

Keskustelua – Diskussion

Alhaisimman kustannuksen reitin määrittäminen tarkasti ja tehokkaasti luokitellusta paikkatietoaineistosta

Alhaisimman kustannuksen reitin määrittäminen on perinteinen paikkatietanalyysi, jolla määritetään alhaisin kustannus jostakin lähtöpisteestä muihin kustannuspinnan kohteisiin sekä selvitetään reitti, jolla tämä alhaisin kustannus saavutetaan. Tyypillisesti kustannuspinta sisältää luokiteltuja aluemaisia kohteita tai liukuvasti muuttuvan kustannusrasterin. Paikkatieto-ohjelmistoista ainakin ArcMap, GRASS ja SAGA tarjoavat jonkinlaiset työkalut tällaisen analyysin tekemiseen.

Paikkatieto-ohjelmissa kustannuspinta on totuttu ilmaisemaan kustannusrasterina ja ohjelmien tarjoamat työkalut analyysin tekemiseen noudattavat pitkälti samoja periaatteita. Kuitenkin ongelman ratkaisemiseen on kehitetty useita lähestymistapoja, joista toiset soveltuvat selvästi paremmin tietyn tyyppisten kustannuspintojen kanssa käytettäväksi kuin toiset.

Haluammekin tällä keskustelupuheenvuorolla kiinnittää huomiota siihen, että alhaisimman kustannuksen reitin määrittämiseksi on olemassa useita muita hyviä menetelmiä kuin yleisimmin tarjottu rasteripohjainen menetelmä. Erityisesti haluamme esitellä totutusta rasteripohjaisesta menetelmästä radikaalisti poikkeavaa lähestymistapaa mallintaa kustannuspinta vektoriaineistona.

Eri menetelmiä alhaisimman kustannuksen reitin selvittämiseksi

Yleisimmin käytetty menetelmä kustannusetäisyyden laskemiseen paikkatieto-ohjelmissa on kahdeksaan eri suuntaan etenevä rasteripohjainen analyysi, jossa reitti voi edetä kustakin rasterin solusta sitä ympäröiviin kahdeksaan naapurisoluuun. Tämä menetelmä kuitenkin tuottaa liikkumissuuntien rajallisesta määrästä johtuen varsin suuren systemaattisen virheen (Xu & Lathrop 1995), ja sille onkin olemassa moniin tilanteisiin paremmin soveltuvia vaihtoehtoja.

Yksinkertaisin parannus kahdeksansuuntaiseen rasterimenetelmään on lisätä naapurisolujen määrä 16:een (van Bemmelen ym. 1993; Xu & Lathrop 1995), jolloin eri suuntien vähäisyydestä johtuva virhe pienenee. Kokonaan se ei kuitenkaan poistu. Naapuruston kasvattamisen lisäksi voidaan käyttää niin sanottua *extended raster* -menetelmää (van Bemmelen ym. 1993), jolla liikkumissuuntien

määrää saadaan kasvatettua siten, että naapuruston fyysinen koko pysyy kuitenkin pienenä.

Luokitelluille vektoriaineistoille on kuitenkin mahdollista käyttää täysin rajoittamattomaan määrään liikkumissuuntia etenevää reitinetsintää, jolla voidaan saavuttaa käytetystä algoritmista riippuen laskennallisesti optimaalinen polku tai arvio optimaalisesta polusta (Lee ym. 1990; van Bemmelen ym. 1993). Eräs tällainen menetelmä on niin sanottu näkyvyyteen perustuva reitinetsintä, johon on kuitenkin tarjolla hyvin rajalliset työkalut nykyisissä paikkatieto-ohjelmistoissa. Työkalujen vähäisyys rajoittaa varmasti menetelmän käyttöä paikkatietanalyysissä.

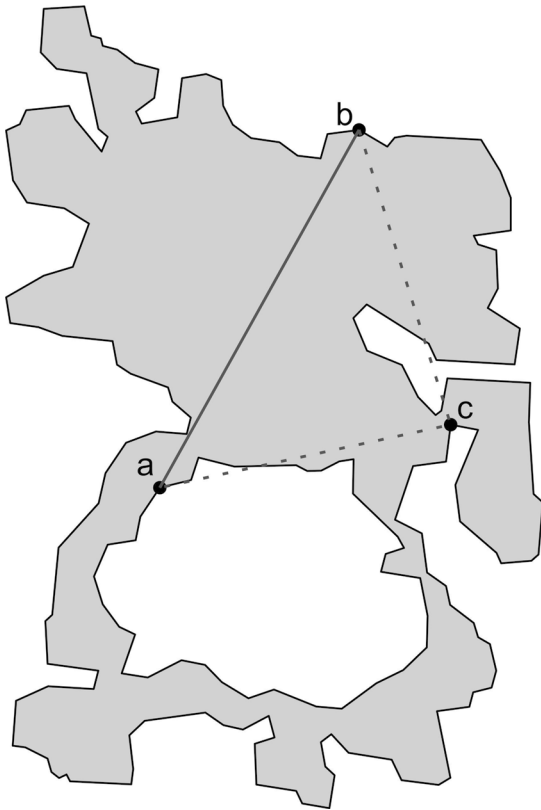
Näkyvyyteen perustuva menetelmä

Etsitäänpä alhaisimman kustannuksen reittiä rasteripohjaisesti tai näkyvyyteen perustuen vektoriaineistosta, muodostuu analyysi kahdesta vaiheesta: verkon muodostuksesta ja varsinaisesta reitin määrittämisestä tässä muodostetussa verkossa. Nämä vaiheet toteutetaan usein limittäin siten, että verkkoa muodostetaan sitä mukaa kuin analyysi etenee uusille kustannuspinnan alueille.

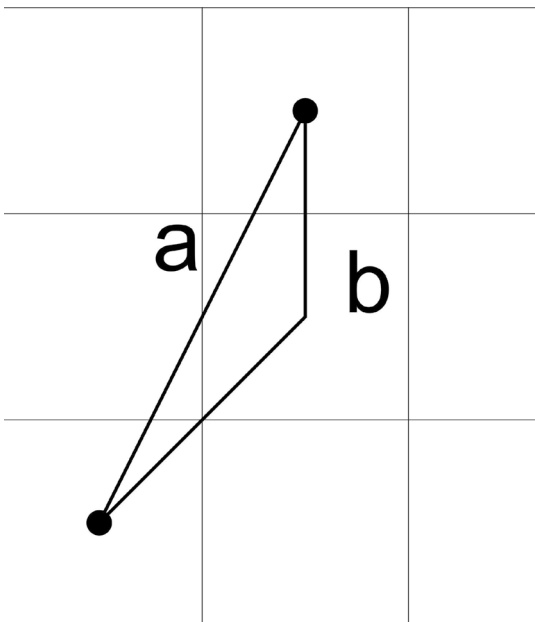
Verkko muodostuu solmuista ja niitä yhdistävistä kaarista. Tässä tapauksessa kaaret ja niille annetut kaaripainot kuvaavat, millaisia kustannuksia syntyy, kun liikutaan kustannuspinnan osia kuvaavien solmujen välillä. Rasteripohjaisessa menetelmässä verkon muodostus on yksinkertaista, ja se voidaan tehdä vakioajassa. Jokaista rasterin solua vastaa yksi solmu, josta lähtee kaaria vain sitä ympäröiviin kahdeksaan tai 16 naapurisolmuun.

Näkyvyyteen perustuvassa reitinetsinnässä tilanne on hieman monimutkaisempi. Siinä solmut muodostuvat kustannuspolygonien kulmapisteistä ja pidemmille suorille osuuksille laskettavista lisäsolmuista. Mikäli kaksi tai useampi polygonia koskettaa toisiaan, voi solmu kuulua kahteen tai useampaan polygoniin. Jokaisesta solmusta lähtee kaari niihin solmuihin, jotka ovat ”nähtävissä” kyseisestä solmusta. Näkyvyys tarkoittaa tässä sitä, että kahden solmun välille voidaan piirtää jana, joka ei leikkaa polygonin piiriä (kuva 1).

Jos kaikille polygonin solmuille lasketaan kaikki niistä näkyvät solmut, saadaan aikaiseksi näky-



Kuva 1. Solmut a ja b näkyvät toisistaan, mutta solmu c ei ole nähtävissä muista solmuista.



Kuva 2. Suora polku solmujen välillä (a) on pituudeltaan $\sqrt{5}$, mutta kahdeksansuuntainen rasterimenetelmä tuottaa polun b, joka on pituudeltaan $\sqrt{2}+1$

vyysverkko. Alhaisimman kustannuksen reitti tässä näkyvyysverkossa on alhaisimman kustannuksen reitti myös sen polygonin sisällä, josta verkko on muodostettu (De Berg ym. 2008). Kun jokaisesta kustannuspinnan polygonista muodostetaan oma näkyvyysverkkonsa, saadaan nämä verkot yhdistämällä alhaisimman kustannuksen reitti, joka kulkee kustannuspolygonien reunapisteiden kautta. Kun reunapisteiden väliä tihennetään, saadaan tuloksina reittejä, jotka lähestyvät todellista alhaisimman kustannuksen reittiä.

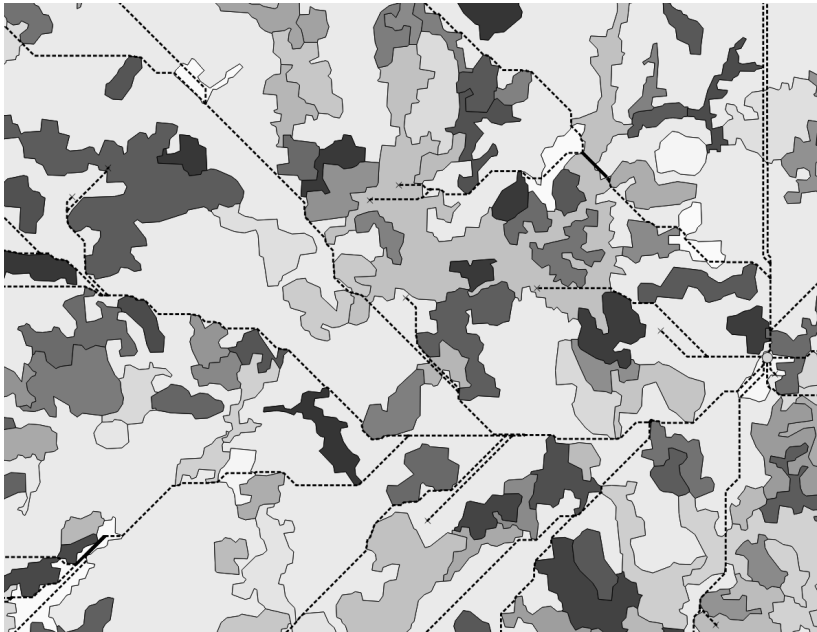
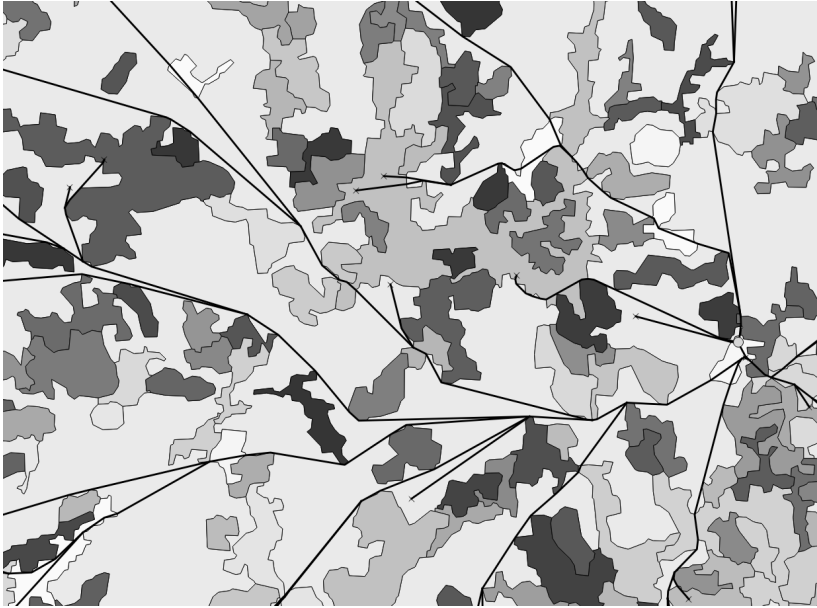
Tällaisen täydellisen näkyvyysverkon muodostamisen ongelmana on kuitenkin se, että toisistaan näkyviä soluja voi olla todella paljon, varsinkin jos polygonien reunoille laskettavien pisteiden määrää kasvatetaan tiheäksi. Enimmillään polygonin kaikki solmut näkyvät toisistaan, ja näin n solmuiseen verkkoon tulee kaaria $(n-1)n$ kappaletta, mikä aiheuttaa suurilla polygoniaineistoilla suuren muistitarpeen. Tämä aiheuttaa suurilla polygoniaineistoilla suuren muistitarpeen. Jos verkko muodostetaan vasta reitinetsinnän lomassa, ei kaaria kuitenkaan tarvitse tallentaa mihinkään. Näin ollen kaarten määrä ei muodostu ongelmaiseksi. Paikkatieto-ohjelmista GRASS GIS tarjoaa työkalun näkyvyyteen perustuvaan reitinetsintään, mutta se vaatii koko näkyvyysverkon muodostamisen ja tallentamisen. Tämä heikentää käytettävyyttä huomattavasti.

Kun näkyvyysverkko muodostetaan reitinetsinnän lomassa siten, että verkkoa ei tarvitse tallentaa mihinkään, on ratkaistava miten yhdestä solmusta näkyvät naapurit selvitetään riittävän tehokkaasti. Tämä saadaan tehtyä lineaarisessa ajassa suhteessa solmusta näkyvien naapureiden määrään käyttäen hieman muokattua suppiloalgoritmia (Lee & Preparata 1984). Tällöin näkyvyyteen perustuva reitinetsintä on myös käytännön aikavaativuudeltaan kilpailukykyinen rasterimenetelmien kanssa (Annila 2016).

Algoritmi jakaa polygonin ensin $n-2$ kolmioon, minkä jälkeen yhdestä solmusta näkyvät pisteet selvitetään kolmio kerrallaan. Koska solmusta näkyvät naapurit joudutaan selvittämään saman polygonin useammalle solmulle, tallennetaan kolmiointi muistiin. Näin jokainen polygoni täytyy kolmioida vain kertaalleen.

Rasteripohjaisen ja näkyvyyteen perustuvan menetelmän vertailu

Rasteripohjaisen menetelmän etuja ovat sen yksinkertaisuus ja yleisesti saatavilla olevat työkalut sekä soveltuvuus luokittelemattomien kustannuspintojen käsittelyyn. Vastaavasti sen heikkous on



Kuva 3. Yllä näkyvyyteen perustuvan reitinetsinnän tuottamia polkuja ja alla kahdeksaan suuntaan etenevän reitinetsinnän tuottamat polut samoihin maalipisteisiin. Kuvista voidaan havaita rasterimenetelmien tuottamien polkujen kaavamaisuus ja tarpeettomat mutkat yhtenäisen kustannusalueen sisällä.

verkonmuodostustavasta johtuva reitin suuntien rajoittuminen ennalta määrättyihin kulkusuuntiin, mikä johtaa epäoptimaalisiin polkuihin. Virhe ei riipu käytettävän rasterin pikselikoosta, eikä siitä näin ollen päästä eroon aineiston spatiaalista resoluutiota tarkentamalla. Suuntien rajoittuneisuudesta johtuva virheen suuruus on suurimmillaan kahdeksaan suuntaan etenevällä menetelmällä (kuva 2) ja pienempi 16 suuntaan etenevällä menetelmällä. Mikäli alkuperäinen kustannusaineisto

on ollut vektorimuotoista, aiheutuu lähtöaineiston rasteroinnista lisää virheitä.

Näkyvyyteen perustuvan menetelmän etuna on sen tarjoama liikkumissuuntien rajoittamaton määrä. Tämä tarkoittaa sitä, että kun polygonien reunojen suorille osuuksille lisättävien pisteiden määrää kasvatetaan, lähenee saatu tulos optimaalista reittiä. Kun lähtöaineisto on vektorimuotoista, vältetään paitsi rasteroinnista johtuvat virhelähteet myös tarpeettomat työvaiheet. Menetelmän huono-

ja puolia ovat sen heikko käytettävyys liukuvasti muuttuvien pintojen kanssa sekä työkalujen huono saatavuus.

Laskentaan tarvittavan ajan ja muistiresurssien osalta kahden menetelmän vertailu on vaikeaa. Puhtaasti asymptoottiseen aikavaativuuteen perustuvan vertailun pohjalta rasteripohjainen reitinetsintä on selvästi nopeampi kuin näkyvyyteen perustuva menetelmä. Rasteripohjaisessa menetelmässä jokaisen solmun naapureiden selvittäminen vie vakioajan, kun taas näkyvyyteen perustuvassa menetelmässä naapureiden selvittäminen tehdään lineaarisessa ajassa suhteessa naapurien määrään. Suurimmillaan tämä voi tarkoittaa kaikkia verkon solmuja.

Rasterimentelmät ovat myös toteutukseltaan yksinkertaisempia ja sen takia nopeampia suhteessa verkon solmujen määrään myös käytännön aikavaativuuden osalta. Solmujen vapaamasta sijoittelusta johtuen näkyvyyteen perustuvalla menetelmällä voi kuitenkin saavuttaa tarkemman kustannuspinnan kuvailun vähemmällä solmuilla. Siksi näkyvyyteen perustuva menetelmä saavuttaa parempia reittejä samassa laskenta-ajassa, kun lähtöaineistona on käytetty vektoriaineistoa (Annala 2016).

Keskustelu ja johtopäätökset

Alhaisimman kustannuksen reitin määritykseen käytettävän analyysimenetelmän tulisi tarjota mahdollisimman tarkka ratkaisu tutkittavaan ongelmaan käytettävissä olevien laskentaresurssien puitteissa. Paikkatieto-ohjelmistoissa yleisimmin tarjottu kahdeksaan suuntaan etenevä algoritmi ei useinkaan tarjoa parasta kompromissia laskentatehon ja tarkkuuden välillä.

Käytettäessä luokiteltua vektorimuotoista polygoniaineistoa näkyvyyteen perustuva reitinetsintä tarjoaa tarkempia tuloksia vastaavassa laskenta-ajassa. Lisäksi menetelmän avulla vältetään tarpeettomilta aineistomuunnoksilta, jotka tuovat mukanaan uusia epätarkkuuksia – erityisesti, jos käsiteltävässä kustannuspinnassa esiintyy kapeita pitkänomaisia muotoja (Dean ym. 2015). Näiden selvästi mitattavissa olevien etujen lisäksi näkyvyyteen perustuvat reitit näyttävät ihmiskatsojan silmään luontevimmilta, sillä niissä ei ole samaa kulmikkuutta ja jäykkää kaavamaisuutta kuin rajoittuneiden liikesuuntien reiteissä (kuva 3).

Vektori- ja rasteripohjaisia reitinetsintämenetelmiä on vertailtu myös aiemmissa tutkimuksissa (van Bemmelen ym. 1993; Antikainen 2009), joissa on huomattu, että vektoripohjainen reitinetsintä

ei ole käytännössä kilpailukykyinen rasterimentelmien kanssa. Menetelmän rasitteita ovat suuri laskentaresurssien tarve optimaalisia polkuja selvittäessä sekä huonolaatuiset polut approksimaatioalgoritmeja käytettäessä. Näissä tutkimuksissa käytetyt vektoripohjaiset menetelmät eivät kuitenkaan ole perustuneet näkyvyysverkon muodostamiseen.

Mikäli lähtöaineisto ei ole luokiteltua vektorimuotoista polygoniaineistoa, vaan rasterimuotoista, soveltuvat rasterimentelmät paremmin reitinetsintäongelman mallintamiseen. Tällöinkin yleisimmin käytetty kahdeksansuuntainen reitinetsintä tuottaa kuitenkin huomattavasti suuremman systemaattisen virheen kuin harvemmin käytetty kuusitoistasuuntainen reitinetsintä (van Bemmelen ym. 1993; Antikainen 2009; Annala 2016) tai *extended raster* menetelmä (van Bemmelen ym. 1993; Antikainen 2009).

Laajemman työkalujen tarjonnan lisäksi kahdeksaan suuntaan etenevän toteutuksen etu on sen pienempi laskennallinen aikavaativuus. Laskenta-aika ja saatujen tulosten tarkkuus muodostavat aina jonkinlaisen kompromissin. Koska kahdeksansuuntaisella menetelmällä systemaattinen aineiston tarkkuudesta riippumaton virhe on suurempi kuin 16 suuntaan etenevällä menetelmällä, voi joissakin tapauksissa olla järkevää heikentää aineiston spatiaalista resoluutiota, jotta voidaan käyttää tarkempaa 16 suuntaan etenevää analyysimenetelmää (samassa laskenta-ajassa) (Annala 2016). Suosittelemmekin näkyvyyteen perustuvaa menetelmää käytettäväksi optimaalisen reitin määrittämiseen kustannuspinnalta silloin, kun lähtöaineiston mahdollistaa sen.

KIRJALLISUUS

- Annala, E. (2016). Näkyvyyteen perustuva pienimmän kustannuksen polun etsintä, ja sen vertailu rasterimentelmiin. Julkaisematon kandidaatintutkielma. Geotieteiden ja maantieteen laitos, Helsingin yliopisto.
- Antikainen, H. (2009). Terrain path optimization using the connectivity graph approach applied to GIS data structures. *Nordia Geographical Publications* 38: 3. 97 s.
- van Bemmelen, J., W. Quak., M. van Hekken & P. Oosterom (1993). Vector vs. raster-based algorithms for cross country movement planning. *Teoksessa: Proceedings of International Symposium on Computer-Assisted cartography (Auto-Carto XI)*, 304–317. Minneapolis, Minnesota.
- De Berg, M., O. Cheong, M. van Krefeld & M. Overmars (2008). *Computational geometry*. 386 s. Springer, Berlin.

- Dean, D. J., V. Thakar & N. Sirdeshmukh (2015). Optimal Routefinding Across Landscapes Featuring High-cost Linear Obstacles. *Transactions in GIS* 20: 4, 613–625.
- Lee, D., T. Chen & C. Yang (1990). Shortest Rectilinear Paths among Weighted Obstacles. *Teoksessa: Proceeding SCG '90 Proceedings of the sixth annual symposium on computational geometry*, 301–310. ACM New York, New York.
- Lee, D. & F. Preparata (1984). Euclidean shortest paths in the presence of rectilinear barriers. *Networks* 14: 3, 393–410.
- Xu, J. & R. G. Lathrop (1995). Improving simulation accuracy of spread phenomena in a raster-based geographic information system. *International Journal of Geographical Information Science* 9: 2, 271–286.

ELIAS ANNILA &
PETERI MUUKKONEN
*Geotieteiden ja maantieteen osasto,
Helsingin yliopisto*

Potilastieto ja paikkatieto kohtaavat

Pitkäaikaissairas potilas käy laboratoriossa verikokeissa ja jonkin ajan kuluttua lääkärin vastaanotolla. Osa potilaiden tapahtumista, kuten tiedot käynneistä, laboratoriotutkimuksista ja sähköisistä resepteistä kirjautuu automatisoidusti määrämutoiseen sähköiseen potilastietojärjestelmään. Osa tietojen kirjaamisesta on vastaavasti ammattihenkilöstön vastuulla.

Potilastietoja sisältävien elektronisten terveystietorekisterien (*electronic health record*) käyttö on lisääntynyt terveystutkimuksessa tällä vuosikymmenellä (Casey ym. 2016; Farmer ym. 2018). Suomessa sähköiset potilaskertomukset ovat olleet käytössä jo parin vuosikymmenen ajan, mutta niiden hyödyntäminen tutkimukseen on ollut haasteellista. Järjestelmiä on useita, ne eivät ole rakenteeltaan yhtenäisiä ja rajapinnat joustavaan tiedonhakuun ja -siirtoon puuttuvat. Tällä hetkellä järjestelmien kehitys on nopeaa ja kansallisten tietovarantojen, kuten potilastiedon arkiston (<kanta.fi>), vaatimukset lisäävät vähitellen tietosisältöjen yhdenmukaisuutta.

Tässä puheenvuorossa tarkastelemme rekisteripohjaisen potilastiedon ja paikkatiedon yhteiskäytönmahdollisuuksia omien kokemustemme pohjalta Pohjois-Karjalasta sekä valittujen esimerkkien kautta muualta Suomesta. Esittelemme yleisesti elektronisten terveystietorekisterien haasteita ja etuja tutkimuskäytössä, ja pohdimme tulevaisuuden näkymiä sekä maantieteen mahdollisuuksia edistää sote- ja paikkatiedon yhteiskäyttöä. Tutkimusryhmämme meneillään oleva IMPRO-tutkimusprojekti (Parempi tietopohja ja palvelujen optimointi sote-uudistuksen tueksi) pyrkii nimenomaisesti tarkastelemaan sote- ja paikkatiedon hyödyntämis-

mahdollisuuksia Suomessa sekä vastaamaan meneillään olevan sosiaali- ja terveydenhuollon uudistuksen tietotarpeisiin.

Terveystietorekisterit ja paikkatieto

Rekisteripohjaisen potilastiedon käytössä tutkimustarkoituksiin on omat haasteensa. Yksi suurimmista ongelmista on se, ettei rekistereitä ole suunniteltu suoraan tutkimusta varten. Näin ollen tietoa ei voi olla tutkimuksen näkökulmasta esimerkiksi puutteellisesti tai epäyhtenäisesti kirjattua. Se voi myös vaatia taustamuuttujien yhdistämistä muista aineistoista. Lisäksi tietosuojaa-asiat tuovat oman haasteensa tutkimukselle, sillä lupaprosessit voivat viedä aikaa, ja tulosten raportoinnissa pitää huomioida yksityisyydensuoja.

Rekisterin etuja tutkimuskäytössä ovat sen sijaan kustannustehokas aineistonhankinta, kokonaisaineiston käyttö tai suuri otoskoko sekä aineiston ajantasaisuus. Potilastiedot ovat myös niin sanottua ”*real-world dataa*” eli niiden avulla saadaan tarkkaa tosielämän tietoa eri sairauksista, eikä kyselyistä tuttu vastausten subjektiivisuus (esim. painon arviointi alakanttiin) muodostu ongelmaksi. Kun käytetään rekisteripohjaista kokonaisaineistoa, välttää myös kyselyyn perustuvilla otostutkimuksilla tyypilliseltä vastaamatta jättämisen aiheuttamalta harhalta.

Vaikka terveystietorekisterin tiedot on alun perin kerätty muuhun tarkoitukseen, ovat potilastiedot usein paikkatietoa, sillä järjestelmistä löytyy yleensä tieto potilaan kotikunnasta, postinumeroalueesta

ja katuosoitteesta. Näiden sijaintitietojen avulla potilastietoihin voidaan yhdistää muuta paikkatietoaineistoa, kuten sosioekonomista asemaa kuvaavaa tietoa sekä väestö- ja ympäristötietoa (kuva 1). Katuosoite voidaan myös geokoodata koordinaattipisteiksi tarkempia analyyseja varten.

Koska potilastiedot ovat yksilötason tietoa, on tärkeää, ettei tuloksia esitettäessä ja raportoitaessa loukata yksityisyyden suojaa. Myös tähän paikkatieto tarjoaa hyviä ratkaisumalleja, sillä tietoa voidaan esittää ja analysoida tilanteeseen nähden tarkoituksenmukaisella spatiaalisella tarkkuudella eri hallinnollisiin aluejakoihin (esimerkiksi kunta tai postinumeroalue) perustuen tai hallinnollisista aluejaoista riippumattomia ruutupohjaisia aluejakoja käyttäen.

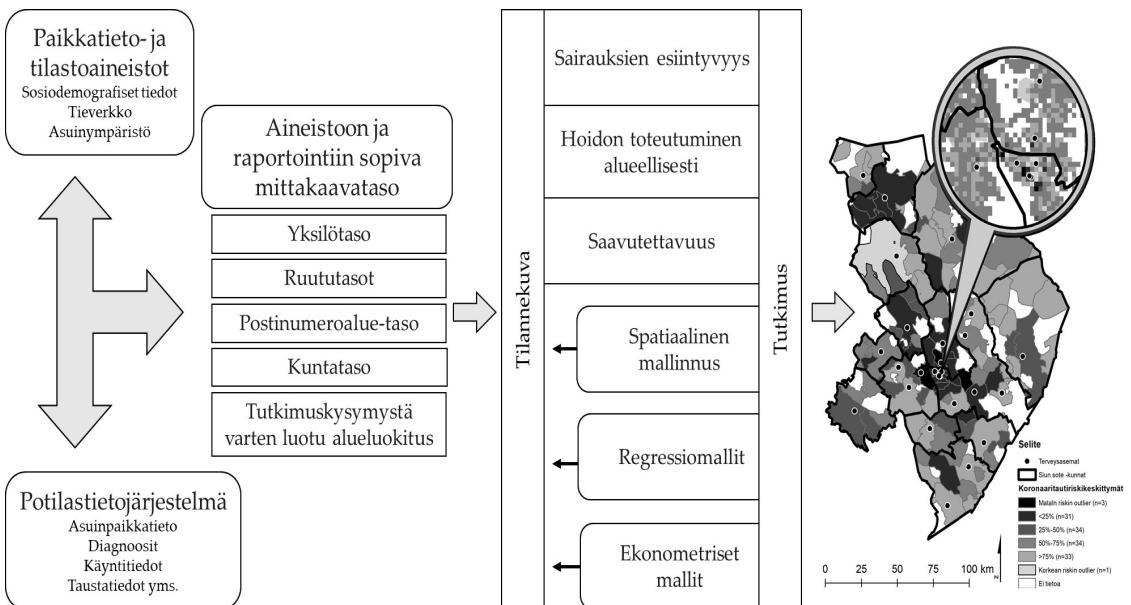
Suomessa maakunnallisten tai muita laajempia alueita (esim. kuntayhtymiä tai sairaanhoitopiirejä) kattavien potilastietojärjestelmien käyttö on vielä vähäistä. Siun sotessa, joka kattaa Pohjois-Karjalan kunnat ja Heinäveden, on alueellisesti yhtenäisesti käytössä Mediconsult Oy:n Mediatripotilastietojärjestelmä, joka sisältää kaikkien kuntien perusterveydenhuollon potilastiedot sekä erikoissairaanhoidon ja julkisen työterveyshuollon potilastiedot. Muualla Suomessa ei ole käytössä vastaavaa alueellista ratkaisua, jossa kaikissa kunnissa ja myös erikoissairaanhoidossa on käytössä

sama järjestelmä. Suomessa on parhaillaan tekeillä mittava sosiaali- ja terveydenhuollon uudistus (ns. sote-uudistus), joten jatkossa yhtenäiset sosiaali- ja terveysalan järjestelmät tulevat todennäköisesti kattamaan entistä suurempia alueellisia kokonaisuuksia. Samalla järjestelmät kokoavat yhteen nykyisin eri tietolähteissä hajallaan olevia tietoja sekä parantavat tietojen elektronista liikkuvuutta.

Paikkatietoa hyödyntävä terveystieteiden tutkimus osana IMPRO-projektia

Viime aikoina kansainvälisesti yleisimpiä paikkatieto- ja tilastomenetelmiä hyödyntäviä terveystieteiden tutkimuskohteita ovat olleet sairauksien (tartuntatauti- ja kroonisten sairauksien) maantieteellinen esiintyminen, terveyspalveluiden saavutettavuus, rakennetun ympäristön ja lihavuuden yhteys ja terveyserojen alueellinen tarkastelu eri väestöryhmien välillä (Rosenberg 2016). Osaa näistä teemoista tutkitaan parhaillaan käynnissä olevassa Suomen Akatemian strategisen tutkimuksen neuvoston rahoittamassa IMPRO-tutkimusprojektissa.

IMPRO on monitieteellinen tutkimusprojekti, joka tuottaa sote-uudistuksen tueksi tutkittua tietoa sosiaali- ja terveyspalveluiden rakenteesta, toi-



Kuva 1. Kirjoittajien näkemys sote- ja paikkatiedon yhteiskäytön viitekehiksestä. Kuvassa oleva kartta on kuvitusvisualisointi.

mivuudesta ja tuloksellisuudesta. Tutkimuksessa hyödynnetään kansallisia sosiaali- ja terveydenhuollon rekisteritietoaineistoja ja paikkatietoaineistoja. Tutkimuskonsortiossa on mukana tutkijoita Itä-Suomen yliopistosta, Terveyden- ja hyvinvoinnin laitokselta (THL), Oulun yliopistosta ja Aalto yliopistosta.

Itä-Suomen yliopiston historia- ja maantieteiden laitoksen Geospatial Health -tutkimusryhmä arvioi IMPRO:n työpaketissaan alueellisia ja sosioekonomisia eroja terveyspalveluiden käytössä, kustannuksissa ja hoidon toteutumisessa. Tavoitteena on kehittää terveyspalveluiden suunnittelun ja hoidon seurannassa tarvittavia laskennallisia menetelmiä, menettelytapoja ja työvälineitä käytettäväksi sote-alueilla. Tällä hetkellä tutkimusryhmä tutkii Siun soten alueella kolmea potilasryhmää, joiden potilastiedot on poimittu alueellisesta potilastietojärjestelmästä.

Yksi potilasryhmistä kattaa alueen kaikki tyypin 2 diabetesta sairastavat. Tavoitteena on tutkia tyypin 2 diabeteksen hoidon laatua ja toteutumista eri aluetasoilla, ja tarkastella sitä mitkä tekijät (muun muassa terveyspalveluiden saavutettavuus ja sosioekonomiset tekijät) vaikuttavat mahdollisiin hoidon alueellisiin eroihin. Toinen potilasryhmä käsittää alueen eteisvärinäpotilaat, joiden osalta kiinnostus kohdistuu hoidosta syntyviin suoriin ja epäsuoriin kustannuksiin sekä kustannusten optimointiin. Esimerkiksi Marevan-lääkkeen käyttöön liittyvät seurantamittaukset vaativat paljon liikkumista. Tästä aiheutuvia kustannuksia voidaan laskea suurelle potilasjoukolla paikkatietoa hyödyntäen. Kolmas potilasryhmä sisältää akuutit koronaaripotilaat, joiden osalta on tutkittu muun muassa koronaaritapahtuman uusiutumiseen vaikuttavien riskitekijöiden hallinnassa esiintyviä alueellisia eroja.

Sote- ja paikkatiedon hyödyntämismahdollisuudet Suomessa

Paikkatietoa hyödynnetään jo kansallisesti ja paikallisesti

Potilastietojärjestelmistä on poimittavissa erinomaista aineistoa alueellisten hoito- ja terveyserojen analysointia ja visualisointia varten. THL seuraa esimerkiksi influenssan etenemistä ajantasaisesta perusterveydenhuollon avohoidon hoitoilmoitusjärjestelmästä (Avohilmosta) terveydenhuollon viikoittaisten käyntien perusteella sairaanhoitopiireittäin (Influenssakäynnit... 2018). Tilastotietoja suomalaisten terveydestä ja hyvinvoinnista tarjoa-

va Sotka.net vastaavasti tarjoaa tarkimmillaan kunnittaista tilastotietoa suomalaisten terveydentilasta myös valmiiksi karttamuodossa (Sotkanetin tilastotiedot 2018).

Vantaan kaupungissa paikkatietoa on alettu integroida muiden toimintojen lisäksi osaksi sote-palveluiden hallintaa (Rapo 2017). Esimerkiksi hammashuollossa palveluiden toteutumisen seurannassa sekä vanhus- ja vammaispalveluiden järjestämisen suunnittelussa on hyödynnetty paikkatietoa. Interaktiiviset web-pohjaiset karttapalvelut on tarkoitettu hallinnon avuksi, mutta tietoa voidaan myös jakaa laajemmalle joukolle rajapintojen avulla.

Siun sotessa tyypin 2 diabetesta sairastavien ja akuuttien koronaaritautipotilaiden kohdalla paikkatietoa on hyödynnetty hoidon toteutumisen seurannassa, sillä hoitotuloksia on esitetty kunnittain (Tirkkonen ym. 2014; Repo ym. 2018). Tuloksista on tiedotettu alueen terveysalan ammattilaisille ja tyypin 2 diabeteksen hoidon laadun raportointiin on Siun soten sekä alueelliseen kustannuslaskentaan, tuoteistukseen ja analytiikkaan perustuvia tiedolla johtamista tukevia ohjelmistoratkaisuja tarjoavan FCG Prodacapo Finland Oy:n yhteistyönä rakennettu Mediatri-potilastietojärjestelmän tietoja hyödyntävä raportointijärjestelmä. Sen kautta hoitohenkilökunta voi tarkastella oman alueensa hoitoraportteja.

Oulun yliopiston maantieteen yksikössä on tutkittu paikkatiedon avulla terveydenhuollon maantieteellistä saavutettavuutta ja palveluverkon alueellisia muutostarpeita. Sitran toimeksiantona valmistui vuonna 2016 ”Sosiaali ja terveyspalveluverkon kehityskuva 2025” -tutkimus. Oulussa on muun muassa todettu, että ”[p]aikkatiedon ja analyysien avulla voidaan luoda nykyistä varmempi pohja päätöksenteolle” (Huotari ym. 2018: 1609).

Tietojen yhteiskäyttöä voisi lisätä

Mikäli paikkatieto tuotaisiin osaksi sote-alueiden asiakastietojärjestelmiä, hoidon toteutumista sekä sen alueellisia eroja sosiaali- ja terveyspalveluissa voitaisiin seurata ja vertailla pienalueittain. Alueellisten erojen tarkemmalla analysoinnilla olisi mahdollista selvittää, johtuvatko erot hoidon toteutumisessa ja sote-palveluiden käytössä esimerkiksi eroista hoitokäytännöissä tietyissä yksiköissä tai joidenkin potilaiden ongelmista hoitoon pääsyssä. Kansalaisille tieto sote-palveluiden alueellisista eroista voi laajenevan valinnanvapauden myötä olla yhä olennaisempaa. Riskiryhmiin kohdennetuilla kampanjoilla voitaisiin kustannustehokkaasti puuttua havaittuihin alueellisiin terveyseroihin

ja ennaltaehkäistä kroonisten sairauksien riskitekijöitä.

Vastaavasti paikkatietoa voitaisiin hyödyntää enemmän ja paremmin sote-palveluiden suunnittelussa. Reittioptimoinneilla ja verkostanalyysillä voidaan selvittää palveluverkon kattavuutta ja toimipisteiden saavutettavuutta. Mobiilisovellusten kehityksen myötä osa terveydenhuollon vastaanotokäynneistä tai seurantamittauksista on mahdollista toteuttaa etänä kotoa käsin ja osa erikoissairaanhoitojen konsultaatioista etäyhteyksin paikallisissa terveydenhuollon palvelupisteissä, jolloin potilaille syntyy säästöjä etenkin kaukana keskuksista sijaitsevilla alueilla. Väestön ja potilaiden sosiodemografista alueellista profiilia voitaisiin hyödyntää resurssien allokoinnin apuna pitkän aikavälin hoitosuunnittelussa.

Rekisteripohjaiset potilastiedot eivät sisällä tietoja potilaan elinympäristöstä. Yhdistämällä potilastietoihin paikkatietoa väestön sosioekonomisesta taustasta, liikenneverkosta ja asuinympäristöstä mahdollistetaan laajat analyysit ihmisten asuinpaikan ja terveyden välisistä yhteyksistä. Myös alue-suunnittelu voisi hyötyä sote-tietojen laajemmasta käytöstä. Potilastietoja voitaisiin käyttää suunnitellun vaikutusten arvioinnissa ja todentamisessa. Niiden avulla olisi mahdollista tarkastella esimerkiksi lähiliikuntapaikkojen ja -viheralueiden vaikutusta ihmisten terveyteen. Onnistuneen suunnittelun vaikutukset voivat näkyä alueellisesti mielenterveysongelmien vähentymisenä tai asukkaiden painoindeksin pienentymisenä. Tällaista tietoa voitaisiin hyödyntää uudestaan suunniteltaessa tulevaisuuden asuinalueita.

Tulevaisuudennäkymiä

Sosiaali- ja terveydenhuollon asiakastietojen hyödyntämisen odotetaan laajentuvan merkittävästi sote-tietojen toissijaiseen käyttöön liittyvän lainsäädännön muutoksen jälkeen. Lakiesityksen (HE 159/2017) mukaan tietoja voitaisiin jatkossa käyttää tieteellisen tutkimuksen ja tilastoinnin lisäksi viranomaisohjauksessa ja -valvonnassa, viranomaisten suunnittelu- ja selvitystehtävissä, opetuksessa sekä kehittämis- ja innovaatiotoiminnassa. Tällöin luvan tietojen käyttöön antaisi uusi lupaviranomainen ja tietojen luovuttamista varten rakennettaisiin tietoturvallinen käyttöympäristö.

Tulevaisuudessa kehittyvät potilastietojärjestelmät ja alueelliset suuria tietomassoja sisältävät tietotaltaat voivat tuoda niin tutkimuksen kuin yhteiskunnankin käyttöön kattavampaa, monipuolisempaa, ajantasaisempaa ja spatiaalisesti tarkempaa

tietoa sote-palveluiden hallintaan ja kustannustehokkuuden arviointiin. Euroopan unionin tavoitteena on potilastietojen elektronisen liikkuvuuden parantaminen unionialueen sisällä 2020-luvulla. Tämä avaa uusia mahdollisuuksia myös kansainväliselle terveystutkimukselle.

Ennen kuin paikkatietoa aletaan tuoda osaksi sosiaali- ja terveydenhuollon tietojärjestelmiä, tulisi kuitenkin selvittää syvällisesti, millaista hyötyä sen avulla voidaan saada, liittyykö siihen riskejä, mitä tietoa tarvitaan ja missä muodossa paikkatiedon tulisi olla operatiivisessa käytössä. Tiedon ja analysointitarpeiden tunnistaminen ja uusien mahdollisuuksien havaitseminen organisaatioissa tai hallinnossa voi olla haastavaa, joten nykytila vaatii laajempaa kartoitusta. Maantieteen monipuolisuus ja holistiset menetelmät tarjoavat osaamista ja työkaluja tietojen hyödyntämiseen. Toivommekin, että maantieteilijät ottavat nykyistä näkyvämpää roolia sote-rekisteritietojen ja paikkatiedon yhteiskäytön kartoittamisessa, soveltamisessa ja analysoinnissa.

KIRJALLISUUS

- Casey, J. A., B. S. Schwartz, W. E. Stewart & N. E. Adler (2016). Using electronic health records for population health research: A review of methods and applications. *Annual Review of Public Health* 37, 61–81.
- Farmer, R., R. Mathur, K. Bhaskaran, S. V. Eastwood, N. Chaturvedi & L. Smeeth (2018). Promises and pitfalls of electronic health record analysis. *Diabetologia* 61: 6, 1241–1248.
- Huotari, T., H. Antikainen, J. Rusanen, O. Kotavaara, K. Haukipuro & N. Jaako (2018). Paikkatieto – avain sairaaloiden saavutettavuuden analysointiin. *Lääkärilehti* 24–31, 1609–1611.
- Influenssakäynnit terveyskeskuksissa (2018). THL, Helsinki. 4.9.2018. <thl.fi>
- Rapo, S. (2017). Paikkatiedot ovat kaupungin yhteistä pääomaa. *Posiitio* 4, 20–21.
- Repo, T., M. Tykkyläinen, J. Mustonen, T. T. Rissanen, M. Ketonen, M. Toivakka & T. Laatikainen (2018). Outcomes of secondary prevention among coronary heart disease patients in a high-risk region in Finland. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 15: 4, 724.
- Rosenberg, M. (2016). Health geography II: ‘Dividing’ health geography. *Progress in Human Geography* 40: 4, 546–554.
- Sotkanetin tilastotiedot (2018). THL, Helsinki. 4.9.2018. <www.sotkanet.fi>

Tirkkonen, H., M. Sikiö, P. Kekäläinen & T. Laatikainen (2014). Tyypin 2 diabeteksen hoidossa merkittävää kuntakohtaista vaihtelua. *Lääkärilehti* 34, 2027–2032.

MAIJA TOIVAKKA¹, TEPPO REPO¹,
AAPELI LEMINEN¹, MIKKO PYYKÖNEN¹,
TIINA LAATIKAINEN² &
MARKKU TYKKYLÄINEN¹

¹Historia- ja maantieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto & ²Kansanterveystieteen ja kliinisen ravitsemustieteen yksikkö, Itä-Suomen yliopisto, Kansanterveyden edistämisen yksikkö, Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos & Pohjois-Karjalan sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskus (Siun sote)

Ekosysteemipalvelujen kartoittamisella kohti kestävämpää ympäristösuunnittelua ja -käyttöä

Biodiversiteettikato ja siitä aiheutuva ekosysteemipalveluiden heikkeneminen on tunnistettu jopa ilmastonmuutostakin vakavammaksi uhaksi ihmiskunnan tulevaisuuden hyvinvoinnin kannalta (The Intergovernmental... 2018). Euroopan unionin (EU:n) biodiversiteettistrategiassa (*Luonnon monimuotoisuutta...* 2011) määritellään tavoitteet luonnon monimuotoisuuden ja ekosysteemipalvelujen heikentymisen pysäyttämiseksi. Strategian yksi keskeisistä tavoitteista on ekosysteemien ja niiden tilan sekä ekosysteemipalveluiden kartoitus ja arviointi. Kansainvälinen, niin kutsuttu EU:n MAES-työryhmä (*Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services*, 2010–2020) perustettiin tekemään yhteistyötä, jotta hyvinvoinnin kannalta tärkeät ekosysteemipalvelut voitaisiin tunnistaa ja kartoittaa luotettavilla tavoilla (Biodiversity Information... 2018; Mapping and... 2018).

Suomi on ollut mukana MAES-työssä muiden EU:n jäsenvaltioiden kanssa kehittämässä menetelmiä ja ohjeistuksia luotettavien arviointien toteuttamiseksi eri aluetasolla. Hiljattain päättyneessä Horisontti 2020 ESERALDA -hankkeessa (*Enhancing ecosystem services mapping for policy and decision-making*) koottiin yhteen nykytiedämys ekosysteemipalvelujen kartoittamisesta ja arvioinnista (Esmeralda 2018).

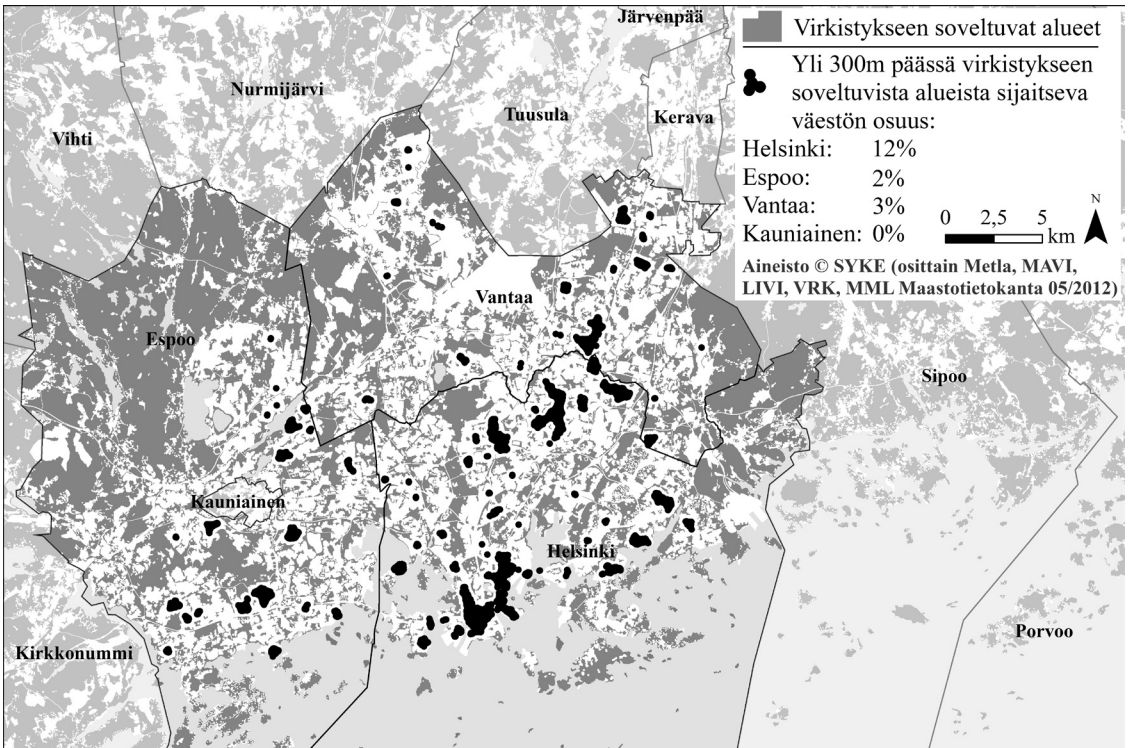
Ekosysteemipalveluiden kartoitus ja arvioiminen on monialaista yhteistyötä, joka ulottuu tavoitteiden määrittelystä lopputuloksen hyödyntämiseen. Tietoa tarvitaan sekä paikallistasolla (esim. maankäytön suunnittelussa) että kansallisen ja kansainvälisen tason päätöksenteossa. Osa ekosysteemipalveluista on sellaisia, että ne voidaan hyvin ottaa huomioon paikallisesti, kuten vaikkapa lähialueiden virkistyskäyttömahdollisuuksien säilyttämi-

nen (kuva 1). Toiset ekosysteemipalvelut, kuten hiilenkierron hallinta ilmastonmuutoksen hillinnän maksimoimiseksi tai ravinnekiertojen hallinta Itämereen kohdistuvan kuormituksen vähentämiseksi, vaativat laajapohjaista yhteistyötä. Geoinformatiikan osaamisella on kokonaisuuden kannalta merkittävä rooli kartoituksen ja mallintamisen toteuttamisessa.

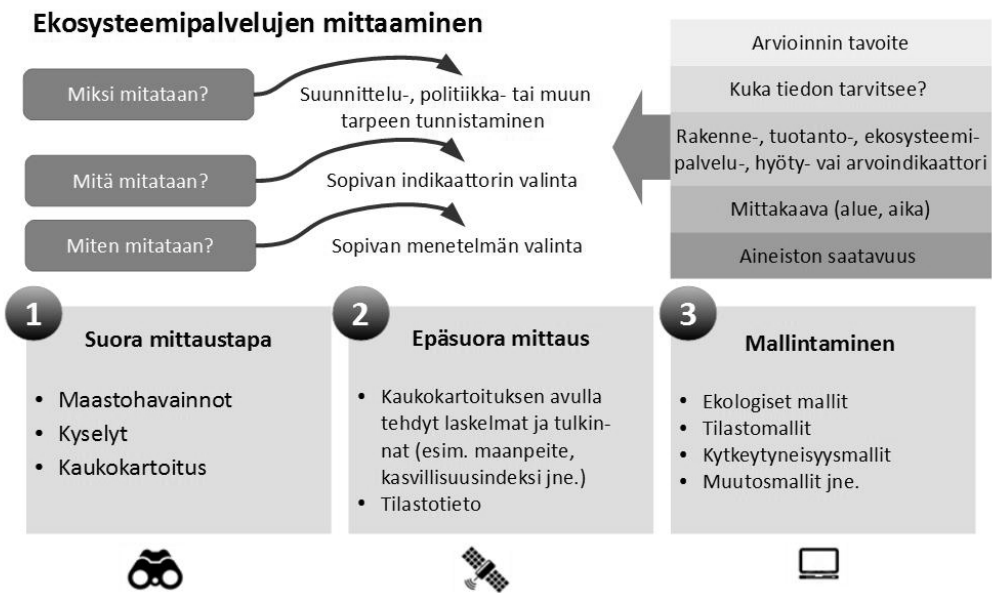
Miksi ekosysteemipalveluja kartoitetaan?

Ekosysteemipalvelu-käsitteen perusajatus on tuoda esille, kuinka monin eri tavoin ihminen hyötyy ja on riippuvainen ekosysteemeistä sekä niiden perustana olevasta luonnon monimuotoisuudesta. Monimuotoinen luonto ylläpitää ekosysteemien toimintaa ja luo näin edellytykset ekosysteemipalvelujen saannille. Usein käytetty esimerkki on toiminnallisen monimuotoisuuden yksipuolistuminen, kuten vaikkapa pölyttäjähöynteisten lajiston ja runsauden vähentyminen, ja siitä aiheutuva eri kasvilajien tarvitsemien pölyttäjien saatavuuden heikkeneminen. Ekosysteemipalvelukartoitusten avulla voidaan tunnistaa monipuolisemmin eri alueiden ekosysteemien merkitys ihmisen hyvinvoinnille sekä alueelliset eroavaisuudet ekosysteemipalveluiden tuottamisessa. Lisäksi kartoituksella saadaan tietoa ekosysteemipalveluihin kohdistuvasta kysynnästä.

Ekosysteemipalvelujen kartoittamiseen ja arvioimiseen on olemassa lukuisia menetelmiä. Menetelmät jaetaan kolmeen kategoriaan: biofysiikaalisiin, sosiokulttuurisiin ja taloudellisiin menetelmiin. ESERALDA-hankkeessa laadittiin menetelmän valintaa helpottavia työkaluja, kuten ku-



Kuva 1. Lähiulkoilualueiden tulisi olla kaikkien saavutettavissa. Kotiovelta luontoon tulisi olla enintään 300 metrin etäisyys tai 5–10 minuutin kävelymatka. Tutkimusten mukaan pidempi matka vähentää virkistysalueiden käyttöä. Virkistysalueet eivät sisällä vesistöjä.



Kuva 2. Tiedon tarpeen tunnistaminen ekosysteemipalvelujen kartoitustyön suunnittelua varten.

van 2 kaavio sekä MAES Explorer -internetsivusto (<*MAES-Explorer.eu*>), jolta löytää tietoa kartoitustyön aloittamiseksi.

Kattava kuva jonkin alueen ekosysteemeistä ja ekosysteemipalveluista saadaan yhdistämällä erilaisia menetelmiä sekä selvittämällä ekosysteemien tilaa ja niiden kykyä tuottaa ekosysteemipalveluita. Lisäksi tarvitaan ymmärrystä paikallisten ekosysteemien erityispiirteistä sekä ekosysteemipalveluiden tarjonnan ja niihin kohdistuvan kysynnän ajallisia ja alueellisia vaihteluista.

Ekosysteemipalvelujen kartoittamisesta on apua esimerkiksi kestävän maankäytön suunnittelussa ja momentasoisessa päätöksenteossa. Tulokarttojen avulla voidaan tunnistaa monitoimiset alueet, ekosysteemipalvelukeskittymät, jotka tuottavat lukuisia erilaisia palveluja yhtä aikaa. Ihmisten ekosysteemipalveluihin liittämiä arvoja kartoittamalla voidaan ottaa huomioon paikallisen väestön arvostukset ja tarpeet, sekä välttää siten konflikteja. Taloudellisia arvoja kartoittamalla voidaan punnita erilaisten päätösvaihtoehtojen kannattavuutta ja kustannuksia sekä perustella päätöksiä sellaisilla mittayksiköillä, joita päättäjät ymmärtävät. Integroiduilla arviointimenetelmillä voidaan kattaa kaikki kestävyyden osa-alueet ja auttaa päättäjiä tekemään päätöksiä, jotka ovat mahdollisimman hyviä niin biodiversiteetin, ihmisen kuin taloudenkin kannalta.

Suomen MAES-työ

Ekosysteemipalveluita on kartoitettu Suomessa monilla eri aluetasoilla. Suomen MAES-työn tavoitteena on tuottaa lisää valtakunnallisia ekosysteemipalvelukarttoja, joista on hyötyä monille tahoille, kuten maankäytön suunnittelijoille, päätöksentekijöille ja yritystoiminnalle. Materiaalin toivotaan hyödyntävän myös opettajia.

Kartoitustyön toteuttamiseksi tarvitaan alojen asiantuntijoiden yhteistyötä, sillä ekosysteemipalvelut ovat laaja kokonaisuus, jonka hallinta on vaativaa. Lisäksi tarvitaan yhä enemmän erityisosaamista esimerkiksi yksittäisten palvelujen asiantuntijoilta. Näiden lisäksi geoinformatiikan osaajien rooli on tärkeä. Suomessa MAES-työtä koordinoi Suomen ympäristökeskus (SYKE), joka pyrkii edistämään edellä mainittuja tavoitteita. Luonnontila-sivusto osoitteessa <*www.luonnontila.fi/ekosysteemipalvelu*> on yksi ekosysteemipalvelutyön edistysaskelista Suomessa.

Viime vuosina erityisesti kaukokartoituksen mahdollisuudet nopeamman ja ajantasaisemman sekä alueellisesti kattavan ekosysteemitiedon tuo-

tannossa ovat nousseet yhä tärkeämmiksi. Suomen avoimet laserkeilausaineistot ja kansallisen Satelliittidatakeskuksen kautta saatavilla olevat aineistot, mukaan lukien uudet Sentinel-datat, tarjoavat ensiluokkaisen mahdollisuuden kehittää ekosysteemipalveluosaamista, jolle on kysyntää yhä enemmän myös kansainvälisesti. Yhdistyneiden kansakuntien (YK:n) kestävyystavoitteiden toimeenpano edellyttää panostuksia biodiversiteetin ja ekosysteemipalveluiden ajantasaisen tiedon saatavuuteen, ja yksi osa tätä kehitystä on ekosysteemipalveluita koskevan tilastotiedon saaminen spatiaaliseksi.

Ekosysteemien tilan ja ekosysteemipalveluiden arviointi Euroopassa jatkuu ekosysteemipalveluiden kehittämisellä (Mapping and... 2018). Tilinpidon mahdollisuudet yhteiskunnallisen ja taloudellisen toiminnan kehittämisessä yhä kestävämpään suuntaan on tunnistettu niin globaalisti kuin EU:ssakin.

KIRJALLISUUS

- Biodiversity Information System for Europe (BISE) (2018). Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services (MAES). 21.11.2018. <*biodiversity.europa.eu/maes*>
- Esmeralda (2018). 21.11.2018. <*www.esmeralda-project.eu*>
- Luonnon monimuotoisuutta koskeva EU:n strategia vuoteen 2020 (2011). 6 s. Euroopan unioni.
- Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services – MAES (2018) European Commission. 22.11.2018. <*ec.europa.eu*>
- Natural Capital Accounting (2018) European Commission. 22.11.2018. <*ec.europa.eu*>
- The Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) (2018). 21.11.2018. <*www.ipbes.net*>

LAURA MONONEN¹,
PETTERI VIHHERVAARA²,
LEENA KOPPEROINEN² &
ARTO VIINIKKA²

¹*Historia- ja maantieteiden laitos, Itä-Suomen yliopisto & Suomen ympäristökeskus,* ²*Suomen ympäristökeskus*

