



Hakkuukonetiedon hyödyntäminen mm. metsävaratietojen ylläpidossa

Timo Melkas, Kirsi Rieki & Juha-Antti Sorsa
26.11.2018



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

2

Sisältö

- Automaattinen toimenpidekuvion rajojen muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen
- Automaattinen ajourien tuottaminen ja ajouratunnukset hakkuukoneen sijaintiin perustuen
- Tekoälysovellus?



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

3

Tiivistelmä

- Tutkimuksen tavoitteena oli luoda automaattinen menetelmä hakkuualueen rajaukseen ja ajourien tuottamiseen hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen.
- Aineistona menetelmäkehityksessä käytettiin kuudelta hakkuukoneelta kerättyä operatiivista leimikkoaineistoa ($n_{\text{lohko}}=455$) Suomen metsäkeskuksen pääkaupunkiseudun inventointialueelta.
- Kehitetty menetelmä on moniosainen kokonaisuus, joka erottaa kuviot ja niille johtavat ajourat, sekä muodostaa hakkuualueiden rajaukset huomioiden vierekkäiset alueet. Lisäksi tuotetaan kuvioiden ajouraverkostot, joista saadaan ajouria kuvaavat tunnusluvut.
- Menetelmällä pystyttiin tuottamaan toimenpidekuvion rajaus 97,8 %:ssa kaikista tämän aineiston kuvioista ($n_{\text{kuvio}}=585$). Rajauksia on alustavasti verrattu oikeina pidettäviin aluerajauksiin ja tarkkuus näyttää lupaavalta. Yksityiskohtaisempi vertailu oikeina pidettäviin aluerajauksiin julkaistaan erikseen.
- Ajouria on verrattu maastokartoituksiin, ja pituuden vastaavuus on hyvä. Sijainnin vastaavuuteen vaikuttaa hakkuukoneen GNSS-paikannustarkkuus.
- Kuviointimenetelmää voidaan jatkossa hyödyntää operatiivisessa toiminnassa metsävarakuvioiden ajantasaistuksessa, ja ajourien tuottamista korjuun omavalvonnassa.



Automaattinen toimenpidekuvion rajojen muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen

Melkas, T., Rieki, K., & Sorsa, J-A. 2018. Automaattinen toimenpidekuvion rajojen muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tuloskalvosarja 7a/2018

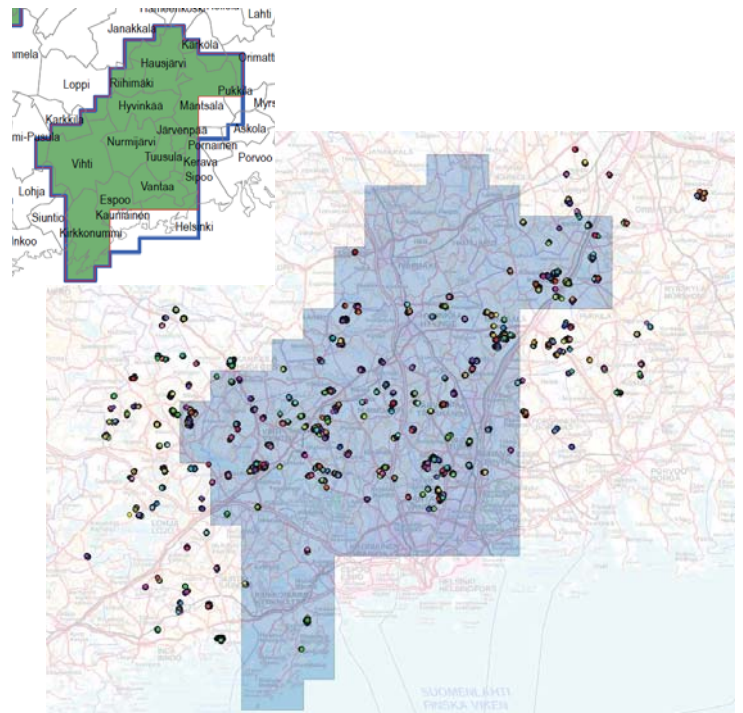
Tavoite

- Tutkimuksen tavoitteena oli luoda hakkuukoneen keräämään tietoon perustuva automaattinen hakkuualueen rajausten menetelmä, 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

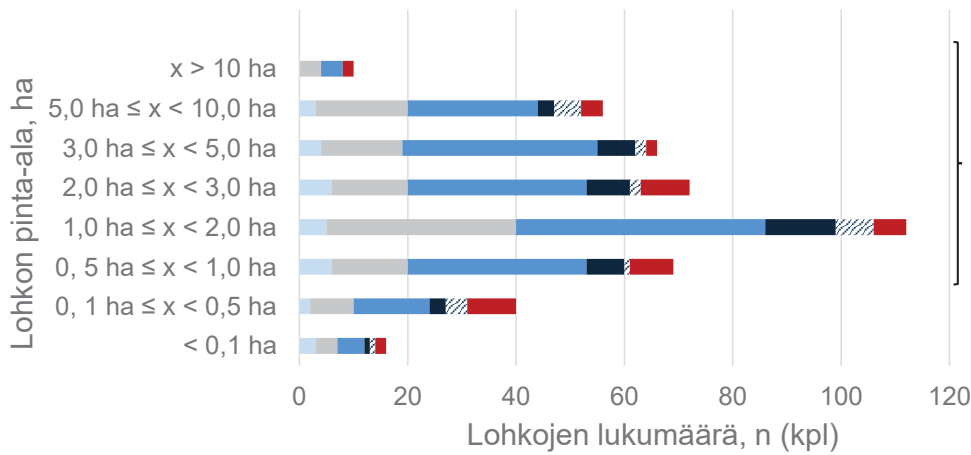
- Aineistona menetelmäkehityksessä käytettiin kuudelta hakkuukoneelta kerättyä operatiivista leimikkoaineistoa ($n_{\text{lohko}}=455$), joka oli kerätty 8/2015–9/2016 välisenä aikana pääosin Suomen metsäkeskuksen pääkaupunkiseudun inventointialueelta.
- Tutkimusaineiston jakaantuminen hakkuutapoihin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



Peruskartta © Maanmittauslaitos 2018, Inventointialueen rajaus © Suomen Metsäkeskus 2016



Hakkuulohkojen kokojakauma hakkuutavoittain (n=455)



377 kpl
($> 0,5\text{ ha}$)

Hakattuja runkoja 634 656 kpl
Hakattuja lohkoja 455 kpl
yli $> 0,5\text{ ha}$ lohkoja 377 kpl

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

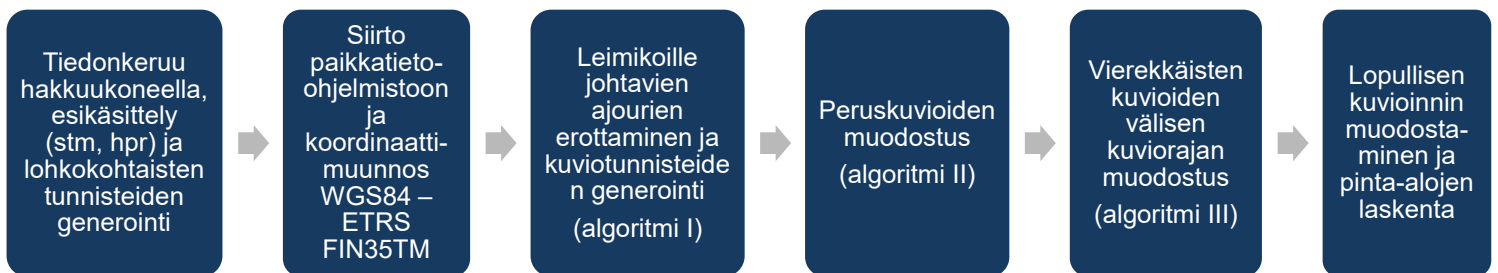
- Ensiharvennus
- Avohakkuu
- ▨ Ylispuiden poisto
- Harvennus
- Siemen- ja suojuspuuhakkuu
- Erikoishakkuut



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

8

Kuviorajan muodostaminen automaattisesti



Algoritmi I

- 1) Kuvioille johtavien ajourien tunnistus
- 2) Pisteiden 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

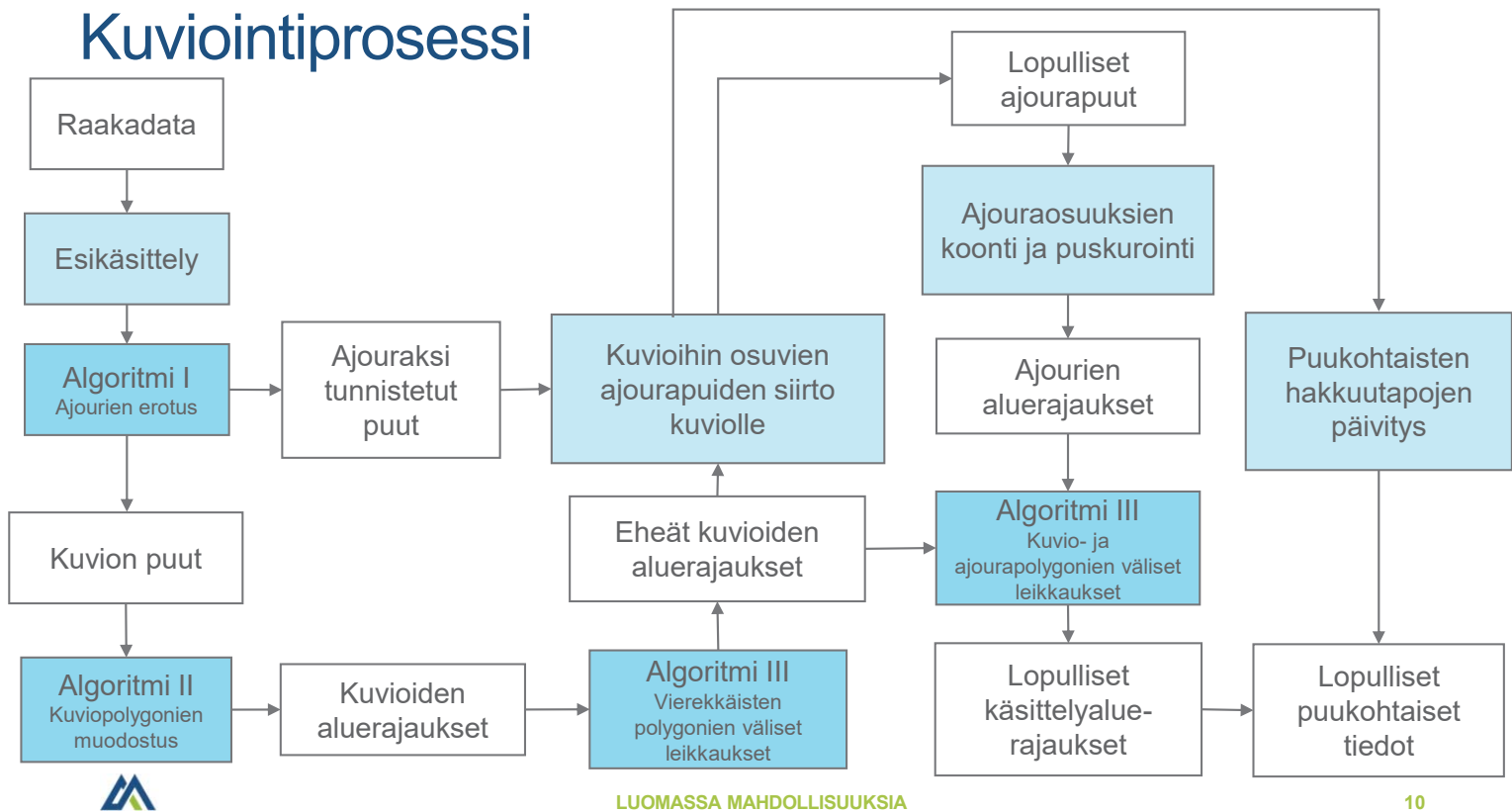
- 1) Ajourapuiden upotus päällekkäisiin kuvioihin
- 2) Kuvioille johtavien ajourien puskurointi
- 3) Pinta-alojen laskenta kuvioille sekä niille johtaville ajourille



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

9

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 lohkoilla on vain yksi hakkuutapa.
 - Aineiston esikäsittelyssä lohkoille ja hakutuille puille tuotetaan yksikäsitteinen, lohko-kohtainen "ObjectID" ja runkokohtainen "StemNumber" juokseva numerointi.

Lohkon tiedot:

- Tunnistetiedot
- Aloitusaika
- Hakkuutapa



Kuviontunnistukseen tulevat runkokohtaiset tiedot:

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

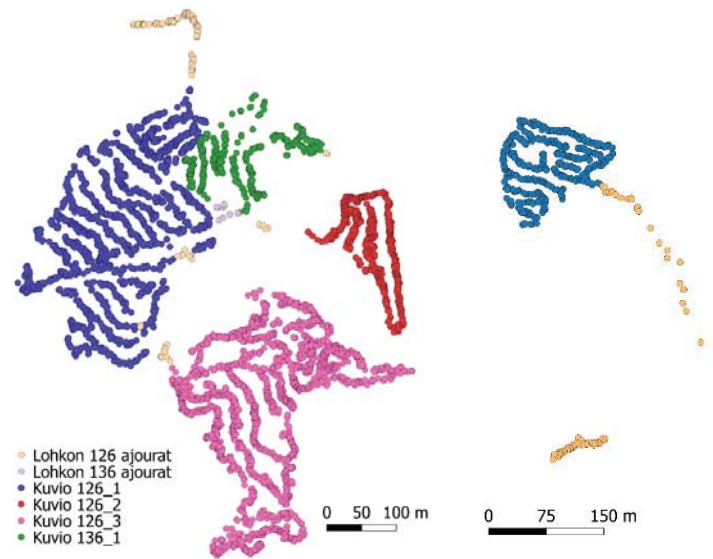
} Nämä kaksi parametria yksilöivät jatkossa lohkot ja rungot

Nämä ovat ideaalitalanteessa samat yhdellä lohkoilla



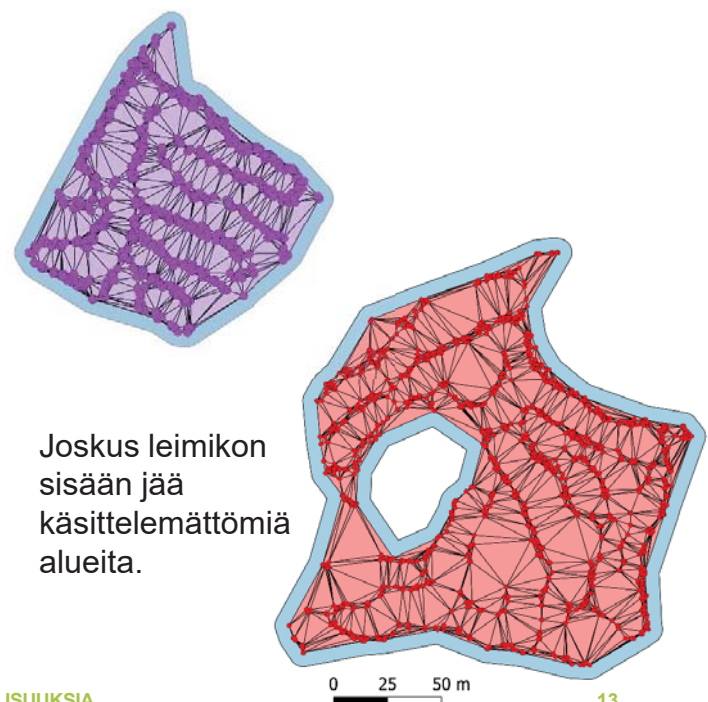
Algoritmi I – kuvioden ja niille johtavien ajourien erottelu

- Erotetaan kuviopuut ja kuvioille johtavien ajourien puut toisistaan sijaintigeometriaan perustuen ja muodostetaan kuvioittaiset puujoukot.
 - Jaetaan aineisto kahtia GNSS-paikannustarkkuuden perusteella: tarkemmat ja epätarkemmat vastaanottimet
- Tunnistetaan pistot ja lisätään ne kuvioden puujoukkoihin.
- Tarkastetaan, onko samalta leimikolta hakattu puita vain vähän poikkeavilla tunnistetiedoilla.



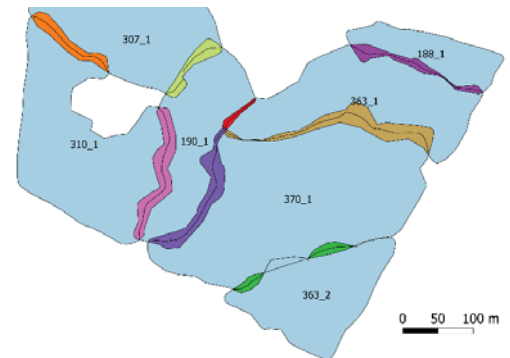
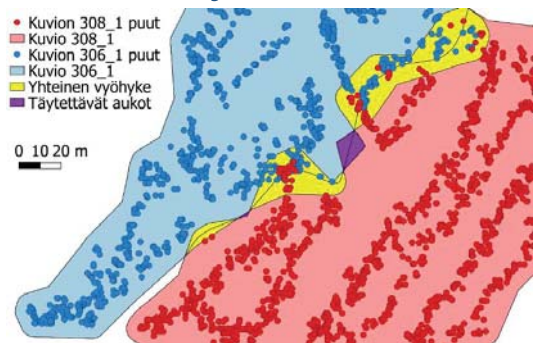
Algoritmi II – puujoukosta kuvioksi

- 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" kuvioista, jota laajennetaan ulospäin puskurivyöhykkeen avulla (bufferointi).
 - Huomioidaan mm. kouran ulottuvuus koneesta.
 - Käytössä 6,5 m etäisyys.
- Tuloksena saadaan pistejoukosta muodostettu monikulmio eli toimenpidekuvion kuviorajaus.



Algoritmi III – vierekkäisten kuvioiden käsittely

- Lähtötietoina algoritmista II saadut kuviorajaukset.
 - Toisinaan eri lohkojen kuviorajaukset menevät toisten, vieressä olevien kuvioiden kanssa limittäin vyöhykemäisesti (ns. leikkaavat).
 - Paikannusepätkä tarkkuus 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 m²) poistetaan jakamalla ne kuvioiden kesken.
- Lopputuloksena eheä kuvioraja viereisten kuvioiden välissä.

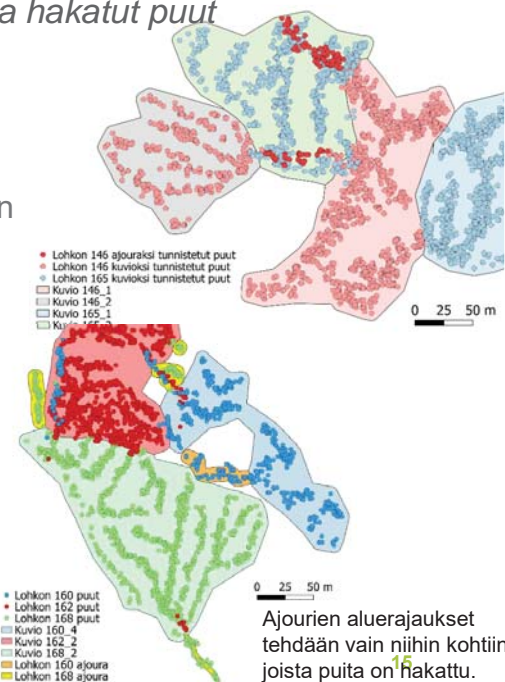


LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

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 merkityjä puita sijaitsee joskus muiden kuvioiden alueella. Tällöin ajoura sulautetaan kyseiseen kuvioon huomioimalla ajourapuut kuvion puukohtaisissa poistumätiedoissa.
 - 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: harvat ja tiheet (kuvioita?)
- Mikäli menetelmää käytetään jatkossa metsävaratietojen ajantasaistukseen, tulevat kaikki ajourat sijaitsemaan aina jollakin metsävarakuviolla. Tällöin kuviolle johtavien ajourien ajantasaistus on mahdollista tehdä hilamuotoiseen metsävaratietoon käyttäen kuviolle johtavien ajourien käsittelypinta-aloja.



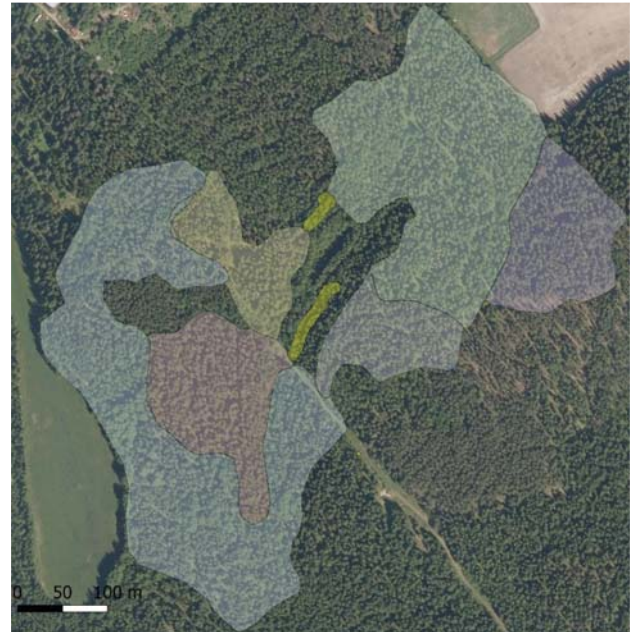
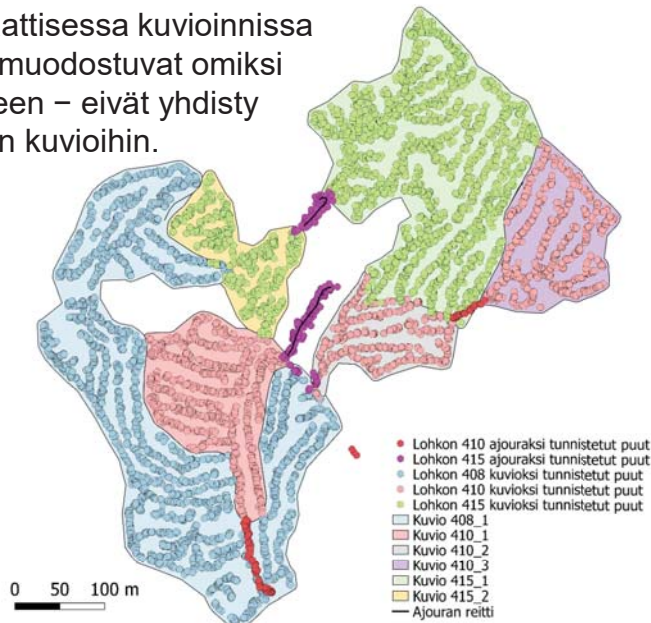
Ajourien aluerajaukset tehdään vain niihin kohtiin, joista puita on hakattu.



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

Esimerkki automaattisesta kuvioinnista

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



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

16

Tulokset: vertailu manuaalisesti tarkastettuun kuviointiin

- 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. & Riekkö, 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.
 - 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.



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

17

Tulokset: vertailu manuaalisesti tarkastettuun kuviointiin

	Automaattinen			Puoliautomaattinen		
	Lohko	Toimenpidekuvio	Ajourapolygonit	Lohko	Toimenpidekuvio	Ajourapolygonit
Lohkojen tai toimenpidekuvioiden lukumäärä, n (kpl)	455	597	1245	451	669	69
Pinta-ala, ha						
keskiarvo	2,5	1,8		2,7	1,8	
minimi	0,0	0,0		0,0	0,0	
maksimi	20,1	12,3		20,5	12,7	
hajonta	2,6	1,9		2,7	2,0	
Hakattujen runkojen lukumäärä, kpl	634656	607063	27593	634656	620472	15018

Huom! Tulokset eivät sisällä ylispuuhakkuita.



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

18

Tulokset (tekninen onnistuminen)

- Menetelmällä tuotettiin toimenpidekuvioiden rajaukset automaattisesti harvennus-, siemen- ja suojustuu- sekä avohakkuuleimikoille ($n_{\text{lohko}}=433$).
- Hakkuutavan ollessa ylispuiden poisto ($n_{\text{lohko}}=22$) 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 ($n_{\text{autom. kuviointi}}=585$)
 - 97,8 %:ssa toimenpidekuvioiden rajausta pystytään tuottamaan teknisesti ongelmitta
 - 0,5 %:ssa ($n=3$) sijaintitiedot virheelliset (GNSS-vastaanotin rekisteröi yhtä ja samaa sijaintia merkittäväälle osalle leimikkoo)
 - 0,3 %:ssa ($n=2$) kuvioiden välisissä leikkauksissa geoprosointi 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 päätelysääntöjen avulla.



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

19

Vertailu ilmakuvareferenssiin

- Vertailu pinta-alojen, kehän pituuden ja leimikon siirtymän osalta

Puoliautomaattinen			Automaattinen		
Ilmansuunta	Siirtymä, m	N, kpl	Ilmansuunta	Siirtymä, m	N, kpl
N:	-1,1	84	N:	-1,1	85
NE:	-1,0	90	NE:	-1,0	90
E:	-1,5	89	E:	-1,4	89
SE:	0,1	89	SE:	0,2	89
S:	2,8	79	S:	2,5	90
SW:	4,1	57	SW:	3,4	68
W:	3,9	33	W:	4,3	34
NW:	-0,5	49	NW:	0,0	51

Esimerkkikuvio:

- Automaattinen kuviointi, 6,45 ha
- Ilmakuvalta digitoitu kuvio, 6,40 ha
- Ero 0,7 %



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

20

Johtopäätökset ja käyttömahdollisuudet

- 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.
- 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.



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

21

Automaattinen ajourien tuottaminen ja ajouratunnukset hakkuukoneen sijaintiin perustuen

Rieki, K., Melkas, T., Ovaskainen, H., Poikela, A. & Sorsa, J-A. 2018. Ajourien automaattinen muodostus ja ajouratunnusten määrittäminen hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tulostalvosarja 12/2018 (käsikirjoitus, julkaisu 2018)



Tavoite

- Tutkimuksen tavoitteena oli luoda hakkuukoneen keräämään sijaintitietoon perustuva automaattinen ajourien tuottamismenetelmä, jota voidaan hyödyntää korjuun omavalvonnassa harvennushakkuilla. Tarkoituksena oli selvittää toimenpidekuviointain
 - ajourien pituus hehtaaria kohden,
 - ajourien osuus pinta-alasta käyttäen uran oletusleveytenä vakioarvoa, ja
 - keskimääräinen ajouraväli.
- Menetelmäkehityksen lähtökohdat:
 - Hakkuukone ajaa toisinaan samaa uraa useita kertoja edestakaisin, ja kaataa puita kulkiessaan
 - halutaan vain yksi ura yhteen kohtaan riippumatta siitä, monestiko on ajettu.
 - GNSS-virhe aiheuttaa jopa useiden (kymmenien?) metrien edestakaisuutta yksittäisille pisteille suhteessa koneen/ajouran etenemiseen
 - puiden kaatojärjestystä ei voi sellaisenaan käyttää.
 - Hakkuutyön eteneminen on kuitenkin osoittautunut oleelliseksi tiedoksi ajouraa muodostettaessa
 - menetelmä huomioi hakkuun etenemisen leimikkotasolla.



Aineisto

Hakkuukoneaineisto:

- Aineistona käytettiin kuviointialgoritmin lopputulosta: toimenpidekuvioihin kuuluvat puukohtaiset hakkuukoneen sijaintipisteet ja kuvioiden pinta-alat.

Maastoaineisto:

- Ajouria kartoitettiin 22 ensiharvennuskuvioilta tarkkuuspaikannuslaitteella.
 - Valmistajan ilmoittama paikannustarkkuus < 0,5 m (GNSS + VRS)
- Kartoitus tapahtui keväällä 2018 ennen kasvukauden alkua, noin kaksi vuotta hakkuun ajankohdan jälkeen.
 - Joitakin ajourien yksityiskohtia, kuten pieniä pistoja on voinut jäädä havaitsematta maastossa.
- Aineistoista poimittiin toisiaan vastaavat osat vertailuun.

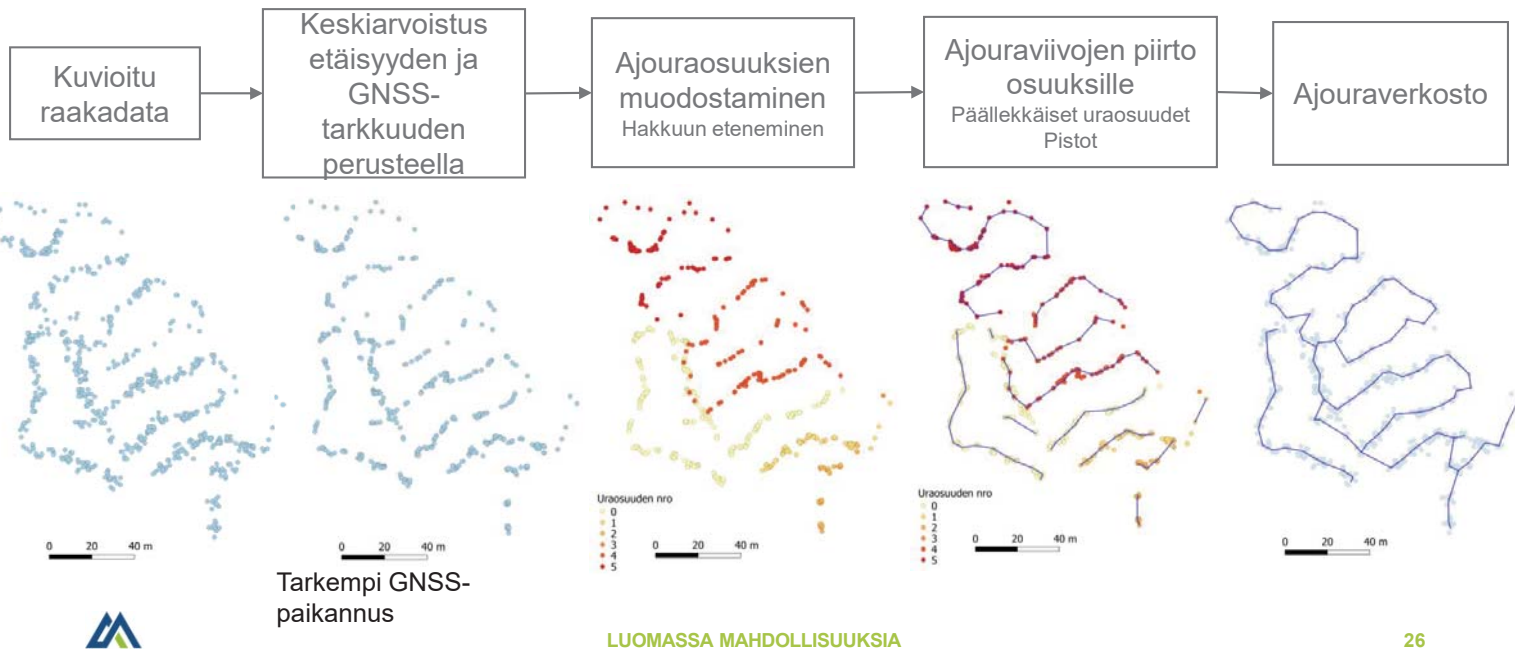


Ajourien tuottamisen vaiheet

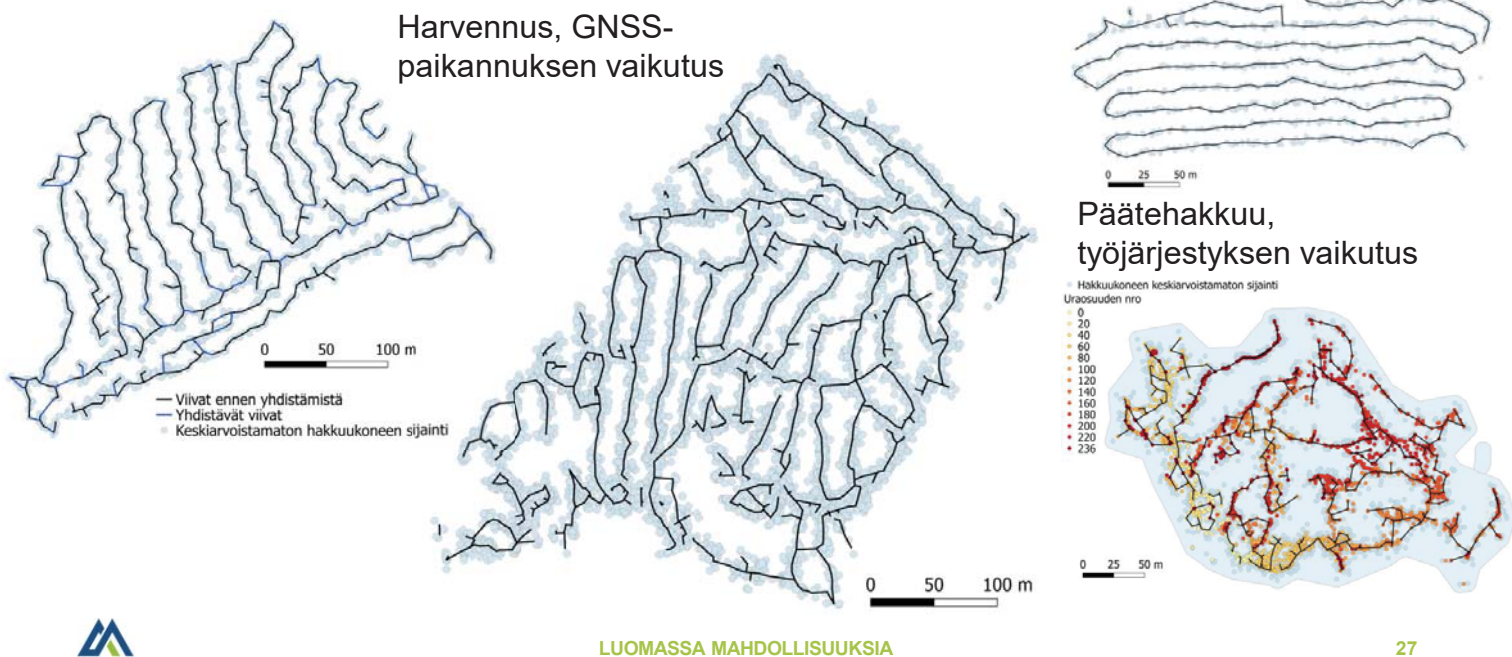
- Keskiarvoistus:
 - Etäisyyden perusteella eli puiden kaatojärjestys ei vaikuta keskiarvoistamiseen: saadaan hyvä keskiarvoistus myös sellaisissa tilanteissa, joissa hakkuukone on liikkunut leimikolla edestakaisin hakkuun aikana paljon.
 - Esimerkiksi harvennukset, joilta ajetaan työvuoron lopuksi pois.
 - Keskiarvoistuksen sopiva voimakkuus riippuu hakkuukoneen GNSS-paikannuksen tarkkuudesta ja hakkuutavasta.
- Ajouraosuusien muodostaminen:
 - Ajouraosuus = peräkkäin hakatut puut, jotka ovat riittävän lähellä toisiaan.
 - Osuuden puut eivät ole numerojärjestyksessä suhteessa ajouraan GNSS-paikannusvirheen takia.
 - Huomioidaan hakkuutyön eteneminen, johon vaikuttavat kuvioittain maasto, olosuhteet, metsäkuljetus, kuljettajan tottumukset yms.
- Ajouraviivojen piirto osuuksille:
 - Tuotetaan osuuskohtaisesti edeten uraviivat ja lisätään pistot uran sivuille.
 - Päällekkäisten uraosuusien kohdalle tuotetaan vain yksi ajoura.
- Osuuksien kokoaminen ajouraverkostoksi:
 - Kootaan osuuskohtaiset urat yhteen, jos etäisyys on sopiva.
 - Aivan kaikki uraviivat eivät yhdisty toisiinsa, vaikka käytännössä hakkuukoneen onkin täytynyt kulkea myös kaikki välit.
 - Joskus taas osuudet yhdistyvät, vaikka hakkuukone ei välttämättä ole kulkenut siitä kohdasta.
Tämän aineiston perusteella ei voida varmistua siitä, mistä kohdasta hakkuukone on todella kulkenut.



Ajourien tuottamisprosessi



Esimerkkejä automaattisista ajourista



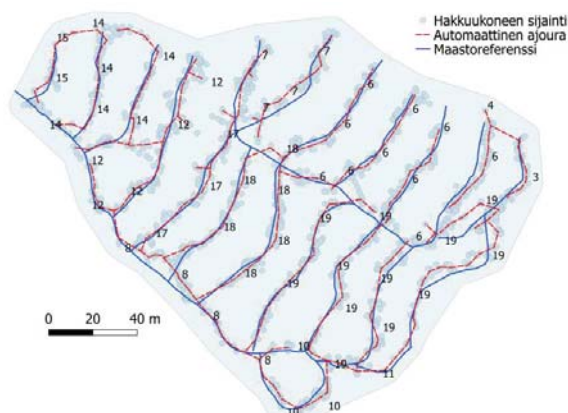
Ajourien vertailu maastoreferensseihin

- Automaattisesti tuotettuja uria verrattiin maastoreferensseihin ($N = 22$) pituuden ja sijainnin paikkansapitävyyden arvioimista varten.
 - Pituusvertailu tehtiin suoraan ajourien pituuksien välillä.
 - Kuviotason sijaintivertailua varten määritettiin urien välinen keskimääräinen etäisyyspoikkeama (RMSE).
 - Lyhytjaksoisemman GNSS-tarkkuusvaihtelun selvittämiseksi määritettiin uraosuuskohtaiset siirtymät.
- Menetelmästä aiheutuu paikallisia virheitä ajouraverkostoon.
 - Käytetyt parametrien arvot vaikuttavat tuloksiin.
 - Yksittäisten puiden GNSS-virhe aiheuttaa välillä turhaa kulmikkuutta ajouriin.
 - Urat yhdistyvät toisinaan väärästä kohdasta verkostoksi.
 - Virheelliset viivanosat ovat aineiston tarkastelun perusteella kuitenkin lähes oikean pituisia, vaikkakin väärässä paikassa.
 - Hakkuun työjärjestys vaikuttaa tuloksiin.
- Havaittiin, että hakkuukoneen paikannustarkkuus aiheuttaa enemmän virhettä kuin itse menetelmä.



Esimerkkejä

Tarkempi GNSS-paikannus, kuvio 2,84 ha



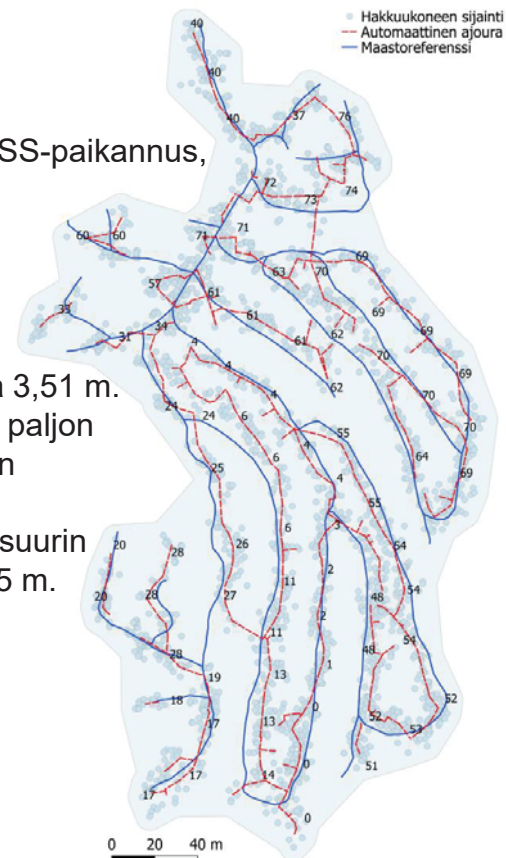
Koko leimikon keskimääräinen sivuttaispoikkeama 2,40 m.

Kuviolla hieman eroa hakkuukoneen paikannuksen ja referenssin välillä, suurin sivuttaissiirtymä 1,5 m.



Epätarkempi GNSS-paikannus, kuvio 5,14 ha

Koko leimikon keskimääräinen sivuttaispoikkeama 3,51 m. Kuviolla paikoittain paljon eroa hakkuukoneen paikannuksen ja referenssin välillä, suurin sivuttaissiirtymä 5,5 m.



Ajourien osumistarkkuus

- Ajourien pituudet vastaavat toisiaan hyvin.
- Kuvion ajourien osumistarkkuus riippuu hakkuukoneen GNSS-vastaanottimen yleisestä tarkkuustasosta
 - Lisäksi hetkelliset olosuhteet vaihtelevat, mikä vaikuttaa tarkkuuteen
- Tarkempi GNSS-vastaanotin:
 - Keskimääräinen etäisyyspoikkeama on tässä aineistossa tällöin enimmäkseen alle 2,5 m, korkeintaan 3 m luokkaa.
 - Lähinnä paikoittaista uraosuuskohtaista siirtymää on havaittavissa, mm. olosuhteet ja kone(merkki)kohtaiset erot vaikuttavat.
- Epätarkempi GNSS-vastaanotin:
 - Keskimääräinen etäisyyspoikkeama on tässä aineistossa pääosin enemmän kuin 3 m.
 - Uraosuuskohdaiset siirtymät ovat tavallisia, ja enimmillään uraosuus voi olla siirtynyt jopa yli 5 m referenssiurasta sivuun.

Automaattinen uran pituus / referenssiuran pituus, %
97,9
99,4
102,9
96,1
97,5
93,2
101,4
99,9
108,8
117,1
87,7
109,4
116,1
123,2
88,0
98,0
83,8
94,2
100,9
99,6
92,4
100,3
Keskiarvo 100,3



LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

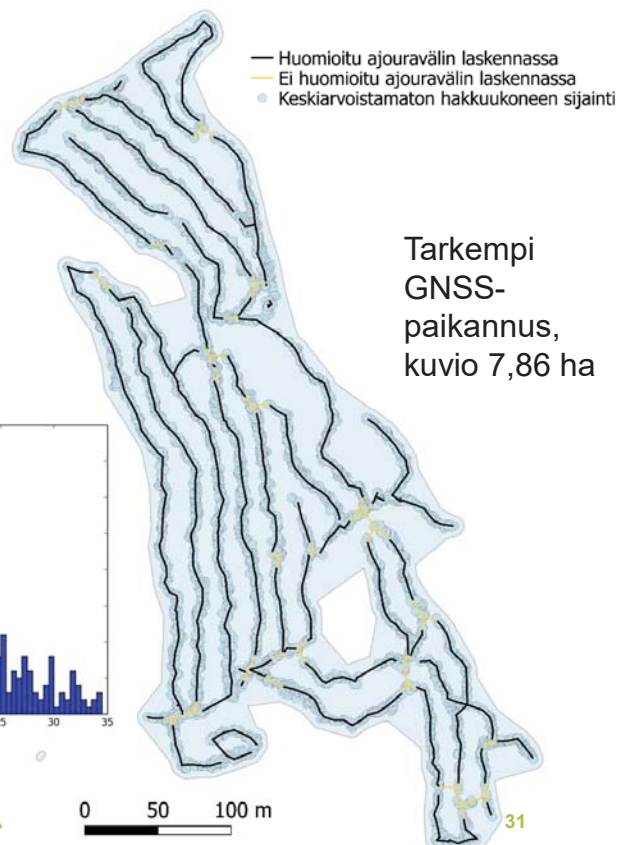
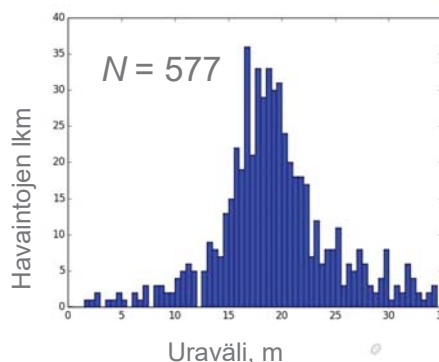
30

Ajouratunnukset

- Uraverkoston pituus
- Uraverkoston osuus pinta-alasta oletusleveydellä 4,5 m
- Keskimääräinen ajouraväli näytteistämällä koko kuviolta

Ensiharvennus:

- Ajouraa 570m/ha (4,45 km)
- Ajouran osuus pinta-alasta 25 % (1,97 ha)
- Keskimääräinen ajouraväli 19,3 m, hajonta 5,5 m



Tarkempi GNSS-paikannus, kuvio 7,86 ha



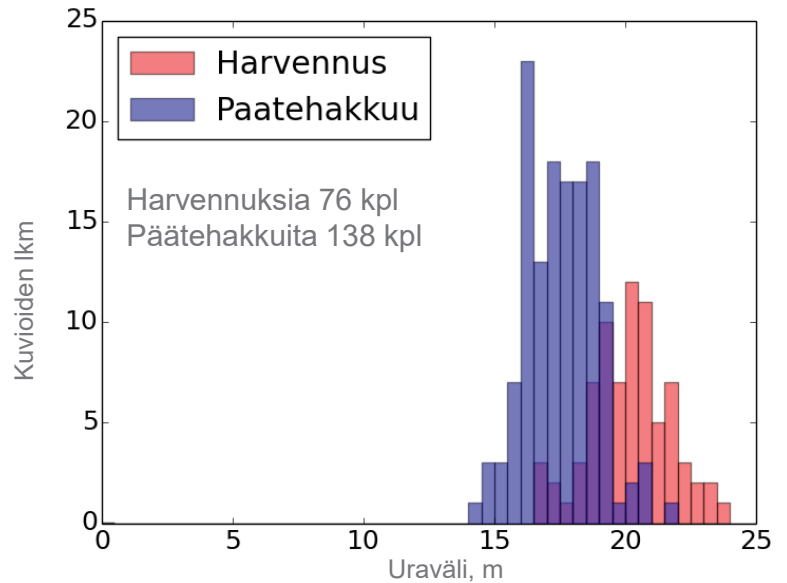
LUOMASSA MAHDOLLISUUKSIA

0 50 100 m

31

Tulokset

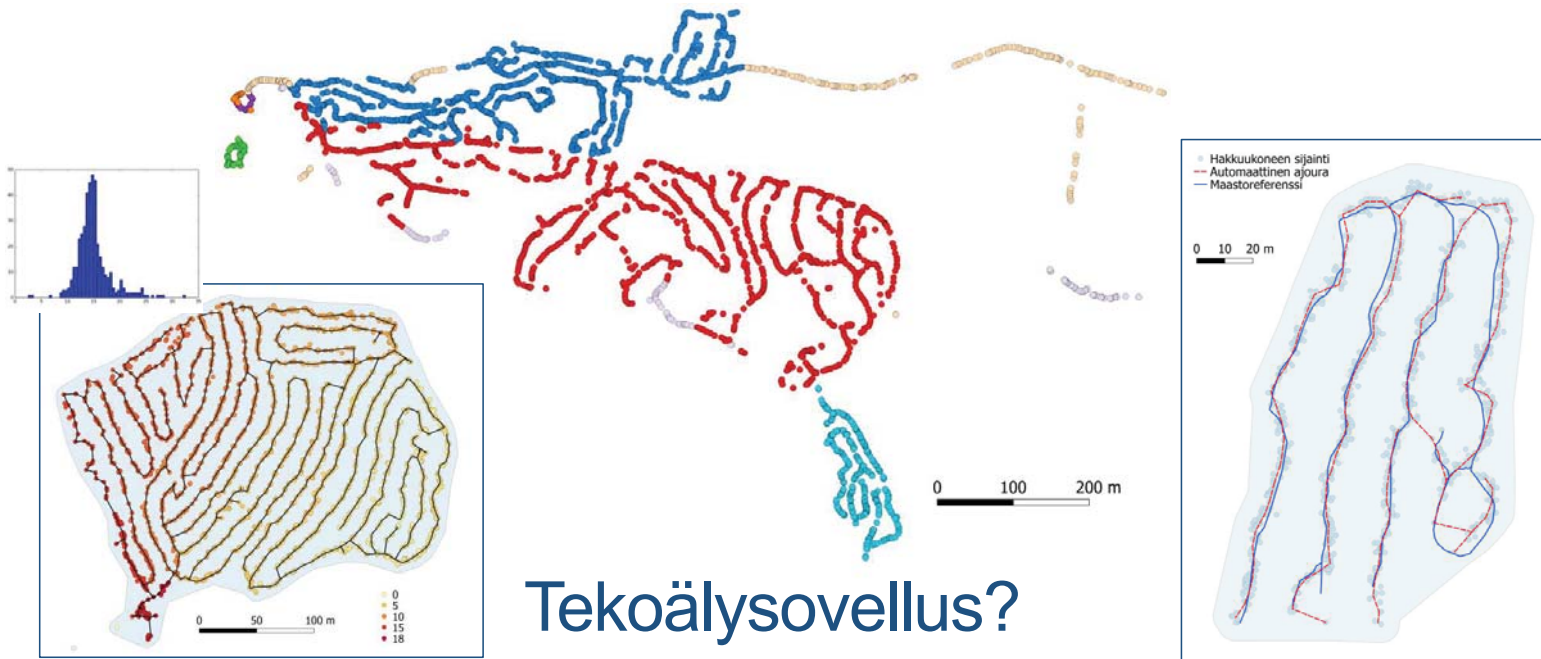
- Koko aineiston osalta harvennuksilla ja päätehakkuilla erilaiset keskimääräiset uravälit
 - Harvennuksilla tavoitearvo n. 20m toteutuu hyvin



Johtopäätökset

- GNSS-paikannuksen tarkkuus, hakkuun työjärjestys ja verkoston piirtämisessä käytetyt parametriarvot vaikuttavat tulokseen.
- Menetelmä noudattaa hakkuukoneen sijainteja pääsääntöisesti hyvin
 - Yksityiskohdissa hiomisen varaa.
- Tuotetun uraverkoston pituus vastaa arvon mukaan riittävän hyvin todellista pituutta, jotta sitä voidaan käyttää ajourien tunnuslukujen määrittämisessä.
- Keskimääräisen ajouravälin osalta tilastollinen lähestymistapa auttaa tasoittamaan uran sijoittelusta ja hakkuukoneen sijaintivirheistä johtuvia vaihteluja
 - Paikannusvirhe vaikuttaa kuitenkin ajouravälijakaumaan leventävästi: 5m sivuttaissiirtymä yksittäisen ajouran sijainnissa → jopa noin 10 ...30 m ajouravälejä yksistään tästä johtuen.





Tekoälysovellus?

- Aineistoa on tässä vaiheessa ”hyvin vähän” datalähtöisiin menetelmiin.
- Aineiston esikäsittely algoritmien käyttöön on vaatinut manuaalista työtä. Tulevaisuudessa uusi hakkuukonestandardi (StanForD2010) ja sen yhtenäinen noudattaminen mahdollistaa datan automaattisen prosessoinnin.
- Aineiston numeerisen luonteen vuoksi vain laskentaan perustuvat menetelmät tässä vaiheessa käytössä (vs. kuvantunnistus)
 - Nykyisellään kaikki menetelmän käyttämä logiikka on koodattu algoritmeihin (osa puuttuu vielä) – tiedetään mitä ohjelma tekee (ei varsinaisesti tekoälyä hyödyntävä menetelmä).
 - Mahdollista hyödyntää mm. Monte Carlo –tyyppisiä menetelmiä jatkossa, jos tarvetta.
 - Raakadatan laatu heijastuu tällä hetkellä suoraan tuloksiin (esim. paikannustarkkuus).
- Aineistomäärän kasvaessa mahdollisuus lisätä algoritmeihin yksityiskohtia, joissa käytetään tekoälyä hyödyntäviä menetelmiä.
 - Algoritmeissa on paljon parametreja, joiden arvot saatu nyt asiantuntija-arviona.



Tekoälysovellus?

- *Tällä prototyypillä saatiin jo monta kuvioinnin osavaihetta siirrettyä ihmiseltä laskentasovellukselle ilman tekoälymenetelmiä* (ajourien erottaminen kuvioista, kuvion reuna-alueiden rajausta, kuvioiden leikkausalueiden jako,...)
 - Sovelluksella ei ollut kaikkia tietolähteitä käytössä (esim. hakkuutapa tai muut aputietolähteet, kuten ilmakuvat etc.)
 - Muutama tapaustyyppi tuloksissa, joissa algoritmin tuottama tulos oli ihmisen tulkintaan nähden selkeästi virheellinen (ei teknisesti).
 - Myös tapauksia, joissa sovellus toimi paremmin kuin ihminen.
 - Pieniä eroja yksityiskohdissa on paljon, mutta niitä ei pidetä merkitsevinä – oikean kuvioinnin määrittäminen on joka tapauksessa subjektiivista, myös kuvioreferenssien osalta.
- Jatkossa luultavasti mahdollista parantaa kuviointituloksia ihmisen tulkinnan suuntaan hyödyntämällä muita tietolähteitä ja ehkä koneoppimismenetelmiä.
- Ajourien piirto ei ole yhtä hyvällä tasolla tulkinnallisesti, mutta menetelmää on kehitetty vähemmän kuin kuviointia.



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**.



metsäkeskus

