

Jäävän puuston estimointi ensiharvennuksella hakkuukonetiedon avulla

Metsätehon tulokalvosarja 1/2026

Riku Tarvainen¹, Kirsi Rieki¹, Heikki Ovaskainen¹, Asko Poikela¹, Kalle Kärhä², Jukka Malinen¹

Metsäteho Oy¹

Itä-Suomen Yliopisto²

Tiivistelmä

- Ensiharvennuksen toteutuksen laatu vaikuttaa merkittävästi puuston jatkokehitykseen.
- Puunkorjuun laadunseurantaa toteutetaan nykyisin pääasiassa maastossa tapahtuvilla arvioinneilla. Arvioinnit kattavat vain osan korjuukohteista ja tunnetusti maastotyö on hidasta ja kallista.
- Metsäkonevalmistajien tarjoamat uusimmat tarkkuuspaikannusjärjestelmät hakkuukoneissa mahdollistavat kaadettujen puiden sijaintien määrittämisen keskimäärin 0,5 m tarkkuudella (Ylä-Pöntinen ym. 2025). Tämä avaa aiempaa parempia mahdollisuuksia harvennusvoimakkuuden automaattiseen seurantaan koneiden tallentaman tiedon avulla.
- Tämän työn tavoitteena oli tarkastella ensiharvennuksella puiden otantamenetelmää, jossa tarkkuuspaikannetusta hakkuukoneaineistosta tunnistetaan ajouralta kaadetut puut. Ajourapuita käytetään otoksena kuvaamaan koko kuvion lähtöpuustoa.
- Otantamenetelmällä estimoitiin lähtö- ja jäävän puuston runkolukua, läpimittajakaumaa ja pohjapinta-alaa.
- Tutkimuksen aineistona käytettiin seitsemää ensiharvennettua mittausaluetta, joista jokaisen pinta-ala oli noin 1 ha ja joiden jäävä puusto oli mitattu maastossa referenssiaineistoksi.
- Tulosten perusteella läpimittajakaumat olivat tilastollisesti ja visuaalisesti hyvin yhdenmukaisia.
 - Visuaalinen tarkastelu kuitenkin osoitti suurempien läpimittaestimaattien aliarvion, mikä vaikutti pohjapinta-alojen estimaatteihin.
 - Tuloksissa oli myös mittausaluekohtaista vaihtelua, jonka syiden selvittäminen edellyttää jatkotutkimusta.
- Yleisesti ottaen, ajourapuuston tunnistamiseen perustuva otantamenetelmä on periaatteeltaan toimiva ensiharvennusten jäävän puuston tiheyden seurantaan.

English summary

- The quality of first thinnings significantly affects the development of the remaining growing stock.
- In Finland, quality control of first thinnings is currently carried out through field assessments.
 - Fieldwork covers only a small portion of the thinning sites and is slow and expensive.
- Forest machine manufacturers nowadays offer precise positioning of the harvesters, which also improves the accuracy of the position information of the felled trees.
- This work concentrates on studying automated monitoring of density of remaining growing stock. The basic idea is to identify the trees removed from the strip roads from the harvester data and use them as a sample of the initial growing stock of the first thinning stand.
- The goal is to estimate the number of stems, basal area and diameter distribution of the growing stock after thinning.
- The method was tested on seven thinned measurement areas, each approximately 1 ha in area. The reference data was obtained by field measurements of the whole remaining growing stock of the measurement areas.
- Based on the results, the comparison of the diameter distributions to the references indicated statistically good accuracy.
 - However, visual inspection showed a slight underestimation of larger diameters, which has an impact on basal area estimates.
 - Further studies are needed to examine the reasons behind the variation of the results that was observed at different measurement areas.
- In principle, the sampling method based on identifying strip road trees is applicable to monitoring the density of the remaining growing stock at first thinnings.

Ensiharvennukset Suomessa

- Suomessa toteutetaan n. 150 000 ha ensiharvennuksia vuosittain.
- Ensiharvennus on yleensä ensimmäinen tuloja tuottava hakkuu, jossa tavoitteena on poistaa vaurioituneet ja huonolaatuiset puut ja luoda siten kasvutilaa parhaimmille puille.
- Ensiharvennus vaikuttaa merkittävästi metsän myöhempään kehitykseen, koska samalla avataan ajouraverkosto ja päätetään, mitkä puut jäävät kasvamaan ajourien välisille alueille.
- Harvennusten laatua seurataan kuljettajien, puunostajien, maanomistajien ja muiden yksityisten toimijoiden osalta omavalvontana sekä Metsäkeskuksen osalta viranomaisvalvontana.
- Maastokäynteinä tapahtuva korjuujäljen laadun arviointi on otantatyypistä, hidasta, kallista ja osin subjektiivistakin, joten kattavaa ja objektiivista kuvaa korjuujäljestä on haastavaa saada.

Metsävaratieto Suomessa

- Suomessa kerätään nykyisin kaukokartoitettua metsävaratietoa (MV-tieto), joka perustuu mm. laserkeilauksiin ja ilmakuvauksiin.
 - Laserkeilauksia tehdään vuosina 2020–2025 kuuden vuoden kierrolla ja tulevaisuudessa niiden kierto voi venyä jopa yhdeksään vuoteen.
- MV-tiedon tarkkuusvaatimus on $\pm 15\text{--}30\%$ virhettä kahdeksalla kuviolla 10:stä.
 - Virheen määrä vaihtelee muuttujittain: pituudessa päästään n. 10 % virheeseen, mutta tilavuuden ja läpimitan osalta virhe on suurempi.
- Metsävaratiedon tarkemmat kuvaukset ovat saatavilla Suomen metsäkeskuksen julkaisuissa (2023a, 2023b).
- Avoimesti saatavien satelliittikuvien resoluutio ei nykyisellään mahdollista kuviotasoa tarkempaa puustotulkintaa.
- Näin ollen kaukokartoitusperusteisen metsävaratiedon tarkkuus ei toistaiseksi riitä jäävän puuston tunnusten määrittämiseen ensiharvennuksilla.

Metsäkoneet aineiston kerääjinä

- Metsäkoneet ovat jo pitkään tallentaneet käsitellyn puun dimensio- ja puulajitiedot StanForD-standardin mukaiseen hpr-tiedostoon.
- Koneen sijaintitieto on myös tallennettu, mutta sijainnissa on ollut useiden metrien poikkeamia johtuen satelliittipaikannuksen epätarkkuudesta.
- Viime aikoina metsäkonevalmistajat ovat alkaneet tarjota reaaliaikaista (engl. Real Time Kinematics, RTK) korjausta hakkuukoneen paikannukseen.
- RTK-korjatun tarkkuuspaikannuksen myötä kaadettu puu voidaan sijoittaa keskimäärin 50 cm tarkkuudella globaaliin koordinaatistoon.
- Kiinnostava tieto on myös hakkuukoneen puomin pituus ja kulma suhteessa koneeseen puunkaatohetkellä. Tämän tiedon avulla voidaan mm. luokitella puita ajouralta ja urien välistä kaadetuiksi.



Kuva: Komatsu Forest.

Hakkuukonetiedon käyttö ensiharvennusvoimakkuuden seurantaan

- Hakkuukonetietoa voidaan käyttää ensiharvennusvoimakkuuden seurantaan tunnistamalla tarkkuuspaikannetusta hakkuukonetiedosta ajouralta kaadetut puut, joita käytetään otoksena kuvaamaan koko kuvion lähtöpuustoa.
- Tällaisessa ns. urapuuotantamenetelmässä kasvatettavaksi jäävän puuston tunnuksat estimoidaan lähtöpuustoa kuvaavan otoksen ja hakkuupoistuman avulla.
- Kyseinen ajourapuiden otos on tilastollisesti melko kattava, sillä ajouria avataan pääsääntöisesti tasaisesti koko kuvion alueelle.
 - Ajourien maksimileveys on metsänhoidon suositusten mukaan kivennäismailla 4,5 m ja turvemilla 5,0 m (Tapio Oy).
 - Ajourat peittävät noin 16 – 20 % kuvion pinta-alasta.
- Haasteena on tunnistaa ajourapuut luotettavasti.
 - Otokseen pyritään saamaan puita ajouralta mahdollisimman leveältä alueelta.
 - Toisaalta otoksen tulee olla sen verran kapea, ettei puita tule mukaan ajourien väliseltä alueelta.

Urapuuotantamenetelmän sovellus hprGallring

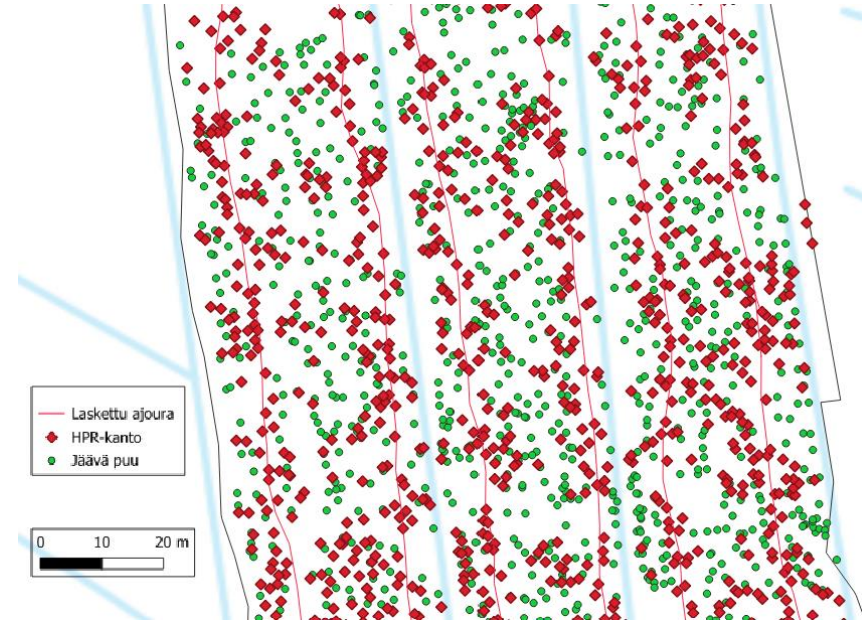
- Harvennusvoimakkuuden seurantaan on kehitetty ja testattu jo aiemmin SkogForskissa automaattinen sovellus (Bhuiyan ym. 2016). Menetelmä on kaupallisessa käytössä nimellä hprGallring.
- SkogForskin menetelmässä ajouralta kaadetut puut tunnistetaan hakkuukonetiedosta **ainoastaan puomin kulmatiedon perusteella**.
- Todellisista ajourapuista tunnistettiin oikein 83 %, mikä tarkoittaa harhaa runkoluvun estimoinnissa.
 - Puomin pituustiedon puuttuminen aiheutti virhettä ajourapuiden tunnistamisessa.
- Runkoluvun harhaa korjattiin käyttämällä ns. harvennusosuutta, joka on skaalaustekijä pohjapinta-alalla painotetun keskipuun läpimitan ja pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan välillä (Hannrup ym. 2015).
- Puulajeittaiset harvennusosuudet määritetään metsänomistajayhtiöiden kaukokartoitetun metsävarakuviotiedon avulla.
- Harvennusosuudella korjaamisen jälkeen runkoluvun ja pohjapinta-alan harha oli alle 2,2 %. Kuvioiden välinen jäävän puuston pohjapinta-alan hajonta oli kuitenkin $\pm 5 \text{ m}^2/\text{ha}$.

Tavoite

- Tämän työn tavoitteena oli tutkia ensiharvennuksilla urapuuotantamenetelmää siten, että lähtötietona käytetään yksinomaan hakkuukonetietoa ja ajourapuiden tunnistusta tarkennetaan puomin pituustiedolla.
- Menetelmän tuottamia puustotunnuksia tarkastellaan vertaamalla niitä ensiharvennuskohteilta mitattuihin referenssipuustotunnuksiin.
- Tutkimuksesta on laadittu tieteellinen käsikirjoitus (Tarvainen ym. 2025).
- Työ on tehty osana KESTOTÄSMÄ-hanketta, joka on EU:n elpymis- ja palautumistukivälineen (RRF) rahoittama. Hankkeen yhtenä tavoitteena on kehittää puunkorjuun omavalvonnan automatisointia.

Maastoaineisto

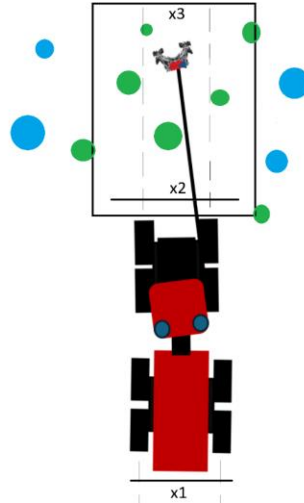
- Maastoaineisto kerättiin seitsemältä ensiharvennuskohteelle rajatulta mittausalueelta, joilta mitattiin kaikki kasvamaan jätetyt puut.
 - Kohteet sijaitsivat Sastamalassa ja Teuvalla. Mittaukset tehtiin kesällä 2024.
- Mittausalueiden pinta-alat vaihtelivat 0,7 – 1,1 ha:n välillä.
- Mittaukset tehtiin ensiharvennuksen jälkeen.
- Kaikista rinnankorkeuslähpimitaltaan yli 45 mm paksuisista puista tallennettiin:
 - rinnankorkeuslähpimitta ja puulaji,
 - RTK-korjattu sijainti tarkkuuspaikantimella
 - lisäksi mitattiin pituuskoepuita.



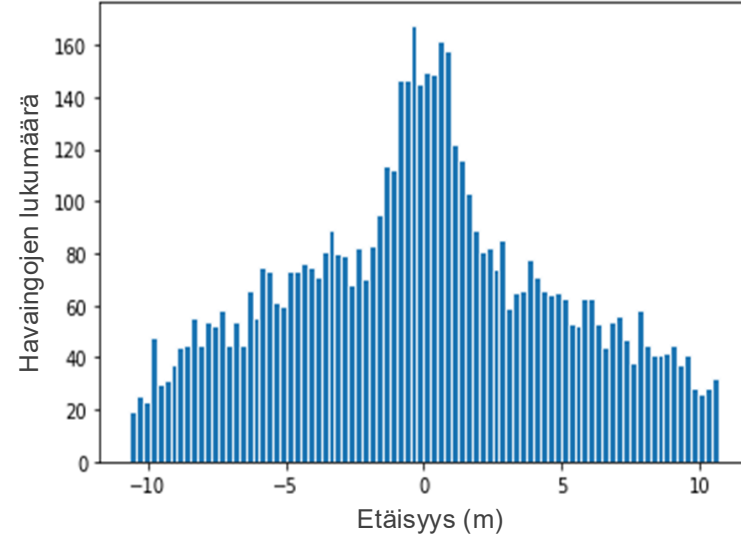
*Esimerkki maastomittauksista yhdellä mittausalueella.
Jäävät puut on kuvattu vihreällä ympyrällä.
Peruskartta © Maanmittauslaitos.*

Menetelmä: ajourapuiden tunnistaminen

- Hakkuukonetiedon perusteella tiedetään puomin pituus ja suunta suhteessa koneeseen puunkaatohetkellä.
- Oletetaan, että kaikki koneen edestä tietyltä ajouran leveydeltä kaadettut puut ovat ajourapuita (kts. oheinen kaavakuva).
- Ajourapuiden poimintaleveyden määrittämistä varten laskettiin kaikkien kaadettujen puiden kohtisuorat etäisyydet ajouran keskilinjasta.
 - Laskennan yksityiskohdat on kuvattu Tarvaisen ym. (2025) työssä.
- Oheisen histogrammin huipun muodon perusteella voidaan arvioida, että ajourapuiksi luokiteltavat puut sijaitsevat noin 1,6 m etäisyydellä ajouran keskilinjasta molemmin puolin.
- Tällöin ajourapuiden poimintaleveys on yhteensä noin 3,2 m.



Kaavakuva ajourapuiden otanta-alueesta urapuuotantamenetelmässä. Leveys x1 on hakkuukoneen leveys. Leveys x2 on kuvattu seuraavalla dialla. Leveys x3 on poimintaleveys 3,2 m.



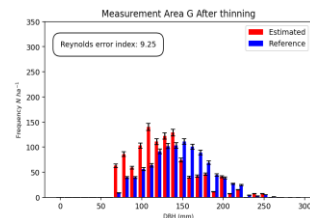
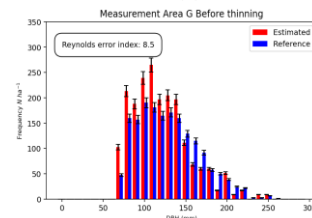
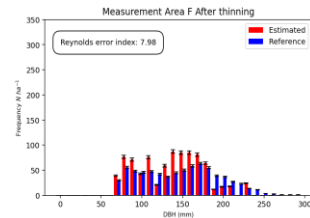
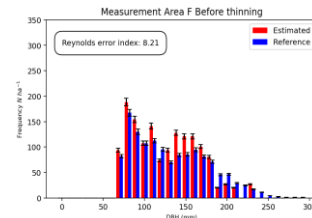
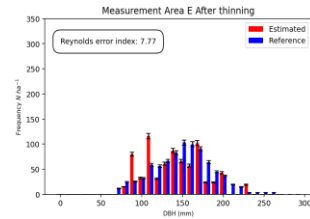
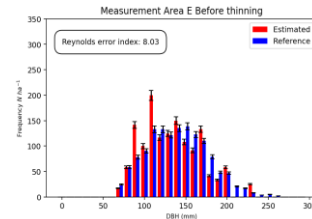
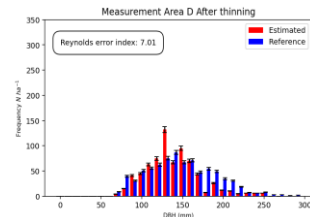
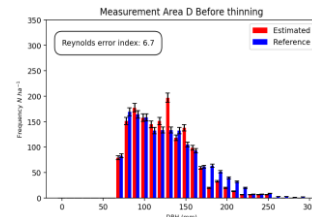
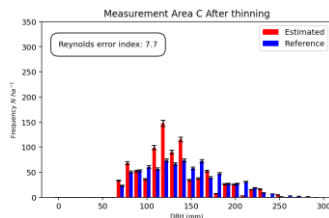
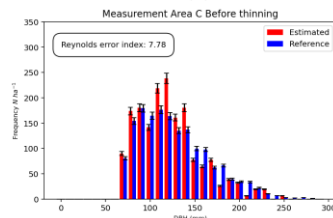
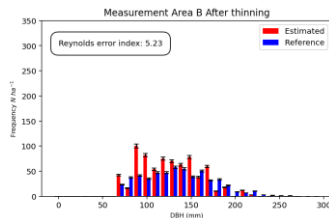
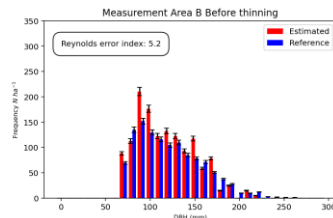
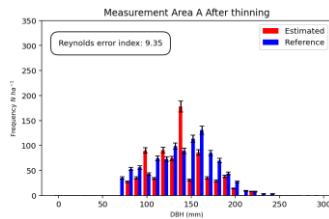
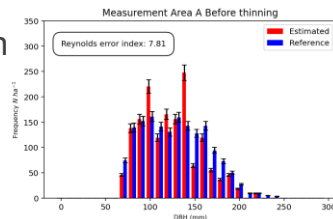
Kaikkien kaadettujen puiden kohtisuorat etäisyydet ajouran keskilinjasta. Ajouralta kaadettut puut muodostavat histogrammin huipun.

Puustotunnusten estimointi

- Ajourapuusto-otoksen perusteella estimointi kuvion puusto ennen ensiharvennusta ja sen jälkeen.
- Estimoitu puusto ennen hakkuuta tarkoittaa ajourapuiden avulla määritettyä hehtaarikohtaista lähtöpuustoa.
 - Lähtötilanteen referenssipuusto tarkoittaa maastossa mitattua jäävää puustoa sekä siihen lisättyä, hakkuukonedatasta laskettua kyseisen alueen hakkuupoistumaa.
- Estimoitu puusto hakkuun jälkeen tarkoittaa ajourapuiden avulla määritettyä lähtöpuustoa, josta on vähennetty hakkuupoistuma.
 - Jäävän puuston referenssipuusto saatiin suoraan maastomittauksista.
- Estimointia varten määritettiin ajouran laskennallinen pituus hakkuukoneen sijaintitiedosta tuotettujen laskennallisten ajourien avulla (Ovaskainen & Rieki 2022).
- Ajourapuuston runkoluku (kpl/ha) suhteutettiin hehtaarikohtaiseksi ajouran pinta-alan mukaan.
 - Ajouran pinta-ala laskettiin kertomalla ajouran pituus leveydellä 2,9 m, joka määritettiin estimoitujen ja referenssirunkolukujen vastaavuuden avulla (ed. dian kuvan leveys x2).
- Tämän jälkeen muodostettiin puustoa kuvaavat läpimittajakaumat 1 cm luokkavälein, joista edelleen laskettiin pohjapinta-alan (PPA) estimaatit.
 - Läpimittajakaumille laskettiin Reynoldsin virheindeksit (Reynolds ym. 1988) suhteessa referenssijakaumiin. Mitä pienempi Reynoldsin virheindeksin arvo on, sitä parempi vastaavuus jakaumien välillä on.

Tulokset: läpimittajakaumat

- Visuaalinen tarkastelu osoittaa sekä lähtöpuuston että jäävän puuston estimaattien vastaavan hyvin referenssijakaumia.
- Reynoldsin virheindeksin arvot (5,2 – 9,4) tukevat visuaalisia havaintoja.
- Tässä aineistossa pienten läpimittojen estimaatit olivat referenssejä suurempia ja suurten läpimittojen estimaatit referenssejä pienempiä.
- Jakaumia ei tasoitettu, joten yksittäiset “piikit” läpimittaluokissa erottuvat selvästi.



Tulokset: lähtöpuuston estimointi

- Runkolukujen estimaattien erot olivat suhteellisesti –3 % ja +14 % välillä referenssiarvoista.
- PPA-estimaattien suhteelliset erot olivat enimmillään –10 %. Estimaatit olivat lähes kaikilla kohteilla aliarvioita.

Mittaus-alueen ID	Ajouratiheys, m/ha	Estimoitu runkoluku, N/ha	Referenssi-runkoluku, N/ha	Ero-%	Estimoitu pohjapinta-ala, m ² /ha	Referenssi-pohjapinta-ala, m ² /ha	Ero-%
A	589	1596	1641	–2,7	22,0	24,4	–10,0
B	610	1369	1203	13,8	17,4	16,2	7,5
C	522	1749	1671	4,7	24,1	24,9	–3,2
D	533	1586	1602	–1,0	22,0	24,4	–9,6
E	488	1399	1376	1,7	22,4	24,1	–7,0
F	436	1500	1363	10,1	22,2	22,0	0,9
G	536	2016	1771	13,8	27,1	26,6	1,7
Keskiarvo	531	1602	1518	5,5	22,5	23,2	–3,3

Tulokset: jäävän puuston estimointi

- Jäävän puuston estimaatit vaihtelivat enemmän lähtöpuustoon verrattuna.
- Runkolukujen suhteelliset erot estimaattien ja referenssiarvojen välillä olivat –10 % ja +31 % välillä.
- PPA:n estimaatit vaihtelivat samassa suhteessa –30 % ja +14 % välillä.
 - Suurimmalla osalla kohteista PPA-estimaatit olivat aliarvioita.

Mittaus- alueen ID	Estimoitu runkoluku, N/ha	Referenssi- runkoluku, N/ha	Ero-%	Estimoitu pohjapinta-ala, m ² /ha	Referenssi- pohjapinta-ala, m ² /ha	Ero-%
A	770	1016	–24,2	12,6	17,8	–29,1
B	720	552	30,4	10,3	9,1	13,1
C	860	797	7,9	13,4	14,4	–7,0
D	729	809	–9,9	12,8	16,0	–21,9
E	758	841	–9,9	13,4	16,7	–19,9
F	859	733	17,2	14,5	14,4	1,0
G	1103	1023	7,8	16,5	19,4	–15,0
Keskiarvo	828	824	0,5	13,3	15,4	–13,6

Tulosten yhteenveto

- Lähtöpuuston ja jäävän puuston runkoluvun määrässä oli mittausaluekohtaista vaihtelua.
 - Koko aineistossa lähtöpuuston runkolukumäärä erosi 5,5 % referenssistä ja jäävän puuston 0,5 % referenssistä.
 - Tulosten tarkkuus oli kuitenkin parempi kuin hprGallring-menetelmän vertailukelpoisissa tuloksissa, eli ilman ulkoisten metsävara-aineistojen käyttöä (Bhuiyan ym. 2016).
- Tulosten perusteella läpimittajakaumien estimointi onnistui hyvin. Ne olivat tilastollisesti ja visuaalisesti hyvin yhdenmukaisia referensseihin verrattuina.
 - Reynoldsin virheindeksi oli alle 10 kaikkien mittausalueiden läpimittajakaumilla.
- Estimoidut pohjapinta-alat olivat säännöllisesti aliarvioita referensseihin verrattuna, mikä on nähtävissä myös läpimittajakaumista.
 - Lähtöpuuston mittausaluekohtaiset PPA-estimaatit erosivat enimmillään 10 % referensseistä.
 - Jäävän puuston PPA-estimaatit vaihtelivat mittausalueittain välillä 1 – 30 % ja koko aineistossa keskimäärin noin 13 %.
- Ajouralta poistetut puut painottuivat pienempiin läpimittaluokkiin. Sama havainto on tehty myös aiemmassa tutkimuksessa (Bhuiyan ym. 2016).
 - Painottuminen voi johtua mm. ajourien sijoittamisesta kohteelle.
 - Tämä vaikuttaa pohjapinta-alan estimaatteihin.
- Yleisesti ottaen, ajourapuuston tunnistamiseen perustuva otantamenetelmä on periaatteeltaan toimiva ensiharvennusten jäävän puuston tiheyden seurantaan.

Tulosten tulkinta ja jatkotutkimustarpeita

- Korjuukohteiden määrä oli tässä työssä melko pieni, joten tutkimuksia laajemmalla aineistolla tarvitaan.
- Mittausalueet, joilla oli suorat ja säännölliset ajouraverkostot, tuottivat tarkimmat estimaatit.
 - Jatkossa on mahdollista tarkentaa tuloksia huomioimalla hakkuukoneen etuakselin kompassisuunta eli tilanteet, joissa koneen keula on kääntynyt pois ajouran pääkulkusuunnasta puunkaatohetkellä.
- Metsäkoneenkuljettaja on voinut suunnata ajouria tietynlaisiin puustonkohtiin leimikolla: kuljettaja on voinut suosia puuston luontaisia aukkopaikkoja tai vastaavasti tiheiköitä. Tällä on vaikutusta ajourapuuston perusteella määritettyyn lähtöpuustoon.
 - Jatkossa lähtöpuuston oikean viitetason määrittämistä tulisi tarkentaa.
- Yksittäiset läpimittaluokat voivat näkyä piikkeinä ja suuret läpimitat aliarvioina läpimittajakaumissa. Läpimittajakaumien tasoittaminen parametrisilla menetelmillä voisi parantaa estimaatteja.

Kirjallisuus

- Bhuiyan N, Möller J J, Hannrup B, Arlinger J (2016) Automatisk gallringsuppföljning. Arealberäkning samt registrering av kran vinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. Arbetsrapport 899–2016. Skogforsk. Ruotsiksi ja tiivistelmä englanniksi. Saatavissa: <https://www.skogforsk.se/contentassets/6eda4307138347648171f87e3d9a3885/automatisk-gallringsuppfoljning-arealberakning-samt-registrering-av-kranvinkel-for-identifiering-av-sticktrad-och-berakning-av-gallringskvot-arbetsrapport-899-2016.pdf>. Viitattu 24.6.2025.
- Hannrup B, Bhuiyan N, Möller, J J (2015) Rikstäckande utvärdering av ett system för automatiserad gallringsuppföljning. Arbetsrapport 857–2015. Skogforsk. Ruotsiksi ja tiivistelmä englanniksi. Saatavissa: https://www.skogforsk.se/cd_20190114162402/contentassets/d7aedf5abc1245f78b960b7078f84cae/rikstackande-utvardering-av-ett-system-for-automatiserad-gallringsuppfoljning.pdf. Viitattu 24.6.2025.
- Suomen metsäkeskus (2023a) Tietotuotekuvaus. Hila-aineisto. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/document/tietotuotekuvaus-hila-aineisto.pdf>. Viitattu 24.6.2025.
- Suomen metsäkeskus (2023b) Quality of forest resource information. Englanniksi. Saatavissa: <https://www.metsakeskus.fi/en/open-forest-and-nature-information/quality-of-forest-resource-information>. Viitattu 24.6.2025.
- Ovaskainen H, Riekkä K (2022) Computation of Strip Road Networks Based on Harvester Location Data. Forests 2022, 13(5), 782. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/f13050782>.
- Reynolds M, Burk T, Huang W (1988) Goodness-of-Fit Tests and Model Selection Procedures for Diameter Distribution Models. Forest Science 34(2): 373–399.
- Tapio Oy (2025) Metsänhoidon suositukset. Saatavissa <https://metsanhoidonsuosituksesi.fi/>. Viitattu 24.6.2025.
- Tarvainen R, Riekkä K, Ovaskainen H, Poikela A, Kärhä K, Malinen J (2025) Estimating growing stock in first-thinning stands using harvester data. Lähetetty vertaisarvioitavaksi tieteelliseen sarjaan 15.4.2025.
- Ylä-Pöntinen J, Ovaskainen H, Tarvainen R, Riekkä K, Melkas T, Kärhä K, Malinen J (2025) Hakkuukoneen paikannuksen tarkkuus ja ajourapuuston hyödyntäminen lähtöpuuston määrittämisessä. Metsätehon tulosalvosarja 6/2025. <https://www.metsateho.fi/hakkuukoneen-paikannuksen-tarkkuus-ja-ajourapuuston-hyodyntaminen-lahtopuuston-maarittamisessa/>.



Kestävän metsätalouden todentaminen ja menetelmät - KESTOTÄSMÄ

- Tämä tutkimus on toteutettu osana Kestävän metsätalouden todentaminen ja menetelmät (KESTOTÄSMÄ) –hanketta, jota rahoittaa EU:n elpymis- ja palautumistukiväline (RRF).



Euroopan unionin rahoittama –
NextGenerationEU