyempi, mutta tuottaa suuremman päästön.



Kuva 21. Asuinalueen sisäisen CO₂-päästön laskemisen vaiheet kuvattuna geoprosessointikaaviona. Laskuri on tuotettu ArcGIS-paikkatieto-ohjelmiston Model Builder -sovelluksella. Laskuriin tarvitaan kolme aineistoa: tieverkosto, asunnot ja poistuspisteet.



Kuva 22. Kuvakaappaus ArcGIS-ohjelmiston Model Builder –sovelluksella rakennetusta päästölaskurista. Työkalu kysyy tarvittavat aineistot (tieverkosto, asunnot ja poistumispisteet) ja aineistoihin liittyviä valintoja.

täin. Matkamatriisista poistettiin kynnyksarvon ylittävät matkat. Lisäksi alle yhden kilometrin matkoilta poistettiin päästökertymä. Myös nämä prosessit voidaan automatisoida tai ne voidaan tehdä manuaalisesti työkalun tuottamasta reittitaulukosta.

GIS-analyysimenetelmät kaavoituksen tueksi?

Ilmastoystävällinen kaavoitus -hankkeessa kehitettiin paikkatietopohjainen toimintamalli, jolla voidaan tuottaa laskennallista tutkimustietoa henkilöautoliikenteen tuottamasta CO₂-päästöstä kaavoituksen tueksi. Konkreettisena esimerkkinä paikkatietomenetelmien sovellettavuudesta päätöksentekoa tukevan tiedon tuottajana voidaan mainita myös Oulun yliopiston maantieteen laitoksella tehdyt analyysit perusterveydenhuollon ympärivuorokautisten päivystyspisteiden saavutettavuudesta ja optimoinnista, jos kaikkia nykyisiä yksiköitä ei ole taloudellisesti mahdollista ylläpitää (Huotari ym. 2013). Väestön ja palveluiden sijainnin avulla voidaan löytää saavutettavuudeltaan parhaat sijainnit tavoitteena turvata koko väestölle kohtuullinen matka terveydenhuollon palveluihin. Päivystyspisteiden optimoinnissa on sovellettu samaa analytiikkaa kuin ILKA-hankkeessa käytetyt paikkatietomenetelmät CO₂-päästöjen minimointiin eri kaavoitusratkaisuisissa.

ILKA-hankkeessa tehty vertailu asemakaavataso rakennemallivaihtoehdoista osoitti asuinalueen kehämäisen rakenteen olevan henkilöautoilusta syntyvää hiilidioksidipäästöä tarkastellessa heikompi ratkaisu kuin yksi valtatie suuntainen pääkatu. Paikkatietomenetelmin tehty sijainnin optimointi osoitti, että lähipalveluiden

harkitulla sijoittelulla voidaan parantaa palveluiden saavutettavuutta. Asiointimatkojen lyheneminen kannustaa kevyen liikenteen käyttöön, mikä osaltaan vähentää liikennepäästöjen syntymistä.

Yleiskaavoituksen tasolla tuotettiin konkreettisia mittareita henkilöautoliikenteen tuottaman hiilidioksidipäästöpotentiaalin arviointiin uusia asuinalueita sijoittaessa. Seututasolla ero potentiaalisista asioinneista tuotetussa CO₂-päästössä voi olla jopa kuusinkertainen eri alueiden välillä. Alueet, jotka ovat olemassa olevaa palvelurakennetta lähellä ja sujuvien liikenneyhteyksien varrella saivat tarkastelussa pienimmän päästöpotentiaalin. Hankkeessa tuotettiin tietoa myös eri tieosuuksien tuottamasta CO₂-päästöstä GPS-teknologiaan pohjautuen. Polttoaineen kulutus ja siitä suoraan johdettavat CO₂-päästöt vaikuttavat riippuvan paljon siitä, millaisella tiellä ajetaan. Yksilötasolla tulisi henkilöautolla ajettujen kilometrien minimoinnin lisäksi kiinnittää huomiota myös sujuvien liikenneväylien valitsemiseen.

ILKA-hankkeen tulosten perusteella kaavoituksella voidaan vaikuttaa CO₂-päästöjen syntymiseen. Tulokset tukevat kaupunkirakenteen tiivistämistä CO₂-päästöjen minimointiin pyrittäessä. Hankkeesta saadut kokemukset osoittavat lisäksi, että ERA17-toimintaohjelman vaatimukset kaavoituksen CO₂-päästöjen mittaamisesta voidaan toteuttaa. Taulukossa 7 on vertailtu miten ILKA-hanke vastaa ERA17-toimintateiden tavoitteisiin maankäytön osalta. Paikkatietomenetelmät tarjoavat uusia toimintatapoja ja työkaluja, joilla voidaan tuottaa tieteelliseen tutkimukseen perustuvaa tietoa kaavoituksen tueksi energiatehokkuuden arvioinnissa.

Taulukko 7. ILKA-hankkeen tulosten vastaaminen ERA17-toimintaohjelman toimenpiteisiin maankäytön osalta.

ERA17 -toimenpiteet/ Maankäyttö	ILKA-hankkeen tulokset
Päästölaskelmat osaksi kaavojen vaikutusten arviointia	Paikkatietomenetelmiin perustuva laskentayökalu henkilöautoliikenteen tuottaman päästön arviointiin
Energiatohokkuutta täydennysrakentamisella	Tulokset tukevat ERA17-linjausta. GIS-menetelmillä voidaan tuottaa konkreettisia mittareita.
Yhdyskuntarakenteen eheyttäminen, joukkoliikennejärjestelmien tehostaminen ja hajarakentamisen hallinta	
Yhdyskuntarakenteen hajaantumisolle rajoja	
Liikenteen suunnittelun ja kaavoituksen prosessien parempi yhteistyö	Yhteistyö tärkeää. Keskusta ja lähiseutu keskeisiä täydennysrakentamisen alueita, mutta autolla liikkuminen keskustassa tuottaa runsaasti päästöjä.
Kestävä liikkuminen suunnittelun lähtökohdaksi	Reitivalinnalla voidaan vaikuttaa päästöihin
Liikkumisvyyhykkeet ohjaavat maankäytön ja liikkumisen suunnittelua	GIS-menetelmillä voidaan tuottaa tietoa. Eniten päästöä tuottavat tieosuudet, kuten keskusta, kevyen liikenteen vyyhykkeeksi?
Liikkumisen taloudellinen ja tiedollinen ohjaus	Paikkatietomenetelmin voidaan tuottaa tietoa myös kansalaisille ja esimerkiksi verotuksen tueksi.

Lähteet

- ESRI (2012). What is ModelBuilder? ArcGIS Help 10.1 Resource Center. <<http://resources.arcgis.com/en/help/main/10.1/index.htm#//002w0000001000000>>
- Huotari T., H. Antikainen & J. Rusanen (2013). Perusterveydenhuollon ympärivuorokautisten päivystyspisteiden saavutettavuus. Päivystysyksiköiden sijainnin suhde väestörakenteeseen paikkatietomenetelmällä tarkasteltuna. *Sosiaal- ja terveystieteiden tutkimusraportteja ja muistioita* 2013:27. Helsinki 2013. 42 s.
- Kalenoja, H. (2010). *Oulun seudun liikennetutkimus 2009*. Osaraportti 1: Henkilöliikennetutkimus. Oulun seutu, Pohjois-Pohjanmaan ELY-keskus ja Liikenne- ja viestintäministeriö. <<http://oulu.ouka.fi/seutu/pdf/osaraportti1.pdf>>
- Karhu, M. (2009). *Oulun seudun ilmastostrategia: Oulu, Hailuoto, Kempele, Kiiminki, Liminka, Lumijoki, Muhos, Oulunsalo ja Tyrnävä*. <<http://www.ouka.fi/documents/64417/6b35350e-08ef-411a-b904-abfa45d89544>>
- Kuusiola T. & S. Monni (2012). Oulun seudun kasvihuonekaasupäästöjen laskenta ja menetelmien vertailu 1990, 2004 ja 2010. *Oulun seudun ympäristötoimi- Raportti 4/2012*.
- Liikennevirasto (2012). Digiroad kansallinen tie- ja katutietojärjestelmä. <<http://www.digiroad.fi/>>
- Martinkauppi, K. (2010) (toim.). *ERA17 - Energiaviisaan rakennetun ympäristön aika 2017. Loppuraportti*. Ympäristöministeriö, Sitra ja Tekes. <http://era17.fi/wp-content/uploads/2010/10/ERA17_loppuraportti.pdf>
- Määttä-Juntunen H. & J. Rusanen (2010). GIS-menetelmiä kaupan suuryksiköiden saavutettavuuteen liittyvien hiilidioksidipäästöjen arviointiin. Kaupan suuryksiköiden saavutettavuus ja liikennepäästöt Oulun seudulla (CO₂)-hankkeen loppuraportti. *Nordia Tiedonantoja* 2/2010.
- Määttä-Juntunen H., H. Antikainen, O. Kotavaara & J. Rusanen (2011). Using GIS tools to estimate CO₂ emissions related to the accessibility of large retail stores in the Oulu region, Finland. *Journal of Transport Geography* 19, 346–354.
- Oulun kaupunki (2010). Poikkimaantie välillä Kaiuuntie-Vaalantie. *Katusuunnitelma. Tekninen lautakunta* 2.11.2010.
- Pohjois-Pohjanmaan liitto (2011). Pohjois-Pohjanmaan ilmastostrategia. *Pohjois-Pohjanmaan liiton julkaisu A:51*. Saatavilla <http://www.ouka.fi/c/document_library/get_file?uuid=b8aaf25b-20bb-47bf-af80-ebb56c760323&groupId=173371>
- SYKE (2010). Yhdyskuntarakenteen seurannan tietojärjestelmä. Suomen ympäristökeskus 7.1.2010. <<http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=162759&lan=fi>>
- Tekninen keskus (2008). Hiukkavaaran kaavarunkoraportti 24.1.2008. <<http://www.ouka.fi/oulu/hiukkavaara/suunnitelmia>>
- VTT (2010). *LIISA 2010 Tieliikenteen pakokaasupäästöt ja polttonesteenkulutus, Oulun lääni*.
- VTT (2011). LIPASTO, liikenteen päästöt. LIISA 2010 - tieliikenne. Liikennevälineiden yksikköpäästöt. <<http://lipasto.vtt.fi/index.htm>>
- Ympäristöministeriö (2009). Tulevaisuuden alueidenkäytöstä päätetään nyt. Tarkistetut valtakunnalliset alueidenkäyttötavoitteet. <<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=98972&lan=fi>>