

Valtion
taloudellinen
tutkimuskeskus

Muistiot 4

Paikkatietoanalyyseistä
kuntatutkimuksessa

VATT MUISTIOT

4

Paikkatietoanalyysistä
kuntatutkimuksessa

Niklas Jahnsson

Niklas Jahnsson, email: niklas.jahnsson@helsinki.fi

ISBN 978-951-561-886-3 (PDF)

ISSN 1798-0321 (PDF)

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus
Government Institute for Economic Research
Arkadiankatu 7, 00100 Helsinki, Finland
Email: etunimi.sukunimi@vatt.fi

Helsinki, u{ {ukuu 2009

Kansi: Niilas Nordenswan

Yhteenveto

Muistio antaa lukijalle tietoa paikkatiedon käyttömahdollisuuksista kuntatutkimuksessa keskittyen erityisesti Suomeen. Muistio sisältää aluksi lyhyen kirjallisuuskatsauksen, jonka jälkeen esitellään esimerkkisovellus kouluverkon optimoinnista portugalilaisessa kunnassa. Lisäksi tehdään lyhyt katsaus paikkatietojärjestelmän perusteisiin. Lopuksi arvioidaan paikkatietoaineiston käytännön soveltamismahdollisuuksia Suomessa. Tämän hetkisten tietojen pohjalta näyttäisi siltä, että pieni, yhtä kuntaa koskeva tutkimus on toteutettavissa. Sen sijaan suuremman, koko Suomea koskevan tutkimuksen toteuttamiseksi on vielä mietittävä tarkasti käsiteltävän ongelman erityispiirteitä, jotta tuloksilla olisi arvoa.

Sisällys

1 Johdanto	1
2 Kirjallisuuskatsaus	3
3 Esimerkki paikkatiedon käytöstä kouluverkon suunnittelussa	6
4 Paikkatietojärjestelmistä yleensä	9
5 Käytännön soveltamisesta	12
6 Yhteenveto	15
Lähteet	16
Liite 1. Mahdollisia lähteitä paikkatietoaineistolle	18
Liite 2. Suomalaista paikkatietotutkimusta	20

1 Johdanto

Tässä muistiossa tarkastellaan maantieteellisten informaatiojärjestelmien luomia mahdollisuuksia kunta- ja palvelurakenteen tutkimisen näkökulmasta. Esitettävät ideat pohjautuvat pitkälti aikaisempaan tutkimukseen, ja tarkoituksena olisi erityisesti tuoda esiin kuntarakenteen optimoinnin ja paikkatietoanalyysin yhdistämisen mahdollisuuksia. Tätä varten muistiossa tarkastellaankin maantieteellisiä informaatiojärjestelmiä (Geographic Information Systems eli GIS) varsin yleisellä tasolla, jolloin lukijalle muodostunee ainakin jonkinlainen kuva siitä, miten nykyteknologiaa voisi mahdollisesti hyödyntää kuntarakennetutkimuksessa. Tuon esiin muutamia esimerkkejä erilaisista optimointiongelmista, vaikka yritänkin tarkastella aiempaa kirjallisuutta lähinnä pääpiirteittäin. Näin on tarkoituksena välttää yksittäisiin ongelmiin liittyvät erikoisuudet, jotka lienevät suurin syy aiemmassa kirjallisuudessa esiintyvään laajaan mallien kirjoon.

Syitä paikkatietojärjestelmiin tutustumiselle on, koska tutkijoille käytävissä olevan spatiaalisen datan määrä ei varmasti ainakaan vähene seuraavien vuosien aikana. Päinvastoin, paikkatietojärjestelmät ja niihin liittyvä teknologia kehittyy kaiken aikaa, mikä lienee omiaan luomaan uusia tutkimusmahdollisuuksia. Aivan lähivuosina kunnista olevan datan määrää lisännee ainakin INSPIRE-direktiivin täytäntöönpano, joka tämän hetkisten suunnitelmien mukaan saatetaan loppuun muutaman seuraavan vuoden aikana (Euroopan komissio, Maa- ja metsätalousministeriö, Maanmittauslaitos). Vuonna 2007 säädetyn direktiivin tarkoituksena on yhdistää eri kansallisten viranomaisten paikkatietoaineistoja, jolloin niiden yhteiskäyttö on mahdollista. Esimerkkinä paikkatietojen yhdistämisestä kannattaa huomioida ainakin kuntaGML-hanke, jonka tarkoituksena olisi yhdistää nykyisin kunnissa hajautetusti tuotettava heterogeeninen tieto esimerkiksi kaavoituksesta. Käytännössä haaste on suuri, ja sitä varten kuntaGML-hankkeessa on esimerkiksi kartoitettu kuntien tarkoituksiin sopivan paikkatietojärjestelmän tietosisältö. Kartoituksen pohjalta on luotu XML-skeema¹, jonka tarkoitus on harmonisoida tiedon tallentamisessa käytettävä tiedostomuoto (Kuntien paikkatietopalvelu). Yhtenäisen muodon avulla kerran tallennettu tieto on käytävissä alustasta riippumatta, mikä luo uusia mahdollisuuksia sovelluksille ja tiedon käytölle (Niinilahti, 2009). Kuntarakenteen tutkijalle tällainen tietomäärä tarjoaisi mahdollisuuksia useiden erilaisten analyysien tekemiseen.

¹ XML-skeema on määrittää XML-dokumentin sisällön. Lyhyesti sanottuna se on laitteistosta ja käyttöjärjestelmästä riippumaton tiedonesitykseen käytetty XML-kielen osa. Lisää tietoa XML-skeemoista löytyy esimerkiksi osoitteesta <http://www.mit.jyu.fi/opetus/opinnayte/LuK/XML-skeemat/>, viitattu 19.8.2009.

Toisaalta kuntiin liittyvä paikkatietotutkimus ei tälläkään hetkellä kärsi aineiston puutteesta. Tilastokeskuksen myymä ruututietokanta² näyttäisi tarjoavan käyttäjälleen mahdollisuuksia useisiin erilaisiin analyysiin. Ongelmaksi muodostuu aineiston sijaan kuitenkin optimoinnin vaikeus. Esimerkiksi koko Suomen kattavan kouluverkon optimointiongelma näyttäisi aiemman kirjallisuuden perusteella olevan liian suuri ratkaistavaksi sellaisenaan, eikä järkevää vaihtoehtoa ratkaisemiselle välttämättä ole olemassa. Sen sijaan pienempien, esimerkiksi kuntakoh- taisten optimointiongelmiin ratkaisu, pitäisi olla toteutettavissa nykytiedoin. Siksi paikkatietoa voisikin olla viisasta käyttää esimerkiksi PARAS-hankkeessa erilaisten pienten palveluverkkojen arvioinnin apuvälineenä, vaikka tähän mennessä sen käyttö on ollut olematonta.

Muistion rakenne on seuraavanlainen. Tarkastelen ensin päällisin puolin aikai- sempaa kirjallisuutta, ja sen jälkeen käsittelen tarkemmin esimerkkinä yhden kouluverkon optimointiin liittyvän ongelman. Neljännessä osiossa esittelen lyhyesti paikkatieto-ohjelmiston rakennetta ja viidennessä arvioin sovellusmahdolli- suuksia käytännössä. Lopuksi esitän vielä lyhyesti muistion oleelliset asiat. Lisäksi liitteinä 1 ja 2 ovat linkkilistat, joita voi olla hyödyllistä käyttää apuna etenkin aihetta ensimmäistä kertaa lähestyessä.

² Tietoa ruututietokannasta löytyy lisää osoitteesta <http://www.stat.fi/tup/ruututietokanta/tietosisalto.html>, viitattu 12.8.2009.

2 Kirjallisuuskatsaus

Muistion kannalta olennainen kirjallisuus jakautuu pääosin operaatiotutkimukseen, logistiikkaan ja maantiedon paikkatietojärjestelmiin. Kaksi ensimmäistä muodostavat pääosan tätä lyhyttä katsausta, koska paikkatietojärjestelmiä käsitellään myöhemmin omana osionaan. Kuntarakenteen kannalta operaatiotutkimuksen ja logistiikan kirjallisuuden tarjoama anti koskee pääosin juuri optimointia, johon seuraavaksi syvennyn. Koska tarkastelen asiaa käytännönläheisestä näkökulmasta, jätän kirjallisuudessa mainitut jatkuvat lokaatio-allokaatio -mallit käsittelemättä ja keskityn vain diskreetteihin malleihin. Lyhyesti määriteltynä ensimmäiseen ryhmään kuuluvissa malleissa ideana on, että tarkasteltava tuotantolaitos voi sijaita missä tahansa tasossa määritellyllä käyvällä alueella, kun taas diskreeteissä malleissa tuotantolaitokset voivat sijaita vain ennalta määrättyissä kohteissa. Käytännön ongelmissa tilanne useimmiten lienee se, että esimerkiksi sairaalaverkko on jo olemassa, ja tarkoituksena on tarkastella sairaalojen poistamista tai lisäämistä verkkoon.

Diskreetin optimoinnin kirjallisuutta voidaan yrittää jäsentää esimerkiksi jaotteleamalla esitettyjä optimointitehtäviä sijoitettavan objektin mukaan pull- ja push-ongelmiin (ReVelle ja Eiselt, 2005, s. 3). Pull-malleissa tarkasteltava hyödyke on esimerkiksi haluttu palvelu, kuten koulu, jonka saavutettavuutta maksimoidaan (Bigotte ja Antunes, 2007). Yleinen esimerkki push-malleista taas on esimerkiksi kaatopaikan sijoittaminen, jolloin tarkoituksena on minimoida sen aiheuttamia vaikutuksia ympäristöönsä (Zamorano ja muut, 2008). Suurin osa löytämistäni artikkeleista keskittyi pull-ongelmiin, joita on ratkottu soveltamalla p-mediaani ja p-keskus -malleja; push-ongelmat näyttäisivätkin olevan osa hieman nuorempaa kirjallisuutta. P-mediaani -mallissa ideana on minimoida kaikkien käyttäjien yhdessä kulkemaa matkaa, kun taas p-keskus -mallissa minimoidaan pisimmän matkan kulkevan käyttäjän matkaa palvelun luokse.

Muita tapoja jakaa malleja näyttäisi myös olevan. Marianov ja Serra (2002) jakavat diskreetit ongelmat p-mediaani -malleihin ja peittämisongelmiin (Location Set Covering Problems). Ymmärtääkseni peittämisongelmat näyttäisivät periaatteellisesti olevan kuitenkin hyvin lähellä p-keskus -malleja, joten ero yllä esiteltyyn ReVellen ja Eiseltin jakoon ei ole suuri. Nämä kaksi jakotapaa kuitenkin näyttävät hyvin sen, että p-mediaani -mallit dominoivat aiempaa kirjallisuutta.

Usein tarkasteltavaan ongelmaan näyttäisi liittyvän jonkin palvelun saavutettavuuden maksimointi. Mallien suuri käyttö perustuneekin siihen, että samaa perusideaa on mahdollista hyödyntää useiden erilaisten ominaisuuksien optimoinnissa. Esimerkkejä erilaisista tutkimuksista löytyy kirjallisuudesta useita, ja esimerkiksi ReVelle ja Eiselt (2005) referoivat niitä laaja-alaisesti. Hyvä esimerkki hieman sovelletusta p-mediaani -mallista on Bigotten ja Antunesin (2007) kouluverkoston optimointia käsittelevä artikkeli, jossa otetaan huomioon esimer-

kiksi minimi- ja maksimikapasiteetit kouluille. Vastaavia tutkimuksia näyttäisi löytyvän lisää erityisesti Portugalin kouluverkon suunnitteluun liittyen viimeisien muutaman vuoden ajalta. Toisena esimerkkinä lienee hyvä mainita Müllertin, Haasen ja Klessin (2009) artikkeli, joka laajentaa näkökulmaa aiempaan kirjallisuuteen ottamalla huomioon sen, että oppilaat voivat valita koulun vapaaehtoisesti sen sijaan, että heidän olisi pakko käydä lähimmässä koulussa. Nämä esimerkit tuovat esiin hyvin sen, että on olennaista miettiä niitä rajoituksia, joita on sekä järkevää että mahdollista ottaa huomioon mallia suunniteltaessa. Yleisesti ottaen kirjallisuus tuntuu olevan hyvin monimuotoista ja useita vain pieniä eroja sisältäviä malleja on erittäin paljon.

Optimointia voi lähestyä myös hiukan eri suunnalta. Olennaisena esimerkkinä vaihtoehtoisesta näkökulmasta kannattanee huomioida ainakin virtausmallit (flow-interception location model eli FILM), joissa ongelmaa lähestytään kuluttajavirtojen näkökulmasta (esimerkiksi Zeng, 2007). Ideana virtaus-malleissa on esimerkiksi löytää bensa-aseman optimaalinen paikka silloin, kun tunnetaan liikennevirrat tietyllä alueella. Tällöin FILM-mallissa voi olla esimerkiksi tarkoituksena maksimoida niiden käyttäjien määrää, jotka kohtaavat palvelun matkallaan. Virtausmallit ovat kuitenkin usein ongelmallisia etenkin datan saannin kannalta, koska jo pelkkä ihmisvirtojen mittaaminen sisältäne vaikeita yksityiskohtia eikä kyseistä tietoa ole välttämättä kerätty aiemmin. Toiseksi ne eivät näyttäisi ainakaan päällisin puolin niin sovelialta kuntarakenteen tarkasteluun kuin esimerkiksi p-mediaani -malli. FILM-mallien käsittely jätetäänkin tällä kertaa vain maininnan tasolle.

Kaikki yllä mainitut mallit sisältävät tiettyjä oletuksia. Esimerkiksi p-mediaani -mallit olettavat kuluttajien olevan liikkumattomia staattisia pisteitä kartalla, mikä sopii hyvin palveluverkon optimoijalle. Toisaalta Marianov ja Serra (2002, s. 136–138) erittelevät muutamia muita olennaisia ongelmia, jotka liittyvät yleensä p-mediaani -malliin:

- P-mediaani -malli olettaa kysynnän olevan täysin joustamatonta palvelua tuottavalle paikalle matkustettavan matkan suhteen.
- Matkustusaikojen oletetaan olevan vakioisia esimerkiksi päivän aikana, jolloin esimerkiksi ruuhkat voivat muuttaa tiettyjen reittien osalta tuloksia huomattavasti tiettyinä kellon aikoina.
- Datan aggregointi aiheuttaa virhettä olettamalla kysynnän pisteittäiseksi. Koska laskentakapasiteettia ja aikaa on käytössä vain äärellinen määrä, on kysyntä aggregoitava käyttäjakeskuksiin ongelman yksinkertaistamiseksi. Aggregointi hävittää dataa, jonka seurauksena pisteittäisiin sijainteihin laskettavat reittien painot (esimerkiksi matkat tai matka-ajat) ovat ali- ja yliestimaatteja osalle todellisista käyttäjistä. Seurauksena voikin esimerkiksi olla, että yksittäisiä henkilöitä ei allokoidakaan oikeasti lähimmälle

tuotantolaitokselle, vaikka se oli alun perin tarkoituksena. Francis ja muut (2009) referoivat hyvin tätä kirjallisuuden osa-aluetta artikkelissaan.

- Yksinkertaisimmillaan p-mediaani -malli olettaa kaikkien tuotantolaitosten olevan samanlaisia, mikä ei kuitenkaan useimmiten vastaa todellisuutta.

Monipuolisen kirjallisuuden suurin anti lienee mallien monimuotoisuus. Useimpiin käytännön ongelmiin lienee olemassa jo jonkinlainen malli, jota on mahdollista parantaa käsiteltävän ongelman vaatimilla erityispiirteillä. Yllä mainittuihin mallien ongelmiin on erilaisia ratkaisuja, joista tietyn valitseminen vaatii laajaan 1960- ja 1970-luvuilta alkaneeseen kirjallisuuteen perehtymistä. Liitteistä löytynee ainakin muutama hyvä referoiva artikkeli, joiden avulla on helpompi tutustua kirjallisuuteen. Joka tapauksessa mallinnettavan verkon kanssa jouduttaneen aina tekemään joitain myönnytyksiä, jotka pitää vain yrittää ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

Tarkastelen seuraavaksi tarkemmin esimerkkiä kouluverkon optimoinnista. Sen luettuaan lukija on yhden askeleen lähempänä käytännön sovelluksen ymmärtämisestä ja tekemistä.

3 Esimerkki paikkatiedon käytöstä kouluverkon suunnittelussa

Valitsin edustavaksi esimerkiksi kirjallisuudesta Bigotten ja Antunesin artikkelin ”Social Infrastructure Planning: A Location Model and Solution Methods”. Siinä kirjoittajat kehittävät yleisen mallin sosiaalisen infrastruktuuriverkon määrittämiseen sekä lisäksi ottavat kantaa erään kouluverkon rakenteeseen, mikä lienee kiinnostavaa myös suomalaisten kuntien näkökulmasta. Lisäksi kirjoittajat vertailevat erilaisten optimointimethodien toimivuutta suurella teoreettisella verkolla sekä pienemmällä oikealla kouluverkolla, minkä ansiosta artikkeli voi antaa myös hiukan suuntaviivoja laajempienkin ongelmien ratkaisuun. Esittelen ensin kirjoittajien kehittämän mallin, sen jälkeen optimointitekniikkoja yleisellä tasolla ja lopuksi case-tutkimuksen.

Bigotten ja Antunesin malli tuottaa saamistaan parametreista sekä optimaalisen paikan että kapasiteetin tuotantolaitoksille. Paikan optimaalisuus määräytyy p-mediaani -mallin mukaisesti kaikkien käyttäjien tuotantolaitoksille kulkemaa matkaa minimoimalla, kun tunnetaan joukko mahdollisia paikkoja tuotantolaitoksille. Mallin oletuksena on, että jokainen käyttäjä valitsee lähimmän mahdollisen tuotantolaitoksen, ja että jokaisella laitoksella on myös minimikapasiteetti, joka on tuotettava. Lisäksi mallissa oletetaan kysynnän keskittyvän keskuksiin, jotka voivat sovelluksessa olla esimerkiksi kuntia, postinumeroalueita tai kortteleita. Näillä oletuksilla ongelma voidaan esittää lineaarisen optimoinnin tehtävänä, joka on mahdollista ratkaista.

Optimointiongelman ratkaisemiseksi kirjoittajat vertailevat useita erilaisia heuristisia³ ratkaisumetodeja. Kirjallisuudessa vielä noin 50 käyttäjäkeskuksen ongelmat on voitu ratkoa laskemalla kaikki mahdolliset ratkaisut ja valitsemalla niistä paras. Kuitenkin käyttäjäkeskusten määrän kasvaessa yli viidenkymmenen ongelmien ratkaisuun tarvitaan heuristisia algoritmeja, koska p-mediaani -mallin monimutkaisuus kasvaa erittäin nopeasti. Tämä selittyy sillä, että kyseisen ongelman tiedetään kuuluvan NP-vaikeiden (”nondeterministic polynomial time”) ongelmien joukkoon, joita ei osata ratkaista polynomisessa ajassa (Marianov ja Sarra, 2002, s. 134 sekä Kivinen, 2008b)⁴. Lyhyesti sanottuna, syötteen koon eli

³ Metodi tai pikemminkin algoritmi on heuristinen, mikäli se ”normaalisti” löytää lähes oikean ratkaisun erittäin vaikealle optimointiongelmalta (Moghadampour, 2006, s. 14).

⁴ Edellinen lause voi tuntua asiaan tutustumattomalle oudolta, joten selitän sitä hieman seuraavassa. Ydin asian ymmärtämisessä on epädeterministisyys (nondeterminism). Ongelma, joka on ratkaistavissa epädeterministisellä laskennan mallilla polynomisessa ajassa, ei mitään luultavimmin ole ratkaistavissa deterministisellä laskennan mallilla (esimerkiksi tietokone) polynomisessa ajassa. Tämä selittyy sillä, että epädeterminististä valintaa lienee mahdotonta simuloida polynomisessa ajassa (Kivinen, 2008b). Vaikka edellistä väitettä ei olekaan näytetty todeksi, pidetään sitä erittäin todennäköisenä yleisesti ottaen. Toinen olennainen asia on se, että polynomisessa ajassa ratkeavaksi lasketaan vielä ongelma, jonka aikavaativuus syötteen n kokoon nähden on aina pienempi kuin jokin polynomifunktio $p(n)$. Koska NP-vaikeat

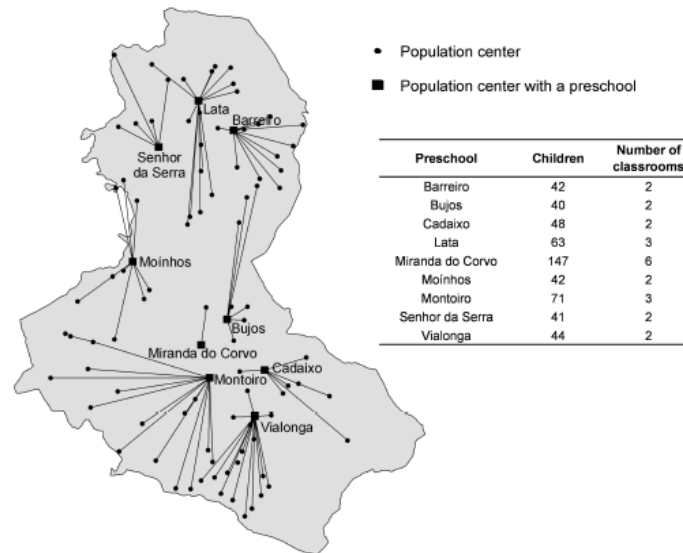
käyttäjakeskusten määrän kasvaessa, ongelma monimutkaistuu erittäin nopeasti. Esimerkiksi lyhimmät polut kaikista verkon solmuista kaikkiin muihin verkon solmuihin laskevan Floydin-Warshallin -algoritmin aikavaatimus käyttäjakeskusten määrän n suhteen on n^3 . Tällöin $n:n$ kasvaessa aikavaatimus ei kasva heti räjähdysmäisestä, koska ongelma ei ole NP-vaikea. Mikäli puhutaankin NP-vaikeasta -ongelmasta yleisesti, aikavaatimus on 2^{nk} $k:n$ ollessa jokin reaaliluku. Tällöin aikavaatimus kasvaa aivan eri vauhtia polynomiseen n^k :hon verrattuna.

Bigotte ja Antunes ottavat hyvin huomioon nämä seikat artikkelissaan. He päätyvät eri tekniikkojen vertailujen perusteella suosittamaan sekä tabu-hakua (tabu-search eli TS) että erikoistuneita lokaaleja etsintäheuristiikkoja (specialized local search heuristics eli SLSH). He vertasivat näitä kahta usein p-mediaani -ongelmissa käytettyihin geneettisiin algoritmeihin, klassisiin lokaaleihin etsintäheuristiikkoihin (classic local search heuristics) sekä eksaktiin hakuun. TS ja SLSH löysivät useimmiten globaalit optimit, kun taas kaksi muuta heuristiikkaa jäivät usein vain lokaaleihin optimeihin.

Kirjoittajien käytännön esimerkki tulee pienestä Miranda do Corvon kunnasta Portugalin keskiosassa. Case-tyyppinen tutkimus käsittelee sitä, kuinka uuden esikoulujärjestelmän laitokset pitäisi sijoittaa kunnan sisällä, kun tiedetään missä kysyntä esikouluille sijaitsee. Tarve tutkimukselle oli seurausta siitä, että 1990-luvun lopussa Portugalin hallitus päätti, että esikoulutusta tulee tarjota progressiivisesti iän mukaan kolmesta viiteen -vuotiaille lapsille. Seurauksena optimointiongelma käsittää 97 asutuskeskusta, jotka kaikki oletetaan aluksi mahdollisiksi sijoituspaikoiksi esikouluille. Ongelma on liian suuri eksakteille optimointimeto-
deille, ja niiden sijasta kirjoittajat käyttävätkin TS ja SLSH -metodeja, joista SLSH osoittautui paremmaksi tämän kyseisen ongelman ratkaisussa. Tuloksena Bigotte ja Antunes raportoivat paikat yhdeksälle esikoululle (kuva 1), jotka kattavat koko verkon palvelutarpeen.

ongelmat eivät ole ratkaistavissa polynomisessa ajassa, ne vievät vielä enemmän aikaa ja eivät siten ole ratkaistavissa välttämättä edes keskikokoisilla syötteillä.

Kuva 1. *Bigotten ja Antunesin SLSH-ratkaisu case-tutkimukseensa Miranda do Corvon kunnan esikouluverkon rakenteesta. Pyöreät pisteet kuvaavat käyttäjäkeskuksia ja neliön muotoiset niitä käyttäjäkeskuksia, joihin mallin tuloksien perusteella esikoulut tulisi sijoittaa. (Bigotte ja Antunes, 2007, s. 581)*



Käsitelty esimerkki osoittaa hyvin sen, kuinka paikkatietoa voidaan käyttää hyväksi erilaisten palveluverkkojen suunnittelussa. Bigotten ja Antunesin mallin avulla voitiin suunnitella tietyin oletuksin optimaalinen esikouluverkko Miranda do Corvon kuntaan, mistä on ollut varmasti apua käytännön suunnittelua toteutettaessa. Seuraavaksi syvennyttäen hieman paikkatietojärjestelmän perusteisiin, jotta käytännön soveltamisen arviointi Suomessa olisi mahdollista.

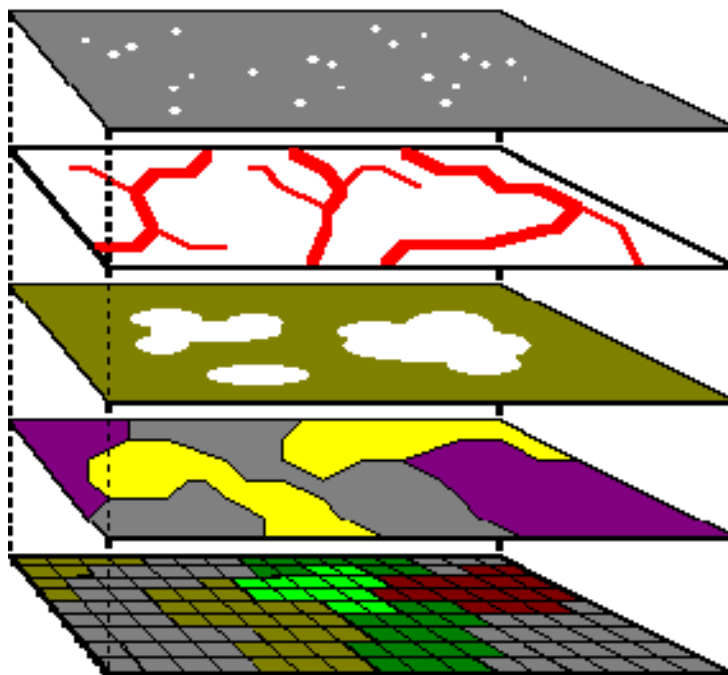
4 Paikkatietojärjestelmistä yleensä

Maantieteelliset informaatiojärjestelmät ovat vähitellen kehittyneet nykyiselle tasolle ja muodostanevat tehokkaan työkalun tutkijalle. Perusideana GIS-ohjelmistossa on yhdistää erilaisia tietokantoja sekä laskentamenetelmiä, jolloin käyttäjällä on mahdollisuus laskea esimerkiksi välimatkoja kohteiden välillä. Paikkatieto-ohjelmisto sisältäne nykyään esimerkiksi hyödyllisimmät tavalliset verkkoalgoritmit jo valmiiksi, minkä ansiosta käyttäjä voinee keskittyä analyysin tekemiseen esimerkiksi p-mediaani -mallin avulla. Tavallisia verkkoalgoritmeja voivat olla esimerkiksi erilaiset reitinoptimointi algoritmit kuten Dijkstran algoritmi (lyhimmät polut yhdestä solmusta kaikkiin muihin solmuihin) sekä Floydin-Warshallin algoritmi (lyhimmät polut kaikista solmuista kaikkiin solmuihin) (Kivinen, 2008a). GIS:n avulla pitäisi myös olla helppoa suorittaa esimerkiksi ”geokoodausta”⁵, mikäli käyttäjällä vain on käytössään tarvittava tietokanta. Ilmeisesti osa ohjelmistoista sisältää myös jonkinlaisia valmiita p-mediaani -mallin sovelluksia, mutta on eri asia, miten käyttökelpoisia ne ovat. On myös hyvä huomata, että ohjelmistot eivät sisällä dataa, mikä saattaa olla ohjelmistoa kalliimpi osa analyysin teossa. Ilman omaa laajaa käyttökokemusta yhdestäkään GIS-ohjelmistosta on kuitenkin vaikea varmasti sanoa mahdollistavatko tarjottavat välineet muuta kuin pintapuoleisen analyysin. Ymmärtääkseni kuitenkin esimerkiksi MapInfoa laajentava MapBasic ohjelmointikieli tarjoaa paljon ominaisuuksia, joiden avulla omien sovellusten tekeminen on mahdollista. Sen avulla voisi olla esimerkiksi mahdollista luoda Dijkstran algoritmin sovellus, mikäli kyseistä algoritmia ei ole valmiina. Esittelen seuraavassa lyhyesti ymmärtämisen kannalta olennaiset konseptit paikkatieto-ohjelmistoissa ja yritän arvioida erilaisten ratkaisujen sekä hyviä että huonoja puolia.

GIS-ohjelmisto sisältää usein tietokannan, johon käytettävää tietoa on mahdollista tallentaa ja josta sitä on mahdollista hakea. Esimerkiksi MapInfon tapauksessa tietokantatiedostot voivat olla yleistä muotoa ”.dbf”, ja ne avautuvat käyttäjälle MapInfossa samalla tavalla kuin excel-taulut. Yleisellä tasolla tietokantaan tallennettavaa paikkatietoa voidaan jäsentää jakamalla se kahteen osaan: koordinaatteihin sekä ominaisuustietoon (Lepistö, 2000). Koordinaatit kertovat kohteen sijainnin tasolla, kun taas ominaisuustieto voi olla melkein mitä tahansa muuta, joka vain voidaan kohdistaa johonkin tiettyyn paikkaan tarkasteltaville kohteille. Ominaisuustieto on juuri se osa paikkatietoa, jonka avulla erilaisten spatiaalisten analyysien teko on mahdollista.

⁵ ”Geokoodauksella” tarkoitetaan tässä tapauksessa paikkatiedon yhdistämistä koordinaattitietoon.

Kuva 2. Erilaiset tietomallit. Neljä ylintä kerrosta kuvaavat erilaisia vektorimalleja: pisteitä, viivoja, alueita ja aluejakoa. Alin kerros kuvaa rasterimallia, jossa ominaisuustietoa ilmaistaan värillä. (Lepistö, 2000)



Erilaisia yleisesti käytössä olevia tapoja tallentaa paikkatietoa tietokantaan on kaksi: rasteri ja vektori (Church 2002, sivut 542–543). Näistä molemmat on esitelty kuvassa 2. Rasteripohjaisessa tietomallissa kartta tallennetaan tietynkokoisina neliöinä (esim. 1km x 1km), jolloin kartta voidaan kuvata helposti yksinkertaisena matriisina. Matriisin arvo kohdassa (i,j) kertoo mikä kuvattavan ominaisuuden arvo on kyseisessä kohdassa. Esimerkiksi pinnanmuotoja kuvattaessa ominaisuustieto voisi olla keskimääräinen korkeus merenpinnasta neliökilometrillä. Rasteripohjaisessa tietomallissa on etuna mallin kuvaamisen helppous, joka on toisaalta myös yksi sen heikkouksista. Yksinkertaisuuden vuoksi esimerkiksi yhden pisteen ja 100 pisteen kuvaaminen kiinteänkokoisessa matriisissa vie lähtökohtaisesti saman määrän tallennustilaa, koska kaikki solut on kuvattava. Erilaisia tiedon tiivistämistekniikoita on toki myös olemassa, jonka seurauksena tallennustilan kulutuksen vertailut eivät ole enää niin yksioikoisia. Intuitiivisesti on myös selvää, että esimerkiksi kuntarajojen tarkkaa piirtämistä varten rasterien koon tulisi olla lähellä hyväksyttävän mittausvirheen kokoa, koska rasteri useimmiten aiheuttaa virhettä kuntarajoihin. Esimerkiksi Tilastokeskuksen ruututietokannassa ruudun sijainti tietyn kunnan alueella määritetään sen perusteella, minkä kunnan alue dominoi ruudun pinta-alaa (Tilastokeskus, 2008).

Vektoripohjainen tietomalli taas perustuu solmuihin, kaariin niiden välillä sekä alueisiin, joita solmut ja kaaret rajaavat. Pisteinä voidaan kuvata esimerkiksi taloja tai kaupunkeja riippuen kartan koosta. Kuntaraja voidaan tässä tapauksessa kuvata solmuina ja kaarina solmujen välillä, jolloin pienimmätkin merkitykselliset rajan mutkittelut on mahdollista ottaa huomioon. Eri asia on, miten tarkka tietokannasta halutaan tehdä. Seurauksena paikkatiedon tallentaminen on hieman monimutkaisempaa, koska verkon kuvaaminen ei ole enää triviaalia. Tokola (2002, s. 10–12) mainitseekin vektoripohjaisten järjestelmien olevan yleisesti ottaen kalliimpia kuin rasteripohjaisten.

Esimerkkinä vektoripohjaisesta järjestelmästä voidaan mainita MapInfo. Toinen vaihtoehto on ArcInfo, joka taas on alun perin rasteripohjainen järjestelmä. Valinta näiden kahden ohjelman välillä kannattaneekin tehdä käytettävän datan mukaan. Yleisesti ottaen vektoripohjainen järjestelmä ei nimittäin käsittele rasteridataa tai toisin päin. Lisäksi tekniikat, joita analyysien tekemiseen käytetään eroavat käytettävän datan mukaan toisistaan, koska analysoitava data on aivan eri muodossa. Esimerkiksi aiemmin mainittu Dijkstran algoritmi on suunniteltu verkkoon, joka kuvataan solmuina ja kaarina. Toisaalta on olemassa erilaisia tapoja muuttaa vektorimuotoista dataa rasterimuotoiseksi ja toisinpäin, mutta välissä jouduttaneen tekemään approksimaatioita, jotka aiheuttanevat virhettä dataan. Käytännössä siis esimerkiksi MapInfo Professionaliin kuuluu ”universal translator”, jonka avulla ainakin osa ”ArcInfo-muotoisista” tiedostoista on mahdollista muuttaa ”MapInfo-muotoisiksi”. Lisäksi MapInfoon on ilmeisesti tarjolla lisäosa Vertical mapper, jonka avulla vektoriohjelmisto pystyykin käsittelemään myös rasteritietoa ja tekemään rasterianalyysejä. Lisäksi esimerkiksi ruututietokanta on alun perin rasteriaineisto, mutta siitä on kuitenkin tarjolla myös MapInfo-versio. Näyttäisikin siltä, että erot ohjelmistojen välillä ovat nykyään häilyviä.

5 Käytännön soveltamisesta

Paikkatietoaineisto luo monia mahdollisuuksia tutkijalle. On kuitenkin hyvä huomata, että usein käytettävissä olevan aineiston merkitys korostuu paikkatietotutkimuksessa. Useat liitteinä 1 ja 2 olevissa linkkilistoissa esiintyvät tahot myyvät ajan tasalla olevia aineistojaan korkeaan hintaan. Näistä ehkäpä kiinnostavimmaksi koko Suomea koskevaan tutkimukseen osoittautui Tilastokeskuksen ”ruututietokanta”, joka käsittää koko Suomen 250m * 250m kokoisina ruutuina. Jokaisen ruudun osalta tietokanta sisältää useita erilaisia ominaisuustietoja, jotka mahdollistavat analyysien teon. Ruututietokannan kanssa kannattaa kuitenkin pitää mielessä se, että sen avulla ei kuitenkaan voida vielä laskea saavutettavuuksia paikoille, vaan se sisältää ainoastaan pieniin ruutuihin kohdistettua ominaisuustietoa. Jotta todenmukaisesti voitaisiin arvioida esimerkiksi terveyskeskusten saavutettavuuksia, on lisäksi oltava käytössä esimerkiksi tieverkostoa kuvaava tieto. Yleisesti ottaen viimeaikainen trendi näyttäisi olevan, että osa vanhemmasta aineistosta on tutkijoiden käytettävissä ilman maksua (esimerkiksi paituli listassa 1). Lisäksi muun muassa kuntaGML-hankkeen eteneminen voi tuoda mukanaan erittäin kiinnostavia aineistoja, joten sen kehitystä kannattanee myös seurata.

Optimaalisia palveluverkkoja on mahdollista laskea useille erilaisille asioille vektori- tai rasteriaineistosta, mikäli tarvittava data on vain käytettävissä. Esimerkkejä erilaisista tutkimuksista löytyy Suomesta esimerkiksi Jyväskylän yliopistosta (liite 2). Esimerkiksi Nakari ja muut (2007) esittelevät artikkelissaan yhden mallin, jota käyttämällä he tutkivat useita samankaltaisia reititysongelmia kunnissa. He esittelevät mallinsa sovelluksina tarkemmin optimointiongelmat seuraavista kunnan palveluista: katujen hoito, jätteiden kerääminen, kotipalvelut sekä vanhusten kuljetus. Lisäksi he vielä määrittelevät mallilla ratkaistavissa olevat optimointiongelmat seuraavilta palvelualueilta: kotiruokakuljetukset, koulubussit, hätäajoneuvot, kaupungin logistiikan sekä kirjastot. Vaikka Nakarin ja muiden artikkeli keskittyykin vain reititysongelman käsittelyyn, osoittaa se samalla sen, kuinka monella eri taholla paikkatiedon käytöstä voisi olla mahdollisesti hyötyä. Muuta suomalaista tutkimusta kannattaa etsiä liitteen 2 linkkikokoelman avulla.

Paikkatiedon käytännön soveltaminen ei kuitenkaan ole yksinkertaista. Yritänkin arvioida seuraavassa käytännön soveltamisen mahdollisuuksia Suomessa, jotta tutkimusta suunnittelevilla olisi käytössään jotain kättä pidempää. Ominaisuustiedon saantiongelma ratkennee helpoiten ruututietokannan avulla, mutta silti tutkijalla on edessään monimutkainen optimointiongelma. Ruututietokanta käsittää noin 300 tuhatta asutettua ruutua, joiden käyttäminen esimerkiksi p-mediaani-mallissa on käytännössä mahdotonta ilman datan aggregointia. Tähän syynä on se, että yli 50 käyttäjäkeskuksen mallintaminen p-mediaani -mallilla on erittäin vaativa laskennallinen tehtävä, koska malli kuuluu NP-luokkaan. Esimerkiksi

edellä mainitut Bigotte ja Antunes (2007) joutuivat turvautumaan heuristiikkaan jo noin 100 käyttäjakeskuksen ongelman kanssa. Näin ollen aineistoa on siis pakko aggregoida, jos tarkoituksena on tutkia koko Suomea kerralla. Toisaalta, kuten muistiossa on jo aiemmin käynyt ilmi, aggregointi aiheuttaa useimmiten hieman virhettä esimerkiksi laskettaviin optimaalisiin reitteihin.

Seuraavassa on pieni esimerkkilaskelma aggregoinnista. Mikäli optimoitavan ongelman koko haluttaisiin pitää alle sadassa käyttäjakeskuksessa (vertaa esim. Bigotte ja Antunes 2007) niin tarvittava ruutukoko olisi silloin noin $14\text{km} \times 14\text{km}$. Tämä luku voidaan todeta oikeaksi ”takaperin” lähtemällä liikkeelle ilmoitetusta luvusta: $14\text{km} \times 14\text{km} = 196\text{km}^2$ kun taas $0,25\text{km} \times 0,25\text{km} = 0,0625\text{km}^2$; näiden välinen suhde on 3136, ja jakamalla 300000 saadulla suhteella jää jäljelle noin 100 käyttäjakeskusta. Toisin sanoen alueen käyttäjakeskuksen kokoa olisi kasvatettava $0,0625\text{km}^2$:sta noin 196km^2 :een aggregoinnin avulla, jotta ongelma olisi kokonsa puolesta käsiteltävissä.

Sadan käyttäjakeskuksen ongelma on kirjallisuudesta tuttu. Sen optimointiin on käytettävä heuristista menetelmää, mutta metodien valinta on helppo perustella aiemmalla kirjallisuudella. Yllä kuvatun aggregoinnin aiheuttama mittavirhe dataan on kuitenkin huomattava, joten pelkkä aggregointi ei ole viisas ratkaisu. Ongelma voisikin olla hyvä esimerkiksi jakaa pienempiin osiin jotenkin ongelman kannalta luonnollisella tavalla. Yksi esimerkki voisivat olla sairaanhoitopiirit, mikäli oletuksena olisi, että kunnat eivät käytä toiseen sairaanhoitopiiriin kuuluvan sairaalan palveluita missään tilanteessa. Toisaalta osaongelmiin jakaminen voi helposti aiheuttaa, että optimoinnilla haettavat uudet näkökulmat jäävät saamatta, koska jakaminen rajoittaa mahdollisten ratkaisujen joukkoa niin dramaattisesti. Suosittaisinkin osaongelmiin jakamisen sijasta käytettäväksi jonkinlaista heuristiikkaa, jonka avulla kaupunkialueille voitaisiin valita mahdollisimman pieni ruutukoko, kun taas maaseudulla ruutukoko voitaisiin pitää suurempana. Tällöin esimerkiksi koko Helsingin keskustaa ei ajateltaisi yhtenä tai muutamana pisteenä vaan useina pisteinä, mikä ainakin intuitiivisesti kuulostaisi hieman järkevämmältä. Yksi mahdollinen tapa tähän voisi olla maksimin asettaminen väestön määrälle yhdessä käyttäjakeskuksessa, mutta muitakin vähintään yhtä hyviä tapoja on varmasti olemassa. Valitettavasti en kuitenkaan löytänyt kirjallisuudesta sopivia esimerkkejä suosituksieni tueksi, joten ainakin tähän ongelmaan pitäisi vielä perehtyä lisää.

Toisaalta yleisesti kirjallisuudessa käytettyjä optimointimetoodeja parempiakin metodeja voi olla mahdollista käyttää. Esimerkkinä voidaan mainita Cockingin (2008) väitöskirjassaan esittelemä case-tutkimus, jossa hän optimoi 281 käyttäjakeskusta käsittävää sairaalaverkkoa Burkina Fasossa kehittämällään metodilla. 281 on huomattavasti enemmän kuin 100, mutta on kuitenkin hieman epäselvää, mikä määrä käyttäjakeskuksia olisi suurin mahdollinen. Cockingin käsittelemä ongelma on kuitenkin laajin niistä, joihin aiempaa kirjallisuuteen tutustuessani törmäsin. Siten se ainakin antanee hieman suuntaviivoja sille, mikä on käytän-

nössä mahdollista. Mikäli jotain tämän tyyppistä metodia käytettäisiin, kannattaisi erilaisten optimointimetodien toimivuutta arvioida raportoimalla mahdollisimman monen metodin antamat tulokset samaan tapaan kuin Bigotte ja Antunes (2007) tekivät aiemmin tarkastellussa artikkelissaan, joka käsitteli kouluverkostoa. Näin tulosten uskottavuutta voitaisiin parantaa.

6 Yhteenveto

Muistio tarkasteli mahdollisuuksia kuntarakenteen tutkimiseen paikkatietojärjestelmien avulla. Lukijalla pitäisi nyt olla jonkinlainen kuva siitä, miten GIS-ohjelmistoa on mahdollista käyttää tutkimuksen apuvälineenä. Esimerkin avulla havainnollistettiin yhden mallin toimintaa kouluverkon optimoinnissa. Suomessa vastaava tutkimus lienee mahdollista replikoida yhdelle kunnalle tai kaupungille kohtuullisen vähällä vaivalla, mutta laajempaa esimerkiksi koko Suomea koskevaa tutkimusta varten olisi hyvä miettiä vielä hieman enemmän sitä, kuinka tutkimus on mahdollista käytännössä toteuttaa. Tällä hetkellä näyttäisi siltä, että ruututietokanta tarjoaisi kyllä tarvittavan aineiston tutkimukseen, mutta koko Suomen käsittävän optimointiongelman ratkaiseminen lienee käytännössä mahdotonta ilman järkevää aggregointia p-mediaani -ongelman NP-luonteen vuoksi.

Mainittu optimointiongelma on kuitenkin ratkaistavissa tietyin ehdoin. Olisikin hyvä löytää jonkinlainen viisas tapa valita kaupunkiasustusta sisältäville kohteille pienempi ja maaseutualueille taas suurempi ruutukoko. Tällöin käyttäjäkeskusten määrää voitaisiin supistaa ilman, että menetettäisiin suuria määriä tietoa ja aiheutettaisiin turhia mittavirheitä. Koko Suomen kattavan ongelman kokoa voisi siis olla mahdollista pienentää sellaiseen kokoon, joka olisi mahdollista ratkaista kirjallisuuden tuntemin menetelmin tai ainakin suuren määrän käyttäjäkeskuksia sallivin metodein. Tässäkin lähestymistavassa on kuitenkin huonot puolensa, ja tutkimuksen toteuttaminen käytännössä edellyttää vielä lisätutkimusta tällä alueella ennen kuin tuloksien voidaan olettaa olevan arvokkaita.

Lähteet

- Bigotte, J. – Antunes, A. (2007): Social Infrastructure Planning: A Location Model and Solution Methods, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 22, 570–583.
- Church, R. (2002): Geographical information systems and location science, *Computer & Operations Research*, 29, 541–562.
- Cocking, C. (2008): Solutions to Facility Location-Network Design Problems, väitöskirja, Heidelbergin yliopisto, http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/frontdoor.php?source_opus=8660&la=en, viitattu 12.8.2009.
- Euroopan komissio, <http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>, viitattu 7.8.2009.
- Francis, R. – Lowe, T. – Rayco, M. – Tamir, A. (2009): Aggregation error for location models: survey and analysis, *Annals of Operations Research*, vol. 167, 1/March.
- Kuntien paikkatietopalvelu, <http://www.paikkatietopalvelu.fi/>, viitattu 7.8.2009.
- Kivinen, J. (2008a): Luentomateriaali kurssille tietorakenteet, Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteidenlaitos, <http://www.cs.helsinki.fi/u/jkivinen/opetus/tira/k08/kaikki.pdf>, viitattu 13.8.2009.
- Kivinen, J. (2008b): Luentomateriaali kurssille laskennan mallit, Helsingin yliopisto, Tietojenkäsittelytieteidenlaitos, <http://www.cs.helsinki.fi/u/jkivinen/opetus/lama/s08/luennot.pdf>, viitattu 14.8.2009.
- Lepistö, J. (2000): Paikkatieto, Tietotekniikan Luk-tutkielma, Jyväskylän yliopisto, Tietotekniikan laitos, http://www.mit.jyu.fi/opiskelu/opinnayte/LuK/P_aikkatieto/, viitattu 29.7.2009.
- Maa- ja metsätalousministeriö, Inspire direktiivi, http://www.mmm.fi/fi/index/etusivu/maanmittaus_paikkatiedot/paikkatietojen_yhteiskaytto/inspire.html, viitattu 7.8.2009.
- Maanmittauslaitos, Inspire direktiivi, <http://www.maanmittauslaitos.fi/paikkatiedot/default.asp?id=841&refresh=1&refresh=1&refresh=1>, viitattu 7.8.2009.
- Malczewski, J. (2004): GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview, *Progress in Planning*, 62, 3–65.
- Marianov, V. – Serra, D. (2002): Location Problems in the Public Sector, Facility Location: Applications and Theory, Springer-Verlag, ISBN 3-540-42172-6.

- Moghadampour, G. (2006): Genetic Algorithms, Parameter Control and Function Optimization: A New Approach, väitöskirja, Universitas Wasaensis, Vaasa.
- Nakari, P. – Bräysy, O. – Dullaert, W. (2007): Communal transportation: challenges for large-scale routing heuristics, Reports of the Department of Mathematical Information Technology, Series B. Scientific Computing, B6/2007.
- Niiniemi, J. (2009): Palvelurajapinnat paikkatietojen jakelussa Case-KuntaGML, Hämeen ammattikorkeakoulu, ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö, <https://publications.theseus.fi/handle/10024/2450>, viitattu 7.8.2009.
- ReVelle, C. (2005): Location analysis: A synthesis and survey, European Journal of Operations Research, 165, 1–19.
- Teixeira, J. – Antunes, A. (2008): A hierarchical location model for public facility planning, European Journal of Operation Research, 185, 92–104.
- Tilastokeskus, (2008): Ruututietokanta 2008 – kuvausdokumentti, <http://www.stat.fi/tup/ruututietokanta/tietosisalto.html>, viitattu 12.8.2009.
- Tokola, T. (2002): Y193 Desktop-GIS, luentomoniste, Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitos.
- Zamorano, M. – Molero, E. – Hurtado, A. – Grindlay, A. – Ramos, A. (2008): Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology, Journal of Hazardous Materials, 160, 473–481.
- Zeng, W. (2007): GIS Based Facility Location Planning with Different Types of Consumers, Journal of Dissertation, vol. 1, issue 2.

Liite 1. Mahdollisia lähteitä paikkatietoaineistolle

Linkit on koottu kesän 2009 loppupuolella. Niiden toimivuudesta pidemmällä aikavälillä ei ole varmuutta.

- <http://paikkatietolainaamo.utu.fi/> (pitää rekisteröityä, mutta ilmeisesti sen jälkeen saa käyttää vapaasti ainakin tutkimukseen)
- http://www.csc.fi/tutkimus/alat/geotieteet/paikkatieto/paituli/index_html
- <https://www.paikkatietoikkuna.fi/web/guest>
- <http://www.wp2.ymparisto.fi/scripts/oiva.asp> (Oiva-portaali, suomen ympäristökeskus)
- http://www.ytv.fi/FIN/seutu_ymparistotietoja/tietoaineistot/karttaaineistot/kayttoikeudet/lomakkeet.htm (ainakin tarjotaan kunnille ilmaiseksi, mutta käsittää vain Helsingin lähiseudun)
- <http://www.helsinki.fi/maantiede/geoinformatiikka/resurssit/aineistot.html>
- <http://www.paikkatietopalvelu.fi/> (rakennukset, kuntaGML, ym.)
- <http://gbs01.geotaskserver.com/mdm/jsp/cigal.jsp> (paikkatietohakemisto)
- <http://paikkatietoarkisto.utu.fi/aineistohaku/>
- <http://www.grida.no/baltic/>
- <http://mapdawg.tripod.com/data.htm>
- <http://tilastokeskus.fi/tup/karttaaineistot/index.html>
- <http://tilastokeskus.fi/tup/aluetietopalvelut.html>
- http://www.maanmittauslaitos.fi/Tietoa_maasta/Verkkotietopalvelut/ (rakennukset ym.)
- <http://www.vrk.fi/vrk/home.nsf/pages/462748636CC68A1CC22571FE002A7044>
- <http://www.mit.jyu.fi/opiskelu/opinnayte/LuK/Paikkatieto/>
- <http://www.maanmittauslaitos.fi/paikkatiedot/default.asp?id=845>
- <http://www.edu.fi/oppimateriaalit/paikkatieto.pdf> (erityisesti svut 77–79)

- <http://www.maproom.psu.edu/dcw/>
- http://www.kunnat.net/k_peruslistasivu.asp?path=1;29;145;30546;38442;35072;37601
- http://www.kunnat.net/k_perussivu.asp?path=1;29;145;30546;38442;35072
- <http://kansalaisen.karttapaikka.fi/kartanhaku/osoitehaku.html?lang=FI>
- <http://www.gtk.fi/geotieto/kirjasto/verkkoaineistot.html>
- <http://www.digiroad.fi/>
- http://statlab.stat.yale.edu/data/world_gis.jsp
- <http://arkisto.gtk.fi>
- <http://www.nordregio.se/>
- http://www.kunnat.net/k_htmlimport.asp?path=1;29;341;49313;480&urli=http://hosted.kuntaliitto.fi/skriptit/kunnatYhtymat/kunnantiedot2.asp%A4kno=XXX (sijainnit kunnantaloille)
- <http://code.google.com/intl/fi-FI/apis/maps/documentation/geocoding/>
- http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/ESDB_data_1k_raster_intro/ESDB_1k_raster_data_intro.html
- <http://www.geocomm.com/accounts/explain.html>
- lista ulkomaisista lähteistä: Malczewski 2004, s. 23

Liite 2. Suomalaista paikkatietotutkimusta

Linkit on koottu kesän 2009 loppupuolella. Niiden toimivuudesta pidemmällä aikavälillä ei ole varmuutta.

- <http://www.cis.hut.fi/teaching/theses/index.shtml>
<http://civil.tkk.fi/fi/tutkimus/liikennetekniikka/opinnaytteet/diplomityot/>
- <http://www.kaks.fi/index.php>
- <http://www.tkk.fi/Yksikot/Geodesia/tutkimus.htm>
- <http://research.jyu.fi/optlog/artikkelit.html>
- <http://www.operaatiotutkimus.fi/linkit.html>
- <http://gip.tkk.fi/en/publications/dissertations/>
- http://alk.tiehallinto.fi/thohje/ohjeluettelo_alku2.htm

VATT MUISTIOT SARJASSA ILMESTYNEET JULKAISUT
IN VATT MIMEO SERIES PUBLISHED PUBLICATIONS

1. Aaltonen Juho – Kangasharju Aki – Moisio Antti: Vuoden 2009 kuntaliitokset – Kuvailutietoa kunnista. Helsinki 2009.
2. Kari Seppo: Vapaaehtoinen varautuminen vanhuusiän menoihin – laskelmia yksityisen eläkesäästämisen julkistaloudellisista nettovaikutuksista. Helsinki 2009.
3. Hämäläinen Kari: Kvantitatiivinen politiikka-arviointi – Esiselvityksen taustamuistio. Helsinki 2009.



VALTION TALOUDELLINEN TUTKIMUSKESKUS
STATENS EKONOMISKA FORSKNINGSCENTRAL
GOVERNMENT INSTITUTE FOR ECONOMIC RESEARCH

Valtion taloudellinen tutkimuskeskus
Government Institute for Economic Research
P.O.Box 1279
FI-00101 Helsinki
Finland

ISBN 978-951-561-886-3
ISSN 1798-0321