

Annika Kangas ja Matti Maltamo

Prosenttipisteisiin perustuvat pohjapinta-alan läpimittajakaumamallit männylle, kuuselle ja koivuille

Seloste artikkelista: Kangas, A. & Maltamo, M. 2000. Percentile based basal area diameter distribution models for Scots pine, Norway spruce and birch species. *Silva Fennica* 34(4): 371–380.

Kuvioittaisen arvioinnin tulosten laskenta perustuu nykyisin puuston läpimittajakauman ennustamiseen malleilla maastossa arvioitujen keski- ja summatunnusten avulla. Tutkimuksessa estimoitiin prosenttipisteisiin perustuvat mallit puuston pohjapinta-alan läpimittajakauman ennustamiseen puulajeittain. Prosenttipisteisiin perustuvassa menetelmässä ennustetaan ensin läpimittoja jakauman kertymäfunktion eri pisteissä. Interpoloimalla estimoitujen pisteiden väliset arvot saadaan muodostettua varsinainen kertymäjakauma. Monotonisen jakauman varmistamiseksi interpoloinnissa käytettiin tavanomaisemman kuutio splinein asemesta ns. Spätzin rationaalista splineä. Suhteellinen pohjapinta-ala halutuissa läpimittaluokissa saadaan luokan loppu- ja alkupisteen kertymäfunktion arvojen erotuksena. Näistä saadaan metsikön pohjapinta-alalla kertomalla luokkien absoluuttiset pohjapinta-alat.

Tutkimusaineistona on erään metsäyhtiön kuvioittaisen arvioinnin tarkistuskoeala-aineisto. Aineisto on mitattu Keski- ja Etelä-Suomesta. Kustakin metsiköstä on mitattu 6–12 relaskooppikoealaa, joiden perusteella metsiköiden läpimittajakauma ja kertymäjakauman pisteet laskettiin.

Tutkimuksessa käytettiin 12 prosenttipisteen läpimittaa, nimittäin 0 % (minimiläpimitta), 10 %, 20 %, 30 %, 40 %, 50 % (keskiläpimitta), 60 %, 70 %, 80 %,

90 %, 95 % ja 100 % (maksimiläpimitta). 5 %:n pisteen läpimittaa ei käytetty, koska useissa metsiköissä 0 %:n ja 10 %:n läpimitat olivat hyvin lähellä toisiaan. Näistä keskiläpimitta oletettiin maastossa mitatuksi, ja muut läpimitat ennustettiin keskiläpimitan ja muiden metsikkötunnusten avulla.

Mallien estimoimiseen käytettiin ns. SUR-menetelmää (Seemingly Unrelated Regression), jossa yhtälöryhmän kertoimet estimoidaan ottaen huomioon yhtälöiden virheiden korrelaatiot. Ei-negatiivisten läpimittojen varmistamiseksi mallit tehtiin logaritmimuodossa. Jotta voitiin varmistaa myös monotoninen jakauma (positiiviset erotukset peräkkäisille läpimitoille), malliryhmiin piti sijoittaa ylimääräinen malli kuvaamaan 10 %:n läpimitan ja minimiläpimitan erotusta (koivuille 40 %:n ja 30 %:n). Käytetyn SUR menetelmän vuoksi ylimääräinen erotusmalli rajoitti mallien kertoimet siten, että erotukset pysyivät loogisina.

Kullekin puulajille estimoitiin kaksi malliryhmää, joista toisessa runkoluku on mukana selittäjänä ja toisessa ei. Runkolukua käytettiin selittäjänä suhteessa puuston pohjapinta-alaan – puhdas runkoluku tuotti usein epäloogisia tuloksia. Muut selittävät muuttujat olivat puuston ikä, pohjapinta-ala sekä kiivennäismaavalemuuttuja. Mikäli runkoluku oli malliryhmässä mukana, se selitti läpimittoja jakauman alkupäässä. Ikä selitti kaikissa malliryhmissä läpimittoja jakauman loppupäässä. Tärkein selittäjä kaikissa malleissa oli kuitenkin keskiläpimitta.

Lopuksi prosenttipisteiden perusteella tuotettujen jakaumien avulla laskettuja puustotunnuksia verrattiin todellisiin. Runkoluvullinen malli osoittautui luotettavammaksi kuin runkoluvuton malli. Esimerkiksi tilavuuden keskivirhe vaihteli runkoluvullisella mallilla 1,54 %:sta 3,24 %:iin, runkoluvuttoman taas 2,29 %:sta 4,31 %:iin. Puulajeista männyn tuloksen saatiin luotettavimmin, koivun epätarkimmin.

■ MMT Annika Kangas, Metla, Kannuksen tutkimusasema; MMT Matti Maltamo, Metla, Joensuun tutkimusasema. Sähköposti annika.kangas@metla.fi

Annika Kangas ja Matti Maltamo

Prosenttipisteisiin perustuvan läpimittajakauman ennustamisen ja Weibull-menetelmän luotettavuus riippumattomissa aineistoissa

Seloste artikkelista: Kangas, A. & Maltamo, M. 2000. Performance of percentile based diameter distribution prediction and Weibull method in independent data sets. *Silva Fennica* 34(4): 381–398.

Tutkimuksessa testattiin edellisessä artikkelissa esiteltyjä pohjapinta-alan prosenttipisteisiin perustuvia jakauman ennustamismenetelmiä. Niitä verrattiin Weibull-jakauman parametrien ennustamislähetymistapaan, sekä männyillä myös lähimmän naapurin menetelmään perustuvaan jakauman estimointiin. Jakaumia verrattiin tarkastelemalla jakauman avulla laskettujen tilavuuden, tukkitilavuuden, runkoluvun ja kahden prosenttipisteen luotettavuutta. Jakaumia verrattiin sekä kalibroimatta että kalibroituina. Mikäli oletettiin maastossa arvioiduksi pohjapinta-alan ja keskiläpimitan lisäksi runkoluku, minimi- ja maksimiläpimita, näitä käytettiin jakauman tarkennukseen. Minimijä maksimiläpimitaa käytettiin jakauman sovittamiseksi havaitulle vaihteluvälille. Runkolukumittausta hyödynnettiin ns. kalibrointiestimointia käyttäen.

Weibull-parametrien ennustamisessa käytetyt mallit oli aiemmin estimoitu samasta aineistosta kuin prosenttipistemallitkin. Myös lähimmän naapurin menetelmässä käytetty etäisyysfunktio oli estimoitu samasta aineistosta. Testiaineistona käytettiin kuutta riippumatonta aineistoa: mallitusaineistoa vastaava relaskooppikoeala-aineisto, INKA-koealat, SINKA-koealat, sekä kolme erilaista pienehköä sekametsäaineistoa. Testausta varten INKA-aineisto jaettiin vielä kolmeen maantieteelliseen alueeseen, Etelä-Suomi, Oulun lääni ja Lapin lääni. Näin saatiin testattua menetelmien käyttäytymistä eri tavalla mitatuissa aineistoissa, kivennäismailla, ojitetuilla ja ojittamattomilla soilla, eri maantieteellisillä alueilla, sekä erityyppisissä sekametsissä.

Puulajeista männylle tulokset olivat tarkimmat, ja koivulle vähiten tarkat. Kaikilla puulajeilla jakaumasta laskettujen ennusteiden luotettavuus heikkeni pohjoiseen päin mentäessä sekä kivennäismailla turvemaille siirryttäessä. Kaikilla puulajeilla tarkimmat tulokset tuotti prosenttipisteisiin perustuva menetelmä, jossa runkoluku oli mukana selittävänä muuttujana. Sen sijaan runkoluvuton prosenttipistemenetelmä tuotti hyvin samansuuntaiset tulokset kuin Weibull-menetelmä, samoin kuin lähimmän naapurin menetelmä. Tästä voidaan päätellä, että luotettavuuden kannalta on tärkeämpää käytettävissä olevan informaation määrä kuin menetelmä, jolla jakauma on laadittu. Kaikki mallit ja aineistot huomioiden heikoimmatkin tilavuuden keskivirheet olivat alle 6%. Sen sijaan tukkitilavuuden virhe vaihteli 7%:sta jopa 32%iin. Yllättävää oli se, että sekametsissä männyen ennusteet olivat keskimäärin tarkempia kuin muissa aineistoissa, mutta kuusen ja koivun huonommat. Tämä johtunee männyen dominoivasta asemasta sekametsiköissä: alikasvospuus- toa on vaikeampi ennustaa kuin tasaisia valtapuus- toja.

Kalibrointi paransi lähes kaikkia tuloksia. Mikäli runkolukua ei ollut käytetty malleissa selittävänä muuttujana, sen virhe oli joissakin tapauksissa niin suuri, ettei kalibroinnissa löytynyt käypää ratkaisua, tai runkoluvulla kalibrointi jopa heikensi tuloksia. Toisaalta, vaikka runkoluku olisikin ollut malleissa selittäjänä, runkoluvun ennusteisiin jäi silti virhettä, ellei jakaumaa kalibroitu. Runkolukua kannattaakin käyttää sekä selittäjänä jakaumamallissa että kalibroinnissa pyrittäessä luotettaviin tuloksiin. Runkoluvulla kalibroimalla saatiin jakaumasta lasketun tilavuuden keskivirhettä eri puulajeilla pienennettyä keskimäärin 9%–19%, tukkitilavuuden keskivirhettä 4%–8% ja runkoluvun keskivirhettä yli 80%. Runkoluvun ennusteisiin jäänyt virhe selittyy sillä, että ellei käypää ratkaisua löytynyt, käytettiin alku- peräistä virheellistä ennustetta. Jos myös minimi- ja maksimiläpimitat olivat tiedossa, voitiin tukkitilavuuden keskivirhettä pienentää jopa 18%–31%.

■ MMT Annika Kangas, Metla, Kannuksen tutkimusasema; MMT Matti Maltamo, Metla, Joensuun tutkimusasema. Sähköposti annika.kangas@metla.fi

Jyrki Kangas, Pekka Leskinen ja
Timo Pukkala

Puutavaralajien kantohinta- skenaarioiden liittämisen metsälötason taktiseen metsäsuunnitteluun

Seloste artikkelista: Kangas, J., Leskinen, P. & Pukkala, T. 2000. Integrating timber price scenario modeling with tactical management planning of private forestry at forest holding level. *Silva Fennica* 34(4): 399–409.

Mikäli metsänomistajalla on metsiensä käytössä taloudellisia puuntuotannon tavoitteita, puun kantohinnat – sekä hinnat keskimäärin että eri puutavaralajien hintasuhteet – ovat keskeisessä asemassa määriteltäessä metsälön optimaalista käsittelyohjelmaa. Metsäsuunnittelun laskelmissa oletetaan yleisesti puun kantohintojen säilyvän muuttumattomina tai hintakehityksen olevan vakio. Käytännössä kantohinnat kuitenkin muuttuvat ajan mittaan eivätkä suinkaan tasaisesti vuodesta toiseen, ja myös lyhytaikaisia ”hintapiikkejä” poikkeuksellisen korkeine hintoineen saattaa esiintyä. Hintojen, tai niiden kehitykseen liittyvien oletusten, muuttuessa myös optimaalinen metsänkäsittelyohjelma muuttuu.

Tutkimuksessa esitetään lähestymistapa, jolla puun kantohintaennusteet sekä ennusteisiin sisältyvä epävarmuus voidaan ottaa huomioon metsien hoidon ja käytön optimointilaskelmissa metsälötasolla. Esimerkkimetsälölle tehtyjen suunnittelulaskelmien avulla havainnollistetaan lähestymistavan soveltamista. Samalla esimerkkilaskelmat osoittavat hintaennusteiden tärkeyden optimoinnissa ja hintaepävarmuuden merkityksen metsälötason laskelmissa. Esimerkin kaltaisilla laskelmissa voidaan lisäksi näyttää, kuinka paljon hintojen todennäköiseen vaihteluun sopeutuvalla ja korkeita hintoja hyödyntävällä puunmyynnillä voidaan parantaa metsätalouden taloudellista tulosta. Tutkimuksessa kehitetyn lähestymistavan päätarkoitus on kuitenkin tuottaa metsänomistajalle lisäinformaatiota puun kantohintojen epävarmuuden ja niiden erilaisten kehitysskenaarioiden vaikutuksista metsäntuotannon

optimointiin ja metsäsuunnitelman valintaan.

Tutkimuksessa kehitetty lähestymistapa hyödyntää kantohintojen aikasarjamallinnusta, stokastista hintaskenaariotekniikkaa, metsän kehityksen simulointia ja metsänkäytön optimointia. Hintaskenaarioiden tuottamisessa käytetyt aikasarjamallit esitettiin kaikkiaan kuudelle puutavaralajille. Hintaskenaariot voivat koostua hinnan muutostrendistä, ”normaalista” hintavaihtelusta trendin tai keskimääräisen hinnan ympärillä sekä hintapiikeistä, joiden esiintymistiheys ja suuruus voivat vaihdella. Optimointimenetelmänä tutkimuksessa käytettiin HERO-nimistä heuristisen optimoinnin menetelmää, joka mahdollistaa joustavan tavoitteiden asettamisen sekä mm. epälineaaristen hyötyvaikutusten tarkastelun.

Koska hintaskenaarioiden mallinnus tehdään erikseen kullekin puutavaralajille, niiden hintojen ei tarvitse olettaa vaihtelevan täsmälleen samassa tahdissa. Myös hintakehitysten korrelaatiot voidaan mallintaa ja ottaa huomioon hintaskenaarioiden tuottamisessa. Juuri niin tehtiin esimerkkilaskelmissa. Metsälötason ote mahdollistaa paitsi metsiköittäin tehtävät analyysit myös hakkuiden sijoittamisen ja metsiköiden erilaisten hakkuujärjestysten edullisuustarkastelut. Hintaskenaarioiden mallinnusta voidaan hyödyntää metsä- ja aluetason metsäsuunnittelussa yhdistämällä se simulointi- ja optimointilaskelmiin. Tämä taas merkitsee mm. sitä, että metsäsuunnitelmavaihtoehtoja ja niihin sisältyviä taloudellisia riskejä voidaan arvioida myös metsänomistajan oman riskiinsuhtautumistavan näkökulmasta, jos käytettävissä on riittävän monipuolinen suunnittelusysteemi.

Hintojen kehityksen ennustaminen on epävarmaa, mutta samalla hintojen kehityksellä on olennainen merkitys metsänkäytön optimaalisuuteen. Tämä korostaa metsätalouden suunnittelun päätöskilunonetta. Suunnittelu koskee aina tulevaisuutta. Tulevaisuuden ennustaminen puolestaan on aina enemmän tai vähemmän epävarmaa. Epävarmuus onkin hyväksyttävä suunnittelussa aina vallitsevaksi ilmiöksi. On tärkeää, että metsäsuunnitelmia käyttävät henkilöt ymmärtävät laskelmiin ja suosituksiin sisältyvät epävarmuustekijät.

Tässä tutkimuksessa ei ollut tarkoitus laatia varsinaisia kantohintojen ennustemalleja, vaan lähinnä tutkia hintakehityksiin liittyviä ilmiöitä sekä niiden

mallinnusta ja integrointia metsäsuunnittelun laskelmiin. Jatkossa on mahdollista pyrkiä tuottamaan myös asiantuntemusta hyödyntäviä hintaskenaarioita, jotka antaisivat pelkästään menneiden hinta-aikekasarjojen perusteella tuotettuja skenaarioita uskottavampia ennusteita hintakehityksistä. Tällöin skenaarioihin olisi mahdollista sisällyttää tietämystä muustakin kuin menneestä hintakehityksestä, esimerkiksi käsityksiä hintaneuvottelumekanismien ja maailmanmarkkinanäkymien muutosten vaikutuksista kantohintoihin.

■ Dos. Jyrki Kangas, YTM Pekka Leskinen, Metla, Kannuksen tutkimusasema; prof. Timo Pukkala, Joensuun yliopisto. Sähköposti jyrki.kangas@metla.fi

Jouni Siipilehto

Metsikön puuston läpimitta- ja pituusrakenteen ennustaminen

Seloste artikkelista: Siipilehto, J. 2000. A comparison of two parameter prediction methods for stand structure in Finland. *Silva Fennica* 34(4): 331–349.

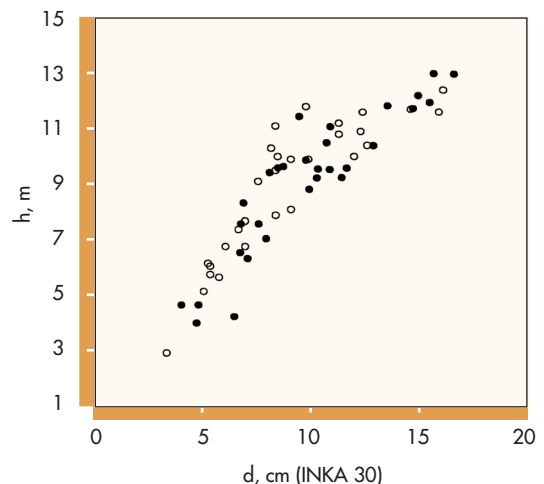
Puuston rakenne voidaan kuvata läpimittajakauman ja pituusikäyrän avulla. Kun käytetään pituuden odotusarvoa, vastaa puun läpimittaa tietty ennustettu pituus. Tässä tutkimuksessa puuston rakenteen kuvaukseen sisällytettiin läpimittaluokkien sisäinen pituusvaihtelu (kuva 1). Johnsonin S_B -jakaumalla kuvattiin läpimittajakauma, ja Näslundin pituusikäyrän ympärille tuotettiin satunnaisvaihtelua olettamalla linearisoidun pituusmallin jäännösvirhe normaalijakautuneeksi ja virhevarianssi vakioksi. Vaihtoehtoisessa mallissa läpimitan ja pituuden reunajakaumat yhdistettiin kaksikulotteiseksi S_{BB} -jakaumaksi. Jakaumat sovitettiin 91 männyn ja 64 kuusen metsikkökoelaan pohjapinta-alan läpimittajakaumina maximum likelihood -menetelmällä. Näin saatujen parametrien riippuvuus metsikkömuuttujista kuvattiin keskiläpimitan, keskipituuden ja runkoluvun funktiona lineaarisella regressiolla.

Valoa vaativa mänty ja varjoa sietävä kuusi sopivat erilaisen biologian vuoksi hyvin mallien vertailuun.

Laaditut ennustemallit testattiin riippumattomalla 103 mäntyvaltaisen ja 112 kuusivaltaisen metsikkökoelan aineistolla. Molempia ennustemalleja sovellettaessa kokonaistilavuuden harha ja virhevaihtelun hajonta pysyivät alle 4 %:n kuusella ja alle 3 %:n männyllä. Runkoluvun ennustevirhe oli hieman suurempi. Näslundin pituusikäyrän sisältävällä mallilla saatiin kuusella keskimäärin hieman tarkempia puustotunnuksia kuin kaksikulotteista S_{BB} -jakaumaa käytettäessä. Männyllä sen sijaan S_{BB} -jakauma tuotti hieman tarkempia tuloksia kuin pituusikäyrämalli.

Reunajakaumatarkastelun perusteella vain muutama ennustettu jakauma ei sopinut yhteen havaitun jakauman kanssa. Jos Näslundin pituusikäyrää sovellettiin männylle ilman läpimittaluokkien sisältä pituusvaihtelua, niin yhteensopimattomia pituusjakaumia tavattiin 21 prosenttia. Tällöin ennustettu pituuden kokonaisvaihtelu oli merkittävästi havaittua pienempi.

Visuaalisen tarkastelun mukaan Näslundin pituusikäyrä ennusti läpimitan ja pituuden välisen riippuvuuden erittäin hyvin, mutta suurimpien läpimittaluokkien sisällä generoitunut pituusvaihtelu oli toisinaan laajempaa kuin havaintoaineistossa. Sen sijaan S_{BB} -jakaumasta generoiduissa puissa havaittiin ai-



Kuva 1. Koelalta mitatut (○) ja mallilla ennustetut (●) puiden läpimitat (d) ja pituudet (h).

neistosta poikkeavaa solakkuutta pienissä läpimitaluokissa. Mallista riippumatta havaintoaineistoon sopimattomia yksittäisten puiden muotoja tavattiin alle yksi prosentti satunnaisluvuista generoiduista 7 800 puusta.

Molemmat kaksiulotteiset mallit osoittautuivat soveltamiskelpoisiksi. Jos sovelletaan kaksiulotteista S_{BB} -jakaumaa, suositellaan jakauman parametrit ratkaistavaksi ehdollisesti siten, että läpimitan ja pituden välinen riippuvuus saa järkevän, sigmoidin muodon. Ilman tätä ehtoa havaittiin epärealistisia riippuvuuden muotoja varsinkin männyllä.

■ MML Jouni Siipilehto, Metla, Vantaan tutkimuskeskus. Sähköposti jouni.siipilehto@metla.fi