

Urapuiden tunnistamisen menetelmät hpr-datasta ja kuvion puuston sisäinen vaihtelu

Metsätehon tulokalvosarja 13/2026

Riku Tarvainen, Heikki Ovaskainen, Kirsi Rieki, Jukka Malinen

Metsäteho Oy

Ydintulokset

- **Tutkimuksen ensimmäisessä** osassa vertailtiin eri menetelmiä ajourapuiden tunnistamiseen tarkkuuspaikannetusta hpr-datasta.
- Koneen geometriaan ja globaaliin koordinaatistoon perustuvat menetelmät osoittautuivat tarkimmiksi.
- **Toisessa osassa** tutkittiin kuvion sisäistä puuston vaihtelua luomalla teoreettisia ajouraverkostoja ja vertailemalla niistä laskettua otantaa.
- Tuloksena havaittiin, että ajouran sijoittaminen voi vaikuttaa ajourasta saatavaan otantaan erityisesti puuston pohjapinta-alaa arvioitaessa.



Tiivistelmä

- Metsäkonevalmistajien tarjoamat uusimmat tarkkuuspaikannusjärjestelmät mahdollistavat kaadettujen puiden sijaintien määrittämisen keskimäärin noin 0,5 m tarkkuudella hakkuukoneissa (Ylä-Pöntinen ym. 2025). Tämä avaa aiempaa parempia mahdollisuuksia harvennusvoimakkuuden automaattiseen seurantaan koneiden tallentaman tiedon avulla.
- Harvennuksilla ajourat edustavat 20 – 25 % kuvion pinta-alasta, jolloin ajourilta kaadetut puut ovat otantana melko suuri suhteessa kuvion lähtöpuustoon. Haasteena on ajourapuiden luotettava erottaminen muualta harvennetuista puista.
- Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella ensiharvennettavan kuvion lähtöpuuston määrittämistä ajourapuiden otantaan perustuvilla menetelmillä sekä kuvion puuston mahdollisen vaihtelun vaikutusta lähtöpuuston määrittämiseen.
- Hakkuukoneen puomin kulmaan ja pituustietoon perustuva menetelmä osoittautui potentiaalisimmaksi ajourapuiden tunnistamiseen ja edelleen kuvion lähtöpuuston estimointiin.
- Ajouran systemaattisella siirtämisellä ei havaittu olevan juurikaan vaikutusta lähtöpuuston tiheyden tai pohjapinta-alan vaihteluun kuvion sisällä.
- Hakkuukonetiedon perusteella voidaan melko luotettavasti estimoida kuvion lähtöpuusto ensiharvennuksilla.

Puunkorjuun laadunhallinta

- Ideaalitilanteessa harvennushakkuun laadusta saadaan nopeasti palautetta eri toimijoille työn valmistuttua.
- Hakkuukoneen kuljettajalle työnaikainen palaute olisi ihanteellista, sillä sen avulla korjuuta voidaan vielä tarvittaessa ohjata haluttuun tavoitteeseen.
- Harvennushakkuun laadun luotettavin arviointi perustuu maastossa tehtäviin mittauksiin, mutta tunnetusti maastotyö on hidasta ja resurssien rajallisuus estää usein kaikkien kohteiden nopean tarkastamisen.
 - Nykyinen metsävaratieto tuotetaan kansallisten laser- ja ilmakuvau skierrosten sekä avoimen satelliittiaineiston avulla, joista laserkeilaus tehdään noin 6 – 9 vuoden ja ilmakuvau kolmen vuoden välein.
 - Satelliitit kuvaavat samoja metsäalueita useita kertoja vuodessa, mutta niiden spatiaalinen resoluutio ei riitä yksittäisen metsävarakuvion sisäisen vaihtelun tarkkaan arviointiin.
- Näin ollen korjuun laatutiedon tuottamiseen reaaliaikaisesti tai pian korjuun jälkeen tarvitaan entistä tarkempia ja nopeampia menetelmiä.

Hakkuukonetiedon käyttö kuvion lähtö- ja jäävän puuston määrittämisessä

- Harvennettavan kuvion jäävän puuston määrän seuranta korjuutyön edetessä ohjaisi hakkuukoneen kuljettajaa suunniteltuun harvennustiheyteen jo työn aikana ja tarjoaisi toteumatiedon metsän tilasta heti harvennuksen jälkeen.
- Korjuussa kaadettujen puiden sijainti- ja ominaisuustietoja voidaan hyödyntää kuvion lähtöpuuston määrittämisessä ensiharvennuksilla: tunnistamalla hakkuukonetiedosta **ajouralta kaadetut puut** voidaan niitä käyttää otoksena, joka kuvaa kuvion **lähtöpuustoa**. Vähentämällä tästä kyseisen kuvion hakkuupoistuma saadaan **jäävä puusto**.
- Jäävän puuston määrän selvittäminen edellyttää näin ollen mahdollisimman tarkkaa tietoa kuvion lähtöpuustosta.
- Ajouralta kaadetaan kaikki puut tietyltä leveydeltä ajouran avaamiseksi, mikä tekee ajourapuuotoksesta lähtöpuuston määrittämisen kannalta tilastollisesti melko suuren, sillä ajouria avataan yleensä tasaisesti koko korjattavan kuvion alueelle noin 20 metrin välein.
 - Metsänhoidon suositusten mukaan ajourien maksimileveys on kivennäismailla 4,5 m ja turvemailla 5,0 m (Tapio Oy).
 - Ajourat peittävät noin 20–25 % kuvion pinta-alasta.

Metsäkoneet aineistonkerääjinä

- Metsäkoneet ovat jo pitkään tallentaneet kaadettujen puiden dimensio- ja puulajitiedot StanForD-standardin mukaiseen hpr-tiedostoon (SkogForsk 2025).
- Myös koneen sijaintitieto on tallennettu, mutta siihen on liittynyt useiden metrien poikkeamia satelliittipaikannuksen epätarkkuuden vuoksi.
- Viime aikoina metsäkonevalmistajat ovat alkaneet tarjota reaaliaikaista korjausta (engl. Real-Time Kinematic, RTK) hakkuukoneen sijainnin tarkentamiseksi.
- Lisäksi koneen puomin jalustan kääntö ja puomin nivelet ovat kärkehjatuisissa koneissa anturoituja aina puomin kärkeen saakka, mikä mahdollistaa hakkuulaitteen tarkan sijainnin laskemisen suhteessa ohjaamoon.
- RTK-korjauksen ja puomin anturoinnin avulla kaadettu puu voidaan sijoittaa globaaliin koordinaatistoon keskimäärin noin 50 cm:n tarkkuudella (Ylä-Pöntinen ym. 2025, Hannrup & Möller 2022).
- Lisäksi kiinnostavaa tietoa tarjoaa hakkuukoneen puomin pituus ja kulma suhteessa koneeseen puunkaatohetkellä.
- Näiden tietojen avulla voidaan puita luokitella suhteellisen tarkasti ajourilta ja urien välisiltä alueilta kaadetuiksi ja siten laskea lähtö- ja jäävän puuston määrää.



Kuva: Metsäteho Oy

Tutkimuksen tavoite

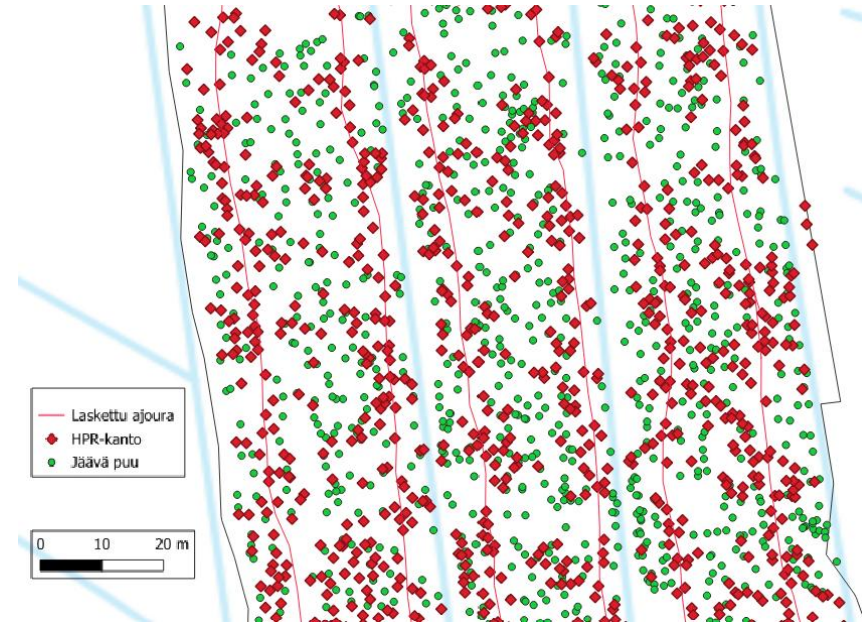
- Haasteena ajourapuiden otantaan perustuvissa menetelmissä on tunnistaa ajourapuut luotettavasti.
 - Otokseen pyritään saamaan puita mahdollisimman leveältä ajouran alueelta, mutta sen tulee kuitenkin olla tarpeeksi suppea, jotta otokseen ei päädy puita ajourien väliseltä alueelta.
- Menetelmän luotettavuuteen vaikuttaa myös ajouran sijoittuminen kuviolla: edustavatko ajouralta kaadetut puut koon, määrän ja puulajien suhteen kuviolle tyypillistä puustoa?

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli tarkastella ensiharvennettavan kuvion lähtöpuuston määrittämistä ajourapuiden otantaan perustuvilla menetelmillä sekä kuvion puuston mahdollisen vaihtelun vaikutusta ajouraotannan määräytymiseen.

- Tutkimuksen ensimmäisessä osiossa ajourapuita poimittiin hakkuukoneen puomin parametrien ja koneen sijainnin perusteella.
- Toisessa osiossa tarkasteltiin, kuinka ajouran sijoittaminen kuviolle vaikuttaa lähtöpuuston määräytymiseen ajourapuiden perusteella. Toisin sanoen, kuinka kuvion puuston sisäinen vaihtelu vaikuttaa lähtöpuuston määräytymiseen.

Maastoaineisto

- Tutkimuksen maastoaineisto kerättiin seitsemältä ensiharvennuskohteelle rajatulta mittausalueelta, joilta mitattiin kaikki kasvamaan jääneet puut.
- Kohteet sijaitsivat Sastamalassa ja Teuvalla, ja mittaukset tehtiin kesällä 2024. Mittausalueiden pinta-alat vaihtelivat 0,7–1,1 hehtaarin välillä.
- Kaikista rinnankorkeuslöpimitaltaan yli 45 mm:n paksuisista jäävistä puista tallennettiin rinnankorkeuslöpimitta, puulaji sekä RTK-korjattu sijainti tarkkuuspaikantimella. Lisäksi mitattiin pituuskoepuita.
- Samoilta mittausalueilta oli myös käytettävissä hpr-tiedostot, joista saatiin tiedot harvennuksessa poistetuista puista.



Kuva 1. Esimerkki maastomittauksista yhdellä mittausalueella. Jäävät puut on kuvattu vihreällä ja kaadetut punaisella ympyrällä. Peruskartta © Maanmittauslaitos.

Läpimittajakaumien muodostus ja vertailu

- Eri poimintamenetelmillä muodostetuista puujoukoista laadittiin **frekvenssijakaumat** 2 cm:n läpimittaluokittain.
- Mittausaluekohtaisesti muodostettiin lähtöpuustoa kuvaavat **referenssijakaumat**, jotka koostuivat maastomitattujen pystypuiden ja harvennuksessa poistettujen puiden (hpr-tiedoston puiden) summasta.
- Poimintamenetelmillä estimoidut frekvenssijakaumat skaalattiin hehtaarikohtaisiksi kyseisen mittausalueen ajouran pinta-alan perusteella. Referenssijakaumat skaalattiin hehtaarikohtaisiksi kyseisen mittausalueen pinta-alan perusteella.
- Poimintamenetelmillä estimoituja frekvenssijakaumia verrattiin referenssijakaumiin Reynoldsin virheindeksiin (engl. Reynolds Error Index, REI, (Reynolds ym. 1988)) avulla.
- Lisäksi menetelmäkohtaista tarkkuutta arvioitiin keskivirheen neliöjuurella koko aineiston yhdistelmän tasolla.

Ajourapuiden poiminta hakkuukoneen puomin parametrien ja koneen sijainnin perusteella

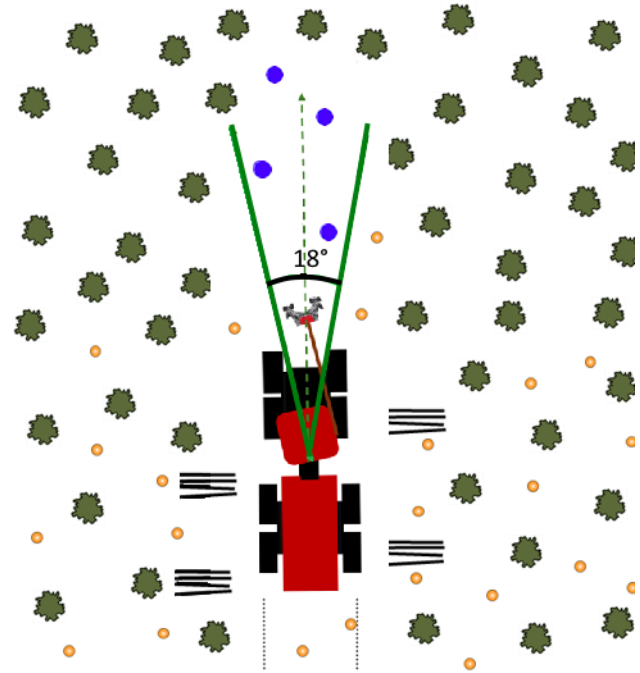


Ajourapuiden poimintamenetelmät

- Ajourapuuotoksia poimittiin hakkuukoneen puomin parametrien ja koneen sijaintien perusteella.
- Puomin parametreihin perustuvat ajourapuiden poiminnot tapahtuvat koneen geometriassa koneen ympärillä ja eivät ole siten sidoksissa globaaliin paikannustarkkuuteen.
 - Puomin kulman sektoriin osuvat puut
 - Puun etäisyys ajouran keskilinjasta
- Vyöhykepoiminta-menetelmässä puiden poiminnassa käytettävä ajouran alue muodostetaan koneen puunkaadon hetken sijaintien perusteella globaalissa koordinaatistossa, jonka jälkeen ajouran geometriselle alueelle osuvat puut poimitaan hpr-tiedoista.

Kulmapoiminta

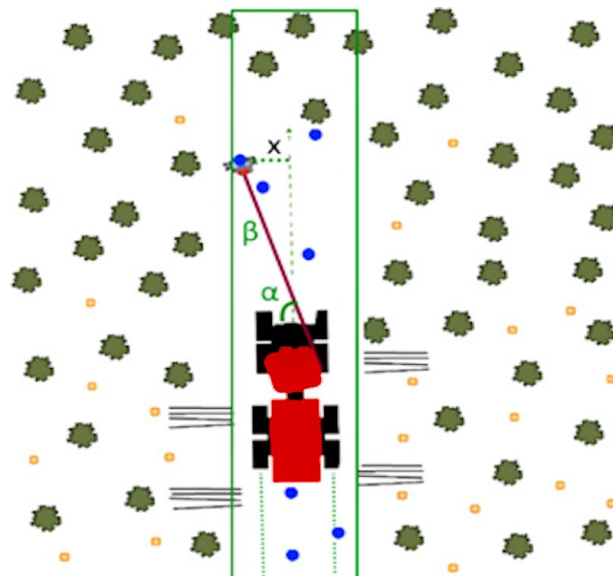
- Tässä ajourapuiden poimintamenetelmässä puu luokitellaan ajourapuuksi, jos puomin kulma-arvo suhteessa koneen etutelin suuntaan on annetun kulmavälin sisällä puunkaatohetkellä.
- Jokaiselle kaadetulle puulle tallentuu puomin kulmatieto puunkaatohetkellä hpr-tiedostoon.
- Laskenta ei ota huomioon koneen etutelin suuntaa suhteessa ajouran yleiseen etenemissuuntaan eikä puomin pituutta.
- Tämä menetelmä on käytössä ruotsalaisten hprGallring-poimintamenetelmässä (Bhuiyan ym. 2016).



Kuva 2. Ajourapuiden kulmapoiminta.

Geometrinen poiminta

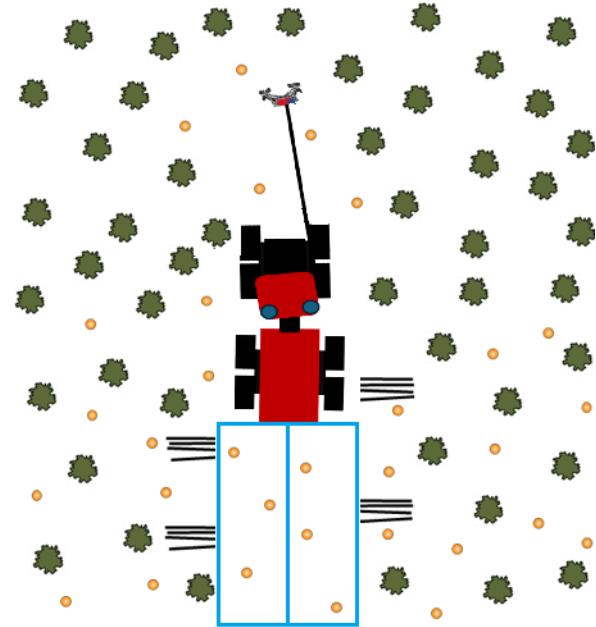
- Tässä ajourapuiden poimintamenetelmässä puut määritetään ajourapuiksi niiden geometrisen sijainnin perusteella: kaadettujen puiden etäisyys lasketaan kohtisuoraan ajouran keskilinjasta, joka määräytyy koneen etutelin suunnan perusteella.
- Ajouran alueelle kuuluviksi katsotaan puut, jotka sijaitsevat määritellyn ajouran leveyden sisäpuolella.
- Menetelmä hyödyntää puomin kulma- ja pituustietoa kaatosahaushetkellä. Poimintaleveytenä käytettiin 3,2 metriä. Kulmatieto on peräisin hpr-aineistosta.
- Laskenta ei huomioi koneen etutelin suuntaa suhteessa ajouran yleiseen etenemissuuntaan kaatohetkellä ts. etuteli voi osoittaa harvennettavalle alueelle päin suhteessa ajouran yleiseen kulkusuuntaan.



Kuva 3. Ajourapuiden geometrinen poiminta.

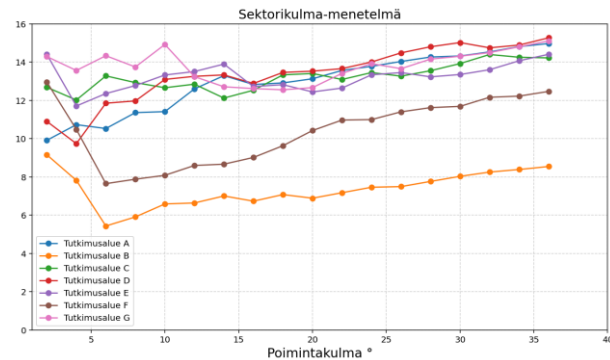
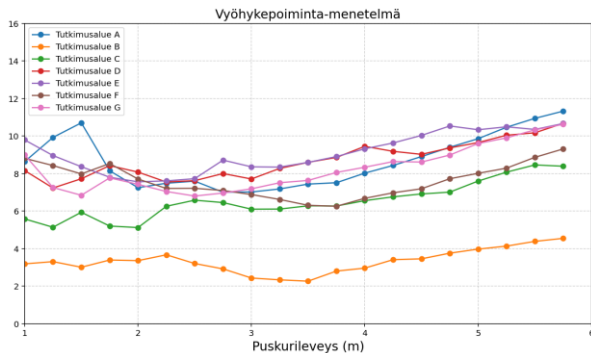
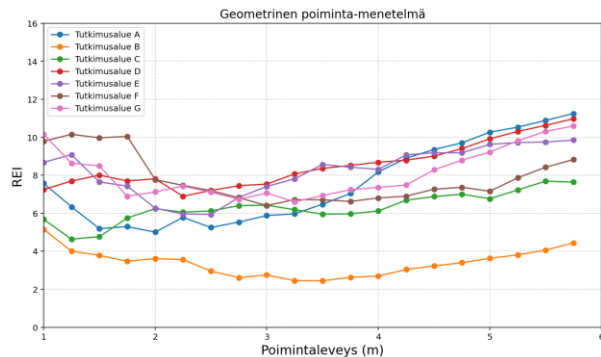
Vyöhykepoiminta

- Tässä poimintamenetelmässä ajourat muodostetaan laskennallisesti hpr-tiedoista saatujen hakkuukoneen puunkaatohetken sijaintien perusteella (Ovaskainen & Riecki, 2022).
- Laskennallisen ajouran keskilinjän molemmille puolille määritetään spatiaalinen vyöhyke. Ajourapuiksi luokitellaan ne puut, joiden globaali sijainti osuu tälle vyöhykkeelle.
- Menetelmän haasteena ovat globaalin koordinaatiston sijaintipoikkeamat.



Kuva 4. Ajourapuiden vyöhykepoiminta.

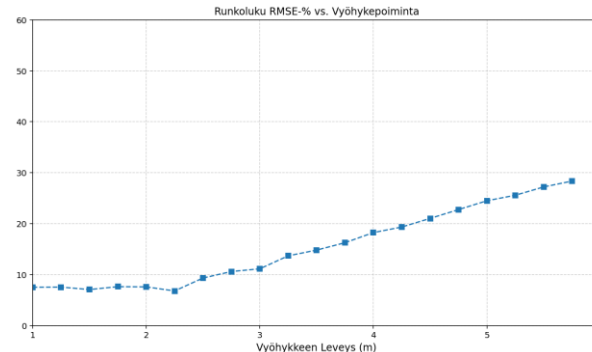
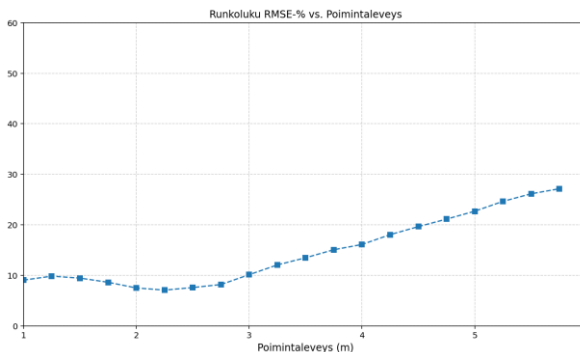
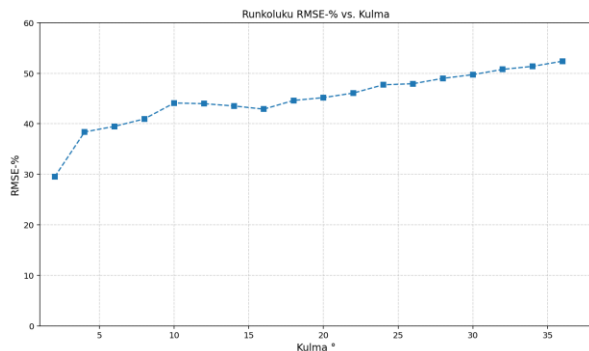
Tuloksia: frekvenssijakaumat vs. referenssijakaumat



- Verrattaessa poimintamenetelmillä tuotettuja frekvenssijakaumia mittaussalueiden referenssijakaumiin Reynoldsin virheindeksi alkoi kasvaa, kun ajourapuuotanta ulottui koneen leveyttä laajemmalle alueelle.
- Kulmapoiminta tuotti selvästi korkeammat REI-arvot kuin geometrinen ja vyöhykepoiminta, eikä aineistossa ollut havaittavissa yksiselitteistä kulmaväliä, johon luotettavin poiminta kohdistuisi.
- Geometrisella ja vyöhykepoiminnalla saavutettiin matalimmat REI-arvot 2–3 metrin poimintaleveydellä
 - Vastaa hyvin modernien harvestereiden leveyttä, mikä on n. 2,5 – 3,2 m riippuen koneen koosta ja telavarustuksesta
 - Yli 3 metrin leveydellä harvennuspuut alkavat vaikuttamaan frekvenssijakaumien puujoukkoihin, mikä näkyy REI-arvojen kohoamisena.



Tuloksia: runkoluvun tarkkuus poimintamenetelmissä, RMSE-%



- Yhdistämällä koko aineisto, runkoluvun suhteellinen RMSE-arvo vahvasti havainnon, että pelkkään puomin kulmaan perustuva ajourapuuotanta oli huomattavan epätarkka menetelmä verrattaessa geometriseen ja vyöhykepoimintaan.
- Sekä geometrinen että vyöhykepoimintaan perustuva menetelmä tuotti parhaimmat estimaatit noin 2,5 metrin poimintaleveydellä.
- Tätä leveämmällä poiminnalla otokseen alkaa tulemaan mukaan ajouran ulkopuolisia runkoja.

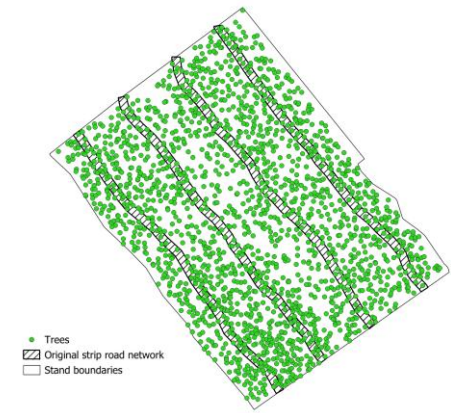
Kuvion puuston rakennevaihtelun vaikutus ajourapuiden poimintaan

Ajourien sijoittamisen ja kuvion puuston vaikutus ajourapuiden poimintaan

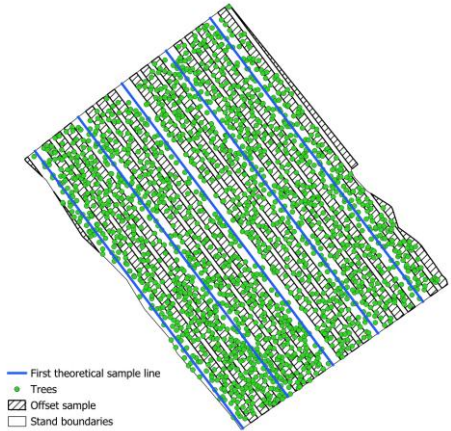
- Metsälaki ja metsänhoitosuositukset luovat viitekehyksen harvennushakkuun suorittamiselle.
- Harvennuskohteen ajouraverkosto suunnitellaan maaston kaltevuuden ja kantavuuden, kuvion muotojen ja annettujen ohjeiden perusteella.
- Hakkuukoneenkuljettaja voi pienissä määrin painottaa ajouralinjauksessa puuston erilaisia kohtia; kuten aukkopaikat, pienirunkoiset kohdat, suurirunkoiset kohdat. Tosin, noin 20 metrin välein sijaitsevat ajourat eivät anna paljoakaan mahdollisuuksia poiketa verkostomaisesta ajourarakenteesta.
 - Ajouraverkoston suuntaamiseen vaikuttavat myös erilaiset esteet, kuten kivet ja ojat, näkyvyys kohteella sekä kuljettajan kokemus ja korjuukaluston ominaisuudet.
- Seuraavan ajourapuiden poiminnan tavoitteena oli tarkastella kuinka puuston vaihtelu kuvion sisällä vaikuttaa ajourapuuotoksen kautta laskettuihin lähtöpuuston tunnuksiin.

Aineisto

- Tarkastelun aineistona käytettiin edellä kuvattuja seitsemää mittausaluetta.
- Lähtöpuustoa kuvaavana **referenssinä** (kts. Kuva 1) käytettiin poistuman ja jäljelle jääneiden puiden summaa kuten edellä.
- Mittausalueille luotiin **laskennalliset ajouraverkostot** (Kuva 5) hpr-tietojen perusteella (Ovaskainen & Riekk, 2022). Molemmille puolille ajouran keskikohtaa tehtiin 1,6 metriä leveä vyöhyke, eli yhteensä 3,2 metriä leveä ajouravyöhyke (Tarvainen 2025). Tämän vyöhykkeen avulla poimittiin ajourapuut ja laskettiin hehtaariohtainen lähtöpuusto.
- Puuston vaihtelun tarkastelemiseksi mittausalueelle luotiin 3,2 metriä leveitä kuvion läpileikkaavia suorakaiteita ajourien suunnassa, joita siirrettiin 19 kertaa yhden metrin verran sivusuunnassa alkuperäiseen sijaintiinsa nähden, jolloin koko mittausalue tuli näytteistetyksi (Kuva 6).
- Näiltä suorakaiteilta poimittiin pystyyn jääneet ja kaadetut puut, joiden summana saatiin lähtöpuusto.
- Poimitut runkojoukot muutettiin hehtaariohtaisiksi ajourien pinta-alojen perusteella.



Kuva 5. Toteutuneet ajouraverkostot koneen sijaintietojen perusteella.



Kuva 6. Mittausalueen näytteistäminen suorakaiteiden avulla. Kuvassa näkyvillä vain 5 metrin välein

Tuloksia: Runkoluku

Mittausalue	Referenssi runkoluku n ha ⁻¹	Toteutuneen ajouran perusteella laskettu runkoluku n ha ⁻¹	Siirrettyjen ajourien runkolukujen keskiarvo n ha ⁻¹	Siirrettyjen ajourien runkolukujen keskihajonta n ha ⁻¹	Siirrettyjen ajourien runkoluku min-max n ha ⁻¹
A	1718	1525	1714	82	1537 - 1817
B	1250	1199	1253	73	1152 - 1400
C	1717	1534	1649	72	1548 - 1828
D	1654	1524	1649	73	1438 - 1776
E	1404	1288	1414	74	1289 - 1528
F	1435	1328	1443	105	1218 - 1604
G	1835	1699	1846	116	1661 - 2080

- Referenssirunkoluku mittausalueiden välillä vaihteli 1250–1835 runkoon hehtaarilla
- Toteutuneen ajouran vyöhykkeen perusteella laskettu hehtaariohtainen runkoluku oli kolmella kohteella aliarvio ja neljällä kohteella lähellä referenssiä
- Sivusiirrettyjen ajourien runkolukumäärien keskiarvot eivät poikenneet merkittävästi referenssistä
 - Keskihajonta oli suhteellisen suuri kohteilla F ja G, mikä kertoo puuston vaihtelusta kuvion sisällä

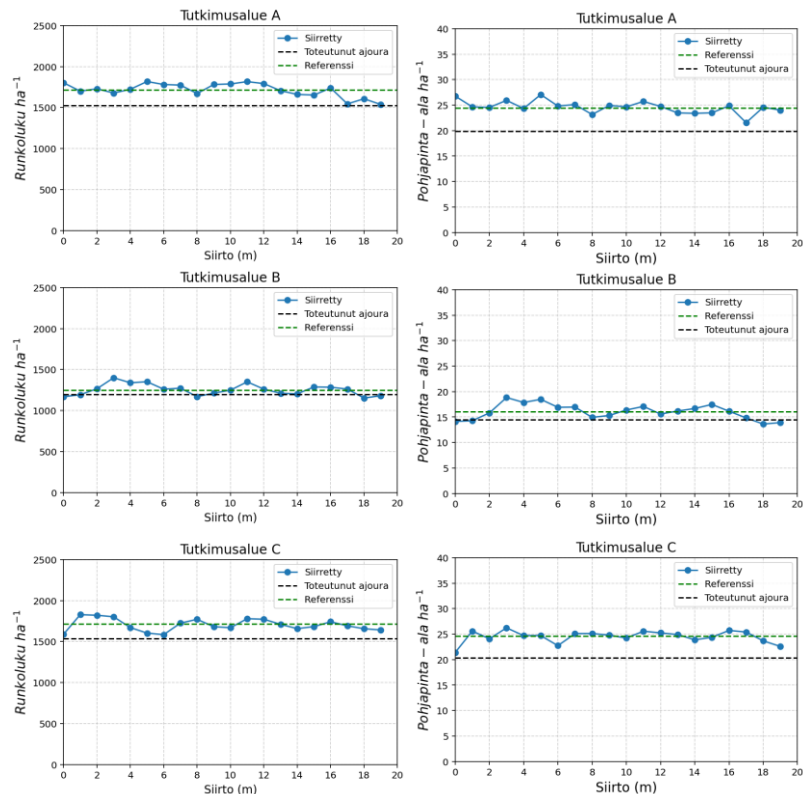


Tuloksia: Pohjapinta-ala

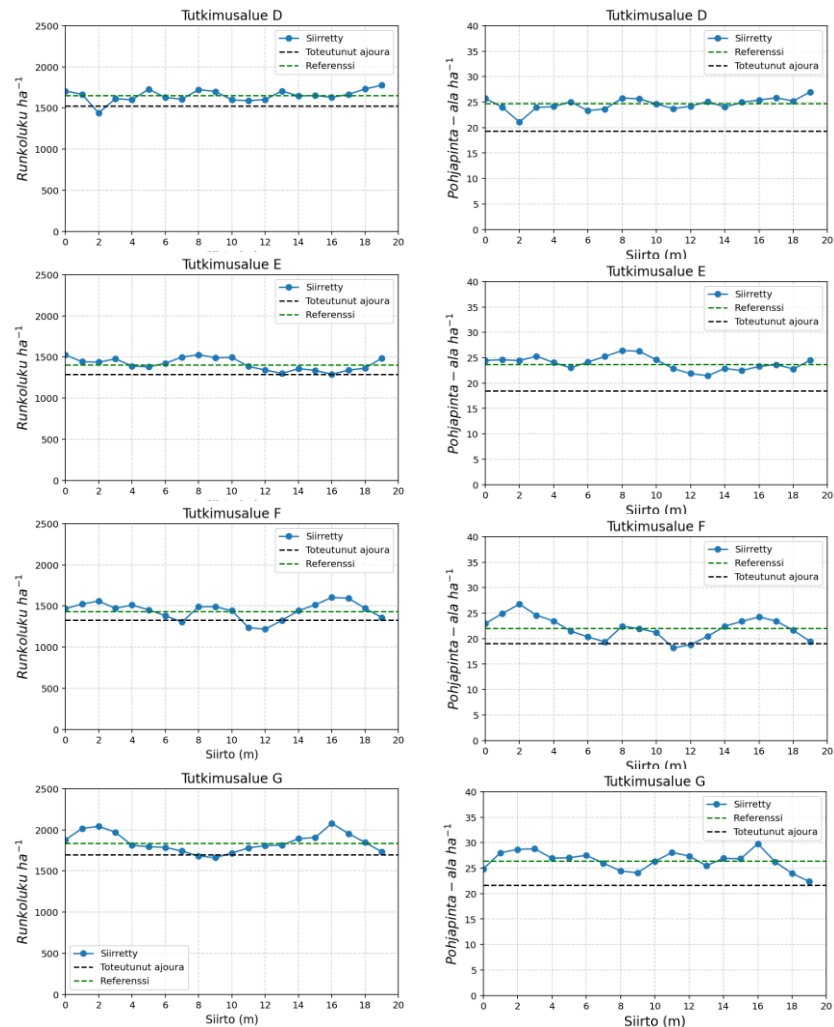
Tutkimusalue	Referenssi pohjapinta-ala m ² ha ⁻¹	Alkuperäisen ajouranperusteella laskettu pohjapinta-ala m ² ha ⁻¹	Siirrettyjen ajourien pohjapinta-alojen keskiarvo m ² ha ⁻¹	Siirrettyjen ajourien pohjapinta-alojen keskihajonta m ² ha ⁻¹	Siirrettyjen ajourien pohjapinta-alojen min-max m ² ha ⁻¹
A	24.5	19.8	24.7	1.2	21.5 – 27.1
B	16.1	14.5	16.1	1.5	13.6 – 18.8
C	24.7	20.4	24.5	1.7	21.4 – 26.2
D	24.7	19.3	24.6	1.2	21.1 – 27.0
E	23.7	18.5	23.9	1.3	21.4 – 26.4
F	22.0	19.0	22.1	2.2	18.2 – 26.8
G	26.4	21.7	26.5	1.8	22.4 – 29.8

- Referenssipuuston pohjapinta-ala vaihteli hieman enemmän kuin runkoluku, mutta saman suuntaisesti.
- Toteutuneen ajouran perusteella laskettu ppa oli selvästi matalampi kuin referenssin tai siirrettyjen ajourien keskiarvo
- Siirrettyjen uraotosten keskihajonta oli, alue F:ää lukuunottamatta, alle 2 m²/ha, mutta Min-max arvojen vaihteluväli oli voimakasta kaikilla tutkimusalueilla.

Tuloksia



Kuvat esittävät mittaussalueiden runkolukujen ja pohjapinta-alojen vaihtelua, kun suorakaideotantaa siirretään metri kerrallaan sivulle ja sillä poimitaan uusi otos runkoja, jonka perusteella lähtöpuusto määritetään.



Yhteenveto



Tulosten tarkastelu ajourapuiden poiminnasta

- Pelkkään puomin kulmatietoon perustuva ajourapuiden poiminta ottaa ajourapuuotokseen liikaa uralle kuulumattomia puita, mikä tuottaa harhaa laskentaan.
- Ajourapuiden poimintamenetelmistä geometrinen ja vyöhykepoiminta ovat tarkempia menetelmiä lähtö- ja jäävän puuston määrittämiseen ensiharvennuksilla.
- Vyöhykepoiminta edellyttää tarkkaa paikannusta, ja tulokseen vaikuttaa myös laskennallisesti tuotetun ajouran sijoittuminen.
- Geometrinen poiminta ei ole alisteinen paikannuksen tarkkuudelle, vaan toimii suhteessa koneen sijaintiin. Menetelmä edellyttää puomin anturointia, jotta puomin kulma ja pituus saadaan käyttöön puunkaatohetkellä. Menetelmän tarkkuutta voidaan mahdollisesti kasvattaa nykyisestään huomioimalla ajouran yleinen kulkusuunta suhteessa koneen etutelin suuntaan puunkaatohetkellä.

Tulosten tarkastelu puuston vaihtelusta

- Toteutuneen ajouran tiheys sekä pohjapinta-ala oli aliarvio kaikilla tutkimusalueilla
 - Kun verrataan toteutuneen ajouran tiheyttä ja pohjapinta-alaa kuvion vaihteluväleihin, on toteutuneen ajouran perusteella laskettu otos lähes aina alarajalla ja pohjapinta-alan osalta jopa alle
 - Aineistoa oli vain seitsemältä kuviolta, joten pitkälle meneviä päätelmiä kuljettajan, maastonmuotojen tai muun tekijän vaikutusta otokseen, ei voida tämän perusteella tehdä
- Suurimmalla osalla mittausalueista ajouran siirtämisellä ei ollut merkittävää vaikutusta puuston tiheyteen, mutta pohjapinta-alaan otanta vaikuttaa.
 - Kahdella mittausalueella F ja G runkoluvun vaihtelua oli havaittavissa. Tämä voi johtua esimerkiksi ojalinjan tai jonkun muun avoimen linjan osumisesta mittauskaistaleelle.
 - Pohjapinta-alan vaihtelu oli suurta, mutta keskihajonta oli kuitenkin alle $2 \text{ m}^2/\text{ha}$, mikä vastaa n. 10 % virhettä kuviotasolla.

Pohdinta

- Hakkuukoneilta saatavan tiedon perusteella voidaan ensiharvennuksilla muodostaa varsin luotettava estimaatti kuvion lähtöpuustosta.
- Puomin geometriaan perustuvat menetelmät tarjoavat lähtökohtaisesti tarkemman paikannuksen, koska ne eivät ole riippuvaisia globaalista paikannustarkkuudesta ja toimivat ilman RTK-korjausta.
- Näiden menetelmien hyödyntäminen edellyttää kuitenkin puomin kattavaa anturointia, joka on vasta vähitellen yleistymässä hakkuukoneissa, sekä jälkilaskentaa varten puomin parametrien sisällyttämistä hpr-tiedostoon.
- Ajourapuihin perustuvat laskentamenetelmät soveltuvat vain silloin, kun puustoon avataan uusia ajouria eli useimmiten ensiharvennuksilla.
- Myöhemmillä harvennuksilla käytetään korjuussa useimmiten jo olemassa olevia ajouria, jolloin lähtöpuusto saadaan metsävaratiedoista, jotka on voitu tuottaa maastomittauksin tai kaukokartoittamalla. Tästä voidaan vähentää korjatun puuston määrä ja päästä jäävän puuston tilaan.

Kirjallisuutta

- Arponen M-S, Riekkä K, Ovaskainen H, Malinen J (2025) Automaattinen ajouraverkostojen laadunseuranta AATU – menetelmän pilotointi. Metsätehon tulosalvosarja 3/2025. <https://www.metsateho.fi/automaattinen-ajouraverkostojen-laadunseuranta-aatu-menetelman-pilotointi/>.
- Bhuiyan N, Möller J, Hannrup B & Arlinger J (2016) Automatisk gallringsuppföljning. Arealberäkning samt registrering av kransvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. Arbetsrapport från Skogforsk nr. 899-2016. 52 s. <https://www.skogforsk.se/contentassets/6eda4307138347648171f87e3d9a3885/automatisk-gallringsuppfoljning-arealberakning-samt-registrering-av-kransvinkel-for-identifiering-av-sticktrad-och-berakning-av-gallringskvot-arbetsrapport-899-2016.pdf>
- Hannrup B, Bhuiyan N & Möller J (2011) Utvärdering av ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register och planeringssystem. Arbetsrapport 757/2011. Skogforsk. 72 s.
- Hannrup B & Möller J (2022) Positionering av enskilda träd vid avverkning med skördare - ARBETS RAPPORT 1111–2022. Saatavissa: <https://www.mistradigital.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2022/03/arbetsrapport-1111-2022.pdf>
- Melkas T & Riekkä K (2017) Puiden paikannustarkkuus hakkuukoneen tallennettuun sijaintiin ja kouran antuointiin perustuen – laskennallinen algoritmi kouran sijainnin tarkentamiseksi. Saatavissa: [Puiden paikannustarkkuus hakkuukoneen \(metsateho.fi\)](https://www.metsateho.fi/puiden-paikannustarkkuus-hakkuukoneen)
- Melkas T, Riekkä K, Sorsa J-A (2020) Automated Method for Delineating Harvested Stands Based on Harvester Location Data. Remote Sens. 2020, 12(17), 2754. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/rs12172754>.
- Nietula J (2024) Hakkuukoneen tarkkuuspaikannuksen tarkkuuteen vaikuttavat tekijät. Opinnäytetyö, Metsätaloustieteiden tutkimuskeskus, Lapin amk. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/869714>.
- 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. For. Sci. 34(2): 373–399.
- Riekkä K & Malinen J (2022a) Poistumakuviointi hakkuulaitteen sijaintitiedosta. Metsätehon tulosalvosarja 8/2022. <https://www.metsateho.fi/poistumakuviointi-hakkuulaitteen-sijaintitiedosta/>.
- Riekkä K & Malinen J (2022b) Suojavyöhykkeiden leveyden laskennallinen määrittäminen hakkuukonetiedosta. Metsätehon tulosalvosarja 9/2022. <https://www.metsateho.fi/suojavyohykkeiden-leveyden-laskennallinen-maaritminen-hakkuukonetiedosta/>.
- Riekkä K, Strandström M, Malinen J, Sorsa J-A (2023) Luontokohteiden säilymisen automaattinen todentaminen hakkuukonetiedosta. Metsätehon tulosalvosarja 3/2023. <https://www.metsateho.fi/luontokohteiden-sailyksen-automaattinen-todentaminen-hakkuukonetiedosta/>.
- Räsänen T (2024) Hakkuukoneen erikoismerkintäkoodien suositus. Metsätehon tulosalvosarja 7/2024. Saatavissa: <https://www.metsateho.fi/runkojen-erikoismerkintakoodit/>.
- Skogforsk (2025) StanForD/StanForD 2010 Standard for Forest Machine Data and Communication. Saatavissa: [StanForD - Skogforsk - Forestry Research Institute of Sweden](https://www.skogforsk.se/StanForD-2010-Standard-for-Forest-Machine-Data-and-Communication)
- Taipale E, Riekkä K, Melkas T, Malinen J (2022) Hakkuupään sijaintitiedon tarkkuus. Metsätehon tulosalvosarja 1/2022. Saatavissa: <https://www.metsateho.fi/hakkuupaan-sijaintitiedon-tarkkuus/>.
- Tarvainen R, Riekkä K, Ovaskainen H, Poikela A, Kärhä K, Malinen J (2025) Utilizing harvester data to estimate growing stock after first thinning operation. Manuscript, to be submitted.
- Ylä-Pöntinen J (2025) Hakkuukoneen paikannuksen tarkkuus ja ajourapuuston hyödyntäminen lähtöpuuston määrittämisessä. Pro gradu -työ, Luonnontieteiden, metsätieteiden ja tekniikan tiedekunta, Metsätieteiden osasto, Itä-Suomen yliopisto. Saatavissa: <https://erepo.uef.fi/server/api/core/bitstreams/6638eac7-e348-416a-8559-a40ba157bcc8/content>



Kestävän metsätalouden todentaminen ja menetelmät - KESTOTÄSMÄ

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



Euroopan unionin rahoittama –
NextGenerationEU