

Tomi Karjalainen, Petteri Packalen, Janne Rätty ja Matti Maltamo

## Tukkitilavuuden ennustaminen mäntyvaltaisissa metsiköissä laserkeilausaineistoa käyttäen

---

**Karjalainen T., Packalen P., Rätty J., Maltamo M.** (2020). Tukkitilavuuden ennustaminen mäntyvaltaisissa metsiköissä laserkeilausaineistoa käyttäen. Metsätieteen aikakauskirja 2020-10304. Tutkimusseloste. 3 s. <https://doi.org/10.14214/ma.10304>

**Yhteystiedot** Itä-Suomen yliopisto, Luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, Metsätieteiden osasto, Joensuu

**Sähköposti** [tomi.karjalainen@uef.fi](mailto:tomi.karjalainen@uef.fi)

**Hyväksytty** 20.1.2020

**Seloste artikkelista** Karjalainen T., Packalen P., Rätty J., Maltamo M. (2019). Predicting factual sawlog volumes in Scots pine dominated forests using airborne laser scanning data. *Silva Fennica* vol. 53 no. 4 article id 10183. <https://doi.org/10.14214/sf.10183>

---

Suomessa tukkipuukuutiometristä metsänomistajalle maksettava hinta on perinteisesti ollut moninkertainen kuitupuukuutiometrin hintaan verrattuna. Näin ollen taloudellisesta näkökulmasta tarkasteltuna tukkitilavuus on tärkein uudistuskypsän metsikön arvoa kuvaava tunnus. Tarkat ennusteet metsikkökuvioiden todellisista tukkitilavuuksista helpottaisivat hakkuiden suunnitteluun liittyvää päätöksentekoa ja aikataulutusta ja toisaalta tarjoaisivat myös metsänomistajille paremman arvion metsiensä rahallisesta arvosta sekä odotettavissa olevista hakkuutuloista. Suomessa kuvioittainen metsävaratieto tuotetaan nykyisin pääasiassa aluepohjaisilla laserkeilausinventoinneilla, mutta kuviokohtaiset tukkitilavuusennusteet perustuvat runkokäyrien perusteella laskettuihin puutavaralajiositteisiin, joita edelleen korjataan tukkivähennysmalleilla. Näiden tukkitilavuusennusteiden tarkkuus yksittäisen metsikkökuvion tasolla voi olla hyvinkin heikko. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin erilaisia vaihtoehtoja ennustaa tukkitilavuutta maastomittauksia ja laserkeilausaineistoa käyttäen. Myös Suomessa käytettävän tukkivähennysmallin toimivuutta testattiin.

Tutkimusalue sijaitsi Itä-Suomessa, pääasiassa Liperin kunnan alueella. Tutkimuksessa käytettiin yhteensä 41 mäntyvaltaista maastokoealaa, jotka olivat kooltaan 30 × 30 m. Koealoilta mitattiin kaikkien rinnankorkeusläpimitaltaan yli 5 cm puiden läpimitat sekä pituudet, ja koealan kasvupaikkatyyppi määritettiin. Lisäksi rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 16 cm männyt pystyapteenattiin, eli rungosta visuaalisesti havaittujen mäntytukin laatuvaatimusten vastaisten vikojen (esim. lenkous, paksut oksat) alkamis- ja päättymiskohdat kirjattiin ylös. Näiltä männyiltä mitattiin myös yläläpimitta 6 metrin korkeudelta. Kaikki puut myös paikannettiin. Kullekin männylle laskettiin runkokäyrien avulla tukkitilavuus ottaen huomioon havaitut viat sekä katkonnassa

vaadittavat pituus- ja läpimittaluokat. Kuusien ja koivujen tapauksissa runkokäyrillä laskettua teoreettista tukkitilavuutta (tukkien pituus- ja läpimittaluokat on otettu huomioon, mutta ei vikoja) käytettiin suoraan myös tukkitilavuutena, sillä niitä ei pystyapteen maastotöiden yhteydessä. Ennen mallinnusvaihetta kukin koeala jaettiin vielä neljäksi  $15 \times 15$  m alikoealaksi, jotka olivat kooltaan lähellä Metsäkeskuksen Suomessa käyttämää hilaruutujen kokoa ( $16 \times 16$  m). Kullekin alikoealalle laskettiin tukkitilavuus, teoreettinen tukkitilavuus sekä tukkivähennys. Tutkimusalueelta oli lisäksi käytettävissä tiheäpulsista laserkeilausaineistoa, jota hyödynnettiin aluepohjaisen laserkeilausinventoinnin lähestymistapaa noudattaen näillä  $15 \times 15$  m alikoealoilla.

Tutkimuksessa tutkittiin yhteensä yhdeksää eri vaihtoehtoa tukkitilavuuden ennustamiseksi. Vaihtoehdot perustuivat valmiiseen puukohtaiseen tukkivähennysmalliin, lineaarisiin sekamalleihin tai epäparametriseen lähimmän naapurin menetelmään:

- 1) Mäntyjen runkokäyrän mukaisesta teoreettisesta tukkitilavuudesta vähennettiin puukohdittaisen tukkivähennysmallin tuottama tukkivähennys. Puiden tukkitilavuudet summattiin alikoealoittain yhteen.
- 2) Lineaarinen sekamalli, jossa vasteena tukkitilavuus.
- 3) Lineaarinen sekamalli, jossa vasteena teoreettinen tukkitilavuus. Tästä ennustetusta teoreettisesta tukkitilavuudesta vähennettiin tukkivähennysmallin tuottama, alikoealalle yleistetty tukkivähennys.
- 4) Lineaariset sekamallit sekä teoreettiselle tukkitilavuudelle että tukkivähennykselle. Tukkitilavuusennuste saatiin vähentämällä jälkimmäisen tuottama ennuste ensimmäisen vastaavasta.
- 5) Tukkitilavuuden ennustaminen lähimmän naapurin menetelmällä.
- 6) Teoreettisen tukkitilavuuden ja tukkivähennysmallin mukaisen tukkivähennyksen ennustaminen lähimmän naapurin menetelmällä. Tukkitilavuusennuste saatiin vähentämällä jälkimmäinen ensimmäisestä.

Vaihtoehdoissa 2–4 kokeiltiin erikseen myös kasvupaikkatyyppin vaikutusta lisäämällä se sekamalleihin ylimääräisenä valemuuttujana. Ennustaessa käytettiin jätä-koeala-pois -ristiinvalidointia. Mallinnus suoritettiin  $15 \times 15$  m tasolla, mutta eri vaihtoehtojen tarkkuus arvioitiin lopulta kuitenkin  $30 \times 30$  m tasolla summaamalla alikoealojen ennusteet ensin yhteen. Tarkkuuden arvioinnissa käytettiin suhteellista keskineliövirheen neliöjuurta (RMSE%) ja harhaa.

Eri vaihtoehtojen tuottamat tukkitilavuuden RMSE%-arvot olivat luokkaa 21–30 %, mikä on linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa. Vaihtoehdoista parhaiten suoriutui menetelmä 2, jossa käytettiin lisäksi kasvupaikkatyyppiä valemuuttujana. Sekamalleihin perustuneet vaihtoehdot tuottivat selvästi tarkempia ennusteita kuin lähimmän naapurin menetelmään perustuneet vaihtoehdot, mikä johtunee mm. melko suppeasta aineistosta. Kaikki tukkivähennysmallin sisältäneet vaihtoehdot (1, 3 ja 6) tuottivat selviä yliarvioita, mikä tarkoittaa sitä, että tukkikokoisten mäntyjen laatu oli tutkimusalueellamme huonompi kuin mitä malli ennustaa. Mallin heikko tarkkuus näin pienellä aineistolla tarkasteltuna oli odotettavissa, sillä mallin ennustajista (mm. puun läpimitta ja ikä, korkeus merenpinnasta) yksikään ei vaihdellut suuresti alueellamme, eli malli tuotti jokseenkin samanlaisia ennusteita mäntyjen todellisesta laadusta riippumatta. Tukkivähennysmallin toimivuutta testattiin myös puutasolla käyttäen erikseen niin kaikkia pystyapteen määntyjä kuin myös mäntyjen eri osajoukkoja (mm. täysin viattomat männyt, osittain vialliset männyt). Mallin tarkkuus osoittautui heikoksi myös näissä tapauksissa.

Tutkimuksessa tarkasteltiin tukkitilavuuden ennustamista  $30 \times 30$  m tasolla suhteellisen homogeenisissä, mäntyvaltaisissa metsiköissä laserkeilausaineistoa käyttäen. Tarkin tulos saatiin lineaarisella sekamallilla, jossa käytettiin vastemuuttujana tukkitilavuutta. Kyseisen vaihtoehdon

heikkouksia ovat kuitenkin maastomittausten yhteydessä suoritettavan puiden pystyapteen hitaus, työläisyys ja osittainen subjektiivisuus. Käytännöllisempi tapa puun tukkitilavuuden mittaamiseksi olisi tarpeen, jotta tukkitilavuuden sisällyttäminen laserkeilausinventointeihin olisi kustannustehokasta.

## Kirjallisuutta

- Maltamo M., Packalen P. (2014). Species specific management inventory in Finland. Julkaisussa: Maltamo M., Naeset E., Vauhkonen J. (toim.). Forestry applications of airborne laser scanning – concepts and case studies. *Managing Forest Ecosystems*, vol 27. Springer, Dordrecht. s. 241–252. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-94-017-8663-8_12).
- Mehtätalo L. (2002). Valtakunnalliset puukohtaiset tukkivähennysmallit männylle, kuuselle, koivuille ja haavalle. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 575–591. <https://doi.org/10.14214/ma.6196>.