



Jukka Matero



Olli Saastamoinen



Jari Kouki

Jukka Matero, Olli Saastamoinen ja Jari Kouki

Metsien tuottamat ekosysteemi- palvelut ja niiden arvottaminen

Matero, J., Saastamoinen, O. & Kouki, J. 2003. Metsien tuottamat ekosysteemipalvelut ja niiden arvottaminen. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2003: 355–384.

Katsauksessa esitellään yleisesti ekosysteemipalveluiden lähestymistapa metsien käytön päätöksentekoon ja erityisesti erilaisia lähestymistapoja ekosysteemipalveluiden arvottamiseen. Esimerkkien avulla tarkastellaan mahdollisuuksia arvottaa boreaalisten metsien käytön aiheuttamia muutoksia ekosysteemipalveluiden tuotannossa.

Ekosysteemipalveluiden lähestymistapa korostaa metsäekosysteemin lukuisten pääomavarojen ajallis-alueellisen kehitysdynamiikan kuvaamisen ja ennustamisen sekä tähän väistämättä liittyvän epävarmuuden esilletuonin tärkeyttä. Ekosysteemipalveluiden tuotannon jatkuvuus tulisi turvata varovaisuusperiaatteen mukaisesti ja joustavasti paikallisiin olosuhteisiin sopivien instituutioiden avulla kiinnittäen erityishuomiota eri ohjauskeinojen vuoro- ja yhteisvaikutuksiin. Taloudellisen, ekologisen ja sosiokulttuurisen arvottamisulottuvuuden johdonmukainen yhteensovittaminen muodostaa merkittävän erityisongelman, johon ei toistaiseksi ole esitetty yleispätevää ratkaisua.

Asiasanat: arvottaminen, boreaaliset metsät, ekosysteemipalvelut, kestävä metsätalous, ympäristövaikutusten arviointi, ympäristötilinpito

Yhteystiedot: Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu. Sähköposti jukka.matero@joensuu.fi

Hyväksytty 29.8.2003

I Johdanto

Metsien kyky tuottaa ihmisille hyödyllisiä ympäristövaikutuksia puun ja muiden raaka-ainneiden ohella on hyvin dokumentoitu metsähistoriassa – samoin se, että niitä on opittu arvostamaan vasta sitten kun ymmärrettiin metsien häviämisen myötä myös suojavaikutusten heikkenevän tai häviävän (esim. Thirgood 1981, Mather 1990, Westoby 1993). Näitä vaikutuksia on metsätaloudessa tarkasteltu ja arvioitu osana metsien tai valuma-alueiden hoitoa, metsien monikäytön yhteydessä tai monita-voitteisen metsäsuunnittelun kehikossa (esim. Saastamoinen 1982, Kellomäki 1984, Kangas ja Kokko 2001, Pukkala 2002).

Vastaavasti viimeaikaisen maailmanlaajuisen ympäristön tilan heikkenemisen myötä on yleisemmin kiinnitetty aiempaa enemmän huomiota myös uhatuiksi koettuihin ekosysteemipalveluihin. Ekologisen ja ympäristötaloustieteen piirissä kehitetty ekosysteemipalveluiden lähestymistapa tarkastelee ekosysteemejä ja niiden monimuotoisuutta pääomavarantona, joka oikein hoidettuna pystyy tuottamaan tärkeitä elämää ylläpitäviä palveluita myös tulevaisuudessa (esim. Daily 1999).

Ekosysteemipalveluiden lähestymistapa kokonaisuudessaan voidaan jakaa neljään päävaiheeseen (Daily 1997b, 2000). Ensimmäisenä vaiheena on palveluiden tunnistaminen (esim. Daily 1997a, Daily ym. 1997, Costanza ym. 1997a, Norberg 1999, Björklund ym. 1999, de Groot ym. 2002) Tällöin ekosysteemien monimutkainen rakennepiirteiden ja ekologisten prosessien kokonaisuus on ensin esitettävä suppeampana joukkona erilaisia ekosysteemien toimintoja (de Groot ym. 2002), joiden tuottamia suoria tai välillisiä inhimillisiä hyötyjä ekosysteemipalvelut puolestaan ovat (Costanza ym. 1997a) (kuva 1). Ekosysteemien toimintoja voidaan de Grootin ym. (2002) mukaan pitää siis ekologisten prosessien ja rakennepiirteiden osajoukkona. Samalla on myös arvioitava, mitkä palvelut tuotetaan ja/tai kulutetaan paikallisesti, mitkä laajemmalla aluetasolla ja mitkä palvelut viedään muualle tai tuodaan muualta.

Toisessa vaiheessa määritetään palveluiden ekologiset ja taloudelliset ominaisuudet. Tämä tarkoittaa yhteistuotantofunktion – ja samalla tuotantomahdollisuuksien – määrittämistä siten, että yksittäisten tuotantofunktioiden vuorovaikutukset on otettu

huomioon. Tällöin voimme esimerkiksi arvioida, miten ekosysteemien rakenne vaikuttaa erilaisten ekosysteemipalveluyhdistelmien tuotantoon ja mikä palveluiden tuotanto erityisesti vaatii monimuotoisuutta (Schläpfer ym. 1999, Balvanera ym. 2001). Carpenterin ym. (1995) mukaan pääsyynä ekosysteemipalveluiden kvantifiointikehityksen hitauteen on se, että ekosysteemitason kokeet ovat vaikeita ja kalliita sekä vaativat pitkiä ajanjaksoja. Toisessa vaiheessa tulisi myös arvottaa ekosysteemipalvelut. Kolmantena vaiheena on ekosysteemipalveluiden tuotannon jatkuvuuden turvaaminen varovaisuusperiaatteen mukaisesti ja joustavasti paikallisiin olosuhteisiin sopivien instituutioiden avulla (ks. Heal 2000a). Neljäntenä vaiheena on ekosysteemipalveluiden tuotannon seuranta, jolla voidaan arvioida esimerkiksi instituutioiden vaikuttavuutta ja tehokkuutta.

Lähestymistapa ei ole metsätaloudessakaan kuitenkaan uusi. Esimerkiksi Kellomäki (1984) korosti, että ”metsätalouden ympäristövaikutusten arviointia tulee tehdä suhteessa kaikkiin *metsäekosysteemin tarjoamiin erilaisiin tuotanto- ja palvelumahdollisuuksiin*.” Esimerkkejä metsän eri hyötyjen yhteistuotannon (metsien monikäytön) taloudellisesta analyysistä, ks. Gregory 1955, Saastamoinen 1982, Creedy ja Wurzbacher 2001, Gan ym. 2001, Ready ym. 2001, Boscolo ja Vincent 2003, Bostedt ym. 2003).

Useiden ekosysteemipalveluiden julkishyödykeluonteen takia niille ei ole olemassa tehokasta, mahdollisen niukkuuden osoittavaa hintamekanismia (esim. Heal ym. 2001). Vaikka osa ekosysteemipalveluista onkin markkinahinnattomia, niillä voi silti olla huomattava taloudellinen arvo jo nykyisinkin. Arvo on vain piilevänä, ei-näkyvänä, eikä ekosysteemipalveluiden tuotanto ole esimerkiksi instituutioiden epäonnistumisen (esim. Tahvonon 2000) takia välttämättä yhteiskunnan hyvinvoinnin kannalta optimaalisella tasolla. ”Piilevä” taloudellinen arvo ei siis takaa talouden toimijoille riittäviä kannustimia säilyttää ekosysteemipalveluiden tuotantoa yhteiskunnallisella optimitasolla.

Costanzan ym. (1997b) mukaan on vaikea nähdä, miten markkinahinnattomat ekosysteemien toiminnot voidaan kunnolla ottaa huomioon päätöksenteossa, jollei niiden roolia taloudellisesti arvokkaiden hyödykkeiden ja palveluiden tuotannossa eksplisiit-

tisesti malliteta. Esimerkiksi metsien ekosysteemi-palvelut on siis liitettävä endogeenisina päätösmuuttujina metsien käyttöä koskevaan päätöksentekoon, mikäli metsien käyttö jotenkin muuttaa niiden tuotantoa.

Katsauksen tavoitteena on esitellä ekosysteemipalveluiden lähestymistapa metsien käytön päätöksentekoon. Erityisesti esittelemme erilaisia lähestymistapoja ekosysteemipalveluiden arvottamiseen sekä tarkastelemme esimerkkien avulla mahdollisuuksia arvottaa boreaalisten metsien käytön aiheuttamia muutoksia ekosysteemipalveluiden tuotannossa. Arvottamisella tarkoitamme näiden muutosten merkittävyyden arviointia.

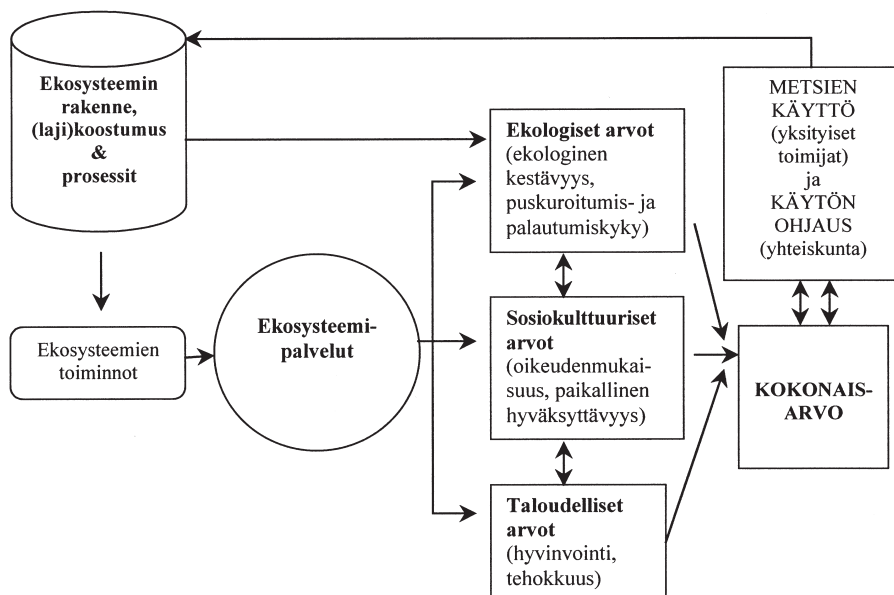
2 Ekosysteemipalveluiden arvottaminen

2.1 Taloudelliset arvot

Arvottaminen tarkoittaa yleensä asioiden vertailua tietyn kriteerin suhteen. Tässä tapauksessa on

siis syytä tarkastella, millä kriteereillä eri ekosysteemipalveluiden tai tietyn politiikkatoimen aiheuttamien muutosten keskinäisiä tärkeyksiä arvotetaan. Arvottamiskriteerien määrittely ja niiden mahdolliset vuorovaikutussuhteet ovat keskeisiä, jotta kokonaiskehikko pysyy johdonmukaisena ja jotta mahdollinen kaksinkertaisen laskennan vaara vältetään (kuva 1).

Ekosysteemipalveluiden taloudellinen arvo viittaa niiden tuottamaan inhimilliseen hyvinvointiin, joka mitataan kunkin yksilön oman hyvinvointiarvion perusteella (Bockstael ym. 2000). Toisaalta jonkin politiikkamuutoksen taloudellinen arvo voidaan määrittellä täsmällisesti kompensatiomäärällä, jonka yksilö tarvitsee pysyäksään samalla hyötytasolla kuin ilman politiikkamuutosta (Bockstael ym. 2000, ks. myös Mendelsohn ja Peterson 1988). Tällöin oletetaan, että yksilön käyttäytyminen on rationaalisten valintojen tulosta siinä mielessä, että hän tekee annetuissa olosuhteissa parhaansa tavoitellessaan mahdollisimman suurta hyvinvointia (Bockstael ym. 2000, ks. myös Becker 1993). Rationaalisen valinnan teoria ei sisällä mitään väitteitä preferenssien sisällöstä esimerkiksi ”itsekkyyden” suhteen (esim.



Kuva 1. Lähestymistapa ekosysteemipalveluiden arvottamiseen (muokattu de Grootin ym. (2002) pohjalta).

Tahvonen 2000). Esimerkiksi rationaalisten metsänomistajien preferensseihin mahdollisesti sisältyvällä perintömotiivilla (esim. Hultkrantz 1992b) ja siihen kohdistuvilla verotuskäytännöillä (esim. Ollikainen 1998) voi olla suuri merkitys metsien käytön kestävyyden kannalta.

Ympäristötilinpitäminen ja sen taustalla oleva teoria tarjoaa ekosysteemipalveluiden taloudelliseen arvottamiseen johdonmukaisen tarkasteluvaihtoehdon. Hyvinvointiteoreettisesti johdonmukainen ympäristötilinpitäminen johdetaan talouden optimikasvumallien avulla, joissa maksimoidaan yhteiskunnallista hyvinvointia yli ajan käyttäen rajoitteena mm. tuotantoteknologian kuvausta ja luonnonvarojen uusiutumisdynamiikkaa. Esimerkiksi Johansson (1993) tarkasteli optimaalisen kasvuteorian avulla kansantalouden tilinpitotunnusten, taloudellisesti kestävä kehityksen ja kustannus-hyötymittojen välisiä suhteita (ks. myös Aronsson ym. 1997).

Ympäristötilinpitämättömyyden tulkinta on osoittautunut varsin vaikeaksi (ks. Vincent 2000, Heal ja Kriström 2001). Yleensä tilinpitämättömyyden suurenemisen tulkitaan osoittavan pitkän aikavälin hyvinvoinnin kasvua, kun taas mitan tasolla ei ole järkevää tulkintaa (Dasgupta ja Mäler 2000, Heal ja Kriström 2001). Dasgupta ym. (1995) korostivat ympäristötilinpitämättömyyden merkitystä nimenomaan pienen hankkeen tai muutoksen tarkastelussa. Syynä tähän on se, että niin kauan kuin hinnat pysyvät muuttumattomina, mitan suureneminen todella merkitsee yhteiskunnallisen hyvinvoinnin lisääntymistä. Mutta heti, kun hinnat muuttuvat, hyvinvointimitan tulisi olla epälineaarinen, koska siihen tulisi sisällyttää muutokset kuluttajan ja tuottajan ylijäämissä sekä muutokset tulojen hyvinvointipainoissa. Nämä tekijät tulisi sisällyttää mittaan siis myös markkinahyödykkeiden osalta. Esimerkiksi puutavaran nykyistä markkinahintaakaan ei voi käyttää hakatun puutavaran kokonaisarvon määrittämiseen vaan ainoastaan marginaalisen muutoksen arvon mittana. Eri ajankohtien tilinpitämättömyyden yksinkertainen vertailu hyvinvointimuutosten kuvaajana ei myöskään onnistu; syynä tähän on nimenomaan suhteellisten hintojen muuttuminen (Dasgupta ja Mäler 2000, Vincent 2000).

Tilinpitämättömyyden tulkinta *kestäväksi* tuloksi tai hyvinvoinniksi (taloudellisen kasvun jatkumismahdollisuuksien kuvaajana, ks. esim. Hultkrantz 1992a)

edellyttää hyvin vahvoja oletuksia (esim. Asheim 2000, Vincent 2000, Heal ja Kriström 2001). *Tulova* hyvinvointi kasvaa ainoastaan, mikäli pääomavarantojen muutoksen arvo on positiivinen (Dasgupta ja Mäler 2000, Asheim ja Weitzman 2001, Heal ja Kriström 2001). Heal ja Kriström (2001) painottavat, että ympäristötilinpidon teoreettinen kirjallisuus korostaa siis joka tapauksessa talouden kaikkien pääomavarantojen kuvaamisen ja mittamisen tärkeyttä käyttökelpoisen hyvinvointimitan muodostamisessa.

Costanza ym. (1997a) yrittivät arvioida koko maapallon kaikkien ekosysteemien tarjoamien palvelujen vuotuisen taloudellisen arvon vertaamalla ”kestäväksi arvioitua” palvelutuotantoa tilanteeseen, jossa ekosysteemit olisivat kokonaan ”hävinneet johonkin” (ks. myös Pimentel ym. 1997, vrt. Cairns 2000). Esimerkiksi Healin (2000a, 124) sekä Kriströmin ja Skånbergin (2001) mukaan näitä arvoja ei voi kuitenkaan mitenkään käyttää ympäristöä koskevassa päätöksenteossa (ks. myös Smith 1997, Ayres 1998, Pearce 1998, Toman 1998, Bockstael ym. 2000, Heal 2000b, Dasgupta 2001, 138).

Metsätalouden tavanomaisen kansantuoteosuuden empiirisiä korjauslaskelmia ovat Pohjoismaissa esittäneet mm. Hultkrantz (1992a), Solberg ja Svendsrud (1992), Eliasson (1994), Saastamoinen (1995a), Hoffrén (1997), Kriström (2001), Kriström ja Skånberg (2001). Krieger (2001) esittää tuoreen katsauksen Yhdysvaltojen metsien tarjoamien ekosysteemipalveluiden taloudellisista arvottamistutkimuksista (ks. myös Myers 1997).

Ympäristövaikutusten arvottamisen erityisongelma tilinpitälaskelmissa johtuu vaadittavasta aggregoinnin tarpeesta (esim. Vincent 1999b, Heal ja Kriström 2001). Varsinaiset ympäristöhaittojen ja -hyötyjen arvottamismenetelmät (esim. Hanley ym. 1998, Bateman ja Willis 1999, Herriges ja Kling 1999, Carson 2000, Bateman ym. 2002) on kehitetty käytettäväksi tietyissä tilanteissa osana kustannus-hyötöanalyysiä eikä niinkään kansantuote-estimaattien tuottamiseen (esim. Dasgupta ym. 1995, Heal ja Kriström 2001). Toisaalta tietyllä tasolla estimoituja taloudellisia arvoja ei voi laajentaa toiselle mittakaavatasolle käyttämällä esimerkiksi fyysisiä indeksejä, esim. hehtaareja (Bockstael ym. 2000, vrt. Costanza ym. 1997a). Osittain tämän seurauksena Nordhausin ja Kokkelenbergin (1999) mukaan esimerkiksi ns.

ehdollisen arvottamisen menetelmällä (contingent valuation) ei ole juurikaan käyttöä ympäristötilinpitolaskelmissa. Arvottamismenetelmien kehitys on myös painottunut ns. viihtyvyyssarvojen mittaamiseen samalla kun erilaisten ekosysteemipalvelujen ja erityisesti ns. epäsuorien käyttöarvojen arvottamiseen on kiinnitetty vähemmän huomiota (Dasgupta 1999, Naskali 2001).

Ympäristötilinpitolaskelmissa onkin tavallisesti käytetty yksinkertaisempia ja ”robusteja” menetelmiä: esimerkiksi haitta-arviot perustuvat usein ympäristönsuojelukustannuksiin, joiden käyttöä Dasgupta ym. (1995) kuvaavat kuitenkin ad hoc -lähestymistavaksi. Kustannusten käyttö ympäristövarantojen muutosten arvottamisessa edellyttää, että on olemassa poliittisesti määritettyjä yksiselitteisiä tavoitetasoja ympäristövarannoille. Lisäksi näin määriteltyjen tavoitteiden tulisi riittävän tarkasti heijastaa ympäristön laadun parantamisen tai ympäristövarannon lisäämisen hyötyjä (Heal ja Kriström 2001).

Ekosysteemipalveluiden arvottamisen kannalta on oleellista huomata, että osaa palveluista käytetään koko ajan panoksina ”tavanomaisien” markkinahyödykkeiden tuotannossa. Näiden ekosysteemipalveluiden arvo on siis jo mukana esimerkiksi tavanomaisissa kansantuotelaskelmissa – tosin hyvin hajallaan ja ei-näkyvänä – eikä niitä tule enää lisätä uusina erinä ympäristötilinpitolaskelmissa (Vincent 1999b, Simpson 2001, ks. myös Acharya 2000).

Markkinahyödykkeiden tuotannossa käytettyjen panosten taloudellinen arvottaminen on periaatteessa yksinkertaista: panoksen hinta täydellisen kilpailun oloissa kuvaa viimeksi käytetyn panosyksikön tuottaman rajatuotoksen arvoa (esim. Johansson 1993). Tämä pätee myös puujalosteiden tuotannossa käytettävään raakapuun arvoon (esim. Ollikainen 2000). Montgomery ym. (1999) sovelsivat periaatetta määrittäessään yksittäisten eliölajien johdetun kysynnän ”panosarvoja” monimuotoisuuden tuotannossa.

Myös ekosysteemipalveluissa tapahtuvien muutosten arvo voidaan yrittää mitata tuotantovoittojen tai tuottajan ylijäämän muutoksina (Bockstael ym. 2000, Acharya 2000). Simpsonin (2001) mukaan ekosysteemipalveluiden tuotannollista merkitystä koskevan tiedon puuttuessa ainoa vaihtoehto saattaa kuitenkin olla ylärajan johtaminen ekosysteemi-

mipalveluiden arvolle kohdistamalla ostopanosten hankintamenojen yli jäävä tuotannon arvo ekosysteemipalveluille (ks. Alexander ym. 1998). Näin määriteltyyn arvoon voi tosin sisältyä myös muiden niukkojen ja kiinteiden tuotannontekijöiden, esimerkiksi metsämaan alan, tuottama arvonlisäys. Lähestymistapa vastaa oletusta, jonka mukaan tuotantoprosesseissa vallitsee vakioskaalatuotot ostopanosten ja ekosysteemipalveluiden suhteen, eikä muilla panoksilla ole vaikutusta tuotannon arvoon (Simpson 2001). Tällöin ekosysteemipalveluiden tietty suhteellinen muutos johtaa täsmälleen vastaavansuuruiseen suhteelliseen muutokseen voitossa. Simpson (2001) osoitti yksinkertaisella esimerkillä, että ”mitä vain voi tapahtua”, jos oletuksesta luovutaan. Ekosysteemipalveluiden panosarvo (ks. myös Ellis ja Fisher 1987) lähestyi nollaa, jos i) ne eivät olleet tärkeitä tuotantoprosessissa, ii) jos ekosysteemipalvelut eivät olleet niukkoja, iii) jos muut panokset olivat suhteellisen hyviä ekosysteemipalveluiden korvikkeita ja ekosysteemipalveluita käytettiin tuotannossa äärimmäisen vähän ja iv) jos kiinteä tuotannontekijä oli tuotantoa rajoittava tekijä, samalla kun ekosysteemipalveluja oli saatavilla riittävästi. Yhteenvetona voidaankin todeta, että tuotantoteknologia ja -olosuhteet vaikuttavat suuresti ekosysteemipalveluiden panosarvoon.

Tässä yhteydessä on tärkeä huomata, että jakaumavaikutukset eivät sisälly tavanomaisiin eivätkä liioin ympäristötilinpitomittoihin. Horan ym. (2000) ovat kuitenkin esittäneet vaihtoehtoisen ympäristötilinpitomitan, joka heijastaa jakaumatavoitteita ja politiikan toimeenpanoa. Pääerona muihin mittoihin on se, että nettoinvestointien varjohinnat heijastavat päätöksentekijöiden jakaumatavoitteita. Heal ja Kriström (2001) tosin tuovat selvästi esille, että sukupolvien väliset tulonjakotavoitteet vaikuttavat ratkaisevasti ympäristötilinpitomittoihin.

2.2 Ekologiset arvot

Costanzan ja Folken (1997) mukaan ekosysteemipalveluiden ekologisen arvottamisen kriteerinä tulisi olla ekologinen kestävyys (ks. myös Costanza 2000). Ekologisen arvon tulisi viitata ekosysteemipalveluiden tai niissä tapahtuvien muutosten merkitykseen ekosysteemien pitkän aikavälin toimin-

nassa (ks. myös Farber ym. 2002). Arvottamismenetelmäksi he esittävät systeemi-simulaatiomalleja (esim. Bockstael ym. 1995). Ekologisen kestävyysarvioinnissa keskeiseksi tekijäksi muodostuu mallien tuottamiin pitkän aikavälin ennusteisiin liittyvä epävarmuus, joten malleja tulisi Costanzan ja Folken (1997) mukaan soveltaa varovaisuusperiaatteen mukaisesti (ks. myös Kangas ja Kangas 1997, Holling 2001). Tämä korostaa erilaisten ekologisiin toimintoihin liittyvien epäjatkuvuuskohtien ja kynnysarvojen määrittämisen tärkeyttä. Muradian (2001) painotti, että myös ns. turvaminimirajojen (Randall ja Farmer 1995, Palmiini 1999, Berrens ym. 1999) määrittäminen voi olla äärimmäisen vaikeaa ja ristiriitaista, jos epäjatkuvuuskohtia ja kynnysarvoja määrittävät kriittiset raja-arvot ovat pohjimmiltaan epävarmoja. Ekologisiin toimintoihin liittyvien epäjatkuvuuskohtien ja toimintojen ennustettavuuden tutkimus onkin tämän takia keskeinen vaihe ekosysteemipalveluita koskevassa päätöksentekoprosessissa (Limburg ym. 2002, ks. myös Functowicz ja Ravetz 1994).

Toistaiseksi ei ole kuitenkaan varmaa, onko tässä lähestymistavassa välttämätöntä tai mielekäästä puhua ekosysteemipalveluiden ekologisesta arvottamisesta. Esimerkiksi Niemelän (2000) mukaan ekologiset arvot viittaavat ekologisten systeemien rakenteeseen ja toimintaan liittyviin tekijöihin. Edelleen, Norbergin (1999) mukaan erilaisia esteettisiä, kulttuurisia tai virkistykseen liittyviä ekosysteemipalveluita oli erittäin vaikea sijoittaa ekologiseen kontekstiin, minkä takia voi olla äärimmäisen vaikea löytää mitään kriteeriä niiden ekologiseen arvottamiseen. Toisaalta voiko ekologisen kontekstin puuttuminen merkitä myös ekologisen arvon puuttumista?

Varsinaisesta ekologisesta arvottamisesta riippumatta on tietenkin äärimmäisen tärkeää tuntea mahdollisimman täsmällisesti ekosysteemin rakennepiirteiden ja ekologisten prosessien vaikutus ekosysteemipalveluihin sekä erilaisten varantojen kehitys- ja uusiutumisdynamiikka. Esimerkiksi Heal (2003) pyrki osoittamaan, että optimaaliset talouden kasvu-urat ovat myös kestäviä, mikäli sekä ihmisten preferenssit että kasvun rajoitteet (teknologia, luonnonvarojen kehitysdynamiikka) kuvaavat oikealla tavalla ihmisten riippuvuutta luonnon ekosysteemeistä.

Monimuotoisuuden tai lajirunsauden muutok-

sen vaikutusta ekosysteemien toimintoihin (esim. perustuotanto, ravinnekierto, hiilensidonta, maaperän hajotusprosessit) on tutkittu viime aikoina erittäin runsaasti (esim. Loreau ym. 2001). Haukiojan (1995) mukaan monimuotoisuuden perimmäinen biologinen merkitys riippuu olennaisesti siitä, nähdäänkö ekosysteemi eräänlaisena superorganismina vai ainoastaan paikalla olevien lajien opportunistisena koostumana – tällöin ekosysteemi vain toimii ja jotkut toimintatavoista ja niiden seurauksista ovat ihmisille miellyttävämpiä kuin toiset (ks. myös Lawton 1994, Schläpfer ym. 1999).

Useissa laajoissa kokeissa on havaittu, että ekosysteemin perustuotanto näyttää kasvavan lajirunsauden lisääntyessä (Sala 2001). Tilman (1997) päätteli kuitenkin, että kokonaislajimäärän kasvaessa yksittäisen lajin vaikutus ekosysteemin ominaisuuksiin (esim. tuottavuus, vakaus, palautuvuus) todennäköisesti pienenee, koska kokonaislajimäärän kasvaessa jokainen uusi eliölaji jakaa yhä suuremman osuuden ominaisuuksistaan olemassa olevien eliölajien kanssa. Kokeellisesti havaitun yleisen monimuotoisuusvaikutuksen tulkinta on kuitenkin ongelmallista, koska vaikutus voi lajien toiminnallisen vuorovaikutuksen ohella olla seurausta myös kokeiden otantajärjestelyistä (ks. esim. Loreau ja Hector 2001, Sala 2001).

Salan (2001) mukaan ekosysteemin häiriödynamiikka saattaa vaikuttaa lajien toiminnallisen vuorovaikutusmekanismin voimakkuuteen, jolloin lajirunsauden vaikutus ekosysteemin toimintoihin voi periaatteessa vaihdella esimerkiksi metsätyypin paloherkkyyden mukaisesti. Myös Fridley (2001) korosti mm. ympäristön ominaisuuksien, ajallisuusalueellisen tarkastelumittakaavan sekä ihmistoiminnan voimakkuuden mahdollista merkitystä monimuotoisuus-tuottavuussuhteen kokeellisessa tarkastelussa (ks. myös Jonsson ym. 2001, Loreau ym. 2001).

Myös yksittäisten lajien ekologinen merkitys on osoittautunut hyvin tilannesidonnaiseksi (esim. Baskin 1997), jolloin ekosysteemien toiminnot voivat olosuhteiden muuttuessa tai vaihdellessa pysyä vakaampina ja helpommin ennustettavina monimuotoisemmissa lajiryhmissä (esim. McGrady-Steed ym. 1997, Hooper ja Vitousek 1997, Naeem ja Li 1997, Hanski 1997). Monimuotoisuuden ja ekosysteemien toimintojen kokonaisuuden suhde on kui-

tenkin hyvin monimutkainen ja edelleen puutteellisesti ymmärretty (Balvanera ym. 2001). Biologiset perustelut monimuotoisuuden säilyttämiseen ovatkin pitkälti tyyppiä ”varmuuden vuoksi” (Haukioja 1995). Viimeaikaiset empiiriset tutkimukset viittaavat kuitenkin siihen, että lajistollisen monimuotoisuuden ja ekosysteemien toimintojen välillä on positiivinen suhde ja että monilajisten ja yksipuolisten ekologisten yhteisöjen toiminta eroaa (Kinzig ym. 2002, erityisesti Schmid ym. 2002). Valtaosa empiirisestä tutkimuksesta on kuitenkin toistaiseksi tehty varsin yksinkertaisissa ekosysteemeissä kuten ruohoisissa biotoopeissa tai keinotekoisissa laboratorioympäristöissä, minkä vuoksi tuloksen yleistäminen esim. boreaalisiin metsiin on vielä uskaliaista.

2.3 Sosiokulttuuriset arvot

Metsiin liittyviä sosiaalisia ja kulttuuriarvoja voidaan jäsentää monella tavalla (esim. Reunala ja Virtanen 1987, Reunala 1997) ja monen ihmistieteen näkökulmasta. Viime aikoina niitä on pohdittu erityisesti metsätalouden sosiaalisen kestävyyden määrittelyyn liittyen. Sosiaalinen kestävyys pitää sisällään siis myös kulttuurisen kestävyyden (Rannikko 1999).

Henkilökohtaisella tasolla sosiaalinen kestävyys merkitsee ”yksilön mahdollisuutta hallita oman elämänsä avaimia” (esim. Rannikko 1999, Hytönen, M. 2001). Yhteiskunnallisella tasolla sosiaalinen kestävyys ankkuroituu hyvinvoinnin ja oikeudenmukaisuuden käsitteisiin. Myös sosiaalisen kestävyyden arviointi edellyttää dynaamisen tarkastelun tarvetta (esim. Saastamoinen 1997, 2001). Sosiaalisen kestävyyden huomioonottaminen kiinnittää huomion myös toimintatapoihin ja suunnitteluprosessiin. Esimerkiksi L. A. Hytösen (2001) mukaan osallistava suunnittelu tukee ihmisten elämänhallintaa päästämällä nämä vaikuttamaan päätöksentekoon, jonka seuraukset vaikuttavat heidän elämäänsä. Osallistava suunnittelu voi lisätä myös elämänhallinnan menetelmiä ja taitoja.

Sosiaalisen ulottuvuuden huomioonottaminen ekosysteemipalveluiden arvottamisessa johtaa mm. kysymykseen, onko joillakin metsien tuottamalla ekosysteemipalveluilla jokin erityinen, vaikeasti korvattava merkitys ihmisten hyvinvoinnille

ja elämänhallinnalle ja miten nämä roolit vaihtelevat alueellisesti esimerkiksi väestötiheyden tai metsänomistusrakenteen suhteen? Miten vaikutuksia hyvinvointiin ja elämänhallintaan voidaan ylipäätään mitata – ja ennen kaikkea siten, etteivät ne sisälly taloudellisiin arvoihin, jotka myös kohdistuvat hyvinvointiin? On myös syytä kysyä, millaisia täsmennettyjä kriteerejä tai vaatimuksia sosiaalisen kestävyyden tavoittelu asettaa metsien käytön suunnittelulle eri omistajaryhmien metsissä (esim. Hytönen ja Kangas 2001, Raitio 2001). Taloudellisten ja sosiaalisten arvojen päällekkäisyys tuo erityisen haasteen yhtenäiselle arvioinnille (Saastamoinen 2001), mutta ongelma koskee myös ekologista ulottuvuutta. Hiedanpää (2000) asetti mielenkiintoisesti hyvinvoinnin käsitteen sillaksi ihmisten ja muiden organismien välille.

Pohjoismaissa on usein korostettu jokamiehenoikeuksien tärkeyttä metsien tarjoamien palvelujen hyödyntämismahdollisuuksien yhdenvertaistajana. Jokamiehenoikeus takaa, että lähes kaikkea metsämaata voidaan käyttää virkistysarvojen tuotantoon (Hultkrantz ja Mortazavi 1993). Toisaalta se ei välttämättä takaa maanomistajille tehokkaita kannustimia tuottaa riittävästi muita ulkoilun tai luontomatkailun vaatimia tuotantopanoksia, esimerkiksi palvelurakenteita tai ”tavanomaisesta” metsärakenteesta poikkeavia metsän rakennepiirteitä (Hultkrantz ja Mortazavi 1993, Vail ja Hultkrantz 2000, ks. myös Tahvonen ja Salo 1999 jokamiehenoikeuden vaikutuksesta metsämaan arvoon).

Costanza ja Folke (1997) esittivät ekosysteemipalveluiden sosiokulttuurisen arvottamisen kriteeriksi sosiaalisen oikeudenmukaisuuden. Arvottamisen lähestymistavaksi he esittivät julkiseen keskusteluun perustuvaa menettelyä (ks. myös Uusitalo 1997, Wilson ja Howarth 2002), jossa ihmiset arvottavat ekosysteemipalveluja olettaen, että he eivät itse tiedä omaa asemaansa yhteiskunnassa. ”Tietämättömyyden verhoa” soveltaessaan se tukeutuu John Rawlsin (1988, alkup. 1971) oikeudenmukaisuusteoriaan, jota pidetään nykyaikaisen liberalistisen yhteiskuntafilosofian ja hyvinvoinnin teorian keskeisenä lähteenä. De Grootin ym. (2002) mukaan sosiokulttuuriset arvot liittyvät lähinnä ekosysteemien tarjoamiin mahdollisuuksiin ihmisen kognitiiviselle kehitykselle eli ns.informaatiotoimintoihin (ks. taulukko 1).

3 Boreaalisten metsien käytön aiheuttamia muutoksia ekosysteemipalveluiden tuotannossa

Tässä luvussa tarkastelemme esimerkkien avulla mahdollisuuksia arvottaa boreaalisten metsien käytön aiheuttamia muutoksia ekosysteemipalveluiden tuotannossa. Ekosysteemipalvelut on ryhmitelty taulukon 1 mukaisesti.

Metsien ja metsien käsittelyn vaikutus kasvihuonekaasujen säätelyyn sisällytettiin heti ensimmäisiin metsätalouden ympäristötilinpitolaskelmiin (esim. Hultkrantz 1992a, Solberg ja Svendsrud 1992, Saastamoinen 1995a). Metsien käsittelyn ”hiilitaloutta” on myös tutkittu paljon mukaan lukien hiilitasevaikutuksen merkitys erilaisten metsätaloustoimien kannattavuuteen tai optimikiertoaikaan (esim. Hoen ja Solberg 1994, 1999, van Kooten ym. 1995, Sedjo ym. 1995, Niskanen ym. 1996, Solberg 1997, Gong ja Kriström 1999, Sohngen ja Sedjo 2001).

Taloudellisissa laskelmissa kasvihuonekaasutukseen säätely arvioidaan yleensä aina epäsuorasti biomassamuutosten perusteella ja kokonaisbiomassan kasvu tulkitaan tuloksi (hiilituki) ja väheneminen hakkuupoistuman tai lahoamisen kautta kustannukseksi (hiilivero) (esim. Tahvonen 1995). Kokonaisbiomassamuutokset arvioidaan yleensä runkopuun tilavuusmuutosten perusteella eikä puun rakenteellisten (allometristen) suhteiden muutosta iän suhteen (esim. Mälkönen 1974, Kellomäki 1991) ole yleensä otettu huomioon (ks. kuitenkin Hultkrantz 1992a, Lehtonen ym. 2001). Myös oletukset hakkuupoistuman käyttötavasta ja tulevien hiilipäästöjen aikaprofilista osoittautuvat hyvin keskeisiksi mm. hiiliveron määräytymisen kannalta. Erityisiä ongelmia ja epävarmuuksia sisältyy tällä hetkellä ainakin metsämaan hiilivarannon muutosten ja kunnostusojitusten vaikutusten arviointiin (ks. esim. Liski 1997, Minkkinen 1999, Liski ym. 2002, Minkkinen ym. 2002).

Hengityksen ja maaperän hajotustoiminnan suuren lämpötilariippuvuuden (Kirschbaum 1995, vrt. Liski 1997, Liski ym. 1999) seurauksena boreaalisten metsien hiilen nettopäästöt vaihtelevat suuresti ilmaston, esimerkiksi talvilämpötilojen tai rou-

dansulamisasajankohdan vaihdellessa (Lindroth ym. 1998, Goulden ym. 1998, Mäkipää 1998, Mäkipää ym. 1999, Valentini ym. 2000). Sulkavan (2001) mukaan mahdollinen ilmastonmuutos haittaisi metsien maaperän hajottajaeläinten toimintaa. Esimerkiksi lumipeitteen puutteen aiheuttama pienilmasto-olojen äärevöityminen talvella johti hajotuksen ja ravinteiden kierron hidastumiseen. Mäkipään (1998) mukaan typpilisäyksen seurauksena metsämaan orgaanisen aineen kertymä kasvoi. Samalla myös metsäkasvillisuuden, karikkeen ja maaperän orgaanisen aineksen hiilivaranto kasvoi. Mäkipään (1998) mukaan Etelä-Suomen nykyinen vuotuinen typpilaskeuma ($6-12 \text{ kg N ha}^{-1}$) voi lisätä metsäkasvillisuuden ja -maaperän keskimääräistä hiilivarastoa 10–15 % 100 vuoden kiertoajalla. Ainakin epäorgaaninen typpilannoitus voi toisaalta lisätä myös ilmakehän metaanipitoisuutta, sillä maaperämikrobien metaaninkulutus voi pienentyä huomattavastikin (Stuedler ym. 1989, Baskin 1997).

Guo ym. (2001) arvottivat myös metsien tuottaman hapen (ks. myös Hartwick 1992), vaikka vaikuttaa kyseenalaiselta, onko ilmakehän happipitoisuus siinä määrin niukka, että hapen marginaalinen arvo olisi positiivinen.

Boreaalisisessa vyöhykkeessä metsät parantavat asumisviihtyvyyttä ennen kaikkea vaimentamalla tuulia (Kellomäki 1984, Tikkanen 1996, Miller 1997). Puuston vaikutus säteily- ja tuulisuhteisiin liittyy kiinteästi latvuspeittävytyteen, johon vaikuttaa puuston keskipituus ja tiheys (Kellomäki ja Lakka 1979). Komulaisen (1995) mukaan tiheä, monikerroksinen puu- ja pensasryhmä vähentää tuulen voimakkuutta 35–50 %. Tämän seurauksena (taajama)metsien käsittely vaikuttaa myös asumiskustannuksiin. Metsän suojaan rakennettujen talojen lämmityskustannukset voivat jäädä selvästi (10–20 %) pienemmiksi kuin avoimelle paikalle rakennettujen (Kellomäki 1984, Miller 1997). Tämän pitäisi heijastua asuntojen hintoihin (esim. Tyrväinen 1999). Dwyer ym. (1992) arvioivat Yhdysvalloissa kaupunkipuiden vaikutusta energiankulutukseen; simulointien mukaan 100 milj. kaupunkipuuta alentaisi vuotuisia energiakustannuksia Yhdysvalloissa noin 2 mrd USD.

Suomen keskiosissa laajat soiden ojitukset ovat Solantien (1994, 1998) mukaan lisänneet pääosin väliaikaisesti alueen hallaisuuksia: pakkaseton kausi

Taulukko 1. Esimerkinomainen ekosysteemien toimintoihin pohjautuva metsien tuottamien ekosysteempipalveluiden ryhmittely (muokattu de Grootin ym. 2002 pohjalta).

Toiminnot	Ekologiset prosessit & rakennepiirteet	Ekosysteempipalvelut (esimerkkejä borealisista havumetsistä)
Säätelytoiminnot	Välttämättömien ekologisten prosessien ja elämää ylläpitävien systeemien ylläpito	
1 Kaasujen säätely	Ekosysteemien merkitys aineskierron roissa	– Ilmastomuutoksen torjunta – Hengitettävä ilma
2 Ilmaston säätely	Kasvipeitteen ja biologisten prosessien vaikutus ilmastoon	– Asumisviihtyvyys, tuulieroosion ehkäisy – Lämmityskustannusten muutokset
3 Häiriöiden ehkäisy	Ekosysteemin rakenteen vaikutus häiriöiden lieventäjänä	– Tulvien ja myrskytuhojen ehkäisy – Lumivyöryjen ehkäisy
4 Veden säätely	Kasvillisuuden merkitys valumiin & virtaamiin	– Vesivoiman tuotanto
5 Veden tarjonta	Veden suodatus, pidätys ja varastointi (pohjavesivarasto)	– Juomavesi – Teollisuuden ja yhdyskuntien vedenhankinta
6 Maan pidätys (eroosion ehkäisy)	Kasvillisuuden juuristo ja maaperä-eliöt maan pidättäjänä	– Eroosio- ja liettymishaittojen ehkäisy
7 Uuden metsämaan muodostuminen	Kiviaineksen rapautuminen, humuksen kertyminen	– Maan tuottokyvyn ylläpito
8 Ravinteiden säätely	Ravinnekierrat ja -varastot (esim. N, P & K)	– Maan tuottokyvyn ylläpito – Typen sidonta
9 Jätteiden käsittely	Eliökunnan merkitys haitallisten ravinteiden ja yhdisteiden poistajana ja hajottajana	– Ilman hiukkaspölyn suodatus – Melun torjunta – Orgaanisen jätteen kierrätys – Typpi- ja fosforilaskeuman sitominen
10 Pölytys	Eliölajien rooli kasvien lisääntymiselinten kuljettajana	– Luontaisten kasvipopulaatioiden ylläpito – Metsämarjojen pölytyspalvelut
11 Biologinen kontrolli	Populaatioiden säätely	– Tuhoeläinten ja tautien kontrolli – Herbivorian vähentäminen
Habitaattitoiminnot	Sopivan elinympäristön tarjoaminen kasvi- ja eläinlajeille	
12 Suojapaikkatoiminto	Ravinnon, suojan ja lisääntymishabitaattien tarjonta	– Monimuotoisuuden ylläpito
Tuotantotoiminnot	Resurssien tarjonta	
13 Ravinto	Aurinkoenergian muuttaminen syötäväksi kasveiksi ja eläimiksi	– Riista, kalat, marjat, sienet, poronliha
14 Raaka-aineet	Aurinkoenergian muuttaminen ihmis-käyttöön soveltuvaksi biomassaksi	– Puutavaralajit, mäntyöljy – Energiapuu, turve, (sora) – Rehujäkälä
15 Geneettiset resurssit	Geneettinen materiaali ja eliöiden evoluutio	
16 Lääkeaineet	Kemiallisten yhdisteiden monimuotoisuus	– Lääkekasvit
17 Koristeet	Koristearvoa omaavat luonnonpiirteet	– Luonnonturkikset, pahkat, perhoset – Luonnonperennat, koristejäkälä, tuohi
Informaatiotoiminnot	Mahdollisuuksien tarjoaminen kognitiiviselle kehitykselle	
18 Esteettinen informaatio	Viehättävät maisemapiirteet	– Maisema (liikenneturvallisuus)
19 Virkistys	Virkistyskäyttöarvoa omaavat luonnonpiirteet	– Ulkoilu ja matkailu metsissä – Virkistysarvo keräilyssä, metsästyksessä ym.
20 Kulttuurinen & taideinformaatio	Kulttuuri- ja taidearvoa omaavat luonnonpiirteet	– Luontokirjat, valokuvat, elokuvat, TV-ohjelmat – Maalaukset, kansanrunous, arkkitehtuuri, mainokset
21 Henkinen & historiallinen informaatio	Henkistä ja historiallista arvoa omaavat luonnonpiirteet	– Luonnon käyttö uskonnollisiin ja historiallisiin tarkoituksiin (ekosysteemien ja niiden ominaispiirteiden perintöarvo)
22 Tiede & kasvatus	Tieteellistä ja opetusarvoa omaavat luonnonpiirteet	– Kouluretkelyt – Tieteelliset kenttäkokeet

lyheni vuosina 1973–1982 keskimäärin 17 vuorokautta. Kesäpakkasten yleistymisellä saattoi Solantien (1998) mukaan olla vaikutusta koko vyöhykkeen biomassan kokonaistuotantoon. Toisaalta ojitusaluiden metsittyminen on myöhemmin kohottanut pysyvästi alueen talviaikaisia minimilämpötiloja (Solantie 1998, Venäläinen ym. 1999). Bonan ym. (1992) tutkivat globaalien ilmastomallin avulla, mitä tapahtuu, jos koko taigakasvillisuus poistetaan. Mallilaskelmien mukaan kasvillisuuden poiston suorana seurauksena sekä alueen talvi- että kesäilmasto viilenivät selvästi.

Veden määrään ja laatuun kohdistuvia vaikutuksia (esim. Seuna 1990, Saukkonen ja Kenttämies 1995) voidaan tarkastella yhtenä kokonaisuutena ”valuma-aluepalveluina”. Metsän ja maan käsittely muuttaa Kellomäen (1984) mukaan etupäässä veden pidäntä ja varastoitumista ja jossain määrin myös evapotranspiraatiota, mikä edelleen ilmenee valuntamuutoksina. Metsien merkitys tulvien ehkäisyssä perustuu niiden ominaisuuteen tasata virtaamia ja pienentää ylivirtaamia. Vaikka ojitusten aiheuttamien ylivirtaamamuutosten paikallista vaihtelua ei tunneta kovinkaan hyvin (Johansson ja Seuna 1994), Matero ja Saastamoinen (1995, 1998) oletivat uudisojitusten virtaamamuutoksista aiheutuneen merkittäviä lisäkustannuksia pääosin Länsi-Suomessa toteutetuissa tulvasuojeluhankkeissa 1980-luvun loppupuolella. Ollila ym. (2000) arvioivat, että keskimäärin kerran 250 vuodessa toistuvan suurtulvan aiheuttamat vahingot olisivat koko Suomessa yhteensä noin 3 300 milj. mk. Rantakokon (2002) tulosten perusteella merkittävän tulvanalennushyödyn saavuttaminen esimerkiksi ojitusaluiden valunnansäätelyllä tai ennallistamisella vaikuttaa kuitenkin käytännössä vaikealta.

Metsienkäsittelyn aiheuttamien virtaamamuutosten arvot voivat olla tapauskohtaisesti joko negatiivisia tai positiivisia (esim. Barrow ym. 1986, Niskanen 1998, Creedy ja Wurzbacher 2001). Matero ja Saastamoinen (1998) oletivat Pohjois-Suomen uudisojitusten lisänneen alueen vesivoiman tuotantoa (vrt. Hyvärinen 1984, Ahti 1988). Vesivoiman tuotannon kannalta virtaamamuutosten ajoittumisella ja säännöstelymahdollisuuksilla on kuitenkin erittäin suuri merkitys. Jos virtaamalisäykset johtavat ohijuoksutuksiin, ne voivat putouskorkeuden alenemisen seurauksena itse asiassa johtaa tuotantotehon

pienemiseen (esim. Guo ym. 2000).

Yksi tunnetuimmista ekosysteemipalveluesimerkeistä on New Yorkin keskeisimmän valuma-alueen kunnostus mm. maatalouden suojavyöhykkein (Chichilnisky ja Heal 1998, Heal 2000a), joka tuotti melkoiset säästöt vaihtoehtoihin vedenpuhdistamismenelmiin verrattuna. Kunnostuksen pitkän aikavälin tehokkuus on kuitenkin vielä avoin (Daily 2000). Suomessa tärkeiksi luokiteltujen pohjaveden muodostumisalueiden osuus kokonaismaa-alasta on 1,4 % (Vesihallitus 1983). Vaikka pohjaveden nitraattityypipitoisuudet kohoavatkin avohakkuun ja typpilannoituksen jälkeen (esim. Kubin 1995), pitoisuudet kohonneinakin jäävät hyvin alhaisiksi esimerkiksi talousveden terveysterveystasoihin annettuun nitraattitypen raja-arvoon, 11,3 mg l⁻¹ (European Community 1998) verrattuna. Osa metsätaloustoimien vesistökuormituksesta kulkeutuu lopulta Itämeren rannikkovesiin. Esimerkiksi Kauppiilan ja Bäckin (2001) mukaan metsätalouden osuus Suomen rannikkovesien kokonaisfosforikuormituksesta ajanjaksolla 1991–1996 oli 14 %. Ahdin ym. (1999) mukaan kiintoaineen huuhtoutuminen on kunnostusojituksen selvästi tärkein vesistöhaitta. Mäenpää ym. (2000) arvioivat kuitenkin, että metsätalouden aiheuttama eroosio on Suomessa vähentynyt melkein 70 % ajanjaksolla 1980–1997. Kansainvälisessä vertailussa eroosio Suomessa on topografiasta ja ilmastosta johtuen hyvin pientä (ks. esim. Saastamoinen 1994).

Kaksinkertaisen laskennan välttämiseksi maan muodostumista ja orgaanisen ”jätteen” kierrätystä sekä ravinnekiertoa voi olla järkevintä tarkastella yhdessä samanaikaisesti, koska ne kaikki vaikuttavat maan tuottokyvyn ylläpitoon. Lisäksi humuksen määrällä on selkeä yhteys maan veden- ja ravinteiden pidätyskykyyn, joten humuksen puute voi johtaa maan veden- sekä ravinteiden pidätyskyvyn vähenemiseen.

Pimentel ym. (1997) oletivat, että metsien maaperäorganismit tuottavat vuosittain 0,5 t ha⁻¹ pintamaata. Costanza ym. (1997a) arvottivat maan muodostumispalvelun käyttämällä pintamaan arvona 12 USD t⁻¹ pintamaata (Pimentel ym. 1995). Siitosen (2001) mukaan orgaanisen aineen poistamisen vaikutuksista uuden metsämaan muodostumiseen tiedetään edelleen suhteellisen vähän. Müllerin (2001) mukaan mykorritsienet lienevät jäkälien ohella

merkittävimpiä suomalaisen metsämaan kiviaineksen liuottajia (ks. myös Jongmans ym. 1997).

Kellomäen (1984) mukaan metsämaan ravinteisuuden ylläpitäminen on metsien biologisen tuotantokyvyn säilyttämisessä eräs keskeisimpiä ehtoja (ks. myös Mälkönen ym. 2001). Maaekosysteemien muihin komponentteihin verrattuna metsämaan ominaisuuksien ajalliset muutokset tunnetaan kuitenkin yhä suhteellisen heikosti (Richter ja Markewitz 2001). Koska kangasmetsien puuston kasvua rajoittava kasveille käyttökelpoisen typen niukkuus aiheutuu orgaanisen aineen hitaasta hajoamisesta, hajottajaeliöstön toiminta ja siihen vaikuttavat tekijät ovat keskeisessä asemassa ravinnekierroksen kannalta (Mälkönen ym. 2001, ks. myös van der Heijden ym. 1998, Sen 1999). Valtaosa orgaanisten tyyppiyhdisteiden hajottajaeliöistä on sieniä ja bakteereja, mutta ilman maaeläimiä (esim. änkyrimatoja (*Enchytraeidae*) ja sukkulamatoja (*Nematoda*)) typen vapautuminen jäisi kuitenkin vähäiseksi (Ingham ym. 1985, Baskin 1997). Toisaalta, kohtalaisen rajutkaan metsänkäsittelytoimet eivät Setälän (1999) mukaan näytä merkittävästi vaikuttavan maaperän hajottajaeliöstön monimuotoisuuteen ja biomassaan (ks. myös Siira-Pietikäinen ym. 2001, Liiri 2001, Liiri ym. 2002). DeLucan ym. (2002) tulosten mukaan seinäsammalen lehtien pinnalla elävien *Nostoc*-sinielvien typen sidonta lienee boreaalisen vyöhykkeen metsissä merkittävin ilmakehän typen sidontatapa (vrt. Müller 2001). Pimentel ym. (1997) arvioivat, että orgaanisen jätteen kierrätyspalvelun korvaaminen nykyisellä jätteenkäsittelyteknologialla maksaisi 20 USD t^{-1} . Costanza ym. (1997a) käyttivät tätä yksikköarvoa metsäekosysteemien tarjoamien jätteenkierrätyspalveluiden arvottamisessa.

Metsät suodattavat ilman epäpuhtauksia sedimentoimalla, adsorboimalla ja absorboimalla niitä. Epäpuhtauksien suodatuskapasiteetti kasvaa metsikön iän suhteen monotonisesti (Kellomäki ja Lakka 1979). Kellomäki ja Loikkanen (1982) olettivat sedimentoitumiskapasiteetin kohoavan Suomen oloissa sopivissa metsiköissä 10–20 $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ sedimentoituvien epäpuhtauksien määrästä riippuen. Hiukkaspölyn sedimentoituminen lienee suurimmillaan metsiköissä, joiden puusto on jo selvästi harventunut, mutta kuitenkin riittävän tiheä vaimentaakseen tuulen nopeutta (Kellomäki 1984).

Kasvillisuuden adsorboimat epäpuhtauksien mää-

rät jäävät huomattavasti sedimentoitumista vähäisemmäksi. Parhaimmillaankin vuotuinen adsorptio kohoaa vain n. 1 000 $kg\ ha^{-1}$ (Löfström 1987). Eri puulajeista mänty adsorpoi eniten epäpuhtauksia neulastensa pinnoille. Absorption merkitys epäpuhtauksien sitojana on vähäinen, sillä se jäänee vuosittain alle 10 $kg\ ha^{-1}$ (Kellomäki ja Loikkanen 1982).

Ilman epäpuhtauksien (hiukkaset, rikkidioksidi ja otsoni) vaikutuksesta sairastuvuusriskiin sekä tämän taloudellisesta arvottamisesta ks. esim. Gynther ym. (1999, 25). Dwyer ym. (1992) ja McPherson (1992) arvioivat, että taajamapuiden vuotuisen hiukkaspölyn sitomispalvelun korvaaminen katujen päällystyksellä maksaisi Yhdysvalloissa 4,16 USD puuta kohti (Kriegerin 2001 mukaan).

Miller (1997) korosti, että maaperä on useimpien metsikön suodattamien epäpuhtauksien lopullinen nielu (ks. myös Ukonmaanaho 2001), joten epäpuhtauksien ja maaperäprosessien väliset suhteet ovat tärkeitä etenkin pitemmällä aikavälillä. Suomen metsien kunnan kannalta vakavimpana ilman epäpuhtauksista aiheutuvana haittana pidetään maaperän happamoitumista ja siihen liittyvää ravinnesuhteiden häiriintymistä (Mälkönen 1998). Hultkrantz (1992a) sisällyttikin happamoitumista aiheuttavan maan emäskationimenetyksen Ruotsin metsien ympäristötilinpitomittaan. Arvottamisessa hän käytti kalkituskustannuksia. Suomenkin metsämaat happamoituvat hitaasti, mutta maaperän happamoitumisnopeutta ei kuitenkaan yleistettävästi tunneta (Tamminen 1998). Happamoituminen vaikuttaa mm. mikrobien hajotustoimintaan, typen mineralisaatioon ja alumiinin liukoisuuteen. Suomalaisen metsämaan puskurikyky happamuuden muutoksia vastaan näyttää säilyneen hyvänä (Tamminen 1998, Mälkönen ym. 2001). Vaikka kalkituksella voidaan ehkäistä maaperän happamoitumista pitkällä aikavälillä, se ei yleensä ole parantanut puiden elinvoimaisuutta Suomessa, pikemminkin se on heikentänyt puiden kasvua pitkäksi aikaa ilmeisesti hienojuuriin ja mykorritsoihin (Lehto 1994, Smolander ja Lehto 1998) sekä hajotustoimintaan (Smolander ym. 1996) kohdistuvien haittavaikutusten seurauksena (Derome ja Kukkola 1998). Mälkönen ym. (2001) kuitenkin toteavat, että jos ainespuun lisäksi myös hakkuutähde otetaan talteen, emäskationien menetys kasvaa huomattavasti ainespuun korjuuseen verrattuna.

Metsäiset, etenkin turvemaavaltaiset, valuma-alueet pidättävät tehokkaasti laskeumana tulevan typen estäen sen huuhtoutumisen vesistöihin (Lepistö 1996). Etelä-Suomessa typen kokonaislaskeuma ylittää monin paikoin $10 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Lepistön (1996, 1999) mukaan epäorgaanisen typen laskeumasta 93 % pidättyi maaperään tai biomassaan ja vain 7 % huuhtoutui vesistöihin vuosina 1979–1988. Vincentin (1999b) lähestymistavan mukaisesti ilman epäpuhtauksien pidätyspalvelujen hyödyt (eli niiden käytöllä vältetyt kustannukset) tulisi kansantuotelaskelmissa siirtää siirtoeränä päästöjä aiheuttavien toimialojen arvonlisäyksestä metsätalouden arvonlisäykseen (ks. myös Hoffrén 1997). Typpilaskeumalla voi periaatteessa olla myös positiivinen, puuston kasvua lisäävä lannoitusvaikutus, jota Kauppi ja Nöjd (1997) eivät tosin pystyneet havaitsemaan (vrt. Nissinen 1999, Pussinen ym. 2002). Ilmansaasteiden aiheuttamat varsinaiset puustotuhot Suomessa ovat olleet paikallisia (Ferm ym. 1990, Kauppi ja Nöjd 1997).

Puustoa voidaan käyttää myös meluntorjuntaan. Kellomäen ym. (1976) tulosten perusteella metsänkäsittelyn potentiaalinen maksimivaikutus äänenvoimakkuuteen on 5–7 dB, mutta vanhat männiköt voivat toisaalta jopa lisätä äänenvoimakkuutta avohakattuun alueeseen verrattuna. Vainion (1995) tulosten perusteella metsien käsittelyn vaikutus voi tietyissä olosuhteissa tuottaa myös taloudellisia hyvinvointivaikutuksia (ks. myös Kriström ja Skånberg 2001), mutta nämä vaikutukset ovat hyvin tilannesidonnaisia.

Mielenkiintoinen esimerkki biologisen kontrollin merkityksestä on tunturimittarin kannanvaihtelut. Tunturi-Lapin tunturikoivikoissa tunturimittari tekee toistuvasti merkittäviä tuhoja, mutta Etelä-Suomessa tämän perhosen kannat eivät koskaan pääse runsastumaan niin suuriksi, että koivuille aiheutuisi näkyvää tuhoa. Syyksi on epäilty nimenomaan yleispetojen runsasta saalistusta perhosen eri kehitysvaiheissa (Tanhuanpää 2001, Klemola ym. 2002).

Kydön ja Korhosen (2001) mukaan mahdollisia puuston kasvutappioita aiheuttavien kaarnakuoriaisten runsauteen vaikuttaa luontaisten vihollisten runsauden eli biologisen kontrollin ohella myös sääolosuhteet (pienilmasto) (Annala 1969, Väisänen ym. 1993, Fagerblom ja Heliövaara 2000), mutta ennen kaikkea sopivan lisääntymismateriaalin määrä. Met-

sien käsittelyn kasvutappion riskiä suurentava vaikutus voi siis välittyä useiden vaikutusmekanismien kautta. Marquis ja Whelan (1994) ennustivat, että hyönteissyöjälintujen väheneminen voisi pienentää Pohjois-Amerikan metsien tuottavuutta. Pimentel ym. (1997) olettivat tuohyönteisten luontaisten vihollisten tuottaman vuotuisen hyödyn olevan jopa 18 USD ha^{-1} . Sipura (2000) totesi härkejä käyttäen, että hyönteissyöjälinnut ja muurahaiset voivat Suomessa lisätä ainakin pajujen kasvua. Pedot siis voivat toimia pajun oman puolustuksen korvikkeena. Vaikka metsien hyönteistuhojen taloudellinen merkitys yksittäisille metsänomistajille voi olla suuri, ei niillä Uotilan (1994) mukaan ole puuhuollon kannalta ollut merkitystä Suomessa.

Möykköksen ja Pukkalan (2001) mukaan juurikkään lisääntyminen kesähakkuissa on ihmisen aiheuttama muutos sienien luonnolliseen esiintymiseen. Mattilan (2001) mukaan männyn uudistusaloille esimerkiksi monimuotoisuuden ylläpitämiseksi jätetyt elävät haavat lisäävät versoruostetuhojen riskiä ja voivat siten aiheuttaa taloudellisia tappioita puuntuotannossa.

Metsäekosysteemin rakenne ja prosessit ylläpitävät myös metsien monimuotoisuutta. Esimerkiksi eteläsuomalaisen vanhojen luonnonmetsien kova-kuoriais-, kääpä- ja epifyyttijäkälälajistossa näyttää nykyisin olevan alueellisella tasolla keskimäärin noin 40–60 % enemmän lajeja kuin vastaavan kooisessa otoksessa vanhoja talousmetsiä (Siitonen ym. 2001). Noin viidennes koko vanhojen metsien lajistosta esiintyi vain luonnonmetsissä. Selvin ero talous- ja luonnonmetsien välillä oli lahoppuusta riippuvaisessa lajistossa (ks. myös Siitonen 2001). Ekosysteemipalveluiden lähestymistavan mukaan monimuotoisuuden ylläpidon arvo on seurausta nimenomaan sen merkityksestä ekosysteemipalvelujen tuotantoprosessissa, jolloin monimuotoisuuden arvo muodostuu epäsuorasti johdettuna kysyntänä eikä suoraan esimerkiksi lajiyhteisön sisäisiin geneettisiin eroihin perustuvan mitan perusteella (esim. Brock ja Xepapadeas 2003, ks. myös Mainwaring 2001).

Metsäekosysteemien tuotteista riista, marjat, sienet ja poronliha edustavat perinteisiä tuotteita, joihin on vanhastaan tunnettu suhteellisen paljon mielenkiintoa ja jotka (poronhoitoa lukuun ottamatta) ovat myös laajojen kansalaispiirien harrastamia. Metsäs-

tys ja keräily ovat muuttuneet välttämättömän ravinnonsaannin ja toimeentulon piiristä virkistys- ja vapaa-ajan toiminnoiksi, mutta erityisesti marjatuksella ja sienestykselläkin on edelleen myös merkittävää elinkeinollistakin luonnetta. Kaikkia näitä konkreettisia metsäntuotteita yhdistää markkinahintojen tai ainakin järkevien vertaishintojen olemassaolo (Saastamoinen 1995a, Saastamoinen ym. 2000). Ihalainen ja Pukkala (2001) sekä Ihalainen ym. (2002) selittivät metsikkökohtaista mustikka- ja puolukkasadon vaihtelua asiantuntijamalleilla, joiden avulla voidaan arvioida myös metsien käsittelyn vaikutusta satoihin. Metsästyksen ja poiminnan arvon virkistykseellisen komponentin määrittäminen on vaikeampaa. Senkin osalta tutkimusta on jonkin verran tehty myös Pohjoismaissa (esim. Mattsson 1990a,b, Ovaskainen ym. 1992).

Puutavaran tuotannon taloudellisen arvon määrittämistä helpottaa tietenkin markkinahintojen olemassaolo. Puuntuotannon ympäristövaikutusten arvottaminen voi kuitenkin johtaa muutoksiin puun hinnoissa, jolloin nykyisiä hintoja ei voikaan käyttää esimerkiksi ympäristötilinpitomitoissa (ks. esim. Hartwick 1992, Hultkrantz 1992a, Hoen 1993, Matero 1996). Puuntuotannon tuottaman nykyisen arvonlisäyksen lisäksi ympäristötilinpitomitoihin sisällytetään yleensä myös puuvarannon vuotuisen muutoksen arvo (esim. Vincent 1999a,b). Tällöin vuotuisen kokonaisvarantomuutoksen (esim. milj. m³) arvottaminen yksinkertaisesti kiinteällä yksikköhinnalla (esim. Hultkrantz 1992a) ei ota oikealla tavalla huomioon metsien ikärakenteen merkitystä metsien puuntuotannollisen arvon muodostumisessa (Vincent 1999a, ks. myös Hassan 2000). Toisaalta, Cairns (2001) osoitti Faustmannin kiertoaikamallin avulla, että kiertoaajan mittaisella tarkasteluperiodilla vuotuista varantomuutoskorjausta ei tarvitse tehdä, koska perinteinen nettokansantuote tuottaa tällöin saman kokonaissumman kuin vihreä tilinpitomitta. Bostedt ym. (2003) esittivät mielenkiintoisia tuloksia jäkälävarantojen kehitysdynamiikasta (ks. myös Hultkrantz 1992a). Matila ja Kubin (1998) tutkivat puuston rakenteen vaikutusta koristejäkälän keruutulokseen.

Karjalaisen (2001) mukaan ihmiset pitävät metsistä, joissa on suuria puita, hyvä näkyvyys, väljä aluskasvillisuutta, yhtenäinen ja vihreä kenttäkerros eikä paljoa hakkuutähteitä tai kaatuneita puita.

Vaikka vanhat metsät ja suuret puut ovat arvostetuja, niin hyvin vanhat metsät eivät välttämättä aina ole kovin pidettyjä maisemaltaan (Karjalainen 2000). Karjalaisen (2001) mukaan syynä voi olla se, että vanhassa metsässä on enemmän kuollutta materiaalia, latvuskerros on tiheämpi, ja metsät siten pimeämpiä, suljetumpia ja vähemmän elinvoimaisen näköisiä kuin nuoremmat metsät. Luontainen uudistaminen on männiköissä tehokas keino välttää avohakkuun voimakas, mutta suhteellisen lyhytkestoinen metsikkötason maisema-arvoa alentava vaikutus (Silvennoinen ym. 2002).

Metsien ja muun luonnon virkistyskäytöstä Suomessa on äskettäin valmistunut perusteellinen ja laaja-alainen kartoitus (Sievänen 2001). Virkistyskäytön arvon johdonmukainen sisällyttäminen ympäristötilinpitomittaan edellyttää muun muassa, että vapaa-ajan arvo otetaan palkkakustannuksissa oikealla tavalla huomioon (esim. Mäler 1991, Dasgupta ym. 1995). Mattsson ja Li (1994) pyrkivät arvioimaan nimenomaan erilaisista sopeuttamistoimista seuraavien metsikkö- ja kehitysluokkarakenteen muutosten vaikutusta metsien virkistysarvoon. Metsien merkitys luontomatkailulle tunnetaan vanhastaan ja luontomatkailun taloudellista merkitystäkin on tutkittu (esim. Heikinheimo 1939, Saastamoinen 1995a, Rinne 1999), mutta se mikä osa matkailutulosta voidaan loogisesti rinnastaa metsien muihin hyötyihin tai mikä on metsien käsittelyn vaikutus luontomatkailuun on vielä varsin puutteellisesti tunnettu asia (ks. Bostedt ja Mattsson 1995, Saastamoinen 1995b, Silvennoinen ja Tyrväinen 2001, Ovaskainen ym. 2002).

Ovaskainen ym. (2001a) esittivät mielenkiintoisen koosteen joidenkin suomalaisten retkeilyalueiden ja kansallispuistojen virkistyskäytön arvosta (ks. myös Huhtala ym. 2001). Hörnstenin ja Fredmanin (2000) mukaan lyhyempi etäisyys oli kuitenkin metsän rakennemuutoksia tärkeämpi ulkoilukäyntien määrän lisääjä (ks. myös Pouta ja Sievänen 2001). Metsäympäristössä tapahtuva virkistyskäyttö keskityy Ruotsissa voimakkaasti taajamametsiin (osuus kokonaisuusmetsäalasta noin 1 %), joissa käyntitiheys on arviolta 250-kertainen muihin metsäalueisiin verrattuna (Hörnsten 2000). Myös Suomessa valtaosa ulkoilusta tapahtuu hyvin lähellä asuntoa (Pouta ja Sievänen 2001). Lisäksi Suomessa 40 % ulkoilukerroista kohdistuu jokamiehenoikeudella käytettäville

alueilla ja 37 % kuntien virkistysalueille (Pouta ja Sievänen 2001).

Norberg (1999) esitti omassa ekologisin kriteerein tehdystä ekosysteemipalveluiden luokittelussaan taulukossa 1 esitettyjen ryhmien lisäksi vielä ns. tukipalvelut eli biologisen järjestäytymiskyvyn tuottamat hyödyt. Norbergin (1999) mukaan biologisten systeemien kyky seurata sukkessiokehitystä eli ”uudelleenjärjestäytymiskyky” esimerkiksi häiriön jälkeen on äärimmäisen tärkeä tietyille ekosysteemiin toimintoille (ks. myös Niemelä 1999). Edelleen Norberg (1999) toteaa, että hänen luokittelemistaan ekosysteemipalveluista biologisen järjestäytymiskyvyn tuottamat hyödyt ovat todennäköisesti aliarvostetuimpia ja puutteellisimmin ymmärrettyjä.

4 Ekosysteemipalveluiden arvottamisen keskeisiä ongelmakohtia

4.1 Ekosysteemin kehitysdynamiikan ennustaminen ja epävarmuus

Ekosysteemipalveluiden tuotantomallien kuvauksessa on kiinnitettävä huomiota varantojen kehitysdynamiikan kuvaukseen. On tärkeää tuntea aiempaa täsmällisemmin, miten metsien käsittely ja ihmisen toiminta ylipäättään muuttaa metsäekosysteemien luontaista tapaa muuttua – ja tuottaa erilaisia ekosysteemipalveluita (ks. Kuuluvainen 1994, 2002, Niemelä 1999, Kellomäki 2000). Esimerkiksi Lappi (1997) toteaa, että puuston kehitysdynamiikan kaikkia puuntuotannollisiakaan seurauksia ei ole helppo ennustaa edes metsikkötasolla ilman mallilaskelmia (ks. myös Lappi 1998). Laajemmalla alue- tai metsälötasollakaan kaikkia pelkästään puuntuotannon kannalta optimaaliseen pitkän aikavälin metsien ikäjakaumadynamiikkaan vaikuttavia tekijöitä ei oikeastaan vielä täysin tunneta (esim. Salo ja Tahvonon 2002a,b, Viitala 2002, 95–99). Aiemmin suojeltujen metsien kehitysdynamiikan huomioonottaminen esimerkiksi haavan eri kehitysvaiheiden osalta (ks. esim. Kouki ja Martikainen 2001, Sverdrup-Thygeson ja Ims 2002) voi vaikuttaa myös uusien suojelutoimien ja suojelualueiden suhteelliseen

arvostukseen, mikäli nykyistä suojelualueverkkoa tai -keinovalikoimaa pyritään täydentämään tehokkaasti. Kellomäen (2000) mukaan ekosysteemien toimintaa koskevat tutkimustulokset pitäisikin integroida energiavirtoja sekä ravinne- ja vesikiertoja simuloiviin malleihin siten, että mallit mahdollistavat metsänkäsittelyn ko. prosesseihin kohdistuvien pitkän aikavälin vaikutusten ja metsien pitkän aikavälin tuottavuuden ennustamisen.

Ekosysteemipalveluiden ennakoituihin tuotoksiin ja preferensseihin liittyvän epävarmuuden huomioonottaminen saattaa johtaa siihen, että esimerkiksi vaihtoehtoisten metsäsuunnitelmien hyvyttä on äärimmäisen vaikea arvioida (Alho ym. 1996, Alho ja Kangas 1997). Toisaalta riskien huomioonottaminen voi myös muuttaa suunnitelmien paremmuusjärjestystä (Kangas ja Kangas 1998). Tähän liittyen Haila (1997) kysyy, onko mahdollista määritellä erityisiä ”ekologisen rationaalisuuden” periaatteita tai voidaanko määritellä ekologisia kriteerejä, jotka olisi kustannuksista riippumatta otettava automaattisesti päätöksenteossa huomioon (vrt. turvaminimiraja-lähestymistapa). Epävarmuus korostaa myös tehokkaan ja monipuolisen seurannan merkitystä (vrt. Limburg ym. 2002).

4.2 Ekosysteemipalveluiden yhteistuotannon julkinen ohjaus

Eri julkis- ja yksityishyödykkeiden tarjontaa ohjaavat keinot voivat olla ristiriidassa keskenään (esim. Stavins ja Jaffe 1990, Drake 1994, Anttonen 2000). Kun samanaikaisesti otetaan huomioon useita ekosysteemipalveluita ja -hyödykkeitä, on huomiota kiinnitettävä eri ohjauskeinojen vuoro- ja yhteisvaikutukseen (esim. Hoehn ja Randall 1989, Hoehn 1991, Hoehn ja Loomis 1993, Fagerblom ja Heliövaara 2000, Christie 2001, Lankoski ja Ollikainen 2001). Hännisen (2001) mukaan metsäpolitiikan eri keinojen vaikuttavuutta metsänhoitoonkaan ei tunneta Suomessa riittävän hyvin (ks. myös Juurola ym. 1999, Leppänen ym. 2001). Sama seikka korostuu kansallisen metsäohjelman ympäristövaikutuksia arvioineen työryhmän raportissa (Hildén ym. 1999).

Heal (2000a,b) korosti oikeiden kannustimien luomisen tärkeyttä; palveluiden arvottaminen ei ole aina

edes välttämätöntä kannustimien luomiseksi. Poliittikkatoimien vaikuttavuuden takaaminen edellyttää myös prosessien ja palvelujen alueellisen jakauman tuntemista. Kiinteästi tähän liittyvä, mutta vaikeampi kysymys on, mikä on ekosysteemipalvelujen tuotannon optimaalinen ajallis-alueellinen yhteisjakauma. Esimerkiksi Kellomäki (1984) korosti, että ellei eri käyttömuotojen aika- ja paikkasidonnaisuutta oteta suunnittelussa huomioon, metsien monikäyttö voi johtaa päinvastaiseen lopputulokseen kuin alunperin ajateltiin (ks. myös Price 1997, Dwyer ym. 2001). Jakaumavaikutusten tarkastelua vaikeuttaa myös se, että eri palvelujen tuotanto tapahtuu hyvin erilaisissa ajallis-alueellisissa mittakaavoissa (esim. Limburg ym. 2002, ks. myös Kuuluvainen 2002). Tärkeitä kysymyksiä ovat mm. ekosysteemipalvelujen tuotannon intensiteetti sekä tuotannon ajallis-alueellinen eriytyminen ja yhteensovittaminen. Esimerkiksi Fredman ja Emmelin (2001) osoittivat, että yksistään ulkoilijoiden kokonaishyödyt voivat lisääntyä merkittävästi, jos esimerkkialueen hoitostrategioita eriytetään alueellisesti (ks. myös Mattsson ja Li 1994, Mykrä ja Kurki 1998, Hanski 2000, Kajala 2001, Boscolo ja Vincent 2003).

4.3 Yhtenäisen ja moniulotteisen arvottamisen mahdollisuudet

Ekosysteemipalveluiden arvottamiskehikon on oltava johdonmukainen, jotta arvottamistuloksille voidaan löytää haluttu tulkinta (esim. Heal ja Kriström 2001). Ei ole järkevää tarkastella suuria muutoksia, esimerkiksi koko metsäalan muuttamista maatalousmaaksi vaan oleellista on tarkastella suhteellisen pienten, mutta realististen poliittikkamuutosten seurauksia (Daily 2000, vrt. Pritchard ym. 2000). Tällöin myös tulosten tulkinta helpottuu.

Eri arvottamisulottuvuuksien yhdistäminen on käytännössä erittäin ongelmallista. Vanha peruskysymys on se, voidaanko eri arvoulottuvuuksia yhteismitallistaa? Toinen kysymys on arvojen osittainen päällekkäisyys, johon ekosysteemipalveluiden arvottamisen ulottuvuuksia pohdittaessa (luku 2) on jo viitattu. Kun taloudelliset, sosiaaliset ja ekologiset arvot ovat osittain päällekkäisiä syntyy erilläänpito-ongelma. Päällekkäisyys antaa myös pohdittavaa arvojen (arvoulottuvuuksien) yhteismitallisuuteen:

voisiko otaksua että arvoulottuvuuksien ”päällekkäiset” osiot ovat helpommin yhteismitallistettavissa kuin ”erilliset” osiot?

Perinteisen filosofisen kannan mukaan arvo vaatii arvottajan ja siitä näyttäisi seuraavan, että ainoastaan ihmisille tunnusomainen tietoisuus tekee arvojen antamisen ja kokemisen mahdolliseksi (Pietarinen 2000). Pohtiessaan ekologisen ulottuvuuden kannalta tärkeitä kysymystä luonnon itseisarvoista (jotka ovat päämääräarvoja, vastakohtana välinearvoille) Pietarinen (2000) päätyi siihen, että luonnon arvojen tulee olla ihmislähtöisiä mutta ei välttämättä ihmiskeskeisiä (siis ne voivat olla luontokeskeisiä), jotta niillä olisi meille moraalista merkitystä. Samoin Niiniluoto (2000) huomautti, että jos luonnon itseisarvot olisivat luontoperäisiä, niiden tehokkaasta huomioonottamisesta ei olisi takeita niin kauan kuin ihmiset tekevät ympäristöpoliittisia päätöksiä.

Niin ikään Järvelä (2002) korosti arvojen merkitystä toiminnan ohjaamisessa ja päämäärien asettelussa. Modernien yhteiskuntien yhteiskuntapolitiikan keskeinen tehtävä oli toteuttaa kulttuurisesti määritettyjä arvosidonnaisia päämääriä kuten taloudellinen kasvu, hyvinvointi, ihmisarvo, tasa-arvo – myös kestävä kehitys on saavuttanut pitkälti vastaavan arvoaseman. Järvelä kuitenkin huomautti, että myöhäismoderneissa yhteiskunnissa yhteiskuntapolitiikka ei nojaa mihinkään yhtenäiseen, sisäisesti koherenttiin oppiin. Niinpä yhteiskuntapolitiittisesti tähdennetyt arvot ovat pitkälti – tai ainakin niiden toimintapolitiittiset tulkinnat ovat – tapauskohtaisia. Kestävän kehityksen arvoperusteiden osalta on tärkeää tunnistaa keskeisiä tulkintakiistoja – esimerkiksi voidaanko talouden kasvu ja ympäristönsuojelu toteuttaa yhtäaikaaisesti saman toimintaohjelman puitteissa vai pitäisikö taloutta hoitaa omalla logiikallaan markkina-arvoperustein ja taas luontoa suojella erikseen omalla ekologisella arvoperustallaan, jolla ei olisi suoraa kiinnekohtaa markkinaperäiseen talouteen (Järvelä 2002).

Kysymykseen erityyppisten arvojen yhtenäisen analyysin mahdollisuuksista ja arvojen yhteismitallisuudesta tai yhteismitattomuudesta on erilaisia vastauksia ja lähestymistapoja (esim. Oksanen 2000). Esimerkiksi ympäristötaloustieteen menetelmin pyritään löytämään ei-markkinahintaisille ekologisille vaikutuksille taloudellisia arvoja ja

kustannus-hyötyanalyysissä voidaan ainakin jossakin määrin ottaa huomioon sosiaalisia näkökohtia esimerkiksi antamalla erilaisia painoja eri väestöryhmien nettohyödyille (Price 1989, Uimonen 1992). Taloustieteessä ensisijainen pyrkimys on siis yhteismitallistaminen, kuten valtaosa tämänkin katsauksen esimerkeistä havainnollistaa. Ympäristötaloustiede voi silti tuottaa empiiristäkin tietoa myös sellaisia tavoitteita tai palveluita koskevaan päätöksentekoon, joiden menetykset eivät välttämättä ole kompensoitavissa muiden tavoitteiden muutoksilla ns. leksikografisten preferenssien takia (esim. Fishburn 1974, Lockwood 1997, 1999, Rekola 2003).

Arvojen partikulaarisuuden eli yhteismitattomuuden oletamus johtaa yleensä kuitenkin taloustieteestä poikkeaviin lähestymistapoihin. Esimerkiksi monitavoitteisen päätöstuen lukuisat menetelmät sallivat erilaisten yhteismitattomien päätöskriteerien systemaattisen käsittelyn (Lahdelma ym. 2000). Tosin lähes kaikkien menetelmien soveltaminen edellyttää viime vaiheessa päätöskriteerien painottamista eri tavoin, jolloin ainakin numeeristen painojen käyttö merkitsee kriteerien yhteismitallistamista. Monitavoitteisen päätöstuen menetelmiä on kehitetty ja käytetty myös metsäsuunnittelun yhteydessä (esim. Kangas 1999, Kangas A. ym. 2001, Kangas, J. ym. 2001, Kangas ja Kangas 2002, Laukkanen ym. 2002, Pukkala 2002). Myös ympäristövaikutusten arviointi (YVA) ja sen osaksi (joskus itsenäiseksi) luettava sosiaalisten vaikutusten arviointi (SVA) pohjautuu usein vaikutusten yhteismitattomuuteen, jolloin niitä ei voi summata yhteen (ks. Turtiainen 2000).

Toisaalta on syytä muistaa, että kustannuksiltaan ja ympäristövaikutuksiltaan eroavien hankkeiden, esimerkiksi metsäsuunnitelmien järjestäminen paremmuusjärjestykseen merkitsee aina myös ympäristövaikutusten taloudellista arvottamista eli ympäristövaikutusten ja rahamääräisten kustannusten vertaamista keskenään (esim. Carlsen ym. 1993, metsäesimerkkejä Dole 1999, Scarpa ym. 2000). Kangas (1992) esitti, että arvottamistarkastelusta saa myös palautetta esimerkiksi hyötymallin estimoimiseen monitavoitteisen päätöstuen menetelmillä: jos päätöksentekijä ei ole valmis maksamaan hyötymallin mukaista rahasummaa jonkin päätöskriteerin muutoksesta, hyötymallia on muutettava. Samoin jokaista päätöstä vastaa ainakin implisiit-

tisesti tietty tavoitesuureiden korvautuvuussuhteiden (ja intressitahojen näkemysten) painoarvojen yhdistelmä (Kangas ja Matero 1993). Stokastinen monikriteerinen arvostusanalyysi (SMAA-menetelmäperhe) nimenomaan selvittääkin erilaisia arvostuksia simuloimalla, kuinka laajasti ja minkälaisilla painotuksilla kukin päätösvaihtoehto voi saada tietyn sijan vaihtoehtojen paremmuusjärjestyksessä (esim. Lahdelma ja Salminen 2001, Kangas ja Kangas 2002).

Kolmanteen ryhmään voidaan lukea erilaiset ”poliittiset” neuvottelupohjaiset ongelmien ratkaisutavat alkaen perinteisestä edustuksellisesta demokratiasta osallistavaan (Wallenius 2001) tai transaktiiviseen (Hiedanpää 2000) suunnitteluun. Ongelmien arvioimis- ja ratkaisumenetelmät eroavat toisistaan mm. siinä, pidetäänkö lähtökohtana yksilökeskeisiä ja yksilön vapautta korostavia arvoja (liberalismi) vai yhteisöllisiä arvoja (kommunitarismi). Kyllönen (2002) esitteli neuvottelevan demokratian mallin eräänlaisena synteessinä eri lähtökohdista. Edustuksellisen demokratian piiriin kuuluu myös tuomioistuinten harjoittama oikeudellinen (ympäristö)vaikutusten merkittävyyden arviointi esimerkiksi ympäristölupaprosessin tukena (ks. Silvo ym. 2000) – sen olennainen ero poliittisiin neuvotteluihin on lainsäädännön mukanaan tuoma arvojen eksplisiittisyys ja prosessin formaalisuus.

Niemelä ym. (2001) totesivat, että metsätalouden kestävyuden eri ulottuvuuksien kokonaisvaltaisesti tarkastelusta on toistaiseksi vähän tutkimustietoa tarjolla (ks. kuitenkin Pykäläinen ym. 1999, Pesonen ym. 2001, Mendoza ja Prabhu 2002), mistä syystä selkeitä suosituksia tällaisen yhteensovittamisen toteuttamiseksi on vaikea antaa. Eri ulottuvuuksien yhdistämisiongelman ratkaisemiseksi Niemelä ym. (2001) suosittelivat sellaisia päätösanalyysimenetelmiä, joissa kestävyuden eri ulottuvuuksille annetaan painokertoimet. Painotettaessa kestävyuden eri ulottuvuuksia on äärimmäisen tärkeää ymmärtää painojen tulkinta nimenomaan tapauskohtaisina päätösvaihtoehtojen välisten eroavuuksien tarkeysmittoina eikä minään ”yleisinä” ulottuvuuksien merkityksinä (esim. Marttunen ja Hämäläinen 1994, Hämäläinen ja Salo 1997, ks. myös Hildén ym. 2001). Tällöin painojen määrittäjän on tunnettava ainakin päätöstilanne ja päätösvaihtoehtojen väliset eroavuudet ulottuvuuksien suhteen ennen

painotusta. Lisäksi tapauskohtaistenkin painojen tulkinta vaihtelee eri painotusmenetelmien välillä niin, että eri menetelmillä on esimerkiksi vaikeaa tai osin suorastaan mahdotonta tuottaa samanlaisen preferenssirakenteen mukaisia päätösvaihtoehtojen paremmuusjärjestyksiä (esim. Kangas, J. ym. 2001, ks. myös Hanemann ja Kanninen 1999, 370–373, Lahdelma ja Salminen 2002).

Erilaiset lähestymistavat ekosysteemipalveluiden arvottamisessa ja arvioinnissa eivät käytännössä välttämättä ole niin kaukana toisistaan kuin mitä niiden periaatteellisista eroista voisi päätellä. Ehdollisen arvottamisen menetelmää on esimerkiksi kehitetty kansanäänestyksen suuntaan (Ovaskainen ym. 2001b). Neuvottelupohjaisissa ongelmien ratkaisutavoissa voidaan käyttää apuna useita erilaisia menetelmiä ja lähestymistapoja (Kurttila 2001). Ekologista taloustiedettä edustavan Costanzan (2000) mukaan arvottamisulottuvuuksien yhdistäminen edellyttää lisääskelta, jota Sen (1995) kuvasi julkisen keskustelun avulla tapahtuvaksi arvottamiseksi. Vaikka ulottuvuudet Costanzan (2000) mukaan ovat jossain määrin toisistaan riippumattomia kriteerejä (ks. Arrow ja Raynaud 1986), niitä käytännössä lähentää myös se, että ne on tydytettävä integroidusti. Uusitalo (1997) korostikin, että ”yhteishyödykkeen kohdalla kulutus olisi järkevää mieltää sekä yksilön sisäisinä että yhteiskunnan tasolla käytyinä keskusteluina eikä yksiselitteisenä valintana”. Kullakin lähestymistavalla on siten oma paikkansa ja tehtävänsä yhteiskunnallisen päätöksenteon pitkässä ketjussa.

Kiitokset

Kahden esitarkastajan lisäksi kiitämme professori Tapio Määttä, OTK, MMM Tero Laaksoa ja MMM Kaisa Raitiota arvokkaista kommentteista käsikirjoitukseen. Jäljellä olevat virheet ovat kuitenkin omiamme. Työtä on rahoittanut Suomen Akatemia (projekti 76703).

Kirjallisuus

- Acharya, G. 2000. Approaches to valuing the hidden hydrological services of wetland ecosystems. *Ecological Economics* 35(1): 63–74.
- Ahti, E. 1988. Metsäojituksen hydrologiset vaikutukset Kiiminkijoen valuma-alueella. Kiiminkijoen tutkimuspäivät Oulussa 23.–24.3.1987. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 64: 51–58.
- , Joensuu, S. & Vuollekoski, M. 1999. Kunnostusojituksen vaikutus metsäojitusalueiden valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Puranen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.–24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 79–90.
- Alexander, A.M., List, J.A., Margolis, M. & d’Arge, R.C. 1998. A method for valuing global ecosystem services. *Ecological Economics* 27(2): 161–170.
- Alho, J. & Kangas, J. 1997. Analyzing uncertainties in expert’s opinions of forest plan performance. *Forest Science* 43(4): 521–528.
- , Kangas, J. & Kolehmainen, O. 1996. Uncertainty in expert predictions of the ecological consequences of forest plans. *Applied Statistics* 45(1): 1–14.
- Annala, E. 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). *Annales Zoologici Fennici* 6: 161–208.
- Anttonen, K. 2000. Metsän julkishyödykkeiden tarjonnan ohjauskeinot. Metsätutkimuslaitoksen tiedonantoja 795: 1–94.
- Aronsson, T., Johansson, P.-O. & Löfgren, K.-G. 1997. Welfare measurement, sustainability and green national accounting. Edward Elgar Publishing, Cheltenham. 175 s.
- Arrow, K.J. & Raynaud, H. 1986. Social choice and multicriterion decision-making. The MIT Press, Cambridge, MA. 127 s.
- Asheim, G.B. 2000. Green national accounting: why and how? *Environment and Development Economics* 5: 25–48
- & Weitzman, M.L. 2001. Does NNP growth indicate welfare improvement. *Economics Letters* 73: 233–239.
- Ayres, R.U. 1998. The price-value paradox. *Ecological Economics* 25(1): 17–19.
- Balvanera, P., Daily, G.C., Ehrlich, P.R., Ricketts, T.H.,

- Bailey, S.-A., Kark, S., Kremen, C. & Pereira, H. 2001. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science* 291: 2047.
- Barrow, P., Hinsley, A.P. & Price, C. 1986. The effect of afforestation on hydroelectricity generation. A quantitative assessment. *Land Use Policy* 3: 141–152.
- Baskin, Y. 1997. The work of nature: how the diversity of life sustains us. A Project of SCOPE: The Scientific Committee on Problems of the Environment. Island Press, Washington, D. C., Covelo, California. 263 s.
- Bateman, I. & Willis, K.G. (toim.). 1999. Contingent valuation of environmental preferences: theory and practice in the USA, Europe, and developing countries. Oxford University Press, Oxford. 672 s.
- , Carson, R.T., Day, B., Hanemann, M., Hanley, N., Hett, T., Jones-Lee, M., Loomes, G., Mourato, S., Özdemiroglu, E., Pearce, OBE, D., Sudgen, R. & Swanson, J. 2002. Economic valuation with stated preference techniques. A manual. Edward Elgar Publishing, Cheltenham. 480 s.
- Becker, G.S. 1993. Nobel lecture: the economic way of looking at behaviour. *The Journal of Political Economy* 101(3): 385–409.
- Berrens, R.P., McKee, M. & Farmer, M.C. 1999. Incorporating distributional considerations in the safe minimum standard approach: endangered species and local impacts. *Ecological Economics* 30(3): 461–474.
- Björklund, J., Limburg, K.E. & Rydberg, T. 1999. Impact of production intensity on the ability of the agricultural landscape to generate ecosystem services: an example from Sweden. *Ecological Economics* 29(2): 269–291.
- Bockstael, N., Costanza, R., Strand, I., Boynton, W., Bell, K. & Wainger, L. 1995. Ecological economic modelling and valuation of ecosystem services. *Ecological Economics* 14(2): 143–159.
- , Freeman, III, A.M., Kopp, R.J., Portney, P.R. & Smith, V.K. 2000. On measuring economic values for nature. *Environmental Science & Technology* 34(8): 1384–1389.
- Bonan, G.B., Pollard, D. & Thompson, S.L. 1992. Effects of boreal forest vegetation on global climate. *Nature* 359: 716–718.
- Boscolo, M. & Vincent, J.R. 2003. Nonconvexities in the production of timber, biodiversity, and carbon sequestration. *Journal of Environmental Economics and Management* 46: 251–268.
- Bostedt, G. & Mattsson, L. 1995. The value of forests for tourism in Sweden. *Annals of Tourism Research* 22: 671–680.
- , Parks, P.J. & Boman, M. 2003. Integrated natural resource management in Northern Sweden: an application to forestry and reindeer husbandry. *Land Economics* 79: 149–159.
- Brock, W.A. & Xepapadeas, A. 2003. Valuing biodiversity from an economic perspective: a unified economic, ecological and genetic approach. [Verkkodokumentti]. No 9 in Working papers from Wisconsin Madison - Social Systems. Saatavissa: <http://www.ssc.wisc.edu/econ/archive/wp2003-09.pdf>
- Cairns, R.D. 2000. Sustainability accounting and green accounting. *Environment and Development Economics* 5(1&2): 49–54.
- 2001. Seeing the trees as a forest: what counts in green accounting. *Ecological Economics* 36(1): 61–69.
- Carlsen, A.J., Strand, J. & Wenstøp, F. 1993. Implicit environmental costs in hydroelectric development: an analysis of the Norwegian master plan for water resources. *Journal of Environmental Economics and Management* 25: 201–211.
- Carpenter, S.R., Chisholm, S.W., Krebs, C.J., Schindler, D.W. & Wright, R.F. 1995. Ecosystem experiments. *Science* 269: 324–327.
- Carson, R.T. 2000. Contingent valuation: a user's guide. *Environmental Science & Technology* 34(8): 1413–1418.
- Chichilnisky G. & Heal, G.M. 1998. Economic returns from the biosphere. *Nature* 391: 629–630.
- Christie, M. 2001. A comparison of alternative contingent valuation elicitation treatments for the evaluation of complex environmental policy. *Journal of Environmental Management* 62: 255–269.
- Costanza, R. 2000. Social goals and the valuation of ecosystem services. *Ecosystems* 3: 4–10.
- & Folke, C. 1997. Valuing ecosystem services with efficiency, fairness, and sustainability as goals. *Julkaisussa: Daily, G. (toim.). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC. s. 49–68.*
- , d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P. & van den Belt, M. 1997a. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- , Perrings, C. & Cleveland, C.J. 1997b. Introduction. *Julkaisussa: Costanza, R., Perrings, C. & Cleveland,*

- C.J. (toim.). The development of ecological economics. The International Library of Critical Writings in Economics 75. An Elgar Reference Collection. Edward Elgar Publishing, Cheltenham. s. xiii–xxix.
- Creedy, J. & Wurzbacher, A.D. 2001. The economic value of a forested catchment with timber, water and carbon sequestration benefits. *Ecological Economics* 38: 71–83.
- Daily, G. (toim.). 1997a. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC. 392 s.
- 1997b. Valuing and safeguarding earth's life-support systems. Julkaisussa: Daily, G. (toim.). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC. s. 365–374.
- 1999. Developing a scientific basis for managing Earth's life support systems. *Conservation Ecology* 3(2): 14. [Verkkolehti]. Saatavissa: <http://www.consecol.org/vol3/iss2/art14>
- 2000. Management objectives for the protection of ecosystem services. *Environmental Science & Policy* 3(6): 333–339.
- , Alexander, S., Ehrlich, P.R., Goulder, L., Lubchenco, J., Matson, P.A., Mooney, H.A., Postel, S., Schneider, S.H., Tilman, D. & Woodwell, G.M. 1997. Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems. *Issues in Ecology* 2. 16 s.
- Dasgupta, P. 1999. Valuation and evaluation: measuring the quality of life and evaluating policy. University of Cambridge and Beijer International Institute of Ecological Economics, Stockholm. Discussion Paper 127: 1–69.
- 2001. Human well-being and the natural environment. Oxford University Press, Oxford. 328 s.
- & Mäler, K.-G. 2000. Net national product, wealth, and social well-being. *Environment and Development Economics* 5: 69–93.
- , Kriström, B. & Mäler, K.-G. 1995. Current issues in resource accounting. Julkaisussa: Johansson, P.-O., Kriström, B. & Mäler, K.-G. (toim.). Current issues in environmental economics. Manchester University Press, Manchester. s. 117–152.
- DeLuca, T.H., Zackrisson, O., Nilsson, M.C. & Sellstedt, A. 2002. Quantifying nitrogen-fixation in feather moss carpets of boreal forests. *Nature* 419: 917–920.
- Derome, J. & Kukkola, M. 1998. Metsämaan kalkitus. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 227–234.
- Dole, D. 1999. Implicit valuation of non-market benefits in even-aged forest management. *Environmental and Resource Economics* 13: 95–105.
- Drake, L. 1994. Relations among environmental effects and their implications for efficiency of policy instruments. Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Economics, Report 74. Second revised edition. 192 s.
- Dwyer, J.F., McPherson, E.G., Schroeder, H.W. & Rowntree, R.A. 1992. Assessing the benefits and costs of the urban forest. *Journal of Arboriculture* 18(5): 227–234.
- , Nowak, D.J. & Watson, G.W. 2001. Urban forestry research in the United States: state of the art and future prospects. Julkaisussa: Sievänen, T., Konijnendijk, C.C., Langner, L. & Nilsson, K. (toim.). Forest and social services – the role of research. Proceedings of IUFRO Research Groups 6.01, 6.11.04 and 6.14 sessions in the XXI IUFRO World Congress 2000, Kuala Lumpur, Malaysia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 815: 109–122.
- Eliasson, P. 1994. Miljöjusterade nationalräkenskaper för den svenska skogen åren 1987 och 1991. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsekonomi, Rapport 108: 1–58.
- Ellis, G.M. & Fisher, A.C. 1987. Valuing the environment as input. *Journal of Environmental Management* 25: 149–156.
- European Community. 1998. Council Directive 98/83/EC on the quality of water intended for human consumption. Official Journal of the European Communities L330: 32–54.
- Fagerblom, A. & Heliövaara, K. 2000. Lakisääteinen metsien hyönteis- ja sienituhojen torjunta Suomessa. Helsingin yliopisto, soveltavan eläintieteen laitos, Julkaisuja 28: 1–59.
- Farber, S.C., Costanza, R. & Wilson, M.A. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics* 41(3): 375–392.
- Ferm, A., Hytönen, J., Lähdesmäki, P., Pietiläinen, P. & Pätilä, A. 1990. Effects of high nitrogen deposition on forests: case studies close to fur animal farms. Julkaisussa: Kauppi, P., Anttila, P. & Kenttämies, K. (toim.). Acidification in Finland. Springer-Verlag, Berlin–Heidelberg. s. 635–668.
- Fishburn, P.C. 1974. Lexicographic orders, utilities, and

- decision rules: a survey. *Management Science* 20: 1442–1471.
- Fredman, P. & Emmelin, L. 2001. Wilderness purism, willingness to pay and management preferences. A study of Swedish mountain tourists. *Tourism Economics* 7(1): 5–20.
- Fridley, J.D. 2001. The influence of species diversity on ecosystem productivity: how, where, and why? *Oikos* 93(3): 514–526.
- Functowicz, S. & Ravetz, J. 1994. The worth of a songbird: ecological economics as a post-normal science. *Ecological Economics* 10: 197–207.
- Gan, J., Kolison Jr., S.H. & Colletti, J.P. 2001. Optimal forest stock and harvest with valuing non-timber benefits: a case of US coniferous forests. *Forest Policy and Economics* 2: 167–178.
- Gong, P. & Kriström, B. 1999. Regulating forest rotation to increase CO₂ sequestration. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsekonomi, Arbetsrapport 272: 1–24.
- Goulden, M.L., Wofsy, S.C., Harden, J.W., Trumbore, S.E., Crill, P.M., Gower, S.T., Fries, T., Daube, B.C., Fan, S.-M., Sutton, D.J., Bazzaz, A. & Munger, J.W. 1998. Sensitivity of boreal forest carbon balance to soil thaw. *Science* 279: 214–217.
- Gregory, G.R. 1955. An economic approach to multiple use. *Forest Science* 1: 6–13.
- de Groot, R.S. 1992. Functions of nature: evaluation of nature in environmental planning, management, and decision making. Wolters-Noordhoff, Groningen. 345 s.
- , Wilson, M.A. & Boumans, R.M.J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics* 41(3): 393–408.
- Guo, Z., Xiao, X. & Li, D. 2000. An assessment of ecosystem services: water flow regulation and hydroelectric power production. *Ecological Applications* 10(3): 925–936.
- , Xiao, X., Gan, Y. & Zheng, Y. 2001. Ecosystem functions, services and their values – a case study in Xingshan County of China. *Ecological Economics* 38: 141–154.
- Gynther, L., Torkkeli, S. & Otterström, T. 1999. Suomen teollisuuden päästöjen ympäristökustannukset: tapaustarkasteluna metsäteollisuus. *Suomen ympäristö* 347: 1–76.
- Haila, Y. 1997. Onko talous ympäristöongelmien yhteinen nimittäjä? *Liiketaloudellinen aikakauskirja* 2/1997: 117–127.
- Hanemann, M. & Kanninen, B. 1999. The statistical analysis of discrete-response CV data. Julkaisussa: Batement, I.J. & Willis, K.G. (toim.). Valuing environmental preferences. Theory and practice of the contingent valuation method in the US, EU, and developing countries. Oxford University Press, Oxford. s. 302–441.
- Hanley, N., Wright, R.E. & Adamowicz, V. 1998. Using choice experiments to value the environment. *Environmental and Resource Economics* 11(3–4): 413–428.
- Hanski, I. 1997. Be diverse, be predictable. *Nature* 390: 440–441.
- 2000. Extinction debt and species credit in boreal forests: modelling the consequences of different approaches to biodiversity conservation. *Annales Zoologici Fennici* 37(4): 271–280.
- Hartwick, J.M. 1992. Deforestation and national accounting. *Environmental and Resource Economics* 2(5): 513–521.
- Hassan, R.M. 2000. Improved measure of the contribution of cultivated forests to national income and wealth in South Africa. *Environment and Development Economics* 5(1&2): 157–176.
- Haukioja, E. 1995. Mikä on biodiversiteetin biologinen merkitys? Julkaisussa: Hiedanpää, J. & Haila, Y. (toim.). Biodiversiteetin arvo päätöksenteon ongelmana. Satakunnan ympäristötutkimuskeskus, Pori, Sykesarja C2. s. 8–16.
- Heal, G.M. 2000a. Nature and the marketplace: capturing the value of ecosystem services. Island Press, Washington, D. C. 203 s.
- 2000b. Valuing ecosystem services. *Ecosystems* 3: 24–30.
- 2003. Optimality or sustainability? Julkaisussa: Arnott, R., Greenwald, B., Kanbur, R. & Nalebuff, B. (toim.). Economics for an imperfect world: essays in honor of Joseph E. Stiglitz. MIT Press. ISBN 0-262-01205-7.
- & Kriström, B. 2001. National income and the environment. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://ssrn.com/abstract=279112>
- , Daily, G.C., Ehrlich, P.R., Salzman, J., Boggs, C., Hellmann, J., Hughes, J., Kremen, C. & Ricketts, T. 2001. Protecting natural capital through ecosystem service districts. *Stanford Environmental Law Journal* 20(2): 333–364.
- van der Heijden, M.G.A., Klironomos, J.N., Ursic, M., Moutoglis, P., Streitwolf-Engel, R., Boller, T., Weim-

- ken, A. & Sanders, I.R. 1998. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69–71.
- Heikinheimo, O. 1939. Metsätalous ja matkailu. Metsänhoitajien jatkokurssit 1938. *Silva Fennica* 52: 90–103.
- Herriges, J.A. & Kling, C.L. (toim.). 1999. Valuing recreation and the environment: revealed preference methods in theory and practice. Edward Elgar Publishing, Cheltenham. 290 s.
- Hiedanpää, J. 2000. Natura naturans: metsäluonnon monimuotoinen arvottaminen Pohjois-Satakunnassa. Julkaisussa: Haapala, A. & Oksanen, M. (toim.). Arvot ja luonnon arvottaminen. *Gaudeamus*, Helsinki. s. 154–178.
- Hildén, M., Kuuluvainen, J., Ollikainen, M., Pelkonen, P. & Primmer, E. 1999. Kansallisen metsäohjelman ympäristövaikutusten arviointi. Asiantuntijaryhmän loppuraporttiteksti 17.9.1999.
- , Mickwitz, P., Similä, J. & Sjöblom, S. 2001. Ohjaukskeinojen monitieteellinen, monikriteerinen ja monitavoitteinen arviointi – syömäkeltovoton sillisalaatti vai herkullinen brunssi? *Hallinnon Tutkimus* 20(3): 126–138.
- Hoehn, J.P. 1991. Valuing the multidimensional impacts of environmental policy: theory and methods. *American Journal of Agricultural Economics* 73: 289–299.
- & Randall, A. 1989. Too many proposals pass the benefit cost test. *American Economic Review* 79: 544–551.
- & Loomis, J.B. 1993. Substitution effects in the valuation of multiple environmental programs. *Journal of Environmental Economics and Management* 25: 56–75.
- Hoen, H.F. 1993. Forestry and national accounting – a comment. Julkaisussa: Linddal, M. & Naskali, A. (toim.). Proceedings of the workshop Valuing Biodiversity – on the Social Costs of and Benefits from Preserving Endangered Species and Biodiversity of the Boreal Forests. Espoo, Finland, October 1992. *Scandinavian Forest Economics* 34: 136–146.
- & Solberg, B. 1994. Potential and economic efficiency of carbon sequestration in forest biomass through silvicultural management. *Forest Science* 40(3): 429–451.
- & Solberg, B. 1999. Policy options in carbon sequestration via sustainable forest management: an example from the north. Julkaisussa: Palo, M. (toim.). Forest transitions and carbon fluxes. Global scenarios and policies. *World Development Studies* 15. The United Nations University. World Institute for Development Economics Research. UNU/WIDER. Helsinki. s. 117–132.
- Hoffrén, J. 1997. Finnish forest research accounting and ecological sustainability. *Tilastokeskus, Tutkimuksia* 224: 1–132.
- Holling, C.S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems* 4: 390–405.
- Hooper, D.U. & Vitousek, P.M. 1997. The effect of plant composition and diversity on ecosystem processes. *Science* 277: 1302–1305.
- Horan, R.D., Hrubovcak, J., Shortle, J.S. & Bulte, E.H. 2000. Accounting for the distributional impacts of policy in the green accounts. *Environment and Development Economics* 5(1&2): 95–108.
- Huhtala, A., Horne, P., Ovaskainen, V. & Sievänen, T. 2001. Kansallispuistojen arvo vai virkistyspalveluiden hinta – miten mitata rahassa valtion tuottamia markkinattomia hyötyjä? Julkaisussa: Sievänen, T. (toim.). Luonnon virkistyskäyttö 2000. Luonnon virkistyskäytön valtakunnallinen inventointi LVVI-tutkimus, 1997–2000. Loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 802: 77–89.
- Hultkrantz, L. 1992a. National account of timber and forest environmental resources in Sweden. *Environmental and Resource Economics* 2: 283–305.
- 1992b. Forestry and the bequest motive. *Journal of Environmental Economics and Management* 22(2): 164–177.
- & Mortazavi, R. 1993. Recreation, tourism and property rights to land: the economics of public access rights in Sweden. Julkaisussa: Adamowicz, W.L., White, W., & Phillips, W.E. (toim.). Forestry and the environment: economic perspectives. CAB International, Wallingford. s. 117–132.
- Hytönen, L.A. 2001. Osallistava ja yhteistoiminnallinen suunnittelu keinona kohti sosiaalista kestävyyttä. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 800: 349.
- & Kangas, J. 2001. Osallistavan ja vuorovaikutteisen suunnittelun soveltaminen eri omistajaryhmien metssissä. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja*

- 800: 296–301.
- Hytönen, M. 2001. Metsätalouden sosiaalisen kestävyys-käsite Suomessa ja maailmalla. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800: 315–325.
- Hyvärinen, V. 1984. River discharge in Finland. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, 59: 3–23.
- Hämäläinen, R.P. & Salo, A.A. 1997. The issue is understanding the weights. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 6: 340–343.
- Hänninen, H. 2001. Purevatko metsäpolitiikan keinot metsänhoitorästeihin? *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2001: 81–85.
- Hörnsten, L. 2000. Outdoor recreation in Swedish forests – implications for society and forestry. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria* 169. Swedish University of Agricultural Sciences. Doctoral thesis. ISBN 91-576-6053-0.
- & Fredman, P. 2000. On the distance to recreational forests in Sweden. *Landscape and Urban Planning* 51: 1–10.
- Ihalainen, M. & Pukkala, T. 2001. Modelling cowberry (*Vaccinium vitis-idaea*) and bilberry (*Vaccinium myrtillus*) yields from mineral soils and peatlands on the basis of visual field estimates. *Silva Fennica* 35(3): 329–340.
- , Alho, J., Kolehmäinen, O. & Pukkala, T. 2002. Expert models for bilberry and cowberry yields in Finnish forests. *Forest Ecology and Management* 157: 15–22.
- Ingham, R.E., Trofymow, J.A., Ingham, E.R. & Coleman, D.C. 1985. Interactions of bacteria, fungi, and their nematode grazers: effects on nutrient cycling and plant growth. *Ecological Monographs* 55: 119–140.
- Johansson, B. & Seuna, P. 1994. Modelling the effects of wetland drainage on high flows. *Aqua Fennica* 24(1): 59–68.
- Johansson, P.-O. 1993. Cost-benefit analysis of environmental change. Cambridge University Press, Cambridge. 232 s.
- Jongmans, A.G., van Breemen, N., Lundström, U., van Hees, P.A.W., Finlay, R.D., Srinivasan, M., Unestam, T., Giesler, R., Melkerud, P.-A. & Olsson, M. 1997. Rock-eating fungi. *Nature* 389: 682–683.
- Jonsson, L.M., Nilsson, M.C., Wardle, D.A. & Zackrisson, O. 2001. Context dependent effects of ectomycorrhizal species richness on tree seedling productivity. *Oikos* 93(3): 353–364.
- Jurola, M., Ollonqvist, P., Pajuoja, H. & Toropainen, M. 1999. Outcomes of forest improvement work in Finland. *Silva Fennica* 33(3): 217–224.
- Järvelä, M. 2002. Miksi arvokeskustelu on tärkeää ympäristöpolitiikassa? Julkaisussa: Loukola, O., Lybäck, K. & Tervo, M. (toim.). Arvot, ympäristö ja teknologia. Yhteiskunnallisten toimien uudet oikeutukset. Yliopistopaino, Helsinki. s. 24–48.
- Kajala, L. 2001. Virkistyskäytön ristiriidat erämaisilla alueilla. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800: 155–160.
- Kangas, A. & Kangas, J. 1997. Mallit, ennusteet ja simulointi metsätalouden laskentajärjestelmissä. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 3/1997: 389–404.
- & Kangas, J. 1998. Ekologiset mallit ja ekologisten riskien hallinta metsäsuunnittelussa. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 2/1998: 207–222.
- , Kangas, J. & Pykäläinen, J. 2001. Outranking methods as tools in strategic natural resource planning. *Silva Fennica* 35(2): 215–227.
- Kangas, J. 1992. Metsikön uudistamisketjun valinta – monitavoitteiseen hyötyteoriaan perustuva päätösanalyysimalli. Joensuun yliopiston luonnontieteellisiä julkaisuja 24. 230 s.
- 1999. The analytic hierarchy process (AHP): standard version, forestry application and advances. Julkaisussa: Helles, F., Holten-Andersen, P. & Wichmann, L. (toim.). Multiple use of forests and other natural resources. Kluwer Academic Publishers, Forestry Sciences 61. s. 96–105.
- & Kangas, A. 2002. Multiple criteria decision support methods in forest management. An overview and comparative analyses. Julkaisussa: Pukkala, T. (toim.) *Multi-objective forest planning*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. s. 37–70.
- & Kokko, A. (toim.). 2001. Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800. 366 s.
- & Matero, J. 1993. Ruunaan luonnonsuojelualueen jako aarni- ja puisto-osiin – kokemuksia AHP-menetelmästä osallistuvassa metsäsuunnittelussa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 449: 1–44.
- , Kangas, A., Leskinen, P. & Pykäläinen, J. 2001. MCDM methods in strategic planning of forestry on

- state-owned lands in Finland: applications and experiences. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis* 10: 257–271.
- Karjalainen, E. 2000. Metsänhoitovaihtoehtojen arvostus ulkoilualueilla. Julkaisussa: Saarinen, J. & Raivo, P. (toim.). *Metsä, harju ja järvi: näkökulmia suomalaiseen maisematutkimukseen ja -suunnitteluun*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 776: 123–136.
- 2001. Maisema-arvostukset ja niiden tutkimus. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). *Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen*. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800: 175–183.
- Kauppi, P. & Nöjd, P. 1997. Kymmenen lastua kasvusta: metsät metsittyivät 1950–90. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 2/1997: 285–290.
- Kauppi, P. & Bäck, S. (toim.). 2001. The state of Finnish coastal waters in the 1990s. *The Finnish Environment* 472: 1–134.
- Kellomäki, S. 1984. Metsätaloudellinen ympäristöhoito. *Silva Carelica* 1: 1–200.
- 1991. Metsäekologia. *Silva Carelica* 7: 1–391.
- 2000. Forests of the boreal region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management* 132(1): 63–71.
- & Lakka, A. 1979. NEKASU: luonnonolosuhteiden huomioonottaminen uusien asuinalueiden suunnittelussa. *Metsät*. TKK, Yhdyskuntasuunnittelun jatkokoulutuskeskuksen julkaisu B25: 1–134.
- & Loikkanen, A. 1982. Metsät. Luonnonolosuhteiden huomioonottaminen uusien asuinalueiden suunnittelussa. *Gaudeamus*, Helsinki. 134 s.
- , Haapanen, A. & Salonen, H. 1976. Tree stands in urban noise abatement. Tiivistelmä: Puusto yhdyskuntamellun torjunnassa. *Silva Fennica* 10(3): 237–256.
- Kinzig, A.P., Pacala, S.W. & Tilman, D. (toim.). 2002. The functional consequences of biodiversity. Empirical progress and theoretical extensions. Princeton University Press, Princeton. *Monographs in Population Biology* 33. 365 s.
- Kirschbaum, M.U.F. 1995. The temperature dependence of soil organic matter decomposition, and the effect of global warming on soil organic C storage. *Soil Biology and Biochemistry* 27(6): 753–760.
- Klemola, T., Tanhuanpää, M., Korpimäki, E. & Ruohomäki, K. 2002. Specialist and generalist natural enemies as an explanation for geographical gradients in population cycles of northern herbivores. *Oikos* 99: 83–94.
- Komulainen, M. 1995. Taajamametsien hoito. Ympäristöministeriö. Metsäntutkimuslaitos. Metsäkeskus Tapio. Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. 180 s.
- van Kooten, G.C., Binkley, C.S. & Delcourt, G. 1995. Effect of carbon taxes and subsidies on optimal forest rotation age and supply of carbon services. *American Journal of Agricultural Economics* 77: 365–374.
- Kouki, J. & Martikainen, P. 2001. Conserving threatened species in boreal forest landscapes: balancing management actions between protected areas and managed forests at the ecosystem level. Julkaisussa: Vuori, K.-M. & Kouki, J. (toim.). *International conference ecosystem management in boreal forest landscapes. Koli National Park, Finland, May 27–30, 2001*. Publications of the North Karelia Regional Environment Centre 25: 27.
- Krieger, D.J. 2001. The economic value of forest ecosystem services: a review. An analysis prepared for the Wilderness Society. The Wilderness Society, Washington, D. C. 31 s.
- Kriström, B. 2001. Valuing forests. Julkaisussa: Hollowell, V.C. (toim.). *Managing human-dominated ecosystems*. MBG Press. St. Louis, USA. ISBN 0-915279-85-1.
- & Skånberg, K. 2001. Monetary forestry accounting including environmental goods and services. *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales: Fuera de Serie N 1*: 7–26.
- Kubin, E. 1995. Avohakkuun, hakkuutähteiden talteenoton ja maanmuokkauksen vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen: Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta*. METVE-projektin loppuraportti. *Suomen ympäristö* 2: 65–71.
- Kurtila, M. 2001. Methods of integrating ecological objectives into landscape-level planning of non-industrial private forestry. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 125: 1–35.
- Kuuluvainen, T. 1994. Metsäntutkimus, ekosysteemitutkimus ja biodiversiteetti. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 2/1994: 175–179.
- 2002. Natural variability of forests as a reference for restoring and managing biological diversity in boreal Fennoscandia. *Silva Fennica* 36(1): 97–125.
- Kyllönen, S. 2002. Kommunikoiva kansanvalta – kiistojen ratkaisu neuvottelevan demokratian keinoin. Julkaisussa: Loukola, O., Lybäck, K. & Tervo, M. (toim.). *Arvot, ympäristö ja teknologia*. Yhteiskun-

- nallisten toimien uudet oikeutukset. Yliopistopaino, Helsinki. s. 90–109.
- Kytö, M. & Korhonen, K. 2001. Energiapuun korjuu ja metsätuhot. Julkaisussa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816: 59–65.
- Lahdelma, R. & Salminen, P. 2001. SMAA-2: stochastic multicriteria acceptability analysis for group decision-making. *Operations Research* 49(3): 444–454.
- & Salminen, P. 2002. Pseudo-criteria versus linear utility function in stochastic multi-criteria acceptability analysis. *European Journal of Operational Research* 141: 454–469.
- , Salminen, P. & Hokkanen, J. 2000. Using multicriteria methods in environmental planning and management. *Environmental Management* 26(6): 595–605.
- Lankoski, J. & Ollikainen, M. 2001. Policy design for multifunctional agriculture. MTT Taloustutkimuksen (MTTL) selvityksiä 6/2001. 32 s.
- Lappi, J. 1997. Metsien kasvu ja kestävät hakkuut. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1/1997: 138–145.
- 1998. Kestävä metsätalous: metsäldynamiikan hallintaa. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 1/1998: 113–116.
- Laukkanen, S., Kangas, A. & Kangas, J. 2002. Applying voting theory in natural resource management: a case of multiple-criteria group decision support. *Journal of Environmental Management* 64: 124–137.
- Lawton, J.H. 1994. What do species do in ecosystems? *Oikos* 71: 367–374.
- Lehto, T. 1994. Effects of soil pH and calcium on mycorrhizas of *Picea abies*. *Plant & Soil* 163: 69–75.
- Lehtonen, A., Mäkipää, R., Liski, J. & Sievänen, R. 2001. Assessment of forest carbon stock on the basis of forest inventory data – evaluation of the applied biomass expansion factors. Poster presented in COST E21 Contribution of Forests and Forestry to the Mitigation of Greenhouse Effects, Third whole action meeting 22–24 October 2001 in LIEGE, Belgium.
- Lepistö, A. 1996. Hydrological processes contributing to nitrogen leaching from forested catchments in Nordic conditions. *Monographs of the Boreal Environment Research* 1. 72 s.
- 1999. Metsätalouden ja typpilaskeuman aiheuttama kuormitus vesiin – valuma-alueilta vesistöalueemittakaavaan. Julkaisussa: Ahti, E., Granlund, H. & Pura-
- nen, E. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus. Seminaari Nurmeksessa 23.–24.9.1998. Tutkimusohjelman väliraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 745: 127–138.
- Leppänen, J., Pajuoja, H. & Toppinen, A. 2001. Effects of public support for forestry on timber supply. Julkaisussa: Solberg, B. (toim.). Proceedings of the Biennial Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics, Gausdal, Norway, April 2001. *Scandinavian Forest Economics* 37: 257–267.
- Liiri, M. 2001. Complexity of soil faunal communities in relation to ecosystem functioning in coniferous forest soil – a disturbance oriented study. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science* 104. 36 s.
- , Setälä, H., Haimi, J., Pennanen, T. & Fritze, H. 2002. Relationship between soil microarthropod species diversity and plant growth does not change when the system is disturbed. *Oikos* 96(1): 137–149.
- Limburg, K.E., O'Neill, R.V., Costanza, R. & Farber, S. 2002. Complex systems & valuation. *Ecological Economics* 41(3): 409–420.
- Lindroth, A., Grelle, A. & Morén, A.-S. 1998. Long-term measurements of boreal forest carbon balance reveal large temperature sensitivity. *Global Change Biology* 4: 443–450.
- Liski, J. 1997. Carbon storage of forest soils in Finland. University of Helsinki, Department of Forest Ecology, Publications 16. ISBN 951-45-7744-2. 46 s.
- , Ilvesniemi, H., Mäkelä, A. & Westman, C.J. 1999. CO₂ emissions from soil in response to climatic warming are overestimated – the decomposition of old soil organic matter is tolerant of temperature. *Ambio* 28(2): 171–174.
- , Perruchoud, D. & Karjalainen, T. 2002. Increasing carbon stocks in the forest soils of western Europe. *Forest Ecology and Management* 169: 159–175.
- Lockwood, M. 1997. Integrated value theory for natural areas. *Ecological Economics* 20: 83–93.
- 1999. Preference structures, property rights, and paired comparisons. *Environmental & Resource Economics* 13: 107–122.
- Loreau, M. & Hector, A. 2001. Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature* 412: 72–76.
- , Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J.P., Hector, A., Hooper, D.U., Huston, M.A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. & Wardle, D.A. 2001. Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge

- and future challenges. *Science* 294: 804–808.
- Löfström, I. 1987. Metsä liikenteen hiukkasmaisten epäpuhtauksien sitojana. Helsingin kaupungin ympäristönsuojelulautakunnan julkaisu 1987, 3. 123 s. ISBN 951-771-671-0.
- Mainwaring, L. 2001. Biodiversity, biocomplexity, and the economics of genetic dissimilarity. *Land Economics* 77(1): 79–93.
- Marquis, R.J. & Whelan, C.J. 1994. Insectivorous birds increase growth of white oak through consumption of leaf-chewing insects. *Ecology* 75: 2007–2014.
- Marttunen, M. & Hämäläinen, R. 1994. Päätösanalyysihaastattelu ympäristövaikutusten arviointimenettelyssä. *Vesitalous* 3/1994: 11–17.
- Matero, J. 1996. Ympäristökuormitus osana metsäsektorin vihreätä ympäristötilinpittoa. Julkaisussa: Finér, L., Ilvesniemi, H., Kortelainen, P. & Karvinen, L. (toim.). Metsätalouden ympäristökuormitus – tutkijaseminaari Vääkssä Pääjanne-luontokeskuksessa 20.–21.5.1996. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 607: 95–98.
- & Saastamoinen, O. 1995. Metsätalouden vesistöhaittojen ja niiden torjunnan taloudellinen merkitys. Julkaisussa: Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). *Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta – METVE-projektin loppuraportti*. Suomen ympäristö 2: 337–351.
- & Saastamoinen, O. 1998. Monetary assessment of the impacts of forestry on water-based benefits in Finland. *Boreal Environment Research* 3: 87–96.
- Mather, A.S. 1990. *Global forest resources*. Belhaven Press, London. 341 s.
- Matila, A. & Kubin, E. 1998. Palleroporonjäkälä (*Cladonia stellaris*) keruutuotteena ja siihen vaikuttavat puusotekijät. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 4/1998: 531–542.
- Mattila, U. 2001. Männyversoruostetuhojen riskiin vaikuttavat tekijät. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2001: 474–477.
- Mattsson, L. 1990a. Hunting in Sweden: extent, economic values and structural problems. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 563–573.
- 1990b. Moose management and the economic value of hunting: towards bioeconomic analysis. *Scandinavian Journal of Forest Research* 5: 575–581.
- & Li, C-Z. 1994. How do different forest management practices affect the non-timber value of forests? – an economic analysis. *Journal of Environmental Management* 41: 79–88.
- McGrady-Steed J., Harris, P.M. & Morin, P.J. 1997. Biodiversity regulates ecosystem predictability. *Nature* 390: 162–165.
- McPherson, E.G. 1992. Accounting for benefits and costs of urban green space. *Landscape and Urban Planning* 22: 41–51.
- Mendelsohn, R. & Peterson, G. 1988. The definition, measurement, and policy use of monetary values. Julkaisussa: Peterson, G.L., Driver, B.L. & Gregory, R. (toim.). *Amenity resource valuation: integrating economics with other disciplines*. Venture Publishing, Inc., State College, PA. s. 53–64.
- Mendoza, G.A. & Prabhu, R. 2002. Multidimensional measurements and approaches to forest sustainability assessments. An overview of models, approaches, and issues. Julkaisussa: Pukkala, T. (toim.). *Multi-objective forest planning*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. s. 71–98.
- Miller, R.W. 1997. *Urban forestry: planning and managing urban greenspaces*, second edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey. 502 s.
- Minkkinen, K. 1999. Effect of forestry drainage on the carbon balance and radiative forcing of peatlands in Finland. [Verkkodokumentti]. PhD thesis. University of Helsinki, Department of Forest Ecology. 42 s. ISBN 951-45-8757-X (PDF version). Helsingin yliopiston verkkojulkaisut. Saatavissa: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/mekol/vk/minkkinen/effectof.pdf>
- , Korhonen, R., Savolainen, I. & Laine, J. 2002. Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1900–2100 – the impact of forestry drainage. *Global Change Biology* 8: 785–799.
- Montgomery, C.A., Pollak, R.A., Freemark, K. & White, D. 1999. Pricing biodiversity. *Journal of Environmental Economics and Management* 38: 1–19.
- Muradian, R. 2001. Ecological thresholds: a survey. *Ecological Economics* 38: 7–24.
- Myers, N. 1997. The world's forests and their ecosystem services. Julkaisussa: Daily, G. (toim.). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press, Washington, DC. s. 215–235.
- Mykrä, S. & Kurki, S. 1998. ESC-Strategy for rational operationalization of forest biodiversity maintenance in Finland. *Silva Fennica* 32(4): 389–399.
- Mäenpää, I., Juutinen, A., Puustinen, K., Rintala, J., Risku-Norja, H., Veijalainen, S. & Viitanen, M. 2000. Luonnonvarojen kokonaiskäyttö Suomessa. *Suomen ympäristö* 428: 1–90.

- Mäkipää, R. 1998. Responses of forest vegetation and soil to addition of nitrogen. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 78: 1–37.
- , Karjalainen, T., Pussinen, A. & Kellomäki, S. 1999. Effects of climate change and nitrogen deposition on the carbon sequestration of a forest ecosystem in the boreal zone. *Canadian Journal of Forest Research* 29: 1490–1501.
- Mäler, K.-G. 1991. National accounts and environmental resources. *Environmental and Resource Economics* 1: 1–15.
- , Gren, I.-M. & Folke, C. 1994. Multiple use of environmental resources: a household production function approach to valuing natural capital. Julkaisussa: Jansson, A., Hammer, M., Folke, C. & Costanza, R. Investing in natural capital: the ecological economics approach to sustainability. Island Press, Washington, D. C. s. 233–249.
- Mälkönen, E. 1974. Annual primary production and nutrient cycle in some Scots pine stands. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 84(5): 1–87.
- (toim.). 1998. Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691. 278 s.
- , Kukkola, M. & Finér, L. 2001. Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase. Julkaisussa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816: 31–52.
- Möykkynen, T. & Pukkala, T. 2001. Juurikäävän torjunta kuusikoissa – simulointituloksia. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2001: 458–460.
- Müller, M. 2001. Mikrobiston merkitys ja monimuotoisuus pohjoisissa havumetsissä. Julkaisussa: Siitonen, J. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 812: 173–207.
- Naeem, S. & Li, S. 1997. Biodiversity enhances ecosystem reliability. *Nature* 390: 507–509.
- Naskali, A. 2001. Ympäristöhyötyjen taloudellisen arvottamisen historiikki. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800: 202–203.
- Niemelä, J. 1999. Management in relation to disturbance in the boreal forest. *Forest Ecology and Management* 115: 127–134.
- 2000. Luonnon ekologiset arvot. Julkaisussa: Haapala, A. & Oksanen, M. (toim.). Arvot ja luonnon arvottaminen. Gaudeamus, Helsinki. s. 217–230.
- , Borg, P., Kuuluvainen, T., Niemi, G., Leppänen, M., Lund, G., Späth, V. & Urho, A. 2001. Metsähallituksen alue-ekologinen suunnittelu: arviointi ja kehittämisuositukset. Tiivistelmä. Toukokuu 2001. Helsinki Consulting Group Oy Ltd. 11 s.
- Niiniluoto, I. 2000. Luonnon arvo ja ihmisen vastuu. Julkaisussa: Haapala, A. & Oksanen, M. (toim.). Arvot ja luonnon arvottaminen. Gaudeamus, Helsinki. s. 55–67.
- Niskanen, A. 1998. Value of external environmental impacts of reforestation in Thailand. *Ecological Economics* 26: 287–297.
- Nissinen, A. 1999. Responses of boreal forest soils to changes in acidifying deposition. [Verkkodokumentti]. University of Helsinki, Department of Forest Ecology, Publications 20. 114 s. ISBN 951-45-8687-5 (PDF version). Helsingin yliopiston verkkojulkaisut. Saatavissa: <http://ethesis.helsinki.fi/julkaisut/maa/mekol/vk/nissinen/response.pdf>
- Norberg, J. 1999. Linking Nature's services to ecosystems: some general ecological concepts. *Ecological Economics* 29(2): 183–202.
- Nordhaus, W.D. & Kokkelenberg, E.C. (toim.). 1999. Nature's numbers: expanding the national economic accounts to include the environment. National Academy Press, Washington D.C. 262 s.
- Oksanen, M. 2000. Yhteiskunnallinen moniarvoisuus ja luonnon arvottaminen. Julkaisussa: Haapala, A. & Oksanen, M. (toim.). Arvot ja luonnon arvottaminen. Gaudeamus, Helsinki. s. 82–101.
- Ollikainen, M. 1998. Sustainable forestry: timber bequests, future generations and optimal tax policy. *Environmental and Resource Economics* 12: 255–273.
- 2000. Raakapuumarkkinoille tunnusomaiset markkinamuodot taloustieteen näkökulmasta. Julkaisussa: Pajuoja, H. (toim.). Kilpailu puu- ja vientimarkkinoilla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 771: 27–48.
- Ollila, M., Virta, H. & Hyvärinen, V. 2000. Suurtulvaselvitys: arvio mahdollisen suurtulvan aiheuttamista vahingoista Suomessa. *Suomen ympäristö* 441: 1–138.
- Ovaskainen, V., Savolainen, H. & Sievänen, T. 1992. The benefits of managing forest for grouse habitats: a contingent valuation experiment. Julkaisussa: Solberg, B. (toim.). Proceedings of the Biennial Meeting of the Scandinavian Society of Forest Economics (SSFE),

- Gausdal, Norway, April 1991. *Scandinavian Forest Economics* 33: 263–274.
- , Horne, P. & Mikkola, J. 2001a. Retkeilyalueiden ja kansallispuistojen virkistyskäytön arvo. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). *Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800*: 215–229.
- , Tyrväinen, L., Naskali, A. & Horne, P. 2001b. Markkinattomien hyötyjen arvottamismenetelmät. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). *Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800*: 205–215.
- , Horne, P., Pouta, E. & Sievänen, T. 2002. Luonnon virkistyskäytön taloudellinen arvo ja taloudelliset vaikutukset. *Metsätieteen aikakauskirja 1/2002*: 59–65.
- Palmini, D. 1999. Uncertainty, risk aversion, and the game theoretic foundations of the safe minimum standard: a reassessment. *Ecological Economics* 29: 463–472.
- Pearce, D. 1998. Auditing the earth: the value of the world's ecosystem services and natural capital. *Environment* 40(2): 23–28.
- Pesonen, M., Kurttila, M., Kangas, J., Kajanus, M. & Heinonen, P. 2001. Assessing priorities using A'WOT among resource management strategies at Finnish Forest and Park Service. *Forest Science* 47: 534–541.
- Pietarinen, J. 2000. Ihmislähtöiset luontoarvot ja luonnon omat arvot. Julkaisussa: Haapala, A. & Oksanen, M. (toim.). *Arvot ja luonnon arvottaminen. Gaudeamus, Helsinki*. s. 38–54.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Sphpritz, P., Fitton, L., Saffouri, R. & Blair, R. 1995. Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits. *Science* 267: 1117–1123.
- , Wilson, C., McCullum, C., Huang, R., Dwen, P., Flack, J., Tran, Q., Saltman, T. & Cliff, B. 1997. Economic and environmental benefits of biodiversity. *BioScience* 47(11): 747–757.
- Pouta, E. & Sievänen, T. 2001. Virkistyskysyntä Suomessa. Julkaisussa: Kangas, J. & Kokko, A. (toim.). *Metsän eri käyttömuotojen arvottaminen ja yhteensovittaminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 800*: 52–62.
- Price, C. 1989. *The theory and application of forest economics*. Blackwell, Oxford. 402 s.
- 1997. Twenty-five years of forestry cost-benefit analysis in Britain. *Forestry* 70: 171–189.
- Pritchard Jr., L., Folke, C. & Gunderson, L. 2000. Valuation of ecosystem services in institutional context. *Ecosystems* 3(1): 36–40.
- Pukkala, T. (toim.). 2002. *Multi-objective forest planning. Managing forest ecosystems*. Vol. 6. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. 207 s.
- Pussinen, A., Karjalainen, T., Mäkipää, R., Valsta, L. & Kellomäki, S. 2002. Forest carbon sequestration and harvests in Scots pine stand under different climate and nitrogen deposition scenarios. *Forest Ecology and Management* 158: 103–115.
- Pykäläinen, J., Kangas, J. & Loikkanen, T. 1999. Interactive decision analysis in participatory strategic forest planning: experiences from state owned boreal forests. *Journal of Forest Economics* 5: 341–364.
- Raitio, K. 2001. Participatory planning on state land in northernmost Finland. Julkaisussa: Hytönen, M. (toim.). *Social sustainability of forestry in northern Europe: research and education. Final report of the Nordic Research Programme on Social Sustainability of Forestry. TemaNord* 575: 333–340.
- Randall, A. & Farmer, M.C. 1995. Benefits, costs, and the safe minimum standard of conservation. Julkaisussa: Bromley, D.W. (toim.). *Handbook of Environmental Economics*. Blackwell Publishers, Oxford–Cambridge. s. 26–44.
- Rannikko, P. 1999. Combining social and ecological sustainability in the Nordic forest periphery. *Sociologia Ruralis* 39: 394–410.
- Rantakokko, K. (toim.). 2002. *Tulvavesien tilapäinen pidättäminen valuma-alueilla. Karttoitus mahdollisuuksista Suomen oloissa. Suomen ympäristö* 563: 1–87.
- Rawls, J. 1988. *Oikeudenmukaisuusteoria*. WSOY, Porvoo–Hki–Juva. 327 s.
- Ready, R., Bergland, O. & Romstad, E. 2001. *Optimal joint management of trees and wildlife: moose and pine in Norway*. The Pennsylvania State University. Working Paper.
- Rekola, M. 2003. Lexicographic preferences in contingent valuation: a theoretical framework with illustrations. *Land Economics* 79: 277–291.
- Reunala, A. 1997. *Moniarvoinen metsä. Tapion taskukirja*. 23. uudistettu painos. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Kustannusosakeyhtiö Metsälehti. s. 291–301.
- & Virtanen, P. (toim.). 1987. *Metsä suomalaisten elämässä. Monitieteellinen seminaari 18–19.12.1986*. *Silva Fennica* 21(4): 315–480.
- Richter, Jr. D.D. & Markewitz, D. 2001. Understanding

- soil change. Soil sustainability over millenia, centuries, and decades. Cambridge University Press, Cambridge. 255 s.
- Rinne, P. 1999. Luontomatkaailun aluetaloudelliset vaikutukset Kuhmassa. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Tiedonantoja 93: 1–108.
- Saastamoinen, O. 1982. Economics of multiple use forestry in Saariselkä forest and fell area. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 104: 1–102.
- 1994. Off-site costs of soil erosion and watershed degradation in the Philippines: sectoral impacts and tentative results. *Philippine Institute for Development Studies, Discussion Paper Series 94-18*: 1–33.
- 1995a. Kohti metsien kokonaisarvoa. Joensuun yliopisto, Metsätieteellisen tiedekunnan tiedonantoja 36: 1–39.
- 1995b. Matkailu, metsätalous ja monimuotoisuus: strategisia pohdintoja. *Maaseudun Uusi Aika* (3): 112–116.
- 1997. Social sustainability: A forgotten good, an unavoidable bad or the ultimate criterion? Sustainable development of boreal forests. *Proceedings of the 7th annual conference of the IBFRA (International Boreal Forest Research Association), August 19–23, 1996. St. Petersburg, St. Petersburg Forestry Research Institute, Russia. Moscow. s. 110–114.*
- 2001. Economic and social factors in sustainable forestry. *Julkaisussa: Hytönen, M. (toim.). Social sustainability of forestry in northern Europe: research and education. Final report of the Nordic Research Programme on Social Sustainability of Forestry. TemaNord 575: 295–313.*
- , Kangas, K. & Aho, H. 2000. The picking of wild berries in Finland in 1997 and 1998. *Scandinavian Journal of Forest Research* 15: 645–650.
- Sala, O.E. 2001. Price put on biodiversity. *Nature* 412: 34–36.
- Salo, S. & Tahvonen, O. 2002a. On the optimality of a normal forest with multiple land classes. *Forest Science* 48: 530–542.
- & Tahvonen, O. 2002b. On equilibrium cycles and normal forests in optimal harvesting of tree vintages. *Journal of Environmental Economics and Management* 44: 1–22.
- Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). 1995. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektin loppuraportti. *Suomen ympäristö* 2. 419 s.
- Scarpa, R., Buongiorno, J., Hseu, J.-S. & Abt, K.L. 2000. Assessing the non-timber value of forests: a revealed-preference, hedonic model. *Journal of Forest Economics* 6: 83–107.
- Schläpfer, F., Schmid, B. & Seidl, I. 1999. Expert estimates about effects of biodiversity on ecosystem processes and services. *Oikos* 84: 346–352.
- Schmid, B., Joshi, J. & Schläpfer, F. 2002. Empirical evidence for biodiversity-ecosystem functioning relationships. *Julkaisussa: Kinzig, A.P., Pacala, S.W. & Tilman, D. (toim.). The functional consequences of biodiversity. Empirical progress and theoretical extensions. Princeton University Press, Princeton. Monographs in Population Biology 33: 120–150.*
- Sedjo, R.A., Wisniewski, J., Sample, A.V. & Kinsman, J.D. 1995. The economics of managing carbon via forestry: assessment of existing studies. *Environmental & Resource Economics* 6: 139–165.
- Sen, A. 1995. Rationality and social choice. *American Economic Review* 85: 1–24.
- Sen, R. 1999. Avohakkuun vaikutus mykorrhitsa-sientien monimuotoisuuteen ja dynamiikkaan. *Julkaisussa: Walls, M., Vieno, M. & Peltola, E. (toim.). Biodiversiteettitutkimusohjelma FIBRE. Monimuotoinen luonto – monitieteellinen näkökulma. Kooste tuloksista 1997–99. Suomen Akatemian julkaisuja 5/99: 24–25.*
- Setälä, H. 1999. Metsämaaperän hajottajaeliöstön toiminnallisen monimuotoisuuden merkitys ekosysteemin häiriön siedossa – häiriötekijöinä puuntuhka ja kuivuus. *Julkaisussa: Walls, M., Vieno, M. & Peltola, E. (toim.). Biodiversiteettitutkimusohjelma FIBRE. Monimuotoinen luonto – monitieteellinen näkökulma. Kooste tuloksista 1997–99. Suomen Akatemian julkaisuja 5/99: 26–27.*
- Seuna, P. 1990. Metsätalouden toimenpiteet hydrologisina vaikuttajina. *Vesitalous* 31(2): 38–41.
- Sievänen, T. (toim.). 2001. Luonnon virkistyskäyttö 2000. Luonnon virkistyskäytön valtakunnallinen inventointi LVVI-tutkimus, 1997–2000. Loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 802. 336 s.
- Siira-Pietikäinen, A., Pietikäinen, J., Fritze, H. & Haimi, J. 2001. Short-term responses of soil decomposer communities to forest management: clear felling versus alternative forest harvesting methods. *Canadian Journal of Forest Research* 31: 88–99.
- Siitonen, J. 2001. Energiapuun hankinta ja metsälajiston monimuotoisuus. *Julkaisussa: Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.). Biomassan tehostetun talteenoton seuran-*

- naisvaikutukset metsässä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816: 66–74.
- , Kaila, L., Kuusinen, M., Martikainen, P., Penttilä, R., Punttila, P. & Rauh, J. 2001. Vanhojen talousmetsien ja luonnonmetsien rakenteen ja lajiston erot Etelä-Suomessa. Julkaisussa: Siitonen, J. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 812: 25–53.
- Silvennoinen, H. & Tyrväinen, L. 2001. Luontomatkailun kysyntä Suomessa ja asiakkaiden ympäristötoiveet. Julkaisussa: Sievänen, T. (toim.). Luonnon virkistyskäyttö 2000. Luonnon virkistyskäytön valtakunnallinen inventointi LVVI-tutkimus, 1997–2000. Loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 802: 112–127.
- , Pukkala, T. & Tahvanainen, L. 2002. Effect of cuttings on the scenic beauty of a tree stand. *Scandinavian Journal of Forest Research* 17: 263–273.
- Silvo, K., Melanen, M., Gynther, L., Torkkeli, S., Seppälä, J., Kärmeniemi, T. & Pesari, J. 2000. Yhtenäinen päästöjen ja ympäristövaikutusten arviointi. Lähestymistapoja ympäristölupaprosessin tueksi. *Suomen ympäristö* 373: 1–252.
- Simpson, R.D. 2001. A note on the valuation of ecosystem services in production. Discussion Paper 01-16. Resources for the Future, Washington, D.C.
- Sipura, M. 2000. Herbivory on willows: abiotic constraints and trophic interactions. University of Joensuu, PhD Dissertations in Biology 4. 128 s. ISSN 1457-2486.
- Smith, V.K. 1997. *Mispriced Planet*. *Regulation* 20(3): 16–17.
- Smolander, A. & Lehto, T. 1998. Kalkituksen vaikutus metsämaan mikrobitoimintaan ja mykorritsoihin. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). Ympäristömuutos ja metsien kunto. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 232–233.
- , Kitunen, V., Paavolainen, L. & Mälkönen, E. 1996. Decomposition of Norway spruce and Scots pine needles: effects of liming. *Plant & Soil* 179: 1–7.
- Sohngen, B. & Sedjo, R. 2001. Forest set-asides and carbon sequestration. Julkaisussa: Palo, M., Uusivuori, J. & Mery, G. (toim.). *World forests, markets and policies*. World forests volume III. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/London/Boston. s. 61–67.
- Solantie, R. 1994. Suurten suo-ojitusten vaikutus ilman lämpötilaan erityisesti Alajärven Möksyn havaintojen perusteella. *Ilmatieteen laitos, Meteorologisia julkaisuja* 29: 1–40.
- 1998. Suurten suo-ojitusten vaikutus pakkasetoman ajan pituuteen ja lämpötilan vuosiminimiin 1961–1990 sekä lämpötilatrendeihin vuodesta 1990. *Ilmatieteen laitos, Meteorologisia julkaisuja* 38: 1–43.
- Solberg, B. 1997. Forest biomass as carbon sink – economic value and forest management/policy implications. Julkaisussa: Sedjo, R.A., Sampson, R.N. & Wisniewski, J. (toim.). *Economics of carbon sequestration in forestry*. Critical reviews in environmental science and technology. Lewis Publishers 27: 323–334.
- & Svendsrud, A. 1992. Environmental factors and national account of forestry – some findings from Norway. Paper for IUFRO Centennial Meeting. Berlin Aug. 31–Sept. 4, 1992. Department of Forestry, Agricultural University of Norway. 5 s.
- Stavins, R. & Jaffe, A.B. 1990. Unintended impacts of public investments on private decisions: the depletion of forested wetlands. *The American Economic Review* 80(3): 338–352.
- Stuedler, P.A., Bowden, R.D., Melillo, J.M. & Aber, J.D. 1989. Influence of nitrogen fertilization on methane uptake in temperate forest soils. *Nature* 341: 314–316.
- Sulkava, P. 2001. Interactions between faunal community and decomposition processes in relation to microclimate and heterogeneity in boreal forest soil. *Jyväskylä Studies in Biological and Environmental Science* 100. 36 s.
- Sverdrup-Thygeson, A. & Ims, R.A. 2002. The effect of forest clearcutting in Norway on the community of saproxylic beetles on aspen. *Biological Conservation* 106: 347–357.
- Tahvonen, O. 1995. Net national emissions, CO₂ taxation and the role of forestry. *Resource and Energy Economics* 17: 307–315.
- 2000. Luonnonvarojen käytön etiikkaa kansantaloustieteessä. Julkaisussa: Haapala, A. & Oksanen, M. (toim.). *Arvot ja luonnon arvottaminen*. Gaudeamus, Helsinki. s. 102–129.
- & Salo, S. 1999. Optimal forest rotation with in situ benefits. *Journal of Environmental Economics and Management* 37: 106–128.
- Tamminen, P. 1998. Maaperätekiijät. Julkaisussa: Mälkönen, E. (toim.). *Ympäristömuutos ja metsien kunto*. Metsien terveydentilan tutkimusohjelman loppura-

- porti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 691: 64–74.
- Tanhuanpää, M. 2000. The role of natural enemies in preventing outbreaks of *Epirrita autumnata* in Southern Finland. Turun yliopiston julkaisuja Sarja AII 137. 13 s.
- Thirgood, J.V. 1981. Man and the Mediterranean forest. A history of resource depletion. Academic Press, London. 194 s.
- Tikkanen, J. 1996. Taajamametsien osallistava suunnittelu: kokemuksia Metsä-Raaha-suunnitteluprojektista. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 603: 1–31.
- Tilman, D. 1997. Biodiversity and ecosystem functioning. Julkaisussa: Daily, G. (toim.). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington, DC. s. 93–112.
- Toman, M.A. 1998. Why not to calculate the value of the world's ecosystem services and natural capital. *Ecological Economics* 25(1): 57–60.
- Turtiainen, M. 2000. Vertailu ympäristövaikutusten arviointimeneteltyssä. *Suomen ympäristö* 391: 1–68.
- Tyrväinen, L. 1999. Monetary valuation of urban forest amenities in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 739. 53 + 76 s.
- Uimonen, S. 1992. Yhteiskunnallinen kustannus-hyöty-analyysi. Julkaisussa: Äijö, H., Siivola, L. & Vakkilainen, P. (toim.). Hyödyn ja vahingon arviointi vesitaloudessa. Teknillinen korkeakoulu, Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto, Vesitalouden laboratorio, Tampere. s. 61–84.
- Ukonmaanaho, L. 2001. Canopy and soil interaction with deposition in remote boreal forest ecosystems: a long-term integrated monitoring approach. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 818: 1–69.
- Uotila, E. 1994. Hyönteistuhot metsätaloudessa – tautaa tuhojen taloudelliselle analyysille. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1994(1): 69–78.
- Uusitalo, L. 1997. Kuluttajan ympäristöä koskevat valinnat. *Liiketaloudellinen aikakauskirja* 46(1): 15–31.
- Vail, D. & Hultkrantz, L. 2000. Property rights and sustainable nature tourism: adaptation and mal-adaptation in Dalarna (Sweden) and Maine (USA). *Ecological Economics* 35(2): 223–242.
- Vainio, M. 1995. Traffic noise and air pollution. Valuation of externalities with hedonic price and contingent valuation methods. Helsinki School of Economics and Business Administration, A-102. Helsinki. 239 s.
- Valentini, R., Matteucci, G., Dolman, A.J., Schulze, E.-D., Reumann, C., Moors, E.J., Granier, A., Gross, P., Jensen, N.O., Pilegarrd, K., Lindroth, A., Grelle, A., Bernhofer, C., Grünwald, T., Aubinet, M., Ceulemans, R., Kowalski, A.S., Vesala, T., Rannik, Ü., Berbigier, P., Loustau, D., Gumundsson, J., Thorgeirsson, H., Ibrom, A., Morgenstern, K., Clement, R., Moncrieff, J., Montagnani, L., Minerbi, S. & Jarvis, P.G. 2000. Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests. *Nature* 404: 861–864.
- Wallenius, P. 2001. Osallistava strateginen suunnittelu julkisten luonnonvarojen hoidossa. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 41. 346 s.
- Venäläinen, A., Rontu, L. & Solantie, R. 1999. On the influence of peatland draining on local climate. *Boreal Environment Research* 4: 89–100.
- Vesihallitus. 1983. Yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet. Vuosina 1977–1982 tehdyn tarkistustyön tulokset. *Tiedotus* 225: 1–140.
- Westoby, J. 1993. Maailmanmetsä: kansainvälisen metsätalouden perusteet. Metsätähti, Jyväskylä. 231 s.
- Viitala, E.-J. 2002. Metsän optimaalinen kiertoaika: lähestymistavat ja niiden talousteoreettinen perusta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 848: 1–128.
- Wilson, M.A. & Howarth, R.B. 2002. Discourse-based valuation of ecosystem services: establishing fair outcomes through group deliberation. *Ecological Economics* 41(3): 431–443.
- Vincent, J.R. 1999a. Net accumulation of timber resources. *Review of Income and Wealth* 45(2): 251–262.
- 1999b. A framework for forest accounting. *Forest Science* 45(4): 552–571.
- 2000. Green accounting: from theory to practice. *Environment and Development Economics* 5(1&2): 13–24.
- Väisänen, R., Biström, O. & Heliövaara, K. 1993. Subcortical Coleoptera in dead pines and spruces: is primeval species composition maintained in managed forests? *Biological Conservation* 2: 95–113.

327 viitettä