



Selvitys lahopuuston yhtenäisestä arviointimenetelmästä metsäalan toimijoita varten

Hannes Pasanen, Juha Siitonen, Matti Yläanne, Lauri Saaristo

Hannes Pasanen, Juha Siitonen, Matti Yläne, Lauri Saaristo 2022, Selvitys lahoppuuston yhtenäisestä arviointimenetelmästä metsäalan toimijoita varten. Tapion raportteja nro 49.

© Tapio Oy

ISBN 978-952-7435-03-8
ISSN 2342-804X

Julkaistu 27.4.2022

Kansikuva
Hannes Pasanen
Piirrokset
Juha Siitonen

Työn rahoittaja:
Maa- ja metsätalousministeriö

Tiivistelmä

Kuolleet puut ovat tärkeä osa metsien monimuotoisuutta. Järeät lahoppuut ovat myös pitkäaikaisia hiilen varastoja, joten kuolleilla puilla on merkitystä myös metsätalouden ilmastotavoitteiden toteuttamisessa. Metsätalouden toimijoilla ei ole kuitenkaan ollut käytössä yhtenäistä metsikkötasolle soveltuvaa menetelmää kuolleen puuston arviointiin. Kattavaa ja ajankohtaista tietoa metsikkötason lahoppuudesta ei toistaiseksi saada muistakaan seurannoista tai kaukokartoituksen avulla.

Tämän raportti on laadittu osana vuosina 2021–2022 toteutettua Lahohiili-hanketta, jonka tavoitteena on ollut laatia metsäalan toimijoille kustannustehokas menetelmä lahoppuuston metsikkötason arviointiin. Hankkeen päätavoitteina oli selvittää käytössä olevia lahoppuun arviointikäytäntöjä, vertailla erilaisten lahoppuun arviointimenetelmien tarkkuutta ja ajanmenekkiä sekä kuvata metsäalan toimijoille soveltuva kustannustehokas lahoppuuston arviointimenetelmä.

Hankkeessa tehtyjen haastatteluiden perusteella metsäalan toimijoilla ei ole yhtenäistä menetelmää lahoppuuston arvioimiseksi. Käytössä on erilaisia menetelmiä, jotka perustuvat usein toimijoiden omaan näkemykseen siitä, millä tavalla tiettyä käyttötarkoitusta vastaava tieto voidaan kerätä kustannustehokkaasti.

Hankkeessa kuvattiin neljä lahoppuun mittaamenetelmää, joita arvioitiin maastossa tehdyin mittauksin. Kaikki vertailussa mukana olleet menetelmät tuottivat keskimäärin kohtuullisen tarkkoja tuloksia, mutta erityisesti koealamittauksiin perustuvat menetelmät tuottivat suhteellisen suurta mittaajien ja mittausten välistä hajontaa.

Hankkeen tulosten perusteella päädyttiin kahteen vaihtoehtoiseen mittaamenetelmään: tarkennettu silmävarainen arviointi ja lahoppuuston kokonaismittaus. Tarkennettu silmävarainen arviointi on kustannustehokas ja helposti omaksuttava menetelmä lahoppuun määrän selvittämiseksi. Menetelmällä voidaan tarvittaessa arvioida myös laadullisia tunnuksia, kuten maa- ja pystypuiden osuus sekä lahoppuujatkumo. Tilavuus voidaan tarvittaessa arvioida erikseen myös puulajeittain. Kokonaismittaus sopii tilanteisiin, joissa tarvitaan tarkka tieto sekä lahoppuun määrästä että laadusta. Kokonaismittauksella saadaan puukohtainen tieto kaikista lahoppuun tunnuksista. Menetelmä tuottaa pienen virhemarginaalin tilavuusestimaateissa ja aineistoista voidaan laskea monipuolisesti eri tunnuksia. Kokonaismittaus on kuitenkin tarkennettua silmävaraista arviointia työläämpi menetelmä.

Sisällys

TIIVISTELMÄ	2
1) JOHDANTO	4
1.1 Tausta.....	4
1.2 Tavoitteet	4
2) AINEISTO JA MENETELMÄT	6
2.1 Nykyiset lahoppuuston arviointikäytännöt	6
2.2 Työpajat	6
2.3 Menetelmien testaus maastossa	7
2.3.1 Maastokohteet	7
2.3.2 Mittausmenetelmät.....	8
2.3.3 Mittausmenetelmien vertailu	13
2.3.4 Koemittaajien kokemukset maastotöistä.....	15
3) TULOKSET	16
3.1 Nykyisin käytössä olevat lahoppuun arviointikäytännöt	16
3.2 Työpajat	20
3.2.1 Syksyn 2021 työpajan tulokset	20
3.2.2 Kevään 2022 työpajan tulokset	22
3.3 Maastomittaukset	24
3.3.1 Menetelmien tarkkuus.....	24
3.3.2 Menetelmien ajanmenekki.....	25
3.4 Maastomittausten jälkeiset haastattelut.....	29
4) TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET	32
4.1 Metsäalan lahoppuun mittauskäytännöt	32
4.2 Hankkeessa testattujen menetelmien tarkastelu.....	32
4.2.1 Tarkennettu silmävarainen arviointi	33
4.2.2 Kokonaismittaus.....	34
4.2.3 Linjoittainen relaskooppi- ja ympyräkoeala-arviointi	34
4.3 Johtopäätökset	36
4.3.1 Menetelmien soveltuvuus vertailukelpoisten lahoppuaineistojen tuottamiseen.....	37
LIITTEET	38
Liite 1 - Haastattelukysymykset	38
Liite 2 – Tilavuustaulukot keskimääräisille puille 10 cm läpimittaluokittain	40
Liite 3 – Maastolomakkeet	42
LÄHTEET	46

1) Johdanto

1.1 Tausta

Kuolleet puut ovat keskeinen osa metsäekosysteemejä ja vaikuttavat monin tavoin niiden toimintaan. Lajiston monimuotoisuuden kannalta kuolleet puut ovat tärkeä rakennepiirre, sillä arviolta neljännes Suomen metsälajeista on eri tavoin riippuvaisia lahoavasta puusta. Noin puolet puun biomassasta koostuu hiilestä, joka säilyy etenkin järeissä rungoissa useita vuosikymmeniä puun kuoleman jälkeen. Tämä tekee kuolleista puista merkittäviä hiilivarastoja. Monimuotoisuuden rinnalla lahoppuilla onkin tunnistettu olevan yhä enemmän merkitystä myös metsätalouden ilmastotavoitteiden toteuttamisessa (Lehtonen ym. 2021).

Lahopuun määrästä ja laadusta tarvitaan tietoa sekä suuraluetasolla että metsikkötasolla. Valtakunnan metsien inventointi (VMI) perustuu systemaattiseen otantaan, ja sen avulla voidaan tuottaa tietoa siitä, kuinka paljon lahoppuuta on keskimäärin esimerkiksi Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Suuralueta-son tieto palvelee mm. sen seuraamista, kuinka metsien käytölle asetetut yhteiskunnalliset tavoitteet toteutuvat.

Metsätalouden toimijoilla ei ole toistaiseksi yhtenäistä metsikkötasolle soveltuvaa menetelmää kuolleen puuston arviointiin. Kattavaa ja ajankohtaista tietoa metsikkötason lahoppuudesta ei toistaiseksi saada muistakaan seurannoista tai kaukokartoituksen avulla. Metsikkötason tietoa tarvitaan mm. talousmetsien luonnonhoidon laadun seurannassa, METSO-kohteiden arvioinnissa, sertifiointikriteerien toteutumisen seurannassa ja arvokkaiden luontokohteiden määrittämisessä.

Maastossa muun toiminnan yhteydessä tapahtuva arviointi tulee vielä toistaiseksi olemaan ainoa tapa päästä selville lahoppuuston määrästä suunnitellulla metsäalueella tai hakkuukohteella. Metsätalouden toimijoiden on helpompi kerätä ja välittää eteenpäin tietoa hakkuukohteiden lahoppuudesta, mikäli arviointiin on kehitetty yhtenäinen käytäntö ja tietosisältö. Lahoppumäärän arviointi auttaa toimijoita myös tunnistamaan kohteiden mahdollisuudet luonnonhoidon kannalta sekä suunnittelemaan ja toteuttamaan metsätalouden toimenpiteet kustannustehokkaasti niin, että lahoppuusto voidaan huomioida entistä paremmin. Tällä tavoin voidaan edistää talousmetsien lahoppumäärän kasvua ja lahoppuuhun varastoituneen hiilen sekä lahoppuusta riippuvaisten lajien monimuotoisuuden säilymistä.

1.2 Tavoitteet

Tämä raportti on laadittu osana Maa- ja metsätalousministeriön rahoittamaa Lahohiili-hanketta (*Lahoppuutieto ilmasto- ja monimuotoisuustoimenpiteiden tukena*). Vuosina 2021–2022 toteutetussa hankkeessa tavoitteena on ollut laatia metsäalan toimijoille kustannustehokas menetelmä lahoppuuston metsikkötason arviointiin.

Hankkeen päätavoitteet olivat:

- 1) Käytössä olevien lahopuun arviointikäytäntöjen selvittäminen
 - Selvitetään metsikön lahopuumäärän arvioinnin käytäntöjä eri metsäorganisaatioissa. Kerättyjen tietojen perusteella valitaan jatkoselvitykseen jokin olemassa olevista käytännöistä, useamman käytännön yhdistelmä tai niiden pohjalta ideoitu muu menetelmä.
- 2) Arviointimenetelmän testaus maastossa
 - Kokeillaan testattavaksi valittua tai valittuja menetelmiä maastossa. Testit tehdään kohteilla, joiden tarkka lahopuumäärä on selvitetty ennen menetelmien kokeilua. Näin saadaan tietoa eri menetelmien tarkkuudesta, tulosten virhemarginaalista sekä menetelmien ajanmenekistä.
- 3) Arviointimenetelmän käyttöönotto
 - Arviointimenetelmän tai -menetelmien käyttöönottoa varten tuotetaan julkista aineistoa ja järjestetään koulutusta.

Raportissa kuvataan hankkeessa tehty taustaselvitys käytössä olevista lahopuuston arviointikäytännöistä, hankkeen työpajojen keskeinen sisältö, arviointimenetelmän maastomittaukset sekä yhteenveto kustannustehokkaasta lahopuuston arviointimenetelmästä. Menetelmän itseopiskelu- ja koulutusmateriaalit julkaistaan erikseen.

2) Aineisto ja menetelmät

2.1 Nykyiset lahopuuston arviointikäytännöt

Käytössä olevien lahopuuston arviointikäytäntöjen selvittämiseksi haastateltiin metsä- ja ympäristöalan organisaatioiden edustajia. Osasta organisaatioita haastateltiin useampia henkilöitä, millä pyrittiin ottamaan huomioon sekä lahopuutietojen eri käyttötarkoitukset että mahdolliset erot Suomen eri osissa.

Haastattelut tehtiin vuoden 2021 elo-syyskuun aikana, ja ne perustuivat ennakkoon lähetettyihin kysymyksiin (liite 1). Kaikkiaan selvityksessä haastateltiin 20 henkilöä, jotka edustivat seuraavia organisaatioita tai ammattiryhmiä (suluissa haastateltujen määrät, mikäli enemmän kuin yksi):

- ELY-keskukset (2)
- Luontokartoittajat (2)
- Metsä Group
- Metsähallitus Luontopalvelut
- Metsähallitus Metsätalous (2)
- Metsänhoitoyhdistykset (2)
- Pölkky
- Stora Enso
- Suomen Metsäkeskus (4)
- Tornator
- UPM Metsä
- Versowood
- Westas

2.2 Työpajat

Hankkeessa järjestettiin kaksi työpajaa, joissa kerättiin näkemyksiä suunniteltujen arviointimenetelmien kehittämiseksi. Työpajoista saatuja huomioita on koostettu tämän raportin tuloksiin.

Ensimmäinen työpaja pidettiin lokakuussa 2021 ja siinä esiteltiin yhteenveto metsäalalla käytössä olevista lahopuun arviointikäytännöistä (hankkeessa toteutetut haastattelut) sekä suunnitelma menetelmien testaamiseksi maastossa. Työpajassa esitettyjen huomioiden perusteella viimeisteltiin maastomittauksia varten laadittu kirjallinen ohjeistus. Työpajaan osallistui 24 henkilöä.

Toinen työpaja järjestettiin helmikuussa 2022. Työpajassa kuultiin alustukset kuolleen puun mittauksesta valtakunnan metsien inventoinneissa (VMI, Kari T. Korhonen) ja kaukokartoitukseen perustuvien menetelmien kehitysnäkymistä (Topi Tanhuanpää). Työpajassa käytiin läpi hankkeessa toteutettujen maastomittauksien tulokset ja esiteltiin niiden perusteella laadittu luonnos hankkeen arviointimenetelmästä. Työpaja oli avoin kaikille kiinnostuneille. Työpajaan osallistui 59 henkilöä.

2.3 Menetelmien testaus maastossa

2.3.1 Maastokohteet

Maastomittauksiin valittiin neljä Lopen kunnassa sijaitsevaa kohdetta (taulukko 1). Kohteiden valinnassa painotettiin lahoppuuston määrän ja kasvupaikkatyyppien vaihtelua sekä kohteiden sopivan lyhyttä välimatkaa toisistaan. Kohteilla tehtiin lahoppuuston ennakkomittaus, jolla saatiin tarkka arvio niiden lahoppuun määrästä. Ennakkomittaus tehtiin kolmen hengen maastotyöryhmällä, joka kävi metsikkökuviot huolellisesti läpi ja mittasi kaikki vähintään 20 cm läpimitaltaan ja 1,3 m pituudeltaan olevat lahoppuut ja niiden katkenneet osat. Mitatut puut merkittiin rinnankorkeudelle liidulla ja maapuut sammaltukolla, millä varmistettiin, ettei samoja puita kirjattu useampaan kertaan ja kaikki puut tulivat mitatuiksi.

Taulukko 1. Maastomittauksissa käytettyjen kohteiden yleistietoja.

Kohde	Kasvupaikkatyyppi	Pääpuulaji	Pinta-ala (ha)	Ennakkomitattu lahoppuiden tilavuus (m ³ /ha)
Rasinkylä kuvio 32	Kuivahko kangas	Mänty	1,3	9,6
Salmio kuvio 63	Kuivahko kangas	Mänty (uudistusala)	2	13,4
Rasinkylä kuvio 84	Tuore kangas	Kuusi	1,5	17,1
Sandvik kuvio 27	Tuore kangas	Kuusi	2,5	26,2

Hankkeen maastomittauksien tekemistä Lopen lisäksi myös Pohjois-Suomessa ehdotettiin sekä hankkeen ohjausryhmässä että lahoppuun arviointia tekevien haastatteluissa. Hankkeessa selvitettiin mahdollisuuksia tähän, mutta mittauksia ei onnistuttu tekemään resurssien niukkuuden vuoksi.

Maastomittauksiin osallistui seitsemän koemittajaa, joista kukin työskenteli erikseen ja itsenäisesti. Kaikilla mittajilla oli runsaasti aikaisempaa kokemusta metsän mittauksesta, mutta ei aiempaa kokemusta testattavista lahoppuuston arviointimenetelmistä. Mittajille pidettiin kahden tunnin etäkouluus, jossa käytiin läpi mittausohje ja kerrattiin mittauksen toteuttamisen kannalta keskeiset asiat. Koemittaukset tehtiin ajanjaksolla 28.10.–24.11.2021.

Maastossa mittajat kirjasivat lomakkeille lahoppuustoa koskevat tiedot sekä kuhunkin mittausmenetelmään kuluvan ajan minuutin tarkkuudella (pois lukien tauot). Tämä lisäksi kaksi mittajaa selvitti yksittäisten relaskooppikoealojen ja ympyräkoealojen mittaamisen vaatimaa aikaa. Yhteensä 46 koealalta kellotettiin erikseen relaskooppimittauksen ja ympyräkoealan mittauksen vaatima aika sekunnin tarkkuudella.

2.3.2 Mittausmenetelmät

Hankkeessa toteutettujen haastatteluiden, syksyn työpajan ja projektiryhmän muun selvitystyön perusteella maastomittauksiin valittiin vertailtavaksi neljä menetelmää:

- 1) Tarkennettu silmävarainen arviointi
- 2) Linjoittainen relaskoopikoeala-arviointi
- 3) Linjoittainen ympyräkoeala-arviointi
- 4) Lahopuuston mittaus koko kuvion alalta (kokonaismittaus)

Mitattavien puiden minimiläpimitta (20 cm) ja minimipituus (1,3 m) olivat kaikissa menetelmissä samat. Kaikki minimiläpimitan ja minimipituuden täyttävät kuolleet puut arvioitiin tai mitattiin.

Tarkennettu silmävarainen arviointi

Käytämme tästä menetelmästä nimitystä tarkennettu silmävarainen arviointi erotukseksi sellaisesta subjektiivisesta silmävaraisesta arvioinnista, jossa lahopuun määrän arviointi ei perustu mittauksiin. Tarkennetussa silmävaraisessa arvioinnissa metsikkökuvio käytiin läpi suunnilleen yhdensuuntaisissa, edestakaisissa linjoissa siten, että voitiin havaita kaikki siellä olevat lahopuut. Puiden läpimittaa ei mitattu yksilöllisesti, vaan puiden lukumäärä laskettiin läpimittaluokittain. Arvioinnin tarkkuuden lisäämiseksi puista voitiin tehdä välillä tarkistusmittauksia.

Kuolleiden pystypuiden ja maapuiden yhteenlaskettu kappalemäärä kuviolla arvioitiin 10 cm läpimittaluokittain: 20–29 cm, 30–39 cm, 40–49 cm jne. Tilavuus laskettiin kuhunkin läpimittaluokkaan kuuluvien puiden kappalemäärän sekä luokan keskimääräisen rungon tilavuuden avulla. Esimerkiksi luokan 20–29 cm keskimääräinen runko on 25 cm ja sen tilavuus noin 0,5 kuutiota, luokan 30–39 cm keskimääräinen runko on 35 cm ja sen tilavuus noin 1 kuutiota jne. Arvioinnissa käytettävät, läpimittaluokittaiset keskimääräisen rungon tilavuudet oli annettu maastolomakkeessa yllä olevan mukaisesti. Tilavuudet oli pyöristetty laskennan helpottamiseksi. Menetelmien vertailussa lopullisessa tilavuuslaskennassa käytettiin kuitenkin kunkin luokan keskimääräisen puun Laasasenahon (1982) rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvia tarkempia tilavuuksia.

Lahopuun määrän lisäksi koko kuviolta arvioitiin lahopuujatkumo (lahoastejakauman tasaisuus) seuraavalla luokituksella:

- 1 = heikko lahopuujatkumo; valtaosa kuvion kuolleista puista joko kuollutta pystypuustoa tai kovia maapuita, vanhempia maapuita korkeintaan yksitellen.
- 2 = kohtalainen lahopuujatkumo; kuviolla kuolleen pystypuuston ja kovien maapuiden lisäksi vähintään noin kolmasosa kuolleesta puustosta pidemmälle lahonneita (keskilahoja ja pitkälle lahonneita) maapuita.
- 3 = hyvä lahopuujatkumo; kuviolla vähintään noin kolmasosa maapuurungoista on pitkälle lahonneita, vähintään noin kolmasosa keskilahoja ja korkeintaan noin kolmasosa vielä kovia, melko äskettäin kuolleita.

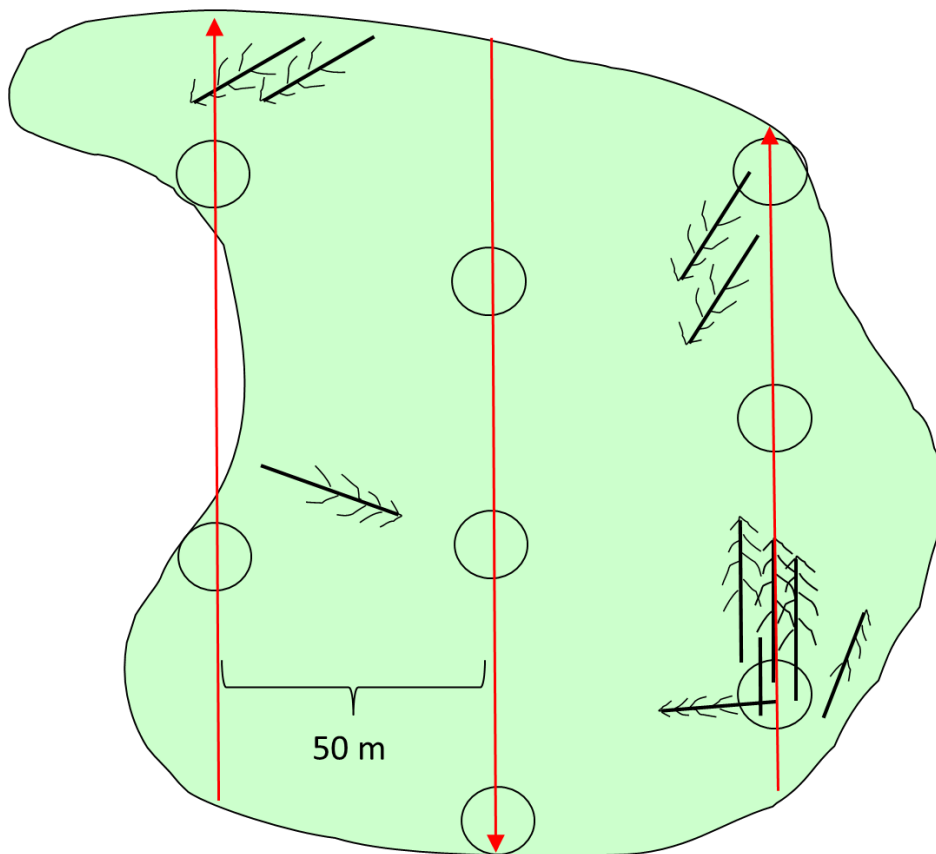
Tarkennetusta silmävaraisesta arvioinnista kirjattiin mittaukseen käytetty aika, arvio kohteen lahoppuun määrästä kuution tarkkuudella ja lahoppuujatkumon luokka.

Linjoittainen relaskooppikoeala-arviointi ja linjoittainen ympyräkoeala-arviointi

Linjoittainen relaskooppikoeala-arviointi ja linjoittainen ympyräkoeala-arviointi tehtiin samanaikaisesti, jolloin voitiin käyttää täsmälleen samoja koealakeskipisteitä.

Koealojen sijoittaminen

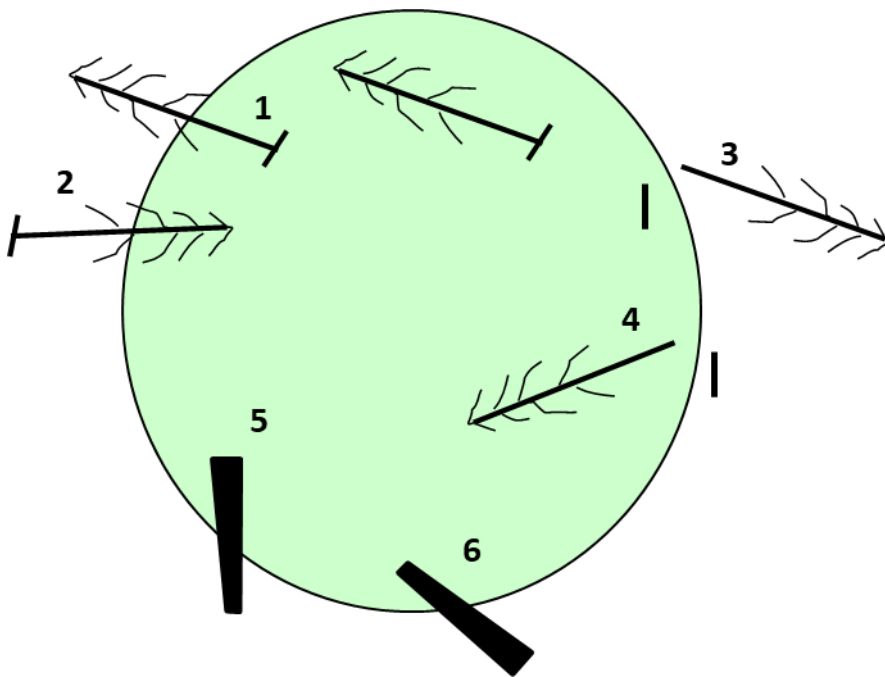
- Linjoittaisessa koeala-arvioinnissa linjat suositeltiin perustettaviksi pääkompassisuuntiin (etelästä pohjoiseen ja päinvastoin tai idästä länteen ja päinvastoin) (kuva 1).
- Systemaattisessa linjoittaisessa koealaotannassa linjojen väli ja linjoilla olevien koealojen väli oli 50 metriä. Näin ollen koealojen keskipisteet olivat 50 x 50 m ruudukossa ja jokainen koeala vastasi 0,25 ha pinta-alaa. Jokaiselle kuvion hehtaarille osuu keskimäärin 4 koealaa, ja keskimääräiselle parin hehtaarin talousmetsäkuviolle siten 8 koealaa. Linjojen ja koealojen välimatka mitattiin askelmitalla. Koealan sijainti täsmälleen oikeassa kohdassa ei ole tärkeää, koska tilavuuden laskenta perustuu joka tapauksessa koealojen määrään ja tarkasti mitattuun pinta-alaan. Koealojen sijoittaminen suunnilleen yhdensuuntaisille linjoille ja niiden välisten etäisyyksien mittaaminen askelmitalla varmistaa sen, että koealaverkko kattaa systemaattisesti koko metsikön ja koealojen keskipisteet sijoitetaan satunnaisiin kohtiin.
- Ensimmäisen kuvion poikki kulkevan linjan aloituspiste sijoitettiin kuvion reunaan noin puolen linjavälin etäisyydelle mitattuna kuvion äärimmäisestä länsi-, itä-, etelä- tai pohjoisreunasta (riippuen siitä, mistä kuvion päästä on tarkoituksenmukaisinta aloittaa). Tämän jälkeen seuraavat linjat tulivat edellisestä aina 50 metrin päähän. Ensimmäinen ympyräkoeala tuli 25 metrin etäisyydelle aloituspisteestä ja sitä seuraavat edellisestä aina 50 metrin päähän.
 - Linjan loppuun saavuttaessa koealavälin metrimäärän laskenta jatkui juoksevana. Toisin sanoen, jos edellinen linja loppui etäisyyteen 90 metriä, jolloin sille ei aivan mahtunut toista koealaa, niin seuraava koeala sijoitettiin seuraavalle linjalle 10 metriä sen alusta, eli 100 metrin etäisyydelle linjojen alkupisteestä.
 - Jos koealan keskipiste sattui niin lähelle reunaa (alle 10 m), että koeala ei mahtunut kokonaan kuviolle, siirrettiin keskipistettä 10 m etäisyydelle kuvion reunasta.



Kuva 1. Linjoittaisen ympyräkoeala-arvioinnin periaate. Esimerkissä runsaan hehtaarin kokoiseen metsikköön on sijoitettu säteeltään 10 m (pinta-ala 314 m²) ympyräkoealoja systemaattisesti siten, että koealojen keskipisteiden väli on 50 metriä.

Koealojen mittaus

- Ympyräkoealan säteenä käytettiin 10 metriä, jolloin yhden koealan pinta-ala oli 314 m². Puiden kuuluminen koealaan on havainnollistettu kuvassa 2.



Kuva 2. Puiden kuuluminen koealaan. 1: kaatunut puu kuului kokonaan koealaan, koska sen syntypiste oli koealalla. 2: kaatuneen puun koealalla olevaa latvaosaa ei mitattu, koska puun syntypiste oli koealan ulkopuolella. 3: murtunut puu, jonka rungosta suurin osa oli pudonnut koealan ulkopuolelle, kuuluu kokonaan koealaan, koska sen syntypiste (luonnonkanto) sijaitsi koealalla. 4: murtunut puu, jonka rungosta suurin osa oli pudonnut koealan sisään, ei kuulunut koealaan, koska sen syntypiste (luonnonkanto) sijaitsi koealan ulkopuolella. 5: sahattu pölli tai pitkälle lahonnut maapuu, jonka syntypistettä ei pystytty selvittämään, kuului koealaan, koska sen paksumpi pää sijaitsi koealan sisällä. 6: sahattu pölli tai pitkälle lahonnut maapuu, jonka syntypistettä ei pystytty selvittämään, ei kuulunut koealaan, koska sen paksumpi pää sijaitsi koealan ulkopuolella.

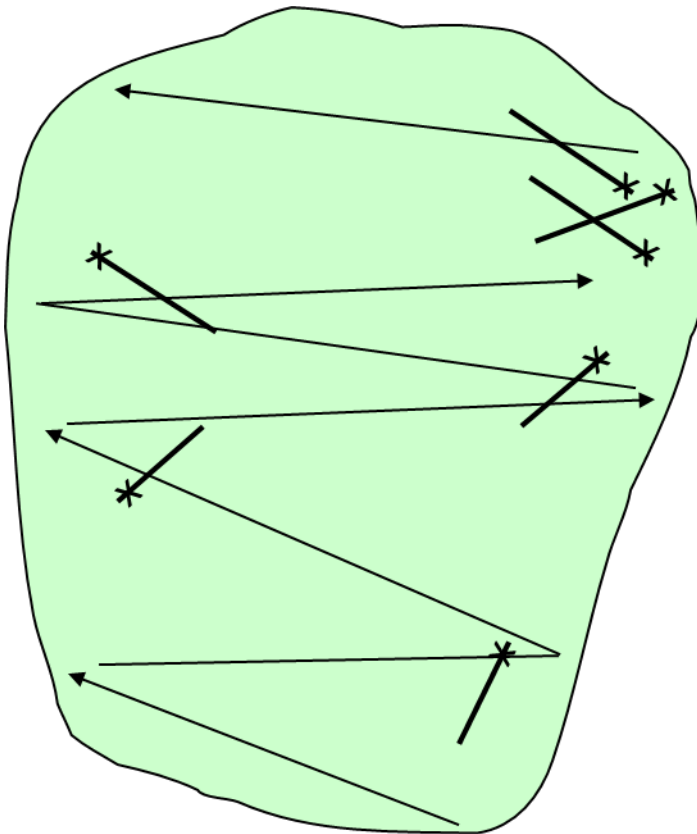
Linjoittaisessa ympyräkoeala-arvioinnissa mitattiin jokaisesta ympyräkoealalle sattuneesta kuolleesta puusta ja lahopuukappaleesta (miniläpimitta 20 cm, minimipituus 1,3 metriä) erikseen runkomuuttajat (kuvattu alla kokonaismittauksen yhteydessä). Kaikista puista mitattiin vähintään läpimitta ja muista kuin kokonaisista puista lisäksi pituus, jotta puiden tilavuuden laskenta olisi mahdollista. Kokonaisten puiden pituus laskettiin jälkikäteen perustuen koepuuaineistoon.

Linjoittaisessa relaskooppikoeala-arvioinnissa kultakin koealalta kirjattiin erikseen kuolleiden pystypuiden ja maapuiden pohjapinta-ala. Relaskooppimittauksessa puista ei mitattu läpimittoja, vaan kukin koealaan tuleva puu edusti tiettyä pohjapinta-alaa hehtaaria kohden (relaskooppikertoimella yksi yhtä neliömetriä per hehtaari).

Kokonaismittaus

Lahopuut mitattiin kulkemalla kuvion poikki edestakaisin niin, että kaikki minimiläpimitan täyttävät kuolleet puut varmasti huomattiin (kuva 3). Mitatut pystypuut voitiin merkitä rinnankorkeudelle

merkityllä liitumerkillä, jolla voitiin varmistua siitä, että kaikki puut oli mitattu ja puita ei toisaalta mitattu vahingossa kahteen kertaan. Pidemmälle lahonneita maapuita ei yleensä pysty merkitsemään liidulla, joten ne voitiin merkitä poistamalla sammalta rinnankorkeuden kohdalta tai nostamalla maasta sammaltukko rungon päälle rinnankorkeudelle.



Kuva 3. Kuviolla kulkeminen lahoppuuston kokonaismittauksessa.

Kokonaismittauksessa ja ympyräkoealamittauksessa kirjattiin

- Puun numero
- Puulaji
- Läpimitta
 - kokonaisista kuolleista puista rinnankorkeusläpimitta, lahoppuukappaleista tyviläpimitta
- Laatu (puun ulkoasu), valtakunnan metsien inventoinnin mukainen laatuluokitus:
 - 0 = ei tietoa (yleensä pitkälle lahonneista maapuista)
 - 1 = kokonainen pystyyn kuollut puu
 - 2 = pökölö tai korkea luonnonkanto, yli 1/3 rungon pituudesta murtunut
 - 3 = kokonainen juurineen kaatunut maapuu

- 4 = katkennut puu
- 5 = ihmisen tekemä korkea kanto tai tekopötkkelö [huom. mitattavien puiden minimipituus 1,3 metriä]
- 6 = tyveys tai jätetty pölli
- 7 = ihmisen tekemä latvaosa (esim. hakkuutähde).
- Lahoaste, valtakunnan metsien inventoinnin mukainen luokitus:
 - 1 = Puuainekseltaan kova. Puukko tunkeutuu puuhun vain muutaman millimetrin. Luokkaan kuuluvat myös kovat kelopuut ja muut pystyyn kuolleet puut sekä äskettäin kaatuneet puut, joissa puuaines ei ole alkanut lahota.
 - 2 = Pintalahko. Puukko tunkeutuu puuhun 1–2 cm.
 - 3 = Melko pehmeä. Puukko tunkeutuu puuhun 3–5 cm.
 - 4 = Läpilahko. Puukko tunkeutuu puuhun helposti kahvaa myöten.
- Pituus

Kokonaisten kuolleiden puiden tilavuus laskettiin Laasasenahon (1982) puulajikohtaisilla rinnankorkeusläpimitan ja pituuteen perustuvilla tilavuusyhtälöillä. Koska koealoilta ei mitattu kokonaisista puista pituuksia, puille laskettiin pituudet aiemmin mitattujen koepuuaineistojen avulla sovittamalla niihin Näslundin pituusyhtälö, jota käytetään yleisesti puiden rinnankorkeusläpimitan ja pituuden suhteen kuvaamiseen (esim. Siipilehto ja Kangas 2015). Mäntyvaltaisille kuivahkon kankaan koealoille (Salmio ja Rasinkylä 32) laskettiin pituusyhtälö männylle käyttäen Somerolta, Tammelasta ja Nousiasta kuivahkoilta kankailta mitattua mäntykoepuuaineistoa ($n = 52$), kuusivaltaisille tuoreen kankaan koealoille (Sandvik ja Rasinkylä 64) laskettiin pituusyhtälö kuuselle käyttäen Sipoosta tuoreelta kankaalta mitattua kuusi- ja mäntykoepuuaineistoa ($n = 1675$).

Lahopuukappaleiden tilavuus laskettiin lieriön kaavalla kunkin kappaleen keskiläpimitan ja pituuden perusteella. Keskiläpimitta laskettiin mitatun tyviläpimitan perusteella olettaen kapenemiseksi sentti metriä kohti. Kaksiosaisille puille (pötkkelö ja maapuuosa) laskettiin koko puun tilavuus tilavuusyhtälöllä rinnankorkeusläpimitan avulla ja pötkkelöosan tilavuus lieriön kaavalla. Maapuuosan tilavuus saatiin vähentämällä koko puun tilavuudesta pötkkelöosan tilavuus.

2.3.3 Mittausmenetelmien vertailu

Mittausmenetelmien vertailussa keskityttiin tarkastelemaan lahopuun kokonaistilavuuden arvion tarkkuutta sekä mittauksen eri menetelmillä vaatimaa aikaa. Menetelmien keskinäistä paremmuutta voidaan arvioida kolmen kriteerin perusteella: 1) Menetelmän tulisi olla harhaton, eli sen pitäisi tuottaa keskimäärin oikeita tuloksia, joissa ei ole systemaattista aliarviota tai yliarviota. 2) Menetelmän tulisi olla mahdollisimman täsmällinen, eli eri mittaustulosten keskihajonnan pitäisi olla mahdollisimman pieni. 3) Koska mittauksen kustannukset ovat suorassa suhteessa mittauksen vaatimaan aikaan, mittausmenetelmän tulisi olla mahdollisimman nopea. Kustannustehokas on sellainen mittausmenetelmä, joka tuottaa halutun tulosten tarkkuuden mahdollisimman pienillä kustannuksilla. Se, kumpaa painotetaan, tarkkuutta vai kustannuksia, riippuu tulosten käyttötarkoituksesta.

Silloin kun mittausmenetelmän tarkoituksena on soveltua laajasti eri metsäalan toimijoiden tarpeisiin, mahdollisimman pieni keskihajonta eri mittaajien mittausten välillä on tavoitteena oleva ominaisuus. Toisin sanoen hyvä menetelmä on sellainen, jolla eri mittaajien saamat tulokset poikkeavat mahdollisimman vähän toisistaan. Tietyn suuruisen mittausvirheen merkitys riippuu siitä, kuinka paljon metsikössä on lahoppuuta. Esimerkiksi jos metsikössä on todellisuudessa 50 m³/ha lahoppuuta, ei 5 m³/ha poikkeama tästä suuntaan tai toiseen ole useimpiin käyttötarkoituksiin liian suuri virhe. Jos metsikössä sen sijaan on vain 5 m³/ha lahoppuuta, on 5 m³/ha poikkeama tästä suuntaan tai toiseen todennäköisesti niin vakava virhe, että mittaustulosta voidaan pitää käyttökelvottomana. Voidaan olettaa, että tietyn metsikön lahoppuuston kokonaistilavuuden mittaukset poikkeavat enemmän toisistaan sellaisissa metsiköissä, joissa lahoppuun tilavuus on suuri kuin metsiköissä, joissa lahoppuun tilavuus on pieni. Tästä syystä absoluuttisen virheen sijaan mielekkäämpää on tarkastella suhteellista virhettä, toisin sanoen kuinka paljon mittausvirhe poikkeaa todellisesta tilavuudesta prosentteina.

Kustannus-hyöty-analyysistä (CBA, Cost-Benefit Analyses) on kyse silloin, kun sekä menetelmän tuotot että kustannukset pystytään mittaamaan rahayksikköinä tai muuntamaan rahayksiköiksi. Kustannusvaikuttavuusanalyysistä (CEA, Cost-Effectiveness Analyses) on puolestaan kyse silloin, kun menetelmän tavoitteena olevia vaikutuksia ei pystytä muuntamaan rahayksiköiksi (esim. Levin & McEwan 2000). Tällöin vaihtoehtoisten menetelmien kustannusvaikuttavuutta suhteessa verrokiksi valittuun menetelmään voidaan tarkastella nk. inkrementaalisen kustannusvaikuttavuussuhteen (ICER, Incremental Cost-Effectiveness Ratio) avulla (esim. Peura ym. 2011). Kustannusvaikuttavuusanalyysit ovat yleisiä esimerkiksi terveydenhoitomenetelmien tai koulutusohjelmien vaikutusten tarkastelussa.

Menetelmien kustannusvaikuttavuutta verrattiin siten, että oletettiin mittausten vaatiman ajan olevan suorassa suhteessa mittauksen kustannuksiin. Mittausten haluttua vaikutusta arvioitiin puolestaan prosentuaalisen keskivirheen avulla. Verrokkimenetelmänä käytettiin tarkennettua silmävaaraista arviointia, johon muita menetelmiä verrattiin. Vertailussa tarkasteltiin sitä, millä tavoin mittauksen kustannukset eli mittausten vaatima aika hehtaaria kohti kasvaa (tai pienenee) ja millä tavoin mittaustulosten hajonta pienenee (tai kasvaa), kun verrokkimenetelmästä siirrytään vaihtoehtoiseen menetelmään. Tuloksia tarkasteltiin vaikuttavuus-kustannus-kuvaajan avulla.

Tilastolliset analyysit

Mittausmenetelmien tarkkuutta selvitettiin siten, että kullekin menetelmälle laskettiin erikseen, kuinka paljon mitatut tilavuudet poikkesivat prosentuaalisesti todellisesta tilavuudesta. Jos näiden poikkeamien keskiarvo on nolla, tuloksissa ei ole systemaattista virhettä. Kunkin menetelmän tarkkuus testattiin yhden otoksen t-testin avulla.

Menetelmien eroa täsmällisyydessä eli keskihajonnan suuruudessa selvitettiin siten, että kullekin menetelmälle laskettiin erikseen, kuinka paljon mitattujen tilavuuksien itseisarvot poikkesivat prosentuaalisesti mittausten keskiarvosta (PD). Esimerkiksi 50 %:n poikkeama suuntaan tai toiseen tarkoittaa sitä, että yksittäinen tilavuusarvio on puolta suurempi tai pienempi kuin mitattujen tilavuuksien keskiarvo. Mittausmenetelmien eroja täsmällisyydessä testattiin yleisellä lineaarisella sekamallilla, jossa selitettävä muuttuja oli PD, ja selittävät muuttujat olivat mittausmenetelmä (kiinteä vaikutus) sekä mittaaja (satunnaisvaikutus). Myös mittausmenetelmä x mittaaja -yhdysvaikutus sisällytettiin malliin.

Mittausmenetelmien eroja ajankäytössä testattiin vastaavalla mallilla, jossa selitettävä muuttuja oli mittausaika ja selittävät muuttujat olivat mittausmenetelmä (kiinteä vaikutus) sekä mittaaja (satunnaisvaikutus). Myös mittausmenetelmä x mittaaja -yhdysvaikutus sisällytettiin malliin. Mittausmenetelmien parittaiset vertailut tehtiin Tukeyn testin avulla.

Koska kukin mittaaja perusti koealaverkon kuhunkin metsikköön itsenäisesti, inventointilinjoiden aloituskohdat ja suunnat saattoivat vaihdella, ja koealojen keskipisteiden etäisyyksiä ei mitattu täsmällisesti vaan askelmitalla, kaikkien mittaajien yhteen metsikköön perustamat koealat sattuiivat käytännössä satunnaisiin kohtiin. Yhdistettyjen koealojen määrä vaihteli 33:sta (Rasinkylä 32) 69:ään (Sandvik). Käytimme bootstrap-otantaa (uudelleenotanta takaisinpanolla) sen selvittämiseen, miten koealoihin perustuvan otannan prosentuaalinen keskihajonta riippui metsiköstä mitattujen koealojen määrästä. Kustakin metsiköstä poimittiin satunnaisesti 1000 kertaa 1, 2, 3, ... 50 relaskoopikoealaa tai ympyräkoealaa, ja näin saatujen koealasettien keskihajonta laskettiin.

2.3.4 Koemittaajien kokemukset maastotöistä

Kaikkia maastossa mittauksia tehneitä henkilöitä haastateltiin mittauksen jälkeen. Tavoitteena oli selvittää mittaajien tekemiä havaintoja ja heidän ajatuksiaan kehittämistarpeiksi. Erityisesti haluttiin näkemyksiä siitä, ovatko testatut menetelmät käytännössä toteuttamiskelpoisia ja helposti omaksuttavissa.

3) Tulokset

3.1 Nykyisin käytössä olevat lahoppuun arviointikäytännöt

Haastatelluista puolet (10 henkeä) vastasi, että heidän organisaatiossaan on yhteisesti sovittu menettelytapa lahoppuun arviointiin. Puolet (10 henkeä) vastasi, että yhteisesti sovittua menetelmää ei ole. Useimmiten lahoppuun arvioiminen perustui menetelmään, jossa lahoppuuston määrä arvioidaan silmäääräisesti ja tarpeen mukaan muutetaan tilavuudeksi keskimääräisen runkokoon perusteella.

Haastateltavien mukaan kaikissa niissä organisaatioissa, joissa oli yhteisesti sovittu menettelytapa lahoppuun arviointiin, asiasta oli laadittu kirjalliset ohjeet, jotka oli myös koulutettu. Menetelmien luotettavuutta tai henkilöistä johtuvaa arviointitulosten vaihtelua ei ollut systemaattisesti selvitetty. Haastatelluista 8 henkilöä vastasi, että yksittäistapauksina eri arviointien tulosten eroja on vertailtu. Vertailua on tehty sekä kahden eri menetelmän välillä että tietyllä menetelmällä eri henkilöiden mitaustulosten välillä. Haastatelluista organisaatioista kuusi käytti useampaa eri menetelmää riippuen tietojen käyttötarkoituksesta sekä arvioitavalla alueella olevan lahoppuuston määrästä ja sijainnista.

Osa haastateltavista mainitsi käyttäneensä useampaa menetelmää silloin, kun organisaatiossa ei ollut yhteisesti sovittuja menetelmiä tai kun he olivat käyttäneet eri menetelmiä aikaisemmin työuransa aikana. Haastatelluissa mainitut arviointimenetelmät voidaan jakaa viiteen menetelmään, joista osaa sovellettiin eri tavoin (suluissa lukumäärä siitä, kuinka monta kertaa menetelmä mainittiin käytetyksi):

- silmävarainen arviointi (7 kpl)
- yksinpuin lukeminen (3 kpl)
- relaskoopimittaukset (11 kpl)
- ympyräkoeala-arviointi (1 kpl)
- kaistalearviointi (3 kpl)

Lahoppuuston silmävarainen arviointi nimettiin käytettäväksi menetelmäksi seitsemässä vastauksessa. Silmävaraista arviointia käytettiin haastateltavien mukaan silloin, kun ei ole tarvetta tarkkaan tulokseen, vaan riittää, että lahoppuuston määrä joko ylittää tai alittaa tietyn raja-arvon, esim. METSO I -luokan kohteissa 10 m³/ha.

Lahoppuuston yksinpuin lukeminen nimettiin käytettäväksi menetelmäksi kolmessa vastauksessa. Menetelmässä lasketaan kaikki arvioitavan alueen pysty- ja maalahoppuut ja tulos kerrotaan havainnoidulla tai mitatulla lahoppuuston rungon keskitilavuudella. Haastateltavien mukaan menetelmä on työläs, ja sopii pienille alueille ja metsikkökuvioille. Suurille, esim. yli 5 hehtaarin, alueille se ei vastaa-jien käsityksen mukaan sovellu ainakaan silloin, jos lahoppuustoa on paljon.

Relaskoopimittauksiin perustuva arviointi on haastattelujen perusteella käytetyin menetelmä. Se tuotiin esiin 11 haastattelussa. Toteutuksessa voidaan erottaa kaksi eri versiota sen mukaan, tehdäänkö metsikkökuvion muodon mukaan määräytyvä mittaustulosten ja niille sijoitettavien relaskoopipikoealojen sijainnin määrittely ennakkoon ennen maastoon menoa, vai vasta metsikkökuvion saapumisen jälkeen. Relaskoopilla mitataan paitsi pystylahoppuut myös maalahoppuut ”käännettyinä

pystyyn”. Lahopuuston epätasainen sijainti metsikkökuvioilla, yleensä harvassa ja toisinaan paikoittain isoissa ryhmissä, mainittiin haasteeksi relaskooppimittauksessa.

Lahopuuston mittaaminen ympyräkoealoilta mainittiin käytössä olevaksi menetelmäksi vain yhdessä vastauksessa. Ympyräkoealan säteenä käytettiin 10 metriä.

Kaistalearviointi mainittiin käytettäväksi menetelmäksi kolmessa vastauksessa. Haastateltavien mukaan kaistalearviointi poikkeaa muista käytössä olevista menetelmistä siinä, että se ei onnistu yhden henkilön mittaamana, vaan ryhmässä pitää olla 2–3 henkeä. Käytössä on menetelmä, jossa 8 metriä leveää kaistaa vedetään 65 m/ha, eli ko. alueen pinta-alasta tulee otantaan mitattavaksi noin 5 %. Kaistojen sijainti määritetään ennakkoon kartalle. Lahopuiden kappalemäärät kirjataan ja tilavuudet lasketetaan ohjelmalla keskimääräisten runkojen tilavuuden avulla. Menetelmän arvioitiin sopivan myös suurten, yli 10 hehtaarin alueiden arviointiin. Sen arvioitiin olevan runsaasti aikaa ja henkilöresursseja vaativa ja siten kallis.

Alla kuvataan haastatteluiden perusteella saatuja näkökohtia siitä, kuinka lahopuu eri organisatioissa määritellään, miksi lahopuuta mitataan sekä koostetaan haastateltavien ehdotuksia lahopuun mittaamenetelmän kehittämiseksi.

Lahopuun määritelmä

Pääosa vastanneista määritteli, että lahopuu on maastossa tehtävän silmävaraisen arvion perusteella tunnistettu kuollut puu. Pystypuu luetaan lahopuuksi silloin, kun kaikki neulaset tai lehdet ovat kuolleet. Osa vastaajista lisäsi, että usein myös puun kaarnan tulee irrota. Tuulenskaatopuiden lukemisesta elävään puustoon tai lahopuustoon vastattiin pääosin samoin: jos puussa ei ole enää eläviä neulasia tai lehtiä, se on kuollut puu ja samalla lahopuu. Osa vastasi, että silloin kun puu kelpaa vielä laatunsa puolesta sellupuuksi, sitä ei lasketa lahopuuksi.

Pitkälle lahonneen puun määrittäminen joko edelleen lahopuuksi (lahoasteluokka 4) tai jo täysin lahonneeksi (ei enää lahopuu) koettiin vaikeaksi. Osa vastasi, että kun runko tai sen muodostama kohouma on edelleen selvästi erotettavissa, kyseessä on lahopuu. Osan mukaan kyseessä on lahopuu, kun puuaines on edelleen kasassa runkomaisena. Jos runko on jo selkeästi pirstaleina, puuta ei lueta enää lahopuuksi. Kuvauskoptereilla (drone) tehtävässä hakkuiden luontolaadun mittauksissa samalla loituneista maapuungoista ei voida määrittää, onko niissä puuaines edelleen kasassa. Tällöin runkoja ei kirjata enää lahopuiksi.

Lahopuuston arvioinnissa mukaan luettavan lahopuuston minimiläpimitta vaihteli välillä 7 ja 20 cm. Vastauksissa viitattiin METSO-kriteerien 15 cm:n rajaan ja metsäsertifiointijärjestelmien rajoihin 10 ja 20 cm. Yleisin käytetty raja oli 10 cm.

Lahopuuston merkitys ja syyt lahopuuston arvioimiseksi

Kysymykseen lahopuuston tärkeydestä ja merkityksestä jokainen haastateltava mainitsi monimuotoisuuden. Vastanneista puolet mainitsi myös lahopuun toimimisen hiilivarastona. Samalla he totesivat tämän näkökulman olevan verrattain uusi. Lisäksi mainittiin metsien suojele, uhanalaiset lajit ja

metsän terveys sekä se, että lahoppuusto on yksi keskeisimpiä eroja luonnonmetsien ja talousmetsien välillä.

Haastateltujen henkilöiden tekemien lahoppuarviointien määrät vaihtelivat paljon. Osa oli tehnyt lahoppuuston arviointia vain muutaman kerran vuodessa, useimmiten FSC:n kontrolloidun puun korkean suojeluarvon (HCV) alueista runsalahoppuustoisten metsien arviointia. Sitä vastoin maastotyökaudella sulan maan aikana tehtiin jopa kymmeniä päiviä luontokartoituksia, metsän luonnontilan arvioimista, METSO-ohjelman ja metsätalouden ympäristötuen kriteerien täyttymisen arviointia. Samoin leimikoiden suunnittelua FSC-sertifioiduissa metsissä, jota tehdään ympäri vuoden. Kuvauskopereilla (drone) tehdään koko sulanmaan aika hakkuun lainmukaisuuden valvontaa, ja samalla talousmetsien luonnonhoidon keinoista elävän ja kuolleen säästöpuuston sekä suojavyöhykkeiden vertaamista PEFC-metsäsertifiointin vaatimuksiin. Kaikkiaan lahoppuuston arviointia mainittiin käytettävän seuraaviin tarkoituksiin:

- metsän luonnontilan arvioiminen
- luontokartoitukset
- METSO-ohjelman kriteerien täyttäminen
- ympäristötukikohteiden kriteerien täyttäminen
- luonnonsuojelualueiden hankinta ja niiden hoito- ja käyttösuunnitelmat
- uusien Natura-alueiden inventointi
- Metsähallituksen alue-ekologiset suunnitelmat
- metsälakitarkastukset
- lumi-, myrsky- ja hyönteistuhojen arvioinnit
- luonnonhoidon laadun seuranta
- kaukokartoituksen tarkistusmittaukset
- leimikoiden suunnittelu FSC-sertifioiduissa metsissä
- sen selvittäminen, täyttävätkö suunnitelluilla leimikoilla olevat lahoppumäärät FSC:n kontrolloidun puun korkean suojeluarvon (HCV) alueista runsalahoppuustoisen metsän vaatimukset.

Vaikka lahoppu nähtiin olennaisena metsän rakennepiirteenä ja monimuotoisuuden mittarina, tuotiin esiin sen olevan kuitenkin vain yksi metsän monimuotoisuutta kuvaava indikaattori. Haastateltavat mainitsivat, että lahoppuun lisäksi on usein tarpeen arvioida myös kohteen muita ominaispiirteitä, sillä metsässä voi olla muita merkittäviä luontoarvoja. Nähtiin myös tärkeänä, että mittaaminen ei perustu pelkästään lahoppuun määrään vaan myös sen laadullinen vaihtelu tulisi ottaa huomioon (esim. lahoaste, puiden järeys, puulaji).

Saatujen vastausten mukaan, mitä suurempi tarkkuustavoite on lahoppuuston määrän arvioinnille, sitä tarkempaa arviointimenetelmää käytetään. Kevyintä menetelmää, silmävaraista arviointia, käytetään esimerkiksi METSO-kohteiden arvioinnissa. Lahoppuuston määrän osalta riittää tieto, että määrä joko ylittää tai alittaa tietyn raja-arvon, esim. METSO I-luokan runsalahoppuustoinen kangasmetsä -kohteissa 10 m³/ha ja METSO II-luokan kohteissa 5 m³/ha.

Haastateltujen mukaan tarkkuustavoitteen kasvaessa käytetään yksinpuin lukemista, esimerkiksi leimikoiden suunnittelussa FSC-sertifioiduissa metsissä, metsälakitarkastuksissa ja luonnonhoidon laadun seurannassa. Kun arvioitavan alueen pinta-ala kasvaa useampaan hehtaariin, silmävaraista

arviointia ja yksinpuin lukua ei haastateltujen arvion mukaan voida käyttää, vaan menetelmän tulisi olla otantaan perustuva. Näissä tapauksissa käytetään joko relaskooppimenetelmää tai kaista-arviointia. Haastateltavat tunnistivat sen, että lahoppuuston epätasainen sijainti metsikkökuvioilla aiheuttaa ongelmia mittaustarkkuuteen kaikissa otantaan perustuvissa menetelmissä.

Lahopuiden laadun arviointi

Haastatelluista kaksi kolmasosaa vastasi, että arvioinnissa kirjataan erikseen pysty- ja maalahoppu. Haastatelluista puolet mainitsi kirjaavansa lahoppuuston erikseen puulajeittain. Osa ei erottele puulajia millään tapaa ja osa kirjaa erikseen havu- ja lehtilahoppuun. Puolet vastanneista kirjaa erikseen eri lahoasteet. Osa kirjaa, onko kohteella lahoppuujatkumoa.

Lahoppuutiedon tallentaminen

Lahoppuutieto tallennetaan maastossa joko maastotallentimelle tai paperilomakkeelle. Määrämuotoisia lomakkeita on käytössä mm. sekä METSO- että metsätalouden ympäristötukikohteita varten, samoin kuin metsätuhojen arviointiin. Tiedot siirretään tai tallennetaan arvioinnin jälkeen organisaatioiden omiin järjestelmiin.

Kaukokartoitusmenetelmien käyttö

Vastanneista lähes puolet kertoi, että kaukokartoitusmenetelmiä ei käytetä lahoppuuston arviointiin, koska niistä ei ole siinä hyötyä. Odotukset menetelmien kehittymiseksi ovat kuitenkin suuret, ja osa haastatelluista organisaatioista on mukana kaukokartoitusmenetelmien kehittämishankkeissa. Runsaat puolet haastateltavista toi esiin, että kaukokartoitusaineistoja käytetään, vaikkakaan ei suoraan kuvaamaan lahoppuun määriä. Kaukokartoitusmenetelmiä mainittiin käytettävän seuraavilla tavoilla:

- alue-ekologisen suunnittelun ennakkotarkastelussa suuntaamaan maastotyötä
- luontokartoituksissa harvassa asennossa kasvavissa metsissä
- apuna koealalinjojen suuntaamisessa
- FSC:n kontrolloidun puun HCV-alueiden tunnistamisen priorisointikarttoja maastotyön kohdentamiseen
- päättyvien ympäristötukisopimuskohteiden luonnontilan arviointiin
- kuvauskohterilla tehtävään metsälakitarkastukseen hankitaan satelliittikuvatulkinnasta tiedot siitä, onko leimikot hakattu
- lumi- ja myrskytuhoalueiden sijainnin ja laajuuden selvittämiseen.

Nykyisten arviointimenetelmien haasteet ja kehittämistarpeet

Lahoppuun mittaamiseen liittyvinä haasteina todettiin eri toimijoiden vaihtelevat toimintatavat. Esi-merkkinä mittaamisen vaikeuksista tuotiin täysin sammalpeitteen alla olevien maapuiden löytämisen vaikeus ja sen määrittäminen, luetaanko ne eri mittaajien toimesta edelleen lahoppuiksi.

Keskeisenä mittaamiseen liittyvänä ongelmana todettiin myös lahopuiden epätasainen tilajärjestys, mikä aiheuttaa vaihtelua mittaustarkkuuteen ja tulosten yleistettävyyteen.

Lahopuun arvioimista ja mittausmenetelmien kehittämistä pidettiin yleisesti tärkeänä. Suuri osa haastateltavista piti keskeisenä, että lahopuun arvioimiseen käytettävän menetelmän tulisi olla yleisesti hyväksytty ja selkeästi kuvattavissa, minkä myötä eri toimijoiden mittaamat tulokset olisivat vertailukelpoisia. Objektiivisuuden kannalta olisi tärkeää, että menetelmä ohjeistettaisiin kirjallisesti ja yksiselitteisesti. Useissa vastauksissa tuotiin esiin, että maastokohteilla käytettävä aika on rajallinen, joten menetelmän tulisi olla nopeasti toteutettava eli kustannustehokas.

Vaikka yhteistä lahopuun arvioimismenetelmää pidettiin hyödyllisenä, tuotiin esiin tarve pohtia, riittääkö yksi menetelmä vastaamaan erilaisiin käyttötarkoituksiin. Pidettiin tärkeänä, että kehitettävällä menetelmällä tulisi pystyä tunnistamaan esimerkiksi FSC-sertifiointin mukaiset runsaslahopuustoiset kohteet. Myös maantieteestä, kasvupaikasta ja metsän aikaisemmasta käsittelyhistoriasta johtuen kohteiden välillä on paljon vaihtelua, eikä yleispätevä menetelmä välttämättä sovi joka tilanteeseen. Myös arvioitavan kohteen pinta-ala vaikuttaa siihen, kuinka mittaus tulisi suorittaa.

Pääosa haastateltavista piti noin 20 %:n mittaustarkkuutta riittävänä (vastauksissa vaihteluväli oli 10–30 %). Samalla tuotiin kuitenkin esiin, että tavoiteltava mittaustarkkuus riippuu siitä, mihin tarkoitukseen lahopuun määrää arvioidaan. Esimerkiksi METSO-kriteerien arvioinnissa riittää tieto siitä, onko kohteella lahopuuta yli vai alle 10 kuutiota hehtaarilla.

Yksittäisinä mainintoina tuotiin esiin myös seuraavia kehittämistarpeita:

- menetelmän tulee olla yksinkertainen, eikä tiettyyn tekniikkaan (esim. ohjelmistot) sidottu
- lahopuuston arvioinnissa tulisi hyödyntää kaukokartoituksen ja hakkuukoneiden keräämää tietoa
- pidemmälle lahonneiden ja sammaloituneiden maapuiden tunnistamiseen tulisi antaa selkeä tulkinta
- mittausmenetelmää tukeva sovellus olisi hyödyllinen
- koealojen koordinaatit tulisi voida kirjata ylös, jolloin koealat voitaisiin tarpeen mukaan käydä tarkastamassa myöhemmin.

3.2 Työpajat

3.2.1 Syksyn 2021 työpajan tulokset

Työpajassa käytiin läpi projektiryhmän esitys maastomittauksiin valituista menetelmistä ja keskusteltiin niiden kehittämistarpeista. Maastotestaukseen valittuja menetelmiä pidettiin perusteltuina, eikä lisättäväksi ehdotettu muita menetelmiä. Esitetyt menetelmät olivat osallistujille pääosin entuudestaan tuttuja ja niiden nähtiin olevan toteuttamiskelpoisia metsäammattilaisten tekeminä.

Nähtiin tärkeänä, että hankkeessa kehiteltujen mittausmenetelmien tulisi olla käytännönläheisiä, eikä niinkään tutkimuskäyttöön suunnattuja. Koska lahopuun arvioimista tehdään vaihteleviin tarpeisiin, tässä vaiheessa nähtiin hyödyllisenä vertailla useampaa menetelmää ja selvittää niiden hyviä ja huonoja puolia.

Silmävaraiseen arvioon liittyen pohdittiin, onko menetelmän testaaminen tarpeellista, koska kyse ei ole varsinaisesti mittaamisesta. Lopputulemana todettiin, että hankkeessa kuvattu tarkennettu silmävarainen arviointi eroaa kuitenkin tavanomaisista käytännöistä ja silmävaraista arviointia käytetään eri muodoissaan yleisesti, joten hankkeessa on hyvä mahdollisuus selvittää eri mittaajien saamia tuloksia ja verrata niitä muihin menetelmiin.

Koko kuvion tasolla tehtävään mittaukseen ja relaskoopin avulla tehtävään arviointiin liittyen ei esitetty merkittäviä muutoksia, mutta arvioinnin käytännön toteutusta todettiin tarpeelliseksi vielä täsmentää. Linjoittaista ympyräkoealamenetelmää todettiin käytetyn jo aikaisemmin, mutta sen huonona puolena nähtiin hitaus. Tuotiin esiin, että menetelmä voisi sopia tilanteisiin, joissa tarvitaan tarkempaa tietoa lahopuun määrästä, joten on hyödyllistä saada tietoa menetelmän tarkkuudesta.

Mittaustarkkuuteen ja lahopuun laadun arvioimiseen liittyvät näkökohdat

Lahopuun mittaustarkkuuteen liittyen tuotiin esiin, että toisinaan riittää tieto siitä, onko kohde runsas- vai vähälahopuustoinen, eikä tarkkaa kuutiotilavuutta ole tarpeen selvittää. Tällöin voisi riittää, että tehtäisiin silmävarainen arvio. Esitettiin myös vaihtoehto, jossa arvioinnin tulos olisi jaettu luokkiin, esimerkiksi 5 m³/ha porrastuksella. Toisaalta tuotiin esiin, että rajatapauksissa voidaan tarvita tarkempaa tietoa tilanteissa, joissa lahopuun määrä on lähellä luokkarajaa.

Osallistujien näkemykset lahopuun laadun arvioinnin tarpeellisuudesta vaihtelivat. Toisinaan riittää tieto ainoastaan lahopuun tilavuudesta, eikä laadullisilla tekijöillä ole niin suurta merkitystä. Tärkeinä laadullisina tunnuksina mainittiin lahoaste, puulaji, lahopuun tyyppi (maapuu/pystypuu) ja metsätuholain mukaisten puiden tunnistaminen.

Tuotiin esiin, että lahopuun mittaaminen vie sitä enemmän aikaa, mitä tarkempia tietoja ja yksityiskohtaisempia tuloksia halutaan saada. Toisaalta erillinen kappale- ja kuutiomäärä pystylahopuulle ja maalahopuulle ei juurikaan lisää ajanmenekkiä, koska yleisesti mitataan erikseen pysty- ja maapuut. Tuotiin esiin, että hankkeessa tehtävissä maastotestauksissa on syytä mitata myös lahopuun laatua (puulaji, lahoaste, maapuu/pystypuu), koska näin saadaan tietoa siitä, kuinka paljon aikaa minkäkin yksityiskohtaisen tiedon mittaaminen vaatii.

Mittauskäytännön kehittämisessä nähtiin tärkeänä, että lahoasteet on selkeästi määritelty, erityisesti juuri kuolleiden ja pitkälle lahonneiden puiden osalta. Olisi hyvä, jos hankkeessa kuvattaisiin selkeästi lahopuun/kuolleen puun määritelmä. Esitettiin pohdittavaksi, tarvitaanko erikseen lahopuun ja kuolleen puun määritelmiä vai tarkoitetaanko niillä samaa asiaa. Hankkeen lopputuloksena laadittavassa maasto-ohjeessa voitaisiin havainnollistaa lahoasteita selkein valokuvin. Lahopuun vähimmäisläpimitaksi sopivana pidettiin joko 10 tai 15 cm runkoja, mutta vähimmäisläpimitan todettiin myös riippuvan tavoitteesta.

Maastomittauksiin liittyviä näkökulmia

Maastotestaukseen valitut kohteet nähtiin hankkeen tavoitteisiin nähden sopivina. Keskusteltiin mahdollisista Pohjois-Suomeen liittyvistä maastotestaustarpeista. Olennaisia eroja Etelä-Suomeen verrattuna ovat ainakin suurempi kuviokoko.

Muita esille tuotuja kehittämistarpeita

- Toivottiin kaukokartoituksen hyödyntämistä. Mikäli menetelmillä ei vielä saada tarpeeksi tarkkaa tietoa lahopuun määrästä, voitaisiin niitä käyttää maastomittausten suunnittelussa, mahdollisessa ennakkokuvioinnissa ja yleisesti lahopuun mittaustarpeen määrittämisessä.
- Lahopuun arvioimismenetelmän tulisi olla kustannustehokas ja tulosten helposti jaettavissa.
- Olisi hyvä selvittää Trestima-sovelluksen mahdollisuuksia.
 - Trestimalla voidaan tunnistaa pystypuut, mutta ei vielä maapuita. Trestima osaa tunnistaa lahopuun, jos sen kuori on irronnut, mutta vaatii vielä kehitystyötä tarkkuuden parantamiseksi.
- Olisi hyvä pohtia, kirjataanko tulokset tasaisesti koko isolle kuviolle vai jaetaanko alue pienempiin kuvioihin sen mukaan, kuinka paljon tiettyssä kohdassa on lahopuuta.
- Osana hankkeen lopputuloksia voisi olla kaavio, jossa tiettyihin lahopuutiedon käyttötarkoituksiin suositetaan tiettyjä menetelmiä. Toisin sanoen lahopuuston arvioiminen voisi koostua useammasta menetelmästä tilanteen mukaan.
- Mittaustietojen tallentamiseen liittyen olisi hyödyllistä kuvata, mitkä ovat oleelliset tallennettavat tiedot, mikäli menetelmiä integroidaan olemassa oleviin tai kehitettäviin maastolaitteisiin/sovelluksiin.

3.2.2 Kevään 2022 työpajan tulokset

Työpajassa pyydettiin näkemyksiä hankkeessa kehitetyn lahopuun arviointimenetelmän viimeistelemiseksi. Mittausmenetelmät koettiin kokonaisuutena perusteltuina ja käytännön työhön sopivina. Menetelmän ja lomakkeen kehittämiseksi tuotiin esiin seuraavia huomioita:

- Tulisi harkita ohjeistusta siitä, kuinka maastossa kulkeminen tehdään eri muotoisilla kuvioilla.
- On tarpeen selvittää, että käyttäjä valitsee läpimittarajan käyttötarkoituksen mukaan.
- Olisi hyödyllistä arvioida, kuinka suuri vaikutus ajanmenekkiin ja tarkkuuteen on sillä, jos vähimmäisläpimittarajana olisi 10 cm (esim. 20 cm sijaan) ja voidaanko korjauskertoimen avulla arvioida alle 20 cm runkojen osuutta.
- Lahopuujatkumon arvioinnissa tulee huomioida myös alle 20 cm rungot.
- Lahopuun sijaintitieto saatetaan tarvita joihinkin tarkoituksiin.
- Voisiko menetelmä perustua esim. 5 kuution luokkiin, koska kuutiometrin tarkkuudella määrittämisessä voi olla suuri virhemahdollisuus? Näin muodostuisi metsikkökuvioita, joilla lahopuun määrä olisi tavanomaista runsaampi, hyvin runsas tai erittäin runsas.
- Tiedon keruun lisäksi on tarpeen miettiä, millä tavoin kerätystä tiedosta lasketaan tunnuksia ja millä tavoin nämä tunnuksot syötetään tietojärjestelmiin.

- Ohjeistukseen tulee kuvata, mitä menetelmässä tarkoitetaan kuolleella puulla. Epäselvyyttä voivat aiheuttaa äskettäin kuolleiden puiden määrittäminen ja pitkälle lahonneet maapuut.
- Menetelmää tukemaan olisi hyödyllistä kehittää mobiilisovellus.
 - Sovellus tukisi mittaajaa kulkemaan kuvion läpi ja auttaisi havaitsemaan alueita, joissa ei ole kuljettu. Sovellus myös laskisi alueen lahoppuun määrän mittausten perusteella.
- Tarkennettua silmävaraista arviota koskevaan lomakkeeseen olisi tarpeen lisätä pysty- ja maapuut sekä puulajit niin, että ne voidaan kirjata puulajeittain tai kaksipuolaisella luokituksella (havupuut/lehtipuut).
 - Em. tunnusten huomioiminen on tarpeellista ympäristötukikohteiden ja METSO-kriteerien arvioinnin kannalta.
- Lomakkeen saatteessa tulee selvittää, että lomakkeeseen kirjataan ne tiedot, jotka halutaan mitata. Näin ei anneta kuvaa, että esim. kaikki lahoppuun laadulliset tunnuksot määritetään oletusarvoisesti.

Työpajassa selvitettiin, vastaako mittausmenetelmä kattavasti käytännön tarpeisiin. Silmävaraisen inventoinnin tarkkuuden arvioitiin riittävän useimpiin tarkoituksiin. Kuitenkin jos tavoite on esim. määrittää HCV-alueita, tai ELY-keskus tekee Natura-arviointia, tarkkuus ei välttämättä riitä. Näissä tapauksissa tarvittaisiin kokonaismittaus.

Käytännön kannalta haasteena nähtiin myös suurempien alueiden mittauksen ajanmenekki. Tuotiin esiin, että silmävarainenkin arviointi saattaa olla liian työläs ja aikaa vievä erityisesti Pohjois-Suomen isoilla kuvioilla sekä silloin kun lahoppuusta pitäisi saada arvio kuviotasolla isoilta alueilta. Tulevaisuuden kehitysajatuksena esitettiin, että suurempien alueiden mittausta voisi tukea esim. mobiilisovelluksella, joka arpoisi isommalta kuviolta tietyt alueet, joilta mittaus suoritetaan, esimerkiksi ilmakeinon tai latvusmalliin perustuen. Nähtiin lisäksi hyödyllisenä selvittää, voidaanko suurempia kuvioita ylipäänsä arvioida luotettavasti koealaotantaan perustuen.

Osa mittaajista tarvitsee tietoa toimijoiden välisten lahoppuinventointien vertailuun ja osa tarvitsee menetelmää tiettyä käyttötarkoitusta varten (esim. sertifiointin mukaisten kohteiden tunnistamiseen). Nähtiin tarpeellisenä pohtia, kuinka menetelmällä vastataan molempiin tavoitteisiin. Menetelmän määrittelyssä tulisi ottaa huomioon ainakin mitattavien puiden läpimitan alaraja ja määrittää, milloin ja miten erilaiset maapuut lasketaan mittaukseen mukaan. Myös lahoasteen määrittäminen tulisi kuvata yksiselitteisesti.

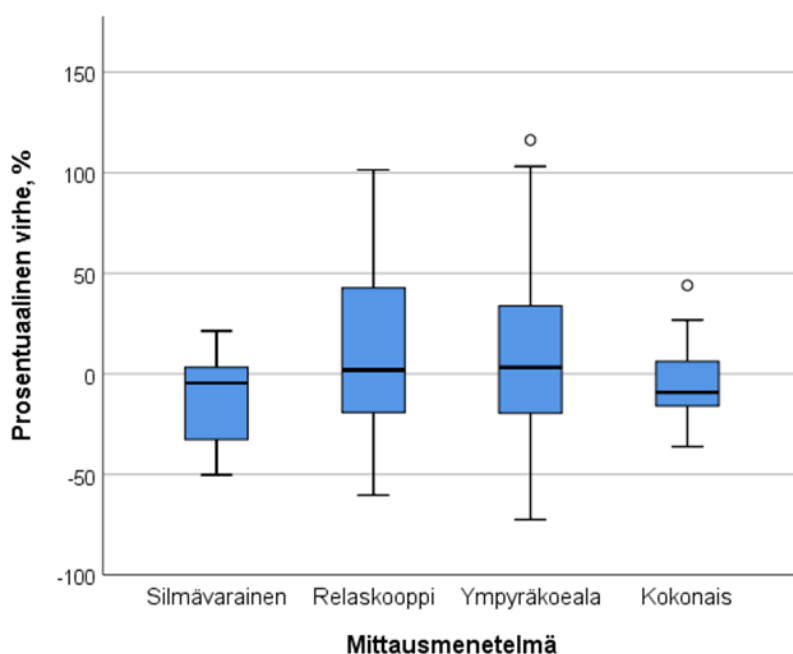
Työpajan perusteella nähtiin, että menetelmällä on potentiaalia muodostua yhtenäiseksi metsäalan käytännöksi lahoppuun arviointiin. Verkossa saatavilla oleva kirjallinen ohje muodostaa itsessään eräänlaisen standardin, kun mittaukset tehdään sen mukaisesti. Käytännön yleistymisen ehtona on, että menetelmä on helppokäyttöinen.

3.3 Maastomittaukset

3.3.1 Menetelmien tarkkuus

Kaikki mittausmenetelmät tuottivat keskimäärin kohtuullisen tarkkoja tuloksia. Kokonaismittauksen tuottamat lahopuun tilavuusarviot poikkesivat keskimäärin vähiten todellisista arvoista eli -5,7 % kokonaismittauksessa, 7,1 % relaskoopimittauksessa, 9,2 % ympyräkoealamittauksessa ja -12,4 % silmävaraisessa arvioinnissa (kuva 4). Ainoastaan silmävaraisen arvioinnin keskimääräiset virheet poikkesivat merkitsevästi nolasta (taulukko 2).

Yksittäisten mittaustulosten hajonta oli suuri erityisesti relaskooppi- ja ympyräkoeala-arvioinneissa, jolloin kyseisten menetelmien täsmällisyys oli heikko. Mittaustuloksen suhteellinen virhe, eli mitatun tilavuuden poikkeaminen prosentteina keskimääräisestä mitatusta tilavuudesta, oli pienin koko kuvion lahopuuston mittauksessa (keskihajonta 15,9 %, virhemarginaali 31 %) ja suurin ympyräkoeala-arvioinnissa (43,0 %, virhemarginaali 84 %) (taulukko 2). Yksittäisistä mittaustuloksista noin 68 % poikkeaa mittausten keskiarvosta korkeintaan keskihajonnan verran, ja 95 % poikkeaa keskiarvosta korkeintaan virhemarginaalin verran. Mittaustuloksen täsmällisyys ei riippunut merkitsevästi mittajasta eikä mittausmenetelmän ja mittaajan yhdysvaikutuksesta.



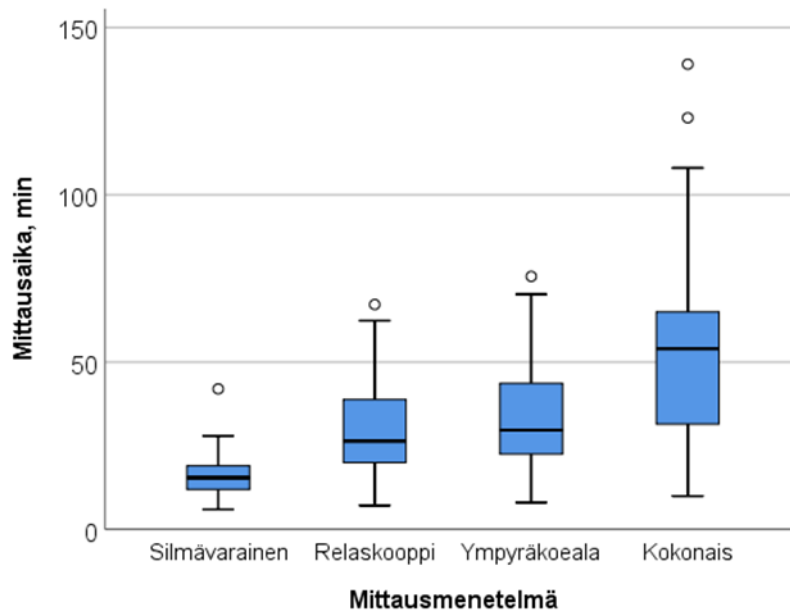
Kuva 4. Mittausmenetelmien tuottamien lahopuun tilavuusarvioiden prosentuaalinen virhe suhteessa ennakoitua mahdollisimman tarkasti mitattuun lahopuun tilavuuteen. Box plot -kuvassa puolet havainnoista jää laatikon osoittaman vaihteluvälin sisään, ja normaalisti jakautuneessa aineistossa 95 % havainnoista jää janojen osoittaman vaihteluvälin sisään. Tätä enemmän poikkeavat havainnot on merkitty kuvaan ympyröillä.

Taulukko 2. Menetelmien vertailuaineiston tunnuslukuja. Erot menetelmien täsmällisyydessä (mittausten keskihajonta) ja mittausajassa testattiin tilastollisesti. Merkitsevä ero (merkitsevyystasolla $p < 0,05$) kahden menetelmän parittaisessa vertailussa on merkitty eri kirjaimilla; sama kirjain tarkoittaa, että menetelmät eivät eronneet merkitsevästi.

	Kokonaismittaus	Tarkennettu silmävarainen arviointi	Relasoooppikoeala-arviointi	Ympyräkoeala-arviointi
Keskimääräinen virhe, %	-5,7	-12,4	7,1	9,2
Mittausten keskihajonta, %	15,9 a	24,8 ab	36,6 b	43,3 bc
95 %:n virhemarginaali	31,1	48,6	71,7	84,9
Keskimääräinen mittausaika kuviota kohti, min	56,6 a	16,5 b	3,1 c	33,9 c
Keskimääräinen mittausaika hehtaaria kohti, min	31,0	9,1	16,5	18,6
Mittausaika suhteessa silmävaraiseen arviointiin	3,4	–	1,8	2,1

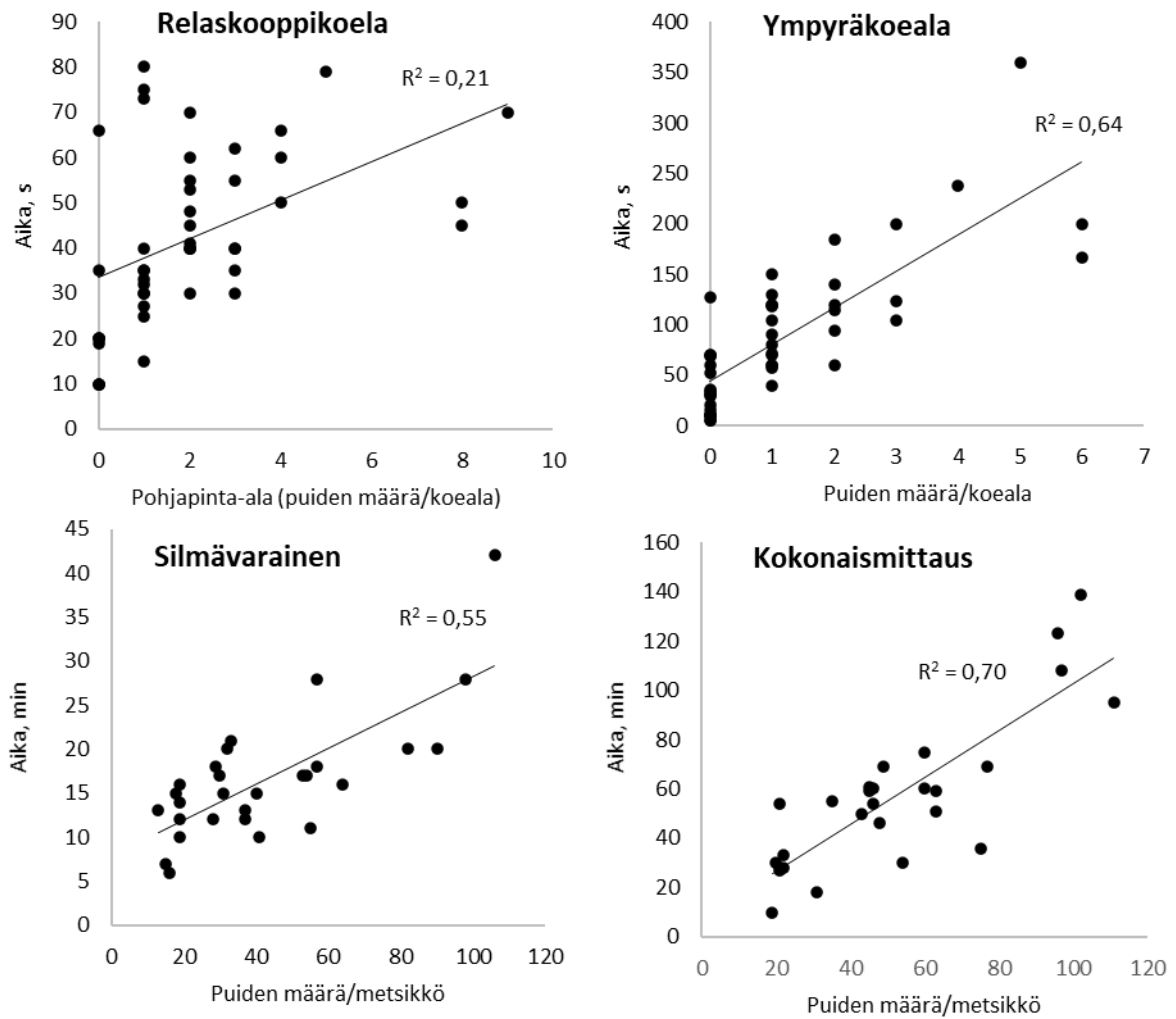
3.3.2 Menetelmien ajanmenekki

Tarkennettu silmävarainen arviointi oli selvästi nopein menetelmä (kuva 5). Relasoooppikoeala-arviointi ja ympyräkoeala-arviointi veivät noin kaksi kertaa ja lahoppuuston kokonaismittaus noin kolme kertaa niin paljon aikaa kuin silmävarainen arviointi. Mittausaika erosi merkitsevästi menetelmien välillä ($n = 4$, $F = 38.5$, $p < 0.001$) ja myös mittaajien välillä ($n = 7$, $F = 7.0$, $p = 0.001$); yhdysvaikutus menetelmän ja mittaajan välillä ei ollut merkitsevä.



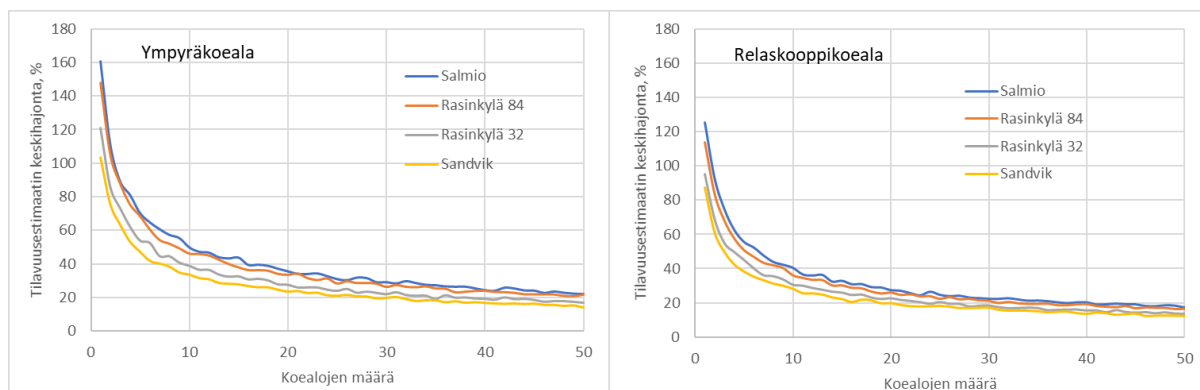
Kuva 5. Mittausmenetelmien keskimäärin vaatima aika. Ks. Box plot -kuvan selitykset kuvan 4 kuvatekstistä.

Erikseen kelloitettuilla relaskooppi- ja ympyräkoeloilla ($n = 46$) koealakohtainen mittausaika riippui merkitsevästi mitattujen puiden kappalemäärästä (kuva 6). Keskimääräinen mittausaika puuta kohti oli 20 sekuntia relaskooppi mittauksessa ja 73 sekuntia ympyräkoelamittauksessa. Silmävaraisessa arvioinnissa ja kokonaismittauksessa metsikkökohtainen mittausaika riippui samoin mitattujen kuolaiden puiden määrästä metsikössä (kuva 6). Keskimääräinen mittausaika puuta kohti oli noin 0,4 minuuttia silmävaraisessa arvioinnissa ja noin 1 minuutti kokonaismittauksessa.



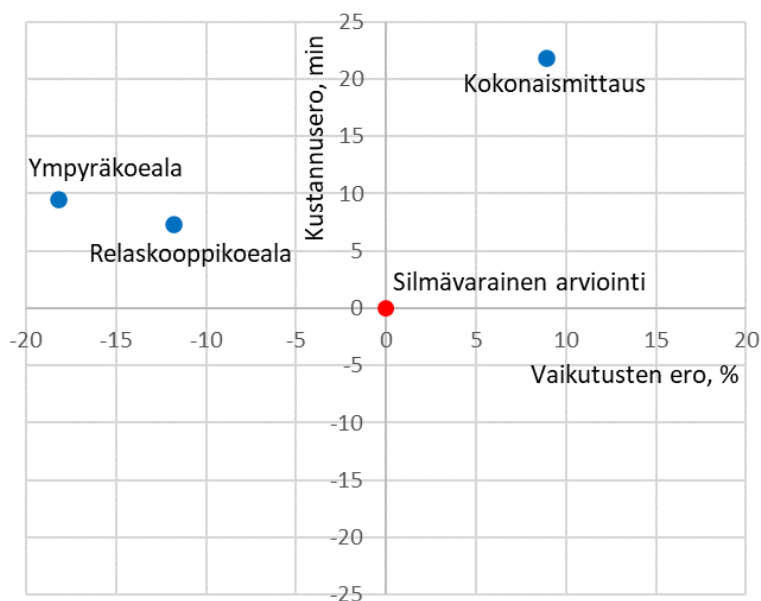
Kuva 6. Koealakohtaisen mittausajan riippuvuus mitattujen puiden määrästä relaskooppi- ja ympyräkoeloilla sekä metsikkökohtaisen mittausajan riippuvuus mitattujen puiden määrästä silmävaraisessa arvioinnissa ja kokonaismittauksessa.

Lahopuun mitatun tilavuuden keskihajonta laski aluksi jyrkästi koealojen määrän kasvaessa uudelleenotannan perusteella (kuva 7). Kun koealojen määrä metsikössä oli 10, keskihajonta vaihteli 33 %:sta 50 %:iin ympyräkoela-arvioinnissa ja 28 %:sta 40 %:iin relaskooppi-koela-arvioinnissa metsiköstä riippuen. Kun koealojen määrä oli 30, keskihajonta oli 20–29 % ympyräkoela-arvioinnissa ja 17–22 % relaskooppi-koela-arvioinnissa. Keskihajonta tiettyä koealamäärää kohti oli aina pienempi relaskooppi-koela-arvioinnissa kuin ympyräkoela-arvioinnissa. Tämä johtui mitä ilmeisimmin siitä, että relaskooppi-koela-arvioinnissa koealaan luettavia puita tulee selvästi laajemmalla säteellä kuin mikä on ympyräkoelan säde (10 metriä).



Kuva 7. Lahopuuston tilavuusestimaatin keskihajonnan (laskettuna prosentuaalisena poikkeamana mittaustulosten keskiarvosta) riippuvuus ympyräkiealojen tai relaskooppikiealojen määrästä metsikössä.

Tarkennettu silmävarainen arviointi oli kustannusvaikuttavuudeltaan parempi kuin ympyräkieala-arviointi tai relaskooppikieala-arviointi; ympyräkieala-arviointi oli vähiten kustannusvaikuttava (kuva 8). Tarkennetussa silmävaraisessa arvioinnissa sekä lahopuun tilavuuden mittausten keskihajonta oli pienempi että mittauksen vaatima aika oli pienempi kuin relaskooppi- tai ympyräkieala-arvioinnissa. Kokonaismittauksen täsmällisyys oli parempi kuin silmävaraisessa arvioinnissa, mutta kokonaismittauksen kustannukset olivat selvästi korkeammat. Keskimäärin 22 minuuttia hehtaaria kohti tarvittiin siihen, että mittausten keskihajontaa saatiin pienennettyä noin 10 %. Koska mitään yleisesti hyväksyttyä kustannus-vaikuttavuus-kynnysarvoa ei ole olemassa, silmävaraisen arvioinnin ja kokonaismittauksen paremmuusjärjestys riippuu siitä, mihin tarkoitukseen lahopuutietoa kerätään ja kuinka suuri tarkkuusvaatimus on.



Kuva 8. Mittausmenetelmien kustannusvaikuttavuus verrattuna silmävaraiseen arviointiin. x-akseli kuvaa haluttujen vaikutusten eroa (mittaustulosten keskihajonnan pieneneminen prosenteissa), kun silmävaraisesta arvioinnista siirrytään vaihtoehtoiseen menetelmään. Positiiviset arvot tarkoittavat mittausten täsmällisyyden paranemista, negatiiviset arvot täsmällisyyden pienenemistä. y-akseli kuvaa kustannusten eroa (mittausaika, minuuttia hehtaaria kohti), kun silmävaraisesta arvioinnista siirrytään vaihtoehtoiseen menetelmään. Positiiviset arvot tarkoittavat kustannusten kasvua, negatiiviset arvot kustannusten pienenemistä.

3.4 Maastomittausten jälkeiset haastattelut

Mittaajien aikaisempi kokemus

Yhtä henkilöä lukuun ottamatta kaikilla mittaajilla oli aikaisempaa kokemusta lahopuun mittaamisesta. Pääasiallisena tarpeena mittaajilla on ollut FSC-sertifioinnin vaatimusten mukaisten kohteiden määrittäminen, ympäristötukihakemusten tekeminen ja METSO-kohteiden arviointi. Mittaajien aikaisemmin käyttäminä menetelminä oli käytetty silmävaraista arviointia, linja-arviointia, ympyräkoealoihin perustuvaa arviointia ja Trestima-sovelluksen avulla tehtävää arviointia.

Yleiset havainnot mittauksista

Linjoittaisia arviointeja pidettiin paljon aikaa vievinä ja testatuista menetelmistä vähiten käyttökelpoisina. Lahopuun epätasaisen jakautumisen kuvion sisällä koettiin vaikeuttavan linjoittaisia arviointeja. Kasvillisuuden todettiin vaikeuttavan paikoin maapuiden havaitsemista. Puiden merkkauksynää pidettiin hyödyllisenä, mutta tuotiin esiin, että etenkin pitkälle lahonneiden ja sammalen peittämien maapuiden merkitseminen ei onnistu kynällä.

Tarkennettua silmävaraista arviointia pidettiin yllättävän tarkkana, joskin kaikkien puiden mittaamisessa huomattiin, että osa puista oli jäänyt huomaamatta. Tarkennetun silmävaraisen arvioinnin kuitointitaulukkoa pidettiin käyttökelpoisena. Myös kokonaismittaus vei odotettua vähemmän aikaa. Lahoasteen arvioinnissa puukko koettiin hyödyllisenä, joskaan sen käyttö ei onnistu puiden ollessa jäässä.

Maasto-ohjeistuksen riittävyys

Mittausten ohjeistusta pidettiin yleisesti tarpeeksi selkeänä ja tarkkana. Parannusehdotuksena esitettiin lahoppuun laatuluokkien selkeyttämistä. Tuotiin myös esiin, että maastokohteiden kaikkien rajojen nauhoittaminen olisi helpottanut rajojen paikantamista.

Mittajien näkemykset käyttökelpoisimmasta mittausmenetelmästä

Tarkennettua silmävaraista arviointia ja kokonaismittausta pidettiin käyttökelpoisimpina menetelminä, mutta riittävän tarkkuuden saavuttamiseksi arviointi tulee tehdä huolellisesti. Mikäli tarvitaan hyvin tarkka tieto kohteen lahoppuudesta, nähtiin tarpeelliseksi tehdä kokonaismittaus. Linjoittaista ympyräkoela-arviointia pidettiin jossain määrin käyttökelpoisena.

Testattujen menetelmien hyvät ja huonot puolet

Tarkennetun silmävaraisen arvioinnin hyvänä puolena pidettiin sen helppoutta ja nopeutta. Menetelmä koettiin myös kustannustehokkaaksi. Huonona puolena tuotiin esiin se, että osa lahoppuista voi jäädä havaitsematta. Myös arvio puuston tilavuudesta voi kärsiä riippuen siitä, osataanko puut luokitella oikeisiin läpimittaluokkiin.

Linjoittaisia arviointeja pidettiin melko työläinä ja epätarkkoina. Tuotiin esiin, että menetelmien tarkkuus riippuu paljolti siitä, kuinka hyvin koelat kuvaavat kohteen lahoppuutta. Relaskoopilla tehtävää arviointia pidettiin ympyräkoeloihin verrattuna parempana, mutta sen haasteena nähtiin maapuiden paikoin vaikea havaitseminen.

Lahoppuuston mittaus koko kuvion alalta koettiin tarkimpana testatuista menetelmistä. Huonona puolena tuotiin esiin menetelmän työläys.

Näkemykset muista käyttökelpoisista menetelmistä ja ajatukset arvioinnin kehittämiseksi

Maastossa testattujen menetelmien lisäksi tuotiin esiin, että lahoppuuta voitaisiin arvioida drone-lennokeilla. Myös Trestima-sovellusta pidettiin tulevaisuudessa vartenotettavana vaihtoehtona. Tuotiin esiin, että valittavasta menetelmästä riippumatta mittausohjeiden selkeys on tärkeää. Silmävaraista menetelmää ehdotettiin tarkennettavan niin, että mahdollistettaisiin tarkempi lahoppuun laadun arviointi, esimerkiksi lisäämällä puulaji, läpimittaluokka 10–20 cm, maa- ja pystypuiden erottelu ja

mahdollisesti muita laadullisia ominaisuuksia. Myös kuutiointitaulukkoa ehdotettiin monipuolistettavan niin, että keskitilavuuksia voisi tarkentaa puuston pituuden mukaan.

4) Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

4.1 Metsäalan lahopuun mittauskäytännöt

Hankkeessa tehdyt haastattelut tukivat ennakkokäsitystä siitä, että metsäalan toimijoilla ei ole yhteistä menetelmää lahopuun arvioimiseksi. Käytössä on useita käytäntöjä, jotka perustuvat usein kunkin arvioijan omaan näkemykseen siitä, millä tavalla tiettyä käyttötarkoitusta vastaava tieto voidaan kerätä kustannustehokkaasti.

Useimmiten haastateltavat käyttivät silmävaraista arviointia. Silmävarainen arviointi ei ollut selkeästi määritelty menetelmä, vaan ennemminkin kokemukseen perustuva näkemys siitä, kuinka monta kuutiota kohteen lahopuista kertyy.

Koealoihin perustuvaa mittausa tehtiin sekä relaskoopilla että ympyräkoealoilla. Relaskoopilla tehtävää puuston arviointia käytetään perinteisesti elävän puuston arviointiin, mutta osa toimijoista on soveltanut sitä myös kuolleen puuston mittaamiseen. Menetelmässä pystypuiden lukeminen on yksiselitteistä, mutta maapuiden lukeminen vaatii tarvittaessa tarkempaa määrittämistä sen osalta, miten maapuut luetaan relaskoopin hahloon. Menetelmän tarkkuutta tai ajanmenekkiä ei ollut tarkemmin arvioitu.

Haastatteluissa tuotiin esiin, että lahopuun arvioimismenetelmän tulisi olla helposti ja suhteellisen nopeasti toteutettavissa. Toivottiin myös, että menetelmä olisi yhdenmukaisena laajasti käytössä, jolloin eri organisaatioiden väliset tulokset olisivat vertailukelpoisia. Menetelmä palvelisi näin myös yleisempää tarvetta lahopuun määrän seuraamiseksi muiden prosessien, kuten valtakunnan metsien inventoinnin, tukena.

Toisaalta tiedetään, että lahopuuta arvioidaan hyvin vaihteleviin tarpeisiin, jolloin yksi menetelmä ei pysty vastaamaan kaikkiin käyttötarkoituksiin. Mikäli tavoitteena on kustannustehokkuus, ei ole tarkoituksenmukaista kerätä tietoa muuttujista, joita organisaatio ei hyödynnä. Ratkaisuvaihtoehtona on useamman menetelmän käyttäminen niin, että voidaan huomioida tiedon käyttötarve. Kutakin menetelmää voidaan tarkentaa myös siten, että luodaan joustavuutta sen soveltamiseen. Esimerkkinä on arvioitavien lahopuiden minimiläpimitan päättäminen käyttäjälähtöisesti.

Haastatteluista saatiin hyödyllisiä lähtökohtia hankkeessa kehiteltävälle menetelmälle. Haastatteluiden ja töpajojen perusteella menetelmälle asetettavista vaatimuksista tärkeimpiä olivat kustannustehokkuus, riittävä tarkkuus ja menetelmän helppo omaksuttavuus.

4.2 Hankkeessa testattujen menetelmien tarkastelu

Maastomittauksissa vertailtiin neljää lahopuun mittausmenetelmää. Kaikki menetelmät tuottivat keskimäärin kohtuullisen tarkkoja tuloksia, mutta erityisesti koealamittauksiin perustuvat menetelmät tuottivat suhteellisen suurta mittaajien ja mittauksen välistä hajontaa.

4.2.1 Tarkennettu silmävarainen arviointi

Tarkennettu silmävarainen arviointi tuotti varsin harhattomia tuloksia, joskin keskimäärin menetelmän tuottamat tilavuusarviot olivat hiukan ennakkomittausta pienempiä. Koska menetelmä ei perustu otantaan vaan on kokonaismittaus kohteen lahoppuudesta, virheen voidaan olettaa johtuvan pääasiassa siitä, että osa lahoppuista jää huomaamatta. Toinen silmävaraisen mittauksen aliarvion vaikuttanut tekijä oli se, että mittaajat eivät selvästikään olleet tarkistaneet riittävästi rajapuita, jolloin erityisesti suurimmista läpimittaluokista puuttui havaintoja. Suurimmat puut vaikuttavat kuviokohtaiseen tilavuusarvioon eniten.

Jos mittaajia tai mittauskertoja olisi ollut enemmän kullakin kohteella, on mahdollista, että keskimääräiset mittaustulosten poikkeamat todellisesta tilavuudesta olisivat edelleen lähestyneet nollaa. Toisaalta on myös mahdollista, että sekä silmävaraisessa arvioinnissa että kokonaismittauksessa osa kuvion olevista lahoppuista jää havaitsematta, jolloin näille menetelmille ominaista on tuottaa systemaattinen, lievä aliarvio kuvion lahoppuuston tilavuudesta. Tässä tapauksessa siis aliarvion suuruusluokka oli noin 10 % silmävaraisessa mittauksessa ja noin 5 % kokonaismittauksessa. Tätä virhettä on mahdollista pienentää tekemällä mittaus huolellisemmin ja merkitsemällä selvästi mitatut puut. Huolellisempi mittaus toisaalta lisää ajankäyttöä. Jos mittaus tehdään kahden tai kolmen hengen mittausryhmällä, myös tällöin riski sille, että puita jää huomaamatta, pienenee. Relaskoopimittauksessa ja ympyräkoealamittauksessa riski sille, että puita jäisi huomaamatta, on pieni, koska mitattavat koealat ovat kooltaan pieniä ja siten helposti hallittavissa. Erityisesti suurimpien läpimittaluokkien rajapuiden läpimittojen tarkistamisella voidaan parantaa mittaustarkkuutta.

Tarkennetussa silmävaraisessa arvioinnissa mittausten prosentuaalinen keskihajonta oli kohtuullinen, noin 25 %. Myös mittausten keskihajontaa voidaan todennäköisesti pienentää tästä selvästi, toisaalta käymällä kohde huolellisemmin läpi, jolloin puita ei jää huomaamatta, sekä tarkistamalla enemmän läpimittaluokkien rajapuita. On myös syytä ottaa huomioon se, että koemittauksessa kaikki mittaajat kokeilivat tarkennettua silmävaraista arviointia ensimmäistä kertaa; menetelmän harjoittelulla tulokset todennäköisesti tarkentuvat. Mittausohjeessa ei myöskään ollut erillistä ohjetta siitä, millä tavoin muut kuin kokonaiset puut tulisi kirjata, mikä saattoi lisätä mittaajien välistä vaihtelua. Kaikista mitatuista lahoppuuyksiköistä vähän yli 10 % oli muita kuin kokonaisia puita. Kappaleiden määrä voitaisiin arvioida maastossa siten, että yhteen laskettujen kappaleiden tilavuus vastaa suunnilleen kokonaista puuta.

Tarkennetun silmävaraisen arvioinnin ajanmenekki oli nyt tutkitun kaltaisissa, suhteellisen runsaslahoppuustoisissa (järeeä lahoppuuta noin 10–30 m³/ha) metsissä alle 10 minuuttia hehtaaria kohti. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kymmenen hehtaarin metsikön mittaukseen kuluisi noin puoli-toista tuntia ja 20 hehtaarin mittaukseen vähän yli kolme tuntia.

Tarkennetussa silmävaraisessa arvioinnissa lahoppuiden tilavuus laskettiin luokan läpimitaltaan keskimääräisen puun ja sille lasketun pituuden avulla. Pituuslaskentaan tarvittiin puolestaan soveltuva koepuuaineisto ja siihen sovitettu pituusyhtälö. Useimmissa tapauksissa valmiita pituusyhtälöitä tai koepuuaineistoja ei ole saatavilla. Tässä hankkeessa on laadittu tilavuustaulukot (liite 3), joissa

esitetään keskimääräisen rungon tilavuus 10 cm läpimittaluokissa pääpuulajeille (kuusi, mänty, koivu) kolmelle eri alueelle Suomessa (E-S = Etelä-Suomi, V-S = Väli-Suomi, P-S = Pohjois-Suomi).

4.2.2 Kokonaismittaus

Lahopuun mittaus koko kuvion alalta oli tarkin testatuista menetelmistä. Kokonaismittauksessa myös mittauksen prosentuaalinen keskihajonta oli kaikista menetelmistä selvästi pienin, vain noin 15 %. Tätäkin tulosta voidaan todennäköisesti tarkentaa menetelmän harjoittelulla sekä merkitsemällä mitatut puut systemaattisesti esimerkiksi liidulla tai nostamalla sammaltuppo maapuiden rinnankorkeutta vastaavaan kohtaan.

Kokonaismittauksen ajanmenekki oli kaikista menetelmistä suurin, noin kolminkertainen verrattuna silmävaraiseen arviointiin ja lähes kaksinkertainen verrattuna relaskooppi- ja ympyräkoeala-arviointiin. Tästä huolimatta kokonaismittauksenkaan ajanmenekki ei ollut kuin noin 30 minuuttia hehtaaria kohti. Tämä tarkoittaa sitä, että esimerkiksi kymmenen hehtaarin metsikön mittaukseen kuluisi noin viisi tuntia. Vasta tätä suuremmilla kuvioilla kokonaismittaus vie niin paljon aikaa, että se ei tule ajankäytön takia menetelmänä useimmissa tapauksissa kyseeseen vaan on siirryttävä otantaan perustuvaan mittaukseen.

Jos menetelmän kustannustehokuutta ei arvioida ajankäyttönä hehtaaria kohti vaan mitattujen tunnuslukujen määränä aikayksikköä kohti, kokonaismittaus on itse asiassa kustannustehokkain menetelmä. Tarkennetussa silmävaraisessa arvioinnissa ajankäyttö mitattua puuta kohden oli noin 20 sekuntia, mutta kustakin puusta mitattiin vain sen läpimittaluokka eli yksi tunnus. Kokonaismittauksessa ajankäyttö mitattua puuta kohden oli noin 60 sekuntia, missä ajassa kustakin puusta mitattiin puulaji, läpimitta, laatu, lahoaste ja kappaleista lisäksi pituus eli noin 15 sekuntia per tunnus. Kokonaismittauksessa koealojen perustamiseen ei kulu lainkaan aikaa, ja puiden välillä siirtymiseen kuluva aika suhteessa puiden mittaamiseen kuluvaan aikaan on todennäköisesti pienin mahdollinen.

Kokonaismittaus tuottaa kuolleesta puustosta paljon muutakin tietoa kuin kokonaistilavuuden. Mittausten perusteella lahopuun määrä voidaan laskea esimerkiksi puulajeittain, laaduittain, lahoasteittain tai näiden luokitusten haluttuina yhdistelminä. Tässä suhteessa kokonaismittaus ja ympyräkoealamittaus ovat keskenään samanlaisia menetelmiä. Myös ympyräkoealamittauksessa puut mitataan yksitellen.

4.2.3 Linjoittainen relaskooppi- ja ympyräkoeala-arviointi

Kun lahopuuston määrää halutaan selvittää metsikkötasolla, kiinnostuksen kohteena oleva perusjoukko on tämän metsikön alueella olevat, ennalta päätetyn minimiläpimitan ja minimipituuden täyttävät kuolleet puut. Yhteen metsikkökoealaan, linjoitettiin koealoihin tai kaistoihin perustuva mittaus on satunnaisotos tästä perusjoukosta. Otokseen perustuvaan tilavuusestimaattiin liittyy aina otannasta aiheutuvaa satunnaisvirhettä. Satunnaisesti sijoitettu koeala voi osua metsikössä hyvinkin

epätavalliseen kohtaan, jolloin koealan perusteella koko kuviolle yleistetty tilavuusestimaatti voi olla virheellinen.

Verrattuna elävän puuston mittaamiseen, lahoppuun mittaamista hankaloittaa se, että kuollut puusto metsikön sisällä on usein hyvin epätasaisesti jakautunut. Esimerkiksi runsaan hehtaarin metsikössä, joka on varttunut talousmetsää, lahoppuun tilavuus voi olla 10 m³/ha. Tällainen tilavuus voi koostua esimerkiksi kymmenestä järeästä, noin 30 cm läpimittaisesta puusta. Nämä puut eivät yleensä sijaitse tasaisesti koko metsikön alalla. Päin vastoin, tavallisesti puiden kuolleisuutta tapahtuu ryhmittäin, mikä voi johtua esimerkiksi tuulituhosta, juuristolahottajista tai kirjanpainajasta. Jos varttunut metsä rajoittuu avoimpiin aloihin, kuolleet puut sijaitsevat usein metsikön reunoilla. Tällöin liian pieni yksittäinen metsikkökoeala tai liian harva koealaverkko johtaa siihen, että metsikön lahoppuuston otokseen (koealaan tai koealoihin) perustuva tilavuusestimaatti on hyvin epäluotettava, toisin sanoen yksittäisten mittausten keskihajonta on suuri.

Koealoihin perustuvissa mittauksissa otantavirhe oli niin suuri, että metsikkötasolla lahoppuarviot jäivät epätarkoiksi. Sekä relaskooppi- että ympyräkoeala-arvioinnissa lahoppuiden kuuluminen koealaan on määritettävissä melko tarkasti, joten vaihtelu mittaustuloksissa johtuu suurelta osin lahoppuun epätasaisesta jakautumisesta kuviolle.

Koealoihin perustuvat menetelmät tuottivat keskimäärin harhattomia tuloksia, eli menetelmät ovat käyttökelpoisia, jos koealojen määrää lisättäisiin. Jo nyt käytetyllä koealojen määrällä (keskimäärin kahdeksan koealaa per metsikkö keskimäärin noin kahden hehtaarin kokoisilla kuvioilla) ajanmenekki oli kuitenkin melko suuri (noin 30 min/metsikkö). Koealojen määrän lisäämisessä työmäärä ja kustannukset muodostuvat helposti yhtä suuriksi tai suuremmiksi kuin kokonaismittauksessa, eikä perusteita menetelmän käyttämiselle tämän kokoisissa metsiköissä ole. Tulee huomioida, että hankkeessa lasketut ajanmenekit perustuvat tilanteeseen, jossa lahoppuiden vähimmäisläpimitta on 20 cm. Mikäli mukaan otetaan esim. 10–20 cm läpimitaltaan olevat rungot, ajanmenekki kasvaa pieniläpimittaisten runkojen määrästä riippuen kaikissa menetelmissä.

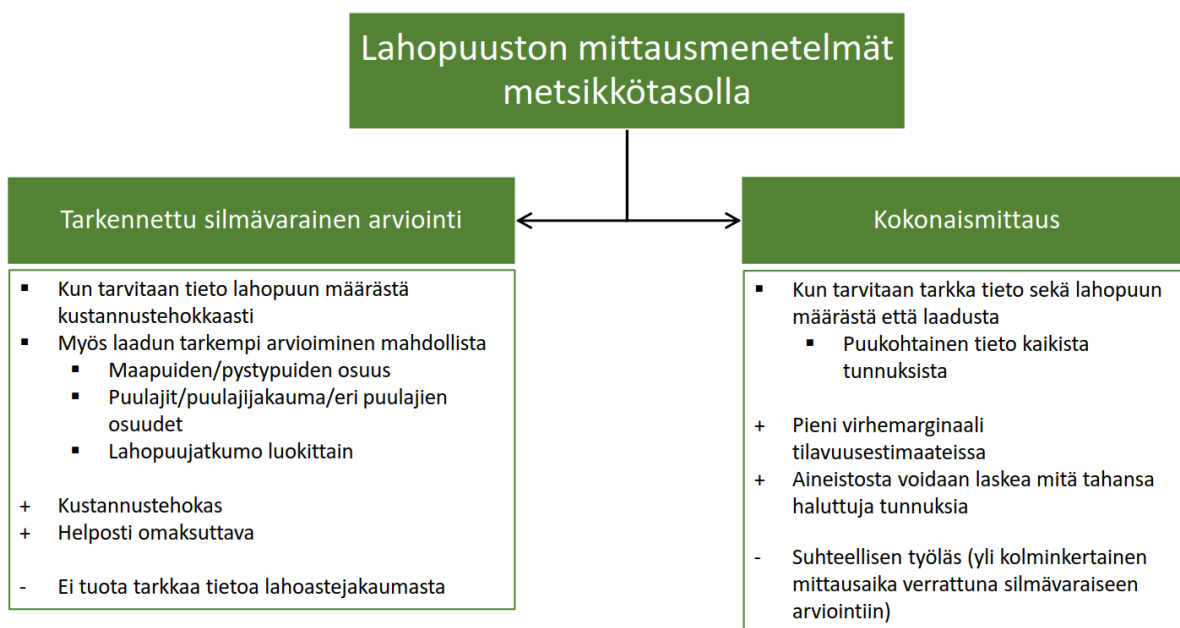
Uudelleenotannan tulosten perusteella voidaan arvioida sitä, kuinka paljon ympyräkoealoja tai relaskooppikoealoja pitäisi olla, ennekuin niihin perustuvat mittaustulokset olisivat riittävän luotettavia ja kustannukset muodostuisivat pienemmiksi kuin tarkennetun silmävaraisen arvioinnin tai kokonaismittauksen kustannukset. Uudelleenotannan tulosten perusteella tyydyttävä mittaustulosten keskihajonta, noin 20 %, saavutetaan noin 30 relaskooppikoealan mutta vasta noin 50 ympyräkoealan perusteella. Relaskooppikoealojen tilavuusestimaattien keskimäärin pienempi vaihtelu tietyllä koealamäärällä johtunee siitä, että relaskooppikoealoille läpimitaltaan yli 20 cm puita tulee mukaan kauem-paa kuin nyt käytetty ympyräkoealan säde, 10 metriä. Relaskooppikertoimella yksi esimerkiksi 20 cm läpimittainen puu luetaan koealaan 10 metrin etäisyydeltä ja 40 cm läpimittainen puu 20 metrin etäisyydeltä. Tarvittavien koealojen määrää koskeva tulos voitaneen yleistää myös suuremmille kuvioille, mikäli niissä kuvion sisäinen lahoppuun vaihtelu on samaa suuruusluokkaa kuin nyt mitatuilla kuvioilla. Menetelmien vertailussa käytetyllä koealatiheydellä (koealat 50 x 50 m välein) tämä tarkoittaisi sitä, että relaskooppikoealoja on riittävästi vähintään noin 10 ha kuvioilla ja ympyräkoealoja vähintään noin 15 ha kuvioilla. Tällä koealatiheydellä otantaan perustuvat menetelmät eivät kuitenkaan muodostu kustannustehokkaammiksi kuin tarkennettu silmävarainen arviointi, koska sekä relaskooppi-koeala-arvioinnin että ympyräkoeala-arvioinnin ajanmenekki hehtaaria kohti oli noin kaksi kertaa

suurempi kuin silmävaraisessa arvioinnissa. Niinpä koealaverkkoa pitäisi harventaa vähintään puolella (esim. 100 metrin linjaväli ja 50 metrin koealaväli tai 100 x 100 m koealaväli), jotta ajankäyttö pinta-alayksikköä kohti vähenisi merkittävästi. Tämäkään ei kuitenkaan riitä, koska erikseen kellotettujen koealakohtaisten mittausten perusteella linjoittaisen koealaverkon perustamiseen kului noin 70 % ajasta, relaskooppimittauksiin noin 10 % ajasta ja ympyräkoalamittauksiin noin 20 % ajasta. Toisin sanoen systemaattisen koealaverkon perustamisessa liian suuri osa ajasta kuluu kävelemiseen ja liian pieni osa varsinaiseen mittaamiseen.

Koealoihin perustuvaa mittausta voidaan tehostaa kahdella tavalla. Yksittäisten koealojen pinta-alan pitäisi olla selvästi suurempi. Esimerkiksi 15 metrin säteisen koealan pinta-ala on nyt käytettyä koealaa (314 m²) noin kaksi kertaa suurempi (707 m²) ja 20 metrin säteisen koealan noin neljä kertaa suurempi (1267 m²). Toinen tapa tehostaa otantaan perustuvaa mittausta on kaistamittaus, jossa lahoppuuston tilavuus mitataan kuvion halki määräväleihin perustettavilta kaistoilta. Kaistojen leveyttä ja kaistaväliä säätelemällä voidaan mitata haluttu osuus metsiköstä ja vaikuttaa mittaustarkkuuteen. Nyt käytetyllä koealakoolla ja koealatiheydellä kustakin metsiköstä mitattiin noin 12,5 %. Kaistamittauksessa vastaava osuus saavutettaisiin esimerkiksi 50 metrin välein kulkevilla 6 metriä leveillä kaistoilla.

4.3 Johtopäätökset

Hankkeen tulosten perusteella päädyttiin kahteen vaihtoehtoiseen mittaamenetelmään, jotka ovat tarkennettu silmävarainen arviointi sekä lahoppuuston kokonaismittaus (kuva 9). Lahoppuun mittausta tehdään eri tarkoituksiin, joten menetelmää tulee voida soveltaa käyttötarkoituksen mukaiseksi.



Kuva 9. Kaavakuva lahoppuuston mittaamenetelmistä metsikkötasolla.

Tarkennettu silmävarainen arviointi on kustannustehokas menetelmä lahopuun määrän selvittämiseksi. Menetelmällä voidaan tarvittaessa arvioida myös laadullisia tunnuksia, kuten maa- ja pystypuiden osuus ja lahopuujatkumo. Tilavuus voidaan tarvittaessa arvioida erikseen myös puulajeittain. Kokonaismittaus sopii tilanteisiin, joissa tarvitaan tarkka tieto sekä lahopuun määrästä että laadusta.

4.3.1 Menetelmien soveltuvuus vertailukelpoisten lahopuuaineistojen tuottamiseen

Hankkeessa tunnistettiin tarve tuottaa menetelmä, joka tuottaa vertailukelpoista tietoa eri toimijoiden välillä. Hankkeen tuloksena esitetään käyttöön otettavaksi sekä ns. standardimenetelmä että ns. sovellettu menetelmä arviointi- ja mittaustietojen käyttötarkoituksen mukaan. Ylempänä kuvatut menetelmät antavat lähtökohdat sille, kuinka mittaus voidaan toteuttaa, mutta päätöksen mittaukseen sisällytettävistä asioista tekee kuitenkin aina sitä käyttävä taho.

Standardimenetelmällä tarkoitetaan lahopuun mittauksen minimitasoa, jolla päästään riittävän tarkkaan lahopuun määrä- ja laatutietoon kustannustehokkaasti. Standardimenetelmänä ehdotetaan käytettäväksi tarkennettua silmävaraista arviointia, jossa luettavien puiden minimiläpimitta on 10 cm rinnankorkeudelta ja minimipituus 1,3 metriä. Tällöin mittaukseen sisällytetään valtakunnan metsien inventointia vastaavat lahopuut. Usein talousmetsäkuvioiden lahopuusta suuri osa sisältyy 10–20 cm läpimittaluokkaan. Kuolleet puut luetaan 10 cm läpimittaluokissa erotellen maalahopuut, pystylahopuut, havupuut ja lehtipuut sekä kirjaamalla lahopuujatkumo kolmeportaisella luokituksella. Standardimenetelmää voivat käyttää toimijat, joille riittävät nämä laatutiedot sekä tieto lahopuun hehtaarikohtaisesta määrästä ja jotka eivät ole syvemmin kiinnostuneita lahopuun muista laatutekijöistä.

Standardimenetelmässä tilavuuksien laskentaa varten läpimittaluokittaiset keskitilavuudet lasketaan liitteen 3 tilavuustaulukoiden avulla.

Sovellettu menetelmä tarkoittaa joko tarkennettua silmävaraista arviointia tai koko metsikkökuvion alan puuston mittausta silloin, kun mittaus tehdään tietojen käyttötarpeen takia joko vähemmän tarkasti tai tarkemmin kuin standardimenetelmässä. Silmävaraisessa arvioinnissa standardimittausta epätarkempi mittaus voi tarkoittaa esimerkiksi sitä, että mitattavien puiden minimiläpimitta on suurempi kuin 10 cm (esimerkiksi 15 cm tai 20 cm) tai että maapuita ja pystypuita tai havupuita ja lehtipuita ei erotella. Silmävaraista arviointia voidaan toisaalta tehdä hyvin tarkasti, jolloin lähestytään kaikkien puiden mittaamista. Sovelletussa menetelmässä tarkennettua silmävaraista arviointia tehdään siten, että maastossa mitataan tai arvioidaan useampia tunnuksia kuin standardimenetelmässä. Koko kuvion alan puuston mittauksessa mittaus on aina tarkempi kuin standardimenetelmässä. Kirjattavat tunnukset ovat puulaji, rinnankorkeusläpimitta, laatu (puun ulkoasu) ja lahoaste. Pituustieto kirjataan vain puista, jotka eivät ole kokonaisina vaan joista vain osa on jäljellä. Standardimenetelmää tarkemmista mittauksista voidaan aina laskea samat tunnukset kuin standardimittauksesta luokkia yhdistelemällä.

Liitteet

Liite 1 - Haastattelukysymykset

Haastattelukysymykset

Organisaation ohjeistus

- Onko organisaatiollanne yhteisesti sovittuja menettelytapoja lahopuuston määrän arviointiin/ mittaukseen?
- Onko menettelyt ohjeistettu kirjallisesti ja onko ne koulutettu?
- Onko menetelmien luotettavuutta tai eri henkilöiden mittausten/ arviointien tulosten eroja vertailtu?
- Kuinka laajalle alueelle tietystä kohdasta mitattua/arvioitua lahopuumäärää on tapana yleistää?

Arviointi-/mittausmenetelmä

- Miten organisaatiossanne määritellään lahopuu?
 - Millä kriteereillä erotetaan pitkälle lahonneista maapuista vielä mitattavat ja ei-mitattavat?
 - Luetaanko tuoreet tuulenkaadot lahopuustoon vai ei? Jos ei lueta, millä kriteereillä erotetaan luettavat puut ei-luettavista?
 - Milloin pystypuut luetaan lahopuihin, eli milloin ne ovat kuolleita?
 - Onko mitattavalla/arvioitavalla lahopuulla minimiläpimittaa?
- Kuinka paljon ja miten usein teet lahopuun määrän arviointia tai mittauksia työssäs?
- Mihin tarkoituksiin arvioitua/mitattua lahopuuston määrää ja/tai laatua tarvitaan?
- Miksi lahopuusto on tärkeää? (esim. monimuotoisuus, suojeleminen, hiilivarasto, metsätuhot, sertifiointi)
- Eroaako arviointi- tai mittausmenetelmä sen mukaan, mihin tarkoitukseen tietoa käytetään?
- Mitä eri arviointi- tai mittausmenetelmiä käytät?
- Kerro yksityiskohtaisesti, miten menetelmä toimii?
 - mahdollinen otantamenetelmä?
 - käytättekö kaukokartoitusaineistoja lahopuun arviointiin?
 - mitä ja miten mitataan?
 - tehdäänkö vain silmävarainen arvio?
 - erotetaanko erikseen maa- ja pystylahopuu?
 - mikä on niiden rajana?
 - erotetaanko erikseen lahoasteita?
 - erotetaanko erikseen puulajit, tai vain havu- ja lehtilahopuu?
 - Mihin mitattu tieto tallennetaan?

Menetelmän kehittäminen

- Miten sinun mielestäsi lahoppuuston määrä pitäisi arvioida/mitata organisaatiosi tietotarpeisiin?
- Miten tärkeänä asiana sinä pidät lahoppuuston määrän arviointia, asteikolla 1–10?
- Mikä on mielestäsi sopiva mittaustarkkuus, eli paljonko mittaus/arviointitulos saa poiketa todellisesta arvosta? Esimerkiksi jos lahoppuuta on kuviolla 10 m³/ha, niin pitääkö mittaus/arviointituloksen olla suurella varmuudella tästä esim. 0,5, 1,2,3 jne. m³:n päässä?
- Millä tavoin mielestäsi lahoppuuston mittausta pitäisi kehittää? Otanta, mittausmenetelmät, luokitukset, menetelmien standardointi toimijoiden välillä jne.?
- Mitä vielä haluat kertoa lahoppuuston määrän arvioinnista/mittauksesta?

Liite 2 – Tilavuustaulukot keskimääräisille puille 10 cm läpimittaluokittain

Tekijä: Jari Hynynen, Luonnonvarakeskus

Alla olevissa taulukoissa on esitetty keskimääräisen rungon tilavuus 10 cm läpimittaluokissa pääpuulajeille (kuusi, mänty, koivu) kolmelle eri alueelle Suomessa (E-S = Etelä-Suomi, V-S = Väli-Suomi, P-S = Pohjois-Suomi). Tilavuudet on ilmoitettu kuutiometreinä kuutiodesimetrin eli litran tarkkuudella (esim. 0,334 m³ = 334 litraa).

Kuusi

	Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi
10–19	0,134	0,152	0,154
20–29	0,528	0,568	0,571
30–39	1,31	1,277	1,172
40–49	2,358	2,135	2,053

Mänty

	Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi
10–20	0,139	0,127	0,129
20–30	0,494	0,472	0,456
30–40	1,108	1,042	0,985
40–45	1,685	1,611	1,38

Koivu

	Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi
10–20	0,159	0,161	0,152
20–30	0,593	0,565	0,524
30–40	1,319	1,239	1,089
> 40	2,09	1,888	

Läpimittaluokittaisten keskitilavuuksien laskenta

MOTTI-ohjelmistolla (Hynynen ym. 2005, Salminen ym. 2005, Hynynen ym. 2014) simuloitiin kullekin pääpuulajille kolmen esimerkkimetsikön kehitys uudistamisesta kiertoajan loppuun. Metsiköt edustivat kunkin puulajin tyypillistä kivennäismaiden kasvupaikkaa Etelä-Suomen, Väli-Suomen ja Pohjois-Suomen ilmasto-oloissa. Ilmastoalueen rajat olivat samat kuin Tapion metsänhoitosuosituksissa (v. 2006). Kasvupaikat olivat kuusella tuore kangas, männyllä kuivahko kangas ja rauduskoivulla lehtomainen kangas. Lähtötilanteena oli viljelyllä toteutettu uudistaminen Tapion metsänhoitosuositusten mukaisesti. Puustoa kasvatettiin toistuvasti harventaen, mutta kiertoaika jatkettiin huomattavasti normaalia pidempään, jotta olisi saatu tilavuudet myös järeimmille läpimittaluokille.

MOTTI-ohjelmistossa metsikkö kuvataan muodostamalla ensin puuston kokojakauma. Jakaumasta poimitaan kuvauspuut, joiden kehitystä simuloidaan. Näin saadaan ennustettua jokaiselle puulle iänmukainen kehitys (läpimitta, pituus ja tilavuus). Puiden tilavuudet on laskettu Laasasenahon (1982) julkaisemilla puun runkotilavuusyhtälöllä, jossa tilavuus on laskettu puun rinnankorkeusläpimitan ja pituuden avulla. Puiden läpimitat, pituudet ja tilavuudet saatiin Motilla simuloiduista kuvauspuista. Kokoluokittaisissa tilavuustaulukoissa on esitetty kuvauspuille laskettujen runkotilavuuksien keskiarvot 10 cm:n läpimittaluokissa.

Taulukoita laadittaessa tarkasteltiin myös mahdollista eroa puiden tilavuuksissa istutetuissa ja luontaisesti syntyneissä metsiköissä ja kunkin puulajin eri kasvupaikoilla, mutta koska näiden väliset erot olivat pieniä, puuston uudistumistapa ja kasvupaikkatyyppi jätettiin pois lopullisista taulukoista. Tilavuustaulukoissa esitetyt 10 cm:n läpimittaluokittaiset runkotilavuudet ovat keskimääräisiä ja suuntaa antavia, koska läpimittaluokittelu on hyvin karkea. Niihin sisältyy myös oletus siitä, että puiden pituusjakauma läpimittaluokan sisällä noudattaa toistuvasti harvennettujen talousmetsien puiden pituusjakamaa. Laasasenahon (1982) malleihin perustuvat puulajeittaiset puiden runkotilavuustilavuustaulukot (puun tilavuus puun läpimitan ja pituuden avulla laskettuna) on julkaistu mm. Tapion taskukirjassa (Tapion taskukirja 25, uudistettu painos).

Liite 3 – Maastolomakkeet

MAASTOLOMAKE: TARKENNETTU SILMÄVARAINEN ARVIOINTI						
Mittaaja/organisaatio:				Pvm.		
Kohteen tiedot				Huomioita		
Mittaustiedot						
Puulaji	Läpimitta- luokka	Runkoja yht.		Keskitila- vuus	Tilavuus	Lahojatkumoluokka (1–3)
		Maapuut	Pystypuut			
	10–19 cm					
	20–29 cm					
	30–39 cm					
	40–49 cm					
	50–59 cm					
				Tilavuus yht.		
	10–19 cm					
	20–29 cm					
	30–39 cm					
	40–49 cm					
	50–59 cm					
				Tilavuus yht.		
	10–19 cm					
	20–29 cm					
	30–39 cm					
	40–49 cm					
	50–59 cm					
				Tilavuus yht.		
	10–19 cm					
	20–29 cm					
	30–39 cm					
	40–49 cm					
	50–59 cm					
				Tilavuus yht.		
	10–19 cm					
	20–29 cm					
	30–39 cm					
	40–49 cm					
	50–59 cm					
				Tilavuus yht.		
			Kuvion lahoppuutilavuus:			

MAASTO-OHJE: TARKENNETTU SILMÄVARAINEN ARVIOINTI

Metsikkökuvio kävellään läpi suunnilleen yhdensuuntaisissa, edestakaisissa linjoissa siten, että voidaan havaita kaikki siellä olevat lahopuut. Kokonaisten runkojen määrä kirjataan läpimittaluokittain. Jos kohteella on lahopuiden pätkiä, arvioidaan niistä yhteensä muodostuvien runkojen määrä. Puiden läpimittaa ei mitata yksilöllisesti, vaan puiden lukumäärä lasketaan läpimittaluokittain. Arvioinnin tarkkuuden lisäämiseksi puiden läpimitasta on suositeltavaa tehdä välillä tarkistusmittauksia.

TARKENNUKSIJA LAADUN ARVIOIMISEEN**Lahopuujatkumo:**

Lahopuun määrän lisäksi koko kuviolta voidaan arvioida lahopuujatkumo (lahoastejakauman tasaisuus) seuraavalla luokituksella:

- 1 = heikko lahopuujatkumo; valtaosa kuvion kuolleista puista joko kuollutta pystypuustoa tai kovia maapuita, vanhempia maapuita korkeintaan yksitellen.
- 2 = kohtalainen lahopuujatkumo; kuviolla kuolleen pystypuuston ja kovien maapuiden lisäksi vähintään noin kolmasosa kuolleesta puustosta pidemmälle lahonneita (keskilahoja ja pitkälle lahonneita) maapuita.
- 3 = hyvä lahopuujatkumo; kuviolla vähintään noin kolmasosa maapuurungoista on pitkälle lahonneita, vähintään noin kolmasosa keskilahoja ja korkeintaan noin kolmasosa vielä kovia, melko äskettäin kuolleita.

Puulajit:

Arvioinnissa voidaan kirjata puulajit (tai havu- ja lehtipuut) erikseen kuhunkin lomakkeen vasemmassa reunassa olevaan sarakkeeseen.

Maa- ja pystypuut:

Lahopuut voidaan eritellä maa- ja pystypuihin kirjaamalla kunkin läpimittaluokan puut omille sarakkeilleen.

TILAVUUDEN LASKENTA

Lahopuiden tilavuus lasketaan kertomalla puiden lukumäärä kunkin läpimittaluokan keskitilavuudella (m³).

Etelä-Suomi	Väli-Suomi	Pohjois-Suomi
Kuusi 10–19 cm = 0,134 20–29 cm = 0,528 30–39 cm = 1,310 40–49 cm = 2,358	Kuusi 10–19 cm = 0,152 20–29 cm = 0,568 30–39 cm = 1,277 40–49 cm = 2,135	Kuusi 10–19 cm = 0,154 20–29 cm = 0,571 30–39 cm = 1,172 40–49 cm = 2,053
Mänty 10–19 cm = 0,139 20–29 cm = 0,494 30–39 cm = 1,108 40–45 cm = 1,685	Mänty 10–19 cm = 0,127 20–29 cm = 0,472 30–39 cm = 1,042 40–45 cm = 1,611	Mänty 10–19 cm = 0,129 20–29 cm = 0,456 30–39 cm = 0,985 40–45 cm = 1,380
Koivu 10–19 cm = 0,159 20–29 cm = 0,593 30–39 cm = 1,319 >40 cm = 2,090	Koivu 10–19 cm = 0,161 20–29 cm = 0,565 30–39 cm = 1,239 >40 cm = 1,888	Koivu 10–19 cm = 0,152 20–29 cm = 0,524 30–39 cm = 1,089 >40 cm =

[illegible]

MAASTO-OHJE: KOKO KUVION LAHOPUUSTON MITTAUS

Kaikista kuviolla olevista kuolleista puista ja lahoppuukappaleista mitataan erikseen runkomuuttujat (kts. alla). Kaikista puista mitataan vähintään läpimittatieto ja muista kuin kokonaisista puista lisäksi pituustieto, jotta puiden tilavuuden laskenta olisi mahdollista. Puiden minimiläpimitta ja -pituus päätetään käyttötarkoituksen mukaan ja merkitään lomakkeen huomioita-sarakkeeseen.

TARKENNUKSIA TUNNUSTEN MITTAAMISEEN

Läpimitta:

Kokonaisista kuolleista puista mitataan rinnankorkeusläpimitta, lahoppuukappaleista tyviläpimitta.

Laatu:

- 0 = ei tietoa (yleensä pitkälle lahonneista maapuista)
- 1 = kokonainen pystyyn kuollut puu
- 2 = pötkelö tai korkea luonnonkanto, yli 1/3 rungon pituudesta murtunut
- 3 = kokonainen juurineen kaatunut maapuu
- 4 = katkennut puu
- 5 = ihmisen tekemä korkea kanto tai tekopötkelö (huom. minimipituus 1,3 m)
- 6 = tyveys tai jätetty pölli
- 7 = ihmisen tekemä latvaosa (esim. hakkuutähde)
- 8 = kokonainen katkaistu maapuu

Lahoaste:

- 1 = Puuainekseltaan kova. Puukko tunkeutuu puuhun vain muutaman millimetrin. Luokkaan kuuluvat myös kovat kelopuut ja muut pystyyn kuolleet puut sekä äskettäin kaatuneet puut, joissa puuaines ei ole alkanut lahota.
- 2 = Pintalahoa. Puukko tunkeutuu puuhun 1–2 cm.
- 3 = Melko pehmeä. Puukko tunkeutuu puuhun 3–5 cm.
- 4 = Läpilaho. Puukko tunkeutuu puuhun helposti kahvaa myöten.

Kuolleen puun lahoasteen määrittämisessä arvioidaan rungon keskimääräinen lahoaste tilavuudella painottaen. Usein rungon latvapää on pidemmälle lahonnut kuin tyvipää, ja samoin maahan koskettavat osat ovat pidemmälle lahonneita kuin vielä ilmassa olevat osat.

Jos pitkälle lahonneesta maapuusta (lahoaste 4) suurin osa on lahonnut jo kokonaan olemattomiin ja rungosta on jäljellä enää esimerkiksi 8 metrin mittainen pätkä, mitataan ainoastaan tämä mitattavissa oleva pätkä sekä sen tyviläpimitta ja pituus. Laatu on 4 katkennut puu (tai 0 ei tietoa), pituus on 8 metriä.

Pituus:

Pituustieto tarvitaan kaikista sellaisista puista, joita ei kuutioida kokonaisina puina vaan kappaleina. Kokonaisista puista (kokonaiset pystyyn kuolleet, pötkelöt maapuuosineen, juurineen kaatuneet, kokonaiset katkenneet) ei mitata pituutta. Toisin sanoen pituustiedon puuttuminen pituussarakkeelta tarkoittaa sitä, että puu on kokonainen. Pituustieto pituussarakkeella tarkoittaa sitä, että puu kuutioidaan kappaleena (maapuupätkät ja sahatut pöllit lieriöinä, hakkuutähdelatvukset kartioina).

Jos maahan kaatunut kokonainen puu on katkeillut pätkiksi, niin pätkiä ei ole tarkoitus mitata erikseen vaan mitataan puu kokonaisena puuna (rinnankorkeusläpimitta). Samoin jos maapuupätkä selvästi koostuu kahdesta samaan puuhun kuuluvasta mutta katkenneesta palasta, voidaan mitata näiden yhteenlaskettu pituus ja tyviläpimitta paksusta päästä.

Pötkelöt koostuvat yleensä aina pystyssä olevasta pötkelöosasta (pituus vähintään 1,3 metriä, laatu 2) sekä maapuuosasta (laatu 4, katkennut puu). Nämä saavat saman juoksevan puunumeron, koska kyse on samasta puusta.

Lähteet

- Hynynen J., Ahtikoski A., Siitonen J., Sievänen R, Liski J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effect of alternative management schedules on timber and non-timber production. *For Ecol Manag* 207:5–18.
- Hynynen J., Salminen H., Huuskonen S., Ahtikoski A., Ojansuu R., Siipilehto J., Lehtonen M., Rummukainen A., Kojola S., Eerikäinen K. 2014. Scenario analysis for the biomass supply potential and the future development of Finnish forest resources. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 302 ISBN 978-951-40-2487-0 (PDF). <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2014/mwp302.htm>.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communications Instituti Forestalis Fenniae* 108, 74 p.
- Lehtonen, A., Aro, L., Haakana, M., Haikarainen, S., Heikkinen, J., Huuskonen, S., Härkönen, K., Hökkä, H., Kekkonen, H., Koskela, T., Lehtonen, H., Luoranen, J., Mutanen, A., Nieminen, M., Ollila, P., Palosuo, T., Pohjanmies, T., Repo, A., Rikkonen, P., Rätty, M., Saarnio, S., Smolander, A., Soinne, H., Tolvanen, A., Tuomainen, T., Uotila, K., Viitala, E.-J., Virkajärvi, P., Wall, A. & Mäkipää, R. 2021. Maankäyttösektorin ilmastotoimenpiteet: Arvio päästövähennysmahdollisuuksista. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 7/2021. Luonnonvarakeskus. Helsinki. 121 s.
- Levin, H. M. & McEwan, P. J. 2000. *Cost-Effectiveness Analyses: Methods and Applications*. Sage Publishing.
- Peura, P., Turunen, J., Purmonen, T., Happonen, P. & Martikainen, J. 2011. Mitä lääkehoitojen kustannusvaikuttavuus tarkoittaa? *Sic! Fimea* nr 2/2011.
- Salminen H., Lehtonen M., Hynynen J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Comput Electron Agric* 49:103–113.
- Siipilehto, J., Kangas, A. 2015. Näslundin pituuskäyrä ja siihen perustuvia malleja läpimitan ja pituuden välisestä riippuvuudesta suomalaisissa talousmetsissä. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2015: 215–236.
- Tapion taskukirja, 25. uudistettu painos. 2008. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy. ss. 279–286.



Maistraatinportti 4 A
00240 Helsinki
tapio@tapio.fi

www.tapio.fi