

**Metsätalouden integrointi metsä-  
teollisuuden tuotteiden  
elinkaariarviointiin**

**Simo Kaila**

**Metsätehon raportti 117  
2.8.2001**

# **Metsätalouden integrointi metsäteollisuuden tuotteiden elinkaariarviointiin**

**Simo Kaila**

Metsätehon raportti 117  
2.8.2001

Lyhennelmä raportista 116 Integrating forestry into the life cycle assessment (LCA) of forest products

Konsortiohanke: A. Ahlström Osakeyhtiö, Koskitukki Oy, Kuhmo Oy, Metsähallitus, Metsäliitto Osuuskunta, Metsäteollisuus ry, Pölkky Oy, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj, Vapo Timber Oy, Visuvesi Oy

Asiasanat: elinkaariarviointi, inventaarioanalyysi, ISO 14040, uudistuva luonnonvara, monimuotoisuus, metsätalous, puuntuotanto, mallinnus

© Metsäteho Oy

Helsinki 2001

## SISÄLLYS

<b>ALKUSANAT .....</b>	<b>4</b>
<b>TIIVISTELMÄ .....</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO .....</b>	<b>6</b>
<b>2 METSÄTALOUDEN ERITYISPIIRTEET</b>	
<b>ELINKAARIARVIOINNISSA .....</b>	<b>8</b>
2.1 Tavoitteet elinkaariarvioinnissa.....	8
2.2 Metsä uudistuvana luonnonvarana .....	8
2.3 Metsien monimuotoisuus.....	8
<b>3 MALLINNUKSEN TYÖKALUNA METSÄTALOUDEN</b>	
<b>SISÄLLYTTÄMISESSÄ ELINKAARIARVIOINTIIN.....</b>	<b>10</b>
3.1 Mallinnustehtävä .....	10
3.2 Mallinnustyökalut.....	11
<b>4 PÄÄTELMÄT.....</b>	<b>12</b>
<b>KIRJALLISUUTTA.....</b>	<b>12</b>

## ALKUSANAT

Tämä raportti on lyhennelmä laajemmasta englanninkielisestä esityksestä. Se sisältyy projektiin *Tutkimustiedon analysointi ja hyödyntäminen ympäristöjärjestelmän ympäristövaikutusten arvioinnin keinoin*, joka on osa *Puuhuollon ympäristöjohtamisen välineet* -tutkimuskonsortiota.

Projekti käsittelee pääasiassa ympäristöjärjestelmien toimivuutta ympäristövaikutusten käsittelyn osalta. Tämä raportti tarkastelee projektin muiden raporttien täydennyksenä elinkaariarvioinnin mahdollisuuksia toimia ympäristöjohtamisen välineenä; missä määrin ja miten sillä voidaan kattaa ympäristönhallinnan olennaisia kysymyksiä.

*Puuhuollon ympäristöjohtamisen välineet* -tutkimuskonsortio on Metsäalan tutkimus-ohjelmaan *Wood Wisdom* kuuluva hanke, joka ohjelman kautta on saanut rahoitusta Tekesistä. Konsortiota on rahoittanut myös Biodiversiteettitutkimusohjelma *FIBRE*. Konsortion muut hankkeet Metsätehossa ovat *Monimuotoisuuden mittaaminen ja seuranta* ja *Puuntuotanto- ja hankintavaiheet metsän tuotteiden elinkaarilaskennassa*. Viimeksi mainittuun liittyy vielä kaksi muuta Metsäalan tutkimusohjelman hanketta, Joensuun yliopistossa toteutettu metsien kehityksen ja aine- ja energiavirtoja käsittelevä rinnakkaishanke sekä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsätalouden elinkaari- ja ekotaselaskennan tiedonkeruun kehittämistä koskeva hanke. Tässä raportissa käsiteltyä monimuotoisuuden määrittämistä on yksityiskohtaisesti tarkasteltu ensin mainitussa hankkeessa <sup>1</sup>. Raportissa mainitut mallinnustyökalut on kehitetty edellä kolmessa viimeksi mainitussa hankkeessa, ja esitellään tarkemmin niiden raporteissa <sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> ks. Strandström, M. 2001. *Monimuotoisuuden mittaamisen ja seurannan toteuttamismahdollisuudet*. Metsätehon raportti 106, 15.5.2001.

<sup>2</sup> ks. Imponen, V., Alden, S., Kaila, S., Korpilahti, A., Pitkänen, S., Wessman, H., Örn, J., 2001. *Puuraaka-aineen tuotanto elinkaarilaskennassa*. Metsätehon raportti 119, 6.8.2001.

## TIIVISTELMÄ

Luonnonarvojen painotuksessa metsänhoidossa on tultu nykyisen tietämyksen rajoille, "ekosysteemin hoidon" edelleen kehittämisessä kohdataan olennaisia ongelmia epävarman ja sirpaloituneen informaation takia. Samalla, kun ympäristöasioiden parempaan hallintaan tarvitaan lisää tutkimustietoa, käytännön metsätalous on kiinnittänyt odotuksia ympäristönhallinnan välineisiin, etenkin laatu- ja ympäristöjärjestelmiin ja elinkaariarviointiin.

Elinkaariarviointi on alun perin tarkoitettu käsittelemään tuotejärjestelmiä "raaka-aineen hankinnasta valmistukseen, käyttöön ja loppukäsittelyyn". Sellaisissa tuotteissa, jotka perustuvat uudistuvaan ja aktiivisesti kyseistä raaka-ainekäyttöä varten hoidettuun luonnonvaraan, tarkastelun katkaiseminen tuotantoketjun alkupäästä raaka-aineen hankinnan kohdalta ei ole hyvä lähtökohta, sillä se jättää luonnonvaran hoidon tason huomiotta.

Metsätalouden ja metsäteollisuustuotteiden elinkaariarviointia esitetään kehitettäväksi siten, että tarkasteltavaa teknistä järjestelmää laajennetaan käsittelemään puuraaka-aineen tuotannosta aiheutuvat aine- ja energiavirrat. Olennainen, mutta samalla ongelmallinen määritettävä on metsänhoidon tason ja hiilen sekä ravinteiden kierron yhteys. Informaatio tähän voidaan tuottaa kohtuullisen luotettavasti mallintamalla, hyödyntäen metsäekologista tutkimusta sekä metsäorganisaatioiden tiedonkeruu- ja suunnittelujärjestelmiä. Elinkaariarviointiin hahmotettiin kaksi erilaista tarkastelutapaa, korjuukohteittainen ja metsäaluekohtainen tarkastelu. Edellisessä hakkuiden aiheuttamat tulevat metsänhoitotyöt sekä aine- ja energiavirrat mallinnetaan ajan yli. Jälkimmäisessä laajahkoa metsäaluetta käsitellään raaka-ainelähteenä, josta esimerkiksi vuositasolla kirjataan tulevat ja lähtevät aine- ja energiavirrat.

Monimuotoisuus on ympäristönhallinnan koetinkivi. Nykyisen tietämyksen perusteella näyttää siltä, että sitä ei elinkaariarviointia tai muita vastaavia tarkoituksia varten kyetä määrällisesti riittävän hyvin analysoimaan. Elinkaariarvioinnissa biodiversiteettiä näyttää olevan mahdollista käsitellä vain erityisten indikaattorien avulla.

# 1 JOHDANTO

Metsätalous kävi viime vuosikymmenellä läpi perusparadigman muutoksen kun luonnonarvojen huomioonottaminen metsätaloudessa tuli taloudellisten ja tuotannollisten tavoitteiden rinnalle. Metsänkäsitteilyn menetelmien muutokset vietiin niin käytännön kuin lainsäädännönkin tasolle. Muutokset perustuivat organisaatioiden asiantuntijatietämykseen ja ennemminkin tutkimuksesta saatuihin viitteisiin kuin sen antamiin vastauksiin käytännön ongelmiin. Menetelmien edelleen kehittämisen nähdään kohtaavan suuria vaikeuksia epävarman tietopohjan takia.

Muutoksen rinnalla metsätalouden ympäristöjohtamiseen on tullut uusia apuvälineitä, ensin laatu- ja ympäristöjärjestelmät, sitten metsäsertifiointi. Sittemmin myös elinkaariarviointi tuli metsätaloudessa ajankohtaiseksi, alunperin siksi, että metsäteollisuuden elinkaari- ja ekotaselaskentaa haluttiin saada pitävämmäksi niin tuotantoketjun loppu- kuin alkupäänkin osalta. Metsätaloudessa näihin välineisiin kiinnittyy toiveita sekä ympäristönhallinnan että kehittämistyön välineinä. Keskeistä on, mitä informaatiota voidaan kullakin välineellä parhaiten käsitellä, sekä miten ja missä määrin erityisesti monimuotoisuutta koskevia kysymyksiä voitaisiin hallita.

Elinkaariarviointi on laatu- ja ympäristöjärjestelmän tavoin syntynyt teollisen tuotantotoiminnan tarpeisiin. Ympäristöjärjestelmästandardi ISO 14 001 luetteloit huomioon otettavina asioina mm. päästöt ilmaan ja vesistöihin, jätehuoltokysymykset, maan saastumisen sekä luonnonvarojen ja raaka-aineiden käytön (Anon. 1996). Elinkaariarviointistandardien ISO 14 040:n ja ISO 14 041:n johdanto-osat esittelevät elinkaariarvioinnin tekniikkana, jossa ympäristövaikutuksia tarkastellaan ”tuotteen koko elinajalta ... raaka-aineen hankinnasta valmistukseen, käyttöön ja loppukäsittelyyn” (Anon. 1997) ja analysoidaan tuotejärjestelmän ympäristösuorituskykyä energian ja raaka-aineiden käytön sekä päästöjen suhteen (Anon. 1998). Kirjaimellisesti ymmärrettynä luonnehdinta rajaa puuraaka-aineen tuotannon aine- ja energia- virttoineen tuotejärjestelmän ulkopuolelle.

Rajoittuminen perinteiseen, vaikkakin standardien mukaiseen elinkaariarviointiin raaka-aineen hankinnasta alkavine inventaarioanalyysivaiheineen merkitsee puun tuotannon osalta pidättymistä ei-määrälliseen analyysiin, joka hyödyntää sängen vajaan saatavissa olevaa informaatiota. Vaikka elinkaariarvioinnin seuraava vaihe, vaikutusarviointi käsittää lopullisten - esimerkiksi ilmastonmuutokseen ja monimuotoisuuteen ulottuvien - ympäristövaikutusten laskennallisen hahmottamisen, sen yhteys tuotejärjestelmään ei tosiasiallisesti toimi, jos vaikutuksia käsitellään puutteelliseen inventaarioanalyysiin perustuen. Tarvitaan erityinen soveltamisalan laajentaminen: metsätalous on mallinnettava metsänhoitotoimenpiteet sekä niiden kontrolloimat luonnonprosessit käsittäväksi kokonaissysteemiksi.

Elinkaariarvioinnin toimivuuden parantamiseksi käynnistettiin vuonna 1997 COST E9 -yhteistyöhanke, joka tähtää eurooppalaisella tasolla elinkaariarvioinnin kehittämiseen metsäteollisuutta ja metsätaloutta varten. Elinkaari-laskennan käyttötarkoituksia alueella luonnehdittiin seuraavasti (Anon. 1997b):

- tuotetaan määrällistä ja luotettavaa tietoa tunnepohjaiseen keskusteluun metsäteollisuustuotteiden ympäristövaikutuksista teollisuuden ja päätöksentekijöiden käyttöön
- parannetaan tuotannon ja kierrätyksen tekniikoita analysoimalla tuotantoketjun vaiheiden ympäristövaikutuksia
- analysoidaan alueita, joilla tieto tuotteiden ympäristövaikutuksista on epävarmaa
- tehdään mahdolliseksi samaan tarkoitukseen käytettävien eri tuotteiden vertailut

Elinkaarilaskennan ongelmina nähtiin metsätalouden maankäytön laajuus, pitkä metsäteollisuustuotteiden tuotanto- ja käyttöketju, puuntuotannosta energiakäyttöön tai loppusijoitukseen, metsäteollisuustuotteiden eliniän laaja vaihtelevuus ja vaikeaselkoiset tuotteiden, sivutuotteiden sekä jätteiden suhteet.

Määritelmiä:

*Elinkaariarviointi* (elinkaari-laskenta; life cycle assessment, LCA) tarkoittaa tuotejärjestelmän elinkaaren aikaisten syötteiden, tuotosten ja ympäristövaikutusten koostamista ja arviointia. Siihen kuuluvat seuraavat vaiheet:

- *tavoitteet ja soveltamisala* määritellään asianmukaisella tavalla aiotun sovelluksen (tuotekehitys, strateginen suunnittelu, tiedottaminen, markkinointi jne.) kannalta
- *inventarioanalyysissa* (life cycle inventory, LCI) tuotejärjestelmän elinkaaren aikaiset syötteet ja tuotokset kuvataan määrällisinä ja yhdistetään
- *vaikutusarvioinnissa* (life cycle impact assessment, LCIA) arvioidaan tuotejärjestelmän mahdollisten ympäristövaikutusten suuruus ja merkittävyys
- *tulosten tulokinnassa* jompikumpi kahdesta edellisestä tai molemmat yhdistetään elinkaariarvioinnin tavoitteiden ja soveltamisalan kannalta mielekkäisiin päätelmiin pääsemiseksi

*Tuotejärjestelmä* on kokonaisuus, joka kuvataan yksikköprosesseina väli-tuotevirtoineen sekä materiaali- ja energiavirtana järjestelmään ja siitä ulos.

*Toiminnallinen yksikkö* on elinkaariarvioinnin viiteyksikkö (esim. tonni paperia), jota kohti tulokset lasketaan.

## 2 METSÄTALOUDEN ERITYISPIIRTEET ELINKAARIARVIOINNISSA

### 2.1 Tavoitteet elinkaariarvioinnissa

Metsätalouden tärkeimpinä ympäristönäkökohtina painottuvat kokonaan muut asiat kuin teollisuuden keskeisiksi ympäristökysymyksiksi yleisesti katsotut. Keskeistä on puuntuotannon kestävä kehityksen mukaisuus, ja raaka-aineen hankinnasta alkava tuotantoketju jättää tämän kokonaisuuden tarkastelun ulkopuolelle.

Metsätalouden kehittämistä koskevat metsäteollisuuden odotukset näyttävät kohdistuvan etenkin kestävä kehityksen näkökohtaan ja liittyvän metsäteollisuuden tuotteiden ympäristöominaisuuksiin ja ympäristöraportointiin. Metsätalouden lähtökohtana on, että puuraaka-aineen tuotanto olisi taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä. Sen kehittämisessä on tärkeää analysoida tätä aluetta.

Metsätalouden kestävä kehityksen näkökohtien analysoinnin välineenä elinkaariarviointi tulee kysymykseen etenkin ekologisen kestävyuden tarkastelussa. Taloudellisia ja sosiaalisia näkökohtia ei yleensä ole sisällytetty elinkaariarviointeihin, koska elinkaariarviointi on lähtökohtaisesti nähty luonnonympäristöön eikä erilaisiin ihmisen toimintoihin kohdistuvien vaikutusten analysointimenetelmäksi. Esimerkiksi Lindeijer ym. (1998) ehdottavat määritettäväksi maankäytön *vaikutuskertymää* (impact score), joka sisältäisi vaikutukset *elämän ylläpitoon* (life support function) ja *alueen biodiversiteettiin* (local biodiversity). Metsätaloudessa vastaavana jaotteluna voidaan pitää vaikutuksia metsään uudistuvana luonnonvarana sekä metsien monimuotoisuuteen.

### 2.2 Metsä uudistuvana luonnonvarana

Sellaisen luonnonvarojen hyödyntämisen sijaan, jossa tuotantojärjestelmä ulottuu pelkkään raaka-aineen ottoon, metsiä hoidetaan metsätaloudessa määrättyä raaka-aine- ja hyödykevalikoimaa tavoitellen. Pitkällä aikavälillä metsätalouden ainevirrat ja auringon säteilyenergian sitoutuminen riippuvat suuresti metsätalouden intensiivisyydestä.

Koska metsänhoito on aktiivinen osa tuotantoketjua, metsäteollisuuden elinkaariarvioinnin soveltamisala olisi luontevaa laajentaa käsittämään kaikki olennaiset puuraaka-aineen tuottamisen aine- ja energiavirrat. Tämä voidaan tehdä kohtuullisen luotettavasti metsätalouden oman tiedonhallinnan varassa ja metsäekologisen tutkimuksen tuottaman teorian avulla.

### 2.3 Metsien monimuotoisuus

Arviot, että Suomen metsäsektori ja etenkin metsätalous olisi vastuullinen noin puolesta maamme monimuotoisuusongelmista (Seppälä & Jouttijärvi 1997), korostavat monimuotoisuuden tärkeyttä ympäristönhallinnassa.



Elinkaariarvioinnin inventaarioanalyysissa edellytetty määrällinen analysointi kohtaa monimuotoisuuden osalta kuitenkin vaikeuksia. Yleisiksi maankäytön vaikutusten mittareiksi elinkaariarviointiin on ehdotettu putkilokasvien paikallista tai alueellista lajimäärää (Lindeijer ym. 1998, Köllner 2000), mutta ratkaisu yksinkertaistaa todellisuutta suuresti.

Monimuotoisuus ymmärretään nykyisin paljon laajemmin kuin lajiston monimuotoisuutena. Ns. Rion biodiversiteettisopimus määrittelee monimuotoisuuden tarkoittamaan yleensä elävien organisaatioiden vaihtelevuutta, sisältäen mm. maa-, meri- ja muut vesiekosysteemit ja ekologiset kokonaisuudet, joiden osia ne ovat; tähän kuuluu vaihtelevuus niin lajien sisällä ja niiden välillä kuin ekosysteemienkin tasolla (Anon. 1993b).

Monimuotoisuus ei siten ole mikään eliöyhteisön yksikäsitteinen piirre, vaan pikemminkin luonnon yleinen ominaisuus. Sitä on tarkasteltava lisäksi samalla useista ajallisista ja alueellisista mittakaavoista. Edelleen on huomattava, että prosessit, jotka ilmenevät laaja-alaisina, myös yleensä vaativat pitkän ajan (Niemi 1999). Mittakaavaongelmat tekevät monimuotoisuuden hyvin vaikeasti analysoitavaksi.

Vaikka monimuotoisuus ymmärrettäisiin pelkistetyimminkin, metsänhoidon ja yleisesti maankäytön yhteys sitä kuvaaviin analysointituloksiin jäisi epäselväksi. Tulosten tulkinnassa voidaan katsoa olevan seuraavat ongelmat:

- elinympäristöjen ja lajien vaihtelu ja runsaus riippuvat maan viljavuudesta ja ilmastosta
- metsätalous toimii vuosittain 2 - 4 prosentilla käytössä olevasta maa-alasta: havaittava monimuotoisuus on metsien aiemman käsittelyn, häiriödynamiikan ja metsäekosysteemin sukkessiokehityksen tulos
- monet lajit elävät keskinäisessä yhteydessä olevissa paikallispopulaatioissa, jotka voivat reagoida hitaasti ja vaikeasti ennustettavasti elinympäristön muutoksiin

Koska luonnon dynamiikkaa ei yksityiskohtaisesti tunneta, jäisi epäselväksi, miltä osin monimuotoisuuden tila olisi seurausta tarkasteluhetkellä harjoitettavasta maankäytöstä soveltamistapoineen ja miltä osin olosuhteista ja aiemmasta maankäytöstä. Lukuarvoksi puristettuna monimuotoisuuden käyttöarvo jäisi vähäiseksi.

### 3 MALLINNUS TYÖKALUNA METSÄTALOUDEN SISÄLTYTTÄMISESSÄ ELINKAARIARVIOINTIIN

#### 3.1 Mallinnustehtävä

Puuraaka-aineen tuotanto määritellään tässä metsäteollisuuden tuotejärjestelmän osana, joka käsittää puun tuottamisen, korjuun ja kuljetuksen prosessit.

*Korjuu* ja *kuljetus* toimivat lyhyellä, viikkojen - kuukausien aikajänteellä. Prosessit muodostavat puuraaka-aineen hankinnan, ja ne ovat käsiteltävissä ISO 14 000 -sarjan standardien mukaisella inventaarioanalyysillä ja vaikutusarvioinnilla ilman minkäänlaisia tulkintaongelmia. Prosesseja voidaan luonnehtia läpinäkyviksi, ja niitä määrittävä informaatio on runsasta ja tarkkaa.

*Puun tuottaminen* sen sijaan kohtaa elinkaariarvioinnissa vaikeuksia. Sen prosessi toimii vuosikymmenten aikajänteellä. Aiemman maankäytön enemmän tai vähemmän muovaamat ja siksi luonnontilaisesta poikkeavat metsäekosysteemit ovat tuotantoyksikköinä, ja näiden luonnonprosesseja ohjaavat, mutta eivät täysin kontrolloi valitun metsänhoidon tason mukaiset toimenpiteet. Tällaisina prosessit ovat kompleksisia, eikä niitä ilman muuta voida sovittaa inventaarioanalyysiin.

Periaatteessa puun tuottamisen mallintamisessa on seuraavat toteutusvaihtoehdot:

- määritetään aine- ja energiavirrat, jotka koskevat toiminnalliseen yksikön, esimerkiksi paperitonin tuottamiseen tarvittavaa raaka-ainemäärää
- määritetään aine- ja energiavirrat, jotka koskevat metsäalueen puuraaka-aineen tuotantoa

Ensin mainittu vaihtoehto sopii luontevasti hyvin metsäteollisuustuotteiden elinkaariarviointiin ja seuraava vaihtoehto ekotaselaskentaan. Ensin mainittu vaihtoehto voidaan periaatteessa edelleen toteuttaa joko siten, että korjuun lisäksi kuvataan joko kaikki edeltävät tapahtumat kiertoajan alkuun tai kaikki seuraavat tapahtumat kiertoajan loppuun. Ratkaisuperuste on täysin käytännöllinen: edelliseen liittyy epävarmuus aiemmista vaiheista, eikä vuosikymmeniä taaksepäin ulottuvan historian tarkastelua voitane pitää elinkaariarvioinnin tarkoituksen kannalta tarkoituksenmukaisena. Jälkimmäinen edellyttää, että metsänhoito on luotettavasti ennakoitavissa ja että mallit toimivat riittävän hyvin.

Puun tuottamisen käsittely elinkaariarvioinnissa ei kuitenkaan kaadu tietopohjaongelmiin. Metsätalous on rutiininomaisesti inventoinut metsien kasvua ja tuotosta ja mallintanut metsien kehitystä sekä metsikköinä että yksittäisinä puina. Ekofysiologiseen ja metsäekologiseen tutkimukseen perustuva prosessimallinnus on tuonut uusia mahdollisuuksia metsänkäsittelyn aiheuttamien aine- ja energiavirtojen tarkasteluun. Yhdistämällä metsätaloutta ja sen toimenpiteitä koskeva tietopohja metsien kehityksen mallinnukseen,

tutkimushankkeessa on kehitetty malleja, joilla puun tuottamisen analysointi kävisi päinsä riittävän yksityiskohtaisesti sekä erilaisten metsänkäsittelyjen vertailua että metsänhoitomenetelmien tarkastelua varten.

Jotta sekä metsätalouden kehittämisen että metsäteollisuuden tuotteiden elinkaari- ja ekotaselaskennan vaatimukset voitaisiin täyttää, hahmotettiin kaksi erilaista tarkastelutapaa: 1) korjuukohdekohtainen ja 2) metsäaluekohtainen tarkastelu. Tarkoituksena oli, että samoja perusmalleja voidaan soveltaa kummassakin tarkastelussa.

*Korjuukohdekohtainen tarkastelu* kohdistuu sen tyyppisiin korjuutyömaihin, joilta määrätyn metsäteollisuuden tuotteen puuraaka-aine hankitaan. Tarkastelu on siten tuotelähtöinen. Puunkorjuussa ja kuljetuksessa voidaan käyttää inventaariota, ja samojen korjuukohteiden puiden mahdollisesti erilaista raaka-ainekäyttöä joudutaan ratkomaan allokoinnilla. Puun tuottamista on korjuukohdekohtaisessa tarkastelussa käytännöllistä käsitellä korjuun seurauksena, vaikka tästä seuraa ennustamisongelmia, jotka on ratkaistava mallintamalla. Tällöin puuraaka-aineen korjuu ja metsänuudistamistyöt ovat kuitenkin sellaisessa syy-seuraussuhteessa, joka vastaa metsätalouden suunnittelussa yleisesti omaksuttua ajattelua.

*Metsäaluekohtainen tarkastelu* on luonteeltaan enemmän ekotasetyyppinen tarkastelu. Laaja, esimerkiksi metsäkeskuksen alue on tuotantoyksikkö, jossa metsätalouden toimenpiteet, kasvu sekä aine- ja energiavirrat voidaan selvittää inventaariolla sopivalla aikavälillä, jonka pituus voi olla vuosi tai enemmän. Tämän tarkastelun etuna on metsätalouden toimintojen realistinen kuvaus, mutta ongelmana on se, että määrätyn ajankohdan metsänhoitotyöt eivät ole loogisessa syy-seuraussuhteessa samanaikaisiin hakkuisiin.

Kuvatut tarkastelutavat ovat periaatteellisia vaihtoehtoja, jotka käytännössä eivät ole toisiaan poissulkevia. Käytännön ekotaselaskelmissa ja elinkaari-tutkimuksissa voi tehtävästä riippuen sellainen sovellus olla toimivin, jossa on piirteitä molemmista tarkasteluista.

Kumpikaan tarkastelu ei kata monimuotoisuutta. Tämä on paha puute, ja vähentää elinkaariarvioinnin toimivuutta kokonaisuutena. Monimuotoisuuden käsittely indikaattorien avulla tuntuu lupaavimmalta mahdollisuudelta saada otetta myös tähän kokonaisuuteen. Asiaa selvitetään hiljattain alkaneessa yhteispohjoismaisessa tutkimuksessa.

## **3.2 Mallinnustyökalut**

Tutkimuksessa kokeiltiin yhdessä Joensuun yliopiston kanssa tämän kehitetyn metsien kasvua ja ravinteiden kiertoa simuloivan prosessimallin käyttöä elinkaariarvioinnin komponenttina. Metsäteho osallistui kyseisen mallin metsien käsittelyä ja puunkorjuuta koskevien osien määrittelyyn. Mallista laadittiin metsikkötasolla toimiva sovellus käyttöliittymineen. Mallilla voidaan ennustaa puustotunnusten sekä puuston ja maan hiili- ja typpi-varojen kehitystä. Metsikkö koostuu sijainneiltaan määritetyistä, toisiinsa

vuorovaikutuksessa olevista puista, jotka kilpailevat valosta, vedestä ja ravinteista. Puun kasvua rajoittavat ilmasto, metsikön valo-olosuhteet sekä typen kierto.

Tutkimuksessa selvitettiin myös Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion kanssa tämän toteuttaman kehittämishankkeen yhteydessä, millaista aineistoa yksityismetsätalouden tilastoista ja suunnittelujärjestelmistä on saatavissa metsätalouden ja metsäteollisuuden ekotase- ja elinkaariarviointiin. Esimerkkimetsäkeskuksen alueelta tuotettiin seuraavantyyppisiä laskelmia:

- metsätöiden päästölaskelmat
- metsien ekotase
- metsien hiili- ja typpimäärien kehitys

Metsätöiden päästö- ja metsien ekotaselaskelmat tehtiin metsälautakunnan vuositilastojen pohjalta, ja edellisissä käytettiin Metsätehon laskentamalleja. Metsien hiili- ja typpimäärälaskennassa hyödynnettiin metsäkeskuksen metsäsuunnittelua, ja tulokset laskettiin puun eri osien kuivamassojen perusteella.

## 4 PÄÄTELMÄT

Metsätalouden ja metsäteollisuuden tuotteiden elinkaariarvioinnin tarpeet ovat ilmeisesti siinä määrin erilaiset, että yksi ainoa elinkaaritutkimusmalli ei niitä kata. Metsätalouden kehittämisen tarpeisiin tarvitaan prosessi- ja kasvupaikkakohtaista tiedonkeruuta ja mallinnusta. Metsäteollisuuden tuotteiden elinkaariarviointiin ja eri tuotannonalojen vertailuun tarvitaan sen sijaan pelkistettyjä sovelluksia, joissa käytetään indikaattoreita ennemmin kuin puuraaka-aineen tuotantoprosessien määrällistä kuvaamista. Näitä eri taseisia sovelluksia ei kuitenkaan tulisi kehittää toisistaan erillään, vaan niiden olisi perustuttava samaan tutkimuspohjaan ja teknisten ja luonnonjärjestelmien tuntemukseen.

Monimuotoisuuden määrittäminen ja käsittely elinkaariarvioinnissa on erittäin vaikeaa. Asiassa on sekä käsitteellisiä että käytännöllisiä ongelmia. Vaikka nämä olisivat ratkaistavissakin, jää epäselväksi, missä määrin tulos on seurausta nykymetsätaloudesta. Monimuotoisuuden käsittelyyn voisi tarjota mahdollisuuksia lähinnä indikaattorien käyttöä.

## KIRJALLISUUTTA

Anon. 1993. Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, 16-17 June 1993 in Helsinki. Resolution H2 'General Guidelines for the Conservation of the Biodiversity of European Forests'. Documents. Ministry of Agriculture and Forestry of Finland. Conference Secretariat.

- Anon. 1996. SFS-EN ISO 14001. Ympäristöjärjestelmät. Spesifikaatio ja ohjeita sen käyttämiseksi. Environmental management systems. Specification with guidance for use. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Anon. 1997. SFS-EN ISO 14040. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Periaatteet ja pääpiirteet. Environmental management. Life cycle assessment. Principles and framework. 22 pp. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Anon. 1997b. Memorandum of Understanding for the implementation of a European Concerted Research Action designated as COST action E9, "Life cycle assessment of forestry and forest products". Technical annex. Brussels, 11 April 1997. COST 233/97.
- Anon. 1998. SFS-EN ISO 14041. Ympäristöasioiden hallinta. Elinkaariarviointi. Tavoitteiden ja soveltamisalan määrittely ja inventaarioanalyysi. Environmental management. Life cycle assessment. Goal and scope definition and inventory analysis. 40 pp. Suomen Standardisoimisliitto SFS.
- Hanski, I.** 1994. Patch-occupancy dynamics in fragmented landscapes. *Trends in Ecology and evolution* 9: 131-135.
- Karjalainen, T.** 1996. Model computations on sequestration of carbon in managed forests and wood products under changing climatic conditions in Finland. *Journal of Environmental Management* 47:311-328.
- Köllner, T.** (2000). Species-pool Effect Potentials (SPEP) as a yardstick to evaluate land-use impacts on biodiversity. *Journal of Cleaner Production* 8: 293-311
- Lindeijer, E., Kampen, M., Fraanje, P., van Dobben, H., Nabuurs, G.-J., Schouwenberg, E., Prins, D., Dankers, M. & Leopold, M.** 1998. Biodiversity and life support indicators for land use impacts in LCA. Ministry of Transport, Public Works and Water Management; Directorate-General of Public Works and Water Management. Publication series raw materials Nr 1998/07. W-DWW-98-059. Delft.
- Niemelä, J.** 1999. Management in relation to forest disturbances and dynamics. *Forest Ecology and Management* 115:127-134.
- Seppälä, J. & Jouttijärvi, T.** (eds.) 1997. Metsäteollisuus ja ympäristö. Forest Industry and the Environment. The Finnish Environment 89. Finnish Environment Institute, Ministry of the Environment. In Finnish with English documentation page.