

Jyrki Kangas, Timo Pukkala ja Jouni Pykäläinen

Vuorovaikutteinen heuristinen optimointi yksityismetsien suunnittelussa

Kangas, J., Pukkala, T. & Pykäläinen, J. 1996. Vuorovaikutteinen heuristinen optimointi yksityismetsien suunnittelussa. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1996(3): 231–244.

Artikkelissa esitetään HERO-nimisen heuristisen optimointimenetelmän sovellus vuorovaikutteiseen metsäsuunnitteluun. Vuorovaikutteisessa eli interaktiivisessa yksityismetsien suunnittelussa metsänomistaja ja suunnittelija käyttävät suunnitteluohjelmistoa yhteisessä suunnitteluistunnossa toistaan suunnittelulaskelmia tarvittaessa useaan kertaan.

Metsänomistajan tavoitteet pyritään kuvaamaan mahdollisimman kattavasti jo ensimmäisessä suunnittelulaskelmassa. Ohjelmistolta saatavan välittömän palautteen pohjalta voidaan muuttaa tavoitemuuttujiksi määriteltyjä metsää ja sen kehitystä kuvaavia tunnuksia sekä niiden tärkeyssuhteita, jos laadittu suunnitelma ei tyydytä metsänomistajaa. Tavoitemuuttujia ja niiden painoarvoja tai muita optimoinnin perusteita muutetaan kunnes aikaansaatu suunnitelma tyydyttää metsänomistajaa. Suunnittelulaskelmien myötä opitaan tilan tai metsäalueen tuotantomahdollisuudet ja nähdään miten erilaiset metsän hoidon ja käytön tavoitemallit vaikuttavat metsästä saataviin hyötyihin sekä metsän kehittymiseen.

Vuorovaikutteista optimointia testattiin Pohjois-Karjalan metsälautakunnan yksityismetsien metsäsuunnittelun kehittämishankkeessa. Kymmenen metsänomistajaa osallistui testiin. Useimmille testiin osallistuneista metsänomistajista kyettiin tuottamaan ensimmäistä suunnittelulaskelmaa tyydyttävämpi suunnitelma muuttamalla optimointitehtävää yhteen tai useampaan kertaan, mikä osoittaa vuorovaikutteisen suunnittelun hyödyllisyyden. Vuorovaikutteisuus parantaa asiakaslähtöisen suunnittelun edellytyksiä.

Asiasanat: metsäsuunnittelu, päätösanalyysi, vuorovaikutteisuus, optimointi, yksityismetsätalous
Kirjoittajien yhteystiedot: *Kangas*, Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema, PL 44, 69101 Kannus. Faksi (06) 871 164, sähköposti jyrki.kangas@metla.fi *Pukkala* ja *Pykäläinen*, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu. Faksi (013) 151 4444

Hyväksytty 20.9.1996

1 Johdanto

Yksityismetsien suunnittelussa pyritään yleensä esittämään metsälölle käsittelyohjelma, jonka toteuttamalla metsänomistaja saa metsästään suurimman hyödyn. Valinta tehdään lakien ja muiden ulkopuolisten rajoitusten mahdollistamasta vaihtoehtojen joukosta. Hyödyn maksimoimiseksi on tiedettävä, millä metsän ominaisuuksilla ja metsästä saatavilla tuotteilla on merkitystä metsänomistajalle ja kuinka tärkeitä eri ominaisuudet ja tuotteet ovat toisiinsa verrattuna. Näiden seikkojen systemaattista selvittämistä kutsutaan tavoiteanalyysiksi.

Optimointi ja hyödyn maksimointi kuuluvat olennaisina osina kaikkeen suunnitteluun. Yksinkertainen ja tavallinen menetelmä on verrata metsän eri käsittelyvaihtoehtoja harkinnanvaraisesti. Nykyaikaisissa menetelmissä käytetään numeerista optimointia, jolla parasta suunnitelmaa haetaan systemaattisesti erittäin suuresta vaihtoehtojen joukosta.

Numeeriseen laskentaan nojautuva metsäsuunnittelu käytännössä aina yksinkertaistaa suunnittelutilannetta. Numeerisen laskennan etuja ovat mm. suunnittelun nopeus, halpuus, mallien käytön helpous sekä suunnitteluprosessin kontrolloitavuus ja toistettavuus. Näitä etuja ei yleensä saavuteta pelkästään harkinnanvaraiseen arviointiin perustuvaa kuvailevaa lähestymistapaa soveltamalla.

Optimaalisen käsittelyohjelman löytäminen metsäalueelle ei kuitenkaan ole metsäsuunnittelun ainoa eikä välttämättä aina edes tärkein tehtävä. Oppiminen on monesti suunnitteluprosessin keskeinen anti. Oppia saadaan lähinnä metsän tuotantomahdollisuuksista sekä eri tavoitteiden välisistä riippuvuuksista. Suunnitteluprosessin läpikäynti pakottaa päätöksentekijän miettimään omia tavoitteitaan, tulevaisuuttaan ja metsänsä tuotantomahdollisuuksia. Prosessin jälkeen päätöksentekijällä on yleensä olennaisesti vankempi näkemys metsänsä tulevasta hoidosta, vaikka konkreettista suunnitelmaa ei olisi saatu aikaan. Suunnittelun oppimisvaikutus ja näkemysten selkiytyminen saavutetaan vain, mikäli päätöksentekijä osallistuu siihen aktiivisesti. Jos joku ulkopuolinen laatii suunnitelmat metsänomistajan puolesta tämän osallistumatta suunnitteluprosessiin, suunnittelun hyötyvaikutuksista saavutetaan todennäköisesti vain murto-osa. Yksi-

tyismetsien suunnittelussa tulisikin pyrkiä siihen, että metsänomistaja itse olisi varsinainen suunnittelija; metsäammattilaisen osana tulisi olla lähinnä tekninen apuhenkilö.

Suunnitteluun liittyvässä tavoiteanalyysissä, tuotantomahdollisuuksien kartoituksessa ja havainnollistamisessa sekä suunnitelmien koostamisessa hyödynnetään laajasti tietokoneita (Päivinen ym. 1992, Kangas 1995). Tietokoneohjelmistojakin kehitettäessä on pidettävä mielessä, että suunnitelman tekninen tuottaminen ei ole suunnittelusysteemin ainut tehtävä. Tärkeää on, että metsänomistaja pystyy ohjelmiston avulla sekä oppimaan että kirkastamaan omia tavoitteitaan ja näkemyksiään. Ohjelmiston havainnollisuus, ymmärrettävyys, helppokäyttöisyys, siirrettävyys ja joustavuus ovat näiden kannalta keskeisiä suunnitteluohjelmiston ominaisuuksia.

Suunnittelun numeerinen osa on nähtävä suunnitteluprosessin ytimenä, jonka täysimääräinen hyödyntäminen edellyttää inhimillistä taitoa. Kuvailevaa, ihmisen aivokapasiteettiin nojaavaa lähestymistapaa tarvitaan aina numeerisen analyysin tulintaan, selostamiseen ja soveltamiseen. Lopullinen valinta on inhimillisen päätöksentekijän vastuulla. Numeerinen suunnitteluohjelman optimointialgoritmeineen – ja nykyisin myös paikkatiedon hallintakeinoineen – on parhaimmillaan tehokas ja luotettava tuotantomahdollisuuksien ja suunnitelma- vaihtoehtojen analyysiväline, joka mahdollistaa suunnitteluprosessin kontrollin siirtymisen suunnittelijalta päätöksentekijälle. Tämä yhdessä analyysien antaman päätösten kanssa korostaa varsinaisen päätöksentekijän osuutta valintojen teossa.

Metsien hoitoa ja käyttöä koskeva päätöksenteko on usein monitavoitteista. Monitavoitteisessa numeerisessa suunnittelussa kohdataan teknisiä ongelmia, jotka johtuvat mm. tavoitteiden puutteellisesta yhteismitallisuudesta ja suunnitteluongelman monimutkaisuudesta. Suunnittelualueen tuotantomahdollisuuksien kuvaaminen ja erityisesti metsän käyttömuotojen välisten suhteiden hahmottaminen ovat vaikeita tehtäviä. Monitavoitteisuudesta aiheutuvia ongelmia voidaan vähentää soveltamalla metsäsuunnitteluun vuorovaikutteista ja iteratiivista lähestymistapaa. Menettely korostaa suunnittelun asiakaslähtöisyyttä ja parantaa suunnitteluprosessin ymmärrettävyyttä, mikä monesti on numeerisen suunnittelun pullonkaula.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kehittää Pukalan ja Kankaan (1993) esittämän heuristisen optimointimenetelmän sovellus vuorovaikutteiseen metsäsuunnitteluun ja testata sen toimivuus yksityismetsien käytännön suunnittelussa. Tutkimus kuuluu Joensuun yliopiston ja Metsätutkimuslaitoksen Kannuksen tutkimusaseman yhteistutkimushankkeeseen Monitavoitteisen metsäsuunnittelun menetelmät. Hanketta rahoittaa myös Suomen Akatemia.

2 Vuorovaikutteisen suunnittelun mallit ja menetelmät

Suunnitelman taustalle voidaan aina ajatella hyötöfunktio. Joissakin suunnittelumenetelmissä hyötöfunktio estimoidaan eksplisiittisesti *a priori*, toisissa se vaikuttaa implisiittisesti suunnitelman valintaan. Hyötöfunktion estimoinnin mahdollisuutta ja helppoutta voidaan tarkastella karkeasti ottaen kolmesta eri näkökulmasta:

- (1) Hyötöfunktio kyetään estimoimaan tarkasti, jolloin suunnittelun tehtävänä on funktion arvon maksimointi.
- (2) Hyötöfunktioista saadaan jonkinlainen käsitys, mutta sitä ei tunneta tarkasti.
- (3) Hyötöfunktioista ei ole minkäänlaista käsitystä, jolloin suunnitelma valitaan harkinnanvaraisesti erilaisin lähtöolettamuksin tuotettujen suunnitelma- vaihtoehtojen joukosta.

Näkökulma (2) vastannee useimmin todellista tilannetta.

Hyötöfunktioon liittyvä epävarmuus voidaan suunnittelusysteemiä kehitettäessä ottaa huomioon kahdella tavalla: estimoimalla hyötöfunktioon liittyvä epävarmuus ja ottamalla se huomioon suunnitelmien vertailussa esimerkiksi ns. skenaariotekniikan avulla, tai soveltamalla vuorovaikutteista suunnittelua. Vuorovaikutteista suunnittelua voidaan käyttää myös silloin, kun hyötöfunktioista ei ole minkäänlaista ennakkokäsitystä, minkä vuoksi sillä on käyttöä käytännöllisesti katsoen kaikissa suunnittelutilanteissa.

Vuorovaikutteisessa metsäsuunnittelussa päätök-

sentekijä toimii interaktiivisesti suunnittelujärjestelmän kanssa joko suunnittelijan välityksellä tai käyttäen itse suunnitteluohjelmaa. Aito vuorovaikutteisuus edellyttää välitöntä palautetta sekä päätöksentekijältä että suunnittelujärjestelmältä. Tämän vuoksi päätöksentekijän on oltava läsnä suunnitteluistunnossa. Suunnittelujärjestelmältä saatava välitön palaute puolestaan edellyttää riittävän tehokkaan tietotekniikan ja havainnollisen suunnittelumenetelmän soveltamista.

Vuorovaikutteinen suunnittelu perustuu optimointiin, jossa laskenta- ja päätöksentekovaiheet vuorottelevat (Steuer 1986). Päätöksentekovaiheessa päätöksentekijä arvioi kullakin iteraatiokierroksella tuotetun ratkaisun optimaalisuutta. Mikäli ratkaisu ei ole optimaalinen, hän päättää kuinka tavoitteita tai ratkaisua pitää muuttaa optimin löytämiseksi. Päätöksentekijän ohjeita ja arvioita käytetään hyväksi laskentavaiheessa uutta ratkaisua tuotettaessa. Iterointi lopetetaan, kun päätöksentekijä ilmoittaa ratkaisun olevan riittävän lähellä optimia. Teoreettisesti tarkastellen oikea hetki iterointiprosessin lopettamiseen on silloin, kun prosessin jatkamisella saavutettava suunnitelman paraneminen ei enää tuota suurempaa hyödynlisää kuin siitä koituva kustannus ja vaiva (eli negatiivinen hyötövaikutus) on. Käytännössä iterointi voidaan yleensä lopettaa, kun tuotettu suunnitelma tyydyttää metsänomistajaa.

Perimmäiseltä olemukseltaan vuorovaikutteinen optimointi on päätöksentekijän hyötymallin iteratiivista estimointia. Hyötymalli toimii päätöksentekovaiheen ja laskennallisen optimoinnin välisenä linkkinä, jolla päätöksentekijän preferenssejä koskeva informaatio välitetään laskentavaiheeseen.

Preferenssejä koskeva informaatio on kyettävä esittämään ongelmanratkaisutekniikan vaatimalla tavalla. Ratkaisutekniikasta riippuen hyötymalleissa käytetään mm. tavoitteiden painokertoimia (esim. Zions ja Wallenius 1976, Zions 1982), tavoitteiden tradeoffeja eli korvautuvuusuhteita (esim. Geoffrion ym. 1972) tai tavoite- eli aspiraatiotasoja (esim. Wierzbicki 1980, Mykkänen 1994) päätöksentekijän preferenssien kuvaamiseksi.

Vuorovaikutteinen metsäsuunnittelu kytketään kiinteästi tuotantomahdollisuuksiin, jolloin päätöksentekijälle voidaan antaa välitöntä palautetta suunnitelmavaihtoehtojen toteuttamisen todellisista

seurauksista. Tämä auttaa päätöksentekijää suunnittelun kohteen ja sen tuotantopotentialin hahmottamisessa. Palaute myös helpottaa eri tavoitteiden ja teknisten tavoitemuuttujien sekä niiden painoarvojen merkitysten mieltämistä. Tavoitteita ja niiden painoarvoja muutellen voidaan tutkia, millaisiin ratkaisuihin ja suunnitelmiin optimointilaskelmien erilaiset lähtökohdat johtavat. Tällainen suunnittelutehtävään syventyminen parantaa tyydyttävän suunnitelman laatimisen edellytyksiä.

Vuorovaikutteisen suunnittelun menetelmät voidaan jakaa hyötymallin käyttötavan ja estimoinnin mukaan hyötymallin *a priori*-estimointiin perustuviin menetelmiin sekä matemaattisen ohjelmoinnin vuorovaikutteisiin algoritmeihin. Ensin mainitut ovat menetelmiä, joissa päätöksentekijän preferensseistä pyritään saamaan mahdollisimman täsmällinen kuva jo alkuratkaisun tuottamisen pohjaksi, jolloin päästään jo ensimmäisellä ratkaisukerralla melko lähelle optimia. Hyötymallin onnistunut *a priori*-estimointi vähentää optimin löytämiseksi tarvittavien iteraatioiden määrää. Esimerkiksi Kankaan ja Pukkalan (1992) metsäsuunnitteluun kehittämää tavoiteohjelmointisovellusta voidaan käyttää tämän periaatteen mukaisesti. Tähän luokkaan kuuluvat myös eksplisiittisen hyötymallin *a priori*-estimointiin ja funktion maksimointiin perustuvat menetelmät, joissa ratkaisua parannetaan vuorovaikutteisesti esimerkiksi muuttamalla hyötyfunktion kertoimia. Matemaattisen ohjelmoinnin vuorovaikutteisissa algoritmeissa liikutaan tehokkaalla pinnalla päätöksentekijän lokaaleista preferensseistä saatavan tiedon opastamana. Näissä menetelmissä päätöksentekijän hyötymallia ei estimoida *a priori*.

Vuorovaikutteisia suunnittelumenetelmiä on esitetty lukuisia ja niitä on sovellettu tai niiden sovellustapoja on esitetty mm. maatalouteen, energiapolitiikkaan ja pankkitoimintaan (White 1990). Käytännön päätöstuessa vuorovaikutteisia optimointimenetelmiä on kuitenkin sovellettu harvoin. Steuer (1978) sekä Steuer ja Schuler (1981) käyttivät monitavoitteista linearista ohjelmointia metsätalouden valintaongelmissa. Pukkala (1988) sovelsi Korhosen (1986) visuaaliseen vuorovaikutteisyyteen perustuvaa monitavoiteohjelmointimenetelmää metsäsuunnitteluun. Pukkalan suunnittelu-esimerkissä metsän hoidon ja käytön tavoitteina olivat maisema, nettotulot ja jäävän puuston

tilavuus. Harrison ja Rosenthal (1988) esittivät vuorovaikutteisen menetelmän hakkuiden ajankohtaa ja voimakkuutta koskevan päätöksenteon tukemiseksi. Kilpeläinen (1991) tarkasteli puuntuotantohjelman vuorovaikutteista valintaa soveltaen Lapin (1992) kehittämää JLP-algoritmia. Myös Hyttisen (1992) esittämää maa- ja metsätalouden yhteissuunnittelumenetelmää on sovellettu vuorovaikutteisesti.

3 Vuorovaikutteinen heuristinen optimointi

3.1 Optimointimenetelmä

HERO on Pukkalan ja Kankaan (1993) monitavoitteisen metsäsuunnittelun tehtäviä varten esittämä optimointimenetelmä. Se perustuu päätösteoriaan, erityisesti monitavoitteiseen hyötyteoriaan, sekä heuristiikkaan ja analyttisessä hierarkiaprosessissa sovellettuun parivertailujen analysointimenetelmään. Keskeisinä tavoitteina HEROn kehittämissä ovat olleet metsäsuunnittelun tavoiteanalyysin tämentäminen ja monipuolistaminen sekä aidosti monitavoitteisen laskennan mahdollistaminen.

HEROn käyttö voidaan jakaa kahteen päävaiheeseen: hyötymallin estimointi ja optimointi. Optimoinnissa verrataan suunnitelmavaihtoehtoja hyötymallilla kuvattujen tavoitteiden kannalta ja valitaan hyötymallin arvon maksimoiva metsiköittäisten tuotanto-ohjelmien yhdistelmä. Hyötymallin estimoinnin ja optimoinnin jälkeen saadaan ratkaisu, jota voidaan ryhtyä parantamaan vuorovaikutteisesti graafisen käyttöliittymän avulla. Vuorovaikutteisessa osassa hyötymallin tämentäminen ja optimointi vuorottelevat, kunnes on päädytty päätöksentekijää tyydyttävään ratkaisuun.

Hyötymallin estimointi jakaantuu kolmeen vaiheeseen: tavoitemuuttujien valinta, tavoitemuuttujien suhteellisten painoarvojen määrittäminen ja osahyötyfunktioiden estimointi. Tavoitemuuttujien tärkeudet määritetään niiden kesken tehtävin pareittain vertailuin, jotka analysoidaan Saatyn (1977) esittämällä ominaisarvotekniikalla. Vertailuissa voidaan käyttää apuna graafista esitystä esimerkiksi

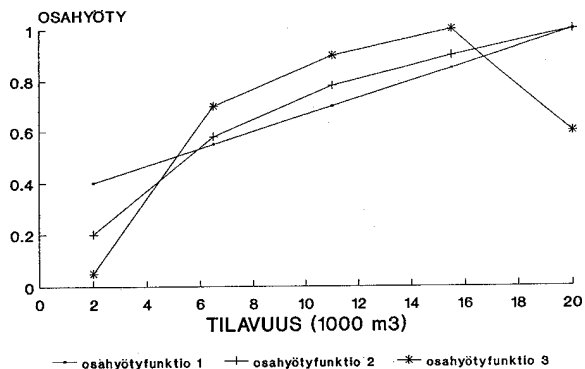
siten, että tärkeydet määritetään niitä ilmaisevien vaakapylväiden pituuksina. Analyysin päätuloksena saadaan parametrit additiiviseen hyötyfunktioon (1), joka ilmaisee kokonaishyödyn koostumisen tavoitemuuttujien mukaisista osahyödyistä. Menetelmä ei aseta tavoitemuuttujien määrälle rajoituksia.

$$U = \sum_{i=1}^m a_i u_i(q_i) \quad (1)$$

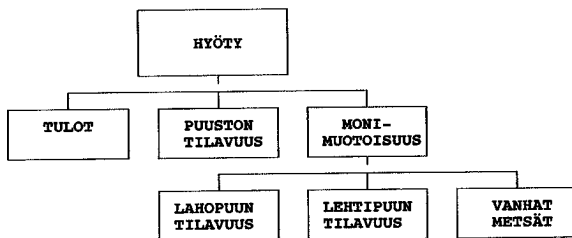
missä U on kokonaishyöty, m on tavoitteiden lukumäärä, a_i on tavoitteen i suhteellinen tärkeys (tärkeyksien summa yksi), $u_i(q_i)$ on tavoitteen i osahyötyfunktio (arvo nollan ja yhden välillä, suurin arvo on yksi) ja q_i on tavoitteen i määrä

Jokaiselle tavoitemuuttujalle estimoidaan osahyötyfunktio, joka kuvaa hyödyn suhteellisen muutoksen tavoitemuuttujan arvon funktiona. Osahyötyfunktion estimointia varten etsitään tavoitemuuttujan suurin ja pienin mahdollinen arvo tarkasteltavassa suunnittelutilanteessa. Ääriarvojen lisäksi valitaan n muuta tavoitemuuttujan arvoa, jolloin saadaan yhteensä $n + 2$ keskenään erisuurta, käytännössä mahdollista tavoitemuuttujan arvoa. Näiden arvojen toivottavuudet arvioidaan pareittaisin vertailuin. Ominaisarvotekniikalla tuotetaan vertailujen tavoitemuuttujan arvojen suhteellisia toivottavuuksia ilmaisevat lukuarvot. Suurin toivottavuus eli osahyöty skaalataan arvoon yksi. Muut osahyödyt skaalataan siten, että niiden suhde suurimpaan osahyötyyn säilyy samana. Väliarvojen tuottama osahyöty lasketaan lineaarisella interpoloinnilla. Osahyötyfunktio määritetään siten jaksottain lineaarisena funktiona, jonka muodolle ei ole muita ehtoja (kuva 1).

Mallissa (1) on mahdollista käyttää myös useasta laskennallisesta metsälötunnuksesta johdettuja suureita. Esimerkiksi metsälön monimuotoisuus voidaan kuvata kolmen komponentin avulla: lehtipuun tilavuus, vanhojen metsien osuus ja kuolleen puuston tilavuus (Kangas ja Pukkala 1996). Näille komponenteille estimoidaan osahyötyfunktioit selittämään monimuotoisuuden riippuvuutta komponenttien arvosta sekä määritetään komponenttien keskinäiset tärkeydet. Näin hyötymallin hierarkiaa muodostetaan yksi taso lisää (kuva 2). HERO mah-



Kuva 1. Esimerkkejä osahyötyfunktioista. Osahyödyn riippuvuus puuston tilavuudesta suunnittelukauden lopussa: kolme erilaista osahyötyfunktioita. Vaihtoehtoavaruuden minimi-tilavuus 2 000 m³ ja maksimi-tilavuus 20 000 m³.



Kuva 2. Esimerkki tavoitteiden muodostamasta hierarkiasta, jossa monimuotoisuus arvioidaan kolmen metsälötunnuksen avulla (Kangas ja Pukkala 1995).

dollistaa periaatteessa miten monta hierarkiatasoa tahansa. Edellisen esimerkin monimuotoisuuskuvausta voitaisiin edelleen täsmentää vaikkapa jakamalla komponentti kuolleen puun tilavuus puulajien ja lahoasteiden mukaisiin osiin, jolloin osahyötyfunktioit määritettäisiin niiden suhteen.

Optimointivaiheessa käytetään heuristista suorahakualgoritmia (esim. Kilkki 1985). Metsiköittäisten käsittelyvaihtoehtojen joukosta haetaan se yhdistelmä (jokaiselle metsikölle yksi ja vain yksi vaihtoehto), joka maksimoi hyötymallin arvon.

HERO ei yksinään ole suunnittelusysteemi vaan tavoiteanalyysin ja optimoinnin sisältävä päätöstuki-menetelmä, joka voidaan periaatteessa sovittaa osaksi mitä tahansa suunnittelujärjestelmää. Sovel-

lettavan suunnittelusysteemin ominaisuudet määrittävät hyötymallin estimoinnissa valittavissa olevien tavoitemuuttujien joukon. Paitsi tavoitemuuttujia ja niiden painoarvoja myös osahyötyfunktioita on mahdollista muuttaa vuorovaikutteisessa suunnittelussa. Yksityiskohtaisen kuvauksen HEROsta ovat esittäneet Pukkala ja Kangas (1993, 1994). HEROa on sovellettu myös osallistavaan metsäsuunnitteluun (Kangas ym. 1996).

3.2 Sovellusesimerkki

Seuraavassa esitetään suunnitteluesimerkki HEROMenetelmän vuorovaikutteisen sovelluksen havainnollistamiseksi. Suunnitelma tuotettiin kuvitellun päätösstrategian pohjalta.

Suunnittelualue

Suunnittelualue sijaitsi Lieksan Hattuvaarassa. Laajuudeltaan alue oli 1 500 ha, josta maa-alueita oli 1 350 ha ja vesialuetta 150 ha. Suunnittelualue oli maaperältään melko karu. Kivennäismaat olivat pääasiassa kuivahkoa kangasta. Mänty oli alueella selvästi yleisin puulaji yli 90 prosentin osuudellaan kokonaistilavuudesta. Alueen erikoispiirteitä olivat pienialaiset harjut, muutamat aarnimetsiköt, sodanaikaiset rakennelmat ja alueella kulkeva suosittu vaellusreitti.

Alkuperäinen hyötymalli ja alkuratkaisu

Suunnittelualueen metsien hoidon ja käytön tavoitteiksi asetettiin nettotulot suunnittelukaudella 1995–2004, jäävän puuston tilavuus vuonna 2005, maisema vuonna 2005 ja monimuotoisuus vuonna 2005. Jäävän puuston tilavuudella (m^3) kuvattiin puuntuotannon kestävyyttä.

Maisematavoitetta mitattiin metsiköittäin laskettujen maisemaindeksien keskiarvolla (Pukkala ym. 1988). Monimuotoisuuden mittarina käytettiin indeksiä, joka laskettiin lehtipuun tilavuuden (m^3/ha), vanhojen metsien osuuden (% koko pinta-alasta) ja lahopuun tilavuuden avulla (m^3/ha) (Kangas ja Pukkala 1996).

Taulukko 1. Iteraatioiden kulku esimerkkilaskelmassa: tavoitemuuttujien tärkeydet eri iteraatioilla sekä tavoitemuuttujien arvot vastaavissa optimiratkaisuissa. Iteraatio 0. tarkoittaa ensimmäistä optimointilaskelmaa.

| Tavoitemuuttuja | Iteraatio | Tärkeys | Arvo |
|----------------------------|-----------|---------|---------------|
| Nettotulot 1995–2004 | 0. | 0,326 | 4 809 964 mk |
| | 1. | 0,426 | 5 569 776 mk |
| | 2. | 0,526 | 5 807 700 mk |
| | 3. | 0,626 | 7 981 089 mk |
| Tilavuus vuonna 2005 | 0. | 0,326 | 112 968 m^3 |
| | 1. | 0,278 | 106 381 m^3 |
| | 2. | 0,229 | 105 106 m^3 |
| | 3. | 0,181 | 86 443 m^3 |
| Maisema-arvo vuonna 2005 | 0. | 0,174 | 5,6 |
| | 1. | 0,148 | 5,6 |
| | 2. | 0,122 | 5,5 |
| | 3. | 0,096 | 5,3 |
| Monimuotoisuusindeksi 2005 | 0. | 0,174 | 1,6 |
| | 1. | 0,148 | 1,5 |
| | 2. | 0,122 | 1,5 |
| | 3. | 0,096 | 0,8 |

Osahyötyfunktioit määriteltiin nettotulojen, jäävän puuston tilavuuden ja keskimääräisen maisema-arvon suhteen parivertailuilla. Monimuotoisuusmallin komponenttien tärkeydet ja osahyötyfunktioit oli kysytty metsäekologian asiantuntijalta (Kangas ja Pukkala 1996), eikä niiden muuttamista katsottu tarpeelliseksi. Tavoitteiden tärkeydet määritettiin parivertailuilla Pukkalan ja Kankaan (1993) esittämien periaatteiden mukaisesti.

Parivertailujen perusteella tuotettiin additiivinen hyötyfunktio, jota maksimoimalla saatiin ensimmäinen ratkaisu. Alkuperäistä hyötyfunktioita maksimoimalla saatu ratkaisu koettiin melko hyväksi. Nettotuloja haluttiin kuitenkin lisätä, ellei lisäyksen takia jouduttaisi tinkimään liiaksi maiseman kauneudesta ja monimuotoisuudesta. Jäävän puuston tilavuuden toivottiin pysyvän vähintään nykyisen suuruisena (noin 100 000 kuutiometriä). Näiden periaatteiden mukaisesti aloitettiin iteratiivinen optiminhanke, missä tavoitteita ja niiden tärkeyksiä vaihdellen haettiin tyydyttävää suunnitelmaa. (taulukko 1).

Iteraatiot

Ratkaisun parantamiseksi nettotulojen painoarvoa lisättiin aluksi 0,1:llä. Uutta hyötyfunktioita maksimoimalla tuotettiin uusi ratkaisu. Uudessa ratkaisussa nettotulot lisääntyivät, tilavuus pieneni, maisema-arvo pysyi ennallaan ja monimuotoisuusindeksin arvo laski. Tilavuus oli vieläkin yli 100 000 m³. Monimuotoisuuden väheneminen oli niin vähäistä, että uusi suunnitelma oli lisääntyneine nettotuloineen alkuperäistä parempi.

Maisema ja monimuotoisuus eivät oleellisesti huonontuneet ensimmäisen iteraation seurauksena. Niinpä haluttiin kokeilla, mitä vaikutuksia on nettotulojen painoarvon nostamisella edelleen 0,1:llä.

Toisen iteraation tuloksena nettotulot lisääntyivät, tilavuus pieneni (oli silti yli 100 000 m³), maisema-arvo pieneni ja monimuotoisuus pysyi ennallaan. Tämä ratkaisu todettiin edellistä paremmaksi, koska 238 000 markan nettotulojen lisääntymisestä saatava hyöty koettiin suuremmaksi kuin maisema-arvon huonontumisesta aiheutuva hyödyn menetys.

Nettotulojen painoarvoa nostettiin edelleen 0,1:llä, koska tilavuus oli toisen iteraation jälkeen yli 100 000 m³ eivätkä maisema-arvo ja monimuotoisuus olleet oleellisesti huonontuneet. Kolmannen iteraation ratkaisussa tilavuus jäi selvästi alle 100 000 kuutiometrin ja monimuotoisuusindeksi sai arvon 0,76. Ratkaisua ei pidetty toteuttamiskelpoisena.

Toisella iteraatiolla tuotettu päätösuositus valittiin metsäsuunnitelmaan. Periaatteessa ratkaisun hakua olisi voitu jatkaa pienentämällä iteroinnin askelväliä ja etsimällä ratkaisua toisen ja kolmannen ratkaisupisteen välistä.

4 Menetelmän testaus

4.1 Aineisto

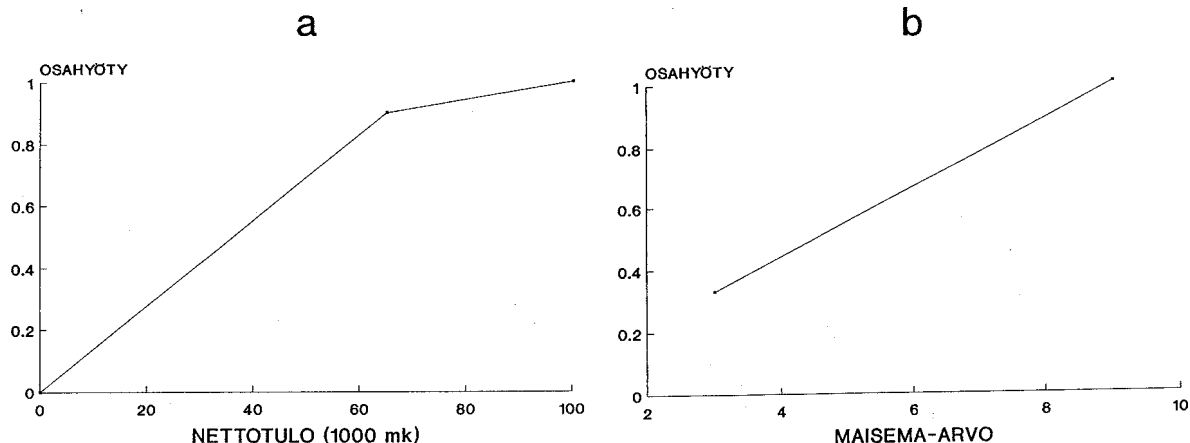
HERO-menetelmän vuorovaikutteista soveltamista kokeiltiin käytännön suunnittelussa Pohjois-Karjalan metsälautakunnan (nykyään Pohjois-Karjalan metsäkeskus) alueella Liperin Vaiviossa. Kokeilu oli osa metsälautakunnan yksityismetsien metsä-

suunnittelun kehittämishanketta. Tämän ns. Vaivio-projektin tavoitteena oli metsäsuunnittelun tietosisällön parantaminen ja asiakaslähtöiseen metsäsuunnitteluun sopivan menetelmän kehittäminen (Karvinen 1995). Samalla kun testattiin uuden suunnittelumenetelmän käyttökelpoisuutta, kokeiltiin myös HEROon liitettyä metsien monimuotoisuuden operationaalistamismenetelmää (ks. Kangas ja Pukkala 1996).

Tässä tutkimuksessa HEROa käytettiin MONSU-ohjelmiston (Pukkala 1993) optimointimenetelmänä vuorovaikutteisessa metsäsuunnittelussa, jolloin tavoitemuuttujiksi olivat valittavissa tavanomaisten puusto- ja kasvupaikkatunnusten (kuten puuston kokonais- ja puulajeittaiset tilavuudet ja hakkuuarvot eri ajankohtina kymmenen vuoden välein sekä nettotulot, puuston kokonais- ja puulajeittaiset tilavuuskasvut ja poistuma kymmenvuotiskausina) lisäksi maisema- ja ulkoiluarvot, monimuotoisuusindeksi sekä lahoppuuston tilavuudet. Kaikki valittavissa olleet tavoitemuuttujat esiteltiin metsänomistajille näyttöpäätteen kuvaruudulla, ja metsänomistaja sai vapaasti valita mieleisensä tavoitemuuttujat – toki suunnittelijan opastuksella.

HERO-menetelmän alustavien kokeilujen jälkeen osahyötyfunktioiden estimointi todettiin melko vaikeaksi mieltää ilman kunnollista perehdyttämistä. Koska suunnittelun käytännössä toteuttaneilla metsälautakunnan suunnittelijoilla ei ollut riittävästi aikaa metsänomistajien perehdyttämiseen, osahyötyfunktioiden estimointia yksinkertaistettiin HERO-menetelmän perusversiosta. Helposti mielletävien tavoitteiden kuten tulot, poistuma, puuston tilavuus ja hakkuuarvo kohdalla osahyötyfunktio määriteltiin tavoitetason ja sen suhteellisen hyvyyden avulla. Tuloksena oli yleensä osahyötyfunktioita, joiden mukaan hyöty lisääntyi tavoitetasoon saakka nopeasti, ja sen jälkeen enää hitaasti (kuva 3a). Vaikeammin mielletävien tavoitesuureiden kuten maisema-arvo, marjasato ja monimuotoisuus kohdalla hyödyn oletettiin olevan suoraan verrannollinen tavoitesuureen lukuarvoon (kuva 3b).

Suunnitteluala inventoitiin kenttäkaudella 1994. Maastossa arvioitiin paitsi normaalit kasvupaikka- ja puustotunnukset myös kuolleet puut ja lahoppuut. Useimmat metsänomistajat olivat mukana jo maastotyövaiheessa. Maastotyön aikana myös määritettiin metsiköille vaihtoehtoisia käsittely-



Kuva 3. Esimerkkejä Vaivio-hankkeessa käytetyistä osahyötyfunktioista, joissa tuotantomahdollisuuksien minimiarvon osahyöty on määritetty suoraan minimin suhteena tuotantomahdollisuuksien maksimiin. Osakuvassa a tuotantomahdollisuuksien minimi on 0 mk ja maksimi 100 000 mk sekä tavoitetaso 65 000 mk (päätoksentekijä määrittää tavoitetason ja sen osahyödyn suhteessa maksimiarvoon). Osakuvan b hyötyfunktio perustuu oletukseen vakiorajahyödyistä minimin (maisemaindeksin arvo 3,0) ja maksimin (9,0) välillä.

ehdotuksia. Jos metsänomistaja oli mukana maastossa, suunnittelija ja metsänomistaja keskustelivat käsittelyvaihtoehdoista jo paikan päällä metsässä. Käsittelyehdotukset yhdessä suunnittelijan jälkikäteen määrittämien vaihtoehtojen käsittelyjen kanssa muodostivat optimointilaskelmien vaihtoehtoavaruuden. Kunkin vaihtoehdon toteuttamisen seuraamukset arvioitiin metsän kasvun ja kehityksen ennustemalleihin perustuvalla numeerisella simuloinnilla. Yhdelle metsikölle tuotettiin tyypillisesti kahdesta kuuteen vaihtoehtoa (joiden joukossa oli useimmiten lepovaltuusvaihtoehto), ellei metsänomistaja ollut jo maastotöiden aikaan ehdottomasti päättänyt valita jonkin tietyn vaihtoehdon metsikön käsittelyohjelmaksi. Esimerkiksi metsänkäsittelyohjeiden mukaan uudistuskypsälle tuoreen kankaan männikölle voitiin tuottaa lepovaltuusvaihtoehdon lisäksi vaihtoehdot avohakkuu-maanmuokkaus-männyn (tai kuusen tai koivun) viljely-taimikonhoito, siemenpuuhakkuu-luontainen uudistaminen-siemenpuuiden poisto-taimikonhoito ja harvennushakkuu.

Suunnittelun alueen metsänomistajista kymmenen halusi osallistua vuorovaikutteisen metsäsuunnittelun vapaaehtoiseen kokeiluun ja testiin. HEROn vuorovaikutteisella sovelluksella tuotettiin metsäsuunnitelma siten kaikkiaan kymmenelle tilalle. Nämä suunnitteluprosessit muodostivat tämän tut-

kimuksen aineiston. Tilojen yhteenlaskettu pinta-ala oli 405,3 ha ja keskimääräinen siten 40,5 ha. Suurimman tilan pinta-ala oli 70 ha ja pienimmän 18 ha. Kullekin metsänomistajalle tuotettiin suunnitelma vain yhdellä menetelmällä. Siten HEROlla laadittuja suunnitelmia ei voitu verrata muilla tavoin tuotettuihin suunnitelmiin.

Tutkimuksen tilojen metsät olivat varsin reheviä. Metsämaasta lehtojen ja lehtomaisten kankaiden osuus oli tiloilla keskimäärin 19,1 %, tuoreen kankaan 45,2 % ja kuivahkon kankaan 28,1 %. Metsämaasta rämeen osuus oli keskimäärin 4,0 prosenttia ja korven keskimäärin 3,5 %. Yhteenlaskettu kitu- ja joutomaiden osuus oli keskimäärin 0,8 % koko tilan pinta-alasta.

Mänty oli puulajeista yleisin 69,9 %:n keskimääräisellä osuudellaan puuston kokonaistilavuudesta. Kuusta tiloilla oli keskimäärin 16,6 % ja lehtipuuta yhteensä 13,6 % tilavuudesta.

Tutkimuksen metsänomistajista yksi oli akateemisesti koulutettu. Muiden koulutustaso oli alhaisempi, yleensä keski- tai kansakoulu. Metsänomistajien keski-ikä oli 47,5 vuotta. Nuorin metsänomistaja oli 35 vuotta ja vanhin 63 vuotta. 8 metsänomistajaa asui Vaivioissa, yksi Liperin Käsälässä ja yksi Joensuussa. Naisia metsänomistajista oli kolme ja miehiä seitsemän.

Taulukko 2. Tavoitteet, niiden painoarvot vuorovaikutteisen optimoinnin alussa ja lopussa sekä tavoitemuuttujien arvot optimoinnin alussa ja lopussa. Poistuma on kokonaispoistuma vuosina 1995–2004. Nettotulot ovat nettotulot vuosina 1995–2004. Tilavuus on jäävän puuston kokonais-tilavuus vuonna 2005. Maisema-arvo on laskettu vuodelle 2005. Yhden tilan (tila 3) tavoitemuuttujien arvot optimoinnin alussa puuttuivat aineistosta.

| Tila | Tavoite- muuttuja | Tärkeys alussa | Tärkeys lopussa | Arvo alussa | Arvo lopussa | Arvon muutos, % |
|------|--------------------------|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|--------------------|
| 1 | Poistuma, m ³ | 0,125 | 0,125 | 3 521 | 3 521 | 0,0 |
| | Nettotulot, mk | 0,857 | 0,857 | 331 570 | 331 570 | 0,0 |
| 2 | Tilavuus, m ³ | 0,500 | 0,650 | 4 064 | 4 156 | 2,2 |
| | Nettotulot, mk | 0,500 | 0,350 | 218 666 | 214 716 | -1,8 |
| 3 | Tilavuus, m ³ | 0,500 | 0,881 | | 4 740 | |
| | Nettotulot, mk | 0,500 | 0,119 | | 100 000 | |
| 4 | Tilavuus, m ³ | 0,500 | 0,803 | 7 041 | 8 018 | 13,9 |
| | Nettotulot, mk | 0,500 | 0,197 | 414 693 | 285 847 | -25,4 |
| 5 | Tilavuus, m ³ | 0,500 | 0,650 | 4 736 | 5 727 | 20,9 |
| | Nettotulot, mk | 0,500 | 0,349 | 259 246 | 149 829 | -42,2 |
| 6 | Tilavuus, m ³ | 0,500 | 0,650 | 5 463 | 6 033 | 10,4 |
| | Nettotulot, mk | 0,500 | 0,350 | 273 755 | 205 011 | -25,1 |
| 7 | Tilavuus, m ³ | 0,521 | 0,691 | 4 800 | 5 284 | 10,1 |
| | Poistuma, m ³ | 0,479 | 0,309 | 2 753 | 2 377 | -13,7 |
| 8 | Tilavuus, m ³ | 0,832 | 0,886 | 1 930 | 1 991 | 3,1 |
| | Nettotulot, mk | 0,168 | 0,114 | 57 736 | 50 282 | -12,9 |
| 9 | Nettotulot, mk | 0,697 | 0,697 | 619 620 | 619 620 | 0,0 |
| | Poistuma, m ³ | 0,231 | 0,231 | 4 031 | 4 031 | 0,0 |
| | Maisema | 0,072 | 0,072 | 5,4 | 5,4 | 0,0 |
| 10 | Tilavuus, m ³ | 0,220 | 0,290 | 4 974 | 5 342 | 7,4 |
| | Nettotulot, mk | 0,260 | 0,051 | 133 858 | 70 537 | -47,3 |
| | Maisema | 0,520 | 0,660 | 6,1 | 6,2 | 1,64 |

Kustakin suunnitteluprosessista kirjattiin ylös ensimmäiseksi muotoiltu hyötymalli ja sen perusteella tuotettu suunnitelma, metsänomistajan lopulta valitsema suunnitelma ja siihen johtanut hyötymalli, iterointien määrä, hyötymallin muuttujien ja niiden kertoimien vaihdot eri iteraatioilla sekä suunnitteluistuntoon kulunut aika. Lopuksi kysyttiin metsänomistajien näkemystä vuorovaikutteisen heuristisen optimoinnin mielekkyydestä ja tuotetun suunnitelman tyydyttävyydestä sekä keskusteltiin va-

pamuotoisesti lähestymistavan ja menetelmien kehittämistarpeista.

3.2 Tulokset

Vuorovaikutteinen lähestymistapa osoittautui tarpeelliseksi tyydyttävän suunnitelman löytämiseksi useimpien tutkimuksissa mukana olleiden metsänomistajien kohdalla. Kahdeksan kymmenestä met-

sänomistajasta muutti valitsemiensa tavoitemuuttujien tärkeyssuhteita iteroinnin aikana.

Tavoitteiden lopullisten tärkeyksien löytämiseen tarvittiin yleensä korkeintaan kolme optimointikierrosta. Yksi metsänomistaja muutti tavoitemuuttujia istunnon aikana kolme kertaa palaten lopullisessa valinnassa alkuperäiseen muuttujajoukkoon joskin erilaisin tärkeyssuhtein. Muut metsänomistajat eivät vaihtaneet muuttujia kertaakaan. Kahden metsänomistajan kohdalla lopullinen suunnitelma löytyi alkuperäistä hyötyfunktioita maksimoimalla (taulukko 2).

Tavoitemuuttujien ja niiden tärkeyssuhteiden muutokset heijastuivat muutoksina laadittujen suunnitelmien mukaisesti metsän tilaa ja sen kehitystä kuvaavien tunnusten arvoihin. Yleensä kiinnostavimpia olivat tavoitemuuttujiksi valittujen tunnusten arvot, mutta myös muu informaatio vaikutti monesti suunnitelman tyydyttävyyden arviointiin. Suunnitteluistuntoon kului keskimäärin 47 minuuttia, mikä ei sisällä menetelmään perehdyttämiseen kulunutta aikaa. Istuntoajat vaihtelivat 30 minuuttista 90 minuuttiin. Tavoitemuuttujiksi valittiin tyypillisesti nettotulot, poistuma ja puuston tilavuus. Ainoastaan kaksi metsänomistajaa valitsi maiseman tavoitemallinsa muuttujaksi. Huomionarvoista on, että muutokset tavoitemuuttujien painoarvoissa tehtiin aina niin, että nettotulojen määrä suunnittelukaudella väheni.

Yksi metsänomistajista piti suunnitelman laatimisen periaatteita erittäin vaikeina ja yksi vaikeina. Neljän metsänomistajan mielestä periaatteet eivät olleet vaikeita eivätkä helppoja. Kaksi metsänomistajaa piti periaatteita helppona ja kaksi metsänomistajaa erittäin helppona.

Erittäin vastenmielisenä suunnitelman laatimista ei pitänyt yksikään metsänomistajista. Vastenmieliseksi lähestymistavan koki yksi metsänomistaja. Kolme metsänomistajaa ei pitänyt lähestymistapaa sen enempää vastenmielisenä kuin mielekkäänäkään. Kolme metsänomistajaa piti menetelytapaa mielekkäänä ja kolme metsänomistajaa erittäin mielekkäänä.

5 Tarkastelu

Tutkimuksessa toteutettu HERO-menetelmän vuorovaikutteinen sovellus havaittiin yksityismetsien suunnittelun kokeilussa kehityskelpoiseksi metsäsuunnittelun lähestymistavaksi. Merkillepantavaa oli metsänomistajien myönteinen suhtautuminen asiakaslähtöiseen ja monitavoitteiseen suunnitteluun.

Kaikkia metsänomistajia vuorovaikutteinen suunnittelu ei kiinnosta. Yleinen syy tähän on se, että vuorovaikutteinen suunnittelu vaatii metsänomistajan aktiivista osallistumista suunnitteluprosessiin. Niiden metsänomistajien kohdalla, joita osallistuminen suunnitteluprosessiin ei kiinnosta tai joilla ei ole siihen mahdollisuutta, on panostettava tavoitemallin ensikertaiseen estimointiin. Passiivisten metsänomistajien kohdalla olisi ilmeisesti paikallaan soveltaa HERO:n tavoiteanalyysiä yksinkertaisempaa tapaa tiedustella metsien hoidon ja käytön päämäärät.

Tavoitemuuttujien ja niiden tärkeyssuhteiden ensikertaisen valinnan onnistuminen helpottaa myös vuorovaikutteisen suunnitteluprosessin onnistumista. Se nopeuttaa tyydyttävän suunnitelman laatimista. Vaivio-hankkeessa saatu palaute kuitenkin viittaa siihen, että hyötyfunktion täsmällinen ensikertainen estimointi ei ole suunnittelun onnistumisen välttämätön edellytys. Hyötyfunktion estimointi koettiin lisäksi suunnittelun vaikeimpana vaiheena. Jo ennen HERO:n käytön aloitusta menetelmää yksinkertaistettiin osahyötyfunktioiden estimoinnin osalta. Vaivio-hankkeen jälkeen alueen suunnittelijat ehdottivat menetelmän yksinkertaistamista edelleen niin, että tavoitteiden tärkeyssuhteitakaan ei estimoitaisi parivertailuin. Tämän muutoksen jälkeen hyötyfunktion ensikertainen estimointi sisältäisi ainoastaan tavoitteiden valinnan sekä tavoite-
tasojen (ja niiden suhteellisten hyvyksien) antamisen erälle helposti mielletäville tavoitesuureille. Nämä kokemukset puhuvat sen puolesta, että käytännön suunnittelussa suunnitelman vuorovaikutteisen parantamisen mahdollisuus on hyötyfunktion ensikertaista estimointia keskeisempi osa HERO-menetelmää. Toisaalta on oletettavaa, että kynnys hyväksyä laadittu suunnitelma madaltuu prosessin pitkittyessä. Näin preferenssien esti-

moinnin täsmällisyys ja tehtyjen muutosten oikeasuuntaisuus ovat tärkeitä vaatimuksia myös vuorovaikutteiselle suunnittelulle.

Metsänomistajien kyky osallistua suunnittelulaskelmien laadintaan ja tukea prosessin etenemistä vaihtelee. Metsänomistajien erilaisuuden takia metsäsuunnittelunkin on oltava joustavaa. Asiakaskeksisessä suunnittelussa tulisi voida valita useita erilaisista suunnittelutekniikoista ja -käytännöistä parhaiten päätöksentekijän tarpeita ja mahdollisuuksia vastaava. Valinta edellyttää suunnittelijalta perinteisen metsä- ja ympäristöosaamisen lisäksi psykologista silmää. Numeeriseen optimointiin perustuvan vuorovaikutteisen suunnittelumenetelmän lisäksi perinteiset kuvailevat menetelmät ovat tarpeellisia suunnittelun keinovalikoimassa. Paras lopputulos saavutettaneen usein eri menetelmien yhteiskäytöllä.

Jotkut metsänomistajat saattavat jopa tehdä suunnitelmansa itse opittuaan suunnittelumenetelmän käytön ja saatuaan metsän nykytilaa kuvaavan aineiston käyttöönsä. Tämä on onnistuessaan suositeltava suunnittelukäytäntö. Tällöin vältetään suunnittelijan mahdollisesti tiedostamaton tai joskus ehkä jopa tarkoituksellisesti manipuloiva vaikutus tavoiteanalyysiin, mikä voi johtaa poikkeamiseen metsänomistajan omia tavoitteita kuvastavasta optimointitehtävän muotoilusta.

On todennäköistä, että tämän tutkimuksen aineistoon valikoitui keskimääräistä valveutuneempia metsänomistajia, joilla ei ollut negatiivista asennetta metsäsuunnittelun asiakaslähtöisemmäksi kehittämistä kohtaan. Juuri aineistoon ilmeisesti valikoituneiden kaltaisille metsänomistajille nyt kehitetty suunnittelumenetelmä sopinee parhaiten. Kattavan kuvan saaminen vuorovaikutteisen heuristisen optimoinnin soveltuvuudesta yleiseksi suunnittelumenetelmäksi olisi edellyttänyt laajemman ja paremmin koko metsänomistajakunnan kirjoa edustavan aineiston. Lisäksi olisi ollut eduksi voida verrata sitä vaihtoehtoisin menetelmiin siten, että samoille metsänomistajille olisi laadittu suunnitelmat usein eri menetelmin. Jotta voitaisiin arvioida uuden menetelmän hyvyttä, pitäisi selvittää, tuottaako sillä laaditun suunnitelman toteuttaminen suuremman hyödyn kuin aikaisemmin käytetyillä tavoilla laadittujen suunnitelmien toteuttaminen. Eri menetelmin tuotettujen suunnitelmien to-

teuttamisen vaikutuksia metsänomistajan kokemaan hyötyyn ei kuitenkaan käytännössä voida varmuudella mitata, koska useita erilaisia suunnitelmia ei voida samanaikaisesti samassa metsälössä toteuttaa.

Vuorovaikutteinen suunnittelu on mielenkiintoinen ja opettavainen tapa laatia metsäsuunnitelma. Parhaimmillaan se voi mahdollistaa oivallisen oppimisprosessin. Toistamalla suunnittelulaskelma useaan kertaan eri tavoitemäärittelyin saadaan katkava kuva tilan tuotantomahdollisuuksista ja eri tavoitemallien vaikutuksista metsän kehitykseen ja siitä saataviin hyötyihin. Oppimisen mahdollisuus onkin yksi vuorovaikutteisen suunnittelun suurimpia etuja. Sen ansiosta mm. tiedostetaan paremmin päätösten vaikutukset ja tavoitteiden väliset riippuvuudet (Genser 1985). Oppiminen helpottaa päätöksentekoa vuorovaikutteisessa suunnittelussa myös silloin, kun tarkastellaan eri intressitahojen preferenssien huomioonottamisen vaikutuksia (Kangas ym. 1996) tai kun riski ja epävarmuus sisällytetään suunnitteluun (Kangas 1992, Pukkala ja Kangas 1996). Siksi vuorovaikutteisuus olisi kokeilemisen arvoista myös osallistavassa metsäsuunnittelussa usean osallistujan tilanteessa sekä ryhmäpäätöksentekotilanteissa, kuten yhtymän omistaman metsän suunnittelussa.

Vuorovaikutteinen suunnittelu auttaa ymmärtämään paremmin myös vaikeasti mielletävien tavoitemuuttujien sisällön ja merkityksen. Erityisesti sellaisten suureiden, jotka ilmaistaan indeksiarvoin, tulkinta ja merkityksen ymmärtäminen on hankalaa. Ymmärtämisen hankaluus voi johtaa jopa tällaisten tavoitteiden eliminoitumiseen käytännön suunnittelussa, vaikka ne olisivatkin tärkeitä metsänomistajan mielestä. Helpointa tavoitteiden kuvaaminen on silloin, kun jokainen metsän hoidolle ja käytölle asetettava tavoite voidaan kuvata yhdellä, helposti tulkittavalla ja ilmaistavalla tavoitemuuttujalla (Howard 1991).

Tässäkin tutkimuksessa metsänomistajat mielellään pitäytyivät tavoitemuuttujissa, jotka kuvattiin konkreettisin, tunnetuin mittayksiköin: markoin ja kuutiometrein. Muita kuin puuntuotannollisia tavoitteita kuvaavia muuttujia ei monikaan sisällyttänyt tavoitemalleihinsa. Yksi syy tähän oli sekä metsänomistajien että suunnittelijoiden tottumattomuus sovellettuun lähestymistapaan ja laskennassa

käytettyihin eräisiin tunnuksiin, kuten monimuotoisuusindeksiin (Kangas ja Pukkala 1996) ja maisema-arvoihin (Pukkala 1988).

Haluttaessa käyttää vaikeasti miellettäviä tavoitemuuttujia niiden tulkinnan apuneuvona voidaan soveltaa tietokonegrafiikkaa esimerkiksi maisemanäkymien, ulkoilun simuloinnin ja teemakarttojen muodossa (esim. Pukkala 1993). Havainnollistamistapojen karkeuden takia niiden tehokas hyödyntäminen edellyttää päätöksentekijältä ja suunnittelijalta harjaantumista ja tottumista.

Nyt toteutettu metsäsuunnittelukokeilu antoi viitteitä siitä, että useiden metsänomistajien on vaikea määrittellä tavoitteitaan kovin täsmällisesti. Näin on asianlaita ainakin numeerista optimointia sovellettaessa. Ei voida odottaa, että kaikki metsänomistajat ymmärtävät, mitä eri tavoitemuuttujat mittaavat. Esimerkiksi metsäammattilaisten toistuvasti käyttämät termit poistuma ja puuston tilavuus saattavat olla merkityksiltään hämäriä useille; puhumattakaan tuottoarvosta, maisema-arvoista ja monimuotoisuusindekseistä. Nykyisiä tekniikoita käytettäessä joudutaan turvautumaan metsäsuunnittelijan ammattitaitoon metsänomistajan tavoitteita heijastavan hyötymallin muotoilussa. Metsäsuunnittelun tutkijoilla riittääkin työsarkaa kehittäessään keinoja pukea metsänomistajien tavoitteet numeeriksi, helposti tulkittaviksi ja ymmärrettäviksi suureiksi.

Tavoitemuuttujien valinta ja niiden painoarvojen määrittäminen osoittautui metsänomistajille vaikeaksi erityisesti ensimmäistä tavoitemallia estimoitaessa. Tavoitemallin ensikertainen muotoilu ja vuorovaikutteinen optimointi vaativat tämän vuoksi suunnittelijalta ohjelmiston käytön vahvaa ohjausta varsinkin suunnitelman vuorovaikutteisen koostamisen alussa. Tavoitemuuttujien ja niiden tärkeyksien vuorovaikutteinen vaihtelu on nähtävä lähinnä optiminhaun teknisenä apuneuvona. Valittuun suunnitelmaan johtavaa hyötymallia ei voi välttämättä pitää sinänsä parhaiten päätöksentekijän preferenssejä kuvaavana mallina. Lisäksi muuttujilla voi olla eri hyötymalleissa erilainen tulkinta. Esimerkiksi puuston tilavuus suunnittelukauden lopussa voidaan valita hyötymallin muuttujaksi puuntuotannon kestävyuden ilmentäjänä, mutta sitä voidaan käyttää osaltaan myös arvioitaessa ekologista kestävyyttä. Lopullisen hyötymallin muuttujia ja

kertoimia ei siten pidä tulkita suoraviivaisesti tavoitteiksi ja niiden tärkeyksiksi. Tavoitemallin tekninen luonne korostuu vuorovaikutteisessa suunnittelussa.

Tavoiteanalyysissä ilmenneitä ongelmia voitaneen helpottaa välttämällä suunnitteluohjelmiston käyttöä heti suunnittelun alkuvaiheessa. Päätöstilanteen ja päämäärien alustava analysointi suunnittelijan ja päätöksentekijän välisen keskustelun avulla ennen ryhtymistä optimointilaskelmiin parantaneet tavoiteanalyysin onnistumisen edellytyksiä. Tarkoitusta varten kehitetyn neuvottelu- ja haastattelutekniikan soveltamisella suunnittelun alussa saattaisi olla saavutettavissa merkittävää parannusta tavoitteiden selkiyttämiseksi käytännön metsäsuunnittelussa. Metsäsuunnittelun tutkimuksissa tulisikin jatkossa paneutua syvemmin tavoiteanalyysin problematiikkaan.

Monitavoitteisessa suunnittelussa tulisi voida arvioida, miten eri näkökohtien ja niitä kuvaavien tavoitemuuttujien painottaminen suunnittelun ja päätöksenteon perusteena vaikuttaa muiden tavoitemuuttujien arvoihin. On esimerkiksi valaisevaa tietää, kuinka paljon nettotuloista joutuu tinkimään monimuotoisuutta painotettaessa. Voitaneen olettaa, että kiinnostavinta on tarkastella muutoksia tärkeimmässä tavoitemuuttujan arvossa muita muuttujia hyötymalliin lisättäessä tai niille lisää painoarvoa annettaessa. Vuorovaikutteisessa suunnittelussa tämä voi tapahtua niin, että ensin laaditaan laskelma, jossa maksimoidaan esimerkiksi nettotuloja suunnittelukaudella. Näin saadaan selville tavoitemuuttujan suurin mahdollinen arvo. Tämän jälkeen hyötymalliin lisätään tavoitemuuttujaksi esimerkiksi monimuotoisuusindeksi, jolle aluksi annetaan pieni painoarvo. Optimointilaskelman tuloksesta nähdään, paljonko nettotulot vähenevät, kun hyötymallia muutettiin. Lisäämällä vähittäin monimuotoisuuden painoarvoa ja suorittamalla optimointilaskelma aina uudestaan uusilla tavoitemuuttujien kertoimilla saadaan kuva nettotulojen ja monimuotoisuuden tuotantomahdollisuuksista ja vaihdettavuudesta tarkasteltavassa metsälössä (Kangas ja Pukkala 1996).

Tutkimuksessa tarkasteltiin vuorovaikutteista lähestymistapaa yksityismetsien suunnitteluun ja arvioitiin HERO-menetelmän vuorovaikutteista sovellusta. Arviointia jossain määrin vaikeutti se, että

menetelmää on käytettävä sovitettuna se johonkin metsäsimulaattoriin ja suunnitteluohjelmistoon, joiden ominaisuudet helposti vaikuttavat kuvaan menetelmän käyttökelpoisuudesta. Nyt HERO oli integroitu MONSU-ohjelmistoon (Pukkala 1993). MONSU on monipuolinen ja joustava metsäsuunnitteluohjelmisto, mutta se ei esimerkiksi mahdollista tuottoarvon käyttöä metsikön arvon ja taloudellisen tuotantopotentiaalin määrittämisessä. Tämä aiheutti ongelmia päätösvaihtoehtojen ekonomiseen tarkasteluun optimointilaskelmissa. HERO ja vuorovaikutteisuus sinänsä eivät aseta rajoituksia taivutettujen valikoimalle.

Vuorovaikutteisen suunnittelumenetelmän kokeilussa esille tulleet suurimmat ongelmat eivät johtuneet niinkään lähestymistavasta vaan ylipäättään numeerisen suunnittelutekniikan soveltamisesta. Näin asian näkivät myös testiin osallistuneet metsänomistajat: vuorovaikutteisen suunnittelun testiin osallistuneet kokivat lähestymistavan mielekkääksi. Tätä kuvastaa hyvin se, että vain yksi metsänomistajista ei halunnut kokeillun tavan soveltamista seuraavankin suunnitelman laadintaan. Saadut kokemukset tukevat vuorovaikutteisten suunnittelumenetelmien edelleen kehittämistä.

Suunnitelman hyväksyttävyyttä metsänomistajan näkökulmasta parantaa sen ymmärrettävyys. Hyväksynnän saavuttamiseksi ei aina riitä, että lopullinen ratkaisu esitetään helposti ymmärrettävästi, vaan myös optiminhaun pääperiaatteet pitää kyetä selittämään päätöksentekijälle helposti ymmärrettävällä tavalla. HERO-menetelmä on tässä suhteessa lupaava vuorovaikutteisen optimoinnin väline, koska siinä sovellettu heuristinen laskentatekniikka on suhteellisen helppo selostaa verrattuna esimerkiksi matemaattisen ohjelmoinnin menetelmiin.

Kiitokset

Tutkijat kiittävät Pohjois-Karjalan metsälautakunnan metsäsuunnittelijoita, suunnittelupäällikkö Auvo Karvista ja koulutuspäällikkö Timo Tahvanaista arvokkaasta avusta menetelmän testauksessa, tutkija Lasse Lovénia vartenotetuista neuvoista sekä erikoistutkija Juha Lappia ja johtaja Pentti

Hyttistä hyödyllisestä kritiikistä käsikirjoituksen viimeistelyvaiheessa.

Kirjallisuus

- Genser, R. 1985. Learning in decision making. Julkaisussa: Fandel, G., Grauer, A., Kurzhanski, A. & Wierzbicki, A.P. (toim.). Large scale modelling and interactive decision analysis. International Institute for Applied Systems Analysis—SpringerVerlag, Eisenach. s. 138–147.
- Geoffrion, A., Dyer, J.S. & Feinberg, A. 1972. An interactive approach for multicriterion optimization with an application to the operation of an academic department. *Management Science* 19(4): 357–368.
- Harrison, T.P. & Rosenthal, R.E. 1988. An implicit/explicit approach to multiobjective optimization with application to the forest management planning. *Decision Sciences* 19: 190–210.
- Howard, A.F. 1991. A critical look at multiple criteria decision making techniques with reference to forestry applications. *Canadian Journal of Forest Research* 21: 1649–1659.
- Hyttinen, P. 1992. Toimintojen optimaalisuus runsas- metsäisissä maatilayrityksissä. Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja 25. 177 s.
- Kangas, J. 1992. Metsikön uudistamisketjun valinta – monitavoitteiseen hyötyteoriaan perustuva päätösanalyysimalli. Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja 24. 230 s.
- 1995. Metsäsuunnittelun kehityssuuntia. Julkaisussa: Nurmi, J. & Heino, E. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kalajoella. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 570: 71–77.
- & Pukkala, T. 1992. A decision theoretic approach applied to goal programming of forest management. *Silva Fennica* 26(1): 51–58.
- & Pukkala, T. 1996. Operationalization of biological diversity as a decision objective in tactical forest planning. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 103–111.
- , Loikkanen, T., Pukkala, T. & Pykäläinen, J. 1996. A participatory approach to tactical forest planning. *Acta Forestalia Fennica* 251. 24 s.
- Karvinen, A. 1995. Vaivio-hanke: Monitavoitteisen metsäsuunnittelun kokeilu. Esitelmä. Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimusaseman tutkimuspäivät 20.4.1995, Joensuu.
- Kilki, P. 1985. Timber management planning. *Silva*

- Carelica 5. 160 s.
- Kilpeläinen, H. 1991. Puuntuotanto-ohjelman valinta interaktiivisesti JLP-algoritmeilla. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 58 s.
- Korhonen, P., Wallenius, J., Moskowitz, H. & Wallenius, J. 1990. Choice behavior in interactive multiple criteria decision making. *Annals of Operations Research* 23: 161–179.
- Lappi, J. 1992. JLP – a linear programming package for management planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s.
- Mykkänen, R. 1994. Aspiration-based utility functions in a planning model for timber flow management. *Acta Forestalia Fennica* 245. 66 s.
- Pukkala, T. 1988. A method to incorporate the amenity of landscape into forest management planning. Tiivistelmä: Menetelmiä maisemanhoidon liittämiseksi metsätalouden suunnitteluun. *Silva Fennica* 22(2): 135–146.
- 1993. Metsäsuunnitteluohjelma MONSU. Ohjelmiston toiminta ja käyttö. Moniste 42.
- & Kangas, J. 1993. A heuristic optimization method for forest planning and decision making. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8: 560–570.
- & Kangas, J. 1994. HERO – heuristinen optimointimenetelmä metsäsuunnitteluun. Julkaisussa: Niemeäinen, P., Kangas, J. & Päivinen, R. (toim.). Integroidun metsäsuunnittelun välineitä. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, tiedonantoja 16: 71–81.
- & Kangas, J. 1996. A method to integrate risk and risk attitude into forest planning. *Forest Science* 42: 198–205.
- Päivinen, R., Kangas, J. & Varjo, J. (toim.). 1992. Katsaus metsätalouden suunnitteluun Suomessa ja Ruotsissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 406. 52 s.
- Saaty, T. L. 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15: 234–281.
- Steuer, R.E. 1978. An interactive multiple-objective linear programming approach to a problem in forest management. *Operations Research* 26: 254–269.
- 1986. Multiple criteria optimization. Theory, computation and application. Wiley & Sons, New York.
- & Schuler, A.T. 1981. Interactive multiple objective linear programming applied to multiple use forestry planning. Julkaisussa: Vodak, M.C., Leuschner, W.A. & Navon, D.I. (toim.). Symposium on Forest Management Planning: Present Practice and Future Directions. FWS-181. School of Forestry and Wildlife Resources. VPI, Blacksburg, Virginia. s. 281–289.
- White, D.J. 1990. A bibliography on the applications of mathematical programming multiple-objective methods. *Journal of Operational Research Society* 41(8): 669–691.
- Wierzbicki, A.P. 1980. The use of reference objectives in multiobjective optimization. Julkaisussa: Fandel, G. & Gal, T. (toim.). Multiple criteria decision making, theory and application. Springer-Verlag. s. 468–486.
- Zionts, S. 1982. An interactive multiple-objective linear programming method for a class of nonlinear objective functions. Julkaisussa: Grauer, M., Lewandowski, A. & Wierzbicki, A. P. (toim.). Multiobjective and stochastic optimization. International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg. s. 311–334.
- & Wallenius, J. 1976. An interactive programming method for solving the multiple criteria problem. *Management Science* 22: 652–663.

30 viitettä