Asiantuntijajärjestelmän soveltuvuus metsänuudistamisen päätöksenteon tukemiseen

Timo Laitinen

Raportti B/2005/2

KUOPION YLIOPISTO
Tietojenkäsittelytieteen laitos
PL 1627, 70211 KUOPIO

Asiantuntijajärjestelmän soveltuvuus metsänuudistamisen päätöksenteon tukemiseen

Timo Laitinen
Tietojenkäsittelytieteen laitos
Kuopion yliopisto
PL 1627, 70211 Kuopio
Email: Timo.Laitinen@cs.uku.fi

Metsänuudistaminen on monimutkainen päätöksentekoprosessi. Päätöksentekoa voidaan helpottaa ja parantaa kehittämällä ongelmaan asiantuntijajärjestelmä. Metsänuudistaminen täyttää asiantuntijajärjestelmien sovelluskohteille asettamat vaatimukset, joista tärkeimpiä ovat ongelman selkeästi rajattavuus, monimutkaisuus, heuristisuus ja tietämyksen saatavuus. Yksi keskeisimmistä hyödyistä asiantuntijajärjestelmästä metsänuudistamiseen on päätöksenteon hallittavuuden lisääntyminen.

1 Johdanto

Asiantuntijajärjestelmät jäljittelevät asiantuntijan päätöksentekoa. Asiantuntijajärjestelmien toiminta perustuu tietämyskantoihin koottuun tietämykseen sekä heuristiseen päättelyyn. Asiantuntijajärjestelmät eivät korvaa ihmistä vaan toimivat asiantuntijan päätöksenteon apuna.

Viime vuosikymmeninä asiantuntijajärjestelmiä on kehitetty ja sovellettu useille eri aloille. Metsänuudistamisen alalla asiantuntijajärjestelmät ovat hyvin harvinaisia. Joitain prototyyppejä on rakennettu tukemaan metsänuudistamispäätöstä. Kanadassa on kehitetty asiantuntijajärjestelmä, jonka avulla voidaan valita uudistusalalle oikea maanpinnankäsittely [ChJ96]. Espanjassa kehitetty asiantuntijajärjestelmä auttaa maatalousmaan metsittämispäätöksessä [RAJ99]. Taiwanissa on kehitetty järjestelmä, joka auttaa valitsemaan olosuhteisiin soveltuvan puulajin [YaY91]. Suomessa on tutkittu automaattista tietämyksen hankintaa metsänviljelytietokannoista ja on tehty prototyyppi ennakoimaan kuusen uudistamisen onnistumista [Saa92], [Saa96]. Kuitenkaan ei ole olemassa asiantuntijajärjestelmää, jossa otetaan huomioon metsänuudistaminen kokonaisuutena.

Päätöksenteko metsänuudistamisessa ei ole ollut aina onnistunutta. Yksityismetsien uudistamisen laatu ei ole tavoitteiden mukaista [SKK05]. Kasvupaikan viljavuuteen ja maalajiin nähden on liian usein yritetty uudistaa sopimattomilla puulajeilla tai uu-

distusmenetelmillä. Erityisen huonosti ovat onnistuneet luontainen uudistaminen ja kylvö. Havupuiden taimikot ovat usein olleet tuotoksen ja laadun kannalta liian harvoja. Metsänuudistamisen päätöksenteossa ei myöskään riittävästi ole kiinnitetty huomiota uudistamisen kokonaiskustannuksiin ja odotettavissa oleviin tuloihin. Metsänuudistamiseen soveltuvan asiantuntijajärjestelmän kehittämisellä tavoitellaan laadukkaampaa päätöksentekoa ja siten myös laadukkaampaa ja taloudellisempaa metsänuudistamista.

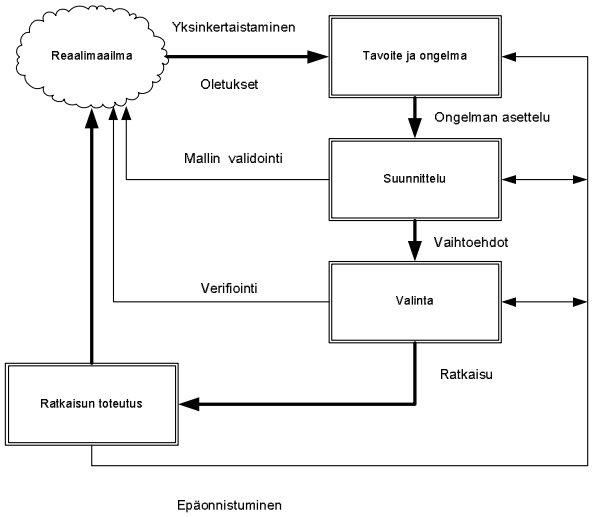
Tässä tutkimuksessa tarkastellaan yleisesti päätöksentekoa ja erityisesti metsänuudistamiseen liittyvää päätöksentekoa. Tämän tutkimuksen päätavoite on selvittää, soveltuvatko asiantuntijajärjestelmät tukemaan metsänuudistamisen päätöksentekoa. Tutkimuksessa kartoitetaan myös mitä hyötyä asiantuntijajärjestelmästä on metsänuudistamiselle.

2 Päätöksenteko

2.1 Päätöksentekoprosessi ja siihen liittyviä ongelmia

Reaalimaailman päätösongelmat ovat usein hyvin monimutkaisia. Päätökset voivat koostua monista peräkkäisistä toisiinsa vaikuttavista päätöksistä. Useat toisistaan riippuvat tekijät voivat vaikuttaa tavoitteiden saavuttamiseen. Lisäksi kaikkia päätökseen vaikuttavia tekijöitä ei välttämättä tunneta. Päätöksenteon pohjana oleva tavoitteenasettelu myös voi epäonnistua. Päätöksentekijän tavoitteet voivat olla epämääräisiä ja ristiriitaisia keskenään. Usein tavoitteiden ristiriitaisuudet lisääntyvät, kun päätöstä on tekemässä useita päätöksentekijöitä.

Päätöksenteko voidaan kuvata kolmivaiheisena prosessina (kuva 1) [Sim77], [TAL05]. Päätöksentekoprosessi alkaa tavoitteiden asettamisesta ja niiden toteuttamiseen liittyvien ongelmien määrittelystä. Seuraavaksi suunnitteluvaiheessa etsitään ongelmaan ratkaisuja tavoitteisiin pääsemiseksi. Lopuksi valintavaiheessa valitaan vaihtoehdoista sopivin. Ratkaisun toteutusta voidaan pitää päätöksenteon neljäntenä vaiheena [TAL05]. Päätöksenteko ei yleensä ole yksinkertainen prosessi, vaan päätöksenteossa voidaan joutua palamaan edeltävään vaiheeseen.



Kuva 1. Päätöksentekoprosessin vaiheet [TAL05]

Päätöksenteossa pyritään saavuttamaan asetetut tavoitteet. Tavoitteiden saavuttaminen edellyttää päätöksenteossa kohdattavien ongelmien selvittämistä ja määrittämistä. Ongelmanmäärittelyssä paikannetaan ongelma, selvitetään kenen vastuulle ongelma kuuluu ja kuinka merkittävä ongelma on. Ongelman ollessa monimutkainen se voidaan jakaa pienempiin helpommin ratkaistaviin osiin.

Seuraavassa vaiheessa ongelma käsitteellistetään ja tehdään päätöksentekomalli. Tavoitteiden pohjalta luodaan päätöksentekokriteerit ja selvitetään millaista ratkaisua tavoitellaan. Esimerkiksi tavoitteena voi olla optimiratkaisu tai tyydyttävä ratkaisu. Suunnitteluvaiheessa määritellään myös, mikä tunnus kuvaa parhaiten asetettua tavoitetta. Esimerkiksi metsänuudistamisen onnistumista kuvataan yleisesti käyttökelpoisten taimien määrällä. Virheiden välttämiseksi malli on validoitava ennen käyttöä.

Valintavaiheessa valitaan edellisessä vaiheessa saaduista vaihtoehdoista parhaiten tavoitteet täyttävä vaihtoehto. Jokainen vaihtoehto on analysoitava ennen valintaa. Valitun vaihtoehdon hyvyyttä on pystyttävä arvioimaan. Lopuksi tehdään suunnitelma päätöksen toteuttamista varten.

2.2 Päätöksenteko metsänuudistamisessa

Metsänuudistamisen päätöksentekoa rajoittavat annetut säädökset ja ohjeet, jotka ohjaavat tavoitteiden ja valintavaihtoehtojen muodostusta [Met01], [Met03]. Yleensä

metsänuudistamispäätöksiä tehdään metsäammattilaisen kanssa, jolloin päätöksentekijän arvoista muodostetaan tavoitteita ja ratkaisuvaihtoehtoja päätöksentekoa varten.

Metsänuudistaminen on monimutkainen päätöksentekoprosessi. Uudistamisalalle soveltuvia erilaisia uudistamisketjuja voi olla lukuisia. Metsänuudistamisessa otetaan huomioon ekologiset, taloudelliset ja sosiaaliset tekijät. Uudistamispäätöstä vaikeuttaa se, että metsänuudistamisen päätöksenteon vaikutukset ulottuvat vuosikymmenien päähän.

Metsänuudistamisen päämääränä on luoda tietylle kasvupaikalle uusi, taloudellisesti arvokas puusukupolvi. Uudistamisen onnistumiseen vaikuttavat sekä ihmisen suorittamat toimenpiteet että luonnon olosuhteet. Toimenpiteillä ohjataan luonnon olosuhteista riippuvaa kehitystä ihmisen haluamaan suuntaan.

Metsänuudistamispäätös muodostuu uudistamisajankohdan ja uudistamisketjun valinnasta. Metsänuudistamisajankohta määräytyy pääosin taloudellisin perustein. Luontaisessa uudistamisessa uudistamisajankohdan valintaan voi vaikuttaa myös metsikön siemensadon suuruus ja laatu.

Uudistamisketju on sarja toimenpiteitä, joilla muodostetaan uudistamisalalle sopiva taimikko. Uudistamisketjuun kuuluu uudistamistavan ja puulajin valinta sekä mahdollisesti maanmuokkauksen, metsänviljelytavan ja materiaalin valinta. Uudistamisketjun valintaan vaikuttavat muun muassa uudistettava puusto, uudistusalan ominaisuudet, ilmasto-olosuhteet, mahdolliset tuhoriskit, käytettävissä olevat menetelmät ja uudistamiskustannukset. Uudistamisketjun valinnalla on suuri vaikutus metsikön laadulliseen, määrälliseen ja ajalliseen kehitykseen ja sitä kautta tulevaisuudessa odotettavissa oleviin puunmyyntituloihin ja metsänhoitokustannuksiin. Uudistamistavan valinta vaikuttaa myös muihin metsästä saatuihin hyötyihin kuten virkistyksellisiin ja maisemallisiin arvoihin.

3 Asiantuntijajärjestelmä metsänuudistamisessa

Ihmismieli ei kykene riittävän kattavasti ja virheittä käsittelemään niin kompleksista ongelmaa kuin metsikön uudistamisketjun valinta yleensä on [Kan92]. Useiden vaihtoehtojen vertaileminen ja niiden vaikutusten arvioiminen tulevaisuuteen on haastava tehtävä. Päättelytehtävän monimutkaistuessa virheet päättelyssä lisääntyvät. Hallitun

päätöksenteon tueksi tarvitaan päätöksentekoa tukevia välineitä. Eräs vaihtoehto metsänuudistamisen päätöksenteon tukemiseen on käyttää asiantuntijajärjestelmiä.

3.1 Asiantuntijajärjestelmän soveltuvuus

Asiantuntijajärjestelmät soveltuvat rajattavissa oleviin reaalimaailman sovellusalan ongelmiin [TAL05]. Metsänuudistamisongelma on kooltaan rajattu ja ongelman ratkaiseminen vaatii erityisalan tietämystä. Tietämyksen olemassaolo onkin yksi tärkeimmistä vaatimuksista asiantuntijajärjestelmän kehittämiseksi. Metsänuudistamista on tutkittu Suomessa runsaasti ja siitä on kertynyt runsaasti kokemusta. Asiantuntijajärjestelmän kehittämiseen tarvittava tietämys on pääsääntöisesti olemassa.

Asiantuntijajärjestelmän ratkaiseman ongelman pitää olla monimutkainen, mutta ei kuitenkaan liian vaikea [Wat86]. Metsänuudistamisongelma on jo ekologisista syistä luonnostaan monimutkainen. Ekologisten tekijöiden lisäksi metsän uudistamispäätökseen vaikuttavat taloudelliset ja sosiaaliset tekijät. Monimutkaisuus aiheutuu siitä, että useat tekijät vaikuttavat uudistamisen onnistumiseen ja voivat olla eriasteisesti riippuvia toisistaan. Metsänuudistamisen päätöksenteon vaikeutta vähentää ja hallittavuutta lisää tietämys eri uudistamismenetelmien vaikutuksesta uudistamistulokseen.

Asiantuntijajärjestelmät soveltuvat heuristisiin ongelmiin. Heuristiselle päätöksenteolle on ominaista, että ongelmaan ei tavoitella optimiratkaisua vaan epätäydellinenkin ratkaisu sallitaan [TAL05]. Metsänuudistamisen päätöksenteko on luonteeltaan heuristista. Metsänuudistamisessa harvoin on olemassa vain yhtä oikeaa ratkaisua. Uudistamisvaihtoehtoja on monia ja erilaiset uudistamisketjut voivat tuottaa käytännössä yhtä hyvän tai huonon uudistamistuloksen, varsinkin tarkasteltaessa uudistamista vuosikymmenien aikajänteellä.

Asiantuntijajärjestelmän soveltuvuutta voidaan arvioida monin muinkin kriteerein. Eräs kriteeri on, että ongelma voidaan ratkaista symbolisella päättelyllä [TAL05]. Tällaisia ovat metsänuudistamisen lisäksi suuri osa reaalimaailman ongelmista. Poikkeuksena ovat matemaattiset ongelmat, jotka eivät yleensä sovellu asiantuntijajärjestelmän kehittämiselle. Toinen vaatimus asiantuntijajärjestelmän kehittämiselle on, että ongelman ratkaiseminen onnistuu ilman laajoja taustatietoja. Taustatietojen avulla esimerkiksi vältytään etsimästä ratkaisua mahdottomalle ongelmalle.

Metsänuudistamiseen liittyviin ongelmiin on kehitetty prototyyppejä [ChJ96], [YaY91], [Saa96]. Nämä prototyypit ratkaisevat vain osan metsänuudistamisen päätöksenteon ongelmista. Kuitenkin prototyypit osoittavat, että asiantuntijajärjestelmät soveltuvat metsänuudistamisen päätöksenteon tukemiseen.

3.2 Asiantuntijajärjestelmän etuja

Asiantuntijajärjestelmän on tarjottava lisäarvoa päätöksentekoon. Pelkästään se, että asiantuntijajärjestelmä voidaan toteuttaa sovellusalalle, ei vielä riitä asiantuntijajärjestelmän toteuttamispäätökseen. Asiantuntijajärjestelmästä on saatava konkreettista hyötyä ja järjestelmälle on oltava todellista tarvetta.

Asiantuntijajärjestelmät tekevät monimutkaisesta päätöksenteosta hallittavamman. Kompleksisessa ongelmassa jokin tärkeä asia voi jäädä päätöksentekoprosessissa huomaamatta tai sitä tarkastellaan pintapuolisesti. Esimerkiksi metsänuudistamisen ja hoitotöiden kokonaiskustannusten laskeminen ja vertaileminen ovat käytännön uudistamispäätöksissä harvinaisia. Uudistamisen heikkoa onnistumista voitaisiin parantaa perusteellisen päätöksenteon avulla.

Asiantuntijajärjestelmät mahdollistavat asiantuntemuksen siirtämisen [Wat86]. Siirrettävyyden avulla päätöksentekoon saadaan asiantuntijan asiantuntemus. Asiantuntijajärjestelmän käyttäjä voi oppia uutta sovellusalasta. Lisäksi siirrettävyys mahdollistaa asiantuntijajärjestelmän käyttämisen aloittelijoiden opetusvälineenä [Nik97].

Asiantuntijajärjestelmä tuo tekoälyllisen asiantuntemuksen edut päätöksentekoon [Wat86]. Asiantuntemuksen siirrettävyyden ja asioiden hallittavuuden lisäksi asiantuntijajärjestelmä on ihmiseen verrattuna muun muassa helposti dokumentoitavissa ja suhteellisen edullinen. Ihmisen vahvuuksia puolestaan ovat luovuus, oppivuus, useiden aistien käyttö ja maalaisjärjen käyttö.

Ihmisen ominaisuuksien vuoksi asiantuntijajärjestelmä ei korvaa ihmistä vaan täydentää ja auttaa päätöksenteossa [TAL05]. Asiantuntijajärjestelmää suunniteltaessa tulee ottaa huomioon sekä asiantuntijajärjestelmän että ihmisen vahvuudet. Yleensä päätöksentekijän apuna on metsänuudistamisen asiantuntija. Senkin vuoksi asiantuntijajärjestelmä kannattaa toteuttaa sellaisena, että siinä voidaan hyödyntää ihmisen vahvuuksia. Esimerkiksi hirvien aiheuttaman tuhoriskin arvioiminen voidaan metsänuu-

distamispäätöksessä jättää ihmisasiantuntemuksen varaan, jolloin asiantuntijajärjestelmä voidaan toteuttaa tältä osin yksinkertaisempana.

4 Päätelmät ja tulevaisuuden työt

Yksityismetsissä metsänuudistamistoiminnassa on kehittämisen tarvetta [SKK05]. Metsänuudistaminen sisältää lukuisia vaihtoehtoja ja huomioitavia tekijöitä, joita voi on vaikea hallita päätöksenteossa. Päätöksentekoa vaikeuttaa se, että metsänuudistamisen tulokset saavutetaan konkreettisesti vasta vuosikymmenien kuluttua. Vaarana on, että osa tärkeistä uudistamiseen vaikuttavista tekijöistä voi jäädä pois päätöksenteossa.

Asiantuntijajärjestelmät soveltuvat usealle alalle. Metsänuudistaminen täyttää keskeiset asiantuntijajärjestelmien sovelluskohteilta edellytettävät piirteet. Tärkeimpiä piirteitä ovat ongelman rajattavuus, monimutkaisuus, heuristisuus ja tietämyksen saatavuus. Asiantuntijajärjestelmän hyötyjä ovat hallittavuuden lisääntyminen, siirrettävyys ja tekoälyllisen asiantuntemuksen edut. Metsänuudistamiselle näistä tärkein hyöty on hallittavuuden lisääntyminen päätöksentekoon. Asiantuntijajärjestelmän ansiosta tulevaisuuden uudistamistulokset voisivat olla nykyistä parempia.

Seuraava askel tutkimuksessa on rakentaa asiantuntijajärjestelmästä prototyyppi. Sen tekeminen lisää tietoa asiantuntijajärjestelmän toteuttamisesta ja soveltuvuudesta metsänuudistamisen päätöksenteon tukemiseen. Lisäksi prototyypin avulla pystytään löytämään asiantuntijajärjestelmälle asetettavia vaatimuksia.

Lähteet

[ChJ96] Chan C. W., Johnston M., Knowledge modelling for constructing an expert system to support reforestation decisions. *Knowledge-Based Systems* 9 (1996), 41-59.

[Kan92] Kangas J., *Metsikön uudistamisketjun valinta - monitavoitteiseen hyötyteoriaan perustuva päätösanalyysimalli.* Summary: Choosing the regeneration chain in a forest stand: A decision analysis model based on multi-attribute utility theory. Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja, 1992. No:24.

[Met01] Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki, 2001.

[Met03] Metsätalouden säädökset 2003. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Helsinki, 2003.

[Nik97] Nikolopoulos C., *Expert systems*: Introduction to first and second generation and hybrid knowledge based systems. Marcel Dekker Inc, 1997.

[RAJ99] Recio B., Acuna S.T., Juristo N., Methodological proposal for modelling and implementing regulation application problems in a knowledge-based system. *Agricultural Systems,* 60 (1999), 17-53.

[Saa92] Saarenmaa L., *Induktiivinen oppiminen metsänviljelyn tietokannan tulkinnassa*. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 3, 1992.

[Saa96] Saarenmaa L., Rule-based expert systems for predicting regeneration results. Skovsgaard J. P., Johannsen V. K. (ed). *Proceedings from the IUFRO Conference*, held in Copenhagen, 10-13 June 1996,131-138.

[Sim77] Simon H., *The New Science of Management Decision*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1977.

[SKK05] Saksa T., Kankaanhuhta V., Kalland F., Smolander H., Uudistamistuloksen laatu Etelä-Suomen yksityismetsissä ja keskeisimmät kehittämiskohteet. *Metsätieteen aikakausikirja* 1 (2005), 67–73.

[TAL05] Turban E., Aronson J., Liang T. *Decision support systems and intelligent systems*. Prentice Hall, 2005.

[Wat86] Waterman D. A., *A guide to expert systems*. Addison-Wesley Publishing Company, 1986.

[YaY91] Yang Y. C, Yeh H. Y., Expert systems for national forest management in China: Species selection for reforestation. *AI Applications*. Vol. 5, No. 3, 1991, 33-42.