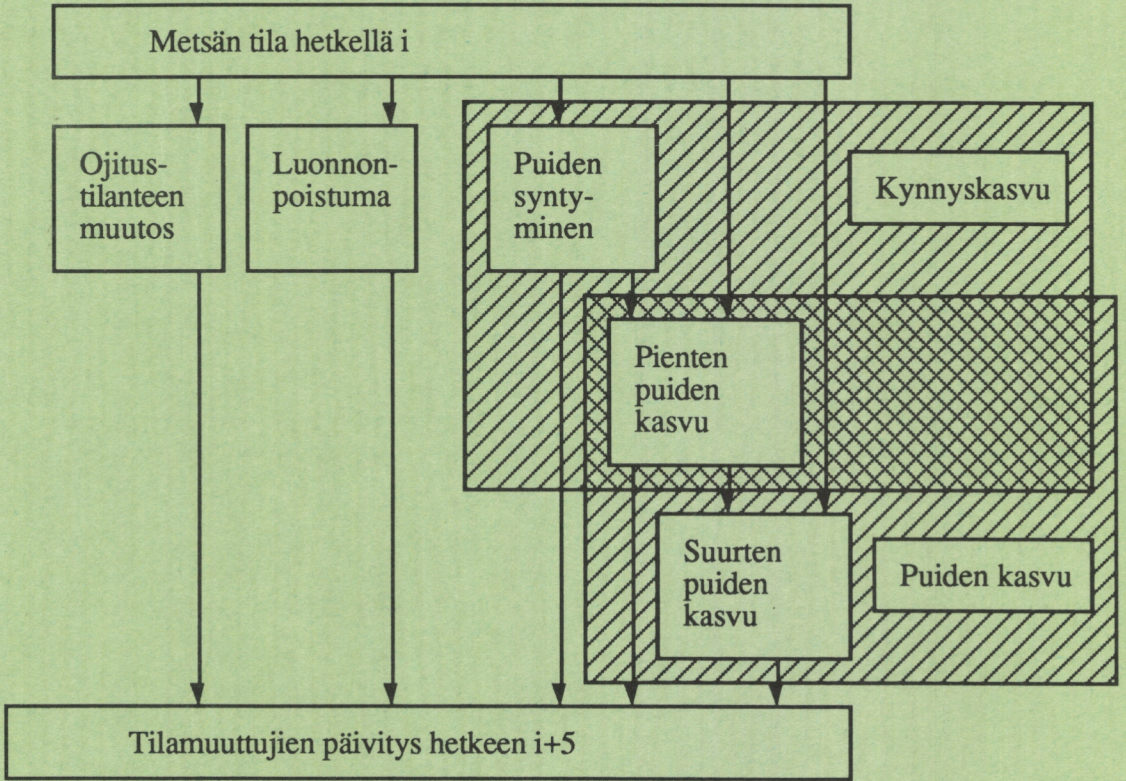


METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 385
Puuntuotoksen tutkimussuunta



LUONNONPROSESSIT METSÄLASKELMASSA
(MELA) — METSÄ 2000-VERSIO

Risto Ojansuu, Jari Hynynen, Jaana Koivunen ja Pirkko Luoma

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 385
Puuntuotoksen tutkimussuunta

Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) — Metsä 2000-versio

Risto Ojansuu, Jari Hynynen, Jaana Koivunen ja Pirkko Luoma

Helsinki 1991

ISBN 951-40-1164-3

ISSN 0358-4283

Valtion painatuskeskus
Kampin VALTIMO
Helsinki 1991

Sisällys

| | |
|--|----|
| Alkusanat | 4 |
| 1. Johdanto | 5 |
| 2. Metsän tilan ja muutoksen kuvaus MELAssa | 6 |
| 3. Mallien laadinta-aineistot | 9 |
| 31. Valtakunnan metsien 7. inventointi (VMI7) | 9 |
| 32. Metsäojitettujen soiden inventointiaineisto (MSI) | 10 |
| 33. Taimikoiden taksatorisen varhaiskehityksen aineisto (TTVK) | 10 |
| 4. Muutosmallit | 10 |
| 41. Ojitustilanteen muutos | 10 |
| 42. Luonnonpoistuma | 12 |
| 43. Puiden luontainen syntyminen | 13 |
| 44. Pienten puiden pituuskasvu | 15 |
| 45. Puun kynnykskasvun pohjapinta-ala | 17 |
| 46. Puun pohjapinta-alan kasvu | 18 |
| 47. Puun pituuskasvu | 20 |
| 48. Lannoitusvaikutus | 22 |
| 5. Muut puutunnusmallit | 23 |
| 51. Tilavuus ja puutavaralajit | 23 |
| 52. Tukkipöytämalli | 23 |
| 53. Puun kuoreton ja kuorellinen pohjapinta-ala | 23 |
| 6. Mallien luotettavuus | 24 |
| 61. Menetelmät ja aineistot | 24 |
| 62. Poikkileikkaustarkastelu | 27 |
| 63. Kestokoetarkastelu | 33 |
| 64. Vertailu uudistamis- sekä kasvu- ja tuotostutkimuksiin | 36 |
| 7. Tarkastelu | 39 |
| Kirjallisuus | 40 |
| Liite A MELAn osamallien FORTRAN-kieliset kutsut | 43 |
| Liite B Koealan kasvun luotettavuustunnuksia | 50 |
| Liite C Luonnonnormaalien metsien kehityssuunnitteita | 55 |
| Liite D Merkinnät | 58 |

Alkusanat

Metsälaskelma eli MELA on suuralueille tarkoitettu metsätalouden pitkän ajan suunnittelu-järjestelmä. MELAn simulointiosa sai nykyisen rakenteensa Metsä 2000-ohjelmaa valmisteltaessa. Sittemmin se on otettu käyttöön puustotietojen päivitykseen Keskusmetsälautakunta Tapiossa ja eräissä metsäteollisuusyhtiöissä. Myöhemmin simulointiosaan on tehty pieniä muutoksia, mutta sen pääpiirteet ovat säilyneet samoina. Lähinnä muutokset koskevat ilmastosta aiheutuvaa kasvun tason korjaamista.

Koska luonnonprosessien simulointiosasta ei Metsä 2000-ohjelman yhteydessä laadittu erillistä raporttia, on sen toimitaperiaatteista ja rakenteesta kaivattu yleisluontoista selvitystä. Nyt julkaistavan tiedonannon tarkoituksena on täyttää tämä tiedon aukko. Mallin kuvaus on tehty Metsä 2000-raportin pohjana olevalle versiolle. Mukaan on liitetty Metsä 2000-ohjelman laatimisen jälkeen tehtyjä mallien luotettavuustarkasteluja.

Tiedonannon on kirjoittanut Risto Ojansuu. Erillisiä luotettavuustarkasteluja ovat tehneet Jari Hynynen (kestokoetarkastelu), Jaana Koivunen (poikkileikkaustarkastelu) ja Pirkko Luoma (kestokoetarkastelu). Risto Sievänen ja Markku Siitonen ovat lukeneet käsikirjoituksen ja antaneet varteenotettuja kommentteja.

Helsingissä 25.4.1991

Kari Mielikäinen

1. Johdanto

Metsälaskelma eli MELA on alkujaan suuralueille tarkoitettu metsätalouden pitkän ajan suunnittelun järjestelmä. Se on syntynyt Kilkin (1968) aloittaman hakkuulaskelmien kehittämisen tuloksena. Nykyinen ohjelmisto on tehty Metsäntutkimuslaitoksen metsäinventoinnin tutkimussuunnalla valtakunnan 7. inventoinnin aineistoon perustuvia hakkuulaskelmia varten (Siitonen 1983). MELAn simulointiosa kehitettiin tässä esitettävään muotoonsa Metsä 2000-ohjelmaa valmisteltaessa (Metsä 2000-ohjelma 1985).

MELA jakautuu kolmeen pääosaan: 1) metsävaratietojen käsittely simulointia varten, 2) metsän tulevien käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen tuottaminen (simulointi) ja 3) tuotanto-ohjelman valinta. Metsien hoidon ja käsittelyn työryhmän raportissa on esitelty lyhyesti MELAn toimintaperiaate ja eräiden metsän kehityksen simuloinnissa käytettyjen aliohjelmien rakenne (Metsien hoidon ... 1985).

Tämän esityksen tavoitteena on kuvata Metsä 2000-laskelmissa käytetty luonnonprosessien simulointimenettely. Osamallien keskinäinen suhde ja rakenne kuvataan. Mallien parametrit esitetään vain silloin, kun niiden vaikutus mallin tulokseen on riittävän selkeästi tulkittavissa. Mallien luotettavuutta tarkastellaan valtakunnan metsien 7. inventoinnin koepuuaineiston ja riippumattomien aineistojen avulla. Käsitteillä, joita ei toisin määritellä on sama sisältö kuin valtakunnan metsien 7. inventoinnin kenttätyöohjeissa (1977).

Tarkastelun ulkopuolelle jätetään metsävaratietojen muokkaaminen MELAlle sopivaan muotoon ja tuotanto-ohjelman valinta. Metsävaratiedot tarvitaan MELAssa kuvioittaisina tai koealoittaisina runkolukusarjoina tai yksittäisinä puina. Koealainventoinneissa runkolukusarjat mitataan mutta kuvioittaisessa arvioinnissa mitataan vain puustotunnuksia. Joensuun yliopistossa on kehitetty ohjelmisto kuvioittaisen inventoinnin metsikkötason tietojen muuntamiseksi MELAn käyttämään muotoon (Kangas 1986). Tuotanto-ohjelma valitaan MELAssa lineaarisella ohjelmoinnilla (esim. Kilkki 1985).

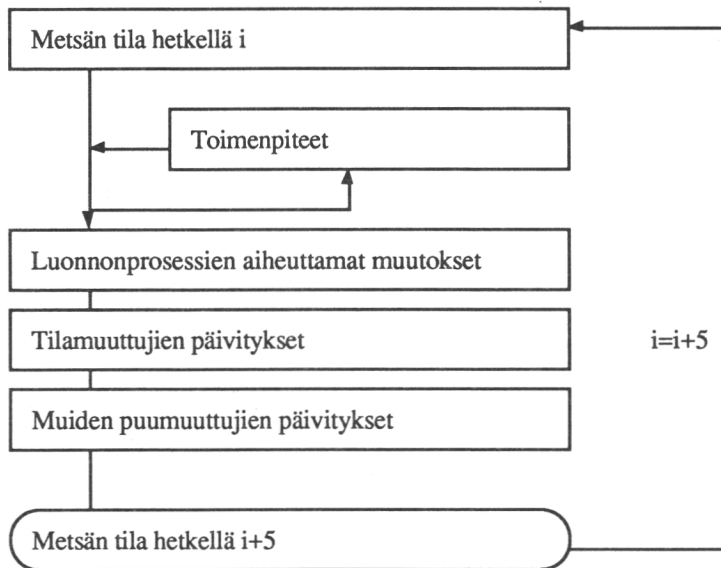
2. Metsän tilan ja muutoksen kuvaus MELAssa

Metsä kuvataan MELAssa laskentayksikköinä, jotka tulkitaan metsän käsittelykuvioiksi. Laskentayksiköt koostuvat koealoista. Koealat kuvataan kasvupaikan ja koealalla kasvavien puiden avulla. Koealojen väliset erot aiheuttavat laskentayksikköiden sisäistä vaihtelua. Käytävissä olevat metsävaratiedot, laskentakapasiteetti ja tavoiteltavat tulokset ratkaisevat laskentayksikköiden muodostamisen. Kuvioittaiseen arviointiin perustuvassa suunnittelussa voidaan laskentayksikköinä käyttää metsikkökuvioita. Valtakunnan metsien inventointitietoja käytettäessä laskentayksikön muodostavat koealainventoinnin koealat, jotka voivat sijaita maantieteellisesti kaukanakin toisistaan.

MELAn simulointiosa koostuu malleilla ennustettavista tapahtumista (kuva 1). Luonnonprosessit kuvataan kahden ajankohdan välillä tapahtuvina metsän tilan muutoksina. Ennustettujen muutosten avulla saadaan metsän uusi tila ajanjakson lopussa. Saman ajanjakson aikana tapahtuvat muutokset ennustetaan yhtäaikaisesti. Käytössä olevien muutosmallien aika-askel on 5 vuotta. Simuloinnissa aika-askel voidaan valita vapaasti. Aika-askeleen ollessa pienempi kuin 5 vuotta, jaetaan mallien antama 5 vuoden muutos eri vuosille olettaen, että muutosnopeus on aika-askeleen aikana vakio. Kasvupaikkaan (esim. lannoitus ja ojitus) tai puustoon (esim. hakkuut) kohdistetut toimenpiteet muuttavat suoraan metsän tilatietoja. Toimenpiteet ovat ohjattavissa joko yleisten metsän käsittelysääntöjen avulla tai kussakin päätöstilanteessa erikseen. Aika-askelten välissä voi olla useita toimenpiteitä (esim. ojitus ja lannoitus).

Kasvupaikka kuvataan metsikön maantieteellisellä sijainnilla sekä maaperä- ja ilmastomuuttujilla. Maaperä kuvataan epäsuorasti metsä- tai suotyypin, veroluokan alennuksen ja ojitustilanteen avulla (Valtakunnan metsien ... 1977). Ilmastollisena muuttujana käyteen keskimääräistä lämpösummaa kynnysarvolla 5°C.

Puusto esitetään kuvauspuina. Kuvauspuut voivat olla yksittäisiä puita tai puutiedot voidaan tiivistää läpimittaluokittaiseksi runkolukusarjaksi, jos koeala tai metsikkö sisältää simuloinnin teknisen toteutuksen kannalta liian monta puuta. Jokainen kuvauspuu kuvataan tilamuuttujilla. Puun tilamuuttujia ovat ne muuttujat, joiden arvo vaikuttaa simuloinnin tuloksiin. Tilamuuttujien muutoksia ennustetaan muutosmalleilla. Systemin tilamuuttujat ovat puun biologinen ja rinnankorkeusikä (v), runkoluku (kpl/ha), puun kuoreton pohjapinta-ala rinnankorkeudella (cm²) ja puun pituus (m). Puulaji on puutasolla simuloinnin ennusteisiin vaikuttava vakioparametri, mutta metsikkötasolla puulajisuhteet voivat muuttua.

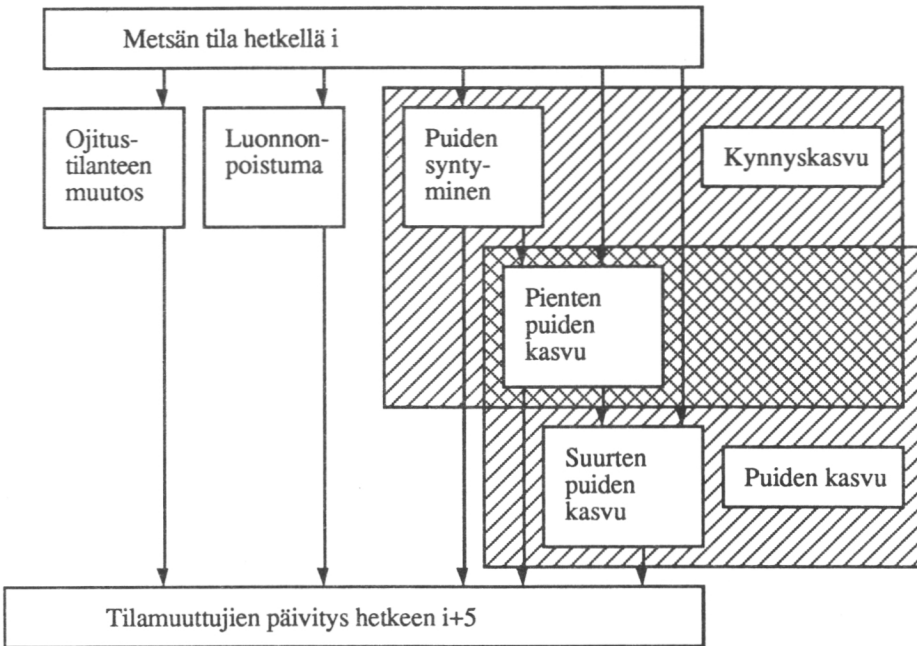


Kuva 1. Metsän kehityksen simuloinnin periaate MELAssa.

Muiden puumuuttujien arvot voidaan ennustaa puutunnusmalleilla kasvupaikkamuuttujien ja tilamuuttujien funktiona. Niistä tärkeimpiä ovat koko rungon ja eri puutavaralajien tilavuudet.

Muutoksia voi tapahtua kasvupaikassa ja puustossa (kuva 2). Ainoa MELAssa mukana oleva kasvupaikan muutos on koealan ojitustilanteen muutos. Muut kasvupaikkaan kohdistuvat toimenpiteet kuvataan pelkkinä toimenpiteen toteuttamisaikoina. Puuston muutosmallit käyttävät toimenpiteestä kulunutta aikaa selittäjänä toimenpiteiden vaikutusta ennustettaessa.

Puuston kehityksen ennustaminen on jaettu kolmeen pääosaan: 1) puiden kuolemiseen, 2) uusien puiden syntymiseen ja 3) puiden kasvuun. Luonnonpoistuma ennustetaan kuolemismallilla, joka antaa kuvauspuulle todennäköisyyden kuolla tulevana viisivuotiskautena. Mallia sovelletaan deterministisesti siten, että puun runkolukua pienennetään kuolemistodennäköisyyden verran. Koko luonnonpoistuma jää MELAssa hyödyntämättömänä metsään.



Kuva 2. Luonnonprosessien simulointi MELAssa.

Puiden syntymismalli ennustaa seuraavana viisivuotiskautena syntyvien puiden lukumäärän, puulajijakauman ja syntymisvuodet. Kuvauspuiden lukumäärä säädellään siten, että se on aina riittävän suuri koelan monipuoliseen kuvaukseen, mutta samalla riittävän pieni simulointiin käytettävän tietokoneajan pitämiseen kohtuullisena.

Alle ja yli 1,3 m pitkien puiden kasvut on mallitettu erikseen. Syntyneen puun alkukehitys rinnankorkeudelle simuloidaan pienten puiden pituuskasvumallilla. Puun saavuttaessa rinnankorkeuden, annetaan sen kuorettomalle rinnankorkeuspohjapinta-alalle pieni alkuarvo. Syntymismalli, pienten puiden pituuskasvumalli ja rinnankorkeuden saavuttavan puun pohjapinta-alamalli muodostavat yhdessä puun kynnykskasvumallin .

Yli 1,3 m:n pituisten puiden kasvu ennustetaan suurten puiden pohjapinta-alan ja pituuden kasvumalleilla. Jäljempänä niitä nimitetään pohjapinta-alan ja pituuden kasvumalleiksi. Ne perustuvat kuorettomiin puu- ja puustotunnuksiin.

Puun saavuttaessa rinnankorkeuden simulointiaskeleen aikana, joudutaan saman simulointiaskeleen aikana käyttämään sekä pienten että suurten puiden kasvumalleja. Tällöin lasketaan rinnankorkeuden saavuttamisvuosi ja puun pituus tämän vuoden lopussa olettaen simulointi-

askeleen aikainen vuotuinen pituuskasvu vakioksi. Tähän pituuteen lisätään suurten puiden pituuskasvumallilla ennustettu kasvu simulointiaskeleen loppuosalle. Puun pohjapinta-ala simulointiaskeleen lopussa saadaan lisäämällä puun kynnyskasvupohjapinta-alaan pohjapinta-alaan kasvumallilla ennustettu simulointiaskeleen loppuosan kasvu.

Metsän tilatietojen ajantasauksessa lasketaan tilamuuttujien uudet arvot edeltäneen tilan ja muutoksen summana. Puiden tilamuuttujien muutokset simuloidaan kuorettomia pohjapinta-aloja käyttäen. Muut puutunnukset lasketaan muilla puutunnusmalleilla, joissa tärkeänä selittävänä muuttujana on puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta. MELA sisältää mallit puun kuorellisen pohjapinta-alaan muuntamiseksi kuorettomaksi ja päinvastoin. Koealan puustotunnukset lasketaan koealan puiden tunnusten avulla.

Malleissa käytetyt muuttujat ja mallien Fortran-kieliset kutsut on esitetty liitteessä A.

3. Mallien laadinta-aineistot

31. Valtakunnan metsien 7. inventointi (VMI7)

VMI7 oli systemaattinen lohkoittainen koealainventointi Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien alueita lukuunottamatta (Valtakunnan metsien ... 1977). Lohkot sijaitsivat säännöllisesti 8 km:n välein. Jokaiselta lohkolta mitattiin 21 relaskooppikoealaa puustokoealoina, joista neljän koealan kaikki puut mitattiin tarkemmin koepuina. Kaikilta puustokoealoilta määritettiin joukko kasvupaikkatunnuksia ja puustotunnuksia. Kaikkien puiden puulaji ja rinnankorkeusläpimitta määritettiin. Lisäksi tehtiin joitakin puuluokitteluja. Koepuista mitattiin lisäksi mm. pituus, kuoren paksuus, viiden edellisen vuoden kuoreton läpimitan kasvu ja havupuista vastaava pituuskasvu. Muutosmallien laadinnassa käytettiin pääasiassa VMI7:n koepuukoealoja.

VMI 7:ssä ei tunneta koealojen lannoitushistoriaa, eikä koealalla tehtyjen muiden toimenpiteiden tarkka ajankohta ole tiedossa. Esimerkiksi soiden kehityksen ennustamisen kannalta tärkeä ojituksen ajankohta puuttuu. Lisäksi VMI7-relaskooppikoealat eivät sisällä tietoa rinnankorkeutta lyhyemmistä puista.

32. Metsäojitettujen soiden inventointiaineisto (MSI)

Soiden ojitukset muuttavat kasvupaikan puuntuotoskykyä voimakkaasti. Muutos on ajan funktio ja vaatii tiedon ojitusajankohdasta suhteessa koealan mittaukseen. MSI (Keltikangas ym. 1986) sisältää tiedon koealojen ojitus- ja lannoitushistoriasta. Inventoinnin relaskoopikoealat muodostavat objektiivisen otoksen vuosina 1930-1976 ojitetuista soista. Koealoilta mitatattiin kaikkien puiden läpimitat puulajeittain. Lisäksi jokaiselta koealalta mitattiin 5 tilavuuskoepuuta, joista ensimmäinen ja kolmas olivat lisäksi kasvukoepuita. Kasvukoepuista mitattiin rinnankorkeudelta kuoren paksuus ja viiden vuoden sädekasvu kairaamalla sekä puun pituuskasvu. MSI-aineistoa käytettiin puun pohjapinta-alan kasvumallin laadintaan ojitetuille soille.

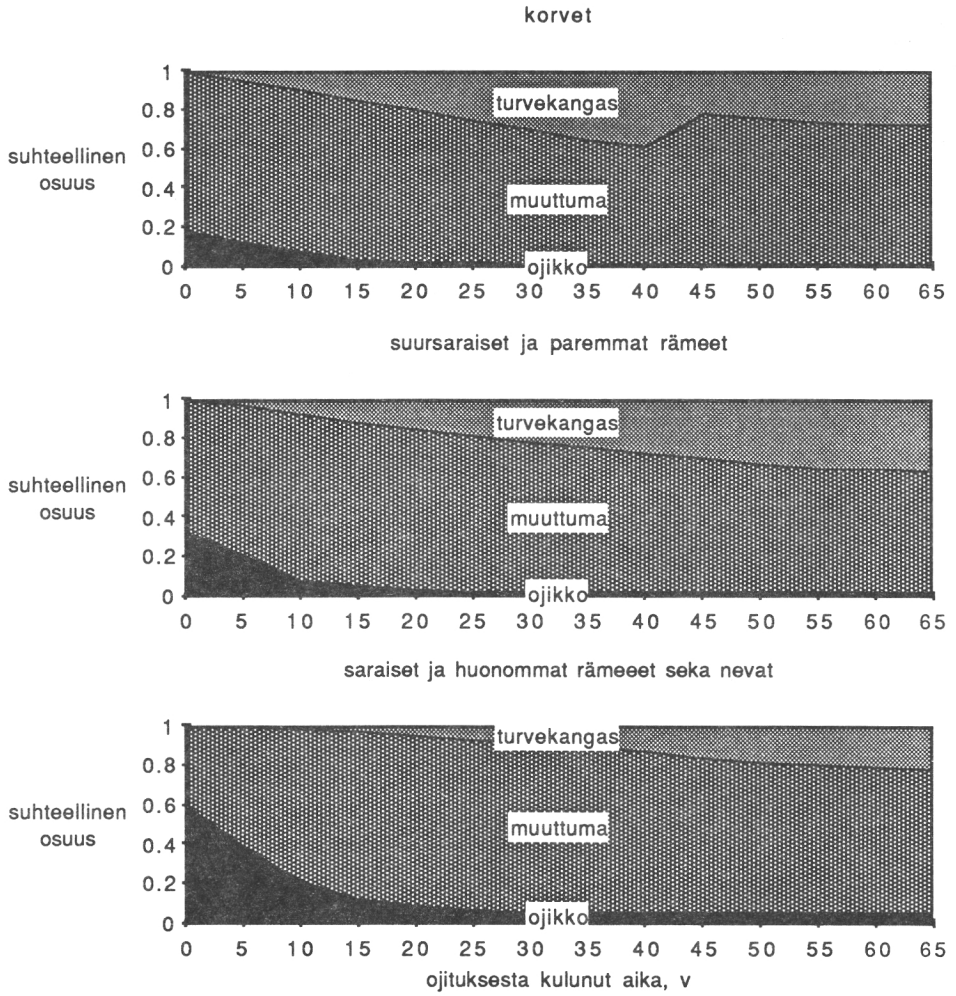
33. Taimikoiden taksatorisen varhaiskehityksen aineisto (TTVK)

TTVK-aineisto kattaa koko maan. Metsälautakuntiin tehtyjen tiedustelujen avulla valittiin 122 n. 5 m:n valtapituusvaiheessa olevaa viljelymetsikköä, joissa koealat sijoitettiin täyspuustosiin kohtiin. Jokaiselta koealalta otettiin 20 koepuuta, joiden pituuskasvut mitattiin. Aineiston keräsivät Yrjö Vuokila ja Jouko Laasasenaho vuosina 1968-1971 (Varmola 1987). Aineistoa käytettiin pienten puiden pituuskehityksen mallituksessa.

4. Muutosmallit

41. Ojitustilanteen muutos

Ojituksen vaikutus kasvupaikkaan on MELAssa kuvattu ojitustilakoodilla. Välittömästi ojituksen jälkeen luonnontilaista suota nimitetään ojikoksi. Sen jälkeen se kehittyy ensin muuttumaksi ja osa soista edelleen turvekankaiksi. Mallin perustana on ojitustilanteen suhteellinen pinta-alajakauma ojituksesta kuluneen ajan funktiona MSI-aineistossa. Pinta-alajakauma on laskettu erikseen kolmelle kasvupaikkaryhmälle: 1) korvet, 2) suursaraiset ja paremmat rämeet sekä 3) muut suot (kuva 3).



Kuva 3. Ojitustilan suhteellinen pinta-alajakauma ojituksesta kuluneen ajan funktiona MSI-aineistossa.

Ojitetun suon todennäköisyys siirtyä seuraavaan ojitustilaluokkaan tulevalla 5-vuotiskaudella lasketaan kaavalla (4.1.1).

$$\hat{p}_i = (P0_i - P5_i)/P0_i \quad (4.1.1)$$

- \hat{p}_i = koealan todennäköisyys siirtyä ojitustilaneluokkaan i seuraavan simulointiaskeleen aikana, mikäli koeala kuuluu luokkaan i-1
 $P0_i$ = ojitustilaluokan i ja sitä vähemmän kuivuneiden luokkien suhteellinen pinta-ala simulointiaskeleen alussa
 $P5_i$ = ojitustilaluokan i ja sitä vähemmän kuivuneiden luokkien suhteellinen pinta-ala simulointiaskeleen lopussa

Mallia sovelletaan MELAssa satunnaisesti. Jokaisen aika-askeleen alussa verrataan mallin antamaa siirtymätodennäköisyyttä satunnaislukuun väliltä [0,1]. Mikäli satunnaisluku on pienempi kuin mallin tulos, muuttuu koeala ojitustilanteeltaan seuraavaan parempaan luokkaan.

42. Luonnonpoistuma

Puiden luontainen kuoleminen on mallitettu puun todennäköisyytenä kuolla tulevalla 5-vuotiskaudella (Haapala 1983). Mallin muoto on esitetty kaavassa (4.2.2).

$$\hat{p}_k = \frac{1}{1 + e^{\beta_0 + \beta_1 d + \beta_2 G + \beta_3 Gy}} \quad (4.2.2)$$

missä

- \hat{p}_k = todennäköisyys, että puu kuolee tulevalla 5-vuotiskaudella
 d = puun kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm
 G = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m²/ha
 Gy = niiden puiden kuoreton pohjapinta-ala, joiden läpimitta on suurempi kuin kohdepuun, m²/ha

Mallin kertoimet on estimoitu VMI7:n puustokoeala-aineistosta. Mukaan on hyväksytty koealat, joiden veroluokka ei ole alentunut, tuhoja ei esiinny eikä koealaa ole hakattu inventointia edeltäneenä 5-vuotiskautena. Koealojen puuston tila tunnettiin vain mittaushetkellä. Kuolleista puista tiedettiin lisäksi, olivatko ne olivat kuolleet mittausta edeltävänä 5-vuotiskautena. Elävien puiden 5 vuoden takaiset läpimitat estimoitiin menneen kauden läpimitan kasvumallilla, joka laadittiin VMI7-koepuuaineistosta. Tätä mennyttä metsän tilaa käytettiin puun tulevan kuolemistodennäköisyyden selittäjänä. Malli (4.2.2) ennustaa sen osan luonnonpoistumasta, joka kuuluu metsän normaaliin kehitykseen mukaanlukien satunnaisluontoiset pienialaiset tuhot. Malli ei sisällä itseharvenemisrajaa, joten

se ei määritä metsikön maksimitiheyttä. Se ei myöskään pysty ennustamaan laaja-alaisten tuhojen aiheuttamaa kuolleisuutta.

Koko aineiston kuolemistodennäköisyydet ovat pieniä, noin 1 % puuston runkoluvusta. Koska pienimmän neliösumman estimaatit lähestyvät maximum likelihood-estimaatteja todennäköisyyksien ollessa pieniä (Stopher & Meyburg 1979), mallin kertoimet estimoitiiin pienimmän neliösumman menetelmällä veroluokittain erikseen kuuselle ja männylle.

Lehtipuille MELAssa käytetään männyn malleja. Koska koivu vaatii mäntyä enemmän kasvutilaa, korostetaan kilpailun vaikutusta kertomalla selittävien muuttujien G ja Gy arvot luvulla 1,5. Turvemailla käytetään ravinteisuusluokittain samaa mallia kuin kivennäismailla.

43. Puiden luontainen syntyminen

Puiden syntymismalli jakautuu kolmeen osaan: 1) seuraavalla viisivuotiskaudella syntyvien puiden lukumäärän ennustaminen, 2) puulajijakauman ennustaminen ja 3) uusien puiden syntymisvuosien ennustaminen. Puulajijakauman ennustamisen yhteydessä malli jakaa syntyneet puut kuvauspuiksi. Metsän viljely on toimenpide, joka kuvataan erikseen viljelymallin avulla.

Ensimmäisessä vaiheessa ennustetaan seuraavan simulointiaskeleen aikana syntyvien puiden lukumäärä mallilla (4.3.1).

$$\hat{R}L_s = RL\%_i (\xi RL_{max} - RL) (1 + 0,2 MPK) \quad (4.3.1)$$

missä:

$\hat{R}L_s$ = tulevalla 5-vuotisjaksolla syntyvien puiden lukumäärän ennuste

ξ = satunnaisluku väliltä 0,6-1,2

RL_{max} = simuloinnin maksimirunkoluku

RL = runkoluku aika-askeleen alussa

$$RL\%_s = \begin{array}{ll} 0,01 + 0,2475 G & G < 3,9 \text{ m}^2 \\ 1,0 & 3,9 \text{ m}^2 \leq G < 8 \text{ m}^2 \\ 1,471 - ,05882 G & 8 \text{ m}^2 \leq G < 25 \text{ m}^2 \\ 0 & G > 25 \text{ m}^2 \end{array}$$

G = puuston kuorellinen pohjapinta-ala, m^2

MPK = osoitinmuuttuja, joka saa arvon 1, jos maanpinnan käsittelystä on kulunut alle 10 v. Muulloin muuttuja saa arvon 0.

Simuloinnin maksimirunkolukuna (RLmax) ovat VMI7:n puustokoealojen runkolukujen keskiarvot nuorissa täystiheiksi tulkituissa metsissä. Mukaan on otettu koealat, joiden valtapituus on yli 1,3 m, keskiläpimitta alle 8 cm sekä biologinen ikä Etelä-Suomessa alle 50 v ja Pohjois-Suomessa alle 120 v. Koealametsikkö ei myöskään saa olla vajaatuottoinen muusta syystä kuin väärän puulajin takia. Keskiarvot on laskettu koealaryhmittäin. Ryhmät on rajattu mallissa alaryhmän, metsä- tai suotyyppin, uudistamismenetelmän ja pääpuulajin avulla. Pääpuulajiksi määritellään viljelymetsiköissä viljelypuulaji ja luontaisessa uudistamisessa siemenpuuston pääpuulaji. Samoille koealaryhmille laskettiin kunkin puulajin osuus maksimirunkoluvusta.

Mallissa (4.3.1) runkoluku lähestyy koealan simuloinnin maksimirunkolukua. Tekijä $RL\%_S$ osoittaa lähestymisnopeuden puuston pohjapinta-alan funktiona. Muuttuja MPK aiheuttaa uusien puiden syntymiseen 20 %:n lisäyksen, kun maanpintaa on käsitelty ja kun käsittelystä on kulunut enintään 10 v. Satunnaisparametri ξ kuvaa mallissa koealojen välistä maksimirunkoluvun satunnaisvaihtelua. Mallia on rajoitettu siten, että uusia puita ei synny koealan vallitsevan jakson pohjapinta-alalla painotetun keski-ikä ollessa välillä 20-60 vuotta.

Toisessa vaiheessa muutetaan syntyvien puiden runkoluku kuvauspuiksi ja määritetään niiden puulaji. Välittömästi siemen- tai suojuspuuhakkuun jälkeen syntyy viisi uutta kuvauspuuta, joista kunkin runkoluku on 20 % RL_S :stä. Muulloin muodostetaan vain yksi kuvauspuu, jonka runkoluku on RL_S . Luontaisessa uudistamisessa ensimmäisen uuden kuvauspuun puulajiksi tulee ylispuiden pääpuulaji. Muiden kuvauspuiden puulaji määräytyy satunnaisesti simuloinnin maksimirunkoluvun puulajijakaumasta. Uusien puiden syntymistä rajoitetaan mallissa runkoluvun suhteen siten, että uusia puita ei synny koealan runkoluvun ollessa yli 3500 kpl/ha tai yli 90 % RLmax:ista tai jos syntyvän kuvauspuun edustama runkoluku on alle 100 kpl/ha.

Kolmannessa vaiheessa ennustetaan uusien kuvauspuiden syntymähetki biologisena ikänä simulointiaskeleen alkuhetkellä. Kuvauspuu voi saada iäkseen 0 tai negatiivisen luvun. Negatiivinen ikä osoittaa kuvauspuun syntyvän vasta tulevan simulointiaskeleen aikana. Puiden syntyminen riippuu hyvistä siemenvuosista. Puun biologinen ikä simulointiaskeleen alussa lasketaan vähentämällä seuraavaan siemenvuoteen kuluva aika (kaava 4.3.2) luvusta 0 ja vähentämällä tästä edelleen satunnaisluku väliltä [0,4]. Malli (4.3.2) ei perustu empiiriseen aineistoon ja sen merkitys MELAssa on lähinnä satunnaisvaihtelun tuottajana.

$$\hat{S}\hat{V} = \beta(1 - LS / 1400) + SV_{1400} \quad (4.3.2)$$

missä:

- $\hat{S}\hat{V}$ = seuraavaan siemenvuoteen kuluva ajan ennuste, v.
 LS = lämpösumma, d.d.
 SV_{1400} = puulajeittainen siemenvuosien toistumisväli lämpösumman ollessa 1400 d.d.
 β = puulajeittainen siemenvuosien tiheyden muuttumista osoittava parametri

Parametrien β ja SV_{1400} käytetyt arvot ja mallin antama ennuste lämpösumma arvolla 700 d.d. ($\hat{S}\hat{V}_{700}$) ovat seuraavat:

| puulaji | β | SV_{1400} | $\hat{S}\hat{V}_{700}$ |
|----------|---------|-------------|------------------------|
| mänty | 6 | 1 | 3,5 |
| kuusi | 10 | 2 | 6,0 |
| lehtipuu | 4 | 1 | 2,5 |

44. Pienten puiden pituuskasvu

VMI7:n puustokoealat eivät sisällä tietoa pienistä, alle 1,3 m:n pituisista puista. Pienten puiden pituuskasvu on mallitettu rinnankorkeuden saavuttamisajasta olemassa olevan tiedon avulla (malli 4.4.1). Rinnankorkeuden saavuttamisikä vastaten lämpösummaa 1300 d.d. ja metsikön pohjapinta-alaa 0 m²/ha on taulukoitettu puulajin ja metsä- tai suotyypin funktiona muuttujaan $thref_{13}$ (taulukko 1). Taulukkomuuttuja $thref_{13}$ perustuu TTVK-aineiston mittauksiin ja VMI7:ssä käytettyihin ikälisäystaulukoihin.

$$\hat{th} = thref_{13}(1300/LS)(1-pt \cdot 2600/(LS+1300)) + 0,005 \cdot Gapu^2 \quad (4.4.1)$$

missä

- \hat{th} = rinnankorkeuden saavuttamisikä ennuste, v.
 $Gapu$ = $(G - 10)$. Jos $(G - 10) < 0$, $Gapu = 0$, G = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m²/ha
 $thref_{13}$ = rinnankorkeuden saavuttamisikä puulajin ja metsä- tai suotyypin funktiona lämpösumman ollessa 1300 d.d. ja metsikön pohjapinta-alan ollessa 0 m²/ha.
 LS = lämpösumma, d.d.
 pt = osoitinmuuttuja, joka saa arvon 0 puun ollessa luontaisesti syntynyt ja arvon 1 puun ollessa viljelty

Taulukko 1. Rinnankorkeuden saavuttamisikä $thref_{13}$ puulajeittain ja metsä- tai suotyypeittäin mallin (4.4.1) mukaan lämpösunnan ollessa 1300 d.d.

| Metsä- tyyppi | mänty | kuusi | rauduskoivu | muut lehtipuut |
|------------------|-------|-------|-------------|----------------|
| Lehdot + OMT | 7,9 | 12,2 | 6,0 | 7,2 |
| MT | 8,4 | 12,9 | 7,5 | 8,2 |
| VT | 8,9 | 13,8 | 9,0 | 9,2 |
| CT | 10,2 | 14,8 | 10,2 | 10,2 |
| CIT | 12,0 | 14,0 | 12,0 | 12,0 |
| Kalliot+lakimaat | 10,2 | 14,0 | 10,2 | 10,2 |

Rinnankorkeuden saavuttamisikään vaikuttavat mallissa (4.4.1) puulajin ja metsä- tai suotyyppin lisäksi lämpösomma ja metsikön pohjapinta-ala. Alle 10 m²/ha pohjapinta-ala ei vaikuta pienten puiden pituuskasvuun. Pohjapinta-alan ollessa yli 10 m²/ha rinnankorkeuden saavuttamisikä kasvaa suhteessa pohjapinta-alan neliöön. Luontaisesti syntyneiden puiden rinnankorkeuden saavuttamiseen kuluva aika pitenee lämpösunnan pienentyessä nopeammin kuin viljeltyjen.

Mallia (4.4.1) käytettäessä sen tulokseen lisätään satunnaisvaihtelua tasaisesta jakaumasta, jonka vaihteluväli on $\pm 10\%$ mallin tuloksesta. Pituuskasvu lasketaan olettaen, että puun pituuskasvu tulevan simulointiaskeleen aikana on sama kuin keskimäärin siihen asti mallin (4.4.2) mukaan, eli

$$\hat{h}_i = SAP \cdot 1,3/t\hat{h} \quad (4.4.2)$$

missä SAP on simulointiaskeleen pituus. Lopuksi pituuskasvuun lisätään $\pm 40\%$:n satunnaisvaihtelu tasaisesta jakaumasta. Satunnaisvaihtelun avulla tuotetaan uusille puille ja uudistusaloille luontaista alkukehityksen vaihtelua.

Taulukko 2. Puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta sen saavuttaessa rinnankorkeuden puuston pohjapinta-alan ollessa 0 m²/ha (dhref₁₃). Yksikkönä cm.

| Puulaji | Metsä- tai suotyyppi | | | | | | | |
|--------------|----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----------------|---------------|
| | Lehdot | OMT | MT | VT | CT | CIT | Kallio- maat | Laki- maat |
| mänty | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| kuusi | 0,7 | 0,6 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| rauduskoivu | 0,6 | 0,5 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,2 |
| hieskoivu | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| leppä | 0,3 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |
| muu lehtipuu | 0,4 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,1 |

45. Puun kynnykskasvun pohjapinta-ala

Kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala puun saavuttaessa rinnankorkeuden on MELAssa puulajin, metsä- tai suotyypin ja puuston pohjapinta-alan funktio (malli 4.5.1).

$$\widehat{dh}_{13} = \xi \cdot dhref_{13} / (1 + 0,01 \cdot G^{1,5}) \quad (4.5.1)$$

missä

\widehat{dh}_{13} = puun kuorellisen rinnankorkeusläpimitan ennuste sen saavuttaessa rinnankorkeuden, cm

ξ = satunnaisluku väliltä 0.6-1,4

dhref₁₃ = \widehat{dh}_{13} puuston pohjapinta-alan ollessa 0 m²/ha, cm

G = koealan puuston pohjapinta-ala, m²/ha

Ensin on mallitettu kuorellinen läpimitta puun saavuttaessa rinnankorkeuden. Tämä läpimitta on muunnettu vastaavaksi pohjapinta-alaksi. Mallin parametrien arvot eivät perustu empiiriseen aineistoon. Käytetyt muuttujan dhref₁₃ arvot on esitetty taulukossa 2.

46. Puun pohjapinta-alan kasvu

Kangasmaiden ja ojittamattomien soiden pohjapinta-alan kasvumallien aineistona on käytetty VMI7:n koepuukoeala-aineistosta rajattuja ositteita. Kankaiden mallin ositteeseen on otettu ne kangasmaan koepuukoealat, jotka ovat kokonaan samalla kuviolla, pääpuulajin osuus koko tilavuudesta on yli 70 % (lehtipuilla yli 50 %), maa- tai veroluokan tarkennusta ei ole, koealalla ei ole tuhoja eikä puustoa ole hakattu kasvunlaskentajakson aikana. Soiden ositteeseen on otettu ne luonnontilaisten soiden koepuukoealat, jotka täyttävät samat ehdot kuin kangasmaasoitteen koealat.

Ojitettujen soiden mallien aineistona on käytetty MSI-aineiston lannoittamattomia koealoja, joita ei ole hakattu mittausta edeltäneenä viisivuotiskautena. Mallin kertoimet estimoititiin kasvukoepuista. Koealojen lukupuut projisoitiin hetkeen 5 v ennen mittausta menneen kauden pituus- ja pohjapinta-alan kasvumalleilla, jotka kalibroitiin koealoittain koepuiden avulla. Koealan pohjapinta-ala ennustejakson alussa (G) laskettiin luku- ja koepuiden avulla.

Puun pohjapinta-alan kasvu on mallitettu kasvupaikan, puun tilan ja ympäristön kilpailun funktiona. Kasvupaikka kuvataan lämpösumman ja metsä- tai suotyyppin sekä soilla lisäksi ojitustilanteen avulla. Puun tila kuvataan puun kuorettomalla rinnankorkeusläpimitalla ja kangasmailla lisäksi rinnankorkeusiällä (4.6.1a). Soilla ikää ei käytetä selittävänä muuttujana, koska sen merkitys ojituksen vuoksi ei ole yhtä selkeä kuin kankailla (4.6.1b). Kilpailua kuvataan metsikön kuorettoman pohjapinta-alan avulla.

$$\hat{d}_i = \beta_0(1+\beta_1LS)^{\beta_2}(d_{i_{ref}}t^{\beta_3}+\beta_4d) \quad (4.6.1a)$$

$$\hat{d}_i = \beta_{01}\beta_{02}(1+\beta_1LS)^{\beta_2}(d_{i_{ref}}+\beta_4d) \quad (4.6.1b)$$

missä

\hat{d}_i = rinnankorkeusläpimitan kasvun ennuste tulevalla 5-vuotiskaudella, cm^2

LS = lämpösumma, d.d.

$d_{i_{ref}}$ = puun rinnankorkeusläpimitan kasvu läpimitan ja puuston pohjapinta-alan funktiona, cm^2 .

t = puun rinnankorkeusikä, v. Jos ikä < 30 v, niin t = 30 v.

d = puun kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm

$\beta_0, \beta_1 \dots$ = estimoituja parametrejä, β_0 on estimoitu erikseen metsätyypeittäin

β_{01} = estimoitu erikseen korville ja rämeille

β_{02} = estimoitu erikseen kaikille ojitustilannekoodin arvoille ojitetuilla soilla.

Pohjapinta-alan kasvumallin perustana on läpimitan kasvun riippuvuus puun kuorettomasta läpimitasta ja puuston pohjapinta-alasta hehtaaria kohti. Se on mallitettu erikseen VT:llä kasvaville männyille ja MT:llä kasvaville kuusille VMI7:n koepuukoealoilta. Riippuvuus on kuvattu taulukkona, jossa puun kuorettomat läpimitan kasvut on esitetty läpimitta- ja pohjapinta-alaluokittaisina keskiarvoina. Keskiarvot on laskettu puiden relaskoopikoealalla toteutuneiden otantatodennäköisyyksien käänteislukuilla painottaen. Mallissa taulukkoa käytetään puulajeittain kaikilla kasvupaikoilla. Lehtipuilla käytetään männyn taulukkoa. Taulukon arvoista interpoloidaan mallissa käytetyn muuttujan d_{ref} arvot läpimitan ja pohjapinta-alan funktiona.

Parametrit on estimoitu minimoimalla mallin 4.6.1a tai 4.6.1b avulla ennustetun puun pohjapinta-alan kasvun ja mitatun pohjapinta-alan kasvun logaritmien erotusten neliötä. Estimoinnissa käytettiin epälineaarista painotettua regressioanalyysiä. Painona oli puun mittaushetken kuorellisen pohjapinta-alan käänteisluku, jolla korjattiin relaskoopiotannasta aiheutuvaa harhaa (Lappi & Bailey 1987). Estimointi tehtiin puulajeittain erikseen kankaille, ojitamattomille soille ja ojitetuille soille.

VMI7 aineistossa ei tiedetä, mitkä koealat on lannoitettu. Malliin sisältyvä lannoitusten vaikutus on poistettu jälkeinpäin pienentämällä mallin ennustetta arvioidun lannoitusvaikutuksen verran (kaava 4.6.2). Keskimääräinen lannoitusvaikutus pinta-alayksikköä kohti on arvioitu luvussa 48 esitetyllä menetelmällä. On oletettu, että kangasmailla lannoitusvaikutus kestää 7 vuotta, vain MT ja VT kuvioita on lannoitettu, lannoitukset ovat jakautuneet tasaisesti koko maahan, ja että ojitamattomia soita ei ole lannoitettu. Lannoitetut pinta-alat on saatu metsätilastollisesta vuosikirjasta (Metsätilastollinen ... 1984). Mallilla 4.6.1 saadut pohjapinta-alan kasvun ennusteet kerrotaan mallin 4.6.2 tuloksella (g_{kor}) metsätyypin ollessa MT tai VT. Korjaus kohdistuu yli 70-vuotiaisiin metsiköihin.

$$g_{kor} = 0,95 + 0,05 / (1 + e^m) \quad (4.6.2)$$

missä

$$\begin{aligned} g_{kor} &= \text{lannoitusvaikutuksen korjauskerroin} \\ m &= (T - 70) / 10, \quad \text{jos } m > 10, m = 10 \\ T &= \text{metsikön ikä} \end{aligned}$$

Veroluokan alennus ja tuhojen vaikutukset on arvioitu VMI7-aineistosta. Mallissa kasvu on veroluokaltaan alennetuilla koealoilla 85 % vastaavan alentamattoman koealan kasvusta. Puut, joissa on inventoinnissa todettu tuhoja, kasvavat mallissa 75 % terveiden puiden kasvusta.

Ojitettujen soiden pohjapinta-alan kasvumallin parametrit estimoitii eri aineistosta (MSI) kuin ojittamattomien soiden kasvumalli (VMI7). Malli kalibroitiin VMI7-aineistoon siten, että ojitetiujen soiden kokonaiskasvun ennusteeksi saatiin mitattu kokonaiskasvu. Myös soiden kasvuaineistosta poistettiin lannoitusvaikutus luvussa 4.8 käytetyn lannoitusvaikutusmallin avulla. Menettelyssä oletettiin, että lannoitettujen soiden osuus on VMI7-aineistossa sama kuin MSI-aineistosta mitattu. Lannoitukset sijoitettiin koaloille satunnaisesti. Kasvun tason korjauskertoimeksi saatiin 0,92.

Kankaiden ja ojittamattomien soiden kasvumallit laadittiin VMI7-aineiston koepuista. Aineistosta oli rajattu pois veroluokaltaan alentuneet koalat, sekametsäkoalat ja koalat, joilla puustossa esiintyi tuhoja. Malli kalibroitiin vastaamaan koko VMI7-aineistosta mitattua koepuiden pohjapinta-alan kokonaiskasvua. Puulajeittainen kalibrointi tehtiin 5 cm:n läpimittaluokissa kankaille ja soilla erikseen korville ja rämeille. Alueellisen harhattomuuden varmistamiseksi laskettiin mallille metsälautakunnittaiset korjauskertoimet pääpuulajeittain erikseen kankaille ja soille.

Aineistoissa esiintynyttä kasvun vuotuista vaihtelua ei otettu huomioon mallien laadintavaiheessa. Lopuksi malliin tehtiin kasvun vuotuista vaihtelua kompensoiva korjaus. Korjauskertoimet perustuvat metsälautakunnittaisiin inventointivuosia edeltäneiden vuosien sääoloihin. Korjauskertoimet laskettiin ilmastotietojen perusteella Henttosen (1984) mallilla (42.1).

47. Puun pituuskasvu

Pituuskasvumallin perusolettamus on, että alaharvennukset eivät vaikuta metsikön valtapuiden pituuskehitykseen (esim. Vuokila 1980). Pituuskehitys on kuitenkin erilainen eri puulajeilla ja kasvupaikoilla. Valtapuiden kehityksen kuvaajana on käytetty Chapman-Richards-funktiota (Richards 1959) (malli 4.7.1).

$$h = A(1 - e^{-k \cdot t})^{1/(1-m)} \quad (4.7.1)$$

missä

| | |
|---------|-------------------------|
| h | = puun pituus |
| t | = puun rinnankorkeusikä |
| A, k, m | = mallin parametrejä |

Parametri A määrittää funktion asymptootin. Parametrit k ja m säätelevät funktion muotoa.

Pituuden kehitysmallissa asymptootti (A) on lämpösumman (LS) ja puun suhteellisen koon (g/g_{max}) funktio (malli 4.7.2), missä g_{max} on koealan paksuimman puun kuoreton pohjapinta-ala.

$$A = \beta_{mt}(\beta_1 + LS)^{\beta_2} (g/g_{max})^{\beta_3} \quad (4.7.2)$$

missä $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ ovat parametrejä ja β_{mt} on metsätyypeittäin vakio.

Pituuskasvu on mallitettu olettaen, että puut noudattavat tulevassa kehityksessä kaavojen (4.7.1) ja (4.7.2) avulla määritettyä pituuskehitystä puun iän funktiona. Pituuskasvumalli on siten muotoa

$$\hat{h}_i = h_5(LS, a_5, g_5, g_{max5}) - h_0(LS, a_0, g_0, g_{max0}), \quad (4.7.3)$$

missä indeksi 0 tarkoittaa tilannetta kasvunlaskentajakson alussa ja indeksi 5 sen lopussa.

Aineistona on käytetty VMI7:n niitä koepuukoealoja, jotka ovat kokonaan samalla kuviolla, pääpuulajin osuus koko tilavuudesta on yli 70 %, maa- ja veroluokan tarkennusta ei ole, koealalla ei esiinny tuhoja eikä kasvunlaskentajakson aikana ole tapahtunut hakkuita. Mallin kertoimet on estimoitu erikseen männylle ja kuuselle epälineaarilla regressioanalyysillä pienimmän neliösumman menetelmällä. Jäännösvaihtelun homogenisoimiseksi yhtälön (4.7.3) molemmista puolista on otettu luonnollinen logaritmi.

VMI7:ssä ei lehtipuiden pituuskasvuja ole mitattu. Lehtipuiden pituuskasvu ennustetaan männyn pituuskasvumallilla.

Pituuskasvumallia ei ole laadittu erikseen soille. Kankaiden pituuskasvumallin tulosta on korjattu ojitustilanteen mukaan seuraavilla korjauskertoimilla:

| Ojitustilanne | Korjauskerroin |
|-----------------|----------------|
| Luonnontilainen | 0,6 |
| Ojikko | 0,7 |
| Muuttuma | 0,9 |
| Turvekangas | 1,0 |

Pituuskasvun ennusteesta vähennetään 25%, jos puussa esiintyy VMI7:ssä mitattuja tuhoja.

Lopuksi MELAn tilavuuskasvuennuste kalibroitiin pituuskasvumallin avulla VMI7:n aineiston tasolle. Kalibroinnissa pituuskasvumallin tasoa muutettiin korjauskertoimella ositteittain siten, että kunkin ositteen MELAlla ennustettu tilavuuden kokonaiskasvu oli sama kuin inventoinnissa mitattu. Ositteet muodostettiin puulajin ja alaryhmän avulla.

48. Lannoitusvaikutus

MELAssa lannoituksen vaikutus kasvuun simuloidaan suhteellisena kasvunlisäyksenä puun pohjapinta-alan kasvuun ja pituuskasvuun. Lannoituksen aiheuttaman suhteellisen kasvunlisäyksen malli perustuu kangasmailla Kukkolan ja Saramäen (1983) esittämiin tuloksiin. Lannoituksen tehon oletettiin käytännön lannoituksissa olevan 70 % koeolosuhteiden tehosta, joita Kukkolan ja Saramäen tulokset edustavat. Lannoituksen vaikutusajaksi malli olettaa kangasmailla 7 v. Lämpösummaa 1250 d.d. vastaavat prosentuaaliset kasvunlisäykset puulajeittain ja metsätyypeittäin ovat seuraavat:

| Puulaji | Lehto | OMT | MT | VT | CT | CIT |
|--------------------|-------|-----|----|----|----|-----|
| Mänty | - | - | 23 | 35 | 53 | - |
| Kuusi ja lehtipuut | 13 | 17 | 32 | 39 | 53 | - |

Kasvunlisäys on mallitettu lämpösumman funktiona laskevaksi (malli 4.8.1).

$$gl\% = glref\% \frac{LS+1250}{2500} \quad (4.8.1)$$

missä

| | |
|--------|--|
| gl% | = ennustettu kasvunlisäys prosentteina |
| glref% | = lämpösummaa 1250 d.d. vastaava kasvunlisäys prosentteina |
| LS | = lämpösumma, d.d. |

Ojitetuilla soilla lannoituksen aiheuttama kasvunlisäys on estimoitu MSI-aineistosta. Se on saatu ennustamalla puun pohjapinta-alan kasvumallilla (4.6.1b) lannoitettujen koealojen puuston kasvu ja vertaamalla sitä mitattuun kasvuun. Korjausta laskettaessa käytettiin puun pohjapinta-alan kasvumallia ilman VMI-aineiston ja ilmaston vaihtelun perusteella tehtyjä korjauksia. Lannoituksen vaikutusajaksi oletetaan turvemailla 10 v. Lämpösummalla ei mallissa ole vaikutusta kasvunlisäyksen suuruuteen. Turvemailla prosentuaaliset kasvunlisäykset ovat seuraavat esitettyinä metsätyyppien mukaisissa viljavuusluokissa (kts. Valtakunnan metsien ... 1977):

| Alaryhmä | Lehto | OMT | MT | VT | CT | CIT |
|--------------|-------|-----|----|----|----|-----|
| Korpi | 22 | 22 | 14 | 19 | 19 | 19 |
| Räme ja neva | 19 | 19 | 23 | 20 | 27 | 27 |

Pohjapinta-alan kasvussa lisäyksiä käytetään sellaisinaan, mutta pituuskasvun lisäyksen maksimi on 20 %.

5. Muut puutunnusmallit

51. Tilavuus ja puutavaralajit

Suurten puiden tilavuudet ja puutavaralajit ennustetaan kuorelliseen rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvalla runkokäyrällä (Laasasenaho 1983) ja pienten puiden tilavuus VMI:ssä käytetyllä tilavuusmallilla. Pieniksi puiksi luetaan alle 3 m:n pituiset havupuut, alle 5 m pituiset hieskoivut ja alle 4 m:n pituiset muut lehtipuut. Tukkipuun tilavuus lasketaan rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuen kuten PMP-systeemissä. Kuitupuun minimiläpimitta on 6 cm ja kuituosan minimipituus 2 m. Laskennan nopeuttamiseksi on malli laskettu valmiiksi taulukkomuotoon, josta runkotilavuus ja puutavaralajien osuudet interpoloidaan puun läpimitan ja pituuden funktiona.

52. Tukki vähennysmalli

Puutavaralajimallin ennustama tukkipuun määrä perustuu pelkästään rungon ulkoisiin mittoihin. Todellisuudessa rungon huono tekninen laatu vähentää tukkiosuutta. MELAssa puutavaralajimallin tukkipuun määrä korjataan tukki vähennysmallilla VMI7:n pystyyn apteerattujen koepuiden tasolle. Selittävinä muuttujina ovat puun rinnankorkeusikä ja läpimitta rinnankorkeudella. Mallin parametrien arvot on laskettu VMI7-koepuuaineistosta.

53. Puun kuoreton ja kuorellinen pohjapinta-ala

Puun rinnankorkeuspohjapinta-alan muuntaminen kuorellisesta kuorettomaksi ja päinvastoin tapahtuu VMI-7:n koepuista laadituilla puulajeittaisilla malleilla. Kuorettoman pohjapinta-alan (g) mallissa selittävinä muuttujina ovat puun kuorellinen pohjapinta-ala g_b ja puun rinnankorkeusikä (t) (malli 5.3.1).

$$\hat{g}_b = b_0 g^{b_1} t^{b_2} \quad (5.3.1)$$

Puun kuorellisen pohjapinta-alan malli on ratkaistu aritmeettisesti kuorettoman pohjapinta-alan mallista (5.3.2). Siinä käytetään mallin (5.3.1) parametrien arvoja.

$$\hat{g} = \left(\frac{g_b}{b_0 t^{b_2}} \right)^{1/b_1} \quad (5.3.2)$$

6. Mallien luotettavuus

6.1. Menetelmät ja aineistot

Mallien luotettavuutta testattiin vertaamalla MELAlla saatuja simulointituloksia eri maastomittausaineistoissa mitattuihin muutoksiin. Tarkastelussa ennusteet laskettiin MELAn normaalilla simulointirutiinilla. Simuloinnin lähtötilanteessa puut kuvattiin kuorellisen pohjapinta-alan ja pituuden avulla. Ensinnä laskettiin puun kuoreton pohjapinta-ala pohjapinta-alan mallilla (5.3.1). Puun kuorettoman pohjapinta-alan ja pituuden kasvut ennustettiin suurten puiden pohjapinta-alan (4.6.1) ja pituuden (4.7.3) kasvumalleilla. Puun kuorellinen pohjapinta-ala simulointijakson lopussa laskettiin kuorettomasta pohjapinta-alasta kuorellisen pohjapinta-alan mallilla (5.3.2). Puun kuorellisen pohjapinta-alan, pituuden ja tilavuuden kasvut saatiin simulointiaskeleen lopputilan ja alkutilan erotuksina.

Mallin jäännösvaihtelua kuvaavina tunnuslukuina käytettiin:

| | |
|------------------------------------|-----------------------|
| n | havaintojen lukumäärä |
| $s = \sum_{i=1}^n \hat{y}/n,$ | ennusteen keskiarvo |
| $b = \sum_{i=1}^n (\hat{y} - y)/n$ | ennusteen harha |

$$\text{RMSE} = \left(\sum_{i=1}^n (\hat{y} - y)^2 / n \right)^{0,5} \text{ ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri}$$

$$bs = b/\bar{y}$$

ennusteen suhteellinen harha

$$\text{RMSEs} = \text{RMSE}/\bar{y}$$

ennusteen suhteellinen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri

Lisäksi mallien luotettavuutta tarkasteltiin jäännösvaihtelukuvien avulla.

Luotettavuustarkastelussa on mallien antamia ennusteita verrattu 1) tilastollisesti edustaviin yhden kasvunjakson mittauksiin (poikkileikkausaineistot), 2) pitkään seurattujen kestokokeiden mittaustuloksiin ja 3) uudistamis- sekä kasvu- ja tuotostutkimusten tuloksiin.

Käytetyt poikkileikkausaineistot ovat VMI7:n koepuukoealat ja Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnan pysyvien kasvukoealojen aineisto INKA (Vuokila 1986 ja Roiko-Jokela ym. 1988). Etelä-Suomen VMI7:n aineisto on kangasmaiden ja ojittamattomien soiden kasvumallien pääasiallinen laadinta-aineisto. Se on kuitenkin riippumaton ojitetujen soiden mallien laadinta-aineistosta.

INKA-aineiston perusjoukkona on osite koko maan kattavasta VMI6:n koealaverkosta lukuunottamatta Ahvenanmaata sekä Inarin, Utsjoen ja Enontekiön kuntia. Ositteeseen kuuluvat lehtomaisten, tuoreiden, kuivahkojen ja kuivien kangasmaiden kehityskelpoiset ja terveet yli 0,5 ha:n suuruiset taimikot ja kasvatusmetsiköt. Lehtomaisilla ja tuoreilla kankailla ovat aineistossa mukana mänty-, kuusi- ja koivuvaltaiset metsiköt, muilla kasvupaikoilla vain mäntyvaltaiset metsiköt.

Perusjoukosta on mitattu otos, joka on valittu ositetulla satunnaisotannalla käyttäen optimaalista kiintiöintiä. Ositteet on rajattu erikseen Etelä-, Keski- ja Pohjois-Suomeen pääpuulajettain. Kultakin kuviolta on mitattu kolmen ympyräkoearan ryväs, jonka yhteinen runkoluku on Etelä-Suomessa vähintään 120 runkoa ja Pohjois-Suomessa vähintään 100 runkoa. Koealan kaikista puista on määritetty puulaji sekä mitattu kuorellinen rinnankorkeuslähimitta ja puun koordinaatit. Kunkin koealan keskelle on rajoitettu koepuukoeala, jonka ala on 1/3 koealan pinta-alasta. Koepuista on edellämäinnittujen tunnusten lisäksi mitattu muun muassa puun pituus. Puutunnusten kasvut saadaan aineistossa eri mittauskertojen välisinä erotuksina.

Testiaineistoksi valittiin ne INKA-metsiköt, joissa puustoa ei oltu käsitelty mittauskertojen välillä. Näin valituilta koealoilta poistettiin läpimitaltaan alle 1 cm:n puut sekä tuulenskaadot ja

muuten kuolleet. Testissä käytettiin vain koepuukoealoja, joiden kaikkien puiden kuorellisen pohjapinta-alan kasvu ja pituuskasvu oli mitattu.

MELAn kasvusimulointia voitiin soveltaa suoraan INKA-koealoille, koska niillä puiden pituudet ja kuorelliset pohjapinta-alat tunnetaan sekä simulointiaskeleen alussa että lopussa. VMI-aineistossa simulointiaskeleen alkutilassa tunnetaan vain kairaamalla saatu puun kuoreton pohjapinta-ala. Se muutettiin ennen laskelmia kuorelliseksi mallilla (5.3.2).

Viisivuotiskautta pitempien ennusteiden sekä harvennusvoimakkuuden ja -tavan vaikutusta mallin luotettavuuteen tutkittiin pitkään seurattujen kestokokeiden avulla. Tarkasteluun valittiin Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnan toistuvasti harvennetut kokeet (HARKAS), joilla harvennusten toistumisväli ja harvennusvoimakkuus vaihtelevat (yht. 11 koetta) sekä kestokokeet, joissa vertaillaan eri harvennustapojen vaikutusta puuston kehitykseen (8 koetta) (Vuokila 1986). Kestokokeiden tarkastelujakson pituus vaihteli välillä 5-26 vuotta. Suurin osa kokeista oli perustettu ensiharvennusvaiheessa. Testiaineisto käsitti 47 männikkökoealaa (MT-CT) ja 53 kuusikkokoealaa (OMaT-MT).

Kestokokeilla läpimitat oli mitattu kaikista puista, mutta pituudet vain koepuista. Koealan lukupuille ennustettiin pituudet Näslundin (1936) pituuskäyrällä. Koemetsiköiden ikä oli määritetty biologisena ikänä. MELAn käyttämään rinnankorkeusikään päästiin vähentämällä biologisesta iästä puulajista ja metsätyypistä riippuva vakio:

| | OMaT | OMT | MT | VT | CT |
|-------|------|------|------|------|------|
| Mänty | | | 10 v | 12 v | 14 v |
| Kuusi | 10 v | 10 v | 12 v | | |

Puiden tilavuudet laskettiin MELAn käyttämällä tilavuusmalleilla puulajin, puun kuorellisen läpimitan ja pituuden funktiona. Simuloinnissa poistettiin puut, jotka todellisuudessa olivat kuolleet tai poistettu harvennuksissa. Puiden syntymä-, luonnonpoistuma- ja harvennusmalleja ei käytetty. Puustotunnukset laskettiin suoraan puutunnusten arvoista summaamalla.

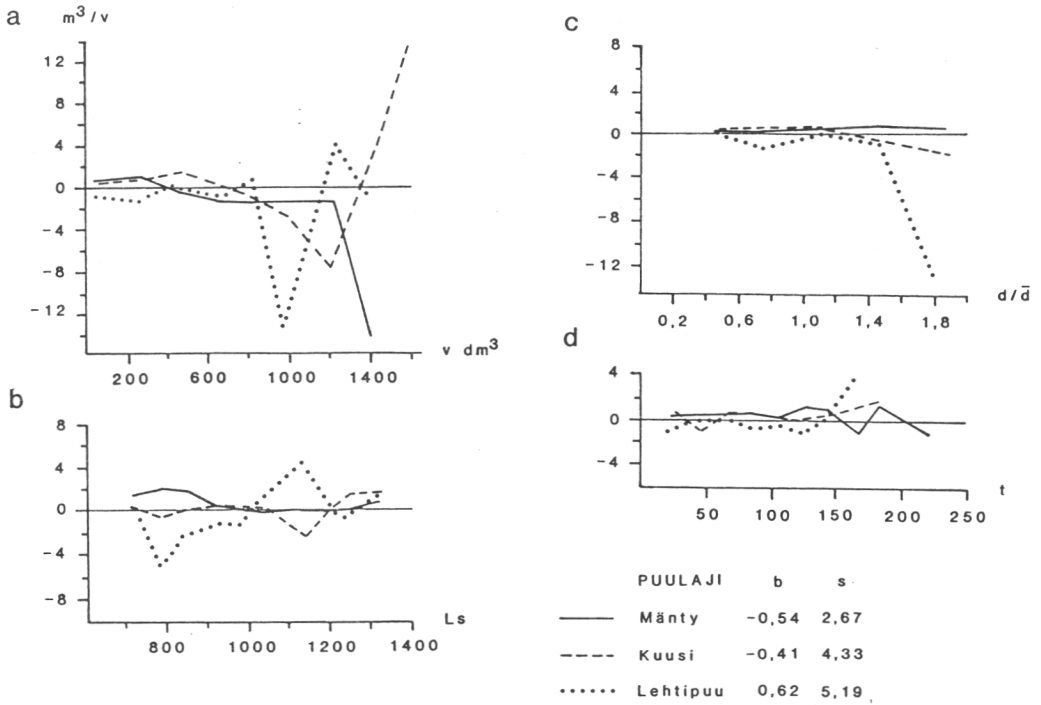
62. Poikkileikkaustarkastelu

Puutasolla kasvun ennustamisen luotettavuutta testattiin mallien laadinnasta riippumattomassa INKA-aineistossa. Tilavuuskasvun ennusteen luotettavuutta on tarkasteltu kuvassa 4. Tilavuusennusteessa ei ole harhaa puun absoluuttisen ja suhteellisen koon eikä puun iän suhteen. Lämpösumman ollessa alle 1000 d.d. männyn kasvu yliarvioitui hieman ja kuusen kasvu aliarvioitui. Lämpösumman ja pituuden ennusteiden luotettavuutta on tarkasteltu kuvassa 5. Voimakkaimmassa kasvun vaiheessa olevien lehtipuiden pohjapinta-alan kasvu aliarvioituu mallilla lievästi. Pituuskasvun ennuste oli selvästi harhainen puun pituuden suhteen. Pienillä puilla malli yliarvioi ja suurilla aliarvioi pituuskasvun.

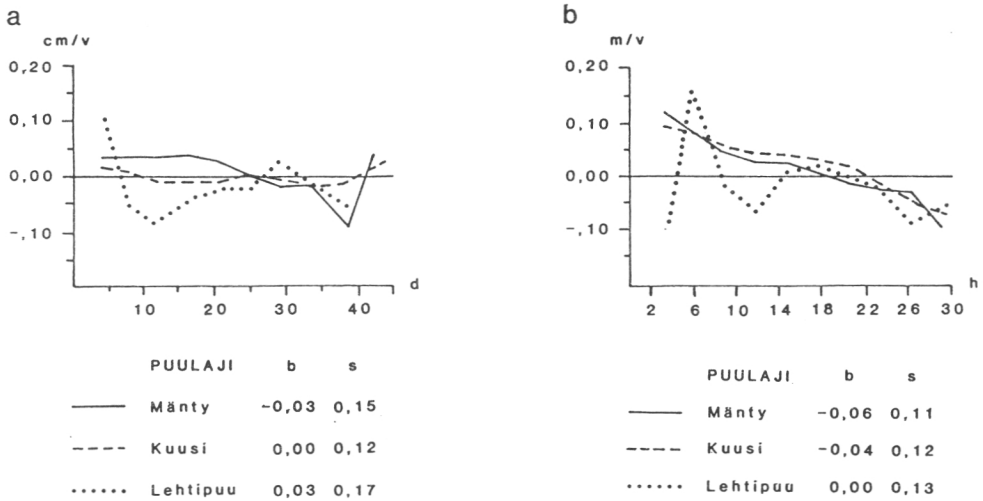
Puuston tilavuuskasvun ennustamisen luotettavuutta kangasmailla tarkasteltiin VMI7 ja INKA aineistojen avulla. INKA-aineistossa malli antoi 8,7 %:n eli $1,86 \text{ m}^3/\text{ha}/5\text{v}$:n aliarvion. Selvä tasoero selittyy ainakin osaltaan sillä, että INKA-aineistoon on hyväksytty vain yli 0,5 ha:n kehityskelpoiset ja terveet kangasmaiden metsiköt. Tilavuuskasvun suhteellinen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri oli VMI7-aineistossa 31,2 % ja INKA-aineistossa 39,9 %. Koealan tilavuuskasvun luotettavuustunnuksia metsämaan kankailla on esitetty taulukossa 3 metsätyypin funktiona ja taulukossa 4 koealan puulajisuhteiden funktiona. Kasvupaikan suhteen mallin luotettavuudessa ei ole nähtävissä selvää trendiä. Kallioilla ja lakimailla saadaan mallilla kuitenkin selvä tilavuuskasvun yliarvio. Puhtaille rauduskoivikoille malli antaa selvän yliarvion molempien aineistojen perusteella.

Taulukoissa 5 ja 6 on esitetty koealan tilavuuskasvun luotettavuustunnuksia soille VMI-aineistossa. Luonnontilaisilla metsämaan korvilla malli yliarvioi puuston tilavuuskasvua 49,7% ($4,26 \text{ m}^3/\text{ha}/5\text{v}$) ja rämeillä 23,1% ($2,28 \text{ m}^3/\text{ha}/5\text{v}$). Ojitetuilla korvilla malli on suhteellisen harhaton. Ojitetuilla rämeillä malli antaa lähes harhattoman kasvun ennusteen ojikoille, mutta ojitustilanteen parantuessa kasvu yliarvioituu.

Kangasmaiden ja soiden kasvuennusteiden luotettavuustunnuksia on taulukoitu tarkemmin liitteessä B.



Kuva 4. Puun vuotuisen tilavuuskasvun ennusteen harha b (dm^3/v) ja hajonta s (dm^3/v) puulajeittain INKA-aineistossa. Harha a) puun tilavuuden (v), b) koekalan keskimääräisen lämpösumman Ls , c) puun suhteellisen koon \bar{d}/d ja d) puun rinnankorkeusiän t funktiona.



Kuva 5. Puun vuotuisen kuorellisen läpimitan (a) ja pituuden (b) kasvun ennusteen harha b ja hajonta s puulajeittain INKA-aineistossa puun läpimitan ja pituuden funktiona.

Taulukko 3. Koelan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja metsätyypeittäin VMI- ja INKA-aineistoissa metsämaan kankailla. n = havaintojen lukumäärä, b = ennusteen harha, RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri ja y = ennusteen keskiarvo. Yksikkönä m³/ha/5v.

| | VMI | | | | INKA | | | |
|----------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | n | b | RMSE | y | n | b | RMSE | s |
| Leh. ja OMT | 1385 | 1,31 | 10,66 | 36,03 | 72 | 1,65 | 14,75 | 48,02 |
| MT | 2583 | -0,81 | 7,34 | 26,02 | 459 | -0,99 | 7,35 | 22,31 |
| VT | 1530 | -0,49 | 6,04 | 16,94 | 548 | -3,18 | 8,08 | 18,84 |
| CT ja CIT | 182 | 0,01 | 5,62 | 12,05 | 98 | -1,15 | 6,24 | 10,81 |
| Kal, ja lakim. | 115 | -2,31 | 4,67 | 9,39 | 3 | -2,30 | 2,43 | 6,11 |
| Yht. | 5797 | -0,22 | 7,89 | 25,27 | 1180 | -1,86 | 8,30 | 21,27 |

Taulukko 4. Koelan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja pääpuulajeittain VMI- ja INKA-aineistoissa metsämaan kankailla. n = havaintojen lukumäärä, b = ennusteen harha, RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri ja s = ennusteen keskiarvo. Yksikkönä m³/ha/5v.

| | VMI | | | | INKA | | | |
|----------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Männiköt | 2151 | -0,20 | 7,08 | 19,49 | 782 | -2,24 | 8,04 | 19,21 |
| Kuusikot | 1522 | -0,46 | 8,08 | 31,60 | 220 | -1,04 | 9,46 | 31,37 |
| Rauduskoivikot | 21 | 5,41 | 13,70 | 30,46 | 13 | 5,34 | 10,79 | 27,14 |
| Hieskoivikot | 61 | 1,87 | 9,01 | 23,23 | 5 | 6,13 | 10,08 | 14,38 |
| Muut puhtaat | 33 | -1,56 | 15,67 | 38,14 | | | | |
| Havumetsiköt | 1001 | 0,01 | 7,43 | 26,78 | 159 | -0,79 | 6,40 | 17,23 |
| Lehtimetsiköt | 900 | -0,19 | 8,11 | 25,69 | | | | |

Taulukko 5. Koealan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja pääpuulajeittain VMI-aineiston metsämaan soilla. n = havaintojen lukumäärä, b = ennusteen harha, RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri ja s = ennusteen keskiarvo. Yksikkönä m³/ha/5v.

| | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|----------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Männiköt | 34 | -2,59 | 7,41 | 29,58 | 909 | -0,67 | 5,10 | 11,20 |
| Kuusikot | 226 | -0,42 | 8,96 | 26,09 | 3 | -1,11 | 2,87 | 6,49 |
| Rauduskoivikot | 4 | 10,40 | 14,13 | 54,03 | | | | |
| Hieskoivikot | 112 | 1,53 | 7,02 | 20,43 | 17 | -0,85 | 5,14 | 14,85 |
| Muut puhtaat | 3 | -1,11 | 2,21 | 5,55 | | | | |
| Havumetsiköt | 138 | -1,61 | 0,34 | 26,89 | 48 | -2,51 | 5,69 | 13,80 |
| Lehtimetsiköt | 22 | -0,76 | 11,30 | 26,91 | 1 | -5,06 | | 20,39 |
| Sekametsiköt | 342 | -1,82 | 8,72 | 24,80 | 243 | -2,12 | 6,85 | 17,02 |
| Yhteensä | 881 | -1,04 | 8,62 | 25,20 | 1221 | -1,19 | 5,51 | 12,43 |

Taulukko 6. Koealan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja ojitustilanne-luokittain VMI-aineiston metsämaan soilla. n = havaintojen lukumäärä, b = ennusteen harha, RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri ja s = ennusteen keskiarvo. Yksikkönä m³/ha/5v.

| | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|--------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Luonnontil. | 222 | -4,26 | 8,56 | 19,24 | 205 | -2,28 | 5,54 | 9,86 |
| Ojikat | 51 | 0,39 | 7,36 | 18,33 | 134 | 0,26 | 4,16 | 8,20 |
| Muuttumat | 351 | 0,33 | 7,55 | 23,97 | 800 | -1,02 | 5,44 | 12,69 |
| Turvekankaat | 256 | 0,42 | 10,13 | 33,43 | 82 | -2,43 | 7,63 | 23,23 |

Taulukko 7. Koealan (A) ja koealarypään (B) tilavuuskasvun luotettavuuden tunnuslukuja INKA-aineiston metsämaan kankailla. n = havaintojen lukumäärä, b = ennusteen harha, RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri ja s = ennusteen keskiarvo. Yksikkönä m³/ha/5v.

| | n | b | RMSE | s |
|----------|-----|-------|------|-------|
| Mänty, A | 782 | -2,2 | 8,04 | 19,21 |
| Mänty, B | 249 | -1,74 | 7,19 | 19,40 |
| Kuusi, A | 220 | -1,99 | 9,46 | 31,37 |
| Kuusi, B | 75 | -2,37 | 7,95 | 30,42 |
| Havu, A | 159 | -,79 | 6,40 | 17,23 |
| Havu, B | 46 | -,84 | 5,36 | 20,04 |

Taulukko 8. Koealan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI7- ja INKA-aineistojen kankailla mallien laadintaositteessa (osite 1) ja laadinta-aineiston ulkopuolisissa ositteissa. Ositteiden sisältö on selitetty tekstissä. n = havaintojen lukumäärä, b = ennusteen harha, RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri ja s = ennusteen keskiarvo. Yksikkönä m³/ha/5v.

| | VMI | | | | INKA | | | |
|----------------|------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Osote 1 | 2858 | -0,34 | 8,36 | 28,65 | 879 | -1,83 | 8,60 | 23,01 |
| Osote 2 | 1309 | 0,41 | 7,49 | 22,24 | | | | |
| Verol, alennus | 990 | -0,28 | 6,90 | 21,02 | 287 | -2,53 | 6,83 | 15,33 |
| Metsikkötuho | 363 | 0,52 | 7,45 | 21,19 | 12 | 7,82 | 13,52 | 32,03 |
| Kaksijaksoinen | 274 | -1,69 | 8,61 | 25,25 | | | | |
| Metsämaa yht. | 5794 | -0,17 | 7,89 | 25,27 | 1180 | -1,86 | -1,86 | 21,27 |
| Kitumaa | 95 | -0,24 | 2,69 | 4,49 | | | | |

Suurten puiden kasvumallien laadinta-aineistot muodostuvat relaskoopikoealoista. Pienet koealat kuvaavat suuria paremmin metsikköiden sisäistä pienialaista vaihtelua. Nyssönen ja Mielikäinen (1978) ovat kuitenkin varoittaneet pienten koealojen ominaisuudesta yliarvioida

tiheimpien metsiköiden kasvua. Koealakoon vaikutusta ennusteen luotettavuuteen tutkittiin INKA-aineiston puhtaissa männiköissä ja kuusikoissa vertaamalla koealojen kasvuennusteiden luotettavuustunnuksia samojen koealojen muodostamille kolmen koealan rypäille laskettuihin tunnuksiin (taulukko 7). Selvää systemaattista eroa ennusteen harhassa ei esiintynyt (vrt. Ekö & Agestam 1981). Sen sijaan keskineliöpoikkeaman neliöjuuri oli rypäillä noin 10 % pienempi.

Edellä esitetyt tarkastelut koskevat kaikkia metsämaalle sattuneita koealoja sekä VMI- että INKA-aineistoissa. Mallien laadintaan käytettiin vain aineistojen tiettyjä ositteita. Seuraavassa tarkastellaan mallien luotettavuutta laadintaositteessa ja muissa mallien soveltamisessa esiintyvien luokitusten mukaan rajatuissa ositteissa.

Kangasmaiden mallit on laadittu VMI7 koepuukoeala-aineiston rajatusta ositteesta. Mallien luotettavuutta kivennäismailla on tarkasteltu erikseen mallien laadintaositteessa (osite 1) ja laadintaositteen ulkopuolisissa ositteissa. Laadintaositteeseen kuuluvat seuraavat ehdot täyttävät koealat:

- ei maa- eikä veroluokan tarkennusta
- koeala on kokonaan samalla kuviolla
- pääpuulajin osuus puuston tilavuudesta on yli 70 % (lehtipuilla yli 50 %)
- koealalla ei ole tuhoja
- puustoa ei ole hakattu kasvunlaskentajakson aikana

Luotettavuustarkastelussa käytetty osite 2 on rajattu kuten mallien laadintaosite (osite 1), mutta pääpuulajin osuus puuston tilavuudesta on alle 70 % (lehtipuilla alle 50 %). Ositteet "Veroluokan alennus", "Metsikkötuho" ja "Kaksijaksainen" sisältävät ositteisiin 1 ja 2 kuulumattomat koealat, joiden veroluokka on alentunut, joissa esiintyy metsikkötuhoja tai metsikkö on kaksijaksainen, mutta joita ei ole hakattu kasvunlaskentajakson aikana.

Taulukossa 8 on esitetty kangasmaiden puuston kasvuennusteen luotettavuustunnuksia mallien laadinta-ositteessa ja laadinta-aineiston ulkopuolisissa ositteissa sekä VMI7- että INKA-aineistossa. Kaikkien ositteiden ennusteet ovat kutakuinkin yhtä luotettavia VMI7-aineistossa. Riippumattomassa INKA-aineistossa tuhoista kärsivien koealojen kasvu yliarvioitui. Sensijaan veroluokan alennuksen vaikutus kuvautui oikean suuruisena.

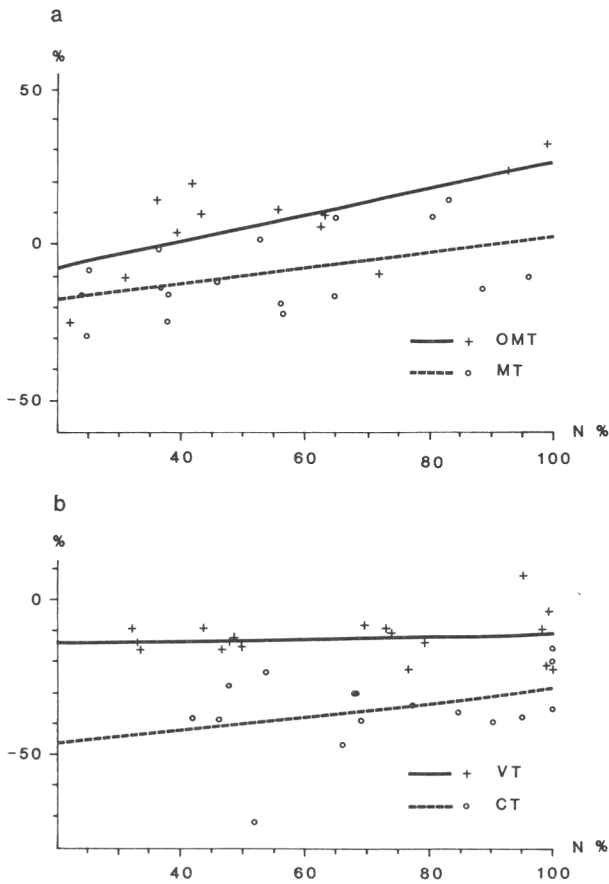
Taulukko 9. Koealan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI7-aineiston soilla mallien laadintaositteessa (osite 1) ja laadinta-aineiston ulkopuolisissa ositteissa. Ositteiden sisältö on selitetty tekstissä. n = havaintojen lukumäärä, b = ennusteen harha, RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri ja s = ennusteen keskiarvo. Yksikkönä m³/ha/5v.

| | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|----------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Osite 1 | 533 | -0,52 | 8,60 | 26,43 | 796 | -0,87 | 5,36 | 12,19 |
| Osite 2 | 152 | -0,05 | 7,63 | 21,48 | 176 | -1,17 | 5,14 | 12,09 |
| Verol, alennus | 125 | -5,38 | 10,11 | 25,43 | 159 | -2,83 | 6,96 | 14,41 |
| Metsikkötuho | 31 | 2,66 | 7,61 | 18,80 | 52 | -1,40 | 5,01 | 13,18 |
| Kaksijaksoinen | 39 | -1,02 | 8,07 | 27,22 | 38 | -0,82 | 3,77 | 9,73 |
| Metsämaa yht. | 880 | -1,04 | 8,62 | 25,20 | 1221 | -1,19 | 5,51 | 12,43 |
| Kitumaa | 15 | 1,38 | 2,70 | 5,19 | 270 | 1,16 | 2,73 | 2,76 |

Ojittamattomien soiden mallit on laadittu luonnontilaisten soiden koealoista, jotka muuten täyttävät samat ehdot kuin kangasmaiden mallien laadinta-aineisto. Ojitettujen soiden mallien laadintaan on käytetty metsäojitettujen soiden inventointiaineiston lannoittamattomia koealoja, joilta puustoa ei ole hakattu mittausta edeltäneenä viisivuotiskautena. Taulukossa 9 on esitetty soiden kasvumallin luotettavuustunnuksia laadinta-aineistossa ja laadinta-aineiston ulkopuolisissa ositteissa. Ositteet on rajattu kuten kangasmaiden vertailussa.

63. Kestokoetarkastelu

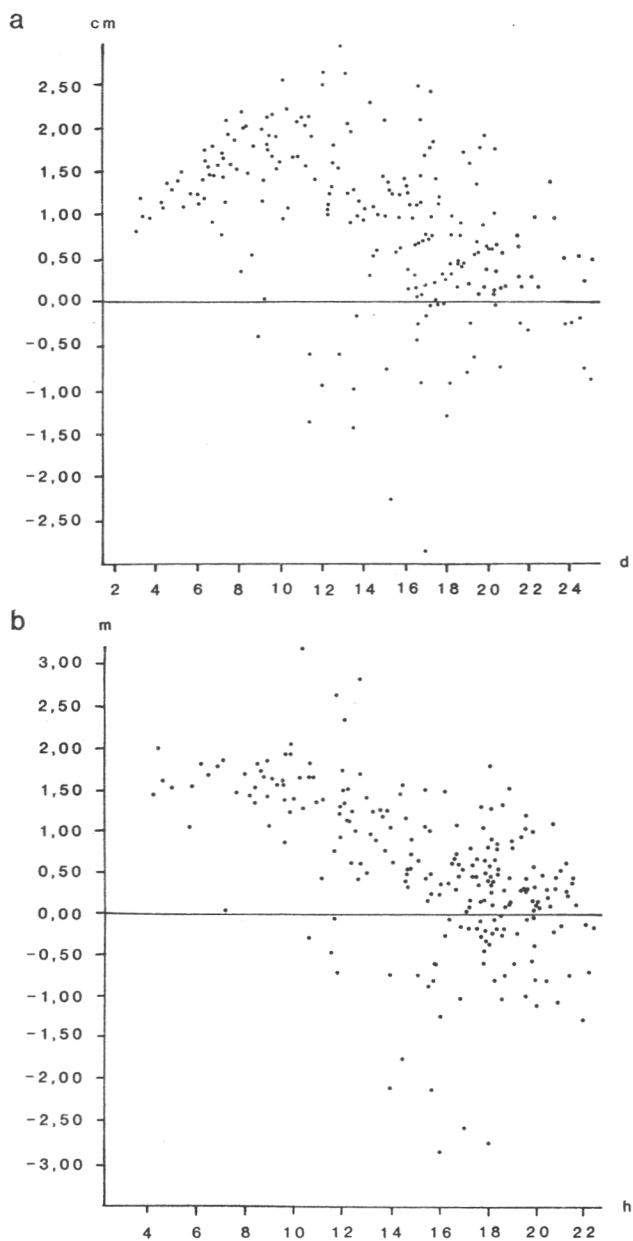
Toistuvasti alaharvennetuilla kestokokeilla MELA aliarvioi puuston tilavuuskasvua. Kuusi-koissa aliarvio oli keskimäärin 0,54 m³/ha/v (4,2 %). Männiköissä aliarvio oli suurempi: VT-männiköissä 0,98 m³/ha/v (12 %) ja CT-männiköissä 2,20 m³/ha/v (35 %). Kasvun tason ero johtunee kestokokeiden subjektiivisesta sijoittamisesta keskimääräistä parempiin metsiköihin ja CT-männiköiden osalta kestokoeaineiston sijoittumisesta metsätyyppin viljavammalle laidalle. MELAn ennustama puuston kasvu kulmoinui kestokokeilla aikaisemmin kuin kokeiden todellisessa kehityksessä. Tämän seurauksena kasvun aliarvio tavallisesti suureni metsikön vanhetessa.



Kuva 6. Puuston tilavuuskasvun suhteellisen ennustevirheen riippuvuus harvennusvoimakkuudesta kestokoeaineistossa. a on kuusikko ja b on männikkö. N% ilmaisee seurantajakson lopun runkoluvun suhteessa koalan runkolukuun seurantajakson alussa.

Puuston tilavuuskasvun suhteellisen ennustevirheen riippuvuus harvennusvoimakkuudesta on esitetty kuvassa 6. Ennustevirhe on esitetty MELAlla lasketun ja todellisen kasvun välisenä erotuksena. MELA aliarvioi kasvua sitä enemmän mitä voimakkaampia harvennuksia koelalla tehtiin. Kuusikoissa harhan riippuvuus harvennusvoimakkuudesta oli tilastollisesti merkitsevä.

Harvennustapakokeissa olivat vertailtavina voimakkuudeltaan toisiaan vastaavat alaharvennus ja yläharvennus. Kuusikoissa malli antoi yläharvennetuille koeloiille hieman liian suuren kasvun suhteessa alaharvennettuihin koeloihin. Harvennustapojen ennustevirheet eivät kuitenkaan eronneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Männikkökokeilla ennustevirhe oli riippumaton harvennustavasta.



Kuva 7. Puiden läpimitan (a) ja pituuden (b) kasvujen ennustevirheet harventamattomalla HARKAS-aineiston kokeen 13 koealalla 3. Metsätyyppi on OMT ja pääpuulaji kuusi. Puustotunnuksia simulointijakson alussa/lopus: $D = 14,6/18,7$ cm, $H = 14,1/19,5$ m ja $V = 225/400$ m³. Simulointijakso on 13 v.

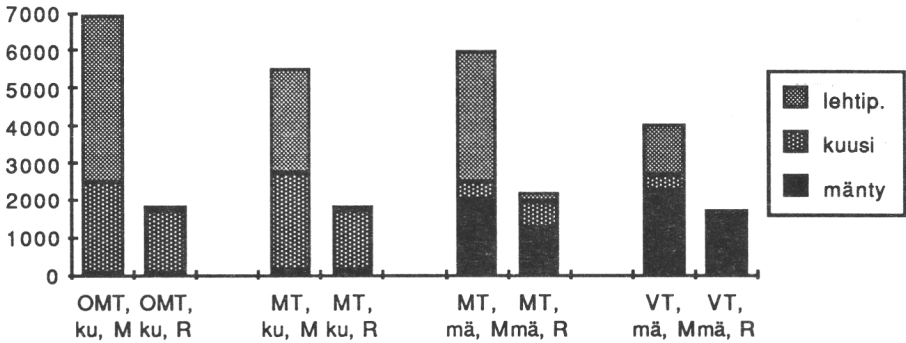
Kasvumallin kykyä kuvata metsikön sisäistä dynamiikkaa tarkasteltiin koelaitteiden jäännösvaihtelukuvien avulla, joista on esimerkki kuvassa 7. Kasvumalli yliarvioi metsikön pienimpien puiden kasvua. Ilmiö on kuusella voimakkaampi kuin männyllä ja tiheissä, lähellä itseharvenemisrajaa olevissa metsiköissä voimakkaampi kuin säännöllisesti harvennetuissa. Tästä on seurauksena, että simuloituissa metsiköissä runkolukusarja kehittyy suppeammaksi kuin oikeissa metsiköissä.

64. Vertailu uudistamis- sekä kasvu- ja tuotostutkimuksiin

MELA-mallissa luontaisessa uudistamisessa syntyy siemenpuu- tai suojuspuuhakkuun jälkeen uusia puita mallin parametrin "simuloinnin maksimirunkoluku" (RL_{max} mallissa 4.3.1) osoittama määrä. Viljellyissä taimikoissa malli tuottaa luontaisesti syntyviä puita heti viljelyn jälkeen siten, että simuloinnin maksimirunkoluku hehtaaria kohden täyttyy. Taimikko-inventoinneissa mitatut kehityskelpoisten taimien lukumäärät hehtaarilla ovat selvästi pienempiä kuin mallin maksimirunkoluvut sekä luontaisesti uudistetuissa (esim. Kinnunen & Nerg 1982, Räsänen ym. 1985) että viljellyissä (Kinnunen & Nerg 1983, Rautiainen & Räsänen 1980, Räsänen ym. 1985) taimikoissa.

Kuvassa 8 on verrattu luontaisessa uudistamisessa syntyvän taimimäärän ja puulajijakauman keskimääräistä MELA-ennustetta Räsänen ym. (1985) inventointituloksiin kuuden eteläisimmän metsälautakunnan alueella. Lehtipuuston runkoluvut ovat MELA-simuloinnissa huomattavasti suurempia kuin edellä mainitussa inventoinnissa keskimäärin. Myös uudistettavan puulajin runkoluvut ovat suurempia. Sen sijaan sekapuuna esiintyvän havupuulajin määrä on keskimäärin sama.

Taulukossa 10 on verrattu MELAlla simuloitua taimikon alkukehitystä Räsänen ym. (1985) esittämiin inventointituloksiin. MELAn tulokset koskevat 1,3 m:n saavuttamisikää ja Räsänen ym. 1 m:n saavuttamisikää. Vähentämällä MELAn luvuista keskimäärin 1-2 v, saadaan ne vertailukelpoisiksi Räsänen ym. (1985) lukujen kanssa. Etelä-Suomessa pituuden alkukehitysmallin antamat rinnankorkeuden saavuttamisiät ovat lähellä Räsänen ym. esittämiä inventointituloksia. Ainoastaan viljelykuusikoissa MELAn kasvusimulaattori johtaa selvästi Räsänen ym. mittaamaa hitaampaan alkukehitykseen.



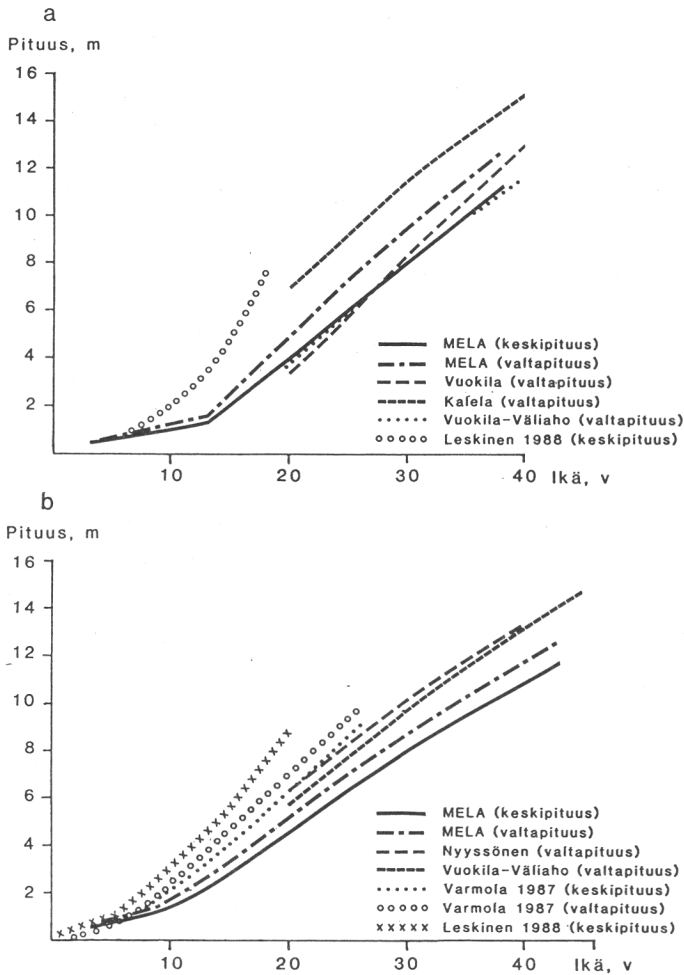
Kuva 8. Luontaisesti uudistettujen taimikoiden puulajeittainen runkoluku kasvupaikan ja pääpuulajin mukaan ryhmiteltynä: M = MELAssa käytetty maksimirunkoluku uudistettaessa (malli 3.3.1), R = kasvatuskelpoiset keskimäärin Etelä-Suomessa (Räsänen ym. 1985).

Luontaisessa uudistamisessa syntyvien puiden ikäjakauma tulee MELA- simulaattorissa selvästi suppeammaksi kuin mitä inventoinneissa on todettu. MELAssa kaikki uudet puut syntyvät välittömästi uudistushakkuun jälkeen. Räsänen ym. (1985) mukaan kuusen ja myös männyn luontaisessa uudistamisessa merkittävä osa kasvatuskelpoisista taimista on syntynyt jo ennen uudistushakkuuta.

MELAn avulla simuloitua metsikön piteuden alkukehitystä VT-männiköissä ja MT-kuusikoissa verrattiin seuraaviin aiheita käsittelevän tuotostutkimuksen tuloksiin (kuva 9):

| | |
|------------------------|---|
| Leskinen 1988 | Istutuskuusikot |
| Kalela 1933 | Istutuskuusikot |
| Vuokila 1956 | Toistuvasti harvennetut kuusikot (luontaisia) |
| Vuokila & Väliäho 1980 | Viljelykuusikot |
| Leskinen 1988 | Istutusmänniköt |
| Nyysönen 1954 | Toistuvasti harvennetut männiköt (luontaisia) |
| Varmola 1987 | Viljelymänniköt |
| Vuokila & Väliäho 1980 | Viljelymänniköt |

MELAn kasvumallit aliarvioivat pituuskasvua selvästi istutuskuusikoissa ja hieman myös männiköissä verrattuna kasvu- ja tuotostutkimuksiin. MELAn simulointituloksissa ei näy yhtä selvää vuotuisen kasvun kulminaatiopistettä kuin esim. Varmolan (1987) viljelymänniköiden varhaiskehitystä käsittelevässä tutkimuksessa.



Kuva 9. MT kuusikon (a) ja VT männikön (b) pituuden alkukehitys MELAn ja eräiden tuotostutkimusten mukaan.

MELAn avulla simuloitujen harventamattomien metsiköiden kehitystä verrattiin Ilvessalon laatimiin luonnonnormaalien metsiköiden tuotossarjoihin (Koivisto 1959). Tarkasteltavina olivat puuston runkoluvun ja tilavuuden kehitys ikävälillä 20-120 v. MELAlla simuloituissa metsiköissä runkoluku ja tilavuus olivat selvästi suurempia kuin tuotostaulukoissa (Liite C). Yliarvio oli selvä puulajista ja metsätyypistä riippumatta. Tärkein syy eroihin on itseharvenemisrajaan perustuvan luonnonpoistumamallin puuttuminen MELAsta.

7. Tarkastelu

MELAn kasvuennusteiden luotettavuus VMI-aineistossa on melko hyvä. INKA-aineistossa tuloksena on kasvun lievä aliarvio. Syynä aliarvioon lienee se, että mallien laadinta-aineistona käytetty VMI7-aineisto edustaa keskimääräisiä talousmetsiä ja INKA-aineisto keskimäärin paremmin hoidettuja metsiä. Käytetyn koealan koolla ei ole merkittävää vaikutusta mallien harhaan, mutta koealakaan suurentaminen vähentää jonkin verran koealan tilavuuskasvun jäännösvaihtelua.

Yhtä viisivuotiskautta pitemmän ajan simuloinnin luotettavuutta on tarkasteltu vertaamalla MELAlla simuloituja kasvuja harvennuskokeiden mittauksiin. Koska kokeet on sijoitettu subjektiivisesti, ei niiden perusteella voida tehdä yleistämiskelpoisia päätelmiä kasvun yleisestä tasosta. Sen sijaan kokeet antoivat mahdollisuuden tutkia, kuinka hyvin mallit ennustavat alaharvennusten voimakkuuden vaikutuksen kasvuun. Kasvumallien lievä harhaisuus harvennusvoimakkuuden ja harvennustavan suhteen merkitsee sitä, että niiden käyttöön on metsänkäsittelymenetelmien optimoinnissa suhtauduttava varauksin.

Myös nykyisin vallitsevista metsänkäsittelytavoista selvästi poikkeavien menetelmien tarkastelussa mallien antamiin tuloksiin on suhtauduttava varauksella. Erityisesti harsintarakenteisen metsän kehityksen ennustamisessa tarvittava uusien puiden syntyminen on mallitettu lähinnä sovellettaviksi tasaikäisen metsän uudistamiseen. Luontaisessa uudistamisessa syntyvät runkoluvut, erityisesti lehtipuun runkoluku, ovat MELAssa suurempia kuin taimikko-inventoinneissa todetut kehityskelpoisten taimien määrät. Uusien puiden lukumäärä, puulajijakauma ja pituuden alkukehitys rinnantasalle on MELAssa mallitettu kokonaisuutena, jonka osia on vaikea verrata olemassa oleviin uudistamisinventointeihin. MELAssa syntyvä runkoluku ei ole vertailukelpoinen taimikoiden kokonaisrunkolukuun eikä sitä voida myöskään suoraan rinnastaa kehityskelpoisten taimien runkolukuun.

Nykyisen MELAn luonnonprosessien simulointiosan tärkein muutos Metsä 2000-laskelmien teon jälkeen on kasvun tason tarkentaminen vuosijakson 1969-1989 keskimääräiselle tasolle (Siitonen 1990). Tarkentaminen tehtiin valtakunnan metsien 7. ja 8. inventoinneissa mitattujen tilavuuksien ja kasvuindeksien avulla, joita varten oli kerätty koko maan kattava edustava koepuuaineisto.

Luonnonpoistuman mallia on täydennetty Metsäntutkimuslaitoksen, Metsätehon ja Jaakko Pöyry Oy:n yhteisprojektissa "Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamis-

vaihtoehdot" metsikön itseharvenemisrajan ennustavalla osamallilla (Hynynen 1991). Mallissa itseharvenemisraja määräytyy puuston keskiläpimitan ja runkoluvun avulla.

Metsähallituksessa on laadittu ohjelmisto MELAn kasvumallien kalibroimiseksi pienehköille ositteille (Leskinen 1991). Tarkoituksena on tarkentaa hallinnollisesti rajattujen alueiden kasvuennusteita. Menetelmässä pyritään yhdistämään ositteesta mitatun aineiston antama kasvuinformaatio mahdollisimman tehokkaasti MELAn kasvumallin kanssa.

Itseharvenemisrajamalli ja kalibrintiohjelmisto eivät ole tällä hetkellä asennettuina Metsän-tutkimuslaitoksen metsäninventoinnin tutkimussuunnalla ylläpidettävään MELA-versioon.

Kirjallisuus

- Cajander (Kalela), E. K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kulturfichtenbestände in Süd-Finnland. *Communicationes Forestalis Fenniae* 19(3). 101 s.
- Ekö, P.-M. & Agestam, E. 1981. Prognoser baserade på provyteutveckling. *Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* 79(1-2):77-82.
- Haapala, P. 1983. Luonnonpoistuman ennustaminen puun kuolemistodennäköisyysmallilla. *Moniste. Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunta.* 33 s.
- Henttonen, H. 1984. The Dependence of annual Ring Indices on Some Climatic Factors. *Seloste: Vuosilustoindeksien riippuvuus ilmastotekijöistä. Acta Forestalia Fennica* 186. 38 s.
- Hynynen, J. 1991. Luonnonpoistuman ennustaminen metsikkötason mallilla. *Metsänarvioimistieteen sivulaudaturtyö. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos.* 47 s.
- Kangas, J. 1986. MELA:n soveltaminen suurella kuvioittain arvioidulla metsäalueella. *Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta.* 43 s. + liit.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930-1978 metsäojitetut suot: ojitusaluiden inventoinnin tuloksia. *Summary: Peatlands Drained for Forestry during 1930-1978: Results from Field Surveys of Drained Areas. Acta Forestalia Fennica* 193. 83 s. + liit.
- Kilkki, P. 1968. *Income Oriented Cutting Budget. Acta Forestalia Fennica* 91. 54 s.

- Kilki, P. 1985. Timber management planning. Joensuu yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, Silva Carelia 5. 160 s.
- Kinnunen, K. & Nerg, J. 1982. Männyn kylvö- ja luonnontaimikoiden tila Länsi-Suomen yksityismetsissä. Summary: State of Sown and Naturally Regenerated Young Scots Pine Stands in the Private Forests of Western Finland. Folia Forestalia 535. 16 s.
- , & Nerg, J. 1983. Istutustaimikoiden tila 11-12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä. Summary: State of Plantations 11-12 Year after Planting in Some Private Forests of Western Finland. Folia Forestalia 546. 20 s.
- Koivisto, P. 1959. Kasvu ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51.8. 49 s.
- Kukkola, M. & Saramaki, J. 1983. Growth Response in Repeatedly Fertilized Pine and Spruce Stands on Mineral Soils. Seloste: Toistuvilla lannoituksilla saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 114. 55 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper Curve and Volume Functions for Pine, Spruce and Birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä ja tilavuusyhtälöt. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 108. 74 s.
- Lappi, J. & Bailey, R.L. 1987. Estimation of the Diameter Increment Function or Other Tree Relations Using Angle-count Samples. Forest Science 33(3):725-739.
- Leskinen, J. 1991. Kasvumallien kalibrointi. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 54 s. + liit.
- Leskinen, T. 1988. Männyn ja kuusen istutustaimien pituuskehitys Tehdaspuu Oy:n osakkaiden ja Enso-Gutzeit Oy:n uudistusaloilla. Pro gradu-työ. Helsingin yliopisto, metsänhoitotieteen laitos. 90 s. + liit.
- Metsien hoidon ja käsittelyn työryhmän raportti. 1985. Talousneuvosto, Metsä 2000-ohjelma- jaosto. Valtion painatuskeskus. 113 s. + liit.
- Metsä 2000-ohjelma. 1985. Talousneuvosto, Metsä 2000-ohjelma- jaosto. Valtion painatuskeskus. 53 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1983. 1984. Folia Forestalia 590. 224 s.
- Nyysönen, A. 1954. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the Structure and Development of Finnish Pine Stands Treated with Different Cuttings. Acta Forestalia Fennica 60(4). 194 s.
- & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of Stand Increment. Acta Forestalia Fennica 163. 40 s.
- Näslund, M. 1936. Skogsförsökningsanstaltens gallringsförsök i tallskog. Primärbearbetning. Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt. 29(1). 169 s.

- Rautiainen, O. & Räsänen, P.K. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968-1976. Summary: Development of Scots Pine and Norway Spruce Plantations in Itä-Savo in 1968-1976. *Folia Forestalia* 426. 24 s.
- Richards, F. J. 1959. A Flexible Growth Function for Empirical Use. *Journal of Experimental Botany* 10(29):290-300.
- Roiko-Jokela, P., Gustavsen, H.G. & Varmola, M. 1987. Kivennäismaiden talousmetsien pysyvät (INKA ja TINKA) kokeet: Suunnitelmat, mittausten menetelmät ja aineistojen rakenteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja, puuntuotoksen tutkimussuunta 292. 212 s.
- Räsänen, P.K., Pohtila, E., Laitinen, E. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978-1979 inventointitulokset. Summary: Forest Regeneration in the Six Southernmost Forestry Board Districts of Finland. Results from the Inventories 1978-1979. *Folia Forestalia* 637. 30 s.
- Siitonen, M. 1983. A Long Term Forestry Planning System Based on Data from the Finnish National Forest Inventory. Forest inventory for improved management. Proceedings of the IUFRO Subject Group 4.02 Meeting in Finland, September 5-9, 1983. Helsingin yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen tiedonantoja 17:195-207.
- 1990. Suomen metsävarat 1990 ja metsien kehitysmahdollisuudet 1990-2030. Selvitys Metsä 2000-ohjelman tarkistustoimikunnalle. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. 56 s.
- Stopher, P. R. & Meyburg, A.H. 1979. Survey Sampling and Multivariate Analysis for Social Scientists and Engineers. Lexington Books, Toronto. 385 s.
- Valtakunnan metsien inventoinnin kenttätyöohjeet. 1977. Moniste. Metsäntutkimuslaitos, metsänarvioimisen tutkimusosasto. 56 s. + liit.
- Varmola, M. 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. 89 s.
- Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Summary: On the Development of Managed Spruce Stands in Southern Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 48(1). 138 s.
- 1980. Metsän kasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. 258 s.
 - 1986. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.
 - & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 99(2):1-271.

Liite A MELAn osamallien Fortran-kieliset kutsut

MALLEISSA KÄYTETYT MUUTTUJAT

| | |
|--------------------|---|
| Jatkuva muuttuja | M |
| Luokittelumuuttuja | L |

Kasvupaikka

| | |
|--|---|
| XX = koealan x-koordinaatti VMI7-koordinaatistossa | M |
| XY = koealan y-koordinaatti VMI7-koordinaatistossa | M |
| PML = metsälautakunta | L |
| XLS = lämpösumma, ddy | M |
| XML = maaluokka | L |
| ALR = alaryhmä | L |
| XMT = metsä- tai suotyyppe | L |
| VL = veroluokka | L |
| VLA = veroluokan alennus | L |
| OJI = kuivatustilanne | L |
| VOJ = ojitusvuosi | M |
| VU = simulointivuosi | M |
| VUL = lannoitusvuosi | M |
| XAL = lannoituksesta kulunut aika, v | M |

Puustotunnukset

| | |
|---|---|
| GG = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m ² | M |
| GGK = metsikön kuorellinen pohjapinta-ala, m ² | M |
| RL = metsikön rinnankorkeuden saavuttaneiden puiden runkoluku | M |
| DD = metsikön pohjapinta-alakeskipuun kuoreton läpimitta, cm | M |
| XIL = metsikön ikäluokka | L |
| TUHO = metsikkötuho | M |

Puutunnukset

| | |
|--|---|
| PL = puulaji | L |
| SNT = syntytyapa | L |
| D = kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm | M |
| DK = kuorellinen rinnankorkeusläpimitta, cm | M |
| G = kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala, m ² | M |
| GK = kuorellinen rinnankorkeuspohjapinta-ala, m ² | M |
| D6K = kuorellinen 6 m:n läpimitta, cm | M |
| H = pituus, m | M |
| XIKA = rinnankorkeusikä, v | M |
| VOL = tilavuus, m ³ | M |
| TUK = tukkiosan tilavuus | M |
| CUI = kuituosan tilavuus, m ³ | M |
| HUK = hukkapuun tilavuus, m ³ | M |
| GGKY = kohdepuuta suurempien puiden pohjapinta-ala runkolokusarjassa, m ² | M |

LUOKITTELUUUTTUJEN KOODIT

PML

- 0 = Ahvenanmaa
- 1 = Helsingin ml
- 2 = Lounais-Suomen ml
- 3 = Satakunnan ml
- 4 = Uudenmaan-Hämeen ml
- 5 = Pirka-Hämeen ml
- 6 = Itä-Hämeen ml
- 7 = Etelä-Savon ml
- 8 = Etelä-Karjalan ml
- 9 = Itä-Savon ml
- 10 = Pohjois-Karjalan ml
- 11 = Pohjois-Savon ml
- 12 = Keski-Suomen ml
- 13 = Etelä-Pohjanmaan ml
- 14 = Vaasan ml
- 15 = Keski-Pohjanmaan ml
- 16 = Kainuun ml
- 17 = Pohjois-Pohjanmaan ml
- 18 = Koillis-Suomen ml
- 19 = Lapin ml

XML

- 1 = metsämaa
- 2 = kitumaa
- 3 = joutomaa
- 4 = muu metsätalousmaa
- 5 = maatalousmaa
- 6 = rakennettu maa
- 7 = liikenteen, voimalinjojen jne. maa
- 8 = sisävesi (leveys yli 5 m)
- 9 = merivesi

ALR

- 1 = kangas
- 2 = korpi
- 3 = räme
- 4 = neva
- 5 = letto

XMT

- 1 = lehdot, lehtomaiset ja lettosuot, lehtoturvekangas
- 2 = lehtomaiset kankaat, ruohoiset suot ja turvekankaat
- 3 = tuoreet kankaat, suursaraiset ja mustikkaiset suot ja turvekankaat
- 4 = kuivahkot kankaat, piensaraiset ja puolukkaistet suot ja turvekankaat
- 5 = kuivat kankaat, tupasvillaistet ja isovarpuistet suot ja turvekankaat
- 6 = karukkokankaat, rahkaiset suot ja turvekankaat
- 7 = kalliomaat ja hietikot
- 8 = lakimetsät ja tunturit

VL

- 0 = I A
- 1 = I B
- 2 = II
- 3 = III
- 4 = IV

VLA

- 0 = ei muutosta
- 1 = kivinen
- 2 = soistunut
- 3 = kunttainen
- 4 = sijainti veden rantaan tai merenpinnan tasoon nähden
- 5 = luonnontilainen tai ojikko korvessa tai rämeellä IA tai IB
- 6 = muuttamalla sama veroluokka kuin vastaava kankaan veroluokka

OJI

- 0 = ojittamaton kangas
- 1 = ojitettu kangas
- 2 = ojittamaton suo
- 3 = ojikko
- 4 = muuttuma
- 5 = turvekangas

XIL

- 0 = 0 v
- 1 = 1-10 v
- 2 = 11-20 v
- 3 = 21-30 v
-
-
-

TUHO

0 = metsikössä ei tuhoja
ei 0 = metsikössä tuhoja

PL ja P

1 = mänty
2 = kuusi
3 = rauduskoivu
4 = hieskoivu
5 = haapa tai hybridihaapa
6 = harmaa- tai tervaleppä
7 = muu havupuu
8 = muu lehtipuu

MALLIEN KUTSUT

Puun rinnankorkeuden saavuttamisikä

FUNCTION AH13(PL,SNT,GG,XMT,XLS)

O AH13 = puun ikä sen saavuttaessa rinnankorkeuden, v
I PL = puulaji
I SNT = puun syntytyapa
I GG = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m²
I XMT = metsä- tai suotyyppi
I XLS = lämpösumma, ddy

Lannoituksesta kulunut aika koealalla

FUNCTION ALLAN(PML,ALR,XMT,XIL)

O ALLAN = lannoitusvuosi, jos inventointivuosi on 0. Ei lannoitettu = 99.
I PML = metsälautakunta
I ALR = alaryhmä
I XMT = metsä- tai suotyyppi
I XIL = metsikön ikäluokka

Tukkipuun hinnan järeyskorjaus

FUNCTION ARSU(PL,DK,H)

O ARSU = tukkipuun hinnan suhde perushintaan, joka vastaa arvoja
DK=25 cm ja H=18 m
I PL = puulaji
I DK = puun kuorellinen rinnankorkeuslähimitta, cm
I H = puun pituus

Puun kuolemistodennäköisyys tulevana 5-vuotiskautena

FUNCTION DEATH(PL,DK,GGK,GGKY,RL,XMT,VL)

- O DEATH = puun kuolemistodennäköisyys tulevana 5-vuotiskautena (0,1)
- I PL = puulaji
- I DK = puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta, cm
- I GGK = metsikön kuorellinen pohjapinta-ala, m²
- I GGKY = kohdepuuta suurempien puiden pohjapinta-ala runko lukusarjassa, m²
- I RL = metsikön rinnankorkeuden saavuttaneiden puiden runkoluku,kpl/ha
(ei käytössä)
- I XMT = metsä- tai suotyyppe
- I VL = veroluokka

Puun kuoreton rinnankorkeusläpimitta sen saavuttaessa rinnankorkeuden

FUNCTION DH13(PL,XMT,GG)

- O DH13 = puun kuoreton rinnankorkeusläpimitta sen saavuttaessa rinnan-korkeuden, cm
- I PL = puulaji
- I XMT = metsä- tai suotyyppe
- I GG = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m²

Kuivatustilanteen muutos koealalla

FUNCTION OJIS(VU,ALR,XMT,OJI,VLA,VOJ)

- O OJIS = kuivatustilanne tulevalla 5-vuotisjaksolla
- I VU = simulointivuosi
- I ALR = alaryhmä
- I XMT = metsä- tai suotyyppe
- I OJI = kuivatustilanne
- I VLA = veroluokan tarkennus
- I VOJ = ojitusvuosi

Puun rungon ja puutavaralajien tilavuudet

SUBROUTINE TLVS(PL,DK,D6K,H,VOL,TUK,CUI,HUK)

- I PL = puulaji
- I DK = puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta, cm
- I D6K = puun kuorellinen 6 m:n läpimitta, cm
- I H = puun pituus
- O VOL = puun runkotilavuus, m³
- O TUK = puun tukkiosan tilavuus, m³
- O CUI = puun kuituosan tilavuus, m³
- O HUK = hukkapuosan tilavuus, m³

Kuitupuun osuus ohjelman TLV antamasta tukkipuun määrästä

FUNCTION TUV(PL,DK,XIKA)

- O TUV = kuitupuun osuus ohjelman TLV antamasta tukkipuun määrästä
- I PL = puulaji
- I DK = puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta, cm
- I XIKA = puun rinnankorkeusikä, v

Lannoitusvaikutus puun rinnankorkeuspohjapinta-alan kasvuun

FUNCTION XLAN(XLS,ALR,XMT,PL,XLA)

- O XLAN = lannoituksen antama puun rinnankorkeuspohjapinta-alan kasvunlisäys tulevana 5-vuotiskautena, %
- I XLS = lämpösumma, ddy
- I ALR = alaryhmä
- I XMT = metsä- tai suotyyppe
- I PL = puulaji
- I XAL = lannoituksesta kulunut aika, v

Puun kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala

FUNCTION YGBTON(PL,GK,XIKA)

- O YGBTON = puun kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala, cm²
- I PL = puulaji
- I GK = puun kuorellinen rinnankorkeuspohjapinta-ala, cm²
- I XIKA = puun rinnankorkeusikä, v

Puun kuorellinen rinnankorkeuspohjapinta-ala

FUNCTION YGBNEN(PL,G,XIKA)

- O YGBNEN = puun kuorellinen rinnankorkeuspohjapinta-ala, cm²
- I PL = puulaji
- I G = puun kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala, cm²
- I XIKA = puun rinnankorkeusikä, v

Puun pituuskasvu

FUNCTION YIH(A,II,MESI)

- O YIH = puun pituuskasvu tulevana 5-vuotiskautena, m
 I A = koealan MELA-tietue
 I II = käsiteltävän puun numero MELA-tietueessa
 I MESI = MELA-tietueen ohjausvektori. Pakolliset määrittelyt:
- | | | |
|----------|------|---|
| MESI(9) | PML | = metsälautakunta |
| MESI(10) | VU | = simulointivuosi |
| MESI(11) | XLS | = lämpösumma, ddy |
| MESI(15) | TUHO | = metsikkötuho |
| MESI(23) | ALR | = alaryhmä |
| MESI(24) | XMT | = metsä- tai suotyyppi |
| MESI(25) | OJI | = kuivatustilanne |
| MESI(33) | VUL | = lannoitusvuosi, jos inventointivuosi on 0 |
| MESI(41) | PL | = puulaji |
| MESI(42) | G | = puun kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala, cm ² |
| MESI(45) | XIKA | = puun rinnankorkeusikä, v |
| MESI(46) | RL | = metsikön rinnankorkeuden saavuttaneiden puiden runkoluku, kpl/ha |

Puun rinnankorkeusläpimitan kasvu

FUNCTION YIG(A,II,MESI)

- O YIG = puun rinnankorkeuspohjapinta-alan kasvu, cm²
 I A = koealan MELA-tietue
 I II = käsiteltävän puun numero tietueessa
 I MESI = MELA-tietueen ohjausvektori. Pakolliset määrittelyt:
- | | | |
|----------|------|---|
| MESI(9) | PML | = metsälautakunta |
| MESI(10) | VU | = simulointivuosi |
| MESI(11) | XLS | = lämpösumma, ddy |
| MESI(15) | TUHO | = metsikkötuho |
| MESI(23) | ALR | = alaryhmä |
| MESI(24) | XMT | = metsä- tai suotyyppi |
| MESI(25) | OJI | = kuivatustilanne |
| MESI(26) | VLA | = veroluokan alennus |
| MESI(33) | VUL | = lannoitusvuosi, jos inventointivuosi on 0 |
| MESI(41) | PL | = puulaji |
| MESI(42) | G | = puun kuoreton rinnankorkeuspohjapinta-ala, cm ² |
| MESI(45) | XIKA | = puun rinnankorkeusikä, v |
| MESI(46) | RL | = metsikön rinnankorkeuden saavuttaneiden puiden runkoluku, kpl/ha |

Liite B Koealan kasvun luotettavuustunnuksia

Taulukoissa käytetyt tunnusluvut:

- n = havaintojen lukumäärä
 b = ennusteen harha, m³/ha/5v
 RMSE = ennusteen keskineliöpoikkeaman neliöjuuri, m³/ha/5v
 s = ennusteen keskiarvo, m³/ha/5v

Taulukko B1. Koealan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI- ja INKA-aineistoissa metsälautakunnittain kankailla.

| Metsä- lautakunta | VMI | | | | INKA | | | |
|----------------------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Ahv.maa | 53 | 0,96 | 7,79 | 16,41 | | | | |
| Hki | 214 | 1,03 | 8,01 | 22,77 | 30 | -6,39 | 13,38 | 34,51 |
| L-S | 272 | 0,94 | 9,02 | 24,86 | 42 | -3,38 | 11,19 | 40,01 |
| Sat. | 303 | -0,44 | 7,75 | 26,95 | 41 | -3,86 | 10,75 | 36,94 |
| U-H | 246 | 0,37 | 10,32 | 31,97 | 29 | -4,06 | 8,26 | 33,75 |
| P-H | 389 | -0,45 | 8,03 | 29,78 | 58 | 0,44 | 10,64 | 34,95 |
| I-H | 342 | -0,21 | 8,91 | 31,09 | 48 | 4,03 | 10,91 | 33,96 |
| E-S | 341 | -0,59 | 9,02 | 30,85 | 24 | 2,29 | 7,87 | 26,90 |
| E-K | 288 | 0,15 | 9,22 | 30,87 | 36 | -3,01 | 11,73 | 42,87 |
| I-S | 246 | -0,93 | 7,95 | 32,99 | 12 | 0,54 | 8,51 | 38,20 |
| P-K | 501 | -0,93 | 6,28 | 23,15 | 3 | -7,97 | 8,69 | 32,74 |
| P-S | 539 | -0,69 | 7,87 | 28,63 | | | | |
| K-S | 477 | -0,98 | 7,80 | 29,04 | | | | |
| E-P | 284 | -0,86 | 8,13 | 22,45 | 3 | -1,09 | 2,35 | 20,21 |
| Va | 165 | 1,17 | 8,56 | 18,64 | | | | |
| K-P | 235 | 0,43 | 7,56 | 21,04 | | | | |
| Kainuu | 533 | 0,30 | 5,11 | 12,33 | 263 | -1,67 | 6,78 | 17,75 |
| P-P | 465 | -0,09 | 6,06 | 14,64 | 245 | 0,87 | 6,55 | 17,54 |
| K-S | | | | | 148 | -5,93 | 9,45 | 14,80 |
| Lappi | | | | | 198 | -3,18 | 6,47 | 11,46 |
| Yhteensä | 5893 | -,022 | 7,89 | 25,27 | 1180 | -1,86 | 8,30 | 21,27 |

Taulukko B2. Koealan tilavuuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI-aineistossa metsälautakunnittain soilla.

| Metsä- lautakunta | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|----------------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Ahv.maa | 1 | -7,51 | | 42,13 | 2 | 0,64 | 0,77 | 5,97 |
| Hki | 14 | -4,71 | 9,12 | 24,34 | 5 | 1,01 | 4,27 | 11,85 |
| L-S | 26 | -0,36 | 10,40 | 34,49 | 21 | -1,64 | 7,49 | 19,66 |
| Sat. | 35 | 0,11 | 9,79 | 35,94 | 44 | -1,12 | 6,17 | 11,62 |
| U-H | 26 | -1,49 | 8,55 | 30,62 | 23 | -1,28 | 5,99 | 16,85 |
| P-H | 39 | -1,86 | 7,61 | 29,92 | 33 | -1,09 | 4,95 | 15,21 |
| I-H | 23 | -0,72 | 6,41 | 24,78 | 12 | -2,22 | 4,09 | 11,54 |
| E-S | 55 | -1,65 | 19,78 | 31,39 | 41 | -1,35 | 6,51 | 13,52 |
| E-K | 32 | -0,27 | 11,42 | 33,66 | 31 | -2,38 | 6,53 | 16,62 |
| I-S | 16 | 0,09 | 7,10 | 19,36 | 18 | -2,36 | 5,12 | 11,88 |
| P-K | 90 | -0,67 | 9,86 | 21,90 | 134 | -1,27 | 4,53 | 10,60 |
| P-S | 131 | -1,71 | 8,20 | 23,24 | 89 | -0,25 | 4,96 | 12,08 |
| K-S | 71 | -0,64 | 8,67 | 26,48 | 97 | -0,97 | 5,75 | 12,01 |
| E-P | 67 | -1,60 | 8,76 | 27,61 | 161 | -0,97 | 5,87 | 12,53 |
| Va | 51 | 0,04 | 8,29 | 26,10 | 40 | -1,52 | 6,85 | 12,77 |
| K-P | 50 | -2,38 | 9,08 | 26,44 | 136 | -0,04 | 5,56 | 10,59 |
| Kainuu | 52 | -0,01 | 5,17 | 13,88 | 284 | -0,41 | 3,68 | 7,02 |
| P-P | 116 | -0,34 | 6,31 | 16,83 | 320 | -0,53 | 4,77 | 9,37 |

Taulukko B3. Koealan kuorellisen pohjapinta-alakasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI- ja INKA-aineistoissa metsätuopeittain kankailla.

| | n | VMI | | | n | INKA | | |
|-----------------|------|-------|------|------|-----|-------|------|------|
| | | b | RMSE | s | | b | RMSE | s |
| Leh, ja OMT | 1385 | 0,42 | 1,87 | 4,33 | 72 | 0,34 | 1,61 | 4,28 |
| MT | 2583 | 0,1 | 1,24 | 3,11 | 495 | 0 | 1,00 | 2,45 |
| VT | 1530 | 0,07 | 1,24 | 3,52 | 548 | -0,28 | 1,22 | 2,56 |
| CT ja CIT | 182 | 0 | 1,11 | 1,46 | 98 | -0,33 | 1,13 | 1,79 |
| Kal. ja laki m. | 115 | -0,36 | 0,87 | 1,45 | 3 | -0,32 | 0,33 | 1,07 |

Taulukko B4. Koealan pituuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI- ja INKA-aineistoissa metsätyypeittäin kankailla.

| | VMI | | | | INKA | | | |
|----------------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Leh, ja OMT | 1385 | -0,04 | 0,44 | 1,33 | 72 | -0,01 | 0,45 | 1,31 |
| MT | 2583 | -0,09 | 0,38 | 1,06 | 495 | -0,18 | 0,41 | 0,90 |
| VT | 1530 | -0,16 | 0,39 | 1,03 | 548 | -0,37 | 0,55 | 1,07 |
| CT ja CIT | 182 | 0,12 | 0,42 | 0,88 | 98 | -0,22 | 0,55 | 0,95 |
| Kal. ja lakim. | 115 | -0,25 | 0,44 | 0,96 | 3 | -0,21 | 0,23 | 0,27 |

Taulukko B5. Koealan kuorellisen pohjapinta-alakasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI- ja INKA-aineistoissa koealan pääpuulajeittain kankailla.

| | VMI | | | | INKA | | | |
|----------------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Männiköt | 2151 | 0,04 | 1,37 | 2,76 | 782 | -0,21 | 1,23 | 2,54 |
| Kuusikot | 1522 | 0,31 | 1,28 | 3,47 | 220 | -0,02 | 1,00 | 2,88 |
| Rauduskoivikot | 21 | 1,06 | 2,27 | 4,08 | 13 | 0,56 | 1,23 | 2,95 |
| Hieskoivikot | 61 | 0,46 | 1,97 | 3,25 | 5 | 2,08 | 3,03 | 3,15 |
| Muut puhtaat | 33 | 0,08 | 2,45 | 5,64 | | | | |
| Havumetsiköt | 1001 | 0,20 | 1,14 | 3,05 | 159 | 0,00 | 0,88 | 2,05 |
| Lehtimetsiköt | 106 | -0,06 | 3,17 | 4,49 | 1 | 0,47 | - | 1,34 |
| Sekametsiköt | 900 | 0,12 | 1,53 | 3,54 | | | | |

Taulukko B6. Koealan pituuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja VMI- ja INKA-aineistoissa pääpuulajeittain kankailla.

| | VMI | | | | INKA | | | |
|----------------|------|-------|------|------|------|-------|------|------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Männiköt | 2151 | -0,10 | 0,39 | 0,89 | 782 | -0,30 | 0,52 | 1,06 |
| Kuusikot | 1522 | -0,22 | 0,50 | 1,01 | 220 | -0,18 | 0,41 | 0,97 |
| Rauduskoivikot | 21 | -0,08 | 0,43 | 1,18 | 13 | 0,15 | 0,57 | 0,96 |
| Hieskoivikot | 61 | -0,01 | 0,36 | 1,06 | 5 | -0,38 | 0,56 | 1,75 |
| Muut puhtaat | 33 | -0,13 | 0,42 | 1,18 | | | | |
| Havumetsiköt | 1001 | -0,14 | 0,39 | 0,83 | 159 | -0,21 | 0,43 | 0,77 |
| Lehtimetsiköt | 106 | -0,12 | 0,45 | 1,06 | 1 | 0,10 | 0,51 | |
| Sekametsiköt | 900 | -0,10 | 0,41 | 0,97 | | | | |

Taulukko B7. Koealan kuorellisen pohjapinta-alakasvuennusteen tunnuslukuja pääpuulajeittain VMI-aineiston soilla.

| | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|----------------|--------|-------|------|------|--------|-------|------|------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Männiköt | 34 | -0,47 | 1,21 | 4,10 | 909 | -0,21 | 1,11 | 2,09 |
| Kuusikot | 226 | 0,31 | 1,36 | 3,11 | 3 | -0,25 | 0,55 | 1,46 |
| Rauduskoivikot | 4 | -1,10 | 1,75 | 9,20 | | | | |
| Hieskoivikot | 112 | 0,25 | 1,61 | 3,61 | 17 | -0,05 | 1,29 | 2,80 |
| Muut puhtaat | 3 | -0,28 | 0,45 | 1,06 | | | | |
| Havumetsiköt | 138 | -0,08 | 1,48 | 3,45 | 48 | -0,42 | 1,18 | 2,37 |
| Lehtimetsiköt | 22 | -0,07 | 2,01 | 4,06 | 1 | -1,64 | | 4,59 |
| Sekametsiköt | 342 | -0,30 | 1,79 | 4,05 | 243 | -0,45 | 1,43 | 3,20 |
| Yhteensä | 881 | -0,04 | 1,60 | 3,67 | 1221 | -0,26 | 1,18 | 2,33 |

Taulukko B8. Koealan keskipituuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja pääpuulajeittain VMI-aineiston soilla.

| | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|----------------|--------|-------|------|------|--------|-------|------|------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Männiköt | 34 | 0,00 | 0,38 | 1,08 | 909 | 0,12 | 0,46 | 0,91 |
| Kuusikot | 226 | -0,08 | 0,39 | 0,93 | 3 | -0,06 | 0,13 | 0,41 |
| Rauduskoivikot | 4 | -0,23 | 0,56 | 1,21 | | | | |
| Hieskoivikot | 112 | 0,20 | 0,40 | 1,15 | 17 | 0,07 | 0,30 | 1,07 |
| Muut puhtaat | 3 | 0,31 | 0,38 | 1,38 | | | | |
| Havumetsiköt | 138 | -0,07 | 0,46 | 1,03 | 48 | -0,06 | 0,31 | 0,81 |
| Lehtimetsiköt | 22 | 0,04 | 0,34 | 1,10 | 1 | 0,04 | | 1,07 |
| Sekametsiköt | 342 | 0,05 | 0,40 | 1,05 | 243 | 0,04 | 0,38 | 1,06 |

Taulukko B9. Koealan kuorellisen pohjapinta-alakasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja ojitustilanteittain VMI-aineiston soilla.

| | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|--------------|--------|-------|------|------|--------|-------|------|------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Luonnontil. | 222 | -0,74 | 1,52 | 2,73 | 205 | -0,52 | 1,09 | 1,64 |
| Ojikat | 51 | 0,1 | 1,58 | 2,85 | 134 | 0,04 | 0,96 | 1,70 |
| Muuttumat | 351 | 0,25 | 1,45 | 3,66 | 800 | -0,38 | 1,46 | 3,32 |
| Turvekankaat | 256 | 0,13 | 1,30 | 4,68 | 82 | -0,72 | 1,49 | 4,46 |

Taulukko B10. Koealan keskipituuskasvuennusteen luotettavuuden tunnuslukuja ojitustilanteittain VMI-aineiston soilla.

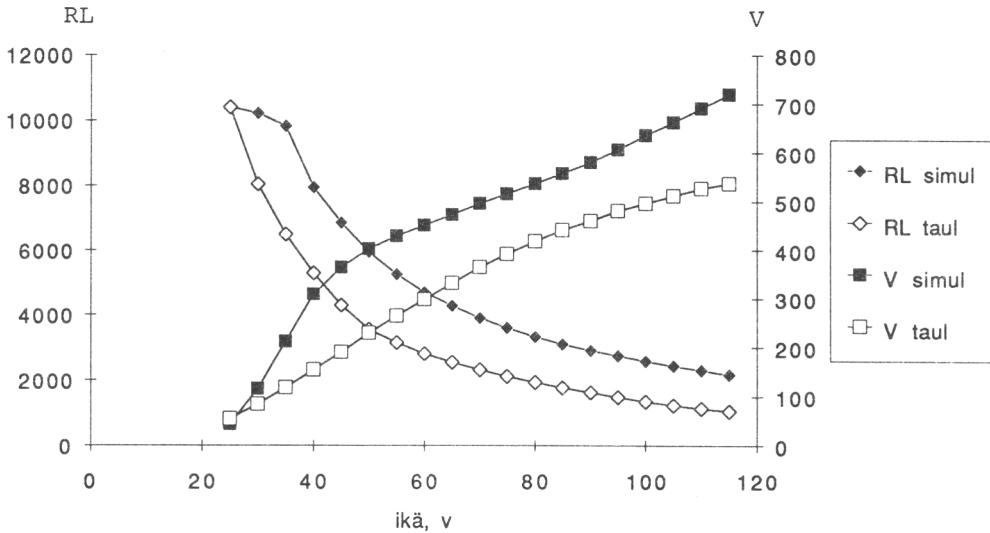
| | Korvet | | | | Rämeet | | | |
|--------------|--------|-------|------|------|--------|-------|------|------|
| | n | b | RMSE | s | n | b | RMSE | s |
| Luonnontil. | 222 | 0,03 | 0,41 | 0,87 | 205 | 0,14 | 0,40 | 0,61 |
| Ojikat | 51 | 0,02 | 0,37 | 0,80 | 134 | 0,24 | 0,50 | 0,79 |
| Muuttumat | 351 | 0,03 | 0,40 | 1,06 | 800 | 0,08 | 0,44 | 1,01 |
| Turvekankaat | 256 | -0,02 | 0,41 | 0,41 | 82 | -0,11 | 0,36 | 1,18 |

Liite C Luonnonnormaalien metsien kehityssennusteita

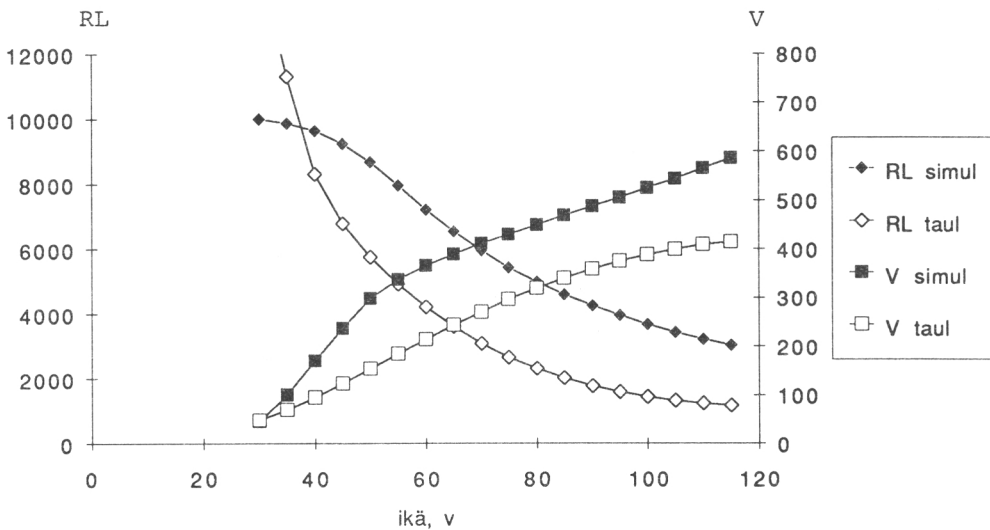
taul = Luonnonnormaalin metsikön kehitys Ilvessalon mukaan (Koivisto 1959).
 simul = MELAlla simuloitu käsittelemätön metsikön kehitys. Alkutila luonnonnormaalien (Koivisto 1959) mukaan.

RL = Runkoluku/ha
 V = Tilavuus, m³/ha

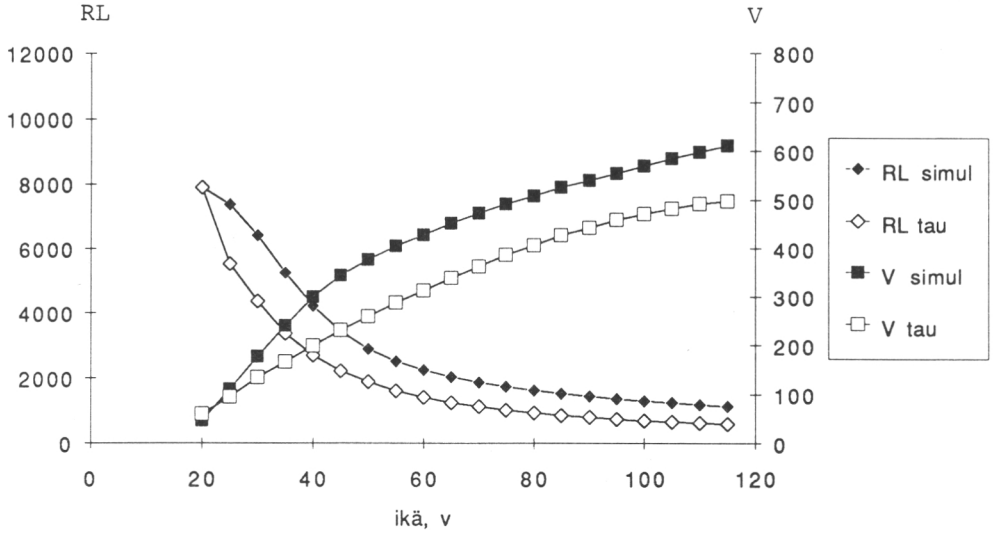
OMT, kuusi, luonnonnormaali, Etelä-Suomi



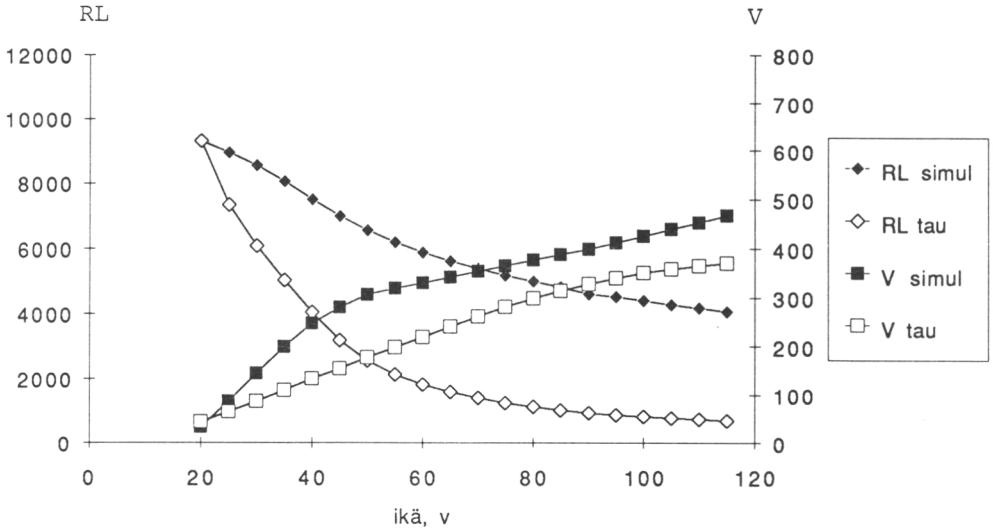
MT, kuusi, luonnonnormaali, Etelä-Suomi



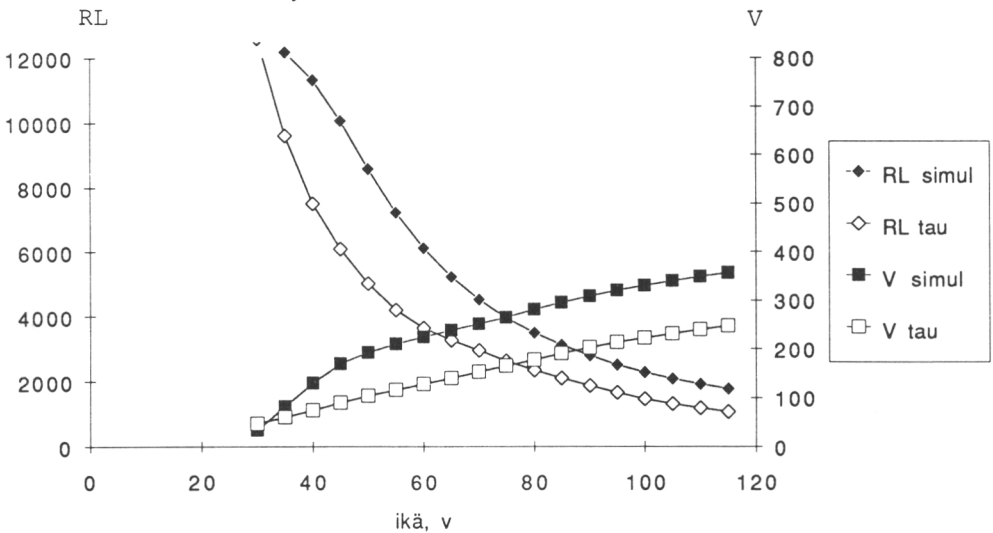
MT, mänty, luonnonnormaali, Etelä-Suomi



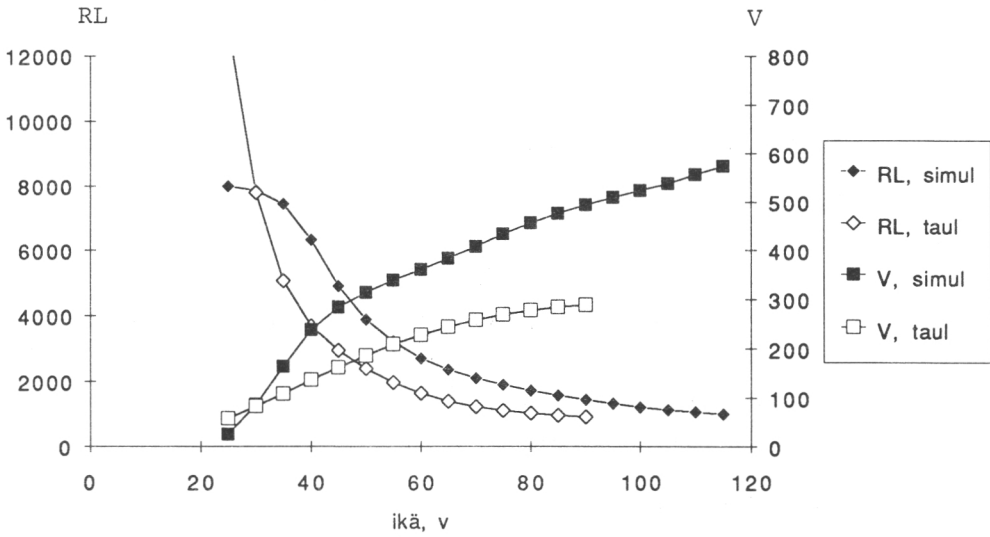
VT, mänty, luonnonnormaali, Etelä-Suomi



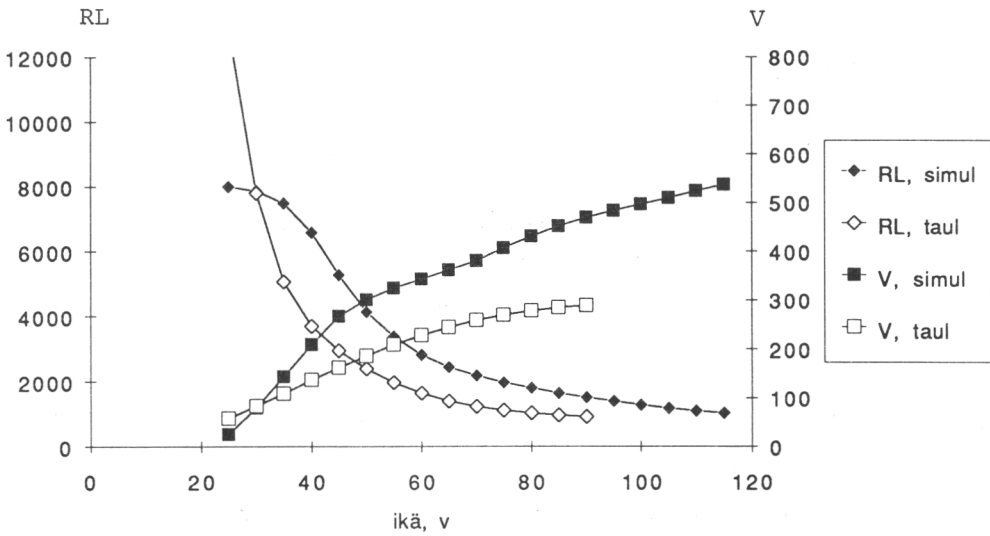
CT, mänty, luonnonnormaali, Etelä-Suomi



OMT, raudus, luonnonnormaali, Etelä-Suomi



OMT, hies, luonnonnormaali, Etelä-Suomi



Liite D Merkinnät

| | |
|---------------------|---|
| d | = puun kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm |
| dh ₁₃ | = puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta sen saavuttaessa rinnankorkeuden, cm |
| dhref ₁₃ | = dh ₁₃ puuston pohjapinta-alan ollessa 0 m ² /ha, cm |
| di | = rinnankorkeusläpimitan kasvu tulevalla 5-vuotiskaudella, cm ² |
| diref | = puun rinnankorkeusläpimitan kasvu läpimitan ja puuston pohjapinta-alan funktiona, cm ² . |
| g | = puun kuorellinen pohjapinta-ala, cm ² |
| g _b | = puun kuoreton pohjapinta-ala, cm ² |
| G | = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m ² /ha |
| Gapu | = (G - 10). Jos (G-10) < 0, Gapu = 0, G = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m ² /ha |
| gikor | = lannoitusvaikutuksen korjauskerroin |
| gl% | = ennustettu kasvunlisäys prosentteina |
| glref% | = lämpösummaa 1250 d.d. vastaava kasvunlisäys prosentteina |
| Gy | = niiden puiden kuoreton pohjapinta-ala, joiden läpimitta on suurempi kuin kohdepuun, m ² /ha |
| h | = puun pituus, m. |
| hi | = puun pituuskasvu, m. |
| k | = mallin parametreja |
| LS | = lämpösumma, d.d. |
| MPK | = osoitinmuuttuja, joka saa arvon 1, jos maanpinnan käsittelystä on kulunut alle 10 v. Muulloin muuttuja saa arvon 0. |
| P0 _i | = ojitustilaluokan i ja sitä huonompien luokkien suhteellinen pinta-ala simulointiaskeleen alussa |
| P5 _i | = ojitustilaluokan i ja sitä huonompien luokkien suhteellinen pinta-ala simulointiaskeleen lopussa |
| p _i | = koealan todennäköisyys siirtyä ojitustilanneluokkaan i seuraavan simulointiaskeleen aikana, mikäli koeala kuuluu luokkaan i-1 |
| pk | = puun todennäköisyys kuolla tulevana 5-vuotiskautena |

| | | |
|---------------------|---|---|
| pt | = osoitinmuuttuja, joka saa arvon 0 puun ollessa luontaisesti syntynyt ja arvon 1 puun ollessa viljelty | |
| RL _s | = seuraavalla 5-vuotisjaksolla syntyvien puiden lukumäärä | |
| RL _{max} | = simuloinnin maksimirunkoluku | |
| RL | = runkoluku aika-askeleen alussa | |
| RL% _s | 0,01 + 0,2475 G | G < 3,9 m ² |
| | 1,0 | 3,9 m ² ≤ G < 8 m ² |
| | 1,471 - ,05882 G | 8 m ² ≤ G < 25 m ² |
| | 0 | G > 25 m ² |
| SAP | = simulointiaskeleen pituus, v | |
| SV | = seuraavaan siemenvuoteen kuluva aika, v | |
| SV1400 | = puulajeittainen siemenvuosien toistumisväli, v | |
| T | = metsikön rinnankorkeusikä, v | |
| t | = puun rinnankorkeusikä, v | |
| th | = rinnankorkeuden saavuttamisikä | |
| thref ₁₃ | = rinnankorkeuden saavuttamisikä puulajin ja metsä- tai suotyyppin funktiona lämpösumman ollessa 1300 d.d. ja metsikön pohjapinta-alan ollessa 0 m ² /ha | |
| ξ | = satunnaisluku | |

ISBN 951-40-1164-3

ISSN 0358-4283