

Hakkuukoneen paikannuksen tarkkuus ja ajourapuuston hyödyntäminen lähtöpuuston määrittämisessä

Metsätehon tulosalvosarja 6/2025

Juho Ylä-Pöntinen¹, Heikki Ovaskainen², Riku Tarvainen², Kirsi Riekk²,

Timo Melkas², Kalle Kärhä¹, Jukka Malinen²

Itä-Suomen yliopisto¹

Metsäteho Oy²

Tiivistelmä

- Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka tarkasti tarkkuuspaikannetulla Komatsu 901XC-6 -hakkuukoneella saadaan määritettyä kaadetun puun sijainti. Lisäksi tutkittiin hakkuukonetietoon perustuvaa ajourapuiden tunnistamista ja metsikön puuston lähtötilavuuden laskentaa.
- Keskimääräinen sijaintipoikkeama hakkuukone- ja referenssiaineiston välillä oli 0,54 metriä.
- Ajourapuustosta johdetussa lähtöpuuston määrässä havaittiin vaihtelua, mutta periaatteessa menetelmä toimi. Menetelmän tarkkuus kasvaa, kun puusto, maasto, ajouraverkosto ja kuvion muoto sisältävät vähemmän vaihtelua.
- Noin puolen metrin sijaintitarkkuutta voidaan pitää hyvänä tasona ajourapuiden tunnistamisessa hakkuukonetiedosta ja kuljettajan avustamisessa hakkuutyön aikana. Tarkkuuden kasvattaminen avaa uusia mahdollisuuksia hakkuukoneella metsässä työskentelyyn.

Summary

- The aim of this study was to determine how accurately the location of a felled tree can be identified using the precision-positioned Komatsu 901XC-6 harvester. Additionally, the study examined the identification of strip road trees based on harvester data and the calculation of the initial total tree volume.
- The average position difference between the harvester and reference data was 0.54 meters.
- Variation was observed in the number of initial trees derived from the strip road trees, but in principle, the method worked. The accuracy of the method improves when the forest stand, terrain, strip road network, and stand shape contain less variation.
- A positioning accuracy of approximately half a meter can be considered a good level for identifying strip road trees from harvester data and assisting the harvester operator during cutting.

Työn taustaa

- Hakkuukoneiden keräämän sijaintitiedon tarkkuus ja sen kasvattaminen ovat keskeisiä kehityskohteita automaattisen tiedonkeruun laajentamisessa ja hyödyntämisessä puunhankinnassa.
- Tarkan paikannuksen avulla voidaan aiempaa luotettavammin ja monipuolisemmin mm.
 - tarkentaa puunkorjuun suunnittelua,
 - tehostaa puunkorjuuprosessia,
 - parantaa ympäristövaikutusten hallintaa ja
 - kerätä metsävaratietoa.
- Kaiken kaikkiaan tarkka paikannus tukee kestäväää metsänhoitoa ja mahdollistaa entistä tehokkaamman resurssien käytön metsätaloudessa.



Komatsu 901XC-6 -hakkuukone.

Kuva: Komatsu

Hakkuukoneen ja -laitteen tarkemman sijaintitiedon hyödyntämismahdollisuuksia

- Puunkorjuun aikana:
 - Hakkuupoistuman ja jäävän puuston estimointi kuljettajan avuksi ajourapuiden tunnistuksen perusteella (Tarvainen ym. 2025).
 - Kasojen paikkatiedon tallentaminen metsäkuljetuksen suunnittelua varten.
 - StemCode-merkintöjen käyttö (Räsänen 2024) mm.:
 - Säästöpuuryhmien ym. käsittelemättömien alueiden sijaintitiedon tallentamiseen.
 - Poistettujen runkojen määrän ja sijaintien todentamiseen vesistöjen suojavaöhykkeiltä, tai vaurioituneiden runkojen merkitsemiseen.
 - Tulevaisuudessa myös ajouraleveyden työnaikainen seuranta voi olla mahdollista.
- Korjuun jälkeen:
 - Korjuualueen rajojen muodostaminen hakkuukoneen tai -laitteen sijainneista (Melkas ym. 2020, Riekkä & Malinen 2022a).
 - Toteutuneen ajouraverkoston tuottaminen hakkuukoneen sijainneista ja ajouraverkoston laatutunnusten automaattinen seuranta (Ovaskainen & Riekkä 2022, Arponen ym. 2025).
 - Luontokohteiden ym. erityiskohteiden säilymisen todentaminen (Riekkä ym. 2023).
 - Vesistöjen suojavaöhykkeiden määrittäminen (Riekkä & Malinen 2022b).
 - Poistumatiedon hyödyntäminen kaukokartoituksen referenssiaineistona.
 - Metsävaratietojen päivittäminen sekä aluetason että jatkossa myös yksinpuintulkittuun tietoon.

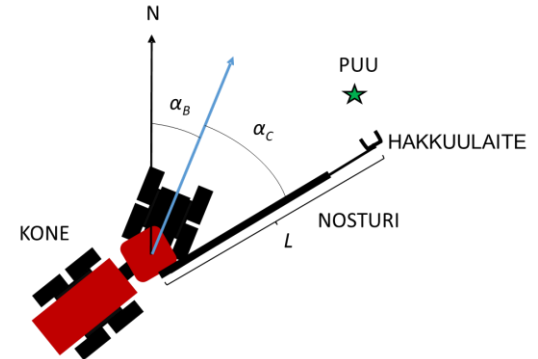


Metsäkoneen paikantamisesta

- Metsäkoneissa on ollut paikannuslaitteita jo vuosikymmenten ajan ja alkuvaiheessa niiden tarkkuus rajoittui kymmeniin metreihin. Nykyiset perus-GNSS-paikantimet tarjoavat 3–10 metrin tarkkuuden.
- Sijaintitiedon avulla voidaan seurata koneen liikkeitä ja vähentää epäselvyyksiä rajalinjojen sijainneista.
- Tavoitteena on ollut saada tieto hakkuulaitteen sijainnista. Sen avulla voidaan tarkastella toimintoja entistä tarkemmalla operatiivisella tasolla.
- Koneen nosturi on varustettu antureilla, jotka mittaavat ja tallentavat nosturin pituustiedon puun kaatohetkellä eli hakkuulaitteen etäisyyden koneesta. Tämä tieto tallennetaan hpr-tiedostoon. Lisäksi tallennetaan koneen koordinaatit ja nosturin kulmatiedot suhteessa karttapohjoiseen.
- Viime aikainen reaaliaikaisen satelliittipaikannuksen korjauksen (Real Time Kinematic, RTK) käyttöönotto metsäkoneissa on nostanut paikannustarkkuuden metrien tasolta desimetritasolle, mikä parantaa merkittävästi koneiden sijaintitiedon tarkkuutta ja hyödyntämismahdollisuuksia.



Kuva: Komatsu



Geoaitaamisen mahdollistaminen

- Paikannustarkkuuden kasvattaminen mahdollistaa geoaitaamisen, jolla on mahdollista piirtää digitaalisia rajoja työalueen ympärille tai esimerkiksi merkitä suoja-alue kohdetta suunniteltaessa.



Kuva: Komatsu

<https://www.komatsuforest.fi/media/uutiset/the-precision-solution-grows-with-smart-benefits>

Aiempia tutkimuksia paikannustarkkuudesta

- Hakkuukoneen ja -laitteen sijaintitiedon tarkkuudesta on tehty tutkimuksia vuosien saatossa.
- Tulokseen on vaikuttanut eniten se, kuinka tarkka paikannuslaite koneessa on ollut ja kuinka kattavasti koneen nosturi on ollut anturoituna hakkuulaitteen sijainnin määrittämiseksi suhteessa koneeseen.
- Melkkaan ja Riekin tutkimuksessa (2017) keskimääräinen sijaintitarkkuus poistetulle puulle oli pienillä tutkimusalueilla 4,9 metriä, kun hakkuukoneessa oli perustason GNSS-vastaanotin ja nosturin jatkeen pituutta ei huomioitu.
- Taipaleen ym. (2022) työssä kaadetun puun sijaintitarkkuus oli 3,9 metriä perustason GNSS-paikantimella laajemmilla hakkuukohteilla, mutta vastaavalla hakkuukoneella kuin Melkkaan ja Riekin (2017) työssä.
 - Hyvissä paikannusolosuhteissa saavutettiin noin 3 metrin sijaintitarkkuus.
- Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa (Hannrup & Möller 2022) kaadetun puun sijainnin keskitarkkuus oli 0,56 metriä. Kyseisessä tutkimuksessa oli vastaavanlainen tarkkuuspaikannettu hakkuukone, laitteisto ja ohjelmisto kuin tässä tutkimuksessa.

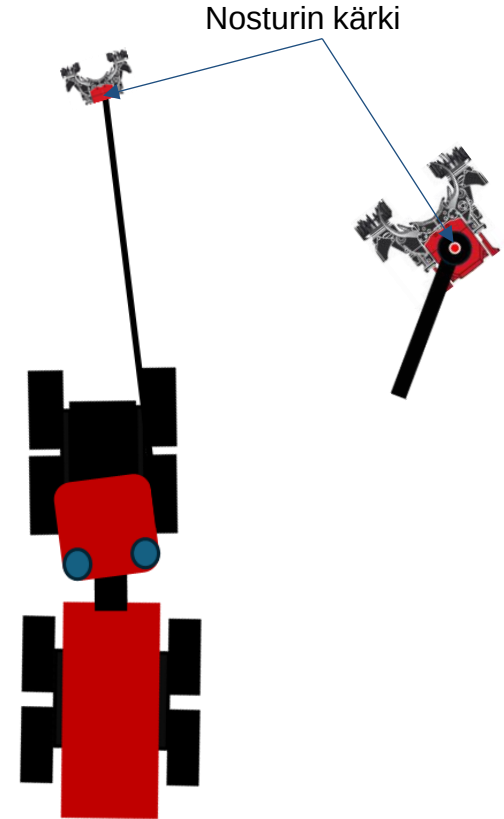


Komatsu 901XC-6 -hakkuukone.

Kuva: Komatsu

Tutkimuksen tavoitteet

- Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, kuinka tarkasti tarkkuuspaikannetulla Komatsu 901XC-6 -hakkuukoneella saadaan kaadetun puun sijainti määritettyä?
 - Käytännössä konevalmistaja kuvaa kaadetun puun sijaintia nosturin kärjen sijainnilla puun kaatosahaushetkellä.
 - Sijaintitieto on saatu hakkuukoneen tallentamasta hpr-tiedostosta (Skogforsk 2025) koordinaatteina.
- Lisäksi tutkittiin hpr-tietojen avulla tehtävää ajourapuiden tunnistamista
 - Mikä on puiden maksimipoimintaleveys ajouralla ajourapuiden valinnassa hpr-tiedoista?
 - Kuinka ajourapuiden poimintaleveys vaikuttaa ajourapuustosta laskettuun koko puuston hehtaarikohtaiseen tilavuusarvioon?
- Juho Ylä-Pöntinen on laatinut tämän tutkimuksen pohjalta pro gradu -työn Itä-Suomen yliopistoon (Ylä-Pöntinen 2025).



Aineisto

- Tutkimuksen maastomittaukset suoritettiin 5/2024–6/2024 ajanjaksolla Sastamalassa Pirkanmaalla ja Teuvalla Etelä-Pohjanmaalla.
- Aineisto sisälsi seitsemän noin 1 ha:n suuruista mittausaluetta.
- Mittausalueilla mitattiin harvennettujen puiden kantojen läpimitat ja sijainnit sekä määritettiin puulajit.
 - Paikantamisessa käytettiin Trimble R12i -GNSS-tarkkuuspaikanninta.
- Mitattiin yhteensä 4 271 kantoa.
- Mittausalueiden puustotunnukset ja puulajisuhteet esitetään seuraavalla dialla.

Maastomitattujen kantojen lukumäärät puulajeittain mittausalueilta ja mittausalojen koot.

Mittausalue	Mänty, kpl	Kuusi, kpl	Koivu, kpl	Puulajit yhteensä	Mittausala, ha
Mittausalue 1	203	250	193	646	1,0
Mittausalue 2	520	0	2	522	1,2
Mittausalue 3	425	74	20	519	0,9
Mittausalue 4	291	146	122	559	1,2
Mittausalue 5	356	94	121	571	0,7
Mittausalue 6	607	67	39	713	0,8
Mittausalue 7	546	99	96	741	1,0
Yhteensä	2 948	730	593	4 271	6,8



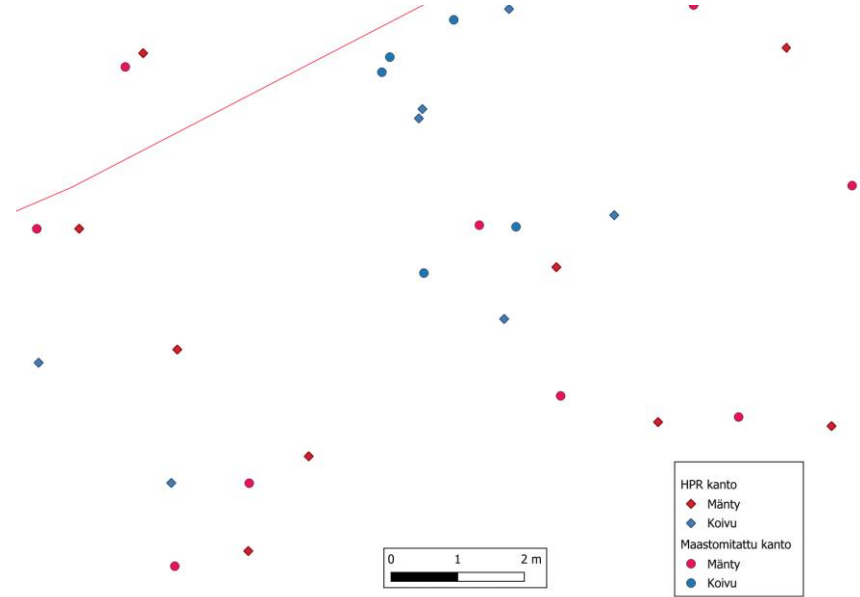
Hpr-tiedoista laskettuja puustotunnuksia mittausalueilta

Mittausalue	Poistuma, m3	Poistuma, m3/ha	Runkoja, kpl/alue	Runkoja, kpl/ha	Puulajisuhteet, hpr-data	Hakkuun aloitusajankohta
Mittausalue 1	86,2	82,6	1033	989,6	Mänty 26,1 %	Tammikuu 2024
					Kuusi 41,3 %	
					Koivu 32,6 %	
Mittausalue 2	55,3	47,4	899	770,5	Mänty 99,8 %	Tammikuu 2024
					Kuusi 0 %	
					Koivu 0,2 %	
Mittausalue 3	56,8	65,2	620	710,6	Mänty 85 %	Helmikuu 2024
					Kuusi 11,8	
					Koivu 3,2 %	
Mittausalue 4	69,0	58,3	891	753,2	Mänty 49,1 %	Helmikuu 2024
					Kuusi 24,7 %	
					Koivu 26,2 %	
Mittausalue 5	41,3	62,7	651	987,9	Mänty 59,9 %	Helmikuu 2024
					Kuusi 20,8 %	
					Koivu 19,3 %	
Mittausalue 6	64,2	82,0	813	1037,6	Mänty 86,3 %	Helmikuu 2024
					Kuusi 8,9 %	
					Koivu 4,8 %	
Mittausalue 7	72,7	71,9	1039	1027,8	Mänty 72,3 %	Huhtikuu 2024
					Kuusi 13,5 %	
					Koivu 14,2 %	



Aineiston käsittely

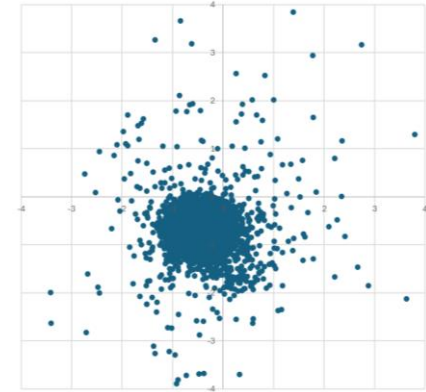
- Kantojen sijaintien yhdistäminen hakkuukoneen tallentamiin harvennettujen puiden sijaintitietoihin toteutettiin QGIS-ohjelmassa siihen tarkoitukseen laaditun Python-ohjelmakoodin avulla.
- Automaattisessa yhdistämisessä osa kannoista yhdistyi virheellisesti väärään vastinpariin tai jäi yhdistymättä, joten aineiston lopullinen tarkistus ja tarvittavat korjaukset tehtiin manuaalisesti.
- Kuvassa salmiakkikuviot edustavat hpr-tiedoista määritettyjä kantojen sijainteja ja ympyrät maastossa paikannettuja kantoja. Männyt on kuvattu punaisella ja koivut sinisellä värillä.



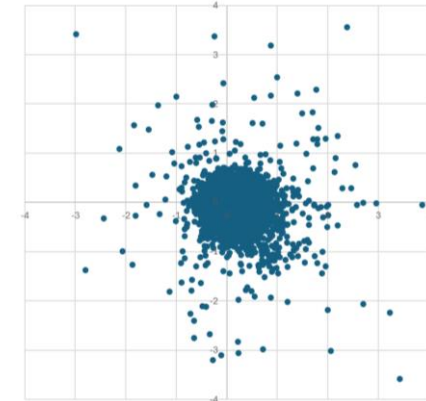
QGIS-ohjelman näkymä.

Koordinaatistojen eron korjaaminen

- Aineiston käsittelyvaiheessa havaittiin systemaattinen ero maastomittauksissa ja hakkuulaitteen sijainneissa, mikä johtui eri koordinaattijärjestelmien käytöstä.
- Hakkuukoneen sijainnit oli tallennettu StanForD-standardin (Skogforsk 2025) mukaisesti maailmanlaajuiseen WGS84-koordinaattijärjestelmään, kun taas tarkkuuspaikantimella kerätty referenssidata oli tallennettu Suomen paikalliseen EUREF-FIN (ETRS89) -järjestelmään. Tämä koordinaatisto on sidottu WGS84-järjestelmään vuoden 1989 mukaisessa tilanteessa.
 - Maanmittauslaitoksen (2025) mukaan Euraasian mannerlaatta, johon Suomen EUREF-FIN-koordinaatisto on kiinnitetty, liikkuu koilliseen noin 2,5 cm vuodessa. Tästä johtuen referenssiaineiston sijainteja korjattiin siirtämällä niitä 87,5 cm, jotta ne vastaavat 35 vuoden aikana (1989–2024) tapahtunutta mannerlaatan liikettä.
- Korjauksen jälkeen voitiin tarkastella varsinaista paikannustarkkuutta.



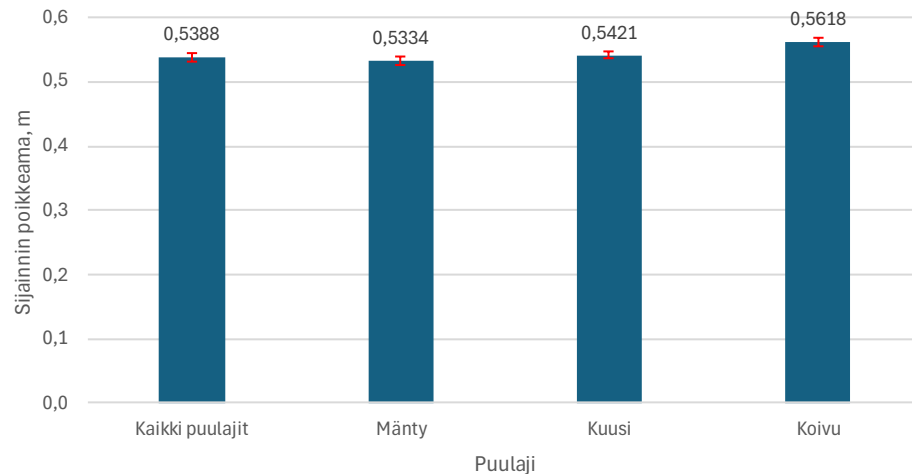
Ennen korjausta, m



Korjauksen jälkeen, m

Tulokset – sijaintiero puulajeittain

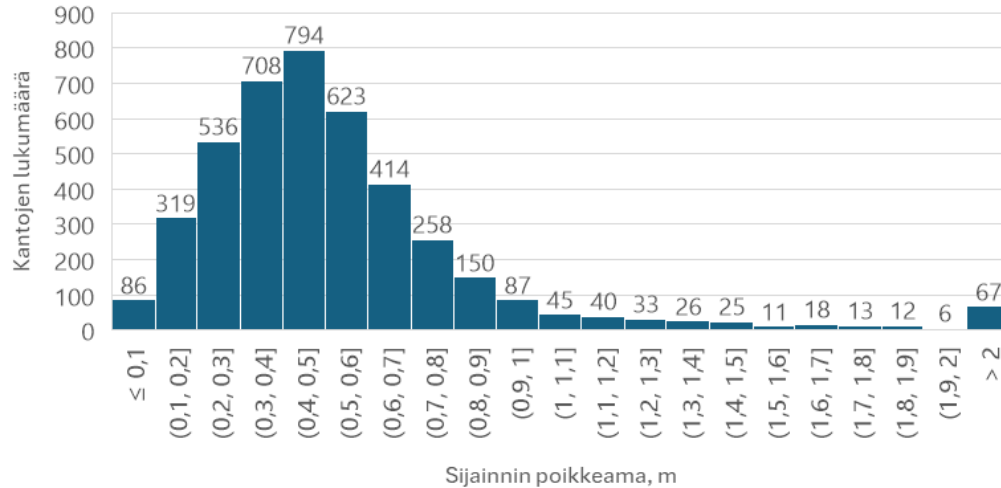
- Koko aineistossa sijainnin keskimääräinen ero hakkuulaitteen ja maastomittauksen välillä oli **0,54** metriä.
- Puulajeittaiset tulokset poikkesivat toisistaan vain vähän. Suurin tarkkuus oli männyillä ja heikoin koivuilla. Näiden välinen ero oli 2,8 senttimetriä.
 - Puulajien väliset sijaintierot eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi toisistaan.



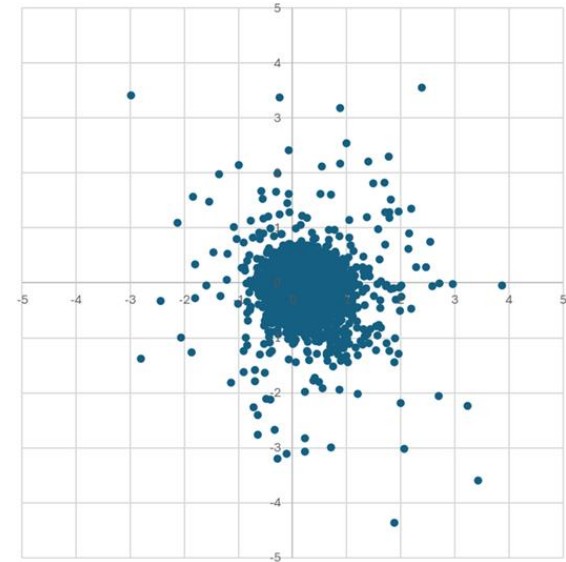
Sijainnin keskimääräiset poikkeamat puulajeittain referenssiaineiston ja hpr-tietojen välillä.

Sijainnin poikkeama, koko aineisto

Kantojen sijainnin poikkeamat koko aineistolle



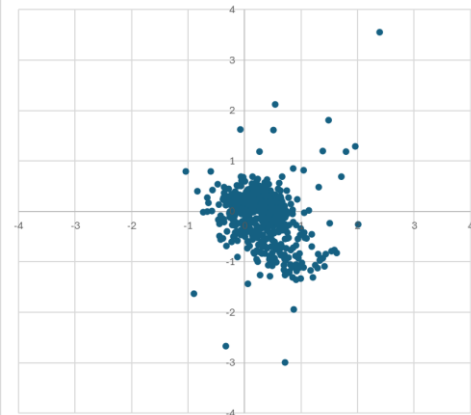
Sijainnin poikkeaman keskiarvo koko aineistossa oli 0,54 m ja keskihajonta 0,41 m.



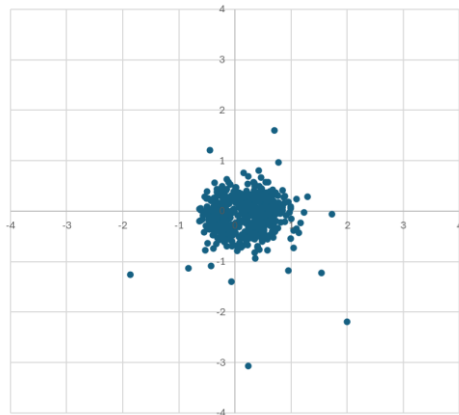
Kuvaajassa origo kuvaa hakkuukoneen paikantamaa sijaintia kannolle ja pisteet tutkimuksessa mitattujen kantojen sijainteja maastossa. Yksikkönä on metri.

Kantojen etäisyys hakkuulaitteesta mittaalueittain

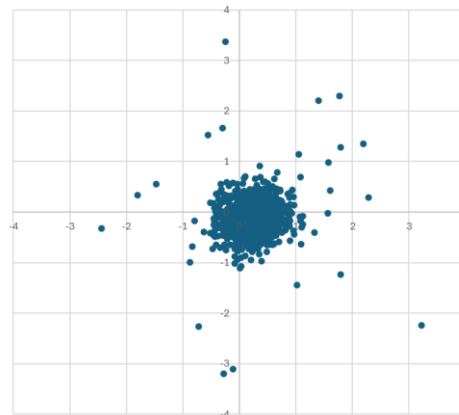
Mittaalue 1



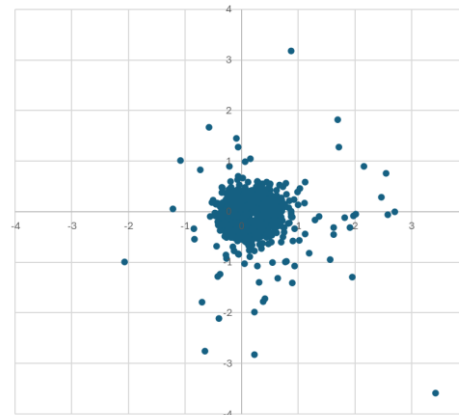
Mittaalue 2



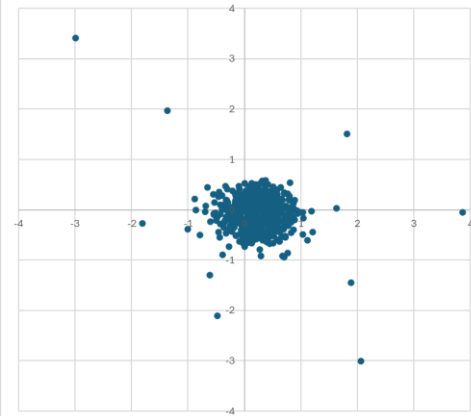
Mittaalue 3



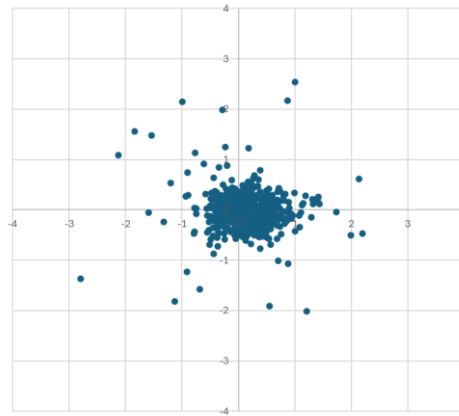
Mittaalue 4



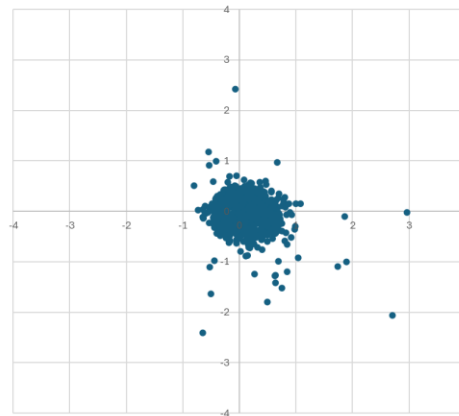
Mittaalue 5



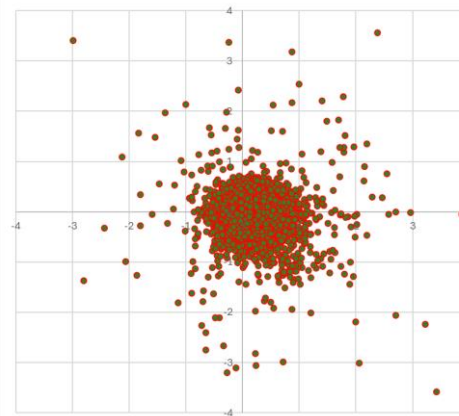
Mittaalue 6



Mittaalue 7

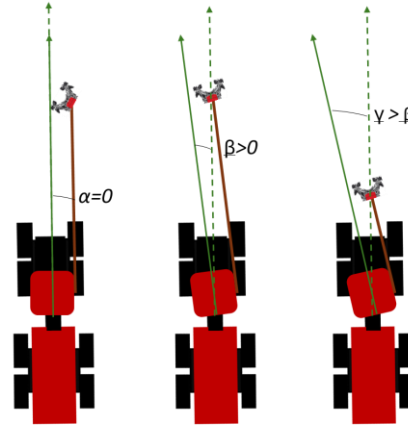


Kaikki mittaalueet samassa

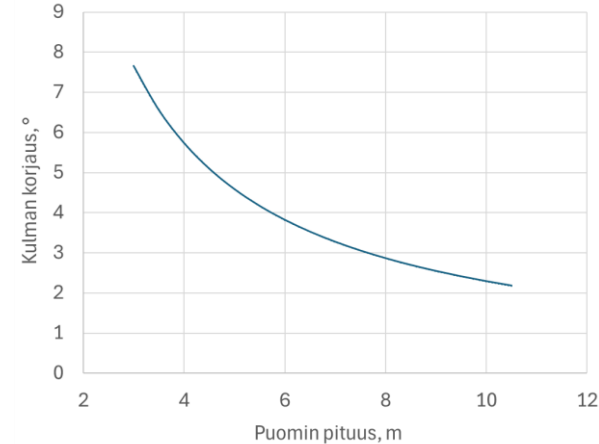


Puun ottoetäisyyden vaikutus puun ottokulmaan

- Komatsu-hakkuukoneessa nosturi sijaitsee hytin sivulla, jolloin puun ottokulma muuttuu puun ottoetäisyyden eli nosturin pituuden suhteen.
- Puun ottokulmaa korjattiin geometrisesti seuraavalla kaavalla
 - Korjattu puunottokulma = $\text{NosturinKulma} + \arcsin\left(\frac{d_t}{\text{PuominUlottuma}}\right)$, missä
 - d_t on nosturin kiinnityspisteen kohtisuora etäisyys koneen keskilinjalta. Tässä tutkimuksessa käytettiin 0,4 metriä.
- Tämän korjauksen jälkeen laskettiin puiden etäisyys ajouran keskilinjalta ja määritettiin ajourapuut.



Hakkuukoneen geometrian vaikutus puun ottokulmaan ottoetäisyyden suhteen.

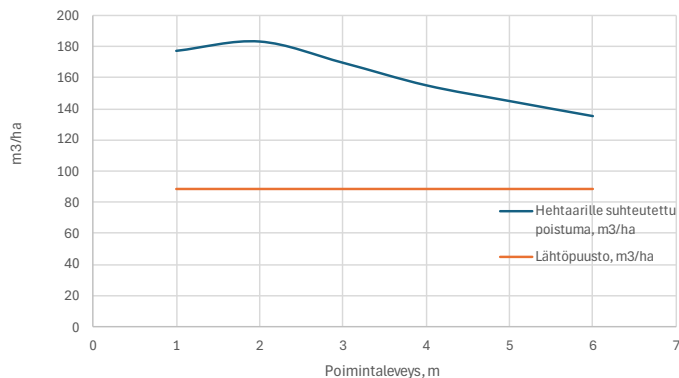


Nosturin puunkaatohetken pituuden suhde ottokulman korjaukseen viereisen kaavan mukaan laskettuna.

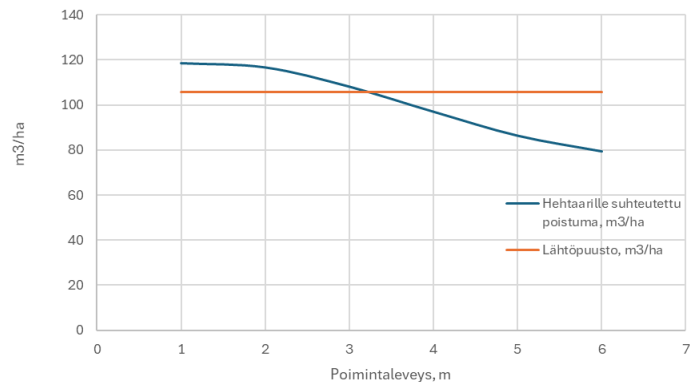
Ajoura- ja lähtöpuuston vertailukelpoisuus

- Ajourapuuston tarkastelussa ajatuksena oli, että ajouralta kaadettu puusto kuvaa leimikon lähtöpuustoa.
 - Hakkuukone oli telojen kanssa 3,0 metriä leveä, joten minimissään kone vaatii tämän levyisen kulkuaukon puustoon. Metsänhoidon suositusten mukaisen ajouran leveyden tulisi olla 4,0 - 4,5 metriä, jolloin ajouran varren puiden vaurioitumisriski on vähäinen ja myöskään metsän kasvutilaa ei hukata ajourien muodossa.
- Lähtöpuuston kuvaamista ajourapuuston avulla tarkasteltiin poimimalla runkoja eri leveyksisiltä vyöhykkeiltä ajouran keskilinjan ympäriltä.
- Laadittiin mittausaluekohtaiset kuvaajat, joista näkyy hehtaarille suhteutettu poistuman tilavuus eri poimintaleveyksillä (ks. seuraavat diat)
- Kuvaajista nähdään kuinka hehtaarille suhteutettu poistuma pienenee viimeistään kolmen metrin jälkeen, kun ajouran leveys ylittää hakkuukoneen leveyden.
 - Mittausalueilla 2, 4 ja 6 oli säännölliset ajouraverkostot suorine ajourineen, joten ajourapuustot olivat niissä vertailukelpoisimmat kohteiden lähtöpuustojen kanssa.

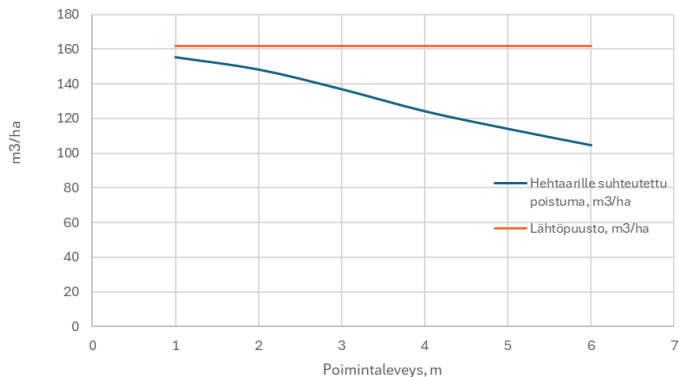
Ajoura- ja lähtöpuuston vertailu, mittausalueet 1 - 4



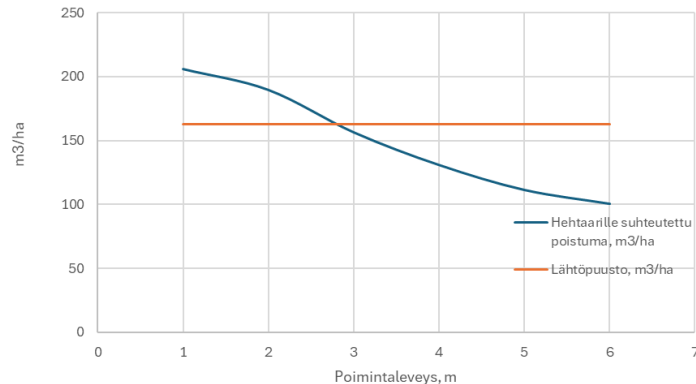
Mittausalue 1



Mittausalue 2



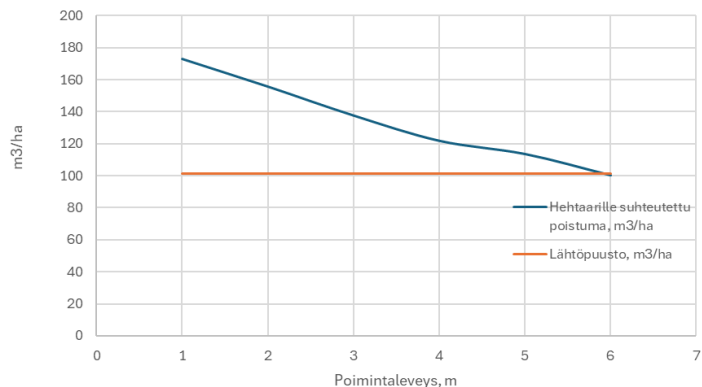
Mittausalue 3



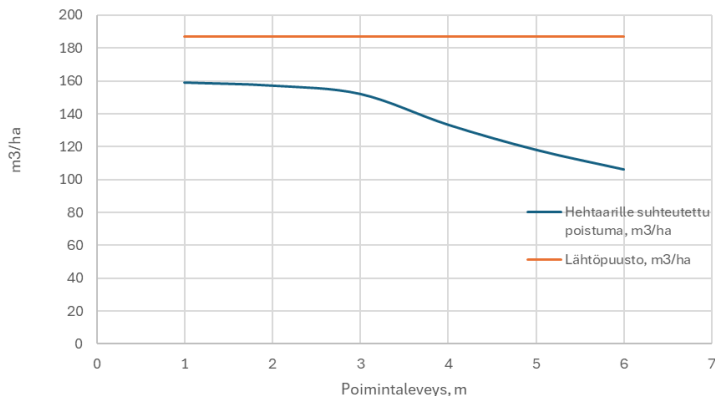
Mittausalue 4



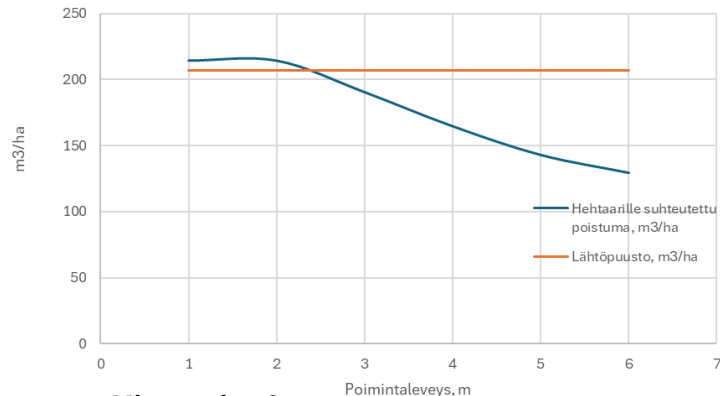
Ajoura- ja lähtöpuuston vertailu, mittausalueet 5 - 7 ja kaikki mittausalueet samassa kuvaajassa suhteellisina



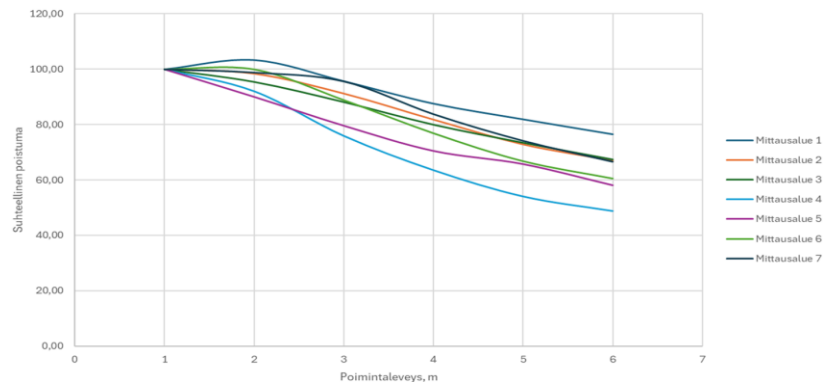
Mittausalue 5



Mittausalue 7



Mittausalue 6

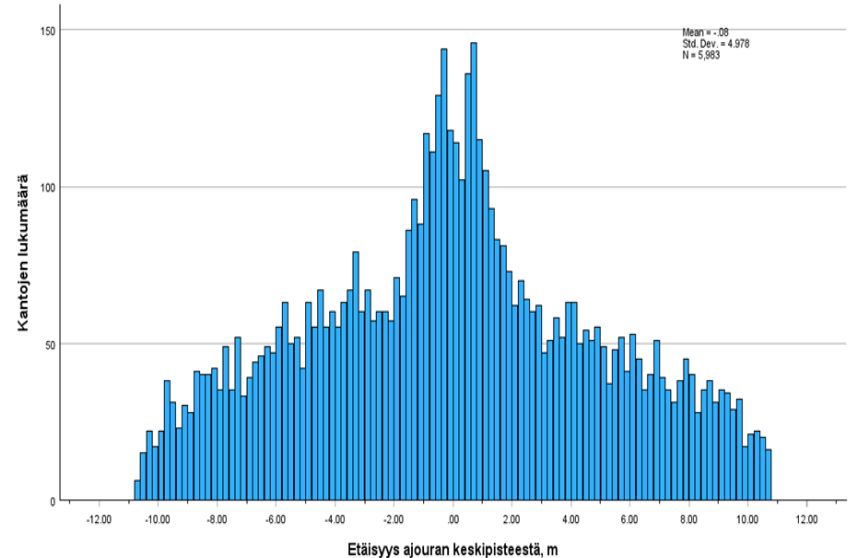


Kaikki mittausalueet samassa suhteellisina



Ajoura- ja harvennuspuuston raja

- Ajourapuiden ja ajourien välisen harvennuspuuston rajaa haettiin tarkastelemalla kaadettujen puiden kohtisuoraa etäisyyttä suhteessa ajouran keskilinjaan histogrammin avulla.
- Histogrammin muodosta on havaittavissa ajourapuiden muodostama huippu histogrammin keskellä.
- Ajouralta kaadettu puusto muuttuu uran ulkopuolelta kaadetuksi harvennuspuustoksi noin 1,6 metriä suuremmilla etäisyyksillä, mikä vastaa noin 3,2 m leveydellä olevaa ajouran vyöhykettä.
- Histogrammista voidaan havaita myös harvennusvoimakkuuden laskevan siirryttäessä kauemmaksi ajouralta ja lisäksi, että kulkusuunnassa vasemmalta puolelta ajouraa on kaadettu hieman enemmän puita kuin oikealta.



Harvennettujen puiden lukumäärä suhteessa puun kohtisuoraan etäisyyteen ajouran keskilinjaan nähden.

Tulosten tarkastelua

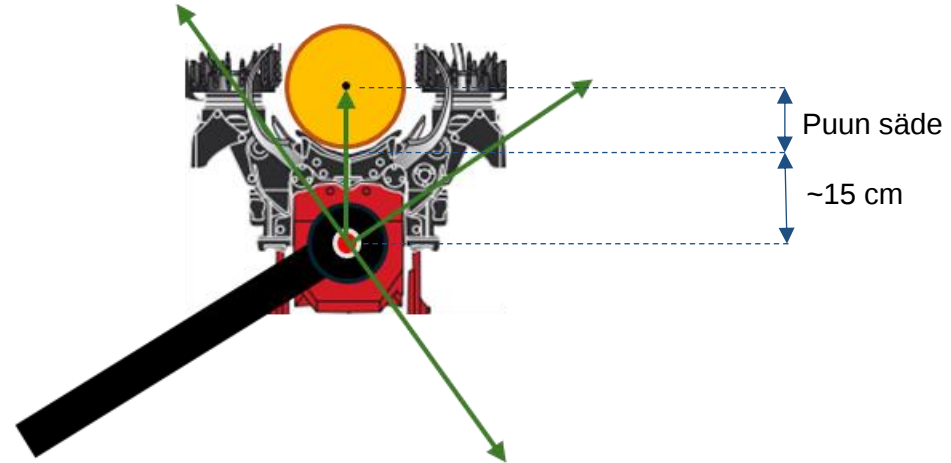
- Hakkuulaitteen ja referenssiaineiston keskimääräinen sijainnin poikkeama oli 0,54 m.
- Tulos on linjassa SkogForskin saaman 0,56 metrin kanssa samanlaisella Komatsun hakkuukoneen varustelulla (SkogForsk 2022).
- Verrattuna aikaisempiin tarkkuustutkimuksiin, tarkkuudet ovat parantuneet yli 3 metriä.
- Suurimpana syynä tarkkuuden kasvuun on RTK GNSS -paikannusteknologian hyödyntäminen ja koneen nosturin anturoiminen nosturin kärkeen saakka.
- Mittaustarkkuuteen vaikuttavat tunnetusti myös puuston ja maaston katve, satelliittien määrä ja paikannusvastaanotin.
- Hakkuulaitteen sijainti tallennetaan puun kaatosahaushetkellä, mutta satelliittigeometrian vaihtelut voivat vaikuttaa tarkkuuteen. Kuinka suuri paikannusepätarkkuus on sallittu tallennushetkellä, ja onko mahdollista tehdä laskennallista jälkikorjausta tarkkuuden parantamiseksi?

Tarkastelua

- Ajouran leveysasiaa tarkasteltaessa havaittiin, että poistettavien puiden määrä vähenee huomattavasti, kun poiminta-alueen leveys ylittää hakkuukoneen leveyden.
 - Kuvaajista havaitaan, että poistuman tilavuudessa taitekohta urapuiden poimintaleveydessä on 3–4 m välillä.
 - Hpr-tietoa voidaan näin ollen käyttää ajourapuiden tunnistamiseen, kunhan tiedoissa on mukana nosturin pituus ja kulma suhteessa koneen etuteliin sekä koneen etutelin kompassisuunta puun kaatosahaushetkellä.
- Joidenkin mittausalueiden kuvaajissa havaittiin tasoeroja ajourapuiden ja mitatun lähtöpuuston tilavuuksien välillä. Tätä selittää mm. se, että ajourat eivät aina kulje kohteen keskimääräisen puuston kautta.
 - Hakkuukoneenkuljettaja on voinut suunnata ajouria puuston harvoin tai tiheisiin kohtiin, huomioida metsänomistajan ohjeet ajourien suuntaamisessa tai maaston topografia on ohjannut ajourien suuntaamista.
- Lähtöpuuston taso on herkkä pienillekin muutoksille lähtöpuuston laskennan parametreissa, kuten esimerkiksi ajouran pinta-alassa.
- Mitä vähemmän puusto, maasto, ajouraverkosto ja kuvion muoto sisältävät vaihtelua, sitä tarkemman arvion lähtöpuustosta menetelmä tuottaa.

Pohdintaa

- Hakkuulaitteen rotaattorin anturoinnilla voitaisiin määrittää viimeinen puuttuva osa puun sijaintitiedosta.
- Tällöin tiedettäisiin puun keskipisteen etäisyys ja suunta suhteessa nosturin kärkeen.
 - Rungon läpimitta vaikuttaa rungon säteen verran sijaintiin.
 - Nosturin kärjen ja hakkuulaitteen pohjan välinen vakioetäisyys voitaisiin huomioida.
- Kun tämän tutkimuksen sijaintivertailuparien arvoista vähennetään 15 cm + kyseisen puun säde, voidaan laskea teoreettinen koneen paikannuksen epätarkkuus. Näin laskien keskimääräinen paikannusero on 0,33 m.



Pohdintaa

- Onko hakkuukoneen ja -laitteen sijaintitarkkuus riittävä? Tutkimuksen perusteella voidaan arvioida, että saavutettu tarkkuus on riittävä metsässä työskentelyyn ja automaattiseen tiedonkeruuseen tietyin varauksin, mutta täydellistä varmuutta esimerkiksi tilarajojen määrittämiseen teknologia ei vielä suoriin.
 - Konegeometrian vaikutusta ei mitään ilmeisemmin ole huomioitu tutkimuksen konemallin puomin kärjen sijainnin laskennassa puun kaatosahaushetkellä, sillä virhettä geometrisesti korjaamalla päästiin tarkempaan tulokseen.
 - Sijaintivirhettä voi tulla myös hytin kallistamisesta työskentelyn aikana.
 - Nosturin kärjen sijainti kuvaa jo melko hyvin kaadetun puun sijaintia, mutta rotaattorin suunta-anturi pienentäisi eron puhtaaseen paikantimen tarkkuuteen.
 - Toisiko paikantimen asentaminen hakkuulaitteeseen lisää tarkkuutta?
 - Hakkuulaitteessa haasteena on värinä, lika, kosteus, lämpötilan vaihtelut ja suurempi katve.
 - Paikanninta ei voi asentaa puun keskipisteen kohdalle hakkuulaitteessakaan, joten tarvitaan edelleen suunta-anturi ja laskentaa kaadettavan puun keskipisteen määrittämiseksi.
- > Nykyinen nosturin anturointiin ja alustakoneen sijaintiin perustuva kaadettavan puun sijainnin määrittystapa on toimiva, jos vain hakkuulaitteen rotaattorissa olisi lisäksi suunta-anturi.

Johtopäätökset

- Tutkimus antaa hyvän käsityksen siitä, mihin tällä hetkellä päästään hakkuulaitteen sijainnin kautta tapahtuvassa kaadetun puun sijainnin määrittämisessä, kun hakkuukoneen paikannuksessa käytetään RTK-korjausta ja nosturi on anturoitu nosturin kärkeen saakka.
- Ajourapuuston avulla voidaan tunnistaa lähtöpuusto, mutta menetelmän tarkkuus vaihtelee puuston, maaston, ajouraverkoston ja kuvion muodon mukaan. Ajouran leveys vaikuttaa merkittävästi poistettavien puiden määrään, ja tuloksista nähdään, että poistuman tilavuudessa on taitekohta urapuiden poimintaleveyden 3–4 metrin välillä.
- Ajouraleveyden määrittämisessä ja siitä tehtävässä laskennassa puustosta noin puolen metrin sijaintitarkkuus antaa jo hyviä tuloksia, mutta hajonnan edelleen pienentäminen edellyttää tarkempaa tietoa.
- Hakkuulaitteen rotaattorin suuntatiedon avulla voitaisiin saada viimeinen puuttuva etäisyystieto. Nykyinen nosturin anturointiin ja alustakoneen sijaintiin perustuva kaadettavan puun sijainnin määrittystapa on toimiva.

Kirjallisuutta

- Arponen M-S, Riekkilä K, Ovaskainen H, Malinen J (2025) Automaattinen ajouraverkostojen laadunseuranta AATU – menetelmän pilotointi. Metsätalon tulosalvosarja 3/2025. <https://www.metsatieto.fi/automaattinen-ajouraverkostojen-laadunseuranta-aatu-menetelman-pilotointi/>.
- Hannrup B & Möller J (2022) Positionering av enskilda träd vid avverkning med skördare - ARBETSRAPPORT 1111–2022. Saatavissa: <https://www.mistradigital.cdn.triggerfish.cloud/uploads/2022/03/arbetsrapport-1111-2022.pdf>
- Maanmittauslaitos (2025) ITRFyy (~WGS84) ja EUREF-FIN-koordinaattien väliset muunnokset. Saatavissa: [Maanmittauslaitos - ITRFyy ja EUREF-FIN](#)
- Melkas T & Riekkilä K (2017) Puiden paikannustarkkuus hakkuukoneen tallennettuun sijaintiin ja kouran anturointiin perustuen – laskennallinen algoritmi kouran sijainnin tarkentamiseksi. Saatavissa: [Puiden paikannustarkkuus hakkuukoneen \(metsatieto.fi\)](#)
- Melkas T, Riekkilä 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, Metsätalouden insinööri, Lapin amk. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/handle/10024/869714>.
- Ovaskainen H, Riekkilä K (2022) Computation of Strip Road Networks Based on Harvester Location Data. Forests 2022, 13(5), 782. Saatavissa: <https://doi.org/10.3390/f13050782>.
- Riekkilä K & Malinen J (2022a) Poistumakuviointi hakkuulaitteen sijaintitiedoista. Metsätalon tulosalvosarja 8/2022. <https://www.metsatieto.fi/poistumakuviointi-hakkuulaitteen-sijaintitiedoista/>.
- Riekkilä K & Malinen J (2022b) Suojavyöhykkeiden leveyden laskennallinen määrittäminen hakkuukonetiedoista. Metsätalon tulosalvosarja 9/2022. <https://www.metsatieto.fi/suojavyohykkeiden-leveyden-laskennallinen-maairittaminen-hakkuukonetiedoista/>.
- Riekkilä K, Strandström M, Malinen J, Sorsa J-A (2023) Luontokohteiden säilymisen automaattinen todentaminen hakkuukonetiedoista. Metsätalon tulosalvosarja 3/2023. <https://www.metsatieto.fi/luontokohteiden-sailyamisen-automaattinen-todentaminen-hakkuukonetiedoista/>.
- Räsänen T (2024) Hakkuukoneen erikoismerkintäkoodien suositus. Metsätalon tulosalvosarja 7/2024. Saatavissa: <https://www.metsatieto.fi/runkojen-erikoismerkintakoodit/>.
- Skogforsk (2025) StanForD/StanForD 2010 Standard for Forest Machine Data and Communication. Saatavissa: [StanForD - Skogforsk - Forestry Research Institute of Sweden](#)
- Taipale E, Riekkilä K, Melkas T, Malinen J (2022) Hakkuupään sijaintitiedon tarkkuus. Metsätalon tulosalvosarja 1/2022. Saatavissa: <https://www.metsatieto.fi/hakkuupaasijaintitiedon-tarkkuus/>.
- Tarvainen R, Riekkilä 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>



Liitteet



Liite 1. Mittausalueiden sijainnin poikkeamien minimi ja maksimit

Mittausalue	Minimi ja maksimi	Mänty, m	Kuusi, m	Koivu, m	Kaikki puulajit, m
Mittausalue 1	Minimi	0,052	0,038	0,035	0,035
	Maksimi	6,967	3,928	2,615	6,967
Mittausalue 2	Minimi	0,016	-	0,073	0,016
	Maksimi	3,073	-	0,587	3,073
Mittausalue 3	Minimi	0,012	0,109	0,110	0,012
	Maksimi	2,376	3,647	4,534	4,534
Mittausalue 4	Minimi	0,010	0,005	0,073	0,005
	Maksimi	2,732	3,118	2,342	3,118
Mittausalue 5	Minimi	0,013	0,015	0,011	0,011
	Maksimi	4,748	2,693	4,284	4,748
Mittausalue 6	Minimi	0,045	0,052	0,055	0,045
	Maksimi	3,398	1,044	2,146	3,398
Mittausalue 7	Minimi	0,009	0,013	0,073	0,009
	Maksimi	4,959	2,834	2,289	4,959
Koko aineisto	Minimi	0,009	0,005	0,011	0,005
	Maksimi	6,967	3,928	4,534	6,967



Liite 2. Sijainnin keskipoikkeamat mittausalueittain

Mittausalue	Mänty, m	Kuusi, m	Koivu, m	Kaikki puulajit, m
Mittausalue 1	0,628	0,565	0,547	0,580
Mittausalue 2	0,538	-	0,330	0,537
Mittausalue 3	0,480	0,597	0,863	0,512
Mittausalue 4	0,571	0,461	0,532	0,534
Mittausalue 5	0,632	0,570	0,640	0,624
Mittausalue 6	0,460	0,452	0,560	0,465
Mittausalue 7	0,532	0,597	0,474	0,533
Koko aineisto	0,533	0,542	0,562	0,539

Liite 3. Mittausalueiden ominaisuuksien arviointia

Attribuutti	Mittausalue 1	Mittausalue 2	Mittausalue 3	Mittausalue 4	Mittausalue 5	Mittausalue 6	Mittausalue 7
Puuston tasaisuus	Epätasaisuutta	Tasaisesti	Tasaisesti	Tasaisesti	Epätasaisuutta	Tasaisesti	Epätasaisuutta
Puuston laatu	Hyvälaatuista	Hyvälaatuista	Hyvälaatuista	Hyvälaatuista	Hyvälaatuista	Hyvälaatuista	Hyvälaatuista
Pääpuulaji	Kuusi	Mänty	Mänty	Mänty	Mänty	Mänty	Mänty
Mittaus-alueen muoto	Lähes suunnikas	Neliö	Lähes suunnikas, eteläosasta kupera	Suunnikas	Puolisuunnikas	Puolisuunnikas	Lähes neliö, lounaiskulmasta levinnyt
Ajoura-verkosto	Voimakkaasti epäsäännöllinen	Säännöllinen	Melko säännöllinen	Säännöllinen	Voimakkaasti epäsäännöllinen	Säännöllinen	Melko säännöllinen
Ajourien suoruus	Eivät suoria	Suoria	Eivät suoria	Suoria	Eivät suoria	Melko suoria	Pääosin suoria
Kivisyys	Kiviä ja kallioista	Ei kiviä tai kalliota	Ei kiviä tai kalliota	Ei kiviä tai kalliota	Ei kiviä tai kalliota	Ei kiviä tai kalliota	Ei kiviä tai kalliota
Korkeus-eroja	Kyllä	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei
Kivennäis- /turvamaa	Kivennäismaa	Turvamaa	Kivennäismaa	Kivennäismaa	Kivennäismaa	Kivennäismaa	Kivennäismaa
Haasteita kantavuudessa	Paikoitellen	Paikoitellen	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei

