Automaattisten hakkuukonekuvioiden vertailu referenssikuvioihin

Metsätehon tuloskalvosarja 1/2020

Timo Melkas, Kirsi Riekki
Metsäteho Oy

ISSN 1796-2390

Metsäteho

Tiivistelmä

- Tavoitteena oli selvittää Metsätehon automaattisella kuviointimenetelmällä (Melkas ym. 2018) tuotettujen hakkuukonekuvioiden rajausten hyvyys referenssikuvioihin nähden.
- Automaattinen kuviointi on keskeisessä osassa, kun Suomen metsäkeskuksessa valmistaudutaan ajantasaistamaan metsävaratietoja hakkuukonekuvioilla.
- Referenssiaineistona tutkimuksessa käytettiin hakkuukuvioilta tarkkuus-GNSS-vastaanottimella maastokartoitettuja ja ilmakuvilta digitoituja kuvioiden aluerajauksia.
- Kuviorajausten yksityiskohtainen vertailu sekä laskennallinen GNSS-paikannustarkkuuden arviointi tehtiin Metsätehossa kehitetyillä työkaluilla.
- Havaittiin, että automaattinen kuviointi tuotti oletusasetuksilla 4 % yliarvion kuvioiden pinta-alaan. Tämän perusteella automaattisen kuviointimenetelmän pinta-alaparametrin arvoa säädettiin, jotta kuvioiden pinta-alat olisivat yhtäpitäviä referenssien kanssa. Lopputuloksena saatiin keskimäärin 1 % yliarvio automaattisiin kuvioihin. Tällöin myös aluerajausten vastaavuus muilta osin oli hyvä.
- Työ osoittaa, että automaattisen kuviointimenetelmän tuottamat hakkuukonekuviot soveltuvat hyvin metsävaratietojen ajantasaistamiseen.

Summary: The comparison of automatically delineated harvested stands with reference stands

- The purpose of the work was to study the accuracy of Metsäteho's automated stand delineation method (*Melkas et al., 2018, available in English*). The method produces harvested stands from the information which is recorded by harvesters during forest operations. In this work, the automatically delineated stands were compared to reference stands.
- Automated stand delineation is in crucial role as the Finnish Forest Centre prepares to update forest stand inventory data by using the operative harvested stands.
- The reference stand delineations were obtained by recording stand boundaries at field with a high-accuracy GNSS receiver (*N*= 27), and digitizing stands from aerial images (*N*= 42).
- Computational tools were developed along the work for detailed and efficient comparison of stand delineations as well as automated estimation of GNSS accuracy of harvester data.
- It was found, that the default automated stand delineation method resulted in a 4%, on average, overestimation of the relative area of the harvested stands. Therefore, the area parameter of method was adjusted to obtain balanced relative areas. After that, the accuracy improved to an approximate 1% overestimate on average (for stands over 0.75 hectares), which indicates great agreement between the harvested stands and reference stands.
- The shapes of the harvester stands were also found to be in good agreement with the reference stands.
- The conclusion of this study is that the automatically delineated harvested stands are well suitable for updating the forest stand inventory data.

Taustaa

- Hakkuukonetiedon käyttö julkisen metsävaratiedon ylläpidossa oli osa maa- ja metsätalousministeriön Metsätieto ja sähköiset palvelut -kärkihanketta (*Räsänen ym. 2019*). Hankkeessa selvitettiin mm. metsävaratietojen ajantasaistamista hakkuukonetietoon perustuvalla toteutustiedolla.
- Metsäsektorin toimijat ovat allekirjoittaneet v. 2018 suosituksen, joka koskee toteutuneiden operatiivisten puunkorjuu- ja muiden metsänhoitotöiden tietojen toimittamista Suomen metsäkeskukselle metsävaratietojen ylläpitoa varten.
- Suomen metsäkeskuksessa valmistellaan hakkuukonetiedon käyttöönottoa metsävaratietojen ajantasaistusprosessiin lähivuosina (*Suomen metsäkeskus & Metsäteho 2018*).
- Metsätehon automaattinen kuviointimenetelmä (*Melkas ym. 2018*) on keskeinen osa metsävaratietojen ajantasaistamista hakkuukonetietoihin perustuen.
  - Menetelmän avulla hakkuukonetiedoista jalostetaan toteutuneet hakkuukonekuviot.
  - Hakkuukonekuvio = hakattujen kuvioiden rajaukset tarkentavine ominaisuustietoineen (hakkuutapa ja hakkuun aloituspäivämäärä).
- Kun metsävaratiedot ajantasaistetaan toteutustiedoilla, toimenpidekuviot sulautetaan osaksi metsävarakuviointia.
  - Toimenpidekuvio muutetaan tällöin metsävarakuvioksi; näiden rajaukset eroavat joiltakin osin.
  - Tässä työssä tarkastellaan vain hakkuukonekuvioiden hyvyyttä, ei hakkuukonekuvioista tuotettuja lopullisia metsävarakuvioita.

Tavoite

- Tavoitteena oli selvittää Metsätehon automaattisella kuviointimenetelmällä (*Melkas ym. 2018*) tuotettujen hakkuukonekuvioiden rajausten osuvuus referenssikuvioihin nähden.
- Kuvioiden ja referenssirajausten vastaavuutta haluttiin verrata yksityiskohtaisesti, joten työn yhteydessä kehitettiin laskennallinen työkalu kuvioiden pinta-alojen sekä kuviorajojen pienipiirteisyyden, keskinäisen osuvuuden ja siirtymien vertailuun.
- Työn avulla pyritään varmistamaan, että metsävaratiedon ajantasaistukseen käytettävien hakkuukonekuvioiden pinta-alat vastaavat mahdollisimman hyvin oikeana pidettäviä vertailuarvoja.
- Pinta-alat saadaan vastaamaan vertailuarvoja määrittämällä työn tulosten avulla kuviorajausten ja referenssien väliset erot, ja säätämällä tarvittaessa niiden mukaisesti kuviointimenetelmässä käytetyn pinta-alaparametrin arvoa.

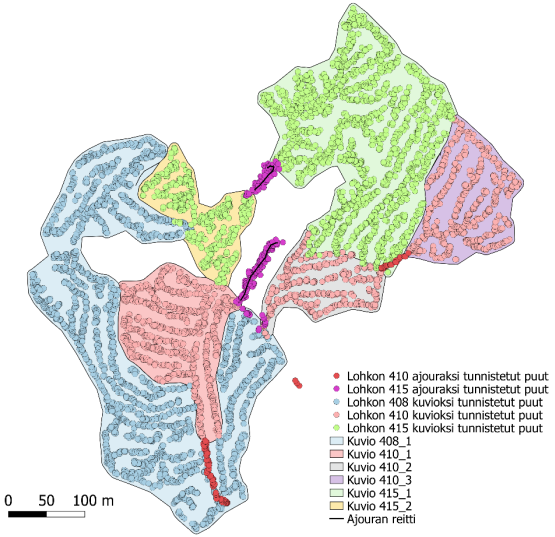
Hakkuukoneaineisto

- Aineistona käytettiin kuudelta hakkuukoneelta kerättyä operatiivista leimikkoaineistoa (n_{lohko} = 455, n_{rungot} = 634 656), joka oli kerätty 8/2015–9/2016 välisenä aikana pääosin Suomen metsäkeskuksen pääkaupunkiseudun inventointialueelta.
  - Aineisto kerättiin John Deeren, Komatsu Forestin ja Ponssen koneilta.
  - Tarkempi kuvaus aineistosta on esitetty julkaisussa *Melkas ym. 2018*.
- Aineisto sisältää pistemäisiä sijainteja, jotka tallennettiin jokaisen rungon kaadon yhteydessä StanForD-standardin (*Skogforsk 2019*) mukaisiin STM-runkotiedostoihin. Sijainnit määritettiin globaalilla satelliittipaikannusjärjestelmällä (GNSS) käyttäen hakkuukoneiden omia vastaanottimia.
  - Aineisto luokiteltiin hakkuukoneiden GNSS-vastaanottimien tarkkuuden perusteella konekohtaisesti tarkempiin ja epätarkempiin vastaanottimiin.
  - Vastaanotinten tarkkuuden on havaittu riippuvan käytetyn laitteiston mallista ja välillisesti myös iästä.
- Aineiston lohkojen hakkuutavat oli kerätty metsäyhtiöiltä erikseen. Ne yhtenäistettiin ja vietiin manuaalisesti lohkoille.

Esimerkki hakkuukoneaineiston keruusta leimikolla.

Automaattisesti kuvioitu hakkuukoneaineisto

- Hakkuukoneaineisto oli kuvioitu käyttäen Metsätehon automaattista kuviointialgoritmia (*Melkas ym. 2018*), joka tuottaa runkokohtaisista tiedoista hakkuukonekuvion rajauksen. Kts. esimerkiksi oheiset kuvat.
- Menetelmä sisältää seuraavat vaiheet:
  - Esikäsittely: aineiston purku StanForD-tiedostoista ja yksikäsitteisten lohko- ja runkotunnisteiden luonti.
  - Kuviopuujoukot: kuvioiden ja kuvioille johtavien ajourien erottelu (algoritmi I).
  - Yhden ajouran kuviot: tiheiden kuvioille johtavien ajourien tunnistaminen ja palautus kuviointiprosessiin erillisenä kuviopuujoukkona.
  - Kuvioiden aluerajausten muodostus: Delaunay-kolmiointi, alueen valinta ja puskurointi oletusarvolla 6,5 m (algoritmi II).
  - **Vierekkäisten kuvioiden välisen kuviorajan tasapainotus (algoritmi III).*
  - **Kuvioiden puukohtaisten poistumatietojen päivitys.*
- Tässä työssä vertailu tehtiin toteutuneiden hakkuukuvioiden rajauksille, mistä johtuen käytettiin algoritmin II lopputuloksena saatuja rajauksia.
  - Algoritmi III muuttaa kuviorajauksia ja niiden pinta-aloja sellaisilla kuvioilla, jotka sivuavat muita hakkuukoneaineiston kuvioita. Koska hakkuukoneaineisto ei ole alueellisesti täysin kattava, ei vertailtava aineisto olisi yhdenmukaista, mikäli osa kuvioista olisi tasapainotettu yhden/muutamien viereisten kuvioiden kanssa ja osa ei. Tästä syystä vertailussa käytettiin algoritmin II tuottamia kuviorajauksia.



Ilmakuva © Maanmittauslaitos 2018

**Sisältyy algoritmiin, mutta ei sisälly tähän työhön.*

Vertailuaineistot

- Vertailuaineistona käytettiin hakkuukoneaineiston kuvioilta GNSS-vastaanottimella maastokartoitettuja (*N*=27) ja ilmakuvilta digitoituja (*N*=42) hakkuukuvioiden aluerajauksia.
- Maastomittaukset tehtiin marraskuussa 2015 (22 kpl), ja niitä täydennettiin kesällä 2019 (5 kpl). Referenssikuviot paikannettiin käyttäen joko Trimblen GeoXH6000 (2015) tai Trimblen R2 GNSS (2019) -vastaanotinta sekä VRS H-Star -jälkikorjausta.
  - Valmistajan ilmoittama paikannustarkkuus oheisille laitteistoille oli alle 0,5 m (GNSS + virtuaalitukiasema) ja H-Star-korjausta käyttäen n. 0,1 m. Yksityiskohtaisemmat laitteiden tekniset tiedot löytyvät valmistajan kotisivuilta (*Trimble 2020*).
- Ortoilmakuvilta digitoidut aluerajaukset perustuivat Maanmittauslaitoksen avoimeen ilmakuva-aineistoon. Referenssikuviorajaukset digitoitiin vuonna 2019 paikkatieto-ohjelmassa pääosin päätehakkuukohteilta silloin, kun hakkuu näkyi ilmakuvassa.
  - Joitakin mahdollisia ilmakuvareferenssejä hylättiin siksi, että hakkuukuvion ympärillä näkyi paljon muuta avointa aluetta, eikä kuvion rajausta voitu erottaa ilmakuvasta riittävällä tarkkuudella.
- Sekä maasto- että ilmakuvareferenssirajauksissa pyrittiin taltioimaan hakkuukuvion rajaus metsävarakuvion sijasta.
  - Maastomittauksissa kuvioraja paikannettiin hakattujen ja pystyyn jääneiden vallitsevien puiden puoliväliin.
  - Ilmakuvilta digitoitaessa rajauksiin on voinut jäädä tulkinnallisuutta metsikkökuvioiden reunoilla esimerkiksi teiden, peltojen ja ojien läheisyydessä.
- Lisäksi vertailussa mukana oli puoliautomaattinen kuviointiaineisto, joka tuotettiin samasta hakkuukoneaineistosta (*Melkas & Riekki 2017*).
  - Pääero automaattiseen kuviointiin on, että kuviorajaukset on tarkastettu manuaalisesti, ja niitä on tarvittaessa muokattu. Myös lohkotusta on muokattu manuaalisesti, mistä seuraa joitakin eroja.
  - Puoliautomaattinen menetelmä perustuu Delaunay-kolmiointiin, puskurivyöhykkeen muodostukseen ja tiettyihin parametriarvoihin, joiden avulla muodostetaan hakkuukuvioiden toteutuneet rajaukset.

Hakkuukuvion rajan paikannus Trimblen GeoXH6000-vastaanottimella.

Aineistojen valmistelu ja luokittelu vertailuun

- Kuviot ja referenssit yhtenäistettiin mahdollisuuksien mukaan vastaamaan toisiaan. Tyypillisiä tapauksia, joissa kuvioita jouduttiin yhtenäistämään, olivat mm.:
  - Leimikko oli jaettu kahteen eri referenssikuvioon, vaikka automaattisessa kuvioinnissa oli muodostunut vain yksi kuvio koko leimikon alueelle.
    → Automaattinen kuviointi tuotettiin osakuvioiden puujoukoille erillisesti.
  - Referenssikuvio sisälsi useita automaattisen kuvioinnin kuvioita saman leimikon alueelta.
    → Automaattinen kuviointi tuotettiin kuvioiden puujoukoille yhdistettynä.
- Joissakin tapauksissa kuviot ja referenssit poikkesivat toisistaan kuvioille johtavien ajourien tai hakkuukoneaineiston lohkotuksen osalta siinä määrin, että niitä ei voitu yhtenäistää.

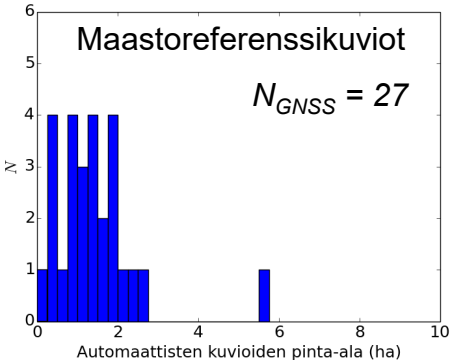
→ Kuviot luokiteltiin vertailuun seuraavasti:

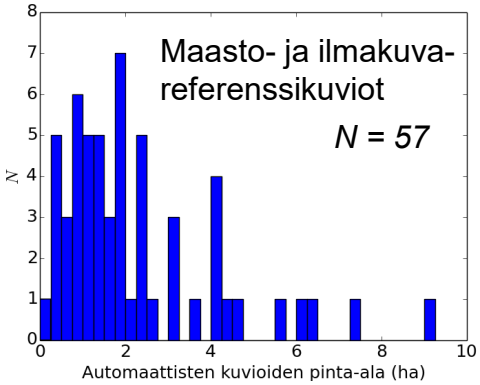
1) ”Hyvät kuviot”: kuvio ja referenssi vastaavat toisiaan (N = 57, N_{GNSS} = 27, N_{IK} = 42, $N_{GNSS,\ IK}$ = 12).
   - Kuvioiden hakkuutapa oli pääosin avohakkuu (N = 48). Lisäksi oli harvennushakkuita (N = 4) ja siemenpuuhakkuita (N = 5).
2) Poikkeavat kuviot, joita ei voitu yhtenäistää:
   - Vertailtavat kuviot eroavat kuvioille johtavien urien osalta (N = 3, N_{GNSS} = 2, N_{IK} = 2, $N_{GNSS,\ IK}$ = 1).
   - Hakkuukoneaineiston lohkotus eroaa referenssistä (N = 5, N_{GNSS} = 4, N_{IK} = 1).

- Joitakin referenssejä jouduttiin lisäksi hylkäämään kokonaan tarkastelun ulkopuolelle, koska hakkuukoneen pistemäinen sijaintiaineisto ja referenssi erosivat huomattavasti toisistaan. Syitä tilanteisiin olivat mm.:
  - Maastokartoituksessa oli tapahtunut virhe.
  - Ilmakuvilta ei voitu määrittää selkeästi oikeana pidettävää rajauskohtaa, esimerkiksi jos hakkuukuvio ulottuu tien molemmin puolin.
  - Hakkuukoneaineistosta on voinut puuttua osa hakattujen puiden tiedoista, koska aineiston kerääminen ei ollut alueellisesti tai ajallisesti kattavaa.

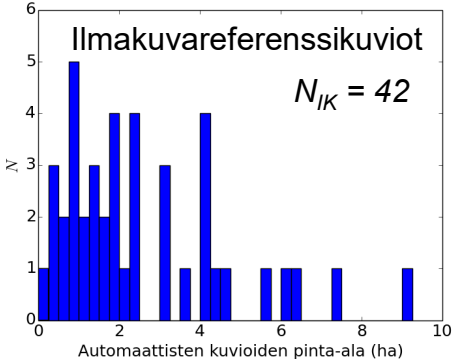
Vertailukuvioiden kokojakauma (”hyvät kuviot”)

- Kuviot jaettiin pinta-alan mukaan kokoluokkiin. Käytetty luokitus ja kuvioiden lukumäärät näkyvät oheisessa taulukossa.
  - Suluissa tarkemman/epätarkemman hakkuukonepaikannuksen kuvioiden määrät.
- Luokitus tehtiin automaattisten kuvioiden perusteella.
  - Tällöin kuvioiden kokoluokitus ei muutu vertailuissa eri kuvioaineistoihin.





Vert. aineisto	Ref. aineisto	Kuv. määrä *N*	< 0,75 ha	0,75 – 1,5 ha	1,5 – 3,0 ha	> 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13	3	5	4	1
Autom.	Maasto	27 (23 / 4)	6 (6 / -)	11 (9 / 2)	9 (7 / 2)	1 (1 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (29 / 13)	6 (4 / 2)	10 (7 / 3)	11 (7 / 4)	15 (11 / 4)
Autom.	Puoliautom.	57 (41 / 16)	9 (7 / 2)	16 (12 / 4)	17 (11 / 6)	15 (11 / 4)
Puoliautom.	Maasto	27 (23 / 4)	6 (6 / -)	11 (9 / 2)	9 (7 / 2)	1 (1 / -)
Puoliautom.	Ilmakuva	42 (29 / 13)	6 (4 / 2)	10 (7 / 3)	11 (7 / 4)	15 (11 / 4)



Vertailumenetelmät

- Kuvioita verrattiin koon ja sijainnin osalta pareittain:
  - Maasto- ja ilmakuvareferenssejä verrattiin toisiinsa.
  - Automaattisia kuvioita verrattiin referenssikuvioihin ja puoliautomaattisiin kuvioihin.
  - Puoliautomaattisia kuvioita verrattiin referenssikuvioihin.

Vertailu tehtiin tarkoitukseen kehitetyllä laskentatyökalulla seuraavasti:

- Pinta-alat ja piirit saatiin paikkatieto-ohjelmassa suoraan aluerajausten geometrioista

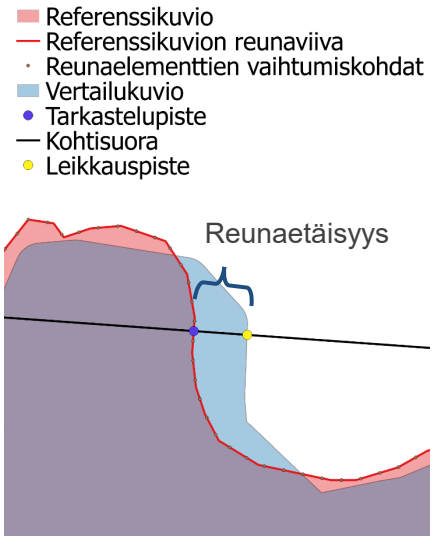
  → Laskettiin suhteelliset pinta-alat ja piirit vertailukuvioihin nähden.

- Rajausten osuvuuserojen löytämiseksi mitattiin kohtisuora etäisyys verrattavien kuvioiden reunaviivojen välillä. Koko kuvioreuna näytteistettiin vakiopituisiin tarkasteluosuuksiin.

  → Reunojen etäisyyshavainnoista määritettiin keskiarvo, mediaani, keskihajonta ja keskineliövirheen neliöjuuri (RMSE).

- Laskettiin keskimääräisen sivuttaissiirtymän suuruusluokkaa kuvaavat arvot pää- ja sivuilmansuunnissa.

  → Havaittiin kuvioreunojen osien systemaattiset siirtymät tai koon muutokset (laajentumat/pienentymät), jotka lisäksi tarkastettiin visuaalisesti koko aineistosta.
  - Sivuttaissiirtymien suuruusluokka-arvot osoittautuivat enemmän tulkinnallisiksi kuin muut lasketut vertailusuureet.
  - Toisinaan siirtymän suuruusluokka-arvojen havaittiin perustuvan toisinaan jopa alle 10 näytepisteeseen, jolloin niiden luotettavuus oli heikompi.
  - Tuloksiin luettiin mukaan vain visuaalisesti todennetut siirtymät tai koon muutokset, suuruusluokaltaan karkeasti vähintään leimikon keskimääräisen paikannusepätarkkuuden luokkaa. Yleensä tällöin kuvion ja referenssin reunojen etäisyydet olivat 4...5 m ja siitä ylöspäin.



Esimerkki reunaviivojen keskinäisen etäisyyden määrittämisestä.

Tulokset puskurivyöhykkeen oletusleveydellä: keskimääräiset suhteelliset pinta-alat

Harmaa: *N*=1

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Vert. / ref. kuvion ala, < 0,75 ha	Vert. / ref. kuvion ala, 0,75–1,5 ha	Vert. / ref. kuvion ala, 1,5–3,0 ha	Vert. / ref. kuvion ala, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	1,13	1,09	1,06	1,02
Autom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	1,16 (1,16 / -)**	1,07 (1,07 / 1,10)	1,11 (1,06 / 1,31)	1,07 (1,07 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	1,35 (1,18 / 1,69)	1,06 (1,04 / 1,09)	1,08 (1,05 / 1,13)	1,04 (1,04 / 1,05)
Autom.	Puoliautom.	57 (9 + 16 + 17 +15)	1,04 (1,03 / 1,05)	1,01 (1,01 / 1,00)	1,01 (1,01 / 1,01)	1,00 (1,00 / 0,99)
Puoliautom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	1,11 (1,11 / -)	1,07 (1,06 / 1,10)	1,12 (1,06 / 1,32)	1,07 (1,07 / -)
Puoliautom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	1,30 (1,15 / 1,62)	1,06 (1,04 / 1,10)	1,06 (1,04 / 1,11)	1,05 (1,04 / 1,06)

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin pienimmästä suurimpaan

**Vertailukuvioiden jakaantuminen hakkuukoneessa olleen GNSS-vastaanottimen mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Tulokset puskurivyöhykkeen oletusleveydellä: keskimääräiset reunaetäisyydet

Harmaa: *N*=1

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Keskim. reuna-etäisyydet, m, < 0,75 ha	Keskim. reuna-etäisyydet, m, 0,75–1,5 ha	Keskim. reuna-etäisyydet, m, 1,5–3,0 ha	Keskim. reuna-etäisyydet, m, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	1,51	1,68	1,44	0,68
Autom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	1,14 (1,14 / -)**	1,75 (1,69 / 2,02)	3,78 (2,56 / 8,02)	4,30 (4,30 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	3,63 (1,61 / 7,68)	1,17 (0,99 / 1,61)	2,45 (1,96 / 3,31)	2,24 (2,29 / 2,10)
Autom.	Puoliautom.	57 (9 + 16 + 17 +15)	0,88 (0,27 / 3,04)	0,27 (0,37 / −0,03)	0,61 (0,28 / 1,20)	0,08 (0,09 / 0,06)
Puoliautom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	0,71 (0,71 / -)	1,61 (1,51 / 2,00)	3,96 (2,83 / 7,91)	4,63 (4,63 / -)
Puoliautom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	2,88 (1,29 / 6,04)	1,18 (0,94 / 1,73)	2,04 (1,81 / 2,45)	2,28 (2,20 / 2,49)

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin pienimmästä suurimpaan

**Vertailukuvioiden jakaantuminen hakkuukoneessa olleen GNSS-vastaanottimen mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Tulokset puskurivyöhykkeen oletusleveydellä: rajausten siirtymät ja osittaiset koon muutokset

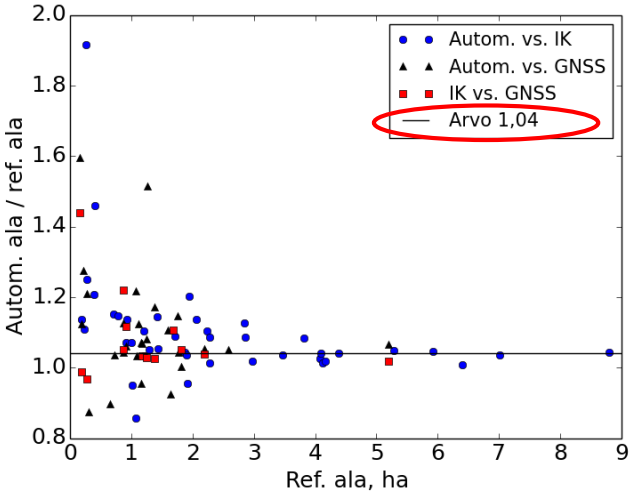
Vertailtaessa automaattisia kuvioita referenssikuvioihin havaittiin, että:

- Muutama ilmakuvareferenssi oli siirtynyt (2 kpl) tai laajentunut (3 kpl) suhteessa maastoreferensseihin.
- Hakkuukoneaineiston ominaisuudet aiheuttivat automaattisten kuvioiden siirtymiä ja koon muutoksia.
  - Kuvioista 2 kpl oli siirtynyt suhteessa molempiin referensseihin (kokoluokittain 0 + 1 + 1 + 0).
  - Kolmen kuvion koko oli muuttunut suhteessa molempiin referensseihin (2 + 0 + 0 + 1).
  - GNSS-referenssin suhteen oli siirtynyt 6 kuviota (2 + 3 + 1 + 0), ja koko oli muuttunut 6 muulla kuviolla (1 + 3 + 2 + 0).
  - Ilmakuvareferenssin suhteen oli siirtynyt 8 kuviota (1 + 3 + 2 + 2), ja koko oli muuttunut 10 muulla kuviolla (2 + 2 + 4 + 2).
  - Siirtymiä ja koon muutoksia tapahtui sekä tarkemman että epätarkemman paikannuksen hakkuukoneilla hakatuilla kuvioilla. Yksityiskohtaisemmat tiedot löytyvät liitteestä 1, dia 32.
- Myös automaattinen kuviointimenetelmä aiheutti koon muutoksia referensseihin nähden.
  - Tällaisia kuvioita havaittiin 6 kpl (kuvioiden kokoluokittain 0 + 2 + 2 + 2), ja kuvioiden keskimääräinen suhteellisen pinta-alan yliarvio referensseihin nähden oli 10 %.
  - Automaattinen menetelmä ei ole yhtä yksityiskohtainen kuvioreunojen tuottamisessa kuin referenssien digitointi.

Automaattisen kuvioinnin vastaavuus referensseihin

- Pinta-alojen vertailutuloksista (dia 12) havaittiin, että automaattisten kuvioiden pinta-ala puskurivyöhykkeen oletusarvolla on tarkasteluaineistossa keskimäärin hieman suurempi kuin referenssien.
  - Pienillä kuvioilla suhteellinen ero on suurempi, vaikka absoluuttiset erot eli pinta-alojen erotukset ovat likimain samaa suuruusluokkaa kaiken kokoisilla kuvioilla.
  - Reunaetäisyyksien keskiarvot (dia 13) tukevat havaintoa.
  - Lisää vertailutuloksia on liitteessä 1.
- Lisäksi havaittiin, että hakkuukoneen paikannustarkkuus vaikuttaa kuvion pinta-alan osuvuuteen.
  - Tarkempi paikannus: keskimäärin yliarvio on noin 4 %, ja kuvioilla on tasaisesti pinta-alan ali-, keskimääräisiä ja yliarvioita.
  - Epätarkempi paikannus: enemmistöllä kuvioista suhteellisen pinta-alan yliarvio on noin 10% luokkaa ja asettuu suurilla, yli 3 ha kuvioilla noin 4 % tasolle. Kuvioiden pinta-alat ovat joko keskimääräisiä tai yliarvioita.

→ Automaattisten kuvioiden pinta-aloissa on säätötarvetta.



Automaattisten kuvioiden pinta-alat suhteessa referensseihin, sekä referenssien väliset suhteelliset pinta-alat. Vaakasuora viiva kuvaa 4 % pinta-alan yliarviota.

Hakkuukonekuvioiden laskennallinen paikannustarkkuus

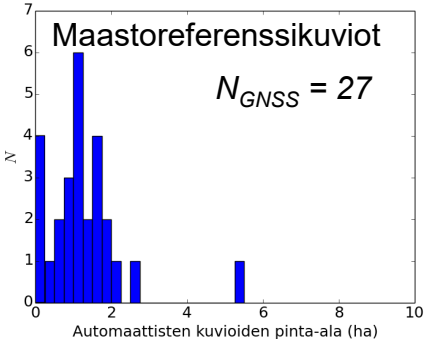
- Koska pinta-alan osuvuus vaihteli konekohtaisen luokituksen epätarkemman paikannuksen hakkuukonekuvioilla (16 kpl), päätettiin selvittää kaikkien kuvioiden paikannustarkkuutta laskennallisin keinoin ennen kuviointimenetelmän pinta-alan säätöä.
- Kaikille hakkuukoneaineiston lohkoille tuotettiin **laskennallinen paikannustarkkuusluokitus** (tarkempi/epätarkempi) Metsätehossa sitä varten laaditulla työkalulla.
  - Laskennallinen luokitus tehtiin hakkuukoneaineistolle lohkokohtaisesti, ja se perustuu hakkuukoneen tallentamien sijaintien keskinäisiin etäisyyksiin.
- Kuvioiden laskennallinen paikannustarkkuusluokitus erosi konekohtaisesta paikannustarkkuusluokituksesta: osa epätarkemman paikannuksen hakkuukoneilla hakatuista kuvioista osoittautuikin laskennallisessa luokituksessa paikannukseltaan tarkemmiksi (12 kpl). Visuaalinen tarkastelu tuki osaltaan tätä tulosta.
  - Niillä kuvioilla, joilla laskennallinen luokitus oli epätarkempi (4 kpl), oli suht. pinta-alassa keskiarvoja suurempi yliarvio.
  - Tämä tulos korostaa samalla mm. olosuhteiden vaikutusta paikannustarkkuuteen:
    - epätarkemmilla laitteilla tarkkuuden vaihtelu riippuu enemmän olosuhteista kuin tarkemmilla laitteilla, ja
    - myös epätarkemmilla laitteilla on mahdollista päästä tarkempaan paikannukseen hyvissä olosuhteissa.

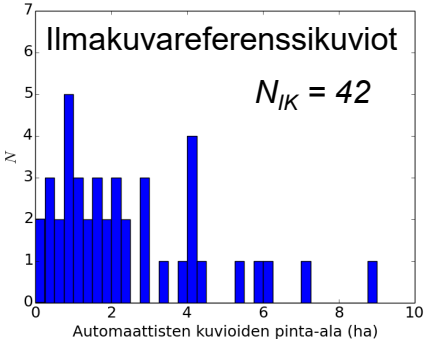
Vert. aineisto	Ref. aineisto	Kuv. määrä *N*	< 0,75 ha	0,75 – 1,5 ha	1,5 – 3,0 ha	> 3,0 ha
Autom.	Maasto	27 (26 / 1)	7 / -	11 / -	7 / 1	1 / -
Autom.	Ilmakuva	42 (39 / 3)	7 / -	10 / -	10 / 3	12 / -

Kuvioiden laskennallinen paikannustarkkuusluokitus eri kokoluokissa (vrt. dia 10). Suluissa laskennallisesti tarkempien/epätarkempien kuvioiden määrät.

Kuviointimenetelmän pinta-alaparametrin säätö

- Pinta-alojen yliarvioinnin seurauksena pyrittiin saamaan automaattisten hakkuukonekuvioiden pinta-alat vastaamaan mahdollisimman hyvin toteutuneita referenssien pinta-aloja riippumatta paikannustarkkuudesta.
- Menetelmän pinta-alaa säätävän parametrin, eli puskurivyöhykkeen leveyden oletusarvo 6,5 m on tähän asti ollut käytössä kaikilla kuvioilla (kts. *Melkas ym. 2018*, algoritmi II).
- Pinta-alaparametrin säätöä varten valittiin yli 0,75 ha:n kuvioista visuaalisella tarkastelulla 9 kpl laskennallisesti tarkemman paikannuksen kuvioita, ja 3 kpl laskennallisesti epätarkemman paikannuksen kuvioita. Näille kuvioille poimittiin reunaetäisyydet sellaisista kohdista, joissa reunan ja referenssin katsottiin vastaavan hyvin toisiaan. Keskiarvoistamalla poimitut reunaetäisyydet saatiin selville, kuinka paljon kuvioreunaa täytyy siirtää ”sisäänpäin”, jotta kuvion ja referenssin reunat ovat keskimäärin ”samoissa kohdissa”.
  - Valituilla tarkemman paikannuksen kuvioilla oli 6 maastoreferenssiä ja 3 ilmakuvareferenssiä, ja epätarkemman paikannuksen kuvioilla oli kaikilla ilmakuvareferenssi.
  - Yksi neljästä epätarkemman laskennallisen luokituksen kuvioista erosi pinta-alan osuvuudessa merkittävästi muista kolmesta kuviosta, minkä takia se jätettiin pois parametrin arvon säädöstä.
- Uusiksi puskurivyöhykkeen leveyden arvoiksi saatiin
  - laskennallisesti tarkemman paikannuksen kuvioilla 5,0 m, ja
  - laskennallisesti epätarkemman paikannuksen kuvioilla 3,2 m.
- Vertailutulokset laskettiin uusilla parametriarvoilla ja tulokset ovat seuraavilla dioilla.





Automaattisten kuvioiden pinta-alajakaumat uusilla puskurivyöhykkeen arvoilla (vrt. dia 10).

Tulokset: keskimääräiset suhteelliset pinta-alat ja piirit pinta-alaparametrin säädön jälkeen

Harmaa: *N*=1

Pinta-alat

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Vert. / ref. kuvion ala, < 0,75 ha	Vert. / ref. kuvion ala, 0,75–1,5 ha	Vert. / ref. kuvion ala, 1,5–3,0 ha	Vert. / ref. kuvion ala, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	1,13	1,09	1,06	1,02
Autom.	Maasto	27 (7 + 11 + 8 +1)	1,00 (1,00 / -)**	1,00 (1,00 / -)	1,07 (1,03 / 1,36)	1,03 (1,03 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (7 + 10 + 13 + 12)	1,16 (1,16 / -)	0,98 (0,98 / -)	1,01 (1,01 / 1,00)	1,00 (1,00 / -)

Piirit

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Vert. / ref. kuvion piiri, < 0,75 ha	Vert. / ref. kuvion piiri, 0,75–1,5 ha	Vert. / ref. kuvion piiri, 1,5–3,0 ha	Vert. / ref. kuvion piiri, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	1,06	0,99	0,97	0,96
Autom.	Maasto	27 (7 + 11 + 8 +1)	0,96 (0,96 / -)**	0,92 (0,92 / -)	0,91 (0,90 / 0,98)	0,87 (0,87 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (7 + 10 + 13 + 12)	0,97 (0,97 / -)	0,97 (0,97 / -)	0,97 (0,96 / 0,98)	0,96 (0,96 / -)

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin pienimmästä suurimpaan
**Vertailukuvioiden jakaantuminen laskennallisen GNSS-tarkkuuden mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Tulokset: keskimääräiset reunaetäisyydet ja niiden RMSE:t pinta-alaparametrin säädön jälkeen

Harmaa: *N*=1

Reunaetäisyydet

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Keskimäär. reuna-etäisyydet, m, < 0,75 ha	Keskimäär. reuna-etäisyydet, m, 0,75-1,5 ha	Keskimäär. reuna-etäisyydet, m, 1,5-3,0 ha	Keskimäär. reuna-etäisyydet, m, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	1,51	1,68	1,44	0,68
Autom.	Maasto	27 (7 + 11 + 8 +1)	−0,61 (−0,61 / -)**	−0,25 (−0,25 / -)	2,66 (1,73 / 9,16)	2,82 (2,82 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (7 + 10 + 13 + 12)	1,80 (1,80 / -)	−0,70 (−0,70 / -)	0,35 (0,63 / −0,55)	0,44 (0,44 / -)

RMSE:t

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Reunaetäisyyksien RMSE, m, < 0,75 ha	Reunaetäisyyksien RMSE, m, 0,75-1,5 ha	Reunaetäisyyksien RMSE, m, 1,5-3,0 ha	Reunaetäisyyksien RMSE, m, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	4,80	4,75	4,73	5,81
Autom.	Maasto	27 (7 + 11 + 8 +1)	5,53 (5,53 / -)**	6,08 (6,08 / -)	8,34 (7,85 / 11,78)	10,07 (10,07 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (7 + 10 + 13 + 12)	7,63 (7,63 / -)	5,80 (5,80 / -)	7,63 (7,31 / 8,70)	7,48 (7,48 / -)

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin pienimmästä suurimpaan

**Vertailukuvioiden jakaantuminen laskennallisen GNSS-tarkkuuden mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Tulokset: rajausten siirtymät ja osittaiset koon muutokset pinta-alaparametrin säädön jälkeen

Vertailtaessa automaattisia kuvioita referenssikuvioihin havaittiin, että:

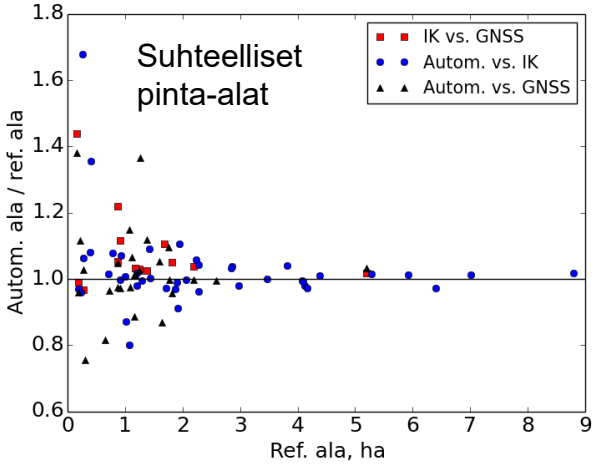
- Kuvioista 2 kpl oli siirtynyt suhteessa molempiin referensseihin (kokoluokittain 0 + 1 + 1 + 0).
- Kahden kuvion koko oli muuttunut suhteessa molempiin referensseihin (1 + 0 + 0 + 1).
- GNSS-referenssin suhteen oli siirtynyt 6 kuviota (2 + 3 + 1 + 0), ja koko oli muuttunut 5 muulla kuviolla (1 + 3 + 1 + 0).
- Ilmakuvareferenssin suhteen oli siirtynyt 7 kuviota (1 + 2 + 2 + 2), ja koko oli muuttunut 9 muulla kuviolla (2 + 3 + 4 + 0).
- Kaikilta neljältä laskennallisesti epätarkemman paikannuksen kuvioilta havaittiin siirtymä tai koon muutos.
- Automaattisesta kuviointimenetelmästä johtuvat laajentumat (6 kpl) ovat myös havaittavissa pääsääntöisesti samoin kuin ennen pinta-alan säätöä.
- Yksityiskohtaisemmat tiedot löytyvät liitteestä 3, dia 48.

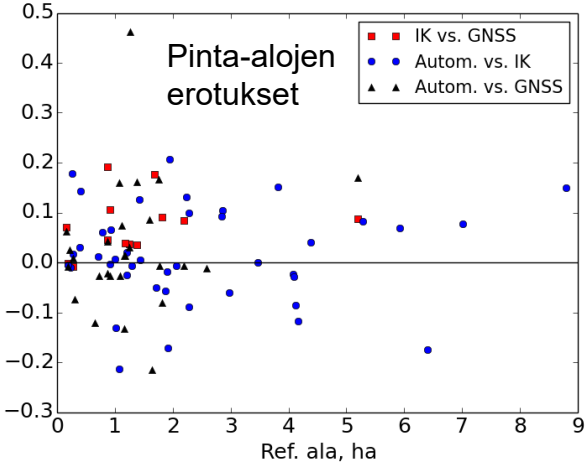
Automaattisen kuvioinnin pinta-alan vastaavuus parametrin säädön jälkeen

- Pinta-alaparametrin säädön jälkeen automaattisten kuvioiden pinta-alat vastasivat referenssejä keskimäärin hyvin.
- Yli 0,75 ha:n kuvioilla suhteellisten pinta-alojen keskiarvo oli 1,01, eli pinta-alan yliarvio oli vain 1 %.
- Kuvallisia esimerkkejä tuloksista on liitteessä 2, ja yksityiskohtaisempia taulukoita on liitteessä 3.

Autom. kuvioiden vertailut:
Kaikki kuviot: suhteellisten pinta-alojen keskiarvo 1,025 ja keskihajonta 0,13.

Yli 2 ha kuviot: Suhteellisten pinta-alojen keskiarvo 1,007 ja keskihajonta 0,03.



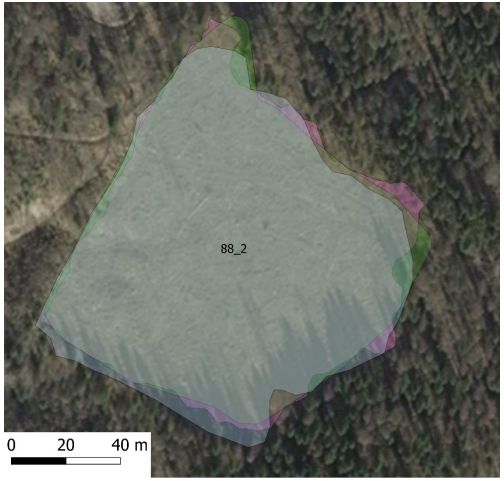


Autom. kuvioiden vertailut:
Pinta-alojen erotusten keskiarvo 0,02 ha ja keskihajonta 0,11 ha.

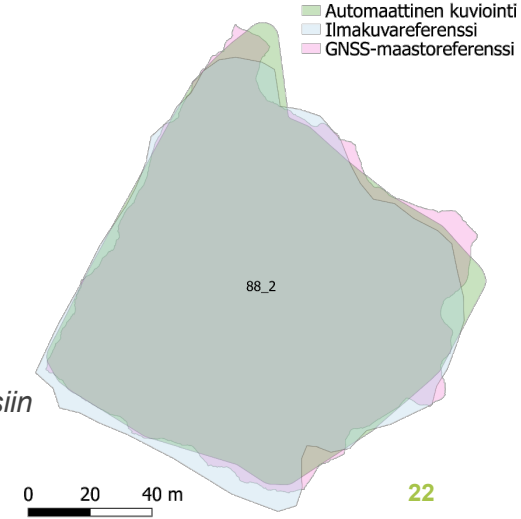
Tulosten yhteenveto, osa 1

Referenssikuvioiden väliset erot:

- Maasto- ja ilmakuvareferenssit vastaavat toisiaan pääosin hyvin, mutta joillakin kuvioilla on poikkeamia tarkastelusuureissa.
  - Hakkuukuvion alueen rajaaminen on toisinaan vaikeaa sekä maastossa että ilmakuvilla.
    - On mahdollista, että tarkasteluun valituissa referensseissä on virheitä.
    - On myös mahdollista, että sama alue maastossa näyttäytyy tehdyn toimenpiteen osalta erilaisena maastokartoituksessa kuin ilmakuvalla, riippuen esimerkiksi maaston peitteisyydestä.
  - Referenssirajausten oikeellisuus on ylipäätään subjektiivista.
    - Ilmakuvareferenssit ovat kahden henkilön läpikäymiä.
  - Ilmakuvissa voi olla mm. oikaisuvirhettä tai säteittäissiirtymää, mikä aiheuttaa tuloksiin siirtymiä.
  - Maastoreferenssien pienipiirteisyys kasvattaa niiden piiriä hieman.
  - Tarkemmat tulokset ovat liitteessä 2, dia 35.



Ilmakuva © Maanmittauslaitos 2019

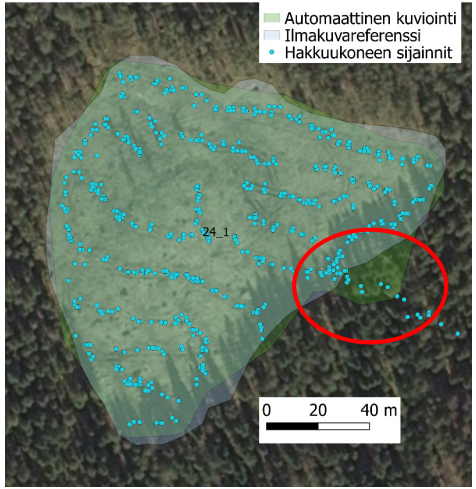


Esimerkiksi oheisissa kuvissa ilmakuvareferenssi on siirtynyt noin 6,5 m lounaaseen päin maastoreferenssiin (ja automaattiseen kuvioon) nähden.

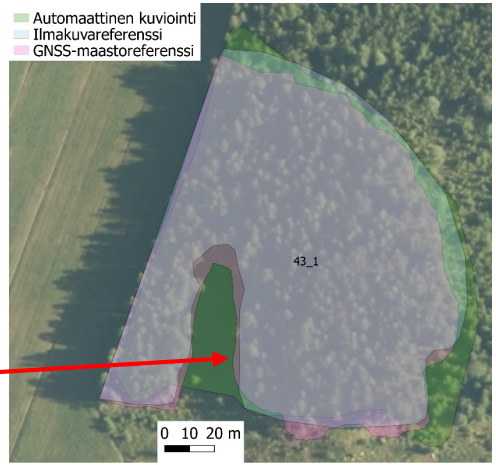
Tulosten yhteenveto, osa 2

Automaattiset kuviot:

- Kuvioiden alueerajaukset vastaavat yleisellä tasolla referenssirajauksia.
  - Eroja referensseihin havaitaan mm. tilanteissa, joissa kuvio muuttuu kuviolle johtavaksi uraksi, ja nämä erot johtuvat sekä kuviointimenetelmästä että referenssien digitointitavasta (kts. ylempi kuva).
  - Kuvioilta, joilla rajaukset eroavat tavalla tai toisella, löytyi visuaalisessa tarkastelussa yleensä jokin selkeä peruste eroihin, kts. alempi kuva.
- Piiri on keskimäärin hieman referenssejä lyhyempi.
  - Tämän eron arvioidaan johtuvan kuvioreunan yksityiskohtaisemmasta noudattamisesta referenssien digitoinnissa.
- Hakkuukoneen epätarkempi GNSS-paikannus kuvioilla kasvattaa tässä aineistossa hieman rajausten osuvuuden virhettä (RMSE).
- Siirtymiä ja kuvion osittaisia koon muutoksia havaitaan noin kolmasosalla kuvioista, ja niitä ilmenee riippumatta hakkuukoneen GNSS-paikannuksen tarkkuudesta. Ne johtuvat mm.:
  - Hakkuukoneen paikannuksesta, erityisesti silloin kun se on epätarkempaa.
  - Hakatun puun sijainnin epätarkkuudesta suhteessa hakkuukoneen GNSS-vastaanottimeen. Hakkuun työtapa aiheuttaa toisinaan kuvioiden reunoilla epäsymmetristä virhettä, mikä johtaa hakkuukonekuvion siirtymään noin puomin keskimääräisen ulottuman verran.
  - Näin ollen tarkempikaan hakkuukoneen GNSS-paikannus ei takaa kuvioiden täyttä vastaavuutta referensseihin.
  - Laskennallisen GNSS-tarkkuusluokituksen perusteella epätarkemman paikannuksen kuvioilla (4 kpl) on kaikilla joko siirtymä tai koon muutos.
- Siirtymiä havaitaan tasaisesti kaikkiin ilmansuuntiin.
- Tarkemmat tulokset ovat liitteessä 3, diat 44-48.



Ilmakuvat © Maanmittauslaitos 2019



Puutonta aluetta ei ole hakattu, joten se on rajattu referenssien ulkopuolelle. Automaattisen kuvion rajaus kuitenkin sisältää alueen. Lisäksi kuvio on siirtynyt pohjoiseen ja kaakkoon päin.

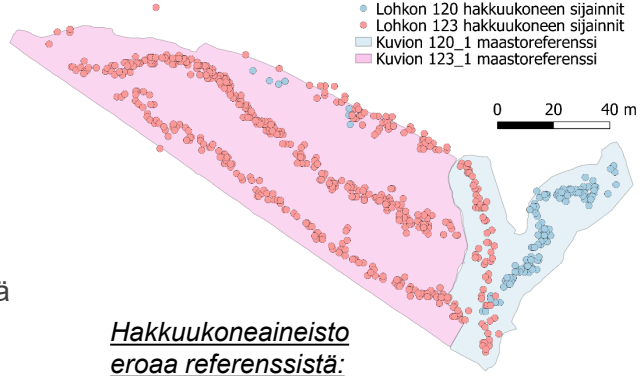
Tulosten yhteenveto, osa 3

Puoliautomaattinen kuviointi:

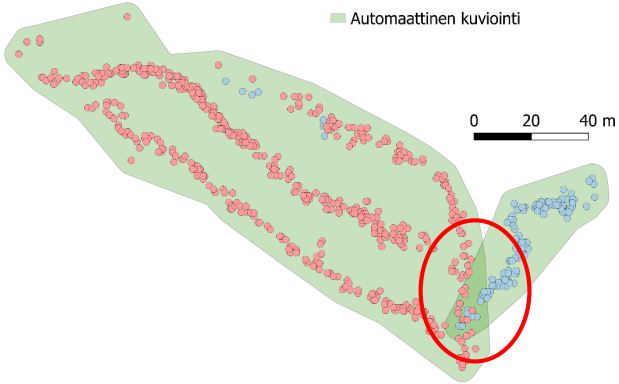
- Automaattinen kuviointi kehitettiin vastaamaan samasta hakkuukoneaineistosta tehtyä puoliautomaattista kuviointia, joten tuloksissa ennen pinta-alaparametrin säätöä havaitaan odotetusti näiden kuvioiden olevan hyvin pitkälti samanlaisia keskenään.
  - Tyypilliset erot johtuvat
    - lohkokohtaisesta vs. yli lohkojen tehdystä kuvioinnista,
    - kuvioille johtavien ajourien ja kuvioiden yhtymäkohdan määrittämisen eroista, ja
    - muista puoliaut. kuviointiin manuaalisesti tehdyistä muutoksista mm. yksittäisiin sijaintipisteisiin liittyen.
  - Myös puoliautomaattinen kuviointi tuottaa pinta-alojen yliarvioita, mutta sille ei tuotettu pinta-alaparametrin säädön jälkeisiä kuviorajauksia.

Toisistaan poikkeavat kuviot:

- Joillakin referenssikuvioilla (8 kpl) automaattiset kuviorajaukset erosivat niin paljon, että vertailuvastaavuus ei ollut hyvä (kts. dia 9). Tällaisille kuvioille laskettiin kuitenkin vertailusuureiden arvot, ja ne poikkesivat selvästi ns. hyvien tapausten arvoista.
  - Mikäli verrattavat kuvioaineistot erosivat toisistaan kuviolle johtavien urien osalta (kts. dia 9), kuvioiden pinta-alat erosivat suuruusluokkaa 10 %, ja rajaukset vaihtelevasti.
  - Mikäli hakkuukoneaineisto erosi referenssistä, kuvioiden pinta-alat erosivat useita kymmeniä prosentteja. Lisäksi rajaukset erosivat huomattavasti, ja suuria siirtymää kuvaavia arvoja havaittiin. Nämä johtuivat mm. hakkuukoneaineiston lohkotuksen erosta toteumaan nähden. Kts. oheiset kuvat.
  - Tarkemmat tulokset ovat liitteessä 3, dia 49.



Hakkuukoneaineisto eroaa referenssistä:
Kuvio 120_1 avohakkuuta ja 123_1 harvennusta. Maastossa avohakattu alue kuuluu hakkuukoneaineiston harvennuslohkoon. Automaattisissa kuvioissa on yli 20 m siirtymiä maastoreferenssiin nähden.



Johtopäätökset

- Automaattisen kuvioinnin pinta-ala säädettiin vastaamaan referenssikuvioita valikoitujen kuvioiden avulla, ja tulokset osoittavat keskimääräisen pinta-alan vastaavan referenssejä säädön jälkeen hyvin koko tarkasteluaineistossa. Automaattisten kuvioiden pinta-alan yliarvio on keskimäärin vain 1 % suhteessa referenssikuvioihin (0,75 ha suuremmilla kuvioilla).
    - Maasto- ja ilmakuvareferenssien väliset erot ovat vähintään samaa suuruusluokkaa kuin automaattisten ja referenssikuvioiden väliset erot.
- Automaattisten hakkuukonekuvioiden aluerajaukset vastaavat referenssikuvioita pääsääntöisesti hyvin.
    - Vähintään useamman metrin siirtymiä tai osittaisia koon muutoksia havaitaan noin kolmasosalla kuvioista, ja ne johtuvat sekä paikannusvirheistä että mm. hakkuun työtavoista.
- Aineistoon perustuva laskennallinen paikannustarkkuuden arviointityökalu osoittaa, että olosuhteet hakkuukohteella voivat vaikuttaa toteutuneeseen paikannustarkkuuteen ajoittain melko paljon, erityisesti epätarkempia paikannuslaitteita parantavasti.
    - Työkalua voidaan käyttää myös sellaisten hakkuukoneaineistojen GNSS-tarkkuuden arviointiin, joista ei ole lainkaan tietoa hakkuukonekohtaisten GNSS-vastaanottimien ominaisuuksista.
- Hakkuutavan vaikutusta hakkuukonekuvion rajauksen osuvuuteen ei voida päätellä näin pienestä aineistosta. Hakkuutavalla lienee joka tapauksessa pienempi vaikutus kuin esimerkiksi paikannustarkkuudella.

→ Hakkuukonetietoihin perustuva automaattinen kuviointi soveltuu metsävaratietojen ajantasaistamiseen.

- Työssä kehitettiin aluerajausten yksityiskohtaiseen vertailuun sopiva laskentatyökalu. Se mahdollisti kattavan ja nopean vertailun eri kuvioparien kesken.
- Työn aineisto oli pääosin Metsäkeskuksen pääkaupunkiseudun keilausalueelta, joten tarkastelua kannattaa laajentaa myös muualle Suomeen, kun aineistoa on saatavilla enemmän.
    - Erityisesti laskennallisen paikannustarkkuuden perusteella epätarkemmiksi luokiteltuja hakkuukonekuvioita oli tässä aineistossa vain 4 kpl, joten niiden osalta pinta-alan säätötarve ja tulokset ovat suuntaa-antavia.
    - Tarkastelu on hyvä toistaa viimeistään silloin, kun hakkuukonetiedon käyttöönotto metsävarojen ajantasaistuksessa on kokeiluvaiheessa Suomen metsäkeskuksessa, ja sinne on saatu operatiivista aineistoa kattavasti koko Suomesta.

Viiteluettelo

Melkas, T., Riekki, K. & Sorsa, J.-A. 2018. Automaattinen toimenpidekuvion rajojen muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tuloskalvosarja 7a/2018. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/automaattinen-toimenpidekuvion-rajojen-muodostus-hakkuukoneen-sijaintitietoon-perustuen/. Available in English: http://www.metsateho.fi/automated-stand-delineation-based-on-harvester-location-data/. [Viitattu 26.8.2019].

Melkas, T. ja Riekki, K. 2017. Hakkuualueen rajan muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tuloskalvosarja 5/2017. Saatavissa: http://www.metsateho.fi/hakkuualueen-rajan-muodostus-hakkuukoneen-sijaintitietoon-perustuen/ [Viitattu 26.8.2019.]

Räsänen T., Melkas T., Riekki K., Sorsa J.-A., Poikela A. &Hämäläinen J. (2019). Hakkuukoneet metsätiedon tuottajina. Metsätieteen aikakauskirja 2019. Artikkeli id 10250. https://doi.org/10.14214/ma.10250 [Viitattu 10.1.2020].

Skogforsk 2019. StanForD/StanForD 2010 Standard for Forest Machine Data and Communication. Saatavissa: http://www.skogforsk.se/english/projects/stanford/. [Viitattu 26.8.2019].

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. https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/mototietopilotti.pdf [Viitattu 10.1.2020].

Trimble. GeoExplorer® 6000 series. User Guide. 2012. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-606658/GeoExpl6000_UserGde_RevG_ENG.pdf. R2 GNSS Receiver. User Guide. 2017. http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-789525/R2_UserGuide_v5.22.pdf [Viitattu 13.1.2020].

Tämä tutkimus on tehty yhteistyössä Metsätehon osakkaiden ja Suomen metsäkeskuksen kanssa. Tutkimus on osa maa- ja metsätalousministeriön **Metsätieto ja sähköiset palvelut -hanketta**, jonka tavoitteena on tehostaa metsävaratiedon hyödyntämistä, parantaa tiedon laatua ja liikkuvuutta sekä kehittää sähköisiä palveluita ja kuuluu hallituksen **Puu liikkeelle ja uusia tuotteita metsästä -kärkihankkeeseen.**

Kiitokset Marjo Mustolalle kuviorajojen täydennysaineiston huolellisesta maastokartoituksesta.

Metsäteho
LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

mmm.fi
MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖ

metsäkeskus

Liitteet

Liite 1. Välituloksia ennen pinta-alaparametrin säätöä.

Liite 2. Lopulliset tulokset pinta-alaparametrin säädön jälkeen. Esimerkkejä.

Liite 3. Lopulliset tulokset pinta-alaparametrin säädön jälkeen. Kuviokohtaiset vertailutulokset.

Liite 1.

Välituloksia ennen pinta-alaparametrin säätöä:

Vertailutulokset kuvioiden keskimääräisille suhteellisille piireille, reunaetäisyyksien RMSE:ille ja siirtymille. Esimerkkitapauksia automaattisten ja puoliautomaattisten kuvioiden vertailusta.

Välitulokset: keskimääräiset suhteelliset piirit

Harmaa: *N*=1

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Vert. / ref. kuvion piiri, < 0,75 ha	Vert. / ref. kuvion piiri, 0,75–1,5 ha	Vert. / ref. kuvion piiri, 1,5–3,0 ha	Vert. / ref. kuvion piiri, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	1,06	0,99	0,97	0,96
Autom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	0,99 (0,99 / -)**	0,95 (0,95 / 0,94)	0,92 (0,90 / 0,98)	0,88 (0,88 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	0,99 (0,97 / 1,04)	0,99 (0,98 / 0,99)	0,98 (0,98 / 0,98)	0,97 (0,95 / 1,03)
Autom.	Puoliautom.	57 (9 + 16 + 17 +15)	0,95 (0,94 / 0,91)	0,99 (0,98 / 1,00)	0,97 (0,99 / 0,93)	1,00 (1,00 / 0,99)
Puoliautom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	1,04 (1,04 / -)	0,97 (0,97 / 0,94)	0,97 (0,92 / 1,13)	0,90 (0,90 / -)
Puoliautom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	1,08 (1,04 / 1,16)	0,99 (0,99 / 0,99)	0,99 (0,98 / 1,03)	0,98 (0,95 / 1,04)

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin suuruusjärjestyksessä
**Vertailukuvioiden jakaantuminen hakkuukoneessa olleen GNSS-vastaanottimen mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Välitulokset: keskimääräiset reunaetäisyyksien RMSE:t

Harmaa: *N*=1

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Reunaetäis. RMSE, m, < 0,75 ha	Reunaetäis. RMSE, m, 0,75–1,5 ha	Reunaetäis. RMSE, m, 1,5–3,0 ha	Reunaetäis. RMSE, m, > 3,0 ha
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	4,80	4,75	4,73	5,81
Autom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	6,10 (6,10 / -)**	5,75 (5,50 / 6,84)	8,99 (8,64 / 10,23)	10,17 (10,17 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	7,03 (5,55 / 9,98)	6,61 (6,01 / 8,00)	8,32 (7,38 / 9,96)	7,27 (7,29 / 7,22)
Autom.	Puoliautom.	57 (9 + 16 + 17 +15)	3,23 (2,19 / 6,85)	1,87 (2,25 / 0,72)	3,88 (2,76 / 5,94)	1,86 (1,14 / 3,82)
Puoliautom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	5,97 (5,97 / -)	5,96 (5,77 / 6,80)	9,35 (8,91 / 10,90)	11,52 (11,52 / -)
Puoliautom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	6,33 (4,81 / 9,39)	6,36 (5,69 / 7,95)	7,58 (6,66 / 9,18)	7,36 (7,10 / 8,07)

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin suuruusjärjestyksessä
**Vertailukuvioiden jakaantuminen hakkuukoneessa olleen GNSS-vastaanottimen mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Välitulokset: rajausten siirtymät ja osittaiset koon muutokset

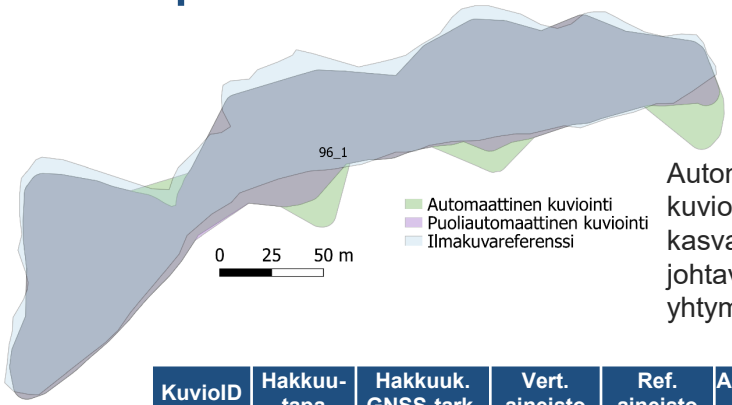
Harmaa: *N*=1

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Kuvioiden määrä, < 0,75 ha		Kuvioiden määrä, 0,75–1,5 ha		Kuvioiden määrä, 1,5–3,0 ha		Kuvioiden määrä, > 3,0 ha	
			Siirt.	Koon m.	Siirt.	Koon m.	Siirt.	Koon m.	Siirt.	Koon m.
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	-	1	1	2	1	-	-	-
Autom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	2 (2 / -)**	3 (3 / -)	4 (2 / 2)	3 (3 / -)	2 (2 / -)	2 (1 / 1)	-	1 (1 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	1 (1 / -)	4 (2 / 2)	4 (3 / 1)	2 (1 / 1)	3 (2 / 1)	4 (2 / 2)	2 (1 / 1)	2 (1 / 1)
Autom.	Puoliautom.	57 (9 + 16 + 17 +15)	-	3 (2 / 1)	-	3 (3 / -)	1 (1 / -)	5 (3 / 2)	-	1 (- / 1)
Puoliautom.	Maasto	27 (6 + 11 + 9 +1)	2 (2 / -)	3 (3 / -)	4 (2 / 2)	5 (5 / -)	2 (2 / -)	3 (1 / 2)	-	1 (1 / -)
Puoliautom.	Ilmakuva	42 (6 + 10 + 11 + 15)	1 (1 / -)	3 (2 / 1)	4 (3 / 1)	3 (1 / 2)	4 (2 / 2)	4 (2 / 2)	2 (1 / 1)	5 (3 / 2)

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin suuruusjärjestyksessä

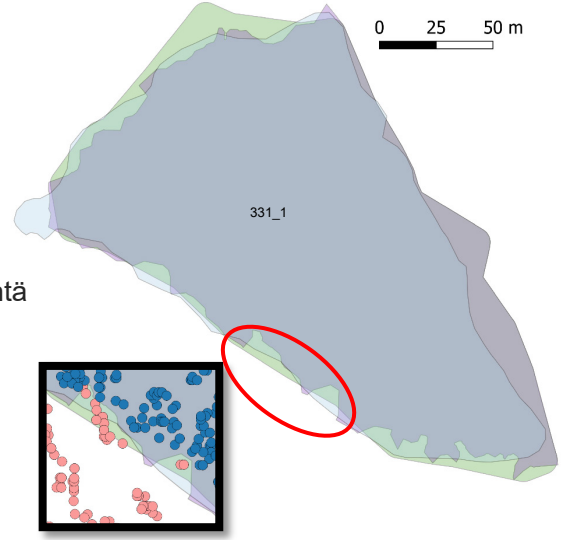
**Vertailukuvioiden jakaantuminen hakkuukoneessa olleen GNSS-vastaanottimen mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Esimerkki välituloksista: automaattinen vs. puoliautomaattinen kuviointi



Automaattisessa kuviossa pinta-ala kasvaa kuvioille johtavien urien yhtymäkohdissa

Puoliautomaattinen kuviointi tehtiin kaikille testiaineiston lohkoille yhtä aikaa, joten kaikki sijaintipisteet sekä tästä lohkosta (siniset) että viereisestä lohkosta (punaiset) vaikuttavat tulokseen.



KuvioID	Hakkuu-tapa	Hakkuuk. GNSS-tark.	Vert. aineisto	Ref. aineisto	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdistetty ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Autom. kuvion piiri, m	Ref. Kuvion piiri, m	Aut. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
96_1	avo	tarkempi	Autom.	Puoliaut.	1,96	1,82	1,96	1,08	940,0	900,5	1,04
			Autom.	IK	1,96	1,88	2,14	1,04	940,0	914,7	1,03
			Puoliaut.	IK	1,82	1,88	2,02	0,97	900,5	914,7	0,98
331_1	siemenp.	epätarkempi	Autom.	Puoliaut.	2,47	2,28	2,49	1,08	671,5	793,1	0,85
			Autom.	IK	2,47	2,24	2,52	1,10	671,5	679,9	0,99
			Puoliaut.	IK	2,28	2,24	2,42	1,02	793,1	679,9	1,17

KuvioID	Vert. aineisto	Ref. aineisto	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihajonta, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
96_1	Autom.	Puoliaut.	1,91	0,0000128	6,40	6,68	−2,41	−2,08	−1,15	0,65
	Autom.	IK	0,78	−0,94	7,36	7,40	−10,56	−3,66	3,82	9,73
	Puoliaut.	IK	−0,64	−1,11	4,87	4,91	−7,39	−4,16	−4,23	6,95
331_1	Autom.	Puoliaut.	5,12	1,62	9,38	10,69	1,72	−2,64	−6,27	−2,48
	Autom.	IK	3,58	3,00	6,17	7,13	3,29	7,20	8,09	4,85
	Puoliaut.	IK	0,66	0,44	6,65	6,68	0,01	9,63	11,01	6,85

Siirtymiä ilmakuvan suhteen havaitaan.

Liite 2.

Lopulliset tulokset pinta-alaparametrin säädön jälkeen:

Tulokset referenssien välisestä vastaavuudesta ja esimerkkejä kuvioiden vertailuista.

Vertailutulokset: maasto- vs. ilmakuvareferenssi

(referenssi = GNSS, *N* = 13)

Laskennallinen GNSS-tarkkuus: tarkempi

Pinta-alaluokka	KuvioID	Hakkuu-tapa	Vert. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Vert. kuvion ala – ref. kuvion ala, ha	Vert. kuvion ala / ref. kuvion ala	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
< 0,75 ha	34_2	avo	0,27	0,28	−0,01	0,97	-0,46	0,25	2,74	−1,28	0,29	3,46	3,47
	106_1_1	avo	0,19	0,20	−20 m²	0,99	-0,16	0,00	2,02	0,80	0,26	0,84	-
	34_2_2	avo	0,23	0,16	0,07	1,44	5,14	2,34	9,65	0,42	0,32	12,56	−1,76
	Keskiarvo		**0,23**	**0,21**	**0,02**	**1,13**	**1,51**	**0,86**	**4,80**				
0,75 – 1,5 ha	34_1	avo	1,29	1,26	0,04	1,03	0,88	0,74	2,52	1,37	0,81	2,37	−0,46
	88_2	avo	1,21	1,17	0,04	1,03	0,85	1,77	5,00	−6,54	−6,55	−2,85	−0,88
	101_3	avo	0,91	0,87	0,04	1,05	0,99	1,35	2,47	3,03	2,42	0,86	−0,12
	106_1_2	avo	1,02	0,91	0,11	1,12	0,75	3,28	7,56	−7,81	−4,18	10,21	7,79
	58_1	harv.	1,07	0,88	0,19	1,22	4,93	4,14	6,20	−2,79	−4,97	−4,54	−0,18
	Keskiarvo		**1,10**	**1,02**	**0,08**	**1,09**	**1,68**	**2,25**	**4,75**				
1,5 – 3,0 ha	43_1[a]	avo	1,42	1,38	0,04	1,03	0,63	−0,04	3,73	7,20	7,01	2,69	−1,93
	88_1	avo	2,28	2,20	0,08	1,04	1,49	0,66	7,07	0,25	1,28	0,67	−3,65
	33_1_2	siemenp.	1,91	1,82	0,09	1,05	1,68	1,04	3,35	−1,02	−3,68	1,54	1,18
	88_3[b]	avo	1,86	1,68	0,18	1,11	1,95	0,78	4,76	−3,07	2,18	2,90	2,52
	Keskiarvo		**1,87**	**1,77**	**0,10**	**1,06**	**1,44**	**0,61**	**4,73**				
> 3,0 ha	34_2_1	avo	5,28	5,19	0,09	1,02	0,68	0,17	5,81	−4,02	−3,95	−2,71	2,45
	Keskiarvo		**5,28**	**5,19**	**0,09**	**1,02**	**0,68**	**0,17**	**5,81**				

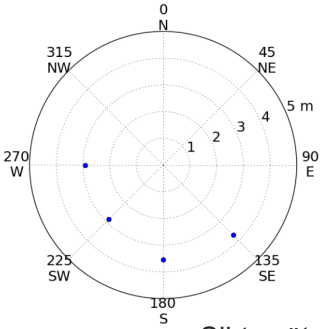
[a] Automaattisen kuvion pinta-ala ylittää luokitusrajan 1,5 ha, jonka vuoksi kuvio kuuluu tähän kokoluokkaan.

[b] Maasto- ja ilmakuvareferenssit vastaavat toisiaan, vaikka automaattisen kuvion kuviolle johtavat ajourat eivät vastaa referenssejä.

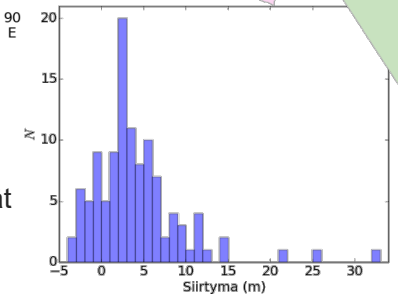
Esimerkkejä

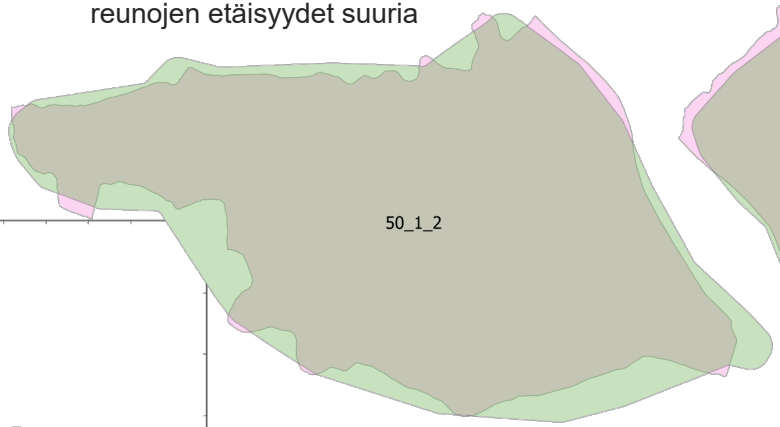
Selvästi laajentunut, mutta vain vähän siirtynyt automaattinen kuvio: pinta-ala suurentunut ja reunojen etäisyydet suuria

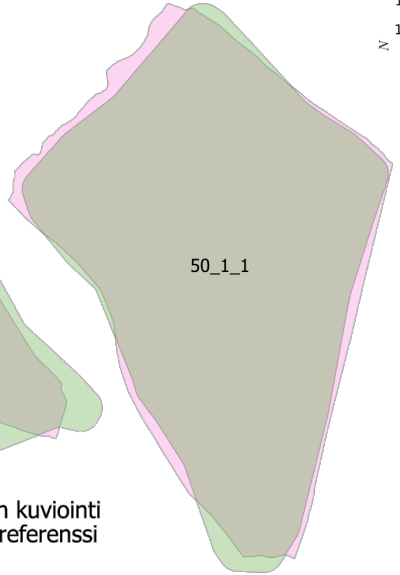
Hyvin vastaava automaattinen kuvio

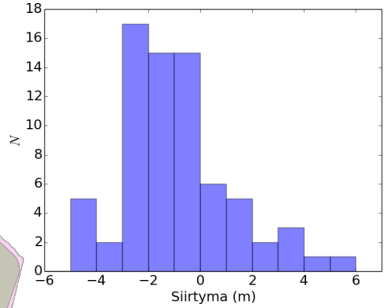


Siirtymät

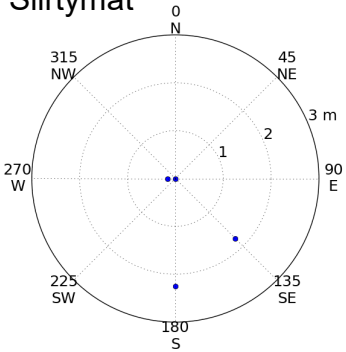








Siirtymät



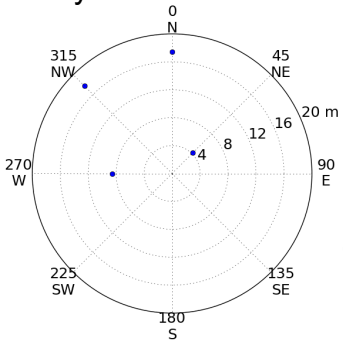
KuvioID	Hakkuu-tapa	Lask.GNSS-tarkkuus	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdistetty ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Autom. kuvion piiri, m	Ref. kuvion piiri, m	Aut. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
50_1_1	avo	tarkempi	0,70	0,73	0,75	−0,03	0,96	351,8	360,0	0,98
50_1_2	avo	tarkempi	1,23	1,07	1,25	0,16	1,15	490,0	555,2	0,88

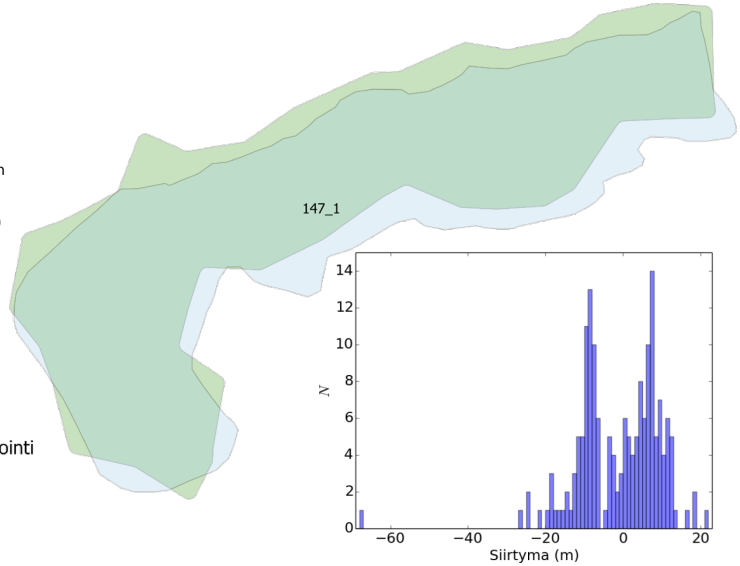
KuvioID	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihajonta, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
50_1_1	−0,88	−1,11	2,10	2,28	−2,25	0,00	−0,17	1,77
50_1_2	4,15	3,01	5,43	6,83	−3,53	−2,87	−2,92	3,71

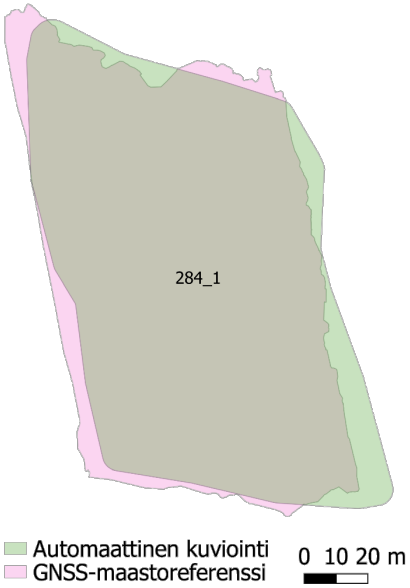
Siirtymän suuruusluokkaa kuvaavat arvot ovat maltillisia

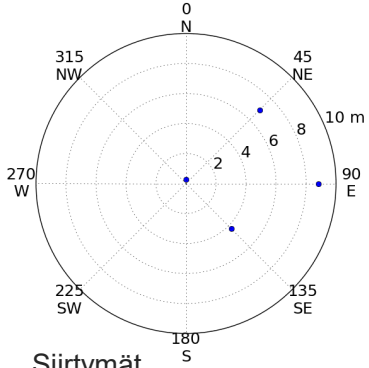
Esimerkkejä: siirtyneet kuviot

Siirtymät

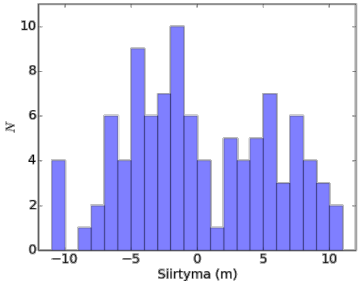








Siirtymät



KuvioID	Hakkuu-tapa	Lask.GNSS-tarkkuus	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdistetty ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Autom. kuvion piiri, m	Ref. kuvion piiri, m	Aut. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
147_1	avo	epätarkempi	2,06	2,06	2,37	−0,01	1,00	872,8	869,9	1,00
284_1	avo	tarkempi	1,18	1,17	1,27	0,01	1,01	450,1	508,8	0,88

KuvioID	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihajonta, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
147_1	−1,15	0,73	10,86	10,92	17,43	4,21	−8,54	−17,72
284_1	0,19	−1,00	5,43	5,43	0,27	6,94	8,82	4,25

Siirtymän suuruusluokkaa kuvaavat arvot ovat useita metrejä. Pinta-alojen vastaavuus on kuitenkin hyvä.

Esimerkki: siirtynyt kuvio ja referenssit

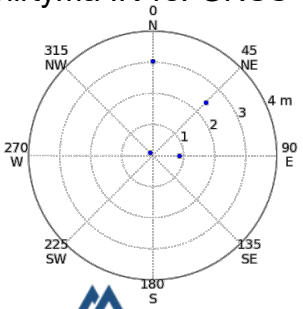
Hakkuutapa: avo
Lask. GNSS-tarkkuus: tarkempi

Siirtynyt automaattinen kuvio, referenssit vastaavat toisiaan

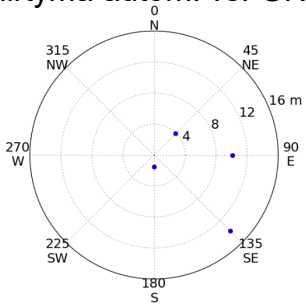
KuvioID	Vert. aineisto	Ref. aineisto	Vert. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdistetty ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala	Vert. kuvion ala / ref. kuvion ala	Vert. kuvion piiri, m	Ref. kuvion piiri, m	Vert. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
101_3	Autom.	GNSS	0,91	0,87	1,01	0,04 ha	1,05	441,0	463,6	0,95
	Autom.	IK	0,91	0,91	1,03	−30 m²	1,00	441,0	454,7	0,97
	IK	GNSS	0,91	0,87	0,94	0,04 ha	1,05	454,7	463,6	0,98

KuvioID	Vert. aineisto	Ref. aineisto	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihaj., m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
101_3	Autom.	GNSS	0,47	0,71	7,68	7,69	−1,54	3,92	10,07	13,86
	Autom.	IK	−0,70	−0,94	8,14	8,17	−4,82	1,21	10,04	14,94
	IK	GNSS	0,99	1,35	2,26	2,47	3,03	2,42	0,86	−0,12

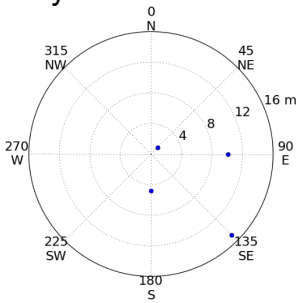
Siirtymä IK vs. GNSS

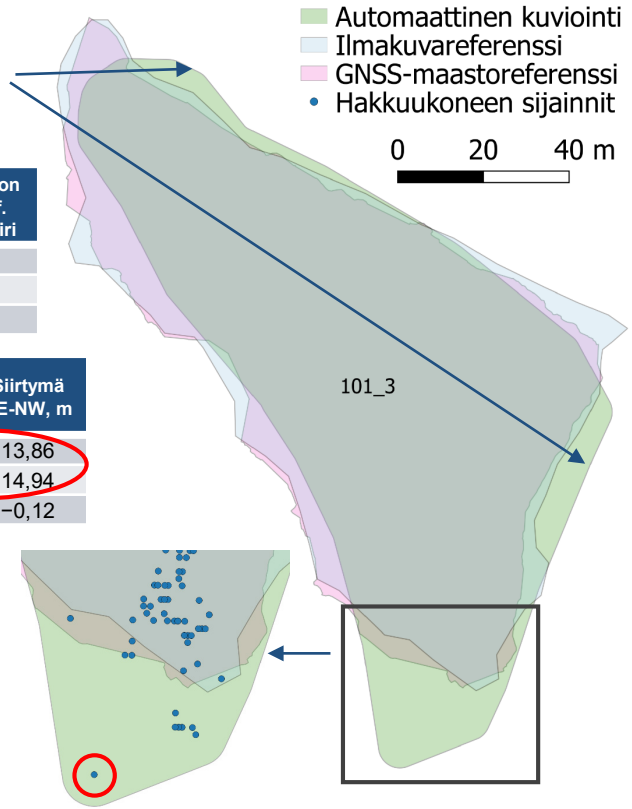


Siirtymä autom. vs. GNSS



Siirtymä autom. vs. IK



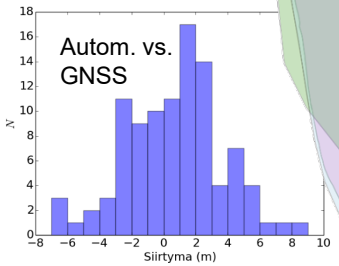


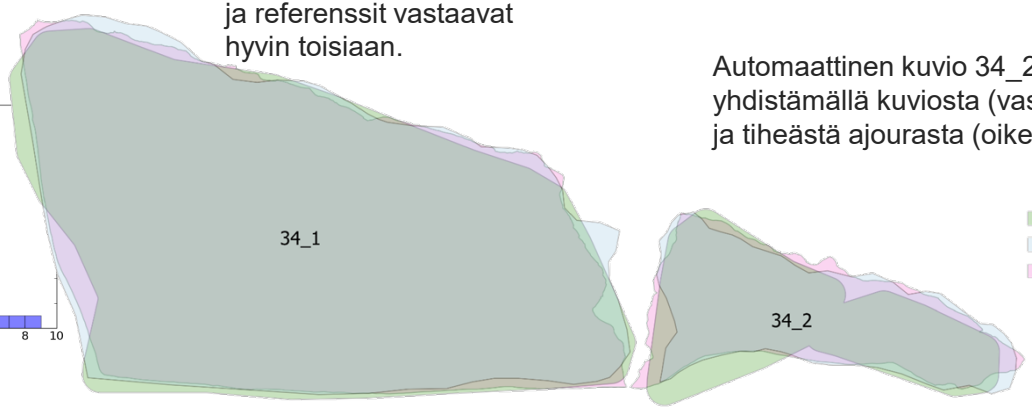
Yksi hakkuukoneen sijainti laajentaa automaattista kuviota.

Esimerkkejä

Automaattinen kuvio 34_1 ja referenssit vastaavat hyvin toisiaan.

Automaattinen kuvio 34_2 on koottu yhdistämällä kuviosta (vasen reuna) ja tiheästä ajourasta (oikea reuna).



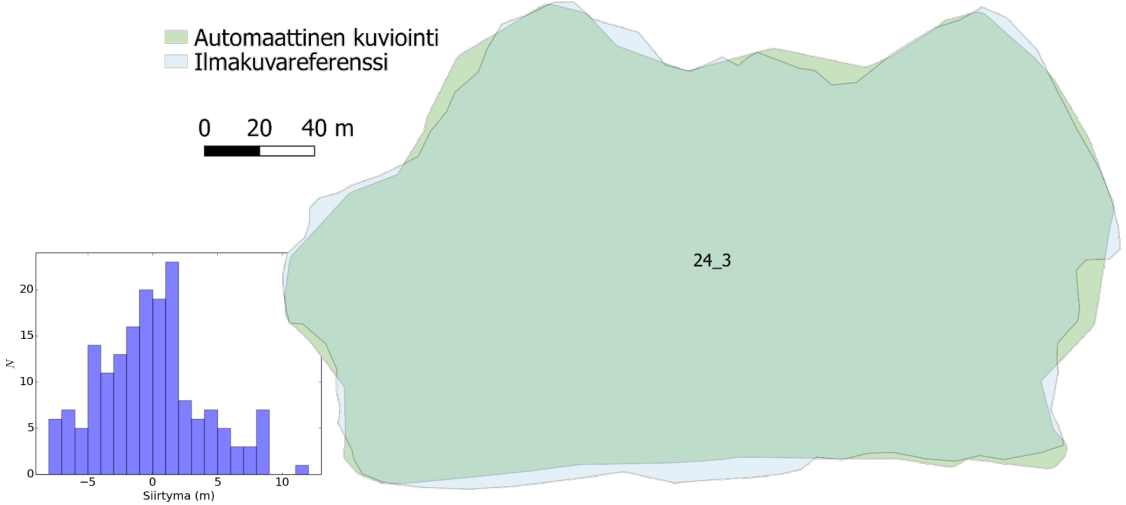


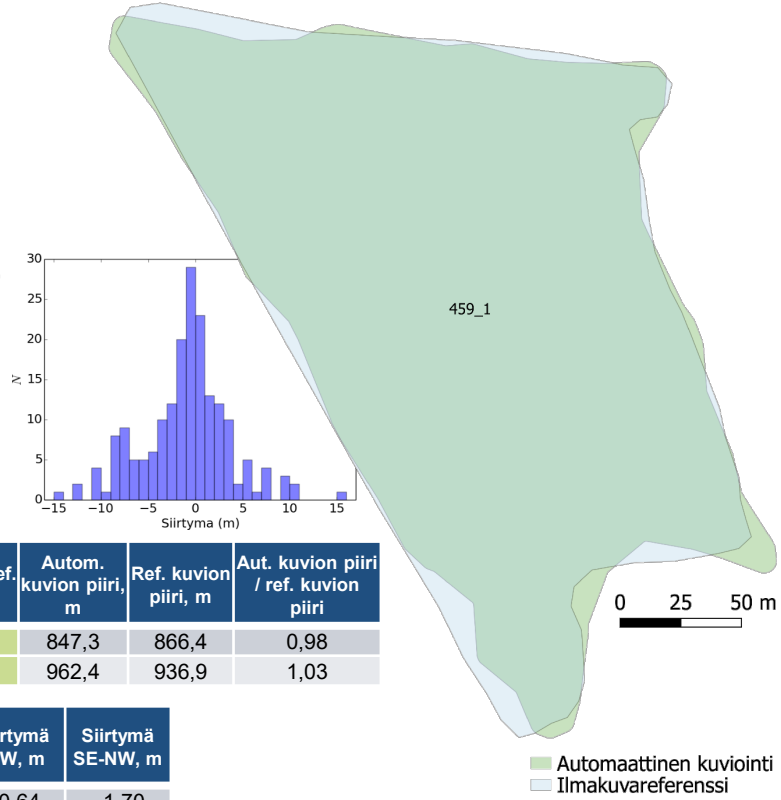
Hakkuutapa: avo
Lask. GNSS-tarkkuus: tarkempi

KuvioID	Vert. aineisto	Ref. aineisto	Vert. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdistetty ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Vert. kuvion ala / ref. kuvion ala	Vert. kuvion piiri, m	Ref. kuvion piiri, m	Vert. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
34_1	Autom.	GNSS	1,29	1,26	1,33	0,03	1,02	476,8	490,9	0,97
	Autom.	IK	1,29	1,29	1,35	−0,01	1,00	476,8	481,0	1,00
	IK	GNSS	1,29	1,26	1,31	0,04	1,03	481,0	490,9	0,98
34_2	Autom.	GNSS	0,29	0,28	0,32	0,01	1,03	273,6	292,0	0,94
	Autom.	IK	0,29	0,27	0,32	0,02	1,06	273,6	274,3	1,00
	IK	GNSS	0,27	0,28	0,30	−0,01	0,97	274,3	292,0	0,94

KuvioID	Vert. aineisto	Ref. aineisto	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihajonta, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
34_1	Autom.	GNSS	0,68	0,96	2,98	3,05	−2,36	−1,36	2,12	3,54
	Autom.	IK	−0,23	0,94	3,24	3,25	−3,95	−2,26	−0,09	1,96
	IK	GNSS	0,88	0,74	2,36	2,52	1,37	0,81	2,37	−0,46
34_2	Autom.	GNSS	0,15	−0,65	3,78	3,78	−4,76	−2,91	−3,27	5,53
	Autom.	IK	0,61	0,60	3,75	3,80	−3,35	−1,70	−6,13	4,65
	IK	GNSS	−0,46	0,25	2,70	2,74	−1,28	0,29	3,46	3,47

Esimerkkejä: hyvä vastaavuus ilmakuviin

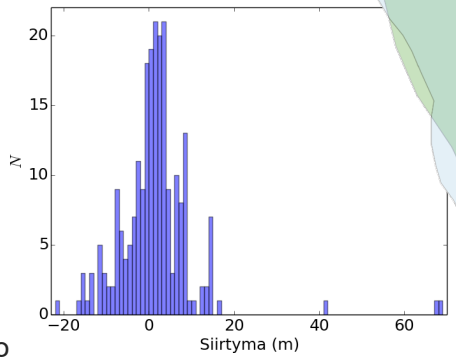


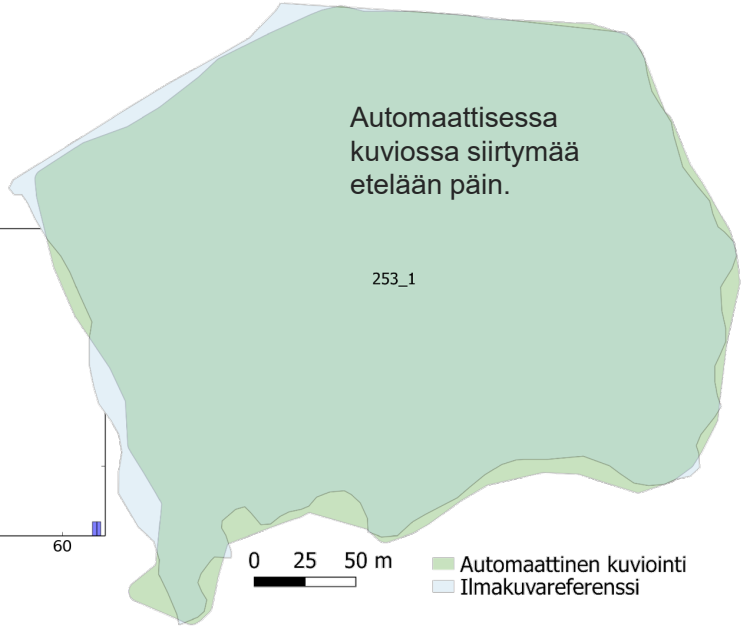


KuvioID	Hakkuu-tapa	Lask.GNSS-tarkkuus	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdistetty ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Autom. kuvion piiri, m	Ref. kuvion piiri, m	Aut. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
24_3	avo	tarkempi	4,06	4,08	4,19	−0,02	0,99	847,3	866,4	0,98
459_1	siemenp.	tarkempi	4,04	4,13	4,24	−0,09	0,97	962,4	936,9	1,03

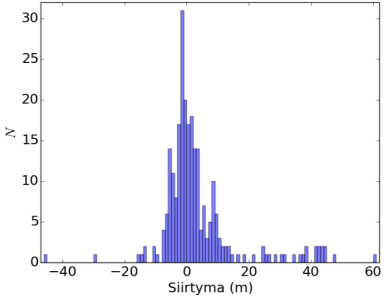
KuvioID	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihajonta, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
24_3	−0,15	−0,27	3,96	3,97	1,65	0,35	−0,64	−1,70
459_1	−0,96	−0,73	4,65	4,74	−2,73	1,88	3,69	4,28

Esimerkkejä: eroja ilmakuviin





Automaattisessa kuviossa siirtymää etelään päin.

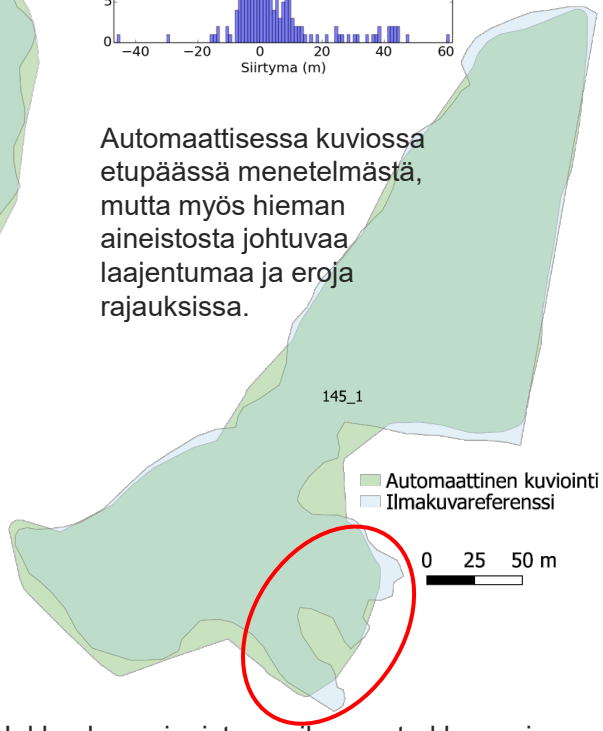


Automaattisessa kuviossa etupäässä menetelmästä, mutta myös hieman aineistosta johtuvaa laajentumaa ja eroja rajauksissa.

Hakkuutapa: avo
Lask. GNSS-tarkkuus: tarkempi

KuvioID	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdistetty ala, ha	Autom. kuvion ala – ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Autom. kuvion piiri, m	Ref. kuvion piiri, m	Aut. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
253_1	7,09	7,01	7,30	0,08	1,01	1102,2	1162,3	0,95
145_1	3,96	3,81	4,14	0,15	1,04	1111,0	1293,3	0,86

KuvioID	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihajonta, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
253_1	1,43	1,24	9,39	9,50	−7,96	−0,98	3,26	10,92
145_1	3,53	0,34	12,56	13,05	−4,15	4,92	0,09	2,89



Hakkuukoneaineiston paikannustarkkuus ei riitä erottamaan hakkaamatta jätettyjä kapeita vyöhykkeitä.

Esimerkkejä: eroja ilmakuviin

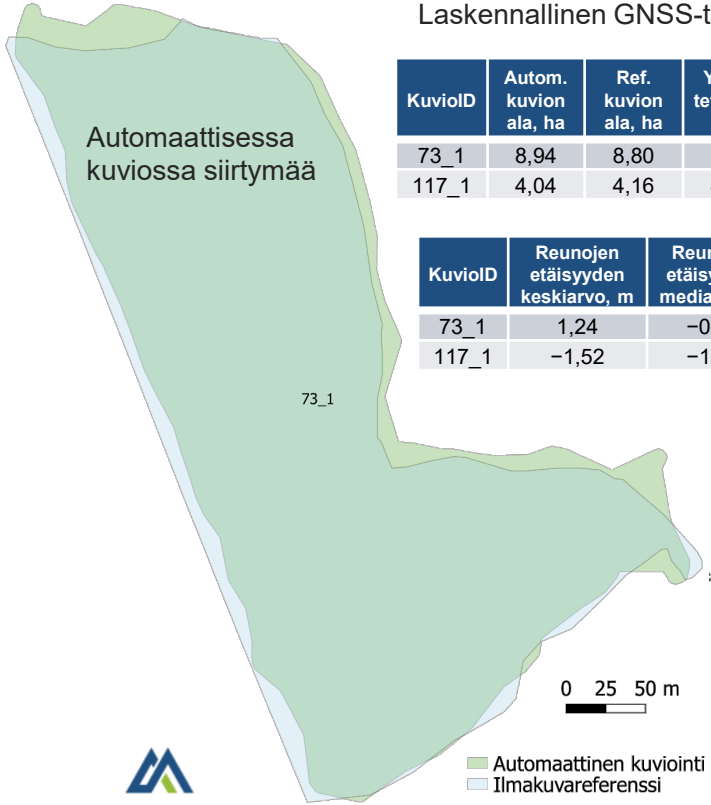
Automaattisessa kuviossa eroja referenssirajaukseen

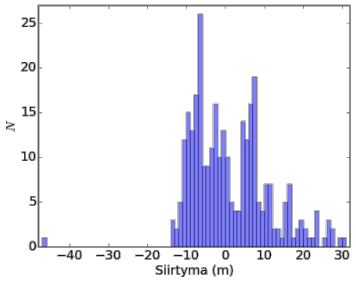
Hakkuutapa: avo
Hakkuukoneen GNSS-tarkkuus: epätarkempi
Laskennallinen GNSS-tarkkuus: tarkempi

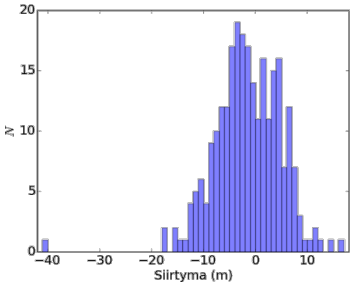
Automaattisessa kuviossa siirtymää

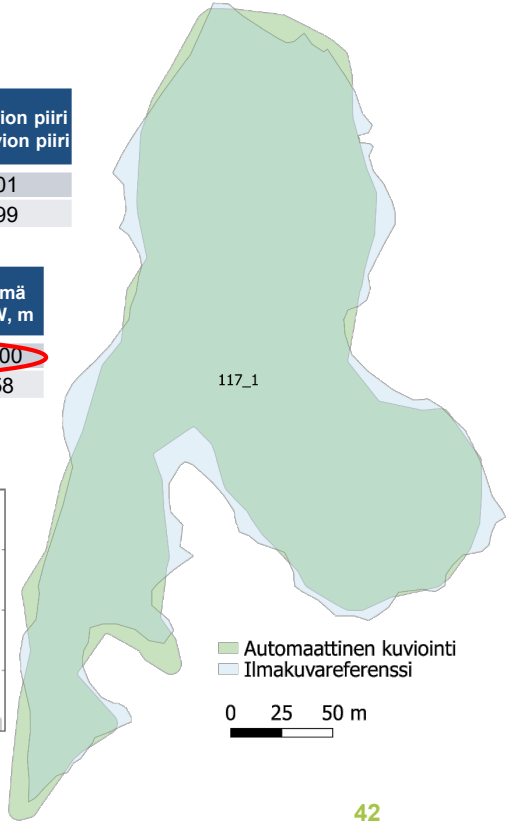
KuvioID	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Yhdis-tetty ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Autom. kuvion piiri, m	Ref. kuvion piiri, m	Aut. kuvion piiri / ref. kuvion piiri
73_1	8,94	8,80	9,42	0,15	1,02	1551,8	1540,7	1,01
117_1	4,04	4,16	4,39	−0,12	0,97	1281,4	1293,2	0,99

KuvioID	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden keskihaj., m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
73_1	1,24	−0,49	9,97	10,05	12,98	13,69	10,43	−17,00
117_1	−1,52	−1,61	6,41	6,59	2,88	0,33	-2,04	-2,58









Liite 3.

Lopulliset tulokset pinta-alaparametrin säädön jälkeen:

Kuviokohtaiset vertailutulokset referenssien välisestä osuvuudesta, automaattisen kuvioinnin osuvuudesta pinta-alaparametrin säädön jälkeen sekä tilanteista, joissa hakkuukoneaineisto ja referenssi poikkeavat toisistaan.

Vertailutulokset: automaattiset kuviot vs. referenssit (< 0,75 ha)

Laskennallinen GNSS-tarkkuus: tarkempi

	KuvioID	Hakkuu-tapa	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
Maastoreferenssi	33_2	avo	0,23	0,30	−0,07	0,75	−3,85	−3,29	6,94	5,58	16,66	−2,48	−6,23
	108_1	avo	0,53	0,65	−0,12	0,82	−3,62	−4,13	5,52	3,52	−0,89	−1,31	−9,89
	106_1_1	avo	0,19	0,20	−0,01	0,96	−0,82	−2,24	3,79	−2,54	−1,93	−2,28	-
	50_1_1	avo	0,70	0,73	−0,03	0,96	−0,88	−1,11	2,28	−2,25	0,00	−0,17	1,77
	34_2	avo	0,29	0,28	0,01	1,03	0,15	−0,65	3,78	−4,76	−2,91	−3,27	5,53
	94_2	avo	0,25	0,22	0,03	1,11	0,74	−1,62	7,18	21,90	16,26	6,84	2,53
	34_2_2	avo	0,22	0,16	0,06	1,38	3,98	2,51	9,22	−7,69	−0,87	11,48	9,38
	Keskiarvo		**0,34**	**0,36**	**−0,02**	**1,00**	**−0,61**	**−1,50**	**5,53**				
Ilmakuvareferenssi	34_2_2	avo	0,22	0,23	−0,01	0,96	−0,43	−2,14	5,58	−9,65	3,00	-	9,45
	106_1_1	avo	0,19	0,19	−0,01	0,97	−2,16	−2,06	10,62	−13,37	−2,81	6,24	-
	54_1	avo	0,73	0,71	0,01	1,02	2,06	−0,35	9,58	−2,79	1,58	2,73	4,52
	34_2	avo	0,29	0,27	0,02	1,06	0,61	0,60	3,80	−3,35	−1,70	−6,13	4,65
	32_1	avo	0,42	0,39	0,03	1,08	0,71	−0,68	6,34	−11,99	−10,02	2,77	7,95
	336_1	avo	0,55	0,40	0,14	1,35	6,48	4,42	9,48	−11,73	−4,18	0,85	11,78
	125_1	avo	0,44	0,26	0,18	1,68	5,32	4,42	8,05	8,53	8,32	−1,30	−7,11
	Keskiarvo		**0,40**	**0,35**	**0,05**	**1,16**	**1,80**	**0,60**	**7,63**				

Vertailutulokset: automaattiset kuviot vs. referenssit (0,75−1,5 ha)

Laskennallinen GNSS-tarkkuus: tarkempi

	KuvioID	Hakkuu-tapa	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
Maastoreferenssi	40_1	harv.	1,42	1,64	−0,22	0,87	−4,70	−4,64	8,84	8,59	−1,00	−8,44	−10,04
	94_1	avo	1,03	1,16	−0,13	0,89	−2,72	−4,06	6,81	3,63	2,20	12,13	4,33
	106_1_2	avo	0,89	0,91	−0,03	0,97	−1,65	0,42	7,45	−4,51	−0,94	9,33	−0,34
	122_1	harv.	1,06	1,09	−0,03	0,97	0,03	−1,22	5,94	2,94	4,34	5,60	−0,29
	58_1[c]	harv.	0,85	0,88	−0,02	0,98	−1,26	−0,58	5,96	2,70	3,82	3,73	1,28
	88_2[c]	avo	1,19	1,17	0,01	1,01	0,34	0,24	3,84	−0,40	0,60	0,36	0,54
	284_1[c]	avo	1,18	1,17	0,01	1,01	0,19	−1,00	5,43	0,27	6,94	8,82	4,25
	34_1	avo	1,29	1,26	0,03	1,02	0,68	0,96	3,05	−2,36	−1,36	2,12	3,54
	101_3[c]	avo	0,91	0,87	0,04	1,05	0,47	0,71	7,69	−1,54	3,92	10,07	13,86
	43_2	avo	1,19	1,12	0,07	1,07	1,68	2,10	5,04	−3,51	−2,10	5,00	6,06
	50_1_2	avo	1,23	1,07	0,16	1,15	4,15	3,01	6,83	−3,53	−2,87	−2,92	3,71
	Keskiarvo		**1,11**	**1,12**	**−0,01**	**1,00**	**−0,25**	**−0,37**	**6,08**				
Ilmakuvareferenssi	58_1	harv.	0,85	1,07	-0,21	0,80	−5,89	−6,67	9,18	3,11	8,06	9,01	6,87
	106_1_2	avo	0,89	1,02	-0,13	0,87	−2,50	−2,94	3,79	3,76	3,46	5,06	−6,97
	88_2	avo	1,19	1,21	-0,02	0,98	−0,69	−0,48	4,25	6,44	6,87	2,22	−1,47
	34_1	avo	1,29	1,29	-0,01	1,00	−0,23	0,94	3,25	−3,95	−2,26	−0,09	1,96
	101_3	avo	0,91	0,91	0,00	1,00	−0,70	−0,94	8,17	−4,82	1,21	10,04	14,94
	24_1[c]	avo	1,44	1,44	0,00	1,00	0,08	−0,50	4,62	−3,06	−0,90	1,27	2,96
	101_2	avo	1,01	1,00	0,01	1,01	−0,43	−0,58	6,63	−1,70	5,97	3,48	4,17
	334_1	avo	1,22	1,20	0,02	1,02	0,39	−0,53	7,06	14,05	8,11	−4,01	−12,35
	276_1	avo	1,00	0,93	0,07	1,07	1,28	1,58	7,89	2,99	3,96	4,63	3,30
	32_3	avo	0,85	0,79	0,06	1,08	1,66	2,01	3,13	−4,61	−2,16	0,38	3,07
	Keskiarvo		**1,06**	**1,09**	**−0,02**	**0,98**	**−0,70**	**−0,81**	**5,80**				

[c] Kuviota on käytetty pinta-alan säädössä.

Vertailutulokset: automaattiset kuviot vs. referenssit (1,5−3,0 ha)

	KuvioID	Hakkuu-tapa (Lask. GNSS-tark.)	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
Maastoreferenssi	33_1_2[c]	siemenp.	1,74	1,82	−0,08	0,96	−1,40	−2,42	4,69	10,15	5,63	-0,99	−5,52
	33_1_1	siemenp.	2,57	2,58	−0,01	1,00	−0,13	−0,10	3,41	2,27	0,92	-0,42	0,42
	374_1	avo	1,76	1,76	−0,01	1,00	−0,29	0,46	5,50	4,99	4,87	2,28	−1,11
	88_1[c]	avo	2,19	2,20	−0,01	1,00	0,72	−0,03	7,53	2,97	3,97	2,34	−4,16
	306_1	avo	1,68	1,60	0,09	1,05	1,41	1,05	4,80	2,00	4,94	4,96	3,35
	120_2	avo	1,93	1,76	0,17	1,09	5,56	1,82	12,33	2,33	−1,59	−2,63	2,33
	43_1	avo	1,54	1,38	0,16	1,12	6,25	2,22	16,69	7,10	−2,41	2,01	5,12
	109_1	avo (epät.)	1,73	1,27	0,46	1,36	9,16	8,13	11,78	−8,42	−4,21	0,82	5,92
	Keskiarvo		**1,89**	**1,80**	**0,10 tarkempi 0,04 epätark. 0,46**	**1,07 tarkempi 1,03 epätark. 1,36**	**2,66 tarkempi 1,73 epätark. 9,16**	**1,39 tarkempi 0,43 epätark. 8,13**	**8,34 tarkempi 7,85 epätark. 11,78**				
Ilmakuvareferenssi	33_1_2	siemenp.	1,74	1,91	−0,17	0,91	−3,19	−3,32	6,91	10,71	28,91	−3,50	−6,77
	88_1	avo	2,19	2,28	−0,09	0,96	−1,28	−0,83	4,86	0,84	3,32	1,94	1,07
	96_1	avo	1,82	1,88	−0,06	0,97	−0,90	−2,52	7,28	−10,32	−3,54	4,04	9,63
	144_2[c]	harv. (epät.)	1,66	1,71	−0,05	0,97	−1,59	−2,67	9,40	11,76	2,67	−6,23	−9,58
	357_1	avo	2,91	2,97	−0,06	0,98	−1,26	−1,22	4,38	1,64	−2,91	−2,77	−0,85
	460_8	avo	1,88	1,90	−0,02	0,99	−0,46	−1,09	3,32	−1,74	−3,87	−1,78	1,01
	147_1[c]	avo (epät.)	2,06	2,06	−0,01	1,00	−1,15	0,73	10,92	17,43	4,21	−8,54	−17,72
	436_1[c]	avo (epät.)	2,94	2,85	0,09	1,03	1,08	0,08	5,79	4,97	5,31	4,99	4,13
	99_1	avo	2,97	2,86	0,10	1,04	1,40	0,31	9,67	−2,35	−3,33	0,33	2,52
	425_1	avo	2,37	2,27	0,10	1,04	1,48	1,01	5,07	3,22	4,18	1,86	0,51
	331_1	siemenp.	2,37	2,24	0,13	1,06	1,97	1,47	6,51	3,14	7,18	8,08	4,89
	43_1	avo	1,54	1,42	0,13	1,09	6,57	−0,83	18,61	−3,56	−9,30	−2,43	5,97
	129_1	avo	2,15	1,94	0,21	1,11	1,95	2,68	6,49	5,75	5,35	3,62	0,05
	Keskiarvo		**2,20**	**2,18**	**0,02 tarkempi 0,03 epätark. 0,01**	**1,01 tarkempi 1,01 epätark. 1,00**	**0,35 tarkempi 0,63 epätark. −0,55**	**−0,48 tarkempi −0,43 epätark. −0,62**	**7,63 tarkempi 7,31 epätark. 8,70**				

[c] Kuviota on käytetty pinta-alan säädössä.
Tarkempaa laskennallista paikannustarkkuutta ei ole erikseen mainittu kuvioittain taulukossa

Vertailutulokset: automaattiset kuviot vs. referenssit (> 3,0 ha)

Laskennallinen GNSS-tarkkuus: tarkempi

	KuvioID	Hakkuu-tapa	Autom. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Autom. kuvion ala / ref. kuvion ala	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
Maasto-referenssi	34_2_1	avo	5,36	5,19	0,17	1,03	2,82	0,93	10,07	1,05	−0,46	−5,96	−3,51
	Keskiarvo		**5,36**	**5,19**	**0,17**	**1,03**	**2,82**	**0,93**	**10,07**				
Ilmakuvareferenssi	117_1	avo	4,04	4,16	−0,12	0,97	−1,52	−1,61	6,59	2,89	0,33	−2,04	−2,58
	15_1	avo	6,23	6,40	−0,17	0,97	−1,22	−0,93	3,76	−1,55	−0,12	0,54	3,83
	459_1	siemenp.	4,04	4,13	−0,09	0,98	−0,96	−0,73	4,74	−2,73	1,88	3,69	4,28
	145_2[c]	avo	4,07	4,10	−0,03	0,99	−0,52	0,41	6,84	−2,98	1,77	4,34	4,51
	24_3[c]	avo	4,06	4,08	−0,02	0,99	−0,15	−0,27	3,97	1,65	0,35	−0,64	−1,70
	330_1	siemenp.	3,47	3,47	−6 m^2	1,00	−0,08	0,14	3,07	1,20	−0,59	−1,05	−0,71
	208_5	avo	4,42	4,38	0,04	1,01	−0,14	0,54	7,38	5,33	3,93	−1,63	−0,64
	253_1	avo	7,09	7,01	0,08	1,01	1,43	1,24	9,50	−7,96	−0,98	3,26	10,92
	141_1	avo	5,99	5,92	0,07	1,01	1,10	0,63	6,36	−1,42	−1,18	−1,89	1,56
	34_2_1	avo	5,36	5,28	0,08	1,02	2,56	1,19	14,50	4,61	1,87	−7,32	−6,86
	73_1	avo	8,94	8,80	0,15	1,02	1,24	−0,49	10,05	12,98	13,69	10,43	−17,00
	145_1	avo	3,96	3,81	0,15	1,04	3,53	0,34	13,05	−4,15	4,92	0,09	2,89
	Keskiarvo		**5,14**	**5,13**	**0,01**	**1,00**	**0,44**	**0,04**	**7,48**				

[c] Kuviota on käytetty pinta-alan säädössä.

Tulokset: rajausten siirtymät ja osittaiset koon muutokset pinta-alaparametrin säädön jälkeen

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Kuvioiden määrä, < 0,75 ha		Kuvioiden määrä, 0,75-1,5 ha		Kuvioiden määrä, 1,5-3,0 ha		Kuvioiden määrä, > 3,0 ha	
			Siirt.	Koon m.	Siirt.	Koon m.	Siirt.	Koon m.	Siirt.	Koon m.
Ilmakuva	Maasto	13 (3 + 5 + 4 + 1)*	-	1	1	2	1	-	-	-
Autom.	Maasto	27 (7 + 11 + 8 +1)	2 (2 / -)**	2 (2 / -)	4 (4 / -)	3 (3 / -)	2 (2 / -)	1 (- / 1)	-	1 (1 / -)
Autom.	Ilmakuva	42 (7 + 10 + 13 + 12)	1 (1 / -)	3 (3 / -)	3 (3 / -)	3 (3 / -)	3 (2 / 1)	4 (2 / 2)	2 (2 / -)	1 (1 / -)

Harmaa: *N*=1

Menetelmästä johtuen laajentuneet kuviot

Vertailu-aineisto	Referenssi-aineisto	Vert. kuvioiden määrä *N*	Kuvioiden määrä, < 0,75 ha	Kuvioiden määrä, 0,75-1,5 ha	Kuvioiden määrä, 1,5-3,0 ha	Kuvioiden määrä, > 3,0 ha
Autom.	Maasto	27	0	1	1	0
Autom.	Ilmakuva	42	1	0	2	1

*Vertailukuvioiden määrän jakaantuminen kokoluokkiin suuruusjärjestyksessä
**Vertailukuvioiden jakaantuminen laskennallisen GNSS-tarkkuuden mukaan (tarkempi / epätarkempi)

Vertailutulokset: automaattinen kuvio ja referenssi poikkeavat (kts. dia 9)

Laskennallinen GNSS-tarkkuus: tarkempi

Kuvioille johtavat ajourat poikkeavat: (*N* = 3)

Vert. vs. ref. kuviot	KuvioID	Hakkuu-tapa	Vert. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Vert. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Vert. kuvion ala / ref. kuvion ala	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
IK vs. GNSS	88_3	avo	1,86	1,68	0,18	1,11	1,95	0,78	4,76	−3,07	2,18	2,90	2,52
Autom. vs. GNSS	311_1	avo	0,90	0,89	0,01	1,01	−1,85	−0,24	12,50	−11,07	6,30	4,50	6,34
	88_3	avo	1,83	1,68	0,15	1,09	0,31	0,92	5,01	−1,50	1,98	2,23	1,07
Autom. vs. IK	88_3	avo	1,83	1,86	−0,03	0,98	−1,40	−0,80	7,71	2,30	−2,79	−2,69	0,36
	276_2	avo	2,68	2,61	0,07	1,03	−0,79	−0,20	7,09	−0,47	−0,30	1,36	3,10

Hakkuukoneaineisto ei vastaa referenssiä: (*N* = 5)

Vert. vs. ref. kuviot	KuvioID	Hakkuu-tapa	Vert. kuvion ala, ha	Ref. kuvion ala, ha	Vert. kuvion ala − ref. kuvion ala, ha	Vert. kuvion ala / ref. kuvion ala	Reunojen etäisyyden keskiarvo, m	Reunojen etäisyyden mediaani, m	Reunojen etäisyyden RMSE, m	Siirtymä N-S, m	Siirtymä NE-SW, m	Siirtymä E-W, m	Siirtymä SE-NW, m
Autom. vs. GNSS	120_1	avo	0,15	0,23	−0,08	0,66	−4,85	−0,15	17,35	6,06	43,03	17,42	2,55
	64_2	avo	6,60	6,18	0,41	1,07	3,44	0,69	12,82	10,58	8,53	5,39	−5,04
	71_1	harv.	0,59	0,45	0,14	1,30	5,25	2,16	10,34	7,18	10,48	8,05	8,78
	123_1	harv.	0,96	0,73	0,23	1,32	5,91	5,01	9,67	8,14	9,78	21,75	15,37
Autom. vs. IK	101_1	avo	1,79	1,59	0,20	1,13	4,15	1,63	11,51	4,32	2,91	8,59	7,03