Automaattinen toimenpidekuvion rajojen muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen

Ilmakuva © Maanmittauslaitos 2018

Metsätehon tuloskalvosarja 7a/2018

Timo Melkas
Kirsi Riekki
Juha-Antti Sorsa

Metsäteho Oy

Tiivistelmä

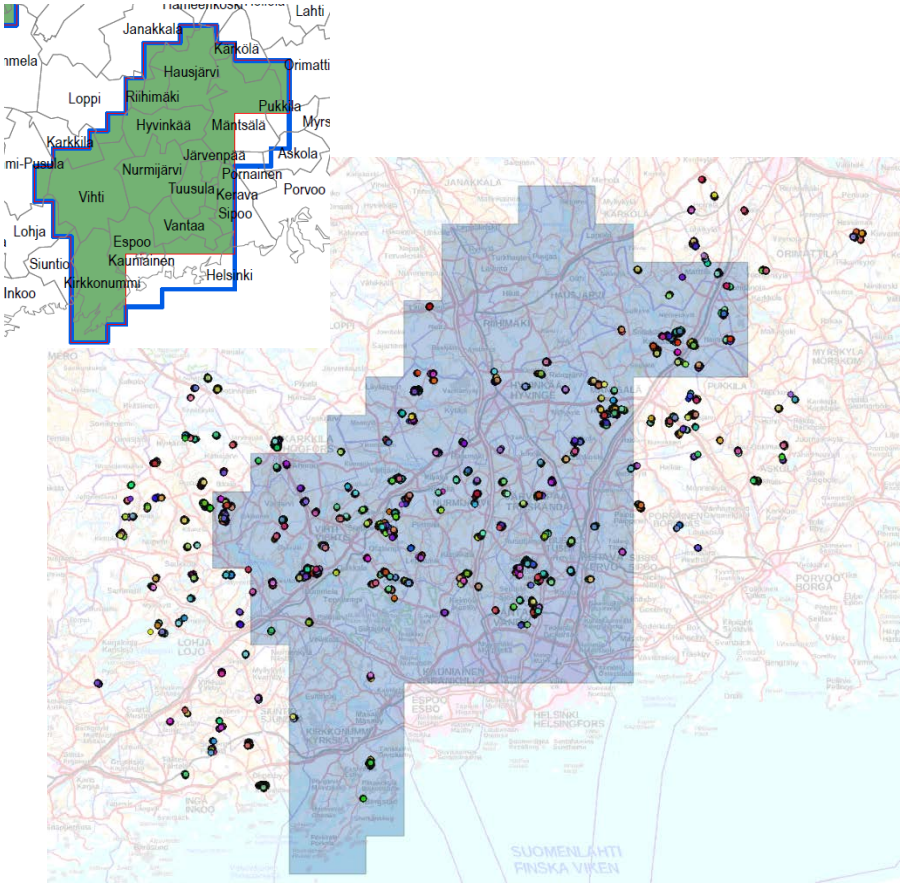
- Tutkimuksen tavoitteena oli luoda **automaattinen menetelmä** hakkuualueen rajaukseen hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen.
- Aineistona menetelmäkehityksessä käytettiin kuudelta hakkuukoneelta kerättyä operatiivista leimikkoaineistoa (n_{lohko}=455) Suomen metsäkeskuksen pääkaupunkiseudun inventointialueelta.
- Kehitetty menetelmä on moniosainen kokonaisuus, joka erottaa kuviot ja niille johtavat ajourat, sekä muodostaa hakkuualueiden rajaukset huomioiden vierekkäiset alueet.
- Menetelmällä pystyttiin tuottamaan toimenpidekuvion rajaus 97,8 %:ssa kaikista tämän aineiston kuvioista (n_{kuvio}=585). Rajauksia on alustavasti verrattu oikeina pidettäviin aluerajauksiin ja tarkkuus näyttää lupaavalta. Yksityiskohtaisempi vertailu oikeina pidettäviin aluerajauksiin julkaistaan erikseen.
- Menetelmää voidaan jatkossa hyödyntää operatiivisessa toiminnassa kuviorajojen ajantasaistuksessa.

Tavoite

- Tutkimuksen tavoitteena oli luoda hakkuukoneen keräämään tietoon perustuva automaattinen hakkuualueen rajausmenetelmä, jota voidaan hyödyntää metsävaratietojen ajantasaistuksessa. Menetelmällä pyritään kattamaan
  - yksikäsitteisten kuvioiden muodostus tunnistetietojen sekä sijaintitiedon perusteella,
  - kuviolle johtavien ajourien tunnistus ja erottaminen aineistosta sekä
  - päällekkäisten tai osittain tosiaan leikkaavien kuvioiden käsittely sekä näiden automatisointi.
- Tutkimuksessa käytetyt termit:
  - lohko = yhtenäisillä tunnistetiedoilla hakatut puut
  - kuvio = yhtenäinen käsittelyalue (toimenpidekuvio), joka on muodostettu lohkotiedoista
  - leimikko = yhtenäinen käsittelyalue (toimenpidekuvio) maastossa
  - kuvion puutiedot = kuviolta hakattujen puiden ominaisuustiedot.
- Tutkimuksessa käytettiin seuraavia hakkuun yhteydessä tallentuneita tietoja:
  - hakkuukoneen sijainti puuta kaadettaessa
  - korjuulohkon tunnistetiedot ja korjuun aloitusaika
  - hakkuutapa (kerätty metsäyhtiöiltä).

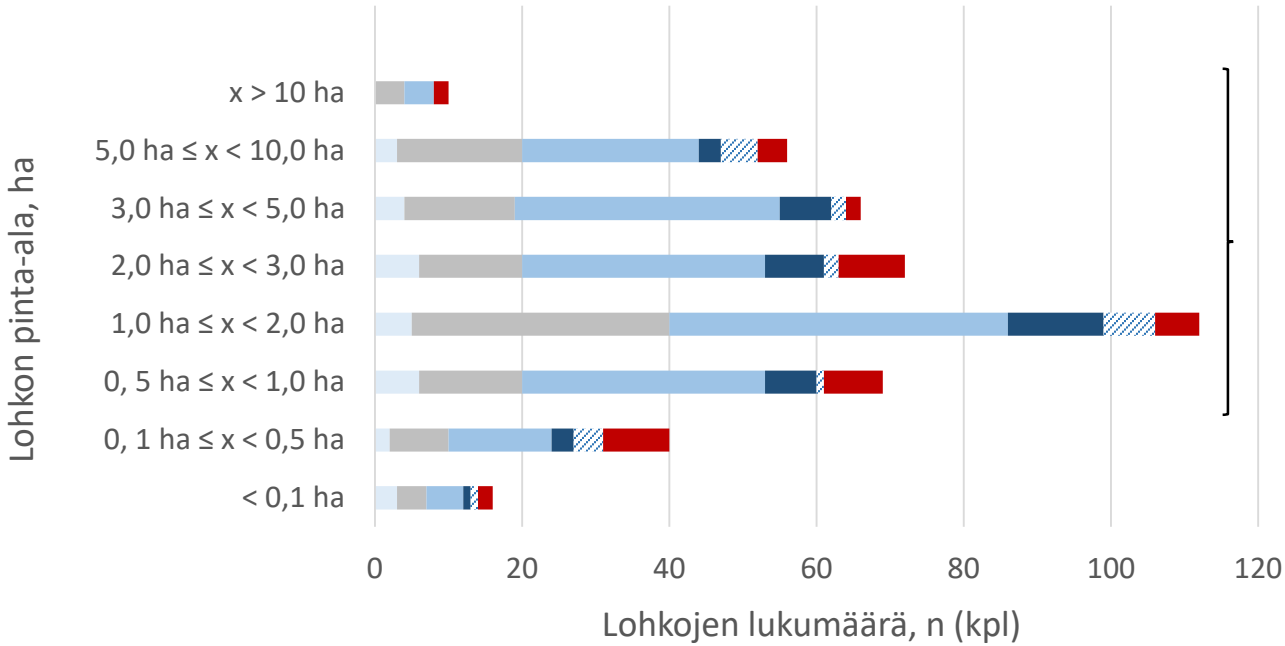
Aineisto

- Aineistona menetelmäkehityksessä käytettiin kuudelta hakkuukoneelta kerättyä operatiivista leimikkoaineistoa (n_{lohko}=455), joka oli kerätty 8/2015–9/2016 välisenä aikana pääosin Suomen metsäkeskuksen pääkaupunkiseudun inventointialueelta.
- Tutkimusaineiston jakaantuminen hakkuutapoihin sekä korjuulohkoihin on esitetty seuraavalla kalvolla (dia 5).



Peruskartta © Maanmittauslaitos 2018, Inventointialueen rajaus © Suomen Metsäkeskus 2016

Hakkuulohkojen kokojakauma hakkuutavoittain (n=455)



377 kpl
(> 0,5 ha)

Hakattuja runkoja 634 656 kpl
Hakattuja lohkoja 455 kpl
yli > 0,5 ha lohkoja 377 kpl

Ensiharvennus
Harvennus
Avohakkuu
Siemen- ja suojuspuuhakkuu
Ylispuiden poisto
Erikoishakkuut

Huom! Luokka ”erikoishakkuut” sisältää erikoishakkuiden lisäksi tonttimaan hakkuut, tuulenkaadot sekä 16 kpl lohkoja, joiden hakkuutapa ei ole tiedossa.

Kuviorajan muodostaminen automaattisesti

Tiedonkeruu hakkuukoneella, esikäsittely (stm, hpr) ja lohkokohtaisten tunnisteiden generointi → Siirto paikkatieto-ohjelmistoon ja koordinaatti-muunnos WGS84 – ETRS FIN35TM → Leimikoille johtavien ajourien erottaminen ja kuviotunnisteiden generointi (algoritmi I) → Peruskuvioiden muodostus (algoritmi II) → Vierekkäisten kuvioiden välisen kuviorajan muodostus (algoritmi III) → Lopullisen kuvioinnin muodosta-minen ja pinta-alojen laskenta

Algoritmi I

1) Kuvioille johtavien ajourien tunnistus
2) Pistojen tunnistus
3) Kuvioiden poiminta ja kuviotunnisteiden generointi

Algoritmi II

1) Delaunay-kolmiointi ja kuvion alueen valinta
2) Kuvioiden puskurointi

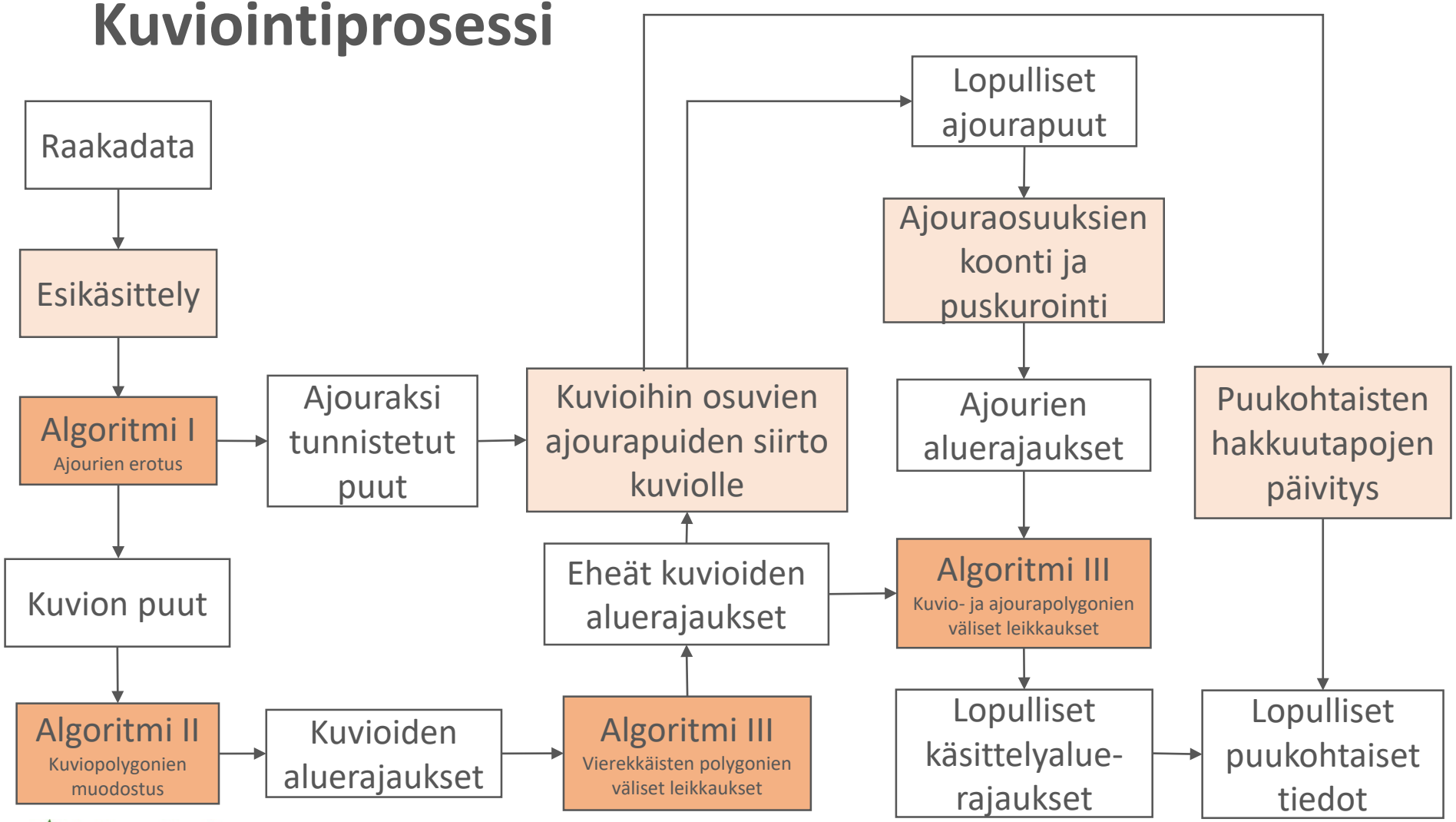
Algoritmi III

1) Leikkaavien vierekkäisten kuvioiden tunnistus
2) Leikkausalueiden puolittaminen ja yhdistäminen pääkuvioihin
3) Kuvioiden väliin jäävien pienten aukkojen puolittaminen ja yhdistäminen pääkuvioihin

Viimeistely

1) Ajourapuiden upotus päällekkäisiin kuvioihin
2) Kuvioille johtavien ajourien puskurointi
3) Pinta-alojen laskenta kuvioille sekä niille johtaville ajourille

Kuviointiprosessi



Aineiston esikäsittely

- Hakkuukoneaineisto esikäsiteltiin valmiiksi koko kuviointiprosessia varten
  - Hakkuukoneella kerätyt stm-tiedostot purettiin tietokantaan Metsätehon purkuohjelmilla
    - Tunnistetiedot jouduttiin käsittelemään yrityskohtaisesti, koska ne oli tallennettu stm-tiedoston eri muuttujiin.
  - Hakkuutapatiedot kerättiin tässä tutkimuksessa metsäyhtiöiltä erikseen, yhtenäistettiin ja vietiin manuaalisesti lohkoille. Tulevaisuudessa hakkuutapatieto tulisi saada hpr-tiedoston kautta StanForD 2010 -standardin käyttöönoton myötä. **Automaattinen menetelmä edellyttää, että lohkolla on vain yksi hakkuutapa.**
  - Aineiston esikäsittelyssä lohkoille ja hakatuille puille tuotetaan yksikäsitteinen, lohkokohtainen ”ObjectID” ja runkokohtainen ”StemNumber” juokseva numerointi.

Lohkon tiedot:

- Tunnistetiedot
- Aloitusaika
- Hakkuutapa

Nämä ovat ideaalitilanteessa samat yhdellä lohkolla

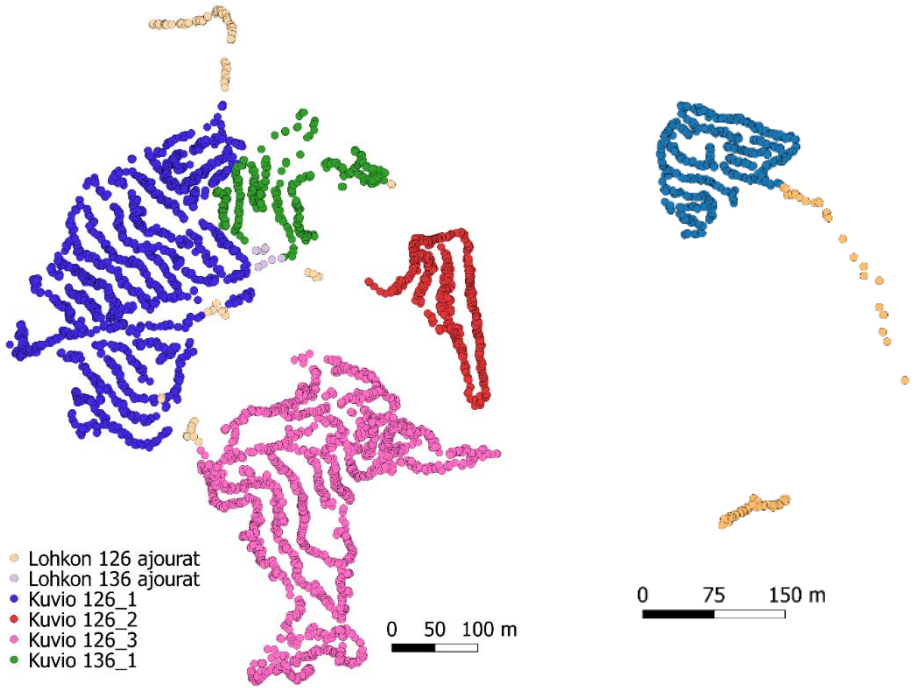
Kuviontunnistukseen tulevat runkokohtaiset tiedot:

- Tunnistetiedot
- Rungon koordinaatit (hakkuukoneen sijainti)
- Aloitusaika
- Hakkuutapa
- ObjectID
- StemNumber

Nämä kaksi parametria yksilöivät jatkossa lohkot ja rungot

Algoritmi I – kuvioiden ja niille johtavien ajourien erottelu

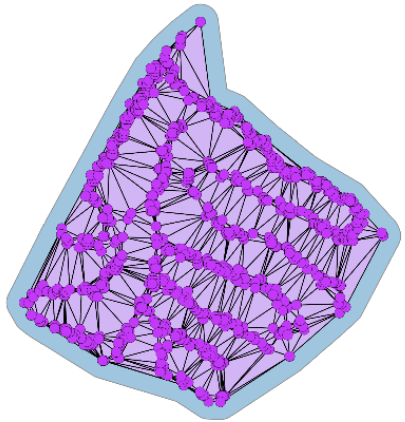
- Erotetaan kuviopuut ja kuvioille johtavien ajourien puut toisistaan sijaintigeometriaan perustuen ja muodostetaan kuvioittaiset puujoukot.
  - Huomioidaan GNSS -vastaanottimen tarkkuus.
- Tunnistetaan pistot ja lisätään ne kuvioiden puujoukkoihin.
- Tarkastetaan, onko samalta leimikolta hakattu puita vain vähän poikkeavilla tunnistetiedoilla.



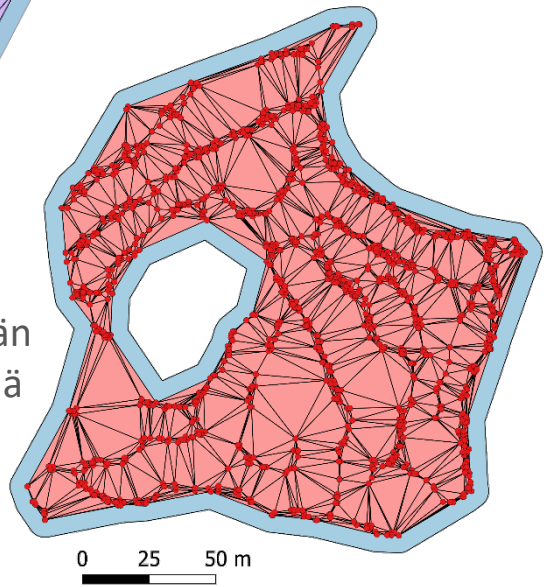
Algoritmi II – puujoukosta kuvioksi

- Lähtökohta kuvionmuodostukseen on yhden kuvion puita kuvaava pistejoukko, joka on tuotettu algoritmilla I.
- Pistejoukolle tehdään ensin Delaunay-kolmiointi.
  - Valitaan kuvioon riittävän lähellä toisiaan olevat pisteet kolmioinnin avulla.
- Muodostetaan kolmiovalinnan avulla ”raakaversio” kuviosta, jota laajennetaan ulospäin puskurivyöhykkeen avulla (bufferointi).
  - Huomioidaan mm. kouran ulottuvuus koneesta .
  - Käytössä 6,5 m etäisyys.

→ Tuloksena saadaan pistejoukosta muodostettu monikulmio eli toimenpidekuvion kuviorajaus.



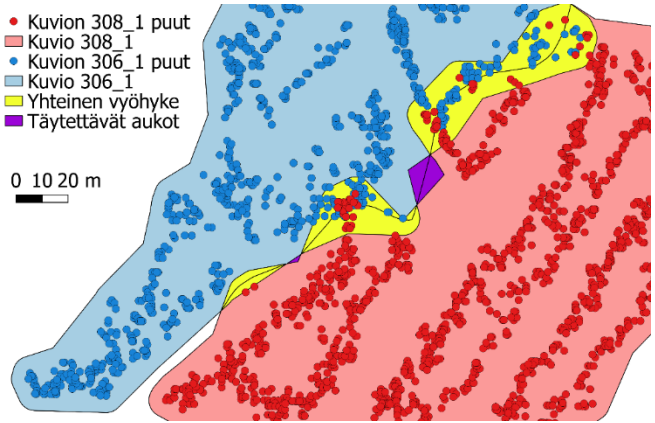
Joskus leimikon sisään jää käsittelemättömiä alueita.

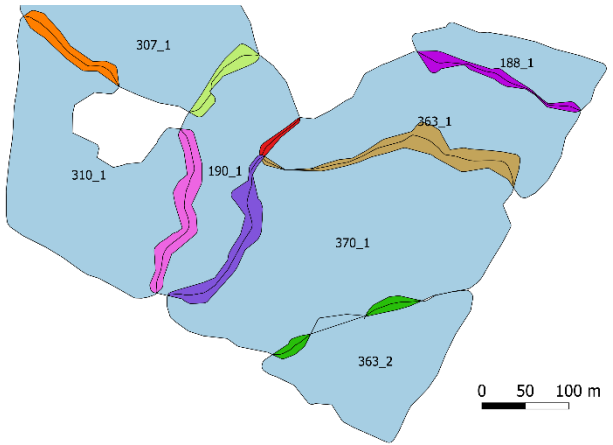


Algoritmi III – vierekkäisten kuvioiden käsittely

- Lähtötietoina algoritmista II saadut kuviorajaukset.
- Toisinaan eri lohkojen kuviorajaukset menevät toisten, vieressä olevien kuvioiden kanssa limittäin vyöhykemäisesti (ns. leikkaavat).
  - Paikannusepätarkkuus voi siirtää puita toisen kuvion puolelle, tai kone on voinut hakata myös toisen kuvion puolelta joitakin puita.
  - Tilanteita aineistossa noin 20 % (leikkausten määrä/kaikkien kuvioiden määrä).
- Kuvioiden pinta-alan määrittelyä varten välissä sijaitseva yhteinen vyöhyke (leikkaus) jaetaan kahtia kuvioiden kesken ja uusi kuvioraja tehdään vyöhykkeen keskelle.
- Viereisten kuvioiden väliin jäävät pienet aukot (alle 1000 m^2) poistetaan jakamalla ne kuvioiden kesken.

→ Lopputuloksena eheä kuvioraja viereisten kuvioiden välissä.





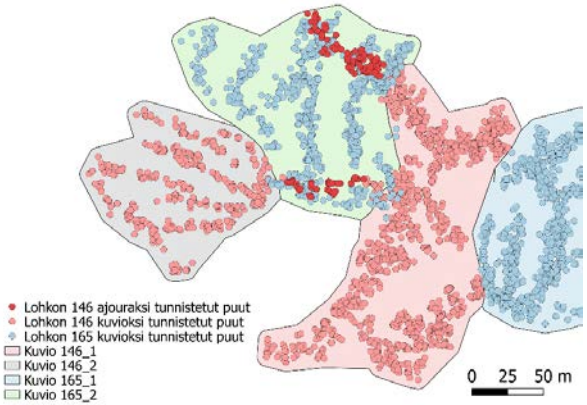
Viimeistely – ajourien huomiointi ja lopullinen kuviointi

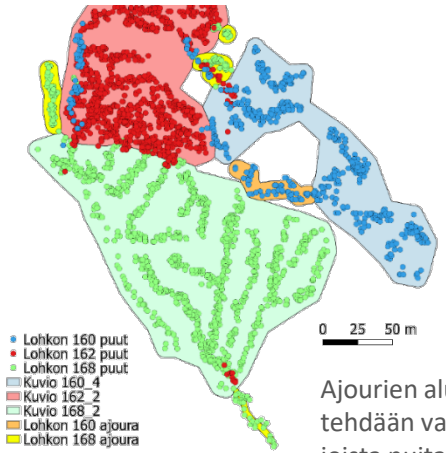
Hakkuukoneaineiston toimenpidekuvio = aluerajaus ja kuviolta hakatut puut

- Viimeistelyn lähtötiedot:
  - Ajouraksi tunnistetut puut algoritmista I
  - Kuvioiden aluerajaukset algoritmista III
- Tässä aineistossa ajouraksi merkittyjä puita sijaitsee joskus muiden kuvioiden alueella. Tällöin ajoura sulautetaan kyseiseen kuvioon huomioimalla ajourapuut kuvion puukohtaisissa poistumatiedoissa.
- Kuviolle johtavista ajourista muodostetaan ajouraosuudet ja lasketaan niille hakattujen puiden tiheys, jonka perusteella määritetään hakkuukoneen käsittelemä pinta-ala.

→ Tuloksena saadaan viimeistellyt toimenpidekuviot, sekä kahteen luokkaan luokitellut ajourat:
  - Poistumaltaan harvat ajourat
  - Poistumaltaan tiheät ajourat (voivat olla yhden ajouran käsittäviä kuvioita tai ajouria, joilta on hakattu paljon puita)

- Mikäli menetelmää käytetään jatkossa metsävaratietojen ajantasaistukseen, tulevat kaikki ajourat sijaitsemaan aina jollakin metsävarakuviolla. Tällöin kuvioille johtavien ajourien ajantasaistus on mahdollista tehdä hilamuotoiseen metsävaratietoon käyttäen kuvioille johtavien ajourien käsittelypinta-aloja.

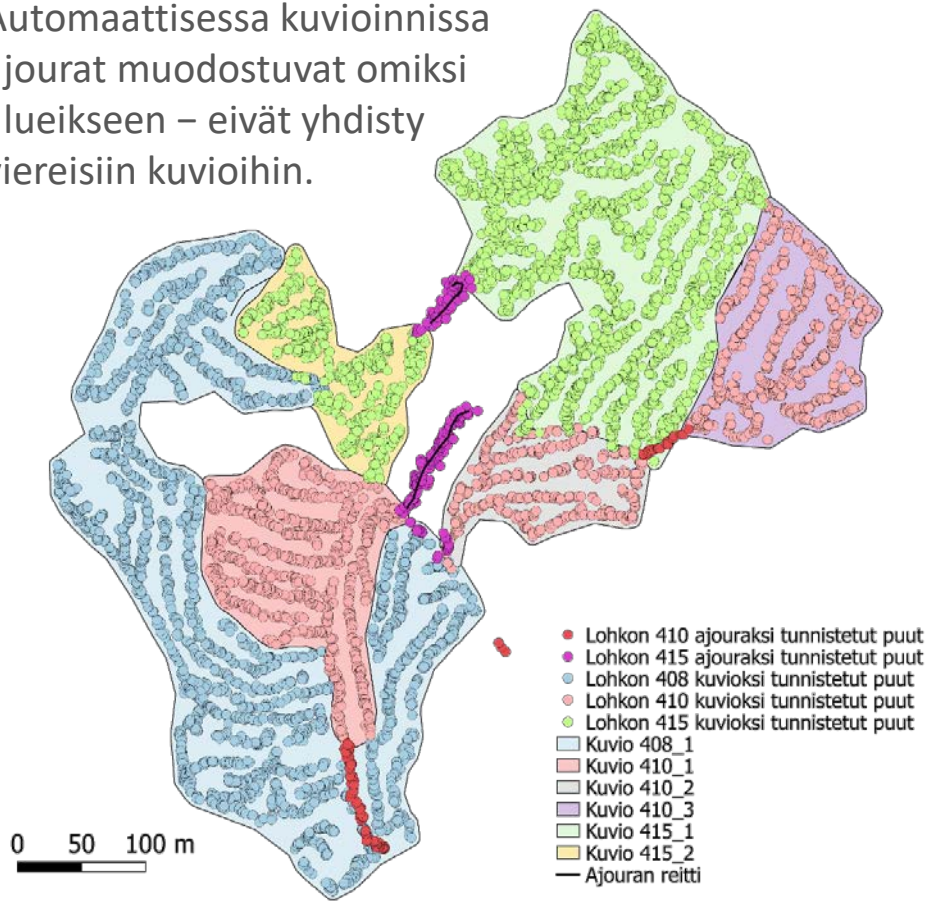


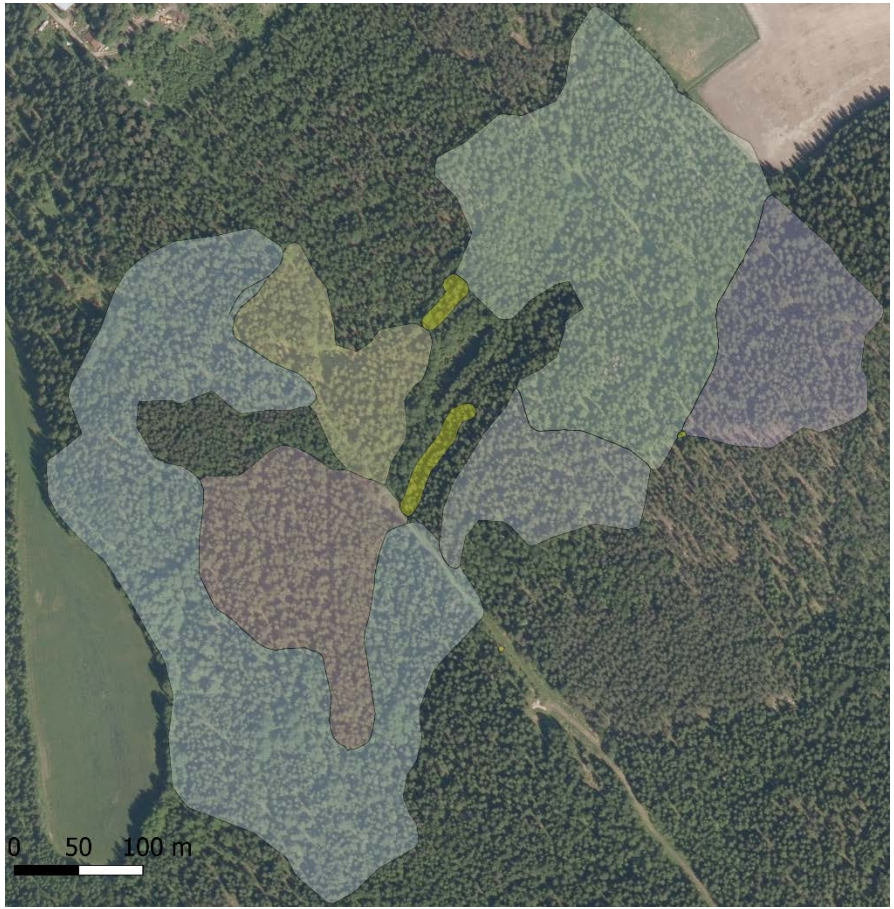


Ajourien aluerajaukset tehdään vain niihin kohtiin, joista puita on hakattu.

Esimerkki automaattisesta kuvioinnista

Automaattisessa kuvioinnissa ajourat muodostuvat omiksi alueikseen – eivät yhdisty viereisiin kuvioihin.





Ilmakuva © Maanmittauslaitos 2018

Tulokset

- Automaattisen algoritmin tuottamia lohko- ja toimenpidekuvioita verrattiin puoliautomaattisella algoritmilla tuotettuihin toimenpidekuvioihin laskemalla niiden keskimääräinen pinta-ala, minimi- ja maksimiarvot sekä hajonta.
- Puoliautomaattinen menetelmä on kuvattu Metsätehon tuloskalvosarjassa 5/2017 (Melkas, T. & Riekki, K. 2017. Hakkuualueen rajan muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen.)
  - Menetelmä perustuu Delaunay-kolmiointiin, puskurivyöhykkeen muodostukseen ja tiettyihin parametriarvoihin, joiden avulla muodostetaan hakkuualueiden toteutuneet rajat.
  - Lisäksi aineisto on tarkastettu manuaalisesti ja tarvittaessa rajauksia on muokattu.
- Vertailun tulokset ovat seuraavan sivun taulukossa (dia 15).
  - Automaattinen menetelmä on tuottanut keskimäärin samankokoisia toimenpidekuvioita kuin puoliautomaattinen menetelmä.
  - Lohkot jakaantuvat kuvioiksi hyvin samankaltaisesti kummassakin menetelmässä.
  - Automaattisen menetelmän hieman pienempi hajonta kuvioiden pinta-alassa johtuu siitä, että kuvioille johtavia ajouria on erotettu enemmän kuin puoliautomaattisessa menetelmässä.
  - Ajourapolygonien rajausten pinta-alat ovat pienempiä automaattisessa menetelmässä, koska ajourien rajaukset tehdään poistuma huomioiden.

Tulokset

	Automaattinen			Puoliautomaattinen		
	Lohko	Toimenpidekuvio	Ajourapolygonit	Lohko	Toimenpidekuvio	Ajourapolygonit
Lohkojen tai toimenpidekuvioiden lukumäärä, n (kpl)	433	572 (585)	722	429	638	69
Pinta-ala, ha						
keskiarvo	2,5	1,8	0,01	2,7	1,8	0,18
minimi	0,0	0,0	0,00	0,0	0,0	0,01
maksimi	20,1	12,3	0,34	20,5	12,7	1,95
hajonta	2,6	1,9	0,02	2,7	2,0	0,30
Hakattujen runkojen lukumäärä, kpl	622498	592585	10655	618973	612173	6121

Huom! Tulokset eivät sisällä ylispuuhakkuita.

Tulokset

- Menetelmällä tuotettiin toimenpidekuvioiden rajaukset automaattisesti harvennus-, siemen- ja suojuspuu- sekä avohakkuuleimikoille (n_{lohko}=433).
- Hakkuutavan ollessa ylispuiden poisto (n_{lohko}=22) varsinaista uutta kuviorajaa ei ole järkevää muodostaa hakkuukonedatan perusteella, vaan riittää, että hakatut puut kohdistetaan sille kuviolle, jonka alueelta ne on hakattu.
- Kuvioinnin onnistuminen riippuu lähtöaineiston laadusta. Ohessa esitetyt luvut koskevat tämän tutkimuksen aineistoa.
- Tässä tutkimuksessa muodostettujen toimenpidekuvioiden tarkastelun perusteella ($n_{autom.\ kuviointi}$=585)
  - 97,8 %:ssa toimenpidekuvioiden rajaus pystytään tuottamaan ongelmitta
  - 0,5 %:ssa (n=3) sijaintitiedot virheelliset (GNSS-vastaanotin rekisteröi yhtä ja samaa sijaintia merkittävälle osalle leimikkoa)
  - 0,3 %:ssa (n=2) kuvioiden välisissä leikkauksissa geoprosessointi ei tapahdu oikein, eikä sitä pystytä ohjelmallisesti havaitsemaan (kyse ei ole geometriarikosta)
  - 0,2 %:ssa (n=1) geometriarikko on estänyt kuviorajan muodostumisen oikein
  - 1,2 %:ssa (n=7) tilanne voidaan jatkossa ratkaista hakkuutapaan perustuvien päättelysääntöjen avulla.
- Tässä tutkimuksessa mukana olleiden lohkojen tarkastelun perusteella (n_{lohko}=433)
  - kuviolle johtavia ajouria todettiin olevan 70,2 %:lla lohkoista
  - hakatuista rungoista 4,6 % luokiteltiin ajouriin kuuluviksi rungoiksi.

Johtopäätökset

- Menetelmällä voidaan tuottaa toimenpidekuvioiden rajaukset, erottaa yksittäiset leimikoille johtavat ajourat sekä leimikoiden sisään jäävät, vähintään tietyn kokoiset käsittelemättömät alueet.
- Menetelmä mahdollistaa toimenpidekuvioiden viennin kuviotietokantaan (metsävaratietoihin) siten, että kuviorajat tasapainotetaan ja eheytetään uusien ja olemassa olevien kuvioiden kesken (algoritmi III).
- Hakkuukoneissa olevien paikannuslaitteiden tarkkuus ja ominaisuudet vaikuttavat kuviorajan muodostumiseen – uudempien paikannuslaitteiden tarkkuus on parempi.
- Menetelmän operatiivinen käyttö vaatii jatkossa pelto-, vesistö- ja tiemaskien käyttöä.

Lähtöaineiston kehittämistarpeet

- Lohkon ja leimikon vastaavuus:
  - Tutkimuksessa todettiin, että keskimäärin kolmesta lohkosta muodostuu neljä kuviota. Tämän on havaittu olevan seurausta siitä, että
    - yhdessä lohkossa on useampia sijainniltaan poikkeavia kuvioita (leimikoita), joiden hakkuutapa ja tunnistetiedot ovat samat

      → muodostuu selkeitä erillisiä kuvioita
    - yhteen lohkoon on hakattu samoilla tunnistetiedoilla puita muiden lohkojen läheisyydestä – kyse on useimmiten suhteellisen pienestä määrästä puita, jotka erottuvat hakkuujärjestyksestä ja muodostavat erillisen kuvion (esim. varasto tai muu tilanne)
    - yhden leimikon puita on hakattu kahteen tai useampaan eri lohkoon

      → leimikko pilkkoutuu useampaan kuvioon, vaikka todellisuudessa kyse on yhdestä yhtenäisestä leimikosta.
  - Menetelmän optimaalinen käyttö vaatii operatiivisessa toiminnassa, että yhtenäiset leimikot hakataan yhteen lohkoon.

Lähtöaineiston kehittämistarpeet

- Hakkuutapatietojen yhtenäistäminen:
  - Jotkut lohkot sisältävät useampaa hakkuutapaa, mutta menetelmässä käytetään vain yhtä hakkuutapaa kaikille lohkon puille.
    - → Jatkossa yhden lohkon tulee sisältää vain yhtä hakkuutapaa; tähän tulee kiinnittää huomiota esim. WoodForcen käyttöönoton yhteydessä.
- Tunnistetietojen yhtenäistäminen:
  - Tunnistetiedot sijaitsevat standardin eri rakenteissa, jolloin aineiston esikäsittelyssä joudutaan tekemään yrityskohtaisia räätälöintejä.
    - → Tunnistetietojen sijaittava samoissa rakenteissa kaikilla hakkuukonedatan tuottajilla.
- Paikannustarkkuuden parantaminen:
  - hakkuukoneen yleisen paikannustarkkuuden kehittäminen
  - sijainnin rekisteröinti heti kaatosahauksen jälkeen (ns. tilttipuut)
  - hakkuupään sijainnin rekisteröinti eri työvaiheissa (hakkuukoneen sijainti, kaadettavan puun sijainti, puutavarakasan sijainti) – huomioiminen StanForD -standardissa.

Menetelmän jatkokehittäminen

- Yksityiskohtaisempi kalvosarja automaattisen kuvioinnin oikeellisuuden todentamisesta julkaistaan myöhemmin.
  - Tavoitteena tuloskalvosarjassa on vertailla automaattisella ja puoliautomaattisella menetelmällä tuotettujen toimenpidekuvioiden rajauksia maastossa kartoitettuihin ja ilmakuvilta digitoituihin toteutuneisiin kuviorajoihin.
- Kuviointiparametrien hienosäätö.
- Vierekkäisten kuvioiden rajojen määritys (algoritmilla III):
  - monimutkaisempien kuviogeometrialeikkausten päättelysääntöjen kattava määrittely ja toteutus, ja
  - geometriarikkojen hallinta.
- Tarkemmat jatkokehitystarpeet on kuvattu kalvosarjan liitteissä 1–4 kunkin algoritmin osalta.

Menetelmän käyttömahdollisuudet

- Menetelmää tullaan jatkokehittämään yhdessä Suomen metsäkeskuksen ja Metsätehon osakkaiden kanssa.
- Tavoitteena on saada jatkossa toteutuneiden toimenpiteiden rajaukset ajantasaistettua Suomen metsäkeskuksen metsävaratietoihin ja osaksi operatiivista toimintaa.
- Työ etenee seuraavin vaihein:
  - automaattisen kuvioinnin oikeellisuuden todentaminen
  - algoritmien viimeistely ja koodaus tuotantokelpoiseen ympäristöön sekä testaus Metsätiedon palvelualusta -hankkeessa
  - tiedonkeruun jatkaminen yhteistyössä Metsätehon osakkaiden kanssa
  - StanForD 2010 -standardin mukaisten rajapintojen koodaus
  - menetelmän tuotteistaminen operatiiviseen käyttöön (päätetään erikseen).

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**.

Metsäteho

metsäkeskus

mmm.fi
MAA- JA METSÄTALOUSMINISTERIÖ