

JYRKI KANGAS

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
MAANVILJELYKEMIAN JA -FYSIIKAN
LAITOS

MENETELMÄ METSÄOJITUSVAIHTOEHTOJEN HYÖTYVERTAILUUN

A method for utility comparison of forest drainage alternatives

Kangas, J. 1991: Menetelmä metsäojitusvaihtoehtojen hyötyvertailuun. (Summary: A method for utility comparison of forest drainage alternatives). — *Suo* 42:49-59. Helsinki. ISSN 0039-5471

In this study, the Analytic Hierarchy Process (AHP) is applied to the planning of peatland forest drainage. The AHP is a decision analysis method which was developed for analysing complex decision situations with respect to the preferences of the decision-maker. Both quantitative and qualitative criteria can be dealt with. Due to its simplicity and flexibility the AHP is applicable to the analysis of practical decision problems. Besides using objective data, both the expertise and subjective opinion of the decision-maker can be utilized when forest drainage alternatives are evaluated.

Keywords: the Analytic Hierarchy Process, decision analysis, forest management planning, multiple-use planning

J. Kangas, University of Joensuu, Faculty of Forestry, P.O. Box 111, SF-80101 Joensuu, Finland

JOHDANTO

Suomen soista ja metsistä on ojitettu noin 5,7 miljoonaa hehtaaria (Keltikangas 1990). Pääasiallinen kriteeri uudisojituspäätöksiä tehtäessä on ollut ojituksen vaikutukset puuntuotantoon. Ojituksen puuntuotantoa kohottava vaikutus onkin valtakunnallisesti ollut kiistaton (esim. Paavilainen ja Tiihonen 1988). Uudisojituksia tehdään nykyään vain vähän. Kaikkien ojien kuivatusvaikutus ja siten myös puuntuotantoa lisäävä vaikutus kuitenkin lakkaa ennemmin tai myöhemmin. Jos ojituksella aikaansaatu merkittävä puuntuotannon lisäys halutaan ylläpitää, on ojasot kunnostettava kuivatusvaikutuksen jatkamiseksi.

Soiden metsäojituksen vaikutusta puuntuotannon tuotokseen ja tuottoon on tutkittu paljon ja ansiokkaasti (esim. Heikurainen 1961, Heikurainen ja Seppälä 1973,

Keltikangas 1971, Keltikangas ym. 1986). Soiden ojituksella ja ojasot kunnostuksella on kuitenkin myös muita kuin vain puuntuotannollisia vaikutuksia. Viime aikoina on keskusteltu erityisesti ojituksen vesien- ja ilmansuojelullisista näkökohdista (esim. Eurola 1990, Huttunen 1990). Ojituksen muut kuin puuntuotannolliset vaikutukset ovat enimmäkseen hyötyä vähentäviä. Kuitenkin ojituksen vaikutukset esimerkiksi riistakantoihin ovat usein myönteiset (Karsisto 1974).

Rationaalisen päätöksenteon tavoitteena on hyödyn maksimointi. Kokonaishyöty koostuu useista hyödyn osatekijöistä. Hyödyn koostumiseen vaikuttavat kaikki ne seikat, joilla on arvoa hänelle tai sille, jonka kannalta päätöksentekoa tarkastellaan. Analyttiseen kokonaishyödyn koostumisen arviointiin tilanteissa, joissa kaik-

kia hyötyvaikutuksia ei kyetä mittaamaan kvantitatiivisin suurein, ei juurikaan ole ollut käytettävissä menetelmiä. Ojituksen, ja erityisesti kunnostusojituksen, osalta on toisaalta todettava, ettei myöskään perustietoa kaikkien hyötyvaikutusten määrittämiseksi luotettavasti ole vielä riittävästi. Hyvä päätösanalyysimenetelmä pystyy hyödyntämään kaiken käytettävissä olevan objektiivisen tiedon lisäksi myös asiantuntijoiden tietämyksen ja tuntemukset. Ns. asiantuntemuksen sisältyminen laskentaan on kuitenkin muistettava tulosten tulkinna: herkkyysanalyysi käytettävien mallien paramatrien suhteen on välttämätöntä.

Hyödyn koostumiseen vaikuttavat tekijät ja niiden painoarvot vaihtelevat suuresti tarkastelukulmasta toiseen: globaalini tai yhteiskunnan hyödyn maksimoiva päätös on usein eri kuin yksittäisen metsänomistajan hyödyn maksimoiva päätös (ks. Kangas 1990a). Näin on asianlaita myös ojitusvaihtoehdon valinnassa. Valtion maiden käytön ja hoidon ohjenuorana tulisi olla yhteiskunnallisen hyödyn maksimointi. Yksityisomistuksessa olevien soiden ojituksesta päättää omistaja, jos kohta yhteiskunta säätelee ja ohjaa Suomessa monin tavoin yksityismaiden käytön ja hoidon päätöksentekoa. Yhteiskunta vaikuttaa yksityismaiden ojituspäätöksiin mm. lakiin ja muiden säädösten sekä rahoitustuen kautta. Niiden tarkoitus on saattaa yksityismaiden käyttö ja hoito palvelemaan paremmin ns. yleistä etua kuin mihin puhdas yksityistaloudellinen päätöksenteko ilman niitä johtaisi.

Tässä tutkimuksessa esitetään menetelmä ojituspäätöksen hyötyvaikutusten analysointiin. Tavoitteena on, että menetelmän avulla kyetään joustavasti ja monipuolisesti tarkastelemaan eri tavoiteyhdistelmien ja siten eri hyötymallien vaikutusta ojitusvaihtoehdon valintaan. Menetelmä perustuu Saatyn (1977, 1980) kehittämään päätösanalyysimenetelmään nimeltään analyttinen hierarkiaprosessi (AHP). AHP:tä

käyttäen on mahdollista käsitellä niin kvantitatiivisia kuin kvalitatiivisiakin hyödyn osatekijöitä ja rinnastaa ne analyttisesti keskenään. Menetelmän havainnollistamiseksi esitetään esimerkki, jossa tarkastellaan kunnostus ojitusvaihtoehtojen hyötyvaikutuksia.

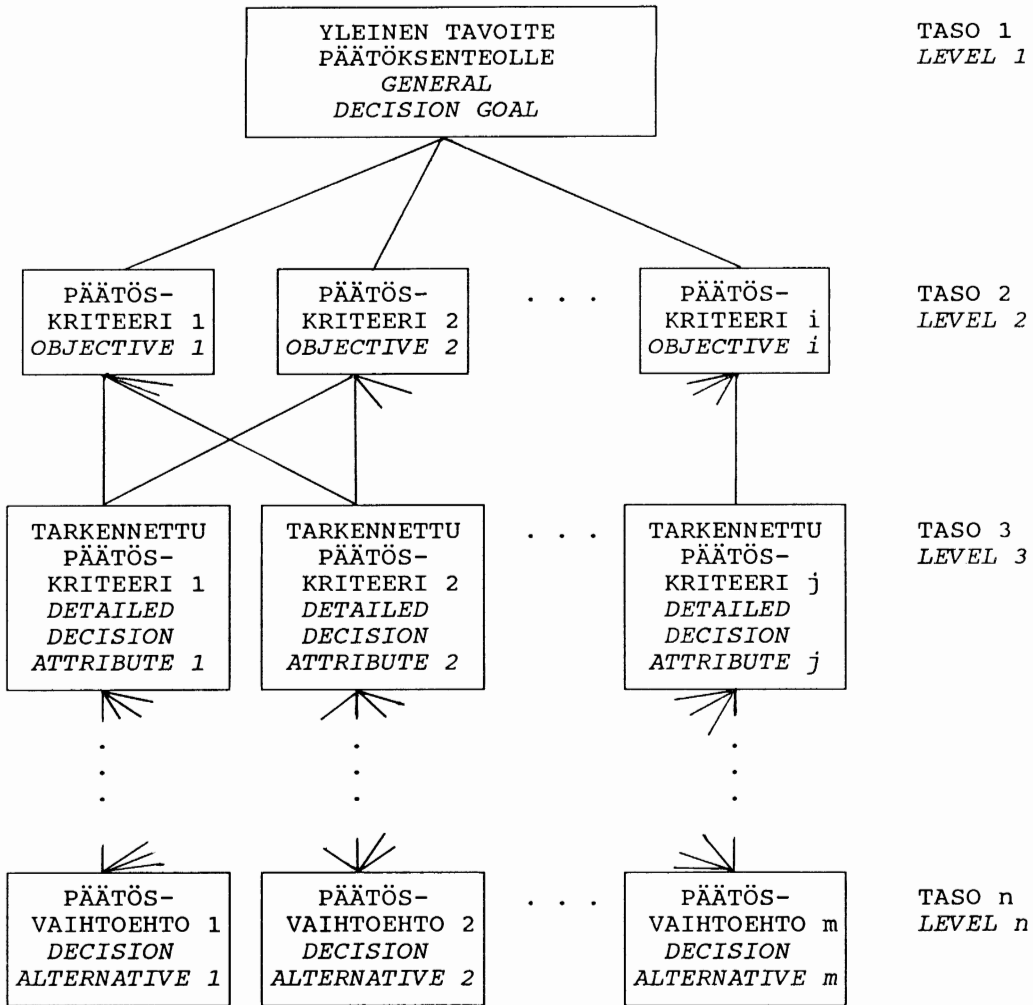
MENETELMÄN PERIAATTEET

AHP on pohjimmiltaan mittauksen teoriaa. Se on teoria suhdeasteikon konstruoimisesta kohteiden kesken tehtäviin pareittaisiin vertailuihin perustuen. Menetelmän perusversiossa vertailut tehdään sanallisesti. Kohteista tiedossa olevia tunnusten arvoja käytetään apuna vertailuissa, joskin suhteet voidaan määrittää myös suoraan tarkasteltavien tunnusten arvojen suhteen. Päätöksenteon analysoinnissa AHP:n käytöllä pyritään estimoimaan päätösvaihtoehtojen kokonaisvaltaista hyvyyttä kuvaavat prioriteetit.

AHP:tä on sovellettu lukuisten alojen päätöstilanteiden tarkastelussa (ks. Zahedi 1986, Saaty 1987), Suomessa mm. energiapolitiikkaan (Hämäläinen ja Seppäläinen 1986). Sen on todettu soveltuvan erityisen hyvin ympäristötaloudelliseen päätöksentekoon (Anselin ym. 1989, Varis 1989), josta ojituksen päätöksenteko on tyypillinen esimerkki. Metsäntuotannollisia sovellutuksia on toistaiseksi niukasti (Mendoza ja Sprouse 1989, Kangas 1990b, 1991).

Menetelmän soveltamisen vaiheet ovat:

- 1 päätöshierarkia konstruoidaan jakamalla päätösongelma päätöselementteihin ja määrittämällä niiden väliset suhteet (kuva 1),
- 2 päätöshierarkian kaikilla tasoilla tehdään pareittaiset vertailut: päätöselementtien tärkeyksiä tai päätösvaihtoehtojen hyvyyksiä tarkastellaan sen ylemmällä tasolla olevan päätöselementin suhteen, johon ne viittaavat,
- 3 pareittaisten vertailujen perusteella estimoidaan päätöselementtien suhteelliset painoarvot eli prioriteetit (tärkeydet tai hyvyydet) matriisilaskennan keinoin,



Kuva 1. Päätöshierarkian yleinen esitys.

Fig. 1. General structure of a decision hierarchy.

4 päätösvaihtoehtojen kokonaisvaltaiset hyvyydet eli globaalit prioriteetit lasketaan vaiheessa 3. estimoitujen lokaalien prioriteettien avulla.

Sanallisesti tehdyt pareittaiset vertailut muunnetaan numeerisiksi kokonaislukuarvoiksi 1–9. Asteikko perustuu psykologien havaintoon, jonka mukaan ihminen kykenee mieltämään samanaikaisesti enintään 5–9 kohdetta tai vertailuarvoa (Miller 1956).

Vaiheessa 3 muotoillaan pareittaisten vertailujen matriisi, josta ratkaistaan suurinta ominaisarvoa vastaava ominaisvektori. Ominaisvektorista saadaan prioriteettien likiarvot, jotka ovat sitä lähempänä täsmällisiä prioriteettien arvoja, mitä johdonmukaisempia pareittaiset vertailut ovat. Vertailujen johdonmukaisuutta kuvataan konsistenssisuhteella (Consistency Ratio, CR): kun suhde nousee yli kymmenen prosentin, ovat vertailut siinä mää-

rin epäjohdonmukaisia, että niihin on painuduttava uudelleen. Konsistenssisuhde sata prosenttia merkitsee vertailujen täyttä satunnaisuutta. AHP-menetelmän yksityiskohtainen kuvaus on löydettävissä useista kirjallisista lähteistä (esim. Saaty 1977, 1980, Saaty ja Kearns 1985).

ESIMERKKI KUNNOSTUSOJITUS- VAIHTOEHDEN VALINNASTA

Seuraavassa havainnollistetaan AHP-menetelmän käyttöä kunnostusojituksen päätöksentekoon kuvitteellisella esimerkillä. On huomattava, että päätöshierarkia on mietittävä kohteittain: päätöskriteerit vaihtelevat mm. päätöksentekijöittäin ja kohteen sijainnin mukaan. Selvää on, että pareittaiset vertailut on tehtävä kussakin kohteessa erikseen. Kriteereiden painoarvot vaihtelevat tapauksittain. Samoin toimenpiteitten vaikutukset ja vaikutusten vakuuksien suhteet toimenpiteitten kesken esimerkiksi vesistöjen kannalta vaihtelevat kohteittain.

Olkoon tarkasteltavana parikymmentä vuotta sitten ojitettu suo, jolla puuston kasvu ojituksen jälkeen aluksi selvästi lisääntyi, mutta jonka puuntuotos on ojien tukkeutumisen myötä taas vähentynyt lähes ojitusta edeltäneelle tasolle. Alueen omistakoon henkilö, joka näkee suossaan myös muita kuin puuntuotannollisia arvoja. Hän on esimerkissä päätöksentekijä.

Vaihtoehtoja olkoon viisi:

- 1 ojien perkaus,
- 2 ojien perkaus ja ojaston täydennys,
- 3 uusintaojitus,
- 4 ei ojitustoimenpiteitä ja
- 5 vanhat ojat täytetään.

Metsäneuvojan tekemän tavoitekartoituksen perusteella konstruoidaan päätöshierarkia päätöselementteineen (kuva 2). Päätöselementti 'puuntuotanto' sisältää tässä tapauksessa paitsi vaihtoehdon toteuttamisen myötä mahdollisesti saatavan puuntuotoksen lisäyksen arvon myös toi-

menpiteen aiheuttamat kustannukset. Päätöshierarkian muotoilemisen jälkeen tehdään pareittaiset vertailut niiden saman tason elementtien suhteen, jotka selittävät saman ylemmän tason päätöskriteerin mukaista suoluueesta saatavaa hyötyä.

Päätöshierarkian tason 2 elementtien prioriteettien estimoimiseksi päätöksentekijä tekee kolme pareittaista vertailua. Ensin tiedustellaan, kumpi on tärkeämpi päätöskriteeri, puuntuotanto vai muut tässä tapauksessa kyseeseen tulevat, päätöksentekijän määrittämät käyttömuodot, ja kuinka paljon tärkeämpi. Samanlainen vertailu tehdään myös puuntuotannon ja ympäristövaikutusten kesken sekä ympäristövaikutusten ja muiden käyttömuotojen kuin puuntuotannon kesken. Vertailuista muotoillaan matriisi A_H , josta voidaan edelleen laskea prioriteettifunktio P_H . Funktion kertoimet ovat vastaavien kriteereiden lokaalit prioriteetit, jotka kuvaavat kriteereiden suhteellista merkitystä kokonaisuhyödyn koostumisessa.

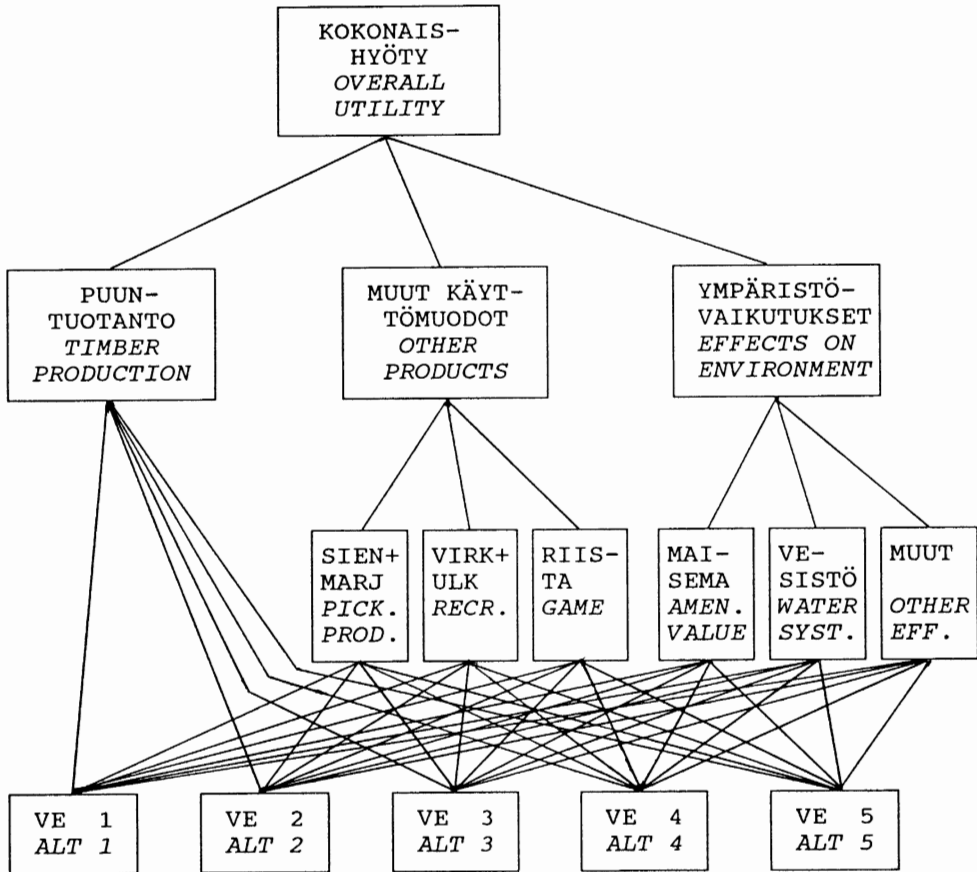
$$A_H = \begin{matrix} & \text{put} & \text{muu} & \text{ymp} \\ \text{put} & \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1/3 \end{bmatrix} \\ \text{muu} & \begin{bmatrix} 1/4 & 1 & 1/5 \end{bmatrix} \\ \text{ymp} & \begin{bmatrix} 3 & 5 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$CR = 7,4\%$$

$$P_H = 0,28 (\text{put}) + 0,09 (\text{muu}) + 0,63 (\text{ymp})$$

missä put on puuntuotanto
muu on muut käyttömuodot kuin puuntuotanto
ymp on ympäristövaikutukset

Matriisista nähdään esimerkiksi, että metsänomistaja pitää puuntuotantoa selvästi tärkeämpänä kriteerinä kuin muita käyttömuotoja (4:1). Matriisista ja prioriteettifunktiosta nähdään edelleen, että päätöksentekijän mielestä tärkein toisen tason päätöselementti on ympäristövaikutukset. Konsistenssisuhteen mukaan vertailuissa on jonkin verran epäjohdonmu-



Kuva 2. Esimerkki kunnostusvaihtoehtojen valinnan päätöshierarkiasta.

Fig. 2. A decision hierarchy of possible ditch maintenance alternatives

kaisuksia, mutta ei häiritsevästi; inhimillisessä arvottamisprosessissa on vähäiset ristiriidat hyväksyttävä.

Ympäristövaikutuksia ja muita käyttömuotoja kuin puuntuotantoa tarkastellaan edelleen kolmannen tason päätöselementtien avulla. Myös niiden lokaalit prioriteetit määritetään pareittaisten vertailujen pohjalta. Muita käyttömuotoja esimerkin kunnostusvaihtoehtojen kanssa ovat sienien ja marjojen tuottaminen, virkistys- ja ulkoilukäyttö sekä riistatalous. Ympäristövaikutukset jaetaan vaikutuksiin vesistöihin ja maisemaan sekä muihin ympäristövaikutuksiin, joita voivat olla esimerkiksi ilmansuojelulliset vaikutukset.

Päätöshierarkiaa alapäin edettäessä seuraavaksi vertaillaan päätösvaihtoehtoja erikseen puuntuotannon, marjojen ja sienien tuotannon, virkistys- ja ulkoilukäytön, riistatalouden, maiseman, vesistövaikutusten ja muiden ympäristövaikutusten kannalta. Puuntuotannon osalta vaihtoehtoja tarkastellaan siis kokonaisvaltaisesti tarkentamatta kyseistä päätöselementtiä. Mahdollista olisi jakaa myös puuntuotanto yksityiskohtaisempiin kriteereihin, esimerkiksi eri ajankohtien nettotuloihin ja tuottoarvoon yksityiskohtaisen tarkastelukauden lopussa (ks. Kangas 1991).

Olkoot muiden käyttömuotojen tärkeyttä ilmaiseva funktio P_{muu} ja erityyppisten

ympäristövaikutusten tärkeyttä kuvaava funktio P_{ymp} seuraavat.

$$P_{muu} = 0,35 (s\&m) + 0,45 (v\&u) + 0,20 (rii)$$

missä s&m on sienten ja marjojen tuotanto
v&u on virkistys- ja ulkoilukäyttö
rii on riistatalous

$$P_{ymp} = 0,38 (mai) + 0,51 (ves) + 0,11 (myv)$$

missä mai on vaikutukset maisemaan
ves on vaikutukset vesistöihin
myv on muut ympäristövaikutukset

Vaihtoehtojen arvottaminen eri kriteerien suhteen on pääsääntöisesti asiantuntijoiden — käytännössä usein metsäneuvojan — tehtävä. Muut vaadittavat vertailut kuuluvat päätöksentekijälle. Suositeltavaa tietenkin on, että päätösanalyyssissä käytettäisiin kunkin kriteerin osalta alan erityistietämystä; metsäneuvoja ei välttämättä ole asiantuntija esimerkiksi riistatalouden tai vesistövaikutusten arvioinnissa.

Vaihtoehtojen hyvyden vesistövaikutusten kannalta ilmaiseva matriisi A_{ves} olkoon esimerkki asiantuntijan arvottamisten perusteella muotoillusta pareittaisten vertailujen matriisista.

$$A_{ves} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 1/3 & 1/4 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1/5 & 1/7 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1/7 & 1/8 \\ 3 & 5 & 7 & 1 & 1/3 \\ 4 & 7 & 8 & 3 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$CR = 2,7\%$$

Matriisista voidaan nähdä, että asiantuntija, joka vaihtoehtot on tässä tapauksessa vesistövaikutusten kannalta arvottanut, esimerkiksi pitää vaihtoehtoa 4 (ei toimenpiteitä) vesistövaikutusten kannalta selvästi parempana kuin vaihtoehtoa 2 (perkaus + täydennys) (5:1). Matriisista A_{ves} laskettu lokaali prioriteettifunktio P_{ves} ,

jonka kertoimet kuvaavat vaihtoehtojen suhteellista hyvyttä vesistövaikutusten kannalta, on

$$P_{ves} = 0,12 (ve_1) + 0,07 (ve_2) + 0,04 (ve_3) + 0,27 (ve_4) + 0,50 (ve_5),$$

missä ve_i , $i = 1, \dots, 5$ on päätösvaihtoehto i

Lokaaleista prioriteeteista nähdään, että asiantuntija on arvioinut vaihtoehdon 5 (ojat tukitaan) vesistövaikutuksiltaan suositeltavimmaksi vaihtoehdoksi. Myös muut vaihtoehtojen arvottamiset tehdään samalla tavalla. Esimerkissämme pitää estimoida kaikkiaan kymmenen prioriteettifunktiota: yksi päätöshierarkian ensimmäisellä tasolla, kolme toisella ja kuusi kolmannella tasolla.

Vaihtoehtot asetetaan paremmuusjärjestykseen laskemalla niille edellä estimoitujen lokaalien prioriteettifunktioiden avulla vaihtoehtojen globaalit prioriteetit. Ne lasketaan etenemällä päätöshierarkiaa ylhäältä alas. Jokaiselle hierarkian päätöselementille voidaan määrittää globaali prioriteetti. Ensimmäisen tason eli yleisen tavoitteen prioriteetti on yksi. Toisen tason päätöselementtien globaalit prioriteetit ovat samat kuin niiden lokaalit prioriteetit eli funktion P_H kertoimet. Kolmannen tason elementtien prioriteetit saadaan kertomalla niiden lokaalit prioriteetit vastaavan toisen tason globaalilla prioriteetilla. Esimerkiksi maisemavaikutusten globaali prioriteetti tässä tapauksessa on $0,63 \times 0,38 = 0,239$.

Hierarkiaa edetään alaspäin aina vaihtoehtojen tasolle asti siten, että lokaalit prioriteetit kerrotaan vastaavan ylempään tason elementin globaalilla prioriteetilla. Jos päätöselementti viittaa välittömästi useampaan kuin yhteen ylempien tasojen elementteihin, globaali prioriteetti saadaan laskemalla kyseisen päätöselementin kaikki edellä kuvatulla tavalla lasketut lukuarvot yhteen. Esimerkissämme siis päätösvaihtoehdon globaali prioriteetti saadaan

laskemalla seitsemän kertolaskun tulokset yhteen. Olkoot prioriteetit seuraavat:

| vaihtoehto | globaali prioriteetti |
|------------|-----------------------|
| 1 | 0,222 |
| 2 | 0,180 |
| 3 | 0,132 |
| 4 | 0,292 |
| 5 | 0,174 |

Suurimman kokonaisuhyödyn tuottava kunnostusojitusvaihtoehto esimerkissämme on näin ollen vaihtoehto 4 eli 'ei toimenpiteitä'.

TARKASTELU

Analyttisellä hierarkiaprozessilla on useita hyvältä monitavoitteisen päätöstilanteen analysointimenetelmältä vaadittavia ominaisuuksia. Metsällisen päätösanalyysin kannalta on oleellista, että menetelmässä kyetään käsittelemään yhtä hyvin kvalitatiivisia kuin kvantitatiivisiakin tunnuksia. Erityisen tärkeää on, että AHP:tä käyttäen voidaan sekä selvittää päätöksen tekijän tavoitteet ja niiden arvostukset että ottaa ne myös huomioon päätösvaihtoehtojen arvottamisessa. Lisäksi AHP:n tulokset on helppo tulkita ja se mukautuu hyvin erityyppisiin päätöstilanteisiin, joskin tapauskohtainen päätöshierarkian räätälöinti aiheuttaa lisätyötä.

Edellä esitetty kunnostusojituksen päätöshierarkia on vain yksi esimerkki mahdollisista päätöshierarkioista, vaikkakin siinä lienee mukana yleisimmät ojituksen päätöskriteerit. Esimerkiksi vaihtoehtojen välittömiä kustannuksia saattaisi olla perusteltua tarkastella omana päätöselementtinään, koska ojituskustannukset tunnetaan paremmin kuin todennäköiset vaikutukset tulevaisuuden puuntuotannon tuottoon. Päätöshierarkiaan on helppo lisätä tai siitä poistaa päätöselementtejä ilman, että se vaikuttaisi laskennan periaatteisiin. Esi-

merkiksi alueen käyttömuodot — siis käyttömuodot, joiden prioriteetti on ylinollan — vaihtelevat kohteesta toiseen. AHP:n käyttöä helpottamaan on saatavissa kaupallisia tietokoneohjelmia (esim. Forman ja Saaty 1986), jos kohta vastaava ohjelma on helppo myös itse tehdä.

Nyt esitetyssä esimerkissä päätösvaihtoehtot arvotettiin myös puuntuotannollisten seikkojen suhteen pareittaisin vertailuin. Puuntuotannollinen arvo voitaisiin määrittää pareittaisten vertailujen sijasta myös suoraan vastaavien nettotulojen suhteina. Se edellyttäisi periaatteessa tarkkojen nettotulovaikutusten tuntemista. Ongelmana olisi lisäksi markkamääräisten erojen hyötyarvojen määrittäminen siten, että ne vastaavat pareittaisten vertailujen perusteella laskettujen prioriteettien vastaavia eroja. Hyötyjen yhteismitallisuus on välttämätöntä tulosten validisuuden kannalta.

Toisaalla on käytetty lineaarista skaalausta minimi- ja maksimiarvon välillä metsänuudistamisketjujen nettotulojen rinnastamiseksi muihin kriteereihin (Kangas 1990b). Huonoin hyväksyttävä nettotulojen nykyarvo sai hyötyarvon nolla ja paras mahdollinen hyötyarvon yksi. AHP:tä perusmuodossaan sovellettaessa näin lasketut prioriteetit olisi edelleen skaalattava siten, että niiden summa on yksi. Skaalauksen suurin ongelma on minimi- ja maksimiarvojen määrittäminen (ks. Keeney ja Raiffa 1976). Linearisessa skaalauksessa lisäksi oletetaan, että nettotulojen tuoma hyöty on lineaarisessa suhteessa markkamäärään, mikä ei yleensä pidä paikkaansa (esim. Varian 1990). Pareittaiset vertailut ja niiden perusteella estimoidut prioriteetit mittaavat suoraan vaihtoehtojen todellisia hyötyeroja asteikolla, joka on yhteensopiva kokonaisuhyötymallin muiden prioriteettien kanssa.

Esimerkkilaskelmassa tarkasteltiin viittä kunnostusojituksen perusvaihtoehtoa. Käytännössä ojituksen yhteydessä käsitellään usein myös alueen puustoa. Hakkuu-

vaihtoehtojen lisääminen tarkasteluun lisää vaihtoehtojen määrää. Saatyn (1980) suositus keskenään kerrallaan vertailtavien päätöselementtien enimmäismääräksi AHP:ssä on kymmenen. Nyt esimerkissä mukana olleista päätösvaihtoehdoista osa voidaan yleensä etukäteen sulkea pois tarkastelusta vailla valinnan mahdollisuutta olevana. Ojituksen hyötytarkastelussa voitaneen useimmiten rajoitua alle kymmeneen päätösvaihtoehtoon.

Jos vaihtoehtoja on yli kymmenen, tarkastelu on mahdollista tehdä iteroiden siten, että ensimmäisessä kymmenen vaihtoehdon tarkastelussa parhaaksi osoittanutta verrataan seuraaviin yhdeksään jne. kunnes kaikki vaihtoehdot on käyty läpi. Viimeisellä iterointikierröksellä suurimman globaalien prioriteetin saanut vaihtoehto valitaan. Toinen menettelytapa useamman kuin kymmenen vaihtoehdon tarkasteluun on käyttää vaihtoehtojen arvotamisessa pareittaisten vertailujen sijasta jotain muuta suhdeasteikollista hyötyfunktiota.

Ojitusvaihtoehdon valinnassa voidaan edetä myös siten, että nyt esitetyn esimerkin tavoin valitaan ensin päävaihtoehto. Kun on päätetty esimerkiksi perata ojat, voidaan tehdä tarkastelu yksityiskohtaisemmin kuvattujen vaihtoehtojen välillä. Yksityiskohtaisemmassa vertailussa tar-

kastellaan esimerkiksi erilaisia vesiensuojeluratkaisuja ja -rakennelmavaihtoehtoja.

Mikään laskelma ei tuota ehdotonta ratkaisua päätösongelmaan. Erityisesti ympäristötaloudellinen päätösanalyysi perustuu lähes aina vahvoin oletuksiin ja yksinkertaistuksiin sekä epävarmoin tietoihin. Tässäkin tutkimuksessa esitettyä ojitusvaihtoehtojen vertailumenetelmää voidaan käyttää vain päätöksenteon apuneuvona, siis tuottamaan tietoa lopullisen valinnan tueksi. Arvokasta tietoa päätösongelmasta saadaan erityisesti herkkyyksianalyysin keinoin: esitettyä menetelmää käyttäen voidaan helposti tarkastella päätöselementtien lokaalien prioriteettien muutosten vaikutusta vaihtoehtojen globaaleihin prioriteetteihin (esim. Arbel 1987).

AHP:tä voidaan soveltaa muihinkin metsäntuotannollisiin valintaongelmiin erityisesti silloin, kun päätösanalyysissä halutaan tarkastella myös muita kuin keskenään suoraan rinnastettavien, fyysisin mittasuurein ilmaistavia päätöksenteon kriteereitä.

KIITOKSET

Kiitän FL Juha-Pekka Hotasta, MML Risto Lauhasta ja MH Lasse Fineriä arvokkaista kommentista ja keskusteluista, sekä MMT Hannu Manerkoskea terminologisesta avusta.

KIRJALLISUUS

- Anselin, A., Meire, P.M. & Anselin, L. 1989: Multicriteria techniques in ecological evaluation: an example using the Analytical Hierarchy Process. — *Biological Conservation* 49:215–229.
- Arbel, A. 1987: Venturing into new technological markets. — *Mathematical Modelling* 9(3–5): 299–308.
- Eurola, S. 1990: Ojitettujen soiden merkitys ympäristötalouden kannalta. — *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 268:15–22.
- Forman, E.H. & Saaty, T.L. 1986: *Expert Choice Manual. Decision Support Software*. — Virginia. 347 s.
- Heikurainen, L. 1961: Metsäojituksen vaikutuksesta puuston kasvuun ja poistumaan hakkuusuunnitteiden laskemista varten. (Summary: The influence of forest drainage on growth and removal in Finland for estimations of allowable cut.) — *Acta Forestalia Fennica* 131:1–35.
- Heikurainen, L. & Seppälä, K. 1973: Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. (Summary: Regionality and continuity of stand growth in old forest drainage areas.) — *Acta Forestalia Fennica* 78(4): 1–14.
- Huttunen, P. 1990: *Suometsien hyödyntämisen ympäristöriskit*. — *Vesi- ja ympäristöhallituk-*

- sen monistesarja 268:23-29.
- Hämäläinen, R.P. & Seppäläinen, T.O. 1986: The Analytic Hierarchy Process in Energy Policy Planning. — *Socio-Economic Planning Science* 20:327-331.
- Kangas, J. 1990a: Metsien monikäytön suunnittelu — perusteita ja edellytyksiä. Julkaisussa: Saramäki, J. & Mäkkeli, P. (toim.): Metsätalouden suunnittelu — metsäntutkimuspäivä Joensuussa. — *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 357:31-37. Joensuun tutkimusase-ma.
- Kangas, J. 1990b: Metsänuudistamisketjun valinta — hyötyteoreettinen tarkastelu. — *Metsätalouden suunnittelun lisensiaatintutkimus*. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 114 s.
- Kangas, J. 1991: Multiple-use planning of forest resources by using the Analytic Hierarchy Process. — *Käsikirjoitus, hyväksytty julkais-tavaksi sarjassa Scandinavian Journal of Forest Research*. 27 s.
- Karsisto, K. 1974: Metsänparannuskohteet riistan kannalta. (Summary: Forest amelioration and the stocks of game.) — *Suo* 25:25-40.
- Keeney, R.L. & Raiffa, H. 1976: Decisions with multiple objectives: Preferences and value tradeoffs. — 569 pp. Wiley. New York.
- Keltikangas, M. 1971: Sarkaleveyden vaikutus ojitusinvestoinnin taloudelliseen tulokseen. (Summary: Effects of drain spacing on the economic results of forest drainage invest-ments.) — *Acta Forestalia Fennica* 123:1-70.
- Keltikangas, M. 1990: Ojitettujen soiden merkitys Suomen puuhuollolle nyt ja tulevaisuudessa: missä kannattaa kunnostusojitus? — *Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja* 268:7-14.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Sep-pälä, K. 1986: Vuosina 1930-1978 metsäoji-tetut suot: ojitusalueiden inventoinnin tulok-sia. (Summary: Peatlands drained for forestry during 1930-1978: results from field surveys of drained areas.) — *Acta Forestalia Fennica* 193:1-94.
- Mendoza, G.A. & Sprouse, W. 1989: Forest planning and decision making under fuzzy environments: An overview and illustrations. — *Forest Science* 35:481-502.
- Miller, G.A. 1956: The magical number seven plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. — *The Psycho-logical Review* 63:81-97.
- Paavilainen, E. & Tiihonen, P. 1988: Suomen suometsät vuosina 1951-1984. (Summary: Peatlands forests in Finland in 1951-1984). — *Folia Forestalia* 714:1-29.
- Saaty, T.L. 1977: A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. — *Journal of Mathematical Psychology* 15:234-281.
- Saaty, T.L. 1980: The Analytic Hierarchy Process. Planning, priority setting, resource allocation. 283 pp. McGraw-Hill.
- Saaty, T.L. & Kearns, K.P. 1985: Analytical planning. The organization of systems. — 208 pp. Pergamon Press. Oxford.
- Saaty, R.W. 1987: The Analytic Hierarchy Pro-cess — What it is and how it is used. — *Mathematical Modelling* 9:161-178.
- Varian, H. 1990: Intermediate microeconomics. A modern approach. 2nd edition. W.W. Norton & Company. New York. 599 s.
- Varis, O. 1989: The analysis of preferences in complex environmental judgments — A focus on the Analytic Hierarchy Process. — *Journal of Environmental Management* 28:283-294.
- Zahedi, F. 1986: The Analytic Hierarchy Process — A survey of the method and its applications. — *Interfaces* 16:96-108.

SUMMARY:

A METHOD FOR UTILITY COMPARISON OF FOREST DRAINAGE ALTERNATIVES

In Finland, about 5.7 million hectares of forest land and peatland has been ditched for timber product purposes (Keltikangas 1990). Sooner or later, the ditches have to be maintained to continue the effects of forest drainage on timber production. Nowadays, criteria other than timber

production, such as environmental effects, are of increasing importance in decision-making about forest drainage. However, there has been a lack of a means of comparing drainage alternatives with regard to criteria other than those which can be measured financially.

Choice of a forest drainage alternative is a typical example of a multiple criteria decision situation with both quantitative and qualitative decision elements. Crucial problems of modelling multi-objective environmental decision-making processes include: (i) determining the objectives and their importance, (ii) evaluating the decision alternatives with regard to each objective, and (iii) making the objectives and the evaluations of decision alternatives commensurable.

By using the Analytic Hierarchy Process (AHP) complex decision situations can be analyzed. The AHP method is based on a general theory of measurement. It was originally developed by Saaty (1977, 1980). The four basic steps involved are: (i) the decision problem (goal, objectives, attributes, decision alternatives) is structured as a decision hierarchy (Fig. 1), (ii) the preferences of the decision-maker are accommodated by pairwise comparisons between decision elements at each level of the decision hierarchy, (iii) local priorities of decision elements are estimated on the basis of comparisons, and (iv) utility indices (global priorities) of decision alternatives are calculated on the basis of the local priorities estimated in step (iii). On grounds of verbal comparisons, translated into numerical values, a matrix of pairwise comparisons is constructed in step (ii). Priorities of decision elements on a ratio scale are solved using the eigenvalue method. Besides opinions of the decision-maker, both expertise and objective data can be utilized in step (iii). For details on the AHP theory readers are referred to Saaty (1977, 1980) and Saaty and Kearns (1985), and for forestry applications of the method to Mendoza and Sprouse (1989) and Kangas (1991).

In this study the AHP is applied to choosing the forest drainage alternative. The use of the method was illustrated by an example, in which the decision-maker was a non-industrial Finnish forest owner.

The expertise level of the decision-maker was taken as that of a typical forest owner with no expert knowledge. The decision problem was to choose the alternative of maintenance of drainage for a peatland area ditched about 20 years ago. The alternatives evaluated were: ditch cleaning, ditch cleaning with additional ditching, re-drainage, no treatments, and ditch filling.

The decision hierarchy was constructed on grounds of discussions between a consultant and the decision-maker (Fig. 2). The general goal of any decision-making is to maximize the overall utility of the decision-maker (level 1). The decision elements describing the overall utility were determined as timber production, other products, and effects on the environment (level 2). The decision element 'other products' was further described using third level decision elements mushrooms and berries, recreational values, and game. Also the element 'effects on the environment' was described using more detailed attributes at level 3: effects on scenery, effects on water systems, and other effects such as possible effects on air quality.

Local priorities were estimated at levels 1 and 2 on the basis of the preferences of the decision-maker. Decision alternatives were evaluated with regard to the nearest decision elements above them in the hierarchy based on expertise: a consultant made the pairwise comparisons at the lowest level of the decision hierarchy. In the example, the recommended choice was 'no treatment'.

Instead of pairwise comparisons, priorities describing values measurable with quantitative units can be estimated as ratios of numbers of those units. For example, timber productional values of alternatives of maintenance of drainage can be estimated using ratios of present value of net income.

A crucial step when applying the AHP is the structuring and decomposing of the decision problem into specific decision

elements. It has to be done by a consultant familiar with the method. Pairwise comparisons to be made between decision elements have to be meaningful and easy to understand. If the pairwise comparisons are not consistent enough, all or some of the comparisons have to be repeated or the problem has to be restructured. The weakest point of the AHP is only a limited number of decision alternatives can be evaluated at one time. If there are more than ten potential alternatives the problem has to be solved iteratively or other utility functions have to be used in evaluating the alternatives with regard to decision

attributes. One possibility is as follows: first the main alternative, for example ditch cleaning, is chosen, and then an evaluation of more detailed alternatives, such as different ditch cleaning alternatives, is carried out.

Due to its simplicity, flexibility and high effectiveness in analysing complex decisions the AHP is applicable to analysing environmental decision problems. The results of a decision analysis carried out using the AHP are easy to interpret. Sensitivity analyses about the effects of changes in the preferences on the choice can also be easily made.

Received 12.VII.1991

Approved 2.IX.1991