

Atte Komonen, Panu Halme,
Mari Jäntti, Tuuli Koskela,
Janne S. Kotiaho ja Tero Toivanen

Kääpien kannalta ennallistamalla tuotettu lahopuu ei täysin vastaa luontaista lahoppuuta

Seloste artikkelista: Atte Komonen, Panu Halme, Mari Jäntti, Tuuli Koskela, Janne S. Kotiaho & Tero Toivanen: Created substrates do not fully mimic natural substrates in restoration: the occurrence of polypores on spruce logs. *Silva Fennica* 48 (1): article id 980. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.980>

Tutkimuksessa selvitettiin, mitkä kääpälajit pystyvät hyödyntämään ennallistamalla tuotettua lahoppuuta. Tutkimuksessa vertailtiin sahaamalla kaadettujen ja kaulattujen (ja sen jälkeen kaatuneiden) kuusimaapuiden kääpäyhteisöjä läpimitaltaan ja lahoasteeltaan vastaaviin luontaisesti kaatuneisiin kuusimaapuihin. Luontaiset lahoppuut olivat melko hiljattain kaatuneita, eli lahoastetta 1 tai 2, ja ne sijaitsivat samoilla metsäkuvioilla kuin tuotettu lahoppuu. Tutkimushetkellä sahaamalla kaadetut puut ($n = 150$) olivat lahoastetta 2, joten niitä verrattiin luontaisesti kuolleisiin lahoasteen 2 puihin ($n = 35$). Kaulatut puut ($n = 27$) olivat vuorostaan lahoastetta 1, joten niitä verrattiin luontaisesti kuolleisiin lahoasteen 1 puihin ($n = 28$). Tutkimus toteutettiin Leivonmäen kansallispuistossa kahdeksan vuotta ennallistamisen jälkeen.

Havaitsimme yhteensä 21 kääpälajia, joista 5 on luokiteltu vanhan metsän indikaattorilajeiksi. Koska tutkittujen runkojen määrä erosi eri ryhmissä, vertasimme lajimäärää standardoidussa 27 rungon näyt-

teessä. Tällöin kaulatuilla puilla esiintyi yhteensä 7 lajia, sahatuilla 9 lajia, luontaisesti kuolleilla lahoasteen 1 puilla 6 lajia ja luontaisesti kuolleilla lahoasteen 2 puilla 13 lajia. Erot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Runkokohtainen kääpälajimäärä vaihteli eri puutyypin kesken, mutta ero oli tilastollisesti merkitsevä ainoastaan, kun verrattiin sahattuja puita (keskimäärin 4 lajia) luontaisesti kuolleisiin lahoasteen 2 puihin (keskimäärin 3 lajia). Lajimäärän kertymäkäyrät kuitenkin osoittivat, että luontaisesti kuolleilla lahoasteen 2 puilla kääpälajimäärä kasvoi runkomäärän kasvaessa selvästi nopeammin kuin sahatuilla puilla. Tämä viittaa siihen, että kääpälajisto vaihtelee huomattavasti enemmän luontaisesti kuolleissa lahoppuissa kuin sahatuissa puissa.

Vaikka kääpälajimäärät eivät eronneet merkittävästi eri puutyypeillä, lajikoostumuksessa sen sijaan havaittiin mielenkiintoisia eroja. Kuusi kääpälajia esiintyi ainoastaan sahatuilla puilla ja seitsemän luontaisella lahoppuulla. Kaulatuilta puilta ei havaittu yhtään vain tällä puutyypillä esiintyvää lajia. Viidestä havaitusta vanhan metsän indikaattorilajista neljä esiintyi luontaisesti kuolleilla lahoasteen 2 puilla, kaksi luontaisesti kuolleilla lahoasteen 1 puilla ja yksi sekä kaulatuilla että sahatuilla puilla. Vanhan metsän indikaattorilaji ruostekääpä oli yksi tutkimuksen runsaimmista lajeista. Laji suosi luontaista lahoppuuta, esiintyi muutamalla kaulatulla rungolla, mutta puuttui täysin sahatuilta puilta.

Tutkimuksemme osoittaa, että kääville on merkitystä sillä, millä menetelmällä lahoppuu on tuotettu. Tuotettu lahoppuu ei myöskään täysin vastaa luontaista lahoppuuta. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että tutkimme kääpälajistoa kahdeksan vuotta ennallistamisen jälkeen, ja tilanne voi myöhemmin muuttua. Toisaalta tiedetään, että rungon ensin asuttavat ns. pioneerikääpälajit vaikuttavat kääpälajiston vähitäläiseen muuttumiseen (suksessioon). Siksi voidaan olettaa, että tuoreessa lahoppuussa havaitut kääpälajistoerot johtavat erilaisiin yhteisöihin lahoamisen edetessä. Erityisen mielenkiintoista oli, että myös

puun tyypillä näytti olevan vaikutusta kääpälajiston sukkessioon: routakääpä, joka kasvaa yleisen kuusenkynsikäävän itiöemien päällä, asutti 80 % kynsikäävän asuttamista sahatuista puista, mutta vain 15 % kynsikäävän asuttamista luontaisesti kuolleista lahoasteen 2 puista.

Käytännön kannalta tuloksemme merkitsevät, että ennallistamalla voidaan menestyksekkäästi tuottaa lahoppuuta monille kääpälajeille, mutta ei välttämättä kaikille. Pitempiaikaisia tutkimuksia kuitenkin tarvitaan, sillä suurin osan uhanalaisista käävistä esiintyy pitkälle lahonneissa rungoissa. Jos ennallistamisen tavoitteena on tuottaa lahoppuuta monille eri lajeille, tällöin sitä kannattaa tuottaa eri menetelmillä.

■ Atte Komonen, Panu Halme, Mari Jäntti, Tuuli Koskela, Janne S. Kotiaho, Jyväskylän yliopiston Bio- ja ympäristötieteiden laitos; Tero Toivanen, BirdLife Finland
Sähköposti: atte.komonen@jyu.fi

Kalle Karttunen ja Tapio Ranta

Maantie- ja rautatiekuljetusketjujen yhdistäminen metsähakelogistiikassa

Seloste artikkelista: Karttunen K., Lättilä L., Korpinen O.-J., Ranta T. (2013). Cost-efficiency of intermodal container supply chain for forest chips. *Silva Fennica* vol. 47(4) article id 1047.

<http://dx.doi.org/10.14214/sf.1047>

Metsähakkeen käyttö on kasvanut Suomessa voimakkaasti vuosituhanteen vaihteen jälkeen. Tavoitteena on edelleen lisätä metsähakkeen käyttöä. Lisäystavoitteiden saavuttaminen vaatii kysynnän vahvistamisen lisäksi kuljetusketjujen kehittämistä sekä investointeja infrastruktuuriin. Maantiekuljetukselle vaihtoehtoisia kuljetusmuotojen käyttöönotto pidemmistä kuljetusmatkoista vaatii kuljetusketjujen yhdistämistä. Kuljetusketjun mallintaminen virtuaalisesti on edullinen vaihtoehto innovaatioiden kilpailukyvyn arviointiin päätöksen-

teon tukena verrattuna laajamittaisiin operatiivisiin demonstraatioihin tai virheellisten investointien toteutumiseen.

Siirtokonttiin perustuva yhdistetty kuljetusketju

Metsähakkeen kuljetusketju hoidetaan nykyisin pääasiassa maanteitse hyödyntäen kiinteärakenteisia täysperävaunuyhdistelmiä. Ajoneuvoissa kuljettava metsähake puretaan valtaosin ketjupurkuna ajoneuvoyhdistelmän perästä. Maantiekuljetukselle vaihtoehtoisia kuljetusmuotoja voidaan harkita käytettävän, mikäli lämpö- ja voimalaitoksen tai biojalostamon raaka-aineiden tarve on niin suuri, että on kustannustehokkaampaa tai toimitusvarmuuden kannalta perusteltua käyttää niitä etenkin pidemmiltä kuljetusmatkoilta. Joidenkin metsäbiomassaa käyttävien voimalaitosten osalta hyödynnetään maantiekuljetusten lisäksi rautatie- ja vesitiekuljetuksia. Kun yhdistellään eri kuljetusmuotoja, lasti täytyy normaalisti purkaa ajoneuvoyhdistelmästä ja lastata uudelleen terminaaleissa junanvaunuun tai alukseen. Vaihtoehtona olisi yhdistää useampi kuljetusmuoto hyödyntäen siirrettäviä kontteja kuljetusyksikköinä.

Kontteja käytetään laajasti kappaletavaran merirahdeissa globaalissa kaupankäynnissä. Irtonaisen massatavaran ns. bulkkimateriaalin kuljetuksessa käytetään yhdistettyjä, intermodaalisia kuljetusketjuja myös maiden sisäisessä liikenteessä. Terminaalikäsitteilyä voidaan nopeuttaa, kun konttiyksikköä voidaan siirrellä kulkuneuvosta toiseen sen sisällä olevan materiaalin sijaan. Kuljetusketjun tehostamisen lisäksi konttilogistiikan etuja saattaa löytyä myös seurattavuuden ja toimitusvarmuuden parantumisesta. Siirreltävillä konteilla voitaisiin mahdollisesti saavuttaa etuja myös ahtaissa tienvarsihaketuskohdeissa ja nopeuttaa prosesseja voimalaitoksilla purkutoimintoja kehittämällä. Konttilogistiikkaa on toistaiseksi hyödynnetty kuitenkin marginaalisesti metsähakkeen logistiikassa.

Komposiittimateriaalilla voidaan keventää konttien painoa puoleen metallikontteihin verrattuna, jolloin saadaan lisättyä kuljettavan materiaalin hyötykuormaa painorajojen puitteissa. Metsähakkeen (ja muun biomassan) jäätyminen on ollut on-

gelma metallikonteissa talvikaudella, mutta vastavaa ongelmaa komposiittirakenteisilla konteilla ei kokeiluissa ole ilmennyt. Etenkin intermodaalisissa toimitusketjuissa konttien odotusajat terminaaleissa saattavat venyä yli vuorokauden mittaisiksi, jolloin biomassan jäätyttömyys kontin seinämiin on selkeä kilpailuetu pohjoisissa olosuhteissa.

Simulointi ja paikkatieto tutkimusmenetelminä

Tapahtumapohjaista simulointia käytetään yleisesti logistiikan mallintamisessa. Tapahtumapohjaisella simuloinnilla luodaan aikataulutettuja tapahtumaketjuja, joissa kokonaisajankäyttöön vaikuttavat eri tapahtumat viiveineen. Tapahtumapohjaisesta simuloinnista on mahdollista saada realistisempaa ja joustavampaa luomalla mallin sisälle itsenäisiä kuljetusyksilöitä ”agentteja”. Tällöin puhutaan agenttipohjaisesta simuloinnista, joka on tehokas menetelmä mallinnettaessa yksilöiden toimintaa osana kokonaisuutta. Tutkimuksen tapahtumapohjaiseen malliin luotiin rekka- ja junayksilöistä agentteja, joille annettiin toimintakäskyt aikataulu- rajoitteineen.

Simulointimenetelmä pohjautuu tarkempiin konekohtaisiin tuottavuus- ja kustannustietoihin. Kustannuslaskennassa tutkimuskohteiden vertailukelpoisuuden säilyttäminen on ensiarvoisen tärkeää, etenkin kun tutkimuksessa on useita vertailtavia kohteita. Tutkimuksessa kustannus- ja tuottavuuslaskentaan otettiin mukaan kaikki kuljetusketjujen vertailukelpoisuuden säilymisen kannalta oleelliset osavaiheet. Simuloinnilla voidaan toisaalta tehdä herkkystarkasteluita, mikäli tarkkoja lähtöarvoja ei ole saatavilla. Kuljetusketjujen tutkimuslähtöisellä vertailulla voidaan arvioida uusien innovaatioiden mahdollisuuksia ennen laajempaa käyttöönottoa.

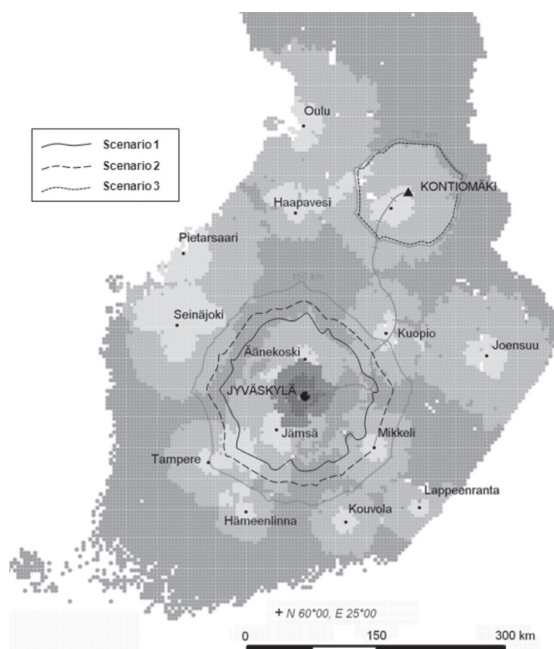
Paikkatietolaskentaa voidaan hyödyntää sekä metsäbiomassan määrän että sen saavutettavuuden laskennassa. Biomassan saatavuuslaskenta perustuu pisteverkkoon, joka voidaan luoda käsittämään tietyn suuruinen maa-alue. Maa-alueen keskikohdasta määritetään metsäbiomassan paikallinen saatavuus käytössä olevan aineiston sallimalla tarkkuudella. Keskikohta toimii toisaalta biomassan kuljetusten lähtöpisteinä tieverkkoa pitkin määritettyyn kysyn-

täpisteeseen. Näin saadaan selville kysynnän ja tarjonnan välinen etäisyys eri tieosuuksilla. Halutusta tarkkuudesta riippuen pisteverkkoa voidaan laajentaa tai tihentää. Metsäbiomassan saatavuuslaskenta aloitetaan teoreettisesta määrästä, josta tehdään teknis-ekologis-taloudellisia korjauksia realistisemman saatavuuden määrittämiseksi. Metsähakkeen saatavuutta voi rajoittaa myös esimerkiksi metsäomistajien halukkuus tarjota puuta myyntiin. Laskennallista saatavuutta voi toisaalta lisätä esimerkiksi energiapuuharvennuksissa käytettävien korjuumenetelmien kehittyminen. Tapauskohtaisten tarkastelujen realistisuuden lisäämiseksi myös vaihtoehtoisia kysyntäpisteitä voidaan ottaa mukaan tarkasteluun. Paikkatiedon yhdistämisellä simulointilaskentaan päästään lähemmäksi todellisuutta vastaavia tunnuslukuja ja mahdollistetaan luotettavampia vertailuja päätöksenteon avuksi.

Tapaustutkimus ja päätelmät

Lappeenrannan teknillisen yliopiston koordinoimissa ”Bioenergiologistiikan kehittäminen hyödyntäen ontelokomposiittirakenteisia siirtokontteja” (2011–2013) ja ”Konttilogistiikkainnovaatiot” (2013–) hankkeissa on tutkittu intermodaalisten komposiittirakenteisten konttien kannattavuutta ja kilpailukykyä suurimittakaavaisessa metsähakkeen biomassalogistiikassa. Tutkimuksen kontti-innovaatiota vertailtiin perinteisiin toimitusketjuihin tarkastelemalla metsäbiomassan hankinta-alueen laajentamista sekä maantiekuljetuksin että rautatiekuljetuksin (kuva 1).

Tutkimustulokset osoittavat, että intermodaalisten komposiittirakenteisten konttien metsähakkeen toimitusketjun kokonaiskustannukset olivat alhaisimmat verrattuna perinteisiin vaihtoehtoihin kaikissa tutkimuksen skenaarioissa (kuva 2). Paikkatietoperusteisen saatavuuslaskennan ja simulointilaskennan yhdistävällä mallilla voitiin osoittaa metsähakkeen hankinta-alueen laajentamisen olevan kustannustehokkainta joko ottamalla käyttöön kevytkontein varustettuja ajoneuvoyhdistelmiä tai aloittamalla rautatiekuljetukset satelliittiterminalista, josta on parempi metsäbiomassan saatavuus. Voimaantulleet ajoneuvojen painorajamuutokset vaikuttivat kuitenkin positiivisemmin perinteisiin kuljetusketjuihin ja heikensivät myös rautatiekuljetusketjujen lasken-

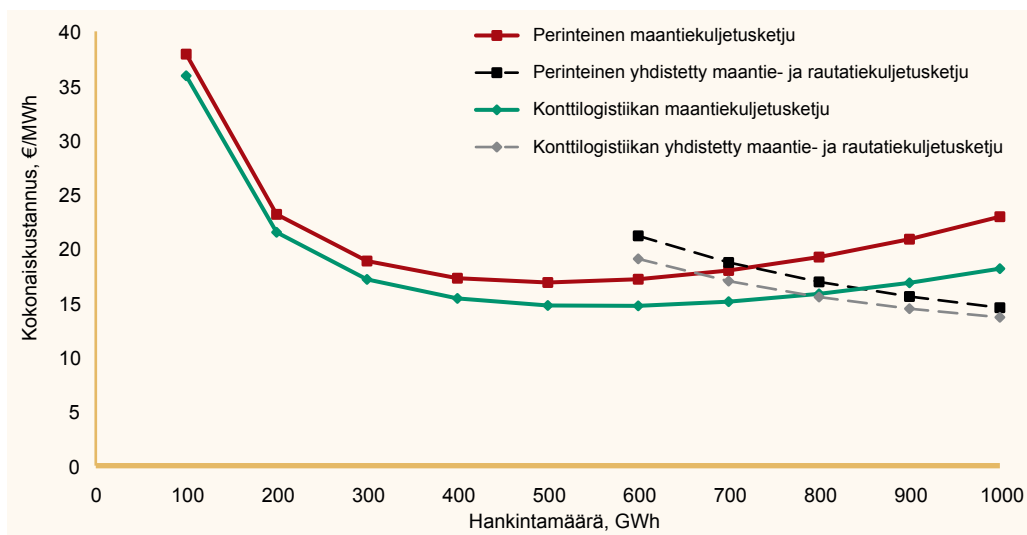


Kuva 1. Tapaustutkimuksen kohteena oli Jyväs­kylän voimalaitoksen metsähakkeen nykyinen käyttö (Skenaario 1) verrattuna hankinta-alueen laajentamiseen joko ajoneuvo-yhdistelmin (Skenaario 2) tai vaihtoehtoisesti rautatiekuljetuksin Kontiomäen terminaalilta (Skenaario 3).

nallista kilpailukykyä. Vaikka rautatiekuljetukset osoittautuivat kustannustehokkaammiksi riittävän suurilla toimitusmäärillä, saattaa teoreettisten yksikkökustannusten ja käytännön operatiivisen hinnoittelun välillä olla eroja.

Tämä tutkimus osoitti, että simulointi on soveltuva menetelmä, mikäli vertailtavia vaihtoehtoja muuttu­vine tekijöineen ja rajoitteineen on niin paljon, ettei niiden hallitseminen muuten ole enää mielekäs­tä. Simulointimalliin yhdistettiin paikkatietoperusteista saatavuuslaskentaa, jolloin saatiin päätöksenteon tueksi tarkempaa tietoa kontti-innovaation kilpailu­kuvystä. Intermodaalinen kevytkonttijärjestelmä todettiin tutkimuksessa kilpailukykyiseksi vaihtoehdoksi mahdollistamaan metsähakkeen suurimitakaavaista hankintaa.

Innovaatioiden käyttöönotto ja investointien päätöksenteko vaatii sekä tutkimuksellisesti todettuja että käytännön kokeiluilla vahvistettuja tuloksia uuden menetelmän toiminnallisuudesta. Tämäkään ei aina riitä, vaan päätöksentekijä vaatii riittävän suuria hyötyjä ja pieniä riskejä uusien investointien toteuttamiseksi. Ratkaisevaa innovaatioiden käyttöönotossa on kuitenkin ensivaiheen käyttäjät, jotka toimivat suunnannäyttäjinä muille. Näin uudet



Kuva 2. Metsähakkeen laskennallinen yksikkökustannus (€/MWh) edustaa toimituskustannusta sisältäen kuljetusketjujen kiinteät ja muuttuvat kustannukset simulointien hankintamäärien saavuttamiseen tarvittavalla kalustolla. Maantie- ja rautatiekuljetusketjujen yhdistetyissä kuvaajissa maantiekuljetuksen suora toimitusmäärä on pidetty kiinteänä (500 GWh). Simulointituloksia pienempien ja suurempien hankintamäärien toimituskustannukset on johdettu jakamalla ennustettu kokonaiskustannus hankintamäärällä.

kustannustehokkaammat toimintatavat ja innovaatiot voivat levitä osaksi laajamittaistakin operatiivista toimintaa.

Kirjallisuus

Karttunen K., Lättilä L., Korpinen O.-J. & Ranta T. 2013. Cost-efficiency of intermodal container supply chain for forest chips. *Silva Fennica* 47(4) article id 1047. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1047>.

Karttunen, K., Föhr, J., Lättilä, L., Korpinen, O.-J., Knutas, A., Laitinen, T. & Ranta, T. 2013. Metsähakkeen logistiikka komposiittirakenteisilla siirtokonteilla. *Metsätehon tuloskalvosarja* 1/2013. 29 s.

■ Kalle Karttunen, Helsingin yliopisto,
Tapio Ranta, Lappeenrannan teknillinen yliopisto
Sähköposti kalle.karttunen@helsinki.fi

Jouni Siipilehto ja Lauri Mehtätalo

Weibull-jakauman parametrin palautus vai ennustaminen?

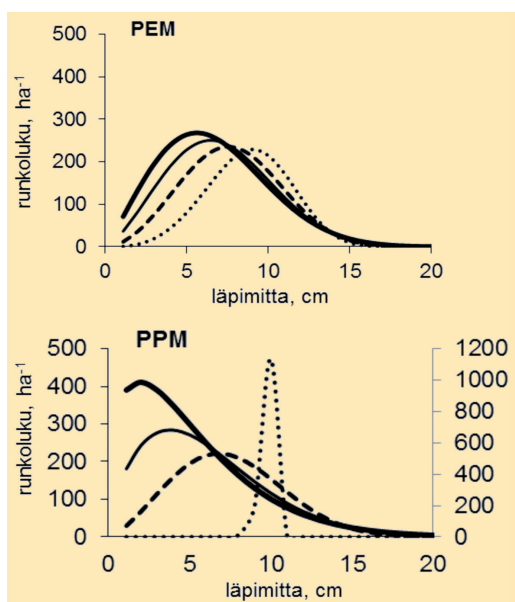
Seloste artikkelista: Siipilehto, J. & Mehtätalo, L. 2013. Parameter recovery vs. parameter prediction for the Weibull distribution validated for Scots pine stands in Finland. *Silva Fennica* 47(4): article id 1057. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1057>

Suomessa puuston rakenteen ennustaminen perustuu valtaosin tunnetun jakauman, kuten beta-, Weibull- ja Johnsonin Sb-tiheysfunktion parametrin ennustemalleihin, vaikka jakaumaparametrien ja jakaumaa selittävien puustotunnusten välinen riippuvuus voi olla vaikea hahmottaa. Suomalaisena erikoispiirteenä 1980-luvulta lähtien on ollut pohjapinta-alan läpimittajakauman soveltaminen. Tällainen jakauma painottaa suurikokoisia puita ja näin tilavuusestimaatit on saatu tarkemmaksi kuin perustuen runkoluvun läpimittajakaumaan. Parametrien palautusmenetelmä (PPM) on vaihtoehto yleisemmin käytetyille parametrin ennustamismenetel-

mälle (PEM). PPM perustuu yhtälöryhmiin, joissa kuvataan puustotunnusten ja jakaumaparametrien välinen riippuvuus matemaattisessa muodossa. Yhtälöitä tarvitaan yhtä paljon, kuin jakaumassa on parametreja, ellei joitakin parametreja kiinnitetä tai muuten ratkaista yhtälöryhmän ulkopuolella. Tyypillisesti parametrit palautetaan joko jakauman prosenttiosuuksien, jakauman momenttien tai näiden yhdistelmien avulla. Suomesta löytyy joitakin 30-luvulla tehtyjä tutkimuksia, joissa parametrin palautus perustui jakauman momentteihin. Tuoreita momentteihin perustuvia malleja Suomessa ei ole, vaikka maailmalla menetelmä on yleisesti käytössä. 2000-luvun alkupuolella on julkaistu joitakin tutkimuksia, joissa parametrin palautus perustui jakauman prosenttiosuuksiin. Aivan viimeaikoina on laserkeilausaineistojen yhteydessä esitetty joitakin parametrin palautussovelluksia, joissa alkutilanteen tunnuksena oli puuston tilavuus. Soveltamamme kahden parametrin Weibull-jakaumafunktio voidaan palauttaa kahdesta prosenttiosuudesta analyttisesti, mutta jakauman momenteja käytettäessä tarvitaan numeerista yhtälöryhmien ratkaisemista.

Tutkimuksessa esitimme parametrin palautusmenetelmän yleiset periaatteet. Sovelluksena esitimme kaksiparametrisen Weibull-jakauman parametrin palautusyhtälöt. Puustotunnuksina tarvittiin runkoluku (N) ja pohjapinta-ala (G), joista saadaan ratkaistua toinen momentti (DQ^2) ja neliökeskiarvo (DQ). Jakauman keskitunnuksena oli vaihtoehtoisesti aritmeettinen keskiläpimitta (D), pohjapinta-alapainotteinen keskiläpimitta (DG), mediaaniläpimitta (DM) tai pohjapinta-alan mediaaniläpimitta (DGM) rinnankorkeudelta. Numeerisessa yhtälöryhmien ratkaisussa käytettiin ns. Newton-Raphson-algoritmia. Menetelmää testattiin männiköissä.

Mallia testattaessa parametrin palautusta verrattiin jakauman ennustamiseen. Jos tarvittava puustotunnus puuttui, se ennustettiin olemassa olevilla malleilla. PPM osoittautui ylivoimaiseksi kuvaamaan suurta metsikön tiheysvaihtelua. Kuvan 1 ennustetuissa jakaumissa (PEM) tiheän metsikön runkoluku tuli aliarvioitua 27 % ja harvan metsikön runkoluku yliarvioitua 16 %, kun samalla PPM tuotti virheettömät tiheystunnukset huomattavan suurella jakaumamuodon vaihtelulla. Harvimman metsikön jakauma on niin poikkeava, että se esitetään omalla y-akselin asteikolla.



Kuva 1. Runkoluvun jakaantuminen läpimitan mukaan Weibull-jakauman parametrien ennustamis- (PEM) ja parametrien palautusmenetelmällä (PPM), kun puuston kokonaisrunkoluku N oli 3100 (—), 2500 (—), 1900 (- - -) ja 1300 ha^{-1} (···) ja mediaaniläpimitta (DGM) oli 10 cm ja pohjapinta-ala (G) 10 m^2ha^{-1} .

Tärkein osa testausta oli käytännön sovellus, jossa palautetuista ja ennustetuista jakaumista poimittiin otos. Otoksesta laskettiin tärkeimmät puustoa kuvaavat tunnuksot, kuten kokonaistilavuus ja puutavaralajien tilavuudet. Samalla laskettiin luotettavuustunnukset (harha ja keskivirhe) riippumattomista testiaineistoista käyttäen.

Testiaineistossa oli 467 satunnaisesti valittua mäntymetsikköä Metlan VMI-koealaverkkoon perustetuista kivennäismaiden talousmetsien pysyvistä INKA- ja TINKA-kokeista. PPM osoittautui erittäin tarkaksi puuston rakenteen kuvaamiseksi silloin, kun pohjapinta-ala (G) ja runkoluku (N) tunnettiin yhtä aikaa, jolloin neliökeskiarvo (DQ) ja toinen momentti (DQ^2) saatiin tarkasti. Parhaimmillaan

palautusmenetelmän tarkkuus oli ylivoimaista aikaisempiin suomalaisiin malleihin verrattuna. Eriyisesti nuorissa metsissä (keskipituus < 9 m) kokonaistilavuuden ja kuitupuutilavuuden keskivirheet laskivat noin puoleen (3,6 ja 5,7%) aikaisempiin parhaisiin ennustemalleihin verrattuna (8,7–11,3%).

Ennustamismenetelmiä käytettäessä on tullut selväksi, että varttuneiden metsien rakenne tulee ennustaa pohjapinta-alan läpimittajakaumalla, koska kerätyt puustotunnukset relaskooppikoeloilta kuvaavat painotettua jakaumaa. Tässä tutkimuksessa palautusmenetelmällä ratkaistu Weibull-jakauma oli aina painottamaton. Siitä huolimatta se oli kilpailukykyinen, koska saatu ratkaisu pystyi tuottamaan virheettömästi pohjapinta-alan mediaaniläpimitan (DGM), metsikön pohjapinta-alan (G) ja runkoluvun (N) silloin, kun ne tunnettiin. Täten jakauman painotus ei ole oleellista parametrien palautusmenetelmää käytettäessä. Menetelmän kannalta on oleellista, että ratkaisuun käytettävät puustotunnukset ovat loogisia keskenään. Jos loogisuusehto $D < DQ < DGM$ täyttyy, niin ratkaisu on löydettävissä. Ratkaisun haun tehostamiseksi tutkimuksessa annetaan yhtälöt parametrien alkuarvoiksi. Testauksessa huomattiin, että ennustemallit G ja N puustotunnuksille olivat epätarkkoja (keskivirhe n. 20%) ja tästä aiheutui joskus puustotunnusten epäloogisia yhdistelmiä, jolloin ratkaisua ei löytynyt. Koska summatunnuksen (G , N) mahdollinen virhe toteutuu kokonaisuudessaan palautetuissa jakaumissa, voidaan parametrien palautusmenetelmän (PPM) luotettavuutta parhaiten edistää puustotunnusmallien tarkkuutta parantamalla.

Lisämateriaalina Weibull2recovery.R, jolla voidaan ratkaista kaksiparametrinen Weibull-jakauma palautusmenetelmällä, on ladattavissa Supplementary files -otsikon alta osoitteessa <http://dx.doi.org/10.14214/sf.1057>

■ MMT Jouni Siipilehto, Metsäntutkimuslaitos, Vantaa,
MMT Lauri Mehtätalo, Itä-Suomen yliopisto, Joensuu
Sähköposti jouni.siipilehto@metla.fi