

Metsäkonetiedon välitys keskitettyyn tietokantaan ja tietokantasovelluspilotti

Tapio Räsänen, Jarmo Hämäläinen, Timo Melkas, Kirsi Riekkilä ja Juha-Antti Sorsa, Metsäteho Oy

Risto Ritala, Tampereen yliopisto

Markus Holopainen, Helsingin yliopisto

Juha Hyypä, Maanmittauslaitoksen paikkatietokeskus FGI

Tiivistelmä

Tutkimushankkeen lähtökohtana oli luoda uusia mahdollisuuksia tulevaisuuden metsätietoe kosysteemin tietoperustan kehittämiseksi metsäkonetietoon pohjautuen. Toistaiseksi metsäkoneista vain hakkuukoneet pystyvät tuottamaan sellaista tietoa, jolla on käyttöarvoa perustehtäväänsä laajemminkin. Hakkuukoneen mittaustiedoista voidaan muodostaa hakattua puustoa ja hakkuualueita tarkasti kuvaavaa uutta tietoa. Tällaista jalostettua tietoa on mahdollista hyödyntää osana avointa metsävaratietoa, kunhan tiedon hallinnan toimintamallit ja käytön pelisäännöt on sovittu. Osa hakkuukonetiedosta voi olla vain tiedon omistajan omassa käytössä olevaa, jolloin sitä käytetään vain toimijan omiin tarpeisiin.

Hankkeessa luotiin tekniset ja tiedonhallinnalliset perusteet hakkuukonetiedon jalostamiseksi sekä hyödyntämiseksi metsätalouden ja puunhankinnan tietojärjestelmissä ja käyttösovelluksissa. Laajamittainen hakkuukonetiedon hankinta on mahdollista toteuttaa ilman erillisjärjestelyitä normaalin hakkuun tuotantotiedon siirron yhteydessä erityisesti niissä puunhankintaorganisaatioissa, joiden tietojärjestelmät tukevat uutta StanForD 2010 -metsäkonestandardia. Tietojen prosessointi ja siirto tietovarastoihin hankkeessa pilotoidulla tavalla voi olla lähes kokonaan automaattinen toimintaketju. Tietojen siirto ulkopuoliseen järjestelmään edellyttää kuitenkin tarvittavien tiedonsiirtorajapintojen toteuttamista. Hakkuukoneille asetettavia vaatimuksia on, että kaadettujen puiden sijaintitieto tallennetaan: koneiden GNSS -paikannuksen on oltava päällä ja paikannustarkkuuden kunnossa. Muutoin tietojen tuottaminen ei aiheuta muutoksia hakkuukoneen toimintoihin. Vanhaa metsäkonestandardia käyttävissä koneissa on kuitenkin runkotietojen tallennus asetettava päälle ja tiedostojen sisällöissä voi olla eroavaisuuksia, jotka on huomioitava tietoa sisään luettaessa ja käsiteltäessä.

Hankkeessa toteutettiin hakkuukonetietovaraston pilottiversio Metsätehon tietojärjestelmäympäristöön. Aineistoina käytettiin Forest Big Data -tutkimushankkeessa kerättyjä aineistoja sekä hankkeessa koottuja hakkuukoneiden hpr-tiedostoja. Tietovaraston suunnittelua varten kuvattiin keskeisimmät käyttötapaukset ja niiden tietovaatimukset. Pilottitietovaraston tietomalli määritettiin perustuen StanForD 2010:n tietorakenteisiin, mutta lisäksi siinä huomioitiin uusien käyttösovellusten tietosisältötarpeet. Hakkuukonetietojen tarkastus- ja käsittelyohjelmat tehtiin ja tiedot prosessoitiin tietokantaan. Keskeisenä osana tietovaraston muodostamista toteutettiin hakattujen puiden runkokäyrien muodostus Metsätehossa aiemmin kehitettyjen algoritmien sekä Laasasenahon runkokäyryhtälöiden pohjalta. Hakkuukonetietovarasto ja puukohtainen runkokäyrien sovitusten menetelmä mahdollistavat myös alueellisten ja nykyistä tarkempien tilavuusmallien muodostamisen.

Julkisten metsävaratietojen ajantasaistuksen toteutuneiden hakkuiden osalta on nähty olevan yksi tärkeimmistä hakkuukonetiedon hyödyntämisen kohteista. Tätä varten hankkeessa kehitettiin paikkatiedon käsittelyyn perustuvat algoritmit hakkuukuvioiden muodostamiseksi puukohtaisista mittaustiedoista. Hakkuukuvioinnin ohella kehitettiin ajouraston muodostamisen ja sen tunnuslukujen laskennan menetelmät. Menetelmien hyödyntämiseen tähtäävä tuotannollisen laskentapalvelun suunnittelu on aloitettu.

Toimijoiden yhteistyönä tuottamia avoimia hakkuukonetietovarastoja voidaan käyttää eri tavoin myös metsävarojen inventoinneissa, puuston ennustemalleissa ja inventointitiedon tarkkuuden ja luotettavuuden arvioinnissa. Käyttökohteista potentiaalisin on hakkuukonetiedon soveltaminen kaukokartoituksen maastomittauksia täydentävänä tai osittain korvaavana aineistona. Mittaustietoa on mahdollista koota pienin resurssein runsaasti, mutta käytön edellytyksenä on, että hakattujen puiden sijaintitarkkuutta saadaan nykyisestä parannettua joko koneiden paikannusmenetelmiä kehittämällä tai laskennallisesti. Puiden sijaintitarkkuuden parantamiseksi hankkeessa kehitettiin laskennallinen menetelmä: hakkuulaitteen anturointiin perustuva paikannus ja korjausalgoritmi yhdessä paransivat testiaineistossa yksittäisen puun sijaintitarkkuutta noin 3 metriä.

Puunhankinnassa ja metsäteollisuuden tuotannonohjauksessa hakkuukonetiedoilla ja niihin yhdistetyillä muilla puunkorjuun olosuhteita tai puuston laatua kuvaavilla mittaustiedoilla nähdään olevan paljon hyödyntämismahdollisuuksia. Katkonnan ohjausta ja siinä käytettäviä analysointi- ja ennustemenetelmiä ollaan parhaillaan kehittämässä ja ottamassa tuotantokäyttöön. Esimerkkeinä datalähtöisistä menetelmistä ovat hakkuukonetietovarastoihin perustuva leimikoiden runkolukusarjojen ennustaminen ja katkontavaihtoehtojen simulointi sekä näiden tukena käytettävä tyypileimikointi.

1. Tutkimuksen tausta ja tavoitteet

Metsätieto 2020 –kehittämissuunnitelman mukaisen seuraavan sukupolven metsätiedon tavoitetilan yhdeksi kehittämisen painopistealueeksi on tunnistettu metsäkoneilla – erityisesti hakkuukoneilla – tuotettavan tiedon käyttöönotto. Metsää kuvaavan olosuhtetiedon tuottaminen ja hyödyntäminen on määritetty toiseksi keskeiseksi kehittämiskohteeksi. Hakkuukoneiden normaalin toiminnan yhteydessä syntyvälle mittaustiedolle nähdään olevan paljon hyödyntämismahdollisuuksia, jos vain data pystytään siirtämään koneiden tietojärjestelmistä mahdollisimman automaattisesti ja pienin kustannuksin joko keskitettyyn tietovarastoon tai käyttösovellusten omiin tietovarastoihin.

Hakkuukoneet kaatavat ja mittaavat Suomessa päivittäin yli miljoona puuta, joten jo pienellä osuudella mittaustiedosta on mahdollista saada alueellisesti ja talousmetsien rakenteiden suhteen edustava otos erityyppisiä hakkuukohteita ja niiden hakattuja puita. Tiedon hyödyntämisen kannalta olennaista kuitenkin on, että hakkuukohteista mittaustietoa voidaan kerätä lähes kattavasti. Metsävaratietojen jatkuva ajantasaistaminen hakkuista saatavalla tiedolla onkin keskeinen tavoite tulevaisuuden metsätietoekosysteemin kehittämisessä.

Metsäkoneiden uudistetun StanForD 2010 -tiedonsiirtostandardin vähitellen yleistyessä hakkuukoneiden tuotannon ohjauksessa sekä hakkuukonemittauksessa käytettävä mittaustiedon tulee olemaan runko- ja pölkkykohtaista. Hakkuukonetiedon laajan käytön edellytyksenä on, että koneen mittalaitteella asetetaan kaadettavien puiden sijainnin tallennus päälle ja GNSS-vastaanottimien paikannustarkkuus on hyvää tasoa. Mittaustiedot siirretään puunkorjuun ohjausjärjestelmien kautta mobiilisti metsäyhtiöiden tietojärjestelmiin, joista ne on edelleen mahdollista siirtää käyttösovellusten tietovarastoihin. Metsäkoneiden hallinnan tietojärjestelmät ovat osin yhtiökohtaisia ratkaisuja, mutta yhä useampi toimija käyttää joko osin tai kokonaan tietojärjestelmätoimittajien tarjoamia valmiita palveluita. Se mahdollistaa keskitettyjen ja standardiratkaisuihin perustuvien mittaustiedon tuotantoväylien rakentamisen. Pilvipalveluihin ja rajapintapalveluihin perustuvat kustannustehokkaat datan hallintaratkaisut sekä big data -analyysimenetelmät puolestaan tarjoavat käyttösovelluksia ajatellen täysin uudentyyppisiä ratkaisumahdollisuuksia.

Tutkimushankkeen tavoitteena oli luoda perusteet laajamittaisen metsäkoneilla tuotettavan tiedon kokoamiseksi ja hyödyntämiseksi metsätalouden ja puuhuollon tietojärjestelmissä ja käyttösovelluksissa. Tavoitteena oli kuvata ja pilotoimalla testata menetelmät ja käytännöt hakkuukoneiden tuottaman datan hankkimiseksi, prosessoimiseksi ja siirtämiseksi tietovarastoihin ja edelleen niistä käytettäväksi aineistoja hyödyntävissä järjestelmissä. Hakkuukonetietovaraston suunnittelua varten kuvattiin tärkeimmät käyttötapaukset ja niiden tietovaatimukset. Pilottitietovaraston tietomalli määritettiin ja tehtiin sitä tukevat datan prosessoinnin kuvaukset sekä käsittelyohjelmat. Keskeisiksi tehtäviksi tutkimushankkeessa asetettiin hakkuukonedatasta tuotettavien puustoa kuvaavien tunnusten sekä hakkuualueen kuvioinnin ja ajourien laskentamenetelmien kehittäminen ja testaaminen. Tietovaraston muodostamista varten tavoitteena oli käyttää aiemmissa hankkeissa

koottuja aineistoja sekä hankkia mahdollisuuksien mukaan uusia hakkuukoneaineistoja Metsätehon osakkaiden avustuksella.

Hankkeen tulosten ja johtopäätösten perusteella tehdään arviot kehitettyjen menetelmien viemisestä käytäntöön: onko yleiselle tietovaraston toteutusedellytyksiä ja millainen sen tietosisällön tulisi olla. Vaihtoehtona on, että metsäkonetietoa voidaan koota toimijoiden omiin tietovarastoihin ja osa siitä voidaan jakaa avoimena tietona.

Tavoitteena oli, että hankkeessa koottavia aineistoja käytetään myös muissa MMM:n rahoittamissa Metsätieto ja sähköiset palvelut –kärkihankkeen hankkeissa, joissa hakkuukoneiden mittaustietoa käytetään metsien inventointimenetelmien ja puuston laatua kuvaavien mallien kehittämiseen sekä metsävaratietojen ajantasaistuksen, metsänkäytön suunnittelun ja puuhuollon toiminnanohjauksen sovelluskehitykseen.

2. Tutkimusosapuolet ja yhteistyö

Tutkimushanke toteutettiin Metsäteho Oy:n, Tampereen yliopiston (aloitusvaiheessa Tampereen teknillinen yliopisto), Helsingin yliopiston ja Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus FGI:n yhteistyönä. Hankkeen vastuullinen vetäjä ja pääasiallinen toteuttaja oli Metsäteho ja projektipäällikkönä toimi MMM Tapio Räsänen.

Tampereen yliopiston tehtävänä oli määritellä hakkuukonetiedon käyttöä osana metsätietoarkkitehtuuria ja erityisesti metsätiedon palvelualustan tietolähteenä. Käyttötapaukseksi valittiin tyyppileimikoiden muodostaminen katkonnan ohjausta varten. Helsingin yliopisto ja Maanmittauslaitoksen Paikkatietokeskus FGI osallistuivat tehtävään, jossa tutkittiin hakkuukoneen anturoidulla kouralla kerätyn puutiedon sijaintitarkkuutta ja kehitettiin siihen perustuvaa paikannusmenetelmää.

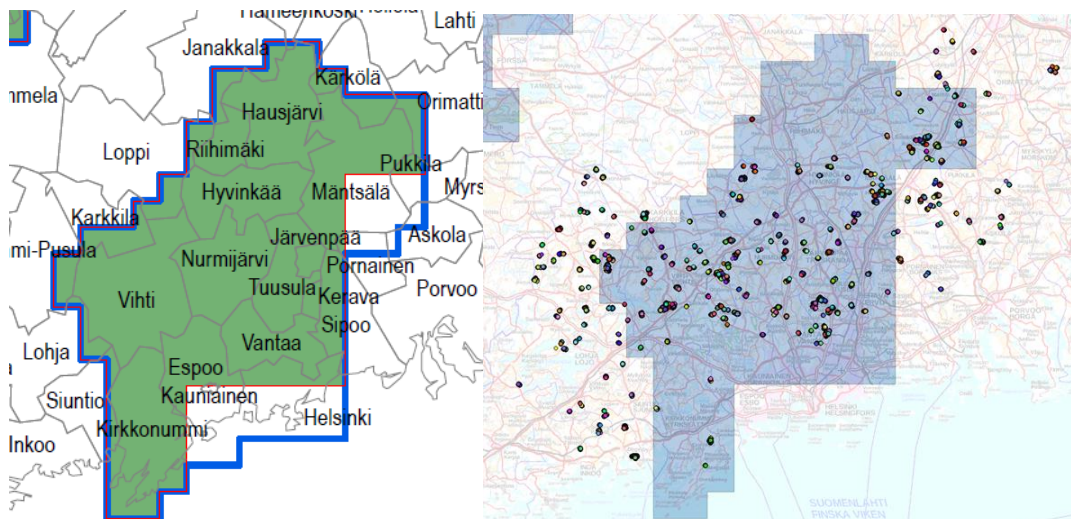
3. Tutkimuksen tulokset

3.1. Tutkimusaineisto

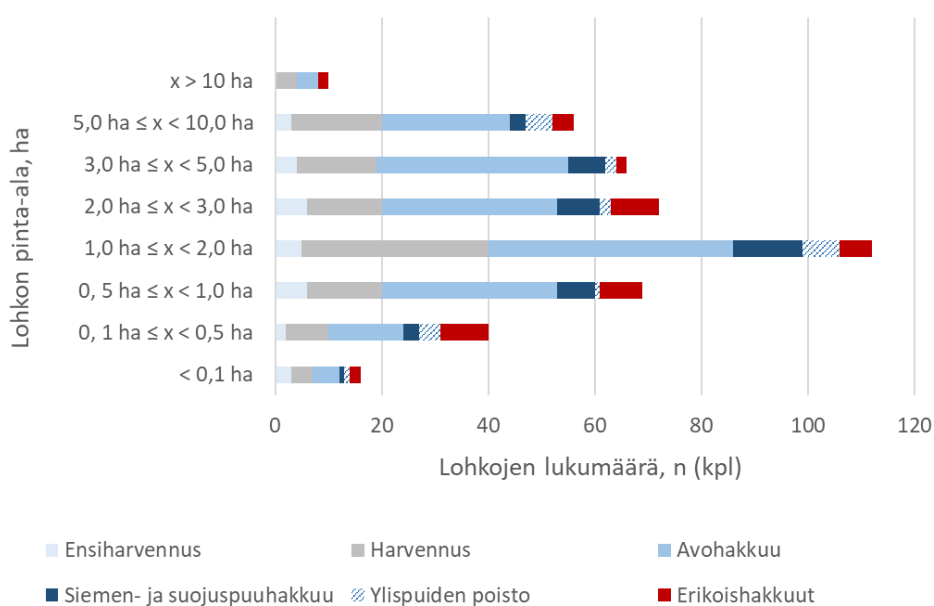
Hankkeessa toteutetun tietovaraston aineistona käytettiin ensi vaiheessa Forest Big Data -hankkeessa vuosina 2015 – 2016 kerättyä hakkuukoneaineistoa, joka sijoittui Suomen metsäkeskuksen vuonna 2015 laserkeilatulle Uudenmaan ja pääkaupunkiseudun inventointialueelle (kuva 1). Aineisto koottiin metsäyhtiöiden (Metsä Group, Stora Enso Oyj, UPM-Kymmene Oyj) hakkuukohteilta ja siinä olivat edustettuina yleisimmät hakkuukonemerkit seuraavasti: Ponsse (4 kpl), John Deere (1 kpl) ja Komatsu Forest (1 kpl).

Aineisto kerättiin hakkuukoneilta leimikoittain. Yhdellä leimikolla saattoi olla useampia korjuulohkoja, joista kustakin muodostettiin lopulliseen tietokannan aineistoon omat hakkuukuvionsa. Leimikoiden lohkot jakaantuivat ensiharvennus-, harvennus- ja päätehakkuuleimikoihin (kuva 2). Kaiken kaikkiaan tämä aineisto käsitti 635 350 runkoa, jotka oli hakattu 464 lohkolta (377 kpl >0,5 ha).

Jokaiselta leimikon lohkolta tallennettiin StanForD – standardin mukaiset tiedot hakatusta puustosta stm- ja prd-tiedostoihin. Hakkuukoneella tallennettiin rungon prosessoinnin aikana jokaisesta rungosta tunnistetietojen lisäksi seuraavat tiedot: puulaji, käyttöosan läpimitat 10 cm välein (runkoprofiili), käyttöosan pituus sekä viimeisen katkaisusahauksen läpimitta. Lisäksi jokaisesta tehdystä pölkystä tallennettiin pölkyn pituus, latvaläpimitta, tilavuus ja puutavaralaji.



Kuva 1. Hankkeen pääasiallisen tutkimusaineiston hakkuukohteiden sijainti. (Taustakartat © Maanmittauslaitos).



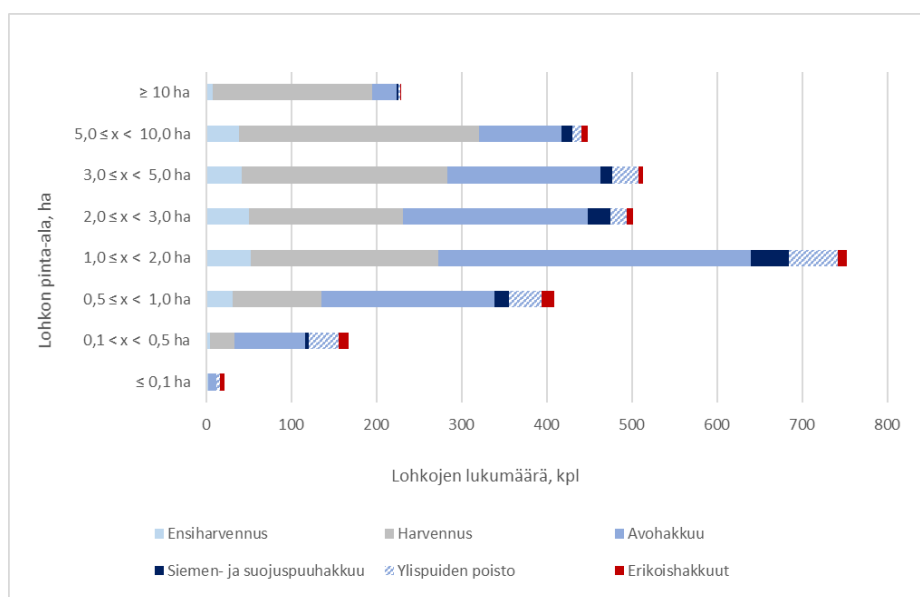
Kuva 2. Hakkuulohkojen koko- ja hakkuutapajakauma.

Hakkuukoneen sijainti tallennettiin jokaiselle puulle WGS84 –formaattissa (World Geodetic System 1984) puun kaatohtetkellä. Lisäksi yhden hakkuukoneen (Komatsu Forest 931.1) puomi oli anturoitu jatkopuomia lukuun ottamatta, joka mahdollisti hakkuulaitteen sijainnin tallentamisen puun kaatohtetkellä osalla leimikoista. Näillä kohteilla hakkuukoneen sijainnin ohella rekisteröitiin myös hakkuukoneen kulkusuunta, puomin suunta suhteessa hakkuukoneeseen sekä puomin pituus, joka vastasi hakkuulaitteen etäisyyttä hakkuukoneesta puuta kaadettaessa.

Varsinaisen Forest Big Data -aineiston lisäksi hankkeessa hankittiin seuraavat hakkuukoneaineistot:

1. Forest Big Data -hankkeen lisäaineistot, Länsi-Uusimaa
 - n. 50 leimikkoa, jotka on hakattu v. 2016 - 2017
 - Forest Big Data -aineiston hakkuukoneet

- hakkuutavan puuttumisen vuoksi ei ole viety tietokantaan
- 2. Metsäyhtiön WoodForce -tuotantopilotin aineistot (hpr), Pirkanmaa
 - 53 lohkoa yhdeltä hakkuukoneelta ajalta 02-09/2017
 - toistaiseksi ei ole viety tietokantaan
- 3. Puuston laatutunnusten mittausta ja mallinnus -hankkeen tutkimusaineiston mäntytykkivaltaiset hakkuukoneaineistot (stm), Pirkanmaan, Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan alue
 - 312 lohkoa ajalta 04/2016 – 06/2017
 - puiden koordinaattien puuttumisen vuoksi ei ole viety tietokantaan
- 4. Metsäyhtiön aineistot (hpr) hakkuukonetietovarastoa hyödyntävän yritysryhmähankkeen käyttöön, koko maa
 - 3042 lohkoa ajalta 12/2017 – 06/2018
 - prosessoitu hakkuukuvioiksi ja viety tietokantaan
 - lohkojen pinta-ala- ja hakkuutapajakauma on esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Hpr -lisäaineiston hakkuulohkojen koko- ja hakkuutapajakauma.

3.2. Hakkuukoneaineistojen käsittely

Hakkuukoneaineistojen käsittely on kuvattu kappaleissa 3.3.2. – 3.3.4.

3.3. Tutkimustulokset

Tässä kuvataan hankkeen pääasialliset tulokset tehtävittäin.

3.3.1. Hakkuukonetiedon hyödyntämisen käyttötapaukset ja niiden tietosisältövaatimukset

Hakkuukonetiedon hyödyntämismahdollisuuksia oli laajasti visioitu ja kuvattu jo ennen tutkimushankkeen aloitusta Metsätieto 2020-kehittämisuunnitelmassa ja Forest Big Data -tutkimushankkeessa. Alustavat käyttötapauskuvaukset otettiin hankkeen tehtävien suunnittelun sekä tietovaraston ja sen tietomallin määrittelyiden lähtökohdaksi. Hankkeen aikana käyttötapaukset ja niiden tarkennetut tietotarpeet käytiin läpi toimijakohtaisissa palavereissa, jotka pidettiin kolmen Metsätehon osakasyhtiön kanssa.

Hakkuukonetiedon käyttöalueet voidaan jakaa seuraaviin pääryhmiin:

- 1) metsävaratiedon ajantasaistus toteutuneiden hakkuukuvioiden avulla

- hakkuiden toteutustiedon palautus Suomen metsäkeskuksen julkisen metsävaratiedon ajantasaistusta varten
- toimijoiden omien metsävaratietojen ylläpito
- 2) metsävaratiedon laadun arviointi
 - hila- ja kuviomuotoisen metsävaratiedon tarkkuus suhteessa hakkuissa mitattuun puustotietoon
- 3) käyttö kaukokartoituksen puustotulkinnan maastoreferenssitietona
- 4) puunkorjuun laadun seuranta
 - ajouraverkoston ja sen tunnuslukujen muodostus hakkuukonetiedosta
- 5) katkonnan ohjaus ja sitä tukeva tyyppileimikointi
 - tietovarastopohjainen uusien leimikoiden puustotunnusten ennustamismenetelmä ja laskentasovellus
 - menetelmiä voidaan käyttää metsäyhtiöissä myös oston ohjauksen ja leimikoiden hinnoittelun tukena
- 6) puuston laadun kuvaus ja mallinnus
 - hakkuukonetiedon yhdistäminen laserkeilausaineistoihin ja puun vastaanoton tukkimittareiden ja -röntgenin mittaustietoon
 - puun käyttöarvon ennustemallit.

Metsävaratietojen ajantasaistus hakkuukonetiedon avulla on seuraavan sukupolven metsävaratietojärjestelmän yksi keskeinen elementti. Laserkeilauksella ja ilmakuvilla tuotetut avoimet metsävaratiedot pyritään päivittämään toimenpiteistä saaduilla tiedoilla jatkuvana prosessina. Ajantasaistusta varten tarvitaan tuottaa hakkuukonetiedosta hakattujen alueiden rajat kuviomuodossa, niiden tunnistetiedot sekä hakkuutapa ja hakkuuajankohdan tieto. Yksi tämän tutkimushankkeen keskeisistä tehtävistä oli kehittää tätä varten paikkatiedon käsittelyyn perustuvat algoritmit, joilla hakkuukuvat muodostetaan puukohtaisista mittaustiedoista. Kuviointialgoritmien jatkoksi tehtiin ajourien muodostamisen algoritmit, jotka myös perustuvat hakkuukoneella paikannettuihin poistettujen puiden mittaustietoihin.

Metsävaratiedon laadun arvioinnissa hakkuukonetieto tarjoaa tiedon tuotannosta vastaaville toimijoille tai tutkijoille mahdollisuuksia vertailla puustoinventoinnin tuloksia hakkuissa mitattuun tietoon. Tämä edellyttää, että hakkuukonetiedosta muodostetaan prosessoimalla vain puustoa kuvaavaa tietoa samoilla puustotunnuksilla kuin inventoinneissakin, ja että tiedosta poistetaan kaikki katkontaa ja puutavaralajeja koskeva liiketoimintatieto. Lisäksi hakkuukonetiedon tulisi olla riittävän kattavaa sekä alueellisesti että metsien rakenteiden osalta. Inventointitietoverailut voidaan tehdä käytännössä vain päätehakkuuvaiheessa oleville metsille, joissa hakkuussa poistetaan ja mitataan koko puusto. Harvennushakkuissa vertailut voitaisiin tehdä vain hakkuissa poistettavaa puustoa koskien. Tutkimushankkeessa ei varsinaisesti tehty metsävaratiedon laadun arviointia, mutta vastaavaa lähestymistapaa sovellettiin arvioitaessa hilamuotoiseen metsävaratietoon perustuvaa hakkuukohteiden runkolukusarjojen ennustamismenetelmää Suomen metsäkeskuksen ja Tieto Oy:n hankkeessa, jossa käytettiin tämän hankkeen aineistoa.

Hakkuukoneilla mitattua puutietoa voidaan hyödyntää laserkeilaukseen ja satelliittikuviin perustuvassa aluepohjaisessa puustotulkinnassa. Menetelmiä tutkittiin hankkeen aineistoilla Metsäkonetieto puustotulkinnan apuaineistona -tutkimushankkeessa. Johtopäätökset olivat, että hakkuukonemittaus on riittävän tarkkaa puun dimensioiden mittaamiseen puustotulkinnan opetusaineistoksi ja että puustotulkinnassa tarvittavien tunnusten laskenta on automatisoitavissa. Lisäämällä hakkuukonekoealoja puustotulkinnan opetusaineistoon, voidaan puustotulkinnan tarkkuutta parantaa hieman päätehakkuukohteilla. Päätehakkuukohteilla maastokoealat voidaan korvata hakkuukonekoealoilla ilman merkittävää laadun heikkenemistä. Puun sijaintitiedon parantumisen myötä hakkuukonekoealojen käyttöä voidaan todennäköisesti tehostaa nykyisestä merkittävästi, joka voi edelleen parantaa päätehakkuukohteiden puustotulkinnan tarkkuutta ja mahdollistaa esimerkiksi tarkkojen runkolukusarjojen ennustamisen.

Hakkuukoneen mittaustiedosta muodostettuja ns. runkopankkeja on kehitetty Metsätehossa ja metsäyhtiöissä 1990-luvun lopulta lähtien. Yhdessä katkontasimulaattorihjelmistojen kanssa niitä on käytetty leimikoiden puustotunnusten ennustamisessa sovellettavien menetelmien kehittämiseen ja puutavaralajien katkontavaihtoehtojen tarkasteluihin. Käynnissä on metsäyhtiöiden ja tietojärjestelmätoimittajan hanke, jossa rakennetaan leimikoiden puutavaralajien katkonta-asetusten laskennan ja katkontavaihtoehtojen simuloinnin palvelu. Sen yhtenä keskeisenä elementtinä on

yhtiökohtaisten hakkuukonetietovarastojen muodostaminen palveluun ja niiden käyttö uusien korjuuseen tulevien leimikoiden laskentapuuston muodostuksessa. Tutkimushankkeen aineistoilla on kehitetty ns. lähimmän naapurin (k-MSN) vastinleimikoiden haun menetelmää, jossa leimikosta käytettävissä olevien puuston ennakkotietojen perusteella haetaan tietovarastosta mahdollisimman samankaltaisia hakattuja leimikoita. Niiden avulla muodostetaan kohteelle puulajikohtaiset runkolukusarjat ja simuloinnin puujoukon yksittäiset rungot. Osana hakumenetelmää on leimikoiden luokittelu keskeisten puuston määrää, puulajisuhteita, rungon järeyttä ja tukkipuun laatua kuvaavien tunnusten suhteen. Tällä ns. tyyppileimikoinnilla pyritään tehostamaan vastinleimikoiden hakua ja parantamaan ennusteen osuvuutta. Tyyppileimikoinnin onnistumisen kannalta tärkeää on, että hakkuukonetietovarasto on mahdollisimman kattava ja että luokitteluperusteita voidaan joustavasti muuttaa datamäärän kasvaessa tai lisättäessä uusia tietolähteitä ja ennustemalleja luokittelun tekijöiksi.

Tyyppileimikoinnin yhtenä tavoitteena on luokitella jalostusarvoltaan erilaiset leimikot sahatukkien sisäistä laatua kuvaavien tunnusten kanssa parhaiten korreloivien puusto- ja olosuhdetunnusten mukaan. Luokittelulla pyritään siihen, että erityisesti sahauksessa voitaisiin eri tuoteryhmiin ohjata käyttöarvoltaan parasta saatavilla olevaa puuta ja että puutavaralajien jakaumatavoitteet ja katkonta-asetukset tukisivat arvoon perustuvaa puutavaratuotantoa. Sahatukkien sisäistä laatua kuvaavia tunnuksia ovat mm. männyllä oksaisuusindeksi, oksaryhmien välinen etäisyys, sydänpuun osuus ja vuosiluston leveys. Nämä tunnuksot voidaan käytännössä mitata vain kehittyneillä tukkiröntgenlaitteistoilla, joita useilla sahajoilla on jo käytössä. Yhdistämällä sahojen vastaanottomittauksetietoihin samojen mittauserien hakkuukonemittauksetietoa, korjuulohkojen kasvupaikkaa kuvaavaa tietoa ja laserkeilauksesta saatavaa puustoa kuvaavaa piirretietoa sekä oksarajakorkeuksien ennusteet on mahdollista luoda järjestelmä leimikoiden käyttöarvon ennustamiseen. Aihealuetta tutkittiin Puuston laatu- ja tunnusmittaus ja mallinnus -hankkeessa.

Toistaiseksi metsäyhtiöt eivät ole perustaneet varsinaisia omia hakkuukonetietovarastojaan, vaikkakin eräissä yhtiöissä runkokohtaista mittaustietoa on kerätty koneilta jo usean vuoden ajan, ei kuitenkaan systemaattisesti. Tietovarastoilla nähdään olevan paljon käyttömahdollisuuksia mm. puunhankinnan ja puutavaratoimitusten suunnittelussa ja ohjauksessa, oston suuntaamisessa, puutavaralajien hinnoitteluperusteiden muodostamisessa ja vertailuissa sekä leimikoiden jalostusarvotarkasteluissa. Näihin tarpeisiin riittää usein korjuulohkotasoinen tieto: lohkoilta laskettavat tunnusluvut tai runkotiedot ilman sijaintia. Kun runkokohtaisessa mittaustiedossa mukana ovat koordinaatit, voidaan tietovarastoja hyödyntää metsäyhtiöissä myös toteutuneen korjuun seurantaan, edellä kuvattuun metsävaratietojen ajantasaistukseen sekä metsänuudistamisen suunnittelun avuksi. Yhdistämällä hakattujen puiden sijaintitieto tarkkaan hilamuotoiseen metsävaratietoon ja luontokohteita kuvaavaan paikkatietoon voidaan monitoroida hakkuiden voimakkuutta harvennuksilla, niiden mahdollista sijoittumista luontokohteille ja erilaisille suojavyöhykkeille tai arvioida jätettyjen säästöpuiden määrää. Paikannettua hakkuukonetietoa voidaan siten käyttää hyväksi raportointaessa metsänomistajalle hakkuun laadusta tai arvioitaessa metsäsertifioinnin indikaattoreiden toteutumista kohteella.

Hakkuukoneen mittaustiedosta, jossa puiden GNSS-sijaintitieto on mukana, voidaan tuottaa käyttösovelluksia varten valmiiksi tietovarastoihin yleistettyä ja jalostettua tietoa niin, että sovellusten kannalta tieto on yhtenäistä, standardimuotoista ja validoitua. Pilottitietovarastoon viedyt jalostetut tietolajit on esitetty kuvassa 4.

Käyttötapausten tietosisältövaatimusten määrittelyssä yhteydessä arvioitiin, onko hakkuukonetiedoissa niiden kannalta erityisiä puutteita joko StanForD -standardissa tai konevalmistajien mittalaiteohjelmistojen implementoinneissa. Pyrittiin myös arvioimaan, onko nähtävissä, että koneisiin olisi tulossa uusia mittausjärjestelmiä, instrumentteja tai olemassa olevien komponenttien hyödyntämistä siten, että hakkuukonetieto voisi laajentua tai sen laatu parantua.

Hakkuukonetiedon laajan hyödyntämisen edellytyksenä on, että hakattujen runkojen sijainnit tallennetaan aina oletusarvoisesti – tätä nykyä GNSS -tallennus ei välttämättä ole kaikissa koneissa asetettu päälle. Tallennusvaatimus voitaisiin sisällyttää urakanantajan korjuuohjeisiin. Käytettäessä puiden koordinaatteja metsäinventoinnin puustotulkinnan maastoreferenssinä tulisi niiden olla mahdollisimman tarkasti puun todellista sijaintia kuvaavia. Nykyisellään sijainniksi tallentuu yleisimmin hakkuukoneen työpisteen paikka, jolloin usealla puulla voi olla samat koordinaatit. Hakkuukuvioinnin ja ajourien muodostuksen kannalta tämä ei ole ongelma, mutta niissäkin hyötyä olisi tarkemmasta paikannuksesta. Komatsu uusissa hakkuukonemalleissa on kuitenkin jo mahdollista tallentaa

runkojen koordinaatit koneen suuntakulmaan sekä puomin ja hakkuupään anturointiin perustuvana. Menetelmän toivotaan yleistyvän myös muilla konemerkeillä. Toistaiseksi ainoa tutkimushankkeen havaintojen perusteella tehty muutos metsäkonestandardiin koski koordinaattien tallennuksen rekisteröintitarkkuusvaatimusta, jota lisättiin. Standardiin on myös lisätty erillinen tietorakenne koneiden GNSS -sijainnin nauhoitukseen ja tämä tieto voidaan kytkeä myös varsinaiseen mittaustietoon. Tutkimushankkeessa ko. nauhoitustietoa ei vielä voitu kokeilla, koska konevalmistajien implementoinnit ovat olleet kesken.

Hakkuukoneiden mahdollisesti tulevaisuudessa tuottamista uusista tietolajeista mielenkiintoisimmat liittyvät puukartan tuottamiseen mobiililaserkeilauksen tai muun menetelmän avulla. Puukartta voisi sisältää sekä hakattujen että pystyyn jätettyjen puiden tiedot. Keilausmenetelmällä voisi olla mahdollista mitata myös oksien määrää ja oksarajakorkeuksia. Luke on tutkinut Efforte- ja Meolo-tutkimushankkeissa hakkuukoneiden mahdollisuuksia tuottaa maaston kantavuutta kuvaavaa tietoa metsäkuljetusta varten koneen voimansiirtoon ja CAN -väylätietoon perustuen. Menetelmän tuotteistamismahdollisuuksien selvittely on käynnistetty. Kameratekniikkaa käyttäviä menetelmiä maaperään ja puustoon syntyneiden korjuuvaurioiden tunnistamiseksi on myös tutkittu. Mikäli kustannustehokkaita menetelmiä löytyy, tulisi näiden laitteiden kuitenkin olla kuormatraktoreissa, koska pääosa vaurioista syntyy metsäkuljetuksessa.



Kuva 4. Hakkuukonetiedosta muodostettavat tietolajit käyttösovelluksia varten.

3.3.2. Datan hankintamenetelmän kuvaus

Hakkuukonetietojen hankinta tietovarastoihin on useampivaiheinen prosessi, jossa käyttötarpeet määrittävät mitä koneiden lähettämälle raakadatalle tehdään ja mihin tiedot lopulta tallennetaan. Tutkimushankkeen aikana laadittiin toimialan yhteistyönä metsäkonetiedon omistusta ja käyttöä koskeva suositus. Sen mukaisesti hakkuukoneen mittaustiedot (stm-, hpr- ja thp-tiedostot) ovat urakanantajaosapuolen omistusoikeuden piiriin kuuluvia. Oikeus käyttää tietoja vapaasti on siten urakanantajilla. Muilla osapuolilla se voi olla urakanantajan antamaan lupaan perustuen.

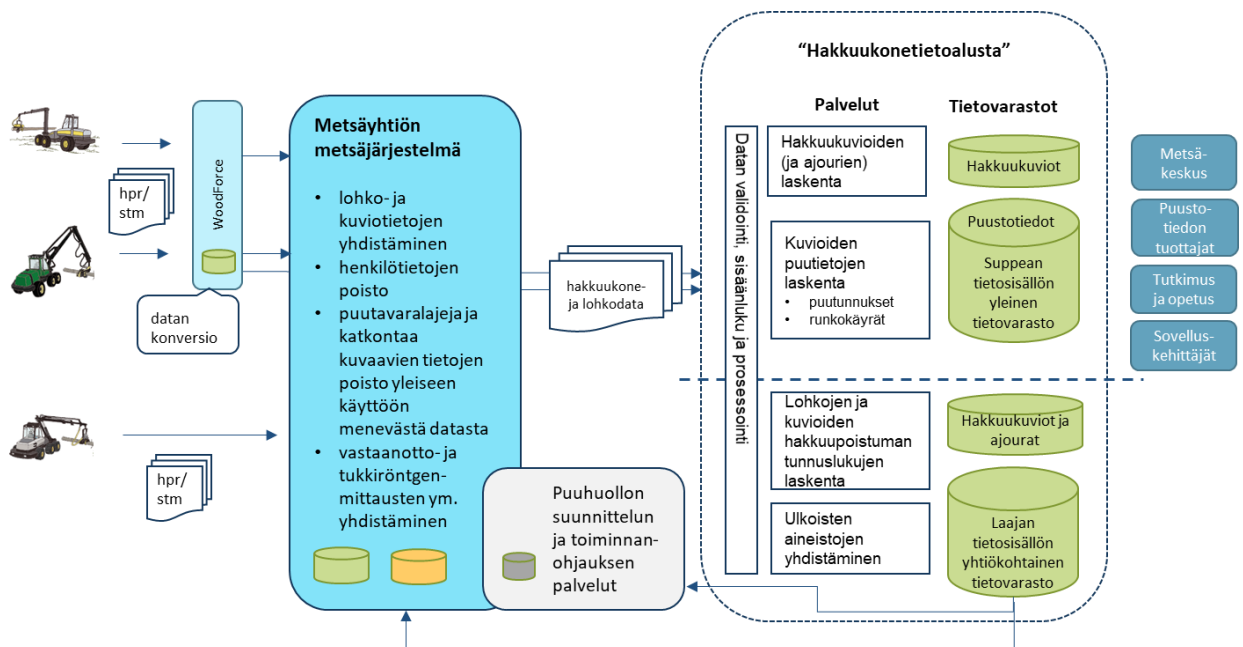
Hakkuukonetietoa muodostuu koneilla automaattisesti normaalin hakkuutyön ja mittauksen yhteydessä. Metsäyhtiöiden metsäjärjestelmät on tulevien vuosien aikana muutettava uuden StanForD 2010 -standardin mukaisiksi, koska konevalmistajien ohjelmistotuki vanhalle standardille loppuu. Uudessa standardissa tuotannon mittaustiedot ovat runko- ja pölkykohtaisia, ja ne siirretään lähes reaaliaikaisesti suoraan urakanantajan tietojärjestelmään tai koneyrittäjän työnohjauspalveluun (esim. WoodForce), josta se edelleen prosessoinnin ja tarkastuksen jälkeen siirretään rajapinnan kautta urakanantajan järjestelmään. Koneyrittäjän on myös mahdollista tallentaa kaikki koneissa

muodostuneet tiedot StanForD -tiedostomuodossa konevalmistajan tarjoamaan pilvipalveluun. Tämä toimintamalli yleistyy tulevaisuudessa, koska se tarjoaa yrittäjän kannalta paremman tietoturvan kuin tietojen säilyttäminen koneiden tietokannoissa.

Hakkuukonetiedon kokoamiseksi tietovarastoihin on siis useita vaihtoehtoisia reittejä siitä riippuen millaista toiminnanohjausmallia metsäyhtiö käyttää ja millaiset sen tietojärjestelmät ovat. Tietovaraston omistus- ja organisointimallista puolestaan riippuu, miten tietoja käsitellään ennen niiden siirtoa tietovaraston prosesseihin. Metsäyhtiön ulkopuolisiin tietovarastoihin tiedot voidaan siirtää alkuperäisessä tiedostomuodossa, mutta metsäkonetietojen käyttöä koskevan suosituksen ja EU:n tietosuoja-asetuksen vaatimusten mukaisesti niistä on joko poistettava kaikki henkilötiedot tai muutettava ne tunnistamattomiksi siten, että tiedot eivät ole enää yhdistettävissä asianomaiseen henkilöön. Tämä on tiedon omistusoikeuden haltijan vastuulla, mutta henkilötietojen käsittelyn voi myös ulkoistaa tietovaraston ylläpitäjälle.

Metsäyhtiöiden tietojärjestelmissä hakkuukonetiedot ovat toistaiseksi vielä yleisimmin erilaisessa, aggregoidussa tietorakenteessa kuin ne ovat hakkuukoneelta tulevissa StanForD 2010:n tiedostoissa. Mikäli tiedot tallennettaisiin runko- ja pölkkytason rakenteen mukaisena, yksityiskohtainen tietosisältö säilyisi ja vain tarvittavat tiedot voitaisiin siirtää ulkopuolisiin tietovarastoihin rajapintojen välisenä integraationa. Samoin metsäyhtiön omiin hakkuukonetietovarastoihin siirrettäessä tieto kannattaa pitää alkuperäisen tietorakenteen mukaisena, vaikka siitä poistettaisiinkin osa tietokentistä.

Yleiseen hakkuukonetietovarastoon on tarkoituksenmukaista siirtää vain käytön kannalta tarpeellista tietoa. Hakkuukuvioinnin laskennan ja kaukokartoituksen maastoreferenssinä käytön tapauksissa siirrettävä data voidaan lähettävässä järjestelmässä konvertoida siten, että tiedostoista poistetaan tarpeettomat tietorakenteet kokonaan ja poistetaan henkilötiedot. Tietoihin on tarve myös lisätä leimikkoo tai lohkoa kuvaavaa tietoa sekä tunnistetiedot, joilla hakkuukonedata yhdistetään oikeaan kohteeseen. Nämä voivat olla erillisiä tiedostoja. Tiedonsiirto voidaan toteuttaa rajapintapalveluna (esim. REST), jossa noudatetaan standardimuotoista tiedostoformaattia, joka voi olla muukin kuin alkuperäinen hpr-tiedosto. Tiedostot validoidaan joko lähettävässä tai vastaanottavassa järjestelmässä. Validoinnilla tarkistetaan, että tiedosto on teknisesti virheetön ja että pakolliset tiedot ovat mukana, mutta itse tietosisältöä ei voida tarkistaa.



Kuva 5. Hakkuukonetiedon siirron toimintamalli. Kuvassa Hakkuukonetietopalusta kuvaa pilvipalvelupohjaista alustarakaisua, joka tarjoaa tarvittavan teknologiapohjan tietovarastoille ja tietojen prosessoinneille. Se voi olla osa Metsäkeskuksen metsätietopalustaa tai yksityisluonteinen puuhuollon toimijoiden ylläpitämä alusta.

3.3.3. Tietovaraston tietomalli ja datan käsittelykuvaukset

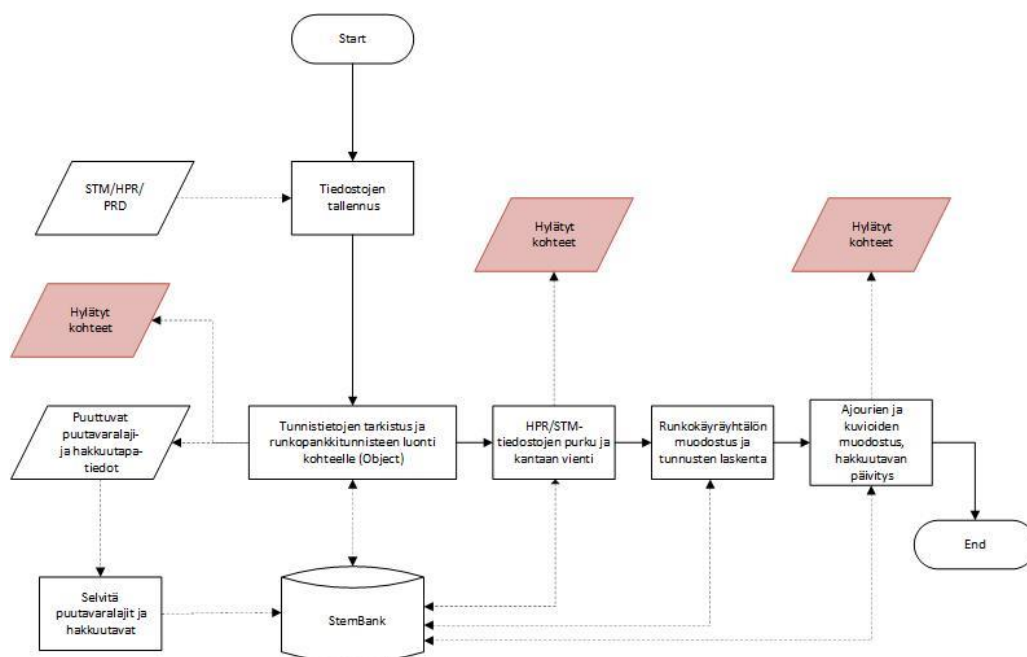
Keskeinen tavoite hankkeessa oli luoda tietovarasto, jossa erilaisesta hakkuukoneiden raakadatasta muodostettava tieto on metsäkonetietostandardiin perustuvaa, sisällöltään yhtenäistä ja laadultaan hyvää. Käyttösovelluksista johdettuna tietovarastoon sisällytetään myös uusia laskennallisesti muodostettavia tietoja, jotka ovat sekä yleisiä puustotunnuksia että katkontatietoon perustuvia rajattuun käyttöön tarkoitettuja tietoja. Tavoitteena oli muodostaa mittaustiedoista avoimeen käyttöön soveltuvaa hakattua puustoa kuvaavaa puu- ja kuviotasista tietoa siten, että leimikoiden kaikista rungoista saataisiin puutunnukset laskettua, eikä runkojen hylkäyksiä tehtäisi. Runkokohtaisista tiedoista laskettiin myös erilaisia korjuulohkoa koskevia summa- ja keskiarvotunnuksia perustuen sekä alkuperäiseen mittaustietoon että runkokäyräsovituksen puihin. Avoimeen käyttöön tarkoitettua puustotiedosta poistettiin kaikki katkontaa kuvaavat pölkkytiedot. Pölkkytieto kuitenkin säilytetään yrityskohtaisia käyttötarpeita varten.

Hankkeessa määriteltiin hakkuukonetiedon pilottitietovaraston tietomalli, tietokannan taulut ja niiden tietokentät sekä toteutettiin SQL-tietokanta. Tietomallin pohjana on ollut StanForD 2010 -standardin runkokohtaisen mittaustiedon (hpr -tiedosto) tietorakenne ja sen tietotyypit. Tietomallia on täydennetty keskeisistä käyttötapauksista johdettujen vaatimusten mukaisesti niin, että datan prosessoinneissa muodostuneet uudet ns. johdetut tiedot on viety omiin tauluihinsa tietokannassa.

Datan prosessointiin määriteltiin algoritmit ja tehtiin niiden pohjalta käsittelyohjelmat (ks. luku 3.3.4). Niitä olivat mm.:

- stm- ja hpr -tiedostojen purku, hyväksyttävyyštarkistukset ja tietokantaan vienti
- runkokäyrän sovitus ja puutunnusten laskenta
- puutavaralajien konvertointi yhtiökohtaisista tietovarastossa käytettäviksi yleisiksi puutavaralajikoodeiksi
- hakkuukuvioiden ja ajourien muodostuksen algoritmit.

Hankkeen aineisto oli kokonaan stm-tiedostomuotoista ja tiedostoissa oli jonkin verran dataa, jota purkuohjelma ei pystynyt käsittelemään. Hylättävät kohteet tunnistettiin tiedostojen purun yhteydessä. Osa rungoista jouduttiin myös hylkäämään, mikäli mittaustiedot olivat niin puutteelliset tai virheelliset, että niiden perusteella ei runkokäyrää pystytty hyväksyttävästi muodostamaan. Lohkojen hakkuutavat jouduttiin selvittämään erikseen, koska tietoa ei kaikissa tapauksissa ollut stm-tiedostoissa.



Kuva 6. Hakkuukonetiedon käsittelyvaiheet.

Hankkeessa muodostetun pilottitietovaraston tietokannan kuvaukset julkaistaan Metsätehon raportissa.

3.3.4. Datasta tuotettavien tunnusten ja jatkojalostetun tiedon laskentamenetelmät

Hakkuukonetietovaraston tietosisällön muodostuksessa tarvittavien laskentamenetelmien, algoritmien ja tiedon tuottamiseksi tarvittavien ohjelmien koodaus ja yhdistäminen yhdeksi kokonaisuudeksi oli hankkeen tärkein ja eniten resursseja vaatinut tehtävä.

Runkokäyräsovitus, tilavuusmallit ja hukkalatvan pituusmalli

Hankkeessa tehtiin C++-ohjelma, jolla runkokohtaisista mittaustiedoista lasketaan puille runkokäyräyhtälön parametrit. Ohjelmassa on eri osioita, jotka pohjautuvat aiemmin Metsätehossa tehtyyn sovitukseen Laasasenahon runkokäyrämalleihin. Sovituksen päämääränä on löytää runkoprofiilia vastaavat puun kokonaiskorkeus h , kannonkorkeus h_k ja läpimitta 20 % osakorkeudella $d_{0.2h}$ sekä runkoa mallintavan polynomin (Laasasenaho) kolme alimman asteen parametria. Ohjelmalla lasketaan myös runkojen kokonaistilavuus, tukki- ja kuituosan tilavuudet nimellisläpimittojen ja todellisen katkonnan tukkiosan ja käyttöosan yläläpimittojen mukaan sekä kannon tilavuus. Ohjelman laadinnassa kiinnitettiin erityistä huomiota monihaaraisten ja muuten runkoprofiililtaan poikkeavien runkojen tunnistamiseen ja käsittelyyn käyränsovituksessa. Koko aineistossa oli muutama prosentti runkoja, joille ohjelmalla ei saatu sovitettua minkäänlaista runkokäyrää. Tietokantaan tallennetaan jokaiselle puulle runkokäyräsovituksen keskineliövirhe (mean square error, MSE), joka kuvaa hakkuukoneella mitatun runkoprofiilin ja sovitustuloksen välistä eroa.

Runkokäyräsovitus perustui dataan, jossa jokaisen rungon käyttöosan läpimitat on tallennettu hakkuukoneella 10 cm välein. Läpimittaprofiilin tallennus ei ole normaalisti koneissa oletusarvoisesti päällä ja lisäksi se kasvattaa tiedostojen kokoa. Tämän vuoksi päädyttiin kokeilemaan myös vaihtoehtoa, että runkokäyrä sovitetaan harvemmalla datalla eli katkottujen pölkkyjen latvaläpimittoihin perustuen. Menetelmä näyttää lupaavalta, mutta vertailuja eri runkokäyräsovitusmenetelmien välillä ei hankkeen aikana ennätetty tehdä.

Runkokäyräsovituksella tuotettuja tilavuuksia verrattiin Laasasenahon yhden, kahden ja kolmen muuttujan tilavuusyhtälöihin sekä Laasasenahon kahden muuttujan runkokäyrään. Tavoitteena oli selvittää, poikkeavatko alkuperäisten tilavuusyhtälöiden ja runkokäyrien antamat tilavuudet hakkuukonedataan sovitetusta runkokäyrästä Etelä-Suomen alueella. Tarkastelu tehtiin vain havupuulajeilla ja siitä jätettiin pois poikkeavat ja huonosti sovituneet rungot. Tulosten perusteella arvioitiin, että hakkuukonetietovarasto mahdollistaa erilaisten mallien validoinnin ja alueellisten tilavuusmallien tarkentamisen eri pituus-läpimittayhdistelmillä ja ottaen huomioon runkomuodon alueellisen vaihtelun.

Hakkuukonedatan soveltamista puuston kuvauksessa rajoittaa se, että latvakappaletta ei mitata ja puun kokonaispituus jää epätarkaksi. Tämän vuoksi aineistosta muodostettiin myös latvahukkapuun pituusmallit havupuille perustuen runkojen mittaustietoon ja runkokäyrän sovitukseen. Sen selittäjinä ovat puutason tiedot: puulaji, d_{bh} , käyttöosan pituus ja latvaläpimitta sekä ja näistä tiedoista johdetut apumuuttujat (esim. kapenema, mm/m). Alustavan mallin sovellusalueena ovat sekä harvennus- että päätehakkuut, eikä sillä ole läpimitta- tai pituusrajoitteita. Malleja verrattiin ns. Varjon hukkalatvamalleihin ja todettiin niiden ennustavan hukkalatvan pituutta tarkemmin kuin Varjon mallit. Jatkossa tarkoituksena on laatia malleista valtakunnalliset versiot edellyttäen, että hakkuukoneaineistoa on kattavasti saatavissa.

Hakkuualueen kuviointi ja ajourien muodostus

Hankkeessa luotiin hakkuukoneen keräämään tietoon perustuva automaattinen hakkuualueen rajausmenetelmä, jota voidaan hyödyntää metsävaratietojen ajantasaistuksessa. Menetelmällä pyritään kattamaan

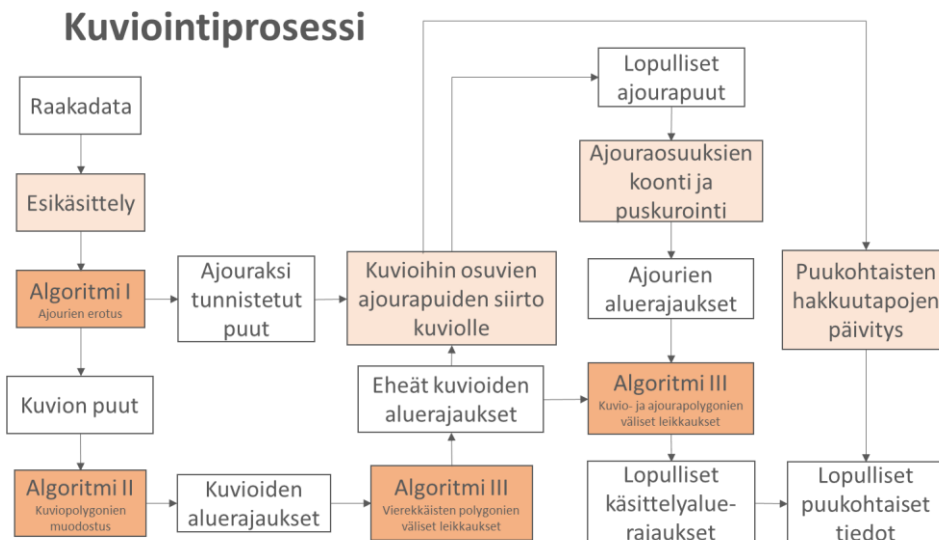
- yksikäsitteisten hakkuukuvioiden muodostus tunnistetietojen sekä sijaintitiedon perusteella,
- kuviolle johtavien ajourien tunnistus ja erottaminen aineistosta sekä
- päällekkäisten tai osittain toisiaan leikkaavien kuvioiden käsittely sekä näiden automatisointi.

Menetelmässä käytetään seuraavia hakkuun yhteydessä tallentuneita tietoja

- hakkuukoneen sijainti puuta kaadettaessa (hakkuukoneen tallentamat GNSS-koordinaatit)
- korjuulohkon tunnistetiedot ja korjuun aloitusaika
- hakkuutapa.

Kuviointimenetelmän kehitys tehtiin kahdessa eri vaiheessa: ensiksi puoliautomaattisena ja sen jälkeen automaattisena. Menetelmä perustuu paikkatiedon erilaisten prosessien käyttöön. Kehityksessä käytettiin avoimen lähdekoodin QGIS -ohjelmistoa, mutta jonkin verran sitä jouduttiin täydentämään itse koodatuilla ohjelmilla. Kehitystyön aikaisena aineistona käytettiin hankkeen perusaineistoa (luku 3.1) ja lopuksi kuvioinnit tehtiin myös osalle lisääaineistoa (n. 3000 korjuulohkoa). Puoliautomaattisen ja automaattisen kuvioinnin pääerona on, että puoliautomaattinen kuviointi on kokonaan manuaalisesti tarkastettu ja muokattu.

Kuvioinnissa lohkon erillään sijaitsevat osat muodostuvat omiksi kuvioikseen. Kuviointiprosessi koostuu kolmesta erillisestä algoritmista, jotka on esitetty kuvassa 7. Aineiston esikäsittelyssä hakkuukonetiedot puretaan tietokantaan. Kehityksessä jouduttiin lohkojen tunnistetiedot ja hakkuutapa selvittämään monessa tapauksessa erikseen. Algoritmissa 1 erotetaan kuviopuut ja kuviolle johtavien ajourien puut toisistaan sijaintigeometriaan perustuen ja muodostetaan kuvioittaiset puujoukot. Sen tuloksena saadaan yhden kuvion puita kuvaava pistejoukko. Algoritmissa 2 sille tehdään Delaunay -kolmiointi, jonka perusteella pistejoukosta muodostetaan monikulmio eli kuviorajaus. Vierekkäisten kuvioiden väliset leikkaukset ja vyöhykkeet käsitellään algoritmilla 3 siten, että lopputuloksena on eheä kuvioraja kuvioiden välillä. Lopuksi tehdään viimeistely, jossa ajoura sulautetaan kuvioon huomioimalla ajourapuut kuvion puukohtaisissa poistumatiedoissa. Kuviolle johtavista ajourista muodostetaan ajourasuudet ja lasketaan niille hakattujen puiden tiheys, jonka perusteella määritetään hakkuukoneen käsittelemä pinta-ala. Tuloksena saadaan viimeistellyt toimenpidekuviot, sekä kahteen luokkaan (harvat ja tiheät) luokitellut ajourat.



Kuva 7. Hakkuualueen rajausmenetelmän vaiheet ja algoritmit.

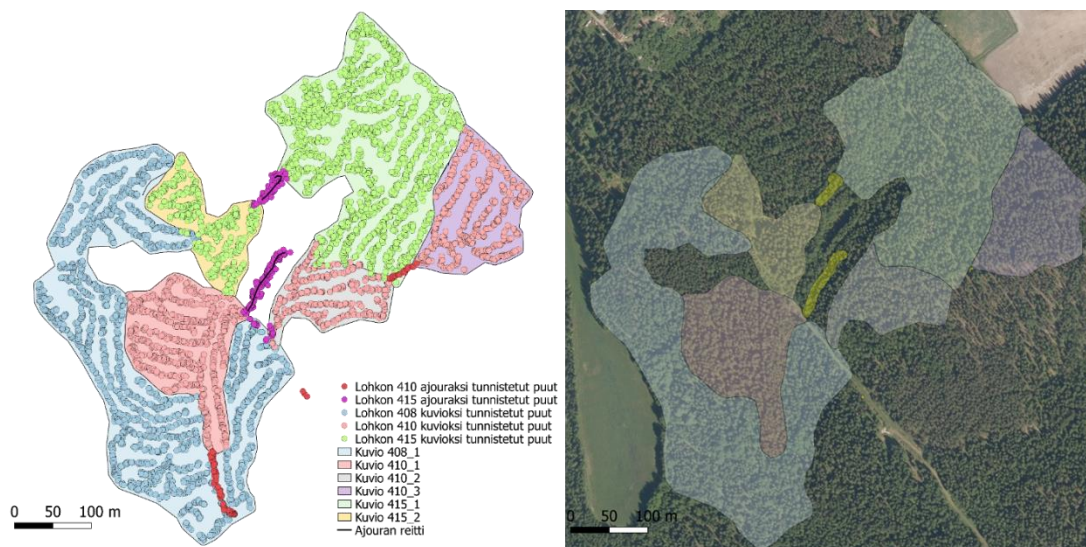
Esimerkki kuvioinnin tuloksesta on kuvassa 8. Automaattisen algoritmin tuottamia lohko- ja toimenpidekuvioita verrattiin puoliautomaattisella algoritmilla tuotettuihin toimenpidekuvioihin laskemalla niiden keskimääräinen pinta-ala, minimi- ja maksimiarvot sekä hajonta. Sen perusteella todettiin, että automaattinen menetelmä tuotti keskimäärin samankokoisia toimenpidekuvioita kuin puoliautomaattinen menetelmä ja että lohkot jakaantuvat kuvioiksi hyvin samankaltaisesti kummassakin menetelmässä. Automaattisessa menetelmässä kuviolle johtavia ajouria on erotettu enemmän kuin puoliautomaattisessa menetelmässä.

Muodostettuja kuvioita verrattiin myös metsänkäyttöilmoitusten kuviorajauksiin sekä manuaalisesti ilmakuvilta digitoituihin toteutuneiden hakkuiden rajauksiin. Vertailu metsänkäyttöilmoitusten rajauksiin

osoitti, että hakkuut toteutuvat usein varsin poikkeavasti ilmoituksien kuviorajauksista. Metsänkäyttöilmoitusten kuviorajaukset perustuvat suurelta osin Metsäkeskuksen metsävarakuvioihin, joten erot toteutuneiden hakkuiden rajauksiin kuvaa myös ko. kuvioinnin vaihtelevuutta ja onnistumista. Ilmakuviin verrattuna puolestaan menetelmän tuottamat kuviorajaukset olivat hyvin samanlaiset.

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 metsävarakuvioiden kesken. Hakkuukoneissa olevien paikannuslaitteiden tarkkuus ja ominaisuudet vaikuttavat kuviorajan muodostumiseen – uudempien paikannuslaitteiden tarkkuus on parempi. Menetelmän operatiivinen käyttö vaatii jatkossa pelto-, vesistö- ja tiemaskien käyttöä.

Kehitystyön tuloksiin perustuen aloitettiin marraskuussa 2018 menetelmän tuotteistamiseen tähtäävän laskentapalvelun tekninen määrittely. Työ on osa Suomen metsäkeskuksen Metsätöiden toteutustiedon palautus Metsäkeskukselle -hanketta. Metsätehon alihankkijana määrittelyiden teossa on Trimble Forestry Europe Oy. Määrittelyt saatiin valmiiksi huhtikuussa 2019 ja samalla aloitettiin laskentapalvelun pilvipalveluteknologiaan perustuvan pilottiversion teko. Tavoitteena on, että palvelu on testattavissa kesän 2019 alussa, jonka jälkeen voidaan aloittaa varsinaisen tuotantoversion valmistelu. Osana työtä määritetään hakkuukonetiedon hankinnan toimintamalli ja pelisäännöt. Tavoitteena on, että puunhankkijoille datan toimittaminen laskentapalveluun olisi mahdollisimman automaattinen ja standardisoitu prosessi. Keskeinen toimijoille yhteinen kysymys on metsänomistajan hyväksynnän hankinta tietojen käytölle metsäkeskuksen metsävaratietojen ajantasaistukseen.



Kuva 8. Esimerkki automaattisen kuvioinnin tuloksista.

Osana kuvionrajausta kehitettiin automaattinen laskentamenetelmä, joka tuottaa toimenpidekuviolle ajourat. Tuotetulle ajouraverkostolle voidaan määrittää ajouratunnukset (ajourien kokonaispituus, ajourien osuus kuvion pinta-alasta ja keskimääräinen ajouraväli) koko kuvion kattavasti. Menetelmän avulla lasketut ajouratunnukset ovat keskenään vertailukelpoisia konemerkeistä riippumatta. Hakkuukoneiden tallentamaa ajouranauhoitusdataa ei laskennassa käytetä, joten sen tallennusasetuksilla ei ole vaikutusta ajourien sijaintiin eikä tunnuslukuihin.

Automaattisen ajouran sijaintiin vaikuttavat hakkuukoneen GNSS-paikannuksen tarkkuus, maaston peitteisyys, hakkuun työjärjestys ja menetelmässä käytetyt parametriarvot. Nämä huomioiden, urien sijaintivastaavuus on yleisesti ottaen hyvä. Menetelmän hyvyttä arvioitiin vertaamalla automaattisesti tuotettuja ajouria maastossa tarkkuuspaikannettuihin ajouriin, ja havaittiin että pituudet ja sijainnit vastaavat toisiaan. Verrattaessa tuloksia hakkuukoneiden karttajärjestelmien tuottamiin ajouranauhoituksiin todettiin, että ajouranauhoitukset eivät sellaisenaan sovellu ajouraverkoston

pitouden arviointiin. Tässä kehitettyä menetelmää voidaan käyttää korjuun laadun omavalvonnassa ja laadunhallinnan automatisoinnissa, kuljettajan apuna työn suunnittelussa sekä pidemmällä aikavälillä korjuun automatisoinnissa.

Runkolukusarjat ja hakatun puuston tunnusluvut

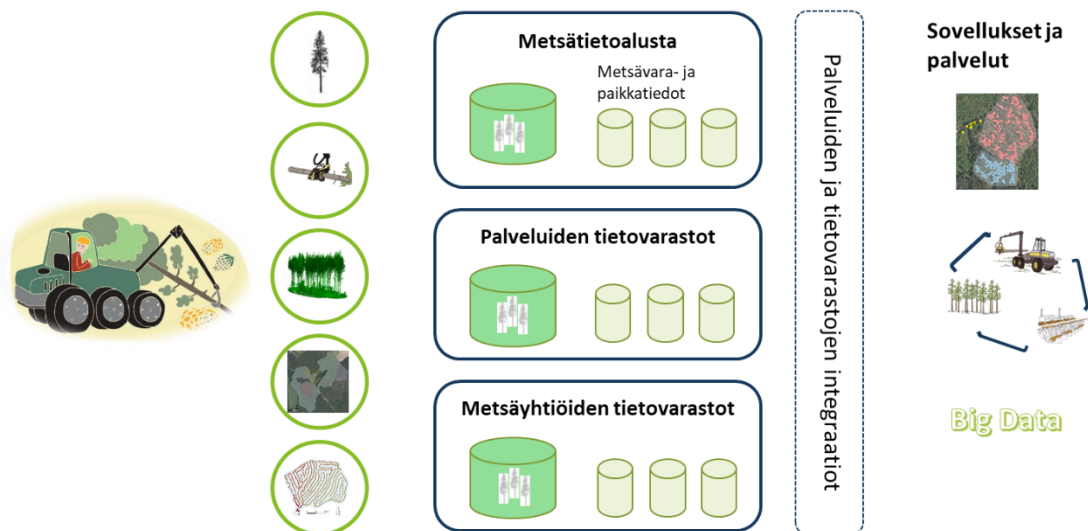
Hakkuukonetiedosta muodostettiin tietovarastoon kuvioiden puulajeittaiset runkolukusarjat 1 cm:n läpimittaluokituksella ($d_{1.3}$). Lisäksi laskettiin hakattua puustoa kuvaavat keski- ja summatunnukset. Ne laskettiin erikseen alkuperäisille hakkuukoneen runkotiedoille ja runkokäyräsovitetulle aineistolle. Näiden tulokset tallennettiin omiin tauluihinsa tietokannassa. Seuraavat kuvioittaiset tunnusluvut laskettiin: hakkuukertymän kokonaistilavuus (m^3 ja m^3/ha), runkoluku, pohjapinta-ala, keskiläpimitta ja keskipituus (molemmat kolmella eri tavalla) ja tukkiprosentti. Puulajien tilavuuksista määritettiin kuvion pääpuulaji. Puulajeittain laskettiin mm. seuraavat tunnusluvut: runkoluku, pohjapinta-ala, hakkuukertymän tilavuus, tukki-, kuitu- ja muiden puutavaralajien tilavuudet, puulajin osuudet kokonaistilavuudesta ja runkomäärästä, keskiäreys (kaikki rungot ja runkolajeittain), keskiläpimitta, keskipituus, tukkiprosentti (kaikki rungot ja tukkirungot) sekä pohjapinta-alan prosenttiosuuspisteet (0, 20, 40, 60, 80 ja 100 %, vain runkokäyräsovitetut puut).

Keskitunnusluvun laskentaa varten kuvion pinta-ala on oltava tiedossa ja se syntyy hakkuukuvioinnin yhteydessä. Puutavaralajiryhmäkohtaisten tilavuuksien laskennassa on tehtävä yhtiökohtaisten puutavaralajien konversiot tietovaraston käyttämiksi yleisiksi puutavaralajeiksi. Katkontatiedoista laskettiin myös puuston laatua kuvaavia tunnuslukuja. Esimerkkinä sellaisesta on järeästä rungonosasta katkottujen kuitupölkkyjen ja leikkojen tilavuusosuus, jonka suuri osuus voi olla indikaattori puuston laatuviroista, esimerkiksi tyvilahosta.

3.3.5. Tietovaraston rajapinnat metsätietoarkkitehtuuriin

Hankkeessa ei tehty varsinaisesti toimialan yhteisen tuotantokäyttöisen hakkuukonetietovaraston arkkitehtuurin suunnittelua, mutta hahmoteltiin kuitenkin sen roolia osana metsätietoekosysteemiä sekä teknisiä ratkaisuvaihtoehtoja. Yksi mahdollinen toteutusmalli on, että ”hakkuukonetietoalusta” on osa tulevaa metsätiedon palvelualustaa ja visiossa Suomen metsäkeskuksen ylläpitämä (kuva 5). Kyseeseen tulee silloin lähinnä hakkuukuvioinnin laskentapalvelun toteutus ja siihen siirrettävän datan käsittelyt ja säilytys. Laajennettuna tämä tietovarasto voisi sisältää myös hakkuukuvioiden puukohtaiset tiedot, jotka olisivat laskennallisesti runkokäyräsovitettuja tietoja sekä keskeisiä kuvion puuston tunnuslukuja. Tällaisessa palvelussa olisi siten oltava mukana kaikki se toiminnallisuus ja ohjelmat, joilla avointa metsävaratietoa vastaavat puustotiedot lasketaan raakadatasta. Katkontaa kuvaavaa tietoa yleiseen tietovarastoon ei voida sisällyttää. Puun ostajaa ja myyjää kuvaavia tietoja ei missään yleisessä tietovarastojen vaihtoehdossa voi myöskään olla mukana. Laajennettu tietovarasto palvelisi erityisesti metsävarojen inventoinnin maastomittauksia täydentävänä aineistona, mutta sen avulla olisi mahdollista laajemminkin kuvata metsävaroja alueellisesti.

Uudet pilvipalveluteknologiat tarjoavat kustannustehokkaita vaihtoehtoja datan prosessointiin, säilytykseen ja eri tietoa-aineistojen yhdistämiseen. Jalostetun tiedon joustava jakelu erilaisiin käyttäjien sovelluksiin ja palveluihin on mahdollista toteuttaa integroimalla tietovarastot niihin standardoitujen rajapintojen (API) avulla. Käyttöoikeudet tietovarastoihin hallitaan sovelluskohtaisesti ja käyttäjien tunnistautumisella. Metsätiedon palvelualustan pilotointihankkeessa on testattu hakkuukuviotietojen yhdistämistä mm. hila- ja kuviomuotoisiin metsävaratietoihin. Alustaan on rakennettu toiminnallisuutta, jonka avulla kuvio- ja hilapohjaiset tiedot ovat yhdistettävissä ja eri tietolähteiden tiedoista voidaan muodostaa uusia tietoja käyttäjän määrittelemillä laskentasäännöillä. Palvelualustalle käyttäjät voivat perustaa omia yksityisiä tietovarastojaan. Metsäyhtiöt voisivat esimerkiksi sijoittaa sinne omat hakkuukonetietovarastonsa ja rakentaa erilaisia puunkorjuun suunnittelu- ja seurantasovelluksia niiden varaan. Hakkuukonetietovarastot voivat sijaita myös alustan ulkopuolella, jolloin niitä hyödynnetään alustalla rajapintojen kautta. Pilvipalveluratkaisut yhdistettynä big data -analyysimenetelmiin ja oppiviini järjestelmiin puolestaan avaavat näkymiä suurten tietomassojen hyödyntämiseen metsävaratietojen tuottamisessa ja päätöksenteon tukijärjestelmissä.



Kuva 9. Hakkuukonetieto metsätietoekosysteemissä.

Hakkuukonetiedon laajamittaisen hyödyntämisen ajureina ovat toisaalta toimijoiden yhteinen pyrkimys metsävaratietojen ajantasalla pitämiseen toteutustiedon avulla ja toisaalta yhtiökohtaiset tavoitteet parantaa puunhankinnan suunnittelun ja ohjauksen tasoa uusilla tietopalveluilla ja sovelluksilla. Metsävaratietojen päivitykseen tietovarastoratkaisun on oltava yleinen ja julkisin varoin ylläpidettävä palvelu, johon toimijoiden on helppo siirtää hakkuukonetiedostot ja josta tulokset myös ovat toimijoiden käytettävissä. Tietovaraston jaettava sisältö voi olla suppea ja sisältää vain hakkuukuviotiedot. Laajennettuna julkinen hakkuukonetiedon tietovarasto sisältäisi myös hakatun puuston puukohtaiset tiedot kuten edellä on kuvattu. Tällaisen tietovaraston luonti olisi teknisesti mahdollista jo tämän hankkeen tulosten perusteella, mutta sen rakentamiselle ja käytölle on oltava nykyistä konkreettisempi tarve ja tiedon omistajien suostumus. Tiedon hyödyntäminen edellyttäne myös vielä parannusta hakkuukoneiden GNSS -paikannuksen tarkkuuteen ja mahdollisesti paikannuksen parantamista jälkilaskennalla.

Yhtiökohtaiset hakkuukonetietovarastot voidaan perustaa joko toimijoiden omiin metsäjärjestelmiin tai niiden käyttämien kaupallisten palvelujen osaksi, jossa ne voidaan rajata vain ko. asiakkaan käyttöön. Molemmassa vaihtoehdoissa hakkuukoneiden tuottamat tiedostot voidaan siirtää puunkorjuun toiminnanohjauspalvelusta tai yhtiön tietojärjestelmästä rajapinnan kautta hakkuukonetietovarastoon joko valikoidusti tai kattavasti. Datan validointi ja mahdollinen tiivistäminen voidaan tehdä kummissa järjestelmässä tahansa. Hakkuukonetiedon yhdistäminen muihin tietolähteisiin on luontevinta tehdä sovelluksissa tai niiden ohjaamana metsätiedon palvelualustassa.

3.3.6. Tietovaraston rakentaminen ja pilotointi

Hankkeessa muodostettiin Metsätehon tietojärjestelmäympäristöön hakkuukonetietovaraston pilottiversio SQL-tietokantaan edellisissä luvuissa kuvatuista aineistoista ja menetelmillä. Tietovarastoon prosessoidaan uutta dataa vielä hankkeen jälkeen ja sitä ylläpidetään tutkimuksen ja kehityksen tarpeisiin sekä laajennetaan tietosisältöä tarpeen mukaan. Tietovarastoa on käytetty sekä tämän hankkeen käyttösovellusten pilotoinneissa että yrityskohtaisissa hankkeissa.

3.3.7. Käyttötapausten pilotointi

Metsäyhtiöiden katkonnan ohjauksen kehittämishankkeen tarpeita varten selvitettiin runkolukusarjan ja katkonnan simuloinnin puujoukon muodostamismenetelmiä sekä osallistuttiin kehitettävän palvelun tiedosto- ja rajapintamäärittelyihin. Tavoitteena hankkeessa oli kehittää ja testata k-MSN -menetelmään perustuva vastinleimikoiden hakumenetelmä, jolla uusille korjuukohteille ennustetaan hakkuukonetietovarastoa käyttäen puulajikohtaiset runkolukusarjat. Laaja yhtiökohtaisten hakkuukonetietojen hpr-aineisto osoittautui testeissä edustavaksi ja menetelmällä pystyttiin tuottamaan varsin tarkat runkolukusarjaennusteet. Testit tehtiin lohko-kohtaisella aineistolla, mutta tarkoitus on selvittää myöhemmin parantaako kuvioitun aineiston käyttö ennusteita.

Tietovaraston Etelä-Suomen hakkuukoneaineistoja käytettiin Suomen metsäkeskuksen ja Tieto Oy:n pilottihankkeessa, jossa tutkittiin hilamuotoiseen metsävaratietoon perustuvaa hakkuukohteiden runkolukusarjojen ennustamismenetelmää. Runkolukusarjojen muodostamista metsäkeskuksen hilamuotoisen metsävaratiedon ja Luken Motti -kokojakaumamallien perusteella tutkittiin Helsingin yliopistolle tehdystä pro gradu -työssä. Aineistona siinä käytettiin hakkuukonetietovaraston 150 päätehakkuukuviota. Muodostettua puujoukkoa verrattiin hakkuukoneella kerättyyn sekä runkokäyräsovitettuun aineistoon. Sekä tutkimusaineistolla että runkokäyräsovitteella muodostetut puujoukot vietiin katkontasimulaattoriin ja tutkittiin tilavuuksien ja keskijäreysien harhoja ja keskivirheitä. Katkonnan kokonaistilavuuden harha oli 3,8 m³/ha (1,5 %) ja keskivirhe 42,3 m³/ha (16,3 %). Lehtipuiden estimointi oli lähes harhatonta, mutta havupuissa kuusen ja männyn osuudet sekoittuivat. Lisäksi analysoitiin runkolukusarjojen vastaavuudet. Työn yhtenä päätelmänä oli, että parametriset kokojakaumamallit ovat varsin käyttökelpoisia luomaan puujoukko hilalle. Hilatiedon puulajien estimointitarkkuuksissa todettiin kuitenkin olevan vielä parantamisen tarvetta.

Tampereen teknillisessä yliopistossa (nyk. Tampereen yliopisto) tehtiin diplomityö hakkuukonetietovaraston rajapinnoista käyttösovelluksiin (Tyypileimikoinnin käyttötapaus osana metsävaratiedon palvelualustan toiminnallisia palveluita). Työssä tutkittiin, miten tyypileimikointiin perustuva hakkuutuloksen ennuste voidaan toteuttaa ympäristössä, jossa on käytettävissä hakkuukonetietoa ja metsävaratietoa.

3.3.8. Hakkuukonetiedon keruun ja ylläpidon organisointi- ja rahoitusvaihtoehtojen kuvaus

Keskustelut hakkuukonetiedon laajamittaisen keruun organisoinnista ja toimijoiden tietojärjestelmien rooleista osana tiedonhankintaketjua käytiin metsäyhtiöiden kanssa hankkeen aikana ja niitä jatketaan edelleen mm. hakkuukuviointin laskentapalvelun suunnittelun yhteydessä. Varsinaisia tietojen keruun organisointiin ja rahoituksen vaihtoehtokuvauksia ei ollut hankkeessa vielä tarkoituksenmukaista tehdä, koska ne ovat sidoksissa niihin järjestelmiin ja palveluihin, joissa hakkuukonetietoja käytetään. Hakkuukonetiedon käyttöön perustuvaa metsätietoarkkitehtuuria ja palveluita on kuvattu kappaleessa 3.3.5.

Metsätiedon palvelualusta -hankkeeseen kuuluneessa työssä on toimialan yhteisessä työryhmässä hyväksytty metsäkonetiedon pelisäännöt, jotka luovat hyvän tietojen omistus- ja käyttöoikeuksien sopimiseen perustuvan pohjan hakkuukonetiedon laajamittaiselle hyödyntämiselle. Johtopäätös hakkuukonetietojen keruusta ja luovutuksesta on, että suuret toimijat, joilla hakkuukonetietojen keruu on jo järjestetty omaa liiketoimintaa varten, ovat siihen periaatteessa valmiita. Edellytyksenä on, että tietojen käsittely ja hallinta suunnitellaan käyttötarpeisiin perustuen, tarpeetonta tietojen keruuta ja siirtoa tietovarastoihin ei tehdä, henkilötietojen suojauksesta huolehditaan EU:n tietosuojasetuksen ja lainsäädännön edellyttämällä tavalla, liiketoimintakriittisiä tietoja ei luovuteta ja kaikki tietojen luovutus perustuu sopimukseen tietojen omistajan ja käyttäjäosapuolen välillä.

3.3.9. Hakkuukoneen anturoidulla kouralla kerätyn puutiedon sijaintitarkkuus

Puiden sijaintitarkkuuden parantamiseksi tarkennettiin hakkuulaitteen sijaintia hankkeessa kehitetyllä laskennallisella menetelmällä. Menetelmäkehitys tehtiin Komatsu Forest 931.1 -hakkuukoneen keräämällä aineistolla, jonka puomi oli anturoidu jatkovartta lukuun ottamatta ja joka mahdollisti hakkuulaitteen sijainnin tallentamisen puun kaatohetkellä. Menetelmäkehityksessä puiden oikeana sijaintina käytettiin Evon koealoilta tarkkaan mitattuja puiden sijainteja. Laskennallisesti tarkennettu hakkuulaitteen sijainti perustuu hakkuukoneen ja hakkuulaitteen tallennettuihin sijainteihin puun kaatohetkellä ja se määritettiin käyttäen keskiarvoistettua hakkuukoneen sijaintia, suodatettua hakkuukoneen kulkusuuntaa sekä puomin suuntaa ja etäisyyttä suhteessa hakkuukoneeseen. Hakkuukoneen paikannusepä-tarkkuuden takia tutkimuksessa ei käytetty hakkuulaitteen tallennettua raakasijaintia, koska hakkuukoneen sijaintivirhe siirtyy sellaisenaan myös hakkuulaitteen sijainnin virheeksi. Myös hakkuukoneen kulkusuunta tarvitsi laskennallista korjausta. Laskennallisella menetelmällä tarkennettiin hakkuulaitteen sijaintiin perustuneet puukohtaiset sijainnit Komatsu Forestin leimikoilla ja näitä sijainteja käytettiin puustotunnusten estimoinnissa koealoille.

Hakkuulaitteen paikannus ja korjausalgorithmi yhdessä parantavat yksittäisen puun sijaintitarkkuutta noin 3 metriä. Puomin viimeinen jatkovarsi oli anturoidu, joten teknisesti tarkkuutta on edelleen

mahdollista parantaa. Tuloksia tarkasteltaessa on todettu, että hakkuulaitteen paikannus ja korjausalgoritmi parantavat myös laserkeilaukseen ja satelliittikuviin perustuvan aluepohjaisen inventointimenetelmän tarkkuutta, kun sen aputietona käytetään hakkuukoneaineistoon generoituja koealoja.

4. Tulosten arviointi

4.1. Tulosten käytännön sovellutuskelpoisuus

Hankkeessa on luotu tiedonhallinnalliset perusteet hakkuukonetiedon hyödyntämiseksi metsätalouden ja puunhankinnan tietojärjestelmissä ja käyttösovelluksissa. Kokoamalla laajamittaisesti hakkuukonetietoa voidaan merkittävästi parantaa ja kehittää tulevaisuuden metsätietoekosysteemin tietoperustaa. Pilotoitu hakkuukonetietovarasto on konseptina testattu ja se on myös toteutettavissa tuotannollisessa mittakaavassa. Pelkästään hakattua puustoa kuvaavaa alkuperäisestä datasta jalostettua tietoa sisältävä tietovarasto voi olla osa julkisen metsätiedon palvelualustaa. Edellytyksenä on, että sen organisointi- ja hallintomallista päätetään toimijoiden kesken yhteisesti ja tietovaraston yhteyteen kehitetään tiedon loppukäyttöä tukevat sovellukset, mm. hakkuukonetiedon esiprosessointi ja hakkuukuviointien laskenta.

Tietosisällöltään kattavammat hakatun puuston ominaisuuksia ja sen katkontaa kuvaavat tiedot puolestaan todennäköisimmin tulevat jatkossa olemaan metsäyhtiöiden yksityisiä tietovarastoja joko osana metsätietojärjestelmiä tai kaupallisissa tietopalveluissa. Tietovarastoja käytetään erilaisiin puunhankinnan ja tuotannonohjauksen suunnittelun ja ohjauksen tarpeisiin. Niiden varaan on mahdollista muodostaa päätöksentekojärjestelmiä ja sovelluksia, joilla lisätään toiminnanohjauksen automaatiota ja mukautumista vaihtuviin tilanteisiin.

Mittaukseen perustuvasta hakkuukonetiedosta voidaan muodostaa puu- ja kuviotasosta täsmätietoa hankkeessa kehitetyillä ja testatuilla laskentamenetelmillä. Pilottitietovaraston rakentamisen yhteydessä syntyneet tietomallin määrittelyt ja tietojen prosessointeihin tehdyt algoritmit ja ohjelmat ovat sellaisenaan käytettävissä mahdollisissa tuotantojärjestelmähankkeissa tai niitä voidaan edelleen kehittää. Hakkuukoneiden paikannuksen tarkkuudessa on vielä parantamisen varaa ja mikäli puukohtainen sijaintitarkkuus paranee, antaa se edellytykset myös kehittää algoritmeja, joilla hakatun puuston tilajärjestys kuvataan. Hakkuukuvioinnin ja ajourien muodostuksen algoritmeille on jo välitön tarve, koska metsävaratietojen ajantasaistus toteutustietojen avulla aiotaan ottaa käyttöön Suomen metsäkeskuksen tietojärjestelmä uudistuksen yhteydessä. Tähän tähtäävä kehityshanke on aloitettu.

Hakkuukoneen mittaustieto antaa mahdollisuudet tarkentaa nykyisiä puiden runkokäyrä- ja tilavuusmalleja sekä kehittää täysin uudet hukkalatvan pituusmallit. Uusien yleiseen käyttöön tarkoitettujen tukkivähennys- ja muiden laatumallien kehittäminen mittaus- ja katkontatietojen avulla olisi myös mahdollista tehdä. Tarpeeksi edustava otanta olisi mahdollista toteuttaa julkista hakkuukonetietovarastoa käyttäen. Mallinnusaineistoihin olisi yhdistettävissä kasvupaikka- ja muuta olosuhdetietoa. Niiden käyttö tarkoittaisi erityisesti hakkuumahdollisuusarvioita puutavaralajitasolla. Yhdistämällä hakkuukonetietoa tukkimittari- ja röntgentietoon arvioidaan voitavan kehittää myös täysin uudentyyppisiä sisäistä laatua ja tuikin jalostusarvoa kuvaavia ennustemalleja.

Metsäkonetiedon omistusta, käyttöä ja käsittelyä koskeva suositus antaa puitteet metsäkonedatan hyödyntämiselle uusiin käyttötarkoituksiin. Suositusta tullaan päivittämään metsäkonetiedon tuottaman tiedon sisällön ja käyttötarpeiden kehityksen mukaan.

4.2. Tulosten tieteellinen merkitys

Hakkuukoneiden tuottamien tarkkojen ja luotettavien mittaustietojen käyttö tutkimuksessa on avannut hankkeen myötä monia mielenkiintoisia ja aiemmin kokeilemattomia mahdollisuuksia. Tässä hankkeessa hankittuja ja muodostettuja tutkimusaineistoja käytettiinkin muissa MMM:n kärkihankkeissa.

Hakkuukoneaineisto itsessään mahdollistaa täysin uudenlaisten ja kattavien puita kuvaavien mallien kehittämisen; esimerkkinä tästä ovat hankkeessa muodostetut hukkalatvan pituusmallit. Runkokäyräsovitukset hakkuukoneen mittaustietoihin mahdollistaa Laasasenahon runkokäyrämallien validoinnin sekä tarjoaa tietoa runkomuodon vaihtelusta laajassa mittakaavassa, alueellisesti ja hakkuutavoittain. Hakkuukonetiedoista on mahdollista muodostaa suuria määriä tarkasti mitattua tietoa puista ja toimenpidekuvioista, minkä avulla voidaan jatkossa verrata ja myös kalibroida esimerkiksi kaukokartoitukseen perustuvan metsäninventoinnin tai muiden metsää kuvaavien mallien tarkkuutta.

Metsätiedon palvelualustan avulla tehtävä hakkuukoneaineiston yhdistäminen muihin aineistoihin tarjoaa monipuolisia mahdollisuuksia tieteellisten mallinnusten tekemiseen, aineistojen riippuvuuksien tutkimiseen ja menetelmäkehitykseen ml. koneoppimismenetelmät. Hakkuukoneen mittausdata ja tulevaisuudessa mahdollisesti muu metsäkoneiden tietojärjestelmien ja mittausinstrumenttien tuottama data yhdistettyinä paikka- ja metsävaratietoon avaavat mahdollisuuksia big data -perusteisille tutkimusmenetelmille sekä metsätieteissä että käytäntöä palvelevien sovellusten kehittämisessä.

Kehitetty kuviointialgoritmi soveltaa ja jatkojalostaa yleisiä tieteellisiä menetelmiä, joilla pisteparvesta tuotetaan aluerajaus. Toisiaan sivuavien kuviorajausten eheytyksen menetelmä on kehitetty tässä hankkeessa, koska sitä ei ole yleisesti saatavilla paikkatieto-ohjelmissa. Menetelmän soveltamisesta hakkuukoneaineistoon aiotaan laatia tieteellinen artikkeli. Ajouraverkoston tuottamis- ja ajouratunnusten laskentamenetelmä on kehitetty tässä hankkeessa. Menetelmän soveltamisesta hakkuukoneaineistoon aiotaan laatia tieteellinen artikkeli. Näistä osatehtävistä saadut tulokset osoittavat hakkuulaitteen sijainnin merkityksen tärkeyttä, kun hakkuukoneaineistoa käytetään kaukokartoituksen aluepohjaisen tulkintamenetelmän opetusaineistona.

Julkaisut

Julkaisut

Riekki, K., Melkas, T., Ovaskainen, H., Poikela, A., ja Sorsa, J.-A. Ajourien automaattinen tuottaminen ja ajouratunnusten määrittäminen hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tulosalvosarja 4/2019.

Melkas, T. ja Riekki, K. Hakkuualueen rajan muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tulosalvosarja 5/2017.

Melkas, T. ja Riekki, K. Automaattinen toimenpidekuvion rajojen muodostus hakkuukoneen sijaintitietoon perustuen. Metsätehon tulosalvosarja 7a/2018 + 4 liitettä.

Melkas, T. ja Riekki, K. Automated stand delineation based on harvester location data. Metsätehon tulosalvosarja 7b/2018.

Melkas, T. ja Riekki, K. Puiden paikannustarkkuus hakkuukoneen tallennettuun sijaintiin ja kouran anturointiin perustuen. Metsätehon tulosalvosarja 9/2017.

Melkas, T. ja Riekki, K. The positioning accuracy of trees based on harvester location and harvester head position measurements – a computational algorithm for improving the estimate for harvester head position. Metsätehon tulosalvosarja 9b/2017.

Metsäkonetiedon omistusta, käyttöä ja käsittelyä koskevat periaatteet -suositus. Saatavissa Metsätehosta.

Poikela, A., Riekki, K. ja Melkas, T. Runkokäyränsovitukset hakkuukoneen tuottamaan runkoprofiiliin ja tulosten vertaaminen tilavuusyhtälöihin. Käsikirjoitus. Julkaistaan Metsätehon tulosalvosarjassa myöhemmin. Esitys Metsätieteen päivillä 24.10.2017.

Pesonen, M. Metsäkeskuksen hilatiedon ja Luonnonvarakeskuksen kokojakaumamallin tarkkuus puujoukon luonnissa. Pro Gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, 2017.

Filppula, M. Tyypileimikoinnin käytötapa osana palvelualustan toiminnallisia palveluita. Diplomityö, Tampereen Teknillinen Yliopisto, Automaatiotekniikan koulutusohjelma, 2017.

Saukkola, A. Hakkuukoneen paikannetulla hakkuulaitteella kerätyn puutiedon hyödyntäminen lentolaserkeilaukseen perustuvan puustotulkinnan aputietona. Pro Gradu -tutkielma. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, 2018.

Saukkola, A., Melkas, T., Riekki, K., Sirparanta, S., Peuhkurinen, J., Holopainen, M., Hyyppä, J. ja Vastaranta, M. Predicting Forest Inventory Attributes Using Airborne Laser Scanning, Aerial Imagery, and Harvester Data. *Remote Sens.* 2019, 11(7), 797; <https://doi.org/10.3390/rs11070797>.