TIEDOTUS
METSÄTEHO REPORT
HELSINKI 1996 411

Metsänviljelyn tulos- ja kustannusvertailu aggregointiin perustuvalla menetelmällä

A system model based on aggregation for comparing outcomes and costs in artificial forest regeneration

Simo Kaila

Tiedotus Metsäteho Report 411

M E T S Ä T E H O

Metsäteollisuus ry:n puunhankinnan ja puuntuottamisen
tutkimus- ja kehitysosasto
R&D Department for Wood Procurement and Production
of the Finnish Forest Industries Federation

METSÄNVILJELYN TULOS- JA KUSTANNUS-VERTAILU AGGREGOINTIIN PERUSTUVALLA MENETELMÄLLÄ

A system model based on aggregation for comparing outcomes and costs in artificial forest regeneration

Simo Kaila

METSÄTEHO
PL 194 (Unioninkatu 17) 00131 HELSINKI
puh. (90) 132 521 faksi (90) 659 202

Painovalmiste Ky, Helsinki 1996

ISBN 951-673-148-1
ISSN 0356-7257

ALKUSANAT

Tutkimusraportti on lyhennelmä lisensiaatintutkimuksesta, jonka raportin laatija teki Suomen Akatemian tuella. Raportissa selostetaan Metsätehossa pitkään käynnissä ollutta kehittämishanketta, jonka tuloksena laadittiin metsänviljelyn tuloksia ja kustannuksia vertaileva laskentamalli.

Laskentamallia on ylläpidetty Metsätehossa rakenteeltaan alkuperäisenä, mutta sen kehittely vaatisi metsänuudistamisen nopean kehityksen takia huomattavia muutoksia ja toteutusvälineen uusimista.

Ongelman käsittelytapaa voidaan edelleen pitää toimivana. Sitä voitaisiin myös mahdollisesti soveltaa yleisemminkin metsätalouden tutkimuksen ja kehittämisen alueella vastaavien kokonaisuuksien käsittelyyn.

Helsingissä joulukuussa 1995

Erkki Alalammi

SISÄLTÖ
Contents

Sivu
Page

TIIVISTELMÄ 6

1 TARKASTELUN TAUSTA 7
1.1 Lähtökohdat ja tehtävän asettelu 7
1.2 Ratkaisuperiaatteet ja rajaus 8
1.2.1 Tarkastelun periaatteet 8
1.2.2 Tehtävän rajaukset ja tarkastelukriteerit 9

2 LASKENTAMENETELMÄN YLEISKUVAUS 9
2.1 Laskennan lähtötiedot ja tulosteet 9
2.2 Laskennan kulku 12
2.2.1 Maanmuokkausvaihe 12
2.2.2 Viljelyvaihe 13
2.2.3 Taimikon kehitysvaihe 15

3 MENETELMÄN TOIMIVUUS JA KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET 16
3.1 Mallin subjektiivisuuden ongelma 16
3.2 Mallin eheyden ongelma 17
3.3 Muita metsänuudistamisen mallinnustapoja 18
3.4 Tarkastelutehtävän toteutuminen 18

KIRJALLISUUTTA - *References* 20

Summary 22

TIIVISTELMÄ

Kun metsänviljelyä mallinnetaan maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehtojen vertailua varten, ongelmina ovat erilaisten kasvupaikkojen ja toimenpideketjujen yhdistelmien suuri määrä ja tietoperustan puutteet. Metsätehon metsänviljelyn vertailulaskentasysteemissä tehtävään sovellettiin hierarkkisen rakenteen ja aggregointitekniikan käyttöä. Kyseessä on tähän asti ainoa toteutusasteelle kehitetty metsänuudistamisen tuloksen ja kustannusten aggregointiin perustuva laskentasysteemi.

Metsänviljelyn tapahtumaketju määriteltiin peräkkäisiksi vaiheiksi ja kuvattiin näiden kehitys kunkin vaiheen tuloksiksi ja samalla seuraavan vaiheen syötteiksi yhdisteisten eli aggregoitujen muuttujien avulla. Menettelyssä on tarkoituksena saada käsiteltävien muuttujien yhdistelmien laajuus kohtuulliseksi, jotta mukaan voitaisiin ottaa paljon sekä maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehtoja että kasvupaikkaa kuvaavia tunnuksia.

Laskentasysteemin rakenne ja sisältö koostettiin haastattelemalla metsänviljelytutkijoita ja käytännön metsänviljelyn asiantuntijoita. Systeemin rakentamisessa tulivat esiin tietoperustan puutteet ja hajanaisuus. Tutkimusten tuloksia sellaisinaan - numeerisina arvoina ja funktioina - voitiin mallissa käyttää vain rajoitetusti.

Metsänuudistamisen käytännön toteutuksen ja suunnittelun apuvälineeksi laskentasysteemi ei osoittautunut soveltuvan, mutta työmaasuunnittelun kehittämiseen ja menetelmien periaatteellisiin edullisuusvertailuihin koulutustilaisuuksissa sitä on käytetty. Malli on eräin osin puutteellinen, mutta on kehitettävissä edelleen osanen kerrallaan. Metsänuudistamisen toteutus on myös kokenut melkoisia muutoksia viime vuosina. Laskentasysteemin käyttö uusiin kehittämistutkimuksiin edellyttäisi korjauksia.

Mallinnusratkaisu edustaa työhön osallistuneiden näkemystä tarkastelutehtävästä. Tämän kaltaisella mallinnuksella voisi silti olla yleisempääkin merkitystä tutkimusten tulosten tarkastelun ja ongelmalähtöisen tutkimuksen työvälineenä. Tutkimuksen suuntaaminen ja käsitteistön kehittäminen myös tulosten soveltamisen lähtökohdasta ovat tehtäviä, joissa tutkimuksen ja soveltamisen vuorovaikutusta tulisi tuntuvasti lisätä.

Laskentasysteemin rakennetta on esitelty lyhyesti aikaisemmissa julkaisuissa (Hämäläinen ym. 1985, Kaila 1991), ja se on yksityiskohtaisesti kuvattu julkaisemattomassa tutkimusraportissa (Kaila 1993). Tässä tiedotuksessa tarkasteluperiaatetta ja hankkeesta saatuja kokemuksia selvitellään laajemmin. Metsätehon monisteessa 30.12.1994 laskentasysteemin sisältö on kuvattu yksityiskohtaisesti.

Asiasanat: metsänuudistaminen, kustannukset, kustannustehokkuus, malli, laskentasysteemi

1 TARKASTELUN TAUSTA

1.1 Lähtökohdat ja tehtävän asettelu

Runsaat kaksikymmentä vuotta sitten metsänhoito-organisaatiot ryhtyivät vaatimaan tutkimukselta uudistamisen kokonaisuuden selvittämistä. Metsänuudistamistutkimus oli koettu pirstaleiseksi ja vaikeasti hyödynnettäväksi. Samaan aikaan käytännön suunnittelutyön ohjeiksi tehtiin päätöksentekokaavioita uudistamisen menetelmien valinnasta. Ensimmäinen toimenpideketjusuositus tehtiin Tehdaspuu Oy:ssä vuonna 1973 yhtiön omien metsänuudistamistulosten ja kustannusten seurannan perusteella. Vastaavat metsähallituksen ohjeet valtion metsiä varten laadittiin vuonna 1978, ja Keskusmetsälautakunta Tapion ohjeet yksityismetsätalouden organisaatiota varten annettiin vuonna 1980.

Tutkimusongelmana metsänviljelyn menetelmien valinnan kokonaisuutta jäsensi työryhmä, joka tarkasteli aihetta tietojärjestelmänä ja päätöksenteko-ongelmana (Räsänen ym. 1979). Metsänuudistaminen nähtiin monivaiheisena tapahtumasarjana, jossa toimenpideketjua ei käytännössä valita yhdellä kertakaikkisella päätöksellä. Paitsi ajallisista vaiheista, metsänuudistamisen kokonaisuuden nähtiin muodostuvan myös biologisesta, teknisestä ja taloudellisesta tasosta.

Lähestymistavan havainnollistamiseksi hahmotettiin päätöspuumalli, joka koski tiettyä, tyypillistä uudistamisolosuhdetta ja toimenpideketjun eri vaiheiden menetelmävaihtoehtoja. Tarkastelua on sittemmin kehitetty uudistamismenetelmiä vertailevaksi VILJO-laskentasysteemiksi (Parviainen & Lappi 1983).

Päätöspuurakenteen avulla voidaan kuvata uudistamisen menetelmien valinnan päätöshierarkia. Esimerkiksi kuivahkon kankaan männikön viljelyssä saadaan 60 vaihtoehtoista toimenpideketjua, jos uudistusalan raivauksen vaihtoehtoja on kolme, maankäsittelyvaihtoehtoja neljä ja viljelymenetelmiä viisi, ja kaikki niiden yhdistelmät katsotaan mahdollisiksi. Nämä ns. päätöspuut on määriteltävä tietyille kasvupaikan, edellisen puusukupolven ja uudistamispuulajin perusteella hahmotettaville uudistamistilanteille. Kunkin päätöspuun osalta muodostetaan asiantuntijapäättelynä arviot uudistamistuloksesta ja -ajasta, tietolähteinä mm. taimikon inventointitutkimukset ja viljelykokeet (Parviainen ym. 1985).

Jotta päätöspuurakenteella voidaan käsitellä eri olosuhteita, kutakin tilannetta vastaavat päätöspuut on käytävä läpi. Esimerkiksi neliluokkaiset kasvupaikan viljavuuden, maalajin ja kivisyyden muuttujat nostaisivat päätöspuiden lukumäärän 64-kertaiseksi yhteen uudistamistilanteeseen verrattuna. Vaikka jotkin viljavuuden, maalajin ja kivisyyden yhdistelmät eivät ole mahdollisia, on ilmeistä, että jos päätöspuumallilla on voitava käsitellä monenlaisia lähtötilanteita, määrittelyn työmäärä nousee suureksi. Parviainen ym. (1985) esittävät ongelman ratkaisuksi kasvupaikan tarkenteita, joiden pohjalta päätöspuussa määritettyjä arvoja korjataan kasvupaikan poiketessa tyypillisestä, jolle päätöspuumäärittelyt on tehty.

Metsätehon silloisen Metsänhoitotöiden toimikunnan aloitteesta käynnistettiin samoihin aikoihin myös toinen systeemiajatteluun perustuva, metsänviljelyn vaihtoehtojen vertailuun tähtäävä tutkimus- ja kehittämishanke. Tässä haluttiin selvittää, miten metsänviljelyn menetelmien valinnassa voitaisiin ottaa huomioon uudistusalojen todelliset olosuhteet, näiden vaihtelu sekä vaikutukset tuloksiin ja kustannuksiin.

Päämääräksi asetettiin mikrotietokonekäyttöisen laskentasysteemin laatiminen, jolla tuotetaan analyyseja eri maanmuokkaus- ja metsänviljelymenetelmistä saatavista tuloksista ja kustannuksista menetelmien valinnan tueksi erilaisilla uudistamiskohteilla. Lisäksi selvitettäväksi otettiin mahdollisuudet soveltaa hankkeessa luotavaa, systemaattista yleisen tulos- ja kustannusinformaation järjestelmää metsänuudistamisen toteutuksen suunnitteluun.

Suurten päätöspuumatriisien työläyden takia mallinnukseen oli päätetty kokeilla uutta ratkaisua, "vaiheittaista" rakennetta. Mallin tietosisältöön ei tässä vaihtoehdossa suoraan määritetä menetelmä- ja olosuhdeyhdistelmittäisiä tuloksia. Mallin sisältönä ovat laskentasäännöt ohjaustiedostoineen, ja tulokset muodostetaan vasta laskennassa. Laskenta etenee kokonaisuutta esittävässä käsitemallissa kuvattujen muuttujien ja välivaiheiden kautta, joiden on tarkoitus vastata tapahtumain kulkua uudistusalalla. Kirjallisuudessa tämän periaatteen mukaisesta mallinnuksesta käytetään nimitystä aggregointi.

1.2 Ratkaisuperiaatteet ja rajaus

1.2.1 Tarkastelun periaatteet

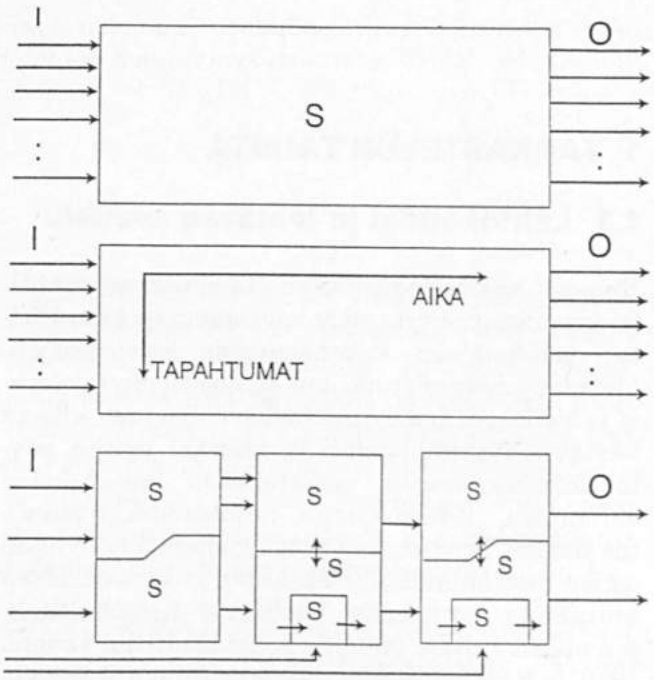
Laskentatekniikan kehityksen myötä mm. tekniikan, tietojenkäsittelyn ja liikkeenjohdon tutkimuksessa on hahmotettu luonnontieteellisen teoriakäsityksen rinnalle kokonaisuuksien tarkasteluun yleistä systeemien käyttäytymistä kuvaavaa viitekehystä, ns. yleistä systeemiteoriaa. Laajoja, vaikeasti ymmärrettäviä kokonaisuuksia voidaan jäsentää hierarkkisina systeemirakenteina. Tämä mahdollistaa toimintojen kuvaamisen muuttujien aggregointimenettelyllä, millä saavutetaan tärkeitä etuja (Simon 1981).

Aggregointi perustuu erityiseen nk. lähes täydellisesti purettavan dynaamisen systeemin teoriaan (Simon & Ando 1961). Sen yleinen periaate on, että tarkasteltava systeemi hahmotetaan alkioina. Nämä ryhmitellään rypäisiin siten, että saman rypään alkioiden välille saadaan vahva korrelaatio. Rypäiden muodostama kokonaisuus on tällöin hierarkkinen, ja siihen sisältyy usein myös ajallinen ulottuvuus. Alemman hierarkiatason rypään dynamiikan vaikutus ylemmälle tasolle kuvataan muutamalla yhdisteisellä eli aggregoidulla muuttujalla (kuva 1). Suorat vuorovaikutukset alkioiden välillä rypäästä toiseen ovat heikkoja, ja voidaan näin jättää huomiotta.

Niin pitkälle kuin tämä ns. lähes täydellisen purettavuuden ehto on voimassa, aggregointia voidaan toistaa jatkuvasti. Systeemin rakennetta voidaan jäsentää joko kokonaisuuden kuvauksesta yksityiskohtaiseen, lyhytaikaisten ilmiöiden tarkasteluun tai päinvastoin. Voidaan myös edetä parhaiten tunnetulta hierarkiatasolta samanaikaisesti sekä ylös- että alaspäin (Simon 1981, 1990).

Metsänuudistamiseen mallinnustekniikkaa voidaan soveltaa, kun se jäsennetään peräkkäisiksi, toisiinsa vaikuttaviksi vaiheiksi. Vaiheet määritellään rinnakkaisiksi tapahtumasarjoiksi eli prosesseiksi, joilla kuvataan taimikon ominaisuuksien kehitystä. Edeltävistä vaiheista aggregoidut tulokset ovat menettelyssä aina seuraavien syötteitä. Kutakin tapahtumaa käsiteltäessä ei tarvita aiempien eikä myöhempien vaiheiden muuttujajoukkoa, ja sitä määräävien muuttujien luku voidaan pitää kohtuullisena. Menettely vähentää perusteiden määrittelytyön tarpeen ja laskennan tietomatriisien koon pieneen osaan siitä mitä jäsentämätön, useampia muuttujia käsittävä ja moniulotteisempi tarkasteluavaruus vaatisi.

Tällainen mallinnus on systeemityötä. Ensimmäinen tehtävä on sellaisten tulosta mittaavien kriteerien määrittely, jotka olisivat selkeät, mutta sisältäisivät samalla kaiken olennaisen. Mikäli kriteerien valinnassa yksinkertaistetaan liikaa, on vaarana, että esimerkiksi vaikean numeerisen määritettävyyden takia sivuutetaan jokin tärkeäkin asiakokonaisuus.



Kuva 1. Periaate-esitys työskentelystä aggregointiin perustuvassa systeemin määrittelytyössä. Alkutilanteessa systeemi muodostaa "mustan laatikon" (S), joka on määritelty ainoastaan syötteidensä (I) ja tulosteidensa (O) välityksellä. Systeemiä ryhdytään aggregoinnissa ryhmittelemään ajallisesti eri osasysteemeiksi eli vaiheiksi ja jäsentämään kutakin vaihetta toiminnoittaisiksi kokonaisuuksiksi eli prosesseiksi ja prosesseja edelleen alkioiksi eli tapahtumiksi. Niiden pohjalta määritellään vaiheiden ja prosessien (s) syötteet sekä tulosteiden muotoutuminen

Seuraava systeemityön vaihe on tarkastelun sisällön jäsentävän käsitemallin määrittely. Sen lähtökohtina ovat valitut tuloskriteerit ja aineksena kohdealueesta saatavissa oleva informaatio. Käsitemallin laatimiselle hyvä pohja olisivat vakiintuneet, kohdealueen käytännön toimintoja koskevat tietotarpeet, joihin liittyviä perusteita olisi myös tutkimuksin selvitetty.

Käytännön metsänuudistamisen tietojärjestelmissä lähinnä vain kustannusten määrittämisessä tarvittavat töiden yksikkömaksut ja -palkat on määritelty riittävän täsmällisesti laskentamallissa käytettäviksi. Muilta osin käsitteistö on puutteel-

lisesti jäsentynyttä, ja käsitemallin ja laskennan ohjaustietojen osalta ollaan pääosin asiantuntijatietämyksen ja erilaisten tutkimusten varassa. Hierarkkisen ja aggregoidun mallin ominaisuus on toisaalta "läpinäkyvyys", havainnollisuus ja kritisoitavuus. Mallin osat ovat rakennettavissa ja testattavissa syötteiltään ja tulosteiltaan erikseen, ja kokonaisia vaiheita, prosesseja ja niiden tapahtumia voidaan jälkikäteen lisätä mukaan tai korvata uusilla tarvittaessa.

1.2.2 Tehtävän rajaukset ja tarkastelukriteerit

Hankkeen käynnistämisessä mukana olleiden metsänhoito-organisaatioiden kanssa selvitettiin aluksi, millainen uudistamisen menetelmien vertailu voisi olla niille hyödyllinen.

Tarkasteluun rajattiin erilaisilla kivennäismaiden kasvupaikoilla eteläisessä Suomessa yleisesti käytetyt maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehdot sekä viljelyn tavanomaiset jälkitoimenpiteet. Uudistusalan raivausta ei sisällytetty toimenpideketjuihin, koska sen tarpeet ja kustannukset katsottiin voitavan ennakoida muutenkin. Toimenpideketjuja yksinkertaistettiin myös viljelyn jälkitöissä: pintakasvillisuuden torjuntaa ei tarkastella, ja perkaukset on kuvattu raivaussahatyönä ja pelkästään mekaanisina.

Kylvö ja istutus eri puulajivaihtoehtoineen, eri viljelymateriaalit ja maanmuokkaustavat sekä viljely muokkaamattomaan maahan päätettiin sisällyttää tarkasteluun. Tavoitteeksi täsmennettiin niistä erilaisilla uudistusaloilla odotettavissa olevien tulosten ja kustannusten vertailu.

Metsänviljelyn menetelmien valinnassa uudistamistapaa ja puulajia ei katsottu tosiasiallisesti voitavan ratkaista yleisin laskennallisin, olemassa olevaan tietoperustaan pohjautuvin kriteerein, vaan niitä pidettiin lähinnä yrityskohtaisina strategisina kysymyksinä. Vasta maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehdon vertailut katsottiin siinä määrin riippumattomiksi laadullisista perusteista, että laskentatuloksilla voisi olla olennaista merkitystä. Tarkasteluperiaatetta, jossa strategiakysymyksiä ei pyritä analysoimaan, nimitetään kirjallisuudessa "kovaksi" systeeminäkemykseksi (Checkland 1984).

Tarkastelukriteereiksi otettiin odotettavissa olevat uudistamisen resurssitarpeet ja kustannukset jälkitöineen sekä uudistamisnopeus. Taimikon tilajärjestys, tasaisuus, terveys, puuston vikaisuudet ja laatu nähtiin olevan tuloksen määreinä tarpeen, mutta niiden määrällistä ennustamista pidettiin liian epävarmana.

Myös taimikon tiheys päätettiin jättää pois tarkastelukriteereistä. Perusteena tähän oli se, että metsänhoito-organisaatiot pyrkivät erittäin intensiivisesti pitämään huolta taimikoidensa tilasta määräaikaisin inventoinnein sekä täydennyksin ja perkauksin, eivätkä huonot viljelytulokset tällöin ilmenisi vakiintuneen taimikon vajaatiheytenä. Sen sijaan ne näkyisivät jälkityötarpeen kasvuna ja taimikon kehityksen hidastumisena, mitkä seikat tarkastelukriteereihin jo sisältyivät. Mallinnuksessa päätettiin mukailla tätä suhtautumista taimikon hoitoon. Juuri tältä osin käytännön metsänuudistamisen toimenpideketjut ovat laskentasysteemin rakentamisen jälkeen muuttuneet eniten.

2 LASKENTAMENETELMÄN YLEISKUVAUS

2.1 Laskennan lähtötiedot ja tulosteet

Laskentasysteemin toteutusympäristönä on MS-DOS-käyttöjärjestelmän mikrotietokone. Laskentasysteemiin sisältyvät *laskentasäännöt* sekä K-mies 2.5 -työasemaohjelmiston *kortistoiksi* ja *taulukoiksi* tallennetut ohjaustiedostot. Laskenta käynnistyy lähtötietojen määrittämisellä, joka sisältää olosuhteiden kuvaamisen ja tarkasteluun haluttujen maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehtojen nimeämisen. Tulosmuuttujien arvot hahmottuvat laskennassa vaiheittain jäljempänä kuvattavan käsitemallin pohjalta, joka pyrkii mukailemaan tapahtumia uudistusalalla.

Laskentaa varten maastokuvioilta on määritettävä seuraavat olosuhdemuuttujat:

- Viljavuus (5 luokkaa)
- Maalaji (6 luokkaa)
- Kivisyys (4 luokkaa)
- Vesitalousasema (3 luokkaa)
- Pintakasvillisuuden määrä (2 luokkaa)
- Vesoittuvuus; lukumäärä ja kantovesojen osuus (%)
- Maanmuokkauksen työvaikeus (5 luokkaa)
- Kuvion pinta-ala ja kyseisillä muokkaustyömailla muokattavissa olevat pinta-alat (ha)
- Maanmuokkauskoneiden keskimääräiset siirtomatkat (km)

Laskentasysteemin toiminta perustuu edellytykseen, että tarkasteltava alue on kasvupaikkatekijöiltään homogeeninen. Vaihtelevat uudistusalat on rajattava tarkastelua varten eri maastokuvioiksi, jotka laskentatulosten pohjalta voidaan yhdistää pinta-alaltaan riittävän suuriksi toimenpidekuvioiksi.

Viljavuus määritetään viitenä luokkana yleisesti käytettyä kasvupaikkaluokittelua noudattaen. *Maalajit* määritetään maaperäkartan maalajiluokituksen mukaisesti (Haavisto 1983). *Kivisyys* määritetään maanmuokkauksen työjälkitestauksissa ja istutuksen palkkaperustetutkimuksissa käytetyn ns. kivisyysindeksin mukaisesti. *Vesitalousaseman* avulla kuvataan maaston vaikutusta kasvupaikan märkyyteen ja maan ilmavuuteen. *Pintakasvillisuuden määrä* luokitellaan kahtena luokkana suhteessa viljavuuteen. Luokittelussa arvioidaan, vastaako kasvupaikka kyseisen kasvupaikkaluokan karua vaiko viljavaa tyyppiä. *Vesoittuvuus* määritetään kasvuun lähtevän, kasvatettavaksi kelpaamattoman lehtipuuston määränä ja kanto- ja tyvivesojen suhteellisena osuutena päätehakkuun ja uudistusalan raivauksen jälkeen ennen maanmuokkausta. Vesakkoon luettavia ovat ne lehtipuut jotka 10 cm:n korkeudella maanpinnasta täyttävät 0,5 cm:n läpimitan. Määrittely vastaa yleisessä käytössä olleita raivaussahatöiden urakkapalkkausohjeita.

Kuvion ja sen sisältävällä muokkaustyömaalla *muokattavissa oleva pinta-ala, maanmuokkauksen työvaikeus* ja *maanmuokkauskoneiden keskimääräiset siirtomatkat* määritetään maanmuokkauksen kustannusten laskentaa varten. Muokattavissa oleva pinta-ala tarkoittaa yleisessä käytössä olleissa metsämaan äestyksen ja aurauksen urakointimaksuissa määriteltyä työmaan pinta-alaa eli tarkasteltavan kuvion lisäksi myös sen välittömässä läheisyydessä mahdollisesti olevaa, samalla kertaa muokattavaa alaa. Koneiden siirtomatkat määritetään muokkausmenetelmittäin työmaaketjun keskimääräisinä siirtomatkoina. Työvaikeusluokittelussa käytetään edellä mainittujen urakointimaksujen mukaisia luokkia.

Kun olosuhdemuuttujat on tarkastelua varten määritetty, valitaan ne maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehdot, jotka halutaan vertailtaviksi. Maanmuokkausvaihtoehdoista tarkasteluun on määritelty

1 = muokkaamaton; vain istutuksessa ja kourukuokalla
2 = äestys
3 = auraus metsätraktorivetoisella kalustolla
4 = auraus puskutraktorivetoisella kalustolla
5 = mätästys traktorikaivurilla.

Viljelymenetelmistä ja -materiaaleista mukana ovat seuraavat:

1 = Männyn kylvö; vain muokattuun maahan
2 = Männyn istutus (I), koulimaton paljasjuuritaimi
3 = Männyn istutus (II), koulittu lk. II-III paljasjuuritaimi
4 = Männyn istutus, 1-vuotias paakkutaimi; vain muokattuun maahan
5 = Männyn istutus, 2-vuotias paakkutaimi
6 = Kuusen istutus (II), koulittu lk. II-III paljasjuuritaimi
7 = Kuusen istutus, 2-vuotias paakkutaimi
8 = Koivun istutus, 1-vuotias paakkutaimi

Epätodennäköisinä pidetyt kasvupaikkatekijäin yhdistelmät on rajattu tarkastelusta pois, samoin kuin selvästi ei-haluttavat viljavuuden sekä maanmuokkauksen ja viljelymateriaalin yhdistelmät. Maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehdot muodostavat maan viljavuusluokkien kanssa 109 mahdollista yhdistelmää. Kun mukaan lasketaan kysymykseen tulevat maalajivaihtoehdot ja kivisyysluokat, laskentasysteemin kattamien maanmuokkaus- ja viljelymenetelmien ja kasvupaikan ominaisuuksien yhdistelmien määrä on 1 260.

Tulostettaviksi muuttujiksi on valittu

- viljelyn onnistuminen sadanneksina
- perkauskertojen määrä
- taimikon ikä sen saavuttaessa 5 metrin keskipituuden
- taimikon pääpuulaji
- kokonaiskustannukset
- kustannusten jakautuminen taimikon perustamis- sekä jälkityövaiheeseen.

Tulostusmuodossa 1. tarkasteluun valitut maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehdot tulostetaan vertailtaviksi tarkasteluvuoden kustannustason mukaan hinnoiteltujen, yhteen laskettujen kustannusten mukaisessa järjestyksessä (esimerkki kuvassa 2). Tulostusmuodossa 2. maanmuokkaus- ja viljelyvaihtoehdot ryhmitetään puulajeittain. Järjestykseen vaikuttaa kustannusten lisäksi käyttäjän haluamalla tavalla hinnoiteltu aikaero viiden metrin keskipituuden saavuttamisessa nopeimpaan vaihtoehtoon verrattuna (kuva 3).

KUVIOTIEDOT JA UUDISTAMISTULOS

kuvion tunniste : Esimerkki
kuvion koko : 2.50 ha
muokkauksen työvaikeus: 2
viljavuus : Tuok (MT)
maalaji : HMr
kivisyys : 25 - 50 %
vesitalousasema : normaali
pintakasvillisuus : runsas
vesoittuvuus : 4000 kpl/ha
vesasyntyisiä : 0 - 20 %

Uudistamismenetelmä muokkaus	viljely	Vilj. tulos	Perk. kert.	Ikä/ 5 m	Pää- puu- laji	Kustannukset perus- taminen	jälki-	mk/ha töt
auraus ptr	Mä paakku 1-v	67	1.1	15 v	mä	63	37	4093
auraus ptr	Mä palj. I	73	1.0	15 v	mä	66	34	4125
auraus mtr	Mä paakku 1-v	67	1.1	15 v	mä	64	36	4204
auraus mtr	Mä palj. I	73	1.0	15 v	mä	67	33	4236
mätästys	Mä palj. I	73	1.0	15 v	mä	69	31	4351
auraus ptr	Ko paakku 1-v	85	0.0	10 v	ko	94	6	4440
mätästys	Mä paakku 1-v	67	1.0	15 v	mä	64	36	4483
auraus mtr	Ko paakku 1-v	85	0.0	10 v	ko	94	6	4551
auraus ptr	Mä paakku 2-v	77	1.0	14 v	mä	72	28	4693
mätästys	Ko paakku 1-v	85	0.0	10 v	ko	94	6	4764
auraus mtr	Mä paakku 2-v	77	1.0	14 v	mä	73	27	4804
auraus ptr	Ku paakku 2-v	83	1.0	16 v	ku	72	28	5031
äestys	Ko paakku 1-v	65	0.2	13 v	ko	77	23	5129
mätästys	Mä paakku 2-v	77	1.0	14 v	mä	72	28	5130
auraus mtr	Ku paakku 2-v	83	1.0	16 v	ku	73	27	5142
mätästys	Ku paakku 2-v	83	1.0	16 v	ku	76	24	5144
auraus ptr	Mä palj. II	82	1.0	14 v	mä	73	27	5330
mätästys	Mä palj. II	82	0.9	14 v	mä	77	23	5419
auraus mtr	Mä palj. II	82	1.0	14 v	mä	73	27	5441
äestys	Ku paakku 2-v	68	1.2	17 v	ku	62	38	5445
äestys	Mä palj. I	52	1.4	16 v	mä	44	56	5607
äestys	Ku palj. II	76	1.1	17 v	ku	71	29	5800
äestys	Mä palj. II	61	1.0	15 v	mä	62	38	5838
äestys	Mä paakku 2-v	54	1.2	16 v	mä	53	47	5886
auraus ptr	Mä kylvö	48	2.0	17 v	mä	31	69	5897
auraus mtr	Mä kylvö	48	2.0	17 v	mä	32	68	6008
auraus ptr	Ku palj. II	87	1.0	15 v	ku	72	28	6061
mätästys	Ku palj. II	87	1.0	15 v	ku	77	23	6093
auraus mtr	Ku palj. II	87	1.0	15 v	ku	73	27	6172
mätästys	Mä kylvö	48	2.0	17 v	mä	34	66	6178
äestys	Mä paakku 1-v	45	1.7	17 v	mä	37	63	6354
kuokkal.	Ko paakku 1-v	52	1.0	14 v	ko	60	40	6963
kuokkal.	Ku paakku 2-v	64	1.5	18 v	ku	59	41	6971
äestys	Mä kylvö	36	2.0	17 v	mä	23	77	7087

Kuva 2. Tulostusmuotoa 1. havainnollistava laskentaesimerkki

KUVIOTIEDOT JA UUDISTAMISTULOS PUULAJEITTAIN EDULLISUUSJÄRJESTYKSESSÄ

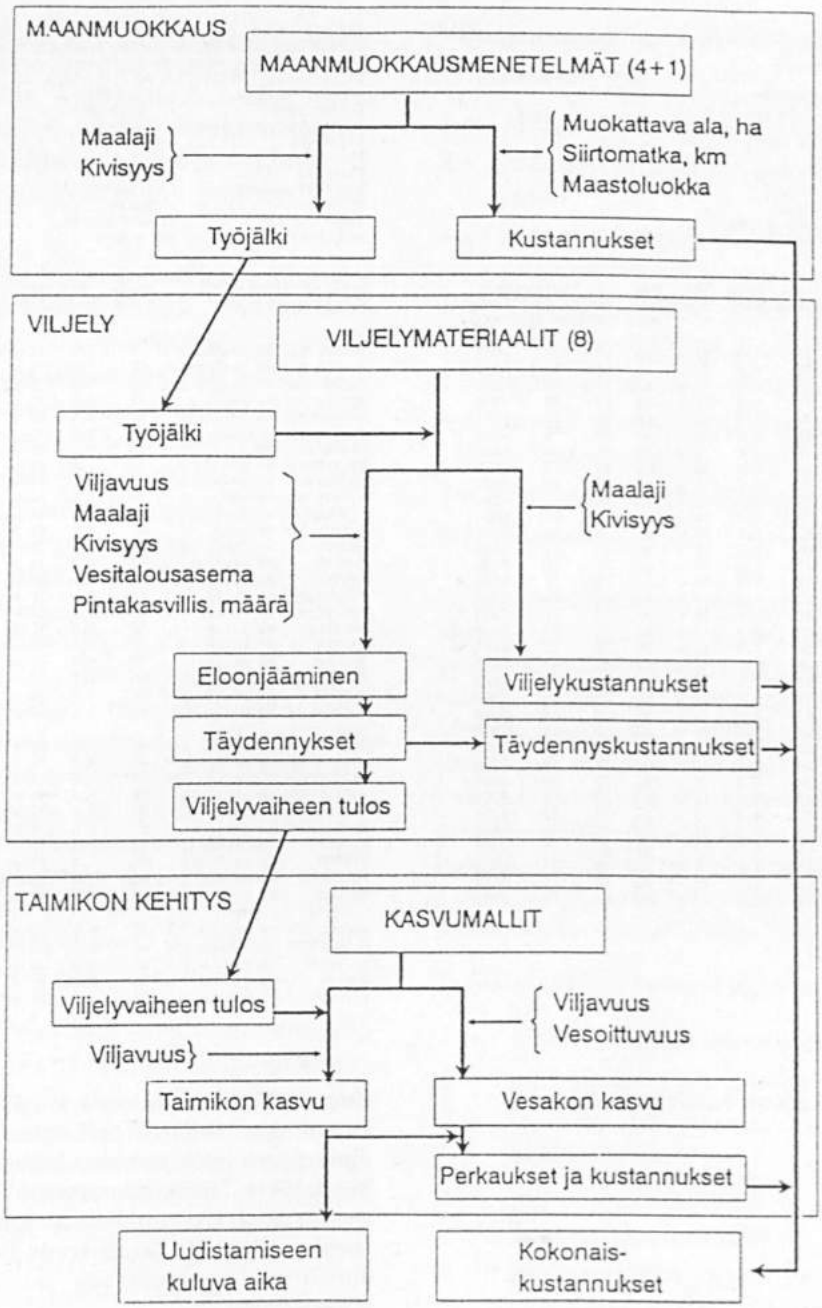
kuvion tunniste : Esimerkki
kuvion koko : 2.50 ha
muokkauksen työvaikeus: 2
viljavuus : Tuok (MT)
maalaji : HMr
kivisyys : 25 - 50 %
vesitalousasema : normaali
pintakasvillisuus : runsas
vesoittuvuus : 4000 kpl/ha
vesasyntyisiä : 0 - 20 %

Uudistamismenetelmä muokkaus	viljely	Vilj. tulos	Perk. kert.	Ikä/ 5 m	Pää- puu- laji	Kustannukset perus- taminen	jälki-	mk/ha töt	Ikä- lisä mk/ha
auraus ptr	Mä paakku 2-v	77	1.0	14 v	mä	72	28	4693	0
auraus ptr	Mä paakku 1-v	67	1.1	15 v	mä	63	37	4093	709
auraus mtr	Mä paakku 2-v	77	1.0	14 v	mä	73	27	4804	0
auraus ptr	Mä palj. I	73	1.0	15 v	mä	66	34	4125	709
auraus mtr	Mä paakku 1-v	67	1.1	15 v	mä	64	36	4204	709
auraus mtr	Mä palj. I	73	1.0	15 v	mä	67	33	4236	709
mätästys	Mä palj. I	73	1.0	15 v	mä	69	31	4351	709
mätästys	Mä paakku 2-v	77	1.0	14 v	mä	72	28	5130	0
mätästys	Mä paakku 1-v	67	1.0	15 v	mä	64	36	4483	709
auraus ptr	Mä palj. II	82	1.0	14 v	mä	73	27	5330	0
mätästys	Mä palj. II	82	0.9	14 v	mä	77	23	5419	0
auraus mtr	Mä palj. II	82	1.0	14 v	mä	73	27	5441	0
äestys	Mä palj. II	61	1.0	15 v	mä	62	38	5838	709
äestys	Mä palj. I	52	1.4	16 v	mä	44	56	5607	1418
äestys	Mä paakku 2-v	54	1.2	16 v	mä	53	47	5886	1418
auraus ptr	Mä kylvö	48	2.0	17 v	mä	31	69	5897	2127
auraus mtr	Mä kylvö	48	2.0	17 v	mä	32	68	6008	2127
mätästys	Mä kylvö	48	2.0	17 v	mä	34	66	6178	2127
äestys	Mä paakku 1-v	45	1.7	17 v	mä	37	63	6354	2127
kuokkal.	Mä palj. II	49	1.3	16 v	mä	53	47	7793	1418
äestys	Mä kylvö	36	2.0	17 v	mä	23	77	7087	2127
kuokkal.	Mä paakku 2-v	44	1.5	16 v	mä	47	53	8195	1418
kuokkal.	Mä palj. I	39	1.8	17 v	mä	38	62	7949	2127
auraus ptr	Ku paakku 2-v	83	1.0	16 v	ku	72	28	5031	709
auraus mtr	Ku paakku 2-v	83	1.0	16 v	ku	73	27	5142	709
mätästys	Ku paakku 2-v	83	1.0	16 v	ku	76	24	5144	709
auraus ptr	Ku palj. II	87	1.0	15 v	ku	72	28	6061	0
mätästys	Ku palj. II	87	1.0	15 v	ku	77	23	6093	0
auraus mtr	Ku palj. II	87	1.0	15 v	ku	73	27	6172	0
äestys	Ku paakku 2-v	68	1.2	17 v	ku	62	38	5445	1418
äestys	Ku palj. II	76	1.1	17 v	ku	71	29	5800	1418
kuokkal.	Ku paakku 2-v	64	1.5	18 v	ku	59	41	6971	2127
kuokkal.	Ku palj. II	64	1.5	19 v	ku	62	38	7528	2836
auraus ptr	Ko paakku 1-v	85	0.0	10 v	ko	94	6	4440	0
auraus mtr	Ko paakku 1-v	85	0.0	10 v	ko	94	6	4551	0
mätästys	Ko paakku 1-v	85	0.0	10 v	ko	94	6	4764	0
äestys	Ko paakku 1-v	65	0.2	13 v	ko	77	23	5129	2127
kuokkal.	Ko paakku 1-v	52	1.0	14 v	ko	60	40	6963	2836

Kuva 3. Tulostusmuotoa 2. havainnollistava laskentaesimerkki. "Ikälisä" tarkoittaa nopeinta vaihtoehtoa hitaamman uudistamisen takia menetettävän ajan laskennallisia "lisäkustannuksia". Sen perusteena esimerkissä on kasvupaikan mukaisen metsäveroluvun ja verokuutiometrin bruttoarvon tulo (Mikkelin lääni, keskimäärin). Laskennassa on tässä käytetty nollakorkokantaa

Laskentasysteemi jakautuu kolmeen käsitteistöltään erilliseen vaiheeseen: maanmuokkaukseen, viljelyyn ja taimikon kehitykseen. Vaiheet ovat aggregointitasoja eli niiden sisältämistä tapahtumista aggregoidaan tulosteita, jotka taas ovat syötteinä seuraavalle vaiheelle. Kukin vaihe sisältää prosesseja, jotka voivat olla sekä rinnakkaisia että peräkkäisiä (kuva 4).

Yhdistelmän lisäksi voidaan tulostaa vaiheiden välituloksia niiden laskennan yhteydessä. Sovellus on laadittu siten, että eri vaiheita voidaan selailla myös jälkikäteen. Välituloksista voidaan tulostaa muokkausjäljen tunnukset, taimikon koostumus, viljelytaimien ja kaikkien taimien keskipituus sekä taimikon tiheys viiden vuoden iällä, muokkauksen, viljelyn, täydennyksen sekä perkauksen kustannukset ja lisäksi perkauskertojen ajoitukset sekä kustannusten ja niiden pohjana olevat poistettavien puiden lukumäärät ja kantojen keskiläpimitat.



Kuva 4. Metsänviljelyn tulos- ja kustannusvertailun laskentamallin rakenteen periaatekaavio

2.2 Laskennan kulku

2.2.1 Maanmuokkausvaihe

Maanmuokkausvaihe sisältää eri maanmuokkausvaihtoehdoista odotettavan työjäljen kuvauksen ja kustannukset. Työjäljen tunnuksiksi on valittu

- humukseen joutuvien viljelykohtien osuus
- paljastuneeseen maanpintaan saatavien viljelykohtien keskimääräinen suhteellinen korkeusasema
- muokkausjäljen keskimääräinen leveys viljelykohdissa
- muokkauksessa paljastuneen alan osuus.

Työjälkeä kuvaavien tunnusten arvot saadaan suoraan tätä varten määritellystä matriisista maanmuokkausmenetelmittäin maalajin ja kivisyyden perusteella. On huomattava, että siinä ei tarvita esimerkiksi kasvupaikan viljavuutta.

Maanmuokkauksen kustannukset saadaan syöttötietoina määriteltävien muokattavissa olevan

pinta-alan, työvaikeusluokan ja koneiden siirtymismatkan mukaan taulukoista, jotka sisältävät hehtaarikohtaiset yksikkömaksut. Ajolinjaväliksi on oletettu äestyksessä 4 m, aurauksessa 4,5 m ja vakoväliksi mätästyksessä 10 m. Taulukot on päivitetty aiemmista yleisistä ohjemaksusuosituksista. Koneellisen maanmuokkauksen kustannuksiin luetaan myös kiinteiksi hehtaarikustannuksiksi määritellyt suunnittelukustannukset.

Maanmuokkaustulosten määrittely perustuu aiempiin Metsätehon maanmuokkauslaitteiden testauksissa ja metsänistutuksen palkkaperustetutkimuksessa saatuihin tuloksiin. Maanmuokkausjäljen määrittelyt tarkistettiin myöhemmin tätä varten tehdyn tutkimuksen tulosten pohjalta (Hämäläinen & Kaila 1987).

2.2.2 Viljelyvaihe

Viljelyvaiheeseen on määritelty sisältyvän ensimmäisten viiden vuoden aikana viljelyvaihtoehdoista

- viljelytulos
  - viljelyn onnistuminen
  - alkuvaiheen luontainen täydentyminen
  - täydennysviljelyt
  - myöhempi luontainen täydentyminen
- taimien pituuskehitys
  - viljelytaimien pituuskehitys
  - luontaisten ja täydennystaimien pituudet
- viljelyn kustannukset
- täydennysten kustannukset.

Viljelytuloksen käsitemallissa taimikon tiheyden kehitys on määritelty peräkkäisinä alempina aggregointitasoina. Näistä ensimmäisessä kuvataan viljelyn onnistuminen. Se on määritelty ns. *perustaulukkona* ja *muutoksia aiheuttavina tekijöinä*. Seuraavassa tasossa kuvataan taimikon luontainen täydentyminen; tämän ja viljelyn onnistumisen pohjalta lasketaan täydennysviljelytarpeet. Prosesseina, joissa viljelyn puutteellinen onnistuminen korjautuu, on määritelty aikajärjestyksessä *alkuvaiheen luontainen täydentyminen, täydennysviljelyt* sekä *myöhempi luontainen täydentyminen*.

Perustaulukkoon ja muutoksia aiheuttaviin tekijöihin on luettu mukaan tärkeimpinä pidetyt, maaperän laatuun yhteydessä olevat abioottiset taimituhot. Perustaulukko kuvaa sitä taimien elossaoloa, joka eri kasvupaikoilla on eri viljelymateriaalein saavutettavissa kun vain pintakasvillisuuden kilpailun oletetaan vaikuttavan viljelytulokseen. Viljelykohtien oletetaan vastaavan melko vähäkivisen maan äestysjälkeä.

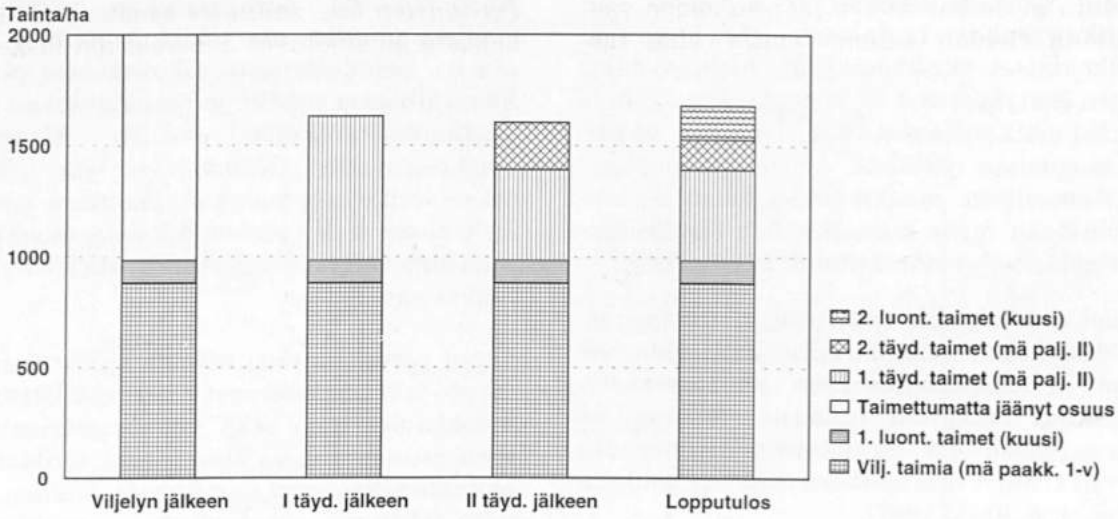
Ensimmäisenä perustaulukon viljelyn onnistumista muuttavana tekijänä otetaan huomioon ero ns. heinäntorjuntavaikutuksessa maanmuokkausvaiheesta saadun ja perustaulukon mukaisen maanmuokkausjäljen välillä. Haastateltujen asiantuntijoiden (Hämäläinen ym. 1985) käsitykset erilaisten maanmuokkausten ominaisuuksista olivat melko yhdenmukaisia, muokkaamattoman maan viljelyn onnistumisesta käsitykset vaihtelivat enemmän.

Loput perustaulukon viljelyn onnistumista muuttavat tekijät kuvaavat kasvupaikkaan, maanmuokkausjälkeen sekä viljelymateriaaliin sidoksissa olevia, muusta kuin pintakasvillisuuden kilpailusta aiheutuvia taimituhoja. Näiden on määritelty johtuvan maaperästä ja muokkausjäljestä riippuviksi oletetuista huonoista juurtumisedellytyksistä viljelykohdissa, maan kuivumisesta ja kulumiseroosiosta sekä kasvualustan liikavedestä ja rousteesta. Niiden vaikutus lasketaan kertoimena.

Alkuvaiheen luontainen täydentyminen määriteltiin sellaisen kehityskelpoisen luontaisen taimiaineksen syntymisenä taimikkoon, joka täydennystarpeen määrittämisajankohtana on havaittavissa ja korvaa osan tuhoutuneista viljelytaimista. *Täydennysviljelyt* on määritelty kahden täydennyskerran mukaisesti. Taimimateriaalit määräytyvät kasvupaikan viljavuuden ja vesitalousaseman sekä alunperin viljellyn puulajin mukaan, ja onnistumiset lasketaan kuten muokkaamattomaan maahan tehtävässä viljelyssä. Jos taimikon tiheys vielä jää alle 85 prosenttiin viljelytiheydestä, tästä puuttuva osa on määritelty korvautuvan muuta täydennystä hitaampana, *myöhempänä luontaisena täydentymisenä* (esimerkki kuvassa 5).

Täydennysviljelyjen määrittelyn vaikeutena oli se, että käytäntöön vakiintunut menettely ohjeineen oli epäjohdonmukainen. Täydennystaimien määrää ei voida mallintaa laskettavaksi suoraan hyväksyttävien taimien ja tavoite- tai viljelymäärän erotuksena, kuten ko. työn suunnittelussa usein tehtiin. Taimikato ilmenee usein laikuittain, ja vain määrättyä vähimmäiskokoa suurempien taimettomien alojen täydentämistä voidaan pitää järkevänä (esim. Karjula ym. 1982).

Täydennystaimien määrä lasketaan olemassaolevien taimien määrästä funktiolla, joka perustuu erään metsäteollisuusyrityksen teettämän sisäisen selvityksen koeala-aineistoon. Siinä uudistusalat oli jaettu onnistumiseltaan erilaisiin osiin, joille oli määritetty niiden taimimäärien ja laskennal-



Kuva 5. Periaatteellinen esimerkkikuva äestettyyn maahan pienin taimin viljellyn männyn taimikon luontaisesta täydentymisestä ja täydennyksistä viljavalla maalla

listen täydennystarpeiden suhteet, ja täydennystarpeet oli saatu pienintä täydennettävää taimikon kohtaa suurempien tyhjien koealojen osuuksien avulla, jakamalla nämä täydennyksissä käytettävällä viljelytiheydellä. Kehityskelpoisten taimien havaitseminen täydennysviljelyn yhteydessä on osoittautunut hankalaksi ja täydennystaimia on usein istutettu liikaa, eikä tälläkään täydennystarpeen määrittämisellä saada menettelyä käytännössä hyvin toimivaksi.

Viljelytaimien pituuskehitys viiden ensimmäisen vuoden aikana on jaettu kahteen alempaan aggregointitasoon. Kahden ensimmäisen vuoden aikana pituuskasvun oletetaan riippuvan viljelyyn ja viljelykohdan ominaisuuksiin liittyvistä taimituhoista, jotka ilmenevät taimien kuivumisena ja juurtumisen hidastumisena. Vuosien 3. - 5. aikana vaikuttavaksi on oletettu lähinnä pintakasvillisuuden kilpailu. Tuhojen rinnalla pituuskehitykseen vaikuttaviksi kasvupaikkatekijöiksi on määritelty vesitalousasema, kivisyys ja maalaji. *Luontaisten taimien* ja *täydennystaimien pituuksille* viiden vuoden iällä on määritetty taimien syntytavasta riippuvat kiinteät arvot.

Eri *viljelyvaihtoehtojen kustannuksiin* kuuluviksi määriteltiin metsänviljelymateriaali- ja taimihuoltokustannukset, viljelyn työkustannukset ja palkkasivukustannukset sekä työn suunnittelu- ja työnjohtokustannukset. Istutustyön työkustannukset lasketaan metsänhoitotöiden urakkapalkkausohjeista yksinkertaistettujen taulukoiden mukaan. Työn kustannuksiin lasketaan lisäksi palkkasivukustannukset ja työnjohto- ja valvontakustannukset.

Täydennysviljelyn kustannukset lasketaan metsänviljelymateriaali- ja työkustannusten summana kunkin täydennyskerran laskennallisen taimitarpeen, taimien ja taimihuollon yksikköhinnan, täydennystyön laskennallisen ajanmenekin sekä työlle määriteltyjen tuntikustannusten pohjalta. Taimikon täydennysviljelyn kustannukset lasketaan tätä varten määritellyn ajanmenekkifunktion avulla, koska yleisesti käytettyjä urakkapalkkoja työssä ei ole ollut. Palkkasivukustannukset ja työnjohto- ja valvontakustannukset lasketaan kuten viljelyssä.

Viljelyn onnistumisen ja viljelytaimien pituuskehityksen mallinnus perustui paljolti hankkeessa haastateltujen metsänviljelytutkijoiden panokseen. Haastateltaville lähetettiin kyselylomakkeet, joilla pyydettiin yhdistelmää heidän tiedossaan olevista eri maanmuokkaus- ja viljelymateriaalivaihtoehtojen koetuloksista erilaisilla kasvupaikoilla. Viljelytulos pyydettiin määrittämään onnistumissadanneksina ja taimien keskipituutena viiden vuoden iällä viljelystä. Lomakkeissa pyydettiin lisäksi kuvausta tutkimuspaikkakuntien sijainnista, mahdollisesta pintakasvillisuuden torjunnasta ja muista seikoista, joiden voitiin katsoa vaikuttaneen arvion pohjana oleviin tuloksiin. Metsänviljelytutkijoiden lisäksi asiantuntijoina viljelyn onnistumista koskevissa määrittelyissä

haastateltiin myös käytännön metsänhoidon vastuuhenkilöitä. Heidän tuellaan tehtiin vähän tutkittujen ilmiöiden - maan fysikaalisiin ominaisuuksiin yhteydessä olevien taimituhojen, taimikoiden luontaisen täydentymisen ja täydennysviljelyn - määrittelyt.

Viljelytulososan tarkistamiseksi tehtiin myöhemmin selvitys, jossa koottiin osin ennakkotietojen pohjalta saatavissa olevat tulokset Etelä-Suomeen perustettujen viljelykokeiden tuloksista (Hämäläinen 1990). Selvityksen tulokset antoivat aihetta vain pieniin muutoksiin.

2.2.3 Taimikon kehitysvaihe

Taimikon kehityksen sisällöksi on määritelty

- taimikon pituuskehitys viiden vuoden iänkohdasta viiden metrin keskipituuden saavuttamiseen
- vesakon tiheys- ja pituuskehitys
- perkaustarve
- taimikon perkausten ja mahdollisen kylvötaimikon harvennuksen kustannukset
- taimikon viiden metrin keskipituuden saavuttamiseen kuluva aika.

Lähtötietoina ovat taimikon kasvatettavien taimien keskipituus, joka lasketaan suoraan viljelyvaiheen tulosteista sekä syöttötietoina määritettävät vesakon keskitiheys ja kanto- ja tyvivesojen suhteellinen osuus. *Taimikon pituuskehitys* lasketaan taimien keskimääräistä vuosikasvua ilmaisevien kasvuyhtälöiden mukaan. Niiden syöttömuuttujat ovat pääpuulaji, keskipituus kasvukauden alussa ja viljavuusluokka pituusboniteettiarvona. *Vesakon* kehitystä käsitellään erillisinä *tiheyden* ja *pituuden kehityksen* malleina.

Perkaustarpeen laskennassa taimikon ja vesakon keskipituuksia kasvatetaan vuosi kerrallaan. Taimikon perkaukset määräytyvät sen mukaan, ylittääkö vesakon korkeus liiaksi taimikon korkeuden. Tässä sovellettava ns. perkaussääntö on määritelty puulajeittaiseksi ja riippuvaksi taimikon korkeudesta ja vesakon tiheydestä. Viimeisen perkauskerran osalta esitetään sen tarvetta kuvaava arvokerroin, joka on yhtä pienempi suhdeluku. Arvokerroin on määritelty riippuvaksi siitä, miten lähellä vesakon pituus on perkaukseen johtavaa pituusarvoa. Menettely katsottiin aiheelliseksi siksi, että hyvinkin pienet laskennalliset erot voisivat muutoin aiheuttaa kokonaiskustannuksiin jyrkkiä portaittaisia eroja.

Perkausten kustannukset saadaan omasta yksikkökustannustaulukostaan vesakon laskennallisen pituuden perusteella määräytyvän kantoläpimitan sekä tiheyden mukaan. Se noudattaa metsänhoitotöiden urakkapalkkausohjeeseen sisältyvää työntekijän omalla raivaussahalla tehtävän mänty- ja mänty-lehtisekapuun perkauksen taulukkoa. Kylvötaimikon *harvennukselle* oletetaan hehtaarikohtaiset vakiokustannukset. Työn palkkasivukustannukset sekä työnjohto- ja valvontakustannukset laskettiin mukaan samaan tapaan kuin viljelyssä.

Ennuste *taimikon viiden metrin keskipituuden saavuttamiseen kuluvalle ajalle* saadaan suoraan perkaustarpeen laskennan yhteydessä.

Taimikon ja vesakon kehitystä kuvaavat kasvuyhtälöt laadittiin aineistojen pohjalta, jotka kerättiin taimikon ja vesakon kehitysmallien tarkistamiseksi, kun laskentasysteemistä ryhdyttiin tekemään yrityskohtaisia sovelluksia. Aineisto kerättiin Enso-Gutzeit Oy:n ja Tehdaspuu Oy:n osakkaiden mailta Etelä-Suomesta (Leskinen 1988, Valtonen 1988).

Taimikkoaineistoon valittiin merkittäviltä tuhoilta välttyneitä männyn ja kuusen uudistusaloja. Tarkoituksena oli, että kasvumallit kuvaisivat keskimääräisen sijaan sellaista taimikon kehitystä, johon asianmukaisesti hoidetuissa ja terveissä taimikoissa on mahdollista päästä. Kasvumallit ovat muodoltaan pääasiassa logaritmimuunnosten avulla linearisoituja regressiomalleja.

Vesakon kehityksen mallintaminen oli huomattavasti viljelytaimien kasvun kuvaamista hankalampi tehtävä. Tiheyden kehitykseen oletettiin vaikuttavan kasvuun lähtevän vesakon runkoluku, viljavuus, vesitalousasema ja muokkauksessa paljastuvan alan laajuus. Pituuskehitystä varten oli laadittava erilaiset kasvuyhtälöt kuvaamaan perkaamatonta ja perattua vesakkoa. Tulosta on pidettävä varsin monimutkaisena ja keinotekoisena.

Tutkimuksessa taimikon hoidon kannalta vesakoksi luettava, taimikon kasvatettavaa osaa mahdollisesti haittaava lehtipuusto oli puulajeiltaan, syntytavoiltaan ja iältään epäyhtenäinen kuvattava. Tutkimuksissa ei ole juuri selvitetty vesakon rakennetta ja kehitystä olosuhteiden ja ajan suhteen, vaan niissä on keskitytty kuvaamaan vesakon kehityksen biologisia osailmiöitä, kuten vesoittumista sinänsä ja vesasyntyisten puiden kehitysnopeutta siemensyntyisiin verrattuna (esim. Mikola 1942, Elfving & Nyström 1984, Kauppi ym. 1988).

3 MENETELMÄN TOIMIVUUS JA KEHITTÄMISMAHDOLLISUUDET

3.1 Mallin subjektiivisuuden ongelma

Suomessa metsänviljelyn kokonaisuutta on pyritty hahmottamaan tutkimustehtäväksi systeemiajattelun pohjalta. Lähtökohtana on metsänuudistamisen vaiheiden ja toimenpiteiden näkeminen organisoituneena kokonaisuutena, jonka osat ovat keskinäisessä vuorovaikutuksessa ja voivat olla muuttuvia (Räsänen 1988). Kokonaisuuksien mallintaminen on systeemityötä, ja se poikkeaa perinteisestä tutkimuksesta. Systeemityön olennaista sisältöä on tehtäväaluetta koskevien ja tietoperustan soveltamiseen liittyvien valintojen teko, eikä työskentelyltä voida vaatia objektiivisuutta samalla tavoin kuin analyyttisessa tutkimustyössä.

Systeemityössä käsitteistö ei ole objektiivisen todellisuuden ilmentymä, vaan työhön osallistuvien näkemys ja siis subjektiivinen kuvaus tehtäväaluee sta. Lähtökohtana on tarkastelutehtävä, ja käsitteistö joudutaan määrittelemään liittyväksi sen edellyttämiin tuloskriteereihin. Määrittelyssä joudutaan käytännössä aina tekemään rajauksia, ja tähän sisältyvän harkinnanvaraisuuden vuoksi objektiiviseen käsitteistöön ei voida päästä. Käsitteistön kuvaus eli käsitemalli on tarkoitettu työvälineeksi, joka kehittyy kaiken aikaa informaation parantuessa, ei pysyväksi ehdotukseksi käsitteistöstä.

Systeemimallien subjektiivisuus liittyy myös niiden ohjaustietoihin. Laskentamallissa ohjaustiedot ovat luonteeltaan dataa, mutta systeemityön kannalta niitä ja niiden määrittelyn perusteita voidaan pitää informaationa. Systeemityötä käsittelevässä kirjallisuudessa nämä tiedon merkitykset erotetaan toisistaan, silti kummassakin merkityksissään tiedon katsotaan olevan määriteltävissä vain suhteessa käyttötarkoitukseensa. Datalla tarkoitetaan ihmisen ajattelun kohteena tai sen tuloksena olevaa perushavaintoa ja informaatiolla vastaanotetun tiedon (datan) ihmiselle tuottamaa miellettä tai merkitystä (Soini 1990). Tästä poikkeava tietokäsitys edellyttäisi objektivistista systeemiteorian tulkintaa, joka taas on tietoteoreettisin perustein kyseenalaistettavissa, varsinkin ihmisen toimintaa käsittelevän systeemityön tarkastelulähtökohtana (Dreyfus 1972, Nurminen 1988).

Metsänuudistamista kuvaava käsitemalli ja laskennan ohjaustiedostot pohjautuvat suureksi osaksi asiantuntijapäättelyyn. Käytännön metsänuudistamisessa sovellettavaa tietoperustaa muistuttavaa tietosisältöä ohjaustiedostoissa ovat vain taulukot metsänuudistamisen eri työlajien yksikkökustannuksista.

Tietolähteenä käsitteistöä ja mallin ohjaustiedostoja koostettaessa olivat metsänviljelyn tutkijoiden asiantuntijahaastattelut, eivät juuri tutkimuksista saadut kokeelliset tulokset sellaisinaan. Tästä poikkeuksena olivat sovelletut kasvuyhtälöt, joskin niitäkin muunneltiin keskinäisen johdonmukaisuuden saavuttamiseksi. Käsitteellisten erojen takia metsänuudistamistutkimukset ovat huonosti yhdisteltäviä ja yleistettäviä, mikä rajoittaa tutkimustulosten käyttökelpoisuutta. Kun eri tutkimuksissa aineiston keruun ja analysoinnin käsitteistö harvoin on identtinen, eivätkä olosuhteet viljelykokeissa ole samalla tavoin painottuneita, niistä saatavaa informaatiota ei sellaisenaan voida yhdistellä systeemiksi.

Asiantuntijoina haastateltiin tutkijoiden lisäksi metsänviljelyn kehittämisen vastuuhenkilöitä metsänhoito-organisaatioista. Käsitemalliin voitiin heidän avullaan ottaa tapahtumia, joiden kokemusperäisesti tiedettiin voivan vaikuttaa viljelyvaihtoehtojen tuloksiin. Laskentamallin perusta tukeutuu näin kaikkiaan varsin suuressa määrin subjektiiviseen ainekseen.

Metsänviljelyssä maanmuokkauksen kustannukset ja työjälki sekä viljelyn kustannukset ovat töiden yksikköpalkka- ja maksusuositusten pohjalta viljelyvaihtoehdon ja maaperän mukaan melko selkeästi mallinnettavissa. Kustannusten ennusteet lasketaan vaiheittain töiden olosuhdeluokituksia soveltaen, ja myös resurssitarpeet ovat niistä laskettavissa. Kustannustehokkuustarkastelu jätettiin pelkistetyksi. Esimerkiksi odotettavissa olevien hakkuutulojen ja -kustannusten nykyarvotarkasteluun ei katsottu olevan kunnollisia edellytyksiä tapahtumaketjun jälkiosan epävarmuustekijäin vuoksi.

Uudistamisen tuloksia ja edelleen jälkityökustannuksia määräävät tapahtumat osoittautuivat kaikkiaan vaikeasti mallinnettaviksi, vaikka kasvupaikan kuvaus olisi yksityiskohtainenkin. Varsinkaan taimituhojen ja kasvupaikkatekijöiden välisten yhteyksien selvittämisessä ei toistaiseksi ole onnistuttu kovinkaan hyvin. Jo metsänviljelykokeissa on niiden kontrolloitavuudesta huolimatta suurta vaihtelua, jonka aiheuttajina on esitetty mm. kasvukausien, erilaisten tuhojen, viljelymateriaalien, kasvupaikan viljavuus- ja kosteuserojen vaikutuksia (Valtanen & Engberg 1987).

Viljelyvaiheen epävarmoja kysymyksiä olivat taimien kuolemisen syyt ja olosuhteiden vaikutus nii-

hin sekä taimien eloonjäämisen ilmiöiden dynamiikka. Luontaisten taimien syntyminen ja niiden sekä viljelytaimien kehitys- ja kilpailudynamiikka, sisältäen myös vesakoksi luettavan puuston kehityksen, oli toinen laskentasysteemin rakentamisen kannalta riittämättömästi tutkittu kokonaisuus. Luontaista uudistamista on sinänsä tutkittu perusteidenkin tasolla, mutta käsitteistö ei vastaa käytännöllisen tulosten ennustamisen tarpeita. Muun muassa erilaisen maanmuokkausjäljen ja eri maalajien taimettumisherkkyyden arviointiin puuttuu kokeellista ja teoreettista tietoperustaa.

Oleellisesti luotettavammin toimiviin syy-seurausmalleihin ei nähtävästi päästä ilman uudistamisen luonnontapahtumien yksityiskohtaisempaa tutkimusta. Tiedon puutetta voidaan tutkimuksen ja tiedonkeruun avulla poistaa kuitenkin vain osaksi. Häiriöalttiin kokonaisuuden tapauksessa jäljelle jäävä epävarmuusalue on tapahtumain kulun epävakauden ja toiminnallisen muuntelun takia sangen laaja (Faber ym. 1992).

3.2 Mallin eheyden ongelma

Informaation laatuun liittyvä lisäongelma on siinä, miten mallinnettavien tapahtumien epävarmuudet otetaan huomioon. Tästä riippuu käsitemallin osien modulaarinen yhteenkytkettävyys eli kokonaisuuden toimivuus. Ongelmaa korostaa se, että metsänviljelyn tapahtumaketjun vaiheet ovat epävarmuuden asteiltaan vielä suuresti erilaisia.

Tehty laskentasysteemi ei ole sellainen yksinkertainen syy-seurausmalli, joka voitaisiin validoida kokonaisuutena. Sillä saatavia tuloksia ei ole mielekästä testata esimerkiksi käytännön uudistamisen seurantatilastojen avulla, sillä nämä soveltuvat huonosti syy-seuraussuhteiden päättelyyn tietosisältönsä puutteiden ja informaationsa epätarkkuuden vuoksi. Vertailu käytännön tuloksiin voi kuitenkin paljastaa muutostarpeita, niinpä alkuun käytetyt kasvufunktiot uusittiin mallin antamien tulosten ja esimerkkitaimikoiden erojen pohjalta. Tulosten käyttökelpoisuuden punnitseminen on mahdollista lähinnä arvioimalla informaatiopohjan riittävyyttä ja mallirakenteen toimivuutta.

Jotta kokonaisuutta kuvaava systeemi olisi modulaarisesti eheä ja aggregoinnissa edellytettävä ns. lähes täydellisen purettavuuden ehto voimassa, tapahtumat on voitava määritellä joko edellisistä ilmiöistä suoraan määräytyviksi tai satunnaisesti vaihteleviksi. Satunnaisesti vaihtelevina luonnonilmiöitä ja ihmisen tietoista toimintaa käsittäviä kokonaisuuksia ei voida pitää. Myöskään odotettavissa olevien tapahtumien ketjutukseen perustuva heuristinen kokonaisuuden käsittelytapa ei systeemin purettavuuden ehtoa täytä. Käytetty mallinnusratkaisu ei täten ole teoreettisesti moitteeton.

Erityinen ongelma on viljelyä seuraavan, epävakaan tapahtumainkulun teoreettisesti pätevä koostaminen ja yhdistäminen luotettavammin ennustettaviin taimikon perustamisen tapahtumiin, joka jäi laskentasysteemissä toteuttamatta. Ongelmallisimmaksi tämän takia jää niiden viljelyvaihtoehtojen vertaileminen, joissa uudistamisen tapahtumaketjut poikkeavat ennustettavuudeltaan paljon toisistaan.

Puute ei kuitenkaan liity erityisesti aggregointimenettelyyn, vaan sen sääntöpohjaiseen soveltamistapaan. Epävarmat tapahtumat viljelytuloksen muodostumisesta alkaen voitaisiin kuvata tulosmuuttujien odotettavissa olevien yksittäisten arvojen sijaan näiden jakaumina. Tähän ja sen mahdollistamaan kausaaliverkkotyyppiseen epävarmuuden käsittelyyn ei kuitenkaan ryhdytty. Tuloksien määrittelyä jakaumina pidettiin tietoperustan laatuun nähden suhteettoman työläänä, kun vielä käsitemalliinkin katsottiin mahdollisesti tarvittavan suuriakin tarkistuksia. Teoreettisesti pätevän epävarmuuden käsittelyn arvioitiin voivan tulla kyseeseen myöhemmin, jos tietämys viljelytuloksen ja taimikon kehityksen huonosti tunnetuista yksityiskohdista kehittyy paremmalle tasolle. Vaiheittain ketjutettujen, asiantuntijatyönä määriteltävien todennäköisyysjakaumien käyttöön perustuvaa kausaaliverkkomallinnusta metsänuudistamisen epävarmuuden hallintaan onkin jo demonstroitu (Haas 1991).

Mallinnustehtäväksi pelkistyi täten ennusteiden aikaansaaminen taimikon perustamisen kustannuksista ja siitä, millainen tulos ja jälkityötarve on eri tilanteissa eri viljelyvaihtoehdoista odotettavissa, kun toimenpiteet toteutetaan asianmukaisesti. Varsinaisiin tapahtumien kulkujen ennusteisiin todennäköisyystarkasteluineen valittu mallinnusratkaisu ei riitä.

Kun pohditaan laskentamalleihin liittyvään epävarmuuden hallintaa, on toisaalta tarpeen myös kysyä, mihin yksityiskohtaisia tulevaisuuden ennusteita tarvitaan. Yleensä laskentamallitarkasteluja ei tehdä varsinaisesti tulevaisuuden tapahtumien ennustamiseksi, vaan päätöksentekoa tukevan informaation saamiseksi. Epävarmuuden ongelma ei tällöin ole keskeisin asia (Simon 1990).

3.3 Muita metsänuudistamisen mallinnustapoja

Vaihtoehtoinen lähestymistapa systeemiajatteluun pohjautuvalle metsänviljelyn tulos- ja kustannustarkastelulle on viljelykokeiden tuloksia suoraan hyödyntäviin empiirisiin regressiomalleihin perustuva tarkastelu. Tätä edustaa USA:ssa ja Kanadassa vallinnut suuntaus, jonka alku ulottuu ajassa parinkymmenen vuoden taakse (Belli 1988). Mahdollisia uusia metsänviljelyn kokonaisuuden tarkastelutapoja ovat tekoälypohjaiset asiantuntijajärjestelmät (Saarenmaa 1990, 1992). Tulosten ja kustannusten vertailuun näillä ei kuitenkaan toistaiseksi ole varsinaisesti pyritty.

Pohjois-Amerikkalaisissa regressiomallipohjaisissa laskentasysteemeissä otetaan viljelykoeaineistoista tietoperustaksi sellaisenaan määrätyn regressioyhtälömuodon mukaiset viljelytuloksen ja menetelmän väliset riippuvuudet. Laskentamallien ydin on kaksi perusyhtälöä, toinen taimien vuotuisen eloonjäämisen kehitystä ja toinen niiden kasvua varten. Kustannukset lasketaan oletusarvoina määritettävien yksikkökustannusten pohjalta. Lopputuloksena lasketaan kustannukset eloonjäävien puiden saavuttamaa pituuskasvun mittayksikköä kohti (Belli 1988) tai indeksiluku, joka ilmaisee kokonaiskustannusten suhdetta pituuden, eloonjäämisen ja erityisen laatumuuttujan väliseen funktioon (Payandeh 1988).

Yksittäisen uudistusalan tarkasteluun mallit voisivat tietenkin soveltua vain, jos olosuhteet tarkoin vastaisivat yhtälöiden parametrisoinnin aineistoina olleiden viljelykokeiden olosuhteita. Käytännössä näin toteutetut laskentasysteemit ovat myös pelkistettyjä; kummassakaan edellä mainituista ei ole kasvupaikkatekijöitä kuvaavia muuttujia, eikä toimenpideketjuihin sisälly viljelytuloksen mukaan määräytyviä jälkitöitä. Uusia kasvupaikkatekijöitä ja metsänhoito-ohjelmia arvioidaan voitavan liittää tarkasteluun lisäaineistojen avulla (Payandeh 1988).

Tällä tavoin tehtyjen laskentamallien laajentaminen jälkeenpäin olisi kuitenkin ilmeisesti ongelmallista; tulokseen vaikuttavia olosuhdemuuttujia on erillisissä koejärjestelyissä käytännössä vaikeaa vakioida ja sekoittavia tekijöitä satunnaistaa. Varmuutta ei ole, etteivätkö uuden kokeen olosuhteet jossain suhteessa poikkeaisi aikaisemmasta. Jo esimerkiksi kasvukausien vaihtelun eliminointi vaatisi useiden vuosien toistoja.

Näyttää siltä, että viljelykokeiden regressiomallit eivät tarjoa metsänuudistamisen mallinnukseen toimivaa vaihtoehtoa. Jos tällä tekniikalla pyritään käsittelemään eri kasvupaikkoja ja useampivaiheisina toimenpideketjuina määriteltyjä uudistamisvaihtoehtoja, joudutaan epäkäytännöllisen laajaan koejärjestelyyn.

3.4 Tarkastelutehtävän toteutuminen

Metsänhoito-organisaatioissa laskentasysteemiä on käytetty lähinnä koulutukseen, kehittämistutkimuksissa tehtyihin menetelmien vertailuihin ja metsänuudistamisen maastosuunnittelun kehittämiseen. Maastosuunnittelun apuvälineeksi se ei osoittautunut käyttökelposeksi. Syynä tähän oli se, että homogeenisten maastokuvioiden rajaus ja olosuhdetietojen määrittäminen laskentaa varten tuli erittäin työlääksi ja olisi vaatinut aikaa paljon enemmän, kuin metsänuudistamisen maastosuunnittelussa voidaan menetelmien valintaan käyttää. Jos olosuhdetietoja taas ei määritetä asianmukaisesti, uudistusalan analysoinnista saatavat hyödyt ovat kyseenalaiset.

Käytännön metsänviljelyjen antamat ja laskentasysteemillä saadut tulokset olivat yrityskohtaisissa tarkasteluissa melko yhdenmukaisia. Laskentasysteemin myötä saavutettua varsinaista uutta ovat olleet tulevien kustannusten arviot tuloksellisuutta kuvaavine tunnuslukuineen eri tavoin tehtävissä maanmuokkaus- ja viljelyratkaisujen rajauksissa. Laskennallisella vertailulla on ollut käyttöä, kun metsänuudistamisen suunnittelua on kehitetty aiempaa enemmän olosuhdepainotteiseksi. Sen avulla opittiin ymmärtämään paremmin metsänuudistamisen kokonaisuutta ja tietoperustan puutteita.

Maanmuokkaus- ja metsänviljelymateriaalipolitiikan tarpeita varten laskentasysteemillä on tehty metsänhoito-organisaatioita varten laskelmia sekä yleisiä kehittämisselvityksiä (Hämäläinen 1986, Hämäläinen & Kaila 1987 b, Imponen & Kaila 1988, Hämäläinen & Kaila 1990, Hämäläinen 1990). Niistä on saatu eräitä yleisiä viitteitä, jotka voidaan tiivistää seuraavasti:

- Yleensä erot muutaman kokonaiskustannuksiltaan halvimman vaihtoehdon välillä eivät ole jyrkkiä, eikä "oikean" vaihtoehdon löytyminen ole kovin kriittinen asia. Viljavalla ja hienolajitteisella maalla kokonaiskustannusten erot voivat kuitenkin olla suuria.

- Nopean ja varman uudistamisen tavoite ei näytä olevan periaatteellisessa ristiriidassa kus-

tannusten säästämisen tavoitteen kanssa: jälkitöiden kustannukset voidaan peittää etenkin vaikeasti taimettuvilla uudistusaloilla kevyen maanmuokkauksen ja pienten taimien istutuksen myötä saavutettavilla säästöillä.

- Maanmuokkaustyömaiden mahdollisimman suuri pinta-ala, tehokas ketjutus ja koko uudistusalan viljely samalla kertaa samalla materiaalilla on kokonaiskustannusten kannalta yleensä vähemmän tärkeä asia kuin ratkaisun sopeuttaminen olosuhteisiin. Parikin maanmuokkaus- ja viljelymenetelmää vaihtelevalla uudistusalalla voi olla järkevä ratkaisu.

Käytännössä menetelmien valinnan ongelmat eivät näytä olevan niinkään normatiivisia päätöksenteko-ongelmia kuin maastosuunnittelun olosuhteiden määrittämisen ja menetelmien rajaamisen toimintatapa- ja ajankäyttökysymyksiä. Täten yleisillä, metsänviljelytilanteen yksinkertaistavilla, tarkasteluilla ei voida tuottaa olennaista tukea metsänhoito-organisaatioiden operationaaliseen päätöksentekoon. Pelkällä metsikön perustamisvaiheessa tehtävällä tarkastelulla ei myöskään vielä saada kovin hyvää otetta metsänviljelyn kustannustehokkuuden ongelmaan.

Yritykset tuottaa sovelletun ns. kovan systeemikäsityksen pohjalta kompleksisille ja jäsentymättömille aihealueille suoraan käytännöllisiä ratkaisuja ovat yleisestikin olleet vähemmän menestyksellisiä (Checkland 1984). Mikäli metsänviljelyn vaihtoehtojen tarkasteluun halutaan liittää esimerkiksi eri puulajien tai viljelytiheyksien vertailuja, tehtävän luonne muuttuu. Mallinnuksessa tullaan tällöin soveltajan toimintatapa- ja strategiaongelmiin ja vuorovaikutteiseen kehittämistyöhön, joka käsittää tavoitteiden kehittämistä, systeemin rakentamista ja tulosten arviointia, ja jossa soveltaja on kiinteästi mukana.

Käytännön metsänhoidon kehitys on ollut viime vuosina nopeaa, ja laskentasysteemi on käsitemallinsa puolesta ja tietoperustaltaankin osittain vanhentunut. Varsinkin taimikon kehitystä koskevat osat tulisi uusia, jotta malli olisi paremmin ajan tasalla.

Ajankohtainen alue, jolla metsänuudistamisen menetelmien kokonaistarkastelusta voisi olla hyötyä, ovat taimikon luontaisen taimettumisen ja jatkokäsittelyn ongelmat. Metsänhoidon kehittämisessä on keskeisenä ongelmana luontaisen taimettumisen ennustaminen ja erilaisten taimien kilpailu. Tutkimuksia näillä alueilla on tehty runsaastikin, mutta toistaiseksi ei ole luotu toimivaa tapaa, jolla tulokset voidaan systemaattisesti hyödyntää käytännön toimintaan ja ohjeisiin.

Näyttää siltä, että tutkimustulokset eivät sellaisinaan esitettyinä - sen enempää sanallisessa kuin numeerisessakaan muodossa - ole tarkoitustaan tietoperustana täyttäneet: metsänhoidon muutos on toteutettu pikemmin yleisen kokonaisnäkemyksen kuin tutkimuksen tuottamien analyysien pohjalta. Uusi, ongelmalähtöinen tutkimusote edellyttäisi tutkimusten käsitteistön parempaa keskinäistä yhteensopivuutta eri osa-alueilla ja yhteyttä soveltamiseen. Yleinen käsitteellinen tarkastelukehikko on väline, jolla tutkimustulokset voidaan suhteuttaa toisiinsa ja havainnollistaa käytäntöön soveltamisen edellyttämällä tavalla.

Soveltamisen kannalta metsänuudistamistutkimuksessa tarvitaan näin sekä käsitteellisen tarkastelukehikon kehittelyä että tämän osasten toimivuuden testausta, jossa tehtäväalueeseen kuuluvien ilmiöiden kokeellisella tutkimuksella tulisi olla keskeinen merkitys. Kiinteämpi vuorovaikutus tutkimuksen ja tulosten käytännön soveltamisen välillä on tarpeen. Tutkimuksen kannalta sen myötä tulevat samalla ilmi tietoperustan puutteellisuudet.

KIRJALLISUUTTA - *References*

BELLI, K. L. 1988. FPES: A framework for modelling the artificial regeneration system. Forest growth modelling and prediction; proceedings of the IUFRO conference August 23-27, 1987, Minneapolis, Minnesota. United States Forest Service, General Technical Report NC-120 (1): 361-368

CHECKLAND, P. B. 1984. Systems Thinking, Systems Practice. John Wiley & Sons Ltd. Chichester, New York, Brisbane, Toronto. Reprinted with corrections Feb. 1984, reprinted Aug. 1990. 330 s.

DREYFUS, H. 1972. What computers can't do: A critique of artificial reason. Harper & Row. New York. 235 s.

ELFVING, B. & NYSTRÖM, K. 1984. Björkens stubbskottsbildning i ungdomskedet. Analyser av data fran HUGIN's ungskogsytor. Sveriges Skogsvårdförenings Tidsskrift 3-4: 51-60

FABER, M., MANSTETTEN, R. & PROOPS, J. 1992. Toward an open future: ignorance, novelty and evolution. Julkaisussa: Costanza, R., Norton, B.K. & Haskell, B.D. (toim.). Ecosystem health. New goals for environmental management. s. 72-96. Island Press. Washington D.C.

HAAS, T. C. 1991. A Bayesian belief network advisory system for aspen regeneration. Forest Science 37 (2): 627-654

HAAVISTO, M. (toim.) 1983. Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuslaitoksen julkaisuja. Opas n:o 10. 80 s.

HÄMÄLÄINEN, J. 1986. Paakkutaimet männyn ja kuusen viljelyssä. Summary: Containerized seedlings in forest regeneration. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 8/1986. Helsinki. 4 s.

HÄMÄLÄINEN, J. 1990. Eri maanmuokkausmenetelmien edullisuus männyn ja kuusen viljelyssä Etelä-Suomessa. Summary: Advantages of different site preparation methods on planting results and costs in Southern Finland. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 402. Helsinki. 16 s.

HÄMÄLÄINEN, J. & KAILA, S. 1987a. Maaston vaikutus maanmuokkauslaitteiden työjälkeen. Summary: Effect of terrain on work quality of different site preparation machines. Metsätehon tiedotus - Metsäteho Report 399. Helsinki. 15 s.

HÄMÄLÄINEN, J. & KAILA, S. 1987b. Metsänuudistamisen suunnittelun nykytilanne ja kehittämismahdollisuudet. Summary: Field planning of forest regeneration and its development aspects. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 2/1987. Helsinki. 4 s.

HÄMÄLÄINEN, J. & KAILA, S. 1990. Taimikon perkauksen resurssitarve metsänuudistamisen toimenpideketjussa. Summary: The effect of planting success on resources needed for young stand cleaning regimes in regeneration. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 14/1990. Helsinki. 6 s.

HÄMÄLÄINEN, J., KAILA, S. & KESKINEN, S. 1985. Laskentamalli metsänviljelyn menetelmien vertailuun. Summary: Calculation system for comparing forest regeneration methods. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 18/1985. 4 s. Helsinki

IMPONEN, V. & KAILA, S. 1988. Uudistusalan koon vaikutus metsän uudistamiskustannuksiin Etelä-Suomen olosuhteissa. Summary: The effect of the size pf area on harvesting and regeneration costs. Metsätehon katsaus - Metsäteho Review 18/1988. Helsinki. 6 s.

KAILA, S. 1991. Use of a system model in estimating the cost effectiveness of methods of forest regeneration. Efficiency of stand establishment operations; proceedings of a IUFRO symposium held at Rotorua, New Zealand, 11-15 Sept. 1989. New Zealand Ministry of Forestry, FRI Bulletin 156: 333-340

KAILA, S. 1993. Metsänviljelyn tulos- ja kustannusvertailu aggregointiin perustuvalla menetelmällä. Lisensiaatintutkimus. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsäekologian laitos. 106 s.

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.

KAUPPI, A., KIVINIITTY, M. & FERM, A. 1988. Growth habits and crown architechture of seed and sprout origin in Betula pubescens Ehrh. Canadian J. For. Res. 18:1603-1613

LESKINEN, T. 1988. Männyn ja kuusen istutustaimien pituuskehitys Tehdaspuu Oy:n osakkaiden ja Enso-Gutzeit Oy:n istutustaimikoissa Itä- ja Keski-Suomessa. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 86 s.

MIKOLA, P. 1942. Koivun vesomisesta ja sen metsänhoidollisesta merkityksestä. Referat: Über die Ausschlagsbildnung bei der Birke und ihre forstliche Bedeutung. Acta For. Fenn. 50(3): 1-102

NURMINEN, M. I. 1988. People or Computers: Three Ways of Looking at Information Systems. Studentlitteratur; Chartwell-Bratt, Lund. 202 s.

PARVIAINEN, J. & LAPPI, J. 1983. Laskentamalli metsänviljelyketjujen vertailemiseksi. Folia Forestalia 549: 1-24. Metsäntutkimuslaitos - The Finnish Forest Research Institute. Helsinki

PARVIAINEN, J., SOKKANEN, S. & RUOTSALAINEN, M. 1985. Metsän uudistamisen vaihtoehtoja vertaileva laskentamalli "Viljo". Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 179. Joensuun tutkimusasema. 93 s.

PAYANDEH, P. 1988. Plant: A model for artificial forest regeneration in ontario. Forest growth modelling and prediction; proceedings of the IUFRO conference August 23-27, 1987, Minneapolis, Minnesota. United States Forest Service, General Technical Report NC-120 (1): 386-393

RÄSÄNEN, P. K. 1988. Regeneration modelling and its management applications. Forest growth modelling and prediction; proceedings of the IUFRO conference August 23-27, 1987, Minneapolis, Minnesota. United States Forest Service, General Technical Report NC-120 (1): 394-401

RÄSÄNEN, P. K., KAILA, S., LAPPI, J., PARVIAINEN, J. & PÄIVÄNEN, J. 1979. Metsänuudistamisen vaihtoehdot. Esitutkimusraportti. Moniste. Metsäntutkimuslaitos-Metsäteho. Helsinki-Suonenjoki. 60 s.

SAARENMAA, L. 1990. Viljelyketjun valinta asiantuntijajärjestelmän avulla Lapissa. Summary: Choice of reforestation method based on an expert system in Finnish Lapland. Folia Forestalia 762. Metsäntutkimuslaitos - The Finnish Forest Research Institute. Helsinki. 49 s.

SAARENMAA, L. 1992. Induktiivinen oppiminen metsänviljelyn tietokannan tulkinnassa. Metsähallituksen metsänhoitotöiden kirjanpitoaineistoon perustuva tutkimus. Summary: Inductive learning in Knowledge Acquisition from the Forest Regeneration Database. A Study Based on the Data Collected by the National Board of Forestry. Helsingin yliopiston metsäekologian laitoksen julkaisuja 3. Helsinki. 173 s.

SIMON, H. A. 1981. The Sciences of the Artificial. Second edition. The MIT Press, Cambridge, Mass.; London, England. Third printing, 1984. 247 s.

SIMON, H. A. 1990. Prediction and prescription in system modelling. Operations Research 38 (1): 7-14

SIMON, H. A. & ANDO, A. 1961. Aggregation of variables in dynamic systems. Econometrica 29: 111-138

SOINI, T. 1990. Tietokannat päätöksenteon tehostajina: informaatiokantojen suunnittelu. Weilin + Göös, Hämeenlinna

VALTANEN, J. & ENGBERG, M. 1987. Vuosina 1970-72 perustetun aurausalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: The results of Kainuu and Pohjanmaa of the ploughed-area reforestation experiment begun during 1970-72. Folia Forestalia 686. Metsäntutkimuslaitos - The Finnish Forest Research Institute. 42 s.

VALTONEN, P. 1988. Vesakon kehitys Enso-Gutzeit Oy:n ja Tehdaspuu Oy:n istutustaimikoissa Itä- ja Keski-Suomessa. Konekirjoite. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitos. 53 s.

A SYSTEM MODEL BASED ON AGGREGATION FOR COMPARING OUTCOMES AND COSTS IN ARTIFICIAL FOREST REGENERATION

By Simo Kaila

Summary

When artificial forest regeneration (i.e. planting and sowing) is conceptualised as a system for comparing different reforestation options, problems arise firstly from the great number of combinations comprising different sites and operation chains, and secondly shortcomings in the knowledge base. The application of a hierarchical structure and an aggregating technique were tried out as means of simplifying the domain to be managed as a computation system. The structure of this computation system has been briefly presented in earlier publications (Hämäläinen et al. 1985, Kaila 1991). This Report takes a more extensive look at the principles involved in and the experiences gained of the system.

In accordance with the modelling technique applied, the chain of events involved in artificial forest regeneration was defined as a series of consecutive stages. Within these stages the development was defined into certain outcomes, described finally with combined (or aggregate) variables. They were concurrently used as the inputs for the next stage. The purpose was to keep the scope of the to-be-processed variable combinations reasonable so that several parameters depicting the regeneration alternatives and different sites might also be included.

The structure and contents of the computation system were formulated largely through interviewing forest researchers and experts in the field of artificial forest regeneration. Only limited use could be made as such of existing research results, i.e. of their numeric values and functions. Shortcomings in and the fragmentated nature of the associated knowledge base were encountered when building up the system. The focusing of research efforts together with concept development from the viewpoint of the application of the results are tasks requiring better interaction between research and practical forestry.

The computation system did not appear to be applicable as a tool for the practical implementation and planning of forest regeneration. However, it has found use in the development of planning and basic cost-effectiveness comparisons of options in connection with training purposes. It needs to be pointed out that considerable changes have taken place during the past few years in the way in which forest regeneration is carried out. A computation system built in this way can be updated should interest be expressed towards comparing new options in reforestation.

On the other hand, the technique applied could find use in providing the conceptual framework needed for assessing the outcomes of the multitude of forest regeneration research work. To date, there is no other systematic approach whereby the results of different investigations might be arranged to into a uniform database.

Keywords: reforestation, establishment costs, cost-effectiveness, modelling, system

METSÄTEHO

PL 194 (Unioninkatu 17) 00131 HELSINKI
Puhelin: (90) 132 521 Faksi: (90) 659 202

ISBN 951-673-148-1
ISSN 0356-7257