

METSÄTALOUSYKSIKÖN PUUNTUOTANNON SUUNNITTELU LINEAARISTA OHJELMOINTIA KÄYTTÄEN

PEKKA KILKKI, RAIMO PÖKÄLÄ ja MARKKU SIITONEN

SUMMARY:

LINEAR PROGRAMMING IN THE PLANNING OF TIMBER PRODUCTION IN A FORESTRY UNIT

Saapunut toimitukselle 4. 5. 1975

Tutkimuksessa on esitetty menetelmä metsäalueen puuntuotantosuunnitelman laatimiseksi lineaarisella ohjelmoinnilla. Menetelmä perustuu primaaliratkaisun käyttöön suunnittelun ensi vaiheessa, jossa tuotetaan informaatiota päätöksentekijän aitoja päätöksiä varten. Suunnittelun toisessa vaiheessa käytetään valittua puuntuotanto-ohjelmaa vastaavasta duaaliratkaisusta saatavia varjohintoja metsiköittäisten käsittelyohjelmien määräämiseen. Menetelmä mahdollistaa päätöksentekijän tavoitteita vastaavien metsiköittäisten käsittelyohjelmien ilmaisemisen suppealla joukolla varjohintoja.

1. JOHDANTO

Metsätalouslyksiköllä tarkoitetaan tässä tutkimuksessa joko yhden metsänomistajan hallussa olevaa metsälöä tai useista metsälöistä koostuvaa metsäaluetta, esimerkiksi piirimetsälautakunnan metsiä. Päätöksentekijä on joko metsänomistaja tai elin, joka tekee metsätaloudellisia päätöksiä.

Tarkastelun kohteena on se osa metsätalouden suunnittelua, joka käsittelee metsätalouslyksikön pitkän ajan puuntuotantoa. Metsätalouslyksikön puuntuotannon suunnittelun lähtökohtina ovat toisaalta päätöksentekijän tavoitteet ja toisaalta suunnittelun kohteena olevan alueen metsävarat sekä muut käytettävissä olevat tuotannon tekijät. Suunnittelun ensimmäisenä teh-

tävänä on tuottaa päätöksentekijälle tietoa vaihtoehtoisista puuntuotanto-ohjelmista eli määritellä tuotantomahdollisuuksien raja (vrt. LIPSEY ja STEINER 1969; KILKKI ja PÖKÄLÄ 1975). Tämän tiedon sekä yleisten tulevaisuutta koskevien ennusteiden perusteella päätöksentekijä valitsee hänelle parhaiten sopivan puuntuotanto-ohjelman. Suunnittelun toisena tehtävänä on määritellä riittävän yksityiskohtaiset toimenpiteet, joita noudattaen päädytään päätöksentekijän valitsemaan puuntuotanto-ohjelmaan. Koska metsikkö on Suomessa metsätaloudellisten toimenpiteiden perusyksikkö, on toimenpideohjelma esitettävä metsikkökohtaisena.

Metsätalouden suunnittelutehtävissä on usein tuottanut vaikeuksia löytää ne metsiköiden käsittelyohjeet, joiden noudattaminen johtaa päätöksentekijän aitona päätöksenä (vrt. TÖRNQVIST ja NORDBERG 1968) valitseman puuntuotanto-ohjelman toteutumiseen. Tämä vaikeus on havaittu esimerkiksi yritettäessä sovittaa yhteen hakkuulaskelmalla saatua hakkuusuunnitetta ja metsiköittäin tehtyjä metsänhoidollisia hakkuuehdotuksia (ILVESSALO 1956). Sama ongelma syntyy myös sovellettaessa osittaismalleja metsiköittäisiin vaihtoehtolaskelmiin (HÄMÄLÄINEN 1973). Tehtävää on yritetty ratkaista esimerkiksi siten, että metsässä on jo inventoinnin yhteydessä tehty vaihtoehtoisia toimenpide-ehdotuksia metsiköille. Hakkuusuunnitteen määrittämisen jälkeen on näistä toimenpidevaihtoehdoista haettu se yhdistelmä, joka toteuttaa hakkuusuunnitteen. Jos puuntuotanto-ohjelmaan sisältyy lukuisia tavoitteita ja rajoituksia, tuottaa sopivan metsiköiden käsittelyohjelmien yhdistelmän haku käsilaskentamenetelmin suuria vaikeuksia. Tämä menetelmä ei ole edes mahdollinen silloin, kun metsiköiden käsittelyohjeet on haettava muun kuin metsiköittäisen inventoinnin tietojen perusteella.

Tässä tutkimuksessa esitetään menetelmä, jota käyttäen metsiköiden käsittelyohjeet voidaan johtaa metsätalouslyksikön puuntuotanto-ohjelmasta. Menetelmä perustuu lineaariseen ohjelmointiin. Tutkimus on jatkoa KILKKI ja PÖKÄLÄN (1975) tutkimukseen, jossa esitettyä puuntuotantomallia käytetään menetelmää kuvaavan esimerkin lähtötietojen laskentaan.

Tutkimusta ovat rahallisesti tukeneet Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiö ja Suomen Akatemia. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit KULLERVO KUUSELA ja AARNE NYSSÖNEN.

2. SUUNNITTELUMENETELMÄ

Puuntuotannon suunnittelun ensimmäisenä tehtävänä on tuottaa vaihtoehtoisia puuntuotanto-ohjelmia metsätalouslyksiköille. Tähän tarvitaan puuntuotantomalli, joka kuvaa talouslyksikön toiminnassa vallitsevia lainalaisuuksia riittävän tarkoin ja tuottaa päätöksentekijälle aitojen päätösten teossa tarvittavat tiedot.

Puuntuotantomalli päätettiin tässä työssä formuloida lineaarista ohjelmointia käyttäen. Mallia varten on suunnittelun kohteena olevan metsätaloustalouden metsäalue kuvattava joko metsikköinä tai homogeenisina metsikköryhminä, joita molempia kutsutaan jäljempänä laskentayksiköiksi. Kullekin laskentayksikölle laaditaan yksi tai useampia vaihtoehtoisia käsittelyohjelmia suunnitelmakaudeksi, jonka pituus on vapaasti valittavissa. Nämä käsittelyohjelmat ovat lineaarisen mallin aktiviteetteja.

Lineaarinen ohjelmointi valittiin suunnittelumallin perustaksi ennen muuta sen tarjoamien laskennallisten etujen vuoksi. Teoreettisesti oikeampi malli olisi edellyttänyt yleisen konveksin ohjelmoinnin käyttöä. Tällöin olisi esimerkiksi laskentayksiköiden keskinäisen sijainnin vaikutus voitu ottaa huomioon. Yleisen konveksin ohjelmoinnin teoreettisetkaan edut lineaariseen ohjelmointiin verrattuna eivät liene kovin merkittäviä, ellei suunnittelun pääpaino ole esimerkiksi lyhyelle ajalle tehtävässä puunkorjuun suunnittelussa.

Lineaarisen mallin primaalitehtävän ratkaisusta saatava tavoitefunktion arvo ja rajoitukset määrittävät yhdessä yhden pisteen tuotantomahdollisuuksien rajalla. Tavoitefunktio ja rajoitukset eivät täten periaatteessa eroa toisistaan, ja tavoitefunktion valinnan ratkaisee toisaalta laskennallinen tarkoituksenmukaisuus ja toisaalta tulkinnallinen selkeys. Tavoitefunktion ja rajoitusten valinnassa on myös suunnitelmakauden pituus otettava huomioon.

Tavoitefunktio, jonka arvoa maksimoidaan, voi ilmaista esimerkiksi metsäalueen arvon suunnitelmakauden lopussa, hakkuusuunnitteen suunnitelmakauden aikana tai nettotulojen nykyarvon. Vastaavasti voivat minimointitehtäväksi formuloidussa mallissa olla minimoitavana suurena esimerkiksi puuntuotannon kustannukset. Koska kysymyksessä on lineaarinen malli, saadaan tavoiteyhtälön arvo laskentayksiköiden arvojen summana. Lineaarisen mallin rajoituksina voivat olla esimerkiksi hakkuupoistumat eri vuosina suunnitelmakauden aikana, puuston kokonaiskuutiomäärä eri vuosina, työvoiman määrä, uudistuspinta-ala, lannoituspinta-ala, käytettävissä oleva rahapääoma jne.

Lineaarisen mallin primaalitehtävän ratkaisun on periaatteessa tuotettava päätöksentekijälle puuntuotanto-ohjelman valinnassa tarvittava informaatio. Kaikkia päätöksentekoon vaikuttavia tekijöitä ei aina kuitenkaan tarvitse eksplisiittisesti määrittellä tavoiteyhtälössä ja rajoituksissa, jos muut näissä mukana olevat muuttujat kuvaavat puuttuvia tekijöitä riittävän hyvin. Yleisenä piirteenä voidaan todeta, että mitä pitemmälle ajalle suunnitelma laaditaan sitä vähemmän erityyppisiä rajoituksia tarvitsee määrittellä. Jos suunnitelmakausi on esimerkiksi 10 vuotta, on uudistuspinta-ala todennäköisesti otettava mukaan rajoitukseksi, jotta metsän ikärakenne pysyisi toivotavana. Jos suunnitelmakausi sen sijaan on 100 vuotta, valitsee mallin ratkaisu todennäköisesti automaattisesti sellaisen uudistuspinta-alan ensimmäiselle kymmenvuotiskaudelle, että ikärakenne kehittyy halutulla tavalla.

Matemaattisesti voidaan lineaarinen puuntuotantomalli esittää seuraavasti:

$$\begin{aligned} \text{Maksimoi (tai minimoi) } z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} c_{ij} x_{ij} \\ \text{kun rajoituksina ovat} \quad &\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} = b_i \quad i = 1, \dots, m \\ &\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} a_{ijk} x_{ij} \begin{cases} \geq \\ \leq \end{cases} d_k \quad x_{ij} \geq 0 \quad k = 1, \dots, p \end{aligned}$$

jossa x_{ij} = se osa laskentayksiköstä i , jossa noudatetaan käsittelyohjelmaa j , ja
 c_{ij} = tavoitefunktion kerroin
 b_j = laskentayksikön i pinta-ala, ha
 d_k = muuttujan k rajoitus
 a_{ijk} = aktiviteetin x_{ij} pinta-alayksikköä kohti tuottama/kuluttama määrä muuttujaa k
 m = laskentayksiköiden lukumäärä
 n_i = vaihtoehtoisten käsittelyohjelmien määrä
 p = rajoitusten määrä

Tälle ns. primaalitehtävälle voidaan rajoituksia muuttamalla tai jopa malli uudelleen formuloimalla laskea uusia ratkaisuja ja näin määrittellä tuotantomahdollisuuksien raja riittävällä tarkkuudella. Näiden resurssit optimaaliseksi käyttävien tuotanto-ohjelmien joukosta päätöksentekijä valitsee itselleen parhaiten sopivan tuotanto-ohjelman.

Jos laskentayksiköt ovat metsiköitä, tuotanto-ohjelmaksi valittu optimiratkaisu ilmaisee myös metsiköittäiset käsittelyohjelmat. Täsmälleen samat käsittelyohjelmat voidaan johtaa myös primaalitehtävää vastaavan duaalitehtävän ratkaisusta. Jokaista metsikön (i) käsittelyvaihtoehtoa (j) vastaava metsikön varjohinta (V_{ij}) saadaan kaavasta:

$$V_{ij} = c_{ij} - \sum_{k=1}^p V_k \cdot a_{ijk}$$

jossa V_k = rajoitusta d_k vastaava varjohinta päätöksentekijän valitsemassa tuotanto-ohjelmassa

Se metsikön käsittelyvaihtoehto, jossa metsikön varjohinta saa suurimman arvon, vastaa primaalitehtävän optimiratkaisun mukaista käsittelyvaihtoehtoa (vrt. esim. DANTZIG 1963).

Jos laskentayksiköt ovat metsikköryhmiä, saattaa metsiköittäisten käsittelyohjelmien koostaminen pelkän primaaliratkaisun perusteella tuottaa vaikeuksia. Etenkään harvinaisilla metsikkötyypeillä ei aina ole vastinetta metsikköryhmissä. Tässä tilanteessa on mahdollista käyttää hyväksi primaaliratkaisua vastaavaa duaaliratkaisua, jonka lineaarisen ohjelmoinnin kirjasto-

ohjelmat tuottavat ilman lisäkustannuksia primaaliratkaisun yhteydessä. Varjohintoja käytetään yksityisen metsikön käsittelyohjelman valintaan siten, että kullekin tarkasteltavana olevalle kyseisen metsätalousyksikön metsikölle muodostetaan joukko käsittelyvaihtoehtoja. Näistä käsittelyvaihtoehtoista on tunnettava c_{ij} -kerroin sekä kaikki ne a_{ijk} -kertoimet, jotka vastaavat sellaisia lineaarisen mallin rajoituksia, joiden varjohinta optimiratkaisussa poikkeaa nolasta. Edellä esitetyllä metsikön varjohinnan laskentakavalla haetaan maksimivarjohinnan antava metsikön käsittelyohjelma.

Lineaarisen mallin optimiratkaisua vastaavat varjohinnat sisältävät täten periaatteessa kaikki metsiköiden käsittelyohjelmien valinnassa tarvittavat tiedot. Se, kuinka hyvin laskentayksiköt ja metsiköt sekä niiden käsittelyohjelmat vastaavat toisiaan ratkaisee, kuinka lähelle primaalitehtävässä asetettua puuntuotantotavoitetta näitä käsittelyohjelmia noudattamalla päästään. Mitä heterogeenisempiä laskentayksiköitä metsäalueen kuvaukseen on käytetty, sitä kauemmaksi saattaa varjohinnoista johdettujen metsiköittäisten käsittelyohjelmien noudattaminen johtaa valitusta puuntuotanto-ohjelmasta.

3. ESIMERKKI

Lineaarisen puuntuotannon suunnittelumallin sovellutusesimerkkinä tarkastellaan Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien yhdistetylle alueelle laadittuja puuntuotanto-ohjelmia. Alueen metsävaratiedot perustuvat valtakunnan metsien VI inventointiin. Alueen metsätalousmaa, joka käsittää yhteensä n. 2.7 miljoonaa hehtaaria, jaettiin 226 kasvupaikan ja puuston suhteen mahdollisimman homogeeniseen laskentayksikköön (vrt. KILKKI ja PÖKÄLÄ 1975). Näitä laskentayksikköjä käsiteltiin jatkossa metsikköinä.

Laskentayksiköiden käsittelyvaihtoehdot muodostettiin käyttäen KILKIN ja PÖKÄLÄN (mt) puuntuotantomallia, johon tehtiin eräitä muutoksia. Niiden seurauksena ilmaistaan kaikki kuutiomäärät kuorellisina. Puuston tilaa kuvaavat mallit on vaihdettu KILKIN ja SIITÖSEN (1975) esittämiin malleihin.

Kullekin laskentayksikölle haettiin tulevan 50 vuoden ajalle 1–8 erilaista käsittelyohjelmaa. Ne muokattiin tietokoneohjelmalla lineaarisen suunnittelumallin aktiviteeteiksi, joista tiedot saatiin viidelle 10 vuoden kaudelle. Kustakin aktiviteetista laskettiin joukko tietoja, jotka olivat käytettävissä joko lineaarisen mallin tavoitefunktiossa tai rajoituksissa. Linearisella suunnittelumallilla laadittiin kolme erilaista puuntuotanto-ohjelmaa A, B ja C. Kaikissa puuntuotanto-ohjelmissa ilmaisee maksimoitava tavoitefunktio metsäalueen nykyarvon, joka saadaan laskentayksiköiden nykyarvojen summana. Nykyarvo lasketaan diskonttaamalla siitä tulevan 100 vuoden aikana saatavat nettotulot nykyhetkeen 3 prosentin korkokantaa käyttäen. Puuntuotanto-

ohjelmassa A ei aseteta mitään rajoituksia. Ohjelmassa B ovat rajoituksina kymmenvuotiskausien poistumat, joiden on oltava 100, 108, 116, 124 ja 132 miljoonaa kuorellista kuutiometriä peräkkäisinä kausina. Ohjelmassa C ovat rajoituksina ohjelman B rajoitusten lisäksi luontaisen ja keinollisen uudistamisen pinta-alat ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella. Luontaisen uudistamisen pinta-alan on oltava 280 000 hehtaaria ja keinollisen uudistamisen pinta-alan 300 000 hehtaaria.

Kaikkien kolmen puuntuotanto-ohjelman tavoitefunktion arvo, poistumat ja uudistus-pinta-alat on esitetty seuraavassa asetelmassa. Siitä nähdään lisäksi rajoituksia vastaavat varjohinnat.

	Puuntuotanto-ohjelma					
	A		B		C	
Nykyarvo, mk	26 965 421		26 803 501		26 734 280	
Poistuma, milj. m ³	b_k	V_k	b_k	V_k	b_k	V_k
1973–83	95	0	100	12.65	100	8.48
1983–93	113	0	108	11.58	108	11.71
1993–03	142	0	116	9.80	116	10.44
2003–13	128	0	124	6.75	124	6.87
2013–23	141	0	132	3.96	132	3.75
Uud. p-ala, 1973–83, ha						
Luontainen	296 000	0	296 000	0	280 000	279
Keinollinen	299 180	0	319 000	0	300 000	1 390

Kaikki puuntuotanto-ohjelmaa kuvaavat tunnuksot, jotka eivät ole mukana tavoitefunktiossa tai rajoituksissa, voidaan tulkita sellaisiksi rajoituksiksi, joilla ei ole merkitystä ja joiden varjohinnat ovat täteu nolliä.

Varjohintojen käyttöä metsikön optimikäsittelyohjelman valinnassa tarkastellaan MT-männikössä, jonka ikä suunnitelmakauden alussa on 75 vuotta ja kuutiomäärä 206 m³/ha. Metsikölle on laadittu kaksi vaihtoehtoista käsittelyohjelmaa. Ensimmäinen ohjelma edellyttää väljennystä ensimmäisen kymmenvuotiskauden puolivälissä ja keinollista uudistamista seuraavan kymmenvuotiskauden puolivälissä. Toinen käsittelyohjelma edellyttää keinollista uudistamista ensimmäisen kymmenvuotiskauden puolivälissä. Uusi puusukupolvi on molemmissa vaihtoehtoissa kuusta. Käsittelyohjelmien antamat nykyarvot ja poistumat ovat seuraavat:

	Ohjelma 1	Ohjelma 2
Nykyarvo, mk/ha	16 309	16 194
Poistuma, m ³ /ha		
1973–83	106	234
1983–93	170	0
1993–03	0	0
2003–13	0	0
2013–23	0	38

Kumpaakin käsittelyvaihtoehtoa vastaavat metsikön varjohinnat voidaan laskea jokaiselle kolmelle puuntuotanto-ohjelmalle.

$$\text{A. } V_1 = 16\ 309 \\ V_2 = 16\ 194$$

$$\text{B. } V_1 = 16\ 309 - 12.65 \cdot 106 - 11.58 \cdot 170 = 12\ 999 \\ V_2 = 16\ 194 - 12.65 \cdot 234 - 3.96 \cdot 38 = 13\ 083$$

$$\text{C. } V_1 = 16\ 309 - 8.48 \cdot 106 - 11.71 \cdot 170 = 13\ 419 \\ V_2 = 16\ 194 - 8.48 \cdot 234 - 3.75 \cdot 38 - 1390 \cdot 1 = 12\ 677$$

Tulokset osoittavat, että puuntuotanto-ohjelmissä A ja C metsikön käsittelyvaihtoehto 1 on edullisempi ja puuntuotanto-ohjelmassa B vaihtoehto 2 on edullisempi. Kuten varjohinnoista voitiin jo päätellä, nykyarvon maksimointi edellyttäisi suurempia hakkuupoistumia kuin ohjelmassa B ja C on sallittu sekä suurempia uudistuspinta-aloja ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella kuin ohjelmassa C on sallittu. Juuri varjohinnat osoittavat, kuinka paljon nykyarvojen antamaa käsittelyvaihtoehtojen edullisuusjärjestystä on kussakin puuntuotanto-ohjelmassa korjattava, jotta rajoitukset tulisivat otetuksi huomioon.

Esimerkki osoittaa, että puuntuotanto-ohjelma A vastaa tilannetta, jossa metsiköittäiset käsittelypäätökset tehdään pelkästään yhden metsikön käsittelyn optimointiin tarkoitettuja osittaismalleja käyttäen (vrt. HÄMÄLÄINEN 1973). Nämä osittaismallit ovat taitavasti sovellettuina käyttökelpoisia myös tuotanto-ohjelmissä B ja C. Tällöin on kuitenkin esimerkiksi näyttäjäprosentin laskennassa tarvittavia puuston arvoja ja ohjelmassa C myös maan arvoja korjattava. Esimerkiksi maan arvoa on puuntuotanto-ohjelmassa C alennettava 1 390 markalla verrattuna arvoihin, jos ohjelmassa A käytettyihin metsiköissä tulee kysymykseen keinollinen uudistaminen.

4. MENETELMÄN TARKASTELUA

Esitetty menetelmä metsäalueen puuntuotantosuunnitelman laatimiseksi lineaarisella ohjelmoinnilla perustuu primaaliratkaisun käyttöön suunnittelun ensi vaiheessa, jossa tuotetaan informaatiota päätöksentekijän aitoja päätöksiä varten. Suunnittelun toisessa vaiheessa käytetään valittua tuotanto-ohjelmaa vastaavasta duaaliratkaisusta saatavia varjohintoja metsiköittäisten käsittelyohjelmien määrittämiseen.

Menetelmä on periaatteessa yksinkertainen ja mahdollistaa päätöksentekijän tavoitteita vastaavien metsiköittäisten käsittelyohjelmien ilmaisevien suppealla joukolla varjohintoja. Koska mielekkäiden rajoitusten lukumäärä ei suurimmillaankaan liene yli 20–30, voidaan kaikki metsätalouden yksikön metsiköiden käsittelyohjeet ilmaista korkeintaan tällä määrällä varjohintoja.

Keskeiseksi ongelmaksi esitettyssä menetelmässä muodostuu tarkoituksenmukaisten aktiviteettien eli käsittelyohjelmien laatiminen laskentayksiköille. Aktiviteettien joukko voi joko paisua liian suureksi tai optimiratkaisussa käyttökelpoisia aktiviteetteja ei onnistuta löytämään (vrt. KILKKI 1968). Epäonnistuminen aktiviteettien valinnassa vähentää ennen muuta varjohintojen luotettavuutta. Jonkun rajoituksen korkea varjohinta ei nimittäin saata olla seurausta rajoituksen todellisesta merkityksestä, vaan sopivien aktiviteettien puuttumisesta.

Tämän tutkimuksen esimerkissä aktiviteetit on koottu sellaisista aktiviteettijoukoista, että kukin alkuperäinen joukko edustaa jotain metsätalouden yksikössä toteutettavissa olevaa puuntuotanto-ohjelmaa. Täten ei aktiviteeteissa liene kovin monia täysin käyttökelvottomia käsittelyohjelmia. KILKIN ja PÖKÄLÄN (mt) puuntuotantomallin käyttö aktiviteettien luomiseen kuluttaa kuitenkin suhteettoman paljon tietokoneresursseja. Tulevaisuudessa olisikin pyrittävä menetelmään, jossa kullekin laskentayksikölle haettaisiin aktiviteetit erikseen. Aktiviteettien haku olisi tehtävä myös sellaiseksi, että varjohintaratkaisua voitaisiin käyttää hyväksi uusien tarkoituksenmukaisten aktiviteettien löytämiseen.

Toinen ongelma syntyy varjohintaratkaisun soveltamisessa yksityisiin metsikköihin. Käytännön suunnittelutehtävissä ei ole mahdollista laskea yksityisille metsiköille niin monia käsittelyohjelmia kuin varjohintojen tehokas käyttö edellyttäisi. Tämä ongelma voidaan ratkaista esimerkiksi siten, että tyyppimetsiköille haetaan optimikäsittelyohjelmat, joista johdettuja käsittelyohjeita noudatetaan todellisissa metsiköissä. Nämä käsittelyohjeet voidaan esittää esimerkiksi taulukkoina tai kuvina.

Tällä hetkellä valmiina oleva tietokoneohjelmisto soveltuu suuralueille, kuten piirimetsälautakunnille tehtäviin puuntuotantolaskelmiin. Pienillä alueilla sen käyttö ei vielä liene kannattavaa. Menetelmää pyritään kuitenkin kehittämään myös metsälötasolla tapahtuvaan suunnitteluun soveltuvaksi.

Tässä työssä on tarkasteltu puuntuotantoa metsätalouden yksikön ainoana toimintamuotona. Muiden käyttömuotojen puuntuotannolle asettamien rajoitusten mukaanottaminen ei kuitenkaan tuota suuria vaikeuksia. Sen sijaan muista käyttömuodoista saatavien hyötyjen tarkastelu edellyttäisi niitä koskevien kvantitatiivisten tietojen tuntemista ja liittämistä käytettävissä olevaan tietokoneohjelmistoon. Mikäli riittävän luotettavat kaikkia haluttuja metsien käyttömuotoja koskevat tiedot olisivat käytettävissä, voitaisiin laatia koko metsätaloutta koskeva suunnittelumenetelmä.

Ongelman, johon tässä tutkimuksessa ei ole puututtu, muodostaa vuotuisen puunkorjuusuunnitelman niveltäminen osaksi pitkän ajan puuntuotanto-ohjelmaa. Samoin on jätetty tarkastelun ulkopuolelle ongelmat, joita eri tasoilla olevien päätöksentekijäin keskenään ristiriitaiset tavoitteet aiheuttavat.

KIRJALLISUUTTA

- DANTZIG, G. B. 1963. Linear programming and extensions. Princeton University Press, Princeton, N. J.
- HÄMÄLÄINEN, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: Underlying models and empirical applications. Commun. Inst. For. Fenn. 77.4.
- ILVESSALO, Y. 1956. Suomen metsät vuosista 1921—24 vuosiin 1951—53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. Commun. Inst. For. Fenn. 47.1.
- KILKKI, P. 1968. Income-oriented cutting budget. Seloste: Tulotavoitteeseen perustuva hakkuulaskelma. Acta For. Fenn. 91.
- » — & PÖKÄLÄ, R. 1975. A long-term timber production model and its application to a large forest area. Seloste: Pitkän ajan puuntuotantomalli ja sen sovellutus Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueelle. Acta For. Fenn. 143.
- » — & SIITONEN, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laskenta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta For. Fenn. 146.
- LIPSEY, R. G. & STEINER, P. O. 1969. Economics. Second edition. Harper & Row, New York.
- TÖRNQVIST, L. & NORDBERG, L. 1968. Päättäntätieteen keskeisiä ongelmia. Werner Söderström Oy, Porvoo—Helsinki.

SUMMARY:

LINEAR PROGRAMMING IN THE PLANNING OF TIMBER PRODUCTION IN A FORESTRY UNIT

The planning of timber production in a forestry unit is divisible into two phases. In the first phase, planning provides the decision-maker with a number of possible timber production policies; these policies define the production possibility boundary. After the decision-maker has chosen one of these policies, planning moves to the second phase, in which a detailed programme is prepared with a view to meeting the requirements of the timber production policy accepted. This paper indicates one possibility of solving these two tasks simultaneously. In the first phase, the solution of the primal linear programming problem is employed and in the second phase the respective dual or shadow price solution.

The forestry unit under examination is divided into calculation units, which correspond either to stands, or to homogeneous groups of stands. A number of possible treatment schedules over the planning period are provided for each calculation unit; each treatment schedule constitutes one activity of the linear model.

The algebraic formulation of the linear model is:

$$\begin{aligned} \text{maximize (or minimize) } z &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} c_{ij} x_{ij} \\ \text{subject to} & \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} = b_i \quad i=1, \dots, m \\ & \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} a_{ijk} x_{ij} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} d_k \quad k=1, \dots, p \\ & x_{ij} \geq 0 \end{aligned}$$

in which x_{ij} = the part of calculation unit i treated by means of treatment schedule j , ha
 c_{ij} = the coefficient of the object function corresponding to activity x_{ij}
 b_i = the area of calculation unit i , ha
 d_k = the restriction in variable k
 a_{ijk} = the amount of variable k produced/consumed by activity x_{ij} per hectare
 m = the number of calculation units
 n_i = the number of treatment schedules for treatment unit i
 p = the number of restrictions

If the calculation units correspond to individual stands, the primal solution in itself indicates the optimal treatment schedule for each stand. Exactly the same treatment schedules can be drawn from the dual solution. The optimal treatment schedule j for each stand i is the one which maximizes the shadow price of the stand (V_{ij}) derived from the following formula:

$$V_{ij} = c_{ij} - \sum_{k=1}^p V_k a_{ijk}$$

in which V_k = the shadow price corresponding to restriction d_k

This formula is also applicable to determination of the treatment schedules of the real stands, if the calculation units represent groups of stands. Consequently, the treatment rules for all stands in a forestry unit are expressible in the concise form of a few shadow prices. Naturally, some deviations from the original timber production policy are due to occur if the treatment schedules derived from the shadow prices are followed. However, these deviations are not likely to be noteworthy if the calculation units are relatively homogeneous, and the treatment schedules of the real stands are in correspondence with those of the calculation units.

In this paper, an example is given for determination of the application of the method. The data have been drawn from the sixth Finnish national forest inventory, and correspond to the area of two forestry board districts. The treatment schedules have been derived by means of the timber production model described in a previous paper by the authors (KILKKI and PÖKÄLÄ 1975). A new ADP-system, better applicable to this task, is under construction.

LUUKKANEN, OLAVI O.D.C. 945.31: (471.1): (593) — — 097
1975. Training of Thai forestry graduates in Finland. — SILVA FENNICA
Vol. 9, No. 2, 12 p. Helsinki.

Since the year 1966, fourteen specialists from Thailand, most of them forestry graduates from the Kasetsart University in Bangkok, have studied or will start studying in Finland. Their programs have up to date been completed very successfully. Changes in the financing policy of the principal sponsor of this activity, the Finnish Government, may restrict the educational cooperation between Thailand and Finland in the future. Thai authorities, however, will probably grant a limited number of scholarships for studies carried out in Finland in the future. The experience which has been gained in the training of foreign graduates at the Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, would suggest continuation of this work with Thai students. If the program is to continue, more emphasis on research methods, preferably taught in multidisciplinary research groups would obviously be welcome, particularly if the students are likely to hold the position of university lecturer or researcher in their home country as has mostly been the case with the Thai graduates.

Author's address: Department of Silviculture, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

MAKKONEN, OLLI O.D.C. 907 — — 090.2
1975. On »the multiple use» of forests in ancient times. — SILVA FENNICA
Vol. 9, No. 2, 14 p. Helsinki.

It is possible to show that many of the after-effects resulting from the disappearance of forest cover were well known already in ancient times. The invigorating effect of moving around freely in the forest and its artistic creative ability were also recognised as well as the healing effect of coniferous forests on people suffering from consumption. Hunting and the use of forests for cattle grazing is also an extremely old practice. The so-called by-products of the forest such as tree bark and leaves, as well as berries and fruits, have played an important role in the history of mankind from the very earliest beginnings.

Author's address: Niittykumpu, 9 C, SF-02200 Espoo 20, Finland.

MIKOLA, PEITSA

O.D.C. 233:114.444

1975. Afforestation of bogs after industrial exploitation of peat. — SILVA FENNICA Vol. 9, No. 2, 15 p. Helsinki.

The article reports results of two afforestation experiments on former bogs after removal of peat. Seeding and planting alone without additional site amendment had poor success. Fertilization with wood ash and interplanting with gray alder greatly increased the survival and growth of pines. Author's address: Department of Silviculture, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, 00170 SF-00170 Helsinki 17, Finland.

HEIRAMO, TUOMAS

O.D.C. 945.4

1975. Readership study concerning scientific forestry publications. — SILVA FENNICA Vol. 9, No. 2, 40 p. Helsinki.

The aim of the study is to assess the use and importance of the forestry publications issued by the Finnish Society of Forestry and the Finnish Forest Research Institute in disseminating research information. Another goal is to obtain information required for planning publication policy. The material was collected by means of two postal inquiries. For the first of these, a sample of 200 subscribers was taken from the mailing lists of the publication series in question. Similarly, for the second inquiry a sample of 100 professional foresters was drawn from the membership registers of the Union of Finnish Foresters and of the Union of Forest Technicians, respectively. The reply percentage of the subscribers was 72 and that of the professional foresters was 64. The publication series most actively read proved to be Folia Forestalia, which was also estimated to be of the best quality. Differences between the various publication series in relation to the properties studied were not very great.

Author's address: Information Office, The Finnish Forest Research Institute, Unioninkatu 40 A, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

KILKKI, PEKKA, PÖKÄLÄ, RAIMO & SIITONEN, MARKKU

1975. Linear programming in the planning of timber production in a forestry unit. SILVA FENNICA Vol. 9. No. 2. 11 p. Helsinki O.D.C. 624

The planning of timber production in a forestry unit is divisible into two phases. In the first phase, planning provides the decision-maker with a number of possible timber production policies; these policies define the production possibility boundary. After the decision-maker has chosen one of these policies, planning moves to the second phase, in which a detailed programme is prepared with a view to meeting the requirements of the timber production policy accepted. This paper indicates one possibility of solving these two tasks simultaneously. In the first phase, the solution of the primal linear programming problem is employed and in the second phase the respective dual or shadow price solution.

Authors' address: Department of Forest Mensuration and Management, University of Helsinki, Unioninkatu 40 B, SF-00170 Helsinki 17, Finland.

KIRJOITUSTEN LAATIMISOHJEET

Silva Fennica-sarjassa julkaistaan suomen- ja ruotsinkielisiä lyhyitä metsätieteellisiä tutkimuksia ja kirjoituksia. Julkaistavaksi tarkoitettu käsikirjoitus on jätettävä Seuran sihteerille painatuskelpoisessa asussa. Seuran hallitus ratkaisee asiantuntijoita kuultuaan, hyväksytäänkö kirjoitus painettavaksi.

Kirjoitusten laadinnassa noudatetaan Silva Fennican numerossa Vol. 4, 1970, N:o 3 painettuja kansainvälisiä ohjeita. Symbolien ja kaavojen merkinnöissä noudatetaan suomalaisten standardien ohjeita.

Kirjoituksen alkuun tulee julkaisun kielellä lyhyt yhdistelmä tutkimuksen tuloksista. Samoin laaditaan tutkimuksen yhteyteen lyhyt englanninkielinen tiivistelmä, jonka lisäksi kunkin Silvan numeron loppuun painetaan irti leikattavan kordin muotoon kustakin tutkimuksesta englanninkielinen esittely. Sisällysluetteloa ei käytetä. Mahdolliset kiitokset esitetään lyhyesti johdannon lopussa ja merkitään painettavaksi petiitillä.

Kuvien ja piirrosten viivapaksuudet ja tekstikoko on valittava siten, että ne sallivat painatuksen vaatiman pienennyksen. Kuvien ja piirrosten painatuskoosta on syytä neuvotella etukäteen toimittajan kanssa, sillä tarpeettomia kustannuksia aiheuttavaa painatuskokoja ei sallita. Valokuvien tulee olla teknisesti moitteettomia ja kiiltävälle valkealle paperille suurennettuja. Värikuvia ei yleensä hyväksytä painettavaksi. Kuvat ja taulukot numeroidaan kummatkin erikseen juoksevasti, ja niiden otsikoista laaditaan erillinen luettelo kirjapainoa varten.

Jos vieraskielisessä lyhennelmässä viitataan tiettyihin kuviin ja taulukkoihin, on nämä varustettava vieraskielisin otsikoin ja selityksin. Muut kuvat ja taulukot voivat olla yksikielisiä.

Lähdeviitauksissa tekijännimet sijapäätteineen kirjoitetaan isoin kirjaimin mikäli tekijännimen vartalo on muuttunut. Muutoin taivutuspäätte kirjoitetaan pienaakkosin. Esimerkkejä: KOSKISEN (1972) tutkimus . . . , YLI-VAKKURIN (1972) tutkimus Milloin tekijöitä on kolme tai useampia, mainitaan tekstissä vain ensimmäinen (esim. HEIKURAINEN ym. 1961). Vieraskielisessä tekstissä ym. korvataan merkinnällä et al. Jos julkaisulla on kaksi tekijää viitteessä, pannaan tekijöiden nimien väliin ja-sana painatuskielellä. Esimerkki: KELTIKANGAS ja SEPPÄLÄ (1973, s. 222) osoittivat . . .

Viitekirjallisuus luetteloidaan tekijännimien (kirjoitetaan isoin kirjaimin) mukaisessa aakkosjärjestyksessä. Jos tekijöitä on useampia, nimet erotetaan pilkulla, paitsi kaksi viimeistä, jotka erotetaan & merkillä. Tekijän etunimistä suositellaan käytettäväksi vain alkukirjaimia. Tutkimusten nimet kirjoitetaan lyhentämättä. Julkaisusarjoista käytetään niitä lyhentoita, jotka on painettu Silva Fennican numerossa Vol. 5, 1971, N:o 2. Täydellisempi luettelo on nähtävissä Seuran toimistossa. Kirjoituksen löytämisen helpottamiseksi mainitaan aikakauslehdistä myös sivunumerot. Suomenkielisistä tutkimuksista otetaan mukaan vieraskielisen lyhennelmän nimi. Volyymi merkitään julkaisusarjan nimen jälkeen. Jos kyseessä on aikakauslehti tai vastaava, numero merkitään volyymin jälkeen suluissa. Sivunumerot erotetaan kaksoispisteellä volyymistä tai suluissa olevasta numerosta. Jos samalla kertaa ilmestynyt volyymi sisältää useita tutkimuksia, merkinnässä sovelletaan ko. julkaisussa noudatettua tapaa. Esimerkkejä:

ILVESSALO, Y. 1952. Metsikön kasvun ja poistuman välisestä suhteesta. Summary: On the relation between growth and removal in forest stands. — Commun. Inst. For. Fenn. 40.1.

WILCOX, W. W., PONG, W. Y. & PARMETER, J. R. 1973. Effects of mistletoe and other defects on lumber quality in white fir. Wood & Fiber 4 (4): 272—277.

Englanninkielisen lyhennelmän ja mahdollisten kuva- ja taulukkoketkien käännettämisestä ja pätevän kieliasiantuntijan tekemästä tarkastamisesta huolehtii kirjoittaja. Seura voi maksaa kustannukset valtiovarainministeriön antamien ohjeiden mukaan. Jos kääntäjän lasku on ohjeiden edellyttämää tasoa korkeampi, kirjoittaja vastaa ylittävistä osuudesta. Lähempiä tietoja antaa Seuran julkaisujen toimittaja.

KANNATTAJAJÄSENET -- UNDERSTÖDANDE MEDLEMMAR

CENTRALSKOGSNÄMNDEN SKOGSKULTUR
SUOMEN METSÄTEOLLISUUDEN KESKUSLIITTO
OSUUSKUNTA METSÄLIITTO
KESKUSOSUUSLIIKE HANKKIJA
SUNILA OSAKEYHTIÖ
OY WILH. SCHAUMAN AB
OY KAUKAS AB
KEMIRA OY
G. A. SERLACHIUS OY
KYMIN OSAKEYHTIÖ
KESKUMETSÄLAUTAKUNTA TAPIO
KOIVUKESKUS
A. AHLSTRÖM OSAKEYHTIÖ
TEOLLISUUDEN PUUYHDISTYS
OY TAMPELLA AB
JOUTSENO-PULP OSAKEYHTIÖ
KEMI OY
MAATALOUSTUOTTAJAIN KESKUSLIITTO
VAKUUTUSOSAKEYHTIÖ POHJOLA
VEITSILUOTO OSAKEYHTIÖ
OSUUSPANKKIEN KESKUSPANKKI OY
SUOMEN SAHANOMISTAJAYHDISTYS
OY HACKMAN AB
YHTYNEET PAPERITEHTAAT OSAKEYHTIÖ
RAUMA-REPOLA OY
OY NOKIA AB. PUUNJALOSTUS
JAAKKO PÖYRY & Co