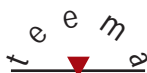


Olli Salminen

## Kiertoaikamallin rooli MELA-ohjelmistossa



### MELA metsätalouden suunnittelun työväline

Metsätalouden suunnittelulla haetaan vastauksia metsien tuotanto- ja käyttömahdollisuuksista pitkällä aikavälillä ja siihen miten metsiä on hoidettava päätöksentekijän tavoitteet saavuttaen. MELA (MEtsäLAskelma) on Suomen olosuhteisiin kehitetty metsätalouden suunnitteluväline, joka koostuu käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja tuottavasta yksittäisiin puihin perustuvasta metsikkösimulaattorista ja näitä vaihtoehtoja vertailevasta optimointiosasta. Nykymuotoinen MELA-ohjelmisto (Siitonen ym. 1996) otettiin käyttöön 1980-luvulla METSÄ 2000-ohjelmaa laadittaessa, vaikka sen perustat luotiin jo 1968 ilmestyneessä Pekka Kilkin väitöskirjassa ”Income-oriented cutting budget – Tulotavoitteeseen perustuva hakkuulaskelma”.

MELAssa metsien käsittely ratkeaa optimoinnin tuloksena. Valintoja varten simulaattori tuottaa metsiköille (laskentayksiköille) käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja esimerkiksi harvennusten voimakkuutta, niiden lukumäärää ja ajoittumista tai uudistamistapaa ja -ajankohtaa vaihtelemalla. Tästä vaihtoehtojen joukosta haetaan päätöksentekijöiden tavoitteiden suhteen tehokkaat tuotanto-ohjelmat. Tietokoneajan ja levytilan säästämiseksi vaihtoehtojen muodostumista supistetaan käytännössä ennalta asetuin rajoituksin, jotka esim. nykyisessä MELA-99 -versiossa perustuvat Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion suosituksiin vuodelta 1994. Opti-

moinnin mukaista metsänkäsittelyä voidaan pitää näin vain osittain endogeenisenä – mallista ratkeavana.

MELAssa vaihtoehtojen vertailu ja valinta perustuu lineaariseen ohjelmointiin (JLP, Lappi 1992), jossa lineaariselle tavoitefunktiolle haetaan maksimia tai minimiä lineaaristen rajoitteiden suhteen. Lineaarisen ohjelmoinnin ehtoja kuten muuttujien lineaarisuutta, yhteenlaskettavuutta, jaettavuutta tai positiivisuutta ei tässä yhteydessä tarkastella, vaan lukijoita kehoitetaan tutustumaan alan runsaaseen kirjallisuuteen. Matemaattisesti LP-malli voidaan esittää seuraavasti:

$$\begin{aligned} \max/\min Z &= c^T x & [1] \\ \text{sitien että,} \\ Ax &\leq / \geq b \\ x &\geq 0 \end{aligned}$$

jossa  
 $Z$  = tavoitefunktion arvo  
 $c^T$  = päätösmuuttujien käännetty kerroinvektori ( $1 \times n$ )  
 $x$  = päätösmuuttujien vektori ( $n \times 1$ )  
 $A$  = teknisten kertoimien matriisi ( $m \times n$ )  
 $b$  = rajoitevektori ( $m \times 1$ )

MELAn optimointitehtävä on avoin, päätöksentekijän määritettävissä. Tämä merkitsee sitä, että tavoitemuuttujaksi ja rajoitteiksi voidaan valita mikä tahansa MELA-mallin nykyisestä tuhannesta päätösmuuttujasta tai näiden lineaariyhdistelmästä.

Metsätalouden suunnittelun optimointitehtävä on useimmiten hierarkkinen; suunnittelulla haetaan metsälötason optimia ja yksittäisen metsikön käsittelypäättös ratkeaa tämän optimin tuottaen. Metsikön käsittely voi näin poiketa metsikkötason parhaimmasta käsittelyvaihtoehdosta.

## MELA ja Faustmannin kiertoaikamalli

Rationaalisen käyttäytymisen oletuksella metsien käytön tavoitteena on niistä saatavan hyödyn maksimointi. Jos oletamme lisäksi yksinkertaista hyödyn perustuvan vain puuntuotantoon, niin keskeisimmät päätöksenteon kysymykset liittyvät metsiköiden kasvustustiheyden (milloin harvennetaan ja miten paljon) ja pitoajan määrittämiseen (koska puusto uudistetaan) sekä metsiköiden välisen suoritusjärjestyksen muodostamiseen.

Faustmannin (1849) esittämän maanarvon laskentamallin [2], joka itse asiassa tunnetaan metsätalouden ulkopuolella päättymättömän jaksottaiserän nykyarvomallina, on yleisesti hyväksytty ratkaisevan teoreettisesti oikein puunkasvatukseen liittyvät taloudelliset kysymykset, koska se ottaa huomioon myös puuston ja puunkasvatukseen käytetyn maan arvon (esim. Johansson ja Löfgren 1985). Ratkaistaessa [2] ajan suhteen tuloksena on metsikön optimikiertoaika ( $T = T^*$ ).

$$SEV = \frac{\sum_{t=0}^T (R_t - C_t)(1+i)^{T-t}}{(1+i)^T - 1} \quad [2]$$

$SEV$  = paljaan maan odotusarvo

$t$  = aika

$T$  = metsikön kiertoaika

$R_t$  = tulot hetkellä  $t$

$C_t$  = kustannukset hetkellä  $t$

$i$  = laskentakorkokanta (0.0p %)

MELA-analyyseissä nettotuottojen nykyarvo on yksi keskeisimmistä taloudellisista päätösmuuttujista. Nettotuottojen nykyarvo kullekin metsikölle lasketaan yhtälön [3] mukaisesti. Tuotot muodostuvat tienvarsihinnoilla lasketuista hakkuutuloista ja kustannukset metsänhoidon, metsänparannuksen sekä hakkuiden menoista. Metsiköiden summa on koko

metsäalueen nettotuottojen nykyarvon summa. Maanarvon laskenta [2] lähtee paljaan maan metsityksestä ja [3] olemassa olevasta puustosta, mutta sinänsä [3] on vain [2] laajennus.

$$NPV = \frac{\sum_{t=q}^T (R_t - C_t)(1+i)^{T-t} + SEV}{(1+i)^{T-q}} \quad [3]$$

$NPV$  = nettotuottojen nykyarvo

$q$  = laskentahetki

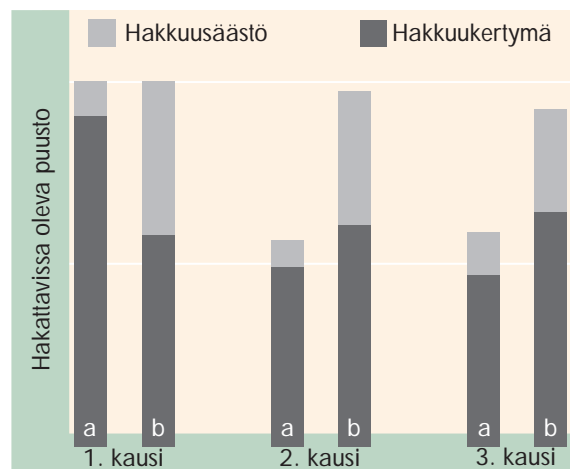
$T$  = metsikön lyhin kiertoaika suunnitteluajanjänteen (yleensä 50 vuotta) jälkeen tai koko MELA laskentajakso (151 vuotta); kumpi vain on lyhyempi

$SEV$  = paljaan maan arvo

muut katso [2]

Maanarvon laskentamallin [2] kritiikki on kohdistunut sen olettamuksiin täydellisistä pääomamarkkinoista, vakiohinnoista, tunnetusta puuntuotoksesta, täydellisistä maamarkkinoista sekä lähtökohdiltaan metsikkötason tarkastelusta. Täydellisten pääomamarkkinoiden oletus merkitsee säästö- ja lainakoron yhtäsuuruutta ja että lainaa on saatavilla em. korkoon rajattomasti. Tämä ei ole ristiriidassa MELA-mallin kanssa, koska myös siinä laskentakorko on täydellisten pääomamarkkinoiden mukainen, ts. laskentakorko on vakio ja puunkasvatukseen hyödyt ovat edelleen sijoitettavissa laskentakorkoa tuottaen. Lappi ja Siitonen (1985) ovat tosin tarkastelleet eriäviä säästö- ja lainakorkoja. Metsiköiden käsittely noudatti maanarvon maksimoinnin tavoitetta (puunkasvatuksen jatkuvuuden oletuksella ja tietyin oletuksin kulutus ja säästömahdollisuudesta), mikäli säästökorko oli yhtä suuri tai suurempi kuin lainakorko. Jos säästökorko oli lainakorkoa pienempi, niin metsiköiden käsittely lähestyi tasaisen nettotulojen maksimoinnin tavoitetta.

Vakiohintojen oletus on LP-tehtävän lineaarisuusehtojen mukainen, samoin kuin oletus tunnetusta puuntuotoksesta vastaa perus LP-mallin A-matriisin deterministisyysoletusta. Täydellisten maamarkkinoiden oletus merkitsee, että maata on periaatteessa rajattomasti saatavilla, mikä käytännössä tarkoittaa, että metsämaalla ei ole puuntuotannolle vaihtoehtoja käyttöä, jolloin puunkasvatuksen aikahorisontti on ääretön. MELA-mallissa aikahorisontti on rajallinen, jolloin osa puunkasvatuksen tuotoista ja



**Kuva 1.** Hakattavissa olevan puuston kehitys runsaasti hakkuukypsiä puustoja sisältävässä metsälössä, kun (a) maksimoidaan nettotuottojen nykyarvoa ja (b) noudatetaan nousevaa kertymä- ja tulotavoitetta. ("Hakkuusäästö" nettotuottojen maksimointitavoitteessa sisältää puustot, joiden arvokasvu ylittää niiden hakkuusta syntyvän vaihtoehdoisen tuoton.)

kustannuksista jää laskelmien ulkopuolelle. Rajallisen aikahorisontin vaikutusta on yritetty lieventää pidentämällä MELAn sisältämää laskentajaksoa 151 vuoteen, koska tämän ajan jälkeen syntyvillä tuloilla ja menoilla on jo melko vähäinen vaikutus ja ottamalla yhtälön [3] mukaisesti huomioon maan tuottoarvo.

Tarkasteltaessa puhtaan kiertoaikamallin roolia MELA-analyyseissä keskeisimmäksi kysymykseksi jää poikkeako Faustmannin kiertoaikamallilla saatu metsikön käsittely metsälötason optimista johdetusta metsikön käsittelystä ja mikä merkitys tällä on. Kiertoaikamallin mukainen metsikön käsittely johtaa metsälötasolla hakkuumäärien voimakkaaseen vaihteluun, jos metsien rakenne poikkeaa sen perusteella lasketusta "normaali" metsärakenteesta.

Yksittäisen metsänomistajan kannalta puhtaan taloudellisen tuloksen maksimoiva metsien käsittely saattaa olla varsin rationaalinen lähtökohta, mutta koko kansantalouden kannalta tai ylipäätään päätöksentekijän, jonka tavoitteena on tasainen tai edistyvä puuntuotanto, näin ei ole. Päätöksentekijän hyötyfunktio ei näissä tapauksissa maanarvon las-

kentamallissa heijastu täysmääräisenä tavoitefunktioon esim. markkinoiden epätäydellisyyksistä johtuen, jolloin tulojen tai hakkuumäärien tasaisuus eivät toteudu (kuva 1).

Käytännön MELA-analyseissä kiertoaikamallin perustuva laskelma on vain yksi laskettavista skenaarioista (esim. Nuutinen ym. 1998), jonka tavoitteena on kertoa välittömien hakkuumahdollisuuksien taso, ts. lyhyen aikavälin maksimaalisen puuntarjonnan metsävaraperustan. Muilla MELA-skenaarioilla, kuten esim. suurin kestävä hakkuukertymä, pyritään muut kuin puhtaasti taloudellisen tuloksen maksimointiin pyrkivät tavoitteet ottamaan huomioon, joko suoraan tavoitefunktiossa tai kiertäen eksogeenisina rajoitteina. Eri skenaarioita ei kuitenkaan pidä tarkastella lopputuloksina, saati toteutuvan tarjonnan ennusteina, vaan ne ovat suunnitteluprosessin alkuja ja todellisuuden yksinkertaisuuskin auttavat ehkä ymmärtämään paremmin erilaisia vaihtoehtoja johtaen näin mahdollisesti myös parempiin päätöksiin.

## Lähteet

- Faustmann, M. 1849. Berechnung des Wertes, welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. *Allgemeine Forst und Jagd Zeitung* 25: 441–455. [Reprinted in English (1968): Calculation of the value which forest land and immature stands possess for forestry. *Julkaisusssa: Gane, M. (toim.). Martin Faustmann and evolution of discounted cash flow. Commonwealth Forest Institute Papers 42. University of Oxford. s. 25–55.*]
- Johansson, P-O. & Löfgren, K-G. 1985. The economics of forestry and natural resources. Blackwell, Oxford. 292 s. ISBN 0-63-114162-6.
- Kilkki, P. 1968. Income-oriented cutting budget. *Seloste: Tulotavoitteeseen perustuva hakkuulaskelma. Acta Forestalia Fennica 91. 54 s.*
- Lappi, J. 1992. JLP A linear programming package for management planning. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s. ISBN 951-401218-6, ISSN 0358-4283.*
- & Siitonen, M. 1985. A utility model for timber production based on different interest rates for loans and savings. *Silva Fennica 19(3): 271–280. ISSN 0037-5330.*
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Siitonen, M. 1998. Metsien puun-

tuotantomahdollisuudet. Teoksessa: Hänninen, H. (toim.), Puuvarojen käyttömahdollisuudet. s. 67–79. ISBN 952-5118-09-06.

Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook – 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja – The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 622. 452 p. ISBN 951-40-1543-6, ISSN 0358-4283.

■ MMM Olli Salminen (olli.salminen@metla.fi) toimii tutkijana Metlan Helsingin tutkimuskeskuksessa.