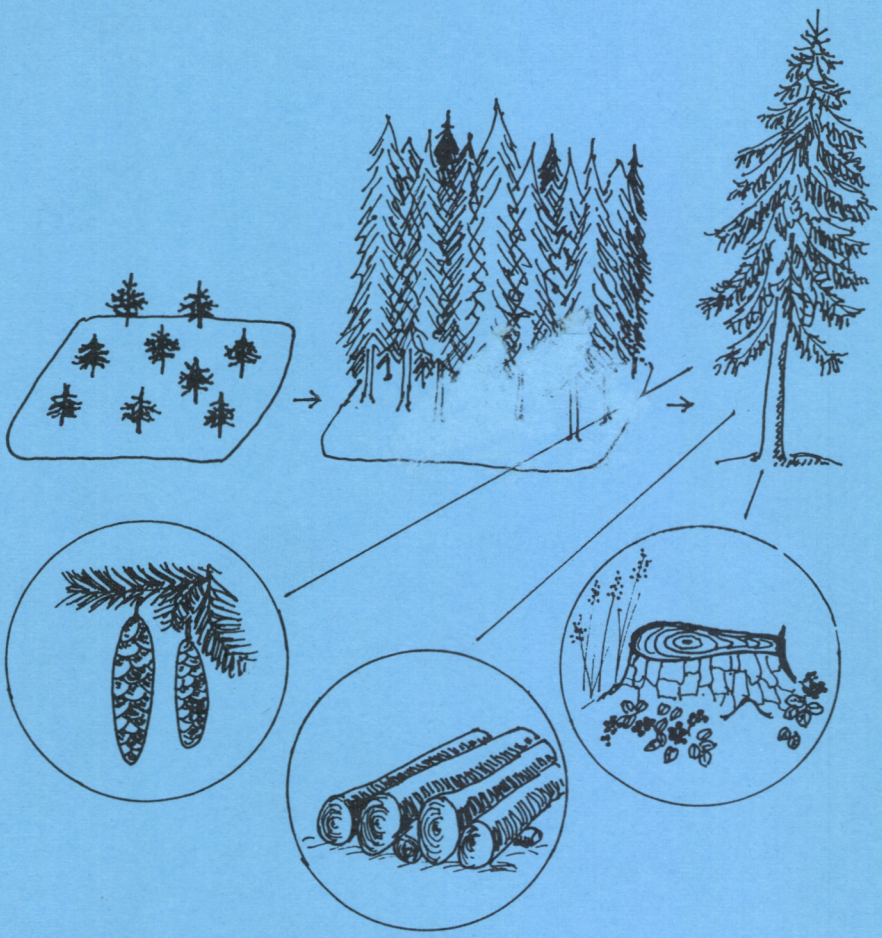
METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN
TIEDONANTOJA 398

Joensuun tutkimusasema



METSÄN TILAA JA MUUTOKSIA KUVAAVIA PUU- JA PUUSTOTUNNUSMALLEJA

Helena Mäkelä ja Hannu Salminen

JOENSUU 1991

KS

METSÄNTUTKIMUSLAITOKSEN TIEDONANTOJA 398

Joensuun tutkimusasema

Metsän tilaa ja muutoksia kuvaavia puu- ja puustotunnusmalleja

Helena Mäkelä & Hannu Salminen

Joensuu 1991

SISÄLLYS

Alkusanat 4
1. Johdanto 5
1.1. Mallien luokittelu 5
1.2. Yleistietoja kirjallisuuskatsauksesta 7
1.3. Esiteltävien mallien ryhmittely ja kuvaus 11
1.4. Käytetyt merkinnät 13
2. Staattiset mallit 14
2.1. Puutason mallit 14
2.1.1. Latvus ja oksat 14
2.1.2. Kanto ja juuret 27
2.1.3. Pituus 30
2.1.4. Kapeneminen ja muotoluku 34
2.1.5. Runkokäyrä 38
2.1.6. Tilavuus 45
2.1.7. Puutavaralajit 55
2.1.8. Puuaineen tiheys ja kuivapaino 61
2.1.9. Kuori 70
2.1.10. Ikä 77
2.2. Metsikkötason mallit 78
2.2.1. Kokojakaumamallit 78
2.2.2. Keskiläpimitta ja keskipituus 85
2.2.3. Pohjapinta-ala 91
2.2.4. Muotoluku 92
2.2.5. Tilavuus 97
2.2.6. Puutavaralajit 100
2.2.7. Kuori 110
2.2.8. Siemensato 112
3. Dynaamiset mallit 116
3.1. Syntymismallit 116
3.2. Kasvumallit 123
3.2.1. Puukohtaiset mallit 123
3.2.1.1. Läpimitta 123
3.2.1.2. Pituus 139
3.2.1.3. Pohjapinta-ala 153
3.2.1.4. Tilavuus 165
3.2.2. Metsikkökohtaiset mallit 167
3.2.2.1. Keskiläpimitta 167
3.2.2.2. Keski- ja valtapituus 178
3.2.2.3. Pohjapinta-ala 194
3.2.2.4. Tilavuus 205
3.3. Kuolemismallit 243
Kirjallisuus 250

ALKUSANAT

Tähän tiedonantoon on koottu Suomessa laadittuja puu- ja puustotunnusmalleja, kasvumalleja ja kehityssarjoja. Työ kuuluu osana Suomen Akatemian rahoittamaan Metsää kuvaavat mallit -hankkeeseen, jonka yhtenä tavoitteena on kehittää metsän tilaa ja muutoksia kuvaavia malleja. Tämän kirjallisuuskatsauksen tarkoituksena on sekä helpottaa yhtälöiden käyttöä että kartoittaa olemassa olevien mallien puutteita ja samalla tuoda esille uusien mallien tarve. Kirjallisuudessa on rajoituttu suomalaisissa metsätieteellisissä sarjoissa julkaistuihin tutkimuksiin ja Helsingin ja Joensuun Yliopistoissa tehtyihin opinnäytetöihin.

Työn rahoittajan, Suomen Akatemian, lisäksi haluamme kiittää Metsäntutkimuslaitoksen Joensuun ja Rovaniemen tutkimusasemia, jotka tarjosivat erinomaiset puitteet tutkimustyölle. MML Jussi Saramäki, MML Kari T. Korhonen, MML Martti Varmola ja FK Erkki Kaila, antoivat hyödyllisiä kommentteja työn kuluessa ja kannustivat sen valmistumista. Tuija Katermaa huolehti julkaisun ennakkotarkastuksen jälkeisestä viimeistelytyöstä ja Jouni Hyvärinen toteutti kasvumallien viitetietokannan.

Tekijöistä Mäkelä on laatinut varsinaisen kirjallisuuskatsauksen. Salminen on osallistunut työn suunnitteluun, koonnut mallien luokittelua koskevat tiedot ja suunnitellut kasvumallien viitetietokannan.

Joensuussa ja Rovaniemellä, elokuussa 1991.

Helena Mäkelä

Hannu Salminen

1. JOHDANTO

1.1. Mallien luokittelu

Suomalaisia metsää kuvaavia malleja on käsitelty monissa metsäalan oppikirjoissa ja tutkimusjulkaisuissa. Yleensä on tarkasteltu mallien laadinnnan perusteita ja yleisimpiä mallityyppejä (Ilvessalo 1965, Kilkki 1982, Vuokila 1983, 1986, 1987, Kangas ym. 1990). Kasvu- ja tuotosmallien katsauksia ovat tehneet Mielikäinen (1987) ja Gustavsen (1990). Useat eri aihepiireihin keskittyvät kirjallisuuskatsaukset sivuavat myös mallien laadintaa ja käyttöä, vaikka niiden kohteena on ollut mallien lisäksi myös muut tutkimustulokset (esim. Virtanen ym. 1984).

Tieteelliset teoriat, lait ja mallit kuuluvat olellisesti tieteen käsitteisiin ja työvälineisiin. Niiniluoto (1980) määrittelee teorian semantiikan näkökulmasta kielelliseksi kokonaisuudeksi, lausejoukoksi tai lauseiden ilmaisemien ehdotusten joukoksi. Teorioita voidaan toteuttaa malleilla, jotka ovat määritelmän mukaan ei-kielellisiä, todellisten tai kuvitteellisten objektien muodostamia joukko-opillisia rakenteita (Niiniluoto 1980). Mallien ja teorian välinen raja on sumea. Jotkin teoreettiset mallit ovat hyvin lähellä teorioita ja toisaalta kaikki teoriatkin voidaan määritellä malleiksi. Selkein ero lienee siinä, että toisin kuin teoriat, mallin lauseet tiedetään yleensä epätosiksi, epätarkoiksi ja rajoitetusti sovellettaviksi.

Ekosysteemit ovat monimutkaisia järjestelmiä, jotka sisältävät paljon toisiinsa vuorovaikutuksessa olevia tekijöitä. Kimminsin (1987) mukaan perinteinen tieteen tapa ymmärtää kompleksisia kokonaisuuksia on ollut reduktio (*scientific reduction*); ilmiö kuvataan yksinkertaisten tai kausaalisten hypoteesien avulla. Näin ei kuitenkaan saada kokonaiskäsitystä systeemien toiminnasta, vaan pelkästään osittaisia kuvauksia. Toinen, vaihtoehtoinen lähetysmistapa on koota kokonaisuutta kuvaava malli, jota käytetään systeemin toiminnan tarkasteluun (Kimmins 1987). Malleja käytetään ennusteiden laadintaan, jolloin keskeistä on mallin avulla saatava loppusuorite eikä mallin laadintamenettely. Malleja voidaan tehdä myös puhtaasti heuristisista syistä tutkittavan ilmiön eri ominaisuuksein hahmottamisessa. Tällöin pääpaino on mallin kehitystyössä eikä lopputuotteessa (Kimmins 1987). Kangas ym:n (1990) mukaan metsää kuvaavilla malleilla voidaan käsitellä ja muotoilla metsänmittaustietoja sekä simuloida puiden ja metsiköiden kehitystä joko teoreettisen tai empiirisen aineiston avulla.

Ekologisia malleja voidaan luokitella usein eri perustein, joista yleisimmin käytetään mallin laatimisen tavoitetta ja mallin käyttötarkoitusta, itse mallin ilmiasua ja ominaisuuksia, mallin laadinnan tekniikkaa sekä mallin kohdetta ominaisuuksineen. Mallin laatimisen

päämäärä riippuu vallitsevasta tieteenkäsityksestä. Luonnontieteille perinteisesti tunnusomainen objektiivista kuvausta tavoitteleva tekninen ja jopa positivistinen painotus johtaa erilaiseen tutkimustapaan ja lopputulokseen kuin tulkintaprosessia ja ymmärtämistä korostava hermeneuttinen ote (Boland 1991, Kimmins 1987, Niiniluoto 1980). Mallin käyttötarkoituksena voi olla ilmiöiden kuvaaminen, ennustaminen, tulkinta, vertailu, selittäminen tai normien luominen. Ilmiasultaan malli voi olla teoreettinen tai konkreettinen. Teoreettinen malli voidaan muotoilla luonnollisella kielellä, matemaattisilla lausekkeilla sekä formaaleilla tai niihin perustuvilla kielillä, joita ovat esim. tietokoneiden ohjelmointikielet. Metsäntutkimuksessa harvinaisia konkreettisia malleja käytetään usein fysiikan ja tekniikan aloilla. Mallitettava kohde voi edustaa vaihtelevaa laajuutta ja kattavuutta sekä eri tarkastelutasoja yksityiskohtien määrän ja tarkkuuden suhteen. Malli voi kuvata muutosdynamiikkaa tai pysyviä tiloja, ja se voidaan laadia teoreettisin tai empiriisin perustein tai käyttäen molempia. Sekä vaihtoehtojen että parametrien käsittelyn perusteella mallit voidaan luokitella deterministisiin, ei-deterministisiin ja stokastisiin malleihin (Futo & Gergely 1990). Malli voi tuottaa lopputuloksena yhden tai useampia vaihtoehtoisia loppuarvoja tai loppuarvojen jakaumaa kuvaavia tunnuksia. Samoin mallin parametreilla voi olla yksi tai useampia mahdollisia arvoja.

Metsää kuvaavat mallit ovat perinteisesti olleet puuston kasvuun, ominaisuuksiin ja käsittelyyn liittyviä taulukkoja, kuvia ja yhtälöitä. Aiemmin suosittiin yleisimmin graafisia kuvaajia ja taulukkomalleja, jotka edelleen soveltuvat hyvin maastokäyttöön. Automatisoidun laskennan ja tietojenkäsittelyn yleistymisen myötä ensin erilaiset matemaattiset yhtälöt ja sittemmin tietokone-ohjelmistot ovat nousseet keskeiseen asemaan. Kailan & Saarenmaan (1990) mukaan jo 1980-luvun lopussa oli kokemusta siitä, kuinka metsäalalla tutkimuksen lopputuotteeksi painetun julkaisun rinnalle tulee tietokoneohjelma. Hepp (1988) määrittelee painetun julkaisun vain välivaiheeksi tutkimustiedon hyödyntämisessä. Tietotekniikan avulla on mahdollista rakentaa mallille erilaisia käyttöliittymiä perinteisestä taulukosta aina tietokoneanimaatioihin ja multimediaan saakka. Ulkoasu vaikuttaa aina mallin tulkintaan ja käyttöön, vaikka sen laatu ja näyttävyys ei ole välttämättä suhteessa mallin sisältämän tiedon tasoon.

Kimmins (1987) tarkastelee ajatusmalleja (*internal models*) ja konkreettiseen ilmiasuun puettuja malleja (*externally presented models*). Jälkimmäiset hän jakaa edelleen sanallisiin, fyysisiin, kuva-, vuokaavio-, graafisiin ja matemaattisiin malleihin sekä tietokoneelle ohjelmoituihin simulointimalleihin. Jeffers (1978) jakaa ekologiset mallit sanallisiin ja matemaattisiin sekä toisaalta deterministisiin ja stokastisiin. Hän lisää matemaattisille malleilla alaluokat dynaamiset, rakenne- (*compartment models*), matriisi-, monimuuttuja- ja optimointimallit. Kangas ym. (1990) jakavat teoreettiset metsää kuvaavat mallit kuvattavan

ilmiön perusteella staattisiin ja dynaamisiin, vaihtoehtojen käsittelyn perusteella stokastisiin ja deterministisiin sekä mallin edustaman tiedon luonteen perusteella vertaileviin, ennustaviin ja selittäviin malleihin. Clutter ym:n (1983) mukaan metsien tuotosmallit voidaan jakaa niiden edustamien metsänhoidollisten tapojen, mallittamisen filosofian ja matemaattisen ilmiasun perusteella. He luokittelevat kohdepopulaatiot luonnon- ja istutusmetsiin sekä edelleen tasa- ja eri-ikäisrakenteisiin metsiin. Matemaattisuuden eri tasoja edustavat taulukkomallit sekä yhtälöt ja yhtälöryhmät. Yhtälöt voivat tuottaa tuloksen suoraan pinta-alayksikköä kohti, tai pinta-alakohtainen tulos saadaan summaamalla esim. puuluokkien tai yksittäisten puiden tulokset. Yksittäisen puun kasvumallit voidaan jakaa sen perusteella, miten lähiympäristön vaikutus otetaan huomioon. Tässä merkityksessä käytetään termejä etäisyys-riippuva ja etäisyys-riippumaton malli (*distance dependent, distance independent*), jotka viittaavat lähipuiden sijaintiin ja ominaisuuksiin perustuviin algoritmeihin.

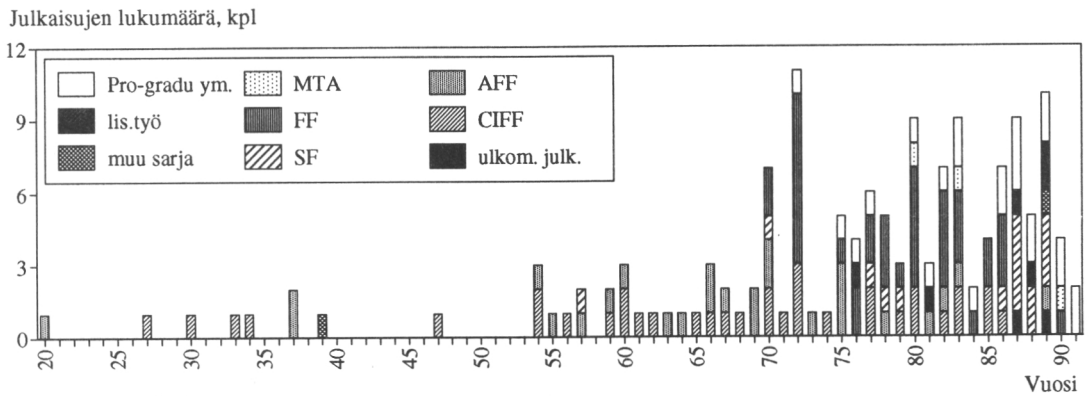
Learyn (1988) mukaan tieteen kypsyys (*maturity*) voidaan määritellä käsittelyn laajuuden, syvyyden ja esityksen selkeyden perusteella. Määrittelyä voidaan soveltaa myös ekologisten mallien edistyneisyyden arviointiin, kunhan muistetaan, että mallin hyvyys ei ole sama asia kuin Learyn (1988) käyttämä kypsyys. Mallin hyvyys punnitaan aina suhteessa sen käyttötarkoitukseen (Kimmins 1987, Newberry ym. 1988). Esimerkiksi taloudelliseen laskentaan metsikön kehitysennusteita tuottavalta mallilta vaaditaan erilaisia ominaisuuksia kuin ravinnekierron periaatteita selvittävältä molekyylitason mallilta.

Jos malli on laadittu sovittamalla matemaattinen lauseke havaintomateriaaliin esim. tilastotieteen menetelmin, analyysi tuottaa tavallisesti arvion mallin sopivuudesta laadinta-aineistoon. Mikäli on lisäksi käytettävissä riippumattomia testiaineistoja, voidaan mallin tilastollisesta hyvyyttä arvioida objektiivisesti. Usein mallin objektiivinen hyvyys todellisessa sovellustilanteessa on vaikeasti arvioitavissa. Kimmins (1987) muistuttaa, että parhaatkin ekologiset mallit ovat vain epätäydellisiä kuvauksia todellisuudesta, joten niitä on sovellettava kriittisesti. Metsää kuvaavien mallien luotettavuutta tarkastellaan useissa biometriikan ja metsänarvioinnin oppikirjoissa. Lisäksi esim. Newberry ym. (1988) ja Zuuring ym. (1988) luovat katsauksen metsien kasvumallien luotettavuuden määrittämiseen.

1.2. Yleistietoja kirjallisuuskatsauksesta

Tässä koosteessa esitellään 307 mallia tai mallikokoelmaa, jotka on poimittu 175 julkaisusta vuosilta 1920-1991. Samassa julkaisussa esitellyt mallit on käsitelty erillään, mikäli ne tarkastelevat selvästi eri ilmiöitä. Malliperheet, joissa yksittäisten mallien välillä on lieviä eroja esim. parametrien käsittelyssä tai mallitettavassa kohteessa, on käsitelty yhtenä mallina. Lähteinä käytettiin tieteellisten sarjojen lisäksi yliopistojen ja korkeakoulujen opinnäyte-

töitä. Seuraavassa tarkastelussa mallien lukumäärän perusteella tehdut luokittelut ovatkin vain suuntaa antavia.

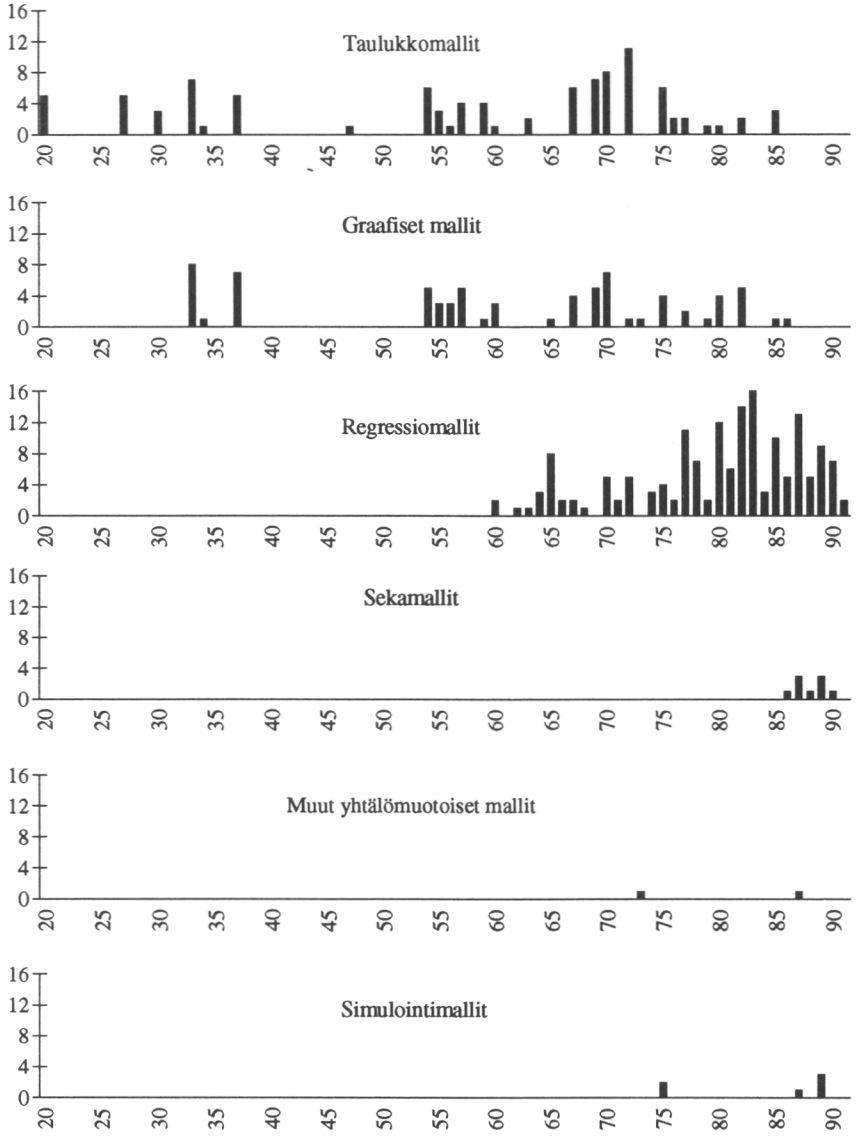


Kuva 1. Malleja koskevat julkaisut vuosina 1920-1990.

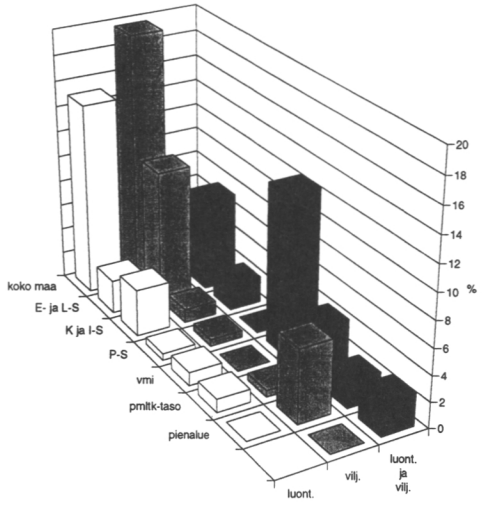


Kuva 2. Vuosina 1920-1990 julkaistujen mallien lukumäärä.

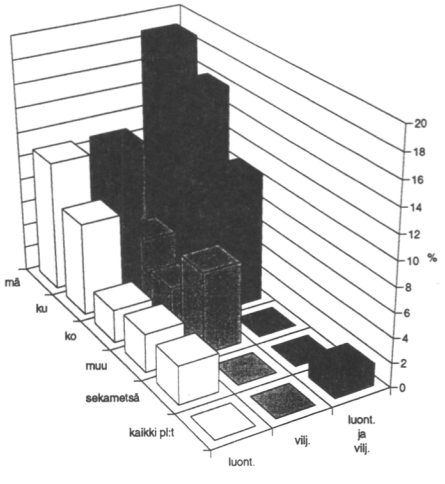
Suurin osa malleista ja julkaisuista on peräisin kahdelta viimeiseltä vuosikymmeneltä (kuvat 1 ja 2). Mallien karkea tyypittely vastaa Vuokilan (1983) kuvaamaa puuntuotostutkimuksen kehitystä taulukoista ja graafeista matemaattisiin yhtälöihin (kuva 3). Tilastotieteessä regressiomallien käyttö on monipuolistunut ja sekamallit ovat johtamassa entistä yksityiskohtaisempaan tilastollisen vaihtelun kuvaamiseen. Simulointimalleiksi on eritelty joko teoreettisiin aineistoihin perustuvat tai pelkästään simulointia varten laaditut mallit. Useita muitakin malleja voidaan käyttää simuloinnissa, joskaan se ei välttämättä ole suositeltavaa. Neuraalilaskentaa hyödyntäviä malleja ei ole vielä julkaistu, mutta menetelmä on todettu soveltuvaksi myös metsätieteisiin (ks. Saarenmaa 1991). Seuraava merkittävä uudistus etenkin mallien käytön näkökulmasta lienee jo Vuokilan (1983) kuvaama integroitu simulointijärjestelmä, jonka voitaisiin toteuttaa tekoälyn, oliopohjaisen mallintamisen ja GIS-järjestelmien avulla (vrt. Kaila & Saarenmaa 1990, Burkhart ym. 1989, Plant & Stone 1990).



Kuva 3. Vuosina 1920-1990 julkaistut mallityypit ja niiden lukumäärät.



Kuva 4. Mallien kohdealueet



Kuva 5. Mallien kohdemetsiköt.

Mallien luokittelua kohdealueen perusteella yksinkertaistettiin. Mitattuihin aineistoihin perustuvat mallit on jaettu kohdealueen laajuuden mukaan, mutta valtakunnan metsien inventoinnin aineistoihin perustuvat on erotettu omaksi ryhmäkseen (kuva 4). Monissa malleissa on käytetty samaa laadinta-aineistoa. Useimmiten mallit on laadittu erikseen luontaisesti syntyneille ja viljelyille metsille, mutta syntytapa on voitu ottaa myös yhdeksi muuttujaksi tai joissakin tapauksissa jättää huomiotta. Kuten syntytavan mukainen, myös puulajeittainen tarkastelu on epätarkka (kuva 5). Viljelymetsissä kohteina on ollut luontaisesti syntyneitä useammin taimikko tai nuori metsä. Kohta 'muu puulaji' viittaa lähinnä harmaaleppää, kontortaa ja lehtikuusta koskeviin tutkimuksiin. Kirjallisuuskatsauksen tulokset kootaan viitetietokantaan, mikä mahdollistaa mallien tarkemman ja monipuolisemman luokittelun eri tekijöiden suhteen.

1.3. Esiteltävien mallien ryhmittely ja kuvaus

Tässä julkaisussa mallit on luettavuuden takia ryhmitelty pääasiassa Kangas ym:n (1990) käyttämällä tavalla staattisiin ja dynaamisiin sekä edelleen mallituksen kohteen mukaan puutasoon ja metsikkötasoon. Kirjallisuuskatsauksen ulkopuolelle on jätetty ekologis-fysiologiset prosessimallit. Prosessimalleilla on siinä määrin yleistä luonnetta, että pelkästään kotimaisiin malleihin rajattu tarkastelu ei ole hyödyllistä. Alan kirjallisuuskatsauksia ovat koonneet esim. Schäfer ym. (1989). Myös monet kongressijulkaisut antavat hyviä viitteitä ekologisiin selitysmalleihin (esim. Jozefek 1990).

Muutosta kuvaavissa malleissa on eroteltu syntymis-, kasvu- ja kuolemismallit. Eräs tärkeä muutosta kuvaava malliryhmä, tuhomallit, on jätetty pois tästä tarkastelusta. Bioottisten ja abioottisten tuhojen vaikutuksia puustoon on tutkittu runsaasti, mutta tulokset ovat usein esitetty kvantitatiivisesti ilman tuhon esiintymistodennäköisyyttä ennustavia tai tuhon aiheuttaman kasvutappion estimoivia malleja. Lauhanen (1988) on tutkielmassaan esittänyt kirjallisuuskatsauksen perusteella kootut männyn ja kuusen tärkeimpiä hyönteis- ja sienituhoja koskevat tiedot. Tutkielmassa on myös muotoiltu tuhojen esiintymiseen vaikuttavat puusto-, kasvupaikka- ja säätekijät sekä tuhojen vaikutukset puustoon (kasvutappiot ja kuolleisuus) sanallisiksi simulointialgoritmeiksi.

Edellä esitettyjen luokitusten sisällä mallit on esitelty ikäjärjestyksessä vanhimmista alkaen. Malleja ei ole luokiteltu erikseen puulajin tai maantieteellisen sovellusalueen mukaan, koska se olisi johtanut kovin monitasoiseen ja sekavaan lopputulokseen.

Mallien esittelyssä on pyritty noudattamaan yhdenmukaista järjestystä. Tässä työssä mukana olevista tutkimuksista on kuvattu seuraavat tiedot:

1. Juokseva numero

Numerolla viitataan kohtiin, joissa tutkimusta on käsitelty jo aikaisemmin tässä työssä. Kirjallisuusluettelosta löytyvät niiden kohtien numerot, joissa kyseistä tutkimusjulkaisua on käsitelty.

2. Kirjallisuusviite

Viite sisältää tiedot tutkimuksen tekijästä (tekijöistä), tutkimuksen nimestä, julkaisusarjasta ja -vuodesta. Täydelliset kirjallisuusviitetiedot löytyvät työn lopusta kirjallisuusluettelosta.

3. Mallityyppi

Kuvataan mallien ilmiasu ja käyttötarkoitus. Tarkasteltavat mallit ovat useimmiten tyypiltään taulukko-, graafisia tai matemaattisia malleja.

4. Aineisto ja sovellusalue

Esitellään mallin laadinta-aineisto tai mainitaan viite kohtaan, jossa se on kuvattu. Mikäli alkuperäinen julkaisu ei rajoita esittelyä, käytetään seuraavia tietoja: maantieteellinen sijainti, mittausajankohta, puulaji tai puulajiosuudet, syntytapa, kasvupaikka, metsän käsittelytoimet, puiden ikä/koko ja erityispiirteet, jos sellaisia on.

5. Mallin kuvaus

Matemaattiset yhtälöt kuvataan kertoimineen. Merkinnöissä on pyritty käyttämään yleisiä

käytössä olevia tunnuksia (luku 1.4). Jos näillä symboleilla on alkuperäisissä julkaisuissa ollut poikkeava merkitys tai yksikkö, ne on esitetty yhtälöiden jälkeen. Taulukkomallien ja graafisten mallien sisällöstä esitetään vain käytetty luokitus eli tarvittavat lähtö- ja tulostiedot, mutta ei itse kuvia ja taulukkoja.

6. Mallin luotettavuus

Käsitellään yhtälöiden tilastollisia tunnuslukuja (mallin selitysaste ja jäännöshajonta) ja testauksen tuloksia. Mukana on mahdollisia huomioita mallin käytöstä ja sovellusalueesta.

1.4. Käytetyt merkinnät

Puukohtaiset:

d, $d_{1,3}$ ja d_b = kuorellinen rinnankorkeusläpimitta, cm

d_u = kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm

d_6 = yläläpimitta (6 m:n korkeudelta), cm

d_k = läpimitta kannonkorkeudella, cm

h = pituus, m

g = pohjapinta-ala, cm^3

v ja v_b = kuorellinen tilavuus, dm^3

v_u = kuoreton tilavuus, dm^3

t = ikä, a

$t_{1,3}$ = rinnankorkeusikä, a

Metsikkökohtaiset:

D = puuston keskiläpimitta, cm

H = keskipituus, m

H_{dom} = valtapituus, m

H_{100} = pituusboniteetti eli valtapituus 100 v:n iällä, m

G = pohjapinta-ala, m^2/ha

V = tilavuus, m^3/ha

T = ikä, v

$T_{1,3}$ = rinnankorkeusikä, a

LS = lämpösumma, d.d.

RL = runkoluku, kpl/ha

Tilastolliset tunnusluvut:

R^2 = selitysaste

s_e, s_f tai s_{xy} = jäännöshajonta

2. STAATTISET MALLIT

2.1. Puutason mallit

2.1.1. Latvus ja oksat

1. Heiskanen, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Acta Forestalia Fennica 80(2).

Tutkimuksen aiheena on männyn rungon laatua kuvaavien oksaisuustunnusten riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ja nuoruuden kasvusta ikäluokittain ja metsätyypeittäin.

Aineisto kerättiin Etelä-Suomen toistuvin harvennuksin käsitellyistä MT- ja VT-kankaiden männiköistä (alle 20 % muuta puulajia). Mukana oli 1982 koepuuta 87 eri metsiköstä. Aineisto jaettiin ikäluokkiin 41–60 v, 61–80 v ja 81–100 v.

Rungon jakautuminen oksaisuudeltaan eri osiin ikä- ja läpimittaluokittain kuvataan graafisesti erikseen MT:llä ja VT:llä. Eri osat olivat kyhmytön osa, oksaton osa, kuivaoksainen osa ja latvus. Vastaavat tulokset prosentteina eli latvus-, oksa- ja kyhmyrajan suhteelliset korkeudet esitetään taulukkomuodossa.

Tyvitukin suurimman oksan läpimitan (=y, cm) ja rinnankorkeusläpimitan (=d, cm) väliselle riippuvuudelle laadittiin seuraavat yhtälöt:

VT	< 60	$y = 0{,}64 + 0{,}081 \cdot d$	$r = 0{,}516$
	61–80	$y = -0{,}10 + 0{,}093 \cdot d$	$r = 0{,}630$
	81–100	$y = 0{,}42 + 0{,}044 \cdot d$	$r = 0{,}301$
MT	< 60	$y = 0{,}05 + 0{,}110 \cdot d$	$r = 0{,}540$
	61–80	$y = 0{,}33 + 0{,}071 \cdot d$	$r = 0{,}498$
	81–100	$y = 0{,}41 + 0{,}015 \cdot d$	$r = 0{,}135$

Koko sahapuuosan suurimman oksan riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta ikä- ja metsätyypeittäin esitetään myös graafisesti.

Puun nuoruuden kehitystä kuvataan vuosilustojen lukumäärällä 7,5 cm:n matkalla ytimestä lukien rungon tyvellä. Rungon oksattoman osan ja vuosilustojen lukumäärän välillä oli suoraviivainen riippuvuus, jota kuvaavat regressioyhtälöt laadittiin läpimittaluokittain ja metsätyypeittäin. Tyvitukin suurimman oksan riippuvuutta lustojen lukumäärästä kuvataan graafisesti.

Lisäksi tutkimuksessa esitetään graafisesti ja/tai taulukkomuodossa tyvitukin laadun ja tukkiosan laatuluokkien osuuksien riippuvuudet puun rinnankorkeusläpimitasta ja nuoruuden kasvusta.

2. Ilvessalo, Y. 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Acta Forestalia Fennica 81(5).

Julkaisu käsittelee Kainuun kivennäismaiden mäntyjen ja kuusien latvusten keskimääräisiä mittoja läpimittaluokittain ja metsätyypeittäin. Tulokset esitetään taulukkomalleina ja graafisesti tasoitettuina kehityskäyrinä.

Aineisto mitattiin 1930-luvun jälkipuoliskolla leveysasteiden 64–66 väliseltä alueelta, jossa terminen kasvukausi on n. 140–150 vrk ja tehoisan lämpötilan summa n. 700–800 °C. Koealat sijaitsivat moreenimailla, n. 200–300 m meren pinnan yläpuolella, mäntykoealat EVT:llä tai ECT:llä (*Empetrum-Vaccinium*-tyyppi ja *Empetrum-Calluna*-tyyppi) ja kuusikoealat VMT:llä (*Vaccinium-Myrtillus*-tyyppi). Näiden 92 koealan lisäksi mitattiin 32 täydennyskoealaa vuosina 1965–66.

Koealoilta kaadettiin n. 8 koepuuta, joista mitattiin edellisten 5- ja 10-vuotiskausien sädekasvut. Tilavuuden laskenta perustui Ilvessalon kuutioimiskäyriin (1947). Yhteensä 92 runkoanalyysipuun perusteella selvitettiin valtapuiden kehitystä. Erityisesti tarkasteltiin latvusta kuvaavia tunnuksia.

Seuraavien tunnusten keskiarvot esitetään taulukkomuodossa läpimittaluokissa 7–29 cm (luokkaväli 2 cm) ja metsätyypeillä EVT, ECT (mänty) ja VMT (kuusi): elävän latvuksen alaraja, latvuksen pituus, latvussuhde, latvuksen maksimileveys ja maksimileveyden korkeus. Puun pituudelle, latvuksen alarajalle, latvuksen pituudella ja latvussuhteelle piirrettiin kuvaajat läpimitan funktiona.

3. Hakkila, P. 1972. Coniferous branches as a raw material source. Commun. Inst. For. Fenn. 75(1).

Tutkimuksessa selvitettiin hakkuissa metsään jäävien männyn ja kuusen oksien määrää ja ominaisuuksia. Yhtälöt laadittiin askeltavan regressioanalyysin avulla.

Aineisto kerättiin vuosina 1968–1969 tasaisesti ympäri Suomea sijaitsevista uudistuskypsistä, valmiiksi leimatuista metsiköistä. Mukana oli yhteensä 240 mäntykoepuuta, jotka mitattiin 48 eri koealalta, ja 245 kuusikoepuuta 49 eri koealalta. Männyt kasvoivat pääasiassa kuivilla ja kuuset tuoreilla kankailla. Suurin osa koealoista sijaitsi mänty-kuusisekametsissä.

Paksuimman oksan läpimitta (d_b, mm) ja pituus (l_b, m):

mänty: $d_b = 11{,}4 + 0{,}995 \cdot d^2/h$	$R^2 = 80\ \%$ $s_e = 8{,}0$ mm
kuusi: $d_b = 15{,}9 + 0{,}978 \cdot d - 7{,}45 \cdot h/d$	$R^2 = 66\ \%$ $s_e = 3{,}8$ mm
mänty: $l_b = 0{,}6 + 0{,}094 \cdot d$	$R^2 = 68\ \%$ $s_e = 0{,}5$ m
kuusi: $l_b = 1{,}2 + 0{,}063 \cdot d$	$R^2 = 39\ \%$ $s_e = 0{,}4$ m

Oksan paksuus mitattiin vaakatasossa kuoren päältä oksan tyvilaajentuman ulkopuolelta, noin 5 cm:n päästä oksantyvestä. Yhtälöt kuvaavat vain keskimääräistä riippuvuutta. Kun

maaperä on rehevä ja puilla on runsaasti kasvutilaa, oksat kasvavat paksuimmiksi ja pidemmiksi.

Lisäksi tutkimuksessa laadittiin regressioyhtälöt seuraaville tunnuksille: hakkuutähteen (oksat ja latva) tuore- ja kuivapaino, hakkuutähteen tuore- ja kuivapainon osuus kuorellisen runkopuun tuore- ja kuivapainosta, neulasten kuivapaino ja oksapuun kuivapaino.

4. Hakkila, P., Laasasenaho, J. & Oittinen, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. Folia For. 147.

Julkaisu sisältää taulukot rungon kokonaispituuden, kuolleen ja elävän latvusrajan sekä latvussuhteen riippuvuudesta rinnankorkeusläpimitasta männyllä, kuusella ja koivulla. Työn tarkoituksena oli selvittää karsimistekniikan ja -koneitten kehittelyssä tarvittavia puu- ja oksatietoja.

Aineistona oli vuosina 1968–1970 pystypuitten kuutioimis- ja kuivapainotaulukoiden laatimiseksi kerätty otos VMI 5:n koealaverkostoa käyttäen. Koealoja mitattiin sekä Etelä- että Pohjois-Suomessa rajoittuen talousmetsiin. Mukana oli kaikkiaan 2327 mäntyä, 1864 kuusta ja 433 koivua.

5. Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 80(2).

Tutkimusjulkaisu sisältää lineaarisia regressiomalleja viljelymäntyjen laatua kuvaaville ulkoisille tunnuksille.

Aineisto koottiin vuosina 1968–1969 Suomen eteläosissa sijainneilta 92 eri koealalta. Mukaan hyväksyttiin vähintään ensiharvennusvaiheessa olevat istutusmänniköt, joiden käsittelyhistoria tunnettiin ja ikä oli vähintään 20 vuotta. Metsätyypeittäin koealat jakautuivat seuraavasti: 57 % VT:llä, 31 % MT:llä ja 12 % OMT:llä. Kaikkiaan tutkittiin 2760 runkoa, joista 460 oli kaatokoepuita.

Oksaisuustunnusten riippuvuus puun iästä:

$h_k = -0{,}944 + 0{,}034 \cdot a$	$R^2 = 43\ \%$	$s_e = 0{,}572$
$h_d = -1{,}412 + 0{,}048 \cdot a$	$R^2 = 36\ \%$	$s_e = 0{,}935$
$h_c = -1{,}064 + 0{,}203 \cdot a$	$R^2 = 62\ \%$	$s_e = 2{,}284$
$h = 1{,}867 + 0{,}275 \cdot a$	$R^2 = 72\ \%$	$s_e = 2{,}441$

missä h_k = kyhmyraja, dm
h_d = kuivaoksaraja, dm
h_c = latvusraja, dm
a = ikä, v

Paksuimman kuolleen oksan läpimitta (d_{bk}, mm):

$$d_{bk} = 7{,}314 + 1{,}153 \cdot d \qquad R^2 = 63\ \%$$

$$d_{bk} = 0{,}703 \cdot (d - d_6) - 0{,}184 \cdot a - 0{,}123 \cdot (h_c/h \cdot 100) + 1{,}423 \cdot d + 26{,}838 \cdot 1/h \qquad R^2 = 70\ \%$$

Paksuimman elävän oksan läpimitta (d_{be}, mm) ja pituus (l_{be}, m):

$$d_{be} = 7{,}801 + 1{,}340 \cdot d \qquad R^2 = 54\ \%$$

$$l_{be} = 0{,}696 + 0{,}092 \cdot d \qquad R^2 = 60\ \%$$

Kesäpuun osuus (kp, %):

$$kp = 0{,}539 - 82{,}013 \cdot \ln(r) \qquad R^2 = 41\ \%$$

$$kp = 0{,}155 - 355{,}517 \cdot \ln(r) - 317{,}002 \cdot 1/d_{bk} - 48{,}764 \cdot \ln(d/t) - 3934{,}092 \cdot 1/r + 0{,}070 \cdot r^2 \qquad R^2 = 45\ \%$$

missä r = luston leveys, mm

Sydänpuun osuus (sp, %):

$$sp = -55{,}508 + 19{,}514 \cdot \ln(a) \qquad R^2 = 37\ \%\ \ s_e = 8{,}81\ \%$$

Tutkimuksessa taulukoitiin myös edellä kuvattujen yhtälöiden avulla laskettuja selitettävien tunnusten läpimitta- ja ikäluokittaisia arvoja.

6. Kärkkäinen, M. & Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Folia For. 515.

Julkaisu sisältää rungon ulkoisten laatutunnusten vaihtelua nuorissa männiköissä selittäviä regressiomalleja. Yhtälöitä laadittaessa kiinnitettiin erityistä huomiota selitettävien muuttujien vaihteluun koealojen sisällä ja välillä.

Aineisto käsitti 140 istutettua ja 31 luontaisesti syntynyttä männikköä Etelä- ja Keski-Suomessa. Metsiköt sijaitsivat kivennäismaalla, kasvupaikkatyypeillä MT, VT tai CT ja olivat iältään 9–25 vuotiaita. Kultakin koealalta mitatiin 5 kaatokoepuuta.

Rungon laatua kuvaavat seuraavat yhtälöt:

$$d_{be} = 17{,}4 + 0{,}208 \cdot d - 0{,}542 \cdot A - 0{,}832 \cdot RL \qquad R^2 = 62{,}2\ \ s_r = 2{,}8\ \text{mm}$$

$$d_l = 8{,}51 + 0{,}00108 \cdot d^2 - 0{,}00402 \cdot G^2 \qquad R^2 = 62{,}2\ \ s_r = 2{,}3\ \text{mm}$$

$$d_{bk} = -9{,}0 + 0{,}231 \cdot d + 2{,}54 \cdot RL - 0{,}151 \cdot RL^2 \qquad R^2 = 82{,}2 \; s_r = 1{,}9 \text{ mm}$$

$$lenk = 6{,}9 - 4{,}40 \cdot UT - 0{,}878 \cdot RL - 0{,}279 \cdot RL \cdot VT + 1{,}28 \cdot RL \cdot UT \qquad R^2 = 15{,}5 \; s_r = 1{,}9 \text{ mm}$$

Seuraavissa malleissa puiden koko eliminoitiin ottamalla valikoivan regressioanalyysin alussa selittäviksi tekijöiksi rinnankorkeusläpimitta ja sen neliö.

$$d_{be} = 3{,}53 \cdot i_r - 0{,}115 \cdot H - 0{,}144 \cdot G \qquad R^2 = 65{,}1 \; s_r = 2{,}7 \text{ mm}$$

$$d_l = -0{,}00597 \cdot G^2 + 0{,}00720 \cdot H \qquad R^2 = 63{,}4 \; s_r = 2{,}2 \text{ mm}$$

$$d_{bk} = 2{,}71 \cdot RL - 0{,}172 \cdot RL^2 \qquad R^2 = 82{,}5 \; s_r = 1{,}9 \text{ mm}$$

$$h/d = 7{,}8 + 0{,}434 \cdot RL + 0{,}176 \cdot RL \cdot UT - 0{,}0707 \cdot d + 0{,}000372 \cdot d^2 + 0{,}00452 \cdot A^2 \qquad R^2 = 64{,}2 \; s_r = 0{,}62$$

$$h_c/h = -0{,}378 \cdot H - 0{,}316 \cdot SE_H - 0{,}615 \cdot A - 2{,}410 \cdot RL - 0{,}339 \cdot G + 2{,}880 \cdot VT \qquad R^2 = 82{,}2 \; s_r = 3{,}6 \; \%$$

$$d_c = 1{,}96 \cdot i_h - 0{,}0064 \cdot G^2 \qquad R^2 = 81{,}5 \; s_r = 1{,}9 \text{ dm}$$

Kaatokoepuuaineiston perusteella laadittiin lisäksi rungoittaiset mallit puun laatua kuvaaville tunnuksille.

$$d_{be} = 25{,}9 + 1{,}54 \cdot i_r + 0{,}0617 \cdot d^2 - 1{,}39 \cdot d \cdot UT - 2{,}73 \cdot h/d + 0{,}0901 \cdot (h/d)^2 + 1{,}86 \cdot h/d \cdot UT + 0{,}0726 \cdot i_{h5} \qquad R^2 = 61{,}8 \; s_r = 4{,}1 \text{ mm}$$

$$h_b/h = 0{,}247 + 0{,}000019 \cdot h^2 + 0{,}0127 \cdot h/d + 0{,}05714 \cdot h/d \cdot UT - 0{,}00668 \cdot h \cdot UT \qquad R^2 = 17{,}1 \; s_r = 0{,}113$$

$$h_c/h = 94{,}7 - 0{,}925 \cdot h + 0{,}00351 \cdot h^2 + 0{,}322 \cdot i_{h5} + 4{,}65 \cdot i_r + 2{,}16 \cdot d \cdot UT - 0{,}485 \cdot h/d \cdot VT - 1{,}16 \cdot h/d \cdot MT - 2{,}35 \cdot h/d \cdot UT \qquad R^2 = 55{,}6 \; s_r = 6{,}4 \; \%$$

$$lenk = 13{,}0 - 1{,}87 \cdot h/d + 0{,}0946 \cdot (h/d)^2 \qquad R^2 = 4{,}4 \; s_r = 3{,}0 \text{ cm}$$

missä:

d_{be} = paksuimman elävän oksan läpimitta, mm

d_l = paksuimman elävän oksan pituus, dm

d_{bk} =paksuimman kuivan oksan läpimitta, mm

h_b = paksuimman elävän oksan suht. sijainti rungolla
h_c = elävän latvuksen pituus, dm
d_c = latvuksen leveys, dm
lenk = lenkous 4 m:n matkalla, cm
h/d = solakkuus, dm/cm
i_r = sädekasvu vuodessa, mm
i_h = pituuskasvu vuodessa, dm
i_{h5} = pituuskasvu 5 viim. vuoden aikana, cm
H = puiden keskipituus, dm
SE_H = keskipituuden standardipoikkeama, dm
A = puuston ikä, a
UT = uudistamistapa-valemuuttuja, 0=viljelty 1=luontainen
VT = kasvupaikka-valemuuttuja; VT = 1, muuten 0
MT = kasvupaikka-valemuuttuja; MT = 1, muuten 0

Kärkkäisen ja Uusvaaran mukaan mittauskelpoisia laadun tunnuksia on vaikea löytää. Esimerkiksi kuivien oksien läpimitta ei välttämättä kuvaa puun laatua.

Malleissa vakioitiin puun koko, eli etsittiin laatua selittäviä tekijöitä samankokoisissa rungoissa. Puun kasvattajan kannalta tärkeä ikätekijää ei otettu huomioon. Samanikäiset rungot ovat kasvupaikan viljavuuden mukaan erikokoisia. Jos hitaalla kasvulla saavutetaan hyvä laatu, laatupuut ovat iäkkäämpiä kuin samankokoiset nopeakasvuiset puut.

Metsätyyppi kvalitatiivisena luokittelumuuttujana ei ole hyvä selittäjä millekkään laatutekijälle. Puuntuotantokykyä voidaan metsätyyppien sijasta kuvata suoraan jatkuvilla muuttujilla (esim. sädekasvu, pituuskasvu, ikä läpimitan vakioinnin jälkeen jne.), jotka osoittautuivatkin useissa tapauksissa metsätyyppi -valemuuttujaa paremmiksi laadun selittäjiksi.

7. Lähde, E., Nieminen, J., Etholén, K. & Suolahti, P. 1982. Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa. Folia For. 533.

Tutkimuksessa laadittiin taulukkomallit ja graafiset kuvaajat kontortamännyn latvussuhteista ja oksien paksuudesta metsätyypeittäin.

Tutkimusaineistona oli 66 tasaisesti eri puolilla Etelä-Suomea sijaitsevaa n. 50-vuotiasta kontortametsikköä, joista 34:lle etsittiin vastaavanlainen vertailumännikkö. Metsiköt oli perustettu istuttamalla ja lähes kaikkia oli käsitelty harvennushakkuin. Metsiköt edustivat metsätyyppejä OMT - CT; entisten peltomaiden katsottiin vastaavan viljavuudeltaan OMT:ä ja turvekankailla sijainneet kolme metsikköä sijoitettiin niiden ravinteisuustasoa vastaaviin metsätyyppeihin.

Aineisto kerättiin kesinä 1979 ja 1980. Jokaisesta koemetsiköistä mitattiin 5 aarin ympyräkoeala, jonka kaikki puut ja kannot luettiin. Koealalta valittiin 8–12 koepuuta tarkemmin mitattaviksi. Metsäntutkimuslaitoksen metsiköissä (8 kpl) tiedot kerättiin kestokoealoilta ja käytettiin hyväksi vuonna 1977 niillä tehdyn inventoinnin tuloksia. Kontortan tilavuus laskettiin Laasasenahon (1976) laatimilla männyn kuutioimisfunktiolla, joissa oli kolme selittävää muuttujaa ($d_{1,3}$, $d_{6,0}$ ja h). Metsiköittäiset tulokset laskettiin matemaattisen osaston

laatimalla koepuiden laskentaohjelmalla (KPL).

Kontortan ja männyn vertailuparimetsiköiden koepuiden keskimääräiset karsiutumiskorkeudet, kuolleen ja elävän latvuksen osuudet (% puun pituudesta) sekä tyviosan (0–6 m) kolmen paksuimman oksan keskipaksuudet esitetään taulukkomuodossa metsätyypeittäin (OMT–CT). Lisäksi esitetään graafisesti puiden pituuden, elävän latvuksen alarajan ja karsiutumiskorkeuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta (11–29 cm) metsätyypeillä VT, MT ja OMT sekä kolmen paksuimman oksan keskipaksuuden riippuvuus rinnankorkeusläpimitasta koko aineistossa.

8. Uusvaara, O. 1983. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 122. Metsäteknologian tutkimusosasto. Puuntutkimussuunta.

Uusvaara, O. 1985. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 130.

Julkaisuissa tarkastellaan rungon ulkoisten laatutunnusten vaihtelua viljely- ja luonnonmänniköissä lineaarisia regressiomallien avulla.

Aineisto koottiin Etelä- ja Keski-Suomessa kasvavista vanhoista viljelymänniköistä, jotka olivat suurelta osin samoja kuin Uusvaaran (1974) tutkimuksessa (kohta 5). Mukaan hyväksyttiin ainakin osittain tukkipuukokoisia, puhtaita ja tasaikäisiä viljelymetsiköitä, jotka olivat olleet säännöllisen metsänhoidollisen käsittelyn kohteena. Vertailuaineistoksi valittiin vastaavanlaisia luonnonmänniköitä, jotka tosin olivat puustoltaan heterogeenisempia.

Mukana oli yhteensä 61 koemetsikköä, joista 31 oli viljeltyjä (etupäässä kylvettyjä, 74 %) ja 30 luontaisesti syntyneitä. Nuorimmat metsiköt olivat iältään noin 35-vuotiaita. Viljelymänniköistä melkein puolet sijaitsi tuoreilla ja lehtomaisilla kankailla, kun taas luontaisesti syntyneistä noin 80 % kuivahkoilla kankailla. Viljelymänniköistä mitattiin yhteensä 630 ja luonnonmänniköistä 1810 pystykoepuuta, joista tarkempia mittauksia varten kaadettiin 165 ja 150 runkoa.

Oksaisuustunnusten riippuvuusyhtälöt viljelymänniköissä:

$h = 9{,}9864 + 2{,}0719 \cdot a \qquad r = 0{,}693$
$h_k = -19{,}406 + 0{,}4983 \cdot a \qquad r = 0{,}689$
$h_d = -27{,}895 + 0{,}7266 \cdot a \qquad r = 0{,}695$
$h_c = 24{,}365 + 1{,}5396 \cdot a \qquad r = 0{,}616$

$d_{bk} = 31{,}808 - 0{,}1265 \cdot a \qquad r = -0{,}018$
$d_{be} = 35{,}901 + 0{,}00505 \cdot a \qquad r = -0{,}009$
$d_{bk} = 4{,}2698 + 1{,}2255 \cdot d \qquad r = 0{,}469$
$d_{be} = 14{,}502 + 0{,}96424 \cdot d \qquad r = 0{,}448$

Luontaisesti syntyneissä männiköissä:

$h = 144{,}73 + 0{,}5424 \cdot a \qquad r = 0{,}307$
$h_k = -3{,}6298 + 0{,}2014 \cdot a \qquad r = 0{,}467$
$h_d = -7{,}6826 + 0{,}4711 \cdot a \qquad r = 0{,}342$
$h_c = 71{,}402 + 0{,}3571 \cdot a \qquad r = 0{,}224$

$d_{bk} = 37{,}562 - 0{,}14244 \cdot a \qquad r = -0{,}335$
$d_{be} = 37{,}529 - 0{,}02596 \cdot a \qquad r = -0{,}055$
$d_{bk} = -0{,}77168 + 1{,}2967 \cdot d \qquad r = 0{,}487$
$d_{be} = -0{,}88920 + 1{,}6765 \cdot d \qquad r = 0{,}567$

missä:

h_k = kyhmyraja, dm
h_d = kuivaoksaraja, dm
h_c = latvusraja, dm
d_{bk} = rungon paksuimman kuivan oksan läpimitta, mm
d_{be} = rungon paksuimman elävän oksan läpimitta, mm

9. Kilkki, P. 1983. Sample trees in timber volume estimation. Acta For. Fennica 182.

Männyn latvusrajan suhteellisen korkeuden ennustamiseksi laadittiin regressioyhtälöt, joiden avulla tarkasteltiin mitattujen tunnusten (d, h ja d_6) luotettavuutta latvusrajan selittäjinä.

Aineistona käytettiin Kilkin & Varmolan (1981) runkokäyräaineistoa, joka kuvataan tarkemmin kohdassa 29. Mukana oli kaikkiaan 492 mäntykoepuuta 29 eri metsikkökoealalta.

Latvusrajayhtälöt kaikille puille (492 kpl):

$$h_c/h = \exp(-1{,}151 - 0{,}001367 \cdot d + 0{,}699 \cdot h - 0{,}001107 \cdot h^2)$$

$s_e = 0{,}134 \quad s_w = 0{,}104 \quad s_b = 0{,}086 \quad R^2 = 0{,}174$

yli 8,6 m pituisille puille (426 kpl):

$$h_c/h = \exp(-0{,}1743 - 0{,}01282 \cdot d + 0{,}0000163 \cdot d^2 - 0{,}02186 \cdot h + 0{,}0009653 \cdot h^2 + 0{,}01398 \cdot d_6 - 0{,}0000242 \cdot d_6)$$

$s_e = 0{,}121 \quad s_w = 0{,}092 \quad s_b = 0{,}081 \quad R^2 = 0{,}195$

missä h_c = elävän latvuksen alaraja, m
s_w = metsiköiden sisäinen hajonta
s_b = metsiköiden välinen hajonta

11. Pukkala, T. & Kolström, T. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. Silva Fennica 21(1).

Elävää latvusrajaa ja latvuksen leveyttä ennustetaan lineaarisilla regressioyhtälöillä.

Aineisto mitattiin kolmesta luontaisesti syntyneestä suhteellisen karulla kasvupaikalla kasvavasta männiköstä, jotka sijaitsivat Pohjois-Karjalassa. Kaksi koemetsiköistä oli ensiharvennusvaiheessa, ja kolmannessa metsikössä harvennus oli tehty 6 vuotta sitten. Lisäksi mukana oli koepuutietoja kolmelta muulta koealalta. Kaikkiaan koepuita mitattiin 278 kpl. Tutkimuksessa parametrit estimoitiin koepuuaineiston perusteella ja yhtälöillä laskettiin latvuksen dimensiot lukupuille.

$$h_c = -1{,}186 - 0{,}2128 \cdot d + 0{,}8031 \cdot h$$
$$d_c = 0{,}5182 + 0{,}5182 \cdot d$$

missä h_c = elävän latvuksen alaraja, m
d_c = latvuksen leveys, m

Mallilla lasketun latvusrajan korkeusestimaatin keskivirhe oli 0,94 m ja leveysestimaatin 0,39 m.

12. Leskinen, J. 1989. Männyn ja koivun elävien ja kuolleiden oksien alkamiskorkeuden ennustaminen. Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ. Helsingin yliopisto.

Työssä laadittiin staattiset mallit männyn ja koivun kuivien ja elävien oksien alkamiskorkeuksien ennustamiseksi puun rungolla. Mainittuja tunnuksia voidaan käyttää selittäjinä puun laatua ennustavissa malleissa. Mallittamisessa käytettiin lineaarisia sekamalleja.

Aineistona oli koko Suomen kattava koealaverkosto. Mukana oli sekä kangasmaiden että turvemaiden koealoja. Myös kaikki maaluokat (metsä-, kitu- ja joutomaa) olivat mukana aineistossa.

Selitettävä muuttuja oli oksien alkamiskorkeuden ja puun pituuden välinen suhde. Mallien suhteellisille oksarajoille antaman tuloksen pysyminen arvoissa 0,0...1,0 taattiin ns. kulmamuunnoksella. Yhtälöt ovat muotoa

$$\arcsin(\sqrt{y}) = F + \varepsilon$$

missä y = oksaraja/puun pituus
$F = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_1 + ... + \beta_p \cdot X_p$
ε = virhetermi, $E(\varepsilon)=0$ ja $var(\varepsilon)=\sigma^2$
$\beta_0 ... \beta_p$ = mallin parametrit ja
$X_1 ... X_p$ = mallin selittäjät.

10. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Kuusen sekä hies- ja rauduskoivun latvussuhteita kuvataan regressioyhtälöillä. Tutkimuksen varsinaisena tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden rakennetta ja kehitystä.

Aineisto käsitti vuosina 1980–1981 mitatut 68 kuusi-koivusekametsikköä Kuopio-Seinäjoki -linjan (63°N) eteläpuolella. Metsiköt olivat kahta lukuunottamatta syntyneet luontaisesti ja ne sijaitsivat kivennäismaan viljavilla kasvupaikoilla. Suurin osa metsiköistä oli 20–80 vuotiaita ja runsaspuustoisia (150–300 m^3/ha). Koivun osuus vaihteli 20–60 % puuston pohjapinta-alasta. Metsiköt olivat hoidettuja eli niitä oli käsitelty harvennushakkuin.

Yhtälöt perustuvat pystymitattuihin koepuihin, joista 815 oli kuusia, 495 rauduskoivuja ja 414 hieskoivuja. Yhtälöiden vakiotermeihin on lisätty logaritmimuunnoksesta aiheutuvan harhan korjaustekijä ($s^2/2$).

Latvussuhdemallit:

Kuusi:

$$\ln(cr) = 5{,}157 + 0{,}1254 \cdot \ln(d) - 0{,}1811 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}1344 \cdot h/d - 0{,}2192 \cdot \ln(G) + 0{,}09184 \cdot \ln(B\text{–}\%) \quad R^2 = 0{,}31 \quad s_e = 14{,}3\ \%$$

$$\ln(cr) = 4{,}965 + 0{,}1494 \cdot \ln(d) - 0{,}2403 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}1828 \cdot h/d \quad R^2 = 0{,}23 \quad s_e = 14{,}6\ \%$$

Rauduskoivu:

$$\ln(cr) = 5{,}332 + 0{,}2702 \cdot \ln(d) - 0{,}3404 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}2521 \cdot \ln(G) \quad R^2 = 0{,}47 \quad s_e = 14{,}2\ \%$$

$$\ln(cr) = 4{,}706 + 0{,}2874 \cdot \ln(d) - 0{,}4084 \cdot \ln(t_{1,3}) \quad R^2 = 0{,}42 \quad s_e = 14{,}9\ \%$$

Hieskoivu:

$$\ln(cr) = 6{,}573 + 0{,}2431 \cdot \ln(d) - 0{,}2353 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}7169 \cdot \ln(G) \quad R^2 = 0{,}62 \quad s_e = 16{,}9\ \%$$

$$\ln(cr) = 4{,}673 + 0{,}3508 \cdot \ln(d) - 0{,}4308 \cdot \ln(t_{1,3}) \quad R^2 = 0{,}19 \quad s_e = 25{,}0\ \%$$

missä:

cr = latvuksen osuus puun pituudesta (latvussuhde), %
B–% = koivun osuus puuston pohjapinta-alasta, %

Yhtälöt laadittiin puittain eikä metsiköittäin, mistä syystä ne soveltuvat latvussuhteen iänmukaisen kehityksen yleiseen tarkasteluun, mutta eivät erikokoisten puiden vertailuun samassa metsikössä.

Todellisen oksarajan ja puun pituuden välisen suhteen selville saamiseksi on mallien antamille arvoille tehtävä muunnos alkuperäiseen asteikkoon. Taylorin kaavan avulla voidaan selitettävälle muuttujalle laskea muunnosvirheen huomioon ottava odotusarvo. Siten esimerkiksi

$$E(y) = \sin(F)^2 + \cos(2 \cdot F) \cdot \sigma^2$$

Missä takaisinmuunnoksen korjaustermin, $\cos(2 \cdot F) \cdot \sigma^2$, suuruus ja merkki riippuvat mallin antamista arvoista.

Männyn elävä latvusraja:

$$\begin{aligned}\arcsin(\sqrt{\text{elävä/h}}) = {} & +0{,}683375 - 0{,}095775 \cdot i_d + 0{,}004862 \cdot i_d^2 \\ & + 0{,}005386 \cdot G + 0{,}022246 \cdot ETS + 0{,}023309 \cdot B2 \\ & - 0{,}019413 \cdot B4 - 0{,}019505 \cdot B5 - 0{,}064177 \cdot B6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\arcsin(\sqrt{\text{elävä/h}}) = {} & +0{,}371294 - 0{,}004133 \cdot d + 0{,}032532 \cdot A \\ & - 0{,}000850 \cdot A^2 + 0{,}005125 \cdot G + 0{,}019249 \cdot ETS \\ & + 0{,}013663 \cdot B2 - 0{,}006181 \cdot B4 + 0{,}019945 \cdot B5 \\ & - 0{,}042742 \cdot B6\end{aligned}$$

Männyn kuollut latvusraja:

$$\begin{aligned}\arcsin(\sqrt{\text{kuiva/h}}) = {} & +2{,}420237 - 0{,}00846 \cdot d + 0{,}038002 \cdot A \\ & - 0{,}001091 \cdot A^2 - 0{,}037985 \cdot Y^2 - 0{,}002840 \cdot ETS^2 \\ & + 0{,}065584 \cdot X - 0{,}008451 \cdot X^2 - 0{,}002330 \cdot G \\ & - 0{,}023076 \cdot B2 - 0{,}017106 \cdot B4 - 0{,}025323 \cdot B5 \\ & - 0{,}125273 \cdot B6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\arcsin(\sqrt{\text{kuiva/h}}) = {} & +2{,}381514 + 0{,}003854 \cdot 100 \cdot \text{elävä/h} \\ & + 0{,}000711 \cdot d + 0{,}026285 \cdot A - 0{,}000780 \cdot A^2 \\ & - 0{,}038177 \cdot Y^2 - 0{,}003209 \cdot ETS^2 + 0{,}053712 \cdot X \\ & - 0{,}007159 \cdot X^2 - 0{,}004269 \cdot G - 0{,}027043 \cdot B2 \\ & - 0{,}015176 \cdot B4 - 0{,}033219 \cdot B5 - 0{,}108663 \cdot B6\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\arcsin(\sqrt{\text{kuiva/h}}) = {} & +2{,}803592 - 0{,}081372 \cdot i_d + 0{,}004723 \cdot i_d^2 \\ & + 0{,}022060 \cdot A - 0{,}000693 \cdot A^2 - 0{,}040466 \cdot Y^2 \\ & - 0{,}002765 \cdot ETS^2 + 0{,}071000 \cdot X - 0{,}008896 \cdot X^2 \\ & - 0{,}002218 \cdot G - 0{,}004229 \cdot B2 - 0{,}034408 \cdot B4 \\ & - 0{,}079012 \cdot B5 - 0{,}160909 \cdot B6\end{aligned}$$

Vastaavat mallit koivulle:

$$\begin{aligned}\arcsin(\sqrt{\text{elävä/h}}) = {} & +0{,}586030 - 0{,}005397 \cdot d + 0{,}025645 \cdot hies \\ & + 0{,}021737 \cdot A - 0{,}001090 \cdot A^2 + 0{,}006211 \cdot G \\ & + 0{,}016326 \cdot B2 + 0{,}045271 \cdot B4\end{aligned}$$

$$\arcsin(\sqrt{kuiva/h}) = +0{,}202679 + 0{,}000778 \cdot d + 0{,}006660 \cdot 100 \cdot elävä/h + 0{,}004530 \cdot A - 0{,}002407 \cdot G$$

missä:

elävä= vihreän latvuksen alkamiskorkeus, m
kuiva= alimman kuivan oksan korkeus, m
i_d = puun rinnankorkeusläpimitan keskimääräinen kasvu kuorineen vuodessa, mm
ETS = lämpösumma, dd/100
B = kasvupaikkaa kuvaava valemuuttuja
B2 = kasvupaikkatyypit 1 ja 2 (lehdot ja lehtomaiset kankaat sekä niitä vastaavat suotyypit)
B4 = männyllä kasvupaikkatyyppi 4 (kuivahko kangas ja vastaavat suot), koivulla tyypit 4...8
B5 = kasvupaikkatyypi 5 (kuivakangas ja vastaavat suot)
B6 = kasvupaikkatyypit 6, 7 ja 8 (karukkokankaat, kalliot, hietikot, laki- ja tunturimetsät sekä vastaavat suot)
A = metsikön rinnankorkeusikä, v/10
X = koealan itäkoordinaatti yhtenäiskoordinaatistossa, 10 km
Y = koealan pohjoiskoordinaatti yhtenäiskoordinaatistossa, 10 km
hies = hieskoivu valemuuttuja

Mallien testaamiseen käytettiin VMI 8:n koepuukoealoja yhdeksän eteläisimmän metsälautakunnan alueelta. Testiaineisto sisälsi vain metsämaan koealat. Malleille laskettiin luotettavuustunnuksia sekä laadinta-aineiston että testiaineiston perusteella. Seuraavassa asetelmassa on mallien harhat ja keskineliövirheet (RMSE) takaisinmuunnetussa skaalassa sekä laadinta- että testiaineistossa.

malli	virhe*100		RMSE*100	
	laadinta-aineisto	testiaineisto	laadinta-aineisto	testiaineisto
1	–0,358	–1,117	9,990	11,816
2	–0,445	–3,175	10,998	13,302
3	–0,136	0,858	10,048	9,126
4	–0,042	1,461	12,761	9,017
5	0,496	2,210	9,673	8,636
6	–0,037	2,491	8,889	8,863
7	–3,367	–6,499	11,396	14,611

Keskineliövirheen osuus selitettävän muuttujan todellisesta keskiarvosta vaihteli elävän latvuksen alkamiskorkeuden malleissa 22–29 % ja kuivien oksien alkamiskorkeuden malleissa 44–64 %. Koivun malleissa harhat olivat noin 3 %, ja keskineliövirheen osuudet todellisista keskiarvoista olivat 28 % ja 63 %. Luotettavuus parani kalibroitaessa malleja koealoittain koepuilla.

13. Koivuniemi, J. 1989. Elävän latvuksen alarajan korkeus ja puuston latvusraja-pohjapinta-ala lehtomaisten kankaiden kuusikoissa. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin Yliopisto.

Tutkielma sisältää lineaarisia regressioyhtälöitä kuusen latvusrajan korkeuden ja puutunnusten väliselle riippuvuudelle.

Mukana oli kaksi erillistä aineistoa: Helsingin Yliopiston Siuntiossa sijaitsevalta Suitian opetus- ja koetilalta mitattu varttunut kuusikko ja Metsäntutkimuslaitoksen vuonna 1962 perustamat, Heinolan lähellä sijaitsevat Nynäsin kuusikkokoealat.

Suitian koealue (2,14 ha) oli lehtomaista kangasta ja lähes puhdasta kuusikkoa (90 % tilavuudesta). Mittausvuosina 1982 ja 1986 puuston pohjapinta-alat olivat 23,1 ja 27,6 m^2/ha ja tilavuudet 169,3 ja 233,7 m^3/ha. Metsikkö oli harvennettu kaksi talvea ennen 1. mittausta. Mittaukset tehtiin relaskooppikoealoilla ja koepuutietojen perusteella laskettiin metsikön kaikille puille molempien mittaushetkien pituus (Näslundin yhtälöllä), tilavuus ja rungon vaipan ala (Laasasenahon (1982) runkokäyräfunktioihin perustuvalla ohjelmistolla).

Nynäsin koealat oli perustettu eri asteisin harvennuksin käsiteltyjen istutuskuusikoiden kehityksen ja kasvun tutkimiseksi. Koealat (32 kpl) sijaitsivat viidessä ravinteisuudeltaan erilaisessa MT:n tai OMT:n metsikössä. Kuuset oli istutettu vuosina 1926–1936 koivuverhopuuston alle n. 3100 kpl/ha tiheyteen. Kokeet käsittivät 4 eri harvennusohjelmaa: harventamaton, lievä (hakkuupoistuma 10 % pohjapinta- alasta), voimakas (25 %) ja erittäin voimakas (40 %) harvennus. Kokeiden perustamisen jälkeen porrastus pyrittiin säilyttämään samana. Seurantajakson aikana (1962–1988) koealat oli mitattu kuusi kertaa.

Kuusen latvusrajan korkeutta ja latvussuhdetta kuvaavat yhtälöt Suitian aineiston perusteella:
Kuuset 1982 (N = 313 kpl):

$$hcb = 1{,}95195371 + 1{,}4932052 \cdot DI \qquad s_e = 1{,}308$$

$$cr = 0{,}83509632 - 0{,}0054028 \cdot DI - 0{,}0457765 \cdot DI^2 \qquad s_e = 0{,}080$$

Kuuset 1986 (N = 405):

$$hcb = 3{,}11078287 + 1{,}51688912 \cdot DI \qquad s_e = 1{,}608$$

$$cr = 0{,}78957299 - 0{,}0450668 \cdot DI - 0{,}0198637 \cdot DI^2 \qquad s_e = 0{,}101$$

missä: hcb = elävän latvuksen alarajan korkeus, m
cr = (h–hcb)/h = latvussuhde
DI = puun kasvutilaa kuvaava pistetiheys; DI = a_{yi}/a_i
a_{yi} = puun i kasvutilan kanssa päällekkäin osuvat naapuripuiden kasvutilat
$a_i = A/(\Sigma ma_i) \cdot ma_i$, puun i kasvutilan pinta-ala
A = metsikön pinta-ala
ma_i = puun i rungon vaipan ala

Rungon vaipan alan estimoimiseksi laadittiin seuraavat yhtälöt:

Kuuset 1982 (N = 345 kpl):

$$\ln(ma) = -4{,}29937 + 2{,}43376 \cdot \ln(d_{1,3}) - 0{,}05612 \cdot d_{1,3} \qquad s_e = 0{,}130$$

Kuuset 1986 (N = 442 kpl):

$$\ln(ma) = -4{,}39711 + 2{,}49469 \cdot \ln(d_{1,3}) - 0{,}05444 \cdot d_{1,3} \qquad s_e = 0{,}122$$

Yhtälöiden vakiotermeihin on lisättävä logaritmimuunnoksesta johtuvan harhan korjaustermi $s_e^2/2$.

Nynäsin aineistosta laskettiin jokaiselle koealalle kunkin koealan koepuutiedoista kunkin mittaushetken pituuskäyrä ja latvusrajan korkeuskäyrä. Yhtälöt regressiokertoimineen on esitetty tutkielman liitteessä. Vuosien 1962 ja 1988 käyrät on esitetty graafisesti metsiköittäin ja koealasarjoittain (eri käsittelyasteet). Koealoittaisten latvusrajan korkeutta kuvaavien regressioyhtälöiden jäännöshajonnat vaihtelivat vuonna 1962 välillä 0,530–1,158 ja vuonna 1988 välillä 1,148–2,462 metriä.

Lisäksi työssä esitetään latvuspohjapinta-alan (m^2/ha) kehityskäyrät mittausjakson aikana (1962–1988) Nynäsin koemetsikössä 5 koealasarjoittain eli käsittelytavoittain.

2.1.2. Kanto ja juuret

14. Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta. Folia For. 233.

Kantoläpimitan ja rinnankorkeusläpimitan välinen riippuvuus kuvataan regressioyhtälöllä. Tutkimuksessa tarkastellaan kannon korkeuden vaikutusta hakkuussa korjattavaan puumäärään.

Aineistona olivat ympäri Suomea mitatut VMI-koepuut, mäntyjä yhteensä 2327, kuusia 1863 ja koivuja 864 kappaletta. Samaa aineistoa käytetiin Laasasenahon & Sevolan aikaisemmassa (1971) tutkimuksessa (kohta 38). Kantoläpimitan malli on muotoa:

$$d_k = 2{,}0 + 1{,}25 \cdot d_{1,3}$$

Vaikka läpimittojen välinen riippuvuus oli samanlainen kaikilla puulajeilla, kannon korkeuden eli ylimmän katkaisua haittaavan juurenniskan korkeuden ja rinnankorkeusläpimitan väliset riippuvuudet vaihtelivat puulajeittain (julkaisussa tulokset esitetään graafisesti). Kannon korkeuteen vaikuttaa puulajin ja puun koon lisäksi myös kasvupaikka; esimerkiksi kuusen kannon korkeus on turvemailla yleensä suurempi kuin kivennäismailla.

15. Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108.

Kannonkorkeus eli ylimmän kaatoa haittaavan juurenniskan korkeus ennustetaan regressioyhtälöillä. Kannon korkeudet tarvittiin rungon tilavuuden laskemiseksi runkokäyrien avulla.

Aineistona käytettiin noin sadalta VMI-koealalta vuosina 1968–1972 mitattuja koepuutietoja. Perusjoukkona olivat kaikki Suomen männyt, kuuset ja koivut.

Kannonkorkeusyhtälöt:

mänty: $h_r = 0{,}4456 \cdot d_{1,3} + 0{,}0952 \cdot h$ $\quad s_r = 68\ \%$
kuusi: $h_r = 0{,}5089 \cdot d_{1,3} + 0{,}5600 \cdot h$ $\quad s_r = 38\ \%$
koivu: $h_r = 0{,}4862 \cdot d_{1,3} + 0{,}4979 \cdot h$ $\quad s_r = 44\ \%$

Männyllä ylin kaatoa haittaava juurenniska oli keskimäärin 0,75 %:n suhteellisella korkeudella, mutta hajonta oli suurta, mikä selittää kannonkorkeusyhtälön suuren keskivirheen. Kuusella ylin juurenniska oli keskimäärin 1,22 %:n ja koivulla 1,01 %:n korkeudella.

Käytännössä varsinkin pienillä puilla kaato kuitenkin tehdään juurenniskan yläpuolelta, vähintään 10 cm:n korkeudelta maasta. Kun tilavuuksien laskennassa käytettiin laadituilla yhtälöillä saatua kannonkorkeutta (tai 10 cm, jos ennuste oli pienempi), tilavuuden keskivirheen hajonta lisääntyi alle 0,1 %. Joissakin pituusluokissa systemaattinen virhe kuitenkin kasvoi jopa 0,5 %.

16. Werren, M. 1983. Some single tree models for larch. Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ. Helsingin Yliopisto.

Tutkielmassa eritellään lehtikuusen rinnankorkeusläpimitan estimoiva tulomuotoinen regressiomalli kantojen perusteella tapahtuvaa poistuman arviointia varten.

Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosasto mittautti laadinta-aineistona olevat koepuut vuonna 1981 ympäri Suomen olevista tasaikäisistä lehtikuusikoista. Koepuita oli yhteensä 1437, ja ne oli mitattu 124 eri metsiköstä. Metsiköt olivat yli 40 vuotiaita ja suurin osa sijaitsi OMT:llä, MT:llä tai niitä vastaavilla kasvupaikkatyypeillä. Mukana oli 103 *Larix sibirica*, 12 *L. decidua* (=*L. europea*) ja 9 *L. gmelinii* metsikköä. Näiden lisäksi aineistoon poimittiin Vuokilan (1960a) Etelä-Suomessa keräämistä aineistoista 25–40 vuotiaiden *L. sibirica*-koepuiden mittaustietoja (153 puuta).

Läpimittayhtälö:

$$d_{1,3} = \exp(-0{,}2998 + 1{,}00908 \cdot \ln(d_s) + 0{,}01498 \cdot dat + 0{,}00195)$$

missä d_s = kannonkorkeusläpimitta (juuren niskan korkeudella), cm
dat = 1, jos kyseessä on Vuokilan aineisto, muuten 0.

Viimeinen termi eksponentissa on takaisinmuunnoksen takia tehtävä tasokorjaus ($s_e^2/2$).

Yhtälön on jäännöshajonta s_y = 0,0624 cm (6,25 %) ja selitysaste R_2 = 0,9679.

Teoriassa rinnan- ja kannonkorkeusläpimitan välinen suhde ei ole logaritminen, sillä käyrä ei kulje origon kautta. Laadinta-aineistoon tulomuotoinen malli kuitenkin sopi tekijän mukaan paremmin kuin yleensä vastaavissa tapauksissa käytetty lineaarinen malli.

17. Varmola, M. 1989. Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli. Silva Fenn. 23(4).

Kantoläpimitta kuvataan rinnankorkeusläpimitan funktiona regressiomallin avulla.

Aineisto kerättiin piirimetsälautakunnittain kehityskelpoisista, vakiintuneista, valtapituudeltaan yli 5 metrisistä, ensiharvennusta lähestyvistä viljelymänniköistä (ks. Varmola, 1980). Neljä pohjoisinta metsälautakuntaa jätettiin pois aineistosta. Mallien laadinnassa oli mukana yhteensä 296 mäntykoepuuta, jotka oli mitattu kaikki eri koealoilta ja luokiteltu silmävaraisesti koealan keskuspuiksi eli todennäköisesti päätehakkuuseen asti säilyviksi puiksi. Kasvupaikat käsittivät kuivahkot, tuoreet ja lehtomaiset kankaat. Taimikoiden tiheys vaihteli 300–3000 runkoa/ha.

Kantoläpimitat mitattiin koepuista 10 %:n korkeudelta, joka oli keskimäärin 6,7 cm maanpinnan yläpuolella. Laadittu malli on muotoa:

$$d_{0,01h} = 1,70 + 1,167 \cdot d_{1,3}$$

Kuten aikaisemmassa tutkimuksessa (Varmola 1980) männyn istutustaimien tyvilaajentuma havaittiin vähäisemmäksi kuin VMI:n yhteydessä mitatuilla puilla (Laasasenaho 1975).

18. Henttonen, H. 1989. Kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvun vaihtelu Etelä-Suomessa. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Helsingin Yliopisto.

Kannonkorkeuden estimoimiseksi laadittiin regressiomallit, joiden avulla varsinaisen tutkimusaineiston puustotiedot saatiin yhdenmukaisiksi. VMI 5:n aineistossa rinnankorkeusläpimitan mittauksen lähtöpiste oli kannonkorkeus ja muussa aineistossa puun syntypiste eli yleensä maanpinnan taso. VMI 5:n puille kannonkorkeudet estimoitiin laadittujen mallien avulla.

Parametrit estimoitiin Laasasenahon (1982) keräämässä aineistossa, josta poimittiin lehtojen, lehtomaisten ja tuoreiden kankaiden koepuut ilmastovyöhykkeillä 5 ja 6 (kasvukauden pituus 160–170 vrk, Kokkola-Joensuu -linjan eteläpuoli lounaisrannikkoa lukuunottamatta).

Kannonkorkeusyhtälöt:

Mänty: $h_k = -0,03389 + 0,007319 \cdot d - 0,00008001 \cdot d^2 + 0,002762 \cdot h$
$+ 0,001275 \cdot (d_k - d) - 0,0003258 \cdot (d_k - d)^2$

s_k = 0,0347 m $\quad$ s_p = 0,0413 m

Kuusi: $h_k = 0{,}008149 + 0{,}00405 \cdot d + 0{,}00003982 \cdot d^2 + 0{,}007106 \cdot h$
$- 0{,}002452 \cdot (d_k - d) - 0{,}0002008 \cdot (d_k - d)^2$

$s_k = 0{,}0346$ m $\quad s_p = 0{,}0464$ m

Lehtipuut: $h_k = 0{,}01173 + 0{,}01527 \cdot d - 0{,}000202 \cdot d^2 + 0{,}001331 \cdot h$
$- 0{,}01128 \cdot (d_k - d) + 0{,}0001653 \cdot (d_k - d)^2$

$s_k = 0{,}0362$ m $\quad s_p = 0{,}0374$ m

missä h_k = juurenniskan korkeus, m
d_k = kuorellinen läpimitta juurenniskan korkeudella, cm
d = kuorellinen läpimitta 1,3 m:n korkeudella juurenniskasta, cm
h = puun pituus maanpinnan tasosta, m
s_k = koealojen välinen hajonta
s_p = puiden välinen hajonta

2.1.3. Pituus

19. Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Folia For. 451.

Julkaisussa esitetään regressiomalli, jonka avulla voidaan estimoida istutusmäntyjen pituus.

Aineisto kerättiin piirimetsälautakunnittain kehityskelpoisista, vakiintuneista, valtapituudeltaan yli 5 metrisistä, ensiharvennusta lähestyvistä viljelymänniköistä. Uudistamisen takaraja vaihteli Etelä-Suomesta Pohjois-Suomeen vuodesta 1965 vuoteen 1960. Pituusmallin laadinnassa oli mukana yhteensä 467 mäntyä, jotka oli mitattu kaikki eri koealoilta ja luokiteltu silmävaraisesti koealan keskuspuiksi eli todennäköisesti päätehakkuuseen asti säilyviksi puiksi. Puolet männyistä kasvoi VT:llä, 41 % MT:llä ja 10 % OMT:llä.

Pituusmalli:

$$h = -1{,}5354 + 0{,}29666 \cdot d + 0{,}0043233 \cdot d^2 + 0{,}22383 \cdot TIH + 1{,}3372 \cdot BON$$
$$R^2 = 0{,}5874$$

Missä TIH = tiheys, lkm/ha
BON = boniteetti-indeksi Hägglundin (1976) mukaan

Selittävistä muuttujista taimikon tiheys oli merkittävin pituuteen vaikuttava tekijä. Varmolan muistuttaa, että laajoista aineistosta laaditut pituusmallit (esim. Laasasenaho 1976) eivät välttämättä sovi istutusmännyille, jotka muodostavat kapean populaation iän ja kasvupaikan suhteen.

20. Kilkki, P. 1983. Sample trees in timber volume estimation. Acta For. Fennica 182.

Männyn pituuden ennustamiseksi laadittiin regressioyhtälöitä, joiden avulla tarkasteltiin mitattujen tunnusten (d, h ja d_6) luotettavuutta selittäjinä.

Aineistona käytettiin Kilkin ja Varmolan (1981) runkokäyräaineistoa, joka kuvataan tarkemmin kohdassa 29. Mukana oli kaikkiaan 492 mäntykoepuuta 29 eri metsikkökoealalta.

Pituusyhtälöt kaikille puille:

$$h = \exp(1{,}533 + 0{,}007308 \cdot d - 0{,}000007816 \cdot d^2)$$

$$s_e = 3{,}7 \quad s_w = 2{,}5 \quad s_b = 2{,}8 \quad R^2 = 0{,}712$$

$$h = \exp(0{,}7973 + 0{,}00664 \cdot d - 0{,}000006853 \cdot d^2 + 2{,}755 \cdot (h_c/h) - 2{,}086 \cdot (h_c/h)^2)$$

$$s_e = 3{,}3 \quad s_w = 2{,}2 \quad s_b = 2{,}5 \quad R^2 = 0{,}759$$

Pituusyhtälöt yli 8,6 m:lle puille:

$$h = \exp(2{,}093 + 0{,}003732 \cdot d - 0{,}000002606 \cdot d^2)$$

$$s_e = 3{,}5 \quad s_w = 2{,}3 \quad s_b = 2{,}8 \quad R^2 = 0{,}595$$

$$h = \exp(1{,}374 + 0{,}003827 \cdot d - 0{,}000002741 \cdot d^2) + 2{,}251 \cdot (h_c/h) - 1{,}652 \cdot (h_c/h)^2)$$

$$s_e = 3{,}3 \quad s_w = 2{,}2 \quad s_b = 2{,}5 \quad R^2 = 0{,}656$$

$$h = \exp(2{,}334 - 0{,}008359 \cdot d + 0{,}000005970 \cdot d^2) + 0{,}01356 \cdot d_6 - 0{,}00001108 \cdot d_6^2)$$

$$s_e = 2{,}4 \quad s_w = 1{,}9 \quad s_b = 1{,}4 \quad R^2 = 0{,}829$$

$$h = \exp(2{,}115 - 0{,}007286 \cdot d + 0{,}000004763 \cdot d^2) + 0{,}01239 \cdot d_6 - 0{,}000009458 \cdot d_6^2) + 0{,}612 \cdot (h_c/h) - 0{,}4392 \cdot (h_c/h)^2)$$

$$s_e = 2{,}3 \quad s_w = 1{,}9 \quad s_b = 1{,}4 \quad R^2 = 0{,}833$$

21. Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle. Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ. Helsingin Yliopisto.

Tutkielmassa laadittiin pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle (hies- ja rauduskoivulle erikseen) kivennäis- ja turvemaille erikseen. Erilaisia sovellustilanteita varten kehitettiin kahdentasoisia malleja (laajat ja suppeat), joissa selittävien muuttujien lukumäärä vaihteli. Mallituksessa käytettiin lineaarista regressioanalyysiä.

Aineistona oli otos VMI 7:n 18 eteläisimmän metsälautakunnan alueiden relaskooppikoealoilta mitatuista koepuista. Mukaan hyväksyttiin vallitsevaan jaksoon kuuluvat terveet koepuut. Laadinta-aineiston ulkopuolelle jääneistä koepuukoealoista muodostettiin testiaineisto.

Pituusmallit ovat muodoltaan puolilogaritmisia:

$$h - 1{,}3 = \exp(b_0 + b_1 \cdot x_1 + ... + b_p \cdot x_p + e)$$

Linearisoidussa mallissa selitettävänä muuttujana on ln(h – 1,3), jolloin takaisinmuunnoksessa on käytettävä korjaustekijää $s_e^2/2$. Seuraavassa on esitetty yhtälöiden jäännöshajonnan (s_e) lisäksi absoluuttinen ja suhteellinen jäännöshajonta (s_{eh}) takaisinmuunnoksen jälkeen.

Kivennäismaiden laajat pituusmallit:
Mänty:

$$\ln(h - 1{,}3) = 0{,}310770E{+}01 - 0{,}184669E{+}02 \cdot 1/(d+5) - 0{,}208014E{+}02 \cdot 1/ika + 0{,}927384E{-}02 \cdot ppa - 0{,}139270E{+}00 \cdot d/D + 0{,}166004E{+}03 \cdot 1/LS - 0{,}122785E{+}05 \cdot 1/LS^2 + 0{,}443761E{-}02 \cdot kmy + 0{,}798770E{-}02 \cdot lmk - 0{,}474632E{-}01 \cdot khk - 0{,}117699E{+}00 \cdot kk - 0{,}201090E{+}00 \cdot krk$$

$R^2 = 0{,}9326$ $s_e = 0{,}144925$ $s_{eh} = 1{,}81$ m $s_{eh} = 11{,}9$ %

Kuusi:

$$\ln(h - 1{,}3) = 0{,}328747E{+}01 - 0{,}278738E{+}02 \cdot 1/(d+5) + 0{,}196503E{+}02 \cdot 1/(d+5)^2 + 0{,}596058E{-}03 \cdot ika + 0{,}758229E{-}02 \cdot ppa - 0{,}145859E{+}00 \cdot d/D + 0{,}397640E{-}02 \cdot LS - 0{,}200392E{-}02 \cdot kmy - 0{,}130070E{-}01 \cdot lmk - 0{,}544321E{-}01 \cdot khk$$

$R^2 = 0{,}9150$ $s_e = 0{,}137671$ $s_{eh} = 1{,}78$ m $s_{eh} = 10{,}9$ %

Rauduskoivu:

$$\ln(h - 1{,}3) = 0{,}924547E{-}01 - 0{,}159087E{+}02 \cdot 1/(d+5) - 0{,}161394E{+}02 \cdot 1/(d+5)^2 + 0{,}236413E{-}02 \cdot ika + 0{,}152315E{-}01 \cdot ppa - 0{,}157243E{-}03 \cdot ppa^2 - 0{,}752347E{-}01 \cdot d/D + 0{,}424791E{-}01 \cdot LS$$

$$-0{,}145416E{-}03 \cdot LS^2 + 0{,}979270E{-}02 \cdot kmy$$
$$+0{,}245652E{-}01 \cdot lmk - 0{,}656305E{-}01 \cdot khk$$

$R^2 = 0{,}9387 \quad s_e = 0{,}135363 \quad s_{eh} = 2{,}03\ m \quad s_{eh} = 11{,}1\ \%$

Hieskoivu:

$$\ln(h - 1{,}3) = 0{,}234571E{+}01 - 0{,}154407E{+}02 \cdot 1/(d+5)$$
$$- 0{,}723954E{+}01 \cdot 1/(d+5)^2 - 0{,}108662E{+}02 \cdot 1/ika$$
$$+ 0{,}128857E{+}03 \cdot 1/ika^2 + 0{,}800176E{-}03 \cdot ppa$$
$$- 0{,}292937E{-}01 \cdot d/D + 0{,}288903E{+}03 \cdot 1/LS$$
$$- 0{,}196110E{-}03 \cdot 1/LS^2 + 0{,}229426E{-}01 \cdot lmk$$
$$- 0{,}435982E{-}01 \cdot khk$$

$s_e = 0{,}156964 \quad s_{eh} = 1{,}67\ m \quad s_{eh} = 13{,}0\ \%$

Kivennäismaiden suppeat pituusmallit:

Mänty:

$$\ln(h - 1{,}3) = 0{,}290511E{+}01 - 0{,}146143E{+}02 \cdot 1/(d+5)$$
$$- 0{,}149627E{+}02 \cdot 1/(d+5)^2 - 0{,}242827E{+}02 \cdot 1/ika$$
$$+ 0{,}975625E{-}02 \cdot ppa + 0{,}161142E{+}03 \cdot 1/LS$$
$$- 0{,}116396E{+}05 \cdot 1/LS^2 + 0{,}242836E{-}01 \cdot lmk$$
$$- 0{,}493153E{-}01 \cdot khk - 0{,}127750E{+}00 \cdot kk$$
$$- 0{,}220231E{+}00 \cdot krk$$

$R^2 = 0{,}9286 \quad s_e = 0{,}149037$

Turvemaiden laajat pituusmallit:

Mänty:

$$\ln(h - 1{,}3) = 0{,}317438E{+}01 - 0{,}123585E{+}02 \cdot 1/(d+5)$$
$$- 0{,}444167E{+}02 \cdot 1/(d+5)^2 - 0{,}204126E{+}02 \cdot 1/ika$$
$$+ 0{,}266011E{+}03 \cdot 1/ika^2 + 0{,}291349E{-}01 \cdot ppa$$
$$- 0{,}319285E{-}03 \cdot ppa^2 - 0{,}609424E{-}01 \cdot d/D$$
$$- 0{,}375727E{+}02 \cdot 1/LS + 0{,}497042E{-}02 \cdot kmy$$
$$+ 0{,}541735E{-}01 \cdot lk1 - 0{,}740786E{-}01 \cdot lk$$
$$+ 0{,}474278E{-}01 \cdot tk$$

$s_e = 0{,}172876$

Turvemaiden suppeat pituusmallit:

Mänty:

$$\ln(h - 1{,}3) = 0{,}300806E{+}01 - 0{,}115802E{+}02 \cdot 1/(d+5)$$
$$- 0{,}446560E{+}02 \cdot 1/(d+5)^2 - 0{,}196658E{+}02 \cdot 1/ika$$

$$+0{,}200452E{+}03 \cdot 1/ika^2 + 0{,}303168 \cdot ppa$$
$$-0{,}354874E{-}03 \cdot 1/ppa^2 \; -0{,}257898E{+}02 \cdot 1/LS$$
$$+0{,}505343E{-}01 \cdot lk1 \; -0{,}788385E{-}01 \cdot lk$$
$$+0{,}549434E{-}01 \cdot tk$$

$s_e = 0{,}175540$

missä:

ika = metsikön ikä, v
LS = lämpösumma, 10 dd
kmy = korkeus merenpinnan yläpuolella, 10 m
valemuuttujat:
tk = turvekangas
lmk = lehto ja lehtomainen kangas
khk = kuivahko kangas (männyllä)
khk = kuivahko kangas tai huonompi (kuusella ja koivulla)
kk = kuiva kangas (männyllä)
krk = karukkokangas (männyllä)
lk1 = tuoretta kangasta vastaavat ja paremmat suotyypit
lk = kuivia kankaita vastaavat ja huonommat suotyypit
lk2 = lehtoja ja leht. kankaita vst. suotyypit
lk3 = kuivahkoja kankaita vastaavat ja huonommat suotyypit

Pituusmalleille laskettiin korjauskertoimet, joilla voidaan ottaa huomioon veroluokan aleneminen metsikössä. Kertoimilla on samanlainen vaikutus kuin valemuuttujilla; niillä voidaan laskea mallilla saatua tulosta kasvupaikkaa vastaavaksi. Männyn laajan mallin korjauskertoimet ovat 0,95 (kivisyys), 0,92 (soistuneisuus), 0,92 (kunttaisuus) ja 0,86 (rantametsät). Vastaavasti suppean mallin kertoimet ovat 0,95; 0,91; 0,90 ja 0,87.

Eräillä selittäjillä on kertoimia, jotka tietyn ääriarvokohdan jälkeen kääntävät mallin laskevaksi. Esimerkiksi maksimiläpimitta suurenee nopeasti keskiläpimitan kasvaessa, mistä on haittaa nuorissa metsiköissä. Koivujen mallit yliarvioivat paksuimpien puiden pituuden.

2.1.4. Kapeneminen ja muotoluku

22. Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 12.

Siperialaisen lehtikuusen rinnankorkeusmuotoluku kuvataan taulukomallilla ikäluokittain ja metsätyypeittäin.

Aineisto kerättiin Punkaharjun pysyviltä koealoilta ja Raivolan lehtikuusikosta myrskytuhon kaatamien puiden joukosta. Mukana oli 9 runkoanalyysipuuta (25–51 vuotiaita) Punkaharjulta ja 13 Raivolasta (113–184 v). Koepuut olivat metsikön valtapuita ja kasvupaikoiltaan ne edustivat OT- ja OMT-metsiköitä. Punkaharjun koealoilla kaadettuja koepuita (39 kpl) sekä Raivolassa myrskyn kaatamia puita (375 kpl) käytettiin vertailuaineistoina.

Runkoanalyysin perusteella laskettiin rinnankorkeusmuotoluku, muotoluku puolen metrin korkeudella ja rungon läpimitan prosenttiosuus rinnankorkeusläpimitasta korkeuksilla 10–90 % rinnankorkeuden yläpuolella. Nämä muotoluvut esitetään taulukkona eri ikäkausina (30–180 v) ja erikseen metsätyypeillä OT ja OMT.

Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan rungon laatuun vaikuttavia ominaisuuksia, kuten sydänpuumäärää ja sen osuutta tilavuudesta (tutkimusmetsiköittäin) sekä kesäpuun määrää ja sen osuutta läpimitasta (yksi analyysipuu Raivolasta).

23. Tiihonen, P. 1961a. Tutkimuksia männyn kapenemistaulukoiden laatimiseksi. Commun. Inst. For. Fenn. 53(1).

Tutkimustuloksina esitellään männyn kapenemistaulukot. Kuorellisen läpimitan osuus rinnankorkeusläpimitasta (%) eri korkeuksilla runkoa kuvataan pituus-, läpimitta- ja kapenemisluokittain. Kapenemissarjat perustuvat graafiseen tasoitukseen ja ne on laadittu ensi sijassa puun keskimääräisen runkomuodon kuvaamista varten.

Aineistona käytettiin Ilvessalon (1947) "Pystypuiden kuutioimistaulukoiden" mäntykoepuuaineistoa, josta hylättiin alle 7,6 m ja yli 30,6 m pitkät puut. Vuosina 1954–55 mitattiin täydennysaineistoa käytännön hakkuutyömailta. Koko tutkimusaineisto käsitti 3660 mäntykoepuuta.

Taulukoissa käytetty luokitus on seuraava: pituusluokat: 8–30 m, kapenemisluokat 1–12 cm ja läpimittaluokat 8–24 cm. Läpimitan osuudet ovat taulukossa metrin (yli 26 m pitkillä puilla 2 m) välein 2 metrin korkeudelta alkaen. Mittauskorkeudet on laskettu puun alimmalta mahdolliselta kaatokorkeudelta lähtien.

24. Tiihonen, P. 1961b. Männyn, kuusen ja koivun kapenemistaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 54(1).

Kyseessä on edellä kuvatun tutkimuksen jatko, jossa männyn lisäksi ovat mukana kuusen ja koivun kapenemistaulukot.

Kuten edellä, aineistona käytettiin Ilvessalon (1947) "Pystypuiden kuutioimistaulukoiden" koepuuaineistoa, josta hylättiin alle 7,6 m ja yli 30,6 m pitkät puut sekä kuusen ja koivun osalta 10,6 cm voimakkaammin kapenevat rungot. Vuosina 1954–55 mitattiin täydennysaineistoa hakkuutyömailta. Koko tutkimusaineisto käsitti 3660 mänty-, 2743 kuusi- ja 2858 koivukoepuuta.

Laadittujen kapenemissarjojen luotettavuutta tutkittiin Metsäntutkimuslaitoksen pysyviltä koealoilta kerätyn koepuuaineiston avulla.

25. Päivinen, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Folia For. 353.

Tutkimuksessa laadittiin männyn, kuusen ja koivun kapenemismallit rekursiivista mallitusta

käyttäen.

Aineisto valittiin VMI 6:n 18 eteläisimmän metsälautakunnan alueilta mitatuista koepuista. Koepuut jaettiin metrin pituus- ja cm:n läpimittaluokkiin, joista kustakin poimittiin 3 mäntyä, 4 kuusta ja 5 koivua. Kapenemismallien laadintaan käytettiin näistä vain yli 7 m:n pituisia puita, joita lopullisessa aineistossa oli 1655 mäntyä, 1780 kuusta ja 1780 koivua.

Ensin kussakin pituusluokassa muodostettiin puulajeittain regressioyhtälö

$$\ln(kap) = \ln(a) + b \cdot \ln(d),$$

jonka parametrejä a ja b ennustettiin pituudella ja toisillaan: b = f(h) ja a = f(h,b). Mallin tarkentamiseksi muodostettiin vielä korjausyhtälö, jossa mitatun ja lasketun arvon suhdetta selitettiin puu- ja metsikkötunnuksilla.

Kapenemismallit:

Mänty:

$$kap = (a \cdot d^b) \cdot k$$

$$b = 0{,}831346 + 0{,}203514 \cdot h \qquad R^2 = 63{,}6\ \%$$

$$\ln(\ln(a)+6) = 13{,}415262 - 0{,}645449 \cdot \ln(h) + 8{,}859121 \cdot \ln(b) - 2{,}021639 \cdot (\ln(10 \cdot b))^2 + 0{,}0786727 \cdot (\ln(h))^2 \qquad R^2 = 99{,}8\ \%$$

Metsämaa:

$$\ln(k) = 0{,}0408082 + 0{,}0339949 \cdot \ln(d) - 0{,}0436688 \cdot \ln(T) - 0{,}000335411 \cdot IB - 0{,}0410572 \cdot II - 0{,}0103499 \cdot III - 0{,}0316714 \cdot IV - 0{,}197134 \cdot LS4 - 0{,}140571 \cdot LS5 - 0{,}0799048 \cdot LS6 - 0{,}0286301 \cdot LS7 - 0{,}00997558 \cdot LS8 \qquad R^2 = 6{,}9\ \%$$

Kitumaa:

$$\ln(k) = 0{,}524297 - 0{,}145397 \cdot \ln(d) - 0{,}347252 \cdot LS4 - 0{,}255395 \cdot LS5 - 0{,}239499 \cdot LS6 - 0{,}0615934 \cdot LS7 + 0{,}00294973 \cdot LS8 \qquad R^2 = 14{,}0\ \%$$

Kuusi:

$$kap = (a \cdot d^b - 1) \cdot k$$

$$b = 0{,}667931 + 0{,}0272159 \cdot h \qquad R^2 = 70{,}0\ \%$$

$$\ln(\ln(a)+6) = 2{,}214808 - 0{,}236691 \cdot \ln(h) - 1{,}716283 \cdot (\ln(b))^3 - 0{,}595503 \cdot \ln(b) - 1{,}086761 \cdot (\ln(b))^2 \qquad R^2 = 99{,}9\ \%$$

Metsämaa:

$$\ln(k) = 0{,}185125 - 0{,}0724091 \cdot \ln(T) - 0{,}0148964 \cdot IB$$

$$-0{,}0378154 \cdot II + 0{,}0296886 \cdot III - 0{,}153075 \cdot IV$$
$$-0{,}0846041 \cdot LS4 - 0{,}0453193 \cdot LS5 - 0{,}0570058 \cdot LS6$$
$$-0{,}0613101 \cdot LS7 - 0{,}0465552 \cdot LS8 \qquad R^2 = 2{,}2\ \%$$

Kitumaa:

$$\ln(k) = 0{,}061963 + 0{,}0448062 \cdot \ln(d) - 0{,}0733592 \cdot \ln(h)$$
$$-0{,}155644 \cdot LS4 - 0{,}109767 \cdot LS5 - 0{,}073900 \cdot LS6$$
$$-0{,}065753 \cdot LS7 - 0{,}0423472 \cdot LS8 \qquad R^2 = 1{,}6\ \%$$

Koivu:

$$kap = a \cdot d^b \cdot k$$

$$b = 1{,}296487 - 0{,}0548763 \cdot h + 0{,}0024 \cdot h^2$$

$$\ln(\ln(a)+10) = 2{,}582215 - 0{,}155745 \cdot \ln(h)$$
$$-0{,}314485 \cdot \ln(b) - 0{,}187386 \cdot (\ln(b))^2$$
$$-0{,}657400 \cdot (\ln(b))^3 \qquad R^2 = 99{,}9\ \%$$

$$\ln(k) = 1{,}234594 + 0{,}00594092 \cdot d - 0{,}00932064 \cdot h$$
$$-0{,}230534 \cdot LS4 - 0{,}270465 \cdot LS5 - 0{,}226468 \cdot LS6$$
$$-0{,}219782 \cdot LS7 - 0{,}190921 \cdot LS8 \qquad R^2 = 3{,}9\ \%$$

Malleissa käytetyt merkinnät:

$kap = d - d_6$, cm

T = (metsikön ikä + 5 v)/10 v eli metsikön ikäluokka, 10 v

IB,II,III ja IV = veroluokka-valemuuttujia

LS4,LS5,LS6,LS7 ja LS8 = lämpösummavyöhyke-valemuuttujia

Mallien absoluuttiset ja suhteelliset keskivirheet laskettiin läpimittaluokittain. Koko aineistossa männyn kapenemismallin keskivirhe oli 1,7 cm (22,6 %), kuusen 1,6 cm (25,8 %) ja koivun 1,6 cm (30,0 %).

Kapenemismallien vaikutusta puuston tilavuuteen testattiin Satakunnan metsälautakunnan alueelta mitatuilla koepuilla. Tilavuus laskettiin Laasasenahon kuutioimisyhtälöillä (1976) käyttäen mitattua kapenemista ja malleilla saatua kapenemisen odotusarvoa. Estimoiduilla yläläpimitoilla saatu tilavuus oli 0,3 % mitatuilla yläläpimitan arvoilla saatua tilavuutta suurempi. Tukkipuun osuus poikkesi 0,1 %. Pienten ja keskikokoisten tukkipuiden kapeneminen oli laskettu malleilla hiukan liian pieneksi.

26. Lähde, E., Nieminen, J., Etholén, K. & Suolahti, P. 1982. Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa. Folia For. 533.

Julkaisussa kuvataan kontortamännyn kapeneminen rinnankorkeusläpimitan funktiona sekä esitetään keskimääräiset muotoluvut metsätyypeittäin.

Aineisto kuvataan kohdassa 7.

Kontortakoepuiden kapeneminen ($d_{1,3}$–$d_{6,0}$, cm) esitetään graafisesti läpimitan funktiona (läpimitoille 11–29 cm). Samassa kuvassa on myös vertailumänniköiden kapeneminen, joka on n. 0,5–1,0 cm kontortaa suurempi kaikissa läpimittaluokissa.

Kontortan ja männyn vertailuparimetsiköiden koepuiden keskimääräiset muotoluvut ($f = v/(g \cdot h)$) esitetään taulukkomuodossa metsätyypeittäin. Runkomuoto huononee kasvupaikan viljavuuden parantuessa, kontortan runkomuoto on kaikilla tyypeillä keskimäärin parempi kuin männyn runkomuoto.

Koska läpimitat olivat kuorellisia, puulajien väliset erot kapenemisessa ja runkomuodossa johtunevat osittain kuoren paksuuseroista.

2.1.5. Runkokäyrä

27. Kilkki, P., Saramäki, M. & Varmola, M. 1978. A simultaneus equation model to determine taper curve. Silva Fenn. 12(2).

Männyn runkokäyrän määritetään simultaanisella moniyhtälömallilla.

Aineistona oli yhteensä 135 mäntyä, jotka mitattiin useilta koealoilta Keski-Suomessa.

Moniyhtälömallin selitettävinä tekijöinä olivat läpimitat puun suhteellisilla osakorkeuksilla. Jokaista läpimittaa (11 kpl) varten laadittiin yhtälö, jossa selittäjinä olivat muut läpimitat ja puun pituus. Yhtälöitä oli siten yhtä monta kuin estimoitavia läpimittoja.

Moniyhtälömalli voidaan ratkaista, jos tunnetaan puun pituus ja vähintään yksi läpimitta. Pituus sijoitetaan yhtälöihin ja mitattua läpimittaa lähinnä vastaava regressioyhtälö korvataan iterointikaavalla. Moniyhtälömallin regressiokertoimet löytyvät julkaisusta s. 122.

Moniyhtälömallia testattiin käyttäen samaa laadinta-aineistoa. Läpimittojen keskivirhe vaihteli eri osakorkeuksilla; keskivirhe oli 6,4 mm (6,3 %), kun d ja h tunnettiin, ja 4,5 mm (4,4 %), kun d, d_6 ja h tunnettiin. Runkokäyrästä integroimalla lasketun tilavuusestimaatin keskivirhe oli 7,0 %, kun d ja h tunnettiin, ja 2,8 %, kun d, d_6 ja h tunnettiin.

Käytetyn menetelmän etuna on, ettei vaatimuksia läpimittojen mittauskorkeuksille tai lukumäärälle ole. Yhtälöiden laadintaan käytetty aineisto ei ollut kovin edustava, sillä se ei kuvaa mitään kokonaista populaatiota. Pituus otettiin mukaan selittäväksi tekijäksi demonstroimaan mahdollisuutta käyttää läpimittojen lisäksi muita eksogeenisiä muuttujia selittäjinä yhtälöissä. Laajemmassa aineistossa muut puu- tai metsikkömuuttujat voisivat olla merkittäviä selittäjiä.

28. Kilkki, P. & Varmola, M. 1979. A nonlinear simultaneous equation model to determine taper curve. Silva Fenn. 13(3).

Edellä kuvattua menetelmää sovelletaan laajemmassa aineistossa. Regressioanalyysiä käyttäen laadittiin epälineaarisen simultaanisen moniyhtälömallin 10 perusyhtälöä. Seli-

tettävinä ja selittävinä muuttujina olivat 10 suhteelliselta osakorkeudelta mitattujen läpimittojen ja puun pituuden suhteet. Lisäselittäjänä olivat puun pituus ja kaikista selittävistä muuttujista 2. asteen termit.

Aineistona oli 2000 viljelytaimistoista mitattua mäntyä, jotka olivat pituudeltaan 2–10 m.

Regressioyhtälöiden kertoimet ja keskivirheet löytyvät julkaisun sivulta 296. Mallia sovellettaessa on tunnettava puun pituus ja haluttaessa vähänkin luotettavia tuloksia myös yksi läpimitta. 10 suhteellisen osakorkeuden läpimittojen väliarvot saadaan interpoloimalla.

Läpimittojen keskivirhe oli keskimäärin 4,04 mm (8,27 %), kun puun pituus ja läpimitta 20 %: korkeudelta tunnetaan, ja 4,35 mm (8,7 %), kun pituus ja rinnankorkeusläpimitta tunnetaan. Tilavuuden keskivirhe oli 5,6 %.

29. Kilkki, P. & Varmola, M. 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Acta Forestalia Fennica 174.

Tutkimuksessa laadittiin simultaaninen moniyhtälömallilla männyn runkokäyrän määrittämistä varten. Puun eri tunnusten (endogeeniset muuttujat) ja puun ympäristöä kuvaavien tunnusten (eksogeeniset muuttujat) väliset relaatiot kuvataan niin monella yhtälöllä kuin mallissa on endogeenisia muuttujia. Yhtälöiden parametrit estimoidaan pienimmän neliösumman menetelmällä siten, että kukin endogeeninen muuttuja on vuorollaan selitettävänä.

Aineisto kerättiin Etelä- ja Keski-Suomesta, enimmäkseen päätehakkuualoilta. Mukana oli kaikkiaan 29 männikkökoealaa, joilta mitattiin yhteensä 492 kaatokoepuuta. Kuhunkin läpimitta-pituusluokkaan (2 cm–2 m) hyväksyttiin 4–7 koepuuta. Suurin osa koealoista sijaitsi VT-kankailla, mutta mukana oli myös OMT-, MT- ja CT- kankaita. Metsiköt olivat viittä lukuun ottamatta luontaisesti syntyneitä.

Tutkimuksessa esitetään kaksi simultaanista moniyhtälömallia (s. 10–15), joissa selitettävinä muuttujina ovat osakorkeusläpimittojen logaritmit ja pituuden logaritmi. Selittävinä muuttujina ovat 1. mallissa muiden osakorkeusläpimittojen logaritmit, pituuden logaritmi ja pituuden logaritmin neliö sekä 2. mallissa näiden lisäksi latvussuhteen logaritmi ja sen neliö.

Mikä tahansa yhtälöiden muuttujista voidaan korvata mitatulla arvolla, jota tällöin pidetään eksogeenisena muuttujana. Jos läpimitan mittaus on osakorkeusläpimittojen väliltä, käytetään interpolointia ja sisällytetään interpolointikaava uudeksi yhtälöksi moniyhtälömalliin. Tässä työssä käytettiin kuutiosplini- interpolointimenetelmää.

Mallien luotettavuutta testattiin tutkimusaineiston perusteella. Tutkimuksen sivuilla 41–43 on esitetty osakorkeusläpimitta- ja tilavuusestimaattien absoluuttiset ja suhteelliset keskivirheet ja harhat eri mittaustietoja käytettäessä.

30. Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108.

Julkaisu sisältää mallit männyn, kuusen ja koivun runkokäyrän määrittämiseksi. Runkokäyrän perusmalliksi valittiin polynomiyhtälö, jonka avulla kuvattiin keskimääräistä runko-

käyrää puulajeittain. Jos puusta on mitattu pituuden ja yhden läpimitan lisäksi muita tunnuksia, perusmallia voidaan tarkentaa korjauspolynomien avulla. Lisäksi tutkimuksessa kehitettiin kahteen selittävään läpimittaan perustuva simultaanimalli.

Aineistona käytettiin noin sadalta VMI-koealalta vuosina 1968–1972 mitattuja koepuutietoja. Perusjoukkona olivat kaikki Suomen männyt, kuuset ja koivut.

Runkokäyräyhtälöt:

mänty: $y = 2{,}1288 \cdot x - 0{,}63157 \cdot x^2 - 1{,}6082 \cdot x^3 + 2{,}4886 \cdot x^5 - 2{,}4147 \cdot x^8 + 2{,}3619 \cdot x^{13} - 1{,}7539 \cdot x^{21} + 1{,}0817 \cdot x^{34}$

kuusi: $y = 2{,}3366 \cdot x - 3{,}2684 \cdot x^2 + 3{,}6513 \cdot x^3 - 2{,}2608 \cdot x^5 + 2{,}1501 \cdot x^{13} - 2{,}7412 \cdot x^{21} + 1{,}8876 \cdot x^{34}$

koivu: $y = 0{,}93838 \cdot x + 4{,}1060 \cdot x^2 - 7{,}8517 \cdot x^3 + 7{,}8993 \cdot x^5 - 7{,}5018 \cdot x^8 + 6{,}3863 \cdot x^{13} - 4{,}3918 \cdot x^{21} + 2{,}1604 \cdot x^{34}$

missä $y = d_l/d_{.2h}$

$d_{.2h}$ = läpimitta 20 prosentin korkeudella, cm

d_l = läpimitta korkeudella l maasta, cm

$x = 1 - l/h$ eli suhteellinen etäisyys latvasta

Polynomirunkokäyrän ennusteissa on lievää harhaisuutta rungon tyviosassa kuusella ja koivulla. Simultaanimallissa harha oli merkityksetön.

Perusmallilla voidaan puulle laskea runkokäyrä, kun puun pituus ja läpimitta joltakin korkeudelta tunnetaan. Perusmallin tarkennusta varten laadittiin korjausyhtälöt, jotka voidaan laskea, kun puusta tiedetään d ja h tai d, h ja d_6. Lisäksi laadittiin kahteen selittävään läpimittaan perustuvat simultaaniyhtälöt. Polynomikäyrää käyttäen estimoidaan kunkin mitatun läpimitan avulla lähin simultaanimallissa mukana olevista suhteellisen korkeuden läpimitoista. Korjausyhtälöiden ja simultaaniyhtälöiden regressiokertoimet löytyvät ko. julkaisun sivulta 33.

31. Kilkki, P. 1983. Sample trees in timber volume estimation. Acta Forestalia Fennica 182.

Julkaisussa on simultaanisiin yhtälöryhmiin perustuvat runkokäyrämallit, jotka ovat Kilkin ja Varmolan (1981) tutkimuksessa esitettyjen mallien parannettuja versioita (kohta 29). Työssä käytettiin myös samaa aineistoa.

Moniyhtälömalleja laadittiin kaksi, joista toisessa latvusrajan korkeus oletetaan tunnetuksi. Selitettävinä tekijöinä olivat 12 osakorkeudelta mitattujen läpimittojen logaritmit ja selittäjinä muut läpimitat sekä puun pituus ja pituuden neliö (1. malli) sekä toisessa mallissa lisäksi latvusrajan suhteellinen korkeus ja sen neliö. Yhtälöiden regressiokertoimet ja läpimittojen keskivirheet löytyvät julkaisusta sivuilta 7–8.

Runkokäyrämallien luotettavuutta testattiin laadinta-aineistolla. Kun tilavuus estimoitiin 1. mallilla ja puista oli mitattu pituus ja rinnankorkeusläpimitta, tilavuusestimaatin keskivirhe oli kaikilla puilla 7,9 dm^3 ja yli 8,6 metrisillä puilla 7,5 dm^3. Kun pituuden ja läpimitan lisäksi tunnettiin yläläpimitta ja mukana olivat vain yli 8,6 metriset puut, keskivirhe oli 4,3 dm^3. 2. mallilla estimoitujen tilavuuksien keskivirhe kaikilla puilla oli 7,2 dm^3.

32. Lappi, J. 1986. Mixed linear models for analyzing and predicting stem form variation of Scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 134.

Tutkimuksessa laadittiin männyn runkokäyrä sekamallitekniikalla.

Aineisto koostui kolmesta erillisestä aineistosta. Pääaineistona oli Laasasenahon (1982) koko Suomen alueelta keräämä koeala-aineisto. Se käsitti 1986 mäntykoepuuta, jotka oli mitattu 616 eri relaskooppikoealalta. Laasasenahon aineistoa käytettiin runkokäyrämallin parametrien estimoinnissa ja testauksessa eri sovellustilanteissa. Mallin metsikkökohtaisessa kalibroinnissa käytettiin Kilkin & Varmolan (1981) ja Pekkosen & Laasasenahon (1985) aineistoja, joista ensin mainittu sisälsi 492 Etelä- ja Keski- Suomesta, 29 eri metsiköstä mitattua mäntykoepuuta ja toinen 2418 koepuuta, jotka oli mitattu 26 eri mäntyvaltaisesta metsiköstä.

Runkokäyrämallissa rungon muoto kuvataan napakoordinaatistossa ilmaistujen läpimittojen avulla. Malli koostuu 14 yhtälöstä, joissa logaritmisia läpimittoja, puun pituutta ja latvusrajan korkeutta selitetään puun koolla ja suhteellisella koolla (puun koko määritellään logaritmisten läpimittojen painotettuna keskiarvona). Mallissa olevien satunnaisten metsikkö- ja puutekijöiden avulla runkomuodon satunnaisvaihtelu jaetaan metsiköiden väliseen ja metsikön sisäiseen vaihteluun.

$$d_{ki}(u) = a_0(u) + a_1(u) \cdot s_{ki} + a_2(u) \cdot s_{ki}^2 + a_3(u) \cdot \bar{k} + v_k(u) + e_{ki}(u)$$

missä $d_{ki}(u)$ = koealan k puun i peruskulman u läpimitan logaritmi
s_{ki} = koealan k puun i koko
$\bar{k}$ = koealan k keskimääräinen koko
$v_k(u)$ = koealakohtainen satunnaistekijä
$e_{ki}(u)$ = puukohtainen satunnaistekijä

Yhtälöiden kiinteät parametrit (a_0, a_1, a_2 ja a_3) estimoitiin sekä koko Suomelle että erikseen eri ilmastovyöhykkeillä (1–7). Parametriestimaatit on esitetty tutkimuksessa sivuilla 14–15 ja satunnaistekijöiden korrelaatiomatriisit (satunnaisvaikutusten varianssit ja kovarianssit) sivulla 17.

Runkokäyrämallin luotettavuutta läpimittojen ja tilavuuden estimoinnissa testattiin erilaisilla mittauskombinaatioilla eli tutkittiin teoreettisesti erilaisia mittausstrategioita (kuinka monta koepuuta ja mitä tunnuksia niistä kannattaa mitata).

Sovellustilanteessa malli kalibroidaan metsikkökohtaisesti estimoimalla satunnaiset metsikkötekijät pääkomponenttien avulla. Mallissa voidaan käyttää hyväksi miltä tahansa korkeudelta mitattuja läpimittoja. Sekamallitekniikkaa sovellettaessa koepuumittauksia hyö-

dynnetään lukupuiden runkokäyrän ennustamisessa.

33. Korhonen, K. 1987. Kuusen runkokäyrämalli lineaarisella sekamallimenetelmällä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Tutkielmassa laadittiin kuusen runkokäyrämalli lineaaristen sekamallien menetelmällä.

Aineistona käytettiin eri puolilla Suomea Laasasenahon (1976 ja 1982) johdolla vuosina 1968–1970 mitattuja relaskoopppikoealojen koepuita. Aineistosta hylättiin vähemmän kuin kaksi kuusikoepuuta sisältävät koealat, jolloin jäljelle jäi 487 koealaa ja yhteensä 1667 kuusta. Mallin luotettavuuden tarkastelussa käytettiin koko aineistoa, jossa olivat mukana myös laadintavaiheessa hylätyt yhden puun koealat. Koepuita oli tällöin 1864.

Malli koostuu 13 regressioyhtälöstä, joilla ennustetaan napakoordinaatiston peruskulmissa mitattuja läpimittoja ja puun pituutta. Yhtälöiden selittävinä tekijöinä olivat puun koon ja sen neliön lisäksi puun ikä, ilmastovyöhyke ja kasvupaikan boniteetti. Puun koko määriteltiin eri peruskulmissa mitattujen läpimittojen summan avulla. Näiden kiinteiden selittäjien lisäksi läpimittayhtälöt sisälsivät koealakohtaisen ja puukohtaisen satunnaistekijän.

Yhtälöt olivat muotoa

$$d_{ki}(u) = a_0(u) + a_1(u) \cdot s_{ki} + a_2(u) \cdot s_{ki}^2 + a_3(u) \cdot t_{ki}^2 + a_4(u) \cdot DD + a_5(u) \cdot DD^2 + a_6(u) \cdot OMT + a_7(u) \cdot MT + a_8(u) \cdot VT$$

Yhtälöiden kertoimet ($a_0 - a_8$) löytyvät tutkimuksen sivulta 20, selitysasteet ja keskivirheet sivulta 18 ja koealojen väliset ja sisäiset korrelaatiot sivulta 26.

Runkokäyrämallin luotettavuutta tilavuuden estimoinnissa tutkittiin tilanteissa, joissa koealalta oli mitattu koe- ja lukupuita eri tavoin. Tilavuusestimaattien keskivirheet olivat 16,67 %, kun puista on mitattu pelkästään $d_{1,3}$, 7,27 %, kun $d_{1,3}$ ja pituus tunnetaan ja 3,39 %, kun $d_{1,3}$:n ja h:n lisäksi tunnetaan yläläpimitta (d_6). Yhden pituuskoepuun mittaaminen kultakin koealalta vähensi lukupuiden tilavuusestimaatin keskivirhettä 16,67 %:sta 14,34 %:iin. Kahden koepuun mittaaminen kultakin koealalta pienensi metsiköiden välistä virhettä n. 1 %-yksikön.

Mallin harhattomuutta testattiin mallissa mukana olevien muuttujien suhteen. Lehdoissa ja niitä vastaavilla kasvupaikoilla tilavuusestimaatit olivat keskimäärin 2,4 % aliarviota. Lisäksi malli antaa tilavuudelle keskimäärin 3,4 % aliarvioita seitsemännellä ilmastovyöhykkeellä (kasvukausi yli 175 vrk), muilla vyöhykkeillä virhe vaihteli –0,8 % :sta 1,2 %:iin.

34. Kilkki, P. & Lappi, J. 1987. Estimation of taper curve using stand variables and sample tree measurements. Scand. J. For. Res. 2:121–126.

Artikkelissa esitetään regressiomallit, joilla voidaan ennustaa pääkomponentit metsikön keskimääräiselle runkokäyrälle. Pääkomponentteja tarvitaan runkokäyrämallien koealakoh-

taisen satunnaistekijän ratkaisemiseen. Jos koealalta ei ole mitattu yhtään koepuuta, pääkomponentteja ei voida ratkaista. Laadituilla pääkomponenttimalleilla voidaan ennustaa puun muoto myös sellaisilla koealoilla, joilta ei ole mitattu yhtään koepuuta.

Aineisto koottiin VMI 7:n koepuukoealoista Pohjois-Karjalan metsälautakunnan alueelta. Mukana oli yhteensä 2269 mäntykoepuuta 540 koealalta. Jokaista havaintoa painotettiin varianssin käänteisluvulla. Askeltavalla regressioanalyysillä saatiin seuraavat yhtälöt:

$$c_1 = 0{,}1978 - 0{,}005254 \cdot HA + 0{,}00001884 \cdot HA^2 + 0{,}000007318 \cdot T^2 - 0{,}07738 \cdot VL1 - 0{,}05586 \cdot VL2 - 0{,}0278 \cdot G + 0{,}0004335 \cdot G^2 - 0{,}0001537 \cdot G1^2 - 0{,}006076 \cdot D + 0{,}03448 \cdot D1 - 0{,}0004465 \cdot D1^2 - 0{,}0002338 \cdot DS^2 + 0{,}02066 \cdot GS/DS^2 + 0{,}009371 \cdot D/T + 0{,}9906 \cdot DS/T$$

$$R^2 = 0{,}506 \quad s_e = 0{,}147$$

$$c_2 = 0{,}4447 - 0{,}0008394 \cdot DD + 0{,}0000004018 \cdot DD^2 - 0{,}0000002379 \cdot T^2 - 0{,}0005893 \cdot G1 + 0{,}0003742 \cdot GS + 0{,}000006559 \cdot D^2 - 0{,}001117 \cdot D1 + 0{,}00001513 \cdot D1^2$$

$$R^2 = 0{,}150 \quad s_e = 0{,}0122$$

$$c_3 = 0{,}00686 + 0{,}0007626 \cdot DD/HA - 0{,}000000595 \cdot T^2 - 0{,}000573 \cdot G1 + 0{,}0003188 \cdot GS + 0{,}00001349 \cdot D^2 - 0{,}001563 \cdot D1 + 0{,}00002821 \cdot D^2$$

$$R^2 = 0{,}116 \quad s_e = 0{,}016$$

$$c_4 = 0{,}0003423 - 0{,}001195 \cdot VL2 - 0{,}000006392 \cdot G1^2$$

$$R^2 = 0{,}091 \quad s_e = 0{,}00459$$

missä:

DD = lämpösumma, dd
HA = korkeus merenpinnan yläpuolella, m
VL1 = 1, joa veroluokka on I, muuten 0
VL2 = 1, jos veroluokka on II, muuten 0
G = metsikön pohjapinta-ala (silmävarainen arvio), m^3/ha
G1 = mäntyjen pohjapinta-ala koealalla, m^3/ha
GS = puuston pohjapinta-ala koealalla, m^3/ha
D = metsikön pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm
D1 = mäntyjen pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta koealalla, cm
DS = kaikkien puiden pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta koealalla, cm

Menetelmän hyvyyttä arvioitiin vertailemalla puuston tilavuusestimaatteja, kun pääkomponentit oli ennustettu laadituilla malleilla tai pääkomponenttien laskentaan oli käytetty koepuumittauksia. Ensimmäisen pääkomponentin käyttö johtaa lähes yhtä hyvään (pieni metsiköiden välinen virhe) tulokseen kuin kaikkien neljän käyttö. Jos koealalta on mitattu

yhden koepuun pituus, saadaan sen avulla luotettavampi tilavuusestimaatti kuin pääkomponenttiestimaatteja käyttämällä. Paras tulos saatiin, kun käytettiin sekä pääkomponenttien regressioestimaatteja että yhdestä koepuusta mitattua pituutta.

Tutkimuksessa käytetyt koealat olivat suhteellisen pieniä. Koko metsikkökuviolla runkomuodon vaihtelu voi olla suurempaa kuin koealalla, jolloin yhden koepuun pituuden mittaus ei tuo tarpeeksi tietoa. Tällöin regressiomallien käyttö vaikuttaisi tehokkaammalta.

35. Korhonen, K. T. 1989. Runkokäyrämallien käyttö metsäninventoinnissa. Metsätalouden suunnittelun lisensiaattitutkimus. Joensuun Yliopisto.

Tutkimuksessa esitetään sekamallitekniikalla laaditut runkokäyrämallit männylle, kuuselle ja koivulle.

Aineisto koottiin vuosina 1968–1972 mitatuista VMI-koepuista. Mukana oli kaikkiaan 2034 mäntyä, 1667 kuusta ja 602 koivua. Hies- ja rauduskoivua käsiteltiin laskennassa yhtenä puulajina. Malleja testattiin vuosina 1986–1988 mitatuilla VMI 8:n koepuilla.

Runkokäyrämallit koostuvat 13 yhtälöstä, joilla estimoidaan 12 eri korkeuden läpimittaa ja pituutta. Kiinteinä selittäjinä mallissa ovat puun koko ja sen toinen potenssi. Puun koolla tarkoitetaan puusta mitattujen 12 läpimitan ja ja pituuden keskiarvoa. Satunnaisena tekijänä mallissa on koealakohtainen satunnaisvaikutus.

Läpimittoja ennustavat yhtälöt olivat muotoa

$$d_{ki}(u) = a_0(u) + a_1(u) \cdot s_{ki} + a_2(u) \cdot s_{ki}^2 + v_k(u) + e_{ki}(u), \quad u = 1,13$$

missä $d_{ki}(u)$ = koealan k puun i peruskulman u läpimitan logaritmi
s_{ki} = koealan k puun i koko
$v_k(u)$ = koealakohtainen satunnaistekijä
$e_{ki}(u)$ = puukohtainen satunnaistekijä

Yhtälöiden kiinteät parametrit (a_0, a_1 ja a_2) eri puulajeilla on estimoitu pienimmän neliösumman menetelmällä ja esitetty tutkimuksessa sivulla 31. Läpimittayhtälöiden satunnaistekijöiden korrelaatiomatriisit on esitetty sivulla 32–34.

Laadittujen runkokäyrämallien luotettavuutta läpimittojen ja tilavuuden estimoinnissa testattiin tilanteissa, kun puusta oli mitattu eri määrä tunnuksia (luotettavuuslukuja s. 44–45 ja 47).

Tarkastelu osoittaa, että laadituilla malleilla voidaan estimoida yksittäisten puiden tilavuudet luotettavammin kuin kiinteäparametrisilla tilavuusmalleilla. Runkokäyrämallilla lasketut estimaatit olivat tosin useissa tapauksissa selvästi harhaisia.

Lisäksi tutkimuksessa selvitetään runkomallien käyttöä sovellustilanteessa. Sovellustilanteessa tuntemattomia tekijöitä ovat puun koko ja pääkomponenttien avulla esitettävä koealakohtainen satunnaistekijä. Puun kokoparametri voidaan johtaa puusta mitatuista läpi-

mitoista ja satunnaistekijän arvo koealalta mitattujen koepuiden perusteella. Miltä tahansa korkeudelta mitattuja läpimittoja voidaan käyttää hyväksi runkokäyrän estimoinnissa, puun pituuden tuntemista ei edellytetä. Jos koealalta ei ole mitattu yhtään koepuuta, voidaan pääkomponentit ennustaa malleilla, joissa selittävinä tekijöinä on metsikkökohtaisia muuttujia (vrt. Kilkki & Lappi 1979).

2.1.6. Tilavuus

36. Ilvessalo, Y. 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 34(4).

Julkaisu sisältää männyn, kuusen ja koivun (haavan ja lepän) tilavuustaulukot erikseen pitkille (8+ m) ja lyhyille (2–7 m) puille. Runkojen kuorellinen tilavuus sekä kuorettoman tilavuuden osuus (% kuorellisesta tilavuudesta) esitetään läpimitta-, pituus- ja kapenemisluokittain.

Perusaineisto käsitti vuosina 1916–1920 kasvu- ja tuotostaulukoiden (Ilvessalo, 1920) laadintaa varten kerätyn aineiston, joka sisälsi 2568 koepuuta 467 eri koealalta Etelä-Suomesta. Myöhemmin aineistoa täydennettiin pysyvien koealojen mittauksilla. Yhteensä tutkimusaineistossa oli mukana 12000 koepuuta, joista osaa käytettiin vain vertailussa ja tulosten testauksessa.

Koepuiden rungon tilavuus kannonkorkeudelta lähtien laskettiin pätkittäin, kuorellisena ja kuorettomana. Kannonkorkeus määriteltiin alimmaksi mahdolliseksi kaatokorkeudeksi. Yli 8 m:n pituisille puille mitattiin normaali kapeneminen ($d_{1,3}$–d_6), 6–7 metrisille puille kapeneminen mitattiin rinnankorkeus- ja 3,5 m:n läpimitan erotuksena ja alle 6 m:lle puille kapenemista ei mitattu lainkaan.

Taulukoiden laadinnan ensimmäisessä vaiheessa käytettiin graafista tasoitusmenetelmää, jolla saadut lukusarjat tasoitettiin myöhemmin yksinkertaisen analyyttisen menetelmän avulla. Tämän jälkeen läpimittaluokittaiset tilavuussarjat tarkistettiin ja tasoitettiin vielä kerran graafisesti.

Puulajeittaiset taulukot ulottuvat 50 cm:n läpimittaan ja 32 m:n (huonoissa kapenemisluokissa 30 m:n) pituuteen asti. Kapenemisluokat ovat kuusella ja männyllä 1–16 cm, koivulla ja haavalla 1–12 cm ja kaikilla pienillä puilla (6–7 m) 1–10 cm. Koivun taulukoissa ovat mukana myös haapa ja leppä, paitsi yli 17 metrisille haavoille on oma taulukko erilaisen runkomuodon vuoksi.

Kuoren paksuuden vaihtelu (esim. puun iän, koon, maantieteellisen sijainnin jne. suhteen) otettiin huomioon kuorettoman tilavuusosuuden taulukoinnissa. Koska kuoren paksuus rinnankorkeudella korreloi selvästi koko rungon kuoriprosentin kanssa, taulukoissa on mukana keskimääriänen kuoren paksuus rinnankorkeudella läpimittaluokittain. Sen perusteella voidaan tarvittaessa korjata taulukon kuorettoman tilavuusosuuden arvoa.

37. Vuokila, Y. 1960a. Lehtikuusen kuutioimisyhtälöt ja -taulukot. Commun. Inst. For. Fenn. 51(1).

Tutkimuksessa laadittiin regressiomallit lehtikuusen kuorellisen ja kuorettoman tilavuuden estimoimiseksi. Kyseessä on ensimmäinen suomalainen metsäalan tutkimus, jossa aineistoa käsiteltiin tietokoneella.

Laadinta-aineisto käsitti yhteensä 2813 koepuuta, mukana oli sekä siperian lehtikuusia (1722 kpl) että eurooppalaisia lehtikuusia (791 kpl). Aineisto oli koottu Metsäntutkimuslaitoksen kestokoealoilta 62. leveysasteen eteläpuolelta. Osa aineistosta oli peräisin Ruotsista ja Norjasta, myös Raivolan lehtikuusikon koepuumittaukset ennen 2. maailmansotaa olivat mukana.

Tilavuusmallit:

Pitkät puut (yli 10 m):

$$V = 0{,}1882 \cdot D^2 + 0{,}003866 \cdot D \cdot h + 0{,}03476 \cdot D_6^2 \cdot h$$
$$v_1 = 0{,}07417 \cdot D^2 + 0{,}001219 \cdot D \cdot h^2 + 0{,}03266 \cdot D^2_6 \cdot h + 6{,}0$$
$$v_2 = 0{,}13059 \cdot d^2 + 0{,}000777 \cdot d \cdot h^2 + 0{,}03225 \cdot D^2_6 \cdot h + 5{,}0$$

Lyhyet puut (2–10 m):

$$V = 0{,}0753 \cdot D^2 + 0{,}03345 \cdot D^2 \cdot h - 0{,}00243 \cdot D \cdot h^2 + 0{,}5$$
$$v = 0{,}03355 \cdot D^2 \cdot h - 0{,}010 \cdot D^2 - 0{,}00359 \cdot D \cdot h^2 + 0{,}4$$

Merkinnöissä suuret kirjaimet tarkoittavat kuorellista tunnusta ja pienet kuoretonta. Yksiköt ovat tilavuuksilla dm^3, läpimitoilla cm ja pituudella m.

Luotettavuuslaskelmat tehtiin vain suurten puiden yhtälöille laadinta-aineistosta poimitun 594 koepuuta käsittävän näytteen perusteella. Yhtälöillä laskettujen tilavuuksien suhteelliset keskivirheet olivat 4,9 %, 7,5 % ja 6,6 %. Keskivirheet laskettiin myös pituusluokittain, mikä osoitti yhtälöiden tarkkuuden huonontuvan puun pituuden vähentyessä. Käytännössä yhtälöiden tarkkuus on teoreettista keskivirhettä huonompi mallien harhan ja selittävien muuttujien mittausvirheiden vuoksi. Kokonaisvirheet olivat 6,9 %, 9,4 % ja 8,9 %. Yhtälöissä ei esiintynyt merkittävää systemaattista virhettä.

Julkaisussa on lisäksi esitetty laadittuihin yhtälöihin perustuvat tilavuustaulukot. Taulukot on laadittu kapenemisluokittain pienille ja suurille puille sekä kuorettomalle ja kuorelliselle tilavuudelle erikseen.

38. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Julkaisussa esitetään regressioyhtälöt rungon tilavuuden ennustamiseksi Etelä-Suomen hoidetuissa männiköissä.

Aineistona oli yhteensä 154 tilapäistä koealaa, joissa puuston valtapituus oli yli kaksi metriä. Rajoitetulla systemaattisella otannalla valittuja koepuita mitattiin 35–40 /koeala ja runkoanalyysipuita n. 10 /koeala eli yhteensä 1493 kpl. Maantieteellisesti aineisto käsitti lähinnä ns. Järvi-Suomen (63°N etelään) rannikkoseudut poisluettuina. Koemetsiköt edustivat männyn tyypillisiä kasvupaikkoja; aineistoa ei ollut erittäin reheviltä tai hyvin karuilta kasvupaikoilta. Metsiköitä oli käsitelty alaharvennuksin. Harvennuksen voimakkuus ja harvennuksesta kulunut aika (vaihteli 2–14 v) määritettiin kantojen perusteella.

Yhtälöt männyn runkotilavuudelle (kannon yläpuoliselle):

$$v_b = 0{,}05782 \cdot d_b^2 \cdot h + 0{,}11632 \cdot d_b \cdot h - 0{,}01092 \cdot d_b^3 - 0{,}01317 \cdot d_b \cdot h^2$$
$$v_u = 0{,}06275 \cdot d_u^2 \cdot h + 0{,}11601 \cdot d_u \cdot h - 0{,}01273 \cdot d_u^3 - 0{,}01241 \cdot d_u \cdot h^2$$

$R = 0{,}996$ (molemmilla yhtälöillä)

Merkinnöissä alaindeksi b tarkoittaa kuorellista ja u kuoretonta tunnusta. Tilavuuden yksikkönä oli k–dm^3.

39. Laasasenaho, J. & Sevola, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavaralajisuhteet ja kantoarvot. Commun. Inst. For. Fenn. 74(3).

Tutkimuksen tuloksina esitellään puun rinnankorkeusläpimittaan, yläläpimittaan ja pituuteen perustuvat männyn ja kuusen tilavuusyhtälöt, jotka laadittiin rungon puutavaralajiosuuksien ja arvon määrittämiseksi.

Aineisto kerättiin VMI-koealoilta koko Suomen alueelta. Mukaan valittiin yhteensä 95 lohkoa, joilla mitattiin relaskooppikoeala 200 m:n välein. Koepuuaineistosta käytettiin vain se osa, joka täytti myyntipuun mitat. Mäntykoepuita oli yhteensä 1291 ja kuusikoepuita 744, näistä osa mitattiin kaatokoepuina. Puiden tilavuus laskettiin pätkittäin Simpsonin kaavan avulla ja apreeraus tehtiin dynaamiseen ohjelmointiin perustuvalla tietokoneohjelmalla. Tilavuus laskettiin latvasta ylimpään juurenniskaan eli kannon osuutta ei vähennetty.

Tilavuusyhtälöt yli 7 m pitkille puille:

$$\text{mänty: } \ln(v) = 3{,}428605 + 0{,}045668 \cdot (d - d_6) + 2{,}290315 \cdot \ln(d) - 1{,}00746 \cdot \ln(h) + 0{,}284933 \cdot (\ln(h))^2 - 1{,}638448 \cdot \ln(d - d_6 + 10)$$

$$\text{kuusi: } \ln(v) = 9{,}08042 + 0{,}045148 \cdot h + 0{,}029569 \cdot (d - d_6) + 2{,}386296 \cdot \ln(d) - 5{,}989045 \cdot (\ln(h))^{0{,}1} - 0{,}000236 \cdot d^2 + 0{,}000717 \cdot (d^2 - d_6^2) - 1{,}863417 \cdot \ln(d - d_6 + 10)$$

Yhtälöiden luotettavuutta tarkasteltiin laadinta-aineistossa. Suhteelliset jäännöshajonnat alkuperäisessä mittakaavassa (dm^2, kuoretta) olivat 4,1 % männyllä ja 3,7 % kuusella. Eri läpimittaluokissa suhteellinen tarkkuus oli likipitäen vakio.

Tutkimuksessa on esitetty laadittuihin yhtälöihin perustuvat männyn ja kuusen kuitu- ja tukkipuurunkojen tilavuustaulukot läpimitta-, pituus- ja kapenemisluokittain.

Lisäksi esitettiin pelkkään läpimittaan perustuvat regressiomallit, joiden avulla koko puuston tilavuus voidaan laskea suhde- estimaattimenetelmällä.

mänty: $\ln(v) = -2{,}37912 + 2{,}62903 \cdot \ln(d) - 0{,}000126 \cdot d^2$
kuusi: $\ln(v) = -2{,}59385 + 2{,}71757 \cdot \ln(d) - 0{,}000097 \cdot d^2$

40. Laasasenaho, J. 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Helsingin Yliopisto.

Työn päätuloksina ovat tilavuusmallit männylle, kuuselle ja koivulle.

Aineisto kerättiin VMI 7:n lohkoilta koko Suomen alueelta vuosina 1968–1970. Mitattavat 95 lohkoa valittiin tasaisesti alueellista satunnaisotantaa käyttäen. Lisäksi mitattiin kaatokoepuita Metsäntutkimuslaitoksen kokeilualueilta ja Metsähallituksen metsistä. Aineisto käsitti yhteensä 2323 mänty-, 1864 kuusi- ja 863 koivukoepuuta. Runkojen tarkka tilavuus laskettiin Simpsonin kaavalla, jolloin kaavassa käytettiin tyvikappaleessa (1 m kannolta ylöspäin) 10 cm:n ja ylempänä 50 cm:m välein olevia läpimittoja.

Mallien laadinnassa käytettiin askeltavaa regressioanalyysiä. Parametrit estimoitiin pienimmän neliösumman menetelmällä.

Tilavuusyhtälöt, kun d tunnetaan:

mä: $\ln(v) = -5{,}2176 + 3{,}40133 \cdot \ln(2{,}0+1{,}25 \cdot d) - 0{,}02883 \cdot d$
ku: $\ln(v) = -5{,}2708 + 3{,}41116 \cdot \ln(2{,}0+1{,}25 \cdot d) - 0{,}02506 \cdot d$
ko: $\ln(v) = -5{,}3434 + 3{,}53893 \cdot \ln(2{,}0+1{,}25 \cdot d) - 0{,}03736 \cdot d$

Suhteelliset jäännöshajonnat olivat 18,44 %, 18,79 % ja 19,03 %.

Tilavuusyhtälöt, kun d ja h tunnetaan:
Kuorellinen tilavuus:

mä: $\ln(v) = -3{,}2890 + 1{,}9995 \cdot \ln(d) + 2{,}1395 \cdot \ln(h) - 1{,}1411 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}002847 \cdot d$ $\quad s_e = 7{,}14\ \%$

ku: $\ln(v) = -3{,}7544 + 1{,}8960 \cdot \ln(d) + 2{,}8979 \cdot \ln(h) - 1{,}6020 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}007827 \cdot d$ $\quad s_e = 7{,}53\ \%$

ko: $\ln(v) = -4{,}4759 + 2{,}0851 \cdot \ln(d) + 4{,}0691 \cdot \ln(h) - 2{,}7375 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}013311 \cdot d$ $\quad s_e = 8{,}30\ \%$

Kuoreton tilavuus:

mä: $\ln(v_u) = -3{,}5936 + 2{,}0427 \cdot \ln(d_u) + 2{,}3793 \cdot \ln(h)$
$-1{,}2792 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}005326 \cdot d_u \qquad s_e = 7{,}47\ \%$

ku: $\ln(v_u) = -3{,}8685 + 1{,}8770 \cdot \ln(d_u) + 3{,}0589 \cdot \ln(h)$
$-1{,}7093 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}008431 \cdot d_u \qquad s_e = 8{,}17\ \%$

ko: $\ln(v_u) = -4{,}4484 + 2{,}0521 \cdot \ln(d_u) + 4{,}0358 \cdot \ln(h)$
$-2{,}6973 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}010856 \cdot d_u \qquad s_e = 8{,}48\ \%$

Muotolukumallit, kun d, h ja d_6 tunnetaan:

mä: $f = -0{,}19633 - 0{,}000733 \cdot d + 0{,}004635 \cdot h + 3{,}57708 \cdot 1/h$
$+1{,}23011 \cdot (d^2 + d \cdot d_6 + d_6^2)/d^2 \cdot h + 0{,}56326 \cdot d_6^2 \cdot (h-6{,}0)/d^2 \cdot h$

ku: $f = -0{,}20078 - 0{,}001518 \cdot d + 0{,}005905 \cdot h + 2{,}71492 \cdot 1/h$
$+1{,}72359 \cdot (d^2 + d \cdot d_6 + d_6^2)/d^2 \cdot h + 0{,}47726 \cdot d_6^2 \cdot (h-6{,}0)/d^2 \cdot h$

ko: $f = -0{,}14726 - 0{,}001635 \cdot d + 0{,}006053 \cdot h + 3{,}02164 \cdot 1/h$
$+1{,}26247 \cdot (d^2 + d \cdot d_6 + d_6^2)/d^2 \cdot h + 0{,}42652 \cdot d_6^2 \cdot (h-6{,}0)/d^2 \cdot h$

Muotolukumalleissa käytettiin painotettua regressioanalyysiä, painoina olivat $1/(g \cdot h)^2$. Yhtälöiden jäännöshajonnat olivat 3,62 %, 3,42 % ja 4,98 %. Tilavuus saadaan kertomalla yhtälöllä saatu luku tekijällä $0{,}0785398 \cdot d^2 \cdot h$.

Suhteellisten korkeuksien läpimittoihin perustuvat tilavuusyhtälöt, kun $d_{.3h}$ ja h tunnetaan:

mä: $\ln(v) = -2{,}8906 + 1{,}9263 \cdot \ln(d_{.3h}) + 1{,}0811 \cdot \ln(h) \quad s_e = 5{,}54\ \%$
ku: $\ln(v) = -2{,}9344 + 1{,}9640 \cdot \ln(d_{.3h}) + 1{,}0325 \cdot \ln(h) \quad s_e = 4{,}97\ \%$
ko: $\ln(v) = -2{,}9423 + 1{,}9086 \cdot \ln(d_{.3h}) + 1{,}0820 \cdot \ln(h) \quad s_e = 6{,}25\ \%$

Suhteellisten korkeuksien läpimittoihin perustuvat muotolukuyhtälöt, kun kolme läpimittaa ja h tunnetaan (esim. $d_{.3h}$ ja $d_{.1h}$ mitattu, jolloin $d_{.5h} \approx 2 \cdot d_{.3h} - d_{.1h}$):

mä: $f_{.1h} = 0{,}18848 + 0{,}17164 \cdot d_{.3h}^2/d_{.1h}^2 + 0{,}39229 \cdot d_{.5h}^2/d_{.1h}^2$
ku: $f_{.1h} = 0{,}17938 + 0{,}18593 \cdot d_{.3h}^2/d_{.1h}^2 + 0{,}37364 \cdot d_{.5h}^2/d_{.1h}^2$
ko: $f_{.1h} = 0{,}19152 + 0{,}20018 \cdot d_{.3h}^2/d_{.1h}^2 + 0{,}31387 \cdot d_{.5h}^2/d_{.1h}^2$

Suhteelliset jäännöshajonnat olivat 2,96 %, 2,50 % ja 3,11 %. Tilavuus saadaan kertomalla yhtälöstä saatu muotoluvun estimaatti tekijällä $0{,}0785398 \cdot d_{.1h}^2 \cdot h$.

Residuaalitarkastelun perusteella yhtälöissä ei ollut systemaattista harhaa selittävien tekijöiden suhteen. Lisäksi yhtälöiden luotettavuutta tarkasteltiin ilmastovyöhykkeittäin ja kehitysluokittain. Läpimittaan ja pituuteen perustuva malli antoi männyllä Pohjois-Suomessa sekä uudistuskypsissä metsiköissä hiukan liian pieniä ja Etelä-Suomessa sekä kasvatusmetsissä hiukan liian suuria arvoja. Raudus- ja hieskoivun väliset erot eivät ollet kovin suuria.

41. Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Commun. Inst. For. Fenn. 108.

Julkaisussa on mallit männyn, kuusen ja koivun tilavuuden määrittämiseksi. Tilavuusyhtälöt johdettiin tilavuuden tulomuotoisesta kaavasta sekä esittämällä tilavuus erilaisten geometristen kappaleiden summana. Parametrit estimoitiin lineaarisella regressioanalyysillä.

Aineistona käytettiin noin sadalta VMI-koealalta vuosina 1968–1972 mitattuja koepuutietoja. Perusjoukkona olivat kaikki Suomen männyt, kuuset ja koivut.

Tilavuusyhtälöt, kun d tunnetaan:

mänty: $\ln(v) = -2{,}29450 + 2{,}57025 \cdot \ln(d)$ $\quad s_r = 17{,}9\ \%$

kuusi: $\ln(v) = -2{,}41218 + 2{,}62463 \cdot \ln(d)$ $\quad s_r = 19{,}7\ \%$

koivu: $\ln(v) = -2{,}09787 + 2{,}55058 \cdot \ln(d)$ $\quad s_r = 19{,}9\ \%$

Laasasenahon mukaan yhteen läpimittaan perustuvat mallit eivät ole kovin luotettavia eivätkä ne sovi pienille puille. Yhtälöitä saadaan tarkennettua, jos käytetään hyväksi rinnankorkeusläpimitan ja kannonkorkeusläpimitan välistä suhdetta: $d_k = 2{,}0 + 1{,}25 \cdot d$.

mänty: $\ln(v) = -5{,}39417 + 3{,}48060 \cdot \ln(d_k) - 0{,}0398840 \cdot d$

kuusi: $\ln(v) = -5{,}39934 + 3{,}46468 \cdot \ln(d_k) - 0{,}0273199 \cdot d$

koivu: $\ln(v) = -5{,}41948 + 3{,}57630 \cdot \ln(d_k) - 0{,}0395855 \cdot d$

Yhtälöiden keskivirheet olivat 17,2 %, 18,7 % ja 18,8 %.

Tilavuusyhtälöt, kun d ja h tunnetaan:

mänty: $\ln(v) = -3{,}32176 + 2{,}01395 \cdot \ln(d) + 2{,}07025 \cdot \ln(h) - 1{,}07209 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}0032473 \cdot d$ $\quad s_r = 7{,}10\%$

kuusi: $\ln(v) = -3{,}77543 + 1{,}91505 \cdot \ln(d) + 2{,}82541 \cdot \ln(h) - 1{,}53547 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}0085726 \cdot d$ $\quad s_r = 7{,}47\%$

koivu: $\ln(v) = -4{,}49213 + 2{,}10253 \cdot \ln(d) + 3{,}98519 \cdot \ln(h) - 2{,}65900 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}0140970 \cdot d$ $\quad s_r = 8{,}23\%$

Samat yhtälöt tulomuodossa:

$$v_{mä} = 0{,}036089 \cdot d^{2{,}01395} \cdot (0{,}99676)^{d} \cdot h^{2{,}07025} \cdot (h-1{,}3)^{-1{,}07209}$$
$$v_{ku} = 0{,}022927 \cdot d^{1{,}91505} \cdot (0{,}99146)^{d} \cdot h^{2{,}82541} \cdot (h-1{,}3)^{-1{,}53547}$$
$$v_{ko} = 0{,}011197 \cdot d^{2{,}10253} \cdot (0{,}98600)^{d} \cdot h^{3{,}98519} \cdot (h-1{,}3)^{-2{,}65900}$$

Tilavuusyhtälöt, kun d_u (= kuoreton d) ja h tunnetaan:

mänty: $\ln(v_u) = -3{,}61554 + 2{,}05534 \cdot \ln(d_u) + 2{,}30886 \cdot \ln(h) - 1{,}21013 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}0057527 \cdot d_u$

kuusi: $\ln(v_u) = -3{,}88390 + 1{,}89496 \cdot \ln(d_u) + 2{,}98696 \cdot \ln(h) - 1{,}64418 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}0091650 \cdot d$

koivu: $\ln(v_u) = -4{,}45962 + 2{,}06695 \cdot \ln(d_u) + 3{,}95373 \cdot \ln(h) - 2{,}61998 \cdot \ln(h-1{,}3) - 0{,}0115929 \cdot d_u$

Yhtälöiden keskivirheet olivat 7,5 %, 8,1 % ja 8,4 %. Vaikka yhtälöissä on mukana tekijä ln(h–1,3), tekijä ei suositele niitä käytettäväksi alle 3 m:lle männyille ja kuusille eikä alle 4 m:lle koivuille.

Muotolukuun perustuvat tilavuusyhtälöt, kun d,h ja d_6 tunnetaan:

mänty: $f = -0{,}185311 - 0{,}000609408 \cdot d + 0{,}00425391 \cdot h + 3{,}42019 \cdot 1/h + 1{,}23905 \cdot ((d^2+d \cdot d_6+d_6^2)/d^2 \cdot h) + 0{,}561137 \cdot d_6^2 \cdot (h-6{,}0)/d^2 \cdot h$ $\quad s_r=3{,}53$ %

kuusi: $f = -0{,}190435 - 0{,}00145666 \cdot d + 0{,}00556127 \cdot h + 2{,}64888 \cdot 1/h + 1{,}70546 \cdot ((d^2+d \cdot d_6+d_6^2)/d^2 \cdot h) + 0{,}476954 \cdot d_6^2 \cdot (h-6{,}0)/d^2 \cdot h3$ $\quad s_r= 3{,}38\%$

koivu: $f = -0{,}133297 - 0{,}00155664 \cdot d + 0{,}00557721 \cdot h + 2{,}88448 \cdot 1/h + 1{,}26257 \cdot ((d^2+d \cdot d_6+d_6^2)/d^2 \cdot h) + 0{,}426327 \cdot d_6^2 \cdot (h-6{,}0)/d^2 \cdot h$ $\quad s_r= 4{,}96\%$

Rungon tilavuus (dm^3) saadaan kertomalla yhtälöstä saatu muotoluvun estimaatti tekijällä $0{,}07854 \cdot h$.

Samat yhtälöt tulomuodossa:

$$v_{mä} = 0{,}268621 \cdot d^2 - 0{,}0145543 \cdot d^2 \cdot h - 0{,}0000478628 \cdot d^3 \cdot h + 0{,}000334101 \cdot d^2 \cdot h^2 + 0{,}0973148 \cdot (d^2+d \cdot d_6+d_6) + 0{,}0440716 \cdot d_6^2 \cdot (h-6)$$

$$v_{ku} = 0{,}208043 \cdot d^2 - 0{,}0149567 \cdot d^2 \cdot h - 0{,}000114406 \cdot d^3 \cdot h + 0{,}000436781 \cdot d^2 \cdot h^2 + 0{,}133947 \cdot (d^2 + d \cdot d_6 + d_6) + 0{,}0374599 \cdot d_6^2 \cdot (h-6)$$

$$v_{ko} = 0{,}226547 \cdot d^2 - 0{,}0104691 \cdot d^2 \cdot h - 0{,}000122258 \cdot d^3 \cdot h + 0{,}000438033 \cdot d^2 \cdot h^2 + 0{,}0991620 \cdot (d^2 + d \cdot d_6 + d_6) + 0{,}0334836 \cdot d_6^2 \cdot (h-6)$$

Suhteellisten korkeuksien läpimittoihin perustuvat tilavuusyhtälöt:

$$v_{mä} = 0{,}0012899 \cdot d_{.1h}^2 \cdot h + 0{,}00107444 \cdot d_{.3h}^2 \cdot h + 0{,}00224611 \cdot d_{.5h}^2 \cdot h + 0{,}000534442 \cdot d_{.1h} \cdot h - 0{,}00123071 \cdot d_{.1h}^2$$

$$v_{ku} = 0{,}00122392 \cdot d_{.1h}^2 \cdot h + 0{,}00105269 \cdot d_{.3h}^2 \cdot h + 0{,}00227640 \cdot d_{.5h}^2 \cdot h + 0{,}000479235 \cdot d_{.1h} \cdot h - 0{,}00092256 \cdot d_{.1h}^2$$

$$v_{ko} = 0{,}00128054 \cdot d_{.1h}^2 \cdot h + 0{,}00119148 \cdot d_{.3h}^2 \cdot h + 0{,}00186415 \cdot d_{.5h}^2 \cdot h + 0{,}000748341 \cdot d_{.1h} \cdot h - 0{,}00141218 \cdot d_{.1h}^2$$

Yhtälöiden keskivirheet ovat 2,79 %, 2,40 % ja 3,07 %.

Kaikilla edellä kuvatuilla menetelmillä rungon tilavuus saadaan laskettua keskimäärin yhtä luotettavasti. Eräissä pituusluokissa tulee tilavuuteen kaikilla menetelmillä pieni systemaattinen virhe, mihin on syynä runkomuodon muuttuminen metsikön eri kehitysvaiheissa. Rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvien yhtälöiden luotettavuudessa on eroja myös ilmastovyöhykkeittäin, sillä puiden runkomuodot poikkeavat toisistaan eri puolilla Suomea. Nämä systemaattiset virheet olivat kuitenkin niin vähäisiä, ettei niillä ole käytännössä merkitystä. Raudus- ja hieskoivun välillä ei havaittu selviä eroja.

42. Varmola, M. & Vuokila, E. 1986. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Folia For. 652.

Tutkimuksessa esitetään tilavuusyhtälöt pienten mäntyjen tilavuuden määrittämiseksi eri mittaustilanteita varten.

Aineisto koostui vuosina 1968–1971 mitatuista runkoanalyysipuista 100 viljelytaimikossa ja vuonna 1983 hirvivauriokokeiden perustamisvaiheessa mitatuista koepuumittauksista. Koealat sijaitsivat melko tasaisesti ympäri Suomea ja edustivat ravinteisuudeltaan OMT - ClT:n kasvupaikkoja. Taimikoita oli käsitelty perkauksin ja/tai harvennuksin, harvennuksesta oli kulunut vähintään 5 v. Aineistoon hyväksyttiin vain alle 6 m taimet. Mukana oli yhteensä 1283 mäntyä, joista 36 % oli istutettuja, 60 % kylvettyjä ja 4 % luontaisesti syntyneitä.

Yhtälöt laadittiin erikseen kuorelliselle ja kuorettomalle maanpinnan tasosta lähtien lasketulle tilavuudelle (v_b ja v_u) ja käyttöpuun määrälle 10 cm:n korkeudelta alkaen (vk_b ja vk_u).

1. Yhden muuttujan tilavuusyhtälöt:

Pituus tunnetaan:

$\ln(v_b) = -1{,}94686 + 2{,}63254 \cdot \ln(h) + 0{,}301040 \cdot TIH$ $\quad s_f = 37{,}7\ \%$
$\ln(v_u) = -2{,}33031 + 2{,}71175 \cdot \ln(h) + 0{,}309189 \cdot TIH$ $\quad s_f = 38{,}9\ \%$

$\ln(vk_b) = -1{,}95127 + 2{,}62493 \cdot \ln(h-0{,}1) + 0{,}302423 \cdot TIH$ $\quad s_f = 37{,}4\ \%$
$\ln(vk_u) = -2{,}31611 + 2{,}69921 \cdot \ln(h-0{,}1) + 0{,}307808 \cdot TIH$ $\quad s_f = 38{,}4\ \%$

Missä TIH = metsikön tiheyttä kuvaava valemuuttuja;
1, jos N < 5000 kpl/ha, muuten 0

Mallien vakiotermiin on lisätty takaisinmuunnoksen korjaustermi $s_f^2/2$. Edellisten yhtälöiden käyttö edellyttää, että taimikko on joko harventamaton tai harvennuksesta on kulunut vähintään viisi vuotta. Jos tiheyttä tai harvennusajankohtaa ei tiedetä, voidaan käyttää yhtälöitä:

$\ln(v_b) = -1{,}77328 + 2{,}65197 \cdot \ln(h)$ $\quad s_f = 40{,}8\ \%$
$\ln(v_u) = -2{,}15172 + 2{,}73170 \cdot \ln(h)$ $\quad s_f = 42{,}1\ \%$

$\ln(vk_b) = -1{,}77414 + 2{,}64283 \cdot \ln(h-0{,}1)$ $\quad s_f = 40{,}5\ \%$
$\ln(vk_u) = -2{,}13563 + 2{,}71743 \cdot \ln(h-0{,}1)$ $\quad s_f = 41{,}6\ \%$

Yksi läpimitta ($d_{.5h}$) tunnetaan:

Taimikko harventamaton tai harvennuksesta kulunut yli 5 v.:

$\ln(v_b) = -2{,}36697 + 3{,}03804 \cdot \ln(d_{.5h}) - 0{,}0884235 \cdot TIH$ $\quad s_f = 25{,}0\%$
$\ln(v_u) = -2{,}76120 + 3{,}12778 \cdot \ln(d_{.5h}) - 0{,}0916877 \cdot TIH$ $\quad s_f = 26{,}2\%$

$\ln(vk_b) = -2{,}37071 + 3{,}04462 \cdot \ln(d_{.5h}-0{,}1) - 0{,}101121 \cdot TIH$ $\quad s_f = 26{,}4\%$
$\ln(vk_u) = -2{,}74317 + 3{,}12791 \cdot \ln(d_{.5h}-0{,}1) - 0{,}106616 \cdot TIH$ $\quad s_f = 27{,}7\%$

Tiheyttä tai harvennusajankohtaa ei tunneta:

$\ln(v_b) = -2{,}39438 + 3{,}01780 \cdot \ln(d_{.5h})$ $\quad s_f = 25{,}4\ \%$
$\ln(v_u) = -2{,}78960 + 3{,}10680 \cdot \ln(d_{.5h})$ $\quad s_f = 26{,}6\ \%$

$\ln(vk_b) = -2{,}40415 + 3{,}02266 \cdot \ln(d_{.5h}-0{,}1)$ $\quad s_f = 26{,}8\ \%$
$\ln(vk_u) = -2{,}77837 + 3{,}10475 \cdot \ln(d_{.5h}-0{,}1)$ $\quad s_f = 28{,}1\ \%$

Tilavuusestimaatin suhteellinen keskivirhe oli pienin, kun selittävänä tekijänä oli läpimitta 40 %:n korkeudella. Koska käytännössä taimen puolikorkeus on kuitenkin helpompi määrittää kuin 40 %:n korkeus, valittiin yhtälöön 50 %:n korkeudelta mitattu läpimitta.

2. Kahden muuttujan yhtälöt:

Yksi läpimitta ($d_{.2h}$) ja pituus tunnetaan:

$$\ln(v_b) = -2{,}96484 + 1{,}77118 \cdot \ln(d_{.2h}) + 0{,}00545343 \cdot d_{.2h} + 1{,}16366 \cdot \ln(h)$$
$$s_f = 6{,}2\ \%$$

$$\ln(v_u) = -3{,}38963 + 1{,}85741 \cdot \ln(d_{.2h}) - 0{,}00349309 \cdot d_{.2h} + 1{,}20512 \cdot \ln(h)$$
$$s_f = 8{,}7\ \%$$

$$\ln(vk_b) = -3{,}09847 + 1{,}76919 \cdot \ln(d_{.2h}) + 0{,}00326471 \cdot d_{.2h} + 1{,}23488 \cdot \ln(h-0{,}1)$$
$$s_f = 6{,}3\ \%$$

$$\ln(vk_u) = -3{,}49914 + 1{,}84125 \cdot \ln(d_{.2h}) - 0{,}00535459 \cdot d_{.2h} + 1{,}28295 \cdot \ln(h-0{,}1)$$
$$s_f = 8{,}9\ \%$$

3. Kolmen muuttujan yhtälöt:

Kaksi läpimittaa ($d_{.1h}$ ja $d_{.4h}$) ja pituus tunnetaan:

$$\ln(v_b) = -2{,}95052 + 1{,}056350 \cdot \ln(d_{.1h}) + 0{,}835010 \cdot \ln(d_{.4h}) + 1{,}0893\dot{1} \cdot \ln(h)$$
$$s_f = 3{,}8\ \%$$

$$\ln(v_u) = -3{,}32584 + 0{,}977931 \cdot \ln(d_{.1h}) + 0{,}959958 \cdot \ln(d_{.4h}) + 1{,}13068 \cdot \ln(h)$$
$$s_f = 7{,}6\ \%$$

$$\ln(vk_b) = -3{,}06735 + 0{,}972306 \cdot \ln(d_{.1h}) + 0{,}914305 \cdot \ln(d_{.4h}) + 1{,}15874 \cdot \ln(h-0{,}1)$$
$$s_f = 4{,}0\ \%$$

$$\ln(vk_u) = -3{,}42176 + 0{,}892051 \cdot \ln(d_{.1h}) + 1{,}028540 \cdot \ln(d_{.4h}) + 1{,}20671 \cdot \ln(h-0{,}1)$$
$$s_f = 7{,}7\ \%$$

Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöissä rungon muotoa parhaiten selittävät läpimitat sijaitsevat keskimäärin 10 %-yksikköä alempana kuin suurilla puilla, koska taimilla rungon tyvilaajentuma on vähäinen.

Pienillä puilla mittausvirheiden merkitys on huomattava. Jos puusta mitataan vain yksi läpimitta, mittauskorkeuden määrittämiseen silmävaraisesti liittyy aina virhettä. Tästä syystä suositellaankin pituuden mittaamista ja vastaavan yhtälön käyttöä, jos puista mitataan vain yksi tunnus.

Käyttökelpoisimpia lienevät pituuteen ja 20 %:n korkeudelta mitattuun läpimittaan perustuvat yhtälöt, joista tarkasteltiin lähemmin kuorellisen käyttöpuun tilavuuden (vk_b) ennustavaa mallia. Malli aliarvio luontaisesti syntyneiden taimien tilavuuden (laadinta-aineistossa 3,4 %), mihin voi olla syynä luonnontaimien voimakkaampi tyvilaajentuma. Syntytapa ei kuitenkaan ollut merkittävä selittäjä, mikä johtuu koepuiden epätasapainoisesta jakaumasta. Kasvupaikan suhteen ei havaittu systemaattisia eroja. Kookkaimpien puiden tilavuutta malli aliarvioi muutaman prosenttiyksikön verran.

Vaikka yhtälöissä oli mukana taimikon tiheyttä kuvaava valemuuttuja, yhtälöiden tarkkuutta olisi voitu ilmeisesti parantaa, jos tiheys olisi ilmaistu täsmällisemmin. Toisaalta runkoluvun käyttö selittävänä tekijänä on ongelmallista harvennetuissa metsiköissä, joissa mittaushetken runkoluku on aivan toisenlainen kuin tiheys, jossa puu on suurimman osan aikaa kasvanut.

Yhtälöiden lisäksi tutkimuksessa on taulukoitu rungon kuorellinen ja kuoreton tilavuus pituuden funktiona, 50 %:n korkeudelta mitatun läpimitan funktiona sekä pituuden ja 20 %:n korkeudelta mitatun läpimitan funktiona. Yhden tunnuksen yhtälöissä on taulukoitu erikseen harvassa (<5000 kpl/ha) ja tiheässä taimikossa kasvaneiden puiden tilavuudet.

2.1.7. Puutavaralajit

43. Laasasenaho, J. & Sevola, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavaralajisuhteet ja kantoarvot. Commun. Inst. For. Fenn. 74(3).

Tutkimuksessa laadittiin yhtälöt rungon tukkipuu- ja hukkapuuprosenteille valikoivaa regressioanalyysiä käyttäen.

Aineisto kuvataan kohdassa 39. Koepuiden tilavuus laskettiin latvasta ylimpään juurenniskaan asti eli kannon osuutta ei vähennetty. Tukkipuun minimiläpimitta kuoren alta oli männyllä 14 cm ja kuusella 15 cm. Kuitupuun minimiläpimitta kuoren alta oli molemmilla puulajeilla 6 cm. Tukin minimipituus oli 39 dm.

Yhtälöt tukki- ja hukkapuuprosenteille:

$$\text{mänty: } tu\% = 55{,}28677 + 51{,}2575 \cdot h^{0{,}1} - 13450{,}995 \cdot 1/d^2 + 12065{,}305 \cdot 1/(d \cdot h) + 72{,}500908 \cdot \ln(tl) - 66{,}69221 \cdot \sqrt{tl}$$

$$\ln(hu\%) = 13{,}09808 - 0{,}366495 \cdot \ln(d^2 - d_6^2) + 22{,}3821 \cdot (\ln(h))^{0{,}1} - 23{,}53943 \cdot d^{0{,}1} - 2{,}95606 \cdot (d_6/d)^2 + 383{,}15 \cdot 1/d^2 - 2{,}161 \cdot h/d - 417{,}3884 \cdot 1/(d \cdot h)$$

$$\text{kuusi: } tu\% = 181{,}274 - 1{,}20074 \cdot d + 0{,}035358 \cdot h^2 - 63{,}30275 \cdot h/d + 65{,}9472 \cdot \ln(tl) - 56{,}2538 \cdot \sqrt{tl}$$

$$\ln(hu\%) = -359{,}506409 - 12{,}85504 \cdot \ln(h) - 2{,}147173 \cdot \ln(d_6) + 0{,}119397 \cdot \ln(d - d_6) + 361{,}7478 \cdot (\ln(h))^{0{,}1} + 295{,}04989 \cdot 1/(d \cdot h)$$

Yhtälöissä tl = tukkiluku eli rungosta saatavien tukkien lukumäärä. Suhteelliset keskivirheet olivat tukkipuumalleissa männyllä 3,5 % ja kuusella 4,0 % ja hukkapuumalleissa 19,9 % ja 16,2 %.

Tutkimuksessa on laadittu regressiomallit myös rungon kuutiojalkamäärälle ja arvolle sekä tukkiosan muuntokertoimelle. Kaikilla yhtälöillä lasketut tulokset on esitetty taulukoina. Tukkiluku on korvattu keskimääräisellä kapenemisella, jotta tulokset olisivat vertailukelpoisia aikaisempien tutkimuksien kanssa.

44. Nousiainen, J., Rantanen, V. & Tiihonen, P. 1972. Kiintokuutiometrin käyttöön perustuva kuitu- ja tukkipuiden kuutioimismenetelmä. Mänty, kuusi ja koivu. Commun. Inst. For. Fenn. 77(2).

Männyn, kuusen ja koivun keskimääräinen latvaosuus ja mänty- ja kuusitukkipuiden keskimääräinen kuitupuuosuus esitellään taulukkoina läpimitta- ja pituusluokittain.

Tutkimuksessa on kuvattu puutavaralajitaulukoiden laadintamenetelmää, jonka perusteella laaditut taulukot on julkaistu Folia Forestalia -sarjassa (Tiihonen, 1972a ja 1972b).

Puutavaralajitaulukkojen laadinta-aineisto käsitti vuonna 1971 maan eteläpuoliskon eri osissa sijainneilta käytännön hakkuutyömailta kaadetuista rungoista ja pystypuista tehtyjä mittauksia. Kaatokoepuissa oli yhteensä 2227 mäntyä ja 2020 kuusta, pystyapteeratuissa puissa oli 349 mäntyä ja 136 kuusta.

Tukkipuiden pienin läpimittaluokka oli 19 cm ja minimitukin koko männyllä 430 x 15 cm, kuusella 430 x 17 cm ja koivulla 310 x 17 cm (läpimitta havupuilla tukin latvasta kuoren päältä ja koivulla keskeltä kuoren päältä). Kuitupuun minimiläpimitta latvasta kuoren alta oli 6 cm.

Taulukot on laadittu suurehkojen puuerien kuutiointia varten ja niitä voidaan käyttää lähinnä maan eteläpuoliskossa terveiden runkojen kuutiointiin.

45. Tiihonen, P. 1972a. Kiintokuutiometrin käyttöön perustuvat männyn, kuusen ja koivun kuitupuutaulukot. Folia For. 154.

Julkaisu sisältää taulukot rungon keskimääräisen kuitupuutilavuuden määrittämiseksi puun läpimitan, pituuden ja kapenemisen avulla.

Aineisto oli sama kuin edellä kuvatussa tutkimuksessa.

Laadittujen taulukoiden perustana olivat Ilvessalon (1947) pystypuiden kuutioimistaulukot. Ilvessalon taulukoista saatuja tilavuuksia suurennettiin kuusella 1 %:lla, männyllä 1,5 %:lla ja Pohjois-Suomessa kaikilla pieniläpimittaisilla puilla 1,5 %:lla alentuneen kannon-

korkeuden vuoksi. Runkotilavuudesta vähennettiin latvan osuus (6 cm:n läpimitasta kuoren alta latvaan).

Taulukoista ilmenee sovelletun luokituksen mukaisista rungoista keskimäärin saatavan kuitupuun tilavuus (k-m^3). Taulukot on laadittu suurehkojen puuerien kuutiointia varten ja niitä voidaan käyttää lähinnä maan eteläpuoliskossa terveiden runkojen kuutiointiin.

46. Tiihonen, P. 1972b. Kiintokuutiometrin käyttöön perustuvat männyn, kuusen ja koivun tukkipuutaulukot. Folia For. 155.

Julkaisussa esitellään taulukot rungon keskimääräisen tukkipuutilavuuden määrittämiseksi läpimitan, pituuden ja kapenemisen avulla.

Tutkimusaineisto on sama kuin kohdassa 44 kuvattu aineisto ja taulukot laadittiin samalla menetelmällä kuin edellä kuvatut kuitupuutaulukot.

Tukkiosuus laskettiin tukin pituuden (min. 49 dm) ja kuorettoman latvaläpimitan perusteella (min. 14 cm männyllä ja 16 cm kuusella). Tarkastusaineiston vastaavien arvojen vertailun ja graafisen tarkastelun pohjalta päädyttiin kuitupuun ja latvan tilavuuksia osoittaviin taulukoihin. Aineistosta laskettuja tukkiosuuksien tilavuuksia ei käytetty, vaan keskimääräiset tukkiosuudet läpimitta- ja pituusluokittain saatiin vähentämällä Ilvessalon (1947) taulukoiden yksikkökuutioista aineiston perusteella saadut kuitu- ja latvaosuudet.

Kuten edellä, taulukot on laadittu suurehkojen puuerien puutavaralajien määrittämistä varten. Niitä voidaan käyttää maan eteläpuoliskossa terveiden runkojen kuutiointiin.

47. Tiihonen, P. 1972c. Rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvat uudet puutavaralajitaulukot. Folia For. 167.

Tutkimustuloksina ovat männyn, kuusen ja koivun kuitu- ja tukkipuutaulukot maan eteläpuoliskolle. Kaikille puulajeille laadittiin yhteiset keskimääräissarjat.

Taulukoiden perustana olivat aikaisemmin laaditut puutavaralajitaulukot sekä koivun osalta Nousiaisen et al. (1972) koepuuaineisto (kohta 44). Kuitupuiden taulukosta ilmenee sovelletun luokituksen mukaisista rungoista keskimäärin saatava kuitupuun tilavuus kuorellisina kiintokuutiometreinä 6 cm:n latvaläpimittaan (kuoren alta) asti. Tukkipuiden taulukosta nähdään vastaavasti rungon tukkiosan tilavuus läpimitta- ja pituusluokittain.

48. Heiskanen, V., Kuronen, A. & Tiihonen, P. 1972. Rinnankorkeusläpimittaan ja tukkilukuun perustuvat sahapuiden kuutioimistaulukot. Folia For. 162.

Tutkimuksessa laadittiin tukkipuutaulukot mänty- ja kuusisahapuuleimikoiden likimääräistä kuutiointia varten.

Aineistona käytettiin Nousiaisen ym (1972) maan eteläpuoliskosta puutavaralajitaulukoiden valmistamista varten keräämää koepuuaineistoa (kohta 44). Aineistosta valittiin tähän tutkimukseen soveltuvat mänty- (4794 kpl) ja kuusikoepuut (4275 kpl). Taulukot perustuvat

tukkien 460–490 cm:n keskipituuteen ja latvatukin osalta männyllä n. 16,5 cm:n ja kuusella n. 17,5 cm:n latvaläpimittaan.

Laaditut sahapuiden kuutioimistaulukot ilmaisevat käytetyn luokituksen mukaisista rungoista keskimäärin saatavan tukkipuun tilavuuden kiintokuutiometreinä. Mukana ovat rinnankorkeusläpimittaluokat 19–45 cm ja tukkilukuluokat 1–4 kpl. Taulukot eivät sovellu yksittäisen rungon erikseen kuutiointiin.

49. Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta. Folia For. 233.

Julkaisussa on taulukkomallit männyn, kuusen ja koivun latvapuun pituudelle ja tilavuudelle rinnankorkeus- ja katkaisuläpimitan funktioina.

Aineistona olivat ympäri Suomea mitatut VMI-koepuut. Mäntyjä oli yhteensä 2327, kuusia 1863 ja koivuja 864 kappaletta. Samaa aineistoa käytettiin Laasasenahon ja Sevolan (1971) tutkimuksessa (kohta 39).

Taulukoiden lisäksi esitetään graafisesti latvapuun pituuden suhteen (% puun koko pituudesta) ja tilavuusosuuden (%) riippuvuudet rinnankorkeusläpimitasta eri katkaisuläpimitoilla. Tulokset ovat koko maasta kerätyn koepuuaineiston perusteella laskettuja keskiarvoja, joten ne eivät päde tarkasti yksityisille metsiköille.

50. Virkkunen, M. 1983. Tukkiosuusmallit männylle, kuuselle ja lehtipuille. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Työssä laadittiin rungon tukkiosuutta kuvaavat regressioyhtälöt Etelä-Savon ja Satakunnan metsälautakuntien alueille.

Aineistona olivat 7. VMI:n pystyyn apteeratut koepuut ko. alueilta. Mukana oli yhteensä 1832 koepuuta Etelä-Savosta ja 1209 Satakunnasta. Rinnankorkeusläpimitaltaan alle 2,5 cm puut poistettiin aineistosta.

Malleissa selitettävänä muuttujana on tukkiosuus (t) eli rungon tukkiosan osuus rungon kokonaistilavuudesta. Koska tukkiosuus saa arvoja väliltä 0–1, sille tehtiin ns. logit-muunnos, jonka jälkeen selitettävä muuttuja oli $y = \ln(t/(1-t))$.

Tukkiosuusmallit (Etelä-Savo = ES, Satakunta = SK):

Mänty: $y_{ES} = 3{,}99139 - 119013{,}4998 \cdot 1/d^2 - 0{,}01369 \cdot (d - 10 \cdot d_6)$
$- 0{,}21711 \cdot IA - 0{,}00272 \cdot IB + 0{,}13407 \cdot III + 0{,}19231 \cdot IV$

$y_{SK} = 3{,}30769 - 96203{,}39948 \cdot 1/d^2 - 0{,}00819 \cdot (d - 10 \cdot d_6)$
$- 0{,}27184 \cdot IA - 0{,}06037 \cdot IB - 0{,}44111 \cdot III - 0{,}15716 \cdot IV$

Kuusi: $y_{ES} = 5{,}95556 - 1043{,}40712 \cdot 1/d - 0{,}00777 \cdot (d - 10 \cdot d_6)$

$y_{SK} = 5{,}30620 - 913{,}88375 \cdot 1/d - 0{,}00776 \cdot (d - 10 \cdot d_6)$

Lehtipuut: $y_{ES} = 1{,}42598 - 48627{,}12249 \cdot 1/d^2$

$y_{SK} = 1{,}22598 - 35378{,}50635 \cdot 1/d^2 + 0{,}22547 \cdot IA - 0{,}51062 \cdot II$

missä:

d = rinnankorkeusläpimitta, mm

d_6 = yläläpimitta, cm

Veroluokkavalemuuttujat:

IA = 1, jos veroluokka on IA, muuten 0.

Muut vastaavasti, paitsi

IV = 1, jos veroluokka on IV tai kyseessä on kitumaa

II = 1, jos veroluokka lehtipuilla on II tai huonompi tai kyseessä on kitumaa

Logit-muunnoksesta aiheutuva harha poistettiin laskemalla kullekin yhtälölle tasokerroin $k = \Sigma t / \Sigma \hat{t}$. Tasokorjauskertoimet olivat männyllä 0,975, kuusella 0,980 (ES) ja 0,979 (SK) ja lehtipuilla 0,978 (ES) ja 0,981 (SK).

Koska yhtenä selittävänä tekijänä havupuiden yhtälöissä on yläläpimitta d_6, jota ei mitata haaroittuneista puista, laskettiin haarapuille tukkiosuudet erikseen. Männyllä keskimääräinen tukkiosuus oli 0,508 ja kuusella 0,594.

Luotettavuustarkastelut tehtiin laadinta-aineiston perusteella. Keskivirheet laskettiin 5 cm:n läpimittaluokittain sekä prosentteina että litroina. Seuraavassa on mallien keskivirheet ja selitysasteet koko aineistossa sekä havaintojen lukumäärät:

Mänty:

ES: $s_y = 11{,}7\ \%$ $s_y = 89{,}9\ dm^3$ $R^2 = 42{,}2\ \%$ $n = 894$

SK: $s_y = 11{,}5\ \%$ $s_y = 70{,}6\ dm^3$ $R^2 = 34{,}3\ \%$ $n = 583$

Kuusi:

ES: $s_y = 10{,}2\ \%$ $s_y = 63{,}3\ dm^3$ $R^2 = 55{,}1\ \%$ $n = 675$

SK: $s_y = 11{,}1\ \%$ $s_y = 63{,}5\ dm^3$ $R^2 = 51{,}1\ \%$ $n = 550$

Lehtipuut:

ES: $s_y = 13{,}8\ \%$ $s_y = 93{,}7\ dm^3$ $R^2 = 12{,}1\ \%$ $n = 252$

SK: $s_y = 13{,}9\ \%$ $s_y = 87{,}9\ dm^3$ $R^2 = 14{,}9\ \%$ $n = 70$

Lisäksi tutkittiin joidenkin ympäristötekijöiden vaikutusta tukkipuuosuuteen. Rannikon läheisyydellä ei ollut vaikutusta kuusen tukkipuuosuuteen, vaikka tyvilahovikojen vuoksi näin voisi olettaa. Metsikön tiheydellä ei todettu olevan merkitystä kuusen ja männyn tukkipuuosuuksiin. Kasvupaikan alaryhmä vaikutti siten, että Etelä-Savon korvissa kasvaneiden mäntyjen tukkipuuosuus oli n. 4 % suurempi kuin alueella keskimäärin ja Satakunnassa korpikuusen tukkiosuus oli pienempi kuin kankailla kasvaneiden. Piirimetsälautakunnan

vaikutusta tutkittiin soveltamalla Etelä-Savon ja Satakunnan malleja toistensa laadinta-aineistoissa. Etelä-Savon mallit yliarvioivat Satakunnan ja Satakunnan mallit aliarvioivat Etelä-Savon koepuiden tukkiosuudet.

51. Vähäsaari, H. 1988. Puutavaralajirakenteen arvioiminen eri mittausmenetelmillä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Tutkielmassa on sekamallitekniikan avulla laadittu regressiomalli vikaisuuksista johtuvalle tukkiosuuden vähennykselle. Laadittua tukkiosan vähennysmallia käytettiin lukupuiden runkokäyrien avulla laskettujen tukkiosan tilavuuksien korjaamiseen.

Aineisto kerättiin metsähallituksen Pohjois-Pohjanmaan piirikunnan pystymitatuilta leimikoilta. Mukana oli kaikkiaan 19 palstaa, jotka sijaitsivat pääasiassa VT- tai MT-kankaalla. Pystymittauksessa koepuut valittiin määräväliotannalla siten, että koepuiden puulajikohtainen lukumäärä palstalla oli vähintään 25 (tai 20, jos puulajin osuus oli vähemmän kuin puolet pääpuulajista). Mukana oli yhteensä 254 tukkipuukokoista mäntyä ja 108 kuusta.

Teoreettisen tukkiosan vähennysprosenttia kuvataan mallilla:

$$y_{ki} = u(d) + b_k + e_{ki}$$

missä y_{ki} = teoreettisen tukkiosan suhteellinen virhe eli
100 · (toteutunut tu – teoreettinen tu)/ teoreettinen tu
tu = rungon tukkiosuus
u(d) = puun rinnankorkeusläpimittaan perustuva vähennysmalli
b_k = palstakohtainen satunnaistekijä
e_{ki} = puukohtainen satunnaistekijä

Mallin kiinteän osan u(d) estimoivat regressioyhtälöt:
koepuista on mitattu d, d_6 ja h:

mänty: $u(d) = -471{,}9896 - 7{,}108862 \cdot d + 198{,}6001 \cdot \ln(d)$

$R^2 = 0{,}231 \quad s_e = 0{,}2198$

kuusi: $u(d) = -14{,}22296$

Kuusella mitkään puu- tai metsikkökohtaiset tunnukset eivät olleet merkitseviä selittäjiä, joten yhtälö pelkistyi vakiomalliksi.

Edellä kuvatuilla malleilla laskettiin tukkiosan erotus ja jaettiin se varianssikomponentteihin var(b) ja var(e), joita tarvitaan palstakohtaisen satunnaistekijän laskentaan kaavalla:

$$b_k = \frac{var(b)}{var(b) + var(e)/n} \cdot (y_k - \bar{u}(d))$$

missä var(b) = palstojen välinen vaihtelu
var(e) = palstojen sisäinen vaihtelu
y_k = tukkiosan keskimääräinen suhteellinen virhe
u(d) = mallilla laskettu tukkiosan suhteellinen virhe
n = palstan tukkikoepuiden lukumäärä

Varsinainen vähennysprosentti saadaan kaavalla

$$\hat{y}_{ki} = u(d) + \hat{b}_k$$

Koepuista on mitattu d ja h:

mänty: $u(d) = -494{,}961 - 7{,}329034 \cdot d + 207{,}1493 \cdot \ln(d)$

$R^2 = 0{,}231 \quad s_e = 0{,}2198$

kuusi: $u(d) = -14{,}09663$

Kuusella yhtälöt pelkistyivät vakiomalleiksi, koska palstojen välinen varianssi ja siten myös palstakohtainen satunnaistekijä saivat arvoksi nollan.

Laaditut yhtälöt eivät kuvaa kovin hyvin tukkivähennysprosenttia. Tehdyn tarkastelun mukaan koepuita pitäisi mitata noin 90 joka palstalla, jotta tukkitilavuuden vaihtelu olisi alle puolet tukkitilavuuden vaihtelusta palstojen välillä. Aineiston suppeuden takia mitkään metsikkömuuttujista kuten pohjapinta-ala tai metsätyyppi eivät selittäneet tukkivähennystä, vaikka se olisi ollut odotettavissa.

Kun tukkivähennysprosentti lasketaan kahden dimension avulla, on tukkitilavuuden suhteellinen virhe 1,19 % ja kuitupuun 0,90 % verrattuna kolmen dimension avulla saatuihin tilavuuksiin. Erot eivät olleet merkitseviä, sillä hajonnat olivat suuria. Verrattaessa mallien avulla laskettuja tuloksia palstojen jälkimittaustuloksiin oli männyn tukkitilavuuden suhteellinen virhe –18,44 % ja kuusen –33,83 % eli menetelmällä yliarvioitiin syntyvä tukkitilavuus. Toisaalta metsähallituksen pystymittauksen suhteelliset virheet olivat mäntytukilla –16,01 % ja kuusitukilla –40,72 % eli PMP-systeemi yliarvio sekin selvästi toteutunutta tukkitilavuutta.

Käytettyä menetelmää olisi syytä kokeilla laajemmalla aineistolla. Puutavaralajirakenteen tarkka arvioiminen ja koepuiden apteeraustietojen siirtäminen lukupuille käytettävissä olevilla menetelmillä on hankalaa.

2.1.8. Puuaineen tiheys ja kuivapaino

52. Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of finnish pine, spruce and birch wood. Commun. Inst. For. Fenn. 61(5).

Julkaisu sisältää puuaineen tiheyttä selittäviä lineaarisia regressiomalleja.

Aineisto kerättiin Metsäntutkimuslaitoksen Vilppulan, Vesijaon ja Punkaharjun kokeilualueilta. Näistä luontaisesti syntyneistä koemetsiköistä kaadettiin yhteensä 785 mänty-, 751 kuusi-, 249 rauduskoivu- ja 310 hieskoivukoepuuta, joista kairattiin 6–10 lastua aina 10 %:n (puun pituudesta) välein.

Kairanlastun puuaineen tiheyden (Y, kg/m^3) riippuvuus kesäpuun osuudesta (X, %):

mänty:	$Y = 307,3 + 3,49 \cdot X$	$R^2 = 0,5279$ $s_{yx} = 27,3$
kuusi:	$Y = 296,9 + 4,61 \cdot X$	$R^2 = 0,4019$ $s_{yx} = 32,3$

Kairanlastun puuaineen tiheyden (Y, kg/m^3) riippuvuus luston iästä (X, v):

mänty:	$Y = 344,8 + 2,229 \cdot X - 0,01477 \cdot X^2$	$R^2 = 0,4049$ $s_{yx} = 27,2$
kuusi:	$Y = 358,8 + 0,828 \cdot X - 0,00376 \cdot X^2$	$R^2 = 0,0704$ $s_{yx} = 40,1$
raudus:	$Y = 424,5 + 2,999 \cdot X - 0,02400 \cdot X^2$	$R^2 = 0,2715$ $s_{yx} = 34,2$

Puuaineen tiheyden (Y, kg/m^3) riippuvuus vuosiluston paksuudesta (X, mm):

mänty:	$Y = 432,1 - 23,0 \cdot X$	$R^2 = 0,1098$ $s_{yx} = 37,7$
kuusi:	$Y = 420,6 - 31,1 \cdot X$	$R^2 = 0,4242$ $s_{yx} = 27,3$
raudus:	$Y = 508,2 - 14,7 \cdot X$	$R^2 = 0,0650$ $s_{yx} = 40,2$

Rungon keskimääräisen tiheyden (Y, kg/m^3) riippuvuus rinnankorkeudelta määritetystä tiheydestä (X, kg/m^3) ja joistakin puutunnuksista:

mänty:	$Y = 129,0 + 0,648 \cdot X$	$R^2 = 0,7663$ $s_{yx} = 15,9$
	$Y = 129,0 + 0,682 \cdot X - 1,039 \cdot d_{1,3}$	$R^2 = 0,8053$ $s_{yx} = 14,5$
	$Y = 170,0 + 0,589 \cdot X - 67,8 \cdot d_{1,3} \cdot t$	$R^2 = 0,8138$ $s_{yx} = 14,2$
	$Y = 155,8 + 0,634 \cdot X - 46,7 \cdot d_{1,3} \cdot t - 0,738 \cdot h$	$R^2 = 0,8224$ $s_{yx} = 13,9$
kuusi:	$Y = 66,4 + 0,817 \cdot X$	$R^2 = 0,8471$ $s_{yx} = 11,7$
	$Y = 79,4 + 0,799 \cdot X - 0,409 \cdot d_{1,3}$	$R^2 = 0,8541$ $s_{yx} = 11,5$
	$Y = 73,6 + 0,818 \cdot X - 0,00145 \cdot X \cdot h$	$R^2 = 0,8560$ $s_{yx} = 11,4$
	$Y = 89,9 + 0,779 \cdot X - 15,2 \cdot d_{1,3} \cdot t - 0,429 \cdot h$	$R^2 = 0,8571$ $s_{yx} = 11,4$
raudus:	$Y = 122,8 + 0,734 \cdot X$	$R^2 = 0,7716$ $s_{yx} = 15,0$
	$Y = 122,2 + 0,737 \cdot X - 0,074 \cdot d_{1,3}$	$R^2 = 0,7718$ $s_{yx} = 15,0$

$Y = 162{,}1 + 0{,}682 \cdot X - 630{,}0 \cdot 1/t$ $\quad R^2 = 0{,}7905 \quad s_{yx} = 14{,}3$

$Y = 168{,}2 + 0{,}700 \cdot X - 982{,}0 \cdot 1/t - 0{,}00028 \cdot X \cdot h$ $\quad R^2 = 0{,}7922 \quad s_{yx} = 14{,}3$

hies: $Y = 95{,}1 + 0{,}798 \cdot X$ $\quad R^2 = 0{,}8414 \quad s_{yx} = 11{,}6$

$Y = 98{,}5 + 0{,}777 \cdot X + 0{,}128 \cdot t$ $\quad R^2 = 0{,}8477 \quad s_{yx} = 11{,}4$

$Y = 36{,}1 + 0{,}907 \cdot X + 1{,}249 \cdot t - 0{,}00232 \cdot X \cdot h$ $\quad R^2 = 0{,}8501 \quad s_{yx} = 11{,}4$

(yhd.)

koivut: $Y = 118{,}5 + 0{,}746 \cdot X$ $\quad R^2 = 0{,}8134 \quad s_{yx} = 13{,}4$

$Y = 117{,}4 + 0{,}753 \cdot X - 0{,}146 \cdot d_{1,3}$ $\quad R^2 = 0{,}8141 \quad s_{yx} = 13{,}4$

$Y = 126{,}3 + 0{,}746 \cdot X - 30{,}5 \cdot d_{1,3} \cdot t$ $\quad R^2 = 0{,}8248 \quad s_{yx} = 13{,}0$

$Y = 143{,}4 + 0{,}722 \cdot X - 23{,}7 \cdot d_{1,3} \cdot t - 338{,}0 \cdot 1/t$ $\quad R^2 = 0{,}8299 \quad s_{yx} = 12{,}8$

Näiden yhtälöiden lisäksi esitetään rungon keskimääräisen tiheyden riippuvuus 25 %:n korkeudelta määritetystä tiheydestä (ja joistakin muista puutunnuksista).

Rungon keskimääräisen tiheyden riippuvuus puun iästä ja rinnankorkeusläpimitasta:

mänty: $Y = 333{,}8 + 1{,}759 \cdot t - 0{,}00806 \cdot t^2$ $\quad R^2 = 0{,}3185 \quad s_{yx} = 27{,}1$

$Y = 475{,}4 - 2469{,}0 \cdot 1/t - 1{,}55 \cdot d_{1,3}$ $\quad R^2 = 0{,}3889 \quad s_{yx} = 26{,}1$

kuusi: $Y = 356{,}5 + 0{,}390 \cdot t$ $\quad R^2 = 0{,}1506 \quad s_{yx} = 27{,}6$

$Y = 377{,}0 + 0{,}560 \cdot t - 2{,}34 \cdot d_{1,3}$ $\quad R^2 = 0{,}3622 \quad s_{yx} = 24{,}0$

raudus: $Y = 538{,}0 - 2036{,}0 \cdot 1/t$ $\quad R^2 = 0{,}2388 \quad s_{yx} = 27{,}3$

hies: $Y = 425{,}3 + 1{,}565 \cdot t - 0{,}00850 \cdot t^2$ $\quad R^2 = 0{,}1383 \quad s_{yx} = 27{,}2$

Tulosten luotettavuutta tarkasteltaessa huomautetaan, että aineistossa männyllä ja kuusella rungon keskimääräisen tiheyden jakauma poikkesi merkitsevästi normaalijakaumasta: keskiarvoa pienemmät tiheydet olivat yleisempiä kuin sitä suuremmat tiheydet.

53. Hakkila, P. & Uusvaara, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Commun. Inst. For. Fenn. 66(6).

Viljelykuusien puuaineen tiheyttä tarkastellaan regressiomallien avulla.

Aineisto koottiin 53 eteläsuomalaisesta viljelykuusikosta, joilta mitattiin 30 pystykoepuuta kultakin. Kasvupaikoiltaan metsiköt edustivat OMT- ja MT- kankaita. Koepuiden keski-ikä oli 43 vuotta.

Rinnankorkeudelta kairatusta lastusta määritetty puuaineen tiheys (X, kg/m^3) muutettiin koko rungon keskimääräiseksi tiheydeksi (Y, kg/m^3) yhtälöllä $Y = 123{,}2 + 0{,}680 \cdot X$, joka

perustuu 65 kaatokoepuun tiheysmittauksiin.

Rungon keskimääräisen tiheyden riippuvuus puun iästä:

$$Y = 269{,}4 + 53{,}1 \cdot \log(t) \qquad R = 0{,}377 \quad s_{yx} = 19{,}7$$

$$Y = 409{,}9 + 0{,}266 \cdot t - 109{,}8 \cdot \sqrt{d1{,}3/t} \qquad R = 0{,}584 \quad s_{yx} = 17{,}3$$

Puuaineen tiheyden riippuvuutta puun iästä luontaisesti syntyneissä (Hakkila 1966) ja viljelykuusikoissa verrattiin toisiinsa graafisesti.

54. Hakkila, P. 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (*Alnus incana*). Commun. Inst. For. Fenn. 71(5).

Tutkimuksessa laadittiin regressioyhtälöt harmaalepän rungon keskimääräiselle tiheydelle ja kuiva-ainesisällölle.

Aineisto sisälsi 480 koepuuta, jotka oli mitattu 32 eri metsiköstä eri puolilta Etelä-Suomea metsätyypeiltä MT ja OMT. Koepuiden keski-ikä oli 23 vuotta, keskipituus 9 m ja keskiläpimitta 7 cm. Koepuista sahattiin eri korkeuksilta yhteensä 4000 kiekkoa.

Tiheysmallit:

$$y = 43{,}7 + 0{,}8944 \cdot x \qquad R^2 = 0{,}920 \quad s_{yx} = 6{,}3$$

$$Y = 338{,}4 + 0{,}99 \cdot T$$

Missä y = rungon keskimääräinen tiheys = kuivapaino/tuore tilavuus, kg/m^3
x = tiheys rinnankorkeudella, kg/m^3
Y = metsikön keskimääräinen puuaineen tiheys, kg/m^3

Kuiva-ainemallit:

$$y_b = 859{,}0 - 454{,}8 \cdot d_{1,3} + 190{,}72 \cdot x^2 \qquad R^2 = 0{,}938$$

$$y = 930{,}0 - 426{,}8 \cdot d_{1,3} + 211{,}52 \cdot x^2 \qquad R^2 = 0{,}937$$

$$y_1 = 1557{,}0 + 0{,}14269 \cdot d_{1,3} \cdot h \qquad R^2 = 0{,}968$$

$$y_2 = 1240{,}0 + 0{,}12732 \cdot d_{1,3} \cdot h \qquad R^2 = 0{,}969$$

$$y_3 = 234{,}0 + 0{,}14246 \cdot d_{1,3} \cdot h \qquad R^2 = 0{,}964$$

$$y_4 = 128{,}0 + 0{,}12705 \cdot d_{1,3} \cdot h \qquad R^2 = 0{,}965$$

Missä y_b = kuorellisen harmaaleppärungon kuiva-ainesisältö, kg
y = kuorettoman harmaaleppärungon kuiva-ainesisältö, kg
y_1 = rungon kuiva-ainesisältö kuorineen, g
y_2 = rungon kuiva-ainesisältö kuoretta, g
y_3 = käyttöosan kuiva-ainesisältö kuorineen, g

y_4 = käyttöosan kuiva-ainesisältö kuoretta, g

$d_{1,3} \cdot h$ = rinnankorkeusläpimitta x pituus, cm^2

Lisäksi on esitetty taulukot harmaaleppärungon kuiva-ainesisällöstä rinnankorkeusläpimitan ja pituuden funktiona kuorineen ja kuoretta.

55. Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Commun. Inst. For. Fenn. 80(2).

Tutkimusaiheena om viljelymäntyjen puuaineen tiheys, jota tarkastellaan regressiomallien avulla.

Aineisto koottiin Suomen eteläosissa sijainneilta ensiharvennusvaiheessa olevista istutusmänniköistä. Aineiston kuvataan tarkemmin kohdassa 5.

Rungon puuaineen tiheyden (=Y, kg/k-m^3) riippuvuus kesäpuuprosentista (=X, %) rinnankorkeudella:

$Y = 262{,}881 - 4{,}228 \cdot X$ $\quad R = 0{,}650$ $\quad s_{xy} = 21{,}5$

Rungon ja metsikön keskimääräisen puuaineen tiheyden riippuvuudet puun/metsikön iästä:

$y = 212{,}880 + 49{,}601 \cdot \log(t)$ $\quad R = 0{,}620$ $\quad s_{xy} = 22{,}3$

$Y = 468{,}302 - 1066{,}817 \cdot \log(D/T)$ $\quad R = 0{,}854$ $\quad s_{xy} = 11{,}5$

Puuaineen tiheys eri ikäisten runkojen suhteellisilla korkeuksilla lastun eri osissa (pinta, keski ja ydin) on esitetty taulukkomuodossa. Tiheys suhteellisen korkeuden funktiona on esitetty myös graafisesti erikseen metsätyypeillä OMT, MT ja VT sekä verrattu keskimääräistä tiheyskäyrää Hakkilan (1966) esittämään käyrään.

56. Hakkila, P. 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 96(3).

Mänty-, kuusi- ja koivurungon puuaineen tiheyden vaihtelua tarkastellaan regressiomallien ja runkojen kuivapainotaulukoiden avulla.

Pääaineisto on peräisin VMI 5:n koealoilta mitatuista pystykoepuista. Mukana oli yhteensä 1643 mäntyä, 1368 kuusta ja 310 koivua, joista kairattiin rinnankorkeudelta lastu tiheyden määrittämistä varten. Lisäaineistona mitattiin 150 männyn, 116 kuusen ja 40 koivun kaatokoepuuaineisto, joiden perusteella selvitettiin koko rungon keskimääräisen tiheyden riippuvuus rinnankorkeustiheydestä. Kuivapainotaulukoiden luotettavuutta testattiin erillisellä 264 kaatokoepuun aineistolla.

Tiheyden määrittämistä varten mitattiin kairanlastujen kuivapaino (ilman kuorta) ja tuoretilavuus "mercury immersion" menetelmällä, jota ennen ne upotettiin veteen.

Rungon keskimääräisen tiheyden ennustavat yhtälöt:

mänty: $BD = 109{,}4 + 0{,}676 \cdot BD_b$ $s=14{,}0\ kg/m^3$ $R^2 = 0{,}781$

kuusi: $BD = -1528{,}1 + 321{,}23 \cdot \ln(BD_b)$ $s=15{,}0\ kg/m^3$ $R^2 = 0{,}857$

koivu: $BD = 150{,}5 + 0{,}682 \cdot BD_b$ $s=14{,}1\ kg/m^3$ $R^2 = 0{,}770$

mänty: $BD = 242{,}1 + 0{,}739 \cdot BD_b - 57{,}3 \cdot \ln(d) + 0{,}023 \cdot a + 0{,}040 \cdot h + 10{,}35 \cdot (d/h)^2 - 0{,}685 \cdot BD_b/h$

$s=12{,}9\ kg/m^3$ $R^2 = 0{,}822$

kuusi: $BD = -1229{,}9 + 267{,}21 \cdot \ln(BD_b) - 15{,}303 \cdot \ln(d/a) - 392{,}2 \cdot v + 20{,}5 \cdot d/h$

$s=13{,}9\ kg/m^3$ $R^2 = 0{,}882$

koivu: $BD = -72{,}0 + 1{,}628 \cdot BD_b - 13{,}49 \cdot \ln(h/a) - 0{,}00107 \cdot BD_b^2$

$s=11{,}9\ kg/m^3$ $R^2 = 0{,}844$

missä:

BD = rungon puuaineen keskimääräinen tiheys, kg/m^3
BD_b = puuaineen tiheys rinnankorkeudella, kg/m^3
a = puun ikä, v

Kuivapainotaulukoita laadittaessa runkojen tilavuus (m^3 kuorineen) laskettiin Laasasenahon (1976) tilavuusyhtälöillä ja puuaineen tiheys estimoitiin seuraavilla yhtälöillä:

Lyhyet puut (2,5–7,4 m):

mänty: $BD = 381{,}63 - 27{,}43 \cdot (d/a)^2 + 62{,}44 \cdot \ln(h/d) - 26{,}88 \cdot \ln(h/a) + 0{,}526 \cdot h$

kuusi: $BD = 307{,}21 - 67{,}35 \cdot (d/a) - 0{,}270 \cdot a + 0{,}001679 \cdot h^2 + 167{,}7 \cdot 1/a - 9{,}837 \cdot v^2 + 17{,}79 \cdot (d/a)^3$

koivu: $BD = 379{,}99 + 22{,}84 \cdot \ln(a) + 2{,}771 \cdot a/d$

Pitkät puut (7,5 m–):

mänty: $BD = 341{,}77 + 92{,}93 \cdot h/d - 193{,}00 \cdot (h/a)^2 + 1{,}832 \cdot a/h$

kuusi: $BD = 303{,}37 - 67{,}95 \cdot \ln(d/a) - 0{,}2795 \cdot a + 0{,}619 \cdot h + 19{,}13 \cdot (d/a)^3$

koivu: $BD = 225{,}64 + 34{,}156 \cdot \ln(a) + 138{,}5 \cdot 1/d$

Puulajeittaiset kuivapainot on taulukoitu lyhyille puille (alle 7,5 m) rinnankorkeusläpimitta- ja pituusluokittain ja isoille puille lisäksi kapenemisluokittain. Taulukon arvoihin on tehty rungon sisäisistä oksista ja kuoren tiheydestä aiheutuvat korjaukset.

Taulukkoarvot soveltuvat tyydyttävästi keskimääräisiin puustoihin, mutta tiheyteen vaikuttavat kasvunopeus ja maantieteellinen sijainti aiheuttavat virheitä. Rehevien maiden, erityisesti nuorten viljelymetsien nopeakasvuisille puille taulukot antavat yliarvioita ja vastaavasti karujen maiden hidaskasvuisilla puille aliarvioita. Kasvunopeuden korjaamista ei kuitenkaan pidetty tarkoituksenmukaisena taulukoiden laadintavaiheessa. Sen sijaan käytettäessä taulukoita Pohjois-Suomen puille (ilmastovyöhykkeet 1–3), on tuloksia korjattava männyllä alaspäin ja kuusella ylöspäin, koivulla korjausta ei tarvita.

57. Korhonen, K. T. & Maltamo, M. 1990. Männyn maanpäällisten osien kuivamassat Etelä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 371. Joensuun tutkimusasema.

Männyn rungon, kuoren ja oksien kuivamassoille esitellään regressioyhtälöt.

Aineistona olivat vuosina 1988 ja 1989 Lounais-Suomesta VMI 8:n kertakoealoilta (31 kpl) mitatut Valtakunnallisen Puututkimuksen (VAPU) mäntykaatokoepuut, joita oli yhteensä 121 kpl. Havaintoja oli sekä kivennäis- että turvemailta, kasvupaikoista VT oli parhaiten edustettuna. Koepuiden ikä vaihteli 12–173 v keskiarvon ollessa 69 v.

Rungon massa laskettiin rungon kuorettoman tilavuuden ja viideltä eri suhteelliselta korkeudelta otetusta näytekiekosta määritetyn tiheyden avulla. Jokaisen näytepalikan tiheyttä painotettiin sen mukaan, kuinka suurta osaa rungon tilavuudesta näyte edustaa. Kuoren kuivamassa mitattiin seitsemältä eri korkeudelta otetuista näytteistä. Nämä havainnot tasoitettiin splinifunktioiden avulla jatkuvaksi yhtälöksi, jota integroimalla saatiin kuoren massa puun tyveltä latvaan. Oksamassan laskennassa olivat mukana vain elävät oksat ja niistä oksapuu, neulaset sekä kuori. Koepuiden kaikista oksista mitattiin tyviläpimitta, laatu ja etäisyys maahan, ja kolmesta koeoksasta otettiin näytteet kuivamassan määrittämistä varten.

Runkopuun kuivamassan mallit:

$$m_r = \exp(-4{,}182 + 0{,}879 \cdot \ln(d^2) + 1{,}215 \cdot \ln(h))$$

$$m_r = \exp(-4{,}326 + 0{,}842 \cdot \ln(d^2) + 1{,}212 \cdot \ln(h) + 0{,}087 \cdot \ln(t))$$

Ensimmäisen yhtälön selitysaste oli 99,23 % ja keskivirhe 0,145, kun selittäjäksi lisättiin puun ikä (t), keskivirhe oli 0,139. Yhtälöissä massa on kg:na, läpimitta cm:nä ja pituu m:nä. Vakioon on lisätty harhattomuuskorjaustermi eksponenttimuunnoksen vuoksi.

Rungon kuoren massa:

$$m_k = \exp(-4{,}344 + 0{,}885 \cdot \ln(d^2) + 0{,}435 \cdot \ln(h))$$

$$m_k = \exp(-4{,}409 + 0{,}905 \cdot \ln(d^2) + 0{,}3925 \cdot \ln(h) + 0{,}101 \cdot CT)$$

Selitysaste 98,13 % ja keskivirhe 0,168, jälkimmäisessä yhtälössä keskivirhe 0,161 (CT = 1, jos puu kasvaa kuivien kankaiden boniteetilla, muuten 0).

Oksamassa:

$$m_o = \exp(-3{,}0599 + 3{,}1287 \cdot \ln(d) - 1{,}3936 \cdot \ln(h) - 0{,}0005298 \cdot d^2 + 0{,}1162 \cdot (h - h_e))$$

Selitysaste oli 94,7 % ja keskivirhe 0,303, yhtälössä h_e = elävän latvuksen korkeus (m).

Puun maanpäällisten osien kokonaismassa:

$$m_t = -2{,}649 + 2{,}127 \cdot \ln(d) + 0{,}117 \cdot h - 0{,}000202 \cdot d^2 - 0{,}496 \cdot \ln(h_e) - 0.00163 \cdot h^2$$

Selitysaste oli 98,8 % ja keskivirhe 0,1579. Harhattomuuskorjaus on lisätty vakioon kuten edellisissä malleissa.

Tutkimuksessa on esitetty taulukkoina rungon ja kuoren yhteenlasketut kuivamassat läpimitan ja pituuden funktiona. Rungon sisäoksien vaikutus on otettu huomioon korjauskertoimella.

58. Varjo, J. 1991. Männyn puuaineen tiheyden mallittaminen. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Männyn puuaineen tiheyden vaihtelua rungon sisällä, runkojen välillä ja metsiköiden välillä kuvataan regressiomalleilla.

Aineistona käytettiin Helsingin, Lounais-Suomen ja Satakunnan metsälautakunnan alueelta vuosina 1988 ja 1989 mitattuja VAPU- koepuita eli samaa aineistoa kuin edellä kuvatussa tutkimuksessa.

Puun tiheyden kokonaismalli oli

$$\rho_{ij} = \sum_{k=1}^{5} \sum_{l=1}^{n} (w_{jkl} \cdot H(\bar{x}_{jkl})) + F(\bar{y}_i) + \beta_i + \upsilon_{ij}$$

missä $H(\bar{x}_{jkl})$ on havainnon tiheys puutason selittäjien funktiona:

$$\hat{H}(\bar{x}_{jkl}) = 0{,}40238161 - 0{,}0000851345 \cdot d + 0{,}0000969222 \cdot h - 0000492689 \cdot i_5 + 0{,}01428592 \cdot \ln(i_5) - 0{,}0006034743 \cdot t_{1,3} + 7{,}62753899 \cdot 1/i_5^2 - 0{,}0682341 \cdot p_h + 0{,}002745583 \cdot 1/p_h - 0{,}0892047 \cdot p_r + 0{,}06233832 \cdot \ln(p_r)$$

w_{jkl} on havaintoon jkl liittyvä painokerroin:

$$\hat{w} = v_h/v \cdot (2 \cdot r_{hav} \cdot x_{hav} - x_{hav}^2)/r_h^2$$

$F(\overline{y}_i)$ on puukohtainen jäännösvaihtelu metsikkötason selittäjien funktiona:

$$\hat{F}(\overline{y}_i) = 0{,}00408 + 0{,}0048 \cdot P_c + 0{,}00103 \cdot T - 0{,}0000089 \cdot T^2 - 0{,}0600 \cdot kpt_2 - 0{,}0677 \cdot kpt_3 - 0{,}0691 \cdot kpt_4 - 0{,}0798 \cdot kpt_5$$

missä:

ρ_{ij} = metsikön i puun j kuivatuoretiheys, t/m^3
w_{jkl} = havainnon edustama osa rungon tilavuudesta
x_{hav} = havainnon (=näytekappaleen) leveys, 1/100 mm
r_{hav} = havainnon ulkoreunan etäisyys ytimestä, 1/100 mm
r_h = säde suhteellisella korkeudella h, 1/100 mm
v_h = korkeuden h edustama osa rungon tilavuudesta
i_5 = viimeisen 5 v:n kasvu rinnankorkeudella, 1/100 mm
$t_{1,3}$ = puun rinnankorkeusikä, a
p_h = suhteellinen korkeus
p_r = havainnon suhteellinen etäisyys ytimestä
P_c = koealan havupuuosuus, 10 %
T = koealan puuston rinnankorkeusikä, a
kpt_2 = lehtomainen kangas jne. kpt_5 = karukkokangas
k = indeksi viittaa korkeuteen k
l = viittaa säteeseen l
β_i = metsikköön i liittyvä satunnaisvirhe
υ_{ij} = puuhun j liittyvä virhetermi

Puun keskimääräisen tiheyden estimaatin keskivirhe oli 26,71 kg/m^3, kun puun sisäistä tiheysvaihtelua selitettiin puukohtaisilla muuttujilla. Metsikkötason vaihtelu otettiin huomioon liittämällä malliin selittäjiksi metsikkömuuttujia, jolloin mallin keskivirhe pieneni 25,90 kg/m^3:iin. Yhdistetyn mallin virhevariaatio (mallin jäännöshajonta/otoksen keskiarvo eli suhteellinen virhe) oli 6,53 %. Yhdistetyn mallin virhevarianssista 8,9 % oli metsiköiden välistä ja loput 91,1 % metsiköiden sisäistä vaihtelua.

Tutkielman mukaan tiheysmallia olisi mahdollista parantaa lisäämällä selittäjiksi lustotunnuksia (esim. nuorpuun osuus ja kesäpuun osuus), mutta tunnusten työläs mittaus heikentäisi mallien käyttökelpoisuutta.

2.1.9. Kuori

59. Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 12.

Siperialaisen lehtikuusen kuoren prosenttiosuus ikäluokittain ja metsätyypeittäin kuvataan taulukkomallilla.

Aineisto kerättiin Punkaharjun pysyviltä koealoilta (39 kpl) ja Raivolan lehtikuusikosta myrskytuhon kaatamien puiden joukosta (375 kpl). Punkaharjun lehtikuuset olivat 25–51 vuotiaita ja Raivolan puut 113–186 vuotiaita. Kasvupaikoiltaan koepuut edustivat OT-(*Oxalis*-) ja OMT-metsiköitä.

Kuoren prosenttiosuus rungon tilavuudesta ja rinnankorkeusläpimitasta esitetään taulukoina metsätyypeittäin, Raivolassa ikäluokittain ja Punkaharjulla iällä 51 vuotta.

60. Heiskanen, V. & Rikkonen, P. 1976. Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Folia For. 250.

Männyn ja kuusen tukkipuun kuoriprosentit kuvataan taulukkoina.

Perusaineisto koottiin vuosina 1972–1973 eri puolilla Suomea sijainneilta leimikoilta. Mukana oli yhteensä 2890 mäntytukkia 139 eri leimikolta ja 1694 kuusitukkia 94 eri leimikolta. Tutkimuksessa käytettiin aluejakoa Etelä- ja Pohjois-Suomi ja näiden osa-alueita Länsi- ja Itä-Suomi Etelä-Suomessa ja Kainuu ja Lappi Pohjois-Suomessa.

Kokonaiskuorimäärän selvittämistä varten mitattiin jokaisen tukin kuorelliset ja kuorettomat läpimitat metrin välein tyvestä alkaen.

Sahatukkien kokonaiskuoriprosentti määritettiin kaavalla $k_{\%} = 100 \cdot (v_k - v_p)/v_k$, missä v_k = kuorellinen tilavuus ja v_p = kuoreton tilavuus.

Kuoriprosentit taulukoitiin latvaläpimittaluokittain (13–31 cm) ja tukkilajeittain (tyvitukki, muu) eri osa-alueilla. Tukkien kuoriprosenttien riippuvuus latvaläpimitasta esitetään myös graafisesti. Lisäksi taulukoitiin kuoriprosentit metsätyypeittäin (OMT, MT ja VT) ja läpimittaluokittain ($d_{1,3}$).

61. Saikku, O. ja Rikkonen, P. 1976. Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Folia For. 262.

Julkaisussa on taulukot kuitupuun kuoriprosentin määrittämiseksi männylle, kuuselle ja koivulle.

Aineisto koottiin eri puolilla Suomea sijainneilta leimikoilta. Taulukoiden laadinnassa oli mukana yhteensä 12 712 mäntykuitupuupölkkyä 291 eri leimikolta, 14 223 kuusikuitupölkkyä 328 leimikolta ja 13 403 koivukuitupölkkyä 293 leimikolta. Kuitupuupölkyistä

eroteltiin runkotavara, latvatavara ja runko+latvatavara.

Kuoriprosentti määritettiin kaavalla $k_{\%} = 100 \cdot (v_k - v_p)/v_k$, missä
v_k = kuorellinen tilavuus ja v_p = kuoreton tilavuus.

Kuoriprosentit esitetään taulukoina, jotka on eritelty alueittain (Länsi-Suomi, Itä-Suomi, Kainuu ja Lappi, sekä Etelä-Suomi ja Pohjois-Suomi, kuusella ja koivulla lisäksi koko maa yhteensä) sekä tavaralajeittain. Lisäksi männyllä kuoriprosentit esitetään kuorityypeittäin, joita olivat kaarnainen, osittain kaarnainen ja sileä.

62. Päivinen, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Folia For. 353.

Männyn, kuusen ja koivun kuoren paksuuden estimoimiseksi on laadittu regressiomallit.

Aineisto kuvataan kohdassa 25. Mallien laadinnassa oli mukana kaikkiaan 1871 mänty-, 1974 kuusi- ja 1916 koivukoepuuta. Kuoren paksuus mitattiin kuorimittarilla.

Yli 7 m pitkien puiden kuoren paksuudelle laadittiin ensin puulajeittain kapenemisluokittaiset mallit:

$$\ln(B) = \ln(a) + b \cdot \ln(d) + c \cdot \ln(h)$$

Muodostetuista yhtälöistä haettiin arvot parametreille a, b ja c kapenemisen funktiona sekä rekursiivisesti rakennetulla mallistolla että simultaanisella yhtälöryhmällä. Koivulla ja männyllä simultaaninen malli antoi parhaimman tuloksen. Kuusella päädyttiin molemmilla tavoilla yhtä hyvään tulokseen. Metsikkötunnusten suhteen esiintyvä harha poistettiin korjausyhtälöllä.

Alle 8 metrisille puille laskettiin puulajeittain regressiomalli, jossa kuoren paksuutta selittivät pituuden ja läpimitan lisäksi lämpösummavyöhyke ja veroluokka.

Yli 7 m pitkät puut:

Mänty:

$$B = (a \cdot d^b - 4 \cdot kap) \cdot k$$

$$x = 3{,}112533 + 0{,}0276901 \cdot kap + 0{,}00165071 \cdot kap^2 - 0{,}0000795448 \cdot kap^3 + 0{,}353841 \cdot \ln(kap)$$

$$y = 0{,}956700 + 0{,}00949711 \cdot kap + 0{,}000448633 \cdot kap^2 - 0{,}0000232209 \cdot kap^3 + 0{,}104743 \cdot \ln(kap)$$

$$\ln(a) = 139{,}429 \cdot x - 452{,}586 \cdot y$$

$$b = -42{,}6461 \cdot x + 139{,}429 \cdot y$$

Metsämaa:

$$\ln(k) = 0{,}0273753 + 0{,}0490873 \cdot \ln(T) - 0{,}0257113 \cdot \ln(kap) + 0{,}0203906 \cdot IB + 0{,}241678 \cdot II + 0{,}0455927 \cdot III + 0{,}0861478 \cdot IV - 0{,}0737456 \cdot LS4 - 0{,}146811 \cdot LS5 - 0{,}148973 \cdot LS6 - 0{,}142340 \cdot LS7 - 0{,}0801726 \cdot LS8$$

$R^2 = 4{,}8\%$

Kitumaa:

$$\ln(k) = 0{,}144183 - 0{,}0339628 \cdot LS4 - 0{,}181277 \cdot LS5 - 0{,}269824 \cdot LS6 - 0{,}118619 \cdot LS7 - 0{,}0671301 \cdot LS8$$

$R^2 = 12{,}9\%$

Kuusi:

$$B = (a \cdot d^b \cdot h^c) \cdot k$$

$$b = 1{,}04007 + 0{,}010302 \cdot kap - 0{,}003259 \cdot kap^2$$

$$c = 0{,}60490 - 1{,}14530 \cdot b + 0{,}04225 \cdot b^2$$

$$\ln(a) = 3{,}2220 - 0{,}02409 \cdot kap + 0{,}001736 \cdot kap^2 - 3{,}5802 \cdot b - 2{,}8460 \cdot c + 0{,}25304 \cdot c^2$$

$R^2 = 99{,}9\%$

Metsämaa:

$$\ln(k) = -0{,}372589 - 0{,}131088 \cdot \ln(d) + 0{,}224900 \cdot \ln(h) + 0{,}0446230 \cdot \ln(T) + 0{,}0318576 \cdot \ln(kap) + 0{,}0597151 \cdot IB + 0{,}0924080 \cdot II + 0{,}100839 \cdot III - 0{,}0190631 \cdot IV + 0{,}252103 \cdot LS4 + 0{,}168251 \cdot LS5 - 0{,}0766713 \cdot LS6 - 0{,}0979056 \cdot LS7 - 0{,}0664317 \cdot LS8$$

$R^2 = 16{,}0\%$

Kitumaa:

$$\ln(k) = 0{,}0928599 - 0{,}0945423 \cdot \ln(d) + 0{,}205445 \cdot \ln(h) + 0{,}282561 \cdot LS4 + 0{,}194070 \cdot LS5 - 0{,}0708122 \cdot LS6 - 0{,}0976191 \cdot LS7 - 0{,}0694407 \cdot LS8$$

$R^2 = 16{,}4\%$

Koivu:

$$B = (a \cdot d^b \cdot h^c) \cdot k$$

$$x = 12{,}47158 + 0{,}0120639 \cdot kap - 0{,}000454978 \cdot kap^2$$

$$y = 3{,}912346 + 0{,}00387155 \cdot kap - 0{,}000143917 \cdot kap^2$$

$$z = 4{,}836272 + 0{,}00489544 \cdot kap - 0{,}000183292 \cdot kap^2$$

$$\ln(a+1{,}5) = 206{,}182 \cdot x - 904{,}795 \cdot y + 200{,}645 \cdot z$$

$$b = -0{,}5 - 88{,}6906 \cdot x + 1000{,}01 \cdot y - 579{,}902 \cdot z$$

$$c = -2{,}5 - 30{,}0774 \cdot x - 886{,}600 \cdot y + 640{,}074 \cdot z$$

Metsämaa:

$$\ln(k) = 0{,}0244495 + 0{,}0132721 \cdot h - 0{,}109665 \cdot \ln(d) + 0{,}0146687 \cdot T + 0{,}000415332 \cdot kap^2 + 0{,}0736702 \cdot IB + 0{,}142668 \cdot II + 0{,}204214 \cdot III + 0{,}228008 \cdot IV - 0{,}0652769 \cdot LS4 - 0{,}108581 \cdot LS5 - 0{,}211764 \cdot LS6 - 0{,}208213 \cdot LS7 - 0{,}128228 \cdot LS8$$

$R^2 = 11{,}1\%$

Kitumaa:

$$\ln(k) = 0{,}264006 - 0{,}105458 \cdot \ln(d) + 0{,}0155071 \cdot h + 0{,}000374233 \cdot kap^2 + 0{,}0146648 \cdot LS4 - 0{,}0401967 \cdot LS5 - 0{,}195770 \cdot LS6 - 0{,}204860 \cdot LS7 - 0{,}129817 \cdot LS8$$

$R^2 = 9{,}6\%$

Alle 8 m pitkät puut:

mänty: $\ln(B) = 0{,}0429211 + 1{,}081337 \cdot \ln(d) + 0{,}127990 \cdot KM$

$R^2 = 83{,}4\%$

kuusi: $\ln(B) = 0{,}448432 + 0{,}844488 \cdot \ln(d) + 0{,}0767409 \cdot IB + 0{,}102588 \cdot II + 0{,}169006 \cdot III + 0{,}174482 \cdot IV + 0{,}182446 \cdot KM + 0{,}124173 \cdot LS4 + 0{,}139039 \cdot LS5 - 0{,}151729 \cdot LS6 - 0{,}257007 \cdot LS7 - 0{,}365501 \cdot LS8$

$R^2 = 67{,}0\%$

koivu: $\ln(B) = 0{,}204182 + 1{,}007971 \cdot \ln(d) - 0{,}183070 \cdot LS4 - 0{,}120557 \cdot LS5 - 0{,}286230 \cdot LS6 - 0{,}415123 \cdot LS7 - 0{,}394117 \cdot LS8$

$R^2 = 70{,}1\%$

Malleissa käytetyt merkinnät:

kap = kapeneminen ($d - d_6$), cm
T = (metsikön ikä + 5)/10 eli metsikön ikäluokka, 10 v.
B = kuoren kaksinkertainen paksuus rinnankorkeudella, mm
IB,II,III ja IV = veroluokka-valemuuttujia
LS4,LS5,LS6,LS7 ja LS8 =lämpösummavyöhyke-valemuuttujia
KM = kitumaa-valemuuttuja

Kuorimallien absoluuttiset ja suhteelliset keskivirheet olivat männyllä 7,1 mm (24,8 %), kuusella 4,4 mm (26,2 %) ja koivulla 5,3 mm (30,4 %).

Tutkimuksen mukaan männyn kuoren paksuus vaihtelee alueittain, mihin voi olla syynä esimerkiksi ilmaston mereisyys tai puiden rotuominaisuudet. Kuorimallia voidaan parantaa kuorimittausten perusteella lasketuilla alueellisilla korjauskertoimilla.

Mallien laadinnassa yhdistettiin hies- ja rauduskoivu yhdeksi puulajiksi. Kookkaiden rauduskoivujen kuori on kuitenkin hieman hieskoivujen kuorta paksumpaa. Jos hies- ja rauduskoivu erotetaan, koivun kuorimallia voidaan korjata kertoimilla

$$k_{ra} = 0{,}947129 + 0{,}00271059 \cdot d$$
$$k_{hi} = 1{,}067721 - 0{,}00656839 \cdot h$$

63. Lähde, E., Nieminen, J., Etholén, K. & Suolahti, P. 1982. Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa. Folia For. 533.

Kontortamännyn kuoren paksuus kuvataan rinnankorkeusläpimitan funktiona. Lisäksi esitetään keskimääräiset kuoren paksuudet metsätyypeittäin.

Aineisto kuvataan kohdassa 7. Kuoren paksuudella tarkoitetaan kaksinkertaista kuoren paksuutta rinnankorkeudella.

Kontortakoepuiden kuoren paksuus on esitetty graafisesti rinnankorkeusläpimitan funktiona (läpimitoille 11–31 cm). Samassa kuvassa on myös vertailumänniköiden kuoren paksuus, joka oli keskimäärin yli kaksi kertaa kontortan kuorta paksumpi kaikissa läpimittaluokissa.

Kontortan ja männyn vertailuparimetsiköiden koepuiden keskimääräiset kuoren paksuudet on esitetty myös taulukkomuodossa metsätyypeittäin.

64. Werren, M. 1983. Some single tree models for larch. Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ. Helsingin Yliopisto.

Lehtikuusen kuoren paksuuden rinnankorkeudella estimoiva regressiomalli laadittiin menneiden kuorellisten läpimittojen laskentaa varten. Kuoren tilavuusprosentin estimoiva malli tarkoitettiin kuorettoman tilavuuden laskentaan. Laadinta-aineisto kuvataan kohdassa 16.

Kuoren paksuusmalli:

$$b_{1,3} = \exp(0{,}12843 + 0{,}75473 \cdot \ln(d_u) + 0{,}24150 \cdot \ln(t) + 0{,}25516 \cdot dat - 0{,}27970 \cdot sp + 0{,}04450)$$

Missä $b_{1,3}$ = kaksinkertainen kuoren paksuus rinnankorkeudella, mm
d_u = kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm
dat = 1, jos aineistona on Vuokilan data, muuten 0
sp = 1, jos puulaji on *L. gmelinii*, muuten 0

Viimeinen termi eksponentissa on takaisinmuunnoksessa harhan poistamiseksi tehtävä tasokorjaus ($s_y^2/2$). Kuoren paksuuden estimaatin keskivirhe (s_y) oli 0,2983 mm (30,51 %) ja yhtälön selitysaste 51,95 %.

Tutkimuksen mukaan kuoren luotettava mittaus on hankalaa, sillä lehtikuusen kuori on varsinkin tyvellä paksua ja epätasaista, halkeilevaa kaarnaa. Lisäksi kuoren paksuus riippuu

siemenen alkuperästä ja metsikön maantieteellisestä sijainnista. Vaikka laaditun mallin selitysaste jäi alhaiseksi, tulomuotoinen yhtälö sopii hyvin kuvaamaan rinnankorkeusläpimitan ja kuoren paksuuden välistä riippuvuutta.

Kuoren tilavuusprosenttimallissa aineistona voitiin käyttää ainoastaan Vuokilan mittauksia (149 koepuuta). Koepuut olivat kaikki *L. sibirica* -metsiköistä ja iältään 25–90 vuotiaita.

Kuoren tilavuusprosentti:

$$b_V\% = \exp(1{,}33106 + 0{,}71137 \cdot \ln(z) - 0{,}11419 \cdot \ln(t) + 0{,}00445)$$

Missä $z = b/d \cdot (2 - b/d) \cdot 100$ (= b_V%:n estimaatti), b ja d mm:nä.
Eksponentissa on viimeisenä terminä logaritmimuunnoksen aiheuttaman harhan korjaustekijä ($s_y^2/2$). Kuoren tilavuusprosentin estimaatin keskivirhe oli 9,46 % ja yhtälön selitysaste 58,53 %. Kun kuoren paksuuden mittaustiedon asemasta käytettiin edellä kuvatulla kuoren paksuusmallilla laskettua estimaattia, kuoren tilavuusprosentin estimaatin keskivirhe oli 16,32 %.

Kuoren tilavuusprosentin estimaatti (z) oli keskimäärin 5–6 % suurempi kuin sen todellinen arvo, sillä kuoritekijä ($k = d/d_u$) kasvaa ylöspäin runkoa mentäessä. Vaikka laadinta-aineistossa oli mukana vain *L. sibirica,* mallia voidaan käyttää myös muille lehtikuusilajeille. Pienemmistä kuoren paksuuksista rinnankorkeudella päätellen malli voi kuitenkin antaa *L. decidualle* ja *L. gmeliniille* yliarvioita.

65. Heikurainen, M. 1984. Männyn kuoren paksuuden vaihtelu ja mittaustarkkuus. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Simultaanisella moniyhtälömallilla saadaan puukohtaiset kuoren paksuusestimaatit koko rungon matkalle.

Aineisto koottiin Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueiden männiköistä kesällä 1981. Mukana oli yhteensä 50 tervettä, vallitsevaan latvuskerrokseen kuuluvaa mäntyä 10 eri kasvatus- tai uudistuskypsästä metsiköstä. Vaikka koepuut valittiin subjektiivisesti, oli tavoitteena mahdollisimman tasainen läpimittajakauma.

Mittaustapojen luotettavuuden tutkimiseksi kuoren paksuus mitattiin ruotsalaisella kuorimittarilla ja Kujalan kehittämällä kairamittarilla. Todellinen kuoren paksuus saatiin kahdella mittaussaksilla tehdyllä mittauksella (kuoren kanssa ja ilman).

Runkokäyrää vastaavan kuorikäyrän määrittämiseksi laadittiin moniyhtälömalli, jossa yhtälöitä on yhtä monta kuin ratkaistavia eli endogeenisia muuttujia. Yhtälöiden parametrit estimoitiin pienimmän neliösumman menetelmällä. Väliarvojen epälineaarisessa interpoloinnissa käytettiin valmiita kirjasto-ohjelmia.

Endogeenisina muuttujina olivat yhdeksän koepuista eri suhteellisilta korkeuksilta mitattua kaksinkertaista kuorenpaksuutta ($b_{.01h}$, $b_{.05h}$, $b_{.1h}$, $b_{.2h}$, $b_{.3h}$, $b_{.4h}$, $b_{.6h}$, $b_{.8h}$ ja $b_{.9h}$). Yhtälöiden eksogeeniset eli selittävät muuttujat olivat puun pituus, kannonkorkeusikä, kaar-

naisen kuoren peittämän rungon osan suhteellinen korkeus, oksattoman rungon osan (elävän latvuksen alarajan) suhteellinen korkeus ja läpimitta 10 %:n korkeudella. Regressioyhtälöiden kertoimet, keskivirheet ja selitysasteet löytyvät tutkielman sivulta 50.

Koska kuorikäyrämallia haluttiin kokeilla aineistossa, jossa kaarnatyypin vaihtumiskorkeutta (ka_h) ei oltu mitattu, laadittiin sen estimoimiseksi regressioyhtälö:

$$ka_h/h = 0{,}0364 - 0{,}0103 \cdot h + 0{,}0003 \cdot t + 0{,}3439 \cdot la_h/h + 0{,}0004 \cdot d + 0{,}0051 \cdot b_{1{,}3}$$

missä la_h = elävän latvuksen alaraja, m

$b_{1{,}3}$ = kuoren paksuus rinnankorkeudella, mm

Yhtälön keskivirhe oli 0,0552 ja selitysaste 46,9 %.

Kuorimallien luotettavuutta selvitettiin sekä kuoren paksuuden että kuoren tilavuuden (kuorettoman tilavuusprosentin) estimoinnissa. Mallilla estimoitujen kuoren paksuuksien keskivirheet ja harhat suhteellisilla korkeuksilla eri yhdistelmillä tunnettuja tunnuksia on taulukoitu tutkielman sivulle 58–60. Kuorikäyrän muodostamiseksi pitäisi kuoren paksuus mitata koepuiden tyvellä vähintäänkin 1, 5, 10, 20 ja 30 %:n korkeuksilta. Mikäli kuoren paksuutta halutaan ennustaa 10–30 %:n korkeuksilla, täytyy ehdottomasti tuntea kaarnatyypin vaihtumiskorkeus (ka_h). 30 %:n korkeuden yläpuolella kuoren paksuuden estimaattien hajontaa on vaikea pienentää.

Kuorettoman tilavuusprosentin ($v_p\% = 100 \cdot v_p/v_k$) keskivirhe oli 1,32 % ja harha 0,0032 %, kun tunnettiin pelkästään eksogeeniset muuttujat. Kun eksogeenisten muuttujien lisäksi oletettiin $b_{1{,}3}$ tunnetuksi, keskivirhe oli 0,86 % ja harha 0,0315 %.

Kuoren paksuusestimaattien virheet ovat suurempia, kun mukaan otetaan mittausvirhe. Esimerkiksi 1 mm:n virhe rinnankorkeudelta mitatussa kuoren paksuudessa aiheuttaa keskimäärin 0,3–0,4 %:n eron kuorettomaan tilavuusprosenttiin. Aineisto oli niin suppea, ettei sen perusteella voi tehdä pitkälle meneviä johtopäätöksiä.

66. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Julkaisussa esitellään regressioyhtälöt kuusen ja koivun kuorenpaksuudelle. Tutkimuksen varsinaisena tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden kehitystä. Kuorenpaksuusyhtälöitä tarvittiin kuorellisen pohjapinta-alan kasvuyhtälöiden laadinnassa; kuoren kasvu laskettiin erotuksena.

Aineisto kuvataan kohdassa 10. Kuusen kuoriyhtälöt perustuvat 63 ja koivun 68 kaatokoepuun aineistoon. Kaikki kaatokoepuut olivat metsikön valtapuita.

Kuorimallit:

Kuusi: $\ln(2 \cdot b) = 1{,}537 + 0{,}5305 \cdot \ln(d) - 0{,}1341 \cdot \ln(cr)$ $\quad R^2 = 0{,}521$

Koivu: $\ln(2 \cdot b) = 2{,}674 + 0{,}001426 \cdot d^2 - 0{,}1717 \cdot \ln(cr)$ $\quad R^2 = 0{,}770$

missä cr = latvussuhde (latvuksen osuus puun pituudesta), %
b = kuoren paksuus rinnankorkeudella, mm

Yhtälöiden vakiotermeissä on jo mukana logaritmimuunnoksen korjaustekijä ($s_e^2/2$).

2.1.10. Ikä

67. Korhonen, K. 1987. Kuusen runkokäyrämalli lineaarisella sekamallimenetelmällä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Tutkielmassa laadittiin regressiomalli kuusen rinnankorkeusiän määrittämiseksi. Runkokäyrämallin läpimittayhtälöitä varten lukupuiden ikä oli johdettava rinnankorkeusläpimitasta ja muutamista tavallisista metsikkökohtaisista tunnuksista.

Aineistona käytettiin eri puolilla Suomea vuosina 1968–1970 mitattuja 5. VMI:n relaskoopppikoealojen koepuita. Aineistosta hylättiin vähemmän kuin kaksi kuusikoepuuta sisältävät koealat, jolloin jäljelle jäi 487 koealaa ja yhteensä 1667 kuusta.

$$\ln(t) = 17{,}2 + 1{,}1241 \cdot \ln(d) - 0{,}03061 \cdot d + 0{,}0004144 \cdot d^2 + 0{,}01663 \cdot OMT + 0{,}01127 \cdot MT + 0{,}009978 \cdot VT - 0{,}1804 \cdot DD + 0{,}0005197 \cdot DD^2$$

missä DD on kasvukauden pituus ja OMT, MT ja VT kasvupaikkaa kuvaavia valemuuttujia. Ikämallin keskivirhe oli 0,4189 ja selitysaste 58,8 %. Takaisinmuunnoksessa eksponenttiin on lisättävä korjaustekijä $s_e^2/2$.

68. Vähäsaari, H. 1988. Puutavaralajirakenteen arvioiminen eri mittausmenetelmillä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Tutkielmassa on edellä kuvattua mallia vastaava regressioyhtälö männyn rinnankorkeusiän määrittämiseksi. Laadinta-aineistona käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen ja Laasasenahon (1982) keräämää mäntyaineistoa.

$$\ln(t) = 2{,}259 + 0{,}8456 \cdot \ln(d) - 1{,}047 \cdot MT - 0{,}6458 \cdot VT - 0{,}5051 \cdot CT$$

Mallin keskivirhe oli 0,4749 ja selitysaste 52,4 %. Maantieteellisesti malli soveltuu alueelle, jossa kasvukauden pituus on noin 140 vrk (Pohjois-Pohjanmaa, Kainuu).

2.2. Metsikkötason mallit

2.2.1. Kokojakaumamallit

69. Päivinen, R. 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Folia For. 442.

Päivinen, R. 1981. Puujoukon rinnankorkeusläpimitan estimointi ja siihen perustuvien puustotunnusten laskentamenetelmä. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Helsingin Yliopisto.

Metsikön puiden pohjapinta-alan läpimittajakauma estimoitiin betafunktion avulla. Läpimitan vaihteluvälin rajoille ja pohjapinta-alan hajonnalle laadittiin regressiomallit, joissa selittävinä muuttujina oli yleisiä metsikkötunnuksia.

Aineistona oli VMI 3:n vuosina 1951–1953 mitatuista koealoista valittu 684 koealan näyte. Valitut koealat sijaitsivat 15 eteläisimmän piirimetsälautakunnan ja Ahvenanmaan maakunnan alueilla yksijaksoisissa kangasmaiden metsiköissä. Vertailuaineistona käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen Etelä-Suomesta kerättyä männiköitä ja kuusikoita sisältävää kestokoealasarjaa, jossa oli mukana yhteensä 472 koealaa. Inventointiaineiston todettiin poikkeavan monessa suhteessa säännöllisin hakkuin käsitellyistä metsikkökoealoista ja muistuttavan enemmän luonnonnormaaleja metsiköitä kuin hoidettuja nykymetsiköitä.

Betajakauman tiheysfunktio f(x) estimoitiin puuston kokonaispohjapinta-alan, keskiläpimitan, minimi- ja maksimiläpimitan ja läpimittajakauman varianssin avulla. Näistä pohjapinta-ala ja keskiläpimitta oletettiin mitatuiksi.

$$f(x) = c \cdot (x-a)^{\alpha} \cdot (b-x)^{\gamma}$$

missä a = muuttujan x alaraja
b = muuttujan x yläraja
α ja γ = funktion parametrit
c = vakio, jolla funktion summafrekvenssiksi saadaan haluttu luku

Regressioyhtälöt pohjapinta-alan läpimittajakauman ylä- ja alarajalle sekä keskihajonnalle rakennettiin rekursiivisesti niin, että edellisten yhtälöiden selitettävät muuttujat olivat jälkimmäisissä selittäjinä.

$$\ln(U-D) = 3{,}6964 - 0{,}7043 \cdot \ln(D+20) + 0{,}2554 \cdot \ln(G) + 0{,}1099 \cdot \ln(T) + 0{,}0607 \cdot VL + 0{,}1763 \cdot PL1 + 0{,}1345 \cdot PL2 + 0{,}1156 \cdot PL3 + 0{,}1757 \cdot PL4 \qquad R^2 = 0{,}153 \quad s_f = 0{,}294$$

$$\ln(L) = -4{,}6474 + 1{,}2095 \cdot \ln(D+20) + 0{,}5154 \cdot \ln(H) + 0{,}2247 \cdot \ln(T) - 0{,}1075 \cdot \ln(U-D) \qquad R^2 = 0{,}501 \quad s_f = 0{,}303$$

$$s/(U-L) = 0{,}2662 + 0{,}01909 \cdot \ln(D) - 0{,}02025 \cdot \ln(G)$$
$$- 0{,}02759 \cdot \ln(H) + 0{,}01382 \cdot \ln(U-L) \qquad R^2 = 0{,}091$$
$$+ 0{,}0116 \cdot PL1 + 0{,}0055 \cdot PL2 + 0{,}0086 \cdot PL3 \qquad s_f = 0{,}0276$$

Missä:

D = keskiläpimitta (pohjapinta-alan mediaani), cm
H = keskipituus (D:a vastaavan puun pituus), m
L = koealan läpimitaltaan pienimmän puun läpimittaluokan alaraja, cm
U = koealan läpimitaltaan suurimman puun läpimittaluokan yläraja, cm
s = pohjapinta-alan läpimittajakauman keskihajonta
VL = 1, jos veroluokka on IA, muuten 0

pääpuulaji-valemuuttujat:

PL1 = 1, jos havu-lehtisekametsikkö, muuten 0
PL2 = 1, jos havusekametsikkö, muuten 0
PL3 = 1, jos kuusikko, muuten 0
PL4 = 1, jos lehtipuumetsikkö, muuten 0

Kahdessa ensimmäisessä yhtälössä logaritmimuunnoksesta aiheutuva tasokorjaus on tehty vakioon. Rekursiivisen malliketjun edellisten mallien virheitä ei ole otettu huomioon.

Läpimittajakauman estimoinnin seuraavassa vaiheessa ala- ja ylärajan (a=L ja b=1,25 · U) erotuksena laskettu vaihteluväli jaettiin tasavälein läpimittaluokkiin. Betafunktion parametrit α ja γ saadaan laskettua jakauman ylä- ja alarajan sekä keskihajonnan avulla: $\alpha = f(a,b,D,s^2)$ ja $\gamma = f(a,b,D,)$. Puustotunnusten laskemisessa koealoille käytettiin katkaistua betafunktiota, jonka yläraja oli kerrottu luvulla 1,25. Kooltaan rajoitetuilla puujoukoilla puustotunnusten jäännösvaihtelu saadaan näin minimoitua.

Läpimittaluokille lasketaan betafunktiolla pohjapinta-alat ja korjataan niitä kertoimella c siten, että pohjapinta-alojen summaksi eli betafunktion integraaliksi saadaan metsiköstä mitattu pohjapinta-ala. Lisäksi pohjapinta-alajakauman mediaaniläpimitan on vastattava riittävällä tarkkuudella metsiköstä mitattua keskiläpimittaa. Jos näin ei ole, haetaan sopivampi betafunktio kokeilemalla eksponenttien α ja γ laskennassa alkuperäisestä hiukan poikkeavia keskiläpimittoja.

Estimoidun läpimittajakauman vaikutusta puustotunnuksiin tutkittiin, kun osa tunnuksista oletettiin mitatuiksi ja osa laskettiin regressioyhtälöillä. Puuston runkotilavuuden ja puutavaralajien osuuden virhe kasvoi sitä mukaa, kun läpimittajakaumaan ja puiden pituuteen liittyviä mittaustuloksia korvattiin malleista saaduilla keskimääräisillä arvoilla. Puuston runkotilavuuden arvion tarkkuuteen ei pelkän ylärajan mittaamisella näyttänyt olevan merkitystä, sen sijaan alarajan mittauksesta oli hyötyä. Läpimittajakauman keskihajonnan laskeminen mallilla aiheutti virhettä varsinkin tukkipuun osuuteen. Mittaamalla metsikön tukkipuuston pohjapinta-ala maastossa, saataisiin tukkipuun osuuden laskentaa tarkennettua.

Inventointiaineiston perusteella laaditut yhtälöt eivät sopineet kovin hyvin metsikkökoealoille, joille laadittiinkin vastaavat yhtälöt:

$$\ln(U-D) = 1{,}7183 - 0{,}1714 \cdot \ln(D) + 0{,}2074 \cdot \ln(G) \qquad R^2 = 0{,}236$$
$$+ 0{,}006719 \cdot T - 0{,}04425 \cdot PL3 \qquad s_f = 0{,}230$$

$$\ln(L) = -1{,}6067 + 1{,}1762 \cdot \ln(D) - 0{,}3836 \cdot \ln(G) + 0{,}7262 \cdot \ln(H) - 0{,}2775 \cdot \ln(U-D) + 0{,}08652 \cdot PL3 \qquad R^2 = 0{,}822 \quad s_f = 0{,}261$$

$$s/(U-L) = 0{,}04358 + 0{,}04678 \cdot \ln(D) - 0{,}002226 \cdot (U-L) + 0{,}02003 \cdot \ln(G) - 0{,}01477 \cdot PL3 - 0{,}1069 \cdot VL \qquad R^2 = 0{,}391 \quad s_f = 0{,}0184$$

Sekä runkotilavuuden että tukkipuun osuuden laskennan tarkkuuteen vaikuttaa se, miten läpimittojen vaihtelualue jaetaan luokkiin. Katkaisukohtien perusteella määrätty jakauman optimaalinen muoto vaihteli hieman eri aineistoissa, minkä vuoksi tutkimuksessa käytettyä menetelmää ei voi pitää yleispätevänä.

70. Siipilehto, J. 1988. Metsätalouskuvioiden läpimittajakaumien ennustaminen Beta-funktiolla. Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ. Helsingin Yliopisto.

Työssä laadittiin yksinkertaiset regressiomallit beta-funktion parametreille eli läpimittajakauman ylä- ja alarajalle sekä läpimitan keskihajonnalle.

Aineistona olivat vuonna 1984 Kymi-Strömberg Oy:n metsätiloilla Itä- ja Keski-Suomessa mitatut 302 metsikkökuviota. Kuvioita oli käsitelty nykyaikaisen metsänhoidon menetelmillä. Kuvioilta mitattiin systemaattisesti 6–13 koealaa. Aineistossa oli mukana yhteensä 2560 metsikkökoealan tiedot.

Beta-funktio:

$$f(x) = c \cdot (x-a)^{\alpha} \cdot (b-x)^{\gamma}$$

missä a = muuttujan x alaraja
b = muuttujan x yläraja

$$c = G / \int (x-a)^{\alpha} \cdot (b-x)^{\gamma} dx$$

$$\gamma = (z/s^2_{rel} \cdot (z+1)^2 - 1)/(z+1) - 1$$

$$\alpha = z \cdot (\gamma + 1) - 1$$

$$z = x_{rel}/(1-x_{rel})$$

$$x_{rel} = (x-a)/(b-a)$$

$$s^2_{rel} = s^2/(b-a)^2$$

x = läpimittajakauman keskiarvo, cm
s = läpimittajakauman hajonta, cm

Summamuotoiset mallit:

$$U = -7{,}9923 + 0{,}56622 \cdot D + 12{,}23084 \cdot \ln(H) - 1{,}9995 \cdot mä$$

$R^2 = 0{,}82$ $s_f = 4{,}59$ cm $s_r = 13{,}5$ %

$L = 1{,}65659 + 0{,}34007 \cdot D - 0{,}061559 \cdot G + 0{,}93303 \cdot mä$

$R^2 = 0{,}49 \quad s_f = 2{,}06\ cm \quad s_r = 29{,}0\ \%$

$s = 0{,}47869 - 0{,}046089 \cdot G + 0{,}23217 \cdot (U-L) - 0{,}26609 \cdot mä$

$R^2 = 0{,}65 \quad s_f = 1{,}16\ cm \quad s_r = 20{,}2\ \%$

Tulomuotoiset mallit:

$\ln(U) = 0{,}64530 + 0{,}43432 \cdot \ln(D) + 0{,}84868 \cdot \ln(H) - 0{,}041599 \cdot H - 0{,}074644 \cdot ku$

$R^2 = 0{,}86 \quad s_f = 0{,}14 \quad s_r = 14{,}1\ \%$

$\ln(L) = -0{,}26489 + 0{,}74336 \cdot \ln(D) + 0{,}12394 \cdot ku$

$R^2 = 0{,}55 \quad s_f = 0{,}27 \quad s_r = 27{,}5\ \%$

$\ln(s) = -1{,}22557 + 0{,}91244 \cdot \ln(U-L) - 0{,}055877 \cdot ku - 0{,}057274 \cdot mä$

$R^2 = 0{,}74 \quad s_f = 0{,}20 \quad s_r = 20{,}2\ \%$

Missä mä = 1, jos männyn osuus metsikössä on yli 80 %, muuten 0
ku = 1, jos kuusen osuus metsikössä on yli 80 %, muuten 0
L = minimiläpimitta (=a), cm
U = maksimiläpimitta (=b), cm

Puhtaat männiköt ja kuusikot erosivat toisistaan, vaikka valemuuttujilla saadaan esille vain tasoero. Jos halutaan erot paremmin esille, olisi kunkin puulajin metsikölle luotava omat mallit. Puulajeittaisten tilavuuksien laskeminen yhteisestä läpimittajakumasta puulaji-osuuksien suhteessa johtaisi kuusen tilavuuden yliarvioon ja männyn tilavuuden aliarvioon. Lehtisekametsiä ei tarkasteltu lähemmin, koska niitä oli aineistossa vähän.

71. Kilkki, P. & Päivinen, R. 1986. Weibull function in estimation of the basal area dbh-distribution. Silva Fennica 20(2).

Julkaisussa esitellään regressiomallit puuston pohjapinta-alan läpimittajakaumaa kuvaavan Weibull-jakauman parametrien estimoimiseksi. Aineistona olivat VMI 7:n Pohjois-Karjalan piirimetsälautakunnan alueella mitatut mäntykoepuut.

Weibull-kertymäfunktio:

$$F(x) = 1 - \exp(-((x-a)/b)^c) \qquad a \le x \le \infty$$
$$= 0 \qquad -\infty \le x < a$$

Ensimmäisessä vaiheessa Weibull-kertymäjakauman parametrit estimoitiin epälineaarisella

regressioanalyysillä. Saatuja parametriarvoja käytettiin lähtötietoina toisessa vaiheessa maximum likelihood -menetelmällä estimoitaville Weibull-parametreille. Näin saatuja parametrien arvoja käytettiin selitettävinä muuttujina regressiomallissa, kun selittäjinä olivat kuvioinnissa silmävaraisesti arvioitavat metsikkötunnukset.

Kun kaksi parametriä (a ja c) estimoidaan mallien avulla, saadaan kolmas parametri (b) kaavalla:

$$b = \frac{d_{gM} - a}{(-\ln(0.5))^{1/c}}$$

Regressioyhtälöt:

$$\ln(a) = 0{,}8418 + 0{,}6883E{-}01 \cdot d_{gM} \qquad s_e = 0{,}374$$

$$\ln(c) = 0{,}3793 - 0{,}2850E{-}02 \cdot T - 0{,}1298E{-}01 \cdot G + 0{,}4526E{-}01 \cdot d_{gM} \qquad s_e = 0{,}349$$

$$\ln(c) = 0{,}2998 - 0{,}2580E{-}02 \cdot T - 0{,}1224E{-}01 \cdot G - 0{,}3332E{-}01 \cdot a + 0{,}6511E{-}01 \cdot d_{gM} \qquad s_e = 0{,}336$$

Parametri a:n arvo on ensin ennustettu 1. mallilla ja toisessa mallissa sen arvo vastaa minimirinnankorkeusläpimittaa, joka oletetaan mitatuksi.

Menetelmän luotettavuutta testattiin vertaamalla estimoiduista runkolukusarjoista saatuja puuston läpimittojen 1. potenssien (runkolukujen) ja 3. potenssien (tilavuuden) summaa mitatuista puista saatuihin arvoihin. Tulokset olivat lieviä ala-arvioita, mihin arveltiin olevan syynä jakaumien suppeus. (VMI:ssa kertyvä aineisto käsittää pieniä koealoja.)

72. Mykkänen, R. 1986. Weibull-funktion käyttö puuston läpimittajakauman estimoinnissa. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Tutkielmassa on laadittu regressiomallit Weibull-jakauman kertymäfunktion parametreille, jotka estimoitiin 1. tapauksessa pns-menetelmällä ja 2. tapauksessa maximum likelihood -menetelmällä.

Aineistona olivat VMI 7:n mäntykoepuut sellaisilta koealoilta, joilla oli mitattu vähintään 5 vallitsevaan jaksoon kuuluvaa valta-, lisävalta- tai välipuumäntyä. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakunnat eivät olleet mukana.

Mallien laadinnassa oletettiin, että puuston pohjapinta-alamediaaniläpimitta tunnetaan. Tällöin kertymäfunktion kolmas parametri voidaan laskea sen ja kahden estimoidun parametrin avulla. Malleilla ennustettaviksi parametreiksi valittiin a ja c, jolloin

$$b = \frac{(d_{gM} - a)}{(-\ln(0.5))^{1/c}}$$

Regressiomallit ml-parametreille:

$$\ln(a) = -1{,}306454 + 1{,}154433 \cdot \ln(d_{gM}) \qquad R^2 = 66{,}128\ \%,\ s_e = 0{,}33956$$

$$\ln(c) = 0{,}647888 - 0{,}005558 \cdot g + 0{,}025530 \cdot d_{gM} \qquad R^2 = 20{,}377\ \%,\ s_e = 0{,}33956$$

Lisäksi laadittiin malli c:lle, kun kuviotunnusten lisäksi selittäjänä on ml-menetelmällä saatu a-parametri (mikä vastaa tilannetta, kun metsästä on mitattu todellinen minimiläpimitta).

$$\ln(c) = 0{,}622877 - 0{,}000405 \cdot mpy - 0{,}004854 \cdot g - 0{,}053183 \cdot a + 0{,}052858 \cdot d_{gM} \qquad R^2 = 39{,}444\ \%,\ s_e = 0{,}30841$$

Regressiomallit pns-parametreille, kun menetelmänä käytettiin askeltavaa regressioanalyysiä ja kun havaintoja painotettiin arvolla $w = (1/s^2)/300$:

$$\ln(a) = -1{,}353040 + 1{,}159261 \cdot \ln(d_{gM}) \qquad R^2 = 55{,}545\ \%,\ s_e = 0{,}42599$$

$$\ln(c) = 0{,}715302 - 0{,}000582 \cdot mpy - 0{,}005104 \cdot g + 0{,}025462 \cdot d_{gM} \qquad R^2 = 12{,}011\ \%,\ s_e = 0{,}49556$$

missä:

g = puuston pohjapinta-ala, m^2/ha
mpy = korkeus merenpinnan yläpuolella, m
a = Weibull-funktion sijaintiparametri; kuvaa rinnankorkeusläpimitan minimiarvoa metsikössä
b = skaalausparametri; kuvaa läpimitan vaihtelua
c = muotoparametri; määrää jakauman vinouden

Pns-estimointi tuotti epätarkempia parametrien estimaatteja kuin ml-menetelmä. Ml-mallit antavat a:lle hiukan liian suuria arvoja (harha –1,7 %) ja c:lle liian pieniä arvoja (harha 3,6 %). Pns- malleilla harhat olivat a:lle –2,9 % ja c:lle 9,7 %.

Malleja testattiin vertaamalla yhtälöillä laskettuja arvoja todellisten läpimittajakaumien tasoituksen antamiin arvoihin, mikä osoitti, että mallit tuottavat varsin tarkan, joskin liian suppean läpimittajakauman.

Lisäksi mallit testattiin estimoimalla koealoittain hehtaarikohtainen tilavuus sekä alkuperäisessä että Päivisen (1986) laatimassa simulointiaineistossa. Jäännöshajonnat olivat pieniä; kokonaistilavuuden harha simulointiaineistossa oli –0,90 % ja tukkipuuosuuden –2,55 %.

73. Kilkki, P., Maltamo, M., Mykkänen, R. & Päivinen, R. 1989. Use of the Weibull function in estimating the basal area dbh-distribution. Silva Fenn. 23(4).

Kuusikon läpimittajakaumaa kuvaavan Weibull-kertymäfunktion parametrien estimoimiseksi laadittiin regressiomallit, joissa selittävinä tekijöinä oli yleisesti metsiköstä mitattavia tunnuksia.

Aineisto oli koottu VMI 7:n koepuukoealoilta. Mukaan hyväksyttiin vain koealakuvion vallitsevaan latvuskerrokseen kuuluvat kuusikoepuut, joita lopullisessa aineistossa oli yhteensä 14 416. Suurin osa koealoista sijaitsi Etelä- ja Keski-Suomessa, Pohjois-Suomesta oli vain kaksi koealaa. Yhteensä koealoja oli 1746.

Weibull-jakauman kolmesta parametristä valittiin malleilla estimoitaviksi a ja b, jolloin parametri c saadaan laskettua niiden avulla kaavalla:

$$c = \frac{\ln(-\ln(0.5))}{\ln((d_{gM} - a)/b)}$$

Ensin parametrit estimoitiin aineistosta suurimman uskottavuuden (maximum likelihood = ml) menetelmällä, jonka jälkeen mallit parametrien a ja b estimoimiseksi laadittiin painotettua regressioanalyysiä käyttäen. Painoina olivat jäännöshajontojen käänteisluvut, kun parametrit oli estimoitu epälineaarisella regressioanalyysillä.

Parametriyhtälöt:

$$a = 0{,}001389 + 0{,}517444 \cdot d_{gM} \qquad s_e = 3{,}78$$

$$\ln(b) = -0{,}346223 + 0{,}934993 \cdot d_{gM} - 0{,}000925 \cdot G \qquad s_e = 0{,}298$$

Jos metsikön minimiläpimitta (a) on mitattu maastossa, tarvitaan malli ainoastaan parametri b:n estimoimiseksi.

$$b = 0{,}629537 + 1{,}050618 \cdot d_{gM} - 1{,}020776 \cdot a + 0{,}014405 \cdot G - 0{,}001986 \cdot T \qquad s_e = 0{,}608$$

Parametrien estimointimenetelmiä testattiin vertailemalla jakaumasta saatujen läpimittojen 1. 3. ja 4. kertaluvun summia mitatuista puista saatuihin summiin.

	$\sum d0$	$\sum d^3$	$\sum d^4$
menetelmä 1			
keskivirhe %	0,69	–0,11	–0,08
RMSE %	1,39	0,20	0,48
menetelmä 2			
keskivirhe %	0,54	0,20	1,03
RMSE %	2,49	2,67	8,57

menetelmä 3			
keskivirhe %	0,53	0,38	1,49
RMSE %	3,80	2,97	9,10

Menetelmä 1: parametrit estimoitiin ml-menetelmällä.
Menetelmä 2: parametri a ml-menetelmällä ja b regressiomallilla.
Menetelmä 3: a ja b regressiomalleilla.

2.2.2. Keskiläpimitta ja keskipituus

74. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivikon pohjapinta-alalla painotetun kuorettoman keskiläpimitan ennustava yhtälö laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten.

Aineisto koottiin Pohjois- ja Keski-Pohjanmaan sekä Kainuun metsälautakuntien alueilta vuosina 1971–1972. Mukaan hyväksyttiin vähintään 0,5 ha:n suuruiset, viljavuudeltaan vähintään suursara- tai mustikkatasoiset ja alle 100 vuotiaat hieskoivikot (sekapuulajeja < 10 % ppa:sta), joissa ojituksesta oli kulunut vähintään 30 v ja viimeisestä puuston käsittelystä 5 v. Vertailujen vuoksi mitattiin lisäksi muutamia kivennäismaiden hies- ja rauduskoivikoita. Mukana oli yhteensä 40 turvemaiden ja 11 kivennäismaiden hieskoivikkoa sekä 11 kivennäismaiden rauduskoivikkoa.

Keskiläpimittayhtälö:

$$D_{gu} = -2{,}0946 + 0{,}0378 \cdot T - 0{,}0244 \cdot V_u + 1{,}0102 \cdot H_{dom}$$

Yhtälön selitysaste oli 0,887.
Kuorellinen keskiläpimitta laskettiin yhtälöllä

$$D_{gb}/D_{gu} = 1{,}1020 - 0{,}0019 \cdot D_{gu} - 0{,}0002 \cdot H_{dom}$$

Missä D_{gu} = pohjapinta-alalla painotettu kuoreton keskiläpimitta
D_{gb} = pohjapinta-alalla painotettu kuorellinen keskiläpimitta, cm
V_u = puuston kuoreton tilavuus, m^3/ha

75. Lähde, E., Nieminen, J., Etholén, K. ja Suolahti, P. 1982. Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa. Folia For. 533.

Kontortamännikön keski- ja valtaläpimitta sekä keski- ja valtapituus kuvataan metsätyypeittäin.

Aineisto kuvataan kohdassa 7.

Kontortametsiköiden ja vertailumänniköiden läpimitta- ja pituustunnukset on esitetty taulukkomuodossa metsätyypeittäin (OMT - CT). Vaikka puulajien keskitunnuksien välillä ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa, kontortan arvot olivat muutamaa poikkeusta lukuunottamatta mäntyä suurempia.

Lisäksi on esitetty valtapituuden riippuvuus iästä Metsäntutkimuslaitoksen tutkimusalueiden kontortametsiköissä, joilta oli tiedossa valtapituuden kehitys ensiharvennuksesta alkaen. Riippuvuutta kuvasivat yhtälöt

VT: $H_{dom} = 0{,}348 \cdot T + 2{,}557$ $R^2 = 0{,}936$

OMT: $H_{dom} = 0{,}382 \cdot T + 4{,}475$ $R^2 = 0{,}891$

76. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Sekametsikkönä kasvavan kuusen sekä hies- ja rauduskoivun keskiläpimitta kuvataan regressiomalleilla. Tutkimuksen varsinaisena tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden rakennetta ja kehitystä.

Aineisto kuvataan kohdassa 10.

Kuusi rauduskoivun seassa (N = 37):

$$\ln(D) = -4{,}900 + 0{,}0205 \cdot T_{1,3} + 2{,}024 \cdot \ln(H_{100})$$

Kuusi hieskoivun seassa (N = 28):

$$\ln(D) = -1{,}690 + 0{,}02187 \cdot T_{1,3} + 1{,}083 \cdot \ln(H_{100})$$

Rauduskoivu (N = 37):

$$\ln(D) = -3{,}487 + 0{,}6374 \cdot \ln(T_{1,3}) + 1{,}216 \cdot \ln(H_{100})$$

Hieskoivu (N = 28):

$$\ln(D) = -0{,}6828 + 0{,}02125 \cdot T_{1,3} + 0{,}7416 \cdot \ln(H_{100})$$

Yhtälöiden vakiotermeissä on jo mukana logaritmimuunnoksen korjaustekijä ($s^2/2$).

77. Nuutinen, T. 1986. Puustotunnusten väliset relaatiot. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Tutkielmassa on puuston keskipituuden ja keskiläpimitan ennustavat lineaariset regressiomallit. Ne laadittiin puulajeittain, erikseen kivennäis- ja turvemaille sekä koko Suomelle ja Etelä-Suomelle.

Aineistona olivat VMI 7:n koepuukoealat koko Suomen alueelta.

Keskipituuden riippuvuutta muista metsikkötunnuksista kuvattiin sekä käänteisluku- että sigmoidiyhtälöillä ja keskiläpimitan riippuvuutta estimoitiin tulomuotoisella mallilla. Seuraavassa on esitetty koko maata koskevat yhtälöt.

Keskipituusmallit:

Mänty:

Kivennäismaat:

$$\ln(H) = 3{,}63148 - 22{,}2704 \cdot 1/T - 531{,}224 \cdot 1/dd + 0{,}121626 \cdot U1 - 0{,}10922 \cdot U2 - 0{,}23370 \cdot U3 - 0{,}34533 \cdot U4$$

$R^2 = 53{,}515$ $s_e = 0{,}25509$ (9,5 %)

Turvemaat:

$$\ln(H) = 3{,}99489 - 31{,}90071 \cdot 1/T - 1193{,}892 \cdot 1/dd + 0{,}15903 \cdot U1 - 0{,}2714 \cdot U2$$

$R^2 = 54{,}677$ $s_e = 0{,}25137$ (10,43 %)

Kuusi:

Kivennäismaat:

$$\ln(H) = 4{,}05171 - 32{,}6151 \cdot 1/T - 833{,}769 \cdot 1/dd + 0{,}13436 \cdot U1 + 0{,}13087 \cdot U2$$

$R^2 = 48{,}147$ $s_e = 0{,}17061$ (6,08 %)

Turvemaat:

$$\ln(H) = 4{,}04996 - 36{,}3124 \cdot 1/T - 995{,}022 \cdot 1/dd + 0{,}12632 \cdot U1 - 0{,}14404 \cdot U2$$

$R^2 = 23{,}947$ $s_e = 0{,}23947$ (8,84 %)

Koivu:

Kivennäismaat:

$$\ln(H) = 4{,}41969 - 30{,}4989 \cdot 1/T - 1242{,}52 \cdot 1/dd + 0{,}09317 \cdot U1 - 0{,}128522 \cdot U2$$

$R^2 = 65{,}826$ $s_e = 0{,}26770$ (9,79 %)

Turvemaat:

$$\ln(H) = 3{,}90435 - 21{,}9695 \cdot 1/T - 1014{,}01 \cdot 1/dd + 0{,}02373 \cdot U1 - 0{,}07576 \cdot U2$$

$R^2 = 57{,}056$ $s_e = 0{,}21367$ (8,74 %)

Sigmoidiyhtälöt:

Mänty:

Kivennäismaat:

$$\ln(H_{max}/H - 1) = 4{,}8097 - 0{,}43804 \cdot \ln(T^2) - 6{,}85E{-}07 \cdot dd^2 - 0{,}50210 \cdot U1 - 0{,}26373 \cdot U2 + 0{,}19361 \cdot U3 + 0{,}62241 \cdot U4$$

$$R^2 = 63{,}021 \quad s_e = 0{,}40579$$

Turvemaat:

$$\ln(H_{max}/H - 1) = 4{,}9006 - 0{,}36677 \cdot \ln(T^2) - 8{,}31E{-}07 \cdot dd^2 - 0{,}2638 \cdot U1 + 0{,}36853 \cdot U2$$

$$R^2 = 53{,}972 \quad s_e = 0{,}37835$$

Kuusi:

Kivennäismaat:

$$\ln(H_{max}/H - 1) = 4{,}63501 - 0{,}39674 \cdot \ln(T^2) - 8{,}93E{-}07 \cdot dd^2 - 0{,}26189 \cdot U1 + 0{,}35430 \cdot U2$$

$$R^2 = 38{,}989 \quad s_e = 0{,}40168$$

Turvemaat:

$$\ln(H_{max}/H - 1) = 4{,}34563 - 0{,}34707 \cdot \ln(T^2) - 9{,}66E{-}07 \cdot dd^2 - 0{,}24411 \cdot U1 + 0{,}29908 \cdot U2$$

$$R^2 = 28{,}337 \quad s_e = 0{,}48990$$

Koivu:

Kivennäismaat:

$$\ln(H_{max}/H - 1) = 5{,}33169 - 0{,}43664 \cdot \ln(T^2) - 1{,}23E{-}06 \cdot dd^2 - 0{,}14605 \cdot U1 + 0{,}14640 \cdot U2$$

$$R^2 = 66{,}861 \quad s_e = 0{,}43238$$

Turvemaat:

$$\ln(H_{max}/H - 1) = 4{,}63481 - 0{,}39092 \cdot \ln(T^2) - 8{,}10E{-}07 \cdot dd^2 + 0{,}02821 \cdot U1 + 0{,}173425 \cdot U2$$

$$R^2 = 55{,}418 \quad s_e = 0{,}32825$$

Keskiläpimittamallit:

Mänty:

Kivennäismaat:

$$\ln(D) = 1{,}14978 + 0{,}61808 \cdot \ln(H - 1{,}3) + 0{,}003635 \cdot T - 4{,}15E{-}06 \cdot T^2 + 1{,}95E{-}08 \cdot dd^2 + 0{,}163840 \cdot U1 + 0{,}052283 \cdot U2 - 0{,}013817 \cdot U3 + 0{,}026128 \cdot U4$$

$$R^2 = 82{,}258 \quad s_e = 0{,}16459$$

Turvemaat:

$$\ln(D) = 1{,}03648 + 0{,}746814 \cdot \ln(H-1{,}3) + 7{,}11E{-}06 \cdot T^2 - 2{,}01E{-}09 \cdot dd^2 - 0{,}012102 \cdot U1 + 0{,}02827 \cdot U2$$

$R^2 = 84{,}487 \quad s_e = 0{,}14659$

Kuusi:

Kivennäismaat:

$$\ln(D) = 0{,}92736 + 0{,}859040 \cdot \ln(H-1{,}3) + 4{,}14E{-}06 \cdot T^2 - 1{,}33E{-}07 \cdot dd^2 + 0{,}051414 \cdot U1 + 0{,}063884 \cdot U2$$

$R^2 = 72{,}178 \quad s_e = 0{,}14178$

Turvemaat:

$$\ln(D) = 0{,}96037 + 0{,}811069 \cdot \ln(H-1{,}3) + 4{,}68E{-}06 \cdot T^2 - 1{,}01E{-}07 \cdot dd^2 + 0{,}057116 \cdot U1 - 0{,}015813 \cdot U2$$

$R^2 = 83{,}572 \quad s_e = 0{,}12213$

Koivu:

Kivennäismaat:

$$\ln(D) = 0{,}63947 + 0{,}632109 \cdot \ln(H-1{,}3) + 0{,}011601 \cdot T - 4{,}47E{-}05 \cdot T^2 + 7{,}21E{-}09 \cdot dd^2 + 0{,}091265 \cdot U1 - 0{,}013628 \cdot U2$$

$R^2 = 76{,}239 \quad s_e = 0{,}18154$

Turvemaat:

$$\ln(D) = 0{,}48591 + 0{,}78193 \cdot \ln(H-1{,}3) + 0{,}008532 \cdot T - 0{,}3{,}37E{-}05 \cdot T^2 - 1{,}24E{-}07 \cdot dd^2 + 0{,}064278 \cdot U1 + 0{,}069132 \cdot U2$$

$R^2 = 82{,}081 \quad s_e = 0{,}15993$

Missä:

D = pohjapinta-alalla painotettu aritmeettinen keskiläpimitta eli relaskooppikoealan puiden aritmeettinen keskiarvo, cm
H = keskiläpimittaa vastaavan puun pituus, m
dd = lämpösumma
U1,U2,U3,U4 = kasvupaikka-valemuuttujia:

mänty, kivennäismaat:

U1 = 1, jos kasvupaikka on OMaT tai OMT
U2 = 1, jos kasvupaikka on VT
U3 = 1, jos kasvupaikka on CT
U4 = 1, jos kasvupaikka on ClT

mänty, turvemaat:

U1 = 1, jos kasvupaikka on MT tai parempi
§U2 = 1, jos kasvupaikka on CT tai heikompi

kuusi ja koivu:

U1 = 1, jos kasvupaikka on OMaT tai OMT
U2 = 1, jos kasvupaikka on VT tai heikompi

Keskiläpimittamallit ovat selittäjien suhteen melko harhattomia, mutta keskipituusmalleissa systemaattisen virheen osuus on huomattava varsinkin nuorilla metsiköillä.

Tutkielman mukaan keskiläpimittamallien jäännösvaihtelua voitaisiin todennäköisesti pienentää ottamalla mukaan selittäjiksi metsikön tilajakaumaa (esim. ppa) ja käsittelytoimenpiteitä (harvennus, ojitus, lannoitus) kuvaavia muuttujia. Kasvupaikoittaisia eroja ei saada esille valemuuttujien avulla, parempi ratkaisu olisi kuvata maan tuottokykyä jatkuvalla pituusboniteettimuuttujalla tai laatia erikseen mallit kullekin kasvupaikkatyypille.

Erikoisolosuhteissa on syytä käyttää joko metsikkömuuttujiin tai koepuumittauksiin perustuvia korjauskertoimia.

78. Varmola, M. 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin Yliopisto.

Työssä laadittiin tulomuotoiset regressiomallit viljelymännikön keskipituuden ja keskiläpimitan ennustamiseksi. Keskiläpimittatunnuksena oli pohjapinta-alamediaaniläpimitta ja keskipituustunnuksena sitä vastaavan puun pituus. Mallit muodostavat rekursiivisen malliketjun, jossa keskipituusmallista saatu pituusestimaatti on selittäjänä keskiläpimittamallissa.

Koko tutkimusaineisto sisälsi 100 männyn taimikkoa, joista 71 oli kylvetty ja 29 istutettu. Osa taimikoista oli harvennettu, osa perattu ja osalla ei oltu tehty mitään käsittelyä. Taimikoiden ikä vaihteli 12–35 v. ja valtapituus 1,3–9,2 m. Viljelytiheyden keskiarvo oli 3260 kpl/ha, mikä on nykyisiä suosituksia suurempi. Maantieteellisesti koealataimikot jakautuivat melko tasaisesti ympäri Suomea pohjoisinta Lappia lukuunottamatta. Kasvupaikkatyypeiltään taimikot vaihtelevat lehtomaisista kankaista kuiviin kankaisiin.

Jokaiseen koemetsiköön rajattiin suorakaiteen muotoinen koeala, jolta mitattiin 20 koepuuta. Koepuiden vuosittaiset pituus- ja sädekasvut mitattiin enimmillään 15 vuotta taaksepäin. Mittaukset tehtiin vuosina 1968–1971.

Testiaineisto koottiin Metsäntutkimuslaitoksen 1970–luvulla perustamista taimikonharvennustutkimuksen kestokoealoista (esim. Varmola 1982). Mukaan valittiin 15 kylvötaimikkoa (162 koealaa), joista 8:ssa (88 koealaa) oli metsikkötunnukset mitattu sekä harvennusvaiheessa että 4–7 v. myöhemmin ja 4:ssä (49 koealaa) oli tiedossa myös ensiharvennusvaiheen mittaustiedot. Kaikki metsiköt yhtä lukuunottamatta (VMT) edustivat kuivahkoja kankaita.

Keskipituusmalli:

$$\ln(H_{gM}-1{,}3) = 0{,}673064 + 0{,}938063 \cdot \ln(H_{dom}-1{,}4) + 0{,}0254534 \cdot (H_{dom}-1{,}4) - 0{,}0848432 \cdot \ln(N) - 0{,}0579650 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}956 \quad s_e = 16{,}0\ \% \quad n = 750$$

Keskiläpimittamalli:

$$\ln(D_{gM}) = 2{,}67841 + 0{,}481126 \cdot \ln(H_{gM}-1{,}3) - 0{,}205268 \cdot \ln(N)$$

$$+0{,}165314 \cdot \ln(G)$$

$R^2 = 0{,}968 \quad s_e = 11{,}7\ \% \quad n = 818$

missä:

N = metsikön runkoluku alle 1,3 m:ä pitkät taimet mukaan lukien, kpl/ha

Logaritmimallin vaatima tasokorjaus s_e^2 on lisätty vakioihin. Graafisen tarkastelun perusteella pituusmuuttujiin tehtiin muunnokset, jotka pakottavat keskipituudeksi 1,3 m, kun valtapituus on 1,4 m, ja keskiläpimitaksi 0 cm, kun keskipituus on 1,3 m.

Testiaineistossa keskipituusmallilla saatiin keskimäärin 5 % (32 cm) mitattua keskipituutta suurempi arvo. Hyvin tiheissä taimikoissa (> 5000 kpl/ha) malli kuitenkin aliarvioi keskipituuden. Keskiläpimittamallin yliarvio oli keskimäärin 8,3 % (0,9 cm), kun keskipituus oletettiin tunnetuksi, ja 11,5 % (1,19 cm), kun keskipituus estimoitiin mallilla.

Keskipituusmalli on esitetty graafisesti valtapituuden ja keskipituuden erona ($H_{dom}-H_{gM}$) valtapituuden funktiona pituusboniteeteittain (15 ja 27 m) eri runkoluvuilla (2000 ja 10000 kpl/ha). Keskiläpimittamalli on esitetty graafisesti vastaavan keskipituuden funktiona pohjapinta-alaluokittain eri runkoluvuilla.

2.2.3. Pohjapinta-ala

79. Varmola, M. 1987. Männyn vijelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin Yliopisto.

Viljelymännikön kuorettoman pohjapinta-alan ennustetaan regressiomallilla, kun valtapituus on ylittänyt rinnankorkeuden ja kun taimikko on juuri harvennettu.

Tutkimusaineisto kuvataan edellisessä kohdassa (78). Laadittaessa pohjapinta-alamallia ajankohdalle, jolloin valtapituus on ylittänyt 1,3 m, käytettiin aineistona havaintoja, joissa valtapuiden rinnankorkeusikä oli 1–3 v. Taimikon harvennuksen jälkeistä pohjapinta-alaa kuvattiin regressioyhtälöllä, jonka laadinta-aineistona olivat äskettäin harvennetut (harvennuksesta kulunut 0 v.) metsiköt. Näissä metsiköissä valtapituus oli 1,6–7,8 m.

Pohjapinta-alamalli, kun valtapituus on ylittänyt 1,3 m:

$$\ln(G_u) = -7{,}96624 + 2.37655 \cdot \ln(H_{dom}-1{,}0) + 1{,}32263 \cdot \ln(H_{100}-10) + 0{,}325822 \cdot \ln(N)$$

$R^2 = 0{,}594 \quad s_e = 67{,}9\ \% \quad n = 103$

Pohjapinta-alamalli, kun taimikko on juuri harvennettu:

$$\ln(G_u+0{,}001) = -5{,}88434 + 2.19029 \cdot \ln(H_{dom}-1{,}3) - 0{,}154263 \cdot (H_{dom}-1{,}3) + 0{,}616342 \cdot \ln(N)$$

$R^2 = 0{,}940 \quad s_e = 38{,}7\ \% \quad n = 33$

Logaritmimallin vaatima tasokorjaus s_e^2 on lisätty vakioihin.
Missä:

N = metsikön runkoluku alle 1,3 m:ä pitkät taimet mukaan lukien, kpl/ha
G_u = puuston kuoreton pohjapinta-ala, m^2/ha

Testiaineistossa pohjapinta-alamallilla (harvennuksen jälkeen) saadaan keskimäärin 17 % (0,6 m^2/ha) pienempi kuorellinen pohjapinta-ala mitattuun pohjapinta-alaan verrattuna. Harha on suurin sovellusalueen äärilaidoilla, esim. kun valtapituus on 6–8 m tai kun harvennuksen jälkeinen pohjapinta-ala on yli 10 m^2/ha. Mallin aliarvio aiheutunee suurimmaksi osaksi aineistojen välisistä eroista ennen taimikonharvennusta.

2.2.4. Muotoluku

80. Ruotsalainen, M. 1974. Metsikön tilaa kuvaavien puustotunnusten väliset relaatiot. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Laudaturtyössä laadittiin luonnonnormaalien männiköiden muotolukua selittävä regressiomalli.

Aineisto luotiin simuloimalla noin sata (keskimäärin 105–894 puuta/jakauma) runkolukusarjaa beta-funktion avulla. Läpimittajakaumilla pyrittiin jäljittelemään eri tavalla kehittyneitä ja eri-ikäisiä MT-, VT- ja CT-männiköitä. Läpimittaluokittaisina keskipituuksina käytettiin Ilvessalon (1920) 60–100 vuotiaiden luonnonnormaalien männiköiden keskipituuksia. Keskiläpimitan annettiin vaihdella 4–30 cm.

Metsikkötunnusten välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin pintapuolisesti. Muotolukua kuvattiin tulomuotoisella mallilla, jossa mahdollisina selittävinä tekijöinä kokeiltiin useita tekijöitä. Lopullinen yhtälö oli:

$$F = \exp(-1{,}000713 - 0{,}08174 \cdot (\log(H - 1{,}0))^2) + 0{,}3$$

missä H = keskipituus (=pohjapinta-alamediaanipuun pituus), m

Yhtälön vakioon on tehty logaritmimuunnoksen vaatima tasokorjaus. Vakion 0,3 lisäämisellä yhtälöön on korjattu muotolukujen epähomogeenisuutta aineistossa. Yhtälön keskivirhe oli 1,5 %. Nyyssösen (1954a) relaskooppitaulujen pohjana käytettyihin muotolukuihin verrattaessa malli antoi pienillä keskipituuksilla ali- ja suurilla yliarviota (maksimiero oli +5 %).

81. Kilkki, P. & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmäja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laadinta. Acta Forestalia Fennica 145.

Julkaisussa on puulajeittaiset regressiomallit puuston muotoluvun ennustamiseksi. Mallien muodon määrityksessä käytettiin hyväksi "matchacurve" -tekniikkaa.

Tutkimusaineisto luotiin simuloimalla, jota varten tarvittava perustieto puuston rakenteesta hankittiin VMI 5:n Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueilta mitatuilta koealoilta. Simulointimenetelmällä tuotettiin 1500 sadan puun puujoukkoa, jotka jakautuivat tasan männyn, kuusen ja koivun kesken.

Muotolukuyhtälöt:

$$F_{mä} = 1{,}109 \cdot (\bar{f} - 0{,}3)^{1{,}074} \cdot (\bar{d})^{-0{,}0081} \cdot ()^{0{,}0167} + 0{,}3$$

$$F_{ku} = 1{,}106 \cdot (\bar{f})^{1{,}095} \cdot (\bar{d})^{0{,}2115} \cdot (\bar{h})^{-0{,}03379}$$

$$F_{ko} = 1{,}194 \cdot (\bar{f} - 0{,}3)^{1{,}032} \cdot (\bar{d})^{-0{,}02116} \cdot (\bar{h})^{-0{,}02034} + 0{,}3$$

missä:

F = puuston muotoluku

$\bar{f}$ = keskipuun muotoluku

$\bar{d}$ = keskiläpimitta (=pohjapinta-alamediaanipuun lpm), cm

$\bar{h}$ = keskipituus (=pohjapinta-alamediaanipuun pituus), m

Yhtälöiden keskivirheet laskettiin vertaamalla alkuperäisiä muotolukuja yhtälöillä saatuihin arvoihin. Männyllä ja kuusella variaatiokerroin (suhteellinen jäännöshajonta) oli 1,3 % ja koivulla 1,5 %. Suhteellisen pieniin keskivirheisiin vaikutti se, ettei runkomuoto vaihdellut simulointiaineistossa yhtä paljon kuin todellisessa puujoukossa. Mallit olivat harhattomia mukana olleiden tunnusten suhteen, mutta harhaisia runkoluku- ja pituussarjojen hajontaa ja vinoutta kuvaavien muuttujien suhteen.

Tutkimuksessa on esitetty taulukoina edellisiin muotolukuyhtälöihin perustuvat muotokorkeudet (=F · H) keskiläpimitan ja keskipituuden funktiona kaikille kolmelle puulajille.

82. Vuokila, Y. ja Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2).

Tutkimuksessa esitetään viljelymänniköiden ja -kuusikoiden muotolukumallit, joita tarvittiin puuston tilavuuden määrittämiseksi vijelymetsiköiden kasvatusmalleja laadittaessa.

Aineisto käsitti yhteensä 354 tilapäistä metsikkökoealaa, joista 226 oli männikkö- ja 128 kuusikkokoealoja. Kuusikot olivat istutettuja ja sijaitsivat eri puolilla maan eteläpuoliskoa. Männiköt olivat koko Suomen alueelta (pohjoisin koeala 68. leveysasteella) ja pääasiassa kylvettyjä, sillä varttuneita istutusmänniköt ei löytynyt kuin muutama. Metsiköt olivat puhtaita (>90 % ppa:sta), täystiheitä, alaharvennuksin vähintään 3 v. sitten käsiteltyjä ja metsämaalle tai pellolle perustettuja. Kasvupaikan soistuneisuutta ei hyväksytty. Aineistoon ei sisältynyt nuoria, alle 20 vuotiaita taimikoita. Varsinaisen aineiston lisäksi yhtälöiden laadinnassa tukeuduttiin kestokoealojen mittauksiin.

Muotolukumallit:

Kuusi: $\ln(F_H) = -0{,}042807 \cdot \ln(G_b) - 0{,}049259 \cdot \ln(N)$
$-0{,}087706 \cdot \ln(H_{100})$ $\quad R^2 = 0{,}323$

Mänty: $F_H = 0{,}49372 - 0{,}0016280 \cdot H + 4{,}4746 \cdot 1/(T \cdot G_b)$ $\quad R^2 = 0{,}684$

Julkaisussa ei ole esitetty yhtälöiden keskivirheitä eikä mainittu onko logaritmimuunnoksen vaatima korjaus jo tehty vakioon.

83. Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 113.

Tutkimuksessa laadittiin viljellyn rauduskoivikon muotoluvun ennustava regressiomalli, jota tarvittiin viljelykoivikoiden kasvatusmallien laadintaa varten.

Aineisto sisälsi 11 viljeltyä, puustoltaan tasaista ja täystiheää rauduskoivikkoa. Maantieteellisesti ne edustivat Etelä- ja Keski-Suomea, keskittyen tosin Punkaharjun ja Kangasalan tienoille. Koealat jakautuivat tasaisesti eri kasvupaikkaluokkiin, mutta iän osalta eivät; nuorissa ikäluokissa oli puutteita ja yli 50 vuotiaat metsiköt puuttuivat kokonaan.

Metsiköihin perustettiin kasvukoealat keväällä 1970, ja ne mitattiin uudelleen syksyllä 1974. Molempia mittaustuloksia käytettiin itsenäisesti hyväksi mallin laadinnassa. Lisäksi perusaineistoa laajennettiin ottamalla soveltuvin osin mukaan Raulon (1981) sekä Raulon & Niemisen (1982) esittämiä nuorten koivikoiden mittaustuloksia.

$$F_{dom} = 0{,}43433 + 4{,}8749 \cdot 1/D_g \cdot H_{dom} \qquad R = 0{,}985 \quad df = 20$$

missä F_{dom} = metsikön muotoluku, kun pituustunnuksena on valtapituus (= $V/G \cdot H_{dom}$)
D_g = puuston pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm

84. Gustavsen, H. G. & Fagerström, H. 1983. Brösthöjdsformtalets variation i tall-, gran- och björkbestå nd. Folia For. 576.

Julkaisussa esitetään metsikön puuston muotolukumallit, joissa on selittävinä erilaisia metsikköä kuvaavia muuttujia.

Aineisto oli otos VMI 3:n (1951–1953) aineistosta ja se sisälsi 637 männikkö-, 240 kuusikko- ja 55 koivikkokoealaa. Havupuukoealoilla oli pääpuulajia vähintään 80 % ja koivukoealoilla 70 % puuston tilavuudesta. Koealat olivat 0,1 ha:n ympyräkoealoja, jotka sijaitsivat vaihtelevasti käsitellyissä kivennäismaiden metsiköissä eri puolilla maata. Puuston keskiläpimitta vaihteli 5,0–30,5 cm, keskipituus 4,0–23,9 m, pohjapinta-ala 3,0–36,3 m^2/ha ja tilavuus 9,6–363,8 m^3/ha.

Rinnankorkeusmuotoluku määritettiin kuorellisen tilavuuden, pohjapinta-alan ja keski-

pituuden avulla: $F_H = V/(G \cdot H)$ sekä erikseen valtapituuden avulla: $F_{dom} = V/(G \cdot H_{dom})$. Havupuille yhtälöt laadittiin koko Suomen lisäksi erikseen Etelä-Suomelle (15 eteläisintä metsälautakuntaa) ja Pohjois-Suomelle. Koivukoealoja oli liian vähän, jotta olisi voitu laatia Etelä-ja Pohjois-Suomelle omat muotolukuyhtälöt.

Muotolukumallit:

Koko maa:
Mänty:

$$F_H = 0{,}48183 + 0{,}05595 \cdot (3{,}18 - \ln(H))^{1{,}75}$$

$$F_H = 0{,}48357 + 0{,}05481 \cdot (3{,}18 - \ln(H))^{1{,}75} - 0{,}00836 \cdot X$$

$$F_{dom} = 0{,}24595 + 0{,}06366 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5} + 0{,}07067 \cdot \ln(D)$$

$$F_{dom} = 0{,}30122 + 0{,}05450 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5} + 0{,}06577 \cdot \ln(D) - 0{,}02203 \cdot \ln(G)^{0{,}8} + 0{,}000004 \cdot T^{1{,}6}$$

Kuusi:

$$F_H = 0{,}48116 + 0{,}04719 \cdot (3{,}10 - \ln(H))^{2{,}3}$$

$$F_H = 0{,}49479 + 0{,}04298 \cdot (3{,}10 - \ln(H))^{2{,}3} - 0{,}00012 \cdot T - 0{,}00843 \cdot X$$

$$F_{dom} = 0{,}42844 - 0{,}04526 \cdot (3{,}13 - \ln(D))^{1{,}3}$$

Koivu:

$$F_H = 0{,}60686 - 0{,}05748 \cdot (\ln(G))^{0{,}8}$$

$$F_H = 0{,}41004 + 0{,}03152 \cdot (3{,}00 - \ln(H))^{4{,}0} + 0{,}03286 \cdot \ln(D) - 0{,}02060 \cdot X$$

$$F_{dom} = 0{,}14313 + 0{,}10638 \cdot \ln(D) + 0{,}06951 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5}$$

$$F_{dom} = 0{,}33685 + 0{,}10285 \cdot \ln(D) - 0{,}08065 \cdot \ln(G)^{0{,}8} + 0{,}03362 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5}$$

Etelä-Suomi:
Mänty:

$$F_H = 0{,}47945 + 0{,}06054 \cdot (3{,}18 - \ln(H))^{1{,}8}$$

$$F_H = 0{,}48255 + 0{,}05941 \cdot (3{,}18 - \ln(H))^{1{,}8} - 0{,}01387 \cdot X$$

$$F_{dom} = 0{,}24971 + 0{,}06791 \cdot \ln(D) + 0{,}06081 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5}$$

$$F_{dom} = 0{,}32578 + 0{,}06705 \cdot \ln(D) + 0{,}05294 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5} - 0{,}03249 \cdot (\ln(G))^{0{,}8}$$

Kuusi:

$$F_H = 0{,}48163 + 0{,}05424 \cdot (3{,}10 - \ln(H))^{2{,}3}$$

$$F_{dom} = 0{,}43181 - 0{,}04831 \cdot (3{,}13 - \ln(D))^{1{,}3}$$

$$F_{dom} = 0{,}47446 - 0{,}06208 \cdot (3{,}13 - \ln(D))^{1{,}3} - 0{,}00220 \cdot H$$

Pohjois-Suomi:
Mänty:

$$F_H = 0{,}48519 + 0{,}04966 \cdot (3{,}18 - \ln(H))^{1{,}7}$$

$$F_H = 0{,}48836 + 0{,}05567 \cdot (3{,}18 - \ln(H))^{1{,}7} - 0{,}00586 \cdot (5{,}64 - \ln(T))^{1{,}8}$$

$$F_{dom} = 0{,}24397 + 0{,}07226 \cdot \ln(D) + 0{,}06533 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5}$$

$$F_{dom} = 0{,}29289 + 0{,}06499 \cdot \ln(D) + 0{,}05415 \cdot (3{,}23 - \ln(H_{dom}))^{2{,}5} + 0{,}000004 \cdot T^{1{,}6} - 0{,}01821 \cdot (\ln(G))^{0{,}8}$$

Kuusi:

$$F_H = 0{,}47218 + 0{,}05045 \cdot (3{,}10 - \ln(H))^{2{,}3}$$

$$F_H = 0{,}44819 + 0{,}04802 \cdot (3{,}13 - \ln(D))^{1{,}3} + 0{,}02684 \cdot (3{,}10 - \ln(H))^{2{,}3}$$

$$F_{dom} = 0{,}46592 - 0{,}02959 \cdot \ln(G)$$

$$F_{dom} = 0{,}49034 - 0{,}03108 \cdot \ln(G) - 0{,}02874 \cdot (3{,}13 - \ln(D))^{1{,}3}$$

Yhtälöissä termi X on kasvupaikan ravinteisuutta kuvaava valemuuttuja. Männyllä X saa arvon yksi, jos metsätyyppi on VT tai huonompi, mutta muuten arvon nolla. Kuusella X saa arvon yksi, jos metsätyyppi on PyT tai huonompi, muuten arvon nolla. Koivulla X on yksi, jos metsätyyppi on MT tai huonompi, muuten X saa arvon nolla.

Yhtälöiden luotettavuustunnukset:
Mänty:

	Koko maa (n=637)		E–S (n=252)		P–S (n=385)	
	R^2, %	s_y, %	R^2, %	s_y, %	R^2, %	s_y, %
F_H	32,5	6,2	45,5	6,2	21,4	6,3
F_H	33,1	6,2	47,1	6,1	22,8	6,2
F_{dom}	36,3	8,1	37,6	7,9	35,5	8,2
F_{dom}	39,8	7,9	41,2	7,6	38,9	8,0

Kuusi:

	Koko maa (n=240)		E–S (n=149)		P–S (n=46)	
	R^2, %	s_y, %	R^2, %	s_y, %	R^2, %	s_y, %
F_H	19,6	5,4	17,3	5,4	34,2	5,6
F_H	22,1	5,4	–	–	51,5	4,9
F_{dom}	31,8	6,6	37,2	6,4	21,0	6,8
F_{dom}	–	–	38,9	6,4	32,7	6,3

Koivu:

	Koko maa (n=55)	
	R^2, %	s_y, %
F_H	16,6	6,6
F_H	23,9	6,5
F_{dom}	48,1	8,3
F_{dom}	60,5	6,1

Eräät yhtälöissä käytetyt logaritmimuunnokset edellyttävät, että muuttujat eivät saa ylittää laadinta-aineiston vaihtelurajoja. Koivun toinen F_H-yhtälö antaa epäloogisia muotolukuja metsikön keskiläpimitan ollessa yli 12 cm. Kun metsikön pohjapinta-ala on mitattu, kannattaa käyttää koivun ensimmäistä F_H-yhtälöä.

Pohjois- ja Etelä-Suomen yhtälöt antavat parhaat estimaatit muotoluvuille. Mikäli tarkkuusvaatimukset eivät ole kovin suuret, voidaan käyttää koko maata koskevia yhtälöitä. Tutkimuksessa laaditut yksinkertaiset yhtälöt, joissa muotoluku kuvataan keskiläpimitan ja keskipituuden tai keskiläpimitan ja valtapituuden funktiona, esitetään julkaisussa taulukkoina.

2.2.5. Tilavuus

85. Nyyssönen, A. 1954a. Metsikön kuutiomäärän arviominen relaskoopin avulla. Commun. Inst. For. Fenn. 44(6).

Männikön, kuusikon ja koivikon tilavuus saadaan laadituista taulukoista puuston pohjapinta-alaan ja keskipituuteen perusteella.

Puuston tilavuus määritettiin kaavalla: $V = G \cdot H \cdot F$. Metsikön pohjapinta-ala saadaan relaskoopin avulla. Metsikköä edustavaksi pituustunnukseksi valittiin pohjapinta-alamediaanipuun pituus.

Muotolukujen laskenta perustui kaikkiaan 631 koealametsikön aineistoon, joista pääosa oli mitattu vuosina 1948–1954 hakkuin käsitellyistä metsiköistä, osa oli VMI 3:n koealoja ja osa kestokoealoja. Koealat edustivat kaikkia metsätyyppejä. Tutkimuksessa on esitetty silmävaraisesti tasoitetut muotolukukäyrät likimain puhtaille ja tasaikäisille Suomen eteläpuoliston männiköille, kuusikoille ja koivikoille.

Männylle laaditut kuutioimistaulukot soveltuvat käytettäväksi koko maassa. Tilavuus voi kuitenkin rehevien kasvupaikkojen metsiköissä tulla aliarvioiduksi ja karujen kasvupaikkojen, maan pohjoisosien tai harsituissa metsiköissä yliarvioiduksi. Kuusen ja koivun osalta taulukot sopivat Etelä-Suomen metsiköille ja tietyin prosenttivähennyksin pohjoisosien metsiköille. Hies- ja rauduskoivua on käsitelty yhdessä.

Metsikön tilavuuden keskivirhe oli n. 9–10 %, kun se arvioitiin relaskooppia ja laadittuja taulukoita käyttäen.

86. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Tutkimuksessa laadittiin regressioyhtälöt puuston tilavuuden ennustamiseksi Etelä-Suomen hoidetuissa männiköissä.

Aineisto kuvataan kohdassa 38.

Tilavuusyhtälöt:

$$V_b = 0{,}14 + 0{,}4926 \cdot G_b \cdot H_{dom} - 0{,}00182 \cdot G_b \cdot H^2_{dom}$$
$$V_u = 0{,}91 + 0{,}4986 \cdot G_u \cdot H_{dom} - 1{,}2176 \cdot H_{dom} + 1{,}2908 \cdot D_u$$
$$R = 0{,}996 \text{ (molemmilla yhtälöillä)}$$

Merkinnöissä alaindeksi $_b$ tarkoittaa kuorellista ja $_u$ kuoretonta tunnusta. Tilavuuden yksikkö on k-m^2/ha.

87. Hiltunen, J. 1981. Kuusitaimistojen kasvusta turvemailla. (Suometsäkilpailun (1964–68) koealoista valittujen taimistojen jatkokehityksen valossa). Suometsätieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Turvemaiden kuusentaimikoiden tilavuuden riippuvuus lämpösummasta, koivujen määrästä sekä ylis- ja verhopuustosta kuvataan regressioyhtälöillä ja graafisesti.

Aineisto koottiin suometsäkilpailuun osallistuneista taimikoista jatkotutkimuksiin valittujen (v. 1968) koealojen (yht. n. 100) joukosta. Kyseessä oli kestokoealojen loppumittaus syksyllä 1980. Välimittauksia oli tehty vuosina 1971 ja 1974. Kuusikoealat (45 koealaparia) si-

jaitsivat tasaisesti ympäri maata Rovaniemen korkeudelle asti.

Kasvupaikoiltaan kohteet edustivat entisiä ruohoisia korpia, varsinaisia korpia, viljelyheittoja ja sararämeitä. Taimikoiden ikä oli n. 25 v. Kilpailun vuoksi kohteita oli lannoitettu vuosina 1964–68, ja kestokoealoja perustettaessa v. 1968 tehtiin jatkolannoitus koealaparin toiselle puoliskolle.

Kultakin osakoealalta mitattiin 2 ympyräkoealaa (1 a), joilta luettiin kaikki puut ja mitattiin 20 koepuuta, joista puolet kaadettiin. Säde- ja pituuskasvuhavaintojen avulla laskettiin koepuiden tilavuudet ja tilavuuskasvut Laasasenahon (1976) yhtälöillä. Osakoealoittaiset kuutiomäärät ja kasvut laskettiin puiden luvusta saadun runkolukusarjan mukaan.

Tilavuusyhtälöt:

$V = -208{,}13 + 0{,}22850 \cdot LS$ $\quad R^2 = 0{,}520$

$V = 52{,}23 - 0{,}00773 \cdot KO$ $\quad R^2 = 0{,}056$

$V = 51{,}49 - 0{,}02014 \cdot YV$ $\quad R^2 = 0{,}063$

missä LS = lämpösumma, d.d./100
KO = koivujen määrä, kpl/ha
YV = ylis- ja verhopuuston määrä, kpl/ha

88. Heikkilä, H. 1982. Mäntytaimikoiden kasvu turvemailla. (Vuosina 1964–68 toimeenpannun suometsäkilpilun kestokoealojen valossa). Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Turvemaiden mäntytaimikoiden tilavuuden riippuvuus lämpösummasta esitetään regressioyhtälöllä ja graafisesti.

Aineisto koottiin suometsäkilpailuun osallistuneista taimikoista kuten edellä kuvatussa tutkimuksessa (Hiltunen, 1981). Mäntykoealoja (=koealapareja) oli yhteensä 46.

Kaikki kohteet olivat hyvin kuivuneita. Suurin osa oli entisiä rämeitä; niiden lisäksi aineistossa oli neljä korpea, neljä avosuota ja yksi peltoheitto. Melkein kaikki taimikot olivat luontaisesti syntyneitä; muutamaa oli täydennysistutettu, yksi kylvetty ja yksi istutettu. Myös käsittelyiltään aineisto oli heterogeeninen: käytettyjä menetelmiä olivat perkaus, harvennus ja ylispuiden poisto. Osa koealoista oli käsittelemättömiä.

Koeala- ja koepuumittaukset olivat samoja kuin Hiltusen (1981) tutkimuksessa.

Tilavuusyhtälö:

$V = -313{,}89 + 57{,}17 \cdot LS - 2{,}13 \cdot LS^2$ $\quad R^2 = 0{,}231$

missä LS = lämpösumma, d.d./100.

89. Varmola, M. 1987. Männyn vijelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin Yliopisto.

Työssä laadittin tulomuotoinen regressiomalli viljelymännikön kuorellisen tilavuuden ennustamiseksi. Tilavuudessa olivat mukana myös alle 1,3 metriä pitkät taimet. Aineisto kuvataan kohdassa 78.

Tilavuusyhtälö:

$$\ln(V) = 1{,}34449 + 1{,}01788 \cdot \ln(G+0{,}3) + 0{,}0808575 \cdot (H_{dom} - 1{,}3) - 0{,}212569 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}0000215926 \cdot N$$

$R^2 = 0{,}985 \quad s_e = 15{,}0\ \% \quad n = 753$

Missä N = metsikön runkoluku alle 1,3 m:ä pitkät taimet mukaan lukien, kpl/ha

Logaritmimallin vaatima tasokorjaus s_e^2 on lisätty vakioon. Tutkimuksessa on esitetty tilavuuskäyrät pohjapinta-alan funktiona valtapituusluokittain ja eri runkoluvuilla.

Testiaineiston perusteella malli yliarvioi tilavuuden, kun taimikon valtapituus on alle 5 m, ja aliarvioi tilavuuden, kun valtapituus on yli 5 m. Mallin virhe on keskimäärin –0,43 % (–2,78 m^3/ha). Tämä johtunee testiaineiston painottumisesta laadinta-aineistoa kookkaampiin metsiköihin.

2.2.6. Puutavaralajit

90. Rikkonen, P. 1970. Minimiläpimitan vaikutus kuusirungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. Commun. Inst. For. Fenn. 72(2).

Kuusileimikon tukkipuuprosentia ennustetaan regressiomallilla.

Aineistona oli 1790 kuusikoepuuta, jotka oli mitattu 18 eri leimikkokohteesta Etelä-Suomen eteläosassa. Puuston kokonaistilavuus määritettiin Ilvessalon (1947) pystypuiden kuutioimistaulukoiden avulla.

$$S_{\%} = -273{,}65 + 332{,}6 \cdot \log(D) - 18{,}56 \cdot D_{min} + 1{,}546 \cdot D \cdot D_{min} - 0{,}2286 \cdot D^2 - 2{,}548 \cdot D_{min}^2$$

missä $S_{\%}$ = tukkipuun osuus käyttöpuun kokonaistilavuudesta, %
D = leimikon keskiläpimitta, cm
D_{min} = minimiläpimitta, jota tukin latvaläpimitta kuoren alta ei saa alittaa, tuuma

Yhtälön selitysaste oli 96 %. Se soveltuu parhaiten kuusileimikoihin, joissa puuston keskiläpimitta on 23–29 cm. Minimiläpimittoina käytettiin 5, 6, 7 ja 8 tuumaa.

91. Rikkonen, P. 1972. Minimiläpimitan vaikutus mäntyrungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. Commun. Inst. For. Fenn. 75(5).

Mäntyleimikon tukkipuuprosenttia ennustetaan regressiomallilla.

Aineisto käsitti 1954 Etelä-Suomesta 18 eri leimikkokohteesta mitattua mäntyä. Puiden rinnankorkeusläpimitta vaihteli 17–47 cm, ja leimikoiden keskiläpimitta 22–33 cm.

Sahapuuprosentilla tarkoitettaan sahapuun prosenttiosuutta rungon käyttöosan kuorellisesta kokonaistilavuudesta. Kokonaistilavuus laskettiin Ilvessalon kuutioimistaulukoiden avulla ja käyttöosan tilavuus saatiin vähentämällä saadusta arvosta hukkapuuna metsään jäävä latvus (4 dm^3) ja lisäämällä 1,5 % kannon lyhenemisestä aiheutuvana korjauksena.

$$S\% = 42{,}86 \cdot \ln(D) - 0{,}143 \cdot D^2 - 16{,}61 \cdot D_{min} - 2{,}65 \cdot D_{min}^2 - 1{,}473 \cdot D \cdot D_{min}$$

Yhtälö selitti 92 % tukkipuuosuuden hajonnasta. Se soveltuu parhaiten keskimääräisen rinnankorkeusläpimitan vaihdellessa 23–29 cm. Tälle välille tukkipuun prosenttiosuudet on myös taulukoitu minimiläpimittaluokittain (4 1/2, 5 1/2, 6 1/2 ja 7 1/2 tuumaa).

92. Kilkki, P. & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmäja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laadinta. Acta Forestalia Fennica 145.

Julkaisussa esitetään puulajittaiset regressiomallit tukkipuun ja hakkuutähteen prosenttiosuuksien ennustamiseksi. Mallien muodon määrityksessä käytettiin hyväksi "matchacurve"-tekniikkaa.

Tutkimusaineisto luotiin simuloimalla, jota varten tarvittava perustieto puuston rakenteesta hankittiin VMI 5:n Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueilta mitatuilta koealoilta. Simulointimenetelmällä tuotettiin 1500 sadan puun puujoukkoa, jotka jakautuivat tasan männyn, kuusen ja koivun kesken.

Tukkipuuprosenttiyhtälöt:

$$T_{mä} = 100 - \exp(3{,}069 - 0{,}7718 \cdot x - \sqrt{0{,}4131 \cdot x^2 + 1{,}558 \cdot x + 1{,}409} - 0{,}001735 \cdot (x+2{,}816)^4)$$

$$T_{ku} = 100 - \exp(3{,}228 - 0{,}7019 \cdot x - \sqrt{0{,}3033 \cdot x^2 + 1{,}068 \cdot x + 0{,}9483})$$

$$T_{ko} = 100 - \exp(2{,}964 - 0{,}8766 \cdot x - \sqrt{0{,}1382 \cdot x^2 + 0{,}4241 \cdot x + 0{,}3259} - 0{,}1515 \cdot 10^{-4} \cdot (0{,}7526 - x)^8 + 0{,}02994 \cdot (x+2{,}816)^3)$$

Hukkapuuprosenttiyhtälöt:

$$R_{mä} = \exp(-1{,}458 - 1{,}337 \cdot x - 0{,}2239 \cdot 10^{-7} \cdot (0{,}5386 - x)^{10} - 0{,}3097 \cdot 10^{-11} \cdot (x+5{,}386)^{15}) + 0{,}2$$

$$R_{ku} = \exp(-1{,}290 - 1{,}298 \cdot x - 0{,}3521 \cdot 10^{-7} \cdot (0{,}2636 - x)^{10} - 0{,}3706 \cdot 10^{-12} \cdot (x+5{,}256)^{17}) + 0{,}3$$

$$R_{ku} = \exp(-1{,}199 - 1{,}275 \cdot x - 0{,}1522 \cdot 10^{-7} \cdot (0{,}7526 - x)^{10} - 0{,}1445 \cdot 10^{-11} \cdot (x+5{,}356)^{15}) + 0{,}15$$

missä:

T = tukkipuun osuus puuston kokonaistilavuudesta, %
R = hakkuutähteen osuus kokonaistilavuudesta, %
$x = \ln(\bar{v})$
$\bar{v}$ = keskipuun tilavuus, m^3

Yhtälöihin on tehty logaritmimuunnoksesta aiheutuva tasokorjaus.

Männikön tukkipuuprosenttia ennustavan yhtälön suhteellinen keskivirhe oli 4,1 %, kuusikon 3,7 % ja koivikon 4,1 %. Alkuperäisten ja laskettujen tukkipuuprosenttien välillä ei ollut merkittävää tasoeroa. Tutkimuksen mukaan mallit ovat ilmeisen harhaisia esimerkiksi keskiläpimitan ja keskipituuden suhteen. Näitä ei kuitenkaan voitu ottaa malliin mukaan selittävinä tekijöinä, koska ko. tutkimuksen tavoitteena oli laatia yhtälöt Kilkin & Pökälän (1975) puuntuotantomalliin, jossa niiden arvoja ei tunneta.

Hakkuutähdeyhtälöiden suhteellinen keskivirhe oli männikössä 1,8 %, kuusikossa 2,5 % ja koivikossa 2,2 %. Keskivirhe pienenee erittäin voimakkaasti puuston järeytyessä. Yhtälöissä ei havaittu harhaisuutta keskirungon tilavuuden suhteen, mutta keskiläpimitta ja keskipituus olisivat pienentäneet keskivirhettä, jos niitä olisi voitu käyttää selittäjinä.

Lisäksi tutkimuksessa laadittiin puustokuutiometrin arvoa ennustavat mallit kahdella eri menetelmällä. Ensimmisessä menetelmässä arvoa ennustettiin puulajeittain suoraan keskipuun kuutiomäärällä. Toisessa menetelmässä puustokuutiometrin arvo perustui tukki- ja kuitupuun keskimääräisiin yksikköhintoihin, joiden ennustamiseksi laadittiin yhtälöt puulajeittain.

93. Virkki, H. 1976. Malli männiköiden puutavaralajijakaumista. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyössä laadittiin mallit männikön tukki- ja hukkapuun prosenttiosuuksille.

Tutkimuksessa käytettiin kahta erillistä aineistoa: simulointiaineistoa, jossa oli yhteensä 500 sadan puun metsikköä (Kilkki & Siitonen, 1975), ja Nyyssösen vuosina 1954–1958 keräämää männikköaineistoa (187 koepuuta). Simulointiaineistossa puutavaralajiosuudet oli laskettu Laasasenahon funktioilla (1976) ja Nyyssösen aineistossa Metsäntutkimuslaitoksen

metsänarvioimisen tutkimusosastolla laadittujen kuutioimistaulukoiden perusteella. Puutavaralajien prosenttiosuusmallit laadittiin erikseen molemmilla aineistoilla.

Metsikön tukkipuun prosenttiosuusmallin perusyhtälöksi valittiin sigmoidi. Malli laadittiin ns. matchacurve-menetelmällä. Yhtälön pääselittäjäksi valittiin metsikön keskiläpimitta (d_{gM}) ja toiseksi selittäväksi tekijäksi metsikön keskipituus.

Ensimmäisessä vaiheessa laadittiin pituusluokittain yhtälöt, joissa tukkipuun prosenttiosuus esitettiin keskiläpimitan funktiona. Toisessa vaiheessa muodostettiin yhtälöt 1. vaiheen parametreille pituuden funktioina. Kolmannessa vaiheessa laaditut yhtälöt yhdistettiin. Yhtälöt ja estimoidut kertoimet on esitetty tutkielman liitteessä 11.

Koska sigmoidimenetelmä vaatii suuren aineiston, Nyysösen aineistossa käytettiin tavallista lineaarista regressioanalyysiä. Selitettävänä muuttujana oli ln(100–y), joten takaisinmuunnoksen jälkeen tukkipuun prosenttiosuusmalli oli

$$S_{\%} = 130 - \exp(9{,}845 - 1{,}746 \cdot \ln(D) + 3{,}518 \cdot (\ln(D) - 3{,}05)^3 - 3{,}34 \cdot (\ln(D) - 3{,}05)^5 - 0{,}094 \cdot \ln(H))$$

Yhtälön keskivirhe oli 0,043 ja selitysaste 0,982.

Hukkapuun prosenttiosuudelle molemmissa aineistoissa sovellettiin regressioanalyysiä. Selitettävänä muuttujana oli ln(100–(y–0,15).

Simulointiaineisto:

$$W_{\%} = 0{,}15 + \exp(4{,}605 - (-6{,}589 + 3{,}283 \cdot \ln(D) + 0{,}2255 \cdot a^{30} + 2{,}587 \cdot b^{9} + 2{,}512 \cdot b^{25} - 37{,}912 \cdot b^{60} + 0{,}333 \cdot \ln(H)))$$

Nyyssösen aineisto:

$$W_{\%} = 0{,}15 + \exp(4{,}605 - (-7{,}796 + 3{,}189 \cdot \ln(D) + 0{,}4736 \cdot a^{30} - 11{,}84 \cdot b^{9} - 81667{,}0 \cdot b^{25} + 0{,}223 \cdot 10^{12} \cdot b^{60} + 0{,}830 \cdot \ln(H)))$$

Missä a = ln(D)/3,72 ja b = (3,72–ln(D))/2,44.

Simulointiaineistossa hukkapuuosuuden estimaatin keskivirhe oli 0,1598 ja selitysaste 0,9849, Nyyssösen aineistossa keskivirhe oli 0,2404 ja selitysaste 0,9389.

Kuitupuun osuus laskettiin malleilla estimoitujen tukki- ja hukkapuuosuuksien avulla. Työssä on esitetty puutavaralajien prosenttiosuudet taulukoina keskiläpimitta- ja keskipituusluokittain. Lisäksi on esitetty puutavaralajiosuuksien kehityskäyrät iän funktiona eri kasvupaikoilla.

94. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivikon hukkapuuosuutta ennustetaan yhtälöllä, joka laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita var-

ten. Aineisto kuvataan kohdassa 74.

$$\ln(W_{\%}) = 10{,}78386 - 3{,}39433 \cdot \ln(D_{gu})$$

Missä $W_{\%}$ = hukkapuun osuus kuorellisesta tilavuudesta, %
D_{gu} = pohjapinta-alalla painotettu kuoreton keskiläpimitta, cm

Käyttöpuun määrä laskettiin vähentämällä puuston tilavuudesta yhtälöllä saatu arvo.

95. Vuokila, Y. ja Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2).

Viljelymänniköiden ja -kuusikoiden tukki- ja hukkapuun prosenttiosuusmallit laadittiin kasvatusmallien koostamista varten.

Aineisto kuvataan kohdassa 82. Tukkipuiden minimivaatimuksina olivat 17 cm:n rinnankorkeusläpimitta ja 31 dm:n tukin pituus. Puu luettiin tukkipuuksi, jos siitä olisi saatu vähintään yksi tukki. Laskelmissa ei otettu huomioon teknistä laatua.

Tukkipuuprosenttiyhtälöt ($S_{\%}$):

Kuusi: $\ln(1-S_{\%}/95) = 1{,}2543 - 0{,}0044921 \cdot \bar{v} - 0{,}10810 \cdot H + 0{,}0027574 \cdot H^2$
$R = 0{,}987 \quad s = 0{,}1467 \quad df = 93$

Mänty: $\ln(1-S_{\%}/96) = 0{,}42486 - 0{,}0051294 \cdot \bar{v} - 0{,}0037506 \cdot T$
$R = 0{,}982 \quad s = 0{,}1998 \quad df = 182$

Hukkapuuprosenttiyhtälöt ($W_{\%}$):

Kuusi: $(W_{\%}-0{,}174)/25{,}0 = 0{,}011141 \cdot (1200{,}0/(\bar{v} - 3{,}76)-1)$
$R = 0{,}991 \quad df = 101$

Mänty: $(W_{\%}-0{,}174)/21{,}838 = 0{,}014317 \cdot (590{,}559/(\bar{v} - 9{,}8)^{0{,}9}-1)$
$R = 0{,}972 \quad df = 211$

Lisäksi tutkimuksessa laadittiin yhtälöt metsikön tukkirunkojen keskimääräisen koon ($\bar{s}$) ennustamiseksi.

Kuusi: $\bar{s} = 0{,}10963 + 0{,}83763 \cdot \bar{v}^{1{,}3}$
$R = 0{,}981 \quad df = 93$

Mänty: $\ln(\bar{s}) = -2{,}4446 + 3{,}1052 \cdot \bar{v} - 1{,}2144 \cdot \bar{v}^2 + 0{,}00021563 \cdot T \cdot H_{100}$
$R^2 = 0{,}961 \quad s_e = 0{,}1295 \quad df = 189$

Yhtälöissä $\bar{v}$ = metsikön puiden keskikoko, m^3
Logaritmimalleissa muunnoksen aiheuttama harha korjataan lisäämällä vakioon tekijä $s^2/2$.

96. Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Commun. Inst. For. Fenn. 99(3).

Mänty-koivusekametsikön tukkipuuprosentin ennusteyhtälöt laadittiin puulajeittain.

Aineisto koottiin vuosina 1977–1978 mitatuista 117 koemetsiköistä (90 mänty-rauduskoivu- ja 27 mänty-hieskoivumetsikköä), jotka sijaitsivat valtaosaltaan Päijänteen itä-, Heinolan pohjois- ja Kuopion eteläpuolella. Puhtaita mänty- ja koivukoealoja (pääpuulajin osuus n. 80 % tilavuudesta) mitattiin 76 metsikössä ja sekametsäkoealoja (lievästi mäntyvaltaisia) kaikissa 117 metsikössä. Suurin osa kohteista oli 40–80 vuotiaita ja puustoltaan melko tasaikäisiä. Metsiköitä oli käsitelty harvennushakkuin.

Kultakin koealalta valittiin 10–20 vallitsevaan latvuskerrokseen kuuluvaa puuta kasvukoepuiksi. Koealan puiden tilavuudet ja jako puutavaralajeihin määritettiin Laasasenahon (1976) yhtälöillä. Tukkipuun määrään tehtiin koepuiden perusteella laskettu puulajeittainen tukkivähennys, joka oli sekametsikkökoealoilla männyllä keskimäärin 3,7 % ja koivulla 15,1 %.

Tukkipuuprosenttiyhtälöt sekametsikössä:

Mänty: $\ln(100-V_S\%) = 6{,}656 - 0{,}100 \cdot T_{1,3} + 0{,}0006587 \cdot T_{1,3}^2$

Raudus: $\ln(100-V_S\%) = 6{,}750 - 0{,}09864 \cdot T_{1,3} + 0{,}0007804 \cdot T_{1,3}^2$

Hies: $\ln(100-V_S\%) = 5{,}108 - 0{,}2323 \cdot \ln(T_{1,3})$

missä $V_S\%$ = tukkipuun osuus puuston kokonaistilavuudesta, %
$T_{1,3}$ = rinnankorkeudelta mitattu ikä, v

97. Nyyssönen, A. & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Acta Forestalia Fennica 179.

Metsikön puustokuutiometrin rakenteen selvittämiseksi laadittiin tukkipuu- ja hakkuutähdeprosentteja kuvaavat sigmoidimallit.

Aineistona käytettiin VMI 6:n perusteella simuloituja metsiköitä ja lisäksi muutamissa vaiheissa Metsäntutkimuslaitoksen kestokokeista poimittuja männikkö- ja kuusikkokoealoja.

Tukkipuuprosenttimalli laadittiin visuaaliseen tarkasteluun perustuvalla matchacurve-menetelmällä. Perusfunktiona oli sigmoidi:

$$sig_k = \frac{\exp\left(-\left|x_k^{-1}/(1-i_k)\right|^{nk} - \exp\left(-1/(1-i_k)\right)^{nk}\right)}{1-\exp\left(-1/(1-i_k)\right)^{nk}} \cdot b_k + a_k$$

Sigmoidista käytetään lyhennettyä merkintää $sig_k(x_k,a_k,b_k,n_k,i_k)$.

Seuraavassa on esitetty mallit yleisessä muodossa. Niiden laadintaa on selostettu tutkimuksen sivulla 13, ja parametrien arvot löytyvät sivulta 33.

$$S_{\%} = 110 - \exp(c_0 + c_1 \cdot S_{max} \cdot (sig_1+sig_2+sig_3)$$

Männiköissä:

$$S_{max} = sig_6(H_6,a_6,b_6,n_6,i_6) + c_2 \cdot (1-H_7)^3$$

Kuusikoissa:

$$S_{max} = sig_6(H_6,a_6,b_6,n_6,i_6) + sig_7(H_7,a_7,b_7,n_7,i_7)$$

ja molemmissa

$$n_1 = sig_4(H_4,a_4,b_4,n_4,i_4)$$

$$i_1 = sig_5(H_5,a_5,b_5,n_5,i_5)$$

Hakkuutähdeprosenttimallin yleinen muoto oli

$$W_{\%} = \exp(c_1 + c_2 \cdot \ln(D) + c_3 \cdot (\ln(D))^2 + c_4 \cdot (1{,}4/\ln(D))^2 + c_5 \cdot \ln(35-H)$$

Parametrit olivat (mallin vakioon on tehty eksponenttimuunnoksen vaatima korjaus):

	männiköt	kuusikot
c_1	28,07	25,71
c_2	–12,93	–12,82
c_3	1,415	1,496
c_4	–9,026	–8,406
c_5	0,1460	0,6143

Lisäksi laadittiin metsikön tukkiosan keskijäreysmalli, jonka yleinen muoto oli

$$S_V = 100 + c_1 \cdot (\ln(D-c_5)^n + c_2 \cdot (H-c_6) + c_3 \cdot (H-c_6)^2 + c_4 \cdot (H-c_6)^3$$

ja parametrit (vakioon on tehty eksponenttimuunnoksen vaatima korjaus):

	männiköt	kuusikot
c_1	230,9	346,7
c_2	5,419	14,51
c_3	–0,355	–1,597
c_4	0,530	0,135
c_5	2,3	2,48
c_6	8,0	10,0
n	4,0	3,0

Männikön ja kuusikon puustokuutiometrin rakenne eli tukkipuun, kuitupuun ja hakkuutähteen prosenttiosuudet sekä tukkiosan keskijäreys (dm^3) on taulukoitu keskiläpimitta- ja keskipituusluokittain.

Puustokuutiometrin rakenteen muutos kuvattiin puutavaralajien suhteellisen osuuden keskimääräisenä muutoksena alkavana 5-vuotiskautena. Tukkipuuprosentin muutosta kuvasi malli:

$C_{S\%}/P_V = sig_1 + sig_2$, missä
$sig_1 = g(D_1,a_1,b_1,n_1,i_1)$ ja
$sig_2 = g(D_1,a_2,b_2,n_2,i_2)$

$P_V = 20 \cdot (V_5 - V_0)/V_0$ eli vuotuinen tilavuuskasvuprosentti
V_0 = tilavuus nykyhetkellä
V_5 = tilavuus 5 vuoden kuluttua

Parametrit olivat:

	männiköt	kuusikot
a_1	0	0
b_1	–0,79	–0,89
n_1	$4{,}80 - 0{,}068 \cdot D$	$4{,}67 - 0{,}61 \cdot D$
i_1	0,56	0,57
a_2	0,79	0,89
b_2	–0,79	–0,89
n_2	7,33	11,91
i_2	0,79	0,70
D_1	$1-(1-D/50)2{,}01$	$1-(1-D/50)^{7{,}995}$

Hakkuutähdeprosentin muutosmalli:

$$C_{W\%} \cdot P_V = -\exp(c_1 + c_2 \cdot \ln(D) + c_3 \cdot (\ln(D))^2 \cdot (D/c_4)^7/((D/c_4)^7 + 1)$$

ja parametrit (vakioon on tehty eksponenttimuunnoksen vaatima korjaus):

	männiköt	kuusikot
c_1	–1,495	5,450
c_2	2,091	–3,156
c_3	–0,9767	0
c_4	5,5	5,0

Metsikön tukkiosan keskijäreyden muutosmalli:

$$C_{SV}/P_V = c_1 + c_2 \cdot \ln(D) + c_3 \cdot (\ln(D))^2$$

ja parametrit:

	männiköt	kuusikot
c_1	3,294	6,846
c_2	–2,688	–5,247
c_3	0,555	1,014

Näiden muutosmallien avulla voidaan laskea männiköiden ja kuusikoiden arvokasvuprosentit. Tutkimuksessa arvokasvuprosentit on taulukoitu metsikön tilavuuskasvuprosentin ja keskiläpimitan funktiona käyttäen kunkin läpimittaluokan keskimääräistä pituutta ja kolmea kuitupuun hintatasoa.

98. Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 113.

Julkaisussa on viljellyn rauduskoivikon vaneri-, kuitu- ja hukkapuun osuuden ennustavat regressiomallit, joita tarvittiin viljelykoivikoiden kasvatusmallien laadintaa varten.

Aineisto kuvataan kohdassa 83. Puu laskettiin vaneripuuksi, jos sen rinnankorkeusläpimitta (kuoren päältä) oli vähintään 17,5 cm ja siitä saatiin vähintään 3,4 metrin pituinen tukki, jonka latvaläpimitta kuoren päältä oli vähintään 16,5 cm. Laskelmissa ei otettu huomioon teknistä laatua. Kuitupuun mimimiläpimitta oli 5,5 cm kuoren päältä ja pölkyn vähimmäispituus 2,0 m.

Puutavaralajiosuuksien yhtälöt:

$$S_{\%} = 256{,}82 \cdot (V/N - 0{,}11) - 345{,}19 \cdot (V/N - 0{,}11)^3$$
$$R = 0{,}993 \quad df = 14$$

$$F_{\%} = 143{,}62 - 1{,}1961 \cdot S_{\%} - 733{,}35 \cdot 1/\sqrt{Dg \cdot Hdom} + 10220{,}0 \cdot 1/(D_g \cdot H_{dom})^2$$
$$R = 0{,}993 \quad df = 18$$

$$W_{\%} = -21{,}584 - 0{,}0058312 \cdot N + 0{,}0044875 \cdot N/F_{\%} + 538{,}74 \cdot 1/\sqrt{Dg \cdot Hdom}$$
$$R = 0{,}999 \quad df = 18$$

missä:

$S_{\%}$ = vaneripuun osuus, %
$F_{\%}$ = kuitupuun osuus, %
D_g = puuston pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm

99. Päivinen, R. 1983. Metsikön tukkiosuuden arviointimenetelmä. Folia For. 564.

Laadituilla malleilla voidaan arvioida metsikön puuston tukkiosuutta muiden metsikkötunnusten perusteella.

Mallin laadinta-aineistoksi valittiin yhteensä 407 hyviksi luokiteltua harvennus- ja uudistusmetsien männikköä (215 kpl) ja kuusikkoa (192 kpl) VMI 3:n Etelä-Suomen koealoista. Lisäksi aineisto sisälsi 298 männikköä ja 174 kuusikkoa Metsäntutkimuslaitoksen Etelä-Suomessa sijaitsevilta kestokoealoilta.

Rungon puutavaralajien tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) runkokäyrien ja pystymittaustutkimusten yhteydessä kehitetyn apteerausmallin avulla. Rungon jaossa puutavaralajeihin mäntytukin minimilatvaläpimitta oli 14,5 cm ja kuusitukin 17,0 cm (kuoren päältä) ja molempien minimipituus 43 dm. Kuitupuun minimilatvaläpimitta oli 6,0 cm (kuoreton) ja pituus 2 dm.

Tukkiosuuden yhtälöt laskettiin regressioanalyysillä pienimmän neliösumman menetelmällä. Mallien laskennassa käytettiin vain niitä koealoja, joilla oli tukkipuustoa eli tukin minimiläpimitat ylittäviä runkoja. Selitettävänä muuttujana oli muunnos tukkipuuston pohjapinta-alaosuuden ja tukkiosuuden suhteesta.

Tukkiosuusmallit:
Inventointikoealat:
Männikkö:

$$y1 = -74{,}330 + 2{,}4518 \cdot \ln(D-5) + 15{,}126 \cdot \ln(100-D)$$

$$R^2 = 0{,}22 \quad s_e = 0{,}49 \quad s_e' = 0{,}078$$

Kuusikko:

$$y1 = -63{,}124 + 2{,}0083 \cdot \ln(D-5) + 12{,}878 \cdot \ln(100-D)$$

$$R^2 = 0{,}15 \quad s_e = 0{,}42 \quad s_e' = 0{,}086$$

Metsikkökoealat:
Männikkö:

$$y2 = -115{,}56 + 3{,}0651 \cdot \ln(D-5) + 24{,}195 \cdot \ln(100-D)$$

$$R^2 = 0{,}85 \quad s_e = 0{,}32 \quad s_e' = 0{,}070$$

Kuusikko:

$$y2 = -142{,}74 + 4{,}8355 \cdot \ln(D-5) + 29{,}397 \cdot \ln(100-D)$$

$$R^2 = 0{,}59 \quad s_e = 0{,}34 \quad s_e' = 0{,}089$$

missä:

$$y1 = \ln\left(\frac{G_{li} / G_i}{V_{li} / V_i} - 1\right) \text{ ja } y2 = \ln\left(\frac{G_{li} / G_i}{V_{li} / V_i} - 1{,}07\right)$$

D = keskiläpimitta (pohjapinta-alan mediaani), cm
G_l = tukkipuiden pohjapinta-ala, m^2/ha
i = koealan numero

V = koealan puuston kokonaistilavuus, m^3/ha

V_l = koealan tukkipuun tilavuus, m^3/ha

s_e' = suhteen $(G_l/G)/(V_l/V)$ jäännöshajonta

y' = suhteen $(G_l/G)/(V_l/V)$ mallilla laskettu arvo

Logaritmimuunnoksesta aiheutuva harha on korjattu lisäämällä vakioihin $s_e^2/2$. Selitettävän muuttujan käänteismuunnoksen aiheuttama harha on korjattava Taylorin sarjasta lasketulla korjaustekijällä $(s_e'^2/y'^3) \cdot (G_l/G)$, joka lisätään selitettävään muuttujaan. Inventointiaineistossa laadituilla malleilla lasketut tukkiosuudet on esitetty myös taulukkoina tukkipuiden pohjapinta-alaosuuden ja keskiläpimitan funktioina.

Inventointiaineistosta laadittujen mallien jäännöshajonnat olivat 2,8 % männikössä ja 2,6 % kuusikossa ja metsikkökoealoista laadittujen mallien hajonnat olivat 1,5 % ja 1,6 %. Laaditut, tukkipuuston pohjapinta-alan mittaamista edellyttävät mallit ovat pelkkiin keskitunnuksiin perustuvia malleja (Nyyssönen & Ojansuu 1982) luotettavampia, kun keskiläpimitta on alle 20 cm. Keskiläpimitan ollessa tätä suurempi, luotettavuudessa ei ole eroja.

Inventointiaineistosta lasketuilla malleilla saadaan samoilla selittävien muuttujien arvoilla keskimäärin 5–6 % suurempia tuloksia kuin metsikkökoealamalleilla, mikä johtuu aineistojen erilaisista pituus- ja läpimittajakaumista. Esitetyt mallit ovatkin näiden jakaumien suhteen sidoksissa laadinta-aineistoonsa.

2.2.7. Kuori

100. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivikon kuoriprosenttiyhtälö laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 74.

$$\ln(B_u) = 4{,}3814 - 0{,}8234 \cdot \ln(D_{gu}) + 0{,}0898 \cdot (\ln(D_{gu}))^2$$

Missä B_u = kuoren osuus kuorettomasta tilavuudesta, %

D_{gu}= pohjapinta-alalla painotettu kuoreton keskiläpimitta, cm

101. Vuokila, Y. ja Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2).

Kasvatusmalleja laadittaessa oli tarpeen muuntaa kuorellisia pohjapinta-alan ja tilavuuden arvoja kuorettomiksi tai päinvastoin kuorettomia arvoja kuorellisiksi. Muuntotehtäviä varten laadittiin kuoren määrän estimoivia malleja. Tutkimusaineisto kuvataan kohdassa 82.

Pohjapinta-alaan sisältyvän kuoren määrän (B_{Gu}, B_{Gb}) arviomiseksi laaditut yhtälöt:

Kuusi: $\log(B_{Gu}) = 0{,}080806 + 0{,}62909 \cdot \log(G_u) - 0{,}30883 \cdot \log(H)$

$R = 0{,}538 \quad df = 125 \quad s = 0{,}08321$

$\log(B_{Gb}) = -0{,}15681 + 0{,}78270 \cdot \log(G_b) - 0{,}33235 \cdot \log(H)$

$R = 0{,}647 \quad df = 125 \quad s = 0{,}07523$

Mänty: $B_{Gu} = 0{,}67175 + 0{,}086641 \cdot H - 0{,}013987 \cdot T + 0{,}15393 \cdot G_u$

$R = 0{,}755 \quad df = 197$

Tilavuutta koskevia muuntotehtäviä varten laaditut kuoriyhtälöt:

Kuusi: $\ln(B_{Vb}) = -0{,}47833 + 0{,}72151 \cdot \ln(V_b)$

$R = 0{,}865 \quad df = 126 \quad s = 0{,}1673$

Mänty: $\ln(B_{\%}) = 3{,}9251 - 0{,}19666 \cdot \ln(H) - 0{,}17774 \cdot \ln(T)$

$R = 0{,}454 \quad df = 198 \quad s = 0{,}1655$

missä B_{Gu} = kuorettomaan pohjapinta-alaan (G_u) perustuva arvio kuoren määrästä, m^2/ha
B_{Gb} = kuorelliseen pohjapinta-alaan (G_b) perustuva arvio kuoren määrästä, m^2/ha
B_{Vb} = kuorelliseen tilavuuteen perustuva arvio kuoren määrästä, m^3/ha
$B_{\%}$ = kuoren osuus kuorellisesta tilavuudesta
Logaritmisissa malleissa vakioon on lisättävä korjaustekijä $s^2/2$.

102. Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 113.

Julkaisussa esitellään viljellyn rauduskoivikon kuoren tilavuusosuuden ennustava regressiomalli, jota tarvittiin viljelykoivikoiden kasvatusmallien laadintaa varten. Laadinta-aineisto kuvataan kohdassa 83.

Kuoriprosenttiyhtälö:

$$B_{\%} = 18{,}628 \cdot 1/D_g^{0{,}15} + 35{,}363 \cdot 1/D_g \cdot H_{dom}$$

Missä $B_{\%}$ = kuoren osuus puuston kuorellisesta tilavuudesta, %
D_g = puuston pohjapinta-alalla painotettu kuorellinen keskiläpimitta, cm

103. Varmola, M. 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin Yliopisto.

Tutkimuksessa laadittiin tulomuotoiset regressiomallit viljelymännikön kuorettoman pohjapinta-alan muuntamiseksi kuorelliseksi ja päinvastoin. Regressioyhtälöiden selitettävä tekijä oli kuoriprosentti. Aineisto kuvataan kohdassa 78.

Kuoriprosenttiyhtälöt:

$$\ln(100 \cdot (G-G_u)/G_u) = -3{,}154938 - 0{,}0672189 \cdot \ln(G_u) + 2{,}47217 \cdot \ln(H_{100}) - 0{,}0711495 \cdot H_{100} + 0{,}0451761 \cdot \ln(N)$$

$$R^2 = 0{,}490 \quad s_e = 19{,}4\ \% \quad n = 813$$

$$\ln(100 \cdot (G-G_u)/G) = -2{,}02088 - 0{,}0504664 \cdot \ln(G) + 1{,}91935 \cdot \ln(H_{100}) - 0{,}0534393 \cdot H_{100} - 0{,}0386639 \cdot \ln(N)$$

$$R^2 = 0{,}481 \quad s_e = 15{,}5\ \% \quad n = 813$$

Logaritmimallin takaisinmuunnoksesta aiheutuva harha on korjattu lisäämällä vakioihin tekijä s_e^2.

missä: N = metsikön runkoluku alle 1,3 m pitkät taimet mukaan lukien, kpl/ha
G_u = puuston kuoreton pohjapinta-ala, m^2/ha

2.2.8. Siemensato

104. Leikola, M., Raulo, J. ja Pukkala, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen. Folia For. 537.

Julkaisussa esitellään männyn ja kuusen siemensatoa ennustavia regressiomalleja.

Siemensatoaineisto koostui kahdesta ryhmästä: Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon osaston siemensatomittauksista vuosilta 1924–1946 ja 1954–1973 ja Metsähallituksen hoitoalueiden silmävaraisista kukkimis-, käpysato- ja siemensatoarvioinneista vuosilta 1924–1967. Ilmastotiedot on saatu Ilmatieteen laitoksen sää-, lentosää- ja ilmastoasemilta sekä Suomen meteorologisista vuosikirjoista v. 1924–1979.

Tutkimuskohteiksi valittiin neljä männikkö- ja kolme kuusikkokoealaa Metsäntutkimuslaitoksen viideltä eri kokeilualueelta. Mallit laadittiin tosin vain yksittäisten metsikköjen perusteella.

Siemensadon ennustemallit:
Männikkö:
Tuusula:

$$Y = 405{,}6 + 10^{-4} \cdot 2{,}20 \cdot X_1^2 - 15{,}59 \cdot X_2 + 23{,}62 \cdot X_3 + 21{,}02 \cdot X_4 - 5{,}30 \cdot X_5$$

$$R^2 = 90{,}1\ \%$$

missä: Y = siemensadon osuus kapasiteetista (Koski ja Tallqvist 1978), %

X_1 = kukkimista edeltävän kesän lämpösumma, d.d.

X_2 = kukkimista edeltävän kesän lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa (touko–syyskuu), °C

X_3 = hedetähteiden määrä, g/m^2

X_4 = kukkimista edeltävän kesän heinäkuun keskilämpötila,

X_5 = kukkimista edeltävän kesän kesäkuun keskilämpötila

Siilinjärvi:

$$Y = -127{,}3 + 22{,}72 \cdot X_1 - 10{,}89 \cdot X_2 + 3{,}19 \cdot X_3 - 2{,}44 \cdot X_4 + 1{,}21 \cdot X_5$$

$R^2 = 89{,}9\ \%$

missä X_1 = kukkimista edeltävän kesän heinäkuun keskilämpötila, °C

X_2 = " " " toukokuun km. pilvisyys

X_3 = " " " kesäkuun km. pilvisyys

X_4 = " " " lämpötilan kuukausikeskiarvojen summa (touko–syyskuu), °C

X_5 = " " " sademäärä (touko–syyskuu),cm

Kuusikko:

Tuusula I:

$$\ln(Y) = -8{,}31 + 0{,}005 \cdot X_1 + 0{,}770 \cdot X_2 - 0{,}377 \cdot X_3 - 0{,}503 \cdot X_4 - 0{,}172 \cdot X_5$$

$R^2 = 87{,}1\ \%$

missä: Y = siemensato, siemeniä/m^2

X_1 = kukkimista edeltävän kesän tehoisa lämpösumma, d.d.

X_2 = " " " kesäkuun keskilämpötila, °C

X_3 = " " " elokuun km. pilvisyys

X_4 = " " " heinäkuun km. pilvisyys

X_5 = " " " kesäkuun sademäärä, cm

Tuusula II:

$$Y = -2695{,}8 + 0{,}263 \cdot X_1 + 250{,}0 \cdot X_2 + 172{,}6 \cdot X_3 - 111{,}5 \cdot X_4 + 111{,}1 \cdot X_5$$

$R^2 = 96{,}8\ \%$

missä: X_1 = kukkimista edeltävän kesän tehoisa lämpösumma, d.d.

X_2 = hedetähteiden määrä, g/m^2

X_3 = kukkimista edeltävän kesän heinäkuun keskilämpötila, °C

X_4 = " " " toukokuun keskilämpötila, °C

X_5 = " " " kesäkuun km. pilvisyys

Siilinjärvi:

$$Y = 141{,}42 + 94{,}22 \cdot X_1 - 95{,}48 \cdot X_2 - 120{,}16 \cdot X_3$$

$$R^2 = 44{,}2\ \%$$

missä: X_1 = kukkimista edeltävän kesän kesäkuun keskilämpötila, °C
X_2 = " " " " km. pilvisyys
X_3 = " " " " sademäärä, cm

Muiden tutkimusmetsiköiden siemensadot eivät olleet yhtä hyvin selitettävissä kuin edellä esitettyjen metsiköiden siemensadot. Yleisesti ottaen laaditut mallit estimoivat hyvät siemensadot liian pieniksi ja huonot liian suuriksi. Tähän lienee syynä siementuotannon riippuvuus useista eri tekijöistä, joita kaikkia ei voitu sisällyttää malliin. Lisäksi siemensadon suoraviivainen riippuvuus selittäjistä voi olla väärä oletus. Mallien selityskykyä heikensi myös se, että useissa tapauksissa ilmastohavainnot oli tehty kaukana tutkimusmetsiköistä.

Mallien maantieteellistä sovellusaluetta voidaan laajentaa käyttämällä lämpösumman ja lämpötilan suhteellisia arvoja. Puiden ilmastollinen sopeutuneisuus tosin heikkenee pohjoiseen päin mentäessä; Lapissa esim. kukkasilmujen talveentuminen ja siementen tuleentuminen vaativat selvästi suuremman osuuden keskimääräisestä vuotuisesta lämpösummasta kuin Etelä-Suomessa. Mallien luotettavuutta voitaisiin parantaa ottamalla selittäjäksi esim. siemenpuuhakkuusta tai siemenkeräysmetsikön saneerauksesta kulunut aika.

105. Pukkala, T. 1987b. Kuusen ja männyn siemensadon ennustemalli. Silva Fenn. 21(2).

Laadituilla yhtälöillä ennustetaan kesäkuukausien keskilämpötilojen perusteella männyn ja kuusen siemensatoindeksit erikseen Lappia ja muuta Suomea varten.

Aineistona olivat Metsäntutkimuslaitoksen siemensatomittausten tulokset vuosilta 1956–1974 (Koski & Tallqvist 1978) ja Ilmatieteen laitoksen säähavainnot vuosilta 1950–1978. Siemensatoja oli mitattu 38 männikössä ja 21 kuusikossa eri puolilla Suomea.

Tutkimusmetsiköt olivat puustoltaan varttuneita ja täystiheitä. Yhdessä metsikössä siemensatoa mitattiin n. 10 vuoden ajan, jolloin karikesuppiloihin varisseet siemenet kerättiin kuukauden väliajoin. Jotta voitaisiin vertailla siementuotantoa eri metsiköiden välillä, siemensadot muutettiin suhteellisiksi arvoiksi eli siemensatoindekseiksi (osuus metsikön keskimääräisestä vuotuisesta siemensadosta, %).

Säätunnuksena käytettiin metsikköä lähinnä sijaitsevan sääaseman touko–elokuussa mitattujen lämpötilojen (klo 14.00) kuukausikeskiarvoja. Myös säätunnukset muutettiin indekseiksi (% keskiarvosta).

Siemensatoindeksin ennustemallit:

Kuusi:

Lappi: $SI = -94{,}124 + 1{,}6667^{-8} \cdot L12^5$

$N = 52 \quad R^2 = 40{,}8\ \% \quad s_e = 153{,}3$

Muu Suomi: $SI = 175{,}35 + 0{,}06144 \cdot L1^2 - 5{,}9860 \cdot L2$

$N = 179 \quad R^2 = 37{,}5\ \% \quad s_e = 112{,}8$

missä $L12 = 100 \cdot (E1+H1)/(E2+H2)$

$L1 = (H1+K1)/2$

$L2 = (2 \cdot H2+K2)/3$

E1, H1 ja K1 = elo-, heinä- ja kesäkuun lämpötilaindeksit kukkimista edeltävänä vuonna

E2, H2 ja K2 = elo-, heinä- ja kesäkuun lämpötilaindeksit kaksi vuotta ennen kukintaa

Mänty:

Lappi: $SI = -216{,}5 + 0{,}03133 \cdot L12^2$

$N = 156 \quad R^2 = 37{,}1\ \% \quad s_e = 79{,}9$

Muu Suomi: $SI = -329{,}7 + 1{,}766 \cdot T1K1 + 4{,}829 \cdot H1E1 - 2{,}282 \cdot H2E2$

$N = 331 \quad R^2 = 48{,}9\ \% \quad s_e = 62{,}1$

missä $L12 = (3 \cdot E1+4 \cdot H1+3 \cdot K1+T1+E2)/12$

$T1K1 = 100 \cdot (T1/K1)$

$H1E1 = (2 \cdot E1+H1)/3$

$H2E2 = (E2+3 \cdot H2)/4$

T1 ja T2 = toukokuun lämpötilaindeksi vuosi ja kaksi vuotta ennen kukintaa

E1, H1 jne. = kuten edellä

Mallilla voidaan ennustaa siemensato kukkimista edeltävän kesän lopulla eli kuusella lähes 1,5 ja männyllä 2,5 vuotta ennen sen vuoden alkua, jolloin siemen varisee. Mallien jäännöshajonnan suuruuteen vaikuttavat siemensadon mittausvirheet (keskiarvon keskivirhe kuusella on yleensä 20–40 % ja männyllä 15–25 %, kun siemensato on keskinkertainen) ja siemensatoindeksin laskennasta johtuva vaihtelu metsiköiden välillä. Satoindeksejä muodostettaessa metsiköiden keskisatoina käytettiin 10-vuotisjakson keskiarvoa, joka ei ilmaise kovin tarkasti ko. metsikön keskimääräistä siemenentuottokykyä. Eri metsiköiden mittausjaksoihin sattui eri määrä hyviä siemenvuosia, minkä vuoksi keskisadoissa oli tasoeroja.

Tutkimuksessa esitetyt mallit ennustavat hyvät ja huonot siemenvuodet yleensä oikein, vaikka ennustetun ja mitatun siemensadon absoluuttinen ero olisikin suuri. Mallit soveltuvat hyvin suuralueen keskimääräisen siemensadon ennustamiseen.

3. DYNAAMISET MALLIT

3.1. Syntymismallit

106. Pukkala, T. 1987a. Simulation model for natural regeneration of *Pinus sylvestris, Picea abies, Betula pendula* and *Betula pubescens*. Silva Fenn. 23(1).

Tutkimuksessa laadittu männyn, kuusen ja koivun syntymismalli koostuu seuraavista osamalleista: siemensato, siementen laatu ja kypsyminen, predaatio (l. tuhoutuminen) ja siementen itäminen. Itäneiden taimien määrä saadaan kertomalla siemensato siemenen todennäköisyyksillä läpäistä prosessin eri vaiheet.

Osamallit ja niiden parametrit perustuvat Suomessa julkaistuihin tutkimuksiin; osa otettiin suoraan tutkimuksista, ja osa johdettiin alan aiempien julkaisujen perusteella.

Jotta syntymismallia voidaan käyttää, on tunnettava seuraavat metsikköä kuvaavat muuttujat: puulaji, valtapituus, pohjapinta-ala ennen uudistushakkuuta ja sen jälkeen, metsätyyppi, lämpösumma, maankäsittelytapa ja uudistushakkuun, maankäsittelyn sekä siemenpuiden poiston ajankohdat.

Ensimmäisenä vaiheena generoidaan siemensadon määrä (Koski & Tallqvist 1978):

$$f(S) = a \cdot \exp(-a \cdot S)$$

mänty: $a = 4{,}534 - 0{,}00163 \cdot HSE$ $\quad R^2 = 79{,}0\ \%$
kuusi: $\ln(a) = 11{,}84 - 2{,}510 \cdot \ln(HSE)$ $\quad R^2 = 98{,}0\ \%$
koivut: $a = 13{,}92 - 0{,}00850 \cdot HSE$ $\quad R^2 = 45{,}0\ \%$

$$S = 1/a \cdot \ln(RAN)$$

missä f(S) = siemensadon frekvenssijakauma
a = parametri, yhtälöt laadittiin Kosken & Tallqvistin (1978) aineiston perusteella
HSE = paikallinen lämpösumma, d.d.
RAN = satunnaisluku väliltä (0,1)
S = siemensadon määrä, kuusi: siemeniä/m^2, muut: % kapasiteetista (=suurimmasta mahdollisesta siemensadosta Kosken ja Tallqvistin mukaan)

Männyllä ja koivulla siemensato muutetaan siemeniä/m^2-yksiköksi yhtälöillä (kuusella SC = S)

mänty: $SC = S \cdot \exp(4{,}0855 + 0{,}0687 \cdot DH)$
koivu: $SC = S \cdot \exp(8{,}7506 + 0{,}1632 \cdot DH)$

missä DH = valtapituus, m
SC = yhden (simulointi)vuoden siemensato, siemeniä/m^2

Näin saatua siemensatoa korjataan metsikön pohjapinta-alan mukaan. Korjaustekijä riippuu viidestä asetelmassa esitetystä parametristä seuraavasti: Jos pohjapinta-ala (=BA) on 0 m^2/ha, korjauskerroin on C1. Jos pohjapinta-ala on parametrien B1:n ja B:n välillä, korjausta ei tehdä. Jos pohjapinta-ala on suurempi kuin B3, käytetään kerrointa C2. Pohjapinta-alan ollessa 0:n ja B1:n tai B2:n ja B3:n välillä, korjauskertoimen suuruus riippuu siitä lineaarisesti.

puulaji	C1	B1	B2	B3	C2
kuusi	0,05	5,0	30,0	50,0	0,1
mänty	0,10	10,0	35,0	50,0	0,1
koivu	0.20	4,0	25,0	50,0	0,1

Toisessa vaiheessa lasketaan taimettumiselle sopivan maa-alan osuus. Oletuksena on, että siementen itäminen onnistuu vain sellaisissa kohdissa, joissa kivennäismaa on paljastettu humuskerroksen alta.

$$SA(t) = SA(1) \cdot t^{PAR1}$$

missä SA(1) = taimettumiskelpoisen maan osuus koko pinta-alasta 1. vuotena maankäsittelyn jälkeen, %
t = maankäsittelystä kulunut aika, v
PAR1 = metsätyypittäinen parametri

Muuttujan SA(1) arvot:

ei käsittelyä	0,10 %
uudistushakkuu	0,50 %
äestys	3,75 %
auraus	13,30 %

Jos metsikössä on tehty sekä uudistushakkuu että maankäsittely, lasketaan SA(t):n arvo molemmilla menetelmillä erikseen ja valitaan taimettumispinta-alan osuudeksi niistä suurempi.

Parametrin PAR1 arvot, kun BA = 0 m^2/ha:

OMaT	–1,7
OMT	–1,5
MT	–1,1
VT	–0,6
CT	–0,5
ClT	–0,4

Jos metsikön pohjapinta-ala on 0–50 m^2/ha, PAR1:n arvo on siitä lineaarisesti riippuvainen. Jos pohjapinta-ala on suurempi kuin 50 m^2/ha, PAR1 on 0.

Seuraavassa vaiheessa lasketaan täysien l. pölyttyneiden siementen osuus (Sarvas 1962, 1968):

$$FS = (100 - ES)/100$$

mänty: $ES = \exp(3.275 - 0{,}1453 \cdot \ln(PC))$
kuusi: $ES = 10^{(2{,}660 - 0{,}506 \cdot \log(PC))}$

mänty: $PC = 51.2 + 53{,}1 \cdot FR$
kuusi: $PC = -19{,}93 + 39{,}48 \cdot FR$

mänty: $FR = 2{,}459 + 0{,}01563 \cdot SC$ $\quad R^2 = 29{,}0\ \%$
kuusi: $FR = 1.256 + 0{,}00369 \cdot SC$ $\quad R^2 = 61{,}0\ \%$

missä FS = täysien siementen osuus, %
ES = tyhjien siementen osuus, %
PC = 'pollen catch' l. siitepölyn määrä, hiukkasia/mm^2
FR = hedetähteiden määrä, g/m^2

Hedetähteiden yhtälöt laadittiin Kosken & Tallqvistin (1978) aineiston perusteella. Koivulle vastaavia yhtälöitä ei voitu aineiston puutteen takia laatia. Koivulla täysien siementen osuutena käytetään keskiarvoa 0,4 (Sarvas 1952) lisättynä normaalijakautunella satunnaisluvulla, jonka keskiarvo on 0 ja hajonta 0.2. Jos summa on suurempi kuin 1,1 niin FS saa arvon 1, ja jos summa on pienempi kuin 0, käytetään FS:n arvoa FS 0.

Kypsyvien siementen osuus (=MA) riippuu pääasiassa paikallisesta lämpösummasta. Simulointimallissa oletuksena on, että simulointivuoden lämpösumman ollessa 85 % keskimääräisestä paikallisesta lämpösummasta (=HSE) siemenistä kypsyy 50 % (=HSL). Simulointivuoden lämpösumma saadaan lisäämällä alueen keskimääräiseen lämpösummaan normaalijakautunut satunnaismuuttuja, jonka keskiarvo on 0 ja hajonta yhtä suuri kuin lämpösumman keskihajonta Suomessa eli 115 d.d. (Koski 1981).

Jos simulointivuoden lämpösumma on pienempi kuin HSL–50 d.d., yhtään siementä ei kypsy (MA= 0), ja jos lämpösumma on suurempi kuin HSL+50 d.d., kaikki siemenet kypsyvät (MA=1,0). Näiden arvojen välillä kypsyvien siementen osuus on suoraan riippuvainen lämpösummasta.

Jos 50 % kypsymiseen tarvittava lämpösumma HSL on pienempi kuin seuraavat puulajittaiset minimiarvot, käytetään HSL:n sijasta ko. minimiarvoa.

Mänty	900 d.d.
Kuusi	950 d.d.
Rauduskoivu	950 d.d.
Hieskoivu	850 d.d.

Tuhoutuvien siementen osuus estimoidaan satunnaismuuttujan avulla. Hyönteiset, linnut ja nisäkkäät syövät yleensä 20–95 % maahan pudonneista siemenistä. Syömättä jääneiden siementen osuus (=PR) on simulointimallissa satunnaismuuttuja, joka on tasaisesti jakautunut 0,05–0,8.

Itävien siementen osuus (=GE) saadaan yhtälöstä

$$GE = MAX \cdot RAN^{PAR2}$$

$$PAR2 = -0{,}125 + 0{,}00125 \cdot HSE$$

missä MAX = itävien siementen maksimiosuus; mänty 0,80, kuusi 0,80 ja koivut 0,05
RAN = satunnaisluku 0–1

Syntyvien taimien lukumäärä saadaan kertomalla vuotuinen siemensato kussakin vaiheessa selviytyvien siementen osuuksilla:

$$SN = SCC \cdot SA \cdot FS \cdot MA \cdot PR \cdot GE$$

missä SN = taimien lukumäärä
SCC = yhden simulointivuoden korjattu siemensato, siem./m^2
SA = taimettumiskelpoisen maapinnan osuus
FS = täysien siementen osuus
MA = kypsien siementen osuus
PR = syömättömien siementen osuus
GE = itävien siementen osuus

Metsikön luontaista uudistumista simuloitaessa tarvitaan syntymismallin lisäksi kuolemismalli (kuvattu kohdassa 304) ja pituuskasvumalli. Koko simulointimallin satunnaisuuden vuoksi uudistumisjakso simuloidaan useita kertoja, jolloin tuloksena saadaan keskimääräisen (sekä viimeisen) simulointivuoden taimimäärät.

Simulointimallin luotettavuutta ei ollut mahdollista testata, koska tarpeeksi laajaa empiiristä aineistoa ei löytynyt. Tosin osamallien parametrien kalibrointiin riitäisi suppeampikin aineisto. Aikaisemmista tutkimuksista poimittujen mallien (siemensadon koko ja siementen laatu) parametrit perustuvat todellisiin mittauksiin ja ovat männyllä ja kuusella luotettavampia kuin koivuilla. Sen sijaan taimettumiskelpoisen maan, siementen kypsymisen, tuhoutumisen ja itämisen parametrit ovat vain ehdotettuja perusarvoja, joita muuttelemalla voidaan esim. tutkia jonkin muutoksen vaikutusta uudistumiseen tai löytää uudistumisen kriittiset tekijät.

107. Leinonen, K., Leikola, M., Peltonen, A. & Räsänen, P. K. 1989. Kuusen luontainen uudistaminen Pirkka-Hämeen metsälautakunnassa. Acta Forestalia Fennica 209.

Tutkimuksessa tarkastellaan kuusen luontaisen uudistamisen onnistumista logististen regressioyhtälöiden avulla. Selitettävänä tekijänä oli taimettumattomien koealojen sadannes ja selittävinä muuttujina kasvualustaa ja puustoa kuvaavia tunnuksia.

Aineisto kerättiin vuosina 1985–1987 Pirkka-Hämeen metsälautakunnan alueella suojuspuumenetelmällä uudistettavista kuusikoista. Mukaan hyväksyttiin kuusivaltaiset viljavuudeltaan vähintään mustikkatyypin kankaat, yhteensä 40 uudistusalaa. Aineisto sisältää mitta-

ukset kolmesta peräkkäisestä inventoinnista: ennen suojuspuuhakkuuta, kesällä hakkuun jälkeen ja toisena kesänä hakkuun jälkeen.

Inventoinneissa selvitettiin suojuspuualoilla olevien taimien määrä ja taimikon aukkoisuus, suojuspuuston määrä ja laatu, hakkuutähteiden määrä, itämisalustan laatu sekä kenttäkerroksen kasvillisuus. Inventointimenetelmänä oli linjoittainen ympyräkoeala-arvionti, jossa linja- ja koealaväli riippui uudistusalan pinta-alasta. Yli 10 cm:n pituiset vakiintuneet taimet luettiin 10 m^2:n koealoilta ja alle 10 cm pituinen vaihtuva taimiaines 1 m^2:n ruuduilta. Kokonaistaimimäärän lisäksi määritettiin kasvatuskelpoisten taimien määrä.

Taimettumisen arvioinnissa käytettiin tyhjien koealojen sadannesta taimikon aukkoisuuden kuvaajana; koeala oli joko taimettunut tai tyhjä. Tyhjien koealojen esiintymistodennäköisyyttä kuvattiin logistisella mallilla:

$$\Pi_i = \frac{\exp(x_i^T\beta)}{1 + \exp(x_i^T\beta)}$$

Todennäköisyydet ($_i$) oletetaan parametrivektorien lineaarikombinaatioksi $g(_i) = x_i^T$, missä x on selittävien muuttujien joukko. Jatkossa käytetään merkintää $y = x_i^T$.

Taimettomien koealojen esiintymistodennäköisyyden riippuvuus kasvupaikkamuuttujista ennen suojuspuuhakkuuta:

Tyhjien koealojen sadannes, yli 10 cm:n pituiset taimet:

$$y = -0{,}7596 - 0{,}1184 \cdot OS - 0{,}1439 \cdot PS + 0.2623 \cdot K + 0{,}1847 \cdot MT - 0{,}1847 \cdot OMT$$

Tyhjien ruutujen sadannes, alle 10 cm:n pituiset taimet:

$$y = 1{,}1893 - 0{,}5215 \cdot OS + 0{,}3361 \cdot PS - 0{,}1854 \cdot K + 0{,}0493 \cdot HK - 0{,}0679 \cdot OS \cdot HK + 0{,}0199 \cdot PS \cdot HK - 0{,}0480 \cdot K \cdot HK$$

$$y = 0{,}3277 + 0{,}0147 \cdot H$$

Taimettomien koealojen esiintymistodennäköisyyden riippuvuus metsikkömuuttujista ennen suojuspuuhakkuuta:

Tyhjien koealojen sadannes, kuusen taimet:

$$y = -1{,}1568 + 0{,}1804 \cdot mt + 0{,}0238 \cdot G_{ku}$$

Tyhjien koealojen sadannes, kasvatuskelpoiset taimet:

$$y = -0{,}3569 + 0{,}1559 \cdot G_{ko}$$

Tyhjien ruutujen sadannes, vaihtuva taimiaines:

$$y = 0{,}8162 + 0{,}0043 \cdot RL_{mä+ko}$$

$$y = 0{,}3833 + 0{,}0127 \cdot H$$

Kuusentaimien määrä suojuspuuhakkuun jälkeen:

$$RL_{k2} = 666{,}0 + 0{,}48 \cdot RL_{k1} \qquad R^2 = 0{,}436$$

$$(RL_{k1} = 1902{,}0 - 7{,}89 \cdot ME \qquad R^2 = 0{,}318)$$

$$MU = 915{,}0 - 16{,}6 \cdot ME - 57{,}8 \cdot HP \qquad R^2 = 0{,}527$$

$$MU = 1856 - 22{,}0 \cdot ME \qquad R^2 = 0{,}409$$

Taimettomien koealojen esiintymistodennäköisyys toisena kesänä suojuspuuhakkuun jälkeen:

Tyhjien ruutujen sadannes, alle 10 cm:n pituiset taimet:

$$y = 0{,}6989 - 0{,}0318 \cdot K - 0{,}5897 \cdot OS + 0{,}6215 \cdot PS + 0{,}0088 \cdot P + 0{,}0634 \cdot HK$$

$$y = 1{,}0576 - 1{,}0146 \cdot PL - 0{,}0136 \cdot d_{1,3} + 0{,}0939 \cdot et + 0{,}0496 \cdot PL \cdot et$$

$$y = 2{,}4727 - 0.2247 \cdot G_{ku}$$

missä:

OS = ohut sammal; pohjakerroksen laatu-luokkamuuttuja
PS = paksu sammal; "
K = karike; "
MT ja OMT = metsätyyppi-luokkamuuttujat
HK = humuskerroksen paksuus, cm
H = taimien keskipituus, cm
mt = metsätyyppi
G_{ku} ja G_{ko} = puuston pohjapinta-ala (kuusen/koivun), m^2/ha
$vRL_{mä+ko}$ = männyn ja koivun runkoluku, kpl/ha
RL_{k1} ja RL_{k2} = kasvatuskelpoisten taimien määrä ennen hakkuuta ja sen jälkeen, kpl/ha
MU = kuusentaimien määrän muutos, kpl/ha
ME = taimien mediaanipituus ennen hakkuuta, cm
HP = hakkuutähteiden peittävyys, %

P = kenttäkerroksen kasvillisuuden peittävyys, %
PL = lähimmän suojuspuun puulaji; jos kuusi, PL=1, muuten 0
et = etäisyys lähimpään suojuspuuhun,
$d_{1,3}$ = lähimmän suojuspuun rinnankorkeusläpimitta, cm

Kaikissa edellä kuvatuissa malleissa nollahypoteesina oli, että tarkastelluilla muuttujilla ei ole vaikutusta tyhjien koealojen osuuteen. Yhtälöihin jääneillä selittäjillä siis oli vaikutusta. Useita muitakin muuttujia kokeiltiin, mutta ne hylättiin malleista merkityksettöminä (esim. hakkuutähteiden ja ajourien peittävyys). Joidenkin yhtälöiden kohdalla mallin ja havainto-aineiston yhteensopivuus jäi kuitenkin huonoksi, eli nollahypoteesin hylkäämiseen sisältyi huomattava riski.

108. Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000–versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Puuntuotoksen tutkimussuunta.

Julkaisussa esitellään puiden luontaista syntymistä kuvaava malli, johon sisältyy seuraavalla viisivuotiskaudella syntyvien puiden lukumäärän ennustaminen, puulajijakauman ennustaminen ja uusien puiden syntymävuosien ennustaminen. Syntymismalli laadittiin MELA – ohjelmistoon sisältyvää metsikön kehityksen simulointia varten.

Maksimirunkoluvut (RLmax) saatiin VMI7:n puustokoealojen osittaisista keskiarvoista nuorissa täystiheissä metsissä. Ositteet rajattiin alaryhmän, metsä- tai suotyypin, uudistamismenetelmän ja pääpuulajin perusteella. Osittelle laskettiin puulajien osuudet runkoluvusta. Nuoriin metsiin kuuluivat metsiköt, joiden valtapituus oli yli 1,3 m, keskiläpimitta alle 8 cm, ikä Etelä-Suomessa alle 50 v ja Pohjois-Suomessa alle 120 v.

Mallien luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla niiden antamia ennusteita uudistamis- sekä kasvu- ja tuotostutkimusten tuloksiin.

$$RL_S = RL\%_S \cdot (\rho \cdot RLmax - RL) \cdot (1 + 0.2 \cdot MKP)$$

missä RL_S = tulevan 5-vuotiskauden aikana syntyvien puiden lukumäärä
ρ = satunnaisluku 0,6–1,2
RL = runkoluku laskentajakson (simulointiaskeleen) alussa
RLmax = maksimirunkoluku

$$RL\%_S = 0{,}01 + 0{,}02475 \cdot G, \quad \text{jos} \quad G < 3{,}9\ m^2$$
$$= 1{,}0, \quad 3{,}9\ m^2 \le G < 8{,}0\ m^2$$
$$= 1{,}471 - 0{,}05882 \cdot G, \quad 8{,}0\ m^2 \le G < 15{,}0\ m^2$$
$$= 0 \quad 15{,}0\ m^2 < G$$

G = metsikön kuorellinen pohjapinta-ala, m^2
MKP = valemuuttuja; MKP = 1, jos maanpinnan käsittelystä on kulunut alle 10 v, muulloin MKP = 0.

Metsikön kehitystä simuloitaessa muodostetaan yleensä yksi kuvauspuu, jonka runkoluku on RL_S. Siemen- tai suojuspuuhakkuun jälkeen muodostetaan kuitenkin viisi kuvauspuuta,

joista kunkin runkoluku on 20 % RL_S:stä. Ensimmäisen uuden kuvauspuun puulajiksi tulee ylispuiden puulaji ja muiden puulaji määräytyy satunnaisesti maksimirunkoluvun puulajijakaumasta.

Seuraavassa vaiheessa ennustetaan uusien kuvauspuiden syntymähetki eli biologinen ikä laskentajakson (simulointiaskeleen) alussa:

$$SV = \beta \cdot (1-LS/1400) + SV_{1400}$$

missä SV = seuraavaan siemenvuoteen kuluva aika, v
LS = lämpösumma, d.d.
SV_{1400} = puulajeittainen siemenvuosien toistumisväli, v
mä: $SV_{1400} = 1$, ku: $SV_{1400} = 2$ ja ko: $SV_{1400} = 1$
β = puulajeittainen parametri, mä: $\beta = 6$, ku: $\beta = 10$ ja lehtipuut: $\beta = 4$

Malli ei perustu empiiriseen aineistoon ja sen tarkoitus on lähinnä tuottaa satunnaisvaihtelua puiden syntymiseen. Mallilla saatuun estimaattiin lisätään vielä satunnaisluku väliltä (0,4). Kuvauspuu voi saada iäkseen 0 tai negatiivisen luvun, jonka itseisarvo ilmaisee, minä vuonna simulointiaskeleen alusta lukien puu syntyy.

Simuloinnin maksimirunkoluvut sekä luontaisesti uudistetuissa että viljellyissä taimikoissa olivat selvästi suurempia kuin kasvatuskelpoisten taimien määrä hehtaaria kohti taimikkoinventointien perusteella (Räsänen ym. 1985). Lisäksi luontaisesti uudistettaessa taimien ikäjakauma tulee simuloitaessa selvästi suppeammaksi kuin mitä sen on todettu todellisuudessa olevan. Räsäsen ym. (1985) mukaan merkittävä osa kehityskelpoisista taimista syntyy ennen uudistushakkuuta, kun taas simulointimallissa kaikki uudet puut syntyvät yleensä hakkuun jälkeen.

3.2. Kasvumallit

3.2.1. Puukohtaiset mallit

3.2.1.1. Läpimitta

109. Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 12.

Siperialaisen lehtikuusen rinnankorkeusläpimitan kehitys ikäluokittain ja metsätyypeittäin kuvataan taulukkomallilla. Aineisto esitellään kohdassa 22.

Runkoanalyysin perusteella saatiin läpimitan kehitys iän funktiona. Ikäluokittaiset ja metsätyypittäiset keskiarvot tasoitettiin graafisesti ja laskettiin juokseva ja keskimääräinen vuotuinen kasvu. Lehtikuusen rinnankorkeusläpimitta ja sen kasvu esitetään taulukkoina ja

käyrinä erikseen Raivolassa ja Punkaharjulla.

110. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Julkaisussa on männyn rinnankorkeusläpimitan tulevan kasvuprosentin estimoiva regressioyhtälö, joka laadittiin hoidettujen männiköiden kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 38.

Männyn läpimitan kasvuyhtälö hakkuun jälkeen:

$$p_d = -44{,}9094 + 383{,}0093 \cdot 1/(T_i \cdot H_{domi}) + 15{,}2639 \cdot \sqrt{s_i}/(d_{ui} \cdot D_{ui}) + 2{,}5429 \cdot \sqrt{s_i}/d_{ui} + 0{,}1227 \cdot R_G/c + 19{,}0714 \cdot \sqrt{L} - 2{,}0250 \cdot L$$

$$R^2 = 0{,}859$$

missä p_d = puun kuorettoman rinnankorkeusläpimitan keskimääräinen vuotuinen kasvusadannes koronkorkoperiaatteella kahden perättäisen harvennuksen välisenä aikana

R_G = harvennuksen osuus metsikön pohjapinta-alasta ennen harvennusta, %

c = harvennusväli eli harvennusten välinen aika, a

L = kasvukauden pituus; toukokuussa esiintyvien +6° C:tta lämpimämpien päivien lukumäärä

s = puun keskimääräinen etäisyys 5 lähimmästä naapurista, m

u = kuoren alta

i = ennustejakson alussa

111. Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Acta Forestalia Fennica 93.

Männyn ja kuusen säde- ja läpimitan kasvua ojituksenjälkeisenä aikana tarkastellaan taulukkomallin avulla.

Aineisto kerättiin Keski-Suomen 45–55 vuotta vanhoilta ojituskohteilta (mittaushetkellä turvekankaita). Mukana oli 77 kuusivaltaista ja 91 mäntyvaltaista koealaa, jotka edustivat ruoho- ja heinäkorpia, varsinaisia korpia, varsinaisia sararämeitä ja isovarpuisia rämeitä. Lisäksi koepuita mitattiin 15 mänty- tai koivuvaltaiselta korpikoealalta, jotka eivät olleet mukana metsikkökohtaisissa tarkasteluissa. Koealoilla oli tehty vähintään yksi kasvatushakkuu, kulotettuja tai lannoitettuja kohteita ei hyväksytty mukaan aineistoon. Kullakin koealalla mitattiin keskimäärin 18 (rämeillä 16) koepuuta eli yhteensä 1121 kuusta ja 1332 mäntyä.

Kasvunlaskennassa käytettiin erotusmenetelmää; runkoanalyysipuista tehtyjen mittausten avulla selvitettiin 5, 10 ja 15 vuoden takaiset läpimitat, pituudet sekä tilavuudet. Kuoren kasvun arvioimiseksi laadittiin puulajeittaiset ja suotyypeittäiset regressiosuorat. Poistuma arvioitiin kantojen perusteella kanto- ja rinnankorkeusläpimitan välistä riippuvuutta hyväksi

käyttäen. Sädekasvua koskevat tulokset esitetään ilman ilmastollisia korjauksia. Laskelmat tehtiin sekä kaikille että erikseen vallitsevan latvuskerroksen puille.

Ojituksen jälkeisen keskimääräisen 5-vuotiskauden sädekasvun (mm/5 v.) riippuvuus puiden iästä ja ojitushetken rinnankorkeusläpimitasta esitetään taulukkomuodossa puulajeittain ja suotyypeittäin. Vallitsevia puita koskevat kasvut kuvataan myös graafisesti tasoitettuina käyrinä.

Lisäksi esitellään taulukot sädekasvun ojituksen jälkeisestä kehityksestä suotyypeittäin puun ikäluokan ja ojituksesta kuluneen ajan funktiona, eli sädekasvut 5–50 vuotta ojituksen jälkeen. Taulukot laadittiin erikseen kaikille koepuille ja vallitsevan latvuskerroksen koepuille. Ojituksenjälkeisiä (valtapuiden) kasvuja verrataan graafisesti kangasmaan vastaavien metsiköiden valtapuiden kasvuihin (Ilvessalo 1920 & Vuokila 1967).

112. Laurila, M. 1972. Puun kasvun ennustaminen. Metsänarvioimistieteen laudatur-työ. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyö sisältää männyn rinnankorkeusläpimitan tulevan kasvuprosentin ennustavia regressioyhtälöitä sekä dynaamisen kasvumallin, joka on lähinnä menetelmän kuvaus.

Aineistona käytettiin Vuokilan (1965) männyn kasvu- ja tuottotaulukoiden laadintaa varten keräämää tilapäiskoeala-aineistoa. Koealat sijaitsivat hoidetuissa, tasaikäisissä metsiköissä. Aineistoa laajennettiin ottamalla koepuista mukaan lisähavaintoja ajankohdilta, jolloin hakkuita ei ollut tehty. Tarkastellun kasvujakson pituus oli n. 4–7 vuotta. Mukana oli yhteensä 1555 kasvuhavaintoa.

Kasvumallit, kun mennyt kasvu tunnetaan:

$$\log(p_{du}) = 0{,}93212 - 0{,}66084 \cdot (\log(d_{1,3}))^{1,4} + 0{,}38554 \cdot (\log(h))^{1,4} - 0{,}19019 \cdot \log(t) + 0{,}71415 \cdot \log(r) + 0{,}20921 \cdot \log(ET) - 0{,}48588 \cdot \log(H_{dom}) - 0{,}14378 \cdot \log(G) \qquad R^2 = 85{,}14\ \%$$

$$\log(p_{db}) = 0{,}95815 - 0{,}62980 \cdot (\log(d_{1,3}))^{1,4} + 0{,}41622 \cdot (\log(h))^{1,4} - 0{,}16296 \cdot \log(t) + 0{,}71037 \cdot \log(r) + 0{,}20259 \cdot \log(ET) - 0{,}58686 \cdot \log(H_{dom}) - 0{,}11794 \cdot \log(G) \qquad R^2 = 84{,}61\ \%$$

Kasvumallit, kun mennyttä kasvua ei tunneta:

$$\log(p_{du}) = 2{,}38353 - 0{,}25538 \cdot \log(d_{1,3}) + 0{,}66247 \cdot \log(h) - 0{,}70995 \cdot \log(t) - 0{,}68792 \cdot \log(H_{dom}) - 0{,}51705 \cdot \log(G) \qquad R^2 = 70{,}85\ \%$$

$$\log(p_{db}) = 2{,}36871 - 0{,}24610 \cdot \log(d_{1,3}) + 0{,}73638 \cdot \log(h) - 0{,}69258 \cdot \log(t)$$

$$-0{,}78354 \cdot \log(H_{dom}) - 0{,}50153 \cdot \log(G) \qquad R^2 = 69{,}96\ \%$$

Missä:

p_{du} = kuorettoman rinnankorkeusläpimitan kasvun koronkorkoprosentti, %
p_{db} = kuorellisen läpimitan kasvun koronkorkoprosentti, %
r = menneen 5-vuotiskauden sädekasvu, mm
ET = viiden lähimmän puun keskietäisyys, m

Logaritmimuunnoksen takia yhtälöihin tehtiin tasokorjaus Meyerin (1941) mukaan: vakioon lisättiin tekijä $f = 10^{1/2 \cdot (s2 \cdot \ln(10))}$, missä $s2 = s^2$ eli jäännösvaihtelun keskihajonnan neliö.

Yhtälön luotettavuutta tarkasteltiin laskemalla poikkeamien keskihajonta ja ennusteiden suhteelliset keskivirheet ikäluokittain sekä vertaamalla ikäluokittaisten keskiarvojen eroja (todellisten ja estimoitujen kasvujen).

Perusmallien lisäksi esitetään yhteensä 16 yhtälöä, joissa selittävien tekijöiden määrä vaihtelee. Puolessa yhtälöistä selitettävä tekijä on kuorettoman läpimitan kasvuprosentti ja lopuissa kuorellisen. Yhtälöt, joista menneen kauden kasvutiedot puuttuvat, ovat epäluotettavimpia, muuten tarkkuuksissa ei ole suuria eroja. Nuorilla puilla poikkeamat ovat suurempia kuin vanhoilla puilla; yhtälöitä suositellaankin käytettäväksi yli 25 v. puille.

Samassa tutkimuksessa esitetään kasvun ennustaminen dynaamisen kasvumallin avulla. Puun ikä (t) ja metsikön pituusboniteetti oletetaan tunnetuiksi, jolloin kasvu- ja tuotostaulukosta haetaan kyseisen boniteetin keskimääräinen läpimitan kasvuprosentti (=IP) 1. jaksolle (t-5 v, t) ja (FP) 2. jaksolle (t, t+5 v). Puun kehitysaste saadaan kaavasta

$$f(s) = 100 \cdot FP/IP.$$

VMI-mäntykoepuuaineiston (8763 kpl) perusteella laadittiin kasvusarjat, joista läpimitan kasvuprosentti selviää boniteeteittain iän funktiona. Koepuut olivat Etelä-Suomesta ja metsätyypeistä OMT, MT ja VT olivat hyvin edustettuina.

Tulevan 5-vuotiskauden läpimitan kasvuprosentille laadittiin regressioyhtälö (N= 474 koepuuta):

$$\log(p_{d5+}) = 1{,}26457 + 0{,}75925 \cdot \log(p_{d5-}) - 0{,}65602 \cdot \log(s)$$

missä s = kehitysaste (100 · FP/IP), %
R^2 = 83,55 %.

Tutkimuksessa esitetään kehitysasteen kuvaaja iän funktiona metsätyypeittäin tasaikäisissä männiköissä.

113. Tarvasmäki, P. 1977. Puu- ja metsikkötunnuksiin perustuva sädekasvu. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyön aiheena on männyn ja kuusen sädekasvun ennustaminen hakkuin käsitellyissä metsiköissä. Sädekasvun regressiomallit laadittiin erikseen Etelä- ja Pohjois-Suomen mänty- ja kuusivaltaisille metsiköille.
Aineisto koottiin vuosina 1951–1953 mitatun VMI 3:n koeala- ja koepuutiedoista. Mukaan hyväksyttiin kivennäismaiden kehittämiskelpoiset puut, keskimäärin 3 kultakin koealalta. Metsikössä valtapuulajin osuus tuli olla vähintään 50 % tilavuudesta. Koealat valittiin harvennus-, väljennys- tai uudistusmetsiköistä.

Selitettävä muuttuja oli tulevan 5-vuotiskauden vuotuinen kuorellinen kasvuprosentti. Esitetyissä yhtälöissä tehtiin eksponenttimuunnoksen vaatima tasokorjaus. Selittäjänä oli myös menneen 5-vuotiskauden kasvu (D_5), jonka määrittäminen käytännössä on hankalaa ja edellyttää puun kairausta. Sen jättäminen pois yhtälöstä ei kuitenkaan osoittautunut mielekkääksi, sillä yhtälön selityskyky heikkeni oleellisesti. Yhtälöä olisi saattanut parantaa ympäristöä kuvaavien tunnusten ottaminen mukaan selittäjiksi, mutta aineistossa ei ollut tietoa esim. lämpösummista tai sademääristä. Puuston pohjapinta-alaa tai puun asemaa kuvaavia tunnuksia ei myöskään ollut mitattu.

Männiköt:

Etelä-Suomi:

$$\ln(P_{D5+}) = 2{,}6968027 + 0{,}7211168 \cdot \ln(I_{D5-}) - 0{,}9129630 \cdot \ln(D) - 0{,}1401461 \cdot \ln(T)$$

$R^2 = 81{,}55\ \%$ $s_e = 23{,}78\ \%$

$$\ln(P_{D5+}) = 3{,}6737383 - 0{,}5057294 \cdot \ln(T) + 0{,}2507737 \cdot \ln(I_H) - 0{,}2466498 \cdot \ln(V/H_{dom}) - 0{,}4560929 \cdot \ln(D) - 0{,}1102070 \cdot \ln(H)$$

$R^2 = 58{,}97\ \%$ $s_e = 35{,}50\ \%$

Pohjois-Suomi:

$$\ln(P_{D5+}) = 2{,}7095134 + 0{,}8828350 \cdot \ln(I_{D5-}) - 0{,}9932242 \cdot \ln(D) - 0{,}0936908 \cdot \ln(T)$$

$R^2 = 87{,}73\ \%$ $s_e = 21{,}66\ \%$

Kuusikot:

Etelä-Suomi:

$$\ln(P_{D5+}) = 2{,}7502072 + 0{,}8040502 \cdot \ln(I_{D5-}) - 0{,}8631092 \cdot \ln(D) - 0{,}1981329 \cdot \ln(T)$$

$R^2 = 83{,}68\ \%$ $s_e = 23{,}29\ \%$

Pohjois-Suomi:

$$\ln(P_{D5+}) = 2{,}6146648 + 0{,}8005298 \cdot \ln(I_{D5-}) - 0{,}9193673 \cdot \ln(D) - 0{,}1343904 \cdot \ln(T)$$

$$R^2 = 82{,}07\ \% \quad s_e = 24{,}75\ \%$$

Missä P_{D5+} = tulevan 5-vuotiskauden kasvuprosentti verrattuna nykyläpimittaan
I_{D5-} = menneen 5-vuotiskauden kasvu kuorineen, mm
I_H = puun vuotuinen pituuskasvu, dm
D = puun rinnankorkeusläpimitta, cm
T = puun ikä, v
H = puun pituus, m
V = metsikön puuston tilavuus, m^3/ha

Yhtälöiden vakiotermeihin lisättiin logaritmimuunnoksen korjaustekijä $s_e^2/2$. Kasvuhavainnoista ei korjattu ilmaston aiheuttamaa kasvunvaihtelua kasvuindeksien avulla. Männyn yhtälöt antanevat kasvulle yliarvioita, sillä laadinta-aineiston kasvunlaskentajakson ilmasto-olot olivat keskimääräistä edullisemmat.

Tutkimuksessa laadittiin taulukot tulevan 5-vuotiskauden kasvulle (Etelä-Suomen männyille ja kuusille), kun puun rinnankorkeusläpimitta (10–40 cm) ja edellisen 5-vuotiskauden kasvu (2–26 mm) tunnetaan.

114. Mielikäinen, K. 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Folia For. 363.

Tutkimuksessa tarkastellaan kasvun vaihteluun vaikuttavia tekijöitä ja kasvun ennustamistarkkuutta. Regressioyhtälöillä ennustetaan puun läpimitan kasvua eri menetelmillä käsitellyissä metsiköissä.

Aineistona oli 8 kestokoealaa yhdeltä VT-männiköltä, joka sijaitsee Punkaharjulla, ja 12 kestokoealaa Heinolan lähellä sijaitsevasta kuusikosta. Männikkö oli syntynyt luontaisesti n. vuosina 1905–1910 ja kuusikko oli istutettu vuonna 1926. Metsiköitä oli käsitelty joko eri asteisin alaharvennuksin, harsien tai jätetty luonnontilaiseksi.

Yhtälöiden selitettävänä tekijänä oli puun mittausjakson absoluuttisen tai suhteellisen kasvun logaritmi. Muunnoksen vaatima korjaustekijä $s_e^2/2$ lisättiin vakiotermiin.

Läpimitan kasvumallit:

Mänty, alaharvennus (N = 220 kpl):

$$i_{d9\%} = \exp(3{,}998 - 0{,}0556 \cdot d_{1,3} - 0{,}006498 \cdot \text{ppa} + 0{,}006566 \cdot \text{ppa}_k - 0{,}003620 \cdot \text{kt})$$

$$R^2 = 0{,}443$$

$$i_{d9\%} = \exp(3{,}770 - 0{,}04873 \cdot d_{1,3} - 0{,}0100 \cdot ppa + 0{,}005775 \cdot ppa_k)$$

$$R^2 = 0{,}417$$

$$i_{d9\%} = \exp(3{,}812 - 0{,}04934 \cdot d_{1,3} - 0{,}0107 \cdot ppa)$$

$$R^2 = 0{,}401$$

Mänty, harsinta (N = 313):

$$i_{d9} = \exp(-4{,}110 - 0{,}2975 \cdot d_{1,3} + 2{,}529 \cdot \sqrt{d_{1,3}} - 0{,}008462 \cdot ppa + 0{,}009587 \cdot ppa_k$$

$$R^2 = 0{,}339$$

$$i_{d9} = \exp(-4{,}173 - 0{,}3024 \cdot d_{1,3} + 2{,}572 \cdot \sqrt{d_{1,3}} - 0{,}008929 \cdot ppa_k)$$

$$R^2 = 0{,}333$$

Kuusi, voimakas alaharvennus (N = 105):

$$i_{d7} = \exp(0{,}1938 + 0{,}06092 \cdot d_{1,3} - 0{,}01174 \cdot ppa - 0{,}01092 \cdot ppa2)$$

$$R^2 = 0{,}435$$

Kuusi, luonnontilainen (N = 233):

$$i_{d7} = \exp(-3{,}724 + 0{,}5346 \cdot d_{1,3} - 0{,}01507 \cdot d_{1,3}^2 - 0{,}009009 \cdot ppa - 0{,}005209 \cdot ppa2)$$

$$R^2 = 0{,}442$$

Missä $i_{d9\%}$ = läpimitan kasvuprosentti/9 v
i_{d9} = läpimitan kasvu, cm/9 v
i_{d7} = läpimitan kasvu, cm/7 v
$d_{1,3}$ = rinnankorkeusläpimitta jakson alussa, cm
ppa = ympäröivän puuston ppa 3 m:n säteellä, m^3/ha
ppa_k = kantojen ppa 5 m:n säteellä, m^3/ha
ppa2 = puuston ppa 3–5 m:n etäisyydellä, m^3/ha
kt = kilpailutekijä = summa(d^2/(etäisyys · $d_{1,3}$)), missä d = ympäristön puun läpimitta ja et = puiden välinen etäisyys

Eri käsittelytavat vaikuttivat pienten ja suurten puiden kasvureaktioon eri tavoin. Koska aineiston eri osissa esiintyviä eroja ei voitu tuoda esille käyttämällä valemuuttujia, laadittiin eri tavoin käsitellyille metsiköille omat kasvuyhtälönsä.

Yhtälöt selittävät vain pienen osan kasvun vaihtelusta, minkä vuoksi ne tutkimuksen mukaan soveltuvat parhaiten kasvun simulointiin. Lisäksi niiden avulla voidaan vertailla eri

käsittelyjen vaikutuksia tuotokseen ja laatia tuotostaulukoita. Koska aineisto oli suppea, tulosten yleistämisessä on oltava varovainen.

115. Nyyssönen, A. & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Acta Forestalia Fennica 163.

Laaditut männyn ja kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvuyhtälöt perustuvat männyn osalta Vuokilan (1965) vuosina 1961–1962 keräämään aineistoon (kohta 38). Mäntykoepuita oli kaikkiaan 1404. Kuusen kasvuyhtälöiden laadinta-aineistona käytettiin Helsingin Yliopiston metsätieteellisen tiedekunnan metsänarvioimisen harjoitustöissä mitattua, 32 puhtaasta kuusikosta peräisin olevaa 497 koepuun aineistoa.

Läpimitan kasvuyhtälöt:
Mänty:

$$\ln(p_d) = 2{,}4984 - 0{,}1565 \cdot \ln(T) - 0{,}1997 \cdot \ln(G) + 0{,}3953 \cdot \ln(D) - 0{,}8997 \cdot \ln(H_{dom}) - 0{,}9393 \cdot \ln(d) + 0{,}6927 \cdot \ln(h) + 0{,}7126 \cdot \ln(i_r)$$
$$s_e = 28{,}6\ \% \quad s_f = 0{,}2802 \quad R^2 = 0{,}849$$

$$\ln(p_d) = 1{,}6043 - 0{,}1176 \cdot \ln(G) - 0{,}1762 \cdot \ln(H_{dom}) - 0{,}6268 \cdot \ln(d) + 0{,}7707 \cdot \ln(i_r)$$
$$s_e = 29{,}7\ \% \quad s_f = 0{,}2909 \quad R^2 = 0{,}837$$

$$\ln(p_d) = 1{,}2129 - 0{,}7814 \cdot \ln(d) - 0{,}0352 \cdot \ln(h) + 0{,}8267 \cdot \ln(i_r)$$
$$s_e = 30{,}3\ \% \quad s_f = 0{,}2965 \quad R^2 = 0{,}830$$

$$\ln(p_d) = 5{,}4625 - 0{,}6675 \cdot \ln(T) - 0{,}4758 \cdot \ln(G) + 0{,}1773 \cdot \ln(D) - 0{,}9442 \cdot \ln(H_{dom}) - 0{,}3631 \cdot \ln(d) + 0{,}7762 \cdot \ln(h)$$
$$s_e = 39{,}7\ \% \quad s_f = 0{,}3822 \quad R^2 = 0{,}719$$

Kuusi:

$$\ln(p_d) = 2{,}9645 - 0{,}1995 \cdot \ln(T) - 0{,}2707 \cdot \ln(G) + 0{,}2671 \cdot \ln(D) - 0{,}1684 \cdot \ln(H_{med}) - 0{,}9857 \cdot \ln(d) + 0{,}1311 \cdot \ln(h) + 0{,}7021 \cdot \ln(i_r)$$
$$s_e = 31{,}5\ \% \quad s_f = 0{,}3079 \quad R^2 = 0{,}829$$

$$\ln(p_d) = 2{,}7061 - 0{,}3207 \cdot \ln(G) - 0{,}0020 \cdot \ln(H_{med}) - 0{,}9184 \cdot \ln(d) + 0{,}7405 \cdot \ln(i_r)$$
$$s_e = 31{,}8\ \% \quad s_f = 0{,}3105 \quad R^2 = 0{,}825$$

$$\ln(p_d) = 1{,}9991 - 0{,}8353 \cdot \ln(d) - 0{,}2027 \cdot \ln(h) + 0{,}8015 \cdot \ln(i_r)$$
$$s_e = 33{,}2\ \% \quad s_f = 0{,}3236 \quad R^2 = 0{,}810$$

$$\ln(p_d) = 6{,}9342 - 0{,}8808 \cdot \ln(T) - 0{,}4982 \cdot \ln(G) + 0{,}4159 \cdot \ln(D) - 0{,}3865 \cdot \ln(H_{med}) - 0{,}6267 \cdot \ln(d) + 0{,}1287 \cdot \ln(h)$$
$$s_e = 48{,}3\ \% \quad s_f = 0{,}4581 \quad R^2 = 0{,}621$$

Missä p_d = vuotuinen läpimitan kasvu seuraavan 5-vuotiskauden aikana koronkorkoprosenttina, %
H_{med} = puuston keskipituus, m
i_r = edellisen 5-vuotiskauden sädekasvu rinnankorkeudella, mm

Logaritmimuunnoksen vaatima korjaustekijä $s^2/2$ lisättiin yhtälöiden vakioihin.

Mallien yleisttävyyttä heikentää esimerkiksi kasvun ilmastollinen vaihtelu sekä se, että mäntyaineisto oli pääosin metsiköistä, joita oli harvennettu juuri ennen ennustejaksoa. Kun aineistosta lisäksi puuttuivat järeät metsiköt (D > 25 cm), saattavat muuttujan i_r sisältävät yhtälöt yliarvioida läpimitan kasvun.

116. Hiltunen, J. 1981. Kuusitaimistojen kasvusta turvemailla. (Suometsäkilpailun (1964–68) koealoista valittujen taimistojen jatkokehityksen valossa). Suometsätieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyössä kuvataan turvemaiden kuusitaimikoiden sädekasvun riippuvuus lämpösummasta ja taimikon tiheydestä regressioyhtälöillä sekä graafisesti.

Aineisto kuvataan kohdassa 87. Kaatokoepuista mitattiin sädekasvut vuoteen 1971 asti ja laskettiin koepuittaiset ja edelleen osakoealoittaiset keskiarvot 5-vuotiskausien 1971–75 ja 1976–80 keskimääräisille vuotuisille sädekasvuille.

Sädekasvuyhtälöt:

$I_{r-75} = -0{,}52 + 0{,}00284 \cdot LS$ $\quad R^2 = 0{,}145$

$I_{r-75} = 2{,}8 - 0{,}000143 \cdot RL$ $\quad R^2 = 0{,}046$

$I_{r-80} = 2{,}2 - 0{,}000148 \cdot RL$ $\quad R^2 = 0{,}099$

missä I_{r-75} = keskimääräinen vuotuinen sädekasvu (1971–75), mm/v
I_{r-80} = keskimääräinen vuotuinen sädekasvu (1976–80), mm/v
LS = lämpösumma, d.d./100
RL = taimikon tiheys, 1000 kpl/ha

Koska aineisto oli melko suppea ja eri tunnusten hajonta suurta, ei tulosten perusteella voida tehdä yleistäviä johtopäätöksiä kuusitaimistojen kehityksestä turvemailla.

117. Heikkilä, H. 1982. Mäntytaimikoiden kasvu turvemailla. (Vuosina 1964–68 toimeenpannun suometsäkilpilun kestokoealojen valossa). Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Työssä tarkastellaan turvemaiden mäntytaimikoiden sädekasvun riippuvuutta lämpösummasta, metsäojitusboniteetista ja tiheydestä regressioyhtälön ja graafisen esityksen avulla. Aineisto kuvataan kohdassa 88.

Sädekasvuyhtälöt:

$I_{r-75} = -2{,}61 + 0{,}77 \cdot LS - 0{,}03 \cdot LS^2$ $\quad R^2 = 0{,}195$

$I_{r-75} = 2{,}29 + 0{,}15 \cdot MOB$ $\quad R^2 = 0{,}056$

$I_{r-80} = 1{,}786 - 0{,}011 \cdot RL^2$ $\quad R^2 = 0{,}112$

missä I_{r-75} = keskimääräinen vuotuinen sädekasvu (1971–75), mm/v
I_{r-80} = keskimääräinen vuotuinen sädekasvu (1976–80), mm/v
LS = lämpösumma, d.d./100
MOB = metsäojitusboniteetti Heikuraisen (1973) mukaan, 2–7
RL = taimikon tiheys, 1000 kpl/ha

Kuten edellä, suppean aineiston vuoksi tuloksia ei voi yleistää kaikille turvemaiden mäntytaimikoille.

118. Pukkala, T. & Kolström T. 1987. Competition indices and the prediction of radial growth in Scots pine. Silva Fenn. 21(1).

Regressiomallilla kuvataan männyn sädekasvun riippuvuutta kilpailutekijöistä.

Aineisto mitattiin kolmesta Pohjois-Karjalassa sijaitsevasta, suhteellisen karuille kasvupaikoille luontaisesti syntyneestä, ensiharvennusvaiheessa (n. 40 vuotiaita) olevasta männiköstä. Metsiköihin rajatuilta (n. 0,14–0,18 ha) koealoilta mitattiin kaikkien puiden (1192 kpl) läpimitat, pituudet ja koordinaatit. Koepuista (n. 30–50 kpl) mitattiin lisäksi latvusraja ja latvuksen pituus, joiden perusteella laadituilla yhtälöillä laskettiin em. tunnukset lukupuille. Kaikki koealan reunoille jätetyn 4 m:n vyöhykkeen sisäpuolella olevat puut (764 kpl) kairattiin sädekasvun mittausta varten. Puiden välistä kilpilua kuvattiin 12 eri kilpailuindeksillä, jotka riippuivat naapuripuiden koosta ja etäisyydestä.

Sädekasvuyhtälöt:

$G_5 = 146{,}0 - 103{,}4 \cdot CI_2$

$G_5 = 145{,}3 - 68{,}72 \cdot CI_2 - 2{,}934 \cdot CI_6$

$G_5 = 126{,}2 + 35{,}65 \cdot CI_1 - 91{,}85 \cdot CI_2 - 2{,}479 \cdot CI_6$

$G_{5k} = 838{,}2/(7{,}783 + CI_6)$

Selitysasteet ja keskivirheet samassa järjestyksessä:

$R^2 = 43{,}5\ \%$ $\quad s_e = 35{,}2$

$R^2 = 48{,}9\ \%$ $\quad s_e = 33{,}5$

$R^2 = 51{,}2\ \%$ $\quad s_e = 32{,}7$

$R^2 = -$ $\quad s_e = 35{,}5$

missä:

G_5 = puun sädekasvun osuus metsikön keskimääräisestä kasvusta menneen 5-vuotiskauden aikana, %

G_{5k} = sädekasvun osuus normaalikasvusta (l. samanläpimittaisten puiden keskimääräisestä kasvusta) menneen 5-vuotiskauden aikana, %

CI_1 = kulmasumma l. ko. puun rinnankorkeudelta horisontaalisesti naapuripuiden (< 5 m. etäisyydellä) rungon laitoihin mitattujen kulmien summa, rad

CI_2 = puun rinnankorkeudelta horisontaalisesti itseään järeämpien naapuripuiden (< 5 m. etäisyydellä) rungon laitoihin mitattujen kulmien summa, rad

CI_6 = puun latvan tason ja naapuripuiden latvan välisten kulmien summa, rad

Useita muita vastaavanlaisia kilpailutekijöitä kokeiltiin sisällyttää malleihin, mutta edellä kuvatut muuttujat selittivät sädekasvun vaihtelua parhaiten.

119. Pukkala, T. 1987c. Siementuotannon vaikutus kuusen ja männyn vuotuiseen kasvuun. Silva Fenn. 21(2).

Tutkimuksen tuloksina esitellään kuusen ja männyn sädekasvuindeksin ja kesäpuuindeksin riippuvuutta siemensatoindeksistä kuvaavat regressioyhtälöt.

Aineistona olivat Metsäntutkimuslaitoksen siemensatomittausten koemetsiköt (Koski & Tallqvist 1978), joista otettiin mukaan 13 kuusikkoa ja 17 männikköä. Metsiköiden siemensatotiedot muutettiin indekseiksi laskemalla kunkin vuoden siemensadon ja ko. metsikön keskimääräisen siemensadon (10 v:n jakson keskiarvo) suhde.

Sädekasvu- ja kesäpuuindeksien määrittämistä varten kairattiin lastut 10–17 relaskoopilla valitusta koepuusta (/koemetsikkö). Lustomittausten jälkeen laskettiin jokaiselle vuodelle keskimääräinen luston leveys ja kesäpuun osuus. Keskiarvosarja tasoitettiin iänmukaisen ja hakkuiden aiheuttaman vaihtelun poistamiseksi. Sädekasvuindeksi saatiin mitatun lustonleveyden ja tasoituskäyrän mukaisen leveyden suhteesta ja kesäpuuindeksi yhden vuoden kesäpuuosuuden ja koko mittausjakson keskimääräisen kesäpuuosuuden suhteesta.

Kasvuindeksiyhtälöt:

Kuusi:

Lappi:	$SK = 110{,}9 - 3{,}315 \cdot \ln(SS)$	$R^2 = 13{,}6\ \%$	$s_e = 14{,}9$
Muu Suomi:	$SK = 105{,}0 - 0{,}05059 \cdot SS$	$R^2 = 27{,}3\ \%$	$s_e = 12{,}0$
	$KP = 104{,}8 - 0{,}04938 \cdot SS$	$R^2 = 13{,}3\ \%$	$s_e = 18{,}3$

Mänty:

Lappi:	$SK = 105{,}7 - 0{,}05591 \cdot SS$	$R^2 = 18{,}9\ \%$	$s_e = 13{,}4$
Muu Suomi:	$SK = 104{,}3 - 0{,}04727 \cdot SS$	$R^2 = 6{,}6\ \%$	$s_e = 15{,}3$
	$KP = 105{,}6 - 0{,}05632 \cdot SS$	$R^2 = 7{,}1\ \%$	$s_e = 17{,}5$

missä SK = tuleentumisvuoden sädekasvuindeksi
KP = kesäpuuindeksi
SS = siemensatoindeksi

Lapissa siementuotannon vaikutus kesäpuun osuuteen ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Esitetyillä yhtälöillä voidaan laskea sädekasvu- ja kesäpuuindeksien odotusarvot erilaisina siemenvuosina. Yhtälöiden mukaan keskimääräinen siemensato pienentää kuusen sädekasvua Lapissa 14 % ja muualla Suomessa 5 %, kesäpuun osuus alenee Etelä- ja Keski-Suomessa n. 5 %. Männyllä keskimääräinen siemensato vähentää tuleentumisvuoden (kukintaa seuraavan vuoden) sädekasvua n. 5 % koko maassa ja kesäpuun osuutta 5 % Etelä- ja Keski-Suomessa.

Tutkimuksessa tarkasteltiin myös siemensadon vaikutusta tilavuuskasvuun neljässä mallimetsikössä, jotka iältään ja puustoltaan vastasivat siemensatotutkimuksen koemetsiköitä.

Siementuotannon vaikutusten tutkimista vaikeuttaa sekä kasvun että siementuotannon riippuvuus säätekijöistä; hyvät ja huonot siemenvuodet saattavat olla kasvun kannalta erilaisia. Lisäksi yksi siemensato voi vaikuttaa kasvuun useana vuotena, minkä vuoksi huonojen siemenvuosien kasvu saattaa olla alentunut aikaisempien satojen viivästyneiden vaikutusten vuoksi.

120. Pukkala, T. 1988a. Effect of spatial distribution of trees on the volume increment of a young Scots pine stand. Silva Fenn. 22(1).

Julkaisussa tarkastellaan männyn rinnankorkeusläpimitan spatiaalista kasvumallia.

Aineistona käytettiin samoja Pohjois-Karjalan männikkökoealoja kuin kohdassa 118 kuvatussa tutkimuksessa (Pukkala & Kolström 1987). Kasvukoepuiden (764 kpl) läpimitta 5 vuotta sitten saatiin vähentämällä kaksinkertainen sädekasvu (kuoreton) nykyläpimitasta. Kulmasummat laskettiin kaikille alle 5 m etäisyydellä koealan nurkista oleville puille (636 kpl).

Läpimitan kasvuyhtälöt:

$$i_d = 0{,}6396 - 0{,}8075 \cdot \ln(AS+0{,}3) \quad R^2 = 45{,}3\ \% \quad s_e = 0{,}3483\ \text{cm}$$

$$r_i = 143{,}1 - 108{,}9 \cdot AS \quad R^2 = 39{,}0\ \% \quad s_e = 36{,}53\ \%$$

missä:

i_d = läpimitan kasvu tulevan 5-vuotiskauden aikana, cm

r_i = läpimitan suhteellinen kasvu (osuus metsikön keskimääräisestä kasvusta) tulevan 5-vuotiskauden aikana, %

AS = kulmasumma l. puun rinnankorkeudelta horisontaalisesti itseään järeämpien naapuripuiden (< 5 m etäisyydellä) rungon laitoihin mitattujen kulmien summa, rad

Metsikön keskimääräinen läpimitan kasvu laskettiin Nyyssösen & Mielikäisen (1978) laatimalla kasvuyhtälöllä.

121. Pukkala, T. 1988b. Predicting diameter growth in even-aged Scots pine stands. Silva Fenn. 23(2).

Männyn rinnankorkeusläpimitan kasvumalleja laadittiin lineaarisen regressioanalyysin keinoin.

Mallit perustuvat 50 eri koealalta mitattuun n. 4000 koepuun aineistoon. Koealat sijaitsivat luontaisesti syntyneissä tasaikäisissä puhtaissa männiköissä. Metsiköt edustivat eri kehitysvaiheessa olevia, tiheydeltään ja tilajärjestykseltään erilaisia metsiköitä.

Koealan (800–3000 m^2) kaikki puut kartoitettiin ja luettiin, n. 20 koepuuta mitattiin tarkemmin. Yli 5 m etäisyydellä koealan nurkista kasvavat puut kairattiin menneen kasvun määrittämistä varten. Osalla koealoista mitattiin kannot. Koepuutietojen perusteella johdettiin (laadittujen regressioyhtälöiden avulla) lukupuille ja kannoille kaikki tarvittavat tunnukset 5-vuotta aikaisemmin.

Perinteiset kasvumallit:

$$\ln(i_d) = 0{,}6833 + 0{,}9551 \cdot \sqrt{d} - 0{,}001951 \cdot g - 0{,}7642 \cdot \ln(t) - 0{,}5692 \cdot \ln(G) + 0{,}5373 \cdot d/D_g - 0{,}3899 \cdot \ln(d)/D_g$$

$N = 4597 \quad R^2 = 0{,}435 \quad s_e = 0{,}541$

$$\ln(p_d) = 1{,}043 - 0{,}6971 \cdot d - 5{,}058 \cdot \ln(d) + 7{,}4547 \cdot \sqrt{d} + 0{,}003212 \cdot g - 0{,}7469 \cdot \ln(t) - 0{,}5312 \cdot \ln(G)$$

$N = 4597 \quad R^2 = 0{,}591 \quad s_e = 0{,}538$

Spatiaaliset kasvumallit:

$$\ln(i_d) = 1{,}297 + 0{,}3913 \cdot \sqrt{d} - 0{,}001062 \cdot g - 0{,}6970 \cdot \ln(t) - 0{,}009238 \cdot \Sigma_5 d_j/s_j + 0{,}9762 \cdot d/D_{<5} - 0{,}1712 \cdot \ln(G)$$

$N = 4001 \quad R^2 = 0{,}563 \quad s_e = 0{,}467$

$$\ln(p_d) = 4{,}221 - 0{,}1997 \cdot d - 2{,}468 \cdot \ln(d) + 2{,}517 \cdot \sqrt{d} - 0{,}7652 \cdot \ln(t) - 0{,}009710 \cdot \Sigma_5 d_j/s_j + 1{,}020 \cdot d/D_{<5}$$

$N = 4001 \quad R^2 = 0{,}706 \quad s_e = 0{,}466$

missä:

i_d = läpimitan kasvu tulevan 5-vuotiskauden aikana, cm

p_d = läpimitan suhteellinen kasvu tulevan 5-vuotiskauden aikana, %

D_g = metsikön pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta,cm

$D_{<5}$ = naapuripuiden (<5 m lähempänä) pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm

Σ_5 = 5 m:n säteellä olevat puut sisällytetään summaan

s_j = etäisyys naapuripuuhun, m

Mallien vakioihin on lisättävä harhattomuuden korjaustermit $s_e^2/2$.

Tässä esitettyjen spatiaalisten mallien lisäksi tutkimuksessa laadittiin ekologisen kentän teoriaan perustuvat spatiaaliset kasvumallit (s. 209).

122. Henttonen, H. 1989. Kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvun vaihtelu Etelä-Suomessa. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Helsingin Yliopisto.

Tutkimuksessa laadittiin kuusen läpimitan kasvumalli soveltaen lineaarista sekamallitekniikkaa.

Aineisto poimittiin VMI 6, 7 ja 8:n (vuosilta 1961–1987) kasvukoealojen joukosta tietyin ehdoin: koeala sijaitsi kivennäismaalla, kasvupaikkatyyppi oli lehto, lehtomainen tai tuore kangas, puusto oli yksijaksoinen ja kuusen osuus oli vähintään 70 % tilavuudesta, koealalla ei oltu tehty hakkuita edeltävien 10 vuoden aikana, koealan etäisyys meren rannasta oli vähintään 20 km, pohjoiskoordinaatti yhtenäiskoordinaatistossa oli korkeintaan 7000 ja itäkoordinaatti vähintään 300. Kivisyyttä tai soistuneisuutta ei sallittu. Koealojen lannoituksesta ei ollut tietoa.

Kaikista kasvukoealojen puista oli kairattu lastu rungon kahdelta puolelta. Kasvunlaskentajakson (inventointia edeltäneet 5 v) vuotuiset läpimitan kasvut mitattiin lustomikroskoopilla 1/100 mm:n tarkkuudella. Koepuumittauksissa oli eroja eri inventointien välillä. Aineisto yritettiin saada mahdollisimman yhdenmukaiseksi esimerkiksi poimimalla 6., 7. ja 8. inventoinnin aineistoista vain parittomat koepuut, joista oli kairattu ikä ja poistamalla aineistoista läpimitaltaan alle 2,5 cm puut.

Kasvumallin parametrit ja varianssikomponentit estimoitiin erikseen käyttäen koko aineistoa (VMI5, VMI6, VMI7 ja VMI8), kolmea uusinta aineistoa (VMI6, VMI7 ja VMI8) sekä jokaisessa VMI-aineistossa erikseen.

Koko aineisto mukana:
Lehdot ja lehtomaiset kankaat (n = 6587):

$$E(y_{kjt}) = 0{,}4540 + (0{,}8422 - 0{,}1216 \cdot d_{kjt}/100000) \cdot \ln(d_{kjt}/ika_{kjt}) + 0{,}1381 \cdot 100/(G_{kt}+10) - 0{,}1461 \cdot GI_{kjt}^2/100$$

$s_e = 0{,}159$ $s_1 = 0{,}177$ $s_2 = 0{,}313$ $s_3 = 0{,}089$ $s_4 = 0{,}087$

Tuoreet kankaat (n = 8188):

$$E(y_{kjt}) = 0{,}7395 + (0{,}7921 - 0{,}1407 \cdot d_{kjt}/100000) \cdot \ln(d_{kjt}/ika_{kjt}) + 0{,}1226 \cdot 100/(G_{kt}+10) - 0{,}1014 \cdot GI_{kjt}^2/100$$

$s_e = 0{,}154$ $s_1 = 0{,}213$ $s_2 = 0{,}308$ $s_3 = 0{,}066$ $s_4 = 0{,}077$

VMI 6, 7 ja 8-aineisto:
Lehdot ja lehtomaiset kankaat (n = 6126):

$$E(y_{kjt}) = 0{,}4315 + (0{,}8444 - 0{,}1176 \cdot d_{kjt}/100000) \cdot \ln(d_{kjt}/ika_{kjt}) + 0{,}1374 \cdot 100/(G_{kt}+10) - 0{,}1459 \cdot GI_{kjt}^2/100$$

$s_e = 0{,}160$ $s_1 = 0{,}180$ $s_2 = 0{,}314$ $s_3 = 0{,}100$ $s_4 = 0{,}085$

Tuoreet kankaat (n = 7654):

$$E(y_{kjt}) = 0{,}7570 + (0{,}7864 - 0{,}1306 \cdot d_{kjt}/100000) \cdot \ln(d_{kjt}/ika_{kjt}) + 0{,}1211 \cdot 100/(G_{kt}+10) - 0{,}0993 \cdot GI_{kjt}^2/100$$

$s_e = 0{,}153$ $s_1 = 0{,}210$ $s_2 = 0{,}306$ $s_3 = 0{,}073$ $s_4 = 0{,}076$

missä $E(y_{kjt})$ = koealan k puun j kuorettoman läpimitan kasvun (1/100 mm) logaritmin odotusarvo vuonna t
d_{kjt} = puun j kuoreton rinnankorkeusläpimitta vuoden t alussa, 1/100 mm
ika_{kjt} = lustojen määrä puun j rinnankorkeudella vuoden t alussa (rinnankorkeusikä)
G_{kt} = koealan k kuoreton pohjapinta-ala vuoden t alussa, m^2
GI_{kjt} = koealan k puuta j vähintään 15 % pitempien puiden kuoreton pohjapinta-ala vuoden t alussa, m^2
n = havaintojen (lustojen) määrä
s_1^2 = koealojen välinen varianssi
s_2^2 = koealojen sisäinen (puiden välinen) varianssi
s_3^2 = vuosien välinen varianssi
s_4^2 = koealojen sisäinen (vuosien välinen) varianssi

Mallissa ei ollut mukana kasvun alueellista vaihtelua kuvaavia muuttujia, minkä vuoksi malli yliarvioi jonkin verran esim. Suomenselän ylänköalueen kasvua.

Kasvumallilla selittämättä jääneestä vaihtelusta suurin osa on puiden välistä vaihtelua mittausjakson aikana keskimäärin. Ilmastotekijöiden vaikutusta kasvun vuosien väliseen vaihteluun tutkittiin lisäämällä kasvumalliin selittäjiksi 55 d.d:n ylittämispäivä (kuvaa kasvukauden alkamista) ja kesä-heinäkuun keskimääräinen sademäärä. Nämä muuttujat kiinteinä selittäjinä pienensivät koko alueella yhtenäistä kasvun vuosien välistä varianssia

30–45 % alkuperäisestä.

Vaikka aineistosta poistettiin edeltävien 10 vuoden aikana hakkuin käsitellyt koealat, saattoi mukaan jäädä koealoja, joilla puita oli poistettu yksittäin, mitä VMI:ssä ei kirjata hakkuuna.

123. Varmola, M. 1989. Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli. Silva Fenn. 23(4).

Artikkelissa kuvataan tulomuotoiset regressiomallit vuosiluston ja ytimen leveyden estimoimiseksi rinnankorkeudella. Vuosilustomallilla kuvataan säteen kasvu rinnankorkeusiältä yksi eteenpäin, ja ytimen leveysmallilla estimoidaan ensimmäisen vuoden sädekasvu. Aineisto esitellään kohdassa 17. Vuosittaiset luston leveydet mitattiin rinnankorkeudelta kairatuista lastuista lustomikroskoopilla 0,01 mm:n tarkkuudella. Lustohavaintoja oli kaikkiaan 3518.

Lustonleveysmalli:

$$i_r = \exp(0{,}210797 + 0{,}797684 \cdot \ln(r+0{,}1) - 0{,}409348 \cdot \sqrt{(r+0.1)} - 0{,}537107 \cdot d/D_{gM} + 1{,}18491 \cdot \ln(d/D_{gM}) + 0{,}0355842 \cdot H_{100} - 0{,}0288372 \cdot lkm + 0{,}00319211 \cdot IND)$$

Missä r = kunkin kasvukauden alkuun mennessä keräytynyt säde, mm
lkm = tiheys eli mäntyjen lukumäärä 3 m:n säteisellä ympyrä koealalla
H_{100} = kasvupaikka Hägglundin välipituusmallilla (1976)
IND = sädekasvuindeksi Tiihosen (1983, 1984 ja 1985) mukaan

Logaritmimuunnoksen vaatima tasokorjaus $s_e^2/2$ lisättiin vakioon.
Mallin luotettavuustunnukset:

s_e= 0,412 mm s_r= 43,1 % b_e= –1,41 % R^2= 0,297

Suuri jäännöshajonta osoittaa, että puiden lustonleveydet vaihtelevat suuresti samalla kasvupaikalla ja puuston tiheydellä. Toisaalta erot tasoittunevat eri vuosien keskiarvoissa.

Ytimen leveysmalli:

$$y = \exp(0{,}808448 + 0{,}336952 \cdot \ln(d/D_{gM}) - 0{,}0189852 \cdot lkm$$

s_e= 0,495 mm s_r= 51,7 % b_e = –0,21 % R^2 = 0,039

Mallin alhainen selitysaste kuvaa sitä, että ytimen säde on jokseenkin vakio puusta tai sen ympäristöstä riippumatta.

Laadittuja malleja sovellettiin puusta saatavan sahatavaran laadun ennustamiseen Uusvaaran (1981) laatumallin avulla.

3.2.1.2. Pituus

124. Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 12.

Siperialaisen lehtikuusen pituuskehitys ikäluokittain ja metsätyypeittäin määritellään taulukkomallina. Aineisto kuvataan kohdassa 22.

Runkoanalyysipuiden perusteella saatiin pituus iän funktiona eli pituuskäyrät, joiden ikäluokittaiset ja metsätyypeittäiset keskiarvot tasoitettiin graafisesti. Lehtikuusen pituus ja pituuskasvu esitetään taulukkoina ja käyrinä erikseen Raivolassa ja Punkaharjulla.

125. Cajander, E. K. 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Commun. Inst. For. Fenn. 19(5).

Julkaisussa ovat taulukko- ja graafiset mallit kuusentaimien pituuden kehitykselle ylispuuston hakkuun tai osittaisen väljentämisen jälkeisenä 10-vuotiskautena pituusluokittain.

Tutkimusaineisto koottiin Etelä-Suomen OMT-kankaiden kuusitaimikoista. Päällys- ja reunametsikön tuli olla puhdasta kuusikkoa. Tutkimus rajattiin 10–30 vuotiaisiin taimikoihin. Mittauksia tehtiin 52 eri koealalla, jotka jaettiin 5 x 5 m^2 ruutuihin (322 kpl). Jokaisesta ruudusta kunkin pituusluokan 4–6 taimesta mitattiin kaikkien hakkuun jälkeisten ja muutaman hakkuuta edeltäneiden latvakasvainten pituudet. Aineisto käsitti yhteensä n. 16500 taimen ja 21500 latvakasvaimen pituusmittausta.

Taimet jaettiin hakkuuajankohdan pituuden mukaan kuuteen pituusluokkaan: 1–10, 11–20, 21–40, 41–60, 61–80 ja 81–100 cm. Taimistot olivat kasvaneet 3–12 vuotta täydellisesti tai osittain vapautettuina. Täydellisesti vapautetut taimikot ryhmiteltiin aukon koon ja osittain vapautetut jätettyjen ylispuiden lukumäärän mukaan.

Tutkimuksessa esitetään pituuden kehityskäyrät täydellisesti vapautetussa taimikossa koko aineiston perusteella ja erikseen, kun aukon koko on 1–2, 2–3, 3–4, 4–5 tai 5–6 aaria sekä osittain vapautetuissa taimikoissa, kun jätetyn ylispuuston runkoluku on 100–200, 200–300, 300–400 tai 400–500 kpl/ha. Vastaavissa taulukoissa on taimien pituuden lisäksi latvakasvainten pituuden eli vuotuisen pituuskasvun kehitys hakkuun jälkeisenä 10 vuotena.

126. Heikurainen, L. & Kuusela, K. 1962. Revival of the tree growth after drainage and its dependence on the tree size and age. Commun. Inst. For. Fenn. 55(8).

Männyn ja kuusen pituuskasvun elpyminen ojitetuilla soilla kuvataan regressioyhtälöillä.

Aineistona käytettiin Heikuraisen vuosina 1955–1957 keräämää koepuuaineistoa (Heikurainen 1959). Koealat sijaitsivat n. 20 vuotta aikaisemmin ojitetuilla soilla koko Suomen alueella. Mukana oli kaikkiaan 9311 mänty- ja 5083 kuusikoepuuta.

Koepuista määritettiin edellisen 10-vuotiskauden ja ojitusta edeltäneen 10-vuotiskauden säde- ja pituuskasvut. Ojituksen jälkeisellä kasvun elpymisellä tarkoitetaan näiden kasvu-

lukujen erotusta.

Pituuskasvuyhtälöt:

mänty, E–S: $y = 30{,}2935 - 0{,}62378 \cdot h - 0{,}02383 \cdot t$ $s_e = 7{,}75$
P–S: $y = 19{,}7512 - 1{,}11525 \cdot h + 0{,}01137 \cdot t$ $s_e = 6{,}54$

kuusi, E–S: $y = 17{,}7301 - 1{,}31314 \cdot h - 0{,}02664 \cdot t$ $s_e = 11{,}24$
P–S: $y = 34{,}8731 - 1{,}93813 \cdot h - 0{,}14370 \cdot t$ $s_e = 6{,}26$

missä:
y = elpynyt pituuskasvu eli ojitusta edeltäneen ja nykykasvun erotus, dm/10 v

Lisäksi esitetään taulukkomuodossa pituuskasvun keskimääräiset lisäykset ojituksen jälkeen ikäluokittain, läpimittaluokittain, pituusluokittain sekä kasvupaikkaluokittain.

127. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Julkaisussa esitellään männyn tulevan pituuskasvuprosentin ennustava regressioyhtälö, joka laadittiin hoidettujen männiköiden kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 38.

Männyn pituuskasvu hakkuun jälkeen:

$$p_h = -0{,}5614 + 3{,}7287 \cdot 1/D_{ui} + 10{,}4635 \cdot d_{ui}/h_i^2 - 9{,}3203 \cdot 1/h_i + 48{,}0173 \cdot 1/t_i + 585{,}8407 \cdot 1/t_i^2 + 2{,}7522 \cdot t_{1,3}/t_i$$

$$R^2 = 0{,}887$$

missä p_h = puun pituuden keskimääräinen vuotuinen kasvusadannes koronkorkoperiaatteella kahden perättäisen harvennuksen välisenä aikana, %
u = kuoren alta
i = ennustejakson alussa

Yhtälöllä lasketuissa kasvuissa ei ollut systemaattista virhettä.

128. Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Acta Forestalia Fennica 93.

Taulukkomalleilla ennustetaan männyn ja kuusen pituuskasvu ojituksen jälkeisenä aikana.

Aineisto kuvataan kohdassa 111. Laskelmat perustuvat vallitsevan latvuskerroksen koepuiden 5 viimeisen vuoden pituuskasvu- ja pituusmittauksiin. Pituuskasvun arviointi sitä aikaisemmilta kausilta osoittautui vaikeaksi.

Pituuden ja pituuskasvun riippuvuus puiden iästä esitetään puulajeittain ja suotyypeittäin sekä taulukkona että graafisesti tasoitettuina käyrinä. Vallitsevien suopuiden pituuskasvukäyriä on verrattu kangasmaiden samanikäisten ja samanpituisten valtapuiden kasvukäyriin.

129. Heikurainen, L. & Ouni, J. 1970. Turvemaiden taimistojen pituuskasvusta. Vuosina 1964–1968 toimeenpannun suometsäkilpailun tutkimustuloksia. Silva Fenn. 4(2).

Koosteessa esitellään graafisesti turvemailla kasvavan männyn- ja kuusentaimen pituuskasvun riippuvuus lämpösummasta, taimen pituudesta, iästä, taimikon tiheydestä sekä verho- ja ylispuuston määrästä.

Aineisto oli peräisin Kansallis-Osake-Pankin ja Keskusmetsälautakunta Tapion toimeenpanemasta Suometsäkilpailusta, joka koski taimiston kasvattamista ojitetuilla turvemailla. Varsinainen tutkimusaineisto koostui vuonna 1968 tehdyistä kilpailutulosten tarkistusmittauksista. Koealametsikköjä oli kaikkiaan 145, joista 85 oli männyn ja 60 kuusen taimistoja. Koealat jakautuivat melko tasaisesti koko maahan. Koeala-aineisto oli hoitotoimenpiteiltään varsin heterogeeninen (perkaus ja/tai harvennus ja/tai lannoitus jne.). Suurin osa taimikoista oli luontaisesti syntyneitä.

Kultakin koealalta mitattiin koepuina 20 pisintä tainta eli valtatainta. Pituuskasvun mittausjakso käsitti vuodet 1964–1968. Jokaisen vuoden kasvulle on laadittu puulajeittain omat regressiokäyrät em. muuttujien (eli lämpösumman, ravinnetunnusten, pituuden, iän, taimiston tiheyden, verho- ja ylispuuston) funktiona.

130. Laurila, M. 1972. Puun kasvun ennustaminen. Metsänarvioimistieteen laudatur-työ. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyössä laadittiin männyn pituuskasvuprosentin ennustavia regressioyhtälöitä. Aineisto kuvataan kohdassa 112.

Pituuskasvumalli, kun mennyt kasvu tunnetaan:

$$\log(p_h) = 1{,}08013 + 0{,}46368 \cdot \log(d_{1{,}3}) - 0{,}81613 \cdot (\log(h))^{1{,}6} - 0{,}40367 \cdot \log(t) + 0{,}16507 \cdot \log(r) + 0{,}36098 \cdot \log(s) - 0{,}06356 \cdot (\log(H_{dom}))^{2{,}3} + 0{,}17333 \cdot \log(G)$$

$$R^2 = 85{,}64\ \%$$

Pituuskasvumalli, kun mennyttä kasvua ei tunneta:

$$\log(p_h) = 1{,}76346 + 0{,}54036 \cdot \log(d_{1{,}3}) - 0{,}63599 \cdot (\log(h))^{1{,}6} - 0{,}78171 \cdot \log(T) - 0{,}15776 \cdot (\log(H_{dom}))^{2{,}3} + 0{,}16082 \cdot \log(G)$$

$$R^2 = 82{,}77\ \%$$

Missä:

p_h = pituuden kasvun koronkorkoprosentti, %
T = metsikön keski-ikä, v
r = menneen 5-vuotiskauden sädekasvu,mm
s = menneen kauden pituuskasvu, m

Logaritmimuunnoksen takia yhtälöihin on tehty tasokorjaus Meyerin (1941) mukaan: vakioon on lisätty tekijä $f = 10^{1/2} \cdot (s2 \cdot \ln(10))$, missä $s2 = s^2$ eli jäännösvaihtelun keskihajonnan neliö.

Yhtälöiden luotettavuutta on tarkasteltu laskemalla poikkeamien keskihajonta ja ennusteiden suhteelliset keskivirheet ikäluokittain sekä vertaamalla ikäluokittaisia keskiarvojen eroja (todellisten ja estimoitujen kasvujen).

Tässä kuvattujen mallien lisäksi esitetään 7 yhtälöä, joissa selittävien tekijöiden määrä vaihtelee. Yhtälöt, joista menneen kauden kasvutiedot puuttuvat, ovat epäluotettavimpia, muuten ei tarkkuuksissa ollut suuria eroja. Nuorilla puilla poikkeamat olivat suurempia kuin vanhoilla puilla. Yhtälöitä suositellaankin käytettäväksi yli 25 v. puille.

131. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivun tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvuprosentti ennustetaan regressioyhtälöllä. Kasvuyhtälö laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten.

Aineisto koottiin Pohjois- ja Keski-Pohjanmaan sekä Kainuun metsälautakuntien alueilta vuosina 1971–1972. Kokonaisuudessaan aineisto kuvataan kohdassa 74. Puukohtaiset kasvumallit perustuvat 29 koealan kasvuanalyysipuihin.

Pituuskasvuyhtälö:

$$p_{h5} = -13{,}91109 + 71{,}62257 \cdot 1/t_{1,3} + 0{,}83055 \cdot h_c + 0{,}85081 \cdot c$$
$$- 105{,}33211 \cdot h/\bar{h}_1 + 16{,}64543 \cdot (h/\bar{h}_1)^2 + 40{,}85533 \cdot 1/\bar{h}_1 - 0{,}00238 \cdot h \cdot \bar{h}_1$$

$R^2 = 0{,}932 \quad s_e = 26{,}3\ \%$

Missä p_{h5} = tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvuprosentti (5 v:n summaprosentti)
h_c = latvuksen alarajan korkeus maasta ennustejakson lopussa, dm
c = latvuksen pituus ennustejakson lopussa, dm
$\bar{h}_1$ = neljän lähimmän puun keskipituus jakson lopussa, dm

Laadinta- ja testiaineiston perusteella yhtälössä ei ollut systemaattista virhettä.

132. Nyyssönen, A. & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Acta Forestalia Fennica 163.

Julkaisussa esitellään männyn ja kuusen pituuskasvuyhtälöitä.

Laaditut yhtälöt perustuvat männyn osalta Vuokilan (1965) vuosina 1961–1962 keräämään aineistoon, joka kuvataan kohdassa 38. Kuusen kasvuyhtälöiden laadinta-aineistona käytettiin metsänarvioimisen harjoitustöissä mitattua, 32 puhtaasta kuusikosta peräisin olevaa 497 koepuun aineistoa. Männyt olivat kaatokoepuita ja kuuset mitattiin pystypuina.

Pituuskasvumallit:

Mänty:

$$\ln(p_h) = 4{,}8735 - 0{,}8164 \cdot \ln(T) + 0{,}5793 \cdot \ln(d) - 1{,}2209 \cdot \ln(h) + 0{,}1159 \cdot \ln(i_h)$$

$$s_e = 33{,}6\ \% \quad s_f = 0{,}3275 \quad R^2 = 0{,}829$$

$$\ln(p_h) = 5{,}4636 - 0{,}9002 \cdot \ln(T) + 0{,}5475 \cdot \ln(d) - 1{,}1339 \cdot \ln(h)$$

$$s_e = 34{,}3\ \% \quad s_f = 0{,}3334 \quad R^2 = 0{,}822$$

$$\ln(p_h) = 3{,}1618 - 0{,}7518 \cdot \ln(H_{dom}) + 0{,}4466 \cdot \ln(d) - 1{,}0694 \cdot \ln(h) + 0{,}2760 \cdot \ln(i_h)$$

$$s_e = 42{,}3\ \% \quad s_f = 0{,}4059 \quad R^2 = 0{,}737$$

$$\ln(p_h) = 2{,}5883 + 0{,}6308 \cdot \ln(d) - 1{,}8653 \cdot \ln(h) + 0{,}3043 \cdot \ln(i_h)$$

$$s_e = 43{,}2\ \% \quad s_f = 0{,}4132 \quad R^2 = 0{,}727$$

Kuusi:

$$p_h = 12{,}7402 - 1{,}1786 \cdot \ln(T) - 0{,}0937 \cdot \ln(G) - 0{,}1434 \cdot \ln(D) - 0{,}8070 \cdot \ln(H_{med}) + 0{,}7563 \cdot \ln(d) - 2{,}0522 \cdot \ln(h)$$

$$s_e = 56{,}0\ \% \quad s_f = 0{,}6950 \quad R^2 = 0{,}691$$

$$p_h = 12{,}1823 - 1{,}3110 \cdot \ln(T) - 0{,}3260 \cdot \ln(V) + 0{,}6333 \cdot \ln(d) - 2{,}0323 \cdot \ln(h)$$

$$s_e = 57{,}0\ \% \quad s_f = 0{,}7020 \quad R^2 = 0{,}687$$

$$p_h = 10{,}3265 - 0{,}8851 \cdot \ln(V) + 0{,}5715 \cdot \ln(d) - 2{,}2711 \cdot \ln(h)$$

$$s_e = 63{,}0\ \% \quad s_f = 0{,}7760 \quad R^2 = 0{,}614$$

Missä:

p_h = vuotuisen pituuskasvu seuraavan 5-vuotisjakson aikana koronkorkoprosenttina, %

H_{med} = puuston keskipituus, m

i_h = menneen 5-vuotikauden vuotuinen (?) pituuskasvu, dm

Männyn yhtälöissä vakioitermeihin on lisätty logaritmimuunnoksen vaatima korjaustekijä $s^2/2$.

133. Hiltunen, J. 1981. Kuusitaimistojen kasvusta turvemailla. (Suometsäkilpailun (1964–68) koealoista valittujen taimistojen jatkokehityksen valossa). Suometsätieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Työssä kuvataan turvemaiden kuusitaimikoiden pituuskasvun riippuvuus lämpösummasta ja ylis- ja verhopuuston määrästä regressioyhtälöillä ja graafisesti.

Aineisto esitellään kohdassa 87. Pituuskasvu laskettiin eri vuosien (1975–1980) pituuksien erotuksena koepuittain ja yhdistettiin sitten osakoealakohtaisiksi keskiarvoiksi lukupuiden avulla.

Pituuskasvuyhtälöt:

$I_h = -27{,}88 + 0{,}05568 \cdot LS$ $\qquad R^2 = 0{,}262$

$I_h = 36{,}19 - 0{,}00739 \cdot YV$ $\qquad R^2 = 0{,}181$

missä I_h = keskimääräinen, vuotuinen pituuskasvu, cm/v

LS = lämpösumma, d.d./100

YV = ylis- ja verhopuuston määrä, kpl/ha

Lisäksi kuusitaimikoiden pituuskehitys vuosina 1964–1980 kuvataan graafisesti ilmasto-vyöhykkeittäin (E–S, K–S ja P–S), suotyyppiryhmittäin ja lannoitusluokittain.

Koska aineisto oli melko suppea ja eri tunnusten hajonta suurta, ei tulosten perusteella voida tehdä yleistäviä johtopäätöksiä kuusitaimistojen kehityksestä turvemailla.

134. Heikkilä, H. 1982. Mäntytaimikoiden kasvu turvemailla. (Vuosina 1964–68 toimeenpannun suometsäkilpilun kestokoealojen valossa). Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyössä esitellään turvemaiden mäntytaimikoiden pituuskasvun riippuvuus lämpösummasta ja metsäojitusboniteetista regressioyhtälöillä sekä graafisesti. Aineisto kuvataan kohdassa 88.

Pituuskasvuyhtälöt:

$I_h = -159{,}67 + 31{,}95 \cdot LS - 1{,}27 \cdot LS^2$ $\qquad R^2 = 0{,}411$

$I_h = 24{,}76 + 3{,}19 \cdot MOB$ $\qquad R^2 = 0{,}186$

missä I_h = keskimääräinen, vuotuinen pituuskasvu, cm/v
LS = lämpösumma, d.d./100
MOB = metsäojitusboniteetti Heikuraisen (1973) mukaan, 2–7

Lisäksi mäntytaimikoiden pituuskehitys vuosina 1964–1980 kuvataan graafisesti ilmastovyöhykkeittäin (E–S, K–S ja P–S), suotyyppiryhmittäin, tiheysluokittain, kuivatusteholuokittain ja lannoitusluokittain. Kuten edellä, suppean aineiston vuoksi tuloksia ei voida yleistää.

135. Werren, M. 1983. Some single tree models for larch. Metsänarvioimistieteen pro gradu -työ. Helsingin Yliopisto.

Lehtikuusen menneen kasvukauden pituuskasvua estimoidaan regressiomallilla.

Laadinta-aineisto oli muuten sama kuin kohdassa 16, mutta Metsäntutkimuslaitoksen aineistossa pituuskasvukoepuita oli 947 ja Vuokilan aineistossa yhteensä 302 kasvuhavaintoa, sillä yhdestä koepuusta oli useampia mittausjaksoja.

Metsäntutkimuslaitoksen aineistossa (vuoden 1981 inventointi) menneen kasvukauden pituuskasvu oli mitattu kiikarilla pystypuista. Vuokilan aineiston kasvutiedot perustuivat toistuviin pituusmittauksiin (hypsometrillä) kestokoealoilla. Mallia laadittaessa mennen vuoden pituuskasvuna käytettiin kolmen edellisen vuoden keskiarvoa.

Pituuskasvumalli:

$$i_h = \exp(3{,}81725 - 1{,}08958 \cdot \ln(t) + 0{,}72739 \cdot \ln(h) + 0{,}12540 \cdot dat + 0{,}05050)$$

Missä i_h = pituuskasvu edellisenä kasvukautena, cm
h = pituus, dm
dat = 1, jos aineistona on Vuokilan data, muuten 0.

Viimeisenä terminä eksponentissa on eksponenttimuunnoksen korjaustekijä harhan poistamiseksi ($s^2_y/2$). Yhtälön keskivirhe oli 0,3177 (32,6 %) ja selitysaste R^2 =0,3995.

Pituuskasvussa suurta vaihtelua aiheuttavat esim. säätekijät, metsikön käsittelytoimet ja puun asema latvuskerroksessa. Lisäksi pituuskasvun mittaus on hankalaa. Vuokilan aineiston perusteella pituuskasvulle saadaan suurempi estimaatti kuin vuoden 1981 inventointiaineistolla, mikä johtunee Vuokilan koepuiden nuoremmasta iästä ja sijainnista Etelä-Suomessa.

136. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden kehitystä. Julkaisussa on regressioyhtälöt kuusen, hies- ja rauduskoivun pituuskasvulle tulevalla 5-

vuotiskaudella.

Aineisto kuvataan kokonaisuudessaan kohdassa 10. Kuusen yhtälöt perustuvat 426, rauduskoivun 268 ja hieskoivun 157 kaatokoepuun aineistoon. Kaikki kaatokoepuut olivat metsikön valtapuita. Yhtälöiden vakiotermeihin on lisätty logaritmimuunnoksen korjaustekijä ($s^2/2$).

Kuusi:

$$\ln(i_{h5}) = -4{,}858 + 1{,}301 \cdot \ln(h) - 0{,}3877 \cdot \ln(h)^2 + 1{,}409 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}561 \quad s_e = 28{,}3\ \%$$

$$\ln(i_{h5}) = -2{,}602 + 0{,}5485 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}1493 \cdot \ln(t_{1,3})^2 + 0{,}9132 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}517 \quad s_e = 29{,}7\ \%$$

Rauduskoivu:

$$\ln(i_{h5}) = -6{,}178 + 0{,}9128 \cdot \ln(h) - 0{,}2975 \cdot \ln(h)^2 + 1{,}936 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}647 \quad s_e = 29{,}3\ \%$$

$$\ln(i_{h5}) = -3{,}338 + 0{,}07644 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}07455 \cdot \ln(t_{1,3})^2 + 1{,}343 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}641 \quad s_e = 29{,}6\ \%$$

Hieskoivu:

$$\ln(i_{h5}) = -5{,}057 + 0{,}3497 \cdot \ln(h) - 0{,}1664 \cdot \ln(h)^2 + 1{,}718 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}443 \quad s_e = 26{,}7\ \%$$

$$\ln(i_{h5}) = -3{,}719 + 0{,}3046 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}1081 \cdot \ln(t_{1,3})^2 + 1{,}313 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}513 \quad s_e = 24{,}9\ \%$$

Näiden yhtälöiden lisäksi laadittiin kuuselle pystykoepuiden mittauksiin perustuvat kasvuyhtälöt. Aineisto sisälsi sekä vallitseviin että vallittuihin latvuskerroksiin kuuluvia puita. Mukana oli yhteensä 894 koepuuta, joista pituuskasvu oli mitattu kiikarilla.

Kuusi:

$$\ln(i_{h5}) = 0{,}7238 - 0{,}5537 \cdot \ln(h) + 1{,}197 \cdot \ln(h/H_{dom}ku) + 0{,}3806 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}01448 \cdot B\text{–}\% - 0{,}0001755 \cdot B\text{–}\%^2$$

$R^2 = 0{,}394 \quad s_e = 33{,}1\ \%$

$$\ln(i_{h5}) = -0{,}4304 + 0{,}1832 \cdot \ln(d) - 1{,}045 \cdot \ln(h) + 0{,}2449 \cdot \ln(t_{1,3}) + 1{,}388 \cdot \ln(h/H_{dom}ku) + 0{,}7814 \cdot \ln(H_{100})$$

$R^2 = 0{,}406 \quad s_e = 33{,}0\ \%$

$$\ln(i_{h5}) = 1{,}079 - 0{,}5298 \cdot \ln(h) + 1{,}174 \cdot \ln(h/H_{dom}ku) + 0{,}3333 \cdot \ln(H_{100})$$

$R^2 = 0{,}383 \quad s_e = 33{,}3\ \%$

missä:

i_{h5} = tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvu, m
$t_{1,3}$ = rinnankorkeudelta mitattu ikä, a
B-% = koivun osuus puuston pohjapinta-alasta, %
$H_{dom}ku$ = kuusen valtapituus, m
H_{100} = kuusen pituusboniteetti (valtapituus 100 vuoden iällä), m

Kiikarimittauksiin perustuvilla yhtälöillä tulee pitkän ajan kasvuennusteisiin huomattava yliarvio, jonka korjaamiseksi laskettiin runkoanalyysipuiden perusteella korjausyhtälö:

$$\ln(ihm/ihc) = -3{,}341 - 0{,}1941 \cdot \ln(h) + 1{,}1072 \cdot \ln(H_{100})$$

missä ihm = todellinen (kaatokoepuusta mitattu) pituuskasvu
ihc = yhtälöllä laskettu pituuskasvu

137. Saksa, T. 1986. Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa. Folia For. 644.

Julkaisussa esitellään graafiset mallit viljellyn (istutettu ja kylvetty) ja luontaisesti syntyneen männyn, luontaisesti syntyneen kuusen sekä siemen- ja vesasyntyisen hies- ja rauduskoivun pituuskehitykselle tuoreilla ja kuivahkoilla kankailla Pohjois-Karjalassa.

Taimikkoaineisto oli peräisin Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueilla vuosina 1965–1980 muokatuilta (auraus, äestys tai kulotus) uudistusaloilta. Koealoja mitattiin kaikkiaan 54 eri uudistusalalla. Taimien pituuskehitys kuvataan biologisen iän funktiona 0–10 vuoteen puulajeittain, syntytavoittain ja metsätyypeittäin.

138. Tähtinen, T. 1987. *Pinus contortan* ja *P. sylvestriksen* alkukehityksen vertailua. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin Yliopisto.

Kontortamännyn ja tavallisen männyn pituuden kehitys kuvataan yhtälöissä iän funktiona.

Aineisto kerättiin vuonna 1973 ja sen jälkeen perustetuista kontortataimikoista, jotka sijaitsi-

vat Enso Gutzeit Oy.:n hankinta-alueilla Etelä- ja Keski-Suomessa. Viljelyalueita oli yhteensä 183, joista 33 systemaattisella otannalla valitulle alueelle perustettiin pysyvä koeala. Koeala-aineisto jakautui kahteen osaan: a-ryhmä, jonka koealoille löydettiin vastaava mänty-vertailukoeala (24 kpl), ja b-ryhmä, joille vertailualaa ei löytynyt (9 kpl). Koealat edustivat MT:n, huonon MT:n ja VT:n kankaita.

Kontortametsiköiden iät vaihtelivat 4–15 v. Osalla koealueista oli tehty taimikonhoitotöitä: perkaus oli joko mekaaninen, mekaaninen ja/tai kemiallinen. Perustamisvaiheessa käytetyt maankäsittelymenetelmät olivat auraus, äestys tai äestys ja kulotus, osalla koealueista maanmuokkausta ei ollut tehty ollenkaan. Taimikoiden keskimääräinen tiheys oli 1910 kpl/ha.

Maastotyöt tehtiin kesällä 1984, jolloin 10 aarin ympyräkoealoilta luettiin kaikkiaan 11061 puuta. Varsinaisena aineistona käytettiin kunkin koealan 120 pisintä puuta tai kaikkia puita, jos niitä oli 120:tä vähemmän.

Pituuden kehitysyhtälöt:

Koko aineisto:
mänty:

$$\ln(H) = -2{,}67096 - 0{,}00327 \cdot T + 1{,}55474 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}92$$

kontorta:
A-ryhmä:

$$\ln(H) = -1{,}78662 + 0{,}15190 \cdot T + 0{,}39081 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}86$$

A+B-ryhmä:

$$\ln(H) = -2{,}96103 - 0{,}04010 \cdot T + 1{,}83136 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}88$$

Mustikkatyypillä:
mänty:

$$\ln(H) = -1{,}60696 + 0{,}22384 \cdot T \qquad R^2 = 0{,}97$$

kontorta:
A-ryhmä:

$$\ln(H) = -1{,}39535 + 0{,}22639 \cdot T \qquad R^2 = 0{,}99$$

A+B–ryhmä:

$$\ln(H) = -2{,}5620 + 0{,}03978 \cdot T + 1{,}137889 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}98$$

Huonolla mustikkatyypillä:
mänty:

$$\ln(H) = -1{,}31137 + 0{,}16325 \cdot T + 0{,}13399 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}87$$

kontorta:
A–ryhmä:

$$\ln(H) = -1{,}06187 + 0{,}12882 \cdot T + 0{,}26045 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}78$$

A+B-ryhmä:

$$\ln(H) = -2{,}00842 + 0{,}00938 \cdot T + 1{,}20116 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}82$$

Puolukkatyypillä:
mänty:

$$\ln(H) = -2{,}55268 + 0{,}08210 \cdot T + 1{,}02683 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}94$$

kontorta:
A-ryhmä:

$$\ln(H) = -4{,}28103 - 0{,}17255 \cdot T + 2{,}97578 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}89$$

A+B-ryhmä:

$$\ln(H) = -4{,}39536 - 0{,}19899 \cdot T + 3{,}13332 \cdot \ln(T) \qquad R^2 = 0{,}88$$

139. Kolström, T. 1988. Modelling early development of a planted pine stand as an application of object-oriented programming. Thesis for the Degree of Licentiate of Science in Agriculture and Forestry. Joensuun Yliopisto.

Istutusmännyn ja vesakoivun pituusmallit laadittiin istutusmännikön alkukehityksen simulointia varten.

Mallituksessa käytettiin logistista kasvumallia, jonka parametrit estimoitiin muiden tutkimustulosten perusteella. Männyn kasvumallin lähteet olivat Kinnunen & Linnimäki (1978), Kinnunen & Nerg (1983), Leikola ym. (1977), Rautiainen & Räsänen (1980) ja Vuokila & Väliaho (1980). Koivun kasvumallin parametrien estimoinnissa käytettiin seuraavia lähteitä: Parviainen (1979, 1985), Valtanen & Engberg (1987) ja Raulo & Rikala (1981). Simuloinnissa mallin antamaan pituusestimaattiin lisättiin normaalijakautunut satunnaisluku, jonka varianssi oli 20 %.

Pituuden kehitysmallit:
Mänty:

$$y = 30{,}00/(1 + 35{,}79 \cdot \exp(-0{,}12 \cdot t) \qquad R^2 = 0{,}89 \quad s_e = 29{,}14$$

Koivu:

$$y = 28{,}00/(1 + 28{,}75 \cdot \exp(-0{,}16 \cdot t) \qquad R^2 = 0{,}94 \quad s_e = 40{,}95$$

missä:

y = taimen pituus, m
t = taimen ikä, a

Männyn ja koivun pituuskehitysmallien lisäksi taimikon alkukehityksen (20 v) simulointimalliin kuuluivat heinän pituuden ja biomassan kehitysmallit, männyn ja koivun kuolemismallit (Kellomäki ym. 1988) sekä kilpailutekijä, joka kuvaa varjostuksen vaikutusta kasvuun eli kilpailua valosta.

140. Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000–versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Puuntuotoksen tutkimussuunta.

Julkaisussa esitellään suurten puiden pituuskasvumalli ja pienten puiden pituuskehityksen eli rinnankorkeuden saavuttamisiän ennustava regressiomalli. Mallit on laadittu metsikön kehityksen simulointia varten.

Suurten puiden pituuskasvumallin laadinta-aineistona oli VMI7:n koepuuaineistosta rajattu osite. Mukaan otettiin ne kangasmaalla sijainneet koealat, jotka olivat kokonaan samalla kuviolla, pääpuulajin osuus oli yli 70 % tilavuudesta ja joilla ei ollut maa- ja veroluokan tarkennusta, tuhoja eikä kasvunlaskentajakson aikana tehtyjä hakkuita. Mallin parametrit estimoitiin erikseen männylle ja kuuselle epälineaarisella regressioanalyysillä pienimmän neliösumman menetelmällä.

Pienten puiden alkukehityksen mallituksessa aineistona käytettiin Vuokilan ja Laasasenahon toimesta vuosina 1968–1971 kerättyä taimikoiden taksatorisen varhaiskehityksen aineistoa (=TTKV-aineisto). Valtapituudeltaan n. 5-metrisistä viljelytaimikoista mitattiin yhteensä 122 koealaa ja jokaiselta koealalta 20 pituuskasvukoepuuta. Aineisto kattaa koko maan. Muuttujan $thref_{13}$ arvot perustuvat TTVK-aineiston mittauksiin ja VMI7:ssä käytettyihin ikälisäystaulukoihin.

Mallien luotettavuutta tarkasteltiin vertaamalla niiden antamia ennusteita yhden kasvujakson mittauksiin testiaineistossa, kestokokeiden ja uudistamis- sekä kasvu- ja tuotostutkimusten tuloksiin. Käytetyt testiaineistot olivat VMI7:n relaskooppikoealat ja pysyvien koealojen INKA-aineisto, jonka perustana on osite VMI6:n koealaverkosta. Pitkän ajan ennusteiden luotettavuutta tutkittiin Metsäntutkimuslaitoksen toistuvasti harvennettujen kestokokeiden (HARKAS-aineisto) avulla.

Suurten puiden pituuskasvumalli:
Valtapuiden pituuskehitys kuvattiin yhtälöllä:

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

missä t = puun rinnankorkeusikä, a
A, k ja m = mallin parametrejä, A määrittää funktion asymptootin

$$A = \beta_{mt} \cdot (\beta_1 + LS)^{\beta_2} \cdot (g/gmax)^{\beta_3}$$

LS = lämpösumma, d.d.
g = puun kuoreton pohjapinta-ala
gmax = koealan suurimman puun kuoreton pohjapinta-ala
β_1, β_2 ja β_3 = parametrejä
β_{mt} = metsätyypittäinen vakio

Pituuskasvumalli oli siten muotoa

$$i_h = h_5(LS, a_5, g_0, gmax_0) - h_0(LS, a_0, g_0, gmax_0)$$

missä indeksi $_0$ tarkoittaa tilannetta mittausjakson alussa ja $_5$ viisi vuotta myöhemmin.

Koivulle ei voitu laatia omaa pituuskasvumallia, koska VMI7:ssä ei mitattu koivun pituuskasvuja. Metsikön kasvua simuloitaessa lehtipuiden kasvu ennustetaan männyn mallilla. Turvemailla kasvavien puiden kasvua ennustettaessa kankaan pituuskasvumallien antamaa tulosta korjataan seuraavilla kertoimilla:

ojitustilanne	korjauskerroin
Luonnontilainen suo	0,6
Ojikko	0,7
Muuttuma	0,9
Turvekangas	1,0

VMI7-aineiston mukaan tuhojen pituuskasvua vähentävä vaikutus on mallissa 25 %.

Pienten puiden pituuskehitys:

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

missä th = rinnankorkeuden saavuttamisikä, a

G = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m^2/ha

Gapu = (G–10). Jos (G–10) < 0, niin Gapu = 0

$thref_{13}$ = rinnankorkeuden saavuttamisikä puulajin ja metsä-tai suotyypin funktiona lämpösumman ollessa 1300 d.d. ja metsikön pohjapinta-alan ollessa 0 m^2/ha

pt = perustamistapa–valemuuttuja; pt = 0, jos puu on syntynyt luontaisesti ja pt = 1, jos puu on viljelty.

LS = lämpösumma, d.d.

Muuttujan $thref_{13}$ arvot lämpösumman ollessa 1300 d.d. esitetään seuraavassa asetelmassa.

metsätyyppi	puulaji			
	mänty	kuusi	raudus	muu lehtipuu
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
ClT	12,0	14,0	12,0	12,0
Kalliot	10,2	14,0	10,2	10,2

Pituuskasvua laskettaessa oletetaan, että kasvu tulevan 5-vuotiskauden (simulointiaskeleen) aikana on sama kuin keskimääräin siihen asti rinnankorkeuden saavuttamisiän mallin mukaan, eli

$$i_h = SAP \cdot 1{,}3/th$$

missä SAP = simulointiaskeleen pituus, a.

Simulointilaskelmissa rinnankorkeusikämallin antamaan ennusteeseen lisätään ± 10 %:n satunnaisvaihtelu ja pituuskasvuennusteeseen (i_h) ± 40 % satunnaisvaihtelu kuvaamaan luontaisen alkukehityksen vaihtelua.

Pituuskasvuennusteen luotettavuuden keskimääräisiä tunnuslukuja VMI- ja INKA-aineistoissa esitetään pääpuulajeittain kankailla ja soilla. MELA:n kasvumallit aliarvioivat pituuden alkukehitystä selvästi istutuskuusikoissa ja hieman männiköissä verrattuna kasvu- ja tuotostutkimuksiin (esim. Cajander 1933, Vuokila & Väliaho 1980, Varmola 1987).

141. Koivula, S. 1991. Koivun pituuskasvun mallittaminen. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun Yliopisto.

Koivun pituuskasvua ennustetaan regressiomalleilla. Laajassa mallissa selittäjinä ovat kaikki mahdolliset merkittävät muuttujat. Suppeassa mallissa selittäviksi muuttujiksi hyväksyttiin vain metsänarvioimistehtävissä (VMI:ssä) yleensä mitattavia tunnuksia.

Laadinta-aineistona olivat Valtakunnallisen puututkimuksen (VAPU) kaatokoepuut, jotka oli mitattu vuosina 1988–1989 Etelä-Suomen VMI8-koealoilta (Helsingin, Lounais-Suomen ja Satakunnan metsälautakuntien alueella). Koepuita oli yhteensä 74, joista 40 % oli rauduskoivuja ja 60 % hieskoivuja. Suurin osa koepuista oli iältään alle 60 vuotiaita. Yleisimmät kasvupaikat olivat MT ja OMT, mutta mukana oli myös VT:llä ja kallioilla (ja/tai louhikoissa) kasvaneita koivuja. Valtaosa koepuista kasvoi sekametsiköissä, koealametsikköjen yleisin pääpuulaji oli kuusi.

Koepuista otettiin latvasta lukien 4 m:n matkalta 20 cm:n välein kasvunäytekiekot, joista mitattujen lustojen avulla määritettiin viiden viimeisen vuoden pituuskasvu. Mittauskesän kesken jäänyttä kasvua ei otettu mukaan.

Tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvumallit:

Laaja malli:

$$\ln(i_{h5}) = -2{,}144230 - 0{,}017586 \cdot t - 20{,}041728 \cdot 1/d_{1,3} + 0{,}933311 \cdot (h-h_c)/h + 0{,}005817 \cdot ls - 0{,}575290 \cdot m_e$$

$R^2 = 68{,}0\ \%$ $\quad s_e = 0{,}36$

Suppea malli:

$$\ln(h_{i5}) = 5{,}178371414 - 0{,}004220545 \cdot d_{1,3} + 0{,}366297052 \cdot pl + 0{,}387763515 \cdot kp - 0{,}368349165 \cdot m_e$$

$R^2 = 30{,}0\ \%$ $\quad s_e = 0{,}52$

missä:

i_{h5} = tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvu, cm
t = puun biologinen ikä jakson alussa, v
$d_{1,3}$ = rinnankorkeusläpimitta jakson alussa, cm
h = puun pituus jakson alussa, m

h_c = latvusrajan korkeus, m
ls = lämpösumma, d.d.
m_e = suhdeluku koealan etäisyydelle merestä; jos etäisyys on yli 25 km, m_e = 0, muuten m_e = 25 – emer/25 (emer = etäisyys merestä, km)
pl = puulajivalemuuttuja; pl = 1, jos puulaji on rauduskoivu
kp = kasvupaikkavalemuuttuja; kp =1, jos kasvupaikka on OMT

Pituuskasvua estimoitaessa vakioon on lisättävä logaritmimuunnoksesta johtuvan harhankorjaamiseksi tekijä $s_e^2/2$.

Laajan pituuskasvumallin harha oli –0,9 cm (keskivirhe 48,66 cm) ja suppean mallin –4,59 cm (keskivirhe 69,37 cm). Suppean mallin muuttujat eli VMI:ssä mitattavat tunnukset eivät riitä koivun pituuskasvun ennustamiseen tarkasti. Laaja malli pyrkii tasoittamaan kasvueroja, eli se antaa nuorille hyväkasvuisille puille aliarvioita ja hitaasti kasvaville yliarvioita.

Mallien tarkkuutta testattiin myös laskemalla pituuskasvun estimoinnista tilavuuskasvun estimaattiin aiheutuva virhe. Todellisen ja laajalla mallilla estimoidun tilavuuskasvun erotus (eli harha) oli –0,27 dm^3 ja sen keskivirhe oli 3,39 dm^3 eli 18,31 % todellisesta keskikasvusta. Todellisten ja suppealla mallilla estimoitujen tilavuuskasvujen erotus oli 0,00013 dm^3 ja sen keskivirhe 4,34 dm^3 eli 23,48 % todellisesta tilavuuskasvusta.

3.2.1.3. Pohjapinta-ala

142. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivun tulevan 5-vuotiskauden pohjapinta-alan kasvuprosentti ennustetaan regressioyhtälöllä. Kasvuyhtälö laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten.

Aineisto kuvataan kohdassa 84. Puukohtaiset kasvuyhtälöt perustuvat 29 koealan kasvuanalyysipuihin.

Pohjapinta-alan kasvuyhtälö:

$$p_{g5} = 206{,}47224 + 18{,}30543 \cdot ((120 - t_{1,3})/100)^{24} - 29{,}76295 \cdot ((120 - t_{1,3})/100)^{14} + 4245{,}13654 \cdot (\bar{e}_1/\bar{h}_1)^5 - 39{,}40741 \cdot \sqrt{\bar{e}_1}/\sqrt{d} - 1{,}32089 \cdot i_d - 192{,}31856 \cdot (d_5/d)^2$$

$$R^2 = 0{,}934 \quad s_e = 26{,}1\ \%$$

Missä p_{g5} = tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman pohjapinta-alan kasvuprosentti (5 v:n summaprosentti), %

l = neljän lähimmän puun keskimääräinen etäisyys koepuusta, dm
l = neljän lähimmän puun keskipituus jakson lopussa, dm
d = puun kuoreton läpimitta ennustejakson alussa, mm
d_5 = puun kuoreton läpimitta viisi vuotta ennen ennustejakson alkua, mm
$i_d = d - d_5$, mm

Laadinta- ja testiaineiston perusteella yhtälössä ei ollut systemaattista virhettä. Yhtälö on luotettava, kun kasvuprosentti vaihtelee 5–50 %.

143. Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Commun. Inst. For. Fenn. 99(3).

Tutkimuksen varsinaisena tavoitteena oli tarkastella mänty-koivusekametsien rakennetta ja kehitystä. Samassa yhteydessä laadittiin männyn ja rauduskoivun tulevan 5-vuotiskauden pohjapinta-alan kasvuyhtälöt erikseen puhtaissa metsiköissä ja sekametsiköissä.

Aineisto kuvataan kohdassa 96. Puiden sädekasvut mitattiin rinnankorkeudelta kairaamalla ja ilmastolliset vaihtelut tasoitettiin koemetsiköistä valittujen koepuiden perusteella laadittujen vuosilustoindeksien avulla.

Pohjapinta-alan kasvumallit:

Mänty sekametsikössä:

$$\ln(i_g) = 3{,}578 - 0{,}1564 \cdot \ln(G_p) - 0{,}2805 \cdot \ln(d) - 0{,}5887 \cdot \ln(t_{1,3}) + 0{,}2825 \cdot \ln(cr) - 0{,}007563 \cdot V_b\% + 0{,}0000963 \cdot V_b\%^2 + 1{,}238 \cdot \ln(h/\bar{h}_1)$$

$N = 509 \quad R^2 = 0{,}33 \quad s_e = 35{,}0\ \%$

Mänty männikössä:

$$\ln(i_g) = 3{,}866 - 0{,}1756 \cdot \ln(G_p) - 0{,}2660 \cdot \ln(d) - 0{,}7386 \cdot \ln(t_{1,3}) + 0{,}3564 \cdot \ln(cr) + 1{,}086 \cdot \ln(h/\bar{h}_1)$$

$N = 537 \quad R^2 = 0{,}40 \quad s_e = 31{,}3\ \%$

Rauduskoivu sekametsikössä:

$$\ln(i_g) = 5{,}587 - 0{,}09864 \cdot \ln(G_p) - 1{,}133 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}01487 \cdot \ln(V_b\%) + 0{,}5846 \cdot \ln(h/l)$$

$N = 494 \quad R^2 = 0{,}41 \quad s_e = 38{,}3\ \%$

Rauduskoivu koivikossa:

$$\ln(i_g) = 5{,}662 - 0{,}1540 \cdot \ln(G_p) - 0{,}2979 \cdot \ln(d) - 0{,}9209 \cdot \ln(t_{1,3}) + 1{,}193 \cdot \ln(h/l)$$

$N = 471 \quad R^2 = 0{,}36 \quad s_e = 38{,}0\ \%$

Missä i_g = menneen 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen kuorettoman pohjapinta-alan kasvu, % mittausajankohdan kuorellisesta pohjapinta-alasta
G_p = lähipuiden pohjapinta-ala, m^2/ha
$t_{1,3}$ = rinnankorkeudelta mitattu ikä, a
l = relaskooppikoealan puiden aritmeettinen keskipituus, m
cr = latvuksen osuus puun pituudesta (latvussuhde), %
V_b% = koivun osuus puuston tilavuudesta, %

Ympäröivän puuston pohjapinta-ala kuvaa puun käytössä olevaa kasvutilaa ja sen laskemiseksi laadittiin seuraavat yhtälöt:

Mänty sekametsikössä:

$$\ln(G_p) = 2{,}075 - 0{,}2157 \cdot \ln(d) + 0{,}5744 \cdot \ln(G)$$

Mänty männikössä:

$$\ln(G_p) = 2{,}570 - 0{,}1398 \cdot \ln(d) + 0{,}3643 \cdot \ln(G)$$

Rauduskoivu sekametsikössä:

$$\ln(G_p) = 1{,}649 - 0{,}2611 \cdot \ln(d) + 0{,}7260 \cdot \ln(G)$$

Rauduskoivu koivikossa:

$$\ln(G_p) = 2{,}175 - 0{,}3112 \cdot \ln(d) + 0{,}5939 \cdot \ln(G)$$

144. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Julkaisussa kuvataan regressioyhtälöt kuusen, hies- ja rauduskoivun kuorellisen pohjapinta-alan kasvulle tulevalla 5-vuotiskaudella. Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden kehitystä. Kuuselle laadittiin kasvuyhtälöt erikseen hies- ja rauduskoivun seassa.

Aineisto esitellään kohdassa 10. Kuusen yhtälöt perustuvat rauduskoivusekametsiköissä 503 ja hieskoivusekametsiköissä 386 puun kairattuihin kasvuihin. Kaikki kasvuluvut on korjattu keskimääräisilmaston tasoon tutkimusaineiston perusteella laadituilla vuosilustoindekseillä. Joitakin muusta aineistosta huomattavasti poikkeavia puita poistettiin aineistosta. Minimivaatimuksina olivat 3 cm:n rinnankorkeusläpimitta, 5 v:n ikä, 2 mm:n läpimitan kasvu (5 v:ssa) ja 15 % latvussuhde.

Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt:
Kuusi rauduskoivun seassa (N = 503 kpl):

$$\ln(i_{g5}) = 2{,}167 + 0{,}2551 \cdot d - 0{,}004091 \cdot d^2 + 0{,}6708 \cdot \ln(cr) - 0{,}5414 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}5098 \cdot \ln(G) - 0{,}1218 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}726 \quad s_e = 40{,}0\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = 0{,}9491 + 0{,}1142 \cdot d - 0{,}00163 \cdot d^2 + 0{,}7742 \cdot \ln(cr) - 0{,}3772 \cdot \ln(G) + 0{,}3392 \cdot \ln(H_{100}) - 0{,}2551 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%) + 0{,}8393 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}733 \quad s_e = 39{,}5\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = 4{,}184 + 0{,}1081 \cdot d - 0{,}001437 \cdot d^2 - 0{,}5899 \cdot \ln(G) + 0{,}4755 \cdot \ln(H_{100}) - 0{,}2114 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%) + 0{,}8846 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}705 \quad s_e = 41{,}6\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = -0{,}2157 + 1{,}644 \cdot \ln(h) + 0{,}8931 \cdot \ln(cr) - 0{,}4225 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}5492 \cdot \ln(G) - 0{,}1496 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}675 \quad s_e = 43{,}8\ \%$

Kuusi hieskoivun seassa (N = 386):

$$\ln(i_{g5}) = -3{,}661 + 0{,}1081 \cdot d - 0{,}001517 \cdot d^2 + 0{,}8794 \cdot \ln(cr) - 0{,}5078 \cdot \ln(G) + 1{,}184 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}8788 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}823 \quad s_e = 35{,}2\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = -4{,}659 + 0{,}1894 \cdot d - 0{,}003075 \cdot d^2 + 0{,}9593 \cdot \ln(cr) - 0{,}6906 \cdot \ln(G) + 1{,}251 \cdot \ln(H_{100})$$

$R^2 = 0{,}769 \quad s_e = 40{,}2\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = 0{,}3665 + 0{,}1096 \cdot d - 0{,}001518 \cdot d^2 - 0{,}7183 \cdot \ln(G) + 1{,}307 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}9291 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}791 \quad s_e = 38{,}4\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = -0{,}6621 + 1{,}639 \cdot \ln(h) + 0{,}9305 \cdot \ln(cr) - 0{,}4068 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}7635 \cdot \ln(G) - 0{,}7635 \cdot \ln(G)$$

$R^2 = 0{,}750 \quad s_e = 42{,}0\ \%$

Rauduskoivu (N = 474):

$$\ln(i_{g5}) = 2{,}127 + 0{,}2294 \cdot d - 0{,}003271 \cdot d^2 + 0{,}8772 \cdot \ln(cr) - 0{,}3747 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}1844 \cdot \ln(G) - 0{,}3736 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}641 \quad s_e = 43{,}6\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = 6{,}737 + 0{,}2640 \cdot d - 0{,}003781 \cdot d^2 - 0{,}5628 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}4224 \cdot \ln(G) - 0{,}3961 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}605 \quad s_e = 45{,}9\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = 7{,}055 + 0{,}2324 \cdot d - 0{,}00322 \cdot d^2 - 0{,}5776 \cdot \ln(G) - 0{,}6243 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}579 \quad s_e = 47{,}5\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = -2{,}828 + 1{,}842 \cdot \ln(h) + 1{,}433 \cdot \ln(cr) - 0{,}2031 \cdot \ln(G) - 0{,}4989 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}442 \quad s_e = 55{,}4\ \%$

Hieskoivu (N = 375):

$$\ln(i_{g5}) = -2{,}286 + 0{,}2108 \cdot d - 0{,}002783 \cdot d^2 + 0{,}7649 \cdot \ln(cr) - 0{,}8281 \cdot \ln(t_{1,3}) + 0{,}8066 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}1248 \cdot \ln(B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}705 \quad s_e = 40{,}5\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = 2{,}647 + 0{,}2628 \cdot d - 0{,}003832 \cdot d^2 - 0{,}9540 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}3083 \cdot \ln(G) + 0{,}6413 \cdot \ln(H_{100})$$

$R^2 = 0{,}676 \quad s_e = 42{,}6\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = -3{,}362 + 0{,}1212 \cdot d - 0{,}0009563 \cdot d^2 - 0{,}6015 \cdot \ln(G) + 2{,}110 \cdot \ln(H_{100})$$

$R^2 = 0{,}570 \quad s_e = 49{,}4\ \%$

$$\ln(i_{g5}) = -4{,}762 + 1{,}896 \cdot \ln(h) + 1{,}270 \cdot \ln(cr) - 0{,}09758 \cdot \ln(t_{1,3})^2 - 0{,}3901 \cdot \ln(G) + 0{,}1448 \cdot \ln(H_{100})$$

$R^2 = 0{,}526 \quad s_e = 52{,}2\ \%$

Näiden tulomuotoisten (pns-estimointi) regressiomallien lisäksi laadittiin selittäjien multikollineaarisuuden poistamiseksi harjaestimoidut mallit, joita käytettiin metsikön kehityksen pitkän ajan simuloinnissa.

Kuusi rauduskoivun seassa:
pns-estimointi:

$$\ln(i_{g5}) = 6{,}169 + 1{,}477 \cdot \ln(d) - 0{,}6785 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}5644 \cdot \ln(G) - 0{,}5573 \cdot \ln(H_{100}) - 0{,}06102 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%) + 0{,}4244 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}727 \quad s_e = 39{,}6\ \%$

harjaestimointi:

$$\ln(i_{g5}) = 3{,}340 + 0{,}7181 \cdot \ln(d) - 0{,}1367 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}4924 \cdot \ln(G) + 0{,}3417 \cdot \ln(H_{100})$$

$$-0{,}08919 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%) + 0{,}8750 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}698 \quad s_e = 41{,}9\ \%$

Kuusi hieskoivun seassa:
pns-estimointi:

$$\ln(i_{g5}) = 1{,}847 + 1{,}360 \cdot \ln(d) - 0{,}5490 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}6141 \cdot \ln(G) + 0{,}6075 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}4935 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}811 \quad s_e = 36{,}2\ \%$

harjaestimointi:

$$\ln(i_{g5}) = 0{,}1271 + 0{,}6937 \cdot \ln(d) - 0{,}04185 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}5869 \cdot \ln(G) + 1{,}128 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}8995 \cdot \ln(h/H_{dom}ku)$$

$R^2 = 0{,}784 \quad s_e = 38{,}8\ \%$

Rauduskoivu:
pns-estimointi:

$$\ln(i_{g5}) = 4{,}219 + 2{,}051 \cdot \ln(d) - 0{,}5373 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}4421 \cdot \ln(G) - 0{,}3859 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}603 \quad s_e = 45{,}8\ \%$

harjaestimointi:

$$\ln(i_{g5}) = 4{,}384 + 1{,}549 \cdot \ln(d) - 0{,}3416 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}4389 \cdot \ln(G) - 0{,}3101 \cdot \ln(t_{1,3} \cdot B\text{–}\%)$$

$R^2 = 0{,}568 \quad s_e = 48{,}0\ \%$

Hieskoivu:
pns-estimointi:

$$\ln(i_{g5}) = 0{,}6373 + 1{,}907 \cdot \ln(d) - 0{,}9852 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}4294 \cdot \ln(G) + 0{,}7468 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}006658 \cdot \ln(B\text{–}\%)^2$$

$R^2 = 0{,}673 \quad s_e = 42{,}5\ \%$

harjaestimointi:

$$\ln(i_{g5}) = -2{,}230 + 1{,}116 \cdot \ln(d) - 0{,}3171 \cdot \ln(t_{1,3}) - 0{,}4363 \cdot \ln(G) + 1{,}488 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}01359 \cdot \ln(B\text{–}\%)^2$$

$R^2 = 0{,}591 \quad s_e = 48{,}0\ \%$

missä:

i_{g5} = tulevan 5-vuotiskauden pohjapinta-alan kasvu, cm^2
B-% = koivun osuus puuston pohjapinta-alasta, %
$H_{dom}ku$ = kuusen valtapituus, m
H_{100} = kuusen pituusboniteetti (valtapituus 100 vuoden iällä), m

Yhtälöiden vakiotermeissä on mukana logaritmimuunnoksen korjaustekijä ($s^2/2$).

145. Pukkala, T. 1988b. Predicting diameter growth in even-aged Scots pine stands. Silva Fenn. 23(2).

Lineaarisella regressioanalyysillä laadittiin männyn pohjapinta-alan kasvumalleja. Mallit perustuvat luontaisesti syntyneistä tasaikäisistä puhtaista männiköistä koottuun aineistoon, joka kuvataan kohdassa 121.

Perinteiset kasvumallit:

$$\ln(i_g) = -7{,}847 - 0{,}8604 \cdot d - 3{,}995 \cdot \ln(d) + 9{,}016 \cdot \sqrt{d} + 0{,}003974 \cdot g + 41{,}33/(t+10) - 0{,}5349 \cdot \ln(G)$$

$N = 4597 \quad R^2 = 0{,}723 \quad s_e = 0{,}562$

$$\ln(p_g) = -2{,}763 - 0{,}03335 \cdot t + 1{,}979 \cdot \ln(t) + 63{,}69/(t+5) - 0{,}04136 \cdot G + 0{,}01184 \cdot T - 0{,}4528 \cdot \ln(T)$$

$N = 4597 \quad R^2 = 0{,}591 \quad s_e = 0{,}571$

$$\ln(i_g) = 0{,}1676 + 0{,}5297 \cdot i_{dp} + 0{,}007027 \cdot i_{gp} + 1{,}164 \cdot \ln(d) - 0{,}2780 \cdot \ln(t) - 0{,}0252 \cdot G + 0{,}02698 \cdot H_g$$

$N = 3708 \quad R^2 = 0{,}799 \quad s_e = 0{,}455$

Spatiaaliset kasvumallit:

$$\ln(i_g) = -3{,}093 - 0{,}1815 \cdot d + 2{,}052 \cdot \sqrt{d} + 38{,}85/(t+10) - 0{,}009561 \cdot \Sigma_5 d_j/s_j + 1{,}043 \cdot d/D_{<5} - 0{,}01173 \cdot G$$

$N = 4001 \quad R^2 = 0{,}782 \quad s_e = 0{,}487$

$$\ln(p_g) = 7{,}626 - 0{,}8289 \cdot \ln(d) - 0{,}6375 \cdot \ln(t) - 0{,}8183 \cdot \Sigma_5 A_j(d/d_j) + 0{,}1727 \cdot \Sigma_5 A_j(d/d_j)^{1{,}6} + 0{,}7418 \cdot d/D_{<5} - 0{,}2653 \cdot \ln(G)$$

$N = 4001 \quad R^2 = 0{,}716 \quad s_e = 0{,}487$

$$\ln(i_g) = -2{,}377 + 0{,}8742 \cdot \ln(i_{dp}) + 0{,}4596 \cdot \ln(g) - 0{,}006178 \cdot \Sigma_5 d_j/s_j + 0{,}3261 \cdot d/D_{<5} + 2{,}936 \cdot SI - 2{,}724 \cdot \ln(SI)$$

$N = 3521 \quad R^2 = 0{,}886 \quad s_e = 0{,}335$

missä:

i_g = pohjapinta-alan kasvu tulevan 5-vuotiskauden aikana, cm^2
p_g = pohjapinta-alan suhteellinen kasvu tulevan 5-vuotiskauden aikana, %
i_{dp} = menneen 5-vuotiskauden läpimitan kuorellinen kasvu, cm
i_{gp} = menneen 5-vuotiskauden pohjapinta-alan kuorellinen kasvu, cm^2
t = puun rinnankorkeusikä, a
T = metsikön pohjapinta-alalla painotettu keski-ikä (rinnankorkeudella), a

D_g = puuston pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm
H_g = pohjapinta-alalla painotettu keskipituus, m
SI = kasvupaikkaindeksi ($=H_{dom}/H_{ref}$, $H_{ref} = 28/(1+2412 \cdot (T+12)^{-2,033})$
$D_{<5}$ = naapuripuiden (<5 m lähempänä) pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta, cm
Σ_5 = 5 m:n säteellä olevat puut sisällytetään summaan
A_j = kulmasumma (l. puun rinnankorkeudelta (ytimestä) naapuripuun rungon laidolle vedettyjen suorien välinen kulma), rad
s_j = etäisyys naapuripuuhun, m

Mallien vakioihin on lisättävä harhattomuuden korjaustermit $s_e^2/2$.

Tässä esitettyjen spatiaalisten mallien lisäksi tutkimuksessa laadittiin ekologisen kentän teoriaan perustuvat spatiaaliset kasvumallit (s. 209).

146. Pukkala, T. 1989. Methods to describe the competition process in a tree stand. Scand. J. For. Res. 4:187–202.

Artikkelissa esitellään männyn pohjapinta-alan spatiaalinen kasvumalli.

Laadinta-aineisto mitattiin Pohjois-Karjalassa sijaitsevasta männiköstä, joka kuvataan tarkemmin kohdassa 22.

Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt:

$$\ln(i_g) = -0,4567 + 1,4961 \cdot \ln(d) - 0,05653 \cdot h + 0,07393 \cdot D - 0,6294 \cdot \ln(AS+0,01)$$
$R^2 = 0,827 \qquad s_e = 0,53$

$$\ln(i_g) = 0,3312 + 1,7841 \cdot \ln(d) - 0,6017 \cdot \ln(h) - 0,5285 \cdot \ln(CI)$$
$R^2 = 0,843 \qquad s_e = 0,5213$

missä:

i_g = pohjapinta-alan kasvu tulevan 5-vuotiskauden aikana, cm^2
D = etäisyys 6 m:ä lähempänä olevien naapuripuiden koordinaattien keskiarvon sijaintiin ($D_j = \sqrt{(x_j - \bar{x})^2 + (y_j - \bar{y})^2}$), etäisyyksiä painotettiin tekijällä $w_i = \alpha_i \cdot (h_i/h_j)$, m
AS = kulmasumma, laskettu kaavalla $AS_j = \Sigma \alpha_i \, (h_i/h_j)^{1,6}$, missä α_i on puun rinnankorkeudelta (ytimestä) naapuripuun (< 6 m:n etäisyydellä) rungon laidolle vedettyjen suorien välinen kulma, rad
CI = ekologinen kenttä -teorian mukaan laskettu kilpailuindeksi

Harhattomuuden korjaustermit ($s_e^2/2$) on lisätty vakioihin. Yhtälöiden luotettavuutta tarkas-

teltiin laskemalla nykyhetken tilavuus mitattujen (= Laasasenahon (1982) yhtälöllä laskettujen) ja laadituilla malleilla ennustettujen dimensioiden perusteella. Saadut tilavuudet esitetään seuraavassa asetelmassa.

	mitattu	1.malli	2.malli
		m^3/ha	
Laadinta-aineisto	20,8	20,2	20,3
Testiaineisto	17,8	21,2	21,3

147. Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000–versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Puuntuotoksen tutkimussuunta.

Julkaisussa kuvataan suurten puiden pohjapinta-alan kasvumalli (rinnankorkeusläpimitan kasvun ennustava regressiomalli) ja pienten puiden kynnyskasvumalli (rinnankorkeusläpimitan ennustava regressiomalli puun saavuttaessa rinnankorkeuden). Mallit on laadittu metsikön kehityksen simulointia varten.

Malien laadinta-aineistoa esitellään kohdassa 153. Ojitettujen soiden mallien aineistona käytettiin metsäojitettujen ojitusalueiden inventointi- eli MOI-aineiston lannoittamattomia koealoja, joilla ei ollut tehty hakkuita mitausta edeltäneenä 5-vuotiskautena. Suot oli ojitettu vuosina 1930–1976.

Suurten puiden pohjapinta-alan kasvu perustuu seuraaviin läpimitan kasvumalleihin:

Kankaat: $i_d = \beta_0 \cdot (1 - \beta_1 + LS)^{\beta_2} \cdot (i_d ref \cdot t^{\beta_3} + \beta_4 \cdot d)$

Suot: $i_d = \beta_{01} \cdot \beta_{02} \cdot (1 - \beta_1 + LS)^{\beta_2} \cdot (i_d ref + \beta_4 \cdot d)$

missä i_d = läpimitan kasvu tulevan 5-vuotiskauden aikana, cm^2

LS = lämpösumma, d.d.

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

d = puun kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm

$i_d ref$ = läpimitan kasvu puun läpimitan ja metsikön pohjapinta-alan funktiona, taulukosta interpoloitu arvo

β_0, β_1,β_2,β_3 ja β_4 = parametrejä, β_0 estimoitu erikseen metsätyypeittäin

β_{01} = estimoitu erikseen korville ja rämeille

β_{02} = estimoitu erikseen eri ojitustilanteessa oleville soille

Parametrit estimoitiin epälineaarisella painotetulla regressioanalyysillä puulajeittain. Mallin perustana on rinnankorkeusläpimitan kasvun ($i_d ref$) riippuvuus puun läpimitasta ja koealan puuston pohjapinta-alasta. Tämä riippuvuus on mallitettu erikseen VT- männyille ja MT-kuusille VMI7-aineistossa ja kuvattu taulukkona, jossa kuorettoman läpimitan kasvut ovat läpimitta- ja pohjapinta-alaluokittaisina keskiarvoina. Pohjapinta-alan kasvumallissa taulukkoa käytetään kaikilla kasvupaikoilla, lehtipuilla käytetään männyn taulukkoa.

Koska VMI-aineistossa ei tiedetä, onko koealoja lannoitettu, korjataan mallin antamaa ennustetta arvioidun lannoitusvaikutuksen verran pienemmäksi kertoimella $i_g$kor.

$$i_g\text{kor} = 0{,}95 + 0{,}05/(1+e^{m})$$

missä m = (T–70)/10, jos m > 10, niin m = 10
T = metsikön ikä.

Mallien laadinta-aineistossa ei otettu huomioon ilmaston aiheuttamaa kasvun vuotuista vaihtelua, vaan laskettiin lopuksi metsälautakunnittaiset korjauskertoimet vaihtelun tasoittamiseksi.

Puun kynnyskasvun pohjapinta-ala:
(parametrien arvot eivät perustu empiiriseen aineistoon)

$$dh_{13} = \rho \cdot dh_{13}\text{ref}/(1+0{,}01 \cdot G^{1,5})$$

missä dh_{13} = puun kuorellinen rinnankorkeusläpimitta sen saavuttaessa rinnankorkeuden, cm
ρ = satunnaisluku väliltä 0,6–1,4
dh_{13}ref = dh_{13} puuston pohjapinta-alan (=G) ollessa 0 m^2/ha

Muuttujan dh_{13}ref arvot:

puulaji	metsä- tai suotyyppi						
	lehdot	OMT	MT	VT	CT	ClT	kalliot
mänty	0,7	0,6	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
rauduskoivu	0,6	0,5	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
leppä	0,3	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
muu lehtipuu	0,4	0,3	0,1	0,1	01	0,1	0,1

Kuorellisen pohjapinta-alan kasvuennusteen luotettavuuden keskimääräisiä tunnuslukuja VMI- ja INKA-aineistoissa esitetään pääpuulajeittain kankailla ja soilla.

148. Hirvelä, H. 1990. Männyn oksien paksuuskasvun ennustaminen. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyön aiheena on männyn rungon ja oksien poikkileikkausalojen välisen riippuvuuden ja oksien poikkileikkauskasvun estimoiminen latvuksen eri osissa. Tarkastelu perustui putkimalliteoriaan ja mallituksessa käytettiin lineaarista sekamallitekniikkaa. Satunnaisten puu- ja metsikkövaikutusten estimoimiseksi laadittiin regressiomallit.

Aineistona olivat vuonna 1988–1989 Helsingin, Uudenmaan- ja Itä-Hämeen metsälautakuntien alueilla mitatut VAPU-mäntykaatokoepuut. Vuoden 1989 mittauksia käytettiin ainoastaan oksien kuorimallin laadinnassa. Vuonna 1988 mitattuja mäntykoepuita oli yhteensä

34, ja niistä oli mitattu kaikkiaan 241 koeoksaa. Koeoksista tehtiin lustomittauksia poikkipinta-alan ja sen vuotuisen kasvun selvittämiseksi.

Puiden latvus jaettiin kymmeneen yhtä pitkään osaan ja jokaisen osan alarajalle estimoitiin sekä rungon poikkileikkausala että yläpuolisten oksien kumulatiivinen poikkileikkausala. Samoille rungonkohdille laskettiin myös rungon ja yläpuolisten oksien poikkileikkausalan kasvut. Kasvujakson pituutena oli viisi vuotta.

Lukuoksien kuoren paksuuden estimoimiseksi laadittiin kuorimalli:

$$\ln(A_{bi}) = -0{,}460 + 1{,}042 \cdot \ln(A_i) - 0{,}034 \cdot (\ln(A_i))^2$$

$$s_e = 0{,}200$$

Logaritmimuunnoksen aiheuttaman harhan korjaamiseksi vakioon on lisättävä termi $s_e^2/2$.

Oksien ja rungon pokkileikkausalojen välinen yhtälö:

$$\ln(AB_{ijk}) = a_0 + a_1 \cdot \ln(AS_{ijk}) + a_2 \cdot \ln(T_{ijk}) + a_3 \cdot S_{ijk} + a_4 \cdot S_{ijk}^2 + b_i + w_{ij} + e_{ijk}$$

Parametrien estimoinnin jälkeen (maximum likelihood -menetelmä) saatiin oksien kokonaiskasvumalliksi:

$$\ln(AB_{ijk}) = 0{,}986 + 0{,}873 \cdot \ln(AS_{ijk}) + 0{,}236 \cdot \ln(T_{ijk}) + 0{,}762 \cdot S_{ijk} - 1{,}366 \cdot S_{ijk}^2$$

$$\sigma_b^2 = 0{,}000 \quad \sigma_w^2 = 0{,}011 \quad \sigma_e^2 = 0{,}020$$

missä:

AB_{ijk} = metsikön i puun j rungonkohdan k yläpuolisten oksien kuorellisten poikkileikkausalojen summa, mm^2

AS_{ijk} = metsikön i puun j rungonkohdan k kuorellinen poikkileikkausala, mm^2

T_{ijk} = metsikön i puun j rungonkohdan k ikä (lustojen määrä), v

S_{ijk} = metsikön i puun j rungonkohdan k suhteellinen sijainti latvuksessa

b_i = metsikön i satunnainen metsikkövaikutus

w_{ij} = metsikön i puun j satunnainen puuvaikutus

e_{ijk} = metsikön i puun j rungonkohdan k satunnainen virhetermi

Oksien vuotuinen kasvumalli:

$$\ln(iAB_{ijk}) = a_0 + a_1 \cdot \ln(iAS_{ijk}) + a_2 \cdot \ln(D_{ijk}) + a_3 \cdot \ln(1-S_{ijk}) + b_i + w_{ij} + e_{ijk}$$

$$\ln(iAB_{ijk}) = 2{,}206 + 0{,}663 \cdot \ln(iAS_{ijk}) + 0{,}198 \cdot \ln(D_{ijk}) + 0{,}331 \cdot \ln(1-S_{ijk})$$

$$\sigma_b^2 = 0{,}000 \quad \sigma_w^2 = 0{,}042 \quad \sigma_e^2 = 0{,}042$$

missä:

iAB_{ijk} = metsikön i puun j rungonkohdan k yläpuolisten elävien oksien poikkileikkausalan vuotuisen kasvun summa, mm^2

iAS_{ijk} = metsikön i puun j rungonkohdan k poikkileikkaus alan vuotuinen kasvu, mm^2

D_{ijk}= metsikön i puun j rungonkohdan k kuoreton läpimitta, mm

Kummassakaan edellä kuvatussa mallissa satunnaisella metsikkötekijällä ei ollut vaikutusta oksien kasvuun. Kokonaiskasvumalliin liittyvän satunnaisen puuvaikutuksen estimoimiseksi laadittiin yhtälö:

$$w_{ij} = -0{,}047 - 0{,}158 \cdot \ln(SK_{ij}) \qquad R_2 = 0{,}158 \quad s_f^2 = 0{,}008$$

missä SK_{ij} = metsikön i puun j solakkuusaste eli h/d, m/cm

Vuotuisen kasvumallin satunnaiselle puuvaikutukselle laadittiin yhtälö

$$w_{ij} = -0{,}300 + 0{,}056 \cdot H_{ij} - 0{,}002 \cdot H_{ij}^2 \qquad R_2 = 0{,}140 \quad s_f^2 = 0{,}036$$

missä H_{ij} = metsikön i puun j pituus, m

Oksien poikkileikkausalojen ja vuotuisten kasvujen ennustaminen onnistui melko hyvin. Takaisinmuunnoksen jälkeen mallin suhteelliset harhat olivat pienet. Residuaalien hajonta oli kokonaiskasvumallilla ennustettujen arvojen keskiarvosta 19 % ja vuotuisella kasvumallilla 26 %.

Yksittäisen oksan kasvun ennustaminen oksiston kasvun avulla oli sen sijaan epävarmaa. Yhden oksan kasvu laskettiin viidellä eri menetelmällä, ja kaikissa tapauksissa kasvuennusteen suhteellinen harha ja residuaalien hajonta olivat varsin suuret. Oksan kasvulle saatiin sitä suurempi yliarvio, mitä suurempi kasvu oli kyseessä.

Tulosten yleistettävyyttä heikentää aineiston suppeus sekä puuttuvat kuorimittaukset ja lustomittausten epätarkkuudet. Lisäksi on muistettava, että putkimalliteoria on karkea ja yksinkertaistettu rakennemalli, jossa oksien ja rungon kasvun välille oletetaan lineaarinen riippuvuus. Todellisuudessa oksien poikkileikkausalan kasvu on kuitenkin rungon poikki-

leikkausalan kasvua suurempaa, mihin on syynä oksien puuaineen suuremmasta tiheydestä johtuva runkoa heikompi vedenkuljetuskapasiteetti; oksissa on oltava suurempi poikkileikkausala saman vesimäärän kuljettamiseksi kuin rungossa.

3.2.1.4. Tilavuus

149. Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Commun. Inst. For. Fenn. 12.

Siperialaisen lehtikuusen tilavuuden kehitys ikäluokittain ja metsätyypeittäin kuvataan taulukkomallilla.

Punkaharjun ja Raivolan lehtikuusikoista kerättyä laadinta-aineisto esitellään kohdassa 22.

Runkoanalyysipuiden perusteella saatiin puun kuoreton tilavuus eri ikäkausina. Ikäluokittaiset ja metsätyypittäiset keskiarvot tasoitettiin graafisesti. Lehtikuusen rungon tilavuus ja tilavuuskasvu esitetään taulukkoina ja käyrinä erikseen Raivolassa ja Punkaharjulla.

150. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Hoidettujen männiköiden kasvu- ja tuottotaulukoita varten laadittiin männyn tulevan tilavuuskasvuprosentin ennustava regressioyhtälö.

Aineisto kuvataan kohdassa 38.

Männyn tilavuuskasvuyhtälö hakkuun jälkeen:

$$p_v = -2{,}7475 + 1{,}3695 \cdot p_d + 170{,}3758 \cdot 1/t_i + 5{,}0517 \cdot t_{1,3}/t_i$$
$$-5{,}7101 \cdot h_i/d_{ui}^2 - 9{,}5959 \cdot d_{ui}/h_i^2 + 17{,}7147 \cdot \sqrt{s_i/H_{domi}}$$

$$R^2 = 0{,}857$$

Missä p_v = puun kuorettoman tilavuuden (m^3/ha) keskimääräinen vuotuinen kasvusadannes koronkorkoperiaatteella kahden perättäisen harvennuksen välisenä aikana
p_d = puun kuorettoman rinnankorkeusläpimitan (cm) keskimääräinen vuotuinen kasvusadannes koronkorkoperiaatteella kahden perättäisen harvennuksen välisenä aikana
s = puun keskimääräinen etäisyys 5 lähimmästä naapurista, m
u = kuoren alta
i = ennustejakson alussa

151. Laurila, M. 1972. Puun kasvun ennustaminen. Metsänarvioimistieteen laudatur-työ. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyön yhteydessä laadittiin männyn tilavuuskasvuprosentin ennustava regressioyhtälö. Varsinaisesti tutkimuksessa käsiteltiin läpimitan ja pituuden kasvua, mutta samalla laadittiin myös tilavuuskasvuyhtälö. Mallien laadinta-aineistona käytettiin Vuokilan (1965) keräämää tilapäiskoeala-aineistoa, jota kuvataan kohdassa 112.

Tilavuuskasvuyhtälö:

$$\log(p_v) = 1{,}62096 - 0{,}18762 \cdot (\log(d_{1,3}))^{1,8} - 0{,}07463 \cdot \log(h) - 0{,}31789 \cdot \log(t) + 0{,}40642 \cdot \log(r) + 0{,}25424 \cdot \log(s) - 0{,}24399 \cdot \log(H_{dom}) - 0{,}11829 \cdot \log(G)$$

$$R^2 = 89{,}59\ \%$$

Missä:

r = menneen 5-vuotiskauden sädekasvu, mm
s = meneen kauden pituuskasvu, m

152. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivun tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvuprosenttia ennustetaan regressioyhtälöllä. Kasvuyhtälö laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 74. Puukohtaiset kasvuyhtälöt perustuvat 29 koealan kasvuanalyysipuihin.

Tilavuuskasvuyhtälö:

$$p_{v5} = 199{,}02774 + 6{,}19884 \cdot ((120 - t_{1,3})/100)^{24} - 29{,}93316 \cdot ((120 - t_{1,3})/100)^{14} + 3280{,}39941 \cdot (\bar{e}_1/\bar{h}_1)^5 - 145{,}10342 \cdot \sqrt[4]{\bar{e}_1}/\sqrt{d} + 470374{,}9 \cdot 1/(t_{1,3} \cdot h) - 0{,}56430 \cdot i_d - 177{,}81885 \cdot (d_5/d)^2 - 0{,}14784 \cdot (d/d_5)^4 + 15{,}04364 \cdot (26 - H_{dom})/10 + 1{,}36984 \cdot (26 - H_{dom})^8 \cdot (100 - T)^{10}/10^{28}$$

$$R^2 = 0{,}928 \qquad s_e = 27{,}3\ \%$$

missä p_{v5} = tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman tilavuuden kasvuprosentti (5 v:n summaprosentti), %
$\bar{1}$ = neljän lähimmän puun keskimääräinen etäisyys koepuusta, dm
$\bar{1}$ = neljän lähimmän puun keskipituus jakson lopussa, dm
d = puun kuoreton läpimitta ennustejakson alussa, mm
d_5 = puun kuoreton läpimitta viisi vuotta ennen ennustejakson alkua, mm
$i_d = d - d_5$, mm

Laadinta- ja testiaineiston perusteella yhtälössä ei ollut systemaattista virhettä. Yhtälöä voidaan soveltaa, kun 5-vuotiskauden kasvuprosentti on yli 10 %.

3.2.2. Metsikkökohtaiset mallit

3.2.2.1. Keskiläpimitta

153. Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Acta Forestalia Fennica 15.

Julkaisussa on taulukkomalli eteläsuomalaisen luonnontilaisen männikön, kuusikon ja koivikon keskiläpimitan kehityksestä.
Aineisto kerättiin vuosina 1916–1918 etupäässä Savosta, Karjalasta sekä Länsi- ja Lounais-Suomesta. Yhteensä mitattiin 241 mänty-, 87 kuusi- ja 119 koivukoealaa, jotka edustivat kunkin puulajin yleisimpiä kasvupaikkatyyppejä. Puuston tilavuus koealoilla määritettiin ns. massakäyrämenetelmällä. Keskimääräisten pituus- tilavuus- ym. arvojen saamiseksi metsikön eri ikäkausina käytettiin sekä analyyttisiä että graafisia tasoitusmenetelmiä.

Puulajeittaisissa ja metsätyypeittäisissä taulukoissa on metsikön keskiläpimitan lisäksi keskiläpimitan 5-vuosittainen juokseva ja keskimäärinen kasvu sekä luontaisen harvenemisen kautta metsiköstä kunakin 10-vuotiskautena poistuvan puumäärän keskiläpimitta. Tutkimuksessa esitetään myös keskiläpimitan iänmukaiset kehityskäyrät.

154. Lappi-Seppälä, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltiger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Commun. Inst. For. Fenn. 15(2).

Laadittu taulukkomalli kuvaa puulajittaisen keskiläpimitan kehityksen mänty-koivusekametsikössä.

Aineisto mitattiin vuosina 1925–1927 eteläisen Suomen lääneissä (Viipuri, Mikkeli, Kuopio, Vaasa, Häme ja Turku-Pori) sijainneista koemetsiköistä. Yhteensä koealoja oli 76 kpl, ja ne edustivat OMT- , MT- ja VT-kankaita. Ikäluokiltaan metsiköt vaihtelivat 1–20 ja 80–100 vuotta eikä niissä oltu tehty hakkuita. Metsiköiden puulajisuhdetta kuvattiin kasvutilan avulla, ja kasvutilan mittana käytettiin latvuksen maaprojektiota.

Metsikön puuston keskiläpimittana käytettiin sadan järeimmän puun (/ha) keskipuun läpimittaa eli valtaläpimittaa. Lisäksi esitetään puuston aritmeettisen keskiläpimitan kehitys.

Männyn ja koivun ikäluokittaiset ja metsätyypeittäiset keskiläpimitat on tasoitettu graafisesti ja tulokset esitetty taulukkoina ja käyrinä. Taulukoihin on laskettu myös valtaläpimitan keskimääräiset kasvuluvut ikäluokittain.

155. Miettinen, L. 1933. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Commun. Inst. For. Fenn. 18(1).

Tutkimuksen tuloksina ovat harmaalepikön keskiläpimitan graafisesti tasoitetut kehityskäyrät metsätyypeittäin sekä keskiläpimitan ja sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun kehityssarjat taulukkoina. Lisäksi on tarkasteltu valtapuiden keskiläpimitan kehitystä.

Aineisto kerättiin vuosina 1929–1931 Suomen eteläpuoliskon luonnontilaisista, normaalitiheistä ja puhtaista lepiköistä (< 20 % tilavuudesta muuta puulajia). Mukana oli yhteensä 43 koealaa, joista 9 oli OMaT:llä, 31 OMT:llä ja 3 MT:llä. Koealametsiköiden ikä vaihteli 4–42 v. Alle 1,3 metrisiä puita ei otettu huomioon.

Kultakin koealalta valittiin 4–6 kaatokoepuuta, joiden mittausten perusteella määritettiin edelleen koealojen tilavuus ja muut keskitunnukset. Lisäksi joidenkin koealojen järeimmistä puista tehtiin runkoanalyysi valtapuiden kasvun selvittämiseksi. Runkoanalyysipuita oli kaikkiaan 14 kpl.

Aritmeettisen keskiläpimitan kehitys esitetään graafisesti ja taulukossa ikäluokittaisena (5–45 v) kehityssarjana metsätyypeillä OMaT ja OMT. Valtapuiden kehitys kuvataan samoin, mutta kaikilla kolmella metsätyypillä.

156. Cajander, E. K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 19(3).

Tutkimuksessa laadittiin graafinen ja taulukkomalli eteläsuomalaisen viljelykuusikon keskiläpimitan kehityksestä metsätyypeittäin. Taulukossa esitetään ikäluokittaiset keskiläpimitan, sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun kehityssarjat.

Tutkimusaineisto kerättiin vuosina 1931–1932 Etelä-Suomen viljellyistä kuusikoista, joiden tuli olla tasatiheitä ja aukottomia. Mukana oli sekä istutettuja että kylvettyjä kuusikoita metsätyypeiltä OMaT, OMT ja MT. Metsiköiden ikä vaihteli 12–68 v. Aineisto käsitti kaikkiaan 73 koealaa. Hakkuupoistuma määritettiin kantojen perusteella, ja sen kasvu otettiin huomioon kehityskäyriä laadittaessa. Kultakin koealalta mitattiin 5–10 kaatokoepuuta.

Aritmeettisen keskiläpimitan kehityssarjat esitetään kaikilla metsätyypeillä ikävuosina 15–70. MT:n osalta käyrän jatkuminen yli 55 v. on epävarmaa, sillä vanhimmat MT:ltä mitatut koealat olivat vain 53 vuotiaita. OMaT:n koko käyrä on epävarma, sillä aineisto oli riittämätön (5 koealaa). Vertailun vuoksi taulukoissa ovat mukana Ilvessalon (1920) luonnonkuusikon ja -männikön vastaavat kehityssarjat.

157. Ilvessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Acta Forestalia Fennica 24(2).

Perä-Pohjolan mänty-, kuusi- ja koivuvaltaisten metsiköiden keski- ja valtaläpimitan kehityssarjat kuvataan metsätyypeittäin taulukkomallilla ja graafisesti tasoitettuina kehityskäyrinä.

Aineisto käsitti yhteensä 131 koealaa, joista suurin osa (86 kpl) sijaitsi mäntyvaltaisissa metsiköissä. Männikkökoealat edustivat kaikkia ikäluokkia väliltä 40–280 v, mutta kuusikkokoealat vain vanhoja ikäluokkia (150–230 v). Vähäisen aineiston vuoksi (22 koealaa) kuusivaltaisille metsiköille ei voitu johtaa yhtenäisiä kehityssarjoja. Vaikka koivulla ei ole Perä-Pohjolassa juuri taloudellista merkitystä, mitattiin myös koivikkokoealoja (23 kpl). Koivuaineisto ei kattanut kaikkia ikäluokkia ja metsätyyppejä, joten sen kehityssarjat jäivät kuusen lailla vaillinaisiksi.

Mäntykoealat olivat metsätyypeiltä EVT, EMT ja ErClT, kuusikoealat tyypeiltä HMT ja GD(M)T ja koivukoealat tyypeiltä GD(M)T, MT ja HMT. Metsikön tilavuuden ja kasvun laskentaa varten kaadettiin yhteensä 1010 koepuuta. Valtapuiden kasvua selvitettiin 171 runkoanalyysipuun (1–2 kpl/koeala) perusteella (130 mä, 29 ku ja 12 ko).

Tutkimuksessa esitetään erikseen runkoluvulla ja pohjapinta- alalla painotettujen keskiläpimittojen kehityskäyrät ja -sarjat taulukossa. Kuusella ja koivulla on jouduttu yhdistämään joitakin metsätyyppejä vähäisen aineiston vuoksi. Lisäksi runkoanalyysipuiden perusteella on laadittu männikön valtaläpimitan eli valtapuiden keskiläpimitan kehityssarjat (kuvaaja ja taulukko).

158. Kalela, E. K. 1937. Tutkimuksia kuusi-harmaaleppä-sekametsiköiden kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 44(2).

Julkaisussa on sekametsikössä kasvavan kuusen ja harmaalepän keskiläpimittojen iänmukaiselle kehitykselle laaditut graafiset mallit.

Aineisto on koottu vuonna 1934 (sekä lisäaineistoa 1935) Suomen eteläpuoliskon itäosista eli Viipurin, Mikkelin ja Kuopioin lääneistä. Koemetsiköt täyttivät seuraavat ehdot: tasainen kuusen ja lepän sekoitus (ei ryhmittäisyyttä), muita puulajeja korkeintaan 15 %, kuuset ja lepät likimain samanikäisiä ja metsätyyppi OMaT, OMT tai MT. Täysin puhtaita kuusi-harmaaleppämetsiköitä oli 28 %, muissa oli sekapuuna mäntyä tai koivua. Keskiläpimittana käytettiin läpimittojen runkoluvulla painotettua keskiarvoa.

Kehityssarjat esitetään metsätyypeittäin ja puuston tiheysluokittain (harva, keskitiheä ja tiheä) ja ne kattavat kuusella ikävuodet 20–50 ja harmaalepällä 20–40. Lisäksi kuvataan graafisesti männyn ja koivun keskiläpimitan kehitystä kuusi-leppäsekametsikössä OMT:llä ja MT:llä, vaikka havaintoja oli vähän.

159. Tikka, P. S. 1954. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. Commun. Inst. For. Fenn. 44(4).

Taulukkomallilla kuvataan haapametsikön keskiläpimitta ja läpimitan kasvu metsikön iän funktiona.

Aineisto koottiin tasaisesti eri puolilta Etelä-Suomea. Mukana oli yhteensä 31 koealametsikköä, joista 11 oli puhtaita haavikoita, 7 haapavaltaisia metsiköitä ja 7 sekametsiköitä. Varsinaiset tutkimukset kohdistuivat yli 20-vuotiaisiin metsiköihin, vaikka koealametsiköistä 6 olikin taimikoita. Suurin osa metsiköistä kasvoi tuoreilla kankailla ja oli luonnontilaisia.

Kultakin koealalta mitattiin 8–12 kaatokoepuuta. Yhteensä 219 runkoanalyysipuun avulla piirrettiin runkokäyrät ja laskettiin edelleen läpimittojen ja pituuksien ikäluokittaiset ja metsikkölajeittaiset keskiarvot.

Tutkimuksessa esitetään taulukot ja graafiset kuvaajat haavan keskiläpimitan riippuvuudelle iästä (20–90 v) metsikkölajeittain (puhdas, haapavaltainen ja sekametsikkö) sekä taulukko vuotuisista keskimääräisistä kasvuista 10 vuosittain ja metsikkölajeittain.

160. Nyyssönen, A. 1954b. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 60(4).

Taulukko- ja graafisen mallin avulla tarkastellaan harvennusmänniköiden ja harsien käsiteltyjen männiköiden keskiläpimitan kehitystä metsätyypeittäin.

Aineisto sisälsi 190 vuosina 1948–1950 mitattua koealaa, jotka sijaitsivat eteläisessä Suomessa rannikkoseutuja lukuunottamatta. Tutkimusmetsiköt täyttivät seuraavat ehdot: muuta puulajia korkeintaan 20 % tilavuudesta, metsätyypiltään yhtenäinen (MT, VT tai CT), tasaikäinen puusto, ei pahoja vaurioita tai tauteja ja metsikön käsittelytapa voitiin selvittää. Käsittelytavan mukaan metsiköt jaettiin toistuvasti tai väljentäen harvennettuihin metsiköihin ja toistuvasti tai lepoa saaden harsittuihin metsiköihin. Keskiläpimittana käytettiin pohjapinta-alamediaanipuun läpimittaa.

Tutkimuksessa esitetään graafiset kehityskäyrät toistuvasti harvennettujen ja harsittujen männiköiden keskiläpimitalle ikävuosina 40–120. Vertailun vuoksi mukana ovat myös Ilvessalon (1920) luonnonnormaalien männiköiden vastaavat kehityskäyrät. Lisäksi on taulukoitu harvennusmetsiköiden keskiläpimitan kehitys ja sen suhde luonnonnormaalien metsiköiden keskiläpimittaan.

161. Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4).

Pohjois-Suomen kuusi-koivusekametsiköiden puulajeittaisten keskiläpimittojen kehitys kuvataan iän funktiona. Julkaisussa esitetään graafiset kehityskäyrät sekä taulukkomallit kulon jälkeiselle primäärimetsikölle ja sitä seuraavalle sekundäärimetsikölle, molemmissa kehitysvaiheissa kuusi- ja koivujaksolle erikseen.

Aineisto koottiin alueelta, jolla kasvukauden tehoisan lämpötilan summa on 600–800 °C, kesä alkaa n. 10.–20.5. ja päättyy 20.8.–1.9. Mukaan hyväksyttiin kaikkiaan 71 koealametsikköä, jotka sijaitsivat HMT:llä ja joissa maalaji oli vähäkivistä, hietaista moreenia, soistuneisuutta ei hyväksytty.

Koemetsiköt ryhmiteltiin metsäpalon, kaskeamisen tai kulotuksen jälkeen syntyneisiin koivu-kuusisekametsiin (yhteensä 44 kpl), ensimmäisen puusukupolven rappeutumisvaiheessa oleviin (7 kpl) ja ilman paloa uudistuneisiin sekundäärisiin metsiköihin (20 kpl). Jokaisessa ryhmässä aineisto luokiteltiin vielä kuusen tiheyden mukaan keski- ja ylitiheisiin metsiköihin.

Kuvissa ja taulukoissa esitetään erikseen valtapuiden, vallitsevan latvuskerroksen, päämetsikön (ei alikasvosta mukana) ja kaikkien puiden keskiläpimitan kehitys sekä primäärietttä sekundäärimetsiköissä. Keskiläpimittana on käytetty runkoluvulla painotettua aritmeettista keskiarvoa. Kehityssarjat kattavat kuusella ikävuodet 60–300 ja koivulla 60–200.

162. Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 48(1).

Metsätyypeittäin graafisesti tasoitetut käyrät ja kehityssarjat tarkastelevat puuston keskiläpimitan iänmukaista kehitystä hoidetuissa kuusikoissa.

Tutkimusaineisto kerättiin vuosina 1948–1954 Etelä-Suomessa (n. 62. leveysasteen eteläpuolella) sijainneilta 119 kuusikkokoealalta. Tutkimusmetsiköille asetettiin seuraavat vaatimukset: metsikkö oli syntynyt luontaisesti, metsikköä oli käsitelty alaharvennuksin, puusto oli yksijaksoinen ja tasaikäinen, muuta puulajia oli alle 20 % tilavuudesta ja kasvupaikka oli OMT- tai MT-kangas. Tutkimusmetsiköt jakaantuivat ikäluokkiin 20–120, tosin vanhimman (101–120 v) ja nuorimman ikäluokan (0–20 v) osalta aineisto oli puutteellinen, koska kuusen kiertoaika on alle 100 v. ja koska vain yli 1,3 metriset taimikot otettiin huomioon.

Kultakin koealalta mitattiin n. 15–30 pystykoepuuta, joiden mittausten ja Ilvessalon (1947) kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden perusteella määritettiin metsikön tilavuus ja tilavuuskasvu. Vanhoista koepuista (yli 45 v) mitattiin menneen 10-vuotiskauden ja nuorista puista menneen 5-vuotiskauden sädekasvu. Kasvuluvut korjattiin VMI 3:n aineiston perusteella laadituilla vuosilustoindekseillä normaali-ilmaston tasoon. Hakkuupoistuman määrän ja rakenteen selvittämiseksi koealoilta luettiin kaikkien kasvunmittausjakson aikana poistettujen puiden kannot. Keskiläpimittana käytettiin pohjapinta-alamediaaniläpimittaa.

Vertailun vuoksi piirroksissa ovat mukana myös luonnonnormaalien kuusikoiden (Ilvessalo 1920) keskiläpimitan kehityskäyrät ja taulukossa ikäluokittaiset keskiarvot.

163. Kallio, K. 1957. Käenkaali-mustikkatyypin kuusikoiden kehityksestä Suomen lounaisosassa. Taksatoris-liiketaloudellinen tutkimus. Acta Forestalia Fennica 66(3).

Laadittu taulukkomalli määrittää keskiläpimitan iänmukaisen kehityksen lounaissuomalaisissa kuusikoissa.

Aineisto koottiin vuosina 1954–1955 tilapäiskoealoilta, jotka sijaitsivat OMT-kuusikoissa Suomen lounaisosissa. Muuta puulajia sai olla korkeintaan 20 % puuston tilavuudesta. Koealametsiköt olivat luontaisesti syntyneitä, mahdollisimman tasaikäisiä ja -tiheitä ja harvennushakkuin käsiteltyjä. Kasvupaikan ravinteisuuden, harvennusten voimakkuuden ja kiertoajan pituuden perusteella aineisto (22 koealaa) jaettiin kahteen osaan, a- ja b-sarjaan. Tulokset on laskettu erikseen a- ja b-sarjan perusteella.

Tutkimuksessa esitetään graafisesti tasoitetut kuvaajat runkoluvulla painotetun keskiläpimitan kehityksestä a-sarjalla ikävuosina 25–90 ja b-sarjalla 25–100. Vertailun vuoksi mukana on Ilvessalon (1920) luonnonnormaalin OMT-kuusikon keskiläpimitan kehityskäyrä. Taulukossa on runkoluvulla painotettujen läpimittojen lisäksi esitetty ikäluokittaiset pohjapinta-alamediaanikeskiläpimitat.

164. Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Commun. Inst. For. Fenn. 51(8).

Julkaisussa on aiemmista tutkimuksista koottuja kasvu- ja tuottotaulukoita sekä puuston kehityssarjoja. Seuraavassa on lueteltu mukana olevat taulukkoryhmät, niiden sovellusalueet ja alkuperäislähteet.

1. Toistuvin harvennuksin käsitellyt metsiköt, Etelä-Suomi
Männiköt (MT, VT, CT), kuusikot (OMT, MT), rauduskoivikot (OMT) ja hieskoivikot (OMT).
Nyyssönen (1954b ja 1957), Vuokila (1956 ja 1957), Koivisto (1957) ja Mäkinen (1958).

2. Täystiheät luonnonmetsiköt, Suomen eteläpuolisko
Männiköt (OMT, MT, VT ja CT), kuusikot (OMT, MT) ja koivikot (OMaT, OMT, MT).
Ilvessalo (1920)

3. Täystiheät luonnonmetsiköt, Perä-Pohjola
Männiköt (EVT, EMT, ErClT)
Ilvessalo (1937)

4. Viljelykuusikoiden kehityssarjoja, Etelä-Suomi
Viljelykuusikot (OMaT, OMT, MT)
Cajander (1933)

5. Harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen metsiköiden kehityssarjoja, Suomen eteläpuolisko
Männiköt (MT, VT, CT) ja kuusikot (OMT, MT)
III valtakunnan metsien inventoinnin aineiston mukaan

Kaikista taulukkoryhmistä löytyvät keskiläpimitan kehityssarjat. Osassa tutkimuksia keskiläpimitta on laskettu runkoluvulla, osassa pohjapinta-alalla painottaen.

165. Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 71(3).

Etelä-Suomen kylvömännikön keskiläpimitan kehitys metsätyypeittäin kuvataan taulukkomallin avulla.

Aineisto mitattiin kertakoealoilta vuosina 1958–1959. Koealoja oli yhteensä 73 ja ne sijaitsivat 62–63 leveysasteen eteläpuolella VT- ja MT-kankailla. Tutkimusmetsiköt täyttävät seuraavat ehdot: uudistettu kylvämällä (täydennysistutus sallittiin), muuta puulajia yleensä alle 10 % puuston tilavuudesta (korkeintaan 20–25 %), käsitelty jatkuvin alaharvennuksin sekä iältään ja tilajärjestykseltään mahdollisimman tasainen. Keskiläpimitalla tarkoitetaan pohjapinta-alamediaanipuun läpimittaa.

Ikäluokittain tasoitetut keskiläpimitan kehityssarjat ulottuvat ikävuodesta 10 mustikkatyypillä 70. ja puolukkatyypillä 80. ikävuoteen saakka. Vertailun vuoksi taulukossa ovat mukana toistuvasti harvennettujen männiköiden keskiläpimitat Nyyssösen (1954b) mukaan. Lisäksi esitetään puiden keskimääräinen kapeneminen ikä- ja läpimittaluokittain.

166. Ilvessalo, Y. 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Acta Forestalia Fennica 81(5).

Kainuun kivennäismaiden männiköiden (ja kuusikoiden) keski- ja valtaläpimitan kehityssarjat esitellään metsätyypeittäin taulukkomallin ja graafisesti tasoitettujen kehityskäyrien avulla.

Aineisto kuvataan kokonaisuudessaan kohdassa 2. Kullakin koealalla kaadettiin keskimäärin 8 koepuuta, joista mitattiin edellisten 5- ja 10-vuotiskausien sädekasvut. Tilavuuden laskenta perustui kuutioimiskäyriin. Valtapuiden kehitystä selvitettiin 92 runkoanalyysipuun perusteella. Keskiläpimitalla tarkoitetaan pohjapinta-alamediaanipuun läpimittaa.

Männiköiden keskiläpimitan kehityskäyrät kattavat ikävuodet 40–140 metsätyypeillä EVT ja ECT. Vertailun vuoksi samoissa kuvissa on mukana Etelä-Suomen ja Perä-Pohjolan vastaavia kehityskäyriä (Ilvessalo 1920 ja 1937). Taulukossa on ikäluokittaisten keskiläpimittojen lisäksi esitetty kunkin 10-vuotisjakson aikainen läpimitan kasvu. Männikön valtaläpimitan kehitys esitetään samoin kuin keskiläpimitan kehitys.

Kuusikkoaineisto oli niin vaihteleva, ettei sen perusteella voitu laatia luotettavia kehityskäyriä. Koordinaatistoon on kuitenkin piirretty kuusikoealojen keskiläpimitat ja verrattu niitä männiköiden kehityskäyriin.

167. Vuokila, Y. 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Commun. Inst. For. Fenn. 63(2). (ks. myös Vuokila, 1965).

Julkaisussa on harvennushakkuin käsitellyn männikön keskiläpimitan iänmukaiset kehityskäyrät ja -sarjat kasvupaikkatyypeittäin ja käsittelyasteittain.

Aineisto oli kerätty maan eteläisestä sisäosasta eli n. 63. leveysasteen eteläpuolelta rannikkoseudut poislukien. Koealoja mitattiin luontaisesti syntyneissä, alusta asti hoidetuissa, alaharvennuksin käsitellyissä, puhtaissa ja tasaisissa männiköissä.

Kasvupaikkaluokitus (luokat I–V) tehtiin valtapituuden kehityskäyrien perusteella. Taulukoihin sisältyy kolme alaharvennuksen voimakkuuden astetta, jotka olivat voimakas, keskivahva ja lievä/ keskivahva.

Kehityssarjojen laadintamenetelmä perustui puukohtaisiin malleihin (Vuokila 1965), joilla ennustettiin kunkin puun läpimitan, pituuden ja tilavuuden kehitys. Puukohtaisten laskelmien avulla saatiin metsikkökohtaiset tiedot, joita tarkistettiin metsikköyhtälöillä. Harvennus oli teoreettinen, ja se tehtiin runkolukusarjan avulla.

Kehityssarjat kuvaavat harvennusmetsiköiden kehitystä ikävuodesta 13–36 (kasvupaikasta riippuen) kiertoajan loppuun (75–115 v). Taulukoissa esitetään erikseen ikäluokittaiset keskiläpimitat (aritmeettinen keskiarvo, kuoretta) ennen hakkuuta ja sen jälkeen sekä poistuneen puuston keskiläpimitat.

168. Ilvessalo, Y. 1969. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 96.

Taulukko- ja graafisella mallilla esitetään metsikön keskiläpimitan kehitys Pohjanmaan männiköissä.

Aineisto koottiin Pohjanmaalta, Pohjanlahden rannikon ja Suomenselän väliin jäävältä kaistaleelta, joka etelässä rajoittui n. 62. ja pohjoisessa n. 66. leveysasteeseeseen. Mittaukset aloitettiin vuonna 1950 ja vuosina 1967–1968 mitattiin lisäaineistoa. Mäntykoealoja mitattiin yhteensä 121, kuusikoealoja 35 ja koivukoealoja 22 (mukana sekä hies- että rauduskoivikoita). Koivikot ja kuusikot edustivat lehtomaisia, tuoreita ja kuivahkoja kankaita, männiköt tuoreita, kuivahkoja ja kuivia kankaita. Kultakin koealalta mitattiin n. 15–25 pystykoepuuta.

Männikön pohjapinta-alamediaaniläpimitan kehitys (30–140 v.) esitetään taulukossa ja piirroksessa metsätyypeittäin. Kuusi- ja koivumetsiköiden keskiläpimitan kehitystä on tekstissä vertailtu Etelä-Suomen tasoon, mutta kehityssarjoja ei ole esitetty riittämättömän aineiston vuoksi.

169. Ilvessalo, Y. 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 108.

Mäntyvaltaisten metsiköiden keski- ja valtaläpimitan kehitys Pohjois-Lapissa kuvataan metsätyypeittäin taulukkoina ja graafisina malleina.

Tutkimusalue käsitti Suomen pohjoisimman osan, n. 68. leveysasteesta ylös päin tunturikoivikoita lukuunottamatta. Varsinainen aineisto mitattiin vuosina 1936–1938 ja sitä täydennettiin vuosina 1956–1958 nuorten männiköiden mittauksilla, joista osa oli samojen koealojen uusintamittauksia. Jos toistomittauksia pidetään uusina yksikköinä, mäntyaineisto käsitti yhteensä 181 koealaa, joista 46 edusti EM(Cl)T-, 96 ErClT- ja 39 ClT-kankaita.

Koealaa kohden mitattiin 7–9 kaatokoepuuta, joiden lisäksi valittiin koealan valtapuista kaksi runkoanalyysiä varten. Puuston tilavuus määritettiin kaatokoepuiden ja kuutioimistaulukkojen avulla. Kasvun laskennassa käytettiin toistomittausten mahdollistamaa erotusmenetelmää sekä kasvuprosenttiin perustuvia menetelmiä. Koko puuston keskiläpimitta on laskettu sekä pohjapinta-alalla painotettuna että pohjapinta-alamediaanipuun läpimittana. Valtaläpimitalla tarkoitetaan hehtaaria kohti sadan järeimmän puun keskiläpimittaa.

Kehityssarjat ja -käyrät kattavat EM(Cl)T:llä ja ErClT:llä ikävuodet 40–300 ja ClT:llä vuodet 80–300. Lisäksi on taulukoitu kapenemisen ($d_{1,3}$-d_6) ja kuorenpaksuuden ($b_{1,3}$ ja b_6) läpimittaluokittaiset (13–27 cm) keskiarvot.

170. Vuokila, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Acta Forestalia Fennica 110.

Tutkimuksessa esitetään harsintaharvennuksin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot, joihin selviää mm. eteläsuomalaisen harsintaharvennuksin käsitellyn männikön

keskiläpimitan iänmukainen kehitys.

Aineisto käsitti 18 maan eteläpuoliskossa mitattua metsikkökoealaa, jotka edustivat puolukkatyypin männiköitä ja joissa oli tehty selvästi harsintatyyppinen käsittely. Kasvuanalyysipuita mitattiin yhteensä 147 kpl.

Harsintaharvennuksella tarkoitetaan metsänhoidollista harsintamenetelmää, jota sovelletaan varttuneissa metsiköissä. Nuoruusvaiheessa metsikköä käsitellään normaalein alaharvennuksin, mutta puuston saavutettua tukkipuun mitat voidaan poistaa myös metsikön valtapuita, jos se edistää viereisten vallitsevaan jaksoon kuuluvien puiden järeytymistä. Taulukoihin sisältyy kolme alaharvennuksen voimakkuuden astetta (voimakas, keskivahva ja lievä/keskivahva) ja kaksi harsinta-astetta (lievempi ja voimakkaampi).

Kehityssarjojen laadintamenetelmä perustui puukohtaisiin malleihin (Vuokila 1965), joilla ennustettiin kunkin puun läpimitan, pituuden ja tilavuuden kehitys. Puukohtaisten laskelmien avulla saatiin metsikkökohtaiset tiedot, joita tarkistettiin metsikköyhtälöillä. Harvennus oli teoreettinen, ja se tehtiin runkolukusarjan avulla.

Kehityssarjojen alku (nuoruusvaihe n. 18–40 v, alaharvennukset) on sama kuin Vuokilan (1967) aikaisemmassa tutkimuksessa (kohta 180), jonka jälkeen luvut kuvaavat harsimalla käsitellyn metsikön kehitystä (n. 45–95 v). Taulukoissa on erikseen puuston keskiläpimitta (aritmeettinen keskiarvo, kuoretta) ennen hakkuuta ja sen jälkeen sekä poistuneen puuston keskiläpimitta.

171. Koivisto, P. 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Folia For. 142.

Taulukkomallilla kuvataan hakkuin käsitellyn männikön keskiläpimitan kehitys Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla.

Aineisto mitattiin 74 tilapäiskoealalta, jotka edustivat VMT:n, EVT:n ja ECT:n kasvupaikkoja. Tutkimusalue käsitti Kainuun (vaara-alueita lukunottamatta) ja Pohjois-Pohjanmaan. Mäntykoealojen lisäksi Kajaanin ympäristöstä mitattiin 6 kuusikoealaa.

Kultakin koealalta mitattiin 35–50 koepuuta, joista joka toinen oli kasvukoepuu. Puuston tilavuus määritettiin Ilvessalon (1947) kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden avulla. Poistuma arvioitiin kantojen perusteella. Poistuneen puuston runkolukusarja saatiin jäljelle jääneiden puiden rinnan- ja kannonkorkeuden läpimittojen suhteen avulla.

Männikön pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan kehityssarjat (20–150 v) esitetään metsätyypeittäin. Taulukot kuvaavat metsiköiden keskimääräistä kehitystä, eikä niissä ole eroteltu jäävän ja poistuneen puuston tunnuksia. Tulosten luotettavuutta heikentää alueen metsätyyppien määrityksen selkiytymättömyys tutkimuksen tekoaikaan sekä tutkimusaineiston niukkuus.

172. Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotantokyvyn valossa. Acta Forestalia Fennica 144.

Koko maan käsittävät taulukkomallit ja graafiset mallit kattavat luonnontilaisten täystiheiden männiköiden, kuusikoiden ja koivikoiden keski- ja valtaläpimitan kehityksen metsätyypeittäin.

Kasvu- ja tuotostaulukot perustuvat viiden eri osa-alueen tutkimusaineistoihin. Osa-alueittaiset (Etelä-Keski-Suomi, Pohjanmaa, Kainuu, Perä-Pohjola ja Pohjois-Lappi) tulokset on julkaistu aikaisemmin (Ilvessalo 1920, 1937, 1967, 1969 ja 1970). Tutkimus rajattiin yhden puulajin puhtaisiin metsiköihin niille ominaisilla metsätyypeillä. Koska koivukoealoilla kasvoi yleisesti sekä hies- että rauduskoivuja, laadittiin kehityssarjat erikseen hies- ja rauduskoivuvaltaisille metsiköille. Lisäaineistoa mitattiin Metsäntutkimuslaitoksen kestokoealoilta sekä maastosta seuduilta, joissa päämetsätyyppit vaihtuvat pohjoisempiin muotoihinsa.

Puusto mitattiin keskimäärin n. 0,20–0,25 ha:n koealolta, joita oli yhteensä 1200 kpl (689 mä, 254 ku, 86 rko ja 132 hko). Keskiläpimittana käytettiin kvadraattista eli neliökeskiläpimittaa sekä mediaaniläpimittaa. Tulosten laskennassa on käytetty graafisia tasoitusmenetelmiä.

Kuusiaineistossa oli mukana myös metsiköitä, joissa puusto oli alkuvaiheessa kasvanut alikasvoksena. Tästä johtunut selvä kehityksen hidastuminen eliminoitiin supistamalla aiempien kehityssarjojen ikää 0–20 vuodella OMT:llä ja enemmän huonommilla metsätyypeillä. Kehityssarjat alkavat 20–30 vuoden iästä, luokkaväli on 10–40 vuotta ja jatkuvat havumetsiköiden karuimpien kasvupaikkojen osalta 200–300 ikävuoteen asti. Taulukkoihin ja kuviin on sisällytetty myös päämetsätyyppien pohjoiset alamuodot. Lisäksi esitetään puuston keski- ja valtaläpimittojen kehitys harmaaleppämetsiköissä OMaT:llä ja OMT:llä Miettisen tutkimuksen (1933) mukaan.

173. Raulo, J. 1977. Development of dominant trees in *Betula pendula* Roth and *Betula pubenscens* Ehrh. plantations. Commun. Inst. For. Fenn. 90(4).

Istutettujen rauduskoivikoiden valtapuiden keskiläpimitan (valtaläpimitan) kehitys pelloilla ja OMT-kankailla esitetään taulukkomallina.

Aineisto sisälsi viisi entiselle viljelysmaalle ja viisi OMT- kankaalle perustettua yli 20-vuotiasta viljelykoivikkoa, jotka sijaitsivat Punkaharjun, Porvoon ja Kangasalan kunnissa. Koemetsiköistä 6 oli raudus- ja 4 hieskoivikkoa.

Puuston kehitystä tutkittiin 100 ja 400 paksuimman rungon (/ha) perusteella. Kustakin metsiköstä kaadettiin 4–6 runkoanalyysipuuta, joiden mittausten perusteella laadittiin läpimitan kasvukäyrä iän funktiona. Sadan järeimmän puun keskiläpimitan (=valtaläpimitan) kasvu saatiin lisäämällä tai vähentämällä runkoanalyysipuiden kasvukäyrän arvosta sama prosenttiosuus, jonka runkoanalyysipuiden keskiläpimitta poikkesi metsikön valtaläpimitasta.

Rauduskoivikon 100 ja 400 järeimmän puun keskiläpimitta pellolla ja OMT:llä esitetään taulukkona ikäluokittain (5–30 v). Lisäksi esitetään graafisesti rauduskoivun valtaläpimitan vuotuinen kasvu iän funktiona.

174. Vuokila, Y. 1985. Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen. Folia For. 636.

Tutkimuksessa tarkasteltiin eriasteisin harvennushakkuin käsiteltyjen istutuskuusikoiden keskiläpimitan keskimääräiset vuotuisia kasvuja.

Aineistona olivat viisi Heinolan lähellä sijaitsevaa istutuskuusikkoa, joista yksi edusti kasvupaikaltaan hyvää mustikkatyyppiä ja muut neljä hyvää lehtomaista kangasta. Vuosina 1961–1962 metsiköihin perustetut kestokokeet sisälsivät neljän eri käsittelyn kahdeksan toistoa (32 koealaa). Kokeita perustettaessa puustot porrastettiin seuraaviin tasoihin: luonnontilainen (jäljelle jäävä pohjapinta-ala 100 %), lievä harvennus (90 %), voimakas harvennus (75 %) ja erittäin voimakas harvennus (40 %). Jatkoharvennuksissa (4 kpl) pyrittiin säilyttämään sama pohjapinta-alan porrastus. Koemetsiköiden alkukehitys 13–15 m:n valtapituuteen saakka oli ollut yhtenäinen. Tutkimuksessa tarkasteltiin vaihtelevan puustopääoman vaikutusta puuston kasvuun koko kokeen eli 22–23 vuoden aikana.

Kokeen aikainen, pohjapinta-alalla punnitun keskiläpimitan keskimääräinen vuotuinen kasvu eri käsittelyillä esitetään taulukkomuodossa metsätyypeittäin. Koska kasvuluvuissa on mukana harvennusten aiheuttama keskiläpimitan lisääntyminen, on puiden kasvureaktiosta johtuva aito keskiläpimitan kasvu taulukossa esitettyjä arvoja pienempi. Käsittelyluokittainen läpimitan aito kasvu (cm ja % lpm:n lisääntymisestä) onkin esitetty erikseen kahdessa koemetsikössä.

175. Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Folia For. 752.

Julkaisussa kuvataan riukuvaiheen männiköiden keskiläpimitan kasvun riippuvuus kasvatustiheydestä.

Aineistona olivat Metsäntutkimuslaitoksen puuntuotoksen tutkimussuunnan 1970-luvun alussa perustamat taimikonharvennuskokeet Virroilla, Mäntässä ja Valkealassa. Metsiköt oli perustettu kylvämällä ja ne olivat kasvupaikaltaan VT-kankaita. Mittauksia tehtiin yhteensä 64 koealalla, joilla puusto oli harvennettu n. 7 metrin valtapituusvaiheessa eri tiheyksiin (700, 1000, 1600, 2200 ja 3000–4000 kpl/ha sekä harventamaton). Kokeita perustettaessa metsiköt olivat 18–19 vuotiaita. Ensimmäinen uusintamittaus tehtiin 5–6 ja toinen 10–12 vuoden kuluttua kokeiden perustamisesta. Kasvutunnukset laskettiin alku- ja loppuarvojen erotukesena.

Pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan kasvulle (Y, mm/v) tiheyden funktiona (X, kpl/ha) sovitettiin seuraava yhtälö:

$$Y = 69{,}27 \cdot X^{-0{,}36}$$

Lisäksi tutkimuksessa esitetään graafisesti keskiläpimitan kasvu runkolukusarjan eri osissa tiheysluokittain.

3.2.2.2. Keski- ja valtapituus

176. Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Acta Forestalia Fennica 15.

Julkaisussa on eteläsuomalaisen luonnontilaisen männikön, kuusikon ja koivikon keskipituuden ja valtapuiden pituuden kehitystä kuvaava taulukkomalli.

Tutkimusaineisto esitellään kohdassa 153.

Puulajittaisissa ja metsätyypittäisissä taulukoissa esitetään metsikön keskipituuden, sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun sekä luontaisen harvenemisen kautta metsiköstä kunakin 10-vuotiskautena poistuvan puumäärän keskipituus. Poistuman keskipituutta lukuunottamatta metsikön valtapuille on taulukoitu vastaavat arvot. Tutkimuksessa esitetty myös keskipituuden ja valtapuiden pituuden (eli valtapituuden) iänmukaiset kehityskäyrät.

177. Lappi-Seppälä, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltiger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Commun. Inst. For. Fenn. 15(2).

Taulukkomallin avulla tarkastellaan puulajeittaisen keski- ja valtapituuden kehitystä mänty-koivusekametsikössä.

Aineisto kuvataan kohdassa 154. Runkoanalyysipuiden perusteella selvitettiin valtapuiden pituus ja pituuskasvu iän funktiona. Männyn ja koivun ikäluokittaiset ja metsätyypeittäiset keskiarvot on tasoitettu graafisesti ja tulokset esitetty taulukkona ja käyrinä. Taulukoihin on lisäksi laskettu valta- ja keskipituuden keskimääräiset ikäluokittaiset pituuskasvut.

178. Miettinen, L. 1933. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Commun. Inst. For. Fenn. 18(1).

Julkaisussa esitellään harmaalepikön keskipituuden metsätyypeittäin tasoitetut kehityskäyrät sekä keskipituuden ja sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun ikäluokittaiset kehityssarjat taulukkoina. Lisäksi on tarkasteltu valtapuiden pituuden kehitystä.

Aineisto kerättiin Suomen eteläpuoliskon luonnontilaisista, normaalitiheistä ja puhtaista lepiköistä. Aineisto esitellään kohdassa 155.

Aritmeettisen keskipituuden kehitys esitetään kuvassa ja taulukossa metsätyypeillä OMaT ja OT ikävuosina 5–45. Valtapuiden pituuskehitys kuvataan samoin kuin kaikkien puiden keskipituuden kehitys, mutta kaikilla kolmella metsätyypillä (OMaT, OMT ja MT).

179. Cajander, E. K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 19(3).

Taulukko- ja graafisilla malleilla kuvataan eteläsuomalaisen viljelykuusikon keski- ja valtapituuden kehityksestä metsätyypittäin. Taulukossa esitetään keski- ja valtapituuden ja niiden

vuotuisen juoksevan sekä keskimääräisen kasvun kehityssarjat. Tutkimusaineisto esitellään kohdassa 156.

Kehityssarjat esitetään kaikilla metsätyypeillä (OMaT, OMT ja MT) ikävuosina 15–70. MT:n osalta käyrän jatkuminen yli 55 v. on epävarmaa, sillä vanhimmat MT:ltä mitatut koealat olivat vain 53 vuotiaita. OMaT:n koko käyrä on epävarma, sillä aineisto oli täysin riittämätön (5 koealaa). Vertailun vuoksi taulukossa ovat mukana luonnonkuusikon ja -männikön vastaavat kehityssarjat (Ilvessalo, 1920).

180. Ilvessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Acta Forestalia Fennica 24(2).

Tutkimuksessa laadittiin Perä-Pohjolan mänty-, kuusi- ja koivuvaltaisten metsiköiden keski- ja valtapituuden taulukkomuotoiset kehityssarjat ja graafisesti tasoitetut kehityskäyrät metsätyypeittäin. Aineisto kuvataan kohdassa 157.

Julkaisussa esitetään erikseen runkoluvulla ja pohjapinta-alalla painotettujen keskipituuksien kehityskäyrät ja -sarjat. Kuusella ja koivulla on jouduttu yhdistämään joitakin metsätyyppejä vähäisen aineiston vuoksi. Lisäksi runkoanalyysipuiden perusteella laadittiin männikön valtapituuden kehityssarjat (kuvaaja ja taulukko).

181. Kalela, E. K. 1937. Tutkimuksia kuusi-harmaaleppä-sekametsiköiden kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 44(2).

Julkaisussa esitellään graafiset mallit sekametsikössä kasvavan kuusen ja harmaalepän keskipituuksien sekä kuusen valtapituuden iänmukaiselle kehitykselle. Aineisto on koottu Suomen eteläpuoliskon itäosista ja se kuvataan kohdassa 158.

Kehityssarjat esitetään metsätyypeittäin ja puuston tiheysluokittain (harva, keskitiheä ja tiheä) ja ne kattavat kuusella ikävuodet 20–50 ja harmaalepällä 20–40.

182. Tikka, P. S. 1954. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. Commun. Inst. For. Fenn. 44(4).

Haavan keskipituus ja pituuskasvu metsikön iän funktiona määritetään taulukko- ja graafisilla malleilla. Aineisto kuvataan kohdassa 159.

Tutkimuksessa esitetään taulukot ja graafiset piirrokset haavan keskipituuden riippuvuudelle iästä (20–90 v) metsikkölajeittain (puhdas, haapavaltainen ja seka) sekä taulukko vuotuisista keskimääräisistä kasvuista 10 vuosittain ja metsikkölajeittain.

183. Nyyssönen, A. 1954b. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 60(4).

Tutkimus sisältää kuvauksen harvennusmänniköiden ja harsien käsiteltyjen männiköiden

valtapituuden sekä harvennusmänniköiden keskipituuden kehityksestä metsätyypeittäin.

Aineisto kuvataan kohdassa 160. Valtapituus laskettiin vallitsevan latvuskerroksen keskipituutena ja keskipituus harvennusmetsiköissä pohjapinta-alalla painottaen.

Tutkimuksessa esitetään graafiset kehityskäyrät toistuvasti harvennettujen ja harsittujen männiköiden valtapituudelle ikävuosina 40–120. Vertailun vuoksi mukana ovat myös Ilvessalon (1920) luonnonnormaalien metsiköiden metsätyypeittäiset kehityskäyrät. Lisäksi on taulukoitu harvennusmetsiköiden keskipituuden kehitys.

Metsikön keskimääräisen latvussuhteen kehitystä metsätyypeittäin harvennus- ja harsintametsiköissä kuvataan graafisesti sekä läpimittaluokittain taulukkomuodossa. Lisäksi on taulukko puiden kapenemisesta läpimittaluokissa 15, 21 ja 27 cm.

184. Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4).

Pohjois-Suomen kuusi-koivusekametsiköiden puulajeittainen keskipituuden kehitys kuvataan iän funktiona. Graafiset kehityskäyrät sekä taulukkomallit on laadittu erikseen kulon jälkeiselle primäärimetsikölle ja sitä seuraavalle sekundäärimetsikölle. Aineisto esitellään kohdassa 161.

Kuvissa ja taulukoissa esitetään erikseen valtapuiden, vallitsevan latvuskerroksen, päämetsikön (ei alikasvosta mukana) ja kaikkien puiden keskipituuden kehitys. Keskipituutena on käytetty runkoluvulla painotettua aritmeettista keskiarvoa. Kehityssarjat kattavat kuusella ikävuodet 60–300 ja koivulla 60–200.

185. Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 48(1).

Metsätyypeittäin graafisesti tasoitetut kehityssarjat ja -käyrät kuvavaat puuston valta- ja keskipituuden iänmukaisen kehityksen Etelä- Suomen hoidetuissa kuusikoissa.

Tutkimusaineisto esitellään kohdassa 162. Metsikön keskipituus määritettiin pituuskäyrältä keskiläpimitan eli pohjapinta-alamediaaniläpimitan kohdalta.

Hoidettujen kuusikoiden valtapituuden kehitystä on verrattu luonnonnormaalien kuusikoiden (Ilvessalo 1920) ja viljelykuusikoiden (Cajander 1933) kehitykseen ja keskipituuden kehitystä luonnonnormaalien kuusikoiden kehitykseen (Ilvessalo 1920).

186. Kallio, K. 1957. Käenkaali-mustikkatyypin kuusikoiden kehityksestä Suomen lounaisosassa. Taksatoris-liiketaloudellinen tutkimus. Acta Forestalia Fennica 66(3).

Tutkimuksessa laadittiin taulukko- ja graafiset mallit keski- ja valtapituuden kehityksestä lounaissuomalaisessa kuusikossa. Aineisto kuvataan kohdassa 163.

Tutkimuksessa esitetään graafisesti tasoitetut kuvaajat valtapituuden kehityksestä ikävuosina 25–100. Vertailun vuoksi mukana ovat valtapituuden kehityskäyrät OMT- ja MT-kuusikoissa Vuokilan (1956) mukaan. Keskipituuden kehitys esitetään taulukkomuodossa läpimitta- ja ikäluokittain.

187. Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Commun. Inst. For. Fenn. 51(8).

Kooste sisältää aiemmin julkaistuja kasvu- ja tuottotaulukoita sekä kehityssarjoja.

Mukana olevat taulukot on ryhmitelty seuraavasti:

1. Toistuvin harvennuksin käsitellyt metsiköt, Etelä-Suomi
2. Täystiheät luonnonmetsiköt, Suomen eteläpuolisko
3. Täystiheät luonnonmetsiköt, Perä-Pohjola
4. Viljelykuusikoiden kehityssarjoja, Etelä-Suomi
5. Harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen metsiköiden kehityssarjoja, Suomen eteläpuolisko

Taulukkoryhmien sovellusalueet ja alkuperäislähteet kuvataan tarkemmin kohdassa 164. Kaikista taulukkoryhmistä löytyvät valta- ja keskipituuden kehityssarjat. Osassa tutkimuksista keskipituus on laskettu runkoluvulla, osassa pohjapinta-alalla painottaen.

188. Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 71(3).

Etelä-Suomen kylvömänniköiden keski- ja valtapituus kuvataan graafisesti tasoitettuina kehityskäyrinä.

Aineisto kuvataan kohdassa 165. Keskipituus laskettiin eri läpimittaluokkien pohjapinta-aloilla painotettujen tasoitettujen pituuslukujen keskiarvoina.

Kehityskäyrät ulottuvat ikävuodesta 20 mustikkatyypillä 70. ja puolukkatyypillä 80. ikävuoteen saakka. Ikäluokittaiset keskimääräiset valta- ja keskipituudet esitetään myös taulukkoina. Vertailun vuoksi kuvissa ovat mukana luonnonnormaalien männiköiden valtapituuden kehityskäyrät Ilvessalon (1920) mukaan ja taulukoissa toistuvasti harvennettujen männiköiden keski- ja valtapituudet Nyyssösen (1954b) mukaan.

Pituuskäyrien lisäksi on laadittu kehityskäyrät elävän ja kuolleen latvuksen alarajalle (m) sekä latvussuhteelle (%) kapenemis- ja läpimittaluokittain.

189. Kuusela, K. 1964. Increment-drain forecast for a large forest area. Acta Forestalia Fennica 77(5).

Tutkimuksessa laadittiin keskipituuden kasvuyhtälöt Etelä-Suomen männiköille suuren alueen kasvun ja poistuman ennustamista (pohjapinta-ala-pituusmenetelmällä) varten.

Aineistona olivat vuonna 1963 Nikkarilassa mitatut 27 relaskooppikoealaa. Metsiköiden ikä vaihteli n. 20–140 v. Menneen 5-vuotiskauden pituuskasvu selvitettiin kiikarimittauksilla ja poistuman kasvu määritettiin kantojen perusteella. Kasvupaikkaindeksi määritettiin valtapituuden keskimääräisen kasvun perusteella. Tulevan kasvun ennustamista varten oli selvitettävä yhtälössä mukana olevien metsikkömuuttujien arvot ennustejakson alussa. Tarvittavat laskelmat tehtiin regressioanalyysin avulla.

Kasvuyhtälöissä selitettävänä muuttujana on kasvuprosentti eli koronkorkolaskun jälkiarvotekijän prosenttiosa:

$$y = 100 \cdot \log(10000 \cdot (1{,}0 \cdot p_{hg}{}^{5} - 1)),$$

missä koronkorkoprosentti laskettiin kaavalla

$$1{,}0 \cdot p_{hg}{}^{5} = h_{gE}/h_{gE,-5}):$$

Yhtälö on muotoa:

$$y = 419{,}0120 - 0{,}6235 \cdot 100 \cdot \log(t_{1,3}) - 1{,}8775 \cdot h_g$$

$$R = 0{,}932 \quad s_e = 37{,}7\ \%$$

$$y = 509{,}1341 - 1{,}1539 \cdot 100 \cdot \log(t_{1,3}) + 0{,}0585 \cdot g + 0{,}2428 \cdot h_g - 3{,}3664 \cdot B$$

$$R = 0{,}936 \quad s_e = 38{,}3\ \%$$

$$y = 325{,}6281 - 0{,}1762 \cdot g - 4{,}3639 \cdot h_g + 2{,}8942 \cdot B$$

$$R = 0{,}921 \quad s_e = 41{,}4\ \%$$

$$y = 358{,}0055 - 4{,}7545 \cdot h_g$$

$$R = 0{,}906 \quad s_e = 43{,}3\ \%$$

$$y = 357{,}7500 + 0{,}0662 \cdot g - 4{,}8120 \cdot h_g$$

$$R = 0{,}906 \quad s_e = 44{,}1\ \%$$

Missä:

h_{gE} = jäljellä olevan puuston pohjapinta-alalla painotettu keskipituus mittaushetkellä, m

$h_{gE,-5}$ = vastaava keskipituus 5 vuotta aikaisemmin, m

$t_{1,3}$ = puuston rinnankorkeusikä laskentajakson keskellä,v

g = puuston pohjapinta-ala ennustejakson alussa, m^3/ha

d_g = pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta ennustejakson alussa, m^3/ha

h_g = pohjapinta-alalla painotettu keskipituus ennustejakson alussa, m

B = kasvupaikkaindeksi

190. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Hoidettujen männiköiden kasvu- ja tuottotaulukoita varten laadittiin metsikön valtapituuden kasvuprosentin estimoiva regressioyhtälö. Aineisto kuvataan kohdasa 38.

Hakkuun jälkeisen valtapituuden kasvun ennustava yhtälö:

$$P_{Hdom} = -4{,}9478 + 16{,}2403 \cdot 1/\sqrt{H_{domi}} + 53{,}6247 \cdot 1/T_i + 0{,}3953 \cdot H_{domi}/G_{ui} + 0{,}0624 \cdot G_{ui}$$

$$R^2 = 0{,}970$$

missä P_{Hdom} = metsikön valtapituuden keskimääräinen kasvusadannes koronkorko-periaatteella kahden perättäisen harvennuksen välisenä aikana, %
u = kuoren alta
i = ennustejakson alussa

191. Ilvessalo, Y. 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Acta Forestalia Fennica 81(5).

Kainuun kivennäismaiden männiköiden (ja kuusikoiden) keski- ja valtapituuden kehityssarjat metsätyypeittäin esitetään taulukkomalleina ja graafisesti tasoitettuina kehityskäyrinä.

Aineisto kuvataan kohdassa 166. Pituusmittauksia tehtiin keskimäärin 60 pystypuusta kussakin koealametsikössä. Keskipituudella tarkoitetaan runkolukusarjan mediaanipuun keskimääräistä pituutta.

Männiköiden keski- ja valtapituuden kehityskäyrät kattavat ikävuodet 40–140 metsätyypeillä EVT ja ECT. Vertailun vuoksi mukana on Etelä-Suomen ja Perä-Pohjolan vastaavia kehityskäyriä (Ilvessalo 1920, 1937). Taulukossa esitetään ikäluokittaisten pituustunnusten lisäksi kunkin 10-vuotisjakson kasvut (pituuden lisäys 10 v:n aikana).

Kuusikkoaineisto oli niin vaihteleva, ettei sen perusteella voitu laatia luotettavia kehityskäyriä. Koordinaatistoon on kuitenkin piirretty kuusikoealojen keskipituudet ja verrattu niitä männiköiden kehityskäyriin.

192. Vuokila, Y. 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Commun. Inst. For. Fenn. 63(2). (ks. myös Vuokila, 1965).

Tutkimuksessa esitellään taulukkomalli harvennushakkuin käsitellyn männikön keski- ja valtapituuden iänmukaisesta kehityksestä kasvupaikkatyypeittäin ja metsikön käsittelyasteittain. Aineisto kuvataan kohdassa 167.

Kehityssarjat tarkastelevat harvennusmetsiköiden kehitystä ikävuodesta 13–36 (kasvupaikasta riippuen) kiertoajan loppuun (75–115 v). Taulukoissa esitetään erikseen puuston ikäluokittaiset keskipituudet (aritmeettinen keskiarvo) ennen hakkuuta ja sen jäl-

keen sekä lisäksi poistuneen puuston keskipituudet.

193. Ilvessalo, Y. 1969. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 96.

Metsikön valta- ja keskipituuden keskimääräinen kehitys Pohjanmaan männiköissä esitetään taulukko- ja graafisina malleina.

Aineisto kuvataan kohdassa 168. Keskipituudella tarkoitetaan pohjapinta-alamediaanipuun pituutta.

Männikön keski- ja valtapituuden kehitys (20–140 v.) esitetään taulukoissa ja piirroksissa metsätyypeittäin (MT, VT ja CT). Kuusi- ja koivumetsiköiden keskiläpimitan kehitystä on tekstissä vertailtu Etelä- ja Keski-Suomen männyn tasoon, mutta kehityssarjoja ei ole esitetty riittämättömän aineiston vuoksi.

194. Ilvessalo, Y. 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 108.

Julkaisussa esitellään Pohjois-Lapin mäntyvaltaisten metsiköiden keski- ja valtapituuden metsätyypittäiset kehityskäyrät ja taulukkomuotoiset kehityssarjat.

Aineisto kuvataan kohdassa 169. Puuston keskipituus on laskettu pohjapinta-alalla painotettuna.

Kehityssarjat ja -käyrät kattavat EM(Cl)T:llä ja ErClT:llä ikävuodet 40–300 ja ClT:llä vuodet 80–300. Taulukossa esitetään myös valtapuiden kunkin ikävälin keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu.

195. Vuokila, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Acta Forestalia Fennica 110.

Julkaisu käsittelee eteläsuomalaisen harsintaharvennuksin käsitellyn männikön keski- ja valtapituuden iänmukaista kehitystä. Tutkimuksessa esitetään harsintaharvennuksin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot. Aineisto kuvataan kohdassa 170.

Kehityssarjojen alku (nuoruusvaihe n. 18–40 v, alaharvennukset) on sama kuin Vuokilan (1967) aikaisemmassa tutkimuksessa, jonka jälkeen luvut kuvaavat harsimalla käsitellyn metsikön kehitystä (n. 45–95 v). Taulukoissa esitetään erikseen puuston keskipituus ennen hakkuuta ja sen jälkeen sekä poistuneen puuston keskipituus.

Valtapituuden osalta harsintametsiköiden (koealojen) keskimääräisiä vuotuisia kasvuprosentteja on vertailtu graafisesti Vuokilan (1967) voimakkain alaharvennuksin käsiteltyjen metsiköiden kehityskäyrään.

196. Koivisto, P. 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Folia For. 142.

Hakkuin käsitellyn männikön valta- ja keskipituuden kehitys Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla kuvataan taulukko- ja graafisen mallin avulla. Aineisto esitellään kohdassa 171.

Männikön valtapituuden ja pohjapinta-alalla painotetun keskipituuden kehityssarjat (20–150 v) esitetään metsätyypeittäin. Taulukot kuvaavat metsiköiden keskimääräistä kehitystä, eikä niissä ole eroteltu jäävän ja poistuneen puuston tunnuksia. Tulosten luotettavuutta heikentää alueen metsätyyppien määrityksen selkiytymättömyys tutkimuksen tekoaikaan sekä tutkimusaineiston niukkuus.

197. Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotantokyvyn valossa. Acta Forestalia Fennica 144.

Luonnontilaisten täystiheiden männiköiden, kuusikoiden ja koivikoiden keski- ja valtapituuden keskimääräinen kehitys kuvataan metsätyypeittäin. Laaditut taulukko- ja graafiset mallit kattavat koko maan. Aineisto esitellään kohdassa 172.

Kehityssarjat alkavat 15–20 vuoden iästä, luokkaväli on 10–40 vuotta ja jatkuvat havumetsiköiden karuimpien kasvupaikkojen osalta 200–300 ikävuoteen asti. Taulukkoihin ja kuviin on sisällytetty myös päämetsätyyppien pohjoiset alamuodot. Lisäksi esitetään puuston keski- ja valtapituuksien kehitys harmaaleppämetsiköissä OMaT:llä ja OMT:llä Miettisen tutkimuksen (1933) mukaan.

198. Raulo, J. 1977. Development of dominant trees in *Betula pendula* Roth and *Betula pubenscens* Ehrh. plantations. Commun. Inst. For. Fenn. 90(4).

Istutettujen rauduskoivikoiden valtapituuden kehitystä pelloilla ja OMT-kankailla tarkastellaan taulukkomallin avulla.

Aineisto kuvataan kokonaisuudessaan kohdassa 173. Puuston kehitystä tutkittiin 100 ja 400 paksuimman rungon (/ha) perusteella. Sadan järeimmän puun keskimääräinen pituuskasvu (eli valtapituuden kasvu) saatiin lisäämällä (tai vähentämällä) runkoanalyysipuiden kasvukäyrän arvosta (arvoon) sama prosenttiosuus, jonka runkoanalyysipuiden keskipituus poikkesi metsikön valtapituudesta.

Rauduskoivikon 100 ja 400 järeimmän puun keskipituus pellolla ja OMT:llä esitetään taulukkona ikäluokittain (5–30 v). Lisäksi esitetään graafisesti 100 järeimmän rauduskoivun keskimääräinen vuotuinen pituuskasvu (valtapituuden kasvu) iän funktiona.

199. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Tutkimuksessa laadittiin hieskoivun valtapituuden kasvuyhtälö, jonka avulla muodostettiin pituusbonitettiluokat ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 74.

Valtapituuden kasvuyhtälö:

$$P_H = 3{,}04105 + 0{,}11580 \cdot (100-T) + 1{,}11130 \cdot ((26-H_{dom})/10)^5 - 2{,}01025 \cdot ((26-H_{dom})/10)^3$$

Missä P_H = valtapituuden tulevan 5-vuotiskauden kasvun ennusteprosentti (5 v:n summaprosentti)
T = metsikön ikä kannonkorkeudelta mitattuna jakson alussa
H_{dom} = metsikön valtapituus jakson alussa, m

Yhtälöä voidaan soveltaa valtapituudeltaan alle 26 metriä pitkissä hieskoivikoissa. Laadinta- ja testiaineiston perusteella yhtälössä ei ollut systemaattista virhettä, tosin se saattaa yliarvioida vanhimpien metsiköiden pituuskasvua. Tutkimusalueella eivät ilmastotekijät eikä metsikön tiheys olleet merkittäviä selittäjiä, mihin lienee syynä aineiston suppeus.

Valtapituuden kasvuyhtälön perusteella laadittiin hieskoivun pituusbonitettikäyrät, joita voidaan soveltaa metsikön ollessa n. 25–70 vuotias.

200. Leikola, M., Metsämuuronen, M., Räsänen, P. K. ja Taimisto, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967–1975. Folia For. 312.

Männyn viljelytaimikon keskipituuden kehityskäyrät esitetään metsätyypeittäin.

Aineistona olivat Lounais-Suomessa mitatut 37 koealametsikköä, joista 17 oli perustettu istuttamalla (9 MT:llä ja 8 VT:llä) ja 20 kylvämällä (6 MT:llä ja 14 VT:llä). Taimistossa mitattiin sen pinta-alasta riippuen 2–6 koealaryvästä (9 ympyräkoealaa(4 m^2)/ryväs).

Koealolta määritetyn taimikon keskipituuden ja vuoden 1968 inventointitulosten (Yli-Vakkuri ym. 1969) perusteella piirrettiin erikseen istutus- ja kylvötaimistojen pituuden kehityskäyrät MT:llä ja VT:llä. Käyrät kattavat ikävuodet 3–16.

201. Rautiainen, O. & Räsänen, P. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden kehitys Itä-Savossa 1968–1976. Folia For. 426.

Julkaisussa esitellään männyn ja kuusen viljelytaimikon keskipituuden metsätyypittäiset kehityskäyrät.

Aineistona olivat Itä-Savon piirimetsälautakunnan alueelta mitatut 44 koealametsikköä; 27 männiköstä 18 oli perustettu kylvämällä (9 MT:llä ja 9 VT:llä) ja 9 istutttamalla (VT:llä), kaikki kuusikot olivat istutettuja (9 MT:llä ja 8 OMT:llä). Taimistossa mitattiin sen pinta-alasta riippuen 2–6 koealaryvästä (9 ympyräkoealaa(4 m^2)/ryväs).

Koealolta määritetyn taimikon keskipituuden ja vuoden 1968 inventointitulosten (Yli-Vakkuri ym. 1969) perusteella piirrettiin mänty- ja kuusitaimistojen keskipituuden kehityskäyrät MT:llä ja VT:llä (männyllä istutetut ja kylvetyt erikseen). Käyrät kattavat ikävuodet 3–16.

202. Gustavsen, H. G. 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Folia For. 454.

Tutkimuksessa laadittiin valtapituuden kehitysyhtälöt ja niihin perustuvat pituusbonitettikäyrästöt luontaisesti syntyneille suomalaisille kuusikoille ja männiköille.

Laadinta-aineistona oli otos VMI 3:n aineistosta (vuosilta 1951–1953). Mukaan hyväksyttiin vain yksijaksoiset, valtapituudeltaan yli 4 metriset ja alle 140 vuotiaat mänty- ja kuusikoealat, joissa pääpuulajin osuus oli yli 50 % puuston tilavuudesta. Aineisto käsitti yhteensä 1069 luontaisesti syntynyttä männikkö- ja 617 kuusikkokoealaa.

Koska VMI-aineistossa oli niukasti parhaimpien kasvupaikkojen männiköitä, otettiin mukaan 77 lisäkoealaa Etelä-Suomesta: 37 koealaa Vuokilan (1965) männikköaineistosta ja 40 koealaa VMI:in kytketystä pysyvästä koealaverkostosta.

Valtapituuden kasvuyhtälö:

$$H_{dom} = d \cdot (H_{100}/d)^{e^{(b/T^{a-1} - b/100^{a-1})}}$$

Mallin parametrit estimoitiin iterointimenetelmällä asteittain (400 kierrosta) ja näin saadut estimaatit esitetään seuraavassa asetelmassa:

	d	b	a–1
mänty:	128,229	4,70248	0,47692
kuusi:	147,481	4,64631	0,29981

Mallin käyttö edellyttää, että havainnot ryhmitellään boniteettiluokkiin (H_{100}) etukäteen. Vaikka yhtälössä on selittävänä tekijänä puuston kokonaisikä, voidaan valtapituuden kehitys saada selville sijoittamalla kokonaisiän paikalle rinnankorkeusikä lisättynä vuosimäärällä, jonka valtapuut tarvitsevat saavuttaakseen rinnankorkeuden eri boniteettiluokissa ($T = T_{1,3} + t(1,3\ m)$).

Tutkimuksessa esitetään em. yhtälöön perustuvat boniteettikäyrästöt sekä rinnankorkeusiän perusteella muodostettujen boniteettiluokkien raja-arvotaulukot ja kokonaisikään perustuvien boniteettiluokkien valtapituuden kehityksen keskiarvotaulukot.

Boniteettiluokat voidaan määrittää myös kokonaisiän funktiona suoraan yhtälöllä

$$H_{100} = d \cdot \exp\left(\frac{\ln(H_{dom}) - \ln(d)}{\exp(b/T^{a-1} - b/100^{a-1})}\right)$$

jossa parametrien d, b ja a–1 arvot ovat samat kuin edellä.

Metsikön keskimääräinen vuotuinen valtapituuden kasvu voidaan määrittää yhtälöillä, jotka on saatu derivoimalla pääyhtälö (H_{dom}):

Mänty: $I_{Hdom} = H_{dom} \cdot \ln(H_{100}/128{,}229) \cdot \exp(4{,}70248/T^{0{,}47692} - 4{,}70248/100^{0{,}47692}) \cdot (-2{,}24269/T^{1{,}47692})$

Kuusi: $I_{Hdom} = H_{dom} \cdot \ln(H_{100}/147{,}481) \cdot \exp(4{,}64631/T^{0{,}29981} - 4{,}64631/100^{0{,}29981}) \cdot (-1{,}39299/T^{1{,}29981})$

Yhtälöiden käyttö edellyttää, että pituusbonitetti on ensin arvioitu joko laadituilta käyriltä tai laskettu yhtälöillä (H_{100}). Edellä kuvatut kasvuyhtälöt on myös taulukoitu.

Yhtälöt aliarvioivat nuorten ja yliarvioivat vanhojen metsiköiden valtapituuksia, männiköissä selvemmin kuin kuusikoissa. Pituusbonitettikäyrien käytön rajoitukset:

- –valtapuiden rinnankorkeusiän vaihtelu ei saa olla liian suuri (20–30 v)
- –pääpuulajin osuus on yli 60 % metsikön tilavuudesta
- –puustoa on käsitelty alaharvennuksin, ei harsien
- –ojitetuilla ja lannoitetuilla mailla harhauttavia tuloksia (koska näitä ei ollut mukana laadinta-aineistossa)
- –rinnankorkeusiältään alle 30 v. ja valtapituudeltaan alle 7 m:n metsiköiden bonitointi on epätarkkaa

203. Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2).

Julkaisu sisältää mm. regressiomallin, jolla ennustetaan viljelymännikön ja istutuskuusikon valtapituuden vuotuista kasvuprosenttia tulevan 5-vuotiskauden aikana.

Aineisto kuvataan kohdassa 82.

Valtapituuden kasvuyhtälöt:

Istutuskuusikko:

$$P_H = -0{,}41018 + 616{,}40 \cdot 1/(H^{0{,}55} \cdot T^{1{,}05}) - 3592{,}9 \cdot 1/(H^{0{,}55} \cdot T^{1{,}05})^2$$
$$R = 0{,}920$$

Yhtälön käytön rajoitukset: H = 33 m, T = 100 v, P_H = 0,3 %,
H = 10 m, T = 22 v, P_H = 5,9 %

Kylvömännikkö:

$$P_H = -0{,}40006 + 434{,}52 \cdot 1/(H^{0{,}4} \cdot T^{1{,}1}) - 124{,}51 \cdot 1/(H^{0{,}4} \cdot T^{1{,}1})^2$$
$$R = 0{,}940$$

Yhtälön käytön rajoitus: H = 30 m, T = 100 v, P_H = 0,3 %

missä:

P_H = valtapituuden tulevan 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen kasvu prosentti, %

H = puuston valtapituus, m

Yhtälöiden avulla laadittiin pituusboniteettiluokat suomalaisille istutuskuusikoille ja kylvömänniköille. Boniteettikäyrät esitetään metsikön biologisen iän funktiona. Jos metsiköstä kuitenkin tunnetaan rinnankorkeusikä, voidaan boniteetti määrittää lisäämällä siihen tutkimuksessa esitetyt vuosimäärät.

204. Oikarinen, M. 1980. Viljelykoivikon, -kuusikon ja -männikön kasvusta ja tuotoksesta. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 21.

Julkaisussa esitellään hies- ja rauduskoivikoiden valtapituuden kehityskäyrät.

Aineistona käytettiin vuonna 1969 aloitetun kasvu- ja tuotostutkimuksen aineistoa. Mukana oli yhteensä 16 varttunutta viljelykoivikkoa, joista 11 oli raudus- ja 5 hieskoivikoita. Metsiköt sijaitsivat eteläisessä Suomessa, suurin osa Punkaharjulla ja Kangasalan tienoilla. Kasvupaikoiltaan rauduskoivikot edustivat peltoja (H_{50} = 28 m), OMT- ja MT-kankaita (H_{50} = 26 m ja 24 m) ja hieskoivikot peltoja (H_{50} = 22 m) ja OMT-kankaita (H_{50} = 22 m).

Koivun kiertoaikana oli 60 vuotta, jonka aikana oli tehty 2–3 harvennushakkuuta (poistuma 20–30 % tilavuudesta).

Valtapituuden kehityskäyrät esitetään molempien puulajien kasvaessa parhaimmilla kasvupaikoillaan ja niitä on verrattu männikön ja kuusikon valtapituuden kehityskäyriin (Vuokila & Väliaho 1980).

205. Varmola, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Folia For. 524.

Julkaisussa esitellään taimikko- ja riukuvaiheen männiköiden valtapituuden iänmukaiset kehityskäyrät eri pituusboniteettiluokissa. Käyrät laadittiin graafisella tasoituksella.

Aineistona olivat Metsäntutkimuslaitoksen metsänarvioimisen tutkimusosaston vuonna 1970 perustamat taimikon harvennuskokeet. Metsiköitä oli yhteenä 26 ja niistä mitattuja koealoja kaikkiaan 296. Maantieteellisesti koemetsiköt jakautuvat lähes koko maahan Lappia lukuunottamatta; pohjoisimmat koealat sijaitsivat Perä-Pohjolan metsäkasvillisuusvyöhykkeen etelärajalla.

Koetaimikoista 10 oli luontaisesti syntyneitä ja 16 oli perustettu kylväen. Maan muokkausmenetelmänä oli käytetty karhintaa, laikutusta, kulotusta tai ei mitään. Metsätyypeiltään koealat edustivat (tuoreita, 1 kpl) kuivahkoja ja kuivia kankaita. Aineisto bonitoitiin Vuokilan & Väliahon (1980) menetelmällä. Metsiköiden ikä kokeiden perustamisvaiheessa vaihteli 11–30 v. Kokeita perustettaessa taimikkokuviot jaettiin lohkoihin, joilla puusto harvennettiin eri tiheyksiin. (Aikaisemmin metsiköitä oli käsitelty perkauksin ja/tai harvennuksin.) Harvennuksen jälkeisen viisivuotiskauden aikainen puuston kasvu selvitettiin uusintamit-

tausten perusteella. Valtapituuden oletettiin olevan riippumaton metsikön tiheydestä.

Valtapituuden kehityskäyrät esitetään erikseen pituusboniteettiluokille 27–30 (kyvetyt VT-männiköt), 24 (luontaiset VT-männiköt) ja 18–21 (CT-männiköt). Ne kuvaavat valtapituuden alkukehitystä syntyhetkestä (n. 0–10 v. ekstrapoloitu) ikävuoteen 30 asti. Loppuosalla ne yhtyvät Vuokilan & Väliahon (1980) kylvömänniköiden valtapituuskäyriin. Lisäksi tutkimuksessa esitetään valtapituuden vuotuisen kasvun kehitys iän funktiona.

206. Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 113.

Työssä laadittiin viljellyn rauduskoivikon valtapituuden kasvuprosentin tulevan 5-vuotiskauden aikana ennustava regressiomalli, jota tarvittiin viljelykoivikoiden kasvatusmallien laadintaa varten.

Aineisto kuvataan kohdassa 83. Pituuskasvutiedot saatiin kestokoealojen perustamis- (1970) ja uusintamittausten (1974) erotuksena. Keväällä 1982 koealojen valtapituus mitattiin toistamiseen. Valtapituuden kehitys saatiin näin kartoitetuksi 12 vuoden ajalta, mikä paransi mallien luotettavuutta.

Valtapituuden kasvuyhtälö:

$$P_H = -1{,}103 + 3177{,}4 \cdot 1/(T+4{,}5)^{1{,}5} + 802{,}8 \cdot 1/H^{1{,}8} - 3{,}99 \cdot ((H+34{,}7)/T)^{1{,}2}$$

Missä P_H = valtapituuden tulevan 5-vuotiskauden kasvun ennuste-%
H = puuston valtapituus, m

Laadittua valtapituuden kasvuyhtälöä käyttäen laskettiin viljelykoivikoiden pituusbonitettikäyrät (metsikön valtapituus 50 vuoden iällä).

207. Vuokila, Y., Gustavsen, H.G. & Luoma, P. 1983. Siperianlehtikuusikoiden kasvupaikkojen luokittelu ja harvennusmallit. Folia For. 554.

Siperian lehtikuusen tulevan 5-vuotiskauden valtapituuden kasvua ennustetaan tulomuotoisella regressiomallilla.

Aineistona oli sekä pysyviä että tilapäisiä koealoja. Kestokoealoja oli mukana 26 kpl, joista vanhimmat oli perustettu vuonna 1924. Tilapäiskoealoista 35 oli Vuokilan (1960a) käyttämästä aineistosta ja 87 Metsäntutkimuslaitoksen metsänhoidon tutkimusosaston eri puolilta Suomea mittaamia koealoja, joita käytettiin lähinnä testiaineistona. Kestokoeaineisto oli lähinnä lehtomaisilta ja tuoreilta kankailta.

Valtapituuden kasvuyhtälö:

$$I_{H5} = \exp(1{,}87400 - 1{,}00350 \cdot \ln(T) + 1{,}10264 \cdot \ln(H) - 0{,}0411495 \cdot H)$$

Missä I_{H5} = tulevan 5-vuotiskauden valtapituuden kasvu, m
H = puuston valtapituus ennustejakson alussa, m

Eksponenttiin on lisätty logaritmimuunnoksen korjaustekijä $s_e^2/2$, missä s_e on yhtälön jäännöshajonta (s_e = 0,3988). Yhtälön selitysaste oli 0,176.

Tutkimuksessa esitetään yhtälöön perustuvat pituusboniteettien raja-arvokäyrät biologisen iän ja valtapituuden funktiona. Käyrät on laadittu iteroimalla siten, että ne saavuttavat 100 v:n iällä tavoitellut valtapituusarvot (H_{100}-luokat 36–27, väli 3 m). Suoraan bonitointiin yhtälö ei sovi, mutta käyrästön avulla voidaan luokitella mikä tahansa siperianlehtikuusikko, kun valtapituus ja ikä tunnetaan.

Testiaineiston perusteella kasvupaikkaa OMT vastaava pituusboniteetti (H_{100}) oli keskimäärin 35,3, MT:ä 33,6 ja VT:ä 27,5.

208. Gustavsen, H. G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Folia For. 597.

Julkaisussa esitellään luontaisesti syntyneen kivennäismaan koivikon valtapituuden kasvuyhtälö. Yhtälö laadittiin puuston ikään ja valtapituuteen perustuvaa kasvupaikkaluokittelua ja kasvupaikan puuntuotoskyvyn määrittämistä varten. Hies- ja rauduskoivikoita ei eritelty.

Aineisto koottiin 19 vanhalta kestokoealalta ja sekametsiköiden kasvututkimuksen 58 tilapäiseltä kasvukoealalta (Mielikäinen 1980, 1985). Kestokoealoilta oli käytössä yhteensä 67 havaintojakson kasvutiedot ja kertakoealoilta 274 10-vuotisjakson kasvut. Suurin osa koealoista edusti metsätyyppejä OMT ja MT. Testiaineistona käytettiin VMI 3:n 285 kertakoealan mittaustuloksia sekä 2 Rovaniemen mlk:ssa mitatun koealan runkoanalyysipuiden mittaustuloksia.

Tulevan vuoden valtapituuden kasvu:

$$\ln(I_{Hdom}) = 0{,}50766 - 1{,}34612 \cdot \ln(T) + 1{,}61986 \cdot \ln(H_{dom}) - 0{,}07157 \cdot H_{dom}$$

$N = 341 \quad R^2 = 0{,}578 \quad s_f = 0{,}422$

Yhtälön vakioon on lisätty logaritmimuunnoksen edellyttämä korjaustekijä $s_f^2/2$. Yhtälöllä lasketut kasvut on myös taulukoitu ikä- ja valtapituusluokittain.

Laadittua valtapituuden kasvuyhtälöä käyttäen laskettiin luontaisten koivikoiden pituusbonitettikäyrät (metsikön valtapituus 50 vuoden iällä). Testiaineiston perusteella yhtä viljavilla kasvupaikoilla kasvavista metsiköistä hieskoivikko kuuluu selvästi alempaan boniteettiluokkaan kuin rauduskoivikko.

Pituusboniteettiluokkien keskiarvokäyriä vertailtiin vastaaviin norjalaisiin ja ruotsalaisiin käyrästöihin sekä suomalaisiin viljelykoivikoiden boniteettikäyrästöihin.

209. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Regressioyhtälöt laadittiin kuvaamaan kuusen sekä hies- ja rauduskoivun valtapituuden kehitystä. Tutkimuksen varsinaisena tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden rakennetta ja kehitystä. Aineisto kuvataan kohdassa 10.

Valtapituuden kehitysyhtälöt:

Kuusi (N = 37):

$$\ln(H_{dom}) = -2{,}98 + 0{,}5036 \cdot \ln(T_{1,3}) + 0{,}0029 \cdot T_{1,3} + 1{,}155 \cdot \ln(H_{100})$$

Rauduskoivu (N = 37):

$$\ln(H_{dom}) = -2{,}468 + 0{,}6118 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}00165 \cdot T_{1,3} + 0{,}9703 \cdot \ln(H_{100})$$

Hieskoivu (N = 34):

$$\ln(H_{dom}) = -2{,}865 + 0{,}6867 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}00208 \cdot T_{1,3} + 0{,}9669 \cdot \ln(H_{100})$$

Tutkimuksessa esitetään näiden yhtälöiden perusteella tasoitetut valtapituuden kehityskäyrät. Lisäksi laadittiin yhtälöt, jotka estimoivat puulajeittain lasketut valtapituuden ja keskipituuden erot. Pituustunnusten ero kuvaa puuston rakennetta ja aiempaa käsittelyä.

Kuusi: $H_{dom}-H = -21{,}8 + 13{,}92 \cdot \ln(H_{dom}) - 0{,}8300 \cdot H_{dom}$

Raudus: $H_{dom}-H = 14{,}83 - 6{,}971 \cdot \ln(H_{dom}) + 0{,}3133 \cdot H_{dom}$

Hies: $H_{dom}-H = 4{,}366 - 1{,}107 \cdot \ln(H_{dom})$

missä:

H_{100} = kuusen valtapituus 100 v:n iällä (pituusboniteetti),m

$T_{1,3}$ = rinnankorkeudelta mitattu puuston ikä, a

H =puuston phjapinta-alalla painotettu keskipituus, m

210. Vuokila, Y. 1985. Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen. Folia For. 636.

Julkaisussa esitetään eriasteisin harvennushakkuin käsiteltyjen istutuskuusikoiden valtapituuden keskimääräiset vuotuiset kasvut. Aineisto kuvataan kohdassa 174.

Kokeen aikainen (22–23 v) valtapituuden keskimääräinen vuotuinen kasvu eri käsittelyillä (harventamaton, lievä, voimakas ja erittäin voimakas harvennus) esitetään taulukkomuodossa metsätyypeillä MT ja OMT.

211. Räsänen, P. K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & Rautiainen, O. 1985. Metsien uudistaminen kuuden eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueella. Vuosien 1978–1979 inventointitulokset. Folia For. 637.

Julkaisu tarkastelee luontaisesti syntyneiden ja viljeltyjen männyn ja kuusen taimien keskipituuden kehityskäyriä iän funktiona metsätyypeittäin.

Tutkimusaineisto oli otos VMI 7:n koeala-aineistosta. Vuosina 1978–1979 mitattiin kaikkiaan 1365 uudistusalaa Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uusimaa-Hämeen, Pirkka-Hämeen ja Etelä-Karjalan piirimetsälautakuntien alueelta. Kullekin otokseen mukaan tulleelle VMI-koealalle sijoitettiin yksi koealaryväs, joka muodostui 10 tai 18 ympyräkoealasta. Jokaiselta koealalta määritettiin kasvatuskelpoiset taimet puulajeittain ja syntytavoittain sekä mitattiin niiden pituudet. Erikoiskoealoilta mitattiin lisäksi kolmen viimeisen (kasvatuskelpoiset) tai edellisen (muut) vuoden pituuskasvut, tyviläpimitta, (yli 1,3 m myös $d_{1,3}$), ikä (kasvatuskelpoiset), vikaisuus ja tuhot.

Luontaisesti syntyneiden kasvatuskelpoisten taimien keskipituus iän suhteen (0–20 v) esitetään graafisesti männyllä metsätyypeillä MT, VT ja CT ja kuusella MT:llä ja OMT:llä. Vastaavasti esitetään kylvömänniköiden (MT ja VT), istutusmänniköiden (OMT, MT ja VT) ja istutuskuusikoiden (OMT ja MT) keskipituuden kehitys.

212. Varmola, M. 1987. Männyn vijelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin Yliopisto.

Valtapuiden tulevan 5-vuotiskauden pituuskasvun ennustava regressiomalli laadittiin pituusbonitointia varten.

Aineisto kuvataan kohdassa 78. Tutkimuksessa pituusbonitetti (H_{100}) määritettiin Häggglundin (1976) välipituusmenetelmällä niillä koealoilla, joilla se oli mahdollista (62 kpl) eli viiden vuoden pituuskasvu 2,5 metrin yläpuolella olevasta oksakiehkurasta alkaen voitiin laskea. Muiden (38) taimikoiden boniteetin määrittämiseksi laadittiin valtapituuden kasvumalli. Aineistona olivat ne 62 koealaa, joille bonitetti oli määritetty Hägglundin menetelmällä.

Valtapituuden kasvuyhtälö:

$$\ln(I_{Hdom5}) = -3{,}34630 + 0{,}270265 \cdot \ln(H_{dom}+0{,}01) + 1{,}18076 \cdot \ln(H_{100}-H_{dom}) + 0{,}0125849 \cdot H_{100}$$

$R^2 = 0{,}733 \quad s_e = 13{,}3\ \% \quad N = 645$

Logaritmimallin vaatima tasokorjaus s_e^2 on lisätty vakioon.

Muuttuja $\ln(H_{100}-H_{dom})$ toimii mallissa asymptoottina, joten malli ei käyttäydy loogisesti, kun metsikön ikä lähenee sataa vuotta. Pienillä valtapituuden arvoilla saadaan kasvulle selvä aliarvio kylvötaimikoissa. Lisäselittäjinä kokeiltiin runkolukua ja syntytapavalemuuttujaa

(kylvö/istutus), mutta kummallakaan ei ollut merkitystä valtapituuden kehityksessä.

Vuosittaiset kasvut saadaan yhtälöstä esim. kuutiosplini-interpoloitia käyttäen. Tutkimuksessa esitetään valtapituus-ikäkäyrästö sekä valtapituuden (vuotuinen) kasvu iän funktiona pituusboniteettiluokittain.

Testiaineiston perusteella VT-taimikoiden valtapuiden kehitys noudattaa valtapituuden kasvumallin avulla laadittua valtapituus-ikäkäyrästöä.

Valtapuilla rinnankorkeuden (1,3 m) saavuttamiseen kuluvan ajan eli rinnankorkeusikään tehtävän ikälisäyksen määrittämiseksi laadittiin kaksi regressioyhtälöä.

$$T\text{–}T_{1,3} = 11{,}5008 - 0{,}00675313 \cdot H_{100}^2$$

$$R^2 = 0{,}246 \quad s_e = 20{,}1\ \%$$

$$T\text{–}T_{1,3} = 14{,}1787 - 0{,}00437779 \cdot H_{100}^2 - 0{,}00308839 \cdot DD - 0{,}910448 \cdot ST$$

$$R^2 = 0{,}324 \quad s_e = 18{,}9\ \%$$

Missä DD = lämpösumma
ST = syntytapa, (0=istutus, 1= kylvö)

213. Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Folia For. 752.

Tutkimuksessa esitetään riukuvaiheen männiköiden keskipituuden kasvun riippuvuus kasvatustiheydestä. Aineisto kuvataan kohdassa 175.

Keskipituuskasvulle (Y, m/v) tiheyden funktiona (X, kpl/ha) sovitettiin seuraava yhtälö:

$$Y = 0{,}42 \cdot X^{0{,}02}$$

Lisäksi esitetään graafisesti keskipituuden kasvu runkolukusarjan eri osissa tiheysluokittain.

3.2.2.3. Pohjapinta-ala

214. Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Acta Forestalia Fennica 15.

Taulukkomallilla kuvataan eteläsuomalaisen luonnontilaisen männikön, kuusikon ja koivikon pohjapinta-alan kehitys. Aineisto esitellään kohdassa 153.

Puulajeittaisissa ja metsätyypeittäisissä taulukoissa esitetään puuston pohjapinta-alan, sen

vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun sekä luontaisen harvenemisen kautta metsiköstä kunakin 10-vuotiskautena poistuvan puumäärän pohjapinta-alan kehitys. Tutkimuksessa laadittiin myös pohjapinta-alan iänmukaiset kehityskäyrät.

215. Miettinen, L. 1933. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Commun. Inst. For. Fenn. 18(1).

Julkaisussa esitellään harmaalepikön pohjapinta-alan graafisesti tasoitetut kehityskäyrät ja taulukkomuodossa pohjapinta-alan, sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun kehityssarjat. Aineisto kuvataan kohdassa 155.

Puuston pohjapinta-alan kehityskäyrät ja -sarjat kattavat ikävuodet 5–45 ja ne esitetään erikseen metsätyypeillä OMaT ja OMT.

216. Cajander, E. K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 19(3).

Eteläsuomalaisen viljelykuusikon pohjapinta-alan kehityskäyrät kuvataan metsätyypeittäin. Lisäksi esitetään taulukkoina pohjapinta-alan, sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun kehityssarjat. Tutkimusaineisto kuvataan kohdassa 156.

Pohjapinta-alan kehityssarjat esitetään kaikilla metsätyypeillä ikävuosina 15–70. MT:n osalta käyrän jatkuminen yli 55 v. on epävarmaa, sillä vanhimmat MT:ltä mitatut koealat olivat vain 53 vuotiaita. OMaT:n koko käyrä on epävarma, sillä aineisto oli riittämätön (5 koealaa). Vertailun vuoksi mukana ovat luonnonkuusikon ja -männikön vastaavat kehityssarjat (Ilvessalo 1920).

217. Ilvessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Acta Forestalia Fennica 24(2).

Perä-Pohjolan mänty-, kuusi- ja koivuvaltaisien metsiköiden pohjapinta-alan kehityssarjat metsätyypeittäin esitetään taulukkomalleina ja graafisesti tasoitettuina kehityskäyrinä. Aineisto kuvataan kohdassa 157.

Pohjapinta-alan kehitys kuvataan graafisesti männiköille ja taulukkomuodossa kaikille puulajeille.

218. Kalela, E. K. 1937. Tutkimuksia kuusi-harmaaleppä-sekametsiköiden kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 44(2).

Tutkimuksessa laadittiin graafiset mallit sekametsikössä kasvavan kuusen ja harmaalepän pohjapinta-alojen kehityksestä sekä taulukkomalli koko puuston pohjapinta-alan kehityksestä. Aineisto kuvataan kohdassa 158.

Kehityssarjat esitetään metsätyypeittäin (OMT ja MT) ja puuston tiheysluokittain (harva, keskitiheä ja tiheä) ja ne kattavat kuusella ikävuodet 20–50 ja harmaalepällä 20–40.

219. Nyyssönen, A. 1954b. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 60(4).

Graafinen malli kuvaa harvennusmänniköiden ja harsien käsiteltyjen männiköiden pohjapinta-alan kehitystä metsätyypeittäin. Aineisto esitellään kohdassa 160.

Tutkimuksessa esitetään graafiset kehityskäyrät toistuvasti harvennettujen ja harsittujen männiköiden pohjapinta-alalle ikävuosina 40–120. Vertailun vuoksi mukana ovat myös Ilvessalon (1920) luonnonnormaalien metsiköiden kehityskäyrät. Harvennusmetsiköiden ikäluokittaiset pohjapinta-alat esitetään myös taulukkomuodossa.

220. Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 48(1).

Taulukko- ja graafiset mallit esittävät puuston pohjapinta-alan iänmukaisen kehityksen hoidetuissa kuusikoissa metsätyypeittäin.

Tutkimusaineisto kuvataan kohdassa 162.

Kehityssarjat ja -käyrät kattavat ikävuodet 20–120, ja ne esitetään erikseen metsätyypeille OMT ja MT. Hoidettujen kuusikoiden pohjapinta-alan kehitystä on verrattu luonnonnormaalien kuusikoiden (Ilvessalo 1920) ja viljelykuusikoiden (Kalela 1933) kehitykseen.

221. Kallio, K. 1957. Käenkaali-mustikkatyypin kuusikoiden kehityksestä Suomen lounaisosassa. Taksatoris-liiketaloudellinen tutkimus. Acta Forestalia Fennica 66(3).

Puuston pohjapinta-alan iänmukainen kehitys lounaissuomalaisissa kuusikoissa kuvataan taulukkoina ja graafisina malleina.

Aineisto esitellään kohdassa 163. Aineisto jaettiin kahteen osaan, a- ja b-sarjaan, kasvupaikan ravinteisuuden ja eriasteisten harvennushakkuiden perusteella.

Graafisesti tasoitetut kuvaajat kokonaispuuston (poistuma mukana) pohjapinta-alan kehityksestä esitetään a-sarjalla ikävuosina 25–90 ja b-sarjalla vuosina 25–100. Kokonaispuuston pohjapinta-alan lisäksi taulukossa esitetään erikseen poistuvan ja säilyvän puuston pohjapinta-alat (m^2/ha) ikäluokittain.

222. Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Commun. Inst. For. Fenn. 51(8).

Kooste sisältää aiemmin julkaistuja kasvu- ja tuottotaulukoita sekä kehityssarjoja.

Mukana olevat taulukot on ryhmitelty seuraavasti:

1. Toistuvin harvennuksin käsitellyt metsiköt, Etelä-Suomi
2. Täystiheät luonnonmetsiköt, Suomen eteläpuolisko
3. Täystiheät luonnonmetsiköt, Perä-Pohjola
4. Viljelykuusikoiden kehityssarjoja, Etelä-Suomi

5. Harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen metsiköiden kehityssarjoja, Suomen eteläpuolisko

Taulukkoryhmien sovellusalueet ja alkuperäislähteet kuvataan tarkemmin kohdassa 164. Kaikista kehityssarjoista löytyy puuston kuorellisen pohjapinta-alan ikäluokittaiset keskiarvot.

223. Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 71(3).

Etelä-Suomen kylvömänniköiden pohjapinta-alan kehitys kuvataan graafisesti tasoitetulla käyrällä.

Aineisto kuvataan esitellään 165. Ikäluokittain tasoitettuja pohjapinta-aloja laskettaessa otettiin huomioon pohjapinta-alan kasvu sekä poistuneen puuston pohjapinta-ala mittausta edeltäneen 10-vuotisjakson aikana.

Pohjapinta-alan kehityskäyrät ulottuvat ikävuodesta 10 mustikkatyypillä 70. ja puolukkatyypillä 80. ikävuoteen saakka. Ikäluokittaiset keskimääräiset pohjapinta-alat esitetään myös taulukkona. Vertailun vuoksi kuvissa ovat mukana luonnonnormaalien männiköiden pohjapinta-alan kehityskäyrät Ilvessalon (1920) mukaan ja taulukossa toistuvasti harvennettujen männiköiden pohjapinta-alat Nyyssösen (1954b) mukaan.

224. Kuusela, K. 1964. Increment-drain forecast for a large forest area. Acta Forestalia Fennica 77(5).

Julkaisussa esitetään puuston pohjapinta-alan kasvuyhtälöt Etelä-Suomen männiköille. Yhtälöt laadittiin suuren alueen kasvun ja poistuman ennustamista (pohjapinta-ala-pituusmenetelmällä) varten. Aineisto kuvataan kohdassa 189.

Kasvuyhtälöissä selitettävänä muuttujana oli kasvuprosentti eli koronkorkolaskun jälkiarvotekijän prosenttiosa, jossa koronkorkoprosentti laskettiin kaavalla

$$1{,}0 \cdot p_g^5 = G_E/G_{E,-5}):$$

Yhtälö on muotoa

$$y = 100 \cdot \log(10000 \cdot (1{,}0 \cdot p_g^{5}-1))$$

Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt:

$$y = 482{,}0289 - 0{,}9094 \cdot 100 \cdot \log(t_{1,3}) - 0{,}9257 \cdot g$$

$$R = 0{,}938 \quad s_e = 36{,}1\ \%$$

$$y = 463{,}4821 - 0{,}7674 \cdot 100 \cdot \log(t_{1,3}) - 1{,}0040 \cdot g - 0{,}4681 \cdot d_g$$

$R = 0{,}940 \quad s_e = 37{,}4\ \%$

Missä:

G_E = jäljellä olevan puuston pohjapinta-ala mittaushetkellä, m^2/ha

$G_{E,-5}$ = jäljellä olevan puuston pohjapinta-ala viisi vuotta aikaisemmin, m^2/ha

$t_{1,3}$ = puuston rinnankorkeusikä laskentajakson keskellä, v

g = puuston pohjapinta-ala ennustejakson alussa, m^3/ha

d_g = pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta ennustejakson alussa, m^3/ha

225. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Metsikön pohjapinta-alan tulevan kasvuprosentin estimoiva regressioyhtälö laadittiin hoidettujen männiköiden kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 38.

Hakkuun jälkeisen pohjapinta-alan kasvuyhtälö:

$$\log(P_G) = 2{,}4549 - 0{,}6461 \cdot \log(T_i \cdot H_{domi}) - 0{,}3464 \cdot \log(G_{ui}) + 0{,}1175 \cdot \log(R_G/c) + 0{,}1990 \cdot D_{ui}$$

$R = 0{,}958$

Missä P_G = metsikön kuorettoman pohjapinta-alan (m^2/ha) keskimääräinen vuotuinen kasvusadannes koronkorkoperiaatteella kahden perättäisen harvennuksen välisenä aikana

R_G = harvennuksen osuus metsikön pohjapinta-alasta ennen harvennusta, %

c = harvennusväli=harvennusten välinen aika, a

u = kuoren alta

i = ennustejakson alussa

Yhtälön antamissa kasvuprosenttien estimaateissa ei havaittu systemaattista virhettä.

226. Ilvessalo, Y. 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Acta Forestalia Fennica 81(5).

Kainuun kivennäismaiden männiköiden (ja kuusikoiden) pohjapinta-alan kehityssarjat metsätyypeittäin. Taulukkomalli ja graafisesti tasoitetut kehityskäyrät. Aineisto kuvataan kohdassa 166.

Männikön pohjapinta-alan kehityskäyrät kattavat ikävuodet 40–140 metsätyypeillä EVT ja ECT. Vertailun vuoksi samassa kuvassa on mukana Etelä-Suomen ja Perä-Pohjolan vastaavia kehityskäyriä (Ilvessalo 1920, 1937). Taulukoihin on ikäluokittaisten pohjapinta-alojen lisäksi laskettu kunkin 10-vuotisjakson kasvu (ppa:n lisäys 10 v:n aikana). Kuusikkoaineisto

oli niin vaihteleva, ettei sen perusteella voitu laatia luotettavia kehityskäyriä. Koordinaatistoon on kuitenkin piirretty kuusikoealojen pohjapinta-alat iän funktiona ja verrattu niitä männiköiden kehityskäyriin.

227. Vuokila, Y. 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Commun. Inst. For. Fenn. 63(2). (ks. myös Vuokila, 1965).

Harvennushakkuin käsitellyn männikön iänmukainen pohjapinta-alan kehitys esitetään kasvupaikkatyypeittäin ja käsittelyasteittain. Aineisto kuvataan kohdassa 167.

Kehityssarjat kuvaavat harvennusmetsiköiden kehitystä ikävuodesta 13–36 (kasvupaikasta riippuen) kiertoajan loppuun (75–115 v). Taulukoissa on erikseen puuston pohjapinta-ala (m^2/ha, kuoretta) ennen hakkuuta ja sen jälkeen sekä poistuneen puuston pohjapinta-ala. Lisäksi on taulukoitu kuhunkin iänkohtaan mennessä kertynyt pohjapinta-alan kokonaiskasvu.

228. Ilvessalo, Y. 1969. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 96.

Taulukko- ja graafiset mallit kuvaavat puuston pohjapinta-alan keskimääräistä kehitystä Pohjanmaan männiköissä. Aineisto esitellään kohdassa 168.

Männikön pohjapinta-alan kehitys (20–140 v.) esitetään taulukoissa ja piirroksissa erikseen metsätyypeillä MT, VT ja CT. Kuusi- ja koivumetsiköiden keskiläpimitan kehitystä on tekstissä vertailtu Etelä- ja Keski-Suomen sekä männyn tasoon, mutta kehityssarjoja ei ole esitetty riittämättömän aineiston vuoksi.

229. Ilvessalo, Y. 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 108.

Tutkimuksessa laadittiin taulukko- ja graafiset mallit mäntyvaltaisten metsiköiden pohjapinta-alan kehityksestä Pohjois-Lapissa metsätyypeittäin. Aineisto kuvataan kohdassa 169.

Kehityssarjat ja -käyrät kattavat EM(Cl)T:llä ja ErClT:llä ikävuodet 40–300 ja ClT:llä vuodet 80–300.

230. Vuokila, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Acta Forestalia Fennica 110.

Julkaisussa kuvataan eteläsuomalaisen harsintaharvennuksin käsitellyn männikön pohjapinta-alan iänmukainen kehitys. Tutkimuksessa esitetään harsintaharvennuksin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot. Aineisto esitellään kohdassa 170.

Kehityssarjojen alku (nuoruusvaihe n. 18–40 v, alaharvennukset) on sama kuin Vuokilan

(1967) aikaisemmassa tutkimuksessa, jonka jälkeen luvut kuvaavat harsimalla käsitellyn metsikön kehitystä (n. 45–95 v). Taulukoissa esitetään erikseen puuston ikäluokittaiset pohjapinta-alat (m^2/ha, kuoretta) ennen hakkuuta ja sen jälkeen sekä poistuneen puuston pohjapinta-alat. Lisäksi on taulukoitu kuhunkin iänkohtaan mennessä kertynyt pohjapinta-alan kokonaiskasvu.

Harsintametsiköiden keskimääräisiä vuotuisia pohjapinta-alan kasvuprosentteja on vertailtu graafisesti Vuokilan (1967) voimakkain alaharvennuksin käsiteltyjen metsiköiden kasvuprosentin kehityskäyrään.

231. Koivisto, P. 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Folia For. 142.

Julkaisussa on taulukkomalli hakkuin käsitellyn männikön pohjapinta-alan kehityksestä Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Aineisto kuvataan kohdassa 171.

Männikön pohjapinta-alan kehityssarjat kattavat ikävuodet 20–150 ja ne esitetään metsätyypeittäin. Taulukot kuvaavat metsiköiden keskimääräistä kehitystä, eikä niissä ole eroteltu jäävän ja poistuneen puuston tunnuksia. Tulosten luotettavuutta heikentää alueen metsätyyppien määrityksen selkiytymättömyys tutkimuksen tekoaikaan sekä puutteellinen tutkimusaineisto.

232. Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotantokyvyn valossa. Acta Forestalia Fennica 144.

Luonnontilaisten täystiheiden männiköiden, kuusikoiden ja koivikoiden pohjapinta-alan keskimääräistä kehitystä metsätyypeittäin koko maassa tarkastellaan taulukko- ja graafisten mallien avulla. Aineisto kuvataan kohdassa 172.

Kehityssarjat alkavat 40 (koivulla 30) vuoden iästä ja jatkuvat havumetsiköiden karuimpien kasvupaikkojen osalta 200–300 ikävuoteen asti, luokkaväli on 20–40 vuotta. Taulukkoihin ja kuviin on sisällytetty myös päämetsätyyppien pohjoiset alamuodot. Lisäksi esitetään puuston pohjapinta-alan kehitys harmaaleppämetsiköissä OMaT:llä ja OMT:llä Miettisen tutkimuksen (1933) mukaan.

233. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivikon pohjapinta-alan kasvuyhtälö laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 74.

Pohjapinta-alan kasvuyhtälö:

$$P_G = -23{,}93375 + 0{,}00181 \cdot (215-V) \cdot (100-T) + 4{,}37571 \cdot ((26-H_{dom})/10)^8 \cdot ((100-T)/100)^{10} + 0{,}20845 \cdot S$$

$R^2 = 0{,}988 \quad s_e = 19{,}6\ \%$

Missä P_G = tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman pohjapinta-alan kasvuprosentti (5 v:n summaprosentti)
T = metsikön ikä kannonkorkeudelta mitattuna jakson alussa
H_{dom} = metsikön valtapituus jakson alussa, m
S = termisen kasvukauden pituus, vrk

Yhtälön antamat kasvuennusteet olivat harhattomia.

234. Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2)

Viljelymännikön ja istutuskuusikon pohjapinta-alan vuotuinen kasvuprosentti tulevan 5-vuotiskauden aikana ennustetaan regressiomalleilla. Aineisto kuvataan kohdassa 82.

Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt:

Kuusikko:

$$P_G = -0{,}099776 + 3256{,}7/(H^{0,5} \cdot G_u^{0,6} \cdot T^{0,9}) - 31736{,}0/(H^{0,5} \cdot G_u^{0,6} \cdot T^{0,9})^2$$

$R = 0{,}954$

Männikkö:

$$P_G = -0{,}89537 + 0{,}0019059 \cdot H_{100}^2 + 730{,}26/(H^{0,3} \cdot G_u^{0,4} \cdot T^a) + 363780{,}0/(H^{0,3} \cdot G_u^{0,4} \cdot T^a)^3$$

$R = 0{,}978$

Yhtälön käytön rajoitus:

H_{100}= 30 m, H = 30 m, T = 100 v, G_u = 31,3 m^2/ha, P_G = 1,25

Missä G_u = puuston kuoreton pohjapinta-ala, m^2/ha
H_{100} = pituusboniteetti; valtapituus 100 v:n iällä, m (boniteeteille 27–30 on käytetty arvoa 27 m)
$a = 0{,}8 + H_{100}/175{,}0$

235. Oikarinen, M. 1980. Viljelykoivikon, -kuusikon ja -männikön kasvusta ja tuotoksesta. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 21.

Julkaisussa esietään rauduskoivikon puuston pohjapinta-alan iänmukainen kehityskäyrä. Aineisto kuvataan kohdassa 204.

Rauduskoivikon pohjapinta-alan kehityskäyrää on verrattu männikön ja kuusikon kehitys-

käyriin, kun kaikki kehityskäyrät esitetään kunkin puulajien kasvaessa parhaimmilla kasvupaikoillaan. Hieskoivikkoaineisto oli niin suppea, ettei sen perusteella onnistuttu laatimaan tyydyttävää mallia pohjapinta-alan kehitykselle.

236. Vuokila, Y. Gustavsen, H.G. & Luoma, P. 1983. Siperianlehtikuusikoiden kasvupaikkojen luokittelu ja harvennusmallit. Folia For. 554.

Siperian lehtikuusikon pohjapinta-alan kasvuyhtälö määritettiin harvennusmallien laadintaa varten. Aineisto kuvataan kohdassa 207.

Pohjapinta-alan (m^2/ha kuorineen) kasvuyhtälö:

$$P_G = 0{,}09366 + 0{,}032306 \cdot B^{1,7}/(H^{1,15} \cdot G^{0,6})$$

Missä P_G = tulevan 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen pohjapinta-alan kasvuprosentti, %
B = kasvupaikkaindeksi, H_{100}, dm
H = valtapituus, m

Yhtälön selitysaste oli 0,967. Tutkimuksessa esitetään tähän yhtälöön perustuvat ns. G-harvennusmallit, joiden käyttö edellyttää metsikön valtapituuden, pohjapinta-alan ja biologisen iän tuntemista. Iän ja valtapituuden avulla määritetään samassa tutkimuksessa esitetyn käyrästön avulla metsikön pituusbonitetti.

Vaikka laadinta-aineistossa oli vain Siperian lehtikuusikoita, pieni vertailuaineisto Euroopan lehtikuusikosta osoitti, että harvennusmallit soveltuvat tyydyttävästi myös tälle puulajille.

237. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Regressioyhtälöt kuvaavat puuston pohjapinta-alan kasvua tulevan 5-vuotiskauden aikana kuusi-rauduskoivu- ja kuusi-hieskoivusekametsiköissä. Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt laadittiin puulajeittain. Sekametsikön kasvu lasketaan painottamalla puulajeittaisten yhtälöiden antamia kasvuja metsikön puulajisuhteilla.

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden kehitystä. Metsikkökohtaiset kasvuyhtälöt laadittiin lähinnä puukohtaisten kasvumallien tueksi ja testaamiseksi. Aineisto esitellään kohdassa 10.

Pohjapinta-alan kasvuyhtälöt:

Kuusi rauduskoivun seassa:

$$\ln(I_{g5}) = 6{,}177 - 0{,}8441 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}5989 \cdot \ln(G)$$

$R^2 = 0{,}822 \quad s_e = 22{,}0\ \%$

Kuusi hieskoivun seassa:

$$\ln(I_{g5}) = 6{,}645 - 1{,}026 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}5163 \cdot \ln(G)$$

$R^2 = 0{,}894 \quad s_e = 23{,}5\ \%$

Rauduskoivu:

$$\ln(I_{g5}) = 6{,}816 - 0{,}8409 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}3634 \cdot \ln(G) - 0{,}3331 \cdot \ln(B\text{-}\%)$$

$R^2 = 0{,}800 \quad s_e = 24{,}0\ \%$

Hieskoivu:

$$\ln(I_{g5}) = 6{,}071 - 1{,}049 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}3182 \cdot \ln(G)$$

$R^2 = 0{,}890 \quad s_e = 23{,}8\ \%$

Missä I_{g5} = tulevan 5-vuotiskauden vuotuinen pohjapinta-alan kasvu, % puuston pohjapinta-alasta

B-% = koivun osuus puuston pohjapinta-alasta, %

Logaritmimuunnoksen vaatima korjaustekijä ($s_e^2/2$) on lisätty yhtälöiden vakiotermeihin. Kasvuyhtälöitä testattiin vertailemalla niiden antamia tuloksia puhtaiden kuusikoiden ja koivikoiden kasvulukuihin.

238. Vuokila, Y. 1985. Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen. Folia For. 636.

Tutkimuksessa tarkasteltiin eriasteisin harvennushakkuin käsiteltyjen istutuskuusikoiden pohjapinta-alan keskimääräisiä vuotuisia kasvuja. Aineisto kuvataan kohdassa 174.

Kokeen aikainen (22–23 v) pohjapinta-alan keskimääräinen vuotuinen kasvu eri käsittelyillä esitetään taulukkomuodossa metsätyypeittäin (koealaryhmittäin). Lisäksi on laskettu pohjapinta-alan keskimääräinen kasvu koemetsiköiden koko elinaikana, jolloin koemetsiköiden alkukehitys eli kokeen perustamista edeltänyt n. 30–40 vuotta on otettu huomioon.

239. Varmola, M. 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin Yliopisto.

Tutkimuksessa laadittiin männyn viljelytaimikon vuotuisen kuorettoman pohjapinta-alan kasvun ennustava regressiomalli. Aineisto kuvataan kohdassa 78.

Pohjapinta-alan kasvuyhtälö:

$$\ln(I_{Gu}) = -7{,}43730 + 1{,}67015 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}633976 \cdot \ln(G_u + 0{,}001) - 0{,}0864853 \cdot (G_u + 0{,}001) + 0{,}232494 \cdot \ln(N) - 0{,}131731 \cdot ST - 0{,}0121400 \cdot H_{dom(h)}$$

$R^2 = 0{,}881 \quad s_e = 26{,}2\ \% \quad n = 819$

Missä:

N = metsikön runkoluku alle 1,3 m:ä pitkät taimet mukaan lukien, kpl/ha
ST = syntytapa, (0=istutus, 1= kylvö)
$H_{dom(h)}$ = metsikön valtapituus, jos taimikko on harvennettu = 0, jos taimikkoa ei ole harvennettu

Logaritmimallin vaatima tasokorjaus s_e^2 on lisätty vakioon.

Malli on harhaton yhtälössä mukana olevien muuttujien suhteen. Sen sijaan valtapituuden suhteen havaittiin systemaattista virhettä; yli 6 m:n valtapituudella saadaan pohjapinta-alan kasvulle yliarvio. Valtapituutta (tai ikää) ei kuitenkaan otettu malliin selittäväksi tekijäksi, sillä jostakin syystä häiriintyneen pituuskehityksen vaikutus kertautuisi pohjapinta-alan kasvua ennustettaessa.

Testiaineistossa kasvumallilla saatiin keskimäärin 7,9 % (0,63 m^2/ha) mitattua pohjapinta-alaa pienempi arvo. Aliarvio selittynee laadinta- ja testiaineiston kasvunlaskentakausien erilaisista ilmasto-oloista. Laadinta-aineistossa keskimääräinen kasvuindeksi oli 95 ja testiaineistossa 115. Aliarvio oli suurimmillaan, kun pituusboniteetti oli alle 22 m ja kun taimikko oli harvennettu aikaisessa vaiheessa (H_{dom} 2,5–3,5 m).

Pohjapinta-alan kehitys sekä vuotuiset kasvukäyrät iän funktiona esitetään pituusboniteettiluokittain istutus- ja kylvötaimikoille erikseen. Lisäksi on taulukoitu kasvumallilla (G_u) simuloituja kehityssarjoja eri pituusboniteeteille istutustaimikoille ja eri vaiheessa harvennetuille kylvötaimikoille.

240. Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Folia For. 752.

Julkaisussa kuvataan riukuvaiheen männiköiden pohjapinta-alan kasvun riippuvuus kasvatustiheydestä. Aineisto esitellään kohdassa 175.

Puuston pohjapinta-alan kasvulle (Y, m^2/ha/v) tiheyden funktiona (X, kpl/ha) sovitettiin seuraava yhtälö:

$$Y = 0{,}27 \cdot X^{0{,}2}$$

Lisäksi pohjapinta-alan kasvu runkolukusarjan eri osissa esitetään graafisesti tiheysluokittain.

3.2.2.4. Tilavuus

241. Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Acta Forestalia Fennica 15.

Taulukkomallilla esitetään eteläsuomalaisen luonnontilaisen männikön, kuusikon ja koivikon tilavuuden kehitys. Aineisto kuvataan kohdassa 172.

Puulajeittaisissa ja metsätyypeittäisissä taulukoissa esitetään puuston tilavuuden, sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun, vuotuisen kasvuprosentin sekä kokonaistuotoksen kehitys. Lisäksi esitetään tilavuuden iänmukaiset kehityskäyrät.

242. Lappi-Seppälä, M. 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltiger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Commun. Inst. For. Fenn. 15(2).

Tutkimuksessa laadittiin taulukkomallit puuston tilavuuden kehityksestä eri sekoitusasteisissa mänty-koivusekametsiköissä. Aineisto kuvataan kohdassa 154.

Puulajisuhteiltaan tarkasteltiin kolmenlaisia metsiköitä, joissa männyn osuus oli 40 %, 50 % ja 60 %. Metsiköissä männyn ja koivun tilavuus laskettiin niiden kasvualan mukaista pinta-alaa vastaavaksi eli sekametsiköitä käsiteltiin kahtena puhtaana metsikkönä. Mänty- ja koivujakson tilavuuden kehityssarjat ja -käyrät iän funktiona esitetään erikseen metsätyypeillä OMT, MT ja VT. Lisäksi esitetään männyn ja koivun yhteistilavuuden kehitys MT-metsiköissä.

243. Miettinen, L. 1933. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Commun. Inst. For. Fenn. 18(1).

Julkaisu sisältää harmaalepikön tilavuuden graafisesti tasoitetut kehityskäyrät ja taulukkomuotoiset metsikön tilavuuden, sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun sekä kasvuprosentin kehityssarjat. Lisäksi on tarkasteltu valtapuiden tilavuuden kehitystä. Aineisto kuvataan kohdassa 155.

Metsikön tilavuuden (m^3/ha, kuorineen sekä kuoretta) kehityskäyrät ja -sarjat kattavat ikävuodet 5–45 ja ne esitetään erikseen metsätyypeillä OMaT ja OMT. Valtapuiden keskimääräinen tilavuuskehitys (m^3, kuoretta) kuvataan samoin kuin koko puuston tilavuuden kehitys kaikilla kolmella metsätyypillä, joilta aineistoa oli mitattu (OMaT, OMT ja MT).

Lisäksi esitetään taulukko harmaalepikön kokonaistuoton (luontainen poistuma mukana, m^3/ha) ja tilavuuskasvun (m^3/ha ja %) kehityksestä iän funktiona.

244. Cajander, E. K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 19(3).

Eteläsuomalaisen viljelykuusikon tilavuuden, sen vuotuisen juoksevan ja keskimääräisen kasvun sekä tilavuuskasvuprosentin kehitys metsätyypeittäin kuvataan taulukkomallin avulla. Lisäksi esitetään tilavuuden iänmukaiset kehityskäyrät.

Tutkimusaineisto esitellään kokonaisuudessaan kohdassa 156. Mittausta edeltäneen 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu saatiin erotusmenetelmällä eli vähentämällä nykytilavuudesta tilavuus 5 vuotta sitten ja jakamalla se 5:llä.

Tilavuuden (m^3/ha, kuoretta ja kuorineen) ja tilavuuskasvun (m^3/ ha/v, kuoretta) kehityssarjat esitetään metsätyypeillä OMaT, OMT ja MT ja ne kattavat ikävuodet 15–70. MT:n osalta käyrän jatkuminen yli 55 v:n on epävarmaa, sillä vanhimmat MT:ltä mitatut koealat olivat vain 53-vuotiaita. OMaT:n koko käyrä on epävarma, sillä aineisto oli riittämätön (5 koealaa). Vertailun vuoksi taulukoissa ovat mukana luonnonkuusikon ja -männikön vastaavat kehityssarjat (Ilvessalo 1920).

245. Ilvessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Commun. Inst. For. Fenn. 24(2).

Perä-Pohjolan mänty-, kuusi- ja koivuvaltaisien metsiköiden tilavuuden ja tilavuuskasvun kehityssarjat kuvataan metsätyypeittäin taulukkomalleina ja graafisesti tasoitettuina kehityskäyrinä. Aineisto esitellään kohdassa 157.

Tutkimuksessa esitetään graafisesti metsikön kuorellisen kokonaistilavuuden (m^3/ha) iänmukainen kehitys ja taulukkomuodossa erikseen kuorellisen ja kuorettoman tilavuuden kehitys sekä kuoren osuus tilavuudesta (%) on puulajeittain, metsätyypeittäin ja ikäluokittain. Runkoanalyysipuiden perusteella on laadittu lisäksi männikön valtapuiden tilavuuden (m^3 kuoretta) kehityssarjat (kuvaaja ja taulukko).

Männiköiden tilavuuskasvuprosentin sekä keskimääräisen ja juoksevan kuorettoman tilavuuskasvun (m^3/ha/v) iänmukainen kehitys esitetään sekä graafisesti että taulukkomuodossa. Kuusen ja koivun osalta keskimääräinen ja juokseva vuotuinen kasvu on taulukoitu ikäluokittain.

Lisäksi kuvataan metsikön kokonaistuoton (luontainen poistuma mukana) kehitystä iän funktiona.

246. Tikka, P.S. 1954. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. Commun. Inst. For. Fenn. 44(4).

Taulukko- ja graafisilla malleilla kuvataan haavan tilavuuden ja tilavuuskasvun kehitys metsikön iän funktiona. Aineisto esitellään kohdassa 159.

Puuston tilavuuden (m^3/ha, kuoreton ja kuorellinen) kehityssarjat ja -käyrät kattavat ikävuodet 20–90 ja ne esitetään metsikkölajeittain (puhdas, haapavaltainen ja sekametsikkö).

Lisäksi on taulukoitu vuotuiset keskimääräiset tilavuuskasvut 10 vuosittain ja metsikkölajeittain.

247. Nyyssönen, A. 1954b. Hakkauksilla käsiteltyjen männiköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 60(4).

Tutkimuksessa esitetään taulukko- ja graafiset mallit harvennusmänniköiden ja harsien käsiteltyjen männiköiden tilavuuden sekä tilavuuskasvun kehityksestä metsätyypeittäin.

Aineisto kuvataan kokonaisuudessaan kohdassa 160. Puuston tilavuudet ja tilavuuskasvut määritettiin Ilvessalon (1947) pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden avulla. Lisäksi tehtiin runkoanalyysejä kaatokoepuista. Vuotuinen keskimääräinen tilavuuskasvu laskettiin joko 5 tai 10 viimeisen vuoden sädekasvun perusteella. Kasvulukuja korjattiin normaali-ilmaston tasoon 3. VMI-mittauksiin perustuvilla kasvuindekseillä.

Toistuvasti harvennettujen ja harsittujen männiköiden kuorellisen tilavuuden ja vuotuisen tilavuuskasvun (m^3/ha) graafisesti tasoitetut kehityskäyrät kattavat ikävuodet 40–120 ja ne esitetään erikseen metsätyypeillä MT, VT ja CT. Vertailun vuoksi mukana ovat Ilvessalon (1920) luonnonnormaalien metsiköiden kehityskäyrät. Harvennusmetsiköiden tilavuuden ja juoksevan tilavuuskasvun kehitys sekä kuoren osuus (%) tilavuudesta esitetään myös taulukkomuodossa.

Poistuman (m^3) kehitystä kuvataan kuten tilavuuden kehitystä. Toistuvasti harvennetulle VT-männikölle on laadittu tilavuussarjataulukko, jossa on läpimitta- ja ikäluokittain jäljellä olevan puuston sekä poistuman tilavuudet (m^3/ha).

248. Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4).

Pohjois-Suomen kuusi-koivusekametsiköiden puulajittaisen keskitilavuuden sekä puuston yhteistilavuuden kehitys kuvataan iän funktiona. Graafiset kehityskäyrät ja taulukkomallit on laadittu erikseen kulon jälkeiselle primäärimetsikölle ja sitä seuraavalle sekundäärimetsikölle. Aineisto esitellään kohdassa 161.

Primäärimetsiköiden säilyvän puuston tilavuuden kehitys esitetään erikseen täysipuustoisten (tiheiden) ja normaalipuustoisten (keskitiheiden) koealojen perusteella. Sekundäärimetsiköille esitetään erikseen valtapuiden, vallitsevan latvuskerroksen, päämetsikön (ei alikasvosta mukana) ja koko puuston tilavuuden kehitys normaalipuustoisten koealojen perusteella. Kehityssarjat kattavat ikävuodet 60–300. Lisäksi primääri- ja sekundäärimetsiköiden kehityskäyrät on yhdistetty 600 vuotta käsittäväksi sukkessioksi.

Kehityssarjat kuvaavat luonnontilaisen, kulon jälkeen luontaisesti syntyneen ja käsittelemättömän metsikön kehitystä. Nykyisin ei juuri löydy sovelluskohteita.

249. Vuokila, Y. 1956. Etelä-Suomen hoidettujen kuusikoiden kehityksestä. Commun. Inst. For. Fenn. 48(1).

Julkaisussa esitetään taulukkomalli ja graafiset mallit puuston tilavuuden ja tilavuuskasvun iänmukaisesta kehityksestä hoidetuissa kuusikoissa metsätyypeittäin. Tutkimusaineisto kuvataan kohdassa 162.

Puuston tilavuuden (m^3/ha), vuotuisen tilavuuskasvun (m^3/ha/v) ja kasvuprosentin sekä kokonaiskasvun kehityssarjat ja -käyrät kattavat ikävuodet 20–120 ja ne esitetään erikseen metsätyypeillä OMT ja MT. Kuorellisen tilavuuden lisäksi on taulukoitu kuoren keskimääräiset prosenttiosuudet ikäluokittain. Vertailun vuoksi esitetään myös luonnonnormaalien kuusikoiden (Ilvessalo, 1920) ja viljelykuusikoiden (Cajander 1933) vastaavat kehityskäyrät ja -sarjat.

Lisäksi tutkimuksessa esitetään vuotuisen ja keskimääräisen poistuman sekä kokonaispoistuman kehitys hoidetuissa kuusikoissa.

250. Kuusela, K. 1957. Hakkuilla käsiteltyjen koivikoiden rakenteesta ja kasvusta. Silva Fenn. 90.3.

Koivikoiden tilavuuskasvun kehityskäyrä esitetään iän funktiona.

Aineisto kerättiin vuonna 1950 Päijänteen ja Saimaan väliseltä alueelta. Mukana oli yhteensä 52 OMT:n (73 %) tai MT:n (27 %) koealametsikköä. Metsänhoidolliselta tilaltaan metsiköt jaettiin hyviin (27 %), tyydyttäviin (50 %) ja epätyydyttäviin (23 %). Hyvinä pidettiin alaharvennuksin käsiteltyjä metsiköitä. Sekapuiden osuus oli neljällä koealalla 15–20 % ja lopuilla koealoilla alle 15 %. Koivikoissa kasvoi sekä hies- että rauduskoivua.

Kasvuluvut koskevat säilyvän puuston kasvua, mittausjakson aikana poistuneiden puiden kasvua ei tutkittu. Kasvukäyrät (kasvusadannes, %) esitetään erikseen talouskoivikoille (hakkuin käsitellyt) ja luonnonkoivikoille.

Lisäksi esitetään talouskoivikoiden kolmen ikäluokan juoksevan tilavuuskasvun tasoituskäyrä puuston tilavuuden funktiona, missä talouskoivikoiden tilavuus ja tilavuuskasvu on ilmaistu prosentteina luonnontilaisten koivikoiden tilavuudesta ja kasvusta.

251. Kallio, K. 1957. Käenkaali-mustikkatyypin kuusikoiden kehityksestä Suomen lounaisosassa. Taksatoris-liiketaloudellinen tutkimus. Acta Forestalia Fennica 66(3).

Taulukkomalli ja graafiset mallit kuvaavat puuston tilavuuden ja tilavuuskasvun kehitystä lounaissuomalaisessa kuusikossa.

Aineisto kuvataan kokonaisuudessaan kohdassa 163. Puuston kuorellinen tilavuus määritettiin Ilvessalon (1947) pystypuiden kuutioimistaulukoiden avulla. Säilyneen puuston tilavuuden lisäksi määritettiin kantojen perusteella poistuman tilavuus sekä metsikön kokonaistilavuus. Kasvun laskennassa käytettiin erotusmenetelmää. Kasvupaikan ravinteisuuden ja metsikön käsittelyasteen perusteella aineisto jaettiin kahteen osaan, a- ja b-sarjaan.

Kokonaispuuston (poistuma mukana) tilavuuden kehityssarjat kattavat a-sarjalla ikävuodet 20–85 ja b-sarjalla 30–100. Taulukoissa esitetään kokonaispuuston lisäksi erikseen poistuvan ja säilyvän puuston tilavuudet (m^3/ha) ikäluokittain. Puuston vuotuisen juoksevan kasvun (m^3/ha kuorineen) iänmukainen kehitys kuvataan sekä graafisesti että taulukkomuodossa ja eräitä kiertoaikoja sovellettaessa lasketun keskimääräisen tilavuuskasvun kehitys taulukkomuodossa.

Vertailun vuoksi kuvissa ja taulukoissa ovat mukana hoidettujen kuusikoiden (Vuokila, 1956), viljelykuusikon (Cajander 1933) ja luonnonnormaalien kuusikoiden (Ilvessalo 1920) vastaavat kehityskäyrät ja -sarjat.

252. Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Commun. Inst. For. Fenn. 51(8).

Kooste sisältää aiemmin julkaistuja kasvu- ja tuottotaulukoita sekä kehityssarjoja.

Mukana olevat taulukot on ryhmitelty seuraavasti:

1. Toistuvin harvennuksin käsitellyt metsiköt, Etelä-Suomi
2. Täystiheät luonnonmetsiköt, Suomen eteläpuolisko
3. Täystiheät luonnonmetsiköt, Perä-Pohjola
4. Viljelykuusikoiden kehityssarjoja, Etelä-Suomi
5. Harvennushakkuin tyydyttävästi tai hyvin käsiteltyjen metsiköiden kehityssarjoja, Suomen eteläpuolisko

Taulukkoryhmien sovellusalueet ja alkuperäislähteet kuvataan tarkemmin kohdassa 164.

Taulukoissa esitetään puuston ikäluokittaiset tilavuudet (m^3/ha, kuorellinen ja kuoreton) ja tilavuuskasvut (m^3/ha/v, kuoreton, juokseva ja/tai keskimääräinen, kasvuprosentti ja kokonaiskasvu). (Kahden viimeisen (4 ja 5) ryhmän kehityssarjoissa ei aivan kaikkia tunnuksia).

253. Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Acta Forestalia Fennica 69(1).

Tutkimuksessa laadittiin tilavuuskasvukäyrät ojitettujen alueiden puustolle suotyypeittäin.

Aineisto koottiin koko Suomen alueelta, tutkimuksen tekoajankohtaa 20–30 vuotta aikaisemmin ojitetuilta soilta. Koealoja mitattiin kaikkiaan 1368 kpl. Puuston tilavuus ja tilavuuskasvu määritettiin Ilvessalon (1947) taulukoiden perusteella. Tilavuuskasvulla tarkoitetaan puuston keskimääräistä vuotuista kuoretonta kasvua mittausjakson aikana (Etelä-Suomessa 10 v ja P-Suomessa 5 v). Ilmaston aiheuttamaa kasvun vuotuista vaihtelua korjattiin vuosilustoindeksien avulla. Poistuman kasvu otettiin huomioon.

Etelä-Suomen aineiston perusteella laadittiin ns. peruskäyrät tilavuuskasvulle puuston tilavuuden funktiona. Tämän jälkeen laskettiin kaikille koealoille vuotuisen kasvun suhteelliset arvot perustasoon verrattuna. Suhteellisten kasvulukujen perusteella tehtiin uusi metsäojituksen vyöhykejako; maa jaettiin kasvunvaihtelun suhteen mahdollisimman tasavälisesti

viiteen vyöhykkeeseen.

Puuston kasvukäyrät (m^3/ha) esitetään suotyypeittäin (tai suotyyppiryhmittäin) ja ilmastovyöhykkeittäin puuston kuorellisen tilavuuden funktiona. Tilavuus tarkoittaa mittausjakson keskitilavuutta. Tasoitus on tehty käsivaraisesti. Mikäli koealojen määrä jollakin ilmastovyöhykkeellä oli liian pieni, koealat käsiteltiin yhdessä viereisen vyöhykkeen koealojen kanssa. (Suotyypit olivat RhK–LhK, MK, PK, KgK, NK, RhSR, VSR, PSR, HSR, VKR, KgR, VIR, TR, VLK, KoLK, VLR, RL, VL–RhSN ja VSN).

Lisäksi on koottu yhteen kuusivaltaisten suotyyppien kasvukäyrät ja eräiden metsätyyppien kuusikoiden vastaavat käyrät Ilvessalon (1920, 1937) ja Vuokilan (1956) mukaan. Keskimääräiset vuotuiset kasvuluvut on myös taulukoitu tilavuusluokittain, ilmastovyöhykkeittäin ja suotyypeittäin. Vastaavasti on tehty koivuvaltaisten ja mäntyvaltaisten suotyyppien kohdalla.

254. Kallio, K. 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Acta Forestalia Fennica 71(3).

Julkaisussa esitetään Etelä-Suomen kylvömännikön tilavuuden ja tilavuuskasvun graafisesti tasoitetut kehityskäyrät ja ikäluokittaiset kehityssarjat.

Aineisto kuvataan kohdassa 165. Tasoitettuja tilavuuksia laskettaessa otettiin huomioon tilavuuskasvu sekä poistuneen puuston tilavuus mittausta edeltäneen 10-vuotisjakson aikana. Puuston kuorellinen tilavuus ja kuoreton tilavuuskasvu määritettiin Ilvessalon (1947) pystypuiden kuutioimis- ja kasvunlaskentataulukoiden avulla. Kasvulukujen korjausta normaali-ilmaston tasoon ei tehty, koska menneen 10-vuotiskauden aikana kasvuindeksi poikkesi vain 1,5 % normaalitasosta.

Kehityskäyrät ulottuvat ikävuodesta 10 mustikkatyypillä 70. ja puolukkatyypillä 80. ikävuoteen saakka. Ikäluokittaiset keskitilavuudet ja vuotuiset tilavuuskasvut (sekä juokseva että keskimääräinen kasvu, m^3/ha) esitetään myös taulukkona.

Vertailun vuoksi kuvissa ovat mukana luonnonnormaalien männiköiden tilavuuden ja tilavuuskasvun kehityskäyrät Ilvessalon (1920) mukaan ja taulukoissa toistuvasti harvennettujen männiköiden keskitilavuudet ja juoksevat tilavuuskasvut Nyyssösen (1954b) mukaan.

Lisäksi esitetään kylvömänniköiden keskimääräisen poistuman (m^3/ha/v), puutavaralajiosuuksien (%), poistuman puutavaralajiosuuksien (%) ja kokonaistuotoksen (m^3/ha) iänmukaiset kehitykset metsätyypeittäin.

255. Vuokila, Y. 1960b. Siperialaisten lehtikuusikoiden kehityksestä ja ja merkityksestä maamme metsätaloudessa. Commun. Inst. For. Fenn. 52(5).

Lehtikuusikon tulevaa tilavuuskasvua ennustetaan regressioyhtälöllä.

Aineisto oli koottu 10 kestokoealalta, joista vanhimmat oli perustettu vuonna 1924. Vanhin metsikkö oli iältään 87 v. Metsiköt olivat tasaikäisiä, alaharvennuksin käsiteltyjä ja terveitä.

Kasvupaikaltaan ne edustivat lehtomaisia ja tuoreita kankaita. Aineistoa täydennettiin mittaamalla eri puolilla Etelä-Suomea tilapäiskoealoja, yhteensä 33. Koko aineisto kuvastaa näin ollen maan eteläosan järvialueen lehtikuusikoiden kehitystä.

Tilavuuskasvumalli:

$$V = 523{,}0 \cdot H - 22{,}0 \cdot H^2 + 342{,}0 \cdot G$$

missä V = tulevan 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen kuoreton tilavuuskasvu, k–dm^3/ha
H = puuston valtapituus ennustekauden alussa, m
G = puuston (kuorellinen) pohjapinta-ala ennustekauden alussa, m^2/ha

Yhtälön suhteellinen keskivirhe oli 21,0 %. Muita mahdollisia kasvua selittäviä tekijöitä kuten puuston ikää, runkolukua, harvennuksesta kulunutta aikaa ja sen voimakkuutta yritettiin sisällyttää malliin, mutta ne eivät olleet merkitseviä selittäjiä käytetyssä aineistossa.

256. Kuusela, K. & Kilkki, P. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scotch-pine stands. Acta Forestalia Fennica 75(4).

Tutkimuksessa laadittiin laajan metsäalueen (männikön) tilavuuskasvuprosentin ennustavia regressioyhtälöitä.

Tutkimusta varten ei kerätty omaa aineistoa, vaan käytettiin Nyyssösen (1954b) julkaisemaa männikköaineistoa. Aineisto sisälsi kaikkiaan 190 joko harsien, säännöllisesti tai epämääräisesti harventaen käsiteltyä, 39–145 vuotiasta metsikköä, jotka edustivat kasvupaikkoja MT, VT ja CT. Kasvu mitattiin joko 5 tai 10 vuoden jakson keskimääräisenä vuotuisena kasvuna, jossa oli mukana sekä jäljellä olevien että hakkuissa poistuneiden puiden kasvut.

Regressioyhtälöt laadittiin lisäten yhtälöön asteittain kasvua parhaiten selittäviä muuttujia.

Tilavuuskasvuyhtälöt:
Metsikön ikä tunnetaan:

$$\log(10 \cdot p_i) = 3{,}98181 - 1{,}28468 \cdot \log(t) \qquad R = 0{,}841 \quad s_e = 54{,}1\ \%$$

$$\log(10 \cdot p_i) = 4{,}05600 - 1{,}22967 \cdot \log(t) - 0{,}001309 \cdot v \qquad R = 0{,}917 \quad s_e = 40{,}0\ \%$$

$$\log(10 \cdot p_i) = 3{,}99359 - 1{,}14432 \cdot \log(t) - 0{,}000910 \cdot v - 0{,}008500 \cdot h_g \qquad R = 0{,}919 \quad s_e = 39{,}4\ \%$$

$$\log(10 \cdot p_i) = 4{,}00475 - 1{,}14929 \cdot \log(t) - 0{,}000875 \cdot v - 0{,}010014 \cdot h_g - 0{,}000936 \cdot d_g \qquad R = 0{,}919 \quad s_e = 39{,}5\ \%$$

$$\log(10 \cdot p_i) = 3{,}15030 - 0{,}75234 \cdot \log(t) - 0{,}000703 \cdot v - 0{,}024433 \cdot h_g - 0{,}000338 \cdot d_g$$

$+0{,}46851 \cdot \log(B)$

$R = 0{,}927 \quad s_e = 37{,}6\ \%$

$$\log(10 \cdot p_i) = 3{,}97088 - 1{,}20304 \cdot \log(t) - 0{,}001375 \cdot v + 0{,}05553 \cdot \log(B)$$

$R = 0{,}917 \quad s_e = 40{,}3\ \%$

Ikää ei tunneta:

$$\log(10 \cdot p_i) = 2{,}25753 - 0{,}039295 \cdot h_g \qquad R = 0{,}685 \quad s_e = 72{,}8\ \%$$

$$\log(10 \cdot p_i) = 2{,}34002 - 0{,}050644 \cdot h_g - 0{,}0009002 \cdot v \qquad R = 0{,}701 \quad s_e = 71{,}4\ \%$$

$$\log(10 \cdot p_i) = 2{,}24736 - 0{,}011145 \cdot h_g - 0{,}0001143 \cdot v - 0{,}021783 \cdot d_g$$

$R = 0{,}723 \quad s_e = 69{,}1\ \%$

$$\log(10 \cdot p_i) = 1{,}65884 - 0{,}044486 \cdot h_g - 0{,}0003314 \cdot v - 0{,}006161 \cdot d_g + 1{,}11396 \cdot \log(B)$$

$R = 0{,}906 \quad s_e = 42{,}3\ \%$

missä:

p_i = kuorettoman tilavuuden vuotuinen kasvuprosentti (mittausjakson keskimääräisen kasvun suhde jakson keskimääräiseen tilavuuteen), %

t = metsikön biologinen ikä jakson keskellä, v

v = metsikön keskimääräinen kuoreton tilavuus jakson aikana, m^3/ha

h_g = keskipituus jakson lopussa, m

d_g = keskiläpimitta jakson lopussa, cm

B = boniteettiluokka (valtapituuden kehityksen perusteella laaditulta käyrästöltä, 1–10)

Puuston ikä ja tilavuus olivat tärkeimmät kasvua selittävät metsikkötunnukset. Kun metsät ovat hyvin hoidettuja, lisääntyy keskiläpimitan ja -pituuden merkitys tilavuuskasvun vaihtelun selittäjinä. Yhtälöiden perusteella on laadittu taulukko, josta saadaan metsikön absoluuttinen tilavuuskasvu (m^3/ha/a) puuston iän ja tilavuuden funktiona. Lisäksi esitetään tilavuuskasvukäyrät iän funktiona tilavuusluokittain ja tilavuuden funktiona ikäluokittain.

257. Kuusela, K. 1964. Increment-drain forecast for a large forest area. Acta Forestalia Fennica 77(5).

Julkaisussa esitetään tilavuuskasvuyhtälöt mänty- ja kuusivaltaisille metsiköille. Yhtälöt laadittiin suuren metsäalueen kasvu- ja poistumaennusteita varten.

Aineistona olivat vuosina 1959–1960 Evolla, Etelä-Suomessa mitatut 108 metsikkökoealaa, joista 56:ssa vallitsevana puulajina oli mänty ja 52:ssa kuusi. Näistä 61 metsikköä oli harvennettu viimeisen 5 vuoden aikana. Laskelmissa otettiin huomioon poistuman kasvu. Metsiköiden ikä vaihteli välillä 10–170 vuotta. Pohjois-Suomesta, Meltauksen hoitoalueelta oli 52 koealan aineisto, joka käsitti mäntyvaltaisia, yli 70 vuotiaita, joko luonnontilaisia tai harvennuksin käsiteltyjä metsiköitä.

Regressioyhtälöissä selitettävä muuttuja on vuotuisen kasvun koronkorkolaskun jälkiarvotekijän prosenttiosa: $y = 100 \cdot \log(1000 \cdot (1{,}0 \cdot p_i^{2{,}5} - 1))$.

Tilavuuskasvuyhtälöt:
Mäntyvaltaiset metsiköt, Etelä-Suomi:

$$y = 426{,}92 - 1{,}1674 \cdot 100 \cdot \log(t) - 0{,}1518 \cdot (v+V)/2$$

$$R = 0{,}9338 \quad s_e = 36{,}4\ \%$$

Kuusivaltaiset, Etelä-Suomi:

$$y = 368{,}58 - 0{,}8209 \cdot 100 \cdot \log(t) - 0{,}1470 \cdot (v+V)/2$$

$$R = 0{,}9029 \quad s_e = 36{,}7\ \%$$

Mänty- ja kuusivaltaiset, Etelä-Suomi:

$$y = 398{,}96 - 1{,}0146 \cdot 100 \cdot \log(t) - 0{,}1340 \cdot (v+V)/2$$

$$R = 0{,}9023 \quad s_e = 43{,}4\ \%$$

Mäntyvaltaiset, Pohjois-Suomi:

$$y = 522{,}76 - 1{,}6228 \cdot 100 \cdot \log(t) - 0{,}2773 \cdot (v+V)/2$$

$$R = 0{,}6789 \quad s_e = 74{,}9\ \%$$

missä: t = puuston ikä ennustejakson alussa, v
v = puuston tilavuus ennustejakson alussa, m^3/ha
V = puuston tilavuus ennustejakson lopussa, m^3/ha

258. Vuokila, Y. 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Commun. Inst. For. Fenn. 60(4).

Metsikön tilavuuden tulevan kasvuprosentin estimoiva regressioyhtälö laadittiin hoidettujen männiköiden kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 38.

Hakkuun jälkeisen tilavuuskasvun ennustava yhtälö:

$$\log(P_V) = 3{,}0162 - 0{,}5426 \cdot \log(T_i \cdot H_{domi}) + 0{,}1040 \cdot \log(R_G/c) - 0{,}2421 \cdot \log(V_{ui}) - 0{,}2424 \cdot \log(T_i \cdot H_{domi})/\log(V_{ui})$$

$$R = 0{,}964$$

Missä P_V = metsikön kuorettoman tilavuuden (m^3/ha) keskimääräinen vuotuinen kasvusadannes koronkorkoperiaatteella kahden perättäisen harvennuksen välisenä aikana
R_G = harvennuksen osuus metsikön pohjapinta-alasta ennen harvennusta, %
c = harvennusväli; harvennusten välinen aika, a
u = kuoren alta
i = ennustejakson alussa

Yhtälön antamissa kasvuprosenttien estimaateissa ei havaittu systemaattista virhettä.

259. Heikurainen, L. & Seppälä, K. 1966. Regionality in stands increment and its dependence on the temperature factor on drained swamps. Acta Forestalia Fennica 78(4).

Tutkimuksessa laadittiin lineaarinen regressiomalli ojituksen jälkeisen tilavuuskasvun riippuvuudesta lämpötilasta ja kasvupaikan ravinteisuuden vaikutus tähän riippuvuuteen.

Aineisto oli sama kuin Heikuraisen (1959) tutkimuksessa, jota kuvataan kohdassa 253. Koealoja oli sellaisilta suotyypeiltä, joita esiintyy koko Suomessa. Aineisto kattoi koko maan kuusivaltaiset korvet ja mäntyvaltaiset rämeet. Ojitusvaikutuksen vaihtelevuuden eliminoimiseksi otettiin mukaan vain ojien reunoilla olevat koealat, yhteensä 396 kpl. Mukaan ei hyväksytty vajaatuottoisia tai uudistamisen tarpeessa olevia koealametsiköitä.

Kavuyhtälöiden selitettävänä tekijänä oli tilavuuden suhteellinen kasvu, joka tarkoittaa vuotuisen kasvun tasoa verrattuna ilmastovyöhykkeen perustasoon. Yhtälöt laadittiin erikseen korville ja rämeille.

Suhteellisen kasvun (y_r, %) riippuvuus kasvukauden aikaisesta tehollisesta lämpösummasta (x, °C) (= niiden päivien keskilämpötilojen summa, jolloin lämpötila on vähintään +10°C):

kuusi: $y_r = -18{,}84 + 0{,}096 \cdot x$ $\quad r = 0{,}58 \quad s_b = 0{,}0099$
mänty: $y_r = -24{,}21 + 0{,}10 \cdot x$ $\quad r = 0{,}54 \quad s_b = 0{,}0080$

Suhteellisen kasvun (y_r, %) riippuvuus kasvukauden pituudesta (x, kpl) (= päivien lukumäärä, jolloin lämpötila ylittää +5° C):

korvet: $y_r = -104{,}00 + 1{,}20 \cdot x$ $\quad r = 0{,}50 \quad s_b = 0{,}199$
rämeet: $y_r = -83{,}72 + 1{,}08 \cdot x$ $\quad r = 0{,}51 \quad s_b = 0{,}249$

Vuotuisen tilavuuskasvun (m^3/ha) riippuvuus puuston nykytilavuudesta (x, m^3/ha) ja kasvukauden pituudesta (=z, kpl):

korvet: $y = -16{,}64 + 0{,}1688 \cdot x - 0{,}000647 \cdot x^2 + 0{,}0882 \cdot z \quad r = 0{,}32$
rämeet: $y = -2{,}43 + 0{,}04705 \cdot x - 0{,}000124 \cdot x^2 + 0{,}01804 \cdot z \quad r = 0{,}23$

Lämpötilatunnukset laskettiin koealaa lähinnä sijaitsevilta meteorologisilta asemilta saatujen

säätietojen keskiarvoina. Koska varsinkin Pohjois- ja Itä-Suomessa sääasemia on harvassa, laadittiin riippuvuusyhtälöt myös Kolkin (1959) lämpösummakartasta saatujen arvojen perusteella. Seuraavissa yhtälöissä korpi- ja rämekoealat on yhdistetty, koska erot kuusikoiden ja männiköiden kasvussa olivat pieniä.

$y_r = -127{,}00 + 1{,}36 \cdot x1$ $\quad r = 0{,}68 \quad s_b = 0{,}073$

$y_r = -44{,}33 + 0{,}12 \cdot x2$ $\quad r = 0{,}68 \quad s_b = 0{,}0055$

$y_r = 46{,}75 + 12{,}58 \cdot x3$ $\quad r = 0{,}67 \quad s_b = 0{,}71$

$y_r = -42{,}44 + 1{,}19 \cdot x4$ $\quad r = 0{,}60 \quad s_b = 0{,}080$

missä:

x1 = kasvukauden pituus, kpl
x2 = kasvukauden aikaisten keskilämpötilojen summa, ° C
x3 = vuoden keskilämpötila, ° C
x4 = keskilämpötilaltaan yli +10 ° C päivien lukumäärä

Lisäksi laadittiin yhtälö suhteellisen kasvun (y_r, %) riippuvuudelle leveysasteesta (x, ° N):

Itä-Suomi: $y_r = 747{,}87 - 10{,}49 \cdot x$ $\quad r = 0{,}70 \quad s_b = 0{,}69$

Länsi-S: $y_r = 634{,}61 - 8{,}63 \cdot x$ $\quad r = 0{,}73 \quad s_b = 0{,}43$

Yhtälöiden luotettavuutta tarkasteltaessa on otettava huomioon aineiston useat virhelähteet. Ensinnäkin aineisto kerättiin alunperin muuhun tarkoitukseen. Koemetsiköiden kehitysluokat, metsähoidollinen tila ja ojitustilanne vaihtelivat runsaasti. Lämpötilan ohella ei otettu huomioon muita kasvuun vaikuttavia ilmastollisia tekijöitä kuten sademäärää ja säteilyä.

260. Ilvessalo, Y. 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Acta Forestalia Fennica 81(5).

Kainuun kivennäismaiden männiköiden (ja kuusikoiden) tilavuuden ja tilavuuskasvun kehityssarjat kuvataan metsätyypeittäin taulukkomalleina ja graafisesti tasoitettuina kehityskäyrinä.

Aineisto esitellään kohdassa 2. Koealaoilta kaadettiin keskimäärin 8 koepuuta, joista mitattiin edellisten 5- ja 10-vuotiskausien sädekasvut. Tilavuuden laskenta perustui kuutioimiskäyriin. Valtapuiden kehitystä selvitettiin 92 runkoanalyysipuun perusteella.

Männiköiden tilavuuden (m^3/ha, kuorineen) ja juoksevan tilavuuskasvun (m^3/ha/v, kuoretta) kehityskäyrät kattavat ikävuodet 20–140 metsätyypeillä EVT ja ECT. Vertailun vuoksi mukana on Etelä- Suomen ja Perä-Pohjolan vastaavia kehityskäyriä (Ilvessalo 1920, 1937). Taulukkomuodossa on ikäluokittaisten tilavuuksien ja vuotuisten tilavuuskasvujen lisäksi esitetty ikäluokittaiset tilavuuskasvuprosentit (%, kuoretta), kunkin 10-vuotisjakson kasvu (tilavuuden lisäys 10 v:n aikana) sekä kuoren osuus tilavuudesta.

Kuusikkoaineisto oli niin vaihteleva, ettei sen perusteella voitu laatia luotettavia kehityskäyriä. Koordinaatistoon on kuitenkin piirretty kuusikoealojen tilavuudet ja verrattu niitä

männiköiden kehityskäyriin. Lisäksi on taulukoitu männiköiden kokonaistuotoksen (luontainen poistuma mukana, m^3/ha) kehitys iän funktiona.

261. Vuokila, Y. 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Commun. Inst. For. Fenn. 63(2).

Harvennushakkuin käsitellyn männikön tilavuuden ja tilavuuskasvun iänmukainen kehitys esitetään kasvupaikkatyypeittäin ja metsikön käsittelyasteittain. Aineisto kuvataan kohdassa 167.

Kehityssarjat kuvaavat harvennusmetsiköiden kehitystä ikävuodesta 13–36 (kasvupaikasta riippuen) kiertoajan loppuun (75–115 v). Taulukoissa on erikseen puuston tilavuus (m^3/ha, kuoretta) ennen hakkuuta ja sen jälkeen sekä poistetun puuston tilavuus. Lisäksi on taulukoitu keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu edellisen hakkuun jälkeisenä aikana, sitä vastaava kasvuprosentti sekä kuhunkin iänkohtaan mennessä kertynyt tilavuuden kokonaiskasvu.

262. Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Acta Forestalia Fennica 93.

Korpi- ja rämemetsiköiden tilavuuskasvu ojituksen jälkeisenä aikana kuvataan graafisilla malleilla.

Aineisto oli kerätty Keski-Suomen 45–55 vuotta vanhoilta ojituskohteilta, jotka olivat mittaushetkellä turvekankaita. Aineisto kuvataan kohdassa 111.

Tutkimuksessa esitetään suotyypeittäin (RhK, VK, MK, VSR ja IR) koalojen nykyinen (viiden viimeisen vuoden) juokseva vuotuinen tilavuuskasvu puuston tilavuuden funktiona. Lisäksi esitetään tilavuuskasvukäyrät erikseen kolmelta viimeiseltä viisivuotiskaudelta. Vanhimmat kasvuarviot olivat epävarmimpia ja todennäköisesti yliarvioita, sillä poistuneen puuston ominaisuuksia arvioitiin nykypuuston perusteella. Kasvukäyrissä voi olla myös sääolosuhteiden aiheuttamasta kasvunvaihtelusta johtuva tasoero, sillä kasvuhavainntoja ei korjattu ilmastoindeksien avulla. Ojituksen jälkeisiä metsikön kasvuja on verrattu kangasmaiden sekä nuorempien ojitusalueiden vastaaviin kasvuihin.

263. Ilvessalo, Y. 1969. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 96.

Julkaisussa olevilla taulukko- ja graafisilla malleilla esitetään metsikön tilavuuden, tilavuuskasvuprosentin ja vuotuisen tilavuuskasvun keskimääräinen kehitys Pohjanmaan männiköissä. Aineisto kuvataan kohdassa 168.

Männikön kuorellisen tilavuuden, tilavuuskasvuprosentin ja juoksevan vuotuisen tilavuuskasvun (m^3/ha/v) kehityskäyrät ja -sarjat kattavat ikävuodet 0–140. Kuusi- ja koivumetsiköiden tilavuuden kehitystä on tekstissä vertailtu Etelä- ja Keski-Suomen sekä männyn tasoon, mutta varsinaisia kehityssarjoja ei ole esitetty riittämättömän aineiston vuoksi.

Lisäksi esitetään mäntymetsikön kokonaistuotoksen (luontainen poistuma mukana, m^3/ha) iänmukainen kehitys metsätyypeittäin.

264. Ilvessalo, Y. 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 108.

Tutkimuksessa laadittiin taulukko- ja graafiset mallit mäntyvaltaisten metsiköiden tilavuuden ja tilavuuskasvun iänmukaisesta kehityksestä Pohjois-Lapissa metsätyypeittäin. Tutkimusaineisto kuvataan kohdassa 169.

Kehityssarjat ja -käyrät kattavat EM(Cl)T:llä ja ErClT:llä ikävuodet 40–300 ja ClT:llä vuodet 80–300. Taulukossa esitetään sekä kuorelliset että kuorettomat tilavuudet (m^3/ha) ja kuoriprosentti ikäluokittain. Puuston kasvun kehitystä kuvataan kuutiokasvuprosentin ja juoksevan kuorettoman kuutiokasvun (m^3/ha/v) avulla.

Lisäksi esitetään männiköiden kokonaistuotoksen (luonnonpoistuma mukana) kehitys iän funktiona.

Koska Pohjois-Lapin metsiköt ovat yleisesti eri-ikäisiä ja epätasaisia, metsikkötunnusten keskimääristä kehitystä kuvaavien käyrien piirtäminen oli jokseenkin epävarmaa.

265. Vuokila, Y. 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Acta Forestalia Fennica 110.

Julkaisussa esitetään eteläsuomalaisen harsintaharvennuksin käsitellyn männikön tilavuuden ja tilavuuskasvun iänmukainen kehitys. Tutkimuksessa esitetään harsintaharvennuksin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot. Aineisto kuvataan kohdassa 170.

Kehityssarjojen alku (nuoruusvaihe n. 18–40 v, alaharvennukset) on sama kuin Vuokilan (1967) aikaisemmassa tutkimuksessa, minkä jälkeen luvut kuvaavat harsimalla käsitellyn metsikön kehitystä (n. 45–95 v). Taulukoissa on erikseen puuston tilavuus (m^3/ha, kuoretta) ennen hakkuuta ja sen jälkeen sekä poistuneen puuston tilavuus. Lisäksi on taulukoitu keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu edellisen hakkuun jälkeisenä aikana, sitä vastaava kasvuprosentti sekä kuhunkin iänkohtaan mennessä kertynyt kokonaiskasvu.

Lisäksi harsintametsiköiden (koealojen) keskimääräisiä vuotuisia tilavuuskasvuprosentteja ja absoluuttista kasvua on vertailtu graafisesti Vuokilan (1967) voimakkain alaharvennuksin käsiteltyjen metsiköiden kehityskäyriin.

266. Koivisto, P. 1970. Regionality of forest growth in Finland. Commun. Inst. For. Fenn. 71(1).

Tutkimuksessa laadittin mänty-, kuusi- ja koivuvaltaisten metsiköiden kasvuprosentin ennustavat regressioyhtälöt. Suhteellisten kasvulukujen perusteella maa jaettiin kasvualueisiin, joilla puuston kasvuedellytykset ovat yhtenevät.

Tutkimusaineisto koottiin VMI 3:n (1951–53) kasvukoealoista. Mukaan otettiin yhteensä 1146 kivennäismaan yksijaksoista koealaa koko Suomen alueelta.

Yhtälöt laadittiin askeltavaa lineaarista regressioanalyysiä käyttäen. Selitettävänä tekijänä oli metsikön suhteellinen tilavuuskasvu P_V (%, kuoreton). Mäntyvaltaisille metsiköille laadittiin varsinaisen kasvuyhtälön lisäksi käytännön sovelluksia varten kaksi yhtälöä, joissa selittävinä muuttujina on helposti ja luotettavasti mitattavia tunnuksia.

Tilavuuskasvuyhtälöt:

Mäntyvaltaiset metsiköt (N = 535):

$$\log(P_V) = 5{,}39998 - 0{,}66666 \cdot \log(T) - 0{,}00127 \cdot D_G - 0{,}00006 \cdot G + 0{,}00096 \cdot (SI \times TS) - 0{,}01306 \cdot SI - 0{,}00063 \cdot H_G - 0{,}33252 \cdot \sqrt{TS}$$

$$R^2 = 0{,}854 \quad s_e = 38{,}2\ \%$$

$$\log(P_V) = 4{,}02460 - 0{,}70011 \cdot \log(T) - 0{,}00148 \cdot D_G - 0{,}00007 \cdot G + 0{,}00093 \cdot (TS)^2$$

$$R^2 = 0{,}848$$

$$\log(P_V) = 6{,}20317 - 0{,}67004 \cdot \log(T) - 0{,}00158 \cdot D_G - 0{,}00007 \cdot G + 0{,}00103 \cdot (SI \times TS) - 0{,}01426 \cdot SI - 3{,}57258 \cdot \log(TS)$$

$$R^2 = 0{,}853$$

Kuusivaltaiset metsiköt (N = 467):

$$\log(P_V) = -1{,}80886 - 0{,}80454 \cdot \log(T) - 0{,}00078 \cdot V + 2{,}05051 \cdot TS - 0{,}00759 \cdot (TS)^2 - 0{,}09046 \cdot \log(V) - 0{,}00218 \cdot HS - 0{,}00031 \cdot D_G$$

$$R^2 = 0{,}784 \quad s_e = 46{,}6\ \%$$

Koivuvaltaiset metsiköt (N = 145):

$$\log(P_V) = 6{,}37890 - 0{,}70540 \cdot \log(T) - 0{,}00078 \cdot V - 0{,}03451 \cdot L - 0{,}00186 \cdot H_G$$

$$R^2 = 0{,}822 \quad s_e = 42{,}4\ \%$$

missä: (metsikkötunnukset jakson lopussa):

V = metsikön kuoreton tilavuus, m^3/ha

G = metsikön kuorellinen pohjapinta-ala, dm^2/ha

D_G = metsikön G:llä painotettu keskiläpimitta, mm

H_G = metsikön G:llä painotettu keskipituus, dm

TS = termisen kasvukauden pituus (> 5 C), vrk/10
HS = korkeus merenpinnasta, m/10
L = leveysaste,
SI = kasvupaikkaindeksi eli valtapituuksien suhteet (100 vuoden iällä) eri metsätyypeillä: OMT = 100, MT = 90, VT = 77, CT = 60 ja CIT = 38)

Mäntyvaltaisten metsiköiden kasvumalli yliarvioi pieniä ja aliarvioi keskinkertaisia kasvuprosentteja. Tämän systemaattisen virheen syyksi epäiltiin aineiston puutteita: maan pohjoisosissa koealoja oli vähän nuorissa metsissä ja paljon alipuustoisissa vanhoissa metsissä. Männikön kasvuyhtälön luotettavuutta testattiin myös vertaamalla sen kuvaajaa Ilvessalon (1920) ja Vuokilan (1967) kasvukäyriin.

267. Rajala, J. 1970. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964–68. Folia For. 95.

Ikäluokittaiset tilavuuskasvuprosentit esitetään Etelä-Suomen metsämaan kehityskelpoisille mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisille sekä vajaatuottoisille ja kitumaan metsiköille. Lisäksi kasvuprosentit kuvataan piirimetsälautakuntaryhmittäin.

Taulukot perustuvat VMI 5:n kasvukoeala-aineistoon. Etelä-Suomessa (Ahvenanmaa poislukien) mitattuja relaskooppikoealoja oli yhteensä 4486. Ryhmät muodostettiin yhdistämällä piirimetsälautakuntia, joissa kasvuprosentit olivat samantasoisia. Kasvunlaskentajakso oli yleensä viisi inventointia edeltänyttä vuotta. Kasvulukuja ei tasoitettu normaali-ilmaston tasoon, eikä poistettujen puiden kasvua otettu huomioon. Kasvuprosenttina käytettiin diskonttoprosenttia $P_D = 100 \cdot (V-V_{-5})/(5 \cdot V)$, missä V on puuston tilavuus mittaushetkellä ja V_{-5} tilavuus 5 vuoden kasvunlaskentajakson alussa.

Taulukoiden avulla voidaan laskea metsikön viiden vuoden kasvuennuste, kun tunnetaan metsikön ikä, nykyinen tilavuus ja vallitseva puulaji.

268. Koivisto, P. 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Folia For. 142.

Taulukkomalli tarkastelee hakkuin käsitellyn männikön tilavuuden, tilavuuskasvun (m^3/ha/v) ja kasvuprosentin kehitystä Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla. Juokseva vuotuinen kuutiokasvu esitetään myös graafisesti iän funktiona. Lisäksi on laadittu kuutiokasvuprosentille regressioyhtälöitä, joissa selittävinä tekijöinä on maastossa helposti mitattavia tunnuksia. Aineisto kuvataan kohdassa 171.

Männikön tilavuuden ja tilavuuskasvun kehityssarjat (20–150 v) esitetään metsätyypeittäin. Taulukot kuvaavat metsiköiden keskimääräistä kehitystä, eikä niissä ole eroteltu jäävän ja poistuneen puuston tunnuksia. Kasvuluvuissa on siis mukana myös poistuman kasvu.

Tilavuuskasvuyhtälöt:

$$\log(P_V) = 2{,}28745 - 0{,}68777 \cdot \log(T) - 0{,}00329 \cdot H_{dom} + 0{,}0081 \cdot BI$$
$$\log(P_V) = 3{,}09866 - 1{,}29050 \cdot \log(T) - 0{,}00084 \cdot G$$

$$\log(P_V) = 2{,}43142 - 0{,}75118 \cdot \log(T) - 0{,}00298 \cdot H_{dom}$$

Missä P_V = metsikön kuutiokasvuprosentti (diskontto, 5 vuoden mittausjakso)
H_{dom} = metsikön valtapituus, dm
G = metsikön kuorellinen pohjapinta-ala, $10 \cdot m^2/ha$
BI = kasvupaikkaindeksi, VMT = 100, EVT = 90 ja ECT = 75)

Yhtälöiden vakioon on lisätty korjaustermi $1.1513 \cdot s^2$. Tulosten luotettavuutta heikentää alueen metsätyyppien määrityksen selkiytymättömyys tutkimuksen tekoaikaan sekä niukka tutkimusaineisto.

269. Kohmo, I. 1972. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen pohjoispuoliskossa vuosina 1969–70. Folia For. 163.

Julkaisussa esitetään ikäluokittaiset tilavuuskasvuprosentit Pohjois-Suomen metsämaan kehityskelpoisille mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisille sekä vajaatuottoisille ja kitumaan metsiköille. Lisäksi kasvuprosentit kuvataan piirimetsälautakuntaryhmittäin.

Taulukot perustuvat VMI 5:n kasvukoeala-aineistoon. Pohjois- Suomessa (Enontekiön, Inarin ja Utsjoen kunnat poislukien) mitattuja relaskooppikoealoja oli yhteensä 1943. Ryhmät muodostettiin yhdistämällä piirimetsälautakuntia, joissa kasvuprosentit olivat samantasoisia. Kasvunlaskentajakso oli yleensä viisi inventointia edeltänyttä vuotta. Kasvulukuja ei tasoitettu normaali-ilmaston tasoon, eikä poistettujen puiden kasvua otettu huomioon. Kasvuprosenttina käytettiin diskonttoprosenttia $P_D = 100 \cdot (V-V_{-5})/(5 \cdot V)$, missä V on puuston tilavuus mittaushetkellä ja V_{-5} tilavuus 5 vuoden kasvunlaskentajakson alussa.

Taulukoiden avulla voidaan laskea metsikön viiden vuoden kasvuennuste, kun tunnetaan metsikön ikä, nykyinen tilavuus ja vallitseva puulaji.

270. Heikurainen, L. & Seppälä, K. 1973. Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. Acta Forestalia Fennica 132.

Tutkimuksessa laadittiin ojituksen jälkeistä tilavuuskasvua kuvaavat polynomiyhtälöt ja kasvukäyrät puuston tilavuuden funktiona suotyypeittäin ja ilmastovyöhykkeittäin.

Aineisto koostui kahdesta osasta: vuosina 1955–1957 mitatusta vanhasta aineistosta ja 1967–1969 mitatusta uudesta aineistosta, joka sisälsi samojen kohteiden uusintamittauksista (363 koealaa) ja täydennysmittauksia tietyiltä alueilta. Vanhan aineiston koealat (914 kpl) olivat ympyräkoealoja ja uuden (yht. 442 kpl) suunnikaskoealoja. Koealat sijaitsivat koko Suomen alueella ja edustivat suotyyppejä RhK, MK, PK, RhSR, VSR, PSR, IR ja TR. Vanha aineisto oli peräisin keskimäärin 20 ja uusi aineisto lähes 35 vuotta vanhoilta ojitusalueilta. Osalla koealoista oli tehty hakkuita.

Koealoilta mitattiin puuston tilavuus, puulajisuhteet ja tilavuuskasvu. Kasvulukuihin ei tehty tasokorjauksia, koska tarkastelun kohteena olleet kasvujaksot (mennyt 5-vuotiskausi) vaikuttivat sääoloiltaan yhtäläisiltä.

Kasvukäyrät laadittiin erikseen vanhan ja uuden aineiston perusteella. Kuvaajia piirrettäessä käytettiin joko analyyttistä tasoitusta, käsivaraista graafista tasoitusta (**, eli ei tätä yhtälöä) tai käsivaraisesti korjattua analyyttistä tasoitusta (*).

Tilavuuskasvun tasoitusyhtälöt:

RhK I+II * $I_V = 4{,}979 + 0{,}0402 \cdot V - 0{,}000106 \cdot V^2$

IV * $I_V = 1{,}165 + 0{,}0330 \cdot V - 0{,}000044 \cdot V^2$

MK I+II $I_V = 1{,}426 + 0{,}0468 \cdot V - 0{,}000073 \cdot V^2$

III ** $I_V = 3{,}083 - 0{,}0195 \cdot V + 0{,}000183 \cdot V^2$

IV ** $I_V = -4{,}547 + 0{,}1410 \cdot V - 0{,}000586 \cdot V^2$

RhSR II+III * $I_V = 0{,}952 + 0{,}054 \cdot V - 0{,}000112 \cdot V^2$

IV $I_V = -0{,}670 + 0{,}077 \cdot V - 0{,}000335 \cdot V^2$

VSR I+II $I_V = -0{,}612 + 0{,}0734 \cdot V - 0{,}000178 \cdot V^2$

III $I_V = 0{,}035 + 0{,}0578 \cdot V - 0{,}000154 \cdot V^2$

IV $I_V = -0{,}419 + 0{,}0576 \cdot V - 0{,}000208 \cdot V^2$

IR I $I_V = 1{,}065 + 0{,}0329 \cdot V - 0{,}000119 \cdot V^2$

II+III $I_V = -0{,}222 + 0{,}0646 \cdot V - 0{,}000045 \cdot V^2$

IV * $I_V = 0{,}552 + 0{,}0148 \cdot V - 0{,}000028 \cdot V^2$

TR I+II $I_V = 0{,}122 + 0{,}0413 \cdot V - 0{,}000073 \cdot V^2$

III+IV $I_V = 0{,}167 + 0{,}0307 \cdot V - 0{,}000236 \cdot V^2$

missä:

I_V = vuotuinen juokseva tilavuuskasvu, m^3/ha kuoretta

V = puuston keskitilavuus mittausjakson aikana, m^3/ha

I, II, III ja IV = metsänojitusvyöhykkeet

Lisäksi on tarkasteltu kasvun alueellisuutta eli suhteellisen tilavuuskasvun riippuvuutta lämpösummasta. Riippuvuutta kuvasi parhaiten toisen asteen polynomifunktio. Yhtälöt laskettiin sekä erikseen korpi- ja rämekoealoille että molemmille yhdessä.

271. Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotantokyvyn valossa. Acta Forestalia Fennica 144.

Luonnontilaisten täystiheiden männiköiden, kuusikoiden ja koivikoiden tilavuuden ja

tilavuuskasvun keskimääräinen kehitys metsätyypeittäin koko maassa kuvataan taulukko- ja graafisina malleina. Kasvutunnuksista esitetään kuutiokasvuprosentin sekä keskimääräisen ja juoksevan kuorettoman kuutiokasvun kehitys. Aineisto esitellään kohdassa 172.

Kehityssarjat alkavat 20 vuoden iästä ja jatkuvat havumetsiköiden karuimpien kasvupaikkojen osalta 200–300 ikävuoteen asti, luokkaväli on 10–40 vuotta. Taulukkoihin ja kuviin on sisällytetty myös päämetsätyyppien pohjoiset alamuodot. Lisäksi esitetään puuston tilavuuden ja tilavuuskasvun kehitys harmaaleppämetsiköissä OMaT:llä ja OMT:llä Miettisen tutkimuksen (1933) mukaan.

Lisäksi esitetään mänty-, kuusi- ja koivumetsikön kokonaistuotoksen (luontainen poistuma mukana, m^3/ha) iänmukainen kehitys metsätyypeittäin.

272. Mielikäinen, K. 1975. Männiköiden ja kuusikoiden kuutiokasvuyhtälöt ja niiden laatiminen. Metsänarviomistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin Yliopisto.

Opinnäytetyössä esitellään männikön ja kuusikon kuorellisen tilavuuden nykykasvuprosentin ja tulevan 5- vuotiskauden kasvuprosentin ennustavat regressioyhtälöt.

Aineisto koottiin aikaisempien tutkimusten koealamittauksista. Mukana oli yhteensä 352 männikkökoealaa, joista 189 kpl oli mitattu Nyyssösen (1954b) toimesta vuosina 1948–1950 ja 139 kpl Vuokilan (1965) kasvu- ja tuotostaulukoita varten vuosina 1961–1962. Koska Nyyssösen aineistossa oli vähän vanhoja, vähäpuustoisia metsiköitä, mitattiin vuosina 1969–1970 lisäkoealoja, joista 24 mäntykoealaa oli mukana kasvumallien laadinnassa.

Kuusikkokoealoja oli yhteensä 146, joista 108 oli Vuokilan (1956) vuosina 1948–1949 ja 1952–1954 mittaamia hoidettujen kuusikoiden koealoja ja loput vuosina 1969–1970 mitattuja lisäkoealoja.

Kaikki koealat sijaitsivat n. 63 leveysasteen eteläpuolella. Männiköt käsittivät rannikkoseutuja lukuunottamatta koko Etelä- ja Keski-Suomen. Kuusikot sijaitsivat Päijänteen länsi- ja eteläpuolella joitakin Pohjois-Savon koealoja lukuunottamatta. Kasvupaikoiltaan männiköt edustivat OMT-, MT-, VT- ja CT-maita ja kuusikot OMT- ja MT-maita.

Laadinta-aineisto käsittää keskiläpimitaltaan yli 6 cm metsiköt, ikäluokaltaan 10–130 vuotiaat männiköt ja 30–100 vuotiaat kuusikot.

Tilavuuskasvuyhtälöt:
Männiköt:
Nykykasvu (N = 352):

$$\ln(I_{V\%}) = -0{,}94909 - 0{,}11553 \cdot (\ln(A))^2 + 1{,}3903 \cdot V^{(1/V)^{0{,}3}} + 0{,}10460 \cdot BON$$
$$R^2 = 0{,}890$$

$$\ln(I_{V\%}) = -0{,}95579 - 0{,}094790 \cdot (\ln(A))^2 + 1{,}2924 \cdot V^{(1/V)^{0{,}3}} - 0{,}17350 \cdot (\ln(D))^8/10000 + 0{,}19203 \cdot BON$$
$$R^2 = 0{,}900$$

Tuleva kasvu (N = 347):

$$\ln(I_{V5\%}) = -1{,}8923 - 0{,}10130 \cdot (\ln(A))^2 + 1{,}5721 \cdot V^{(1/V)^{0{,}3}} + 0{,}13930 \cdot MVT + 0{,}058917 \cdot OMT$$

$$R^2 = 0{,}899$$

$$\ln(I_{V5\%}) = -2{,}1985 - 0{,}077022 \cdot (\ln(A))^2 + 1{,}5553 \cdot V^{(1/V)^{0{,}3}} - 0{,}20198 \cdot (\ln(D))^6/1000 + 0{,}22018 \cdot VT + 0{,}051241 \cdot MT + 0{,}071982 \cdot OMT$$

$$R^2 = 0{,}906$$

Kuusikot:
Nykykasvu (N = 146):

$$\ln(I_{V\%}) = 10{,}731 - 0{,}63345 \cdot \ln(V) - 1{,}8539 \cdot \ln(A) + 0{,}43331 \cdot (\ln(A) \cdot \ln(V))^2/100 - 0{,}13260 \cdot \ln(A) \cdot V^2/100000$$

$$R^2 = 0{,}873$$

$$\ln(I_{V\%}) = 9{,}3100 - 0{,}62672 \cdot \ln(V) - 1{,}4098 \cdot \ln(A) + 0{,}37420 \cdot (\ln(A) \cdot \ln(V))^2/100 - 0{,}12182 \cdot \ln(A) \cdot V^2/100000 - 0{,}85514 \cdot (\ln(D))^5/1000 + 0{,}086768 \cdot OMT$$

$$R^2 = 0{,}887$$

Tuleva kasvu (N = 142):

$$\ln(I_{V5\%}) = 13{,}622 - 1{,}8108 \cdot \ln(V) - 2{,}7581 \cdot \ln(A) + 0{,}4090 \cdot \ln(A) \cdot \ln(V) - 0{,}10482 \cdot \ln(A) \cdot V^2/100000$$

$$R^2 = 0{,}885$$

$$\ln(I_{V5\%}) = 13{,}232 - 1{,}9325 \cdot \ln(V) - 2{,}5867 \cdot \ln(A) + 0{,}42948 \cdot \ln(A) \cdot \ln(V) - 0{,}59878 \cdot (\ln(D))^5/1000 - 0{,}11595 \cdot \ln(A) \cdot V^2/100000 + 0{,}10776 \cdot OMT$$

$$R^2 = 0{,}894$$

missä:

$I_{V\%}$ = tilavuuden kuorellinen nykykasvuprosentti, %
$I_{V5\%}$ = tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvun koronkorkoprosentti, %
A = metsikön nykyinen ikä, v
V = puuston nykyinen tilavuus kuorineen, m^3/ha
D = metsikön nykyinen keskiläpimitta, cm
BON = 1, jos metsätyyppi on MT, MT tai VT = 0, jos metsätyyppi on CT
MVT = 1, jos metsätyyppi on MT tai VT, muuten 0
OMT, MT ja VT = 1, jos metsätyyppi on niitä vastaava, muuten 0.

273. Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Commun. Inst. For. Fenn. 91(2).

Hieskoivikon tilavuuskasvuyhtälö laadittiin ojitettujen turvemaiden vaihtelevin harvennusohjelmin käsiteltyjen hieskoivikoiden kasvu- ja tuotostaulukoita varten. Aineisto kuvataan kohdassa 74.

Tilavuuskasvuyhtälö:

$$P_V = -33{,}62424 + 0{,}00183 \cdot (215-V) \cdot (100-T) + 0{,}83082 \cdot (26-H_{dom})^5 \cdot ((100-T)/100)^{10} + 3{,}78463 \cdot ((26-H_{dom})/10)^8 \cdot ((100-T)/100)^{10} + 0{,}31463 \cdot S$$

$R^2 = 0{,}978 \quad s_e = 20{,}0\ \%$

Missä P_V = tulevan 5-vuotiskauden kuorettoman tilavuuden kasvuprosentti (5 v:n summaprosentti), %
T = metsikön ikä kannonkorkeudelta mitattuna jakson alussa,v
H_{dom} = metsikön valtapituus jakson alussa, m
S = termisen kasvukauden pituus, vrk

Yhtälön antamat kasvuennusteet olivat harhattomia.

274. Keltikangas, M. ja Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Silva Fenn. 11(1).

Artikkelissa esitetään turvemaiden koivikoiden tilavuuden ja tilavuuskasvun iänmukaiset kehityskäyrät sekä tilavuuskasvukäyrä metsikön tilavuuden funktiona.

Tutkimusaineisto koottiin Pohjanmaan n. 15 ja 35 vuotta sitten ojitetuilta soilta. Mukaan hyväksyttiin ojituskohteet, jotka olivat olleet varsinaisia tai ruohoisia sarakorpia, -rämeitä tai -nevoja. Hieskoivun osuuden tuli olla yli 70 % puuston tilavuudesta. Muita vaatimuksia olivat tiheytensä puolesta kehityskelpoinen puusto (osalla oli tehty hakkuita) ja tyydyttävä ojaston toimintakyky. Koealoja mitattiin kaikkiaan 169 kpl ja kullakin koealalla 20–30 koepuuta.

Koealoittaisten tulosten laskennassa käytettiin Helsingin Yliopiston metsänarvioimistieteen laitoksen kehittämää MISS-järjestelmää.

Kehityskäyriä laadittaessa aineisto jaettiin suoritettujen hakkuiden perusteella kahteen ryhmään. Hakkuin käsittelemättömille metsiköille esitetään tilavuuskasvun iänmukaista kehitystä kuvaava keskiarvokäyrä sekä suhteellisen hakkuuarvon kehitys tilavuuden ja iän funktiona. Hakkuin käsitellyille suokoivikoille on puolestaan laadittu tilavuuden kehityskäyrä mittaushetken iän funktiona (n. 30–55 v) sekä keskimääräinen kehitys noudatettaessa 50 vuoden kiertoaikaa.

Koealojen viimeisen 5-vuotiskauden juoksevat tilavuuskasvuluvut (m^3/ha/v, kuoreton)

esitetään koordinaatistossa jakson keskimääräisen tilavuuden funktiona (m^3/ha, kuorellinen) erikseen 15 ja 35 vuotta sitten ojitetuilla soilla. Tasoituskäyriä ei ole piirretty, vaan lukuja on verrattu Heikuraisen (1959) ja Heikuraisen & Seppälän (1973) RhSR-männiköiden kasvukäyriin.

275. Gustavsen, H.G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Folia For. 331.

Julkaisussa on kaikkiaan 27 tilavuuden kasvuyhtälöä, jotka poikkeavat toisistaan selittävien muuttujien lukumäärän suhteen. Selittäjinä pyrittiin käyttämään metsikkömuuttujia, jotka ovat käytännössä helposti mitattavissa. Männyn ja kuusen yhtälöt laadittiin koko maan lisäksi erikseen Etelä-Suomelle, Pohjois-Suomelle, Kainuulle ja Pohjois-Pohjanmaalle sekä Lappiin. Koivun kasvuyhtälöt laadittiin aineiston suppeuden vuoksi vain koko maata ja Etelä-Suomea koskeviksi.

Varsinaisena aineistona käytettiin VMI 3:n vuosina 1951–1953 mitattuja ympyräkoealoja. Yhtälöiden laadintaa varten valittiin koealat, jotka sijaitsivat kasvullisen metsämaan kangaskuvioilla, joiden puusto oli yksijaksoista ja joilla valtapuulajin osuus yli 50 % tilavuudesta. Mukana oli yhteensä 1626 männikkö-, 1409 kuusikko- ja 286 koivikkokoealaa.

Tulosten luotettavuutta testattiin VMI 5:n aineiston avulla. Vertailuaineisto käsitti relaskooppikoealoja yhteensä 874 männiköstä, 631 kuusikosta ja 68 koivikosta.

Ennen yhtälöiden laatimista tilavuuskasvuprosentit korjattiin keskimääräistä ilmastoa vastaaviksi mittausjakson keskimääräisten ilmastoindeksien avulla.

Yhtälöt laadittiin soveltamalla aluksi graafista ns. "matchacurve" -menetelmää. Yhtälöiden lopulliset parametrit estimoitiin regressioanalyysiä käyttäen.

Tilavuuskasvuyhtälöt:

Koko maa:

Männikkö (N = 1626):

$$P_{v5} = \exp(2{,}77432 + 1{,}02982 \cdot (5{,}69 - \ln(T)) - 0{,}06296 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1{,}5})$$

$R^2 = 75{,}2\ \%$ $s_e = 32{,}0\ \%$

Kuusikko (N = 1409):

$$P_{v5} = \exp(10{,}86168 - 2{,}71727 \cdot (\ln(T))^{0{,}65} - 0{,}00164 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{3{,}0})$$

$R^2 = 70{,}4\ \%$ $s_e = 33{,}4\ \%$

Koivikko (N = 286):

$$P_{v5} = \exp(9{,}28134 - 3{,}28948 \cdot (\ln(T))^{0{,}6} + 0{,}74753 \cdot \ln(V \cdot H_{dom}) - 0{,}07086 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{2{,}0})$$

$R^2 = 77{,}6\ \%$ $s_e = 29{,}3\ \%$

$$P_{v5} = \exp(11{,}89924 - 3{,}26896 \cdot (\ln(T))^{0,6} - 0{,}21898 \cdot \ln(V)$$
$$R^2 = 76{,}2\ \% \quad s_e = 30{,}0\ \%$$

Etelä-Suomi (metsälautakunnat 1–15):

Männikkö (N = 728):

$$P_{v5} = \exp(2{,}95091 + 1{,}05986 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{0,9} - 0{,}07100 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1,5})$$
$$R^2 = 71{,}2\ \% \quad s_e = 28{,}8\ \%$$

$$P_{v5} = \exp(1{,}63805 + 0{,}68384 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1,25} + 0{,}15543 \cdot (5{,}97 - \ln(V))^{1,55})$$
$$R^2 = 70{,}6\ \% \quad s_e = 29{,}3\ \%$$

$$P_{v5} = \exp(2{,}43732 + 1{,}91365 \cdot (\ln(T))^{0,6} - 0{,}33499 \cdot \ln(G \cdot H_{dom}))$$
$$R^2 = 69{,}6\ \% \quad s_e = 30{,}1\ \%$$

Kuusikko (N = 867):

$$P_{v5} = \exp(9{,}25266 - 1{,}99553 \cdot (\ln(T))^{0,65} - 0{,}00216 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{3,0})$$
$$R^2 = 66{,}7\ \% \quad s_e = 30{,}2\ \%$$

$$P_{v5} = \exp(9{,}50150 - 1{,}31769 \cdot (\ln(T))^{0,8} - 0{,}52557 \cdot (\ln(V))^{0,9})$$
$$R^2 = 66{,}9\ \% \quad s_e = 30{,}3\ \%$$

$$P_{v5} = \exp(3{,}16628 + 0{,}71152 \cdot (5{,}50 - \ln(T))^{1,1} - 0{,}00499 \cdot (\ln(G \cdot H_{dom}))^{3,0})$$
$$R^2 = 66{,}0\ \% \quad s_e = 31{,}0\ \%$$

Koivikko (N = 174):

$$P_{v5} = \exp(10{,}65520 - 2{,}50830 \cdot (\ln(T))^{0,6} - 0{,}07567 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1,5})$$
$$R^2 = 74{,}6\ \% \quad s_e = 27{,}8\ \%$$

$$P_{v5} = \exp(11{,}16634 - 2{,}66489 \cdot (\ln(T))^{0,6} - 0{,}36693 \cdot \ln(V))$$
$$R^2 = 74{,}0\ \% \quad s_e = 27{,}9\ \%$$

$$P_{v5} = \exp(7{,}83970 - 0{,}60329 \cdot (\ln(T))^{1,2} - 0{,}09984 \cdot \ln(G \cdot H_{dom}))^{1,5})$$
$$R^2 = 71{,}4\ \% \quad s_e = 29{,}8\ \%$$

Pohjois-Suomi (metsälautakunnat 16–19):

Männikkö (N = 898):

$$P_{v5} = \exp(2{,}83315 + 0{,}84866 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1,25} - 0{,}05750 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1,5})$$
$$R^2 = 73{,}7\ \% \quad s_e = 34{,}2\ \%$$

$$P_{v5} = \exp(1{,}53846 + 0{,}79884 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1{,}4} - 0{,}00723 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{4{,}5}) + 0{,}12236 \cdot (5{,}97 - \ln(V))^{1{,}55})$$

$R^2 = 73{,}6\ \%\quad s_e = 34{,}4\ \%$

$$P_{v5} = \exp(2{,}61551 + 0{,}90981 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1{,}2} - 0{,}07761 \cdot (\ln(G \cdot H_{dom}))^{1{,}5})$$

$R^2 = 72{,}7\ \%\quad s_e = 35{,}1\ \%$

Kuusikko (N = 542):

$$P_{v5} = \exp(12{,}85558 - 3{,}22716 \cdot (\ln(T))^{0{,}65} - 0{,}16904 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))$$

$R^2 = 64{,}0\ \%\quad s_e = 33{,}9\ \%$

$$P_{v5} = \exp(9{,}36616 - 1{,}23072 \cdot \ln(T) - 0{,}10872 \cdot (\ln(V))^{1{,}3})$$

$R^2 = 63{,}7\ \%\quad s_e = 33{,}9\ \%$

$$P_{v5} = \exp(2{,}63485 + 1{,}15340 \cdot (5{,}50 - \ln(T))^{1{,}1} - 0{,}05744 \cdot (\ln(G \cdot H_{dom}))^{1{,}5})$$

$R^2 = 63{,}5\ \%\quad s_e = 34{,}3\ \%$

Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa (metsälautakunnat 16–17):

Männikkö (N = 391):

$$P_{v5} = \exp(3{,}68602 + 0{,}62500 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1{,}25} - 0{,}08320 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1{,}5})$$

$R^2 = 75{,}9\quad s_e = 28{,}6\ \%$

$$P_{v5} = \exp(1{,}82037 + 0{,}54257 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1{,}4} + 0{,}16992 \cdot (5{,}97 - \ln(V))^{1{,}55})$$

$R^2 = 74{,}8\ \%\quad s_e = 29{,}6\ \%$

Kuusikko (N = 276):

$$P_{v5} = \exp(12{,}20508 - 2{,}68005 \cdot (\ln(T))^{0{,}65} - 0{,}28188 \cdot \ln(V \cdot H_{dom}))$$

$R^2 = 73{,}3\ \%\quad s_e = 28{,}2\ \%$

$$P_{v5} = \exp(8{,}99150 - 1{,}03789 \cdot \ln(T) - 0{,}18069 \cdot (\ln(V))^{1{,}3})$$

$R^2 = 73{,}6\ \%\quad s_e = 27{,}7\ \%$

Lappi (metsälautakunnat 18–19):

Männikkö (N = 507):

$$P_{v5} = \exp(2{,}79139 + 0{,}81442 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1{,}25} - 0{,}05720 \cdot (\ln(V \cdot H_{dom}))^{1{,}5})$$

$R^2 = 69{,}3\ \%\quad s_e = 34{,}6\ \%$

$$P_{v5} = \exp(1{,}55713 + 0{,}72825 \cdot (5{,}69 - \ln(T))^{1{,}4} + 0{,}11238 \cdot (5{,}97 - \ln(V))^{1{,}55})$$

$R^2 = 69{,}0\ \%\quad s_e = 34{,}8\ \%$

Kuusikko (N = 266):

$$P_{v5} = \exp(11{,}3376 - 2{,}75520 \cdot (\ln(T))^{0{,}65} - 0{,}14934 \cdot \ln(V \cdot H_{dom}))$$

$R^2 = 42{,}6\ \%\quad s_e = 37{,}2\ \%$

$$P_{v5} = \exp(8{,}27459 - 1{,}04671 \cdot \ln(T) - 0{,}08691 \cdot (\ln(V))^{1{,}3})$$

$R^2 = 41{,}5\ \%\quad s_e = 37{,}7\ \%$

Logaritmimuunnoksen aiheuttama virhe on korjattu lisäämällä vakioon termi $s^2/2$.

Laadinta-aineiston perusteella edellä esitetyt yhtälöt eivät sisällä systemaattista virhettä. Metsikkötunnusten vaihtelualueiden äärilaidoilla (esim. alle 45 v metsikössä) voi kasvuestimaateissa kuitenkin olla yliarvioita. Hyvin hoidettujen metsiköiden puuston kasvu tulee todennäköisesti aliarvioiduksi, sillä 1950-luvun metsät olivat nykymetsiä luonnontilaisempia. Yhtälöitä käytettäessä ei tulisi ylittää laadinta-aineiston vaihtelurajoja. Logaritmimuunnokset edellyttävät, että männiköiden ikä ei saa ylittää 295 ja kuusikoiden 235 vuotta. Lisäksi männiköissä puuston tilavuuden yläraja on 390 m^3/ha.

Käytäntöä varten on taulukoitu ikään ja tilavuuteen perustuvilla alueellisilla yhtälöillä saadut kasvuluvut.

276. Nyyssönen, A. & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Acta Forestalia Fennica 163.

Tutkimuksessa laadittiin regressioyhtälöitä männikön ja kuusikon tilavuuskasvuprosentin estimoimiseksi metsikkötunnusten avulla.

Mallien laadinnassa käytettiin pääosin aikaisempia tutkimuksia varten kerättyjä aineistoja. Aineisto käsitti kaikkiaan 352 männikköä, joista 189 oli Nyyssösen (1954b) vuosina 1948–1950, 139 Vuokilan (1965) vuosina 1961–1962 keräämiä ja 24 vuonna 1969 tehtyihin täydennysmittauksiin kuuluvaa metsikköä. Pääosan kuusikoista (108 kpl) muodosti Vuokilan (1965) vuosina 1948–1954 kokoama aineisto, jota täydennettiin vuosina 1969–1970 tehdyillä mittauksilla (38 kpl).

Männiköt edustivat koko Etelä- ja Keski-Suomea (63 leveysasteen eteläpuoli) merenrannikoita ja Etelä-Pohjanmaata lukuunottamatta. Kuusikot olivat peräisin Päijänteen länsi- ja eteläpuoliselta alueelta sekä 11 koealaa Pohjois-Savosta. Männiköt jakautuivat metsätyypeille OMT - CT, ja kuusikot olivat joko OMT:ltä tai MT:ltä.

Yhtälöiden selitettävä tekijä, puuston vuotuinen kuutiokasvuprosentti saatiin kaavalla:

$$p_v = 200/n \cdot (V_0 - V_{-n})/(V_0 + V_{-n}),$$

missä V_0 = tilavuus kasvunmittausjakson (n = pituus) lopussa ja
V_{-n} = tilavuus jakson alussa.

Selittävien muuttujien valinnassa rajoituttiin vain muutamiin, parhaiten selittäviin tekijöihin.

Tilavuuskasvuyhtälöt:
Männikkö:

$$\ln(p_V) = -0{,}7702 - 0{,}09667 \cdot (\ln(T))^2 + 1{,}2503 \cdot V^{1/V^{0{,}3}} - 0{,}1796 \cdot (\ln(D))^8/100000 + 0{,}1817 \cdot VT$$

$s_e = 16{,}1\ \%$ $s_f = 0{,}1597$ $R^2 = 0{,}904$

$$\ln(p_V) = -0{,}7632 - 0{,}1181 \cdot (\ln(T))^2 + 1{,}3516 \cdot V^{1/V^{0{,}3}} + 0{,}9116 \cdot VT$$

$s_e = 16{,}9\ \%$ $s_f = 0{,}1681$ $R^2 = 0{,}893$

Kuusikko:

$$\ln(p_V) = +8{,}839 - 1{,}2749 \cdot \ln(T) - 0{,}5948 \cdot \ln(V) + 0{,}00309 \cdot (\ln(T) \cdot \ln(V))^2 - 0{,}1193 \cdot \ln(T) \cdot V^2/100000 - 0{,}0006095 \cdot (\ln(D))^5 + 0{,}1009 \cdot OMT$$

$s_e = 16{,}8\ \%$ $s_f = 0{,}1663$ $R^2 = 0{,}893$

$$\ln(p_V) = +9{,}7669 - 1{,}5813 \cdot \ln(T) - 0{,}5730 \cdot \ln(V) + 0{,}003315 \cdot (\ln(T) \cdot \ln(V))^2 - 0{,}1177 \cdot \ln(T) \cdot V^2/100000$$

$s_e = 17{,}3\ \%$ $s_f = 0{,}1717$ $R^2 = 0{,}884$

missä:
VT = 1, jos metsätyyppi on VT tai parempi, muuten 0
OMT =1, jos metsätyyppi on OMT, muuten 0.

Logaritmimuunnoksen vaatima korjaustekijä $s^2/2$ harhan poistamiseksi on lisätty vakiotermiin.

Yhtälöiden luotettavuuden tarkastelemiseksi laskettiin laadituilla yhtälöillä VMI 6:n aineiston havupuuvaltaisien metsien kasvut piirimetsälautakunnittain. Kun lisäksi otettiin huomioon kasvun ilmastollinen vaihtelu vuosilustoindeksien avulla, inventoinnissa mitattu kasvu oli keskimäärin 85 % yhtälöillä saadusta kasvusta. Yhtälöillä saatuja arvoja korjattiin inventoinnissa mitatun ja mallilla estimoidun kasvun suhteella. Korjauskertoimien tarkastelun perusteella muodostettiin kolme aluetta, joilla kasvun taso oli yhtenäinen. Soveltamalla korjauskerrointa 0,9 laadittiin maan eteläpuoliskolle sellaisenaan soveltuvat kasvun arviointitaulukot, joissa tilavuuden nykykasvu ja tuleva kasvu (% sekä m^3/ha/v) esitetään puuston ikä- ja tilavuusluokittain.

Yhtälöt ja taulukot laadittiin ensisijaisesti metsikön arvokasvun määritystä varten. Tulosten toinen käyttökohde on hakkuulaskelmat ja metsän kasvun arviointi yleensä. Laaditut yhtälöt ja taulukot eivät kuvaa lannoitettujen metsien kasvua.

277. Mielikäinen, K. 1979. Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon. Folia For. 401.

Toistuvin alaharvennuksin käsiteltyjen männiköiden kokonaiskasvun kehityssarjat esitetään ikäluokittain ja metsätyypeittäin.

Aineisto käsitti viisi vuosina 1924–1930 perustettua harvennuskoetta, jotka sijaitsivat Pohjankankaalla (Kankaanpää), Solbölessä, Punkaharjulla ja Vilppulassa. Kaikki kokeet sisälsivät luonnontilaan jätetyn ja vahvoin alaharvennuksin käsitellyn koealan, osaan kuuluivat myös lievästi ja erittäin voimakkaasti harvennetut koealat. Mukana oli yhteensä 15 koealaa. Kasvupaikoista olivat edustettuina tuoreet ja karut kankaat: OMT, MT ja CIT. Kokeita perustettaessa puustojen iät vaihtelivat välillä 24–76 vuotta. Kokonaiskasvuun laskettiin kuuluvaksi kaikki kiertoajan kuluessa tuotettu elävä ja kuollut, rinnankorkeudelta vähintään 6 cm:n paksuinen puusto.

Kunkin koemetsikön kokonaistuotoksen ja luonnonpoistuman kehitys (m^3/ha) esitetään graafisesti iän funktiona (30–80 v). Vertailun vuoksi kuvissa ovat mukana Ilvessalon (1920 ja 1975) kasvukäyrät vastaavilla metsätyypeillä. Taulukkomuodossa esitetään ikäluokittaiset kokonaiskasvut ja hakkuukertymän osuudet eri tavoin käsitellyissä metsiköissä tuoreilla kankailla 70 vuoden ja karuilla kankailla 120 vuoden kiertoajalla. Hakkuin käsiteltyjen koealojen ikäluokittaiset kokonaiskasvut on ilmaistu prosentteina luonnontilaisen koealan kasvusta.

278. Vuokila, Y. & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 99(2).

Viljelymännikön ja istutuskuusikon tilavuuden vuotuista kasvuprosenttia tulevan 5-vuotiskauden aikana ennustetaan regressiomalleilla. Kasvuyhtälöitä käytettiin metsikön kasvatusmallien sekä kasvu- ja tuotostaulukoiden laadintaan.

Aineisto kuvataan kohdassa 82. Tilavuuskasvu saatiin jakson loppu- ja alkutilavuuksien erotuksena, nämä puolestaan laskettiin pohjapinta-alan, valtapituuden ja muotoluvun tuloina. Muotoluku estimoitiin samassa tutkimuksessa esitetyllä muotolukumallilla (kuvattu kohdassa 82).

Tilavuuskasvumallit:
Kuusikko:

$$P_V = -0{,}38873 + 8341{,}1 \cdot H^{0,5}/(V_u^{0,7} \cdot T^{1,3}) \qquad R = 0{,}953$$

Männikkö:

$$P_V = -0{,}95493 + 0{,}068517 \cdot H_{100} + 17838{,}0 \cdot 1/(V_u^{0,55} \cdot T_i^{1,45}) + 7165400{,}0 \cdot 1/(V_u^{0,55} \cdot T_i^{1,45})$$

$$R = 0{,}965$$

Yhtälön käytön rajoitukset:

H_{100} = 15 m, T = 20 v, V_u = 7 m^3/ha, P_V = 35,5

H_{100} = 15 m, T = 100 v, V_u = 110 m^3/ha, P_V = 1,7

missä:

P_V = keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvuprosentti tulevan 5-vuotiskauden aikana, %
H = puuston valtapituus, m
V_u = kuoreton tilavuus, m^2/ha
H_{100} = pituusboniteetti eli valtapituus 100 v:n iällä, m (boniteeteille 27–30 on käytetty arvoa 27 m)
$T_i = T + 8000/(T \cdot H_{100})$

Tutkimuksessa laadittuja harvennusmalleja vastaava, kiertoaikasuositusten mukainen puuston keskikasvu (m^3/ha/v, kuorineen) voidaan laskea yhtälöillä

Istutuskuusikko: $i_v = 0{,}11 + 0{,}0095 \cdot H_{100}^2$
Viljelymännikkö: $i_v = -0{,}44 + 0{,}0098 \cdot H_{100}^2$

Vastaavasti harvennusmalleja sovellettaessa saavutettava vuotuinen tukkipuun tuotos (m^3/ha/v, kuorineen) voidaan laskea yhtälöillä

Istutuskuusikko: $s_v = -0{,}40 + 0{,}00785 \cdot H_{100}^2$
Viljelymännikkö: $s_v = -0{,}96 + 0{,}00840 \cdot H_{100}^2$

279. Oikarinen, M. 1980. Viljelykoivikon, -kuusikon ja -männikön kasvusta ja tuotoksesta. Metsäntutkimuslaitos. Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 21.

Julkaisussa esitetään rauduskoivikon tilavuuden ja keskimääräisen vuotuisen tilavuuskasvun kehityskäyrät. Aineisto kuvataan kohdassa 204.

Rauduskoivikon tilavuuden (m^3/ha) kehityskäyrää on verrattu männikön ja kuusikon kehityskäyriin, kun kaikki kehityskäyrät esitetään kunkin puulajien kasvaessa parhaimmilla kasvupaikoillaan. Kiertoajan keskikasvu (m^3/ha/v) esitetään pituusboniteetin funktiona kullekin puulajille (rako, mä ja ku) niiden kasvaessa suositeltavilla kasvupaikoillaan. Lisäksi kuvataan tukkipuun määrän kehitys iän suhteen (rako, mä ja ku) sekä tukkipuun keskituotos kiertoajan kuluessa pituusbonitetin funktiona.

Hieskoivikkoaineisto oli niin suppea, ettei sen perusteella onnistuttu laatimaan tyydyttävää mallia tilavuuden tai tilavuuskasvun kehitykselle.

280. Mielikäinen, K. 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Commun. Inst. For. Fenn. 99(3).

Mänty-rauduskoivusekametsikön tilavuuskasvuyhtälöt laadittiin puulajeittain. Männyn ja koivun välisen kilpailun tutkimiseksi yhtälöt laskettiin erikseen puhtaille metsiköille ja sekametsiköille. Aineisto kuvataan kohdassa 96.

Tilavuuskasvuyhtälöt laadittiin sekä mänty-, koivu- että sekametsäkoealan käsittävissä tasaikäisissä metsiköissä mitattujen koealojen pohjalta. Koska pienet koealat eivät välttämättä edusta koko metsikköä, tehtiin koealolta laskettuihin puuston määriin tasokorjaus. Pinta-alaltaan kaksinkertaisten koealojen (47 kpl) perusteella laadittiin yhtälö

$$V_2/V_1 = 2{,}505 - 0{,}2801 \cdot \ln(V_1)$$

missä V_1 = koealan puuston tilavuus, m^3/ha

V_2 = kaksinkertaisen koealan puuston tilavuus, m^3/ha

Kasvumalleja laadittaessa koealan puuston tilavuus kerrottiin yhtälöstä saaduilla korjaustekijöillä.

Tilavuuskasvuyhtälöt:

Sekametsikön männyt (N = 51):

$$\ln(I_v) = 6{,}192 - 0{,}8768 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}2855 \cdot \ln(V) \qquad R^2 = 0{,}70 \quad s_e = 18{,}2\ \%$$

Männikkö (N = 51):

$$\ln(I_v) = 8{,}213 - 0{,}7685 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}7161 \cdot \ln(V) \qquad R^2 = 0{,}83 \quad s_e = 12{,}5\ \%$$

Sekametsikön rauduskoivut (N = 50):

$$\ln(I_v) = 8{,}657 - 1{,}129 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}5336 \cdot \ln(V) \qquad R^2 = 0{,}87 \quad s_e = 14{,}1\ \%$$

Rauduskoivikko (N = 48):

$$\ln(I_v) = -27{,}77 - 10{,}22 \cdot \ln(T_{1,3}) + 35{,}84 \cdot \sqrt{\ln(T_{1,3})} - 0{,}3418 \cdot \ln(V)$$

$$R^2 = 0{,}87 \quad s_e = 11{,}5\ \%$$

Edellä esitetyt kasvuyhtälöt soveltuvat männyn ja rauduskoivun kasvujen vertailuun puulajisuhteiltaan erilaisissa metsiköissä. Rauduskoivun välitöntä vaikutusta männyn kasvuun tutkittiin laatimalla yhtälö, jossa yhtenä männikön tilavuuskasvun selittäjänä on koivun osuus puuston määrästä. Lisäksi laadittiin sekametsikön kokonaistilavuuden ennustavat kasvuyhtälöt.

Männikkö (N = 134):

$$\ln(I_v) = 7{,}989 - 0{,}8873 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}1935 \cdot \ln(V) - 0{,}00666 \cdot V_b\% + 0{,}04838 \cdot \sqrt{v_b\%} - 0{,}6780 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}73 \quad s_e = 16{,}2\ \%$$

Mänty-rauduskoivusekametsikkö (N = 135):

$$\ln(I_v) = 7{,}050 - 0{,}8732 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}4187 \cdot \ln(V) - 0{,}5154 \cdot V_b\% \cdot T_{1,3}^2/1000000 - 1{,}403 \cdot (50 - V_b\%)^2/T_{1,3}^3$$

$R^2 = 0{,}88$ $s_e = 10{,}7$ %

Mänty-hieskoivusekametsikkö (N = 45):

$$\ln(I_V) = 5{,}762 - 0{,}7563 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}2546 \cdot \ln(V)$$
$$- 0{,}5137 \cdot V_b\% \cdot T_{1,3}^2/1000000 - 0{,}2887 \cdot (50 - V_b\%)^2/T_{1,3}^3$$

$R^2 = 0{,}75$ $s_e = 12{,}7$ %

Missä I_V = tulevan 5-vuotiskauden vuotuinen tilavuuskasvu kuorineen, % puuston nykytilavuudesta

$V_b\%$ = koivun osuus puuston tilavuudesta, %

H_{100} = männyn valtapituus 100 vuoden iällä, m

281. Kohmo, I. 1980. Metsiköiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971–1976. Folia For. 425.

Ikäluokittaiset tilavuuskasvuprosentit laskettiin koko Suomen metsämaan kehityskelpoisille mänty-, kuusi- ja lehtipuuvaltaisille sekä vajaatuottoisille ja kitumaan metsiköille. Kasvuprosentit esitetään piirimetsälautakuntaryhmittäin.

Taulukot perustuvat VMI 6:n kasvukoeala-aineistoon. Etelä-Suomessa ja Pohjois-Pohjanmaan ja Kainuun piirimetsälautakuntien mitattuja relaskooppi(kasvu)koealoja oli yli 8100 ja kasvukoepuita vajaat 53000. Koillis-Suomessa ja Lapissa (Enontekiön, Inarin ja Utsjoen kuntia lukuunottamatta) mitattiin kasvukoepuuna kaikkien relaskooppikoealojen joka 5. puu. Näin kertyi n. 3300 koepuuta.

Ryhmät muodostettiin yhdistämällä piirimetsälautakuntia, joissa kasvuprosentit olivat samantasoisia. Kasvunlaskentajaksona oli viisi inventointia edeltänyttä vuotta. Kasvulukuja ei tasoitettu normaali-ilmaston tasoon eikä poistettujen puiden kasvua otettu huomioon. Kasvuprosenttina käytettiin diskonttoprosenttia $P_D = 100 \cdot (V - V_{-5})/(5 \cdot V)$. Kasvuprosenttien ohella on taulukoitu ikäluokittaiset keskiläpimitat ja tilavuudet.

Taulukoiden avulla voidaan laskea metsikön viiden vuoden kasvuennuste, kun tunnetaan metsikön ikä, nykyinen tilavuus ja vallitseva puulaji.

282. Hiltunen, J. 1981. Kuusitaimistojen kasvusta turvemailla. (Suometsäkilpailun (1964–68) koealoista valittujen taimistojen jatkokehityksen valossa). Suometsätieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Turvemaiden kuusitaimikoiden tilavuuskasvun riippuvuus lämpösummasta, koivujen määrästä ja ylis- ja verhopuustosta kuvataan regressioyhtälöillä sekä graafisesti. Aineisto esitellään kohdassa 87.

Tilavuuskasvuyhtälöt:

$I_V = -14{,}77 + 0{,}01769 \cdot LS$ $\quad R^2 = 0{,}368$

$I_V = 5{,}6 - 0{,}00082 \cdot KO$ $\quad R^2 = 0{,}075$

missä I_V = keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu, m^3/ha/v
LS = lämpösumma, d.d./100
KO = koivujen määrä, kpl/ha

Koska aineisto oli melko suppea ja eri tunnusten hajonta suurta, ei tulosten perusteella voida tehdä yleistäviä johtopäätöksiä kuusitaimistojen kehityksestä turvemailla.

283. Heikkilä, H. 1982. Mäntytaimikoiden kasvu turvemailla. (Vuosina 1964–68 toimeenpannun suometsäkilpailun kestokoealojen valossa). Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin Yliopisto.

Turvemaiden mäntytaimikoiden tilavuuskasvun riippuvuutta lämpösummasta tarkastellaan regressioyhtälönä ja graafisesti. Aineisto kuvataan kohdassa 88.

Tilavuuskasvuyhtälö:

$I_V = -26{,}14 + 4{,}95 \cdot LS - 0{,}20 \cdot LS^2$ $\quad R^2 = 0{,}146$

missä I_V = keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu, m^3/ha/v
LS = lämpösumma, d.d./100

Kuten edellä, suppean aineiston vuoksi tulokset eivät ole yleistettäviä.

284. Varmola, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Folia For. 524.

Julkaisussa esitetään taimikko- ja riukuvaiheen männiköiden tilavuuden iänmukainen graafisesti tasoitettu kehityskäyrä eri pituusboniteettiluokissa. Aineisto kuvataan kohdassa 205.

Koska metsikön tiheys vaikuttaa runkotilavuuden kehitykseen, on kehityskäyrät esitetty erikseen eri tiheyksisille lähtöpuustoille (taimikko- ja riukumetsävaiheessa harvennetut) seuraavissa pituusboniteettiluokissa: 27–30 (kylvetyt VT-männiköt), 24 (luontaiset VT-männiköt) ja 18–21 (CT-männiköt). Kehityskäyrät kuvaavat tilavuuden alkukehitystä ikävuosina n. 10–30. Lisäksi esitetään tilavuuden kasvuprosentin kehitys iän funktiona. Molemmissa käyrästöissä ovat vertailun vuoksi mukana Väliahon & Vuokilan (1980) vastaavat kehityskäyrät.

285. Lähde, E., Nieminen, J., Etholén, K. & Suolahti, P. 1982. Varttuneet kontortametsiköt Suomen eteläpuoliskossa. Folia For. 533.

Kontortamänniköiden keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu esitetään metsätyypeittäin. Aineisto kuvataan kohdassa 7.

Kontortan ja männyn vertailuparimetsiköiden (34 kpl) keskimääriset kasvut (m^3/ha/v kuorineen ja kuoretta) esitetään taulukkomuodossa metsätyypeillä CT, VT, MT ja OMT. Kontortan kasvulle on lisäksi laskettu suhteellinen arvo (kasvuindeksi) männiköiden kasvuun verrattuna. Kaikkien kontortametsiköiden (66 kpl) keskimääräisiä kasvulukuja on verrattu Koiviston (1957) kokoamista kasvusarjoista saatuihin n. 50 vuotiaiden toistuvasti harvennettujen männiköiden ja kuusikoiden kasvuihin metsätyypeittäin.

Lisäksi esitetään kontortametsiköiden n. 50 vuoden keskimääräinen kokonaiskasvu metsätyypeittäin.

286. Oikarinen, M. 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Commun. Inst. For. Fenn. 113.

Viljellyn rauduskoivikon tilavuuden kasvuprosentti (P_V) tulevan 5-vuotiskauden aikana ennustetaan regressiomallilla, jota tarvittiin viljelykoivikoiden kasvatusmallien laadintaa varten. Aineisto kuvataan kohdassa 83.

Tilavuuskasvuyhtälö:

$$P_V = 14832,0/T^{2,2} + 3140,5/V \qquad R = 0,998$$

Yhtälön käytön rajoitus: T = 55 v, V = 430 m^3/ha, P_V = 9,5 %

287. Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Commun. Inst. For. Fenn. 114.

Julkaisussa esitetään lannoituksen aiheuttaman tilavuuskasvun lisäyksen ennustava epälineaarinen regressiomalli Etelä-Suomen kivennäismaiden männiköille ja kuusikoille. Lisäksi laadittiin vuotuisen tilavuuskasvun ilman lannoitusta ennustava malli kasvunlisäyksen laskentaa varten.

Aineisto koostui Metsäntutkimuslaitoksen maantutkimusosaston vuosina 1955–1965 perustamista lannoituskokeista. Koealoja oli yhteensä 63 koko Suomen alueelta. Mukaan hyväksyttiin seuraavat ehdot täyttävät koealat: valtapituus vähintään 4 metriä ja ikä vähintään 20 vuotta perustamisajankohtana, mänty kuivalla, kuivahkolla tai tuoreella kankaalla, kuusi tuoreella tai lehtomaisella kankaalla ja typpilannoitus tehty vähintään kaksi kertaa. Tutkimusjakson aikana koealalle levitetty typpimäärä oli keskimäärin 300 kg/ha ja lannoituskertoja oli keskimäärin 3. Ensilannoituksessa käytettiin ammoniumsulfaattia, jatkossa ureaa tai oulunsalpietaria. Urealannoituksen (jonka levitysajankohdalla on merkitystä kasvunlisäykseen) osalta tulokset perustuvat keväällä tai alkukesällä tehtyihin lannoituksiin. Osalla koealoista oli tehty lievä harvennus.

Tutkitun jakson pituus oli keskimäärin 13 vuotta ja se ajoittui vuosille 1955–1977. Tutkimuksessa laaditun tilavuuskasvumallin, Vuokilan & Väliahon (1980) valtapituuden kasvu-

mallin ja vertailukoealojen avulla ennustettiin puuston kehitys ensimmäisen lannoituksen jälkeen ilman jatkolannoituksia. Kertalannoituksen aiheuttama vuosittainen kasvunlisäys saatiin ennustetun ja mitatun kasvun erotuksena. Kasvunlisäysmallin laadinta-aineistona käytettiin vain Etelä-Suomesta mitattua aineistoa, rajana oli 1000 d.d.:n lämpösummakäyrä. Mäntyaineisto sisälsi 2009 ja kuusiaineisto 593 kasvunlisäyshavaintoa. Tilavuuskasvumallien laadinnassa oli mukana myös Pohjois-Suomen aineisto.

Tilavuuskasvumallit:

Mänty:

$$\ln(I_V) = 34{,}5044 + 1{,}24491 \cdot \ln(T) - 0{,}0186792 \cdot T + 1{,}00135 \cdot \ln(V) - 0{,}00252132 \cdot V + 1{,}68060 \cdot \ln(H_{100}) - 1{,}71930 \cdot \ln(H_{dom}+1) - 11{,}7880 \cdot \ln(IND) + 0{,}126190 \cdot IND$$

$R^2 = 0{,}74 \quad s_e = 23{,}2\ \% \quad n = 2592$

Kuusi:

$$\ln(I_V) = -1{,}05445 - 0{,}849837 \cdot \ln(T) - 0{,}00658209 \cdot T + 0{,}830715 \cdot \ln(V) - 0{,}0219825 \cdot V/\sqrt{T} + 0{,}495856 \cdot \ln(H_{100}) + 0{,}380544 \cdot \ln(IND)$$

$R^2 = 0{,}88 \quad s_e = 22{,}4\ \% \quad n = 946$

Vakiotermeihin on lisätty logaritmimuunnoksen vaatima korjaustekijä $s^2_e/2$. Yhtälöissä muuttuja IND on lustoindeksi eli sädekasvun taso verrattuna normaalivuoden sädekasvuun (IND = 100). Jos IND < 90, käytetään arvoa IND = 90. Jos IND > 110, käytetään arvoa IND = 110.

Kasvunlisäysmalli:

$$\Delta I_V = FA \cdot FB$$

Ensimmäinen osa (FA) kuvaa lannoitustekijöiden ja toinen osa (FB) metsikkötekijöiden vaikutusta kasvunlisäykseen. Mallin osan FA parametrit estimoitiin ensin, eikä niitä enää muutettu FB-osan parametreja estimoitaessa.

$$FA = a_0 \cdot x^{a3} \cdot \exp((a_4+a_5 \cdot \ln(FN+1)+a_6 \cdot FN) \cdot x)$$

$$FB = f1 \cdot f2$$

$$f1 = N' \cdot H_{dom}' \cdot \exp(b_1 \cdot N' \cdot H_{dom}')$$

$$f2_{mä} = H_{100}^{b2} \cdot \exp(b_3 \cdot H_{100}^{b4} \cdot H100)$$

$$f2_{ku} = H_{100}^{b2} \cdot \exp(b_3 \cdot H_{100}) \cdot (1+b_5 \cdot H_{100})$$

missä $a_0 = a_1 \cdot a_2$

$x = t + (t/a_7)^{a8}$ männyllä ja $x = t + (t/a_7)^{a8} + a_9$ kuusella

t = lannoituksen jälkeinen kasvukausi; ensimmäisenä kasvukautena t = 1, toisena t =2, jne.

FN = typpilannoitemäärä, kg N/ha

N' = ennustettu runkoluku kasvukauden alussa, kun oletetaan ettei lannoitusta ole tehty, kpl/ha

H_{dom}'= ennustettu valtapituus kasvukauden alussa, kun oletetaan ettei lannoitusta ole tehty, m

Edellä kuvatussa muodossa mallilla voidaan arvioida ensimmäisen lannoituksen vaikutusta tilavuuskasvuun. Jos metsikköä lannoitetaan toistuvasti, aikaisemmat lannoitukset vaikuttavat uusintalannoituksen aiheuttamaan kasvureaktioon. Aikaisemmat lannoitukset otettiin huomioon muuttamalla mallin lannoitustekijää FA niin, että funktion arvoon vaikuttivat aikaisemmasta lannoituksesta kulunut aika ja siinä annettu typpimäärä.

$$FN' = FN \cdot t^{-c \cdot t}$$

missä FN' = käyttökelpoinen typpi, joka on jäjellä aikaisemmasta lannoituksesta, kg N/ha

c = parametri

t ja FN kuten edellä

Ajankohtana k tehdyn lannoituksen aiheuttamaa kasvunlisäystä laskettaessa on kokonaistyppimäärä (FN_S) siten

$$FN_S = FN_k + \sum_{i=1}^{k-1} FN_i'$$

Kasvunlisäys lasketaan nyt typpimäärillä FN_S ja $FN_S - FN_k$. Näiden erotus antaa arvion ajankohtana k tehdyn lannoituksen aiheuttamasta kasvunlisäyksestä.

$$I_V = (FA(t_k, FN_S, FS_k) - FA(t_k, FN_S - FN_k, FS_k)) \cdot FB$$

Lannoituksen k ja kaikkien aikaisempien lannoitusten vaikutusten summa saadaan

$$\Delta I_V = \sum_{i=1}^{k} \Delta I_{Vi}$$

missä:

t_k = lannoituksen jälkeisten kasvukausien lukumäärä (eli ajankohta, jolloin lannoituksen aiheuttamaa kasvun lisäystä arvioidaan)

FS_k = käytetty lannoite ajankohtana k, As/Os tai urea

As/OS = ammoniumsulfaatti/oulunsalpietari

Seuraavassa asetelmassa esitetään estimaatit yhtälöissä esiintyville parametreille.

Parametrit	mänty		kuusi	
	As/Os	Urea	As/Os	Urea
a_1	$3{,}375 \cdot 10^{-6}$	$1{,}718 \cdot 10^{-6}$	$7{,}699 \cdot 10^{-9}$	$2{,}053 \cdot 10^{-9}$
a_2,kun t=1	1,0	0,0	0,8	0,0
a_2,kun t>1	1,0	1,0	1,0	1,0
a_3	3,0	3,0	7,0	7,0
a_4	–2,38	–2,61	–2,02	–2,09
a_5	0,324	0,39	0,2	0,233
a_6	0,00072	–0,00083	–0,00045	–0,000495
a_7	7,0	7,0	9,0	9,0
a_8	3,0	3,0	3,0	3,0
a_9	–	–	2,2	2,5
b_1	–0,00005	–0,00005	–0,00004	–0,00004
b_2	1,5	1,5	3,0	3,0
b_3	–0,00564	–0,00564	–0,2	–0,2
b_4	0,055	0,055	–	–
b_5,N-lann.	–	–	0,0	0,0
b_5,NP-lann.	–	–	0,012	0,012
c	0,20	0,20	0,07	0,07

Kasvunlisäysmallin selitysaste oli männyllä 40 % ja kuusella 23 % ja kasvunlisäysarvion suhteellinen keskivirhe männyllä 69 % ja kuusella 96 %. Mallin virheen pienentäminen vaatisi tarkempia tietoja metsämaasta ja lannoitusajan säästä. Tässä tutkimuksessa virhettä suurensi myös kasvunlisäyshavaintojen epätarkkuus.

Koska urealannoitus tehtiin alkukesällä, ei ole tietoa mallin luotettavuudesta muina ajankohtina tehtyjen lannoitusten vaikutuksia arviotaessa. Lisäksi lannoituskokeissa käytetyt kerta-annokset olivat nykykäytäntöön verrattuna melko pieniä, n. 100 kg/ha.

288. Vuokila, Y. Gustavsen, H.G. & Luoma, P. 1983. Siperianlehtikuusikoiden kasvupaikkojen luokittelu ja harvennusmallit. Folia For. 554.

Siperianlehtikuusikon tilavuuskasvulle laadittiin ennusteyhtälö. Tutkimusaineisto kuvataan kohdassa 207.

Tilavuuskasvuyhtälö:

$$P_V = 0{,}28313 + 0{,}012757 \cdot B^{2{,}02} \cdot H^{-1{,}27} \cdot V^{-0{,}38} - 321{,}80588 \cdot C \cdot H^{-3{,}5}$$

Missä P_V = tulevan jakson keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvuprosentti, %

B = kasvupaikka indeksi, H_{100}, dm
H = valtapituus, m
C = ennustejakson pituus, v

Yhtälön selitysaste oli 0,975. Tutkimuksessa laadittujen pohjapinta-alan kasvuun perustuvien harvennusmallien lisäksi laadittiin edellä kuvatun tilavuuden kasvuyhtälön avulla ns. V-harvennusmallit.

289. Gustavsen, H.G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Folia For. 597.

Luontaisesti syntyneen kivennäismaan koivikon tilavuuskasvua kuvataan tulomuotoisella regressioyhtälöllä, jossa selitettävä tekijä on tulevan 5-vuotiskauden keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvuprosentti.

Aineistona käytettiin Mielikäisen (1980, 1985) sekametsikkötutkimusten yhteydessä mitattuja 66 puhdasta raudus- ja 21 hieskoivukoealaa (kohdat 96 ja 10). Metsiköiden puuston tilavuus vaihteli 58–325 m^3/ha, valtapituus 11,0–27,4 m ja rinnankorkeusikä 12–83 v. Suurin osa koealoista edusti metsätyyppejä OMT ja MT.

Tilavuuskasvuyhtälöt:

$$\ln(P_V) = 4{,}39827 - 0{,}13530 \cdot (\ln(T_{1,3}))^2 - 0{,}18409 \cdot \ln(V)$$

$N = 87 \quad R^2 = 0{,}862 \quad s_f = 0{,}151$

$$\ln(P_V) = 10{,}5381 + 0{,}55972 \cdot \ln(H_{dom}/T_{1,3}^2) - 2{,}28783 \cdot \ln(V) + 0{,}19730 \cdot (\ln(V))^2$$

$N = 87 \quad R^2 = 0{,}835 \quad s_f = 0{,}166$

Yhtälöiden vakioon on lisätty logaritmimuunnoksen edellyttämä korjaustekijä $s_f^2/2$. Yhtälöt antavat likimain samat tulokset puustotunnusten ollessa lähellä laadinta-aineiston keskiarvoja. Jälkimmäinen yhtälö soveltuu koko kiertoajan kasvuennusteiden laadintaan ja ensimmäinen yhtälö lyhyen jakson kasvuennusteisiin, kun valtapituutta ei tunneta.

Jälkimmäisen kasvuyhtälön ja tutkimuksessa esitettyjen harvennusmallien avulla on tasoitettu kiertoajan keskimääriset kasvuluvut boniteettiluokittain yhtälöllä

$$I_V = 0{,}2238 + 0{,}01225 \cdot H_{50}^2$$

missä I_V = kiertoajan keskikasvu, m^3/ha/v kuorineen
H_{50} = pituusboniteetti (= puuston valtapituus 50 vuoden iällä), m

Luontaisesti syntyneiden koivikoiden puuntuotoskykyä on vertailtu muiden pohjoismaisten

koivututkimusten tuloksiin.

290. Mielikäinen, K. 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Commun. Inst. For. Fenn. 133.

Regressioyhtälöillä kuvataan puuston tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvulle kuusi-rauduskoivu- ja kuusi-hieskoivusekametsiköissä. Tilavuuden kasvuyhtälöt laadittiin puulajeittain. Sekametsikön kasvu lasketaan painottamalla puulajittaisten yhtälöiden antamia kasvuja metsikön puulajisuhteilla.

Tutkimuksen tavoitteena oli vertailla puulajisuhteiltaan erilaisten metsiköiden kehitystä. Metsikkökohtaiset kasvuyhtälöt laadittiin lähinnä puukohtaisten kasvumallien tueksi ja testaamiseksi. Aineisto esitellään kohdassa 10.

Tilavuuskasvumallit:

Kuusi rauduskoivun seassa:

$$\ln(I_{v5}) = 6{,}862 - 0{,}6477 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}5577 \cdot \ln(V)$$

$$R^2 = 0{,}863 \quad s_e = 18{,}1\ \%$$

Kuusi hieskoivun seassa:

$$\ln(I_{v5}) = 4{,}061 - 0{,}8555 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}3735 \cdot \ln(G) + 0{,}7963 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}923 \quad s_e = 18{,}1\ \%$$

Rauduskoivu:

$$\ln(I_{v5}) = 7{,}267 - 0{,}9317 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}2324 \cdot \ln(V) - 0{,}2354 \cdot \ln(B\text{-}\%)$$

$$R^2 = 0{,}911 \quad s_e = 15{,}3\ \%$$

Hieskoivu:

$$\ln(I_{v5}) = 3{,}601 - 0{,}8436 \cdot \ln(T_{1,3}) - 0{,}2606 \cdot \ln(V) + 0{,}7597 \cdot \ln(H_{100})$$

$$R^2 = 0{,}949 \quad s_e = 14{,}1\ \%$$

Missä I_{v5} = tulevan 5-vuotiskauden vuotuinen tilavuuskasvu, % puuston tilavuudesta
B-% = koivun osuus puuston tilavuudesta, %

Logaritmimuunnoksen vaatima korjaustekijä ($s_e^2/2$) on lisätty yhtälöiden vakiotermiin. Kasvuyhtälöitä testattiin vertailemalla niiden antamia tuloksia puhtaiden kuusikoiden ja koivikoiden kasvulukuihin.

291. Vuokila, Y. 1985. Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen. Folia For. 636.

Julkaisussa esitetään eriasteisin harvennushakkuin käsiteltyjen istutuskuusikoiden tilavuuden keskimääräiset vuotuiset kasvut. Aineisto kuvataan kohdassa 174.

Kokeen aikainen (22–23 v) keskimääräinen vuotuinen tilavuuskasvu eri käsittelyillä (harventamaton, lievä, voimakas tai erittäin voimakas harvennus) esitetään taulukkomuodossa metsätyypeittäin (koealaryhmittäin). Lisäksi on laskettu keskimääräinen tilavuuskasvu koemetsiköiden koko elinaikana, jolloin metsiköiden alkukehitys eli kokeen perustamista edeltäneet n. 30–40 vuotta on otettu huomioon.

292. Gustavsen, H.G. & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Folia For. 673.

Tutkimuksessa laadittiin Etelä- ja Pohjois-Suomen luonnontilaisten soiden puuston tilavuuskasvuyhtälöt. Nykytilavuuden selitysyhtälöt (yhteensä 42 kpl) on laadittu suotyypeittäin Etelä- ja Pohjois-Suomelle erikseen. Tulevan 5-vuotiskauden tilavuuskasvun ennusteyhtälöt (8 kpl) on laadittu koko maan aidoille suotyypeille.

Aineisto koottiin VMI 3:n vuosina 1951–1953 mitatuista koealoista. Mukaan valittiin kasvullisen metsämaan luonnontilaisille suokuvioille osuneet koealat, joita oli yhteensä 1045. Koealoista 550 sijaitsi Pohjois-Suomessa (Pohjois-Pohjanmaan, Kainuun, Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien alueet) ja 495 Etelä-Suomessa. Koealoista 586 edusti korpia (LhK, RhK, KgK ja VK) ja 459 rämeitä (KgR, KR ja IR).

Korpikoealoista 90 % ja rämekoealoista 96 % sijaitsi kehittämiskelpoisissa metsiköissä (metsänhoidollinen tila: hyvä, toimenpide viivästynyt, lepoa tarvitseva tai harsimalla harvennettu). Kehityskelvottomista koealametsiköistä olivat mukana puulajiltaan muutettavat tai yli-ikäiset metsiköt. Esim. 25 % kangaskorpien ja 22 % kangasrämeiden metsiköistä oli harsittuja. Lehtipuiden (lähinnä koivun) osuus puuston tilavuudesta eri korpityypeillä vaihteli 24–61 % ja rämeillä 9–27 %.

Osa puustotunnuksista saatiin suoraan VMI:n lomakkeista, sen sijaan koealojen puuston pohjapinta-ala laskettiin runkolukusarjoista ja keskiläpimitta sekä -pituus läpimittaluokkien pohjapinta-aloilla painottaen. Inventoinnin kuorettomat kasvuluvut muutettiin kuorellisiksi puuston kuoriprosenttien avulla. Kasvulukuja ei korjattu ilmastoindeksien avulla.

Menneen 5-vuotiskauden keskimääräisen vuotuisen tilavuuskasvun selitysyhtälöt esitetään tutkimuksen sivulla 13 ja liitteessä sivuilla 24–27. Selittävinä tekijöinä ovat puuston tilavuus, runkoluku ja/tai ikä.

Tulevan tilavuuskasvun ennusteyhtälöt:

Metsikön ikää ei tunneta:

KgK: $\ln(I_{V5}) = -4{,}7477 + 0{,}4417 \cdot \ln(V) + 0{,}4008 \cdot \ln(N) + 0{,}0024 \cdot LS$

$n = 317 \quad R^2 = 0{,}688 \quad s_e = 49{,}2\ \%$

VK: $\ln(I_{V5}) = -4{,}3919 + 0{,}4000 \cdot \ln(V) + 0{,}4398 \cdot \ln(N) + 0{,}0018 \cdot LS$

$n = 183 \quad R^2 = 0{,}631 \quad s_e = 47{,}2\ \%$

KgR+KR: $\ln(I_{V5}) = -4{,}4465 + 0{,}4409 \cdot \ln(V) + 0{,}3679 \cdot \ln(N) + 0{,}0021 \cdot LS$

$n = 380 \quad R^2 = 0{,}629 \quad s_e = 50{,}6\ \%$

IR: $\ln(I_{V5}) = -3{,}3035 + 0{,}2887 \cdot \ln(V) + 0{,}3658 \cdot \ln(N) + 0{,}0013 \cdot LS$

$n = 69 \quad R^2 = 0{,}534 \quad s_e = 37{,}9\ \%$

Metsikön ikä tunnetaan:

KgK: $\ln(I_{V5}) = 0{,}2190 + 0{,}6497 \cdot \ln(V) - 0{,}6866 \cdot \ln(T) + 0{,}2100 \cdot \ln(N) + 0{,}0011 \cdot LS$

$n = 317 \quad R^2 = 0{,}770 \quad s_e = 41{,}7\ \%$

VK: $\ln(I_{V5}) = 0{,}8703 + 0{,}6991 \cdot \ln(V) - 0{,}7852 \cdot \ln(T) + 0{,}2264 \cdot \ln(N) + 0{,}0006 \cdot LS$

$n = 183 \quad R^2 = 0{,}769 \quad s_e = 36{,}7\ \%$

KgR+KR: $\ln(I_{V5}) = -0{,}4252 + 0{,}6158 \cdot \ln(V) - 0{,}5956 \cdot \ln(T) + 0{,}2514 \cdot \ln(N) + 0{,}0010 \cdot LS$

$n = 380 \quad R^2 = 0{,}694 \quad s_e = 45{,}6\ \%$

IR: $\ln(I_{V5}) = -0{,}5494 + 0{,}4454 \cdot \ln(V) - 0{,}3945 \cdot \ln(T) + 0{,}2760 \cdot \ln(N) + 0{,}0005 \cdot LS$

$n = 69 \quad R^2 = 0{,}584 \quad s_e = 36{,}0\ \%$

Yhtälöissä I_{V5} = tulevan 5 vuoden summakasvu, m^3/ha.

Logaritmimuunnoksen vaatimasta korjaustekijästä ei ole mitään mainintaa, todennäköisesti se on lisätty yhtälöiden vakiotermeihin. Vaikka metsikön iän sisältävien yhtälöiden virheet olivat pienempiä, laadittiin ensin kasvuyhtälöt ilman ikää selittävänä tekijänä, koska suometsiköiden iän määrittäminen on käytännössä hankalaa ja epäluotettavaa.

Yhtälöt ovat luotettavampia suuralueen kuin yksittäisten metsiköiden puuston kasvua ennustettaessa.

293. Varmola, M. 1987. Männyn viljelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin Yliopisto.

Graafisella mallilla esitetään männyn viljelytaimikon tilavuuskasvu iän funktiona pituusboniteettiluokittain eri runkoluvuilla (2000 ja 10000).

Aineisto kuvataan kokonaisuudessaan kohdassa 78. Vuotuinen tilavuuskasvu saatiin kahden peräkkäisen vuoden tilavuuksien erotuksena. Menneisiin tilavuuksiin päästiin käyttämällä kuorettoman pohjapinta-alan kasvumallia, muuntamalla pohjapinta-ala kuorelliseksi ja sijoittamalla tunnus tilavuusmalliin.

Tilavuuskasvukäyrien lisäksi tutkimuksessa esitetään taulukkoina pohjapinta-alan kasvumallilla (G_u) simuloituja tilavuuden ja tilavuuskasvun kehityssarjoja istutustaimikoille ja eri vaiheessa harvennetuille kylvötaimikoille pituusboniteettiluokittain ja tiheysluokittain (2000, 1800 ja 1600 kpl/ha).

294. Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Folia For. 752.

Julkaisussa esitetään riukuvaiheen männiköiden tilavuuskasvun riippuvuus kasvatustiheydestä. Aineisto kuvataan kohdassa 175.

Tilavuuskasvulle (Y, m^3/ha/v) tiheyden funktiona (X, kpl/ha) sovitettiin seuraava yhtälö:

$$Y = 0{,}56 \cdot X^{0{,}36}$$

Lisäksi tilavuuskasvu runkolukusarjan eri osissa esitetään graafisesti tiheysluokittain.

3.3. Kuolemismallit

295. Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Acta Forestalia Fennica 15.

Eteläsuomalaisen luonnontilaisen männikön, kuusikon ja koivikon luontaisen poistuman kehitys kuvataan iän funktiona. Aineisto esitellään kohdassa 153.

Puulajittaisissa ja metsätyypittäisissä taulukoissa esitetään luontaisen harvenemisen kautta metsiköstä kunakin 10-vuotiskautena poistuvan puumäärän tilavuuden sekä kokonaispoistuman kehitys. Männikön kehityssarjat kattavat ikäluokat 10–150 metsätyypistä riippuen (OMT - ClT), kuusikon kehityssarjat ikäluokat 10–130 (OMT ja MT) ja koivikon 10–100 (OT, OMT, MT ja VT).

296. Miettinen, L. 1933. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Commun. Inst. For. Fenn. 18(1).

Taulukkomallilla kuvataan harmaalepikön luontaisen poistuman kehitystä iän funktiona. Aineisto esitellään kohdassa 155.

Metsikön vuotuisen luontaisen poistuman (rl/ha ja m^3/ha) ja kokonaispoistuman (m^3/ha) kehityssarjat kattavat ikävuodet 5–45 ja ne esitetään erikseen metsätyypeillä OMaT ja OMT.

297. Ilvessalo, Y. 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Acta Forestalia Fennica 24(2).

Taulukkomalleilla esitellään Perä-Pohjolan mänty-, kuusi- ja koivuvaltaisten metsiköiden luontaisen poistuman kehitys metsätyypeittäin. Aineisto kuvataan kohdassa 157.

Männikön vuotuisen luonnonpoistuman (m^3/ha) ja kokonaispoistuman eli tiettyyn ikään mennessä itseharvenemisen johdosta poistuneen puumäärän kehityssarjat kattavat ikävuodet 20–280 metsätyypeillä ErCIT, EMT ja EVT. Vähäisen aineiston vuoksi kuusi- ja koivuvaltaisille metsiköille ei voitu laatia yhtenäisiä kehityssarjoja; aineisto ei kattanut kaikkia ikäluokkia ja metsätyyppejä.

298. Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4).

Pohjois-Suomen kuusi-koivusekametsiköiden luontaisen poistuman kehitys esitetään iän funktiona. Taulukkomallit on laadittu erikseen kulon jälkeiselle primäärimetsikölle ja sitä seuraavalle sekundäärimetsikölle. Aineisto kuvataan kohdassa 161.

Tutkimuksessa esitetään pystyyn kuolleiden puiden lukumäärä (/ha) läpimittaluokittain, ikäluokittain ja metsikön tiheysryhmittäin (keski- ja ylitiheä) kuusi- ja koivujaksolle erikseen. Kehityssarjat kattavat ikävuodet 60–300.

299. Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Commun. Inst. For. Fenn. 51(8).

Kooste sisältää aiemmin julkaistuja kasvu- ja tuottotaulukoita sekä kehityssarjoja, joista seuraavissa ryhmissä on mukana luontaisen poistuman kehitys iän funktiona:

1. Toistuvin harvennuksin käsitellyt metsiköt, Etelä-Suomi
2. Täystiheät luonnonmetsiköt, Suomen eteläpuolisko
3. Täystiheät luonnonmetsiköt, Perä-Pohjola

Taulukkoryhmien sovellusalueet ja alkuperäislähteet kuvataan tarkemmin kohdassa 164. Taulukoissa esitetään puuston ikäluokittaiset kokonaispoistumat sekä 10-vuotisjakson poistumat (k-m^3/ha).

300. Ilvessalo, Y. 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Acta Forestalia Fennica 81(5).

Taulukkomallilla kuvataan Kainuun kivennäismaiden männiköiden (ja kuusikoiden) luontaisen poistuman kehitys metsätyypeittäin. Aineisto esitellään kohdassa 2.

Männiköiden vuotuisen luontaisen poistuman (m^3/ha, kuoretta) sekä kokonaispoistuman (m^3/ha) kehityssarjat kattavat ikävuodet 30–140 ja ne esitetään metsätyypeillä EVT ja ECT.

Kuusikkoaineisto oli niin vaihteleva, ettei sen perusteella voitu laatia luotettavia kehityskäyriä.

301. Ilvessalo, Y. 1969. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 96.

Metsikön luontaisen poistuman keskimääräisestä kehitys Pohjanmaan männiköissä esitetään taulukkomallin avulla. Aineisto kuvataan kohdassa 168.

Männikön vuotuisen luontaisen poistuman (m^3/ha/v) kehityssarjat kattavat ikäluokat 20–140 metsätyypeillä MT, VT, EVT, CT ja ECT.

302. Ilvessalo, Y. 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Acta Forestalia Fennica 108.

Julkaisussa esitetään taulukkomalli ja graafiset mallit mäntyvaltaisten metsiköiden luontaisen poistuman iänmukaisesta kehityksestä Pohjois-Lapissa metsätyypeittäin. Tutkimusaineisto kuvataan kohdassa 169.

Vuotuisen luontaisen poistuman (m^3/ha) keskimääräiset kehityskäyrät kattavat EM(Cl)T:llä ja ErClT:llä ikävuodet 40–300 ja ClT:llä vuodet 80–300. Luontaisen kokonaispoistuman (m^3/ha, kuorineen ja kuoretta) iänmukainen kehitys esitetään taulukkomuodossa.

Koska Pohjois-Lapin metsiköt ovat yleisesti eri-ikäisiä ja epätasaisia, metsikkötunnusten keskimääristä kehitystä kuvaavien käyrien piirtäminen oli jokseenkin epävarmaa.

303. Ilvessalo, Y. & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotantokyvyn valossa. Acta Forestalia Fennica 144.

Luonnontilaisten täystiheiden männiköiden, kuusikoiden ja koivikoiden vuotuisen luontaisen poistuman ja kokonaispoistuman keskimääräinen kehitys metsätyypeittäin koko maassa kuvataan graafisilla ja taulukkomalleilla. Aineisto esitellään kohdassa 172.

Kehityssarjat alkavat 20 vuoden iästä ja jatkuvat havumetsiköiden karuimpien kasvupaikkojen osalta 200–300 ikävuoteen asti, luokkaväli on 10–40 vuotta. Taulukoihin (kokonaispoistuma, m^3/ha) ja kuviin (vuotuinen poistuma, m^3/ha/v) on sisällytetty myös

päämetsätyyppien pohjoiset alamuodot.

304. Pukkala, T. 1987a. Simulation model for natural regeneration of *Pinus sylvestris, Picea abies, Betula pendula* and *Betula pubescens*. Silva Fenn. 21(1):37–53.

Luontaisen uudistumisen simulointimallia varten laadittiin taimien kuolemismalli, jolla estimoidaan kunakin vuonna eloon jääneiden taimien lukumäärä.

Kuolemismalli:

$$SU(t+n) = SU(t) \cdot n^{PAR3}$$

$$PAR3 = PAR3(0) - C \cdot BA$$

missä SU(t+n) = elossa olevien taimien lukumäärä vuonna t+n
SU(t) = elossa olevien taimien lukumäärä vuonna t
BA = emopuiden pohjapinta-ala, m^2/ha
PAR3(0) = parametrin PAR3 arvo, kun BA = 0

PAR3(0):n ja C:n arvot ovat

puulaji	PAR3(0)	C
mänty	–0,50	0,045
kuusi	–0,45	0,035
rauduskoivu	–1,30	0,060
hieskoivu	–1,30	0,070

Parametrit eivät perustu mihinkään empiiriseen aineistoon. Yhtälö on hyvin yksinkertainen eikä siinä ole mukana satunnaisvaihtelua kuvaavaa muuttujaa. Kuolemismallia tarvittiin simuloitaessa metsikön luontaista uudistumisprosessia usean vuoden aikana.

305. Kellomäki, S., Kolström, T., Valtonen, E. & Väisänen, H. 1989. Simulations on the occurrence of dead trees in natural pine stands. Silva Fenn. 23(3): 203–214.

Männyn kuolemistodennäköisyysmallia käytettiin tutkittaessa kuolleiden puiden esiintymistä luontaisesti kehittyvässä männikössä.

Aineisto luotiin ekologisella simulointimallilla, joka käsitti kolme eri osamallia: puiden kasvu, puiden kuoleminen ja karikkeen hajoaminen. Laskelmien perusmetsikköinä olivat MT:n kasvupaikalla kasvavat tasaikäiset männiköt. Alle 1,3 m pitkien taimien selviytyminen riippuu käyttökelpoisen typen määrästä, haihduttamisesta, lämpösummasta, kasvupaikan valo-oloista ja puulajin varjostuksen sietokyvystä. Yli 1,3 m pitkien taimien kuolemistodennäköisyys esitetään puun sädekasvun ja puulajin maksimi-iän fuktiona seuraavasti:

Kuolemismalli:

$$C = 4/AGMX \qquad \text{jos } i_r > 0{,}01 \text{ mm/a}$$

$C = 0{,}37$ jos $i_r < 0{,}01$ mm/a

missä C = puun kuolemistodennäköisyys
AGMX = puulajin maksimi-ikä, männyllä 400 a.
i_r = puun sädekasvu, mm/a

Mallitarkastelu osoitti, että kuolleiden puiden määrä luontaisessa männikössä kasvaa puuston sulkeutumiseen saakka, jonka jälkeen kuolleiden puiden määrä alkaa vähetä. Simulointitulokset kuolleiden puiden esiintymisestä vastasivat melko hyvin Ilvessalon kasvu- ja tuottotaulukoiden (1920) luontaisen poistuman kehitystä metsikön iän funktiona. Ensimmäisten 20 vuoden aikana simulointimetsikössä kuoli kuitenkin enemmän ja 20–60 ikävuosien välillä vähemmän puita kuin Ilvessalon (1920) mukaan.

306. Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000–versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Puuntuotoksen tutkimussuunta.

Puun luontaisen kuolemisen todennäköisyyden estimoivaa mallia sovellettiin metsikön kehityksen simuloinnissa.

Mallin parametrit estimoitiin VMI7:n puustokoeala-aineistosta rajatun ositteen perusteella. Mukaan otettiin ne koealat, joilla ei ollut veroluokan alennusta, tuhoja eikä edeltäneen 5-vuotisjakson aikana tehtyjä hakkuita. Elävien puiden läpimitat viisi vuotta sitten estimoitiin menneen kauden läpimitan kasvumallilla, joka laadittiin VMI7:n koepuuaineistosta.

$$pk = \frac{1}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 \cdot + \beta_2 \cdot G + \beta_3 \cdot G_y)}$$

missä pk = puun todennäköisyys kuolla tulevan 5-vuotiskauden aikana
d = puun kuoreton rinnankorkeusläpimitta, cm
G = metsikön kuoreton pohjapinta-ala, m^2/ha
G_y = niiden puiden kuoreton ppa, joiden $d_{1,3}$ on suurempi kuin kohdepuun, m^2/ha

Parametrit on estimoitu veroluokittain erikseen männylle ja kuuselle. Simulontimallissa lehtipuille käytetään männyn parametrien arvoja, kilpailun vaikutusta korostetaan kertomalla muuttujat G ja G_y luvulla 1,5. Turvemaille käytetään ravinteisuusluokittain samoja malleja kuin kivennäismaille.

307. Katila, M. 1990. Luonnonpoistuman ennustaminen männikössä kuolemistodennäköisyyden mallilla. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin Yliopisto.

Tutkielma tarkastelee männyn kuolemistodennäköisyyden estimoivia logistisia regressiomalleja.

Aineisto valittiin Metsäntutkimuslaitoksen harvoin toistuvien harvennusten (HARKAS)

koealasarjasta, joka kattaa koko maan. Kokeet oli perustettu vuosina 1970–1979 eri tiheyksisiin, homogeenisiin metsiköihin, jotka olivat eri kehitysvaiheissa. Kokeessa oli mukana 3 eri harvennusohjelmaa (1–5 alaharvennusta/ohjelma) sekä harventamattomat koealat. Koealat oli mitattu 2–4 kertaa vuosien 1970 ja 1986 välillä (mittausväli oli 2–10 v).

Mukaan valittiin kaikkiaan 35 männikkökoetta. Kasvupaikoiltaan ne edustivat tuoreita, kuivahkoja ja kuivia kankaita. Metsiköt olivat syntyneet joko luontaisesti tai kylvämällä. Mittausjaksoja valituilta koealoita (233 kpl) kertyi yhteensä 316 kpl. Mittauksissa määriteltyjen puustoryhmä- ja terveydentilakoodin perusteella saattiin laskettua luonnonpoistuman osuus runkoluvusta. Luonnonpoistuma seurantajakson aikana koko aineistossa oli 1645 runkoa (alkupuusto oli 35646 kpl) eli 4,6 % ja harventamattomilla koealoilla 987 runkoa (alkupuusto 12549) eli 6,3 %. Luonnonpoistuma 10-vuotiskaudella oli keskimäärin 4,65 % koko aineistossa ja 7,96 % harventamattomilla koealoilla.

Kuolemistodennäköisyysmallien laadinta-aineistona käytettiin vain 80 % koealoista, loput varattiin testiaineistoksi.

Kuolemistodennäköisyysmallit:

$$p_i = e^y/(1+e^y)$$

Puutason selittävät muuttujat:
ei harvennusta jakson alussa:

$$y = -11{,}397431 - 0{,}013134 \cdot ppa \cdot d_{1,3} + 0{,}28447 \cdot ppa + 0{,}0040361 \cdot LS + 0{,}14724 \cdot mj$$

harvennettu jakson alussa:

$$y = -10{,}905112 - 0{,}017293 \cdot ppa \cdot d_{1,3} + 0{,}27388 \cdot ppa + 0{,}0024949 \cdot LS + 0{,}36111 \cdot mj$$

Metsikkötason selittävät muuttujat:
ei harvennusta jakson alussa:

$$y = -10{,}40333 + 0{,}00001521 \cdot G \cdot RL + 0{,}073043 \cdot G + 0{,}0039579 \cdot LS + 0{,}099428 \cdot mj$$

harvennettu jakson alussa:

$$y = -10{,}40333 + 0{,}0012 \cdot RL + 0{,}28454 \cdot mj$$

Lisäksi laadittiin metsikön kuolleisuusprosentin estimoiva malli tavallista regressioanalyysiä (pns-estimointa) käyttäen. Kuolleiden puiden prosenttiosuudet runkoluvusta muunnettiin 10-vuotisjaksoa vastaaviksi.

Ei harvennusta jakson alussa:

$$y = -7{,}20895 + 0{,}13289 \cdot ppa + 0{,}0049099 \cdot LS$$

$$-0{,}109801 \cdot H_{100} - 0{,}0376107 \cdot T$$

$$R^2 = 0{,}41$$

missä:

p_i = puun i todennäköisyys kuolla jakson aikana
y = todennäköisyysmallin eksponentti
ppa = puun yläpuolinen pohjapinta-ala, m^2
LS = lämpösumma, d.d.
mj = mittausjakson pituus, v
RL = runkoluku, kpl/ha

Logististen mallien hyvyyttä ja sopivuutta aineistoon testattiin Hosmer-Lemeshow ja C. C. Brown testisuureiden avulla. Puutason malleissa hypoteesia havaittujen ja ennustettujen frekvenssien yhteensopivuudesta ei voitu hylätä normaalilla riskitasolla, kun taas metsikkötason malleissa yhteensopivuus ei ollut kiistatonata. Puu- ja metsikkötason harventamattomilla malleilla C. C. Brown testisuureet eivät tue hypoteesia logistisen mallin sopivuudesta aineistoon.

Testiaineiston perusteella mallit olivat harhaisia. Mallin antaman luonnonpoistumaprosentin poikkeama mitatusta arvosta oli suurin metsikkötason harventamattomien koealojen mallilla (–1,92 %). Residuaalitarkastelu osoitti muutaman poikkeavan havainnon heikentävän huomattavasti mallien ennustearvoa. Tällaiset havainnot johtuvat säännöllisestä poikkeavasta kuolleisuudesta, esim. tuulituhoista ja kasvun syklisyydestä, joita ei käytetyllä mallilla ole saatu esiin.

KIRJALLISUUS

Boland, Jr. R.J. 1991. Information System Use as A Hermeneutic Process. Weatherhead School of Management, Case Western Reserve University, Cleveland, Ohio, USA. Manuscript presented in 24.04.1991, Kilpisjärvi, Finland. 20 s.

Burkhart, H.E, Rauscher, H.M. & Johann, K. (toim.) 1989. Artificial intelligence and growth models for forest management decisions. Proceedings of IUFRO Meeting, Vienna, Austria, September 18–22, 1989. FWS–1–89. School of Forestry and Wildlife Resources, Virginia Plytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia. 419 s.

Cajander, E. K. 1933. Tutkimuksia Etelä-Suomen viljelyskuusikoiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Kulturfichtenbestände in Süd-Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19(3): 101 s. **156, 179, 216, 244.**

– 1934. Kuusen taimistojen vapauttamisen jälkeisestä pituuskasvusta. Referat: Über den Höhenzuwachs der Fichtenpflanzenbestände nach der Befreiung. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 19(5): 59 s. **125.**

Clutter, J.L., Fortson , J.C., Pienaar, L.V., Brister, G.H. & Bailey, R.L. 1983. Timber Management: A quantitative approach. John Wiley & Sons Inc. 333 s.

Futo, I. & Gergely, T. 1990. Artificial Intelligence in Simulation. Ellis Horwood Limited. West Sussex. England. 253 s.

Gustavsen, H. G. 1977. Valtakunnalliset kuutiokasvuyhtälöt. Summary: Finnish volume increment functions. Folia Forestalia 331. 37 s. **275.**

– 1980. Talousmetsien kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for conifer stands in Finland. Folia Forestalia 454. 31 s. **202.**

– 1990. Puuston kasvumallit. Julkaisussa: Saramäki, J. & Mäkkeli, P. (toim.). 1990. Metsätalouden suunnittelu. Metsäntutkimuspäivät Joensuussa 1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 357. s.13–23.

– & Fagerström, H. 1983. Brösthöjdsformtalets variation i tall-, gran- och björkbestånd. Tiivistelmä: Männyn, kuusen ja koivun muotolukujen vaihtelu. Folia Forestalia 576. 32 s. **84.**

– & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. Summary: Site index curves for natural birch stands in Finland. Folia Forestalia 597. 20 s. **208, 289.**

– & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. Summary: Tree stands on virgin forested mires in the early 1950's in Finland. Folia Forestalia 673. 27 s. **292.**

Hakkila, P. 1966. Investigations on the basic density of finnish pine, spruce and birch wood.

Seloste: Tutkimuksia männyn, kuusen ja koivun puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 61(5): 98 s. **52.**

– 1970. Basic density, bark percentage and dry matter content of grey alder (Alnus incana). Seloste: Harmaalepän puuaineen tiheys ja kuiva-ainesisältö. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 71(5): 33 s. **54.**

– 1972. Coniferous branches as a raw material source. A sub-project of the joint Nordic research programme for the utilization of logging residues. Seloste: Havupuun oksat raaka-ainelähteenä. Yhteispohjoismaisen hakkuutähdetutkimuksen alaprojekti. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75(1): 60 s. **3.**

– 1979. Wood density survey and dry weight tables for pine, spruce and birch stems in Finland. Seloste: Mänty-, kuusi- ja koivurunkojen puuaineen tiheys ja kuivapainotaulukot. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 96(3): 59 s. **56.**

– , Laasasenaho, J. & Oittinen, K. 1972. Korjuuteknisiä oksatietoja. Summary: Branch data for logging work. Folia Forestalia 147. 15 s. **4.**

– & Uusvaara, O. 1968. On the basic density of plantation-grown Norway spruce. Seloste: Viljelykuusikoitten puuaineen tiheydestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 66(6): 23 s. **53.**

Heikkilä, H. 1982. Mäntytaimikoiden kasvu turvemailla. (Vuosina 1964–68 toimeenpannun suometsäkilpailun kestokoealojen valossa). Metsänhoitotieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 58 s. **88, 117, 134, 283.**

Heikurainen, L. 1959. Tutkimus metsäojitusalueiden tilasta ja puustosta. Referat: Über waldbaulich entwässerte Flächen und ihre Waldbestände in Finnland. Acta Forestalia Fennica 69(1): 279 s. **253.**

– 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. Summary: A method for calculation of the suitability of peatlands for forest drainage. Acta Forestalia Fennica 131. 35 s.

– & Kuusela, K. 1962. Revival of the tree growth after drainage and its dependence on the tree size and age. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 55(8): 15 s. **126.**

– & Ouni, J. 1970. Turvemaiden taimistojen pituuskasvusta. Vuosina 1964–1968 toimeenpannun suometsäkilpailun tutkimustuloksia. Summary: On the height growth of seedling stands growing on peatland. Silva Fennica 4(2): 119–141. **129.**

– & Seppälä, K. 1966. Regionality in stands increment and its dependence on the temperature factor on drained swamps. Acta Forestalia Fennica 78(4): 14 s. **259.**

– & Seppälä, K. 1973. Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. Summary: Regionality and continuity of stand growth in old forest drainage areas. Acta Forestalia Fennica 132. 36 s. **270.**

Heikurainen, M. 1984. Männyn kuoren paksuuden vaihtelu ja mittaustarkkuus. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 84 s. +liitteet. **65.**

Heiskanen, V. 1965. Puiden paksuuden ja nuoruuden kehityksen sekä oksaisuuden ja sahapuulaadun välisistä suhteista männiköissä. Summary: On the relations between the development of the early age and thickness of trees and their branchiness in pine stands. Acta Forestalia Fennica 80(2): 62 s. **1.**

– , Kuronen, A. & Tiihonen, P. 1972. Rinnankorkeusläpimittaan ja tukkilukuun perustuvat sahapuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for saw timber stems based on the breast height diameter and the number of log per stem. Folia Forestalia 162. 15 s. **47.**

– & Rikkonen, P. 1976. Havusahatukkien kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount in coniferous sawlogs and factors affecting it. Folia Forestalia 250. 67 s. **60.**

Henttonen, H. 1989. Kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvun vaihtelu Etelä-Suomessa. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Helsingin yliopisto. 83 s. **18, 122.**

Hepp, T. 1988. Using microcomputers to narrow the gap between researcher and practioner: A case history of the TVA YIELD program. In: Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (editors). Forest Groeth Modelling and Predicting. Proceedings of the IUFRO Conference August 23–27, Minneapolis, Minnesota. USDA, Forest Service, General Technical Report NC–120. s. 976–985.

Hiltunen, J. 1981. Kuusitaimistojen kasvusta turvemailla. (Suometsäkilpailun (1964–68) - koealoista valittujen taimistojen jatkokehityksen valossa). Suometsätieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 47 s. **87, 116, 133, 282.**

Hirvelä, H. 1990. Männyn oksien paksuuskasvun ennustaminen. Metsänarvioimistieteen pro gradu-tutkielma. Helsingin yliopisto. 58 s. **148.**

Hägglund, B. 1976. Skattning av höjdboniteten i unga tall- och granbestånd. Summary: Estimating site index in young stands of Scots pine and Norway spruce in Sweden. Rapp. Uppsats. Instn. Skogsprod. Skogshögsk. 39. 66 s.

Ilvessalo, Y. 1920. Kasvu- ja tuottotaulukot Suomen eteläpuoliskon mänty-, kuusi- ja koivumetsille. Referat: Ertragstafeln für die Kiefern-, Fichten- und Birkenbestände in der Südhälfte von Finnland. Acta Forestalia Fennica 15: 94 +9 s. **153, 176, 214, 241, 297.**

– 1937. Perä-Pohjolan luonnon normaalien metsiköiden kasvu ja kehitys. Summary: Growth of Natural Normal Stands in Central North-Suomi (Finland). Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 24(2): 168 s. **157, 180, 217, 245, 297.**

– 1947. Pystypuiden kuutioimistaulukot. Summary: Volume tables for standing trees. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 34(4): 149 s. **36.**

– 1967. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Kainuussa ja sen lähiympäristössä. Summary: On the development of natural normal forest stands in south-eastern North-Finland. Acta Forestalia Fennica 81(5): 85 s. **2, 166, 191, 226, 260, 300.**

– 1969. Luonnonnormaalien metsiköiden kehityksestä Pohjanmaan kivennäismailla. Summary: On the development of natural normal forest stands on mineral soils in Ostrobothnia. Acta Forestalia Fennica 96. 37 s. **168, 193, 228, 263, 301.**

– 1970. Metsiköiden luontainen kehitys- ja puuntuottokyky Pohjois-Lapin kivennäismailla. Summary: Natural development and yield capacity of forest stands on mineral soils in northern Lapland. Acta Forestalia Fennica 108. 43 s. **169, 194, 229, 264, 302.**

– & Ilvessalo, M. 1975. Suomen metsätyypit metsiköiden luontaisen kehitys- ja puuntuotantokyvyn valossa. Summary: The forest types of Finland in the light of natural development and yield capacity of forest stands. Acta Forestalia Fennica 144. 101 s. **172, 197, 232, 271, 303.**

Jeffers, J.N.R. 1978. An Introduction to Systems Analysis: with ecological applications. Contemporary biology. Edward Arnold Ltd, London. ISBN–7131–2653–1. 198 s.

Jozefek, H. (toim.). 1990.Modelling to understand forest functions. Silva Carelica 15. 246 s.

Kaila, E. & Saarenmaa, H. 1990. Tietokoneavusteinen päätöksenteko metsätaloudessa. Summary: Computer-aided decision making in forestry. Folia Forestalia 757. 34 s.

Kalela, E. K. 1937. Tutkimuksia kuusi-harmaaleppä-sekametsiköiden kehityksestä. Referat: Untersuchungen über die Entwicklung der Ficten-Weisserlen-Mischbestände in Ostfinnland. Acta Forestalia Fennica 44(2): 198 s. **158, 181, 218.**

Kallio, K. 1957. Käenkaali-mustikkatyypin kuusikoiden kehityksestä Suomen lounaisosassa. Taksatoris-liiketaloudellinen tutkimus. Summary: On the development of spruce forests of the Oxalis- Myrtillus site type in the south-west of Finland. Acta Forestalia Fennica 66(3): 155 s. **163, 186, 221, 251.**

– 1960. Etelä-Suomen kylvömänniköiden rakenteesta ja kehityksestä. Summary: On the structure and development on pine stands established by sowing in the south of Finland. Acta Forestalia Fennica 71(3): 78 s. **165, 188, 223, 254.**

Kangas, A., Kangas, J., Korhonen, K. T., Maltamo, M. & Päivinen, R. 1990. Metsää kuvaavat mallit. Silva Carelica 17. 143 s.

Katila, M. 1990. Luonnonpoistuman ennustaminen männikössä kuolemistodennäköisyyden mallilla. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 55 s. **307.**

Kellomäki, S., Kolström, T., Valtonen, E. & Väisänen, H. 1989. Simulations on the occurrence of dead trees in natural pine stands. Tiivistelmä: Ekologiseen malliin perustuvia laskelmia kuolleiden puiden esiintymisestä luontaisesti kehittyvissä männiköissä. Silva Fennica 23(3): 203–214. **305.**

Keltikangas, M. & Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatus taloudellisena vaihtoehtona. Summary: The economics of growing birch stands on drained peatlands. Silva Fennica 11(1): 49–68. **274.**

Kilkki, P. 1982. Metsänmittausoppi. Helsingin yliopisto, metsänarvioimistieteen laitos. Tiedonantoja 7. 197 s.

– 1983. Sample trees in timber volume estimation. Seloste: Koepuut puuston tilavuuden estimoinnissa. Acta Forestalia Fennica 182. 35 s. **9, 20, 31.**

– & Lappi, J. 1987. Estimation of taper curve using stand variables and sample tree measurements. Scandinavian Journal of Forest Research 2: 121–126. **34.**

– , Maltamo, M., Mykkänen, R. & Päivinen, R. 1989. Use of the Weibull function in estimating the basal area dbh-distribution. Tiivistelmä: Weibull-funktion käyttö pohjapinta-alan läpimittajakauman estimoinnissa. Silva Fennica 23(4): 311–318. **73.**

– & Päivinen, R. 1986. Weibull function in estimation of the basal area dbh-distribution. Seloste: Weibull-funktio pohjapinta-alan läpimittajakauman estimoinnissa. Silva Fennica 20(2): 149–156. **71.**

– & Pökälä, R. 1975. A long-term timber production model and its application to a large forest area. Seloste: Pitkän ajan puuntuotantomalli ja sen sovellutus Keski-Suomen ja Pohjois-Savon piirimetsälautakuntien alueella. Acta Forestalia Fennica 143. 46 s.

– , Saramäki, M. & Varmola, M. 1978. A simultaneus equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. Silva Fennica 12(2): 120–125. **27.**

– & Siitonen, M. 1975. Metsikön puuston simulointimenetelmä ja simuloituun aineistoon perustuvien puustotunnusmallien laadinta. Summary: Simulation of artificial stands and derivation of growing stock models from this material. Acta Forestalia Fennica 145. 33 s. **81, 92.**

– & Varmola, M. 1979. A nonlinear simultaneous equation model to determine taper curve. Seloste: Runkokäyrän määrittäminen epälineaarisen simultaanisen moniyhtälömallin avulla. Silva Fennica 13(3): 293–303. **28.**

– 1981. Taper curve models for Scots pine and their applications. Seloste: Männyn runkokäyrämalleja ja niiden sovellutuksia. Acta Forestalia Fennica 174. 60 s. **29.**

Kimmins, J.P. 1987. Forest Ecology. Macmillan Publ.Co. New York. 531 s.

Kinnunen, K. & Linnimäki, J. 1978. Metsänuudistamisen onnistuminen ja taimikoiden alkukehitys Pohjois-Karjalassa. Summary: Success of forest regeneration and initial development of sapling in northern Karelia. Folia Forestalia 329. 32 s.

– & Nerg, J. 1983. Istutustaimikoiden tila 11–12 vuotta viljelystä Länsi-Suomen yksityismetsissä. Summary: State of plantations 11–12 yers after planting in some private

forests in western Finland. Folia Forestalia 546. 20 s.

Kohmo, I. 1972. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen pohjoispuoliskossa vuosina 1969–70. Folia Forestalia 163. 15 s. **269.**

– 1980. Metsiköiden kasvuprosentti Suomessa vuosina 1971–1976. Summary: Increment percentage of forest stands in Finland 1971–1976. Folia Forestalia 425. 21 s. **281.**

Koivisto, P. 1959. Kasvu- ja tuottotaulukoita. Summary: Growth and yield tables. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51(8): 49 s. **164, 187, 222, 252, 299.**

– 1970. Regionality of forest growth in Finland. Seloste: Metsän kasvun alueellisuus Suomessa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 71(1): 76 s. **266.**

– 1972. Kainuun ja Pohjanmaan talousmänniköiden kehityksestä. Summary: On the development of Scots pine stands in central Finland. Folia Forestalia 142. 19 s. **171, 196, 231, 268.**

Koivula, S. 1991. Koivun pituuskasvun mallittaminen. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 51 s. **141.**

Koivuniemi, J. 1989. Elävän latvuksen alarajan korkeus ja puuston latvuspohjapinta-ala lehtomaisten kankaiden kuusikoissa. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 65 s. **13.**

Kolkki, O. 1959. Lämpötilakarttoja ja taulukoita Suomesta kaudelta 1921–50. Temperaturkarten und Tabellen von Finnland für den Zeitraum 1921–50. Liite Suomen Meteorologiseen Vuosikirjaan. Nide L-osa I. 1950.

Kolström, T. 1988. Modelling early development of a planted pine stand as an application of object-oriented programming. Thesis for the Degree of Licentiate of Science in Agriculture and Forestry. Joensuun yliopisto. 29 s. **139.**

Korhonen, K. T. 1987. Kuusen runkokäyrämalli lineaarisella sekamallimenetelmällä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 51 s. **33, 67.**

– 1989. Runkokäyrämallien käyttö metsäninventoinnissa. Metsätalouden suunnittelun lisensiaattitutkimus. Joensuun yliopisto. 74 s. **35.**

– & Maltamo, M. 1990. Männyn maanpäällisten osien kuivamassat Etelä-Suomessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 371. Joensuun tutkimusasema. 10 s. **57.**

Koski, V. 1981. Metsäpuiden genetiikka. Helsingin yliopisto, kasvinjalostustieteen laitos. Luentomoniste. 39 s.

– & Tallqvist, R. 1978. Tutkimuksia monivuotisista kukinnan ja siemensadon määrän mittauksista metsäpuilla. Summary: Results of longtime measurements of the quantity of flowering and seed crop of forest trees. Folia Forestalia 364. 60 s.

Kukkola, M. & Saramäki, J. 1983. Growth response in repeatedly fertilized pine and spruce stands on mineral soils. Seloste: Toistuvalla lannoituksella saatava kasvunlisäys kivennäismaiden männiköissä ja kuusikoissa. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 114. 55 s. **287.**

Kuusela, K. 1957. Hakkuilla käsiteltyjen koivikoiden rakenteesta ja kasvusta. Summary: On the structure and growth of birch stands treated with cuttings. Silva Fennica 90(3): 21 s. **250.**

– 1964. Increment-drain forecast for a large forest area. Seloste: Kasvun ja poistuman ennuste suurelle metsäalueelle. Acta Forestalia Fennica 77.5. 79 s. **189, 224, 257.**

– & Kilkki, P. 1963. Multiple regression of increment percentage on other characteristics in Scotch-pine stands. Seloste: Kasvuprosentin ja muiden metsikkötunnusten välinen yhteiskorrelaatio männikössä. Acta Forestalia Fennica 75.4. 40 s. **256.**

Kärkkäinen, M. ja Uusvaara, O. 1982. Nuorten mäntyjen laatuun vaikuttavia tekijöitä. Summary: Factors affecting the quality of young pines. Folia Forestalia 515. 28 s. **6.**

Laasasenaho, J. 1975. Runkopuun saannon riippuvuus kannon korkeudesta ja latvan katkaisuläpimitasta. Summary: Dependence of the amount of harvestable timber upon the stump height and the top-logging diameter. Folia Forestalia 233. 20 s. **14, 49.**

– 1976. Männyn, kuusen ja koivun kuutioimisyhtälöt. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Helsingin yliopisto. 89 s. + liitt. **40.**

– 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. 15, **30, 41.**

– & Sevola, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavaralajisuhteet ja kantoarvot. Summary: Timber assortment relationships and stumpage value of Scots pine and Norway spruce. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 74(3): 87 s. **39, 43.**

Lappi, J. 1986. Mixed linear models for analyzing and predicting stem form variation of Scots pine. Seloste: Männyn runkomuodon analysointi ja ennustaminen lineaaristen sekamallien avulla. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 134. 69 s. **32.**

Lappi-Seppälä, M. 1927. Tutkimuksia siperialaisen lehtikuusen kasvusta Suomessa. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der sibirischen Lärche in Finnland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 12: 72 s. **22, 59, 109, 124, 149.**

– 1930. Untersuchungen über die Entwicklung gleichaltiger Mischbestände aus Kiefer und Birke. Selostus: Tutkimuksia tasaikäisen mänty-koivusekametsikön kehityksestä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 15(2): 241 s. **154, 177, 242.**

Lauhanen, R. 1988. Hyönteis- ja sienituhojen kytkeminen SIMA -simulointimalliin. Metsänhoitotieteen syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 92 s. + liitt.

Laurila, M. 1972. Puun kasvun ennustaminen. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 98 s. +liitteet. **112, 130, 151.**

Leary, R. A. 1988. Some factors that will affect the next generation of forest growth models. Julkaisussa: Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (toim.). Forest growth modelling and prediction, proceedings of the IUFRO conference, August 23–27, 1987, Minneapolis, Minnesota. Volume 1. 22–32 s.

Leikola, M., Metsämuuronen, M., Räsänen, P. K. & Taimisto, E. 1977. Männyn viljelytaimistojen kehitys Lounais-Suomessa vv. 1967–1975. Summary: The development of Scots pine plantations in south-western Finland in 1967–1975. Folia Forestalia 312. 27 s. **200.**

Leikola, M., Raulo, J. & Pukkala, T. 1982. Männyn ja kuusen siemensadon vaihteluiden ennustaminen. Summary: Prediction of the variations of the seed crop of Scots pine and Norway spruce. Folia Forestalia 537. 43 s. **104.**

Leinonen, K., Leikola, M., Peltonen, A. & Räsänen, P. K. 1989. Kuusen luontainen uudistaminen Pirkka-Hämeen metsälautakunnassa. Summary: Natural regeneration of Norway spruce in Pirkka-Häme Forestry Board District, southern Finland. Acta Forestalia Fennica 209. 53 s. **107.**

Leskinen, J. 1989. Männyn ja koivun elävien ja kuolleiden oksien alkamiskorkeuden ennustaminen. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 44 s. **12.**

Lähde, E., Nieminen, J., Etholé n, K. & Suolahti, P. 1982. Varttuneet kontorta-metsiköt Suomen eteläpuoliskossa. Summary: Older lodgepole pine stands on southern Finland. Folia Forestalia 533. 38 s. **7, 26, 63, 75, 285.**

Mielikäinen, K. 1975. Männiköiden ja kuusikoiden kuutiokasvuyhtälöt ja niiden laatiminen. Metsänarviomistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 103 s. **272.**

– 1978. Puun kasvun ennustettavuus. Abstract: Predictability of tree growth. Folia Forestalia 363. 15 s. **114.**

– 1979. Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon. Summary: The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand. Folia Forestalia 401. 23 s. **277.**

– 1980. Mänty-koivusekametsiköiden rakenne ja kehitys. Summary: Structure and development of mixed pine and birch stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(3): 82 s. **96, 143, 280.**

– 1985. Koivusekoituksen vaikutus kuusikon rakenteeseen ja kehitykseen. Summary: Effect of an admixture of birch on the structure and development of Norway spruce stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 133. 79 s. **10, 66, 76, 136, 144, 209, 237, 390.**

– 1987. Metsikön puustoa ja yksittäistä puuta koskevia kasvumalleja. Metsäntutkimuslaitos, puuntuotoksen tutkimussuunta. Moniste. 22 s.

Miettinen, L. 1933. Tutkimuksia harmaalepiköiden kasvusta. Referat: Untersuchungen über den Zuwachs der Weisserlenbestände. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 18(1): 100 s. **155, 178, 215, 243, 296.**

Mykkänen, R. 1986. Weibull-funktion käyttö puuston läpimittajakauman estimoinnissa. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 80 s. **72.**

Mäkinen, V. 1958. Nuorten männiköiden kehityksestä ja harvennuksen aiheuttamista muutoksista niiden rakenteeseen. Konekirjoite.

Newberry, J.D. & Stage, A.R. 1988. Validating Forest Growth Models: Procedures defined by resource decisions. In: Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (editors). Forest Growth Modelling and Predicting. Proceedings of the IUFRO Conference August 23–27, Minneapolis, Minnesota. USDA, Forest Service, General Technical Report NC–120. s. 786–793.

Niiniluoto, I. 1980. Johdatus tieteenfilosofiaan. Käsitteen ja teorianmuodostus. Kustannusosakeyhtiö Otava, Helsinki. 314 s. ISBN 951–1–05435–X.

Nousiainen, J., Rantanen, V. & Tiihonen, P. 1972. Kiintokuutiometrin käyttöön perustuva kuitu- ja tukkipuiden kuutioimismenetelmä. Mänty, kuusi ja koivu. Referat: Ein Massenermittlungsverfahren für Faser- und Blochholz mit dem Festmeter als Masseinheit. Kiefer, Fichte und Birke. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 77(2): 45 s. **44.**

Nuutinen, T. 1986. Puustotunnusten väliset relaatiot. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 53 s. **77.**

Nyyssönen, A. 1954a. Metsikön kuutiomäärän arviominen relaskoopin avulla. Summary: Estimation of stand volume by means of the relascope. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 44(6): 31 s. **85.**

– 1954b. 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. **160, 183, 219, 247.**

– 1957. Männikön tuotoksesta ja kasvatuksesta. Summary: On the yield and thinning of Scots pine stands. Metsätaloudellinen Aikakauslehti.

– & Mielikäinen, K. 1978. Metsikön kasvun arviointi. Summary: Estimation of stand increment. Acta Forestalia Fennica 163. 40 s. **115, 132, 276.**

– & Ojansuu, R. 1982. Metsikön puutavaralajirakenteen, arvon ja arvokasvun arviointi. Summary: Assessment of timber assortments, value and value increment of tree stands. Acta Forestalia Fennica 179. 52 s. **97.**

Oikarinen, M. 1980. Viljelykoivikon, -kuusikon ja -männikön kasvusta ja tuotoksesta. Julkaisussa: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusaseman tiedonantoja 21: 16–28. **204, 235, 279.**

– 1983. Etelä-Suomen viljeltyjen rauduskoivikoiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for silver birch (Betula pendula) plantations in southern Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 113. 75 s. **83, 98, 102, 206, 286.**

Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000–versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Puuntuotoksen tutkimussuunta. 59 s. **108, 140, 147, 306.**

Parviainen, J. 1979. Istuttamalla perustetun nuoren männikön, kuusikon, siperianlehtikuusikon ja rauduskoivikon alkukehitys. Summary: Early development of young Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations. Folia Forestalia 386. 20 s.

– 1985. Istuttamalla perustetun nuoren männikön, kuusikon, siperianlehtikuusikon ja rauduskoivikon kasvu. Summary: Growth of young Scots pine, Norway spruce, Siberian larch and silver birch plantations. Silva Fennica 19(4): 355–364.

Pekkonen, T. & Laasasenaho, J. 1985. Leimikon puuston tilavuuden ja puutavaraositteiden laskentamenetelmä. Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos, matemaattinen osasto.

Plant, R.E. & Stone, N.D. 1991. Knowledge-based Systems in Agriculture. McGraw-Hill, New York. 365 s. ISBN 0–07–050316–8.

Pukkala, T. 1987a. Simulation model for natural regeneration of Pinus sylvestris, Picea abies, Betula pendula and Betula pubescens. Tiivistelmä: Männyn, kuusen ja koivun luontaisen uudistamisen simulointimalli. Silva Fennica 21(1): 37–53. **106, 304.**

– 1987b. Kuusen ja männyn siemensadon ennustemalli. Abstract: A model for predicting the seed crop of Picea abies and Pinus sylvestris. Silva Fennica 21(2): 135–144. **105.**

– 1987c. Siementuotannon vaikutus kuusen ja männyn vuotuiseen kasvuun. Abstract: Effect of seed production on the annual growth of Picea abies and Pinus sylvestris. Silva Fennica 21(2): 145–158. **119.**

– 1988a. Effect of spatial distribution of trees on the volume increment of a young Scots pine stand. Tiivistelmä: Puiden tilajärjestyksen vaikutus nuoren männikön tilavuuskasvuun. Silva Fennica 22(1): 17 s. **119.**

– 1988b. Predicting diameter growth in even-aged Scots pine stands. Tiivistelmä: Läpimitan kasvun ennustaminen tasaikäisissä männiköissä. Silva Fennica 23(2): 101–116. **121, 145.**

– 1989. Methods to describe the competition process in a tree stand. Scandinavian Journal of Forest Research. 2: 187–202. **146.**

– & Kolström, T. 1987. Competition indices and the predictio of radial growth in Scots pine. Tiivistelmä: Kilpailutekijät ja männyn sädekasvun ennustettavuus. Silva Fennica 21(1): 55–67. **11, 118.**

Päivinen, R. 1978. Kapenemis- ja kuorimallit männylle, kuuselle ja koivulle. Summary: Taper and bark thickness models for pine, spruce and birch. Folia Forestalia 353. 32 s. **25, 62.**

– 1980. Puiden läpimittajakauman estimointi ja siihen perustuva puustotunnusten laskenta. Summary: On the estimation of the stem-diameter distribution and stand characteristics. Folia Forestalia 442. 28 s. **69.**

– 1981. Puujoukon rinnankorkeusläpimitan estimointi ja siihen perustuvien puustotunnusten laskentamenetelmä. Metsänarvioimistieteen lisensiaattityö. Helsingin yliopisto. 92 s. **69.**

– 1983. Metsikön tukkiosuuden arviointimenetelmä. Summary: A method for estimating the sawlog percentage in Scots pine and Norway spruce stands. Folia Forestalia 564. 16 s. **99.**

Rajala, J. 1970. Nykymetsiköiden kasvuprosentti Suomen eteläpuoliskossa vuosina 1964–68. Folia Forestalia 95. 28 s. **267.**

Ranta, E., Rita, H. & Kouki, J. 1989. Biometria. Tilastotiedettä ekologeille. yliopistopaino, Helsinki. 569 s.

Raulo, J. 1977. Development of dominant trees in Betula pendula Roth and Betula pubenscens Ehrh. plantations. Seloste: Viljeltyjen raudus- ja hieskoivikoiden valtapuiden kehitys. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 90(4): 14 s. **173, 198.**

– 1981. Koivukirja. Gummerus. Jyväskylä. 131 s.

– & Rikala, R. 1981. Istutettujen männyn, kuusen ja rauduskoivun taimien kehitys eri tavoin käsitellyllä viljelyalalla. Summary: Initial development of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings planted on a forestation site prepared in different ways. Folia Forestalia 462. 13 s

– & Nieminen, J. 1982. Tapion vuoden 1964 rauduskoivuviljelmien kestokoealamittaukset ja Pirkka-Hämeen piirimetsälautakunnan viljelmien jälkitarkistus. Metsäntutkimuslaitos, metsänhoidon tutkimusosasto. Moniste. 20 s. + liitt.

Rautiainen, O. & Räsänen, P. K. 1980. Männyn ja kuusen viljelytaimikoiden alkukehitys Itä-Savossa 1968–1976. Summary: Development of Scots Pine and Norway spruce plantations in Itä-Savo in 1968–1976. Folia Forestalia 426. 24 s. **201.**

Rikkonen, P. 1970. Minimiläpimitan vaikutus kuusirungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. Summary: Effect of minimum diameter on the volume of saw timber and pulpwood obtainable from spruce stem, and on saw timber value. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 72(2): 146 s. **90.**

– 1972. Minimiläpimitan vaikutus mäntyrungosta saatavan saha- ja paperipuun määrään sekä sahapuun arvoon. Summary: Effect of minimum diameter on the volume of saw timber and pulpwood obtainable from pine stem, and on saw timber value. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 75(5): 55 s. **91**.

Ruotsalainen, M. 1974. Metsikön tilaa kuvaavien puustotunnusten väliset relaatiot. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 33 s. **80**.

Räsänen, P. K., Pohtila, E., Laitinen, E., Peltonen, A. & 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. **211**.

Schäfer, H., Krieger, H. & Bossel, H. 1989. Modelling Air Pollution Effects on Plants, Particularly on Forest Growth – A Review. Proceedings. Conference on Air Pollution in Europe; Environmental Effects, Control Strategies and Policy Options, Stockholm, Sweden, September 26–30, 1988.

Saikku, O. ja Rikkonen, P. 1976. Kuitupuun kuoren määrä ja siihen vaikuttavat tekijät. Summary: Bark amount of pulpwood and factors affecting it. Folia Forestalia 262. 22 s. **61**.

Saksa, T. 1986. Männyn taimikoiden kehitys muokatuilla viljelyaloilla Lieksan ja Rautavaaran hoitoalueissa. Summary: The development of Scots pine plantations on prepared reforestation areas in northern Karelia in Finland. Folia Forestalia 644. 60 s. **137**.

Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyypin kylvömänniköiden kehitys taimikon myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennukseen. Summary: Development of seeded Scots pine stands from precommercial thinning to first commercial thinning. Folia Forestalia 752. 29 s. **175, 213, 240, 294**.

Saramäki, J. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: Development of white birch (Betula pubenscens Ehrh.) stands on drained peatlands in northern central Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 91(2): 59 s. **74, 94, 100, 131, 142, 152, 199, 233, 273**.

Sarvas, R. 1952. On the flowering of birch and the quality of seed crop. Seloste: Koivun kukkimisesta ja siemensadon laadusta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 40(7): 38 s.

– 1962. Investigations on the flowering and seed crop of Pinus sylvestris. Seloste: Tutkimuksia männyn kukkimisesta ja siemensadosta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 53(4): 198 s.

– 1968. Investigations on the flowering and seed crop of Picea abies. Seloste: Tutkimuksia kuusen kukkimisesta ja siemensadosta. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 67(5): 84 s.

Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. Summary: Post-drainage growth rate of Norway spruce and Scots pine on peat. Acta Forestalia Fennica 93. 88 s. **111, 128, 262.**

Siipilehto, J. 1988. Metsätalouskuvioiden läpimittajakaumien ennustaminen Beta-funktiolla. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsinginb yliopisto. **70.**

Sirén, G. 1955. The development of spruce forest on raw humus sites in northern Finland and its ecology. Lyhennelmä: Pohjois-Suomen paksusammalkankaiden kuusimetsien kehityksestä ja sen ekologiasta. Acta Forestalia Fennica 62(4): 408 s. **161, 184, 248, 298.**

Tarvasmäki, P. 1977. Puu- ja metsikkötunnuksiin perustuva sädekasvu. metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 30 s. **113.**

Tiihonen, P. 1961a. Tutkimuksia männyn kapenemistaulukoiden laatimiseksi. Referat: Untersuchungen über die Aufstellung der Ausbauchungstafeln für Kiefer. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 53(1): 120 s. **23.**

– 1961b. Männyn, kuusen ja koivun kapenemistaulukot. Referat: Ausbauchungstafeln für Kiefer, Fichte und Birke. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 54(1): 76 s. **24.**

– 1972a. Kiintokuutiometrin käyttöön perustuvat männyn, kuusen ja koivun kuitupuutaulukot. Referat: Massentafeln mit dem Festmeter als Masseinheit für Kiefern-, Fichten- und Birkenfaserholz. Folia Forestalia 154. **45.**

– 1972b. Kiintokuutiometrin käyttöön perustuvat männyn, kuusen ja koivun tukkipuutaulukot. Referat: Massentafeln mit dem Festmeter als Masseinheit für Kiefern-, Fichten- und Birkenblochholz. Folia Forestalia 155. **46.**

– 1972c. Rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvat uudet puutavaralajitaulukot. Referat: Auf Brusthöhendurchmesser und Höhe Gestützte Neue Sortimententafeln. Folia Forestalia 167. 12 s. **48.**

– 1983. Männyn ja kuusen kasvun vaihtelu Suomen eteläisimmässä osassa valtakunnan metsien 7. inventoinnin aineiston perusteella. Summary: Growth variation of pine and spruce in the southernmost part of Finland according to the 7th National Forest Inventory. Folia Forestalia 545. 8 s.

– 1984. Kasvun vaihtelu Pohjois-Karjalan ja Pohjois-Savon piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Summary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Pohjois-Karjala and Pohjois-Savo according to the 7th National Forest Inventory. Folia Forestalia 588. 8 s.

– 1985. Kasvun vaihtelu Keski-Suomen ja Etelä-Pohjanmaan piirimetsälautakunnissa valtakunnan metsien 7. inventoinnin perusteella. Summary: Growth variation in the Forestry Board Districts of Keski-Suomi and Etelä-Pohjanmaa according to the 7th

National Forest Inventory. Folia Forestalia 615. 8 s.

Tikka, P. S. 1954. Haapametsiköiden rakenteesta ja laadusta. Summary: Structure and quality of aspen stands. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 44(4): 33 s. **159, 182, 246.**

Tähtinen, T. 1987. Pinus contortan ja Pinus sylvestriksen alkukehityksen vertailua. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 65 s. +liitteet. **138.**

Uusvaara, O. 1974. Wood quality in plantation-grown Scots pine. Lyhennelmä: Puun laadusta viljelymänniköissä. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 80(2): 105 s. **5, 55.**

– 1983. Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 122. Metsäteknologian tutkimusosasto. Puuntutkimussuunta. 105 s. **8.**

– 1985. The quality and value of sawn goods from plantation-grown Scots pine. Seloste: Viljelymänniköistä saadun sahatavaran laatu ja arvo. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 130. 53 s. **8.**

Valtanen, J. & Engberg, M. 1987. Vuosina 1970–72 perustetun aurausalueiden metsänviljelykokeen tulokset Kainuussa ja Pohjanmaalla. Summary: The results from Kainuu and Pohjanmaa of the ploughed-area reforestation experiment begun during 1970–72. Folia Forestalia 686. 42 s.

Varjo, J. 1991. Männyn puuaineen tiheyden mallittaminen. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 55 s. + liitteet. **68.**

Varmola, M. 1980. Männyn istutustaimistojen ulkoinen laatu. Summary: The external quality of pine plantations. Folia Forestalia 451. 21 s. **19.**

– 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. Summary: Development of Scots pine stands at the sapling and pole stages after thinning. Folia Forestalia 524. 31 s. **205, 284.**

– 1987. Männyn vijelytaimikoiden kasvumalli. Metsänarvioimistieteen lisensiaattitutkimus. Helsingin yliopisto. 89 s. **78, 79, 89, 103, 212, 239, 293.**

– 1989. Männyn istutustaimikoiden lustonleveysmalli. Abstract: A model for ring width of planted Scots pine. Silva Fennica 23(4): 259–269. **17, 123.**

– & Vuokila, E. 1986. Pienten mäntyjen tilavuusyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for small-sized pines. Folia Forestalia 652. 24 s. **42.**

Veltheim, T. 1987. Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. **21.**

Virkki, H. 1976. Malli männiköiden puutavaralajijakaumista. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. **93.**

Virkkunen, M. 1983. Tukkiosuusmallit männylle, kuuselle ja lehtipuille. Metsänarvioimistieteen laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 55 s. + liitteet. **50**.

Virtanen, J., Norokorpi, Y. & Kaunisto, S. (toim.). 1984. Metsänuudistamisen ja taimikonhoidon periaatteet. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja. 135. 32 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. **162, 185, 220, 249**.

– 1957. Hoidetun kuusikon puutavaran tuotoksesta. Summary: On the yield in terms of different timber products from managed spruce stands (Picea abies). Metsätaloudellinen Aikakauslehti.

– 1960a. Lehtikuusen kuutioimisyhtälöt ja -taulukot. Summary: Tree volume functions and tables for larch. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 51(1): 80 s. **37**.

– 1960b. Siperialaisten lehtikuusikoiden kehityksestä ja merkityksestä maamme metsätaloudessa. Summary: On development of Siperian larch stands and their importance to forestry in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 52(5): 111 s. **255**.

– 1965. Functions for variable density yield tables of pine based on temporary sample plots. Selostus: Tilapäiskoealoihin perustuvat yhtälöt männyn kasvu- ja tuottotaulukoita varten. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 60(4): 86 s. **38, 86, 110, 127, 150, 190, 225, 258**.

– 1967. Eriasteisin kasvatushakkuin käsiteltyjen männiköiden kasvu- ja tuotostaulukot maan eteläistä sisäosaa varten. Summary: Growth and yield tables for pine stands treated with intermediate cuttings of varying degree for southern Central-Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 63(2): 123 s. **167, 192, 227, 261**.

– 1970. Harsintaperiaate kasvatushakkuissa. Summary: Selection from above in intermediate cuttings. Acta Forestalia Fennica 110. 45 s. **170, 195, 230, 265**.

– 1983. Suomalaisen puuntuotostutkimuksen menneisyys ja tulevaisuus. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 89. 103 s.

– 1985. Puuston määrän vaikutus istutuskuusikon kehitykseen, kasvuun ja tuotokseen. Summary: The effect of growing stock level on the development, growth and yield of spruce plantations in Finland. Folia Forestalia 636. 18 s. **174, 210, 238, 291**.

– 1986a. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. ISBN 951–0–14026–0. 258 s.

– 1986b. Puuntuotoksen tutkimussuunnan kestokokeiden periaatteita ja suunnitelmia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 239. 229 s.

– , Gustavsen, H.G. ja Luoma, P. 1983. Siperianlehtikuusikoiden kasvupaikkojen luokittelu

ja harvennusmallit. Abstract: Site classification and thinning models for Siberian larch (Larix sibirica) stands in Finland. Folia Forestalia 554. 12 s. **207, 236, 288.**

– & Väliaho, H. 1980. Viljeltyjen havumetsiköiden kasvatusmallit. Summary: Growth and yield models for conifer cultures in Finland. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 99(2): 271 s. **82, 95, 101, 203, 234, 278.**

Vähäsaari, H. 1988. Puutavaralajirakenteen arvioiminen eri mittausmenetelmillä. Metsätalouden suunnittelun syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto. 96 s. **51, 68.**

Werren, M. 1983. Some single tree models for larch. Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto. 33 s. **16, 64, 135.**

Yli-Vakkuri, P., Räsänen, P. K. & Solin, P. 1969. Metsänviljelyn antamista tuloksista Lounais-Suomen, Itä-Hämeen, Itä-Savon, Keski-Suomen ja Kainuun piirimetsälautakuntien alueella. Helsingin yliopiston metsänhoitotieteen laitoksen tiedonantoja 2. 92 s.

Zuuring, H.R, Arney, J.D. & Milner, K.S. 1988. Generic Graphical Analyses for Tree Growth Model Invalidation. In: Ek, A.R., Shifley, S.R. & Burk, T.E. (editors). Forest Groeth Modelling and Predicting. Proceedings of the IUFRO Conference August 23–27, Minneapolis, Minnesota. USDA, Forest Service, General Technical Report NC–120. s. 828–834.

Viimeisimmät Joensuun tutkimusasemalla ilmestyneet Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja -sarjan julkaisut:

Nro 258 Itä-Suomen metsätiedepäivä 9. 12. 1986. "Metsäntutkimus käytännön toiminnan perustana ?" 61 s. 1987.

Nro 262 Mikko Toropainen. Pohjois-Karjalan, Itä-Savon ja koko Itä-Suomen metsätilasto 1974–1984. 57 s. 1987.

Nro 276 Jukka-Pekka Jäppinen. Suomalaisten metsäsienten vientimahdollisuudet. Finnish Forest Mushrooms – The Export Challenge. 79 s. + liitteet. 1987.

Nro 283 Tiina Heinonen ja Tarja Lukkari. Puulajien kasvupaikkavaatimukset. Alustavia tuloksia männyn, kuusen ja rauduskoivun viljelyn onnistumisesta Nurmeksessa. 19 s. 1987.

Nro 332 Jari Parviainen, Jyrki Kangas ja Pekka Knuutinen. Kolmevuotiaiden istutusrauduskoivikoiden alkukehitys Itä-Savossa. 48 s. 1989.

Nro 343 Matti Maltamo, Jyrki Kangas ja Rauno Tolonen. Vesakon alkukehitys ja sen vaikutus taimikkoon. 66 s. 1989.

Nro 351 Mikko Toropainen. Metsätalous tilan päätuotantosuuntana kansantalouden näkökulmasta. 82 s. 1990.

Nro 357 Metsätalouden suunnittelu. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1990. Jussi Saramäki ja Päivi Mäkkeli (toim.) 63 s. 1990.

Nro 371 Kari T. Korhonen ja Matti Maltamo. Männyn maanpäällisten osien kuivamassat Etelä-Suomessa. 43 s. 1990.

Nro 383 Metsänkasvatuksen perusteet turve- ja kivennäismailla. Metsäntutkimuspäivä Joensuussa 1991. Päivi Mäkkeli ja Juha-Pekka Hotanen (toim.) 84 s. 1991.

METSÄNTUTKIMUSLAITOS

Joensuun tutkimusasema

Käyntiosoite Yliopistonkatu 7
Postiosoite PL 68, 80101 Joensuu
Puhelin (973) 151 4000 (ohivalinnat)

ISSN 0358-4283
ISBN 951-40-1188-0

Kansikuva Helena Mäkelä

Joensuu 1991 – Exprintti