Hakkuukonetiedon hyödyntäminen kuviorajauksessa ja ajouratunnusten laskennassa

Metsätehon tuloskalvosarja 4/2021

Mikko Hakala, Helsingin yliopisto

Kirsi Riekki, Heikki Ovaskainen, Timo Melkas, Metsäteho Oy

ISSN 1796-2390

Metsäteho

Tiivistelmä

- Metsätehon kuviointialgoritmilla hakkuukoneen runkokohtaisista sijaintitiedoista tuotetut hakkuukonekuviot ovat keskeinen osa Suomen metsäkeskuksen metsävaratietojen ajantasaistusta.
- Työn ensimmäisenä tavoitteena oli validoida hakkuukonekuvioinnin aluerajausten vastaavuutta ortoilmakuvilta digitoituihin referenssikuvioihin nähden koko Suomen mittakaavassa.
- Havaittiin, että hakkuukonekuviot vastaavat hyvin referenssikuvioita. Hakkuukonekuvioiden pinta-alat olivat keskimäärin 2,4 % suurempia kuin referenssikuviot yli 0,75 ha kuvioilla. Kuvioiden reunat olivat keskimäärin 0,5 m etäisyydellä toisistaan.
- Kuviointialgoritmilla tuotetut hakkuukonekuviot soveltuvat siten hyvin metsävaratietojen ajantasaistamiseen.
- Työn toisena tavoitteena oli selvittää hakkuukoneen sijainneista tuotetuilta ajouraverkostoilta laskettujen ajouratunnusten käyttökelpoisuutta puunkorjuun laadunhallinnassa.
- Ajouraverkostoilta automaattisesti laskettuja tunnuslukuja voidaan pitää luotettavina yli 0,75 ha kuvioilla. Kaikilla tätä suuremmilla harvennushakkuilla kuvioiden keskimääräinen ajouraväli oli 21,0 m. Koko kuvion kattavat keskimääräiset ajouratunnukset noudattivat tällöin hyvän metsänhoidon suosituksia.
- Lisäksi hakkuukuvioiden ajouraverkostoille laskettiin ajouravälit jäljittelemällä Suomen metsäkeskuksen korjuujäljen tarkastuksen maastokoealamittausta. Näin saadut uravälitulokset olivat keskimäärin hieman suurempia kuin koko kuvion ajourastolta lasketut tulokset.
- Automatisoitu ajouratunnusten laskenta mahdollistaa kattavan ja objektiivisen laadun seurannan operatiivisessa puunkorjuussa sekä kuvio- että alueellisella tasolla.

Summary: Utilizing of harvester data on stand delineation and strip road calculation

- Metsäteho's automatic stand delineation (Melkas et al. 2020) is in important role when the Finnish Forest Centre begins to update the forest inventory with harvested stands. In the method, the harvested stands are delineated based on stem-wise harvester locations, recorded during felling the stem.
- The harvester dataset of this work was recorded during operative harvestings. The data covered largely the area of continent of Finland and included approximately 3000 harvesting objects and 5.3 million stems, harvested during December 2017 – June 2018.
- One aim of this study was to validate the accuracy of the delineated harvested stands with respect to reference stands. The reference stands were manually digitized from aerial photographs.
- The areas of the harvested stands were approximately 2.4% larger than the references, when the stand size was over 0.75 ha. The stand boundaries had an average mutual distance of 0.5 m.
- Based on the results, the automatically delineated harvested stands are applicable for updating the forest inventory.
- The other aim of the work was to study the usability of the computed strip road variables in the quality measurement of wood harvesting. The strip road variables were calculated from strip road networks, which were automatically generated from the tree-wise harvester locations.
- The computed strip road variables are regarded reliable for stands over 0.75 ha. The average strip road spacing at such thinning stands was 21.0 m, which is in good agreement with the best practices for sustainable forest management in Finland (Äijälä et al. 2019).
- In addition, the average strip road spacings were calculated for the same strip road networks by simulating programmatically the quality control field measurements of Finnish Forest Centre (Leivo et al. 2020). In the quality control measurement, a longest diagonal is spanned over the stand, and ten sampling points to measure the strip road interval are generated along the diagonal or randomly searched from other parts of the stand.
- The simulated strip road spacings were in average slightly larger than those sampled from the whole strip road network. This implies that sampling of the whole strip road network improves the credibility of the strip road spacing results, and further increases the reliability of the quality measurements.
- Automated computation of strip road variables enables to follow the harvesting quality and to compare the results both at level of individual stands as well as at the scale of the country.

Taustaa

Metsävaratietojen ajantasaistus

- Suomen metsäkeskuksessa valmistellaan hakkuukonetiedon käyttöönottoa metsävaratietojen ajantasaistusprosessiin.
- Metsätehon automaattinen kuviointimenetelmä (Melkas ym. 2020) on keskeinen osa metsävaratietojen ajantasaistamista hakkuukonetietoihin perustuen.
  - Menetelmän avulla hakkuukonetiedoista tuotetaan toteutuneet hakkuukonekuviot.
  - Hakkuukonekuvio = hakkuukoneella hakatun kuvion rajaus tarkentavine ominaisuustietoineen (hakkuutapa ja hakkuun aloituspäivämäärä).
  - Metsävaratietojen ajantasaistuksessa hakkuukonekuviot muunnetaan metsävarakuvioiksi.
  - Julkaisussa tunnistettiin tarve laajentaa hakkuukonekuvioiden validointia alueellisesti kattavammaksi.

Korjuujäljen laadun arviointi

- Suomen metsäkeskuksen nykyisin käyttämässä korjuujäljen laadun arvioinnissa (Leivo ym. 2020) ajouravälin tarkastusmittaus toteutetaan pitkälti systemaattisena maastokoealaotantana.
- Maastokoealojen mittaus ja koealojen valinta ovat osittain subjektiivisia, joten myös niistä saatavat tulokset ovat jossain määrin mittaajasta riippuvaisia. Tämä heikentää kohteiden välisten tulosten vertailtavuutta.
- Manuaaliset maastomittaukset voidaan toteuttaa vain hyvin rajalliselle määrälle korjuukohteita.

Tavoitteet

- Tavoitteena oli validoida automaattisesti hakkuukonetiedosta tuotettujen kuviorajausten tarkkuutta koko Suomen mittakaavassa ja arvioida hakkuukonekuvioiden soveltuvuutta metsävaratietojen ajantasaistukseen.
  - Työssä verrattiin hakkuukonekuvioita ortoilmakuvilta digitoituihin referenssikuvioihin.
  - Arvioitiin, onko hakkuukonekuvioiden vastaavuus riittävää niiden käyttämiseen yhtenä lähteenä metsävaratietojen ajantasaistuksessa.
- Lisäksi tavoitteena oli hakkuukonetietojen pohjalta tuotettujen ajouraverkostojen ja -tunnusten käyttökelpoisuuden selvittäminen.
  - Ajouratunnukset laskettiin automaattisesti koko hakkuukonekuvioille sekä simuloimalla Metsäkeskuksen korjuujäljen tarkastuksen maastokoealaotantaa.
  - Tutkittiin, kuinka hyvin automaattisesti tuotettujen ajouratunnusten avulla voidaan todentaa ajouraverkostoille asetettujen suositusten toteutuminen.
- Tämä tuloskalvosarja perustuu Mikko Hakalan pro gradu -tutkielmaan "Hakkuukonetiedon hyödyntäminen kuviorajauksessa ja ajouratunnusten laskennassa” (2021).

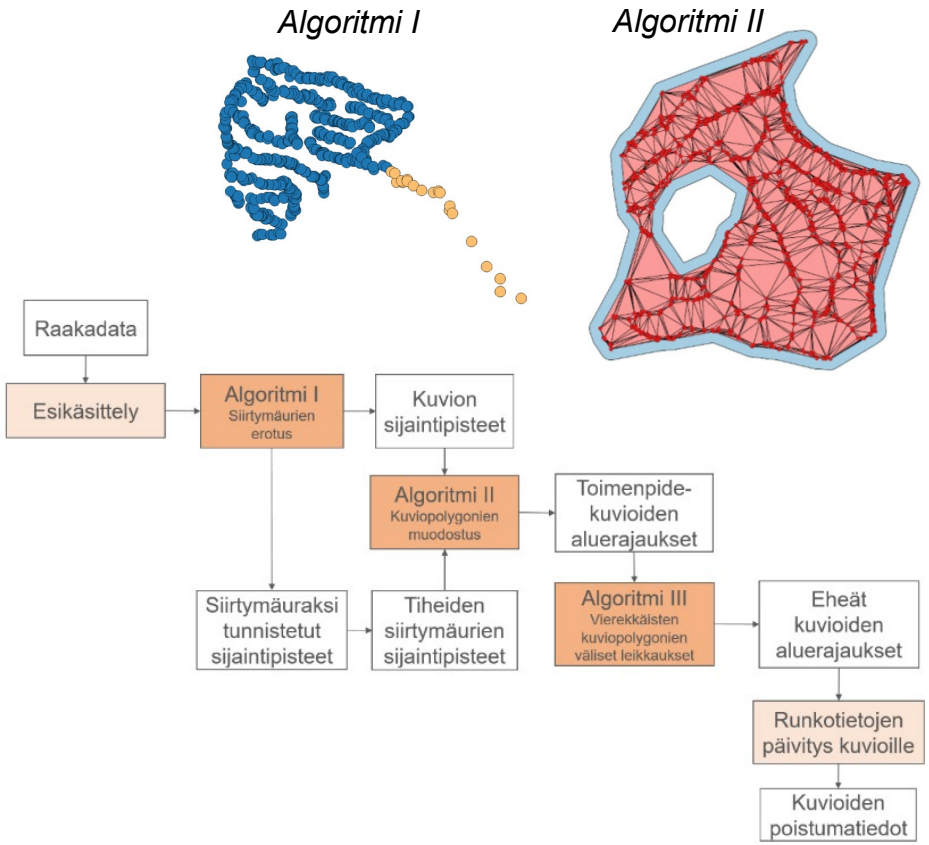
Hakkuukoneaineisto

- Aineisto oli eri hakkuukonevalmistajien koneilta kerättyä operatiivista leimikkoaineistoa, yhteensä noin 3 000 hakattua lohkoa ja 5,3 milj. runkoa aikaväliltä 12/2017–06/2018.
- Aineisto oli kerätty Manner-Suomesta, alueelta joka ulottui Etelä-Suomesta aina Oulun seudulle saakka.
- Aineisto koostui pääosin ensiharvennuksista, kasvatushakkuista ja päätehakkuista.
- Aineisto sisälsi pistemäisiä hakkuukoneen sijainteja, jotka tallennettiin jokaisen rungon kaadon yhteydessä StanForD-standardin (Skogforsk 2021) mukaisesti hpr-tiedostoihin.
  - Sijainnit määritettiin globaalilla satelliittipaikannusjärjestelmällä (GNSS) käyttäen hakkuukoneiden omia vastaanottimia.
- Aineisto luokiteltiin hakkuukoneiden GNSS-paikannustarkkuuden perusteella lohkokohtaisesti tarkempaan ja epätarkempaan paikannukseen (Melkas ym. 2020, liite A).

Hakkuukonekuviot

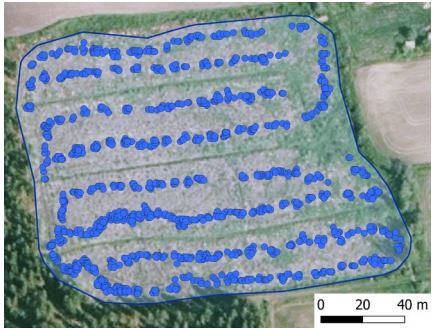
Hakkuukoneaineisto kuvioitiin Metsätehon automaattisella kuviointialgoritmilla (Melkas ym. 2020).

- Runkokohtaisista koneen sijainneista tuotettiin hakkuukonekuvioiden aluerajaukset ja pinta-alat (Algoritmi II).
- Kuviointi erotteli lisäksi poistumaltaan harvat ja tiheät siirtymäurat.
  - Harvalta siirtymäuralta on hakattu runkoja vain sen verran, että päästään ajamaan kuviolle.
  - Tiheällä siirtymäuralla on lisäksi hakattu runkoja uran ympäriltä.
- Tiheät siirtymäurat sisältyivät niihin hakkuukonekuvioihin, joiden aluerajauksia verrattiin referensseihin.
  - Ajouralaskennan kuvioista tiheät siirtymäurat jätettiin pois, koska niille ei voida määrittää kaikkia ajouraverkostojen tunnuslukuja, kuten ajouraväliä.
- Vierekkäisten kuvioiden välisiä päällekkäisyyksiä ei huomioitu.
  - Haluttiin tarkastella kuviokohtaisia tuloksia riippumatta siitä, millaista metsää tai muuta maastoa kuvioiden ulkopuolella on.



Referenssiaineisto

- Referenssikuviolla tarkoitetaan tässä työssä ortoilmakuvalta manuaalisesti digitoitua, ns. oikeana pidettävää kuviota.
- Hakkuukohteiden referenssikuviot digitoitiin Maanmittauslaitoksen WMS-karttakuvapalvelun ortoilmakuvista.
  - Hakkuukoneaineiston referenssejä etsittiin sellaisilta Metsäkeskuksen inventointialueilta, jotka oli ilmakuvattu hakkuun ajankohdan jälkeen. Näillä alueilla oli 1131 hakkuukonekuviota.
  - Digitointi tehtiin vuonna 2020 QGIS-paikkatieto-ohjelmassa.
- Referenssiaineistoon digitoitiin kaikkiaan 320 sellaista kuviota, joilla hakkuu näkyi selkeästi ilmakuvassa.
  - Kolmen yleisimmän hakkuutavan kuvioita oli referenssiaineistossa yhteensä 96 %. Avohakkuiden osuus oli noin 64 %, harvennusten 26 % ja ensiharvennusten 6,5 %.
  - Muiden hakkuutapojen referenssejä valikoitui vain muutamia niiden vähäisen määrän ja sisäisen vaihtelun takia.
- Referenssiaineisto edusti hyvin koko hakkuukoneaineistoa niin hakkuutavoiltaan kuin pinta-alajakaumaltaan.

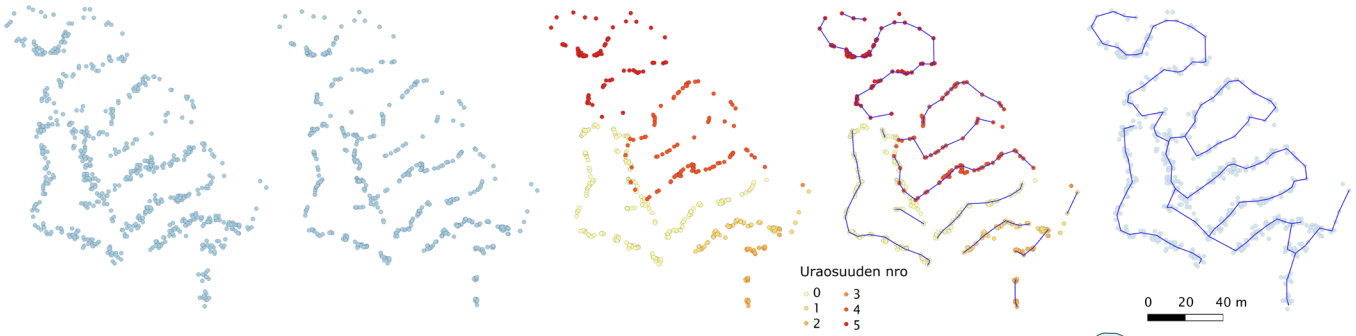


Hakkuukoneen sijainnit ja niistä tuotettu automaattinen hakkuukonekuvio

Referenssiaineisto

- Referenssien kuviorajat paikannettiin hakattujen ja pystyyn jääneiden vallitsevien puiden puoliväliin mahdollisimman tarkasti.
  - Verrattiin ennen ja jälkeen hakkuun otettuja ilmakuvia. Avohakkuilla riitti usein pelkkä hakkuun jälkeen otettu kuva.
  - Rajausten paikannuksessa huomioitiin mm. ilmakuvien säteittäissiirtymä ja varjot.
  - Teiden, peltojen, ojien ym. läheisyydessä kuvioiden rajaaminen vaati erityistä huolellisuutta.
- Joitakin mahdollisia ilmakuvareferenssejä hylättiin mm. seuraavien syiden takia:
  - Ilmakuvissa saattoi esimerkiksi olla pilviä tai huomattavia varjoja tarkasteltavan alueen kohdalla.
  - Jotkut hakkuukuviot rajoittuivat aukeaan tai toiseen saman hakkuutavan kuvioon, tai hakkuukuvioiden reunojen tunnistaminen ilmakuvilta oli muuten hankalaa.
  - Hakkuukuviolle ilmoitettu hakkuutapa ei aina vastannut ilmakuvalla näkyvää hakkuutapaa.
  - Toisinaan hakattu alue oli huomattavan erikokoinen, koska työssä käytetty hakkuukoneaineisto ei ollut alueellisesti ja ajallisesti kattavaa.
- Ilmakuvatulkinnan varmentamiseksi digitoidut kuviot käytiin läpi kahden eri henkilön toimesta kaikkiaan kolme kertaa.

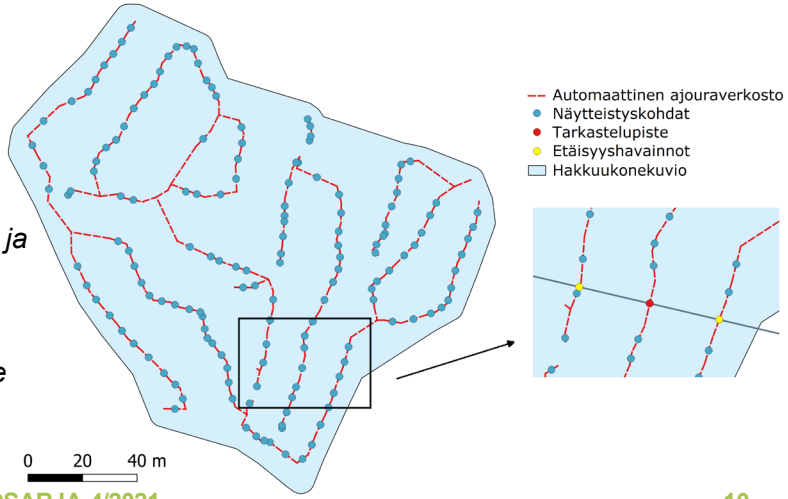
Ajouraverkostot ja -tunnukset



Ajouraverkoston tuottamisen vaiheet:
- *Hakkuukoneen sijainnit*
- *Keskiarvoistus*
- *Ajouraosioiden muodostaminen*
- *Ajouraviivojen piirto osioille*
- *Valmis ajouraverkosto*

- Hakkuukoneen sijainneista tuotettiin automaattisesti kuviokohtaiset ajouraverkostot (Riekki ym. 2019).
- Ajouraverkostoista laskettiin ajouratunnukset koko kuvion kattavasti:
  - ajouran kokonaispituus (m) sekä uratiheys (m/ha), ja
  - keskimääräinen ajouraväli (m).

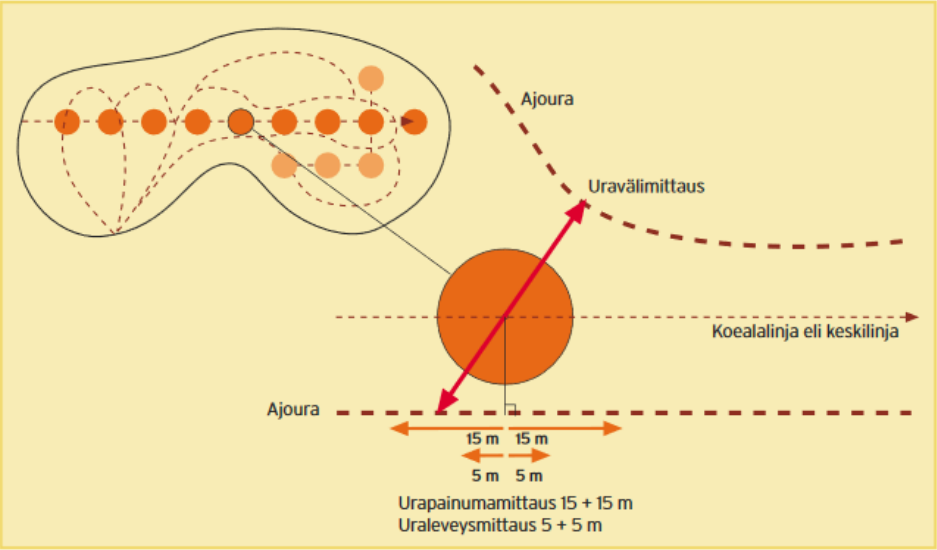
Ajouravälin näytteistyskohdat ja esimerkki uravälihavainnon määrittämisestä tarkastelupisteelle

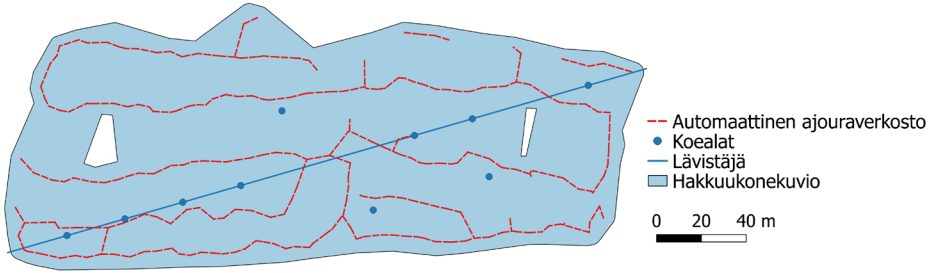


Ajouravälit maastomittausta simuloimalla

- Metsäkeskuksen koealaotantaan perustuvaa ajouravälien maastotarkastusmittausta (Leivo ym. 2020) jäljiteltiin ohjelmallisesti hakkuukuvioille ja automaattisille ajouraverkostoille.
  - Menetelmän mukaisesti etsittiin kuvion pisin lävistäjä, jolle sijoitettiin 10 kpl koealoja. Koealoilta mitattiin ajouraväli.
  - Koeala hylättiin, jos se osui urien risteyskohtiin, tai vierekkäiset urat olivat toisiinsa nähden liian vinot, tai lävistäjä osui vain yhteen ajouraväliin.
  - Tarvittaessa kuviolle sijoitettiin satunnaisesti lisää koealoja ”hilalle”, kunnes saatiin 10 mitattua koealaa tai koko kuvio oli näytteistetty.
  - Onnistuneesti mitattujen koealojen ajouravälit keskiarvoistettiin. Myös koealojen lukumäärä tallennettiin tuloksiin.
- Maastotarkastus tehdään ohjeen mukaan vain yli yhden hehtaarin kuvioille. Tässä työssä käytettiin samaa kokorajaa.
  - Käytännössä kahdeksan mitattua koealaa riittää hyväksyttävään tarkastusmittaukseen.

Ajouravälin maastotarkastusmittaus (Leivo ym. 2020)





Harvennuskuviolle maastomittausta jäljittelemällä tuotetut lävistäjä ja koealat

Hakkuukoneaineiston jakautuminen

- Hakkuukoneaineisto sisälsi kaikkiaan 4 440 kuviota.
- Kuviot jaettiin lopullista tarkastelua varten kolmeen eri osa-aineistoon, jotta aineisto olisi kunkin tarkastelun kohdalla yhtenäinen ja ominaisuuksien vertailu luotettavampaa.
  - Ajoura-aineistossa olivat mukana ne kuviot, joille pystyttiin tuottamaan laskennallinen ajouraverkosto ja määrittämään sen pohjalta ajouratunnukset (96 % kuvioista).
  - Simulointiaineistossa olivat mukana ne yli 1 ha kuviot, jotka olivat ajoura-aineistossa ja joille saatiin vähintään yksi uravälihavainto maastomittausta jäljittelevässä laskennassa (53 % kuvioista).

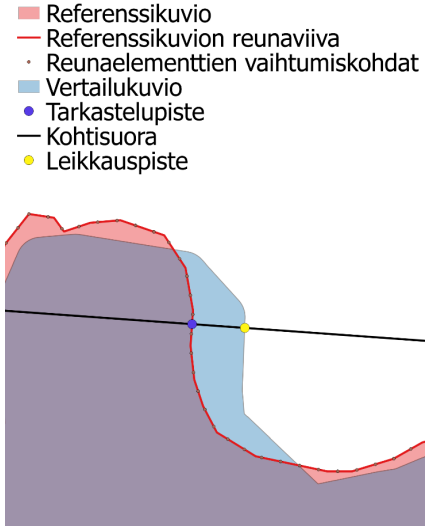
Hakkuukone-aineiston jakautuminen eri osa-aineistoihin

Hakkuutapa	Koko aineisto (kpl)	Referenssiaineisto (kpl)	Ajoura-aineisto (kpl)	Simulaatioaineisto (kpl)
Ensiharvennus	301	21	298	171
Harvennus	2021	83	1943	1222
Avohakkuu	1685	204	1615	786
Muut hakkuutavat	433	12	402	184
- Ylispuiden poisto	183	3	172	73
- Suojuspuuhakkuu	31	-	29	16
- Siemenpuuhakkuu	132	7	125	69
- Muu hakkuu tai toimenpide	87	2	76	26
Yhteensä	4440	320	4258	2363

Menetelmät

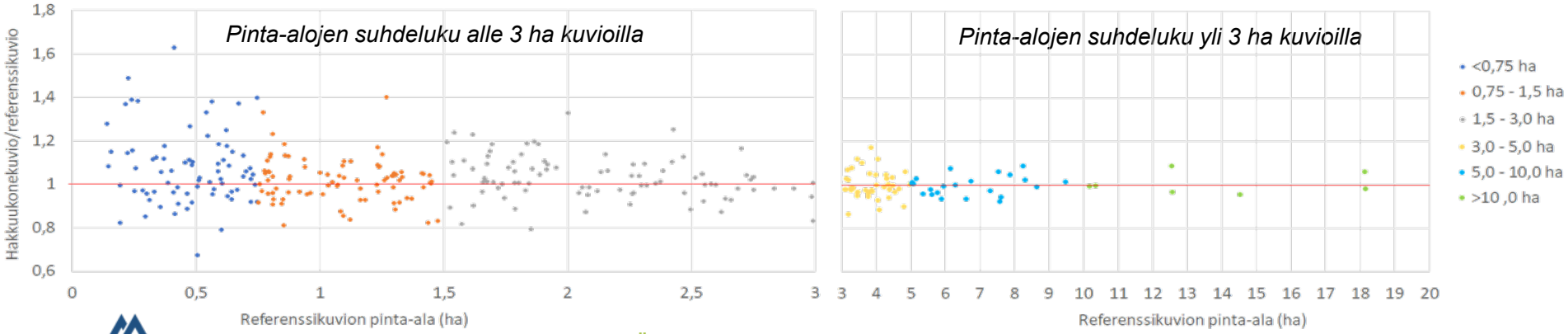
- Hakkuukonekuvioita verrattiin digitoituihin referenssikuvioihin.
  - Kuvioiden vastaavuutta selvitettiin laskemalla kuviokohtaiset pinta-alojen suhdeluvut sekä kuvioreunojen keskimääräiset etäisyydet ja siirtymät.
  - Myös hakkuukoneiden paikannustarkkuuden vaikutusta kuvioiden vastaavuuteen tarkasteltiin.
- Ajoura-aineistosta tutkittiin, miten ajouratunnukset riippuvat kuvion ominaisuuksista.
  - Tarkasteltiin hakkuutavan, kuvion pinta-alan ja muodon sekä kuvion piirin pituuden vaikutusta.
- Simuloimalla saatuja ajouravälejä verrattiin koko kuviolta määritettyihin ajouraväleihin.
- Lisäksi aineisto jaettiin Suomen maisemamaakuntien mukaisesti, ja tutkittiin onko tuloksissa alueellisia eroja.

Esimerkki kuvioreunojen keskinäisen etäisyyden määrittämisestä



Tulokset: kuvioiden vastaavuus

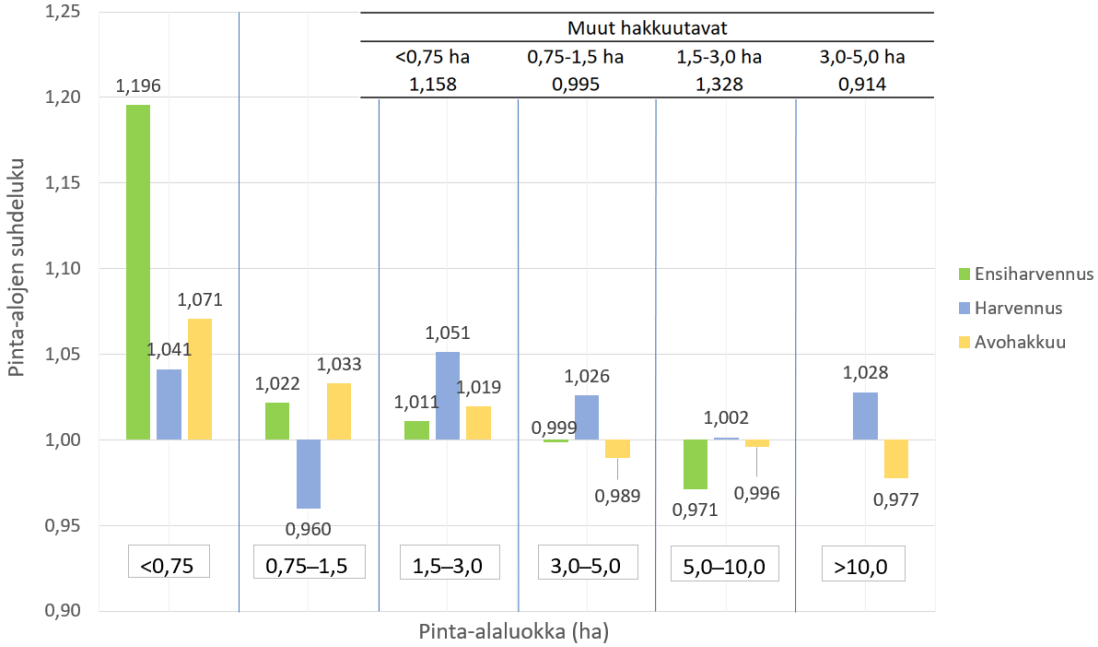
- Hakkuukonekuvioiden vastaavuus oli pääsääntöisesti hyvä. Hakkuukonekuviot olivat keskimäärin 3,1 % referenssikuvioita suurempia.
  - Yli 0,75 ha kuvioilla pinta-alan yliarvio oli 2,4 % kolmella yleisimmällä hakkuutavalla.
  - Lähes puolella (48 %) kuvioista hakkuukonekuvion ja referenssikuvion pinta-alojen suhdeluku oli tavoitearvon lähellä, välillä 0,95–1,05.
  - Muutaman yksittäisen kuvion pinta-alojen suhdeluvut vaikuttavat keskiarvoon melko paljon. Visuaalisessa tarkastelussa selvisi, että näitä kuvioita oli hakattu myös varsinaisen kuvion alueen ulkopuolelta, mikä kasvatti hakkuukonekuvioiden kokoa.
- Pinta-alojen keskimääräinen vastaavuus parani huomattavasti kuviokoon kasvaessa.
- Hakkuukoneen paikannustarkkuus ei vaikuttanut merkittävästi tuloksiin.
  - Tarkemman paikannuksen kuvioiden (295 kpl) pinta-alan yliarvio oli keskimäärin 3,0 %.
  - Epätarkemman paikannuksen kuvioiden määrä jäi melko pieneksi (25 kpl). Niiden pinta-alan yliarvio oli keskimäärin 4,1 %.



Tulokset: kuvioiden vastaavuus

- Merkittäviä eroja ei havaittu kolmen yleisimmän hakkuutavan tuloksissa.
  - Ensiharvennusten pinta-alan yliarvio oli kaikilla kuvioiden kokoluokilla yhteensä 4,4 %, harvennusten 2,0 % ja avohakkuiden 3,4 %.
  - Muilla hakkuutavoilla pinta-alojen vastaavuus vaihteli melko paljon.
- Alle 0,75 ha hakkuukonekuvioiden pinta-aloissa oli eniten yliarviota referenssikuvioihin nähden.
- Referenssiaineisto edusti tasaisesti Suomen maisemamaakuntia. Merkittäviä alueellisia eroja ei kuitenkaan havaittu, koska kuvioiden määrät eri alueilla jäivät melko pieniksi.

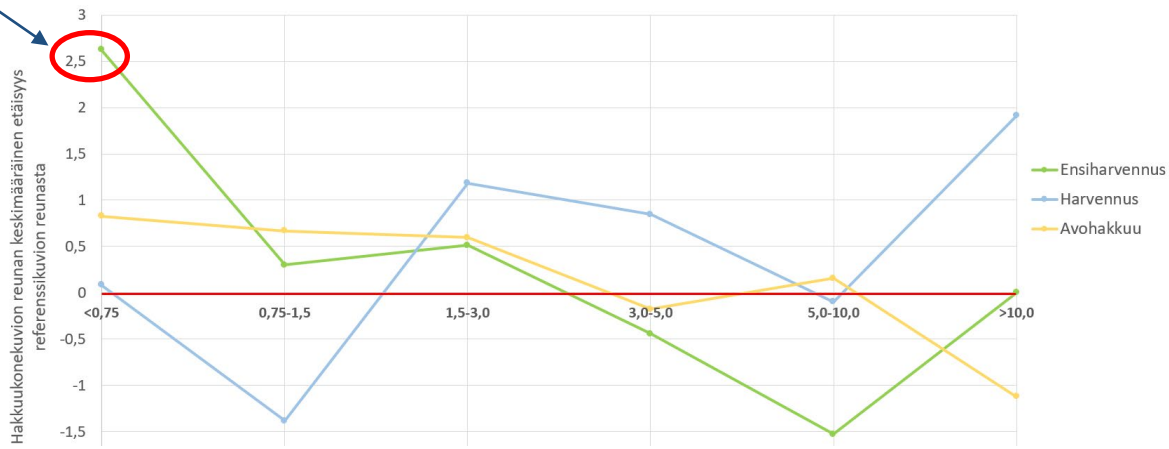
Pinta-alojen keskimääräiset suhdeluvut hakkuutavoittain ja kokoluokittain



Ensiharvennuksia oli yhteensä vain 21 kuviota.

Tulokset: kuvioiden vastaavuus

- Koko referenssiaineistossa kuviokohtaisten keskimääräisten reunaetäisyyksien keskiarvo oli 0,5 m ja keskihajonta 2,6 m.
  - Itseisarvoltaan suurin keskimääräinen reunaetäisyys kuviolla oli 9,2 m.
  - Vaikka alle 0,75 ha kuvioilla pinta-alojen suhdeluvut olivat melko suuria, metrimääräiset erot reunojen sijainneissa olivat varsin kohtalaisia.
- Kuvioiden siirtymien keskiarvo eri suunnissa oli noin yhden metrin luokkaa.
  - Kuviokohtaista satunnaista vaihtelua oli aina kymmeniin metreihin asti.



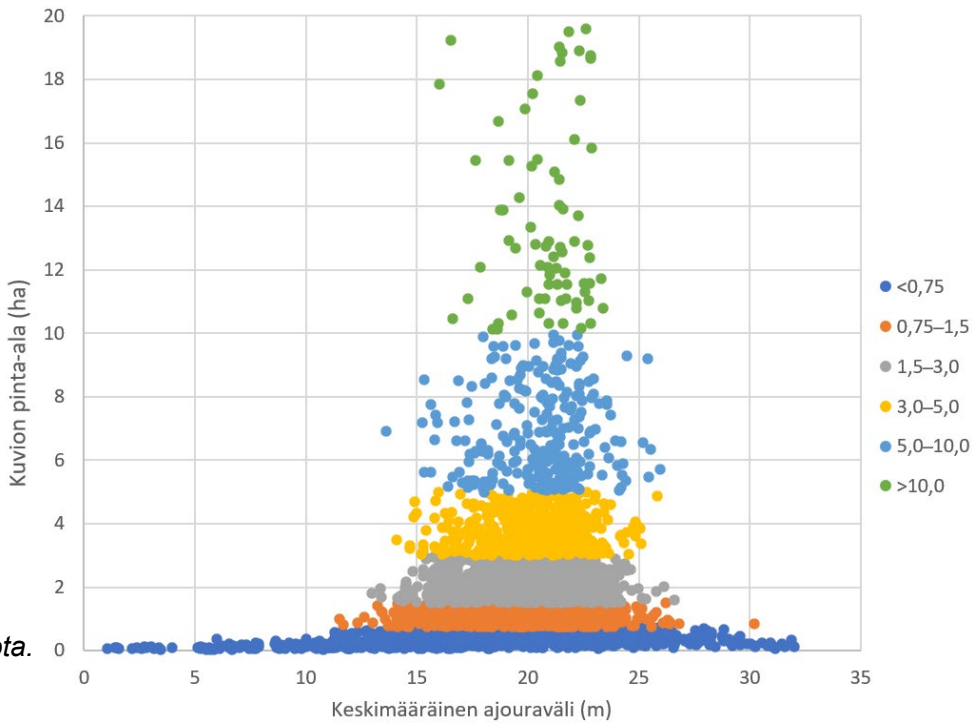
Hakkuukuvioiden reunojen keskimääräiset etäisyydet referenssikuvioista (m)

Positiivinen arvo: hakkuukonekuvio on keskimäärin enemmän referenssin ulkopuolella.
Negatiivinen arvo: hakkuukonekuvio on keskimäärin enemmän referenssin sisäpuolella.

Tulokset: ajouravälit

Kuviokoko vaikuttaa laskennallisesti tuotettuun kuviokohtaiseen keskimääräiseen ajouraväliin.

- Alle 0,75 ha kuvioilla keskimääräisten ajouravälien vaihtelu on todella suurta, joten niiden tuloksia ei voida pitää luotettavina.
- Yli 0,75 ha kuvioilla keskimääräinen ajouraväli vakiintuu noin 15–25 metriin.



Kuvion keskimääräinen ajouraväli.
Värit havainnollistavat kuvion kokoluokkaa.
Kuvaajasta on rajattu pois 10 kpl yli 20 ha kuviota.

Tulokset: ajouravälit hakkuutavoittain

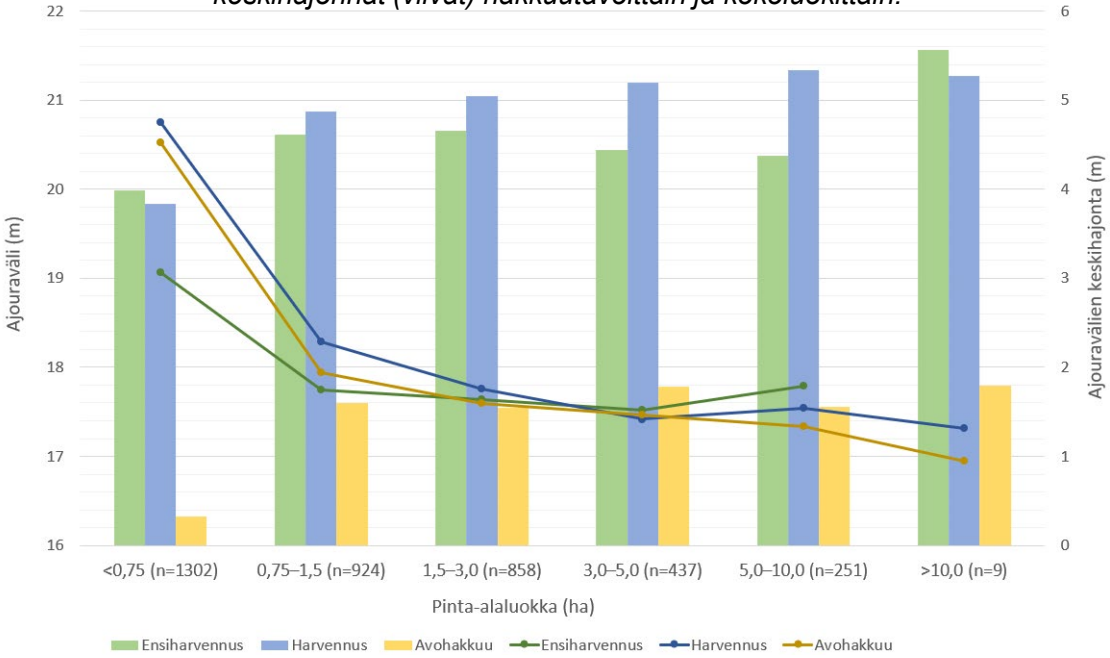
Yli 0,75 ha kuviot:

- Koko ajouraverkostoilta laskettujen ajouravälien keskiarvo oli 21,0 m (keskihajonta 1,8 m) kaikilla harvennushakkuilla.
  - Tulokset vastasivat hyvin Metsäkeskuksen ajouravälin tavoitearvoja harvennuksilla (yli 20 m).
  - Kuviokohtaista keskimääräisen uravälin vaihtelua kuitenkin esiintyi.
- Ajouravälit kasvoivat hieman kuvion pinta-alan kasvaessa.
- Avohakkuukuvioilla ajouraväli oli hieman yli 17,5 m.

Alle 0,75 ha kuviot:

- Keskimääräiset ajouravälit olivat noin 20 m tuntumassa. Keskihajonta oli suurta.

Keskimääräiset ajouravälit (pylväät) ja niiden keskihajonnat (viivat) hakkuutavoittain ja kokoluokittain.



Tulokset: ajouravälit simuloidulla maastomittauksella

- Maastomittausta simuloimalla saadut ajouravälit mukailivat melko tasaisesti koko ajouraverkostolta laskettuja ajouravälejä.
- Kuvioista 89 %:lta saatiin simuloinnissa mitattua vähintään 8 koealaa.
  - Näillä kuvioilla ajouravälin yliarvio oli hieman alle metrin verran.
- Simulointi tuotti keskimäärin 4 % suurempia ajouravälejä.
- Koko ajouraverkostolta saatujen uravälihavaintojen lukumäärä koko simulointiaineistossa vaihteli 3–3343 kpl välillä (keskiarvo 215 kpl).

Keskimääräiset uravälit simuloidulla maastomittauksella ja koko ajouraverkostolta laskettuna.

Hakkuutapa	n	Osuus kuvioista (%)	Uratiheyksien keskiarvo (m/ha)	Automaattisten uravälien keskiarvo (m)	Simuloinnin uravälien keskiarvo (m)	Ajouravälien suhdeluku (simuloitu uraväli / automaattinen uraväli)
Ensiharvennus	171	7,2	583	20,6	21,1	1,023
Harvennus	1222	51,7	565	21,1	21,9	1,039
Avohakkuu	786	33,3	675	17,6	18,2	1,036
Muut hakkuutavat	184	7,8	582	19,6	20,8	1,062
Yhteensä	2363	100	604	19,8	20,6	1,039

Keskimääräiset ajouravälit simuloinnin koealojen lukumäärän mukaan

Kuvaajassa vain yli 1 ha kuviot.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Yhteensä
kpl	5	9	15	28	46	62	64	82	160	1708	2179

Simuloinnissa saatujen uravälien näytteistyspisteiden määrä kuviolla (n)

Simulointi — Automaattinen ajuraväli

Tulosten yhteenveto

- Kuvioiden pinta-alan vastaavuus oli yleisesti ottaen hyvä ja tavoitteen mukaisella tasolla. Kuviorajausten osuvuus oli myös pääosin hyvä. Merkittäviä eroja ei ilmennyt kolmen yleisimmän hakkuutavan välillä.
- Koko kuviota edustavien, automaattisilta ajouraverkostoilta laskettujen ajouravälien luotettavuus parani tulosten jakauman perusteella huomattavasti yli 0,75 ha kuvioilla.
- Maastotarkastusmittausta simuloiva ajouravälin laskenta tuotti hieman suurempia keskimääräisiä kuviokohtaisia ajouravälejä kuin ajouraverkostoilta lasketut uravälitulokset.
  - Keskimääräinen ajouravälien havaintomäärä koko ajouraverkostoilta (215 kpl) oli huomattavasti maastomittauksen simulointia suurempi (9 kpl).
  - Simuloinnin tulos johtunee siitä, että koealat sijoittuvat useimmiten leimikoiden keskialueille, joille ajourat pystytään sijoittamaan tasaisemmin. Näin ollen tulos ei välttämättä edusta kattavasti koko kuvion ajourastoa, esimerkiksi reunauria.
- Kuvioiden muoto ei tämän aineiston pohjalta vaikuttanut merkittävästi ajouratunnuksiin.
  - Pienet hakkuukonekuviot olivat säännöllisen muotoisia jo lähtökohtaisesti automaattisesta kuviointimenetelmästä johtuen.
  - Suurilla kuvioilla muodolla ei näyttänyt olevan merkitystä.
  - Ajourien sijoittelu on onnistunut keskimäärin paremmin suuremmille kuvioille, riippumatta aluerajausten muodoista.
- Kuviorajauksissa ja ajouratunnuksissa voi esiintyä mm. työtavoista, hakkuukoneen paikannuksesta ja korjuuolosuhteista johtuvaa vaihtelua.

Johtopäätökset

- Hakkuukonekuvioiden vastaavuus on tulosten perusteella siinä määrin hyvällä tasolla eri osissa Suomea, että niitä voidaan käyttää hakkuiden toteutustietoina metsävaratietojen ajantasaistukseen Suomen metsäkeskuksessa.
- Ajouraverkostoon perustuva uratunnusten laskenta toimii yli 0,75 ha kuvioilla riittävän luotettavasti, joten sen avulla voidaan arvioida hyvän metsänhoidon suositusten toteutumista hakkuualueen koko ajouraverkostolla.
- Koko kuvion näytteistys ajouratunnusten laskennassa lisää tuloksen edustavuutta ja siten myös luotettavuutta.
- Ajouraverkosto ja ajouratunnukset voidaan tuottaa automaattisesti, mikä mahdollistaa alueellisesti kattavan ja objektiivisen puunkorjuun laadun seurannan hakkuukoneen sijaintitietojen avulla.

Kirjallisuutta

Hakala, M. 2021. Hakkuukonetiedon hyödyntäminen kuviorajauksessa ja ajouratunnusten laskennassa. Maisterintutkielma, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/handle/10138/328779. [Viitattu 20.4.2021].

Leivo, J., Partanen, J., Hytönen, H., Haataja, L. ja Sorjonen, J. 2020. Maastotarkastusohje. Suomen metsäkeskus.

Melkas, T., Riekki, K. & Sorsa, J.-A. 2020. Automated Method for Delineating Harvested Stands Based on Harvester Location Data. Remote Sensing 2020, 12(17), 2754. Saatavissa: https://doi.org/10.3390/rs12172754. [Viitattu 8.4.2021].

Riekki, K., Melkas, T., Ovaskainen, H., Poikela, A. ja Sorsa, J-A. 2019. Ajourien automaattinen tuottaminen ja ajouratunnusten määrittäminen hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tuloskalvosarja 4/2019. Saatavissa: https://www.metsateho.fi/ajourien-automaattinen-tuottaminen/. [Viitattu 8.4.2021].

Räsänen, T., Melkas, T., Riekki, K., Sorsa, J-A., Poikela, A. ja Hämäläinen, J. 2019. Hakkuukoneet metsätiedon tuottajina. Metsätieteen aikakauskirja 2019. Artikkeli id 10250. Saatavissa: https://doi.org/10.14214/ma.10250. [Viitattu 8.4.2021].

Skogforsk 2021. StanForD/StanForD 2010-Standard for Forest Machine Data and Communication. Skogforsk, Sweden 2021. Saatavissa: https://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/. [Viitattu 8.4.2021].

Suomen metsäkeskus & Metsäteho 2018. Hakkuukonetiedon käyttö metsävaratiedon ajantasaistuksessa. Maa- ja metsätalousministeriön Metsätieto ja sähköiset palvelut–kärkihanke: Suomen metsäkeskuksen projekti 21300/505. Loppuraportti 31.8.2018.

Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. ja Väisänen, P. (Toim.) 2019 Metsänhoidon Suositukset. Tapion Julkaisuja. Tapio Oy, 2019. Saatavissa: https://tapio.fi/wp-content/uploads/2020/09/Metsanhoidon_suositukset_Tapio_2019.pdf [Viitattu 8.4.2021].