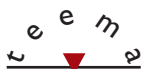


Timo Tokola, Annika Kangas, Jouni Kalliovirta, Antti Mäkinen ja Jussi Rasinmäki

SIMO – SIMulointi ja Optimointi uuteen metsäsuunnitteluun



Johdanto

Nykyinen metsäsuunnittelu nojaa vahvasti perinteisiin tiedonkeruukäytäntöihin ja niiden pohjalta laadittuihin tietomalleihin. Suunnittelun kohteina ovat metsikkökuviot, jotka on kuvattu tietojärjestelmässä. Tietomalli kuvaa, millaista tietoa järjestelmä voi käyttää, ja miten tieto tallennetaan tietojärjestelmään (esim. Paananen 1994, Tokola ym. 1997). Simulaattori sisältää metsää kuvaavien tunnusten relaatioita selittäviä malleja, joilla paitsi täydennetään puuttuvat tiedot, myös ennustetaan metsien tuleva kehitys. Lisäksi metsäsuunnittelujärjestelmä sisältää sääntöjä, joilla kuvataan erilaiset metsissä tapahtuvat toimenpiteet, sekä simuloinnin parametreja. Ennustettujen vaihtoehtoisten tulevaisuuksien joukosta pyritään valitsemaan kokonaisuutena paras puuntuotanto-ohjelma. Järjestelmän heikoimmat osat paljolti määrittävät lopputuotteen laadun ja luotettavuuden.

Suunnittelun perustieto on edelleen useimmiten kuvioittaisella arvioinnilla kerätty tieto (esim. Poso 1983). Vaikka sekä arviointimenetelmät että laskentajärjestelmät ovat kehittyneet, menetelmä perustuu edelleen osin silmänvaraisiin arviointeihin. Ongelmana on käytettävän tiedon epätarkkuus (Haara ja Korhonen 2004). Suunnittelun perustieto on usein myös vanhaa, suunnittelukierto yksityismetsissä on nykyisin yli 10 vuotta. Jatkuvasti ajan tasalla oleva metsäsuunnitelma onkin ollut metsäsuunnittelijoiden ja tutkijoiden tavoitteena jo pitkään (esim. Kalland

ja Harstela 2003). Suurimpana esteenä ovat olleet yksityismetsien osalta tietosuoja, sekä tietosisältöjen ja tietojärjestelmien yhteensopimattomuus. Yhtiöiden omien metsien osalta ajantasaisiin päivitettyihin tietoihin on päästy aiemmin kuin yksityismetsissä. Maastotiedon päivittäminen malleilla on edelleen omiaan heikentämään tiedon laatua (Hyvönen ja Korhonen 2003). Kun metsikön yksittäisen puulajin (esim. koivu) keskitilavuuden estimaatin keskivirhe lähenee satunnaisuutta tai estimaatti alueen yleiskeskisarvoa (RMSE 92 %), voidaan päätellä suunnittelutietojen käyttökelpoisuuden puunhankinnan suunnitteluun ja laajempaan käyttöön olevan rajallinen.

Olemassa olevat suunnittelujärjestelmät ovat perustuneet tähän jäykkään tiedonkeruujärjestelmään ja sen prosessin automatisointiin. Kun jäykkä järjestelmä automatisoidaan, niin tuloksena on yleensä vielä järempi informaatiojärjestelmä ja sopeutuminen uusiin tilanteisiin ei onnistu helposti. Nykyisin tiedonkeruun mahdollisuudet ovat kuitenkin huomattavasti laajentuneet. Metsäsuunnittelun tietoa voidaan kerätä kuvioittaisten keskitunnusten keruun asemesta vaikkapa laserrelaskoopin avulla koelapohjaisena tai ilmakuvien ja laserkeilainten avulla puukohtaisena. Lisäksi tietojärjestelmäpohjainen metsäsuunnittelun tarve suomalaisilla toimijoilla laajenee yhä uusiin toimintaympäristöihin, kuten Baltiaan, Venäjälle ja trooppisiin maihin. Jotta uusien mahdollisuuksien hyödyntäminen ja haasteiden kohtaaminen olisi mahdollista, tarvitaan uusia ratkaisuja olemassa olevan informaation hyödyntämiseksi.

Metsäsuunnittelun tietojärjestelmä perustuu matemaattisten mallien, tietämyksen ja maastosta kerätyn tiedon perusteella tehtyjen vaihtoehtoisten tulevaisuuden ennusteiden vertailuun. Yleisesti ohjelmistojen parametrit, kuten puutavaralajien hinnat tai toimenpiteiden kustannukset ovat tietoja, joita käyttäjät voivat muuttaa. Käyttäjät voivat usein muokata jossakin määrin myös toimenpiteiden simulointiohjeita, vaikkapa harvennusmallia tai -tapaa. Joskus on mahdollista käyttää vaihtoehtoisia malleja tiettyissä ennusteissa. Sen sijaan tunnetuimmissa metsäsuunnittelun järjestelmissä ei ole mahdollista muokata tietosisältöä, jolle ohjelmisto perustuu tai mallijoukkoa, jolle metsikön kehityksen ennustaminen perustuu. Kun järjestelmän tietosisältö on sidottu, ei ole esimerkiksi mahdollista siirtyä kuviotiedon käyttämisestä kaukokartoitustiedon käyttöön ilman uudelleenohjelmointia tai soveltaa erityyppisiä käsittelyketjuja kohdealueen toimenpiderajoitteiden mukaisesti. Vastaavasti myös ohjelmiston laajentaminen toiseen maahan vaatii uudelleenohjelmointia, elleivät kasvuvaikutukset malliketjut ole parametreja lukuunottamatta identtiset.

Nykyjärjestelmissä on myös muita kehittämissarpeita. Tämän päivän suunnittelujärjestelmä ei tyypillisesti sisällä paikkaan sidottua tietoa. Vaikka tiedot ovat olleet paikkatietojärjestelmässä, suunnittelulaskenta ei hyödynnä tietoa ympäröivistä kohteista tai historiallista tietämystä kohdealueesta. Erilaisten virhetilanteiden kontrolli on puuttunut metsäsuunnittelun käsitteistöä. Käyttäjillä on ollut deterministinen järjestelmä, joka on tuottanut aina arvion, mutta arvion luotettavuutta ei ole totuttu raportoimaan. Laatuvarmistuksen on kuitenkin jollakin aikavälillä tullut myös metsäsuunnitteluun. Uskotavuus tuloksiin horjuu, kun matemaattisia malleja sovelletaan tilanteissa, joihin niitä ei ole tarkoitettu. Mikäli simuloinnin tulokset herättävät käyttäjissä epäilyä, joudutaan herätetyn epäilyn voittamiseksi todennäköisesti tekemään paljon töitä. Luotettavuustiedon avulla pystyttäisiin myös ohjaamaan lisämittauksia.

Metsäsuunnittelun luonnetta ja suunnitelmien käyttöä on kehitetty viime vuosikymmeninä. Osallistavan ja monitavoitteisen metsäsuunnittelun (esim. Kangas ym. 2001, Kangas ja Kangas 2005) menetelmät ovat tuottaneet keinoja vuorovaikutteisen asiakaskontaktin läpiviemiseen ja analysointiin.

Verkkopohjainen suunnittelu (esim. Pasanen ym. 2005) ja metsäsuunnitelmat ovat tulleet jäädäkseen palvelemaan metsänomistajia interaktiivisena metsäsuunnitelmana ja mahdollisena kontaktivälineenä metsäpalvelujen tarjoajien ja metsänomistajan välillä. Niiden kautta metsäsuunnittelmatiedot ja vaihtoehtoiset laskelmat on jaettavissa ja visualisoitavissa päätöksentekijälle. Vielä on kuitenkin pitkä matka suunnitteluun, joka palvelee erilaisia metsänomistajia. Siihen tarvitaan toki paljon neuvontaa, mutta myös teknistä kehitystä, jotta reaali maailma saadaan paremmin kuvatuksi ja analysoiduksi laskelmissa. Uusien tietojärjestelmätyökalujen on oltava yhteensopivia modernien tietokantaratkaisujen kanssa ja mahdollistettava toimintojen jakaminen eri palvelimien välillä.

Helsingin yliopistossa alkoi syksyllä 2004 hanke, jonka tavoitteena on kehittää uuden sukupolven suunnittelujärjestelmä. Järjestelmässä on tavoitteena erottaa metsätietämys kokonaan varsinaisesta ohjelmistosta, jolloin parametrien lisäksi sekä tietomalleja että metsän kehityksen ennustamista on mahdollista säädellä. Järjestelmä on myös tarkoitettu muokata modulaariseksi siten, että eri toimijat voivat hyödyntää tarvitsemiaan osia ohjelmistosta eri tehtävissä. Kaikki komponentit toteutetaan avoimen lähdekoodin periaatteella, jolloin eri toimijat, sekä tutkijat että käytännön organisaatiot voivat vapaasti hyödyntää osia ja liittää ne omiin järjestelmiinsä.

SIMO-simulaattori

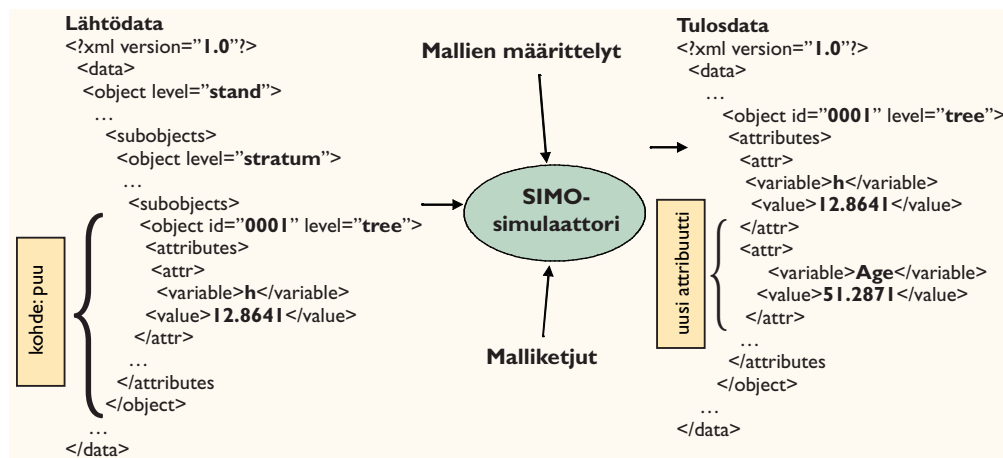
Toiminta

Järjestelmän moduleja tuotetaan neljässä osatehtävässä:

1. Metsävarojen jatkuvan inventoinnin mahdollistava tietomalli
2. Metsän kehityksen simulointi
3. Uuden sukupolven optimointimenetelmä
4. Laatuvarmistus

Tähän asti hankkeessa on keskitytty osatehtäviin 1 ja 2.

Asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi metsäinformaatio kuvataan hankkeessa XML-pohjaisesti. XML-dokumentti on samalla sekä kielioppi, jolla



Kuva 1. Kohteen uuden ominaisuustiedon laskentaan tarvittavat osat SIMO-simulaattorissa.

tietoa kuvataan, että tieto itse. SIMO-simulaattorissa sekä simuloinnissa käytettävä aineisto, että simuloinnin kulku on kuvattu XML-dokumentteina. Tällöin aineistotiedostossa kuvataan sekä se, mitä muuttujia tiedostossa on että niiden saamat arvot, ja mallitiedostossa paitsi se, kuka mallin on laatinut ja missä se on julkaistu, myös sen, mitä malli vaatii lähtötiedoiksi ja mitä se tuottaa tulokseksi. Malleihin liittyy lisäksi ohjelmallinen toteutus erillisenä ohjelmakirjastona. Yksittäisiä malleja mahdollisesti ketjuttamalla voidaan kuvata simulointi eli mitä malleja sovelletaan tietyllä tavalla kerätyn aineiston tunnuksien laskemiseksi.

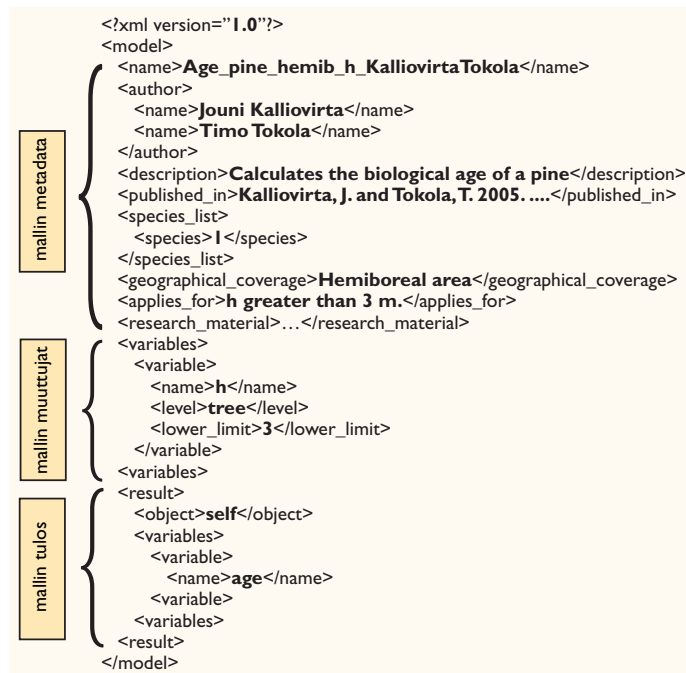
Varsinainen ohjelmisto on tuotettu Python-kielellä. Python-ohjelmisto lukee simulointia ohjaavat XML-tiedostot ja muodostaa simulaattorin kullakin simulointikerralla uudelleen ohjeiden perusteella. Tällöin ohjelmistoa voidaan käyttää vaikkapa tiettyihin tehtäviin metsikkökohtaisena simulaattorina, toisiin tehtäviin puutason simulaattorina. Tällä hetkellä kasvusimulaattorilla voi simuloida metsän kasvua ilman toimenpiteiden vaikutusta, ja toimenpiteiden lisääminen järjestelmään on työn alla.

Kasvusimulaattorin mallien toteutukseen liittyy myös mahdollisuus rajoittaa mallin sallittua käyttöaluetta simuloinnissa. Tarkoitus on, että kutakin mallia sovellettaisiin vain sellaisella alueella, joissa ne varmasti toimivat järkevästi, ja muilla lähtötietojen alueilla sovellettaisiin vaihtoehtoisia malleja (tai heuristiikkaa, ellei vaihtoehtoisia malleja ole).

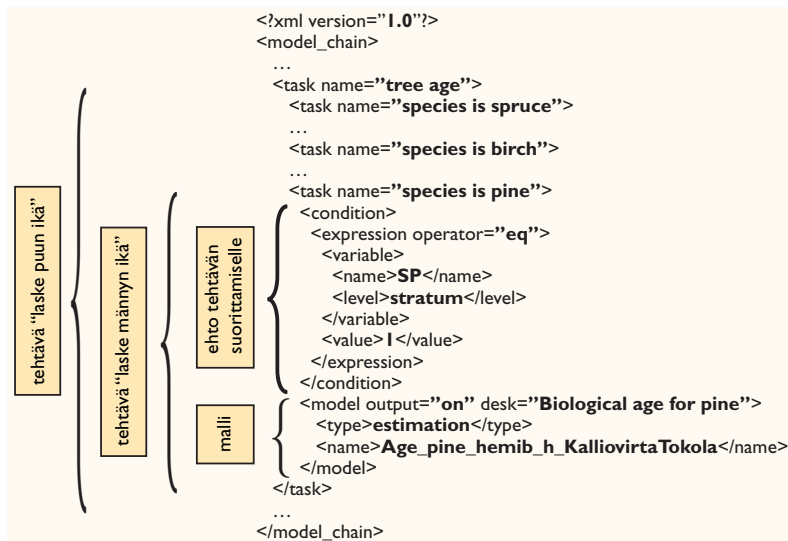
Tätä tarkoitusta varten on mallikirjaston malleista

yli 300:lle määritelty mallin kullekin muuttujalle minimi- ja maksimirajat, joiden sisällä mallin käyttö on sallittua. Rajaukset on tehty Suomen metsiä kattavasti kuvaavien valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) pysyvien koalojen mittausten pohjalta. Yksittäisten muuttujien rajaaman alueen sisällä voi edelleen olla mallin käytön kannalta ongelmallisia alueita mallin muuttujien yhteisvaikutuksen vuoksi. Näiden ongelmakohtien identifioimiseksi on tehty menetelmäkehitystä, joka perustuu myös VMI:n mittausten käyttöön riskialueiden tunnistamiseksi. Riskimallinnus on toteutettu simulaattorin mallikirjastoon yksittäisten muuttujien osalta ja yhteisvaikutuksen osalta toteutus on suunnitteluvaiheessa. Tavoitteena on jatkossa testata, millaisilla rajoitteilla kasvuennusteiden laatua ja loogisuutta saadaan parennettua ja miten suuri merkitys niillä on.

Kuvassa 1 on esitetty yksinkertaisella esimerkillä, mitä tietoja SIMO-simulaattorin laskelmissa tarvitaan. Simulaattorin tietomalli muodostuu kohdehierarkiasta. Kohteella (object) on ominaisuuksia (attributes) ja alikohteita (subjects), esimerkiksi kuviolla on alikohteinaan puulajiositteita, joilla taas on alikohteinaan puita. Tasojen nimeäminen ja eri tasojen suhteiden määrittely tehdään tietosisällöllä eli tietomalli itsessään ei sisällä kohteiden nimien tai suhteiden kiinnittämistä. Sama pätee kohteiden ominaisuuksiin, jotka annetaan muuttuja-muuttujan arvo pareina (variable, value). Laskenta kohdistuu esimerkissä puutasolle, tehtävänä laskea puulle biologinen ikä, kun lähtötietona puusta tiedetään



Kuva 2. Mallin kuvaus malliXML-tiedostossa.



Kuva 3. Malliketjun osatehtävän kuvaus malliketjuXML-tiedostossa.

puulajin lisäksi pituus. Simulaattorissa kohteelle voidaan laskea uusia ominaisuustietoja käyttämällä hyväksi olemassa olevia malleja (kuva 2). Haluttujen tunnuksien laskemiseen tarvittavien mallien joukko on kuvattu malliketjuna (kuva 3). Tulosaineistossa

pituuden lisäksi on XML-tiedostoon lisätty uusi mallien avulla ennustettu ominaisuus, biologinen ikä.

Jokaiseen mallin kuvaukseen liittyy metadata sekä mallin lähtö- ja tulosmuuttujat. Mallin suorituksen

kannalta tärkeimpiä näistä ovat mallin muuttajat sekä tiedot mallin tuottamasta tuloksesta. Kuvan 2 mallissa on vain yksi selittävä muuttuja, pituus (h). Pituus on puutason (tree) muuttuja ja mallin sallitun sovellusalueen alarajaksi on määritetty 3 m laadinta-aineiston rajoitteiden vuoksi. Malli tuottaa tulokseksi yhden luvun, joka kertoo puun biologisen iän (age).

Hierarkisuutta hyödynnetään myös simulaatioiden kuvauksissa. Ne koostuvat tehtävistä, joilla voi edelleen olla alatehtäviä. Kuhunkin tehtävään voi liittyä ehto. Mikä ehto ei täyty, ei tehtävää, eikä yhtään sen alatehtävistä suoriteta. Esimerkki-tehtävänä kuvassa 3 on laskea puun biologinen ikä. Tehtävään valitaan sopiva malli kohteen ominaisuuksien mukaan. Tässä esimerkissä valitaan männyn (ehto: puulaji = 1) malli nimeltään "Age_pine_hemib_h_KalliovirtaTokola".

Hankkeen tulosten ja metsäsuunnittelun kehityssuuntia

SIMO-hankkeen tietojärjestelmä nykyisellään toimii erillisinä osina, jotka voidaan integroida osaksi yrityksen tietojärjestelmää. Koska järjestelmä on prototyypin asteella, voidaan sanoa sen olevan toiminnallista sisältöä metsän inventoinnin ja suunnittelun tarpeisiin. Metsätieto on nykyisin osa laajempaa tuotannon- ja toiminnanohjausta. Yhä useammin vähintäänkin tietyt näkymät järjestelmästä ovat liitoksissa yrityksen integroituun tietojärjestelmään. Metsäsuunnittelun kannalta oleellisia liittymiä ovat metsänhoitotoimenpiteiden palkkioiden maksatus, hakkuutoiminnan tietojärjestelmät ja logistiset järjestelmät.

Metsäsuunnitteluohjelmiston tulevaisuutta voidaan tarkastella sekä lähtötiedon kannalta, ohjelman toiminnallisuuden kannalta että tietojärjestelmäkehityksen kannalta. Suunnittelujärjestelmän tavoitteena täytyy olla sellainen työkalu, että jokainen valtakunnan puu voidaan tallentaa tietokoneeseen ja erilaisista empiirisistä puujoukoista voidaan tehdä raportteja. Digitaalifotogrammetrian ja laserkeilausteknologian myötä empiirisiin puujoukkoihin perustuva puittainen metsän kuvaus tietojärjestelmässä on tulossa entistä realistisemmaksi vaihtoehdoksi. Jokaisen puun käyttö suunnittelulaskennassa on

periaatteessa jo mahdollista ja poistaisi läpimittajakaumien tarpeen. Kun puiden sijainti on tallennettu tietokantaan, on toimenpiteiden päivitys helppoa vaikka raja-alue ei noudattaisikaan suunnitelman rajoituksia. Toki alkuvaiheessa ainakin pienten puiden osalta joudutaan tyytymään keskimääräisiin tunnuksiin, mutta n. 95 % puuston tilavuudesta pystytään käsittelemään dimensioiden osalta puutavaralajeittain. Spatiaalinen puittainen metsän kuvaus poistaa suurelta osin puuston tilajärjestyksen aiheuttamia epävarmuuksia, jotka liittyvät kuvioittaiseen keskimääräisiin puustotunnuksiin perustuviin inventointimenetelmiin. Puutavaralajien laadun arviointi jää edelleenkin vaikeaksi tehtäväksi, jossa historiatiedon hyödyntäminen voisi mahdollisesti auttaa.

Jos otanta on suunniteltu viisaasti, paikallistetuilla maastokoealoilla voidaan päästä lähes yhtä hyvään tulokseen kuin puiden paikannuksella. Paikannetuilla koealoilla ja niiden edustamalla alueella voidaan suunnittelukohteita jakaa spatiaalisesti järkeviin yksiköihin. Suunnittelututkimuksessa onkin kehittyvä rasteripohjaista puustonkuvausta jo jonkin aikaa (esim. Lu ja Eriksson 2000). Suunnittelukohteet voidaan rajata interpoloidun pinnan osana tai segmenttien maastotietoja. Jos suunnitteluyksiköitä yhdistetään tai jaetaan simulointilaskentojen aikana, täytyy simuloinnissa pystyä hyödyntämään spatiaalisia toimintoja. SIMO-hankkeessa on kehittyvä GML-pohjaista metsätiedon spatiaalista kuvausta ja niiden käyttöön tarvittavia spatiaalisia toimintoja.

Simulaattorissa käytettävät valtakunnalliset mallit toimivat erityiskohteissa usein selvästi huonommin kuin keskimäärin. Useimmiten toimijoilla on käytettävissään monenlaisia mittaustietoja, esimerkiksi erilaisia runkopankki- ja tarkistusinventointitietoja, joita voitaisiin käyttää mallien alueelliseen kalibrointiin. Mitattu tieto kannattaisi hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti, ja järjestelmien tulisi mahdollistaa myös näiden tietojen hyödyntäminen.

Metsäsuunnittelun tietojärjestelmän kannalta on oleellista tietokanta- ja web-standardien käyttö keskitetyissä tietokannoissa ja hajautetussa tiedon käytössä. Avoimet ja yhteensopivat rajapinnat järjestelmien välillä mahdollistavat paikkatietojen ja vapaiden metsätietojen yhteiskäytön. Tällöin tiedon ylläpitäjä huolehtii tiedon laadusta ja käyttäjät käyttävät tietoa rajapintojen kautta. Yhteinen metsätiedon XML-standardi mahdollistaisi erilais-

ten tietoa tuottavien tahojen aineistojen helpomman yhdistämisen ja yhteiskäytön. Jos hakkuukoneen mittaama puutieto ja maastomittaajan koealat siirtyvät samanlaisen XML-standardin mukaan, voidaan tiedon sisältö tulkita oikein ja käyttää tehokkaasti metsän ominaisuuksia ennustettaessa. Erityisesti tiedonkeruun kannalta useisiin tietolähteisiin perustuvat ilmakuvapalvelimet ja valtakunnallinen hakkuukonetietojen mittaustietorekisteri toisivat suurimmat säästöt. Tällaiset järjestelmät vaativat voimakasta yhteistyötä eri toimijoiden kesken.

Lähteet

- Haara, A. & Korhonen, K.T. 2004. Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2004: 489–508.
- Hyvönen, P. & Korhonen, K. 2003. Metsävaratiedon jatkuva ajantasaistus yksityismetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2003: 83–96.
- Kalland, F. & Harstela, P. 2003. Ratkaisevatko yksityismetsien operatiivisen suunnittelun tarpeet metsäsuunnittelun kehittämisen suunnan? *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2003: 403–407.
- Kangas, J., Kangas, A., Leskinen, P. & Pykäläinen, J. 2001. MCDM methods in strategic planning of forestry on state-owned lands in Finland: applications and experiences. *Journal of Multi Criteria Decision Analysis* 10: 257–271.
- & Kangas, A. 2005. Multiple criteria decision support in forest management – Fundamentals of the approach, methods applied, and experiences gained. *Forest Ecology & Management* 207: 133–143.
- Lu, F. & Eriksson, L.O. 2000. Formation of harvest units with genetic algorithm. *Forest Ecology & Management* 130: 57–67.
- Paananen, R. 1994. A data model for a GIS-based forest information system. Finnish Forest Research Institute. Research Papers 493.
- Pasanen, K., Kurttila, M., Pykäläinen, J., Kangas, J. & Leskinen, P. 2005. Mesta – Non-industrial private forest landowners' decision support environment for the evaluation of alternative forest plans over the Internet. *International Journal of Information Technology and Decision Making* 4: 601–620.
- Poso, S. 1983. Kuvioittaisen arvioimismenetelmän perusteita. *Silva Fennica* 17(4): 313–349.
- Tokola, T., Turkia, A., Sarkeala, J. & Soimasuo J. 1997. An entity-relationship model for forest inventory. *Canadian Journal of Forest Research* 27: 1586–1594.

10 viitettä

- Timo Tokola, Joensuun yliopisto, Metsätiet. tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu, s-posti timo.tokola@joensuu.fi
Annika Kangas, Jouni Kalliovirta, Antti Mäkinen, Jussi Rasinmäki, Helsingin yliopisto, metsävarojen käytön laitos