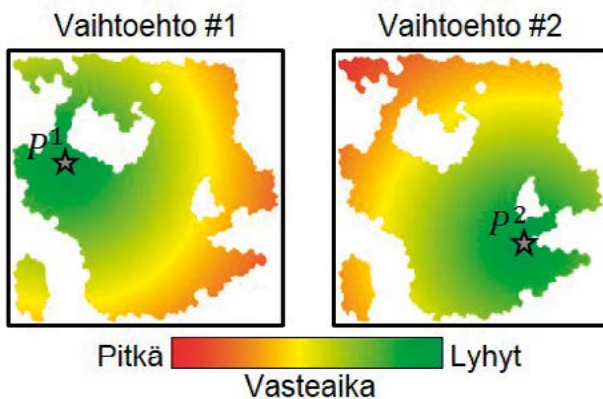


# Spatiaalinen päätösanalyysi suorituskykyjen alueellisten tarkasteluiden ja optimoinnin tukena

**Spatiaalisessa päätöksenteko-ongelmassa päätösvaihtoehtojen seurauksia tarkastellaan annetulla maantieteellisellä alueella tai sen yläpuolisella ilma-alueella. Päätösvaihtoehtojen hyvyttä arvioidaan maantieteellisen alueen paikasta tai ilmatilan paikasta ja mahdollisesti myös ajasta riippuvien keskenään ristiriitaisten kriteerien suhteen.**

Jos päätettävänä on esimerkiksi pelastushelikopterin tukikohdan sijainti, kukin vaihtoehtoinen sijainti johtaa erilaiseen vasteajan jakaumaan tarkasteltavan maantieteellisen kokonaisalueen yli (kuva 1). Jotta vaihtoehtojen paremmuusjärjestystä kyetään arvioimaan, päätöksentekijän tulee ottaa kantaa maantieteellisten alueiden tärkeysjärjestykseen – onko tiheästi asutulla alueella oltava lyhyempi vasteaika kuin harvaan asutulla alueella, eli onko esimerkiksi Etelä-Suomi asukastiheyden takia tärkeämpi kuin Pohjois-Suomi ja onko Etelä-Suomen alueella esimerkiksi Hyvinkää tärkeämpi kuin Helsinki?



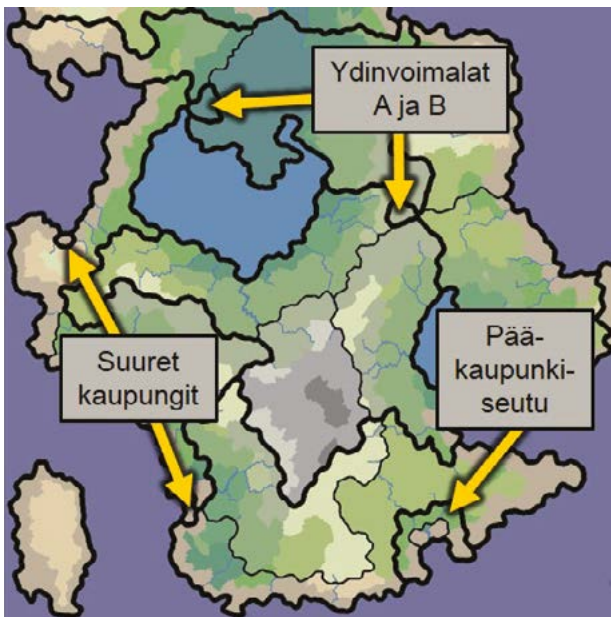
Kuva 1. Pelastushelikopterin tukikohdalla on kaksi vaihtoehtoista maantieteellistä sijaintia P<sup>1</sup> ja P<sup>2</sup>. Valittava sijainti vaikuttaa vasteaikaan eli lentoaikaan tukikohdasta kullekin maantieteelliselle alueelle.

Spatiaalisen päätösanalyysin teoria- ja menetelmäkehitys on erityisen ajankohtainen tutkimusaihe päätösanalyysin kentällä. Käytännön sovellusalueita ovat puolustus- ja turvallisuuskysymysten lisäksi esimerkiksi kaupunki-, ympäristö- ja liikennesuunnittelu sekä hydrologia ja demografia. Päätösanalyttisiä malleja hyödynnetään myös spatiaalisessa analytiikassa ja paikkatietojärjestelmissä. Spatiaalisiin ongelmiin on aiemmin sovellettu perinteisiä päätösanalyysin menetelmiä. Näiden menetelmien käytön ongelmana on se, että spatiaaliseen vaihtoehtoverailuun tarvittavien eri

maantieteellisiin paikkoihin ja alueisiin liittyvien kriteerien ja päätöksentekijältä kysyttävien kriteerien tärkeyttä kuvaavien kriteeripainojen lukumäärät voivat olla hyvin suuria. Toisaalta perinteisten päätösanalyysin menetelmien teoria-perusteissa ei oteta huomioon päätösvaihtoehtojen spatiaalista luonnetta, ja siksi menetelmillä saatavia tuloksia ei kyetä perusteamaan yksiselitteisesti päätöksentekijän antaman kriteeripaino- eli preferenssi-informaation pohjalta.

Aalto-yliopiston Systeemianalyysin laboratorion ja Ilmavoimien yhteistutkimushankkeessa Lentokaluston taktisen käytön kehittäminen 3 on kehitetty spatiaalista päätösteoriaa ja uuteen teoriaan perustuva spatiaalinen päätösanalyysimenetelmä, joka on esitelty European Journal of Operational Research -lehdessä julkaistussa artikkelissa. Menetelmäkehityksessä on tehty poikkitieteellistä yhteistyötä Aalto-yliopiston Tieto- ja palvelujohtamisen laitoksen kanssa. Uudessa menetelmässä maantieteellisten alueiden suhteellinen tärkeys ilmaistaan spatiaalisilla painoilla, joille on annettu läpinäkyvä, vertailtaviiin päätösvaihtoehtoihin liitetty tulkinta ja merkitys. Menetelmä on joustava ja helppokäyttöinen, koska päätöksentekijä saa vapaasti määrittellä painotettavat maantieteelliset alueet ja lisäksi se mahdollistaa epätäydellisen preferenssi-informaation hyödyntämisen. Päätöksentekijän tulee ilmaista vain alueiden tärkeysjärjestys (kuva 2) ja kriteerien tärkeysjärjestys ilman vaatimusta määrittää täsmällisiä spatiaali- ja kriteeripainoja. Tämän päätöksentekijän preferenssejä kuvaavan tiedon perusteella menetelmä tunnistaa vaihtoehtojen paremmuusjärjestyksen.

Spatiaalisena päätösongelmana voidaan tarkastella esimerkiksi kysymystä *Mitkä ovat ilmalavontajärjestelmän valvontakykyyn kannalta parhaat valvontasensoreiden sijainnit, mitaustavat ja toimintatilat?* Tarkastelussa valvontasensoreiden sallituille sijainneille annetaan vaihtoehtoja tai rajoitteita, jotka määräävät mahdolliset sijainnit. Rajoitteet voivat liittyä maaston kulkukelpoisuuteen ja sensoreiden sallittuihin ryhmitysalueisiin. Päätösvaihtoehtoja eli sijainti-, mittaus- ja toimintatilayhdistelmiä arvioidaan kolmiulotteisiin (3D) valvontatilavuuksiin käskettyjen valvontavaatimusten toteutumisen suhteen. Käytännössä valvontavaatimukset ja niiden toteutumista mittaavat 3D-paikasta riippuvat spatiaaliset päätöskriteerit liittyvät valvontajärjestelmän havaintotodennäköisyyteen ja seurantakykyyn. Päätöskriteerit voidaan myös aggregoida korkeuden yli siten, että niillä on



### Alueiden tärkeysjärjestys

$\alpha(\text{"Ydinvoimalat"}) > \alpha(\text{"Pääkaupunkiseutu"})$   
 $> \alpha(\text{"Suuret kaupungit"}) > \alpha(\text{"Eteläosa"})$   
 $> \alpha(\text{"Länsiosa"}) > \alpha(\text{"Keskiosa"}) > \alpha(\text{"Itäosa"})$   
 $> \alpha(\text{"Pohjoisosa"}) > \alpha(\text{"Saaristo"})$

### Alueiden sisältä voidaan tunnistaa pienempiä painotettavia osa-alueita

$\alpha(\text{"Ydinvoimala A"}) > \alpha(\text{"Ydinvoimala B"})$   
 $\alpha(\text{"Suuri kaupunki #1"}) > \alpha(\text{"Suuri kaupunki #2"})$

Kuva 2. Maantieteellisten alueiden tärkeysjärjestys kuvataan spatiaalisilla painoilla  $\alpha$ . Päätöksentekijän ei tarvitse määrittää painojen täsmällisiä arvoja (esimerkiksi  $\alpha(\text{"Ydinvoimalat"})=60\%$  ja  $\alpha(\text{"Pääkaupunkiseutu"})=40\%$ ), koska päätösvaihtoehtojen paremmuusjärjestys pystytään määrittämään ainoastaan painojen suuruusjärjestyksen eli alueiden tärkeysjärjestyksen perusteella.

vain 2D-riippuvuus. Kriteereiden avulla on myös mahdollista ottaa huomioon valvontajärjestelmän taistelunkestävyys.

Ilmavalvontajärjestelmän suorituskykytarkastelun toteuttamiseksi päätöksentekijän tulee määrätä 3D-valvontatila-uuksien tai 2D-valvonta-alueiden ja kriteerien tärkeysjärjestykset. Tätä informaatiota hyödyntäen edellä kuvatulla spatiaalisella päätösanalyysimenetelmällä tunnistetaan hyvät valvontasensoreiden ryhmitys-, mittaustapa- ja toimintatila-vaihtoehdot. Tarkastelun tuloksia voidaan hyödyntää suorituskyvyn suunnittelussa ja rakentamisessa sekä operatiivisessa suunnittelussa ja ilmaoperaation tehtäväsuunnittelussa. Tämän tyyppisten tarkastelujen avulla kyetään tunnistamaan valtakunnallinen valvontaryhmitys, joka toteuttaa mahdollisimman hyvin asetetut valvontavaatimukset, kun kaikki sensorit voivat liikkua tai kun osa sensoreiden sijainneista on kiinnitetty ja muille tulee tunnistaa parhaat sijainnit. Toisaalta tarkasteluita voidaan hyödyntää valvonnan painopisteen siirtojen suunnittelussa sekä valvontasensoreiden siirtojen suunnittelussa tiettyjen mittauspaikka-alueiden sisällä.

Kehitettyä spatiaalista päätösanalyysimenetelmää voidaan soveltaa myös hävittäjävoiman riittävyys-, saatavuus- ja kohdentamistarkasteluissa sekä ilmasta-pintaan vaikuttamisen suunnittelun tuessa. Menetelmän avulla voitaisiin myös toteuttaa maa- ja merivoimatarkasteluja eli määrittää oikean kokoinen suorituskyky oikeaan paikkaan oikea-aikaisesti annettujen suunnitteluperusteiden mukaisesti.

#### Kirjoittaja:

Kai Virtanen toimii operaatiotutkimuksen professorina Aalto-yliopiston ja Maanpuolustuskorkeakoulun yhteisprofessorissa Aalto-yliopiston Matematiikan ja systeemianalyysin laitoksen Systeemianalyysin laboratoriossa ja Maanpuolustuskorkeakoulun Sotatekniikan laitoksella.