

## ANALYYTTISEN HIERARKIAPROSESSIN KÄYTTÖ METSIEN MONIKÄYTÖN SUUNNITELUSSA – TAPAUSTUTKIMUS

Jyrki Kangas, Jukka Matero ja Timo Pukkala

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 412





## Analyttisen hierarkiaproessin käyttö metsien monikäytön suunnittelussa - tapaustutkimus

Jyrki Kangas, Jukka Matero ja Timo Pukkala

Kangas Jyrki, Matero Jukka & Pukkala Timo. 1992. Analyyttisen hierarkiaprosessin käyttö metsien monikäytön suunnittelussa - tapaustutkimus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 412. 48 s. ISBN 951-40-1215-1, ISSN 0358-4283.

Tiivistelmä: Tutkimuksessa testattiin analyttistä hierarkiaprosessia (AHP) metsien monikäytön suunnittelussa metsähallituksen omistamalla 321 ha:n suuruisella metsä-alueella. Tapaustutkimuksessa AHP:ia käytettiin kuuden MONSU-ohjelmistolla laaditun suunnitelmavaihtoehdon arvottamisessa ja parhaan suunnitelmavaihtoehdon valinnassa alueelle. AHP:lla voidaan tarkastella niin kvantitatiivisia kuin kvalitatiivisiakin päätöskriteereitä sekä estimoida suunnitelmille niiden toteuttamisen tuottamaa kokonaisuhyötyä kuvaava suhdeasteikollinen tunnusluku. Tapaustutkimuksessa valittiin kokonaisuhyötyä selittäviksi päätöskriteereiksi puuntuotanto, maisema ja riista, jotka jaettiin vielä alemman tason alikriteereihin. Metsähallituksen omat asiantuntijat tekivät päätöskriteerien tärkeyksien väliset pareittaiset vertailut sekä vertailivat pareittain suunnitelmavaihtoehtoja kunkin kriteerin kannalta. Suunnitelmavaihtoehdot esitettiin vertailijoille mm. numeerisen tiedon, hakkuuteemakarttojen ja tietokoneella tuotettujen maisemapiirrosten avulla. Pareittaisten vertailujen tekemistä AHP:ssa käytettävällä asteikolla pidettiin melko vaikeana, vaikka vertailujen yhdenmukaisuus oli varsin hyvä.

Avainsanat: metsien monikäyttö, metsätalouden suunnittelu, monikäytön suunnittelu, päätösanalyysi

Kirjoittajan yhteystiedot: Jyrki Kangas, Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu, puh. 973-1514026, fax 973-1514567

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos; Hanke 3113-4. Hyväksynyt: Aarne Reunala, vs. tutkimusjohtaja 28.4.1992.

Jakaja: Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimusasema, PL 68, 80101 Joensuu

## Sisällys

1. Johdanto	4
2. Tutkimuksen tarkoitus	5
3. Lähestymistavat monikäytön suunnitteluun	6
31. Taloustieteelliset lähestymistavat	6
32. Monitavoitteinen hyötyteoria	7
33. Matemaattinen ohjelmointi	9
34. Analyyttinen hierarkia-prosessi	11
4. Tapaustutkimus	15
41. Tutkimusalue	15
42. Päätöksentekohierarkia	16
43. Suunnitelmavaihtoehdot	17
44. Pareittaiset vertailut	20
45. Tavoitekriteerien ja suunnitelmavaihtoehtojen prioriteetit	24
46. Herkkyysanalyysi	28
5. Tarkastelu	31
Kirjallisuus	38
Liitteet	

## 1. JOHDANTO

Suomessa puuntuotanto on perinteisesti ollut keskeisellä sijalla metsien käytössä. Viime aikoina kuitenkin puuntuotannon ympäristövaikutukset ja metsien muut käyttömuodot, esimerkiksi virkistys, marjastus ja metsästys ovat saaneet aikaisempaa suuremman painoarvon metsäntuotannon suunnittelussa. Monessa tapauksessa näitä erilaisia käyttömuotoja voidaan sovittaa puuntuotannon kanssa yhteen ja puhua monikäytöstä.

Monikäytöstä on eri maissa esitetty jonkin verran toisistaan poikkeavia määritelmiä. Saastamoinen (1982) tarkoitti monikäytöllä usean käyttöarvon tarkoituksellista tuottamista ja hyödyntämistä metsäalueella. Keski-Euroopassa on käytetty monitavoitteisen metsätalouden (*multi-goal forestry*) käsitettä kuvaamaan metsien monikäytön ajatusta. Australialaisen määritelmän mukaan monikäyttö on tietyn alueen käyttämistä useaan eri tarkoitukseen. Tuotantoteorian käsittein metsien monikäyttö voidaan yleisesti määritellä metsätalouden maan monihyödyketuotannoksi. (Saastamoinen 1982).

Periaatteessa metsätalouden suunnittelulle voitaisiin antaa kaikki metsänkäyttömuodot sisältävä merkitys. Viime aikoina metsien monikäytön suunnittelu -käsite onkin joissakin yhteyksissä esitetty korvattavaksi metsäsuunnittelun tai integroidun metsätaloussuunnittelun käsitteillä (esim. Kangas 1990b, Kreutzwiser & Wright 1990, Kähkönen 1991). Tässä käytetään selvyyden vuoksi kuitenkin monikäytön suunnittelun käsitettä kuvaamaan usean käyttömuodon tietoista huomioonottamista metsän käytön suunnittelussa.

Monitavoitteinen päätöksenteko (*multicriteria decision making, MCDM*) viittaa päätöksentekoon, jossa on useita, tavallisesti ristiriitaisia, tavoitteita (Zionts 1985, Howard 1991). Metsien monikäyttö on tyypillinen monitavoitteinen päätöksentekotilanne, sillä esimerkiksi suomalaisten metsänomistajien päätöksenteon perusteena on useissa yhteyksissä todettu olevan myös muita kuin rahassa mitattavia tavoitteita (esim. Tikkanen 1978, Järveläinen 1988, Naskali 1989). Metsien monikäytön suunnittelu edellyttää, että useita metsän tuottamia hyödykkeitä kyetään ottamaan huomioon päätösanalyysissä. Päätöksentekijällä voi olla kunkin hyödykkeen tuotannolle omat tavoitteet, jotka on suunnittelussa kyettävä yhteensovittamaan siten, että päätöksentekijän metsälöstään saama hyöty maksimoituu.

Oikean päätösvalinnan valinta monikäytön suunnittelussa edellyttää, että tunnetaan päätöksentekijän todelliset tavoitteet keskinäisine tärkeyssuhteineen (Kangas 1990a). Selkeiden ja täsmällisten tavoitteiden määrittäminen ja ilmaiseminen voi tuottaa metsänomistajalle vaikeuksia (Valkonen 1991, Kangas 1992a). Inhimilliselle päätöksenteolle on nimenomaan tyypillistä tavoitteiden ja mieltymysten epävarmuus (Fischhoff ym. 1980).

Metsänomistajien tavoitteet voivat joskus olla ristiriitaisiakin. Kvalitatiivisten hyötyyn vaikuttavien tekijöiden huomioonottamisen vaikeutena on niiden mitattavuus sekä rinnastettavuus kvantitatiivisiin tunnuksiin (Kangas 1992a). Niitä voidaan yleensä mitata ainoastaan luonteeltaan kvalitatiivisilla luokittelu- tai järjestyssasteikoilla (Howard 1991). Suunnitteluhenkilöstön tehtävänä tulisikin entistä enemmän olla päätöksentekijän auttaminen tavoitteiden tunnistamisessa (Päivinen 1990). Tällöin on oltava käytössä menetelmiä, joiden avulla voidaan muotoilla tavoitteet laskennallisesti käsiteltävään muotoon ja joiden avulla kyetään rinnastamaan eri mittayksiköillä ja eri mitta-asteikolla kuvattavia tunnuksia.

Nykyiset käytännön suunnittelumenetelmät on suunniteltu kuitenkin lähes pelkästään puuntuotantoa varten. Päätöksentekijän monikäyttöiset tavoitteet on otettu niissä huomioon lähinnä suunnittelijoiden subjektiivisten näkemysten ja kokemusten perusteella ilman käyttömuotojen numeerista vertailua (Hallikainen 1990). Puuntuotannon tärkeyttä on pidetty niin itsestään selvänä, että se on yleensä asetettu metsän käytön tavoitteeksi edes neuvottelematta asiasta metsänomistajan kanssa. Yksityismetsänomistajien tavoitteet on viime vuosiin asti oletettu usein samoiksi koko yhteiskunnan tavoitteiden kanssa (Palo 1989). Kohoavaan puuntuotantoon tähtäävä metsätalouden yleinen päämäärä on usein merkinnyt puuntuotannon ensisijaisuutta myös valtion metsien käytössä, vaikka laki metsähallinnosta velvoittaa metsähallituksen ottamaan huomioon puuntuotannon ohella myös metsän muiden hyödykkeiden tuottamisen (Laki metsähallinnosta 1987).

Viime aikoina on metsien käytön suunnittelua koskevissa tutkimuksissa pyritty puuntuotannon lisäksi ottamaan päätöksenteon perusteiksi myös muita hyödykkeitä (esim. Fogel ym. 1988, Paredes 1988, Shakya ym. 1989, Mendoza & Sprouse 1989). Esimerkiksi Tecle ym. (1988) vertailivat 15 erilaista monitavoitteisen päätöksenteon analyysimenetelmää esittäessään tekniikan, jolla valitaan sopiva analyysimenetelmä metsäalueen käytön suunnitteluun. Janssenin ym. (1985) mukaan jokainen päätöksentekijäkohtainen on kuvattava mahdollisimman monipuolisesti ja yksityiskohtaisesti ennen sopivan menetelmän valintaa. Kuhunkin päätöstilanteeseen sopivan menetelmän valinta edellyttää myös kokemusta mahdollisista menetelmävaihtoehdoista (Tecle ym. 1988).

Yksi lähestymistapa monikäytön suunnitteluun on kaikkien metsän tuottamien hyödykkeiden arvottaminen yhdellä kriteerillä. Arvottamisen kriittinen vaihe on arvottamiskriteerin valinta. Taloustieteellisessä lähestymistavassa käytetään arvottamisessa taloudellisia arvoja, jotka yleensä ilmaistaan rahamääräisinä. Taloudelliset arvot eivät kuitenkaan aina ole rahassa mitattavia (Saastamoinen 1982). Hyötyteoreettisessa lähestymistavassa hyödykkeet arvotetaan niiden päätöksentekijälle tuottaman hyödyn (utiliteetin) avulla ja päätöksenteossa pyritään ottamaan huomioon myös kvalitatiiviset tekijät. Vaihtoehtoinen tapa monikäyttöiset seikat huomioonottavaan päätöksentekoon on käyttää erilaisia mittoja eri hyödykkeille ja optimoida kaikkia tavoitteita yhtä aikaa (Gong 1991). Tämä johtaa monitavoiteoptimoinnin ongelmaan.

Tämä tutkimus liittyy metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimusaseman metsien monikäytön suunnittelu ja ekonomia -tutkimushankkeeseen sekä Joensuun yliopiston, metsäntutkimuslaitoksen Joensuun tutkimusaseman ja metsähallituksen yhteistutkimushankkeeseen integroidun metsällisen päätöksenteon tukijärjestelmä. Metsähallituksen Pohjanmaan piirikuntakonttori rahoitti tutkimuksen maastotyöt. Metsähallituksen tutkimukseen osallistunut Pohjanmaan piirikuntakonttorin ja Taivalkosken hoitoalueen henkilökunta mahdollisti myönteisellä suhtautumisellaan tutkimuksen käytännön toteutuksen. Ylimetsänhoitaja Viljo Kaartinen, aluemetsänhoitaja Arto Ahokumpu, riistatalouden ylitarkastaja Olavi Joensuu, MH Taisto Hokajärvi, puustonhoitaja Kaino Karjalainen, metsätalousinsinööri Reijo Hirvonen ja MH Pauli Määttä toivat tutkimuksen aikana esille monia arvokkaita näkökohtia.

## 2. TUTKIMUKSEN TARKOITUS

Tässä tutkimuksessa esitellään aluksi vaihtoehtoisia menetelmiä, joilla on pyritty ottamaan muut kuin puuntuotannolliset tavoitteet huomioon metsien monikäytön

suunnittelussa. Pareittaisiin vertailuihin perustuva analyttinen hierarkiaproessi (AHP) esitellään tarkemmin, ja sitä käytetään tapaustutkimuksessa metsähallituksen omistamalla metsäalueella vaihtoehtoisten suunnitelmien arvottamisessa ja parhaan suunnitelmavaihtoehdon valinnassa. Tutkimuksen tarkoituksena on arvioida AHP-menetelmän käyttömahdollisuuksia metsien monikäytön suunnittelussa, jossa puuntuotannollisten tekijöiden lisäksi on otettava huomioon myös vaikeasti mitattavia, kvalitatiivisia hyötyyn vaikuttavia tekijöitä.

Tapaustutkimuksen avulla pyritään löytämään suunnitteluprosessista mahdolliset lisäkehittämistä vaativat vaiheet. Sen avulla selvitetään myös, miten yhdenmukaisia vertailuja päätöksentekijät pystyvät tekemään eri kriteerien ja suunnitelmavaihtoehtojen välillä. Tapaustutkimuksessa pyritään selvittämään metsähallituksen henkilökunnan suhtautumista AHP-menetelmään. Herkkyysanalyysin avulla tutkitaan, miten suuret päätöskriteerien painokertoimien muutokset aiheuttavat muutoksia suunnitelmavaihtoehtojen paremmuusjärjestyksessä.

### 3. LÄHESTYMISTAVAT MONIKÄYTÖN SUUNNITTELUUN

#### 31. Taloustieteelliset lähestymistavat

Taloustieteelliset lähestymistavat perustuvat hyödyn maksimoinnin periaatteeseen. Niissä pyritään yleensä hyötyjen ja kustannusten rahamääräistämiseen myös markkinattomien hyödykkeiden osalta. Metsätaloudessa yleisenä tavoitteena voi olla erilaisen hyödykkeiden mahdollisimman tehokkaan yhdistelmän luominen. Tällöin monikäyttöä voidaan tarkastella yhteistuotantoteorian kannalta (Gong 1991). Tavoitteena on maksimoida metsän taloudellinen nettoarvo, joka käytettävissä olevilla resursseilla kaikki ympäristöhyödykkeet mukaanlukien voidaan saavuttaa (esim. Naskali 1989, Li ym. 1990). Nettoarvon maksimointi tarkoittaa yhteistuotantoteorian mukaan kunkin metsän hyödykkeen tuottamista sellaisen määrän, että niiden tuotannon rajakustannus on yhtä suuri kuin niiden hinta (Gong 1991).

Tuotantoteoriaa sovellettaessa on kaksi keskeistä ongelmaa. Ensinnäkin metsän hyödykkeiden yhteistuotantofunktio on paljon monimutkaisempi kuin niiden erilliset tuotantofunktiot, joita niitäkään ei vielä tunneta riittävän hyvin kaikkien hyödykkeiden osalta biologisen tiedon vähäisyyden vuoksi. Toisaalta metsän taloudellista nettoarvoa maksimoitaessa on otettava huomioon useita ympäristöhyödykkeitä, joita pidetään yleensä julkisina hyödykkeinä ilman markkinahintoja ja joiden arvottaminen on siten hyvin ongelmallista. Yhteistuotannon taloustieteellinen malli ei yleensä ole suoraan sovellettavissa monikäytön suunnitteluongelmiin.

Saastamoinen (1982) tarkasteli metsien monikäytön ekonomiaa tutkiessaan Saariselän käyttömuotojen suhteita. Hänen mukaansa metsäalueen tuottaman hyödykeyhdistelmän arvon maksimoiminen riippuu toisaalta hyödykkeiden teknisistä suhteista (yhteistuotantofunktiosta), toisaalta hyödykkeiden hintasuhteista (vaihtoarvoista). Jos hyödykkeiden hinnoittelu on epävarmaa, voidaan hyödykkeitä tarkastella niiden käyttöarvon pohjalta. Käyttöarvo kuvaa hyödykkeen tuottamaa hyötyä, ja eri hyödykkeiden käyttöarvoja voidaan mitata erilaisilla yksiköillä.

Metsien monikäyttöä voidaan tarkastella myös kustannus - hyöty -analyysin avulla. Esimerkiksi Johansson & Löfgren (1985) päättelivät, että on sosiaalisesti kannattavaa



säästää aarnimetsä ei-puuntuotannolliseen käyttöön, mikäli kokonaismaksuhalukkuuden suojelusta on suurempi kuin puuntuotannon tuottojen nykyarvo puuntuotannollisessa käytössä. Kustannus-hyöty-analyysissä voidaan käyttää apuna ympäristöhyödykkeiden tuottamisen vaihtoehtokustannuksia, joita verrataan hyödykkeiden tuottamaan hyötyyn, käyttöarvoon (Saastamoinen 1989). Vaihtoehtokustannuksilla tarkoitetaan yleensä hinnoittele mattomien hyödykkeiden tuottamisen aiheuttamaa puuntuotannollisen hyödyn menetystä, joka voidaan aina esittää markkamääräisenä. Kustannus - hyöty-analyysiä on viime vuosina käytetty runsaasti erilaisten ympäristöhyödykkeiden arvottamistutkimuksissa (esim. Mattson 1989, Kriström 1990).

Metsän käytön sosiaalisen optimin saavuttamiseksi metsän kaikki hyödykkeet pyritään taloustieteellisten lähestymistapojen mukaan arvottamaan samalla tavalla kuin puutavara - eli markkoina (Li ym. 1990). Hinnoittele mattomien ympäristöhyödykkeiden arvottamismenetelmistä on viime aikoina erityisesti kiinnitetty huomiota ns. subjektiivisten arvostusten menetelmään (contingent valuation -menetelmä) (esim. Naskali 1989, Mäntymaa & Svento 1991). Menetelmällä ei ole vakiintunutta suomenkielistä termiä. Tässä käytetään termiä subjektiivisten arvostusten menetelmä (SA-menetelmä) Mäntymaan ja Sventon (1991) mukaisesti.

SA-menetelmässä järjestetään kysely tai haastattelu, jossa henkilöitä pyydetään arvioimaan maksuhalukkuuttaan markkinattomien hyödykkeiden laadun tai määrän marginaalisesta muutoksesta. Todellisten markkinoiden sijalle SA-menetelmässä pyritään vastaajien ajatuksiin luomaan hypoteettiset markkinat, joiden tavoitteena on mahdollisimman todentuntuisesti jäljitellä tavallista hyödykkeiden osto- ja myyntitilannetta.

Objektiivisissa arvottamismenetelmissä, kuten matkakustannusmenetelmässä ja hedonisten hintojen menetelmässä, johdetaan jonkin markkinahyödykkeen havaittavista hinnoista implisiittinen arvo siihen liittyvälle ympäristön laadulle (Mäntymaa & Svento 1991). SA-menetelmän suurimpana etuna objektiivisiin menetelmiin verrattuna on se, että sillä on mahdollista mitata erilaisia - myös ei-käyttäjän - arvon muotoja, joiden merkitys on havaittu huomattavan suureksi esimerkiksi erämaa-alueiden suojelussa (Kriström 1990). SA-menetelmän muunnoksista on viime vuosina eniten saanut suosiota ns. diskreetin valinnan tekniikka, jota on nimetty myös dikotomisen valinnan tekniikaksi (Naskali 1989, Mäntymaa & Svento 1991). Se kuvaa jokapäiväisiä markkinapäätöksiä paremmin kuin perinteisessä SA-menetelmässä käytetyt suorat kysymykset.

Monet ympäristöhyödykkeiden arvottamistutkimukset ovat tuottaneet tuloksia, jotka eivät aina sovellu kovin hyvin informaatioksi vertaillaessa vaihtoehtoisia suunnitelmia metsien käsittelyyn. Metsätalouden suunnittelussa tarvitaan ympäristömuutosten marginaalisia arvoja, ei niinkään jonkin markkinattoman hyödykkeen kokonaisarvoa nykyhetkellä. Ympäristöhyödykkeiden taloudellisessa arvottamisessa on ongelmana myös ei-käyttäjärvon taustalla olevien perusteiden epäselvä luonne sekä ei-käyttäjärvosta hyötyvän ihmisjoukon määrittäminen (Green & Tunstall 1991).

### 32. Monitavoitteinen hyötyteoria

Monitavoitteinen hyötyteoria on päätöksenteon teoriaa, joka tarjoaa keinoja myös muiden kuin rahassa mitattavien tavoitteiden numeeriseen käsittelyyn monikäytön suunnittelussa. Monitavoitteisessa hyötyteoriassa muodostetaan hyötyfunktio, jonka avulla päätöksentekijä voi arvottaa kaikki valittavissa olevat vaihtoehdot ja valita niistä

hyötynsä maksimoivan (Tell 1976). Hyötyfunktio voidaan muodostaa aikaisempien päätösten tai arvoitettujen vaihtoehtojen perusteella epäsuorasti esim. regressioanalyysillä tai suoraan päätöksentekijälle tehtyjen kysymysten avulla (Tell 1976).

Eri sovelluksissa on käytetty erilaisia hyötyfunktioimuotoja, jotka poikkeavat toisistaan mm. suhtautumisessa eri muuttujien, päätöskriteerien, korvattavuuteen (Tell & Wallenius 1979). Yleensä hyötymallien muuttujat suhteutetaan siten, että niiden maksimiarvo on yksi ja minimiarvo nolla (Kangas 1992a). Tällöin mahdolliset mittayksiköiden erot muuttujien välillä eivät vaikuta hyötymallin tulokseen. Suhteutuksen toteutustapa voi vaikuttaa kuitenkin vaihtoehtojen paremmuusjärjestykseen, koska vaihtoehtojen eri hyötyfunktioiden arvoja vastaavat absoluuttiset erot muuttuvat (Kangas 1992a).

Hyötymallin ratkaisemisessa voidaan käyttää erilaisia optimointimenetelmiä, jos vaihtoehtojen määrä on suuri. Mikäli päätöksentekijän hyötyfunktio on lineaarinen, sitä on aina mahdollista käyttää lineaarisen ohjelmointimallin tavoitefunktiona. Hyötyfunktio on aina päätöksenteon taustalla, vaikka sen täsmällinen muoto ei olisikaan tiedossa (Steuer 1986). Matemaattisen ohjelmoinnin tehtävien muotoilussa päätöksentekijä määrittää hyötymallinsa tavoite- ja rajoiteyhtälöiden muodossa.

Kangas (1992a) esitti monitavoitteiseen hyötyteoriaan perustuvan päätösanalyysimallin metsikön uudistamisketjun valintaan. Hän laati monitasoisen hyötymallin, jossa hierarkian ylimmän tason muuttujina olivat puuntuotannon nettotuloista saatava hyöty ja muista tavoitteista saatava hyöty. Ei-rahamääräisten tavoitteiden keskinäisten tärkeyksien määrittämiseen hän käytti pareittaisia vertailuja. Kangas muotoili hyötymallin siten, että taloudelliset kriteerit painottuivat sitä enemmän, mitä lähempänä minimitulotasoa suurimman nettotulojen nykyarvon tuottama uudistamisvaihtoehto oli.

Hyberg (1987) esitti hyötymallin, jossa rahayksiköin mitattavien tunnusten lisäksi muuttujina olivat maisemalliset arvot. Ensimmäisessä vaiheessa hän estimoï kysymysten avulla metsänomistajan hyötyfunktion erikseen kummankin muuttujan suhteen. Tämän jälkeen hän yhdisti erilliset hyötyfunktiot kokonaisyötyfunktioiksi, jota käytettiin vaihtoehtojen hakkuuohjelmien hyvyyden arvioimiseen. Hänen esimerkkilaskelmasaan maisemalliset seikat saivat huomattavan suuren painon.

Harrisonin & Rosendahlin (1986) esittämässä hyötyfunktiossa muuttujina olivat puuntuotannon nettotulojen nykyarvon ohella myös virkistysarvo ja kuuden eri villieläinlajin populaatioiden potentiaaliset koot. He käyttivät hyötyfunktion muotoilussa apuna asiantuntijoiden laatimia tuotantofunktioita virkistysarvolle ja villieläinpopulaatioille. Eri kriteereiden tärkeyttä kuvaavat hyötyfunktion parametrit estimoitiin metsänomistajan näkemysten pohjalta.

Monilla metsänomistajilla voi olla vaikeuksia vastata kysymyksiin, jotka ovat välttämättömiä hyötyfunktion muodostamisessa (Kangas 1992a). Saman metsänomistajan vastaukset samaan kysymykseen voivat olla erilaisia, mikäli kysymys tehdään uudestaan. Useiden päätöksentekijöiden tapauksessa hyötyfunktion muodostaminen on vielä vaikeampaa. Monimutkaisissa päätösongelmissa ristiriitaisuuksia ei kuitenkaan voitane välttää. Vaikeutena on se, että moniin ongelmiin ei ole mahdollista löytää matemaattista esitystapaa päätöksentekijän hyötyfunktiolle (Steuer 1986). Hyödyn käsite aiheuttaa vaikeuksia henkilöiden välisissä hyvinvointivertailuissa (Saastamoinen 1989). Eri hyötyfunktioilla tai eri päätöksentekijöille määritettyjä hyötyjä ei voida verrata keskenään (Kangas 1992a).

### 33. Matemaattinen ohjelmointi

Monikäytön suunnitteluongelma voidaan ratkaista matemaattisen ohjelmoinnin avulla, mikäli päätöksentekijän tavoitteet ovat kvantitatiivisia ja täsmällisesti esitettävissä suoraan funktiomuodossa (esim. Mendoza ym. 1987). Yleinen monitavoitteinen ohjelmointiongelma voidaan esittää seuraavasti (Zionts 1985):

$$\begin{aligned} &\text{Maksimoidaan } F(x) \\ &\text{sitte, että } G(x) \leq 0, \\ &\quad x \geq 0 \end{aligned}$$

missä  $x$  on päätös­muuttujien vektori,  $F(x)$  on maksimoitavien tavoitteiden vektori ja  $G(x)$  käyvän ratkaisuavaruuden muodostavien rajoitteiden vektori.

Sekä tavoitteet että rajoitteet voivat olla joko lineaarisia tai epälineaarisia. Yleensä osa tavoitteista on keskenään ristiriitaisia, eivätkä ne kaikki voi samanaikaisesti saavuttaa parhaita mahdollisia arvoja. Monitavoiteohjelmoinnilla saatavat ratkaisut ovat kuitenkin tehokkaita, jolloin mitään tavoitemuuttujaa ei voida parantaa huonontamatta jonkin toisen muuttujan arvoa. Päätöksentekijän hyödyn maksimoiva ratkaisu löytyy tehokkaiden ratkaisujen joukosta.

Kilkin (1985) mukaan on neljä tapaa ottaa monikäyttö huomioon puuntuotannon suunnittelun yhteydessä, mikäli sovelletaan lineaarista ohjelmointia. Jokaiseen suunnitelmavaihtoehtoon voidaan lisätä suhteasteikollisia muuttujia, jotka kuvaavat monikäyttöarvojen tuotantoa. Toisaalta eri käyttömuotoihin varatut metsiköt voidaan kuvata erillisinä laskentayksiköinä, mikä edellyttää rinnakkaiskäytön periaatetta ja mistä seuraa optimointimallin laajeneminen. Kuvioiden käsittelyvaihtoehdot voivat esimerkiksi esittää ylipitkiä kiertoaikoja ja avohakkuista pidättäytymistä tietyillä kuvioilla, jolloin muilla kuin puuntuotannollisilla seikoilla on paljon painoa. Monikäyttölliset tavoitteet voidaan yrittää esittää myös sellaisten muuttujien (esim. puustotunnusten) lineaarisena funktiona, jotka tunnetaan jo puuntuotannon suunnittelussa. Kaikkia menetelmiä voidaan lineaarisessa ohjelmoinnissa käyttää samanaikaisesti.

Painotusmenetelmässä monitavoitteisuus määritetään suoraan yhdistämällä useita tavoitteita painoineen samaan tavoitefunktioon (Gong 1991). Tällöin ongelmaksi muodostuu tavoitteiden painokertoimien määrittäminen (esim. Zionts 1985, Shakya ym. 1989, Gong 1991). Monikäytön suunnittelutilanteessa päätöksentekijä kykenee tavallisesti antamaan vain karkean arvion eri painoille.

Painokertoimien määrittämiseen on esitetty useita menetelmiä, joissa painokertoimet määritetään pääasiassa toistuvasti (esim. Steuer 1976, Zionts & Wallenius 1976, Zionts 1985). Ensin saatua optimiratkaisua muutetaan esimerkiksi kyselyjen avulla, kunnes löydetään paras ratkaisu. Jokainen painokerroin vaikuttaa tavoitefunktion arvoon optimiratkaisussa. Koska painojen vaikutukset eivät ole päätöksentekijälle itsestään selviä, hän ei voi tehokkaasti ohjata interaktiivista painotusprosessia. Tämä on painotusmenetelmän

pääongelma (Gong 1991). Ongelman ratkaisemiseksi on käytetty esimerkiksi analyttistä hierarkiaprosessia (AHP) (Korhonen 1987a).

Rajoitemenetelmässä valitaan yksi tavoite tavoitefunktioon ja tarkastellaan muita tavoitteita optimointimallin rajoitteina. Tällöin ongelmana on se, mikä tavoite valitaan tavoitefunktioon ja mitä tavoitteita käsitellään rajoitteina (Jacquet-Lagrèze 1985). Rajoitteet ovat matemaattisessa ohjelmoinnissa ehdottomia, joten niissä esitettävillä tavoitteilla on tavallaan suurempi paino kuin kohdefunktiossa maksimoitavalla tavoitteella. Lineaarisen optimoinnin dualiratkaisusta saatavat varjohinnat osoittavat rajoitemuuttujien rajakorvautuvuussuhteet optimiratkaisussa (Kilkki 1985). Niitä voidaan käyttää apuna etsittäessä rajoitemuuttujille sopivia arvoja (esim. Kilkki 1985, Kangas 1992a). Esimerkiksi poikkeuksellisen suuri varjohinnan itseisarvo osoittaa tiukkaa rajoitetta, joka ei välttämättä ole päätöksentekijän tavoitteiden mukainen.

Leuschner ym. (1975) muotoilivat monikäytön suunnitteluongelman maksimoimalla hakattavan puutavaran määrää ja esittämällä metsästykselle ja erilaisille virkistyskäyttömuodoille rajoitearvot käyttöpäivinä. Rajoitearvot määrättiin asiantuntijoiden arvioimien nykyisten tuotantomahdollisuuksien perusteella. Tällainen monikäytön suunnittelu- menetelmä on varsin yksinkertainen, mutta päätöstilanteen monimutkaisuuden vuoksi metsänomistajalla ei välttämättä ole tietoa kaikkien metsän tuottamien hyödykkeiden tuotantomahdollisuuksista. Tällöin ongelmana on nimenomaan sopivien arvojen löytäminen rajoitemuuttujille.

Pukkala (1988a) esitti monitavoiteoptimointiin perustuvan menetelmän maisema-arvojen huomioon ottamiseksi metsätalouden suunnittelussa. Myöhemmin hän on liittännyt optimointisysteemiin mukaan myös ulkoiluarvon sekä lähinnä demonstraatiomielessä myös marja- ja sienisadot (Pukkala 1988b, 1991). Optimoinnissa käytetty interaktiivisesti toimiva VIG-ohjelmisto mahdollistaa yhtä aikaa kymmenen tavoitemuuttujaa, joiden arvot päätöksentekijä näkee koko ajan (Korhonen 1987b). Ohjelman käyttäjä voi vapaasti muuttaa tavoitteiden arvoja, jolloin hän näkee muutosten seuraukset muiden tavoitemuuttujien arvoissa. Menetelmällä saatavat ratkaisut ovat tehokkaita, mutta ongelmana menetelmässä on verrattain pieni optimointitehtävän maksimikoko käytännön suunnittelutehtäviä ajatellen.

Ehkä monipuolisin lineaariseen ohjelmointiin perustuva monikäytön suunnittelusysteemi on Yhdysvalloissa erityisesti opetuskäyttöön kehitetty TEAMS-ohjelmistokokonaisuus, jossa myös karttatiedot kytetään yhdistämään päätöksenteon tukijärjestelmään (Covington ym. 1988).

Goal programming -menetelmä on lineaarisen monitavoiteohjelmoinnin muunnos (Zionts 1985), jota on luultavasti eniten sovellettu metsätalouden monitavoitteisissa suunnittelutilanteissa (Mendoza 1987, Davis & Liu 1991). Monikäytön sovelluksissa päättösmuuttujina ovat yleensä olleet eri käyttötarkoituksiin jaetut pinta-alat (esim. Dyer ym. 1979, Arp & Lavigne 1982).

Goal programming -menetelmässä päätöksentekijän oletetaan kykenevän määräämään päätöskriteereille tavoitearvot sekä painokertoimet poikkeamille näistä tavoitearvoista (Zionts 1985, Gong 1991). Tavoitefunktiossa minimoidaan tavoitearvoista poikkeamien painotettua summaa. Kukin painokerroin kuvaa kyseisen päätöskriteerin lisäyksen tuottamaa rajahyötyä verrattuna kaikkien muiden tavoitteiden muuttumiselle (Zionts 1985).

Goal programming -menetelmässä kaikkia tavoitteita käsitellään samalla tavalla, mutta ongelmana on jälleen painokertoimien määrääminen. Tavoitekriteerien erilaiset mittayksiköt vaikeuttavat huomattavasti painokertoimien määräämistä tavoitemuuttujille (Gong 1991). Sama ongelma on myös painotusmenetelmässä (Zionts 1985). Goal programming -menetelmällä saatava ratkaisu ei välttämättä aina ole tehokas (esim. Teclé ym. 1988, Gong 1991), mikä erottaa menetelmän varsinaisista matemaattisen ohjelmoinnin menetelmistä.

Matemaattisessa ohjelmoinnissa ongelmana on optimointitehtävän muotoilu siten, että se todella vastaa päätöksentekijän preferenssejä ja tavoitteita. Päätösvaihtoehdon valinnan perusteena voidaan käyttää ainoastaan optimointitehtävän tavoite- ja rajoitemuuttujia, eikä kvalitatiivisia tunnuksia voida ottaa huomioon. Matemaattiset mallit voivat olla ainoastaan yksinkertaistettuja tulkintoja varsinaisesta päätösongelmasta.

Lineaarisen ohjelmointimallin rajoitukset ovat monikäytön suunnittelussa vakavampia kuin puuntuotannon suunnittelussa. Tavoitefunktion ja rajoitteiden on oltava lineaarisia ja mallin muuttujien jatkuvia ja suhdeasteikollisia (esim. Kilkki 1985). Markkinattomien hyödykkeiden tuotantofunktioiden ongelmana voi olla niissä käytetyn mitta-asteikon tulkinta. Esimerkiksi metsikön maisema-arvo ei välttämättä kuvaa sitä, miten maiseman kauneuden kokeminen vaikuttaa ihmisten hyötyyn tai hyvinvointiin (Brown 1987, Hull 1989). Metsäalueen virkistysarvoa tuskin voidaan määrittää myöskään metsiköiden virkistysarvojen summana, sillä maiseman vaihtelevuudella on tärkeä merkitys ihmisen viihtyvyyteen (Axelsson 1990).

Matemaattisen optimointimallin ratkaisu on ilmeisesti harvoin varsinaisen päätösongelman paras ratkaisu (Gong 1991). Tämän takia normatiivisesta matemaattisen ohjelmoinnin soveltamisesta ollaan siirtymässä uusiin lähestymistapoihin, joissa matemaattista ohjelmointia pyritään käyttämään enemmän päätöksentekijän oppimis- ja apuvälineenä päätösongelman lopullista ratkaisua haettaessa (Cocklin 1989a, 1989b, Mendoza & Sprouse 1989).

Mendoza & Sprouse (1989) esittivät kaksivaiheista lähestymistapaa metsien monikäytön suunnitteluun. Ensimmäisessä vaiheessa he tuottivat matemaattisella ohjelmoinnilla suunnitelmavaihtoehdot ja määrittivät niiden seuraukset. Toisessa vaiheessa he arvottivat eri vaihtoehdot ottaen huomioon päätöksentekijän tavoitteet ja päätöskriteerit. Arvottamisessa he käyttivät analyttistä hierarkiaprosessia (AHP), joka perustuu päätöskriteerien ja päätösvaihtoehtojen pareittaisiin vertailuihin.

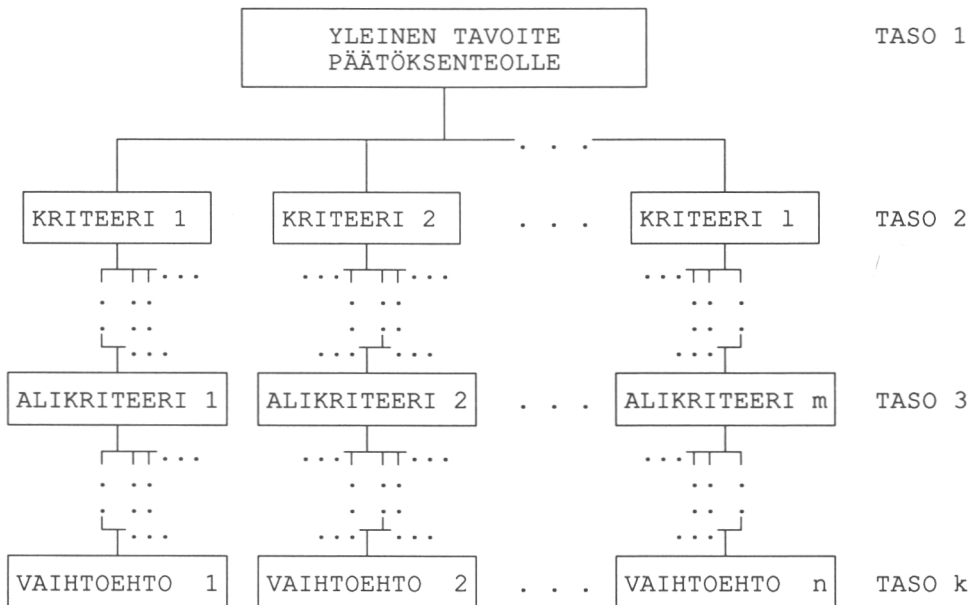
### 34. Analyttinen hierarkiaprosessi

Analyttinen hierarkiaprosessi (AHP) on alunperin Saaty (1977, 1980) kehittämä matemaattinen menetelmä monimutkaisten ja monitavoitteisten päätöksentekotilanteiden ratkaisemista varten. AHP on yleinen, matemaattisiin ja psykologisiin havaintoihin perustuva mittausteoria. Sitä voidaan käyttää tavoitteiden ja päätöskriteerien painokertoimien estimoimiseen ja päätösvaihtoehtojen arvottamiseen. Viime vuosina sitä on käytetty lukuisissa päätöksentekoprosessien analysoinneissa, esim. markkinoinnissa (Wind & Saaty 1980), energiapolitiikassa (Saaty ym. 1977, Hämäläinen & Seppäläinen 1986) ja ympäristöjäteongelmissa (Saaty & Gholamnezhad 1982). Zahedi (1986) luetteli 57 AHP:n sovellusta erilaisiin päätösongelmiin, jotka kaikki sisälsivät joitakin kvalitatiivisia tekijöitä.

Metsätalouden suunnittelussa menetelmää on sovellettu toistaiseksi hyvin vähän (Mendoza & Sprouse 1989, Kangas 1991, 1992b), vaikka sen käyttöä on erityisesti suositeltu monimutkaisten ympäristötaloudellisten päätöksentekoprosessien analysoimiseen (Anselin ym. 1989, Varis 1989). Kangas (1990c, 1992a) ja Valkonen (1991) sovelsivat AHP-menetelmää hyötyteoreettisissa tarkasteluissaan laatiessaan hyötymallin metsikön uudistamisen päätöksentekoon. Tässä esitellään menetelmä lähinnä Kankaan (1992b) esittämän sovelluksen pohjalta.

AHP-menetelmä perustuu eri päätöksentekokriteereiden kesken tehtäviin pareittaisiin vertailuihin. Päätöksentekijän on helpompaa esittää kriteereiden tärkeydet pareittain kuin ilmaista suoraan kaikkien kriteereiden keskinäiset painoarvot tai arvottaa kokonaisvaltaisesti eri vaihtoehtoja (Horsky & Rao 1984). Tehtyjen vertailujen käsittely on AHP:ssa menetelmällisesti täsmällistä. Matriisilaskennan keinoin pystytään selvittämään myös vertailujen epäjohdonmukaisuudet.

AHP:ssa päätöksentekoprosessi kuvataan neljässä vaiheessa. Ensin hahmotellaan päätöksentekohierarkia jakamalla ongelma päätöksentekoelementteihin ja -tasoihin (kuva 1). Hierarkian ylimmällä tasolla on ongelman yleisluonteinen tavoite. Mitä alemmalle tasolle mennään, sitä yksityiskohtaisemmin päätöksenteon kriteerit kuvataan. Alin taso (taso k) koostuu päätösvaihtoehtojen joukosta.



Kuva 1. Päätöksentekohierarkian perusmuoto analyttisessä hierarkiaprosessissa: täydellinen k-tasoinen hierarkia.

Toisessa vaiheessa tehdään pareittaiset vertailut. Jokaisen saman tason päätöksentekokriteerin tärkeys arvotetaan suhteessa muihin saman tason elementteihin. Alimman tason elementtien eli päätösvaihtoehtojen hyvyudet arvotetaan myös pareittaisilla vertailuilla yksi vaihtoehtopari kerrallaan. Kolmas vaihe on elementtien suhteellisten painoarvojen estimoiminen tehtyjen vertailujen pohjalta.

Viimeisessä vaiheessa kriteereiden suhteellisia painoarvoja käytetään parhaan päätösvaihtoehdon valintaan. Tuloksena saadaan suhdeasteikollinen prioriteettivektori, joka kuvaa päätöksentekijän preferenssejä eri päätösvaihtoehtojen suhteen (Saaty & Kearns 1985). Se päätösvaihtoehto, joka saa suurimman painokertoimen, on hierarkian mukaisen tavoitteiden kannalta paras vaihtoehto tarkasteltavassa vaihtoehtojoukossa.

AHP-menetelmää käytettäessä mitta-asteikkojen ja mittayksiköiden erilaisuudet eivät aiheuta ongelmia, koska menetelmä perustuu suoriin päätöksentekokriteerien ja päätösvaihtoehtojen vertailuihin ilman mitään yksiköitä. Siten AHP-menetelmällä voidaan käsitellä yhtä hyvin kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tavoitteita (esim. Mendoza & Sprouse 1989, Kangas 1992a).

Saatyn (1980, 1982) esittämässä menetelmän perusversiossa kukin päätöksentekokriteeripari arvotetaan toistensa suhteen. Ensinnäkin määritetään parin kriteereistä tärkeämpi. Tämän jälkeen määritetään, miten paljon tärkeämpi toinen kriteereistä on: yhtä tärkeä, jonkin verran tärkeämpi, paljon tärkeämpi, erittäin paljon tärkeämpi, äärimmäisen paljon tärkeämpi. Jatkokäsittelyä varten vertailut muunnetaan vastaaviksi lukuarvoiksi 1, 3, 5, 7 ja 9. Lukuarvoja 2, 4, 6 ja 8 voidaan käyttää vertailuissa väliarvoina.

Numeerisen asteikon valinta perustuu psykologien havaintoihin ihmisen havaintokyvystä. Lähtökohtana on, että asteikon pitäisi mahdollisimman hyvin ilmaista vertailuja tekevien ihmisten tuntemukset ja niiden erot (Saaty & Kearns 1985). Mikäli vertailtavat kriteerit ovat yhtä tärkeitä, saavat ne lukuarvon 1. Tähän on syynä se, että verrattaessa kriteeriä itseensä saadaan kriteerin suhteelliseksi tärkeydeksi 1 absoluuttisesta tärkeydestä riippumatta. Koska pareittaisissa vertailuissa vertailijan on kyettävä samanaikaisesti mieltämään kaikki käytettävän asteikon arvot (Saaty & Kearns 1985) ja koska ihminen ei samanaikaisesti pysty mieltämään 5 - 9 vertailukohdetta tai -arvoa enempää (Miller 1956), on valittavassa asteikossa 9 arvoa. Käyttämällä peräkkäisten arvojen välillä yhden yksikön suuruista eroa päädytään kokonaislukuasteikkoon 1 - 9. Elementit, joiden paino on nolla, poistetaan vertailuista.

Kriteerien suhteelliset painoarvot lasketaan pareittaisten vertailujen pohjalta ominaisarvomenetelmällä. Pareittaisista vertailuista muotoillaan jokaiselle päätöselementille tasoilla 1 - (k-1) n-ulotteinen neliömatriisi (  $\mathbf{A}$  ), missä n on keskenään vertailtavien päätöselementtien lukumäärä.

$$\mathbf{A} = (a_{ij}) = \begin{bmatrix} 1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ w_2/w_1 & 1 & \dots & w_2/w_n \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \dots & \cdot \\ w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

Matriisin alkiot voidaan tulkita vastaavien kriteereiden rajakorvautuvuussuhteiksi. Diagonaalialkiot ovat ykkösiä, koska kriteeriä itseensä verrattaessa saadaan tulokseksi, että ne ovat yhtä tärkeitä. Matriisin alkiot  $a_{ij}$  ja  $a_{ji}$  ovat toistensa käänteislukuja, sillä numeeristen arviointien yhdenmukaisuuden parantamiseksi merkitään matriisiin suoraan  $a_{ji} = 1/a_{ij}$  ilman lisävertailuja. Yhden matriisin muodostamiseen tarvitaan yhteensä  $n(n-1)/2$  pareittaista vertailua. Saaty (1980) on suositellut pareittaisten vertailujen matriisin maksimikooksi  $n=10$ .

Jos pareittaiset vertailut ovat täysin yhdenmukaisia, saadaan matriisin suurinta ominaisarvoa,  $\lambda_{\max}$ , vastaavasta ominaisvektorista periaatteessa laskennallisesti täsmälliset prioriteetit eri kriteereille. Useimmiten matemaattisesti täsmällisten prioriteettien määrittäminen edellyttää kuitenkin, että pareittaisissa vertailuissa käytetään jatkuvaa numeroasteikkoa (Kangas 1992a).

Saaty (1980) on esittänyt helpon tavan estimoida suurinta ominaisarvoa vastaava ominaisvektori. Matriisin  $A$  sarakkeet normalisoidaan, ts. muunnetaan sellaisiksi, että jokaisen sarakkeen alkioden summa on yksi. Tämän jälkeen lasketaan jokaisen rivin alkioden aritmeettinen keskiarvo. Näin saatu sarakevektori on haetun ominaisvektorin likiarvo, ja sen alkiot vastaavien rivien mukaisten kriteereiden lokaalien prioriteettien (*local priorities*) likiarvot. Lokaalit prioriteetit ilmaisevat elementtien painoarvon seuraavaksi ylemmän tason elementin kannalta.

Globaalit prioriteetit (*global priorities*) päätöselementeille saadaan kertomalla niiden lokaalit prioriteetit niitä vastaavien ylemmän tason kriteereiden globaaleilla prioriteeteilla ja laskemalla nämä tulot kaikkien elementtiin vaikuttavien kriteereiden osalta yhteen. Globaalit prioriteetit ilmaisevat päätöselementtien kokonaisvaltaisen painoarvon hierarkian ylimmän tason elementin (päätosongelman yleisen tavoitteen) kannalta. Globaalien prioriteettien summa täydellisen päätöshierarkian jokaisella tasolla on yksi.

Mitä enemmän vertailussa on ristiriitaisuuksia, sitä epätarkempia ovat ominaisvektorista saatavat lokaalit prioriteetit. Prioriteettien suhteasteikkollisuus pätee täsmällisesti vain, kun vertailumatriisi ( $A$ ) on täysin yhdenmukainen. Yhdenmukaisuusindeksi,  $CI = (\lambda_{\max} - n)/(n-1)$ , on käyttökelpoinen arvioitaessa tehtyjä vertailuja. Mitä suurempi se on, sitä enemmän epä johdonmukaisuuksia on pareittaisissa vertailuissa. Indeksien arvo on riippuvainen myös tarkasteltavan matriisin koosta. Yhdenmukaisuussuhde,  $CR$ , mittaa myös pareittaisten vertailujen yhdenmukaisuutta.

$$CR = (CI/ACI) \cdot 100$$

missä  $ACI$  on satunnaismatriisin keskimääräinen yhdenmukaisuusindeksi (taulukko 1).

Yhdenmukaisuussuhde 100 merkitsee vertailujen täyttä satunnaisuutta. Yhdenmukaisuussuhde on matriisin koosta riippumaton tunnus, ja se voidaan laskea myös koko päätöksentekohierarkialle. Ensiksi kerrotaan hierarkian jokaisen matriisin yhdenmukaisuusindeksi sitä vastaavan kriteerin prioriteetilla ja lasketaan näiden tulojen summa. Tämän jälkeen jaetaan saatu tulos samalla tavalla vastaavankokoisista satunnaismatriiseista lasketulla luvulla.



Taulukko 1. Satunnaisten resiprookkisten neliömatriisien keskimääräiset yhdenmukaisuusindeksit (Saaty 1982).

Matriisin koko (n)	ACI
3	0,58
4	0,90
5	1,12
6	1,24
7	1,32
8	1,41
9	1,45
10	1,49

Inhimillisessä päätöksenteossa on hyväksyttävä jonkin verran ristiriitaisuutta. Nyrkkisääntönä pidetään 10 %:n tai pienemmän yhdenmukaisuussuhteen hyväksyttävyyttä (Saaty 1980). Muutoin on syytä paneutua uudelleen pareittaisiin vertailuihin tai muotoilla jopa päätöksentekohierarkia uudelleen joiltakin osin. Päätösvaihtoehtoja koskevan lisätiedon hankkiminen voi tällöin olla tarpeellista.

#### 4. TAPAUSTUTKIMUS

##### 41. Tutkimusalue

Tutkimusalue sijaitsi Kuusamon kunnassa, Metsähallituksen Taivalkosken hoitoalueen Oijusluoman tutkimussopimusmetsässä. Tutkimusalueen pinta-ala oli 320.9 ha ja se sijaitsi Maanselän vedenjakajaseudulla (alueen korkeus 289 - 358 mpy). Tutkimusalueen metsämaa-alasta 59 % sijaitsi lakialueella, missä metsähallituksen ohjeiden mukaan harjoitetaan huomattavasti varovaisempaa metsätaloutta kuin talousalueella. Tämän voidaan olettaa ilmentävän muiden kuin puuntuotannollisten tavoitteiden suurta painoarvoa lakialueella.

Alueen puusto oli jo aiemmin inventoitu helikopteri-inventoinnilla, mutta puustotietojen ja kuvioinnin tarkentamiseksi alueella tehtiin uusi puustoinventointi kuvioittaisella arvioinnilla kesällä 1991. Tällöin tutkimusalue jaettiin 71 metsikkökuvioon (liite 1). Tutkimusalueen puusto on pääosin vanhaa kuusikkoa, metsähallituksen ohjeiden mukaan uudistuskypsää tai yli-ikäisyyden vuoksi vajaatuottoista (Metsähallitus 1990) (taulukko 2). Puuston keskitilavuus metsämaalla on 79 m<sup>3</sup>/ha, josta kuusta on 47 m<sup>3</sup>/ha, mäntyä 23 m<sup>3</sup>/ha ja lehtipuuta 9 m<sup>3</sup>/ha. Kitu- ja joutomaat ovat pääosin rämeitä ja nevoja.

Alueelle sijoitettiin tutkimusta varten kuvitteellinen metson soidinpaikka, koska alueen sopivuus metson elinpaikaksi valittiin yhdeksi päätöskriteeriksi ja koska soidinpaikan käsittelyllä oli keskeinen merkitys arvioitaessa suunnitelmavaihtoehtojen hyvyttä metson kannalta. Soidinpaikan voitiin olettaa olevan alueella tai sen läheisyydessä, koska alueella havaittiin puustoinventoinnin yhteydessä useita metsoja ja koska lähin tunnettu soidinpaikka sijaitsi n. 2,5 km alueelta pohjoiseen. Valkeajärvi & Ijäs (1987) toteavat metsökukon vuotuisen elinympäristön sijoittuvan noin 1,5 km:n säteelle soi-

Taulukko 2. Tutkimusalueen pinta-ala pää- ja kehitysluokittain.

Luokka	Pinta-ala (ha)
Metsämaa, taimikko	0
nuori kasvatusm.	9,0
varttunut kasv.	24,3
uudistuskypsä m.	87,6
siemenpuumets.	0
vajaatuott.	78,8
Metsämaa, yhteensä	199,7
Kitumaa	67,1
Joutomaa	54,1
Alueen pinta-ala yhteensä	320,9

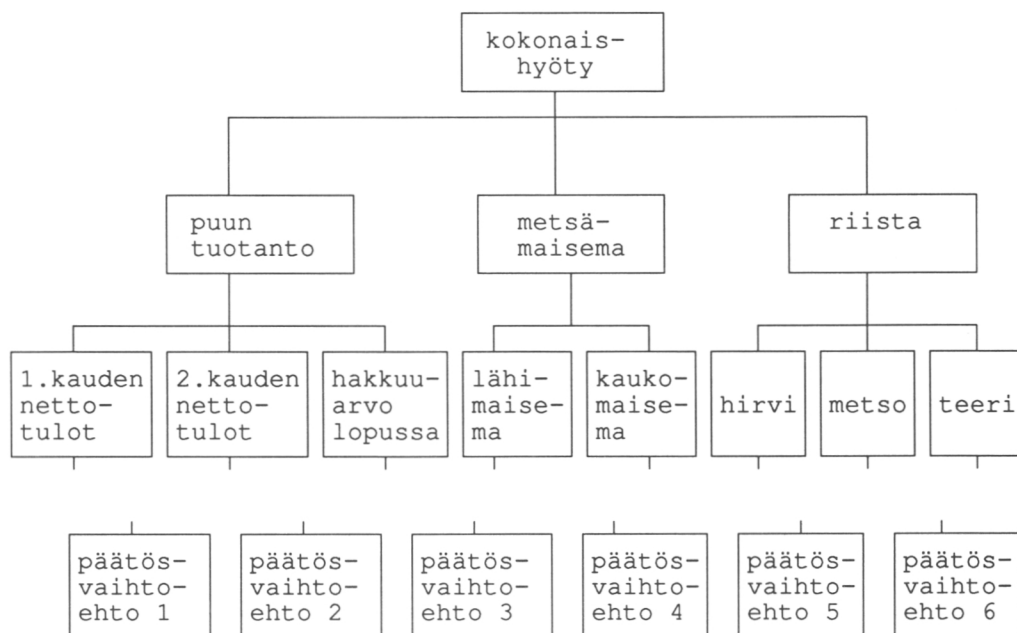
dinpaikasta. Soidinpaikan keskus sijoitettiin kuviolle 55 (liite 1). Tutkimusalueen itä-laidalla on teerensoidin pääasiassa kuviolla 67 (liite 1).

Alueella tehtiin puustoinventoinnin yhteydessä myös yleispiirteinen maisemainventointi lähinnä alueen näkyvyysuhteiden ja maisemallisesti arvokkaiden kohteiden selvittämiseksi. Tutkimusalueen länsiosan korkeimmat kohdat näkyvät itäkoillisessa parin kilometrin päässä sijaitsevaan Oijusluoman kylään. Muuten alue jää ympäröivien vaarojen ja harjujen katveeseen.

#### 42. Päätöksentekohierarkia

Päätöksentekohierarkia muodostettiin Metsähallituksen Pohjanmaan piirikuntakonttorin ja Taivalkosken hoitoalueen henkilökunnan näkemysten pohjalta (kuva 2). Ylimmän tason tavoitteena oli hyödyn maksimointi eli suunnittelun tehtävänä oli tuottaa alueelle sellainen suunnitelma, joka tuottaisi mahdollisimman suuren hyödyn. Puuntuotannon lisäksi hyötyä selittäviksi päätöskriteereiksi valittiin maiseman ja riistan tuottama hyöty.

Puuntuotannon alikriteereiksi valittiin ensimmäisen ja toisen 10-vuotiskauden nettotulot sekä puuston hakkuuarvo suunnittelukauden lopussa. Puuntuotannollisten kriteerien valintaan vaikutti osaltaan suunnitelmavaihtoehtojen laatimisessa käytetty ohjelmisto. Maisema jaettiin lähi- ja kaukomaisemaan. Lähimaisemalla tarkoitetaan tässä yhteydessä metsiköiden sisäistä maisemaa metsäalueella liikuttaessa, kun taas kaukomaisema tarkoittaa metsäalueen muodostamaa näkymää kauemmas (Pukkala 1988a, 1988b). Riistalajeista hierarkiaan otettiin mukaan hirvi, metso ja teeri. Päätöksentekohierarkian alimman tason muodostivat suunnitelmavaihtoehdot.



Kuva 2. Metsähallituksen päätöksentekohierarkia tutkimusalueella.

### 43. Suunnitelmavaihtoehdot

Suunnitelmavaihtoehdot laadittiin 20 vuoden ajanjaksolle MONSU-ohjelmistolla, joka on mikrotietokoneella toimiva monikäytön suunnitteluohjelmisto (Pukkala 1988b, 1991). Ohjelmassa lasketaan metsiköille ja niiden käsittelyvaihtoehdoille puuntuotannollisten tunnusten lisäksi myös tunnuksia, jotka kuvaavat metsän maisema-arvoa ja ulkoiluviihtyisyyttä. Maisema-arvon ja ulkoiluviihtyisyyden ennustemallit perustuvat sadasta erilaisesta Etelä- ja Keski-Suomessa sijaitsevasta metsiköstä otettuihin diakuviin (Pukkala ym. 1988).

Suunnitelmavaihtoehdojen laatiminen tapahtui MONSU:lla kahdessa vaiheessa. Ensiksi jokaiselle kuviolle simuloitiin yhdestä kuuteen vaihtoehtoista käsittelyohjelmaa metsähallituksen uusien metsänkäsittelyohjeiden mukaan (Metsähallitus 1990). MONSU:lla simuloidut käsittelyt ajoittuivat ensimmäisen ja toisen kymmenvuotiskauden puoliväliin.

Toisessa vaiheessa kuvioittaisista käsittelyvaihtoehdoista koostettiin suunnitelmavaihtoehdot. MONSU:ssa suunnitelmavaihtoehdot voidaan koostaa monitavoiteoptimoinnin avulla, mikäli kuvioittaisien käsittelyvaihtoehdojen kokonaismäärä on alle 100. Jos vaihtoehtoja on enemmän, suunnittelualue on jaettava kahteen tai useampaan osaan, jolle laaditaan erilliset suunnitelmat. Käsittelyvaihtojen määrän (yhteensä 189) ja suunnitelmavaihtoehtojen luonteen takia tässä tutkimuksessa koostettiin suunnitelmat

harkinnanvaraisesti. Jokaiselle kuviolle valittiin käsittelyvaihtoehto, joka parhaiten vastasi kunkin suunnitelmavaihtoehdon laadintaperusteita.

MONSU:ssa käytettävät puukohtaiset kasvumallit (Nyyssönen & Mielikäinen 1978) perustuvat pääosin eteläsuomalaiseen aineistoon. Tämän takia tutkimusalueen metsämaakuvioiden hehtaarikohtaiset tilavuuskasvut laskettiin myös Gustavsenin (1977, s. 9) metsikkötason malleilla (mallit 24 ja 26). Näin laskettujen kasvujen ja MONSU:lla laskettujen kasvujen välille laadittiin seuraava lineaarinen regressiomalli:

$$p_g = 0,7835 \cdot p_m, R^2 = 0.77$$

missä

$p_g$  on Gustavsenin malleilla laskettu hehtaarikohtainen tilavuuskasvu

$p_m$  on MONSU:n malleilla laskettu hehtaarikohtainen tilavuuskasvu

$R^2$  on mallin selitysaste

Mallin perusteella MONSUn kasvumalleihin tehtiin vastaava lineaarinen korjaus. Korjauskertoimella korjattiin sekä läpimitan että pituuden kasvua, jolloin tilavuuskasvun suhteellinen muutos oli myös hyvin lähellä korjauskertoimen arvoa.

Päätösvaihtoehdoiksi valittiin seuraavat suunnitelmat (taulukko 3):

I Luonnontilainen suunnitelma

II Maisemasuunnitelma

III Hoito- ja käyttösuunnitelman mukainen suunnitelma

IV Riistasuunnitelma

V Metsähallituksen nykyohjeiden mahdollistama suunnitelma, jossa uudistetaan n. 50 % kaikista uudistuskypsistä ja vajaatuottoisista metsiköistä

VI Tulosuunnitelma, jossa kaikki uudistuskypsät ja vajaatuottoiset metsiköt uudistetaan suunnitelmakaudella

Luonnontilaisessa suunnitelmassa (I) alueen annettiin kehittyä täysin luonnontilaisena. Metsätaloudellisia käsittelyjä ei suunnitelmakaudella tehty ollenkaan.

Maisemasuunnitelma (II) laadittiin MONSU-ohjelmiston maisema-arvojen pohjalta. Suunnitelmassa valittiin kullekin kuviolle se käsittelyvaihtoehto, jossa kuvion ennustettu maisema-arvo suunnitelmakauden lopussa oli suurin. Suunnitelman laadinnassa maksimoitiin ilman rajoitteita kuvioittaisten maisema-arvojen pinta-alalla painotettua keskiarvoa suunnittelukauden lopussa.

Taulukko 3. Suunnitelmavaihtoehdot. 1. ja 2. 10-v.kausi tarkoittavat suunnittelujakson ensimmäistä ja toista kymmenvuotiskautta.

	Suunnitelmavaihtoehdot					
	I lepo	II mais	III HKS	IV riis	V 50%	VI tulo
<b>Nettotulot (1 000mk)</b>						
-1. 10-v.kausi	0	473	226	196	608	1 140
-2. 10-v.kausi	0	1 313	237	215	623	1 187
<b>Uudistettava pinta-ala (ha)</b>						
-1. 10-v.kausi	0	55,1	14,9	17,0	50,3	109,6
-avohakkuun osuus (%)	0	0	81	0	96	68
-2. 10-v.kausi	0	104,3	15,6	17,2	44,5	87,2
-avohakkuun osuus (%)	0	0	81	0	11	29
<b>Hakkuuarvo (mmk)</b>						
-2001	3,44	2,76	3,15	3,19	2,62	1,84
-2011	4,22	1,69	3,58	3,64	2,44	0,79
<b>Maisema-arvo (1-10)*</b>						
-2001	5,4	5,5	5,3	5,4	4,9	4,7
-2011	5,5	5,7	5,3	5,5	5,2	4,9
<b>Metsäisyys (%) **</b>						
-2001	79,4	62,2	74,7	74,1	63,7	45,2
-2011	81,6	32,0	72,1	71,0	52,1	20,3
<b>Lehtipuuston tilavuus (m<sup>3</sup>)</b>						
-2001	2 272	1 841	2 058	2 087	1 759	1 264
-2011	2 664	804	2 303	2 227	1 198	404

\* maisema-arvo on MONSU:lla laskettu kuvioittaisten maisema-arvojen pinta-alalla ja kuvion sijainnilla painotettu keskiarvo (ks. tarkemmin s. 29).

\*\*metsäisyys-% on varttuneiden kasvatusmetsien, uudistuskypsien metsien ja vajaatuottoisten metsien (khl:t 3, 4 ja 6) sekä puustoisten rämeiden osuus maapinta-alasta (metsiköiden kehitysluokat v. 2001 ja 2011 määritettiin niille simuloitujen käsittelyvaihtoehtojen sekä metsähallituksen ohjeiden mukaan lähinnä puuston iän perusteella).

Oijusluoman tutkimussopimusmetsälle oli aiemmin tehty hoito- ja käyttösuunnitelma (Oijusluoman tutkimussopimusmetsä 1990), jonka pohjalta laadittiin yksi suunnitelma (III). Uudistushakkuut kohdistettiin tässä suunnitelmassa voimakkaasti talousalueelle, jonka uudistamisala suunnitelmakaudella oli 23.1 ha. Lakialueen käsittely oli suunnitelmassa hyvin varovaista; suunnitelmakauden uudistamisala oli vain 8,4 ha.

Riistasuunnitelma (IV) laadittiin yhteistyössä metsähallituksen riistanhoidon neuvon kanssa. Lähtökohtana suunnitelmassa oli puuntuotannon harjoittaminen riistan elinympäristövaatimukset huomioonottaen. Suunnitelma laadittiin ensisijaisesti metson elinympäristövaatimusten pohjalta, koska metso sai riistalajeista suurimman painoarvon. Tutkimusalue muodosti likimäärin yhden soidinalueen, jonka käsittelyohjeiden pohjalta suunnitelma laadittiin.

Metsähallituksen nykyohjeiden mahdollistamassa suunnitelmassa (V) uudistettiin 48 % uudistuskypsiä ja vajaatuottoisten metsiköiden pinta-alasta. Tulosuunnitelmassa (VI) uudistettiin kaikki uudistuskypsät ja vajaatuottoiset metsiköt 20 vuoden suunnitelmakaudella.

#### 44. Pareittaiset vertailut

Metsähallituksen henkilökunta Pohjanmaan piirikuntakonttorista ja Taivalkosken hoitoalueesta teki ryhmätyönä päätöskriteerien pareittaiset vertailut ennen suunnitelmavaihtoehtojen laatimista. Ennen pareittaisia vertailuja päätöksentekijöille esitettiin lyhyesti puusto- ja maisemainventointien tulokset sekä AHP-menetelmän periaatteet, jotka oli esitetty päätöksentekijöille myös aiemmin. Vertailut tehtiin liitteen 2 mukaisilla lomakkeilla. Vertailujen jälkeen päätöksentekijöitä pyydettiin arvioimaan vertailujen kulkua ja vaikeusastetta.

Vertailujen pohjalta lasketut päätöskriteerien painokertoimet esitettiin päätöksentekijöille ennen suunnitelmavaihtoehtojen välisiä vertailuja. Suunnitelmavaihtoehtojen globaalien prioriteettien laskemisen jälkeen tulokset lähetettiin päätöksentekijöille ja pyydettiin heitä vielä suoraan korjaamaan päätöskriteerien painokertoimia, mikäli ne eivät vastanneet heidän todellisia tavoitteitaan. Tällöin he korjasivat puuntuotannon alikriteerien painokertoimia, joihin oli kiinnitetty huomiota jo ennen suunnitelmavaihtoehtojen välisiä vertailuja.

Vaihtoehtoiset suunnitelmat arvoettiin aikaisemmin muotoillun päätöksentekohierarkian mukaisesti. Ennen suunnitelmien arviointia kaikille vertailijoille esitettiin AHP-menetelmän periaatteet ja päätöskriteerien painoarvot sekä suunnitelmavaihtoehtojen laadintaperusteet siten, ettei niitä yksilöity mihinkään tiettyyn suunnitelmavaihtoehtoon. Tällä pyrittiin siihen, että vertailut tehtäisiin ainoastaan suunnitelmista esitettävien tunnusten perusteella, eikä niiden laadintaperusteiden perusteella.

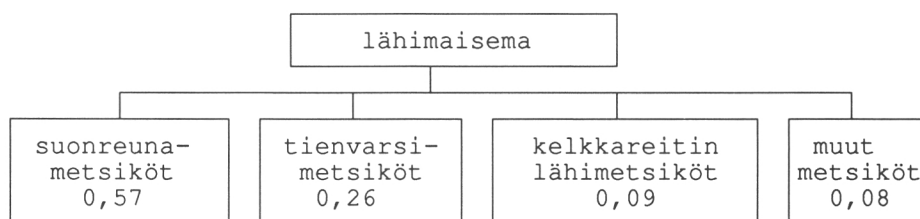
Metsähallituksen omat asiantuntijat Pohjanmaan piirikuntakonttorista sekä Taivalkosken hoitoalueesta vertailivat suunnitelmavaihtoehtoja alimman tason päätöskriteerien suhteen. Vertailut tehtiin kahden henkilön muodostamissa ryhmissä siten, että ryhmän jäsenistä toinen edusti paikallistuntemusta ja toinen kunkin erikoisalan asiantuntemusta.

Vertailut tehtiin liitteen 2 mukaisen sanallisen ja numeerisen asteikon avulla. Jokaista suunnitelmavaihtoehtoa verrattiin pareittain kaikkiin muihin vaihtoehtoihin hierarkian kunkin seuraavaksi ylemmän tason kriteerin suhteen. Kunkin kriteerin suhteen tehtiin siis 15 pareittaista vertailua. Kaikki tunnuksat esitettiin suunnitelmavaihtoehtopari kerrallaan ja halutessaan vertailijat saivat edellisen vertailuparin uudestaan nähtäväkseen.

Ennen vertailuja vertailijoille esitettiin jokaisen numeerisen tunnuksen vaihteluväli, jotta vertailijat osaisivat hahmottaa vertailuissa käytettävän numeerisen asteikon heti ensimmäistä vaihtoehtoparia vertaillessaan. Kaikki ei-numeeriset tunnuksat, hakkuuteemakartat, maisemakuvat, kehitysluokkakajakaumat, esitettiin päätöksentekijöille kerran läpi ennen vertailuja. Suunnitelmavaihtoehtojen lokaalit prioriteetit laskettiin heti kunkin kriteerin suhteen, jolloin vertailijat näkivät vertailujen tulokset ja yhdenmukaisuuden heti vertailujen jälkeen. Yhtään vertailua ei uusittu suuren yhdenmukaisuussuhteen vuoksi.

Puuntuotannollisten kriteerien vertailuissa suunnitelmavaihtoehtoista esitettiin ensimmäisen ja toisen 10-vuotiskauden nettotulot sekä hakkuuarvo suunnitelmakauden lopussa.

Lähimaiseman vertailuissa jokaisesta suunnitelmasta esitettiin vertailijoille kuvioitaisten maisema-arvojen kuvion pinta-alalla ja sijainnilla painotettu keskiarvo sekä alueen hakkuuteemakartta, jossa esitettiin koko suunnitelmakauden hakkuut. Maisema-arvon painotetun keskiarvon laskemiseksi metsiköt jaettiin sijainnin mukaan neljään ryhmään, jotka saivat päätöskriteerien vertailujen yhteydessä suoritettujen pareittaisten vertailujen pohjalta kuvan 3 mukaiset painokertoimet. Maisema-arvon ennustamisessa käytettyä mitta-asteikkoa havainnollistettiin vertailijoille muutamalla metsikködiakuvalla, joista esitettiin metsiköitä vastaavat maisema-arvot.



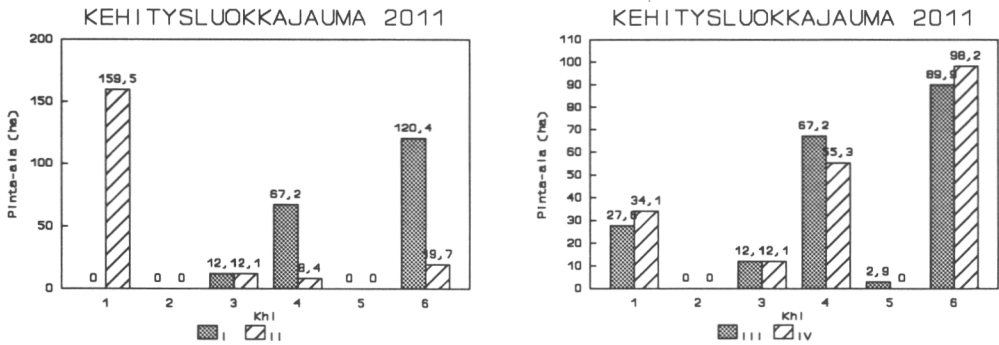
Kuva 3. Maisema-arvon painotetun keskiarvon laskemisessa käytetyt metsikköryhmät sekä niiden painokertoimet.

Kaukomaiseman muuttumista kussakin suunnitelmavaihtoehdossa havainnollistettiin MAISE-ohjelmalla piirrettyjen maisemakuvien avulla. MAISE on MONSUn laajenukseksi kehitetty erillinen maisemanpiirto-ohjelmisto (Pukkala 1991). MAISE-ohjelman käyttöä varten tutkimusalueesta laadittiin TOPOS-kartaohjelmistolla (Pekkonen 1991) tehdyistä tiedostoista MONSU-maastomalli, jossa on tasavälein x- ja y-suunnassa pisteen x-, y-, ja z-koordinaatti sekä kuvion numero. MAISE-ohjelma piirtää maastomallin avulla jokaisen pisteen ympäristöön erilaisia puusymboleja siten, että niiden koko ja lajisuhteet vastaavat tilannetta maastossa. MONSU-maastomallin muodostamisen

jälkeen alueen länsiosasta piirrettiin MAISE-ohjelmalla 225 ha:n alue (1,5 km · 1,5 km) siten, että maiseman tarkastelusuunta oli itäkoillinen.

Maisemat esitettiin päätöksentekijöille tietokoneen kuvaruudulle MAISE-ohjelmalla piirretyistä kuvista otettujen diakuvien avulla. Kutakin suunnitelmavaihtoehtoa havainnollistettiin yhdellä diakuvalla, joka oli otettu suunnitelmakauden lopun tilanteesta. Kussakin vertailussa esitettiin vertailtavien suunnitelmien maisemaa havainnollistavat kuvat rinnakkain. Diakuvien sijasta päätöksentekijöitä pyydettiin vertailemaan diakuvien esittämiä todellisia maisemia.

Arvioitaessa suunnitelmien hyvyttä hirven elinmahdollisuuksien kannalta suunnitelmavaihtoehdot esitettiin suunnittelukauden lopputilanteen kehitysluokkajakaumien avulla (kuva 4). Kehitysluokkajakaumat määritettiin metsiköille simuloitujen käsittelyvaihtoehtojen sekä metsähallituksen ohjeiden mukaan lähinnä puuston iän perusteella.

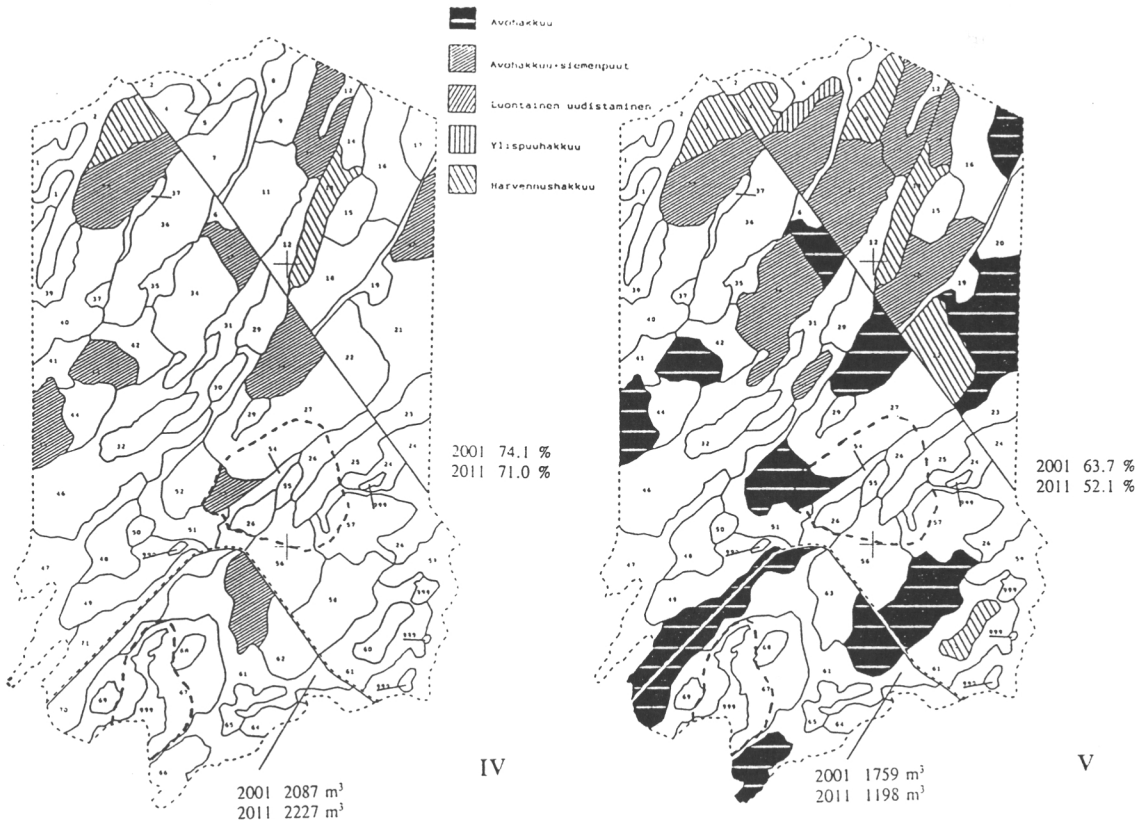


Kuva 4. Suunnitelmavaihtoehtojen esittäminen suunnitelmien vertailuissa hirven kannalta. Esimerkkinä suunnitelmien I ja II sekä III ja IV pareittaiset vertailut.

Metson ja teeren osalta päätöksentekijöille esitettiin suunnitelmavaihtoehtojen hakkuuteemakartat, joihin oli merkitty metson soidinpaikka ja metsäisyysprosentti 10 ja 20 vuoden kuluttua sekä teeren soidinpaikka ja lehtipuiden kokonaistilavuus 10 ja 20 vuoden kuluttua (kuva 5).

Metsäisyys on varttuneiden kasvatusmetsien, uudistuskypsiä metsien ja vajaatuottoisten metsien (khl:t 3, 4 ja 6) sekä puustoisten rämeiden osuus alueen kokonaismaapinta-alasta. Se kuvaa alueen vanhojen metsien määrää, jonka on todettu olevan tärkeä - joskin varsin karkea - metson elinympäristön hyvyttä kuvaava tunnus (esim. Helle ym. 1987, Helle ym. 1989, Helle & Helle 1991). Lehtipuiden kokonaistilavuus puolestaan kuvaa teeren talviravinnon määrää (Helle ym. 1987).





Kuva 5. Suunnitelmavaihtoehtojen esittäminen suunnitelmien vertailuissa metson ja teeren kannalta. Esimerkkinä suunnitelmien IV ja V pareittainen vertailu. Luvut vuosilukujen jäljessä ilmaisevat metsäisyyden (varttuneiden kasvatusmetsien, uudistuskypsiin metsien ja vajaatuottoisten metsien sekä puustoisten rämeiden osuus maapinta-alasta, %) ja lehtipuiden kokonaistilavuuden (m<sup>3</sup>).

Pareittaisissa vertailuissa pidetään nyrkkisääntönä, että 10 % tai pienempi yhdenmukaisuussuhde hyväksytään (Saaty 1980). Tässä tutkimuksessa koko päätöshierarkian yhdenmukaisuussuhde oli 7 %. Yksittäisten vertailumatriisien yhdenmukaisuussuhde ylitti 10 % suunnitelmavaihtoehtojen välisissä vertailuissa neljän kriteerin osalta (liite 3). Näitä vertailumatriiseja olisi voitu korjata siten, että kaikki yhdenmukaisuussuhteet olisivat pienentyneet alle 10 %:iin (taulukko 4). Kaikkein ristiriitaisin yksittäinen vertailu oli suunnitelmien II (MAISEMA) ja III (HKS) välinen vertailu hirven elinmahdollisuuksien suhteen. Mikäli se olisi korjattu mahdollisimman yhdenmukaiseksi, yhdenmukaisuussuhde olisi pienentynyt 44 %.

Taulukko 4. Vertailujen korjaukset, joilla kaikkien vertailumatriisien yhdenmukaisuus-  
suhteet olisivat pienentyneet alle 10 %:iin. 1. netto ja 2. netto tarkoittavat suunnitte-  
lukauden ensimmäisen ja toisen kymmenvuotiskauden nettotuloja.

Päätös- kriteeri	Vertailtavat suunnitelmat	Suunnitelmien suhde vertailuissa	Korjattu suhde
1.netto	VI : I	9	9,9
1.netto	VI : V	6	2,6
2.netto	IV : I	5	2,1
2.netto	III : I	5	2,4
hirvi	III : II	5	1,6
metso	I : V	4	1,2

#### 45. Tavoitekriteerien ja suunnitelmavaihtoehtojen prioriteetit

Pareittaiset vertailut analysoitiin Expert Choice -ohjelmistolla (Forman & Saaty 1986). Ohjelmisto etsii tarvittaessa vertailumatriiseista epäyhdenmukaisimmat vertailut sekä esittää niille uudet, muiden vertailujen kanssa mahdollisimman yhdenmukaiset arvot.

Taulukko 5. Pareittaisten vertailujen pohjalta lasketut päätöskriteerien lokaalit ja  
globaalit painokertoimet. Puuntuotannollisten kriteerien osalta on esitetty sekä  
korjatut että alkuperäiset painokertoimet (suluissa).

Päätöskriteeri	Lokaali paino	Globaali paino
2.taso Puuntuotanto	0,577	0,577
Maisema	0,081	0,081
Riista	0,342	0,342
3.taso Puuntuotannon alikrit.		
1.kauden nettotulot	0,333 (0,429)	0,192 (0,247)
2.kauden nettotulot	0,333 (0,429)	0,192 (0,247)
Hakkuuarvo lopussa	0,333 (0,143)	0,192 (0,082)
Maiseman alikriteerit		
Lähimaisema	0,800	0,065
Kaukomaisema	0,200	0,016
Riistan alikriteerit		
Hirvi	0,174	0,060
Metso	0,694	0,237
Teeri	0,132	0,045

Puuntuotanto sai toisen tason päätöskriteereistä lähes kaksi kertaa suuremman painokertoimen kuin riista (taulukko 5). Maiseman painokerroin oli hyvin pieni. Puuntuotannon alikriteerien painokertoimiin tehtiin varsin suuri korjaus. Kaikkien puuntuotannon alikriteerien korjatut painokertoimet olivat yhtä suuria. Lähimaisema sai huomattavasti suuremman maisemallisen painokertoimen kuin kaukomaisema alueen huonon näkyvyyden vuoksi. Metso oli selvästi tärkein riistalaji alueella. Se sai suurimman globaalın painokertoimen ( $0,694 \cdot 0,342 = 0,237$ ) kaikista kolmannen tason päätöskriteereistä.

Vaihtoehto VI (tulo) on selvästi paras suunnitelma puuntuotannon suhteen (taulukko 6). Sen hyvyys johtuu sen ylivoimaisuudesta ensimmäisen 10-vuotiskauden nettotulojen suhteen, kun taas hakkuuarvon suhteen se on kaikkein huonoin vaihtoehto. Suunnitelma II (maisema) on toisen 10-vuotiskauden nettotulojen suhteen jonkin verran parempi kuin suunnitelma VI. Puuntuotannon alikriteerien painokertoimien korjaus pienensi huomattavasti suunnitelmavaihtoehtojen välisiä hyvyyseroja.

Maisemallisesti parhaaksi suunnitelmaksi arvioitiin luonnontilainen suunnitelmavaihtoehto I. Kaukomaiseman kannalta suunnitelma III (HKS) oli kuitenkin hieman parempi kuin suunnitelma I. Siinä hakkuut kohdistettiin pääasiassa alueen itäosaan (talousalueelle), joka ei näy kauemmas. MONSU-ohjelmiston maisema-arvojen pohjalta laadittu maisemasuunnitelma II sai vertailuissa lähes yhtä pienen prioriteetin lähimaiseman suhteen kuin suunnitelma VI.

Suunnitelmien lähimaiseman vertailuissa ei käytetty MONSU-ohjelmiston maisema-arvoja, koska vertailijat eivät luottaneet niihin. Osittain tämä johtui siitä, että MONSU-ohjelmiston maisema-arvon ennustemalli on laadittu eteläsuomalaisen aineiston pohjalta, eikä se ota suoraan huomioon maankäsittelyn vaikutusta maisema-arvoon. Tässä tutkimuksessa mallin käyttöä vaikeutti poikkeuksellisten uudistamisvaihtoehtojen simulointi lähinnä lakialueen kuvioille. Useilla kuvioilla malli tuotti parhaan maisema-arvon käsittelyvaihtoehdolle, jossa metsikkö uudistettiin viljellen ja jossa jätettiin 10 - 20 siemenpuuta varmistamaan uudistamisen onnistuminen.

Suunnitelma IV (riista) oli riistan kannalta paras vaihtoehto, vaikka hirven ja teeren kannalta paras vaihtoehto olikin suunnitelma V (50%). Suunnitelma IV sai metson suhteen suuremman painoarvon kuin luonnontilainen suunnitelmavaihtoehto I.

Suunnitelma IV (riista) osoittautui parhaaksi suunnitelmavaihtoehdoksi nyt valituilla tavoitekriteerien painoarvoilla (taulukko 7). Suunnitelmat VI (tulo) ja I (lepo) olivat käytännössä lähes yhtä hyviä vaihtoehtoja kuin suunnitelma IV, vaikka ne poikkesivat hyvin paljon toisistaan. Suunnitelman VI hyvyys johtui suurelta osin (56 %) sen hyvydestä ensimmäisen kauden nettotulojen suhteen, kun taas suunnitelman IV kokonaisuhyvydestä 47 % koostui sen hyvydestä metson suhteen. Mikäli puuntuotannon alikriteerien painokertoimia ei olisi korjattu, suunnitelmien paremmuusjärjestys olisi ollut erilainen. Tällöin suunnitelma VI olisi ollut varsin selvästi parempi kuin muut suunnitelmavaihtoehdot.

Metsätalouden laskelmissa oletetaan usein, että markkojen lukumäärä kertoo suoraan markeista saatavan hyödyn, eli oletetaan, että rahan rajahyöty on vakio (Kangas 1990a). Suunnitelmavaihtoehtojen lokaalit prioriteetit puuntuotannon alikriteerien suhteen olisi voitu määrätä suoraan normalisoimalla suunnitelmavaihtoehtojen rahamääräisten tunnusten arvot, jolloin niiden summa olisi ollut yksi. Tällä tavalla ei tehty, koska näin

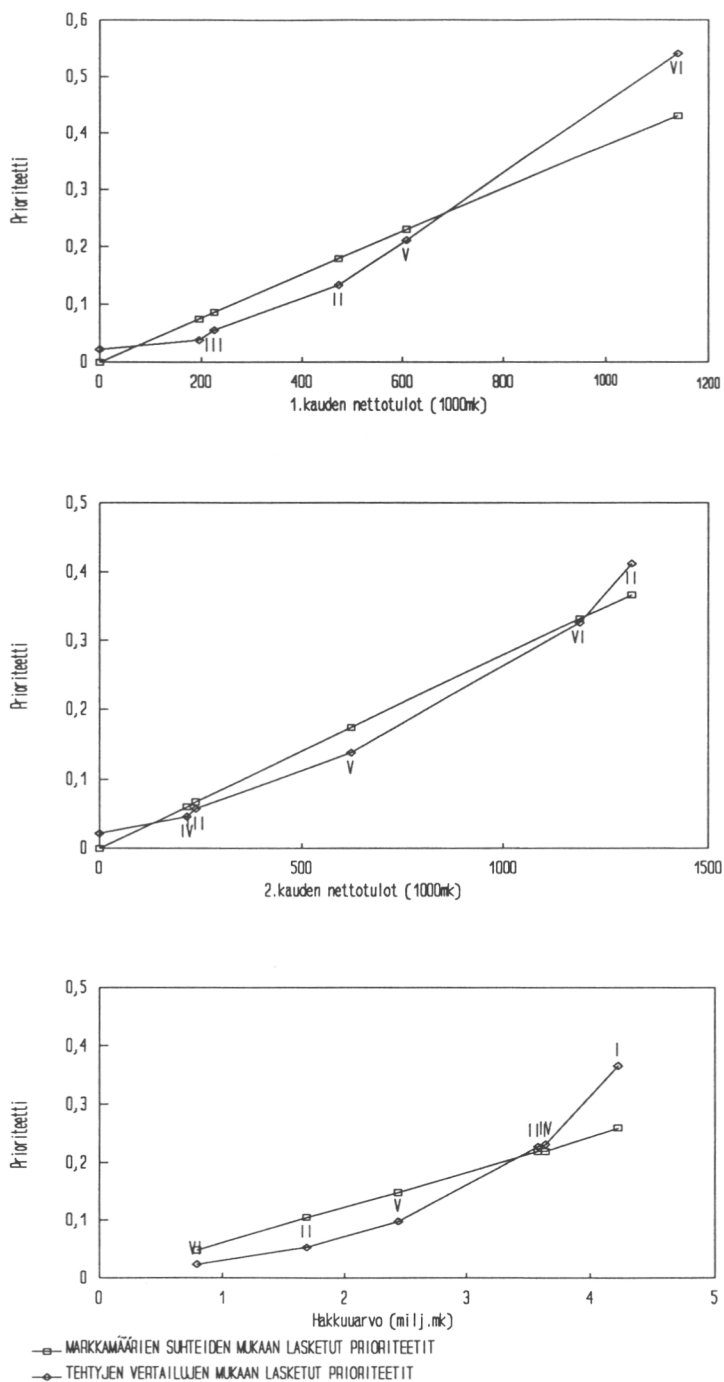
voitiin jälkepäin vertailla pareittaisten vertailujen pohjalta laskettuja puuntuotannollisia prioriteetteja markkamääräisten arvojen suhteiden avulla laskettuihin prioriteetteihin. Tämä antoi mahdollisuuden arvioida vertailujen onnistumista.

Taulukko 6. Vertailujen mukaan lasketut suunnitelmavaihtoehtojen lokaalit prioriteetit toisen ja kolmannen tason päätöskriteerien suhteen. Esimerkiksi suunnitelman I puuntuotannollinen prioriteetti on saatu kertomalla sen lokaalit prioriteetit kunkin puuntuotannon alikriteerin suhteen niitä vastaavilla puuntuotannollisilla painokertoimilla ja laskemalla nämä tulot yhteen ( $0,022 \cdot 0,333 + 0,022 \cdot 0,333 + 0,366 \cdot 0,333 = 0,137$ ). Suluissa on esitetty vaihtoehtojen puuntuotannolliset prioriteetit ennen puuntuotannon alikriteerien painokertoimien korjausta. Kunkin kriteerin suhteen paras vaihtoehto on esitetty lihavoituna.

Päätös-kriteeri	Suunnitelmavaihtoehto					
	I lepo	II mais	III HKS	IV riis	V 50%	VI tulo
Puuntuotanto	0,137 (0,056)	0,199 (0,249)	0,113 (0,079)	0,105 (0,067)	0,149 (0,171)	<b>0,297</b> (0,378)
-1.netto	0,022	0,133	0,055	0,038	0,211	<b>0,541</b>
-2.netto	0,022	<b>0,412</b>	0,057	0,046	0,138	0,326
-hakkuuarvo	<b>0,366</b>	0,053	0,228	0,232	0,098	0,024
Maisema	<b>0,424</b>	0,034	0,198	0,249	0,066	0,028
-lähimaisema	<b>0,452</b>	0,034	0,159	0,267	0,063	0,025
-kaukomaisema	0,314	0,036	<b>0,355</b>	0,177	0,077	0,042
Riista	0,203	0,064	0,136	<b>0,320</b>	0,246	0,032
-hirvi	0,031	0,125	0,204	0,196	<b>0,391</b>	0,053
-metso	0,277	0,041	0,122	<b>0,374</b>	0,163	0,022
-teeri	0,038	0,100	0,115	0,198	<b>0,490</b>	0,059

Taulukko 7. Suunnitelmavaihtoehtojen globaalit prioriteetit. Suluissa on esitetty prioriteetit ennen puuntuotannon alikriteerien painokertoimien korjausta.

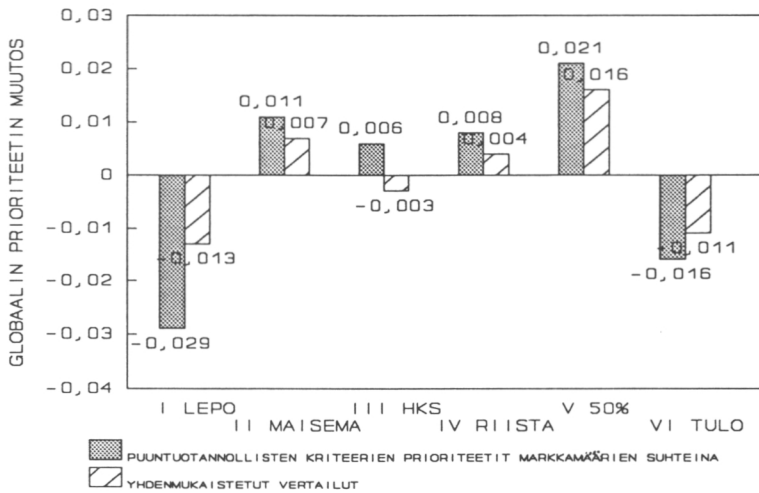
Suunnitelma-vaihtoehto	globaali prioriteetti
I lepo	0,183 (0,145)
II maisema	0,139 (0,164)
III HKS	0,128 (0,109)
IV riista	<b>0,190</b> (0,169)
V 50%	0,175 (0,184)
VI tulo	0,185 ( <b>0,230</b> )



Kuva 6. Pareittaiten vertailujen sekä normalisoidujen markkamääräisten arvojen avulla lasketut suunnitelmavaihtoehtojen lokaalit prioriteetit puuntuotannollisten kriteerien suhteen.

Pareittaisten vertailujen perusteella rahan rajahyöty oli lähes vakio ensimmäisen ja toisen 10-vuotiskauden nettotulojen suhteen, mutta hakkuuarvon suhteen tulokset antoivat viitteitä rahan kasvavasta rajahyödystä (kuva 6). Tulokset voivat viitata myös skaalausvaikeuksiin tehdyissä vertailuissa, sillä suurimman rahamäärän tuottava suunnitelma sai kaikissa puuntuotannollisissa vertailuissa jonkin verran suuremman arvon kuin markkamääräisten arvojen lineaariset suhteet edellyttivät. Talousteoriassa on yleisesti hyväksytty vähenevän rajahyödyn periaate. Tässä suunnittelutilanteessa voitaneen kuitenkin olettaa rahan rajahyödyn olleen jokseenkin vakio, koska laadittujen suunnitelmavaihtoehtojen markkamääräisten arvojen erot olivat metsähallituksen hoitoalueen tasolla marginaalisesti tarkasteltuna värsin pieniä.

Mikäli vaihtoehtojen puuntuotannollisina prioriteetteina olisi käytetty markkamääräisten tunnusten normalisoituja arvoja, suunnitelman V (50%) globaali prioriteetti kokonaisyödyn suhteen olisi kasvanut eniten (0,018) ja vastaavasti suunnitelmien VI (tulo) ja I (lepo) pienentynyt eniten (0,024 ja 0,020) (kuva 7). Vertailumatriisien yhdenmukaistaminen siten, että kaikkien vertailumatriisien yhdenmukaisuussuhde olisi pienentynyt alle 10 %:n, olisi kasvattanut eniten suunnitelman V globaalia prioriteettiä (0,016). Suunnitelmien I ja VI globaalit prioriteetit olisivat vastaavasti pienentyneet eniten (0,013 ja 0,011).



Kuva 7. Suunnitelmavaihtoehtojen globaalien prioriteettien muuttuminen, mikäli vaihtoehtojen puuntuotannollisina prioriteetteina olisi käytetty markkamääräisten tunnusten normalisoituja arvoja tai mikäli kaikki vertailumatriisit olisi yhdenmukaistettu (taulukon 3 mukaisesti) siten, että kaikkien vertailumatriisien yhdenmukaisuussuhteet olisivat pienentyneet alle 10 %:n.

#### 46. Herkkyysanalyysi

Herkkyysanalyysissä tutkittiin yksittäisten päätöskriteerien lokaalien painokertoimien muutoksen vaikutusta suunnitelmavaihtoehtojen globaaleihin prioriteetteihin. Tällöin oletettiin, että tarkasteltavan kriteerin painokerrointa lukuunottamatta kaikkien muiden

päätöskriteerien painokertoimien suhteet pysyvät muuttumattomina samoin kuin suunnitelmavaihtoehtojen hyvydet kunkin alimman tason tavoitekriteerin suhteen. Kun esimerkiksi tutkittiin puuntuotannon painokertoimen muuttumisen vaikutusta välillä 0 - 1, oletettiin, että maiseman ja riistan painokertoimien suhde on koko ajan  $0,081 / 0,342 = 0,237$ .

Paras suunnitelmavaihtoehto (suunnitelma IV) muuttuu hyvin nopeasti, kun päätöskriteerien painokertoimien arvoja muutetaan (taulukko 8). Erityisesti muutokset puuntuotannollisten päätöskriteerien painokertoimissa toisen kauden nettotulojen painokerrointa lukuunottamatta aiheuttavat herkästi parhaan suunnitelmavaihtoehdon muuttumisen. Puuntuotannon painokertoimeen, 0,577, vaaditaan pienin muutos (+0,012), jotta paras suunnitelmavaihtoehto vaihtuisi.

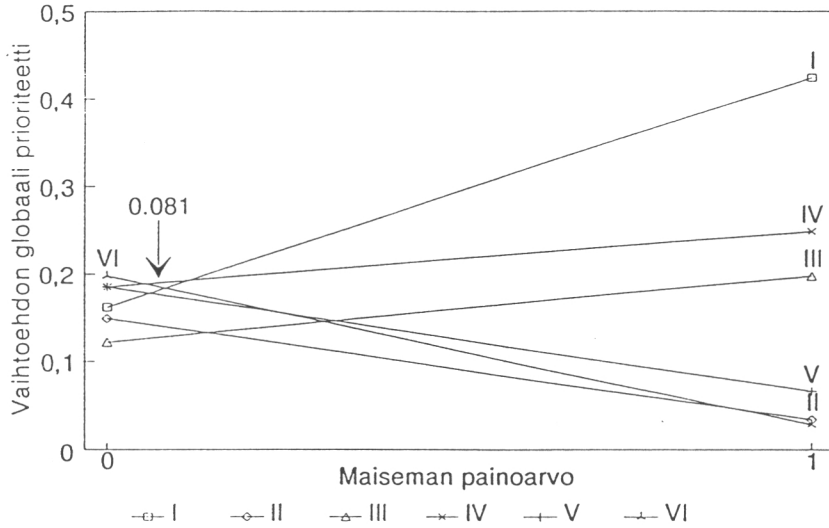
Taulukko 8. Toisen ja kolmannen tason päätöskriteerien lokaalien painokertoimien muutoskohdat, joissa paras (=suurimman globaalin prioriteetin saava) suunnitelma-vaihtoehto vaihtuu. Kriteerit ovat herkkyyssjärjestyksessä. Toisen tason kriteerit on lihavoitu.

Päätöskriteeri	Paras suunnitelmavaihtoehto muutoksen jälkeen			
	VI tulo	I lepo	V 50%	II mais
<b>Puuntuotanto</b>	<b>+0,012</b>			
Hakkuuarvo	- 0,017	+0,089		
1.kauden nettotulot	+0,024	- 0,190		
<b>Maisema</b>	<b>- 0,025</b>	<b>+0,035</b>		
<b>Riista</b>	<b>- 0,026</b>			
Metso	- 0,078		- 0,114	
2.kauden nettotulot	+0,083	- 0,166		+0,283
Teeri	+0,088		+0,103	
Hirvi	+0,093		+0,179	
Lähimaisema	- 0,600			
Kaukomaisema	+0,600			

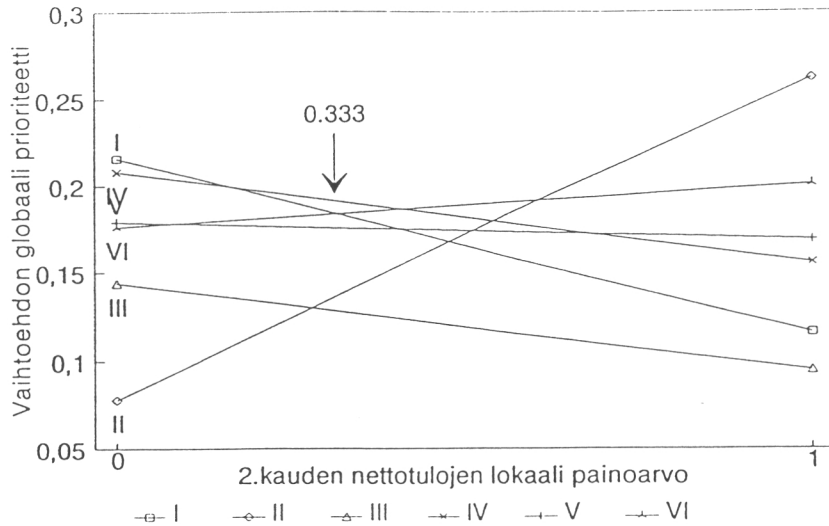
Kaikkien päätöskriteerien osalta pienin parhaan vaihtoehdon muuttumiseen vaadittava painokertoimen muutos aiheuttaisi sen, että suunnitelmavaihtoehto VI saisi suurimman globaalin prioriteetin. Riittävän suuret muutokset riistalajien painokertoimissa voivat muuttaa suunnitelmavaihtoehtojen globaaleja prioriteetteja myös siten, että suunnitelma V saa suurimman prioriteetin. Suunnitelma III (HKS) on ainoa vaihtoehto, joka ei millään yksittäisen päätöskriteerin painokertoimen muutoksella saa suurinta globaalia prioriteettia.

Maisema on ainoa toisen tason päätöskriteeri, jonka painokertoimen muutos voi johtaa suunnitelmien IV ja VI lisäksi myös jonkin muun vaihtoehdon valintaan. Mikäli maiseman painokerroin olisi suurempi kuin 0,116, suunnitelmavaihtoehdon I globaali prioriteetti olisi suurin (kuva 8). Maiseman lokaalin painokertoimen kasvaessa myös

suunnitelmavaihtoehtojen hyvyserot suurenevat huomattavasti. Tästä voidaan päätellä, että vertailujen mukaan suunnitelmavaihtoehdot poikkeavat maiseman suhteen enemmän toisistaan kuin puuntuotannon ja riistan suhteen.



Kuva 8. Suunnitelmavaihtoehtojen globaalit prioriteetit maiseman lokaalin painokertoimen funktiona.



Kuva 9. Suunnitelmavaihtoehtojen globaalit prioriteetit toisen kauden nettotulojen lokaalin painokertoimen funktiona.



Toisen kauden nettotulojen painokerroimen muutos aiheuttaisi kaikkein useimmin parhaan suunnitelmavaihtoehdon vaihtumisen (taulukko 7). Mikäli toisen kauden nettotulojen painokerrointa (0,333) pienennettäisiin riittävästi (0,166), suunnitelmavaihtoehto I (lepo) muuttuisi parhaaksi vaihtoehdoksi. Jos painokerroin saisi arvoja välillä 0,416 - 0,616, vaihtoehto VI (tulo) olisi paras suunnitelma (kuva 9). Vaihtoehto II (maisema) olisi paras suunnitelma, mikäli painokerroin olisi suurempi kuin 0,616. Suunnitelmavaihtoehtojen paremmuusjärjestys muuttuu yhteensä 11 kertaa toisen kauden nettotulojen painokerroimen muuttuessa nolasta yhteen.

## 5. TARKASTELU

Kaikkien päätöksenteon analyysimenetelmien tarkoituksena on avustaa päätöksentekijää tekemään laajempaan tietopohjaan perustuvia, parempia päätöksiä kuin ilman niitä olisi mahdollista (Keeney 1988). Useimmista muista menetelmistä poiketen AHP-menetelmän käyttö ei vaadi päätöksentekijältä täydellistä loogisuutta. Yksityismetsänomistajien tavoitteet ovat usein epäselviä ja keskenään ristiriitaisia. On oletettu, että osalla metsänomistajia ei ole selkeitä metsätalouden harjoittamista koskevia päämääriä ja tavoitteita (Ihalainen 1990). Metsähallituksen metsien osalta täsmällisten tavoitteiden määrittämistä vaikeuttavat useilta tahoilta tulevat erilaiset paineet metsien käsittelyyn (Kangas 1990b). AHP:tä käytettäessä keskeinen lähtökohta on, että eri päätösvaihtoehtojen prioriteetit on tiedettävä ja päätökset tehtävä mahdollisesta epäyhdenmukaisuudesta huolimatta.

Päätöksentekohierarkian muotoileminen on ehkä tärkein AHP:n vaihe (Saaty & Kearns 1985, Zahedi 1986). Päätöksentekohierarkian suunnittelussa päätöksentekijän ja suunnittelijan on perehdyttävä päätösongelmaan mahdollisimman hyvin ja selvitettävä kaikki ongelmaan vaikuttavat tekijät sekä niiden riippuvuussuhteet. Päätöshierarkian muotoilemisella pyritään siihen, että päätöskriteerit vastaisivat mahdollisimman hyvin päätöksentekijän todellisia preferenssejä. Tavoitteiden yksityiskohtainen ja täsmällinen määrittäminen sekä tavoitteita vastaavien alikriteerien valinta ovat olennaisia vaiheita parhaan päätösvaihtoehdon valinnan kannalta (Howard 1991). Tapaustutkimuksessa mukana olleiden henkilöiden mukaan suunnitteluongelman hajottaminen hierarkiamuotoon auttoi tietyn alkuhämmennyksen jälkeen päätösongelman hahmottamisessa. On kuitenkin muistettava, että päätösongelmien muotoileminen hierarkian muotoon ei perustu mihinkään teoreettiseen viitekehukseen (Zahedi 1986).

Menetelmän perusversiossa oletetaan, että saman tason elementit ovat toisistaan riippumattomia, eikä eri tasojen välillä esiinny takaisinkytkentöjä vaan niiden välinen vaikutus on pelkästään yhdensuuntaista (Saaty 1982). Toisin sanoen AHP olettaa perusmuodossaan summamuotoisten hyötymallien tapaan eri päätöskriteerien prioriteettien täydellisen lineaarisen korvautuvuuden, mikä on harvoin totta käytännön sovellutuksissa (Nijkamp & Voogd 1985). Metsien monikäytössä voi päätöskriteerien välillä olla yhdysvaikutuksia, jotka vaihtelevat päätöksentekijöittäin ja joiden arvioiminen voi olla vaikeaa. Muiden käyttömuotojen merkitys puuntuotantoon verrattuna voi riippua esimerkiksi puuntuotannosta saatavista tuloista (esim. Kangas 1992a). Toisaalta tutkijat ovat osoittaneet, että lineaarisen korvautuvuuden olettavien menetelmien tuottamat tulokset eivät oleellisesti poikkea monimutkaisemmista menetelmistä, jotka ottavat huomioon kriteerien välisen korrelaation (Hwang & Yoon 1981).

Mikäli jollakin päätöshierarkian tasolla on elementtien välistä riippuvuutta, täytyy tämä riippuvuus mitata ja ottaa huomioon laskettaessa elementtien globaaleja prioriteetteja (Saaty & Kearns 1985). Tapaustutkimuksessa oletettiin, että muodostetussa päätöshierarkiassa ei ollut saman tason elementtien välistä riippuvuutta, mikä on käytännössä yleisin tapa suhtautua mahdollisiin riippuvuuksiin (Saaty 1982).

Maisemanhoito ja riistatalous eivät ole samanlaisia metsän käyttömuotoja kuin puun tuotanto. Riista voi tuottaa hyötyä esimerkiksi tarjoamalla mahdollisuuden metsästykseseen. Tämän potentiaalinen käyttö metsästyksen järjestelyillä määrää metsästyksen arvon (Saastamoinen 1982, Mattsson 1989). Metsästysarvoa voidaan lisätä huomattavasti lisäämättä riistakantoja (Mattsson 1989). Myös ihmisten maisemalliseen kokemukseen vaikuttavat varsinaisen maisemanäkymän ohella muutkin tekijät.

Vertailuissa käytettävän numeerisen asteikon valintaperusteista seuraa, että samalla hierarkian tasolla ei voida järkevästi vertailla sellaisia kriteereitä, joiden tärkeyksien suhde on suurempi kuin 9 (Dyer 1990). Tämä on otettava huomioon jo päätöshierarkiaa laadittaessa siten, että saman tason elementit ovat keskenään vertailukelpoisia. Esimerkiksi metsän tuottamia hyödykkeitä vertailtaessa puun kanssa samalle hierarkiatasolle ei tule sijoittaa sellaisia hyödykkeitä, joiden tärkeys on hyvin pieni puun myyntituloihin verrattuna. Joissakin tilanteissa voidaan samalla hierarkiatasolla verrata puuntuotantoa kaikkien muiden hyödykkeiden tuotantoon yhdessä (esim. Kangas 1992a) ja seuraavaksi alemmalla tasolla verrata näitä muita hyödykkeitä keskenään. Toisaalta Harker & Vargas (1990) näyttivät AHP:n robustisuuden tilanteessa, missä 9-osainen asteikko on periaatteessa riittämätön: mitä useampia päätöselementtejä verrataan pareittain keskenään, sitä lähempänä todellisia prioriteetteja ovat AHP:lla saadut likiarvot riittämättömän asteikon tapauksessa.

Pareittaiset vertailut tehtiin tapaustutkimuksessa ryhmätyönä. Tällöin päätöksentekijät joutuivat perustelemaan arviointinsa muille ryhmän jäsenille ja prioriteettiarvojen luotettavuus todennäköisesti parani. Tehdyissä vertailuissa pyrittiin keskustelujen avulla löytämään yksimielisyys. Mikäli yksimielisyyteen ei olisi päästy, olisi vertailuissa voitu käyttää esimerkiksi ryhmän jäsenten erillisistä arvioinneista laskettua geometrista keskiarvoa (Saaty 1980). Ryhmätyössä ongelmana voi olla jäsenten erilaiset preferenssit sekä kiinnostuksen ja arvovallan vaihtelu (esim. Saaty 1982). Osa jäsenistä voi olla haluttomia paljastamaan todellisia preferenssejään, jolloin tehdyt vertailut eivät vastaa todellisuutta.

Kun vaihtoehtoja vertaillaan kunkin päätöskriteerin suhteen erikseen, ongelmana voi olla, että vertailijat eivät pysty erottamaan vaihtoehtojen hyvyksiä eri kriteerien suhteen. Esimerkiksi maisemalliset arvostukset voivat olla kiinteästi sidoksissa muihin päätöshierarkian kriteereihin, esimerkiksi maiseman käyttöön virkistykseen ja muihin tarkoituksiin (Sinton 1979). Yhtenä ratkaisuna tähän ongelmaan on eri alojen asiantuntijoiden käyttö tapaustutkimuksen tapaan vaihtoehtojen vertailussa, jolloin samat henkilöt eivät vertaile vaihtoehtoja useamman kriteerin suhteen. Asiantuntijoiden apua alimman tason vertailuissa voidaan tarvita myös sen takia, että vertailut ovat liian vaikeita päätöksentekijälle itselleen.

Metsähallituksen henkilökunta piti pareittaisia vertailuja teknisesti helppoina, mutta vertailujen soveltaminen nyt valittujen päätöskriteerien arvioimiseen koettiin melko vaikeana. Päätöshierarkian muodostaminen ja pareittaiset vertailut edellyttävät tapaustutkimuksessa mukana olleiden vertailijoiden mukaan varsin perusteellista AHP-mene-

telmän tuntemusta. Vertailijoiden mukaan toisistaan riippumattomien päätöskriteerien vertailu oli "suhteellisellakin asteikolla suhteettoman vaikeaa". Myös kvantitatiivisten ja kvalitatiivisten tunnusten (esim. puuntuotanto ja maisema) keskinäiset vertailut koettiin vaikeina. Menetelmän tekniikan osittainen mutta ei täydellinen tunteminen aiheutti hämmennystä: ehkäpä vertailujen tekeminen olisi helpompaa, jos ne tehtäisiin vain sanallisella asteikolla ja jos vertailijat eivät tuntisi vertailujen numeeristamistekniikkaa ollenkaan. Vertailemisen vaikeus voi osittain johtua myös siitä, että metsien monikäytön suunnittelu edellyttää laajempaa tarkastelukulmaa kuin perinteisessä metsätaloussuunnittelussa on sovellettu (Kolehmainen 1983).

Päätöskriteerien välisistä vertailuista vaikeimmilta vaikuttivat ylimmän tason vertailut, jotka tehtiin ensimmäisenä. Suunnitelmavaihtoehtojen väliset vertailut puuntuotannollisten kriteerien suhteen tuottivat myös vaikeuksia, vaikka suunnitelmavaihtoehdot pystyttiin esittämään näiden kriteerien suhteen objektiivisina markkamääräisinä tunnuk-sina. Puuntuotannollisten vertailujen vaikeus johtui osittain päätöksentekohierarkian muotoilusta puuntuotannon alikriteerien osalta. Puuntuotannon kestävyys olisi vertailijoiden mukaan ollut hakkuuarvoa parempi puuntuotannon alikriteeri, ja tuottoarvo suunnitelmakauden lopussa olisi kuvannut hakkuuarvoa paremmin suunnitelmavaihtoehdojen puuntuotannollista kestävyttä. Pareittaisten vertailujen pohjalta laskettuja puuntuotannon alikriteerien painokertoimia jouduttiinkin korjaamaan, koska ne eivät vertailijoiden mukaan kuvanneet riittävän hyvin puuntuotannon kestävyydelle asetettuja tavoitteita.

Suunnitelmavaihtoehtojen välisissä vertailuissa kaukomaiseman suhteen ongelmia aiheutti erityisesti tietokonekuvien värien tulkinta. Tietokonekuvien piirtämisessä käytetyt värit eivät vastanneet täysin luonnollisten maisemanäkymien värejä, mikä voi jossain määrin jopa vääristää vaihtoehtojen välistä paremmuusjärjestystä. Tietokonekuvien käyttämistä käytännön maisemanhoidon suunnittelussa vaikeuttavat rajalliset valintamahdollisuudet maisemanäkymän tarkastelusuunnassa ja -etäisyydessä.

Suunnitelmavaihtoehtojen lähimaisemalliset vertailut tehtiin tapaustutkimuksessa koko alueen osalta yhdellä kertaa, vaikka erilaisille metsikköryhmille määritettiin aiemmin erilaiset maisemalliset painokertoimet. Suunnitelmavaihtoehtojen vertailijat painottivat lähimaisemallisissa vertailuissa kuitenkin metsikköryhmiä eri tavalla kuin metsikköryhmien painokertoimien määrittäjät. Erilaisen painokertoimen omaavia metsikköryhmiä olisikin pitänyt vertailla erikseen, jolloin vaihtoehtojen väliset vertailut lähimaiseman suhteen olisivat todennäköisesti helpottuneet ja tarkentuneet. Suunnittelualueen jakaminen osiin lisää kuitenkin pareittaisten vertailujen kokonaismäärää ja käytännön suunnittelutilanteessa voikin olla paikallaan ainoastaan maisemallisesti tärkeimpien osaluueiden tarkastelu varsinkin silloin, kun maiseman globaali painokerroin on pieni. Maisema-arvon ennustemallien käyttö suunnitelmavaihtoehtojen maisemallisen hyvyyden arvioinnissa edellyttää, että eri alueille laaditaan omia ennustemalleja, jolloin voidaan arvioida mallien yleistettävyyttä. Malleissa pitäisi pyrkiä myös maanmuokkauksen vaikutuksen eksplisiittiseen kuvaamiseen. Metsiköiden välisen vaihtelevuuden merkityksestä metsäalueen maisema-arvoon tarvitaan myös lisätietoa, mikäli metsäalueen sisäistä maisema-arvoa halutaan kuvata numeerisesti.

Riistan, erityisesti metson, osalta suunnitelmien esittäminen yksittäisten tunnusten avulla on yksinkertaistettua, sillä esimerkiksi Helle ym. (1990) eivät löytäneet yhtään yksittäistä todella merkittävää muuttujaa metsokukkojen ympäristövalinnan kannalta. Rolstadin & Weggen (1987) esittämässä metson elinympäristövalinnan mallissa ennus-

tetaan, että aluksi, kun aletaan pirstoa suhteellisen koskematon metsäaluetta, vaikutus voi metsolle olla jopa positiivinen; myöhemmin kun varttuneen metsän alueet ovat enää saarekkeina siellä täällä, lisäpirstoutuminen on kohtalokasta. Vertailuista saadut painoarvot metson suhteen olivat suurelta osin tämän mallin mukaisia. Vertailuissa käytettiin apuna alueen hakkuuteemakarttoja, joista ilmeni erilaisten hakkuiden sijoittuminen alueelle. Metsäkanalintujen elinympäristövaatimusten kuvaamisen vaikeus liittyy ennen muuta siihen, että erityisesti metsolla ja teerellä on selvästi erilliset elinympäristöt eri vuodenaikoina (Helle & Helle 1991).

Tapaustutkimuksessa muodostetun päätöshierarkian yhdenmukaisuussuhde oli varsin pieni, kun otetaan huomioon, että pareittaisia vertailuja ei harjoiteltu etukäteen, eikä yhtään vertailua korjattu epäyhdenmukaisuuden takia. Suunnitelmavaihtoehtojen välisissä vertailuissa yhdenmukaisuussuhteet olivat kaikkien kriteerien suhteen lähes samansuuruisia, vaikka vaihtoehtoja ei pystyttykään esittämään maisema- ja riistakriteerin suhteen yhtä täsmällisesti kuin puuntuotannollisten kriteerien suhteen. Vertailujen tekoa helpotti varmaankin se, että suunnitelmavaihtoehdot poikkesivat hyvin paljon toisistaan.

Vertailujen yhdenmukaisuuden kannalta on tärkeää, että vertailijat tietävät ennen ensimmäistä vertailua, miten paljon vaihtoehdot poikkeavat toisistaan kunkin päätöskriteerin suhteen. Saaty (1980) on esittänyt, että kunkin kriteerin suhteen tulisi vertailla ensimmäisenä vaihtoehtoja, jotka poikkeavat eniten toisistaan kyseisen kriteerin suhteen. Tällä menettelyllä pyritään helpottamaan myöhempien vertailujen suorittamista, mutta ongelmana on se, että suunnittelija ei aina välttämättä tiedä vaihtoehtojen hyvyysjärjestyksestä päätöksentekijän kannalta kaikkien päätöskriteerien suhteen.

10 %:ia suuremman yhdenmukaisuussuhteen voidaan tulkita osoittavan joko vaihtoehtoja tai kriteerejä koskevan tiedon riittämättömyyttä tai sitä, että hierarkian muotoilu on epäonnistunut. Toisaalta vertailujen yhdenmukaisuuden parantaminen ei tarkoita sitä, että uudet prioriteetit olisivat lähempänä todellista ratkaisua. Se tarkoittaa vain, että numeeriset suhde-estimaatit matriisissa ovat loogisempia (Saaty 1977). Vertailujen yhdenmukaisuus voi olla hyvä, vaikka suoritettavat arvioinnit eivät vastaakaan todellisuutta.

AHP-menetelmässä päätöshierarkian muodostamisella pyritään sekä yhdenmukaisuuteen että hyvään vastaavuuteen todellisuuden kanssa (Saaty 1977). Mitä pienempi kukin matriisi on, sitä suurempi on vertailujen yhdenmukaisuus. Ainakaan vielä ei ole kehitetty tilastollista teoriaa, joka auttaisi luotettavasti arvioimaan, miten hyvin arviointiaineisto vastaa todellisuutta (Saaty & Kearns 1985). Toisaalta vertailumatriisien numeeriset arvot voidaan tulkita myös havainnoiksi, joihin liittyy satunnaisvirhe (esim. Saaty 1977). Tämän tulkinnan mukaan satunnaisvirheiden suuruutta ei välttämättä voida lainkaan arvioida yhdenmukaisuuden tarkastamisella (Zahedi 1986).

Sanallisten preferenssi-ilmauksen epämääräisyyden välttämiseksi päätöksentekijän tavoitteiden painokertoimet muunnetaan AHP-menetelmässä numeerisiksi. Sanallisissa vertailuissa on ongelmana se, että eri henkilöt tulkitsevat eri tavoin tärkeys- ja hyvyys-suhteita kuvaavat sanat (esim. Kangas 1992a). Tämän takia tapaustutkimuksessa vertailut suoritettiin sekä sanallista että numeerista asteikkoa hyväksikäyttäen (liite 2). Sanallisten vertailujen muuntaminen numeerisiksi on erityisen ongelmallista silloin, kun saman päätösongelman vertailuja tekevät useat eri henkilöt.

Sanallisista vertailuista johdettavassa numeerisessa asteikossa pienin mahdollinen kahden kriteerin tärkeyden välinen suhde on 2:1. Mikäli vertailtavia kriteereitä on ainoastaan kaksi, on tällaisesta vertailusta seurauksena painoarvot 0,667 ja 0,333. Mikäli kriteerit ovat lähes yhtä tärkeitä, on vaihtoehtona se, että ne ovat yhtä tärkeitä (painoarvot 0,500 ja 0,500). Numeeristen prioriteettien johtaminen sanallisista vertailuista voi siten olla epätarkka, kun vertailtavia kriteereitä on ainoastaan kaksi (Forman & Saaty 1986), ja parempi tapa on antaa kriteereille suoraan numeeriset painokertoimet jatkuvaa numeerista asteikkoa käyttäen. Painokertoimien laskemisessa käytettävä numeerinen asteikko voi olla liian karkea myös, kun kolmea lähes yhtä tärkeää kriteeriä verrataan pareittain keskenään.

Vertailumatriisien muodostamisessa voidaan periaatteessa käyttää myös jatkuvaa numeroasteikkoa tai laajennettua kokonaislukuasteikkoa, jossa suurinta kriteerien välistä tärkeyseroa merkitään suuremmalla suhteella kuin yhdeksän. Monikäytön suunnittelussa jatkuvan numeerisen asteikon käyttöä rajoittanee se seikka, että päätöksentekijät tuskin pystyvät arvioimaan kriteerien välisiä tärkeyseroja luotettavammin jatkuvalla asteikolla kuin diskreetillä kokonaislukuasteikolla. Saaty (1980) vertaili AHP:ssä käytettävää numeroasteikkoa 28 vaihtoehtoiseen asteikkoon viidessä erilaisessa päätösongelmas- sa, joissa elementtien todelliset prioriteetit määrättiin myöhemmin. Kokonaislukuasteikko yhdestä yhdeksään tuotti näissä tapauksissa prioriteetit, jotka parhaiten vastasivat elementtien todellisia prioriteetteja.

Lokaalien prioriteettien laskeminen pareittaisten vertailujen pohjalta on AHP-menettelyn vaihe, johon on esitetty eniten vaihtoehtoisia menetelmiä. Esimerkiksi Zahedi (1986) mainitsi seitsemän erilaista menetelmää, joiden paremmuusjärjestyksestä ei vallitse täyttä yksimielisyyttä. Ominaisarvolaskentaan perustuva tapa on kuitenkin ylivoimaisesti käytetyin.

Suunnitelmavaihtoehtojen lokaalit prioriteetit voidaan periaatteessa määrittää käyttämällä pareittaisten vertailujen sijasta objektiivista tietoa, esim. rahamääräisten tunnusten suhdeasteikollisia normalisoituja arvoja, jolloin kaikkien vaihtoehtojen arvojen summa on yksi. Tällöin oletetaan kuitenkin, että päätöksentekijän hyöty riippuu lineaarisesti kvantitatiivisten tunnusten arvoista ja että erilaisilla ennustemalleilla lasketut tunnusten arvot ovat tarkkoja. Ongelmana on myös markkamääräisten erojen hyötyarvojen määrittäminen siten, että ne vastaavat pareittaisten vertailujen perusteella laskettujen prioriteettien vastaavia eroja (Kangas 1991). Howardin (1991) mukaan vaihtoehtojen välisiin hyvyyseroihin vaikuttaa huomattavasti se, miten erilaisilla mittayksiköillä mitatut arvot muunnetaan keskenään vertailtaviksi. Suositeltavaa onkin käyttää subjektiivisia pareittaisia vertailuja prioriteettien laskemisessa kaikkien kriteerien suhteen ja käyttää mahdollisimman objektiivista tietoa apuna vertailuissa.

Tapaustutkimuksen perusteella ei voida ehdottomasti arvioida, miten hyvin suunnitelmavaihtoehtojen globaalit prioriteetit kuvastivat päätöksentekijöiden tavoitteita ja niiden arvostuksia. Tämä on preferenssien estimoimismenetelmien arvioimisen yleinen hankaluus, joka johtuu siitä, että täsmällisiä päätöksentekijän preferenssejä ei tunneta (Kangas 1992a). Suunnitelmien hyvyksiä ei arvioitu myöskään millään muulla menetelmällä, johon saatuja tuloksia olisi voitu verrata. Alueelle aiemmin laadittu hoito- ja käyttösuunnitelmanakin on tehty laajemmalle alueelle, eikä siinä ole otettu huomioon metson soidinpaikkaa. Puuntuotannollisten kriteerien painokertoimien laskeminen suoraan markkamääräisten tunnusten normalisoitujen arvojen pohjalta sekä epäyhdenmukaisimpien vertailuarvojen korjaaminen (taulukko 3) muuttivat suunnitelmavaih-

toehtojen globaaleja prioriteetteja lähes samalla tavalla. Tämä voi viitata siihen, että suunnitelmat I (lepo) ja VI (tulo) saivat vertailujen pohjalta liian suuren prioriteetin ja suunnitelma V (50%) liian pienen prioriteetin.

Teelen ym. (1988) mukaan päätöksentekijä voi kokea AHP-menetelmällä saadut tulokset epäluotettavampina kuin matemaattisten ohjelmointimenetelmien tuottamat tulokset. Yhtenä syynä tähän lienee se, että päätökset tuntuvat usein turvallisemmilta ja varmemmilta, mikäli ne tehdään kvantitatiivisten kustannusten ja hyötyjen vertailujen avulla (Saaty & Kearns 1985). Päätösanalyysin tulokset ovat enintään yhtä luotettavia kuin siinä käytetyt päätösvaihtoehtoja kuvaavat tiedot (Kangas 1992a). AHP:ssa aikomuksena ei ole niinkään määrätä täsmällisiä prioriteetteja vaihtoehtoilta vaan pikemminkin tunnistaa niiden hyvyysjärjestys (Mendoza & Sprouse 1989), sillä hyödyn maksimoimiseksi riittää, kun pystytään järjestämään vaihtoehdot järjestykseen ja valitsemaan niistä paras (Kangas 1992a). Toisaalta luotettavan herkkyysanalyysin tekeminen edellyttää kuitenkin täsmällisiä vaihtoehtojen ja päätöskriteerien prioriteetteja. Herkkyysanalyysin teon mahdollisuus taas on edellytys vankan tuen saamiseksi monitavoitteiseen päätöksentekoon.

Herkkyysanalyysin perusteella voidaan päätellä, että parhaan suunnitelmavaihtoehdon valitsemiseksi ei riitä päätöskriteerien tärkeysjärjestyksen tunteminen. Suunnitelmavaihtoehtojen globaalien prioriteettien laskeminen yksinkertaisen summamuotoisen painotusmenetelmän tapaan edellyttää, että eri kriteerien painokertoimet ovat suhteasteikollisia (Howard 1991). Paras suunnitelmavaihtoehto olisi voinut vaihtua, vaikka päätöskriteerien painokertoimet olisivat muuttuneet niin vähän, että kriteerien tärkeysjärjestys olisi pysynyt samana. Herkkyysanalyysin tuloksia tarkasteltaessa on otettava huomioon, että AHP:ssa oletetaan eri päätöskriteerien arvojen lineaarinen korvautuvuus. Tämän takia herkkyysanalyysin tulokset voivat olla epäluotettavia varsinkin lokaalien prioriteettien suurten muutosten osalta. Herkkyysanalyysit ovat aina myös vaihtoehtoavaruuskohtaisia eikä niiden tuottamia tuloksia voi yleistää. Herkkyysanalyysin tekeminen on kuitenkin olennaista, mikäli päätöskriteerien painoarvot muuttuvat ajan kuluessa esimerkiksi entistä parempien tietojen takia.

Valitun suunnitelmavaihtoehdon hyvyttä arvioitaessa on otettava huomioon, että se on määrättyllä tavoitteiden painoyhdistelmällä paras ainoastaan tarkasteltavassa vaihtoehtojoukossa. AHP-menetelmän heikkoutena on kerrallaan vertailtavien vaihtoehtojen pieni määrä. Saaty (1980) on suositellut keskenään vertailtavien päätösvaihtoehtojen enimmäismääräksi kymmenen. Pareittaiset vertailut voidaan tehdä useammassa vaiheessa, jolloin ensimmäisen arvottamiskierroksen parhaan vaihtoehdon lisäksi seuraavalle arvottamiskierrokselle tuotetaan joukko uusia lisävaihtoehtoja. Tällöin vertailujen määrää saadaan vähennettyä, jolloin ne on helpompi tehdä. Jos vertaillaan esimerkiksi kymmentä vaihtoehtoa kerrallaan, joudutaan kunkin seuraavan ylemmän tason kriteerin suhteen tekemään  $10(10-1)/2=45$  vertailua. Mikäli nämä kymmenen vaihtoehtoa arvotetaan kahdessa vaiheessa siten, että ensin valitaan kuudesta vaihtoehdosta paras ja tämän jälkeen vertaillaan parhaan vaihtoehdon lisäksi neljää uutta vaihtoehtoa, selvittääänkin  $6(6-1)/2+5(5-1)/2=25$  vertailulla. Tällöin voidaan myös tarkastaa päätöskriteerien painokertoimia ensimmäisten vertailujen pohjalta, kun tiedetään tavoitteiden seuraukset. Saaty & Kearns (1985) ovatkin esittäneet, että AHP-menetelmää suunnitteleluongelmiin sovellettaessa iterointi ei ole ainoastaan toivottavaa vaan usein jopa välttämätöntä.

Metsien monikäytön suunnittelussa voidaan toisaalta jo vaihtoehtojen tuottamisvaiheessa karsia kaikkein huonoimmat vaihtoehdot pois. Vaihtoehtojoukko voidaan päätöskriteerien painokertoimien selvittämisen jälkeen tuottaa esimerkiksi matemaattisella ohjelmoinnilla käyttäen hyväksi kvantitatiivisia tavoite- ja rajoitemuuttujia (esim. Mendoza & Sprouse 1989, Cocklin 1991b, Kangas 1992b).

AHP:n käyttö mahdollistaa joustavasti muiden menetelmien rinnakkaisen käytön päätöksenteon apuvälineenä. Taloustieteellistä tarkastelua voidaan käyttää apuna esimerkiksi eri hyödykkeiden tuotantomahdollisuuksien arvioimisessa ja matemaattisen ohjelmoinnin avulla voidaan tuottaa suunnitelmavaihtoehdot. Kun AHP:ia ja monitavoitteista hyötyteoriaa sovelletaan yhdessä, vaihtoehtojen määrää ei tarvitse rajoittaa, koska niiden hyvyys voidaan laskea nopeasti hyötyfunktion avulla (esim. Kamenetzky 1982). Dyerin (1990) mukaan AHP:n ja monitavoitteisen hyötyteorian synteesiin perustuvilla sovellutuksilla on saavutettavissa parempia tuloksia kuin kummallakaan lähestymistavalla erikseen. Kangas (1992a) esitti eri lähestymistapojen yhdistämiseen perustuvan menetelmän metsikön uudistamisen suunnitteluun; menetelmässä hyödynnettiin lineaarisen optimoinnin duaaliratkaisun, monitavoitteisen hyötyteorian ja AHP:n mukaisten päätösmallien yhteisiä ominaisuuksia.

On ilmeistä, että metsätalouden suunnittelussa siirrytään tulevaisuudessa yhä monitavotteisimpiin lähestymistapoihin ja useiden päätösanalyysimenetelmien yhteiskäyttöön myös käytännön tehtävissä. Näin on tapahtunut jo mm. vesistösuunnittelussa (esim. Kosola 1990, Paukkunen 1990). Käytettiinpä metsien monikäytön suunnitteluun mitä tahansa lähestymistapaa tai menetelmien yhdistelmää, tarvitaan lisää toisaalta vertailevaa tutkimusta erilaisista päätöskriteerien vertailutavoista, arvoista ja numeerisista tulkinnoista, toisaalta perustutkimusta metsänkäsittelyn vaikutuksista eri hyödykkeiden tuotantoon ja tuotantojen välisiin suhteisiin.

## 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.
- Arp, P. A. & Lavigne, D. R. 1982. Planning with goal programming. A case study for multiple use of forested land. *Forestry Chronicle* 58(5):225-232.
- Axelsson, L. C. 1990. Upplevda skillnader mellan skogsbestånd - rekreations och planeringsaspekter. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institution för landskapsplanering. Stod & Land. Nr 87.
- Brown, T. C. 1987. Production and Cost of Scenic Beauty: Examples for a Ponderosa Pine Forest. *Forest Science* 33(2):394-410.
- Cocklin, C. 1989a. Mathematical programming and resources planning I: The limitations of traditional optimization. *Journal of Environmental Management* 28(2):127-141.
- 1989b. Mathematical programming and resources planning II: New developments in methodology. *Journal of Environmental Management* 28(2):143-156.
- Covington, W. W., Wood, D. B., Young, D. L., Dykstra, D. P. & Garrett, L. D. 1988. TEAMS: A Decision Support System for Multiresource Management. A tactical planning system to aid forest managers in developing site-specific treatment schedules. *Journal of Forestry* 86(8):25-33.
- Davis, L. S. & Liu, G. 1991. Integrated Forest Planning Across Multiple Ownership and Decision Makers. *Forest Science* 37(1):200-226.
- Dyer, A.A., 1979. Implications of Goal Programming in Forest Resource Allocation. *Forest Science* 25(4):535-543.
- Dyer, J. S. 1990. Remarks on the Analytic Hierarchy Process. *Management Science* 36(3):249-258.
- Fischhoff, B., Slovic, P. & Lichtenstein, S. 1980. Knowing What You Want: Measuring Labile Values. *Julkaisussa: Wallsten, T. S. (toim.): Cognitive Processes in Choice and Decision Behavior. Lawrence Erlbaum Associates. Hillsdale. s.117-141.*
- Fogel, M., Ffolliott, P. & Teclé, A. 1988. Multi-Purpose Management of Forest Resources. The 1988 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. USDA Forest Service. General Technical Report RM-161:24-29.
- Forman, E. H. & Saaty, T. L. 1986. Expert Choice Manual. Based on the Analytic Hierarchy Process. Decision Support Software. Virginia. 374 s.
- Gong, P. 1991. Forest Economics and Timber Harvest Scheduling: An Overview and Analysis. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsekonomi. Arbetsrapport 129. 89 s.



- Green, C. H. & Tunstall, S. M. 1991. Is the Economic Evaluation of Environmental Resources Possible? *Journal of Environmental Management* 33(2):123-141.
- Gustavsen, H. G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvutaulukot. Finnish volume increment functions. *Folia Forestalia* 331:1-37.
- Hallikainen, V. 1990. Talousmetsien monikäytön suunnittelun perusteita. Luentomoniste. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 17 s.
- Harker, P. T. & Vargas, L. G. 1990. Reply to "Remarks on the Analytic Hierarchy Process" by J. S. Dyer. *Management Science* 36(3):269-273.
- Harrison, T. P. & Rosenthal, R. E. 1986. A Multiobjective Optimization Approach for Scheduling Timber Harvests on Nonindustrial Private Forest Lands. *TIMS Studies in the Management Sciences* 21:269-283.
- Helle, P., Jokimäki, J. & Lindén, H. 1990. Metsokukkojen elinympäristövalinta Pohjois-Suomessa - radiotelemetrinen tutkimus. *Suomen Riista* 36:72-81.
- & Helle, T. 1991. Miten metsärakenteen muutokset selittävät metsäkanalintujen pitkän aikavälin kannamuutoksia? *Suomen Riista* 37:56-66.
- Helle, T., Taskinen, E., Lindén, H. & Hokka, P. 1987. Metsäkanalintujen elinympäristöt ja metsätalous. *Suomen Riista* 34:77-95.
- , Helle, P. Lindén, H. & Kilpelä, S.- S. 1989. Metson soidinpaikkojen metsikkö-rakenteesta Pohjois-Suomessa. *Suomen Riista* 35:26-35.
- Horsky, D. & Rao, M. R. 1984. Estimation of Attribute Weights from Preference Comparisons. *Management Science* 30(7):801-821.
- Howard, A. F. 1991. A Critical Look at Multiple Criteria Decision Making Techniques with Reference to Forestry Applications. *Canadian Journal of Forest Resources* 21(11):1649-1659.
- Hull, R. B. IV. 1989. Interpreting Scenic Beauty Estimates. *Landscape Journal* 8(1):24-27.
- Hyberg, B. T. 1987. Multiattribute Decision Theory and Forest Management: A Discussion and Application. *Forest Science* 33(4):835-845.
- Hwang, C. L. & Yoon, K. 1981. Multiple Attribute Decision Making-Methods and Applications, a state of the art survey. Springer-Verlag Inc., New York.
- Hämäläinen, R. P. & Seppäläinen, T. O. 1986. The analytic network process in energy policy planning. *Socio-Economic Planning Science* 20(6):327-331.
- Ihalainen, R. 1990. Rakennemuutokset yksityismetsänomistuksessa. Katsaus Suomessa vuosina 1960-89 tehtyihin tutkimuksiin. Summary: Structural changes in Finnish nonindustrial private forest ownership: A survey of the literature 1960-89. *Folia Forestalia* 750:1-52.

- Jacquet - Lagrèze, E. 1985. Basic Concepts for Multicriteria Decision Support. Julkaisussa: Fandel, G. & Spronk, J. (toim.). Multiple Criteria Decision Methods and Applications. Springer Verlag. Berlin. s. 11-26.
- Janssen, R., Nijkamp, P. & Voogd, H. 1985. A Methodology for Multiple Criteria Environmental Plan Evaluation. Julkaisussa: Fandel, G. & Spronk, J.(toim.). Multiple Criteria Decision Methods and Applications. Springer Verlag. Berlin. s. 347-360.
- Johansson, P. O. & Löfgren, K. G. 1985. The Economics of Forestry and Natural Resources. New York. Basil Blackwell. 292 s.
- Järveläinen, V.-P. 1988. Yksityismetsätalouden rakennemuutos ja puun tarjonnan kehitys. Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos. Katsaus 2/1988:6-12.
- Kamenetzky, R. D. 1982. The relationship between the analytic hierarchy process and the additive value function. Decision Science 13:702-713.
- Kangas, J. 1990a. Metsikön uudistamisen päätöksenteko. Julkaisussa: Saramäki, J. & Mäkkeli, P. (toim.). Metsätalouden suunnittelu - metsäntutkimuspäivä Joensuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 357:24-30.
- 1990b. Metsien monikäytön suunnittelu - perusteita ja edellytyksiä. Julkaisussa: Saramäki, J. & Mäkkeli, P. (toim.). Metsätalouden suunnittelu - metsäntutkimuspäivä Joensuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 357:31-37. Joensuun tutkimusasema.
- 1990c. Metsikön uudistamisketjun valinta - hyötyteoreettinen tarkastelu. Metsätalouden suunnittelun lisensiaatintutkimus. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 114 s.
- 1991. Menetelmä metsäojoitusvaihtoehtojen hyötyvertailuun. Summary: A method for utility comparison of forest drainage alternatives. Suo 42(3-4):49-59.
- 1992a. 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 24. 230 s.
- 1992b. Multiple-use planning of forest resources by using the Analytic Hierarchy Process. Käsikirjoitus, hyväksytyt julkaistavaksi sarjassa Scandinavian Journal of Forest Resources. 27 s.
- Keeney, R. 1988. Value-Driven Expert Systems for Decision Support. Decision Support Systems 4(4):405-412.
- Kilki, P. 1985. Timber management planning. 2.edition. Silva Carelica 5. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 159 s.
- Kolehmainen, I. 1983. Moninaiskäytöllisen metsätaloussuunnittelun erikoispiirteet. Maankäytön ekonomian pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 98 s.

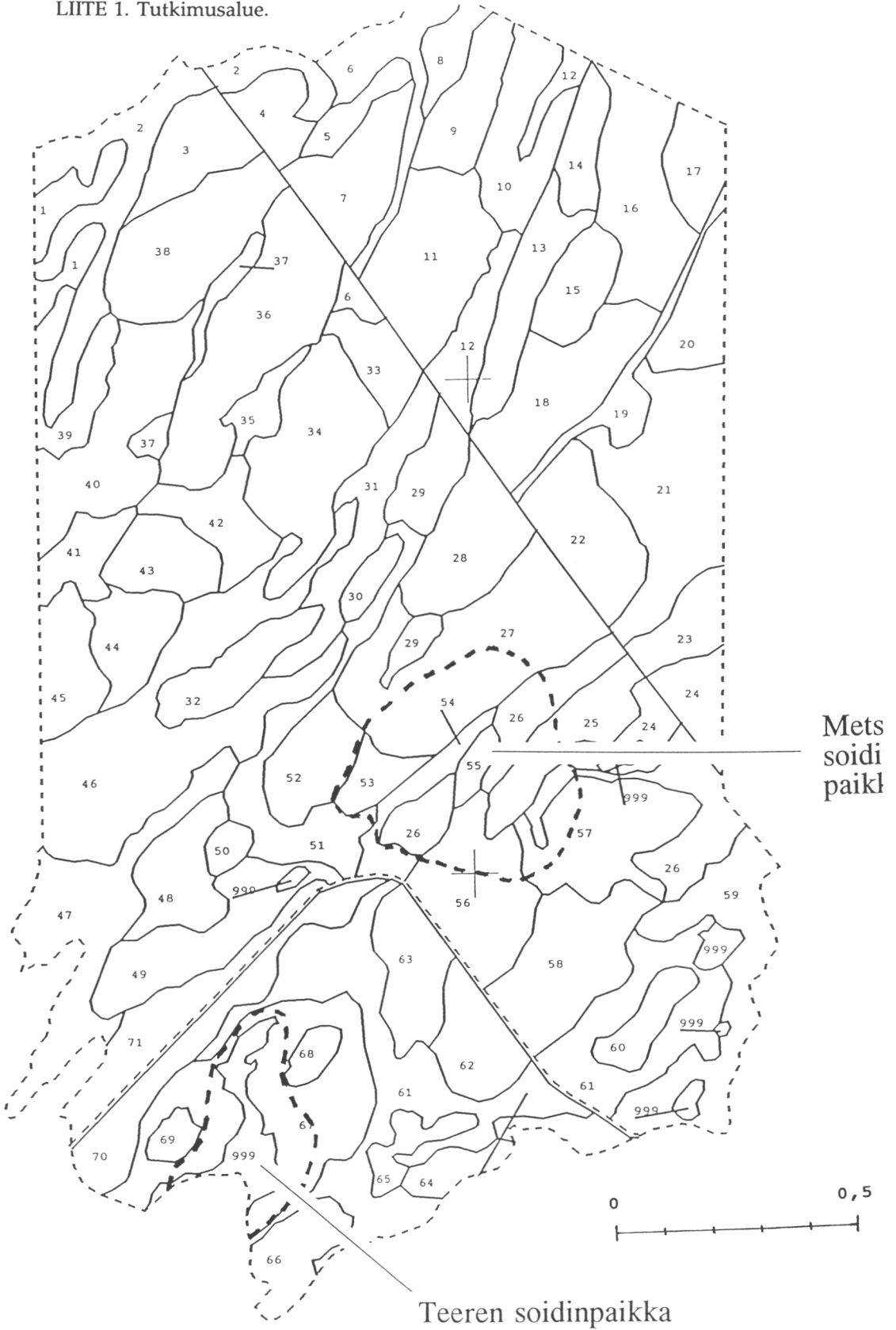
- Korhonen, P. 1987a. The specification of a reference direction using the Analytic Hierarchy Process. *Mathematical Modelling* 9(3-5):361-368.
- 1987b. VIG. A visual interactive approach to goal programming. *User's Guide*, NumPlan Oy. Helsinki. 19 s.
- Kosola, M. (toim.) 1990. Kokemuksia osallistumisesta ja vaikutusten arvioinnista vesiensuojelun suunnittelussa. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 62. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki. 126 s.
- Kreutzwiser, R. D. & Wright, C. S. 1990. Factors Influencing Integrated Forest Management on Private Industrial Forest Land. *Journal of Environmental Management* 30(1):31-46.
- Krström, B. 1990. Valuing environmental benefits using the contingent valuation method. An economic analysis. Umeå Economic Studies No 219. University of Umeå.
- Kähkönen, V. 1991. Metsien monikäytön suunnittelu kuntatasolla satelliittikuvia hyödyntäen. Julkaisussa: Hannelius, S. (toim.) *Elektroniikka metsänarvioinnissa. Metsän kasvu ja sen mallittaminen. Taksattoriklubin järjestämien seminaaritilaisuuksien, 19.12.1989 ja 14.2.1990 esitelmät. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 384:32-43. Metsänarvioimisen tutkimusosasto.
- Laki metsähallinnosta. 1987. Annettu Helsingissä 13.2.1987. Suomen säädöskokoelma.
- Leuschner, W. A., Porter, J. R., Reynolds, M. R. & Burkhart, H. E. 1975. A Linear Programming Model for Multiple-use Planning. *Canadian Journal of Forest Resources* 5:485-491.
- Li, C.-Z., Mattson, L. & Söderberg, U. 1990. Forests for timber production and environmental services. A conceptual economic analysis. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsekonomi. Arbetsrapport 128.
- Lindén, H., Wikman, M. & Helle, E. 1989. Metsäkanalintukannat 1988 - riistakolmioiden ja reittiarviointien vertailu. *Suomen Riista* 35:36-42.
- Mattsson, L. 1989. Hunting in Sweden. An Empirical Study of Extent, Motives, Economic Values and Structural Problems. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsekonomi. Arbetsrapport 95. 15 s.
- Mendoza, G. A. 1987. Goal Programming Formulations and Extensions: An Overview and Analysis. *Canadian Journal of Forest Resources* 17:575-581.
- , Bare, B. B. & Campbell, G. E. 1987. Multiobjective Programming for Generating Alternatives: A Multiple-Use Planning Example. *Forest Science* 33(2):458-468.
- & Sprouse, W. 1989. Forest Planning and Decision Making under Fuzzy Environments: An Overview and Illustration. *Forest Science* 35(2):481-502.

- Metsähallitus 1990. Metsien hoito. Pohjanmaa - Kainuu. Suositus. Pohjanmaan piirikuntakonttori.
- Miller, G. A. 1956. The Magical Number Seven Plus or Minus Two: Some Limits on our Capacity for Processing Information. *The Psychological Review* 63:81-97.
- Mäntymaa, E. & Svento, R. 1991. Ympäristöhyötyjen ja -haittojen taloudellinen arviointi. Julkaisussa: Tahvonen, O. (toim.). Ympäristö, hyvinvointi ja talous. Teknillistieteelliset akatemit 1:107-126. Jyväskylä.
- Naskali, A. 1989. Metsän hinnoittelemattomien hyötyjen arvottaminen. Julkaisussa: Metsästä markkinoille. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 330:46-62. Metsäekonomian laitos.
- Nijkamp, P. & Voogd, H. 1985. An Informal Introduction to Multicriteria Evaluation. Julkaisussa: Fandel, G. & Spronk, J. (toim.). Multiple Criteria Decision Methods and Applications. Springer Verlag, Berlin. s. 61-85.
- Nyysönen, A. & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. *Acta Forestalia Fennica* 163.
- Oijusluoman tutkimussopimusmetsä. 1990. Hoito- ja käyttösuunnitelma. Taivalkosken hoitoalueen metsätaloussuunnitelman liite. 5 s.
- Palo, M. 1989. Yksityismetsätalouden edistäminen rakennemuutoksessa. Julkaisussa: Metsästä markkinoille. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 330:92-104. Metsäekonomian laitos.
- Paredes, G. L. V. 1988. Design of a Resource Allocation Mechanism for Multiple Use Forest Planning. The 1988 symposium on systems analysis in forest resources. USDA Forest Service. General Technical Report RM-161:35-45.
- Paukkunen, V. 1990. Hyvinvointivaikutusten arviointi vesistösuunnittelussa. Teknillinen korkeakoulu. Yhdyskuntasuunnittelun täydennyskoulutuskeskuksen julkaisuja B 61:1-161.
- Pekkonen, T. 1991. TOPOS. Käyttäjän opas. Moniste. Helsinki. 48 s.
- Pukkala, T. 1988a. Methods to incorporate the amenity of landscape into forest management planning. Tiivistelmä: Menetelmiä maisemanhoidon liittämiseksi metsätalouden suunnitteluun. *Silva Fennica* 22(2):135-146.
- 1988b. Monikäytön suunnitteluohjelmisto MONSU. Ohjelman toiminta ja käyttö. Moniste. Joensuu. 40 s.
- 1991. Monikäytön suunnitteluohjelmisto MONSU. Tietoa ohjelman täydennyksistä. Moniste. Joensuu. 10 s.
- , Kellomäki, S. & Mustonen, E. 1988. Prediction of the Amenity of a Tree Stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 3:533-544.

- Päivinen, R. 1990. Suunnittelu metsätaloudessa. Julkaisussa: Saramäki, J. & Mäkkeli, P. (toim.). Metsätalouden suunnittelu - metsäntutkimuspäivä Joensuussa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 357:9-12.
- Rolstad, J. & Wegge, P. 1987. Distribution and size of capercaillie leks in relation to old forest fragmentation. *Oecologia* 72(3):389-394.
- Saastamoinen, O. 1982. Economics of multiple-use forestry in the Saariselkä forest and fell area. Seloste: Metsien moninaiskäytön ekonomiaa Saariselän metsä- ja tunturi-alueella. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 104:1-102.
- 1989. Non-market forest benefits - Economic and social evaluation. *Scandinavian Forest Economics* 30:28-41.
- Saaty, T. L. 1977. A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structures. *Journal of Mathematical Psychology* 15:234-281.
- 1980. *The Analytic Hierarchy Process. Planning, Priority Setting, Resource Allocation.* McGraw-Hill. New York. 283 s.
- 1982. *Decision Making for Leaders.* Lifetime Learning Publications. Belmont. 291 s.
- & Kearns, K. P. 1985. *Analytical Planning. The Organization of Systems.* Pergamon Press. Oxford. 208 s.
- & Gholamnezhad, H. 1982. High-level nuclear waste management: Analysis of options. *Environment and Planning B* 9(2):181-196.
- , Ma, F. & Blair, P. 1977. Operational gaming for energy policy analysis. *Energy Policy* 5(1):63-75.
- Shakya, K. M., Leuschner, W. A. & Hoganson, H.M. 1989. Applying Multiple Objective Planning in Developing Nations: A Practical Approach. *Journal of World Forest Resource Management* 4(1):47-59.
- Sinton, J. W. 1979. Visual Resources of the New Jersey Pine Barrens: Integrating Visual Resources into the Planning Process. Julkaisussa: Proceedings of our National Landscape. A Conference on Applied Techniques for Analysis and Management of Visual Resources, 23-25 April 1979, Incline Village, NV. USDA, Forest Service, General Technical Report PSW-35:454-461.
- Steuer, R. E. 1976. Multiple Objective Linear Programming with Interval Criterion Weights. *Management Science* 23:305-316.
- 1986. *Multiple Criteria Optimization: Theory, Computation, and Application.* John Wiley & Sons. New York. 532 s.
- Teclé, A., Fogel, M. M. & Duckstein, L. 1988. Choice of Multicriterion Decision Making Model for Forest Watershed Resources Management. The 1988 Symposium on Systems Analysis in Forest Resources. USDA Forest Service. General Technical report RM-161:59-67.

- Tell, B. 1976. A Comparative Study of Some Multiple-Criteria Methods. The Economic Research Institute at the Stockholm School of Economics. 203 s.
- & Wallenius, J. 1979. A Survey of Multiple-Criteria Decision Methods and Applications: Utility Theory and Mathematical Programming. *Liiketaloudellinen aikakauskirja* 28(1):3-22.
- Tikkanen, I. 1978. Metsänomistajien muuttuvat tavoitteet ja puunmyyntikäyttäytyminen. *Metsä ja Puu* 1978 (1):14-19.
- Valkeajärvi, P. & Ijäs, L. 1987. Metson soidinpaikkojen hoito. Metsästäjäin Keskusjärjestön ja Keski-Suomen riistanhoitopiirin yhteisjulkaisu. 17 s.
- Valkonen, T. 1991. Hyötyteoreettisen lähestymistavan soveltaminen metsänuudistamisketjun valintaan. *Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma*. Joensuun yliopisto. Metsätieteellinen tiedekunta. 64 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.
- Wind, Y & Saaty, T. L. 1980. Marketing Applications of the Analytic Hierarchy Process. *Management Science* 26(7):641-658.
- von Winterfeldt, D. 1988. Expert Systems and Behavioral Decision Research. *Decision Support Systems* 4(4):461-471.
- Zahedi, F. 1986. The Analytic Hierarchy Process - A Survey of the Method and its Applications. *Interfaces* 16(4):96-108.
- Zionts, S. 1985. Multiple Criteria Mathematical Programming: an Overview and Several Approaches. Julkaisussa: Fandel, G. & Spronk, J.(toim.). *Multiple Criteria Decision Methods and Applications*. Springer Verlag. Berlin. s. 85-128.
- & Wallenius, J. 1976. An interactive programming method for solving the multiple criteria problem. *Management Science* 22:652-663.

## LIITE 1. Tutkimusalue.



LIITE 2. Kriteerien välisissä vertailuissa käytetty lomake.

**PAREITTAINEN VERTAILU / KRITEREIDEN TÄRKEYS**

Rastita oikea vaihtoehto

- puun tuotanto** ja **maisema** ovat yhtä tärkeitä
- puun tuotanto** on tärkeämpi kuin **maisema**
- maisema** on tärkeämpi kuin **puun tuotanto**

Kuinka paljon tärkeämpi:

- äärimmäisen paljon ( 9:1 )
- ( 8:1 )
- erittäin paljon ( 7:1 )
- ( 6:1 )
- paljon ( 5:1 )
- ( 4:1 )
- kohtalaisen paljon ( 3:1 )
- ( 2:1 )
- yhtä tärkeät ( 1:1 )



LIITE 3. Pareittaisista vertailuista muodostetut numeeriset vertailumatriisit sekä matriisien yhdenmukaisuussuhteet (CR). Jokainen matriisin alkio on kunkin rivin mukaisen kriteerin tärkeyden suhde kyseisen sarakkeen mukaisen kriteerin tärkeyteen. Esimerkiksi ylimmän tason vertailuissa puuntuotanto oli erittäin paljon - paljon tärkeämpi kuin maisema (6:1) ja kohtalaisen paljon tärkeämpi - yhtä tärkeä kuin riista (2:1). Riista puolestaan oli paljon tärkeämpi kuin maisema (5:1). Kunkin vertailumatriisin epäyhdenmukaisin vertailuarvo on esitetty lihavoituna.

### Kriteerien väliset vertailut

$$\mathbf{A}_{Uj} = \begin{matrix} a_{pu} \\ a_{ma} \\ a_{ri} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{pu} & a_{ma} & a_{ri} \\ 1 & \mathbf{6} & 2 \\ 1/6 & 1 & 1/5 \\ 1/2 & 5 & 1 \end{bmatrix} \quad CR = 2.51 \%$$

$$\mathbf{A}_{U\text{puuntuotanto}} = \begin{matrix} a_{n1} \\ a_{n2} \\ a_{ha} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{n1} & a_{n2} & a_{ha} \\ 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1/3 & 1/3 & 1 \end{bmatrix} \quad CR = 0 \%$$

$$\mathbf{A}_{U\text{maisema}} = \begin{matrix} a_{lä} \\ a_{ka} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{lä} & a_{ka} \\ 1 & 4 \\ 1/4 & 1 \end{bmatrix} \quad CR = 0 \%$$

$$\mathbf{A}_{U\text{riista}} = \begin{matrix} a_{hi} \\ a_{me} \\ a_{te} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{hi} & a_{me} & a_{te} \\ 1 & 1/3 & 1 \\ \mathbf{3} & 1 & 7 \\ 1 & 1/7 & 1 \end{bmatrix} \quad CR = 6.92 \%$$

### Metsikköryhmien väliset vertailut maisema-arvon laskentaa varten

$$\mathbf{A}_{Uj} = \begin{matrix} a_{su} \\ a_{ti} \\ a_{ke} \\ a_{mu} \end{matrix} \begin{bmatrix} a_{su} & a_{ti} & a_{ke} & a_{mu} \\ 1 & 3 & 7 & 6 \\ 1/3 & 1 & \mathbf{5} & 3 \\ 1/7 & 1/5 & 1 & 2 \\ 1/6 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \quad CR = 6.88 \%$$

### Vaihtoehtojen väliset vertailut

$$\mathbf{A}_{Uj.netto} = \begin{matrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \end{matrix} \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 & a_6 \\ 1 & 1/7 & 1/5 & 1/3 & 1/8 & 1/9 \\ 7 & 1 & 5 & 5 & 1/3 & 1/7 \\ 5 & 1/5 & 1 & 2 & 1/6 & 1/8 \\ 3 & 1/5 & 1/2 & 1 & 1/6 & 1/8 \\ 8 & 3 & 6 & 6 & 1 & 1/6 \\ \mathbf{9} & 7 & 8 & 8 & 6 & 1 \end{bmatrix} \quad CR = 12.98 \%$$





Viimeisimmät Joensuun tutkimusasemalla ilmestyneet  
Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjan julkaisut:

- Nro 283 Tiina Heinonen & Tarja Lukkari 1987. Puulajien kasvupaikka-  
vaatimukset. Alustavia tuloksia männyn, kuusen ja  
rauduskoivun viljelyn onnistumisesta  
Nurmeksessa. 19 s.
- Nro 332 Jari Parviainen, Jyrki Kangas & Pekka Knuutinen 1989.  
Kolmevuotiaiden istutusrauduskoivikoiden alkukehitys  
Itä-Savossa. 48 s.
- Nro 343 Matti Maltamo, Jyrki Kangas & Rauno Tolonen 1989.  
Vesakon alkukehitys ja sen vaikutus taimikkoon.  
66 s.
- Nro 351 Mikko Toropainen 1990. Metsätalous tilan päätuotanto-  
suuntana kansantalouden näkökulmasta. 82 s.
- Nro 357 Jussi Saramäki & Päivi Mäkkeli (toim.) 1990.  
Metsätalouden suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä  
Joensuussa 1990. 63 s.
- Nro 371 Kari T. Korhonen & Matti Maltamo 1990. Männyn maan-  
päällisten osien kuivamassat Etelä-Suomessa. 43 s.
- Nro 383 Päivi Mäkkeli & Juha-Pekka Hotanen (toim.) 1991.  
Metsänkasvatuksen perusteet turve- ja kivennäis-  
mailla. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1991. 84 s.
- Nro 398 Helena Mäkelä & Hannu Salminen 1991. Metsän tilaa ja  
muutoksia kuvaavia puu- ja puustotunnusmalleja. 265 s.
- Nro 406 Risto Päivinen, Jyrki Kangas & Jari Varjo (toim.) 1992.  
Katsaus metsätalouden suunnitteluun Suomessa ja  
Ruotsissa. 52 s.
- Nro 411 Taneli Kolström 1992. Dynamics of uneven-aged stands of  
Norway spruce: a model approach. 29 s. + liitteet.

## METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Joensuun tutkimusasema

Käyntiosoite Yliopistokatu 7  
Postiosoite PL 68, 80101 Joensuu  
Puhelin 973-1514000 (ohivalinnat)