

FOLIA FORESTALIA 549

METSÄNTUTKIMUSLAITOS · INSTITUTUM FORESTALE FENNIAE · HELSINKI 1983

JARI PARVIAINEN JA JUHA LAPPI

LASKENTAMALLI METSÄNVILJELYKETJUN
VERTAILEMISEKSI

A CALCULATION MODEL FOR THE
COMPARISON OF ARTIFICIAL FOREST
REGENERATION CHAINS

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Kirjasto



METSÄNTUTKIMUSLAITOS
THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Osoite: Unioninkatu 40 A
Address: SF-00170 Helsinki 17, Finland

Puhelin: (90) 661 401
Phone:

Ylijohtaja: <i>Director:</i>	Professori <i>Professor</i>	Olavi Huikari
Yleisinformaatio: <i>General information:</i>	Tiedotuspäällikkö <i>Information Chief</i>	Tuomas Heiramo
Julkaisujen jakelu: <i>Distribution of publications:</i>	Kirjastonhoitaja <i>Librarian</i>	Liisa Ikävalko-Ahvonon
Julkaisujen toimitus: <i>Editorial office:</i>	Toimittaja <i>Editor</i>	Seppo Oja

Metsäntutkimuslaitos on maa- ja metsätalousministeriön alainen vuonna 1917 perustettu valtion tutkimuslaitos. Sen päätehtävänä on Suomen metsätaloutta sekä metsävarojen ja metsien tarkoituksenmukaista käyttöä edistävä tutkimus. Metsäntutkimustyötä tehdään lähes 800 hengen voimin yhdeksällä tutkimusosastolla ja yhdeksällä tutkimus- ja koeasemalla. Tutkimus- ja koetoimintaa varten laitoksella on hallinnassaan valtionmetsiä yhteensä n. 150 000 hehtaaria, jotka on jaettu 17 kokeilualueeseen ja joihin sisältyy kaksi kansallis- ja viisi luonnonpuistoa. Kenttäkokeita on käynnissä maan kaikissa osissa.

The Finnish Forest Research Institute, established in 1917, is a state research institution subordinated to the Ministry of Agriculture and Forestry. Its main task is to carry out research work to support the development of forestry and the expedient use of forest resources and forests. The work is carried out by means of 800 persons in nine research departments and nine research stations. The institute administers state-owned forests of over 150 000 hectares for research purposes, including two national parks and five strict nature reserves. Field experiments are in progress in all parts of the country.

FOLIA FORESTALIA 549

Metsäntutkimuslaitos. Institutum Forestale Fenniae. Helsinki 1983

Jari Parviainen ja Juha Lappi

LASKENTAMALLI METSÄNVILJELYKETJUJEN VERTAILEMISEKSI

A calculation model for the comparison of artificial forest
regeneration chains

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	3
2. TOIMENPIDEKETJUJEN HAHMOTTAMINEN	4
21. Uudistamisen päävaihtoehdot	4
22. Metsänuudistamisen kaksi tapahtumalinjaa	5
23. Päätöksentekopuu	5
3. METSÄNVILJELYKETJUJEN LASKENTAMALLI	7
31. Päätöksentekopuu eräässä esimerkkitalanteessa	7
32. Kustannustiedot	9
33. Päätöksenteon toimintastrategiat	10
34. Laskennan kulku	10
35. Tulokset	12
4. TULOSTEN TARKASTELU JA MALLIN SOVELTAMISKELPOISUUS KÄYTÄNNÖN PÄÄTÖKSENTEKOTILANTEESEEN	13
LÄHDELUETTELO	15
SUMMARY	16

PARVIAINEN, J. & LAPPI, J. 1983. Laskentamalli metsänviljelyketjujen vertailemiseksi. Summary: A calculation model for the comparison of artificial forest regeneration chains. *Folia For.* 549:1—24.

Tutkimuksessa on tarkasteltu metsänviljelytaapahtumaa kokonaisuutena ja kehitetty biologiseen ja metsänhoidolliseen perustietoon pohjautuva laskentamalli metsänviljelyketjujen valintaa varten. Laskentamalli ottaa huomioon biologisen tiedon ohella uudistamisvaiheen kustannukset ja mahdolliset teknologiset rajoitukset. Keskeisenä tavoitteena oli, että malli soveltuisi tiettyjen organisaatiokohtaisten muutosten kautta käytännön päätöksenteon apuvälineeksi.

Mallin rakentaminen aloitettiin laatimalla toisistaan seuraavista toimenpiteistä ns. päätöksentekopuu erästä esimerkkitilannetta varten. Tarkasteltavana oli kuivahkon kankaan viljely männylle. Päätöksentekopuu on itse asiassa todennäköinen jäljitelmä käytännön metsänviljelytilanteesta. Päätöksentekokehikkoa varten määritettiin seuraavat vaiheet: raivaus, maanpinnan käsittely, viljelymenetelmä, pintakasvillisuuden ja vesakon torjunta, todennäköinen viljelytulos, luontaisesti syntyvä hyväksyttävä täydentävä taimiaines ja taimikon ikä 5 metrin valtapituusvaiheeseen mennessä. Keskeistä mallin rakentamiselle oli, että biologinen tieto pyrittiin sisällyttämään laskentaan todennäköisyysjakaumien avulla.

Päätöksentekopuun ja eri vaiheissa toteutettavien toimenpiteiden kustannustietojen lisäksi laskentamallin voidaan antaa syöttötietoina organisaatiokohtaisia toimintaohjeita. Mallissa toimintaohjeita oli kolmenlaisia: uudistamiseen kuluvan ajan arvostaminen, viljelytaimikkoon luontaisesti syntyvän taimiaineksen käyttökelpoisuus ja viljelyllä aikaansaattavan taimikon tilan ja tuotosarvon määrittely. Laskentajärjestelmässä kaikki edellä mainittu tieto yhdistettiin.

Ottamalla huomioon uudistamiseen kuluva aika, sekä odotettavissa oleva viljelytulos, kustannuksiltaan edullisimmiksi viljelyvaihtoehdoiksi kuivahkolla kankaalla tulivat laskentamallin perusteella äestys tai auraus ja viljely erilaisilla taimilajeilla.

Tulosten tarkastelussa esitetään mallin soveltamismahdollisuuksia metsänuudistamismenetelmien päätöksentekoon käytännön toiminnassa.

This study examines the process of forest regeneration as a whole. A calculation model, based on fundamental biological and silvicultural information, is presented for use in the selection of regeneration methods. The model also takes into account regeneration costs and possible technological limits. The prime objective behind the composition of the model was that offer necessary organizational changes it would become suitable as an aid for practical decision making in the choice of forest regeneration methods.

Construction of the model began by composing a decision-making tree for a particular example, the artificial regeneration of a dry mineral soil site with Scots pine (*Pinus sylvestris*). This decision making tree was in fact a probable imitation of the practical artificial forest regeneration conditions for this forest site type. The following operations and variables were assessed for the alternative artificial regeneration chains featured in the decision making tree: clearing, soil cultivation, artificial regeneration method, weeding, cleaning of broadleaf scrub, probable success of artificial regeneration, amount of satisfactory natural seedlings and age of the plantation on reaching a dominant height of 5 metres. The central theme in the construction of the model was the attempt to include biological information in the calculations, with the help of probability distributions.

In addition to the costs of both measures in the decision making tree and those selected for application, organizational instructions may also be used as input information in the calculation model. Three types of organizational instructions were considered in the model: assessment of the time taken to achieve successful regeneration, the suitability of natural regeneration which invades an otherwise artificially regenerated young stand and assessment of the condition productivity of a successfully regenerated stand. All of the above mentioned information was combined in the calculation system.

If regeneration time is taken into consideration, the financially most advantageous regeneration alternative for a dry mineral soil site was the use of harrow or plough, followed by artificial regeneration using a choice of different transplant types.

In the discussion of the results consideration is given to the suitability of the model for practical decision making in the choice of forest regeneration methods.

ODC 232+249+63
ISBN 951-40-0608-9
ISSN 0015-5543

Helsinki 1983. Valtion painatuskeskus

1. JOHDANTO

Metsänuudistamisen keskeisen metsätaloudellisen merkityksen vuoksi sitä koskeva tutkimustoiminta on ollut Suomessa runsasta. Aikasarjana tarkastellen metsän luontaisen uudistamisen tutkimus oli vilkkaimmillaan 1930 – 1950-luvuilla, kun taas metsänviljelyn tutkimus painottuu voimakkaaseen metsänviljelykauteen 1960 – 1970-luvuille. Useimpien yksittäiset tutkimukset kohdistuvat johonkin uudistamisen osatekijään, kuten esim. luontaisten taimien ensi kehitykseen, maanpinnan valmistukseen ja kylvö- tai istutusmenetelmään. Uudistamisen biologista ja metsänhoidollista tietoa on kuitenkin toisaalta koottu yhteen oppikirjoiksi ja oppaiksi (luontainen uudistaminen ks. Ilvessalo, L. ja Laitakari, E. 1930, Heikinheimo 1944, metsänviljely ks. Borg 1930, Lehto 1969, Kaila 1979, Karjula ym. 1982). Nämä yhteenvedot tarjoavat perustietoa uudistamismenetelmien valintaan lähinnä metsänhoidolliselta kannalta. Metsänuudistamisen taloudellista edullisuutta, lähinnä metsänviljelyyn siirtymisen kannattavuutta on tarkasteltu metsänviljelykustannusten toimikunnan mietinnössä vuodelta 1971. Toisaalta metsänuudistamisen onnistumista ja tuloksellisuutta on selvitetty monissa käytännön metsänuudistamisalojen inventoinneissa eri osissa maatamme (luontaisen uudistamisen tuloksista ks. esim. Hänninen ym. 1972, Kinnunen ja Mäki-Kojola 1980, metsänviljelyn tuloksista ks. esim. Yli-Vakkuri ym. 1969, Räsänen ym. 1979 sekä yhteenvedonomaisesti Karjula ym. 1982).

Käytännön metsänuudistamispäätöksiä koskevia ohjeita laadittaessa viime vuosina on pyritty entistä enemmän kiinnittämään huomiota metsänuudistamisen kokonaisuuteen. Keskeisellä sijalla ovat tällöin metsänuudistamisen kustannukset uudistamisvaiheessa. Käytäntöön ovat vakiintuneet ns. metsänuudistamisen toimenpideketjut (mm. Tehdaspuu Oy:n metsittämisetjut 1973, Metsähallituksen ohje metsittämisestä 1978, Keskusmetsälautakunta Tapion ohje uudistamis- ja metsitysketjuiksi 1980). Lähtökohdana näissä käytännön organisaatioiden metsänuudistamisen toimenpideketjuissa on ti-

heydeltään ja pituudeltaan tietyn vähimmäistavoitteen ylittävän taimikon hankkiminen mahdollisimman vähäisin kokonaiskustannuksin. Ne perustuvat tavallisimmin laajasta käytännön toiminnasta saatuihin kokemusperäisiin tietoihin. Ohjeellisessa muodossaan nämä metsänuudistamisen toimenpideketjut ovat kiinteitä ja stabiileja, eivätkä ne sisällä sellaisenaan luonnon olosuhteista aiheutuvaa muuttuvaa biologista tietoa.

Uudistamisalan ominaisuuksien vaikutus ja uudistamistapahtuman dynaaminen kehitys voidaan sisällyttää metsänuudistamisen toimenpideketjuihin erilaisten laskentamallien avulla tietokonetta hyväksikäyttäen. Eräs laskentamalleihin perustuva tarkastelutapa sisältyi metsänuudistamisen toimenpideketjujen vertailua koskevaan tutkimusraporttiin (Räsänen ym. 1979). Yksinkertaistetun laskentaesimerkin avulla osoitettiin, että uudistamisen tiettyjä dynaamisia vaiheita voidaan tarkastella tapahtumien todennäköisyyksien avulla, ja että ne pystytään sisällyttämään laskentaan jakaumaluonteisina. Saman työryhmän toimesta koottiin lisäksi metsänviljelyä koskeva kirjallisuustarkastelu lähinnä kotimaisten ja pohjoismaisten tutkimusten pohjalta (Karhula ym. 1982). Nyt esitettävän laskentamallin kehittäminen liittyy näihin kahteen aikaisemmin julkaistuun metsänuudistamista ja metsänviljelyä koskevaan tutkimukseen, jotka on valmistettu nimenomaan uudistamisen vaihtoehtojen vertailua varten. Esitettävää laskentamallia muistuttavia menetelmäsovellutuksia on Suomessa käytetty aiemmin mm. metsällisten projektien suunnittelussa (Palo 1971) ja puun korjuuketjujen simuloinnissa (Seppälä 1971). Puun kasvatuksen vaihtoehtoja ja niiden edullisuusvertailuja kiertoajan (-aikojen) puitteissa sekä päätöksentekoprosessia puun kasvatuksen laskentamallien pohjalta on tarkastellut seikkaperäisesti Hämäläinen (1973). Metsänhoidollisten toimenpiteiden simulointia on kehittänyt matemaattisten mallien pohjalta Ruotsissa Eriksson (1981), ja metsänviljelyn suunnittelua ovat formuloineet Yhdysvalloissa Cleary ja Kelpsas (1981).

Tutkimuksen tavoitteena on tarkastella metsänviljelyä kokonaisuutena ja pyrkiä kehittämään viljelymenetelmien valintaa varten biologiseen ja metsänhoidolliseen perustietoon pohjautuva laskentamalli, jota edelleen kehittäen voidaan käyttää myös luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn vertailuun.

Malliin pyritään sisällyttämään biologisen tiedon ohella viljelyvaiheen kustannukset ja mahdolliset teknologiset rajoitukset. Tarkastelukulmana on metsikkötaso, ja tarkastelussa rajoitutaan kivennäismaihin. Keskeisenä tavoitteena mallin laadinnassa on myös, että

malli soveltuisi tiettyjen organisaatiokohtaisen muutosten kautta käytännön metsänuudistamisen päätöksenteon apuvälineeksi.

Tutkimuksen yleishahmottelu ja mallin pääperiaatteiden laatiminen on muotoutunut tekijöiden yhteisten keskustelujen pohjalta. Viime vaiheen käsikirjoituksesta on vastannut Parviainen ja laskennasta Lappi. Käsikirjoituksen ovat lukeneet professorit Matti Leikola ja Erkki Lähde, apulaisprofessori Pekka Kilkki, MMT Juhani Päivänen, KTT Pekka Ollonqvist, MML Jukka Valtanen ja MMK Simo Kaila, joita haluamme kiittää rakentavista huomautuksista. MMK John Derome ja MH Mark Werren käänivät työn englanninkielisen osan.

2. TOIMENPIDEKETJUN HAHMOTTAMINEN

21. Uudistamisen päävaihtoehdot

Metsänviljely ja metsänuudistaminen kokonaisuudessaan on sarja toisiaan seuraavia toimenpiteitä ja tapahtumia. Ketju-käsitteellä pyritään ilmaisemaan eri toimenpiteiden liittymistä peräkkäin saumattomasti toisiinsa. Metsänuudistamisen moniulotteisuutta lisää se, että toimenpiteet ajoittuvat eri ajankohtiin (ks. Karjula ym. 1982) ja että ne muodostuvat biologisesta, teknisestä ja taloudellisesta tasosta.

Toisaalta metsänuudistamisen vaihtoehto tulee tarkastella sekä metsikkö- että metsälötasolla. Metsikkötasolla käytännön metsätalousorganisaatioiden soveltamisessa ohjeistoissa toimenpideketjujen vertailu rajataan useimmiten ajanjaksoksi, joka alkaa ensimmäisestä uudistamiseen tähtäävästä hakkuusta ja jatkuu siihen saakka, kunnes tiheydeltään, pituudeltaan ja kunnoltaan tietyt vähimmäisrajat ylittänyt taimikko on saatu aikaan (esim. Metsitysketjututkimus 1973). Metsälötason vertailut edellyttävät taloudellisia edullisuuslaskelmia, joissa on kuvattava uudistamisessa kasvupaikalle syntyvän uuden tai uusien puusukupolvien kehityssarjat ja kiertoajat (ks. Hämäläinen 1973, Lappi 1982, Ollonqvist 1982). Toistaiseksi kuitenkin istutusmänniköiden kehityssarjoja ei ole käytettävissä. Nykyarvomenetelmällä kiertoajan sisällä eri ajankohtiin sattuvat kustannukset ja toisaalta tuotot voidaan siirtää laskennassa samaan ajankohtaan; tavallisesti joko kiertoajan alkuun tai loppuun. Tulokset riip-

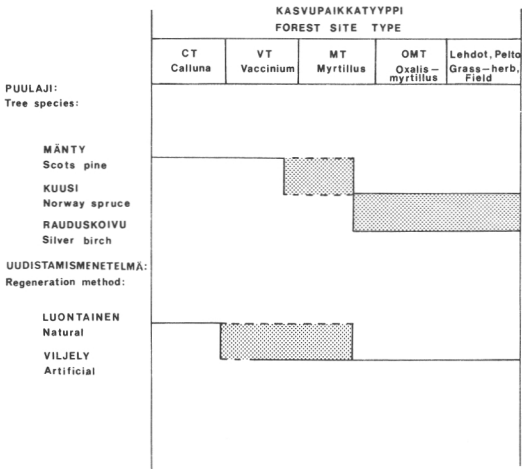
puvat tällöin keskeisesti sovellettavasta investointiteoriasta ja korkokannasta.

Metsälötason taloudellisissa edullisuusvertailuissa metsikkökuvauksissa on tavallisesti rajoitettu karkeisiin malleihin, kuten esim. metsiköiden kokonaiskuutiomäärien tai puutavaralajijakaumien kehityksen kuvaamiseen. Malleihin ei ole voitu sisällyttää varsinaisen uudistamisvaiheen dynaamista luonnetta ja siihen liittyviä tiettyjä riskitekijöitä.

Metsänuudistamisen perusratkaisu tapahtuu *valintapäätöksessä luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn välillä*. Nämä molemmat uudistamisvaihtoehdot muodostuvat ihmisen aktiivisen toiminnan tuloksista. Itse asiassa voidaan puhua myös kolmannesta metsänuudistamisvaihtoehdosta, ns. *luontaisesta uudistumisesta*, joka tarkoittaa uuden puusukupolven syntymistä ilman, että siihen tietoisesti pyritään (esim. tuoreen kankaan männikön alle syntyvä kuusialikasvos). Metsätaloudellisen toiminnan kannalta keskeisiä ovat kuitenkin vain luontainen uudistaminen ja metsänviljely. Useampien työvaiheidensa ja vaihtoehtojensa lukuisuuden vuoksi metsänviljelyssä vaihtoehtoisten uudistamisketjujen määrä on kuitenkin huomattavasti suurempi kuin luontaisessa uudistamisessa.

Metsälön pitkän tähtäyksen suunnittelussa toisen periaatekysymyksen uudistamismenetelmän valinnan rinnalla muodostaa *puulajivalinta*.

Valinta metsänuudistamisen päävaihtoehtojen välillä rajoittuu tietyille kasvupaikoille (kuva 1). Osa uudistamispäätöksistä tehdään



Kuva 1. Puulajin ja uudistamismenetelmän valintatilateet kasvupaikkatyyppin perusteella. Tummennettu alue kuvaa sitä metsänhoidollisesti perusteltavissa olevaa kasvupaikkaryhmää, jossa valintatilanteeseen tavallisesti joudutaan.

Figure 1. Major alternatives in the selection of forest regeneration method on the basis of forest site type. Shaded areas depict suitable forest site types according to silvicultural considerations.

ilman valintaa, koska olemassa olevan biologisen tiedon perusteella jollakin kasvupaikalla on tarkoituksenmukaista kasvattaa vain tiettyä puulajia tai soveltaa vain tiettyä uudistamismenetelmää. Puulajivalinnassa valintapäätös männyn, kuusen ja koivun välillä joudutaan tekemään ensi sijassa tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla, kun taas karuimmilla kasvupaikoilla mänty on puuntuotannollisesti tarkoituksenmukaisin vaihtoehto.

Uudistamismenetelmistä karuilla kasvupaikoilla tarkoituksenmukaisin vaihtoehto on luontainen uudistaminen männylle. Viljalla kasvupaikoilla pintakasvillisuuden tai vesakon kehityksen vuoksi luontaiselle uudistamiselle ei ole useinkaan edellytyksiä, jonka vuoksi metsänviljely on tarkoituksenmukaisin uudistamistapa. Valintapäätös metsänviljelyn ja luontaisen uudistamisen välillä koskee siten lähinnä kuivahkoja ja tuoreita kankaita.

22. Metsänuudistamisen kaksi tapahtumalinjaa

Jotta metsänuudistamisen (metsänviljelyn) toimenpideketjuja voitaisiin verrata lasken-

nallisesti toisiinsa, uudistamistilanne on hahmotettava konkreettiseksi tapahtumalinjoiksi ja eri vaiheina suoritettaviksi toimenpiteiksi. Uudistamistilanne on pystyttävä pilkkomaan mahdollisimman selkeisiin yksittäisiin osavaiheisiin.

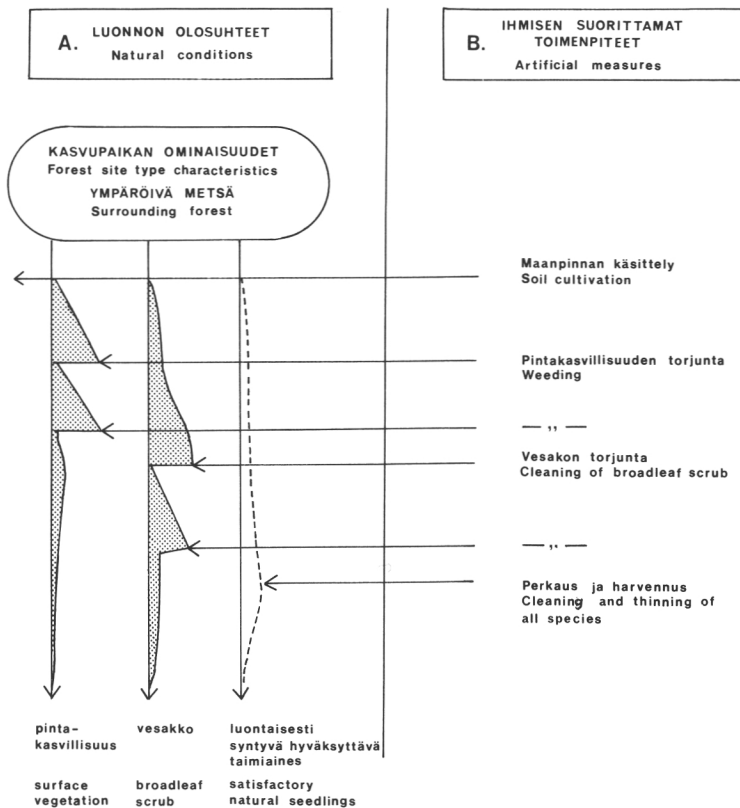
Metsänuudistamisessa voidaan erottaa kaksi tapahtumalinjaa, jotka yhdessä määrittävät uudistamisen lopputuloksen (kuva 2):

- A. *Uudistamisalan luonnon olosuhteista aiheutuvat ehdot ja rajoitukset.* Nämä ovat uudistamisalakohtaisia, ja ne riippuvat sekä uudistamisalan ominaisuuksista että sen ympärillä olevasta reunapuustosta. Näitä uudistamisalatekijöitä ovat mm. kasvupaikka, kunnan paksuus ja kivisyys, aikaisempi puusukupolvi, reunametsän puulajisuudet ja kehitysluokka. Toisaalta uudistamisalan ympäristöoloissa tapahtuu ajan mukana jatkuvasti muutoksia, joiden suuntaa ja vaikutusta viljelytulokseen päätöksentekijä pyrkii ennakoimaan. Uudistamisalatekijöistä riippuvat mm. pintakasvillisuuden ja vesakon kehittyminen sekä luontaisesti syntyvä taimiaine.
- B. *Päätöksentekijän suorittamat toimenpiteet.* Toimenpiteillään (esim. maanpinnan käsittely, taimilajin valinta, pintakasvillisuuden ja vesakon torjunta) päätöksentekijä pyrkii vaikuttamaan luonnosta aiheutuvan kehityksen kulkuun. Päätöksentekijä voi valita eri toimenpiteet vapaasti olemassa olevista vaihtoehdoista. Toimenpiteiden suorittamisesta aiheutuu yleensä kustannuksia. Mitä intensiivisempiä toimenpiteitä päätöksentekijä käyttää, sitä enemmän hän voi vaikuttaa luonnosta johtuvaan kehitykseen, mutta sitä kalliimmaksi toisaalta tulevat hänen panostuksensa uudistamiseen.

Luonnon olosuhteet ja päätöksentekijän uudistamisalan ympäristötekijöiden tilaan ja kehityksen kohdistamat toimenpiteet määrittävät sitten eri metsänuudistamisen toimenpideketjujen (yhdistelmävaihtoehtojen) väliset suhteet. Mitä paremmin päätöksentekijä pystyy arvioimaan uudistamisalan ympäristötekijöiden kehityskulun ja mitä osavammin hän on pystynyt valitsemaan toimenpiteensä, sitä parempi on aikaansaatuva uudistamistulos. Tältä *biologiselta pohjalta* on sitten tarkasteltava eri uudistamisketjujen kustannuseroja, jotka viime kädessä ratkaisevat valittavan uudistamisketjun. Näiden ohella on kuitenkin vielä huomattava, että uudistamistulos voi muuttua täysin ennakoitusta poikkeavaksi satunnaisten tekijöiden vaikutuksesta (mm. sääolosuhteet, eläin- tai sienituhot).

23. Päätöksentekopuu

Kokonaisuutena vaihtoehtoisia metsänuudistamisen tapahtumaketjuja voidaan kuvata

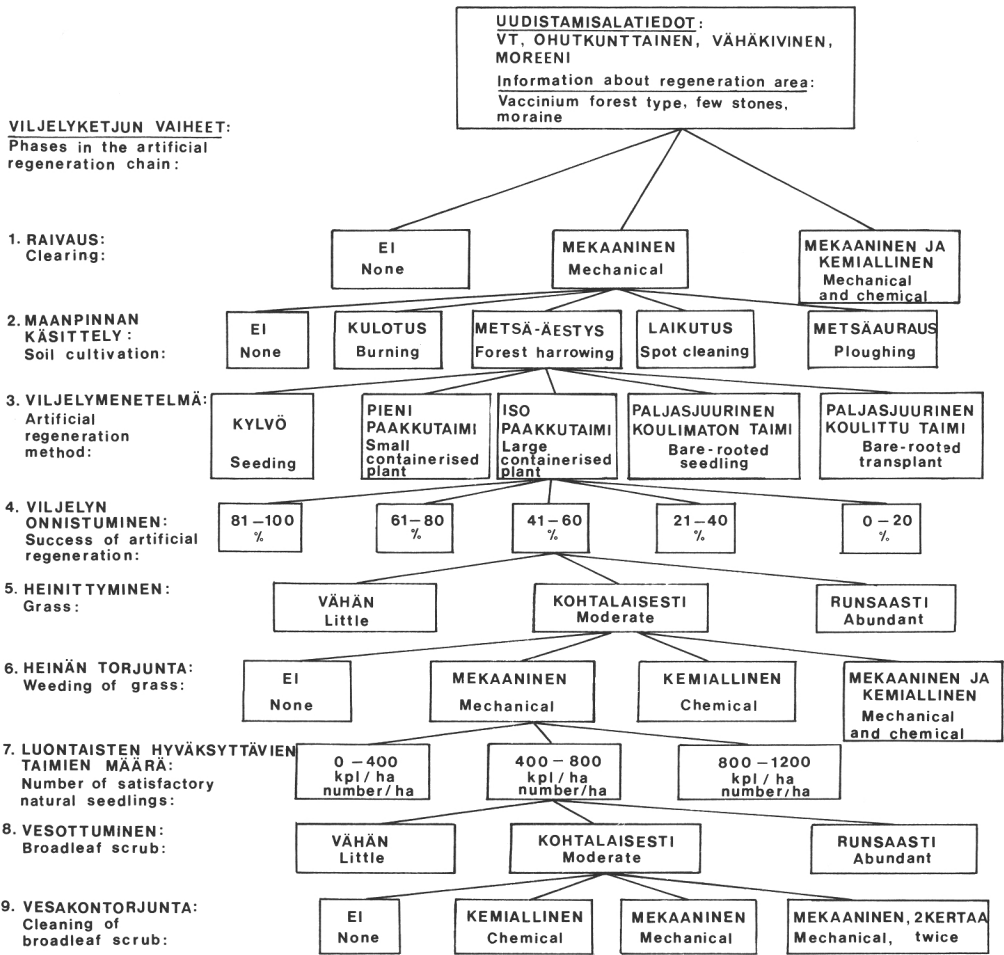


Kuva 2. Metsänuudistamisen tapahtumalinjat.
Figure 2. Series of processes in forest regeneration.

ns. päätöksentekopuun avulla (ks. Sirén 1977). Puu koostuu eri vaiheista, jotka voivat olla luonnon olosuhteista tai päätöksentekijän toimenpiteistä aiheutuvia (kuva 3). Päätöksentekopuu kuvaa metsänuudistamisen päätöksentekotilannetta yhtenä kokonaisuutena sisältäen kaikki kysymykseen tulevat mielekkäät vaihtoehdot.

Vaihtoehtojen määrä nousee kuitenkin suureksi jo silloinkin, jos mukana on vain muutamia eri osavaiheita. Jos metsänviljelyketjussa on viisi eri vaihetta (esim. hakkuualan raivaus, maanpinnan käsittely, viljelymenetelmä, viljelyn onnistuminen, heinäntor-

junta), joissa kussakin on kuusi erilaista tapahtumaa tai toimenpidettä (esim. viljelymenetelmävaihtoehdot: kylvö, paperikennotaimi, turveruokkutaimi, iso paakkutaimi, koulittu paljasjuuritaimi, koulimaton paljasjuuritaimi) vaihtoehtojen määrä on $6^5 = 7\,776$ eri yhdistymismahdollisuutta. Haittana on lisäksi se, että jatkuvien muuttujien luonteisia tapahtumia on kuvattava luokkamuuttujina (esim. viljelyn onnistumista kuvaavat prosenttiluokat). Puuna esitettyyn viljelyketjujen hahmotteluun sisältyy edelleen suuri määrä epärelevanttejä vaihtoehtoja.



Kuva 3. Yksinkertaistettu päätöksentekopuu metsänviljelyn eri osatekijöiden hahmottamista varten.
Figure 3. Simplified decision making tree for outlining the different factors in artificial regeneration.

3. METSÄNVILJELYKETJUJEN LASKENTAMALLI

31. Päätöksentekopuu eräässä esimerkkitalanteessa

Suuraavassa esitettävässä laskentamallissa on pyritty yhdistämään metsänviljelyn biologinen, tekninen ja taloudellinen tieto yhtenäiseksi päätöksentekosysteemiksi. Pohjana tarkastelulle on ollut päätöksentekopuun rakentaminen esimerkinomaisesti tiettyä metsänviljelytilannetta varten. Tavoitteena on laskentamallin kehittäminen yleisesti metsänuudistamismenetelmän valintaa varten,

mutta aluksi sen periaatteita kuvataan esimerkiksi metsänviljelyssä. Tarkastelukohteenä on kuivahkon kankaan (VT) uudistaminen männylle. Uudistamisalan oletetaan olevan kasvupaikaltaan yhtenäinen, ohutkuntainen, vähäkivinen ja maalajiltaan moreenia.

Keskeisenä tavoitteena mallissa on tarkastella viljelykustannuksia suhteessa uudistamisen tuloksellisuuteen sekä taimikon kehitykseen ja tulevaan puuntuotoskykyyn. Viljelytulos ja taimikon kehitys on arvioitu metsän-

		Uudistamisala																			
		Puolukkatyyppin kangas, moreeni, ohutkuntainen väkivinen																			
Viilijetjun osatekijät		Raivaus					Laikutus					Lautsauraus					Piennarauraus				
1. Raivaus		Muokkaamaton					Laikutus					Lautsauraus					Piennarauraus				
2. Maanpinnan käsittely		Muokkaamaton					Laikutus					Lautsauraus					Piennarauraus				
3. Viilijymenetelmä		Kylvö	Pieni paakku	Iso paakku	Kouli-maton	Kouli-littu	Kylvö	Pieni paakku	Iso paakku	Kouli-maton	Kouli-littu	Kylvö	Pieni paakku	Iso paakku	Kouli-maton	Kouli-littu	Kylvö	Pieni paakku	Iso paakku	Kouli-maton	Kouli-littu
4. Pintakäsvillisuuden torjunnan tarve	0	-	-	10	-	10	-	20	10	20	10	10	10	40	10	40	20	40	80	40	90
	yksi kerta	-	-	80	60	80	-	60	80	60	80	70	80	60	80	60	80	60	20	60	10
	kaksi kertaa	-	-	10	40	10	-	20	10	20	10	20	10	-	10	-	-	-	-	-	-
5. Vesakon torjunnan tarve	0	-	-	10	10	10	-	10	10	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	yksi kerta	-	-	80	80	80	-	70	70	70	70	60	60	60	60	60	50	50	50	50	50
	kaksi kertaa	-	-	10	10	10	-	20	20	20	20	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50
6. Hyväksyttävien luontaisesti syntyvien taimien määrä, kpl / ha	-	-	300	300	300	-	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	800	800	800	800	
7. Todennäköinen viljelytulos, %	-	-	75	65	75	-	65	75	65	75	60	75	85	75	85	70	85	90	85	90	
8. Taimikon ikä 5m välitapitusvaiheessa, vuotta	-	-	14	16	14	-	16	14	16	14	20	15	13	15	13	20	15	13	15	13	

Kuva 4. Päätöksentekopuu kuivahkon kankaan metsänviljelyssä.

viljelytutkimusten ja -inventointien perusteella (ks. Karjula ym. 1982).

Mallin kehittäminen on aloitettu laatimalla ensin päätöksentekopuu uudistamistilanteeseen. Päätöksentekopuuta rakennettaessa huomioon on otettu vain toteuttamiskelpoiset, reaaliset linjat ko. esimerkkitapauksessa. Tällä tavalla vaihtoehtojen määrä on voitu supistaa. Kuvassa 4 esitetty päätöksentekopuu on itse asiassa todennäköinen jäljitelmä käytännön metsänviljelytilanteesta kuivahkolla kankaalla. Esitetty päätöksentekopuu on kuitenkin yksinkertaistettu mallin rakentamisen pääperiaatteiden valaisemista varten.

Tarkasteltavalla kasvupaikalla sekä luontainen uudistaminen että metsänviljely tulevat kysymykseen uudistamisen tuloksellisuuden kannalta. Metsänviljelyssä maanpinnan käsittelyvaihtoehtoja on 4 erilaista ja viljelymenetelmävaihtoehtoja viisi erilaista. Mikäli halutaan, maanpinnan käsittelyvaihtoehtoihin voidaan luonnollisesti vielä sisällyttää esim. mätästys tai palle- ja piennarauraus.

Pintakasvillisuuden ja vesakon torjunnan tarvetta eri maanpinnan käsittelytapojen välillä on arvioitu torjuntakertojen todennäköisyyksien avulla. Esim. aurauksen jälkeen ve-

sakon torjuntaa on arvioitu tarvittavan 1 — 2 kertaa siten, että kerran jouduttaisiin torjumaan 50 % tapauksista, ja kaksi kertaa niin ikään 50 % tapauksista. Pintakasvillisuutta on oletettu jouduttavan torjumaan ensimmäisen kerran 2 vuoden kuluttua viljelystä ja toisen kerran 4 vuoden kuluttua viljelystä. Ensimmäinen vesakon torjunta on ennakoitu tapahtuvan 6 vuoden kuluttua viljelystä ja toinen 10 vuoden kuluttua viljelystä.

Viljelytuloksen tason on arvioitu muodostuvan kaikkien suoritettujen toimenpiteiden jälkeen. Se on määritetty keskimääräisenä taimien eloonjäämisprosenttina. Laskennassa eloonjäämisprosentin on oletettu noudattavan betajakauman muotoa. Onnistumisprosentin jakauma on siten erilainen riippuen keskiluvusta ja oletetusta hajonnasta.

Uudistamisalalle luontaisesti syntyvä taimiaines tarkoittaa vain niitä taimia, jotka voidaan hyväksyä viljelytaimien rinnalla kasvatettaviksi. Niiden määrän päätöksentekijä arvioi keskimääräisenä lukuna. Esim. arvio 500 kpl/ha tarkoittaa, että taimistoon oletetaan syntyvän hyväksyttäviä, viljelyä täydentäviä taimia keskimäärin 500 kpl/ha. Luontaisten taimien syntymisen oletetaan noudat-

tavan normaalijakamaa, ja laskennassa taimien määrä vaihtelee siten keskiluvun molemmin puolin mallissa oletetun hajonnan mukaisesti.

Taimikon ikä viiden metrin valtapituusvaiheeseen mennessä on määritetty käytännön metsänuudistamisalojen inventointitulosten perusteella (ks. Karjula ym. 1982).

Luonnollista on, että mitä osuvammin arviot on voitu suorittaa, sitä oikeammin las-
kentasysteemi jäljittelee todellista tilannetta.

Laskentasysteemi sinällään ei voi parantaa tai lisätä olemassa olevaa tietoa. Huomattava on, että kukin päätöksentekijä voi rakentaa kutakin viljelytilannetta varten joustavasti oman päätöksentekopuun.

Tässä sovellettava esimerkki edustaa keskimääräisen toiminnan tasoa. Mikäli esim. toteuttavan organisaation toimesta on mahdollista suorittaa hyvin intensiivinen vesakon tai pintakasvillisuuden torjunta, se voidaan sisällyttää malliin torjunnan suorituskertojen todennäköisyyksien avulla. Mikäli halutaan, myös toimenpiteiden suorituskertojen lukumäärää voidaan lisätä. Tämä luonnollisesti lisää ko. uudistamisvaiheen kustannuksia.

32. Kustannustiedot

Laskentaa varten päätöksentekijä määrittää kustannukset viljelyketjun eri vaiheissa suoritettaville toimenpiteille. Laskennassa käytetyt kustannukset ovat eri vaiheiden osalta nykyhetken (1982) todellisia kustannustietoja. Mikäli halutaan, kustannuskehitys voidaan kuitenkin ennakoita ja ottaa mallissa huomioon arvioina eri toimenpiteiden mahdollisen toteuttamishetken kustannuksina.

Esimerkkilaskennassa eri toimenpiteiden kustannustiedot on saatu käytössä olevista yksikköpalkka- ja maksusuosituksista sekä urakointimaksuista. Istutuksen ja taimikon perkauksen ja harvennuksen yksikköpalkat on saatu metsätyönantajien urakkapalkkasuosituksista aikavälille 1.3. — 30.9.1982 palkkausalueella 4 (Pohjois-Karjala). Metsämaan äestyksen ja aurauksen kustannukset ovat soveltuvien osin Metsäalan Kuljetuksen-
antajat ja Koneurakoitsijain Liitto ry:n kaudelle 1.5.1982 — 31.4.1983 noudatettaviksi sovittujen maksujen mukaisia. Tukiaineisto-

na on käytetty myös Pohjois-Karjalan piiri-
metsälautakunnan valvomien metsänhoito-
töiden keskimääräisiä kustannustietoja sekä
Kailan (1982) tutkimusta maanmuokkaus-
menetelmistä ja taimilajeista erilaisilla uudis-
tusaloilla. Taimien ja siemenen hinnat ovat
Metsähallituksen vuodelle 1982 vahvistamien
enimmäishintojen mukaisia.

Eri toimenpiteiden kustannukset mallissa
ovat seuraavat:

- Uudistamisalan raivaus: mekaanis-kemiallinen, kus-
tannus 260 mk/ha
- Maanpinnan käsittely: alueen koko 3,0 ha, työvai-
keus tavallinen, ajolinjaväli 4 metriä, peruskustan-
nus ilman siirtoja

laikutus	412 mk/ha
lautasauraus	412 ”
piennaraurus	691 ”
- Taimien hinnat:

	mk/taimi
pieni paakkutaimi	0,25
iso paakkutaimi	0,40
koulimaton paljasjuurinen	0,11
koulittu paljasjuurinen	0,33
- Istutuskustannukset: maastoluokka 1. maaperä-
luokka 2, taimivaraoston etäisyys 76 — 125 metriä.
Paakkutaimilla putki-istutus, paljasjuurisilla kouru-
kuokkaistutus.

taimilaji	muokattu maa penniä/taimi	muokkaamaton maa
pieni paakkutaimi	10,8	32,2
iso paakkutaimi	14,2	34,0
koulimaton pal- jasjuurinen taimi	17,0	35,0
koulittu pal- jasjuurinen taimi	22,8	40,8

- Kylvökustannus (mukaanlukien siemenen hinta):
vakoruutukylvö, ajanmenekki 1,2 miestyöpäivää/
ha, 366 mk/ha
- Täydennysistutus, tehdään isoilla paakkutaimilla
Täydennyksen peruskustannus (sisältää työn
suunnittelun, täydennettävien kohtien etsimi-
sen, liikkumisen vaikeutumisen uudistamis-
alalla tms.) 300 mk/ha
täydennystaimien hinta 0,40 mk/taimi
täydennysistutuksen kustannus 40 p/taimi
- Pintakasvillisuuden torjunta

kemiallinen torjunta	280 mk/ha
----------------------	-----------
- Taimikon perkaus ja harvennus, mekaanis-kemiallinen
tiheydestä riippuen, 70 — 200 mk/ha
kylvötaimikon perkaus ja harvennus
200 mk/ha

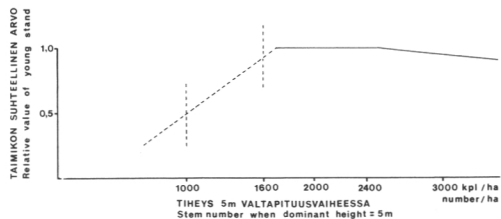
Pintakasvillisuuden ja vesakontorjunnan
kokonaiskustannukset kussakin eri vaihto-
ehdossa saadaan arvioitujen torjuntakertojen
todennäköisyyksien avulla painottaen.

33. Päätöksenteon toimintastrategiat

Päätöksentekopuun ja kustannustietojen lisäksi laskentamalliin voidaan antaa syöttötietoina organisaatiokohtaisia toimintaohjeita. Tässä esitettävässä mallissa on kolme eri tekijäryhmää, joissa sovellettava toiminta tulee määritellä ennen laskennan aloittamista.

1. Uudistamiseen kuluvan ajan arvostaminen (viivästymisvuoden hinta). Millainen taloudellinen menetys päätöksentekijän kannalta on yksi menetetty vuosi verrattuna nopeimmin viljelytavoitteeseen johtavaan toimenpideketjuun? Kääntäen voidaan ilmaista, kuinka paljon päätöksentekijä on valmis maksamaan siitä, että tiettyä toimenpideketjua käytettäessä kiertoaikaa voidaan lyhentää hakkuusuunnitteen nostamiseksi tai päätehakkuutulojen saamiseksi aikaisemmin (ks. Hämäläinen 1973, Lappi 1982). Tässä tarkastelussa ns. viivästymisvuoden hinnaksi oletettiin hypoteettisesti 200 markkaa. Laskentamallin käytännön sovellutuksia varten viivästymisvuoden reaalin arvo tulee laskennallisesti selvittää metsiköiden kasvu- ja kehitystietojen pohjalta hakkuutulojen aikaisemman realisoitavuuden perusteella.
2. Viljelytaimikkoon luontaisesti syntyvä taimiaines. Missä määrin luontaisesti syntyvä taimiaines soveltuu viljelytaimikon täydentäjäksi? Käytännön uudistamalojen inventoinnit osoittavat, että uudistamaloille syntyy luontaisesti taimia, joilla saattaa olla ratkaiseva merkitys taimikon kehityskelpoisuutta arvosteltaessa (ks. Karjula ym. 1982). Luontaisesti syntyneiden taimien kehityskelpoisuus tulee arvioida puulajin, kasvupaikan, taimikon tasaisuuden ja tilajärjestyksen perusteella. Esitettävässä mallissa laskenta on suoritettu sekä mukaan lukien että ilman luontaista hyväksyttävää taimiainesta.
3. Uudistamisella aikaansaatavan taimikon tilan, puuntuotoksen ja markkamääräisen tuottoarvon määrittäminen. Taimikon puuntuotoskyvyn ennakkointi 5 metrin valtapituusvaiheen jälkeen. Taimikon tulevan puuntuotoskyvyn tunteminen on tärkeää, koska eri toimenpideketjujen tuloksena voi syntyä tiheydeltään, tasaisuudeltaan ja kunnoltaan huomattavan erilaisia taimikkoja. Laskentamallissa on päädytty kuvassa 5 esitettyyn arvostuskäyrään, jossa puuntuotoskyky määräytyy yksinomaan tiheyden funktiona. Huomattava on, että taimikon tulevaan puuntuotokseen vaikuttavat tiheyden ohella myös muut taimikon tilaa kuvaavat tunnuksot (mm. aukkoisuus, ryhmittyneisyys, taimikon terveydentila). Lähtökohdaltaan erilaisten viljelytaimikoiden puuntuotosta koskevien tutkimusten vähäisyyden vuoksi tarkastelua on tässä yksinkertaistettu periaatetta kuvaavaksi. Perusteena on kuitenkin käytetty taimikoiden kehitystä ja puuntuotosta koskevia tutkimuksia (ks. Nyssönen 1968, Vuokila 1972, Parviainen 1978, Varmola 1982).

Lähtökohdista tätä oletettua arvostusfunktiota laadittaessa on ollut taimikon odotettavissa oleva puuntuotoskyky valtapituusvaiheesta 5 metriä eteenpäin aina ensimmäiseen harvennushakkuuseen saakka. Tiheydeltään erilaisten taimikkojen puuntuotosta käsitellään suhteellisin lukuina. Viljelyn täydennysrajana on tiheys 1600 kpl/ha ja uusimisrajana tiheys 1000 kpl/ha. Täydennys ja uusiminen oletetaan teh-



Kuva 5. Laskentamallissa käytetty taimikon puuntuotoskyvyn arvostusfunktio.

Figure 5. Wood yield of young stand curve used in the calculation model.

tävän välittömästi viljelyn jälkitarkastuksen jälkeen vuoden kuluttua viljelystä.

Taimikon tiheyden ollessa välillä 1800 — 2500 kpl/ha metsikön puuntuotoskyky on parhaimmillaan (suhteellinen arvo 1,0). Tätä väljempien tai tiheämpien taimikoiden suhteellinen puuntuotoskyky on alle yksi. Täydennysrajalla taimikon puuntuotoksen suhteellinen arvo on 0,9 ja uusimisrajalla 0,5. Yli 2500 kpl/ha tiheämpien taimikkojen puuntuotoskyky laskee hitaasti ja se on esim. tiheydessä 3500 kpl/ha suhteellisen arvona 0,9.

Puiden teknisen laadun merkitystä ei ole tässä mallissa toistaiseksi otettu huomioon.

34. Laskennan kulku

Laskennassa kaikki edellä mainittu tieto pyritään yhdistämään. Keskeistä on, että uudistamisen satunnaisuonteinen *biologinen tieto* pyritään sisällyttämään malliin todennäköisyysjakaumien avulla. Laskenta on tehty käyttämällä joko 0 prosentin korkokantaa (korkoa ei ole otettu huomioon) tai 4 prosentin korkokantaa, jolloin eri ajankohtiin osuvat kustannukset on diskontattu uudistamishetkeen. Korkoketijän valinta tehtiin tässä hypoteettisesti; pyrittiin selvittämään teoreettisesti koron vaikutusta erojen muodostumiseen viljelyketjujen välillä.

Eri toimenpideketjuja (maanpinnan käsittely-viljelymenetelmäyhdistelmiä) on tarkastelussa itse asiassa mukana kaikkiaan 20 (neljä maanpinnan käsittelyä ja viisi viljelymenetelmää). Esimerkkitapauksessa on oletettu, että jos alue ainoastaan raivataan, niin kylvö tai istutus pienillä paakuttaimilla eivät tule kysymykseen. Samoin yhdistelmä laikutus ja kylvö on katsottu voitavan hylätä. Kussakin vaihtoehdoissa toimenpideketjussa on tarkasteltu laskennassa useita eri viljelytiheyksiä. Tässä esitetään tulosten yhteydessä kuitenkin vain tiheydet 2000 ja 2600 tainta/ha.

Viljelyvaihe on ajateltu osittain satunnaisprosessiksi, jossa on toistaiseksi mukana kaksi satunnaisosaa: viljelyn onnistuminen ja luontaisten taimien syntyminen. Eloonjäämisprosentin on oletettu noudattavan beta-jakaumaa. Eloonjäämisprosentin (x) todennäköisyysjakauma on siten muotoa:

$$f(x) = c \cdot x^\alpha \cdot (100-x)^\beta \quad (1)$$

Eloonjäämisprosentin hajonta on saatu arvioimalla eri moodiarvoilla (valta-arvo, päätöksentekopuussa ilmoitettu keskimääräinen eloonjäämisprosentti) sen välin leveys, jonka sisään mahtuu 70 % tapauksista. Moodin ja 70 % -välin avulla on ratkaistu numeerisesti jakauman parametrit α ja β . Moodin ja 70 % -välin leveydelle on oletettu seuraava riippuvuus:

moodi, %-yksikköä	väli, %-yksikköä
50	40
60	40
70	30
80	20
90	10

Betajakauman vinoudesta johtuu, että 70 %-välin ylärajan etäisyys moodista on erisuuri kuin alarajan etäisyys, ja että moodi poikkeaa odotusarvosta.

Luontaisesti syntyvien taimien määrän on oletettu olevan normaalisesti jakautunut. Odotusarvo μ on arvioitu päätöksentekopuun avulla. Hajonnan δ arvioinnissa on käytetty havainnollistamisapuna tietoa, että välillä ($\mu - \delta$, $\mu + \delta$) on 68 % tapauksista.

Luontaisesti syntyneiden taimien keskihajonta eri maanpinnan käsittelymenetelmissä oli seuraava:

Muokkaamaton	100 kpl/ha
Laikutus	200 "
Lautasauraus	200 "
Piennaraurus	300 "

Hyväksyttävien taimien kokonaismäärän jakauma on laskettu olettamalla luontaisten taimien syntyminen ja viljelyn onnistuminen tilastollisesti toisistaan riippumattomiksi. Todennäköisyys, että syntyy x kappaletta luontaisia taimia ja että viljellyistä y kpl jää henkiin, on ko. erillistodennäköisyyksien tulo.

Viljelyn tulokseksi voi tulla kolme erilaista tilannetta:

1. Viljely onnistuu hyväksyttävästi ilman täydennysviljelyä eli asetettu tiheysraja ylitetään
2. Joudutaan täydentämään eli täydennysraja alitetaan, mutta viljelyn uusimisraja ylitetään
3. Viljely joudutaan kokonaan uusimaan eli tiheys alittaa uusimisrajan.

Kustannuksia syntyy kussakin tapauksessa seuraavasti:

1. Viljely onnistuu ilman täydentämistä:
 - a) raivauskustannus, mk/ha
 - b) maanpinnan käsittely, mk/ha (laikutus, äestys, auraus)
 - c) istutus- ja taimikustannus, mk/istutettu taimi (kylvö, pieni paakkutaimi, iso paakkutaimi, koulilimon paljasjuurinen taimi, koulittu paljasjuurinen taimi)
 - d) pintakasvillisuuden torjuntakustannukset, mk/ha
 - e) vesakon torjuntakustannukset, mk/ha
2. Joudutaan täydentämään
 - a) edellisten kustannusten lisäksi
 - b) täydennyksen peruskustannus
 - c) täydennystaimien istutus- ja kappalekustannus

Täydennys oletetaan tehtävän kaikissa vaihtoehdoissa aina viljelytiheyteen samoilla taimilla (isot paakkutaimet) samoin kustannuksin. Täydennystarve riippuu viljelytuloksesta. Alkuperäisestä tiheysjakaumasta saadaan lasketuksi keskimääräinen täydennyskustannus.

3. Viljely joudutaan uusimaan
— uusimispäätös tehdään ennen pintakasvillisuuden ja vesakon torjuntaa, joten vain maanpinnan käsittely ja istutus aiheuttavat ensimmäisellä viljely-yrityksellä kustannuksia. Uusintaviljelyssä maanpinta aurataan, jollei ole jo ennestään aurattu. Istutustaimina ovat koulitut, paljasjuuriset taimet. Uusimisen odotetaan onnistuvan ilman lisätoimenpiteitä.

Tiheysjakaumasta saadaan lasketuksi todennäköisyys kullekin kolmelle edellä mainitulle onnistumismahdollisuudelle. Odotettavissa olevat kustannukset (K) lasketaan seuraavasti:

$$K = p_1 \cdot k_1 + p_2 \cdot k_2 + p_3 \cdot (b \cdot k_1 + k_3), \quad (2)$$

jossa

- K = kustannusten odotusarvo (keskimääräinen kustannus)
 k_1 = alkuperäiset viljelykustannukset, mk/ha
 k_2 = täydennysviljelyn kustannukset, mk/ha
 k_3 = viljelyn uusimiskustannukset, mk/ha
 p_1 = todennäköisyys, että viljely onnistuu ilman täydentämistä ja uusintaviljelyä
 p_2 = todennäköisyys, että joudutaan täydentämään
 p_3 = todennäköisyys, että joudutaan uusimaan
 b = kerroin, jolla voidaan painottaa alkuperäisen viljelyn merkitystä. Esimerkissä kerroin on yksi.

Oman erityislaatuisen kustannuseränsä muodostaa viivästyiskustannus. Kaikki kustannuslaskelmat on tehty sekä huomioon ottaen viivästyiskustannus että ilman sitä. Lisäksi on laskettu, paljonko joudutaan maksamaan voitetusta vuodesta, jos ilman viivästyiskustannusta halvimman ketjun sijasta viljellään nopeammalla mutta kalliimmalla tavalla. Huomattava on, että halvimman ketjun avulla aikaansaatu taimikon tiheysjakauma ei kuitenkaan välttämättä vastaa kalliimman vaihtoehdon tiheysjakaumaa.

Tiheydestä riippuvaa taimikon tulevaa puuntuotoskykyä kuvataan edellä esitetyllä arvostusfunktiolla. Tiheysjakauman avulla saadaan lasketuksi suhteellinen, keskimääräinen taimikon puuntuotoskyky ehdolla, että viljely onnistuu ilman täydentämistä. Jos joudutaan täydentämään, taimikon puuntuotos täydennyksen jälkeen on oletettu samaksi kuin tiheydeltään täydennysrajalla olevan taimikon puuntuotos. Uusintaviljelyyn joutuvan taimikon puuntuotoksen arvo on nolla.

Odotettavissa oleva taimikon suhteellinen puuntuotos saadaan samaan tapaan kuin odotettavissa olevat viljelykustannuksetkin painottamalla arvostusfunktion lukuja viljelytuloksen todennäköisyysjakauman avulla. Jakamalla uudistamiskustannukset puuntuotoksen suhteellisella arvokertoimella kustannukset voidaan painottaa tiheydeltään erilaisten taimikkojen puuntuotoskyvyllä.

Viljelyn kokonaiskustannuksien lisäksi on laskettu kustannusten keskihajonta. Keskihajonta saatiin seuraavasti:

Hajontaa kustannuksiin aiheuttavat mallin mukaan pintakavallisuuden ja vesakon torjuntakertojen vaihtelu sekä viljelyn onnistumisen vaihtelu. Nämä eri hajontalähteet oletettiin toisistaan riippumattomiksi, jolloin kustannusten kokonaisvarianssi on eri tekijöiden varianssien summa.

35. Tulokset

Liitetaulukkoissa 1 — 8 esitetään laskennan tuloksia viiden eri päätöksentekokriteerin mukaan. Tuloksia esitellään kahden eri perustamistiheyden (2000 ja 2600 kpl/ha) sekä 0 ja 4 % korkokannan (kustannukset diskontattu uudistamishetkeen) sekä luontaisesti syntyvien taimien mukaanottamisen avulla. Taulukoissa 1 — 4 esitetyt tulokset on lasket-

tu ilman korkoa ja taulukoissa 5 — 8 4 %:n korkokannan mukaan.

- A = Viljelykustannukset viiden metrin valtapituusvaiheeseen mennessä ilman viivettä, täydennystä ja viljelyn uusimista, mk/ha.
- B = Täydennysviljelyn ja uusintaviljelyn todennäköisyydet huomioon ottava viljelykustannusten odotusarvo (keskimääräiset kustannukset) viiden metrin valtapituusvaiheeseen mennessä ilman viivettä, mk/ha.
- C = Edellä oleva (kohdassa B) viljelykustannusten odotusarvo mukaanlukien viivästymisvuoden arvo (200 mk/vuosi), mk/ha.
- D = Viiveellinen viljelyn kokonaiskustannusten odotusarvo viiden metrin valtapituusvaiheeseen mennessä (C) jaettuna taimikon tulevalla tuotoksella, mk/ha.
- E = Kustannuksiltaan edullisinta toimenpideketjua nopeammin tavoiteltuun tulokseen johtavien ketjujen lisäkustannus suhteessa viljelyn nopeutumisella voitettua vuotta kohti. 0 = kustannuksiltaan edullisin toimenpideketju, — = hitaampi toimenpideketju. Vertailu on tehty täydennysviljelyn ja uusintaviljelyn todennäköisyydet huomioonottavan viljelykustannusten odotusarvon pohjalta (tunnus B), mk/ha/vuosi.

Jos tarkastellaan pelkästään metsänviljelyyn panostettuja kokonaiskustannuksia, ne (taulukot 1 — 8, tunnus A) ovat luonnollisesti alhaisimmat vaihtoehdoissa, joissa viljely on voitu tehdä pienin taimi- ja istutuskustannuksin. Halvimmat vaihtoehdot ovat: lautasauraus — kylvö, laikutus — koulimaton paljasjuurinen taimi.

Ilman korkoa perustamistiheydellä 2000 kpl/ha halvimmat viljelykustannukset (taulukko 1) ottaen huomioon myös viljelytulokset ovat toimenpideketjussa: piennarauraus — koulimaton paljasjuurinen taimi (tunnus B). Mikäli viljelytaimikon kehitysopeudelle annetaan painoa (viivästymisvuosi otetaan huomioon), viljelykustannukset ovat edullisimmat toimenpideketjuissa: lautasauraus — iso paakkutaimi tai koulittu paljasjuurinen taimi ja piennarauraus — iso paakkutaimi tai koulittu paljasjuurinen taimi (tunnus C). Nämä toimenpideketjut ovat edullisimpia myös, jos taimikon ennakoitu puuntuotoskyky otetaan huomioon (tunnus D). Halvimpaan toimenpideketjuun (piennarauraus — koulimaton paljasjuurinen taimi, vrt. tunnus B) verrattuna näissä ketjuissa metsänviljelyn nopeutumisesta on maksettu yhtä voitettua vuotta kohti 108 — 130 mk/ha (tunnus E).

Jos viljelytiheys nostetaan 2000 taimesta 2600 taimeen hehtaarilla (taulukko 2), piennaraurauksessa eri taimilajien väliset kustan-

nuserot tasoittuvat. Tämä johtuu siitä, että suuremman perustamistiheyden vuoksi taimikoiden täydentämiskustannukset pienenevät, jolloin erityisesti halvempien, vähemmän varmojen toimenpideketjujen kustannukset suhteessa kalliimpiin, mutta todennäköisesti varmempaan tulokseen johtaviin toimenpideketjuihin nähden alenevat. Samoin lautas- ja piennaraurauksen väliset erot muuttuvat siten, että metsänviljely lautasauralla äestettyyn maahan tulee edullisemmaksi kuin viljely auratulalle alalle.

Luontaisesti syntyvien taimien mukaanoottaminen (taulukot 3 ja 4) aiheuttaa sen, että metsänviljely lautasauralla äestettyyn maa-

han muodostuu kustannuksiltaan edullisimmaksi. Tämä johtuu siitä, että luontaisesti syntyvät taimet täydentävät viljelytulosta, joka äestetyllä alueella on todennäköisesti heikompi kuin auratulalla alueella.

Kustannusten diskonttaaminen (koron huomioonottaminen) (taulukot 5, 6, 7 ja 8) ei aiheuta muutoksia eri toimenpideketjujen välisiin suhteisiin. Keskeisimmän koron vaikutus tulee näkyviin verrattaessa pitkällä aikavälillä luontaisen uudistamisen ja metsänviljelyn välisiä kustannus- ja tuottoeroja (ks. Hämäläinen 1973, Lappi 1982, Ollonqvist 1982).

4. TULOSTEN TARKASTELU JA MALLIN SOVELTAMISKELPOISUUS KÄYTÄNNÖN PÄÄTÖSENTEKOTILANTEESEEN

Esitettyä laskentamallia ei voida vielä sellaisenaan soveltaa käytännön päätöksentekoon. Tavoitteena on ollut kuvata periaatetta, kuinka metsänuudistamisen muuttuva biologinen tieto on mahdollista sisällyttää numeerisena uudistamisketjujen vertailulaskentaan. Mallissa on vertailtu metsänviljelyn eri vaihtoehtoja, mutta vastaavaa periaatetta voidaan soveltaa luontaiseen uudistamiseen. Tällöin tulee kuvata vastaavasti luontaisen uudistamisen eri vaihtoehtoiset ketjut kokonaisuuksilla kustannustietoineen. Kun sekä metsänviljelyn että luontaisen uudistamisen vaihtoehdot on selvitetty, mallia voidaan soveltaa uudistamisen päätöksentekoon kokonaisuudessaan. Tutkimuksessa esitettyä laskentaperiaatetta voidaan kehittää edelleen siten, että esim. organisaatiokohtaisesti kaikkia kysymyksiä tulevia kasvupaikkoja koskien voidaan laatia laskentajärjestelmä uudistamisvaihtoehtojen vertailemiseksi.

Tutkimuksessa kehitetty laskentamalli jäljittelee itse asiassa pitkälle tiettyä käytännön uudistamistilannetta. Laskentamalli ei tuota tulokseksi yhtä tiettyjen kriteerien mukaista optimiratkaisua, vaan tavoitteena laskennassa on antaa useita eri vaihtoehtoisia kriteerejä päätöksenteon apuneuvoksi. Päätöksentekijä saa laskentatulosten avulla tukea päätöksentekoon erilaisissa uudistamistilanteissa. Laskennan tulostus voidaan kehittää siten, että esim. kunkin päätöksentekokriteerin

kohdalla tulostetaan vain kolme edullisinta toimenpideketjua. Kaikkiaan myös tulosten esittämistä ja tulostettavat päätöksentekokriteerit voidaan valita ja kehittää täysin organisaatiokohtaisten vaatimusten mukaisiksi.

Laskentamallin peruslähtökohtana oleva päätöksentekopuu voidaan rakentaa erikseen jokaista uudistamistilannetta varten. Jotta laskentajärjestelmä palvelisi käytäntöä, uudistamisalalla päätöksentekotilanteessa selvitetävät tunnuksien tulee olla kuitenkin mahdollisimman selkeästi määritettävissä. On ajateltavissa, että päätöksentekopuu voidaan selvittää esim. organisaatiokohtaisesti normaaleille uudistamistapauksille tutkimustulosten ja sovellettavien strategioiden (toimintaohjeiden) perusteella. Tällöin voidaan ottaa huomioon mm. teknologiset rajoitukset. Esim. jos organisaatio ei voi käyttää uudistamisessa metsäaurauksia kaluston puuttumisen vuoksi, aurauksen jätetään kokonaan pois vaihtoehtoja määriteltäessä. Jos toisaalta esim. mätästystä halutaan käyttää, se voidaan ottaa yhdeksi vaihtoehtoksi. Samoin, mikäli organisaatio ei edellytä tai suorita esim. pintakasvillisuuden torjuntaa, tämä vaihe voidaan jättää päätöksentekopuuta rakennettaessa pois, mutta toisaalta tällöin uudistamistulos voi jäädä heikommaksi kuin toimenpideketjussa, jossa pintakasvillisuuden torjunta tehdään.

Mallin käyttökelpoisuuden kannalta jousittavaa on, jos päätöksentekijän tarvitsee mää-

ritellä uudistamistilanteessa esim. vain seuraavat tunnuksat (esim. luokittelevina tunnuksina):

- kasvupaikka
- maalaji (esim. moreeni, lajittunut jne.)
- hakkuutähteiden määrä (esim. vähän, runsaasti, kohtalaisesti)
- kuntaisuus ja soistuneisuus (esim. % pinta-alasta)
- kivisyys (esim. vähäkivinen, kivinen, erittäin kivinen)

Laskentajärjestelmä on mahdollista rakentaa ennakkoon siten, että syöttämällä tietokoneeseen edelliset tunnuksat ohjelma käyttää oletusarvoina syöttötietoja vastaavaa päätöksentekopuuta sekä annettuja kiinteitä kustannuksia. Toisaalta laskentajärjestelmään on mahdollisuus jättää joustavasti syöttötiedoiksi esim. kustannukset. Tällöin käyttäjän pitäisi ilmoittaa vain ne syöttötiedot, joissa hän haluaa poiketa odotusarvoista. Päätöksentekijä voi antaa kustannustiedot eri vaiheissa tapahtuville toimenpiteille seuraavasti:

- raivauskustannus
- maanpinnan käsittelykustannus eri vaihtoehdoissa
- viljelymateriaalin kustannus eri vaihtoehdoissa
- istutus/kylvökustannus eri vaihtoehdoissa
- pintakasvillisuuden torjuntakustannus eri vaihtoehdoissa
- vesakon torjuntakustannus

Tällöin kustannukset voivat olla esim. paikkakuntakohtaisia, jolloin vertailuun sisältyvät automaattisesti paikkakunnan erityisolosuhteet.

Edellisten lisäksi laskentajärjestelmään voidaan sisällyttää kolme eri tekijää, joilla on keskeinen merkitys eri toimenpiteketjujen vertailussa, mutta jotka ovat nimenomaan päätöksentekijän tai organisaation soveltaman strategian mukaisesti valittavissa. Nämä tekijät ovat:

- uudistamiseen kuluvan ajan arvostaminen
- luontaisesti syntyvä, viljelyä täydentävä taimiaine
- uudistamisen tuloksena aikaansaattavan taimikon puuntuotoskyky ja tekninen laatu

Kuten laskennan tuloksista kävi ilmi, eri vaihtoehtojen välille syntyvät erot riippuvat hyvin voimakkaasti ns. viivästymisvuodesta eli uudistamiseen kuluvasta ajasta. Käytännön metsänuudistamisalojen inventointitulosten perusteella voidaan yleisesti havaita, että kylvötaimikon kehitys on viiden metrin valtapituusvaiheeseen mennessä noin 6 — 7

vuotta jäljessä istutustaimikon kehityksestä (ks. Karjula ym. 1982).

Eri taimilajein istutettujen taimikoiden väliset kehitysnopeuserot ovat sitä vastoin vain muutamia vuosia. Metsikön kasvatuksen taloudellisessa tarkastelussa näiden kehitysnopeuserojen arvostaminen on tarkasteltava koko kiertoajan puitteissa. Tällöin erojen oletetaan säilyvän vähintään samansuuruisina kiertoajan loppuun. Päätöksentekijä voi määrittellä kehityksessä mallissa metsikön tuottotavoitteensa ja antaa viivästymisvuodelle painoa enemmän tai vähemmän kulloinkin soveltamansa strategian mukaisesti. Laskentajärjestelmä voidaan liittää tämän ns. viivästymisvuoden kautta joustavasti metsikön kasvatuksen taloudellisiin vertailulaskelmiin (ks. Hämäläinen 1973, Lappi 1982, Ollonqvist 1982).

Luontaisesti syntyvän hyväksyttävän, täydentävän taimiaineen mukaanottaminen lisää luonnollisesti taimikon kasvatuskelpoisuuden todennäköisyyttä. Toisaalta, koska sen määrästä ja laadusta ei ole ennakolta tietoa, viljelypäätöstä tehtäessä viljelytiheyttä ei voida laskea odotettavissa olevien luontaisesti syntyvien taimien nojalla. Luontaisesti syntyvä taimiaine on kuitenkin viljelytaimikossa aina realiteetti. Sitä käytetäänkin hyväksi ensi sijaisesti taimikon aukkopaikoissa (ks. Etelä-Suomen metsien käsittelyohjeet... 1981), mutta metsänviljelystrategian perusteissa viljelytaimien kasvuolosuhteiden suosiin, luontaisten taimien syntyminen ei ole kompensatiota suorassa suhteessa viljelytaimien kuolemiseen tai eloonjäämisprosenttiin. Metsänviljelyn toimenpiteketjujen vertailun kannalta mallissa on keskeistä se, että luontaisesti syntyvän taimiaineen poistaminen vaatii toisaalta kustannuksia, mutta toisaalta sen syntyminen lisää syntyvän metsikön tiheyttä parantaen siten taimikon odotettavissa olevaa suhteellista puuntuotosarvoa tiettyyn tiheysrajaan saakka. Huomattava on kuitenkin lisäksi, että luontaisia taimia ei voida suosia viljelytaimikossa kuin siihen määrään asti, jossa niiden järeyskehitys ja käyttöpuun tuotos (esim. rinnantasalta yli 7 cm) ovat parhaimmillaan. Kasvu- ja tuotostutkimusten perusteella kysymyksessä on tällöin kaikkiaan korkeintaan 2000 — 2500 rungon kasvattamisesta kuivahkon kankaan kasvupaikoilla ensiharvennusvaiheeseen mennessä (ks. Nyyssönen 1968, Vuokila 1972, Parviainen 1978, Varmola 1982).

Mallissa eri uudistamismenetelmillä aikaansaatavien taimikoiden eroja on punnittu tiheyden funktiona ilmaistulla puuntuotuskyvyn suhteellisella arvostusfunktiolla. Menetelmä on karkea, mutta sen avulla laskennassa voidaan painottaa kielteisesti erityisesti harvaksi jääviä ja lähellä täydennys- tai uusimisrajaa olevia taimikoita. Tiheystunnuksen ohella taimikoita voidaan arvostaa lisäksi esim. taimikon tasaisuutta tai ryhmittyneisyyttä kuvaavilla indekseillä. Toistaiseksi tutkimustuloksia taimikoiden tilajärjestyksen merkityksestä taimikon arvoon on kuitenkin vähän (Pohtila 1980). Oletusten mukaisesti on kuitenkin selvitetty, että esim. luontaisesti syntyneen taimikon tilajärjestys ryhmittyneisyyden vuoksi poikkeaa selvästi viljelytaimikoiden tilajärjestyksestä. Laskentamallin jatkokehittelyn kannalta olisi hyödyllistä selvittää, mikä merkitys tilajärjestyksellä on esim. viljelytaimikoissa luontaisesti syntyvien taimien esiintymiseen ja toisaalta kuinka paljon tasaisen ja epätasaisen taimikon puuntuotuskyky eroaa toisistaan.

Puuntuotoksen rinnalla taimikoita voidaan arvostella puiden teknisen laadun perusteella. Esitetyssä laskennassa mahdollisia laatueroja ei otettu huomioon. Keskeisimmän laatueroja syntyy vain männiköissä ja niissä

luonnollisesti luontaisen-, kylvötaimikon ja istutustaimikon välille (ks. Vuokila 1982). Mikäli päätöksentekijä haluaa, puuston teknisen laadun vaikutus voidaan sisällyttää malliin vastaavanlaisesti kuin puuntuotoksen arvostuskäyrä.

On ilmeistä, että puiden teknisen laadun positiivinen vaikutus tulee näkyviin laskentamallissa nykyisellään männiköissä vain tiheyksissä, jotka saavutetaan kylvöllä tai uudistamalla luontaisesti. Istutusmänniköitä perustettaessa voitaisiin siten olettaa, että viljelykustannuksiin tulee lisätä tietty puiden karsimislisä. Tämä vähentää istutusmännikön perustamisen edullisuutta kylvöön tai luontaiseen uudistamiseen verrattuna. Toisaalta kylvö- ja luonnontaimikoiden istutusmänniköitä mahdollisesti parempaa teknistä laatua voidaan korostaa mallissa siten, että teknisen laadun arvostuskäyrä saa suurimman arvonsa sellaisissa tiheyksissä, joissa luontainen karsiutumisen alkaa jo vaikuttaa. Esimerkinomaisesti tarkasteltuna ja hypoteettisesti esim. tiheydessä 2000 — 5000 kpl/ha puiden teknisen laadun arvostusfunktio voisi saada suhteellisen arvon 0,8, kun taas kasvatustiheys välillä 5000 — 8000 kpl/ha merkitsisi suhteellista arvoa 0,9 ja tätä tiheimmät asennot maksimiarvoa 1,0.

LÄHDELUETTELO

- BORG, A. 1930. Metsänviljelys. Teoksessa: Maa ja metsä, Osa IV Metsätalous: 382—402. WSOY. Porvoo.
- CLEARY, B.D. & KELPSAS, B.R. 1981. Five steps to successful regeneration planning. Forest Research Lab. Oregon State University, Corvallis. Special publication 1:1—31.
- ERIKSSON, L. 1981. En modell för konsekvensberäkning och analys av skogsskötselprogram. Sveriges lantbruksuniversitet. Institutionen för skogsteknik. Rapport 138:1—73.
- Etelä-Suomen metsien käsittelyohjeet. Tapio 3/1981. Keskusmetsälautakunta Tapio. 20 s.
- HEIKINHEIMO, O. 1944. Metsien luontainen uudistaminen. Keskusmetsäseura Tapion kirjasia 22. 95 s.
- HÄMÄLÄINEN, J. 1973. Profitability comparisons in timber growing: Underlying models and empirical applications. Commun. Inst. For. Fenn. 77 (4):1—178.
- HÄNNINEN, T., RÄSÄNEN, P.K. & YLI-VAKKURI, P. 1972. Männyn ja kuusen luontaisen uudistamisen antamista tuloksista Etelä-Suomen kangasmailla. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 7. 96 s.
- ILVESSALO, L. & LAITAKARI, E. 1930. Metsikön uudistus. Teoksessa: Maa ja Metsä, Osa IV Metsätalous: 430 — 460. WSOY. Porvoo.
- KAILA, S. 1979. Tuloksellinen metsänviljely. Kirjayhtymä. Helsinki. 125 s.
- 1982. Maanmuokkausmenetelmän ja taimilajin merkitys männyn viljelyssä erilaisilla uudistusalloilla. Work quality of soil cultivation methods and type of planting stock in forest regeneration. Metsätiehon tiedotus 376:1—24.
- KARJULA, M., KAILA, S., PARVIAINEN, J., PÄIVÄNEN, J. & RÄSÄNEN, P.K. 1982. Metsänviljelyn vaihtoehtojen valintaperusteet kivennäismailla. Kirjallisuustarkastelu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 56. Metsäntutkimuslaitos, Joensuun tutkimusasema. 116 s.
- KINNUNEN, K. & MÄKI-KOJOLA, S. 1980. Männyn luontaisesta uudistumisesta Pohjois-Satakunnassa. Summary: Natural regeneration of Scots pine in western Finland. Folia For. 449:1—18.
- LAPPI, J. 1982. Metsikön uudistaminen ja erityisesti uudistamisen vaatima aika metsälön käsittelyn kannalta. Esit. Tutkimuspäivä Suonenjoella

- 23.11.1982. 22 s.
- LEHTO, J. (toim.). 1969. Metsänviljely. Kirjayhtymä. Helsinki. 376 s.
- Metsäsketjututkimus. 1973. Projektiseloste 40/73. Tehdaspuu Oy 1973, metsänhoito-osasto. Kouvola. Moniste. 133 s.
- Metsänviljelykustannusten toimikunnan mietintö. Report of the committee on the costs of forest planting and seeding. 1971. *Folia For.* 109:1—160.
- NYSSÖNEN, A. 1968. Käyttöpuun tuotoksesta ensimmäisellä harvennushakkuulla käsitellyissä metsissä. Helsingin yliopisto. Metsänarvioimistieteen laitos. 31 s.
- Ohjekirje metsittämisestä ja metsänuudistamisesta. Metsähallitus 1978. Mh 130. Helsinki. 66 s.
- OLLONQVIST, P. 1982. Metsänuudistamisen toimenpiteketjujen edullisuus. Esit. Tutkimuspäivä Suomenjoella 23.11.1982. 7 s.
- PALO, M. 1971. Metsällisten projektien verkkosuunnittelu. Summary: Planning forestry projects by means of network analysis. *Folia For.* 133:1—48.
- PARVIAINEN, J. 1978. Taimisto- ja riukuvaiheen männikön harvennus. Zusammenfassung: Durchforstung im Kiefernbestand in der Jungwuchs- und Stangenholzphase. *Folia For.* 346:1—40.
- PELTONEN, J. & VESIKALLIO, H. 1979. Puunhankintakustannuksiin vaikuttavien tekijöiden kehittämisen kustannusvaikutukset. Metsätehon tiedotus 357. 35 s.
- POHTILA, E. 1980. Havaintoja taimikoiden ja nuorten metsien tilajärjestyksestä Lapissa. Summary: Spatial distribution development in young tree stands in Lapland. *Commun. Inst. For. Fenn.* 98(1):1—35.
- RÄSÄNEN, P.K., KAILA, S., LAPPI, J., PARVIAINEN, J. & PÄIVÄNEN, J. 1979. Metsänuudistamisen vaihtoehdot. Esitutkimusraportti. Metsätutkimuslaitos — Metsäteho, Helsinki — Suonenjoki. 60 s.
- SEPPÄLÄ, R. 1971. Simulation of timber-harvesting systems. Seloste: Puun korjuuketjujen simulointi. *Folia For.* 125:1—36.
- SIREN, G. 1977. Metsänuudistamisen vaihtoehojen metsänhoidollinen tarkastelu. Esitelmä. Käytännön metsätalouden ja metsätutkimuksen yhteinen symposium Pohjois-Karjalassa 12.—14.9.1977. 7 s.
- VARMOLA, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. *Folia For.* 524:1—31.
- VUOKILA, Y. 1972. Taimiston käsittely puuntuotannolliselta kannalta. Summary: Treatment of seedling stands from the viewpoint of production. *Folia For.* 141:1—36.
- 1982. Metsien teknisen laadun kehittäminen. Summary: The improvement of technical quality of forests. *Folia For.* 523:1—55.
- YLI-VAKKURI, P., RÄSÄNEN, P.K. & SOLIN, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliopisto. Metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 2. 92 s.

SUMMARY

Introduction

Owing to the fact that reforestation is of prime importance in forestry, this question has been a subject of considerable research activity in Finland. Research into the natural regeneration of tree stands was most active in the period between the 1930's and the 1950's, while the period when artificial reforestation research was studied most intensively came later in the 1960's and 1970's. In most cases, the individual studies were concerned with one particular aspect of the regeneration methods, such as the initial development of naturally-regenerated seedlings, site preparation or seeding and planting methods. Information about the biological and silvicultural aspects of regeneration can, however, be found in text books and booklets (for natural regeneration see Heikinheimo 1944, for artificial regeneration see Lehto 1969, Kaila 1979, Karjula et al. 1982). Although these reviews provide the basic information required in the selection of regeneration methods, they are mainly concerned with the silvicultural point of view. The economics of forest regeneration, mainly the economic viability of changing over to artificial regeneration, have been examined in the report of the committee of forest planting and seeding costs in 1971. On the other hand, the success and subsequent results of forest regeneration have been followed in the large number of inventories carried out in practical forest regeneration areas in different parts of Finland (for the results of natural regeneration see, e.g., Hänninen et al. 1972, Kinnunen &

Mäki-Kojola 1980, for the results of artificial regeneration see, e.g. Yli-Vakkuri et al. 1969, Räsänen et al. 1979, and for a review of the subject Karjula et al. 1982).

During the last few years, an attempt has been made to pay more attention to forest regeneration as a whole when making recommendations concerning practical forest regeneration decisions. The so-called forest regeneration chains have become an established practice (e.g. Tehdaspuu Oy's forestation chains 1973, the National Board of Forestry's recommendation for forestation 1978, the Central Forestry Board Tapio's recommendations for regeneration and forestation chains 1980). The starting point in the forest regeneration chains used by these practical forestry organizations has been the attainment of a seedling stand which exceeds certain minimum density and height targets at costs which are as low as possible. They are based in most cases on information gained through experience with extensive practical operations.

The effect of the properties of the regeneration site and the dynamic development of the regeneration process have been incorporated into the forest regeneration chains by means of calculating models developed with the aid of computers. One method for comparing forest regeneration chains on the basis of calculation models was published in a research report in Finland in 1979 (Räsänen et al. 1979). The report showed, through the use of a simplified calculation example, that certain dynamic phases of regeneration can be examined by me-

ans of probability distributions. Through the activities of the same working group, a review of the literature concerning artificial forest regeneration was carried out, mainly on the basis of studies performed in Finland and the other Nordic countries (Karjula et al. 1982). The development of the calculation model presented here is connected with these two reports.

The aim of the study is to try to develop a calculation model, based on basic biological and silvicultural information, for the selection of regeneration methods. As well as biological information, an attempt is made to include the costs of the regeneration stage and any technological restrictions in the model. The main aim in constructing the model is that the model should be suitable as an aid in practical forest regeneration decision making. Specific principles of different organizations can be incorporated into the model.

Outlining the regeneration chains

The main regeneration alternatives

Forest regeneration is a series of successive measures and events. The chain concept is used in order to try to express the fact that the different measures are connected to each other to form a continuous sequence. The fact that the measures occur at different times (cf. Karjula et al. 1982), and that they are formed of biological, technical and economic levels further complicates the already complex nature of forest regeneration. Examination of forest regeneration chains at the stand level is restricted in most cases to the time period which starts from the first cutting directed at regeneration and continues up to the point where a seedling stand has been achieved which exceeds a certain minimum density and height limit (e.g. Forestation chain research 1973).

The basic forest regeneration solution takes place as a choice decision between natural regeneration and artificial regeneration. In the long-term planning of a forest area, the second principle question which occurs alongside the choice of regeneration method is the choice of tree species. In order that the comparison between natural and artificial regeneration could be brought up to the forest area level, the most economical work chains in both of the main alternatives have first to be found.

The choice between the main forest regeneration methods is restricted to certain types of site (Fig. 1). A part of the forest regeneration decisions are done without any choice being necessary because, according to the biological information, a particular site is only suited to the growing of a certain tree species or only a certain regeneration method is applicable. The choice of tree species in the case of Norway spruce, Scots pine and Silver birch is mainly restricted to moist and grove-like mineral soil sites, while on the most infertile sites Scots pine is the only possible alternative.

Similarly, in the selection of the regeneration method, the only regeneration alternative on infertile sites is natural regeneration. On fertile sites, there are not usually any factors favouring natural regeneration owing to the development of the ground vegetation or sprouts, and hence artificial regeneration is the best regeneration technique.

The two sides of forest regeneration

Two sides, which together determine the final results of regeneration, can be distinguished in forest regeneration (Fig. 2):

- A. The conditions and restrictions set by the natural conditions prevailing on the regeneration site.
- B. The measures carried out by the decision maker.

The decision maker attempts to affect, through the measures be applied, the course of the development resulting from the natural conditions. The natural conditions and the measures directed at the development and state of the environmental factors prevailing in the regeneration area of the decision maker thus determine the relationships between the different forest regeneration chains (combination alternatives). The better the decision maker is able to estimate the course of development of the environmental factors prevailing at the regeneration area, and the more correctly he has been able to select his measures, then the better will be the regeneration results achieved. The differences between the cost of the different regeneration chains, which in the end determine which regeneration chain is to be chosen, should thus be examined on this biological basis.

Decision tree

The alternative forest regeneration chains can be depicted overall using the decision tree. The structure of the tree consists of different stages which can be caused by the natural conditions or by the measures of the decision maker (Fig. 3). The structure of a tree depicts the decision making situation of forest regeneration as a single entity which contains all the alternatives in question.

Calculation model for artificial regeneration chains

The decision tree in one example situation

In the calculating model presented here, the biological, technical and economic information about forest regeneration is combined into a coherent decision making system. The study object is the artificial regeneration of Scots pine on a dryish mineral soil (VT) site. The regeneration area is assumed to have a low degree of stoniness and to be of the moraine soil type.

Development of the model has been started by first constructing the decision tree. Attention has been paid in drawing up the decision tree to real lines which can be carried out in the example case. The decision tree presented in Fig. 4 is in fact a probable copy of the practical artificial regeneration situation on dryish mineral soil sites.

In the model there are four different alternative ways of preparing the soil surface and five different artificial regeneration alternatives. Naturally, if required, the soil preparation alternatives can also still include, for instance, hummocking or shoulder and tilth ploughing. The need for control of the ground vegetation and sprouts associated with the different soil preparation methods has been estimated using the probabilities of

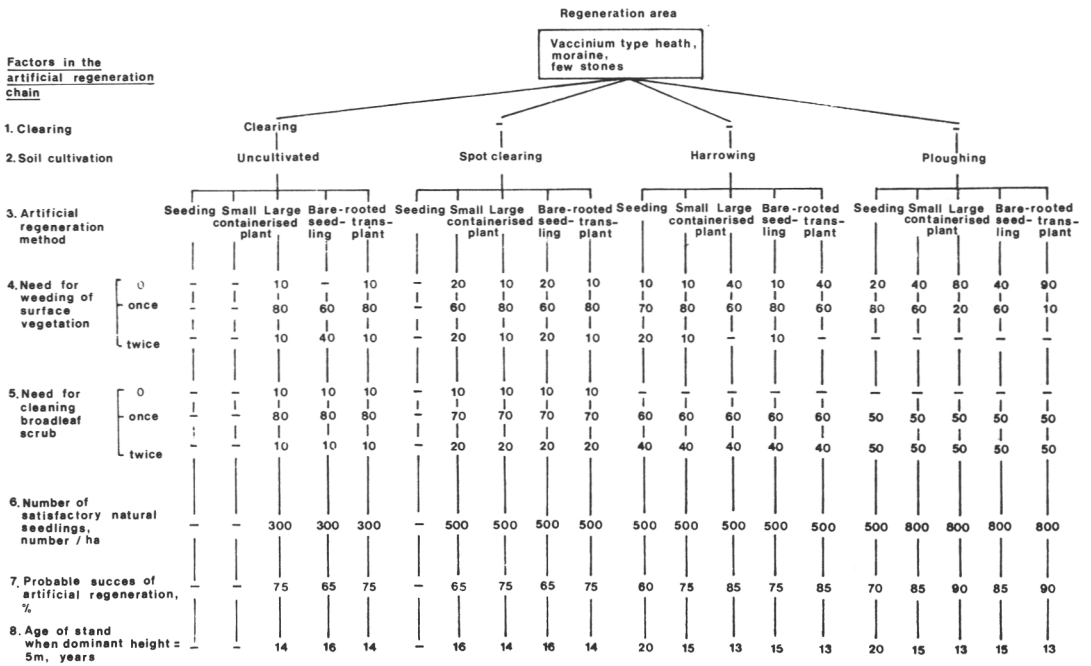


Figure 4. Decision making tree for the regeneration of a dry mineral soil.

the number of individual control applications required. It has been assumed that it is necessary to control the ground vegetation for the first time 2 years after carrying out artificial regeneration, and for the second time after 4 years. It has been estimated that sprouts will have to be controlled for the first time 6 years after artificial regeneration and for the second time after 10 years.

It has been estimated that the final level of the regeneration results has been attained after all the measures have been carried out. It is determined as the mean survival percentage of the young trees. When calculating the survival percentage, it has been assumed that it follows a beta distribution.

The success of regeneration and the development of the seedling stand has been evaluated on the basis of artificial regeneration studies and inventories (cf. Karjula et al. 1982).

The naturally regenerated seedling material refers only to those seedlings which can be accepted for growing alongside the artificially regenerated seedlings. The regeneration of natural seedlings is assumed to follow the normal distribution.

Costs data

The costs in the model are the costs at the time when regeneration was carried out. The costs information used in the model have been obtained from the recommended unit wages and payments and contract work payments used in practice in eastern Finland.

The decision making strategies

In addition to the decision tree and costs data, the working instructions for each organization can be incorporated into the calculating model as input data. There are three different groups of factors in the model presented here which will be defined before starting the calculation.

1. Evaluation of the time in regeneration (the price of a delay of one year). What kind of economic loss from the point of view of the decision maker, is the loss of one year in comparison to the chain which achieves the regeneration target in the fastest time?
2. The seedling material regenerating naturally in the artificially regenerated seedling stand. Is the naturally regenerated seedling material acceptable as supplements for the artificially regenerated seedling stand?
3. The state of the seedling stand achieved through regeneration and determination of its wood production. The wood production capacity of the young stand was estimated at the 5 m dominant height stage. The evaluation curve in which the relative wood production capacity is determined as a function of density is presented in Fig. 5. The supplementation limit is a density of 1 600 plants/ha and the limit for a new regeneration is a density of 1 000 plants/ha.

The technical quality of the trees has not for the present been taken into account in the model.

Course of the calculation

The aim of the model is to combine all the above-mentioned data. The most important point is to include in the model all the biological information which changes with the aid of the probability distributions. The calculation has been made by using either an interest rate of 0 % (interest not taken into account) or one of 4 %. The costs accruing at different times have been discounted to the regeneration instant.

The artificial regeneration stage has been considered as a partly random process, which for the present includes two random parts: the success of regeneration and the formation of natural seedling.

The distribution of the total number of acceptable seedlings has been calculated by assuming that the success of regeneration and the formation of natural seedlings are statistically independent of each other. The probability that x natural seedlings are formed and y of the artificial seedlings survive is the product of the separate probabilities in question.

Three different situations can arise as the result of artificial regeneration:

1. Artificial regeneration succeeds to a satisfactory degree without any supplementary regeneration required, i.e. the permitted density limit is exceeded,
2. It is necessary to supplement the number of seedlings, i.e. the supplementation limit is not exceeded, but the renewal limit is exceeded,
3. Artificial regeneration has to be renewed completely, i.e. the density is below the renewal limit.

The probability for each of the three above-mentioned possibilities of success can be calculated from the density distribution. The expected costs are calculated as follows:

$$K = p_1 \times k_1 + p_2 \times k_2 + p_3 (b \times k_1 + k_3),$$

where

K = expected costs

k_1 = the original costs

k_2 = the costs of supplementation

k_3 = the costs of repeating regeneration

p_1 = the probability, that artificial regeneration will be successful without supplementation

p_2 = the probability that supplementation will be required

p_3 = the probability that regeneration will have to be renewed

b = coefficient (in the example = 1)

By dividing the expected costs by the relative value coefficient of predicted wood production, the costs can be weighted as regards the wood production capacity of the stand (Fig. 5).

Results

The results calculated according to five different decision making criteria are presented in the appendix in Tables 1-8. The results refer to two different establishment densities (2 000 and 2 600 seedlings/ha) with interest rates of 0 and 4 % and including the naturally regenerated seedlings.

The lowest costs without interest at an establishment density of 2 000 seedlings/ha (Table 1), taking the result of regeneration into account, are in the regeneration chain: ploughing — bare-rooted seedlings (criterion B). If emphasis is placed on the rate of development of the stand (a delay taken into account), the costs are the lowest in the regeneration chain: harrowing — large containerized seedlings and ploughing — bare-rooted transplants (criterion C). These regeneration chains are also the most economical if the predicted wood production capacity of the stand is taken into account (criterion D). In comparison to the cheapest regeneration chain, speeding up artificial regeneration in these chains has costs of FIM 108-130 per year won (criterion E).

If the density is increased from 2 000 to 2 600 seedlings/ha (Table 2), the differences in the costs between the different nursery stock types even out when ploughing is used. Similarly, the differences between ploughing and harrowing change such that regeneration on harrowed ground becomes cheaper than regeneration on ploughed ground.

Including the naturally-regenerated seedlings (Tables 3 and 4), results in artificial regeneration on harrowed land becoming the cheapest alternative. Including the interest (Tables 5-8) does not result in any changes in the relationships between the different regeneration chains.

Examination of the results and the applicability of the model to practical decision making situations

The calculating model developed in the study does not give as the result one optimum solution for certain criteria, but instead the aim is to provide a tool for decision making when faced with a number of different criteria. The calculating principle presented in the study can be further developed for each organization and growing site.

The decision making tree used as the basic starting point for the calculating model has to be constructed separately for each regeneration situation. It is flexible from the point of view of the applicability of the model, if the decision maker needs to determine, for instance, only the following parameters (e.g. as classification parameters) in the regeneration situation:

- site (forest site type)
- soil type (e.g. moraine etc.)
- amount of cutting residues (e.g. few, plenty of, medium)
- degree of paludification (e.g. % of surface area)
- stoniness, (e.g. few stones, stony, extremely stony)

It is possible to construct the calculating system beforehand in such a way that by feeding the previous parameters into the computer, the program uses the given costs data and decision making tree as the default value, if different costs are not given as input. In addition to this, three other factors can be included in the calculating model which are chosen according to the applied strategy of the decision maker or organization.

These factors are:

- estimation of the time taken for regeneration
- the naturally-regenerated seedling material
- the wood production capacity and technical quality of the seedling stand achieved through regeneration

The results of the calculations show that the differences, which arise between the different alternatives, are very strongly dependent on the time spent in regeneration. It is evident from the results of inventories carried out on the regeneration areas that the development of a seeded stand up to a dominant height of 5 m is about 6–7 years behind the development of a planted stand (cf. Karjula et al. 1982). The differences in the rate of development of seedling stands which have developed from different types of nursery stock are, on the other hand, only a few years.

The calculation model presented here does not take into account any possible differences in technical quality. If the decision maker so requires, then the effect of the technical quality of the tree stand can be incorporated into the model in a similar manner as for the evaluation curve for wood production. It is obvious that increasing the technical quality of the trees in planted stands requires densities of over twice the present-day ones. Thus it can always be assumed in planted stands that a certain pruning cost should be added to the costs of artificial regeneration. This reduces the economic advantages of establishing planted stands in comparison to seeding or natural regeneration. On the other hand, the better technical quality of seeding or natural stands as opposed to planted stands can be emphasised in the model by setting the evaluation curve of the technical quality at a higher level in densities where natural pruning starts to have an effect.

Taulukoiden päätöksentekokriteerien selitykset:

Decision making criteria of the calculation model presented in the tables:

A = Viljelykustannukset viiden metrin valtapitusvaiheeseen mennessä ilman viivettä ja ilman täydennystä ja viljelyn uusimista, mk/ha.

Cost of artificial regeneration until the age when stand dominant height = 5 m (with no delay, supplementation or repeat regeneration measures).

B = Täydennysviljelyn ja uusintaviljelyn todennäköisyydet huomioonottava viljelykustannusten odotusarvo (keskimääräinen kustannus) viiden metrin valtapitusvaiheeseen mennessä ilman viivettä. B_a = Odotettavissa oleva kustannus, B_b = Kustannusten keskihajonta.

Expected costs of artificial regeneration until the age when stand dominant height = 5 m (with no delays but taking into account probabilities of the need for supplementation and repeat regeneration measures). B_a = Forecasted cost, B_b = Standard deviation of costs.

C = Edellä oleva (kohdassa B) viljelykustannusten odotusarvo mukaanlukien viivästysvuoden arvo (oletettu arvo 200 mk/vuosi).

Expected costs of artificial regeneration as in point B but also including cost of delay (assumed value 200 FIM/year).

D = Viiveellinen viljelyn kokonaiskustannusten odotusarvo viiden metrin valtapitusvaiheeseen mennessä (C) jaettuna taimikon tulevalla tuotoksella. *Expected costs of artificial regeneration as in point C until age when dominant height = 5 m, divided by forecasted yield of young stand.*

E = Kustannuksiltaan edullisinta toimenpideketjua nopeammin tavoiteltuun tulokseen johtavien ketjujen lisäkustannus suhteessa viljelyn nopeutumisella voitettua vuotta kohti. 0 = kustannuksiltaan edullisin toimenpideketju, — = hitaampi toimenpideketju. Vertailu on tehty täydennysviljelyn ja uusintaviljelyn todennäköisyydet huomioonottavan viljelykustannusten odotusarvon pohjalta.

Additional cost of a regeneration chain which is faster than the cheapest chain, in relation to the annual saving in regeneration time. 0 = cheapest regeneration chain, — = slower regeneration chain. Comparison is made on the basis of expected artificial regeneration costs taking into account probabilities of the need for supplementation and repeat regeneration measures.

Taulukko 1. Metsänviljelyn toimenpideketjujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytiheys 2 000 tainta/ha, ilman luontaisesti syntyvää taimiainesta ja ilman korkoa.

Table 1. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seeding density 2 000 plants (seed spots)/ha, ignoring natural seedlings and rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method		Päätöksentekokriteerit — Decision-making criteria				
	A mk/ha	B mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/vuosi	yr.	
Muokkaamaton <i>Uncultivated</i>							
1. Kylvö	—	—	—	—	—	—	
2. Pieni paakkutaimi	—	—	—	—	—	—	
3. Iso paakkutaimi	2077	3459	722	3659	4440	1733	
4. Koulumaton	1545	3211	918	3811	5299	—	
5. Koulittu	2077	3459	722	3659	4440	1733	
Laikutus <i>Spot clearing</i>							
1. Kylvö	—	—	—	—	—	—	
2. Pieni paakkutaimi	1446	2498	724	3098	4307	—	
3. Iso paakkutaimi	1834	2670	605	2870	3483	944	
4. Koulumaton	1286	2338	724	2938	4084	—	
5. Koulittu	1874	2710	605	2910	3531	984	
Lautasaoraus <i>Harrowing</i>							
1. Kylvö	1129	2365	790	3765	5994	—	
2. Pieni paakkutaimi	1483	2320	607	2720	3300	—	
3. Iso paakkutaimi	1759	1943	359	1943	2066	108	
4. Koulumaton	1323	2160	607	2560	3106	—	
5. Koulittu	1799	1983	359	1983	2109	128	
Piennaraoraus <i>Ploughing</i>							
1. Kylvö	1405	2181	491	3581	4414	—	
2. Pieni paakkutaimi	1703	1886	360	2286	2431	—	
3. Iso paakkutaimi	1951	1973	174	1973	2027	124	
4. Koulumaton	1543	1726	360	2126	2261	0	
5. Koulittu	1963	1985	158	1985	2039	130	

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

Taulukko 2. Metsänviljelyn toimenpideketjujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytiheys 2 600 tainta/ha, ilman luontaisesti syntyvää taimiainesta ja ilman korkoa.

Table 2. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seeding density 2 600 plants (seed spots)/ha, ignoring natural seedlings and rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method		Päätöksentekokriteerit — Decision-making criteria				
	A mk/ha	B ^a mk/ha	B ^b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/vuosi	yr.
Muokkaamaton <i>Uncultivated</i>							
1. Kylvö	—	—	—	—	—	—	
2. Pieni paakkutaimi	—	—	—	—	—	—	
3. Iso paakkutaimi	2521	3467	729	3667	3911	1750	
4. Koulumaton	1821	3078	959	3678	4208	—	
5. Koulittu	2521	3467	729	3667	3911	1750	
Laikutus <i>Spot clearing</i>							
1. Kylvö	—	—	—	—	—	—	
2. Pieni paakkutaimi	1662	2377	867	2977	3406	—	
3. Iso paakkutaimi	2158	2595	696	2795	2980	878	
4. Koulumaton	1454	2169	867	2769	3168	—	
5. Koulittu	2210	2547	696	2847	3036	930	
Lautasaoraus <i>Harrowing</i>							
1. Kylvö	1129	2077	967	3477	4329	—	
2. Pieni paakkutaimi	1699	2136	696	2536	2704	—	
3. Iso paakkutaimi	2038	2090	166	2090	2095	186	
4. Koulumaton	1491	1928	696	2328	2482	—	
5. Koulittu	2135	2142	166	2142	2147	212	
Piennaraoraus <i>Ploughing</i>							
1. Kylvö	1405	1854	681	3254	3496	—	
2. Pieni paakkutaimi	1919	1925	170	2325	2331	—	
3. Iso paakkutaimi	2275	2275	120	2275	2275	297	
4. Koulumaton	1711	1717	170	2117	2122	0	
5. Koulittu	2299	2299	94	2299	2299	290	

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

Taulukko 3. Metsänviljelyn toimenpitekettujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytyheys 2 000 tainta/ha, luontaisesti syntyvä hyväksyttävä taimineen mukaankukinta, ilman korkoa.

Table 3. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seeding density 2 000 plants (seed spots)/ha, including natural seedlings, ignoring rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method					Päätöksenekokriteerit—Decision-making criteria						
	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.
Muokkaamaton <i>Uncultivated</i>												
1. Kylvä	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Pieni paakkutaimi	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3. Iso paakkutaimi	2077	2925	506	3125	3358	241	2077	2925	506	3125	3358	241
4. Koulimaton	1545	2602	694	3202	3620	281	1545	2602	694	3202	3620	281
5. Koulittu	2077	2925	506	3125	3358	241	2077	2925	506	3125	3358	241
Laikutus <i>Spot clearing</i>												
1. Kylvä	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Pieni paakkutaimi	1446	1757	513	2357	2526	70	1446	1757	513	2357	2526	70
3. Iso paakkutaimi	1834	2012	381	2212	2303	89	1834	2012	381	2212	2303	89
4. Koulimaton	1286	1597	513	2197	2355	30	1286	1597	513	2197	2355	30
5. Koulittu	1874	2052	381	2252	2345	96	1874	2052	381	2252	2345	96
Lautasaurus <i>Harrowing</i>												
1. Kylvä	1129	1567	612	2967	3299	—	1129	1567	612	2967	3299	—
2. Pieni paakkutaimi	1483	1662	380	2062	2145	37	1483	1662	380	2062	2145	37
3. Iso paakkutaimi	1759	1766	157	1766	1775	41	1759	1766	157	1766	1775	41
4. Koulimaton	1323	1502	380	1902	1980	5	1323	1502	380	1902	1980	5
5. Koulittu	1799	1806	157	1806	1815	47	1799	1806	157	1806	1815	47
Piennaraus <i>Ploughing</i>												
1. Kylvä	1405	1477	270	2877	2940	0	1405	1477	270	2877	2940	0
2. Pieni paakkutaimi	1703	1705	149	2105	2130	45	1703	1705	149	2105	2130	45
3. Iso paakkutaimi	1951	1951	120	1951	1983	68	1951	1951	120	1951	1983	68
4. Koulimaton	1543	1545	149	1945	1968	13	1543	1545	149	1945	1968	13
5. Koulittu	1963	1963	94	1963	1995	69	1963	1963	94	1963	1995	69

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

Taulukko 4. Metsänviljelyn toimenpitekettujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytyheys 2 600 tainta/ha, luontaisesti syntyvä hyväksyttävä taimineen mukaankukinta, ilman korkoa.

Table 4. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seeding density 2 600 plants (seed spots)/ha, including natural seedlings, ignoring rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method					Päätöksenekokriteerit—Decision-making criteria						
	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.
Muokkaamaton <i>Uncultivated</i>												
1. Kylvä	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Pieni paakkutaimi	2521	3169	446	3369	3446	289	2521	3169	446	3369	3446	289
3. Iso paakkutaimi	1821	2661	676	3261	3431	306	1821	2661	676	3261	3431	306
4. Koulimaton	2521	3169	446	3369	3446	289	2521	3169	446	3369	3446	289
5. Koulittu	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Laikutus <i>Spot clearing</i>												
1. Kylvä	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2. Pieni paakkutaimi	1662	852	—	—	—	—	1662	852	—	—	—	—
3. Iso paakkutaimi	2158	2231	323	2431	2473	132	2158	2231	323	2431	2473	132
4. Koulimaton	1454	1644	513	2244	2318	52	1454	1644	513	2244	2318	52
5. Koulittu	2210	2238	323	2483	2526	141	2210	2238	323	2483	2526	141
Lautasaurus <i>Harrowing</i>												
1. Kylvä	1129	1449	625	2849	3010	—	1129	1449	625	2849	3010	—
2. Pieni paakkutaimi	1699	1773	322	2173	2210	67	1699	1773	322	2173	2210	67
3. Iso paakkutaimi	2083	2984	140	2084	2126	92	2083	2984	140	2084	2126	92
4. Koulimaton	1491	1565	322	1965	1998	26	1491	1565	322	1965	1998	26
5. Koulittu	2135	2136	140	2136	2179	100	2135	2136	140	2136	2179	100
Piennaraus <i>Ploughing</i>												
1. Kylvä	1405	1437	239	2317	2431	0	1405	1437	239	2317	2431	0
2. Pieni paakkutaimi	1919	1919	144	2319	2410	96	1919	1919	144	2319	2410	96
3. Iso paakkutaimi	2275	2275	119	2275	2418	120	2275	2275	119	2275	2418	120
4. Koulimaton	1711	1711	144	2111	2213	55	1711	1711	144	2111	2213	55
5. Koulittu	2299	2299	94	2299	2444	123	2299	2299	94	2299	2444	123

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

Taulukko 5. Metsänviljelyn toimenpiteketjujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytiheys 2 000 tainta/ha, ilman luontaisesti syntyvää taimiaimesta, korko 4 %.

Table 5. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seeding density 2 000 plants (seed spots)/ha, ignoring natural seedlings, 4 per cent rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method					Päätöksenteokriteerit—Decision-making criteria						
	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.
Muokkaamaton 1. Kylvä												
<i>Uncultivated</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2038	3352	666	3552	4310	1684	—	—	—	—	—	—
	1498	3073	844	2673	5107	—	—	—	—	—	—	—
	2038	3352	666	3552	4310	1684	—	—	—	—	—	—
Laikutus												
<i>Spot clearing</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1405	2367	652	2967	4125	—	—	—	—	—	—	—
	1793	2561	549	2761	3351	893	—	—	—	—	—	—
	1245	2207	652	2807	3903	—	—	—	—	—	—	—
	1833	2601	549	2801	3399	933	—	—	—	—	—	—
Lautasauraus												
<i>Harrowing</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1082	2209	709	3609	5746	—	—	—	—	—	—	—
	1438	2207	550	2607	3164	—	—	—	—	—	—	—
	1723	1892	332	1892	2013	112	—	—	—	—	—	—
	1278	2047	550	2447	2970	—	—	—	—	—	—	—
	1763	1932	332	1932	2055	132	—	—	—	—	—	—
Piennaraus												
<i>Ploughing</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1357	2070	445	3470	4276	—	—	—	—	—	—	—
	1659	1829	333	2229	2371	—	—	—	—	—	—	—
	1916	1936	161	1936	1989	134	—	—	—	—	—	—
	1499	1669	333	2069	2200	0	—	—	—	—	—	—
	1930	1951	146	1951	2004	141	—	—	—	—	—	—

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

Taulukko 6. Metsänviljelyn toimenpiteketjujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytiheys 2 600 tainta/ha, ilman luontaisesti syntyvää taimiaimesta, korko 4 %.

Table 6. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seeding density 2 600 plants (seed spots)/ha, ignoring natural seedlings, 4 per cent rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method					Päätöksenteokriteerit—Decision-making criteria						
	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.	A mk/ha	B mk/ha	B _b mk/ha	C mk/ha	D mk/ha	E mk/ha/yr.
Muokkaamaton 1. Kylvä												
<i>Uncultivated</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2482	3394	674	3594	3833	1721	—	—	—	—	—	—
	1774	2972	884	3572	4087	—	—	—	—	—	—	—
	2482	3294	674	3594	3822	1721	—	—	—	—	—	—
Laikutus												
<i>Spot clearing</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	—	2278	793	2878	3293	—	—	—	—	—	—	—
	2117	2519	641	2719	2900	846	—	—	—	—	—	—
	1413	2070	793	2670	3055	—	—	—	—	—	—	—
	2169	2571	641	2771	2955	898	—	—	—	—	—	—
Lautasauraus												
<i>Harrowing</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1082	1951	881	3351	4172	—	—	—	—	—	—	—
	1654	2057	641	2457	2620	—	—	—	—	—	—	—
	2047	2053	154	2053	2058	190	—	—	—	—	—	—
	1447	1849	641	2249	2398	—	—	—	—	—	—	—
	2099	2105	154	2105	2110	216	—	—	—	—	—	—
Piennaraus												
<i>Ploughing</i>												
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	1357	1771	627	3171	3407	—	—	—	—	—	—	—
	1875	1881	157	2281	2287	—	—	—	—	—	—	—
	2240	2240	110	2240	2240	283	—	—	—	—	—	—
	1667	1673	157	2073	2078	0	—	—	—	—	—	—
	2266	2266	86	2266	2266	296	—	—	—	—	—	—

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

Taulukko 7. Metsänviljelyn toimenpiteketujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytiheys 2 000 tainta/ha, luontaisesti syntyvä hyväksyttävä taimien mukaanlukien, korko 4 %.

Table 7. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seedling density 2 000 plants (seed spots)/ha, including natural seedlings, 4 per cent rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method		Päätöksentekokriteerit—Decision-making criteria				
	A	B _a	B _b	C	D	E	yr.
Muokkaamaton	1. Kylvö	—	—	—	—	—	—
Uncultivated	2. Pieni paakkutaimi	—	—	—	—	—	—
	3. Iso paakkutaimi	2038	2859	467	3059	3287	239
	4. Koulimaton	1498	2512	639	3112	3518	272
	5. Koulittu	2038	2859	467	3059	3287	239
Laikutus	1. Kylvö	—	—	—	—	—	—
Spot clearing	2. Pieni paakkutaimi	1405	1691	469	2291	2456	67
	3. Iso paakkutaimi	1793	1957	350	2157	2246	89
	4. Koulimaton	1245	1531	469	2131	2284	27
	5. Koulittu	1833	1997	350	2197	2287	96
Lautasauraus	1. Kylvö	1082	1485	558	2885	3207	—
Harrowing	2. Pieni paakkutaimi	1438	1603	350	2003	2085	36
	3. Iso paakkutaimi	1723	1729	145	1729	1737	44
	4. Koulimaton	1278	1443	350	1843	1918	4
	5. Koulittu	1763	1769	145	1769	1777	49
Piennaraus	1. Kylvö	1357	1424	249	2824	2886	0
Ploughing	2. Pieni paakkutaimi	1659	1661	138	2061	2086	47
	3. Iso paakkutaimi	1916	1916	111	1916	1947	70
	4. Koulimaton	1499	1501	138	1901	1925	15
	5. Koulittu	1930	1930	87	1930	1961	72

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

Taulukko 8. Metsänviljelyn toimenpiteketujen vertailu laskentamallin tulosten perusteella. Viljelytiheys 2 600 tainta/ha, luontaisesti syntyvä hyväksyttävä taimien mukaanlukien, korko 4 %.

Table 8. Comparison of artificial regeneration chains on the basis of results from the calculation model. Planting/seedling density 2 600 plants (seed spots)/ha, including natural seedlings, 4 per cent rate of interest.

Maanpinnan käsittely Soil cultivation	Viljelyketjut—Regeneration chains Viljelymenetelmä Artificial regeneration method		Päätöksentekokriteerit—Decision-making criteria				
	A	B _a	B _b	C	D	E	yr.
Muokkaamaton	1. Kylvö	—	—	—	—	—	—
Uncultivated	2. Pieni paakkutaimi	—	—	—	—	—	—
	3. Iso paakkutaimi	2482	3118	412	3318	3394	290
	4. Koulimaton	1774	2588	624	3188	3354	303
	5. Koulittu	2482	3118	412	3318	3394	290
Laikutus	1. Kylvö	—	—	—	—	—	—
Spot clearing	2. Pieni paakkutaimi	—	1796	472	2396	2475	105
	3. Iso paakkutaimi	2117	2184	298	2384	2425	135
	4. Koulimaton	1413	1588	472	2188	2260	53
	5. Koulittu	2169	2236	298	2436	2478	143
Lautasauraus	1. Kylvö	1082	1377	598	2777	2933	0
Harrowing	2. Pieni paakkutaimi	1654	1722	297	2122	2158	69
	3. Iso paakkutaimi	2047	2047	130	2047	2088	96
	4. Koulimaton	1447	1514	297	1914	1947	27
	5. Koulittu	2099	2099	130	2099	2141	103
Piennaraus	1. Kylvö	1357	1387	221	2787	2859	—
Ploughing	2. Pieni paakkutaimi	1875	1975	133	2275	2386	100
	3. Iso paakkutaimi	2240	2240	110	2240	2381	123
	4. Koulimaton	1667	1667	133	2067	2167	58
	5. Koulittu	2266	2266	86	2266	2409	127

1 = Seeding
2 = Small containerized plant
3 = Large containerized plant
4 = Bare-root seedling
5 = Bare-root transplant

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

THE FINNISH FOREST RESEARCH INSTITUTE

Tutkimusosastot — *Research Departments*

Maantutkimusosasto
Department of Soil Science

Suontutkimusosasto
Department of Peatland Forestry

Metsänhoidon tutkimusosasto
Department of Silviculture

Metsänjalostuksen tutkimusosasto
Department of Forest Genetics

Metsänsuojelun tutkimusosasto
Department of Forest Protection

Metsäteknologian tutkimusosasto
Department of Forest Technology

Metsänarvioimisen tutkimusosasto
Department of Forest Inventory and Yield

Metsäekonomian tutkimusosasto
Department of Forest Economics

Matemaattinen osasto
Department of Mathematics

Metsäntutkimusasemat — *Research Stations*

Parkanon tutkimusasema
Parkano Research Station
Os. — *Address:* 39700 Parkano, Finland
Puh. — *Phone:* (933) 2912

Muhoksen tutkimusasema
Muhos Research Station
Os. — *Address:* 91500 Muhos, 1 kp, Finland
Puh. — *Phone:* (981) 431 404

Suonenjoen tutkimusasema
Suonenjoki Research Station
Os. — *Address:* 77600 Suonenjoki, Finland
Puh. — *Phone:* (979) 11 741

Punkaharjun jalostuskoasema
Punkaharju Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 58450 Punkaharju, Finland
Puh. — *Phone:* (957) 314 241

Ojajoen koasema
Ojajoki Experimental Station
Os. — *Address:* 12700 Loppi, Finland
Puh. — *Phone:* (914) 40 356

Kolarin tutkimusasema
Kolari Research Station
Os. — *Address:* 95900 Kolari, Finland
Puh. — *Phone:* (995) 61 401

Rovaniemen tutkimusasema
Rovaniemi Research Station
Os. — *Address:* Eteläranta 55
96300 Rovaniemi 30, Finland
Puh. — *Phone:* (991) 15 721

Joensuun tutkimusasema
Joensuu Research Station
Os. — *Address:* PL 68
80101 Joensuu 10, Finland
Puh. — *Phone:* (973) 26 211

Ruotsinkylän jalostuskoasema
Ruotsinkylä Tree Breeding Station
Os. — *Address:* 01590 Maisala, Finland
Puh. — *Phone:* (90) 824 420

Kannuksen energiametsäkoasema
Kannus Energy Forestry Experiment Station
Os. — *Address:* Valtakatu 18
69100 Kannus, Finland
Puh. — *Phone:* (968) 71 161

- No 527 Nikkanen, Teijo: Pohjois-Suomen mäntyjen nuorissa siemenviljelyksissä syntyneen siemen käyttömahdollisuuksista Oulun läänin alueella.
Survival and height growth of North Finland × South Finland hybrid progenies of Scots pine in intermediate areas.
- No 528 Sirén, Matti: Puuston vaurioituminen harvennuspuun korjuussa kuormainprocessorilla.
Stand damage in thinning operation with grapple loader processor.
- No 529 Valtonen, Kari: Sahatavaran ja puulevyjen käyttö uudisrakentamiseen 1970-luvulla.
Use of sawnwood and wood-based panels in new building construction in the 1970's.
- No 530 Hannelius, Simo: Metsäkiinteistöjen kauppahinta-aineisto ja sen soveltuvuus kauppa-arvomenetelmän vertailuperusteeksi.
Forest real estate purchase price statistics as a basis for comparison method in real estate appraisal.
- No 531 Kinnunen, Kaarlo: Männyn kylvö karuhkoilla kangasmailla Länsi-Suomessa.
Scots pine sowing on barren mineral soils in western Finland.
- No 532 Lyly, Olavi & Saksa, Timo: Pituuskasvun vaihtelu ja puuluokkien eriytyminen nuorena istutusmännikössä.
Variation in height growth and differentiation of tree classes in a young Scots pine plantation.
- No 533 Lähde, Erkki, Nieminen, Jarmo, Etholén, Kullervo & Suolahti, Pekka: Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskolla.
Older lodgepole pine stands in southern Finland.
- No 534 Mälkönen, Eino & Saarsalmi, Anna: Hieskoivikon biomassatuotos ja ravinteiden menetys kokopuun korjuussa.
Biomass production and nutrient removal in whole tree harvesting of birch stands.
- No 535 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä.
State of sown and naturally regenerated young Scots pine stands in the private forest of western Finland.
- No 536 Raitio, Hannu: Rauduskoivun kasvuhäiriö Torajärven koekentällä.
Growth disturbance of *Betula pendula* in the Torajärvi experimental field.
- No 537 Leikola, Matti, Raulo, Jyrki & Pukkala, Timo: Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen.
Prediction of the variation of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce.
- No 538 Takalo, Sauli & Väyrynen, Seppo: Terri-telamaasturi puutavaran maastokuljetuksessa.
Terri light crawler in timber transport.
- No 539 Appelroth, Sven-Eric: Rekommendationer för materialinsamling och resultatpresentation vid tidsstudier av skogsvårdsarbeten.
Recommendations for collecting data and presenting results of time studies on silvicultural operations.
- No 540 Huttunen, Terho: Suomen puunkäyttö, poistuma ja metsätase 1980–82.
Wood consumption, total drain and forest balance in Finland, 1980–82.
- No 541 Saksa, Timo & Lähde, Erkki: Siemenen määrä männyn, kuusen ja lehtikuusen suojakylvössä.
Number of seeds in shelter sowing of Scots pine, Norway spruce and Siberian larch.

- No 542 Kärkkäinen, Matti: Kuitupuupölkkyjen mittaustutkimuksia.
Studies of the measurement of pulpwood bolts.
- No 543 Kärkkäinen, Matti & Björklund, Tarja: Suomussalmelaisten mäntytukkien koesahaustuloksia.
On the sawing of pine logs from Suomussalmi, north-eastern Finland.
- No 544 Petäistö, Raija-Liisa: Rauduskoivun versolaikut taimitarhalla.
Stem spotting of birch (*Betula pendula*) in nurseries.
- No 545 Tiihonen, Paavo: Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella.
Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory.
- No 546 Kinnunen, Kaarlo & Nerg, Jukka: Istutustaimikoiden tila 11–12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä.
State of plantations 11–12 years after planting in some private forests in western Finland.
- No 547 Rousi, Matti: Pohjois-Suomen siemenviljelysjälkeläistöjen menestymisestä Kittilässä.
The thriving of the seed orchard progenies of northern Finland at Kittilä.
- No 548 Imponen, Vesa & Sirén, Matti: Kaatotavan vaikutus kuormainprocessorin tuottavuuteen.
The influence of the felling method on the performance of a grapple loader processor.
- No 549 Parviainen, Jari & Lappi, Juha: Laskentamalli metsänviljelyketjujen vertailemiseksi.
A calculation model for the comparison of artificial forest regeneration chains.
- No 550 Metsätalastollinen vuosikirja 1982.
Yearbook of Forest Statistics 1982.

Metsäntutkimuslaitoksen julkaisusarjoja, Communicationes Instituti Forestalis Fenniae ja Folia Forestalia, koskevat yksittäiskappaletilaukset ja vaihtotarjoukset osoitetaan laitoksen kirjastolle. Tiedonantomonisteita koskevat pyynnöt osoitetaan ao. tutkimusosastolle tai -asemalle.

Subscriptions concerning single copies of the publications, as well as exchange offers, can be addressed to the Library of the Institute.

Myynti: Valtion painatuskeskus, Annankatu 44, 00100 Helsinki 10, puh. (90) 17 341