

Maastolaserkeilauksen ajankäyttö ja soveltuvuus metsänmittauksessa

Yhteenveto opinnäytetyöstä





MAASTOLASERKEILAUKSEN AJANKÄYTTÖ JA SOVELTUVUUS METSÄNMITTAUKSESSA

Yhteenveto opinnäytetyöstä

Opinnäytetyön tekijä: Anne Kekkonen
Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden tutkinto-ohjelma

Tämä opinnäytetyö on toteutettu yhteistyössä Suomen metsäkeskuksen ja Luonnonvarakeskuksen kanssa, ja sen on mahdollistanut Kestävästi tuotetun pienpuun saatavuuden parantaminen Pohjois-Karjalassa (KESSU) -hanke. Opinnäytetyössä käytetyt maastoaineistot on kerätty yhteistyössä Itä-Suomen yliopiston kanssa KESSU:n ja UNITE-lippulaivan rahoituksella. Tässä dokumentissa on tiivistetty opinnäytetyön sisältö ja tärkeimmät tulokset. Opinnäytetyö on vielä julkaisematon ja se julkaistaan kokonaisuudessaan myöhemmin otsikolla: ”Maastolaserkeilausmenetelmien ja -laitteiden käytön aikatutkimus metsäinventoinnin referenssikoealojen mittauksessa”.



Sisällys

1 Selvityksen tavoite	4
2 Aineistot	4
2.1 Perinteinen mittaus	4
2.2 Maastolaserkeilaus	5
3 Menetelmät	6
3.1 Tilastollinen tarkastelu	6
3.2 Haastattelu	7
4 Tulokset ja johtopäätökset	7
Liite 1.	11

1 Selvityksen tavoite

Selvityksen tavoitteena oli vertailla maastolaserkeilauksen ja perinteisen koealamittauksen ajankäyttöä maastotyössä, ja selvittää, tuoko maastolaserkeilaus merkittävää ajansäästöä verrattuna perinteiseen metsänmittaukseen. Lisäksi arvioitiin asiantuntijahaastattelujen avulla, miten maastolaserkeilaus soveltuu Metsäkeskuksen tiedon tuotantoon ja millaisia eroja eri tiedonkeruutavoilla on. Selvitys toteutettiin Metsäkeskuksen operatiivisten koealamittausten näkökulmasta, mutta tulokset ovat sovellettavissa yleisesti metsänarvioinnin alalla.

2 Aineistot

2.1 Perinteinen mittaus

Perinteinen mittausaineisto kerättiin osana Metsäkeskuksen operatiivista koealamittauksista Heinäveden inventointialueella. Heinäveden koealojen perusjoukon muodostivat operatiiviseen inventointiin kerätyt koeala-aineistot, sekä Metsäkaksosen- ja Kuopus-hankkeisiin kerätyt koealat.

Suomen Metsäkeskuksen koealamittauksessa käytetään kahta päätyyppiä: a) puukarttakoealoja ja b) kiinteäsäteisiä ympyräkoealoja. Puukartoilta tavoitteena on mitata yleensä 100–200 puuta, jonka takia koealan koko vaihtelee puuston tiheyden mukaan. Mitattava alue valitaan siten, että se on mahdollisimman tasainen ja rajautuu selkeisiin maastonkohtiin. Koealoilta paikannetaan erikseen tarkasti koealan nurkkapisteet, joiden perusteella puukarttamittauksella voidaan sitoa todelliseen koordinaatistoon. Mittauksessa kirjataan vähintään 50 mm puiden rinnankorkeusläpimitta, puuluokka ja puulaji, ja koepuista myös pituus ja ikä.

Kiinteäsäteisillä ympyräkoealoilla mitataan kaikkien vähintään 50 mm läpimitaltaan olevien puiden rinnankorkeusläpimitta, sekä valituista koepuista myös pituus ja ikä. Koealan koko ja säde määräytyvät puuston pituuden ja tiheyden mukaan. Mittaus tehdään systemaattisesti, ja puiden kuulumisen koealalle tarkistetaan etäisyysmittauksella. Tässä selvityksessä mukana olleet kiinteäsäteiset ympyräkoealat olivat kaikki säteeltään 9 metriä.

Tähän työhön perinteiseen mittaukseen kulunut aika määritettiin koealoilta aikaleimausten perusteella: mittaukseen kuluneeksi ajaksi laskettiin ensimmäisen ja viimeisen rungon aikaleimausten välinen aika.

2.2 Maastolaserkeilaus

Edellä kuvatusta Heinäveden koealajoen perusjoukosta valittiin 50 puukartta-koealan ja 16 kiinteäsäteisen koealan joukko, joille suoritettiin maastolaserkeilaus. Selvityksessä käytettiin neljää maastolaserkeilainta: 1) Riegl VZ-400i -maalaserkeilain, 2) Faro Orbis -mobiililaserkeilain, 3) OWL-maalaserkeilain sekä 4) iPhone 15 Pro Max. Kiinteäsäteiset koealat mitattiin ainoastaan Faro-keilaimella ja iPhone-mittaus toteutettiin ainoastaan koealoilla, joissa runkoluku oli alle 1000 runkoa hehtaarilla. Lopullinen koealamäärä määräytyi sen mukaan, miten maastolaserkeilaukset olivat onnistuneet milläkin laitteella. Kaksi koealaa jouduttiin myös hylkäämään, koska ne oli käsitelty perinteisen metsänmittauksen ja maastolaserkeilauksen välissä. Tässä selvityksessä käytetyt koealamäärät mittausmenetelmittäin on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Koealojen määrä eli otoskoko eri mittalaitteilla ja menetelmillä

Mittausmenetelmä	Otoskoko
Perinteinen mittaus	63
Faro Apilakuvio	63
Faro Linjakuvio	56
Riegl	48
OWL	27
iPhone	28

OWL- että Riegl-keilauksia varten maastoon asetettiin aluksi niin kutsutut asema- eli mittauspisteet. Asemapisteen sijoitettiin ensisijaisesti aiemmin perinteisessä koealamittauksessa kohteille valmiiksi asetettujen keskipisteiden mukaan, mikäli ne olivat säilyneet maastossa. Rajauksessa huomioitiin myös reunapuusto, ja tarvittaessa lisättiin ylimääräisiä asemapistettä koealan ulkopuolelle kattavuuden varmistamiseksi. Asemapisteen väli määräytyi runkoluvun perusteella: alle 1000 runkoa/ha -kohteilla pisteet asetettiin noin 10 metrin välein, tiheämmillä kohteilla noin 5 metrin välein. OWL-keilaimella jouduttiin tiheän kuusikon tai aluskasvillisuuden vuoksi ottamaan ylimääräisiä pisteitä myös harvemmillä koealoilla.

Riegl VZ-400i-maalaserkeilaimella mittaukset aloitettiin koealan keskipisteestä ja ne etenivät asemapistekä kerrallaan myötäpäivään. Jokaisesta pisteestä tehtiin pystysuuntainen keilaus ja joka toisesta myös vaakasuuntainen keilaus, jotta laitteelle ominainen katvealue saatiin minimoitua. Mikäli keilaus epäonnistui, se toistettiin kyseiseltä pisteeltä.

OWL-maalaserkeilaimella mittaukset tehtiin vastaavista asemapisteistä kuin Rieglillä, yleensä aloittaen kulmapisteestä ja edeten rivi kerrallaan. Keilausjärjestys kirjattiin ylös jälkiprosessointia varten. Jos puun runko oli huonosti näkyvissä, lisättiin asemapisteitä kattavuuden parantamiseksi. Mittausaika määritettiin minuutin tarkkuudella alkaen ensimmäiseltä asemapisteeltä ja päättyen viimeiseen asemapisteeseen.

Faro Orbis -mobiililaserkeilain kiinnitettiin selkäreppuun ja mittaukset toteutettiin kahdella eri kävelyreitillä kaikilla koealoilla. Ensimmäinen reitti oli neliapilan muotoinen, jossa koeala jaettiin neljään lohkokoon asemapisteiden mukaan. Toinen reitti oli ristikon muotoinen, jossa kuljettiin pohjois-etelä- ja itä-länsisuuntaisia linjoja pitkin. Keilain käyttää SLAM-tekniikkaa ja tallentaa pistepilven sekä panoraamakuvat, joiden avulla voidaan muodostaa metsikön 3D-malli. Mittaukset kirjattiin minuutin tarkkuudella, keilaimen käynnistyksestä datan viimeistelyyn asti. Faro Orbis -aineiston georeferointia varten kohteilta kerättiin erillisiä referenssipaikannuspisteitä keilauksen aikana.

iPhone-mittauksissa käytettiin Modelar-sovellusta, ja mittaukset kohdistettiin koealoille, joiden runkoluku oli alle 1000 kpl/ha, sekä yhdelle tiheämmälle männikkökohteelle. Puut kuvattiin kiertämällä ne muutaman metrin etäisyydeltä, ja ensimmäisten koealojen jälkeen mittausalue rajattiin 20x20 metrin kokoiseksi keskipisteen ympärille mittausten työläyden takia. Mittausaika kirjattiin sovelluksen käytön perusteella ja suhteutettiin koealan todelliseen kokoon. Mittauksessa kiinnitettiin huomiota siihen, että kaikki puut tulivat kuvatuksi ja että puhelin tallensi riittävästi maanpintaa ja runkoa rinnankorkeuteen asti.

Kaikissa mittausmenetelmissä pyrittiin varmistamaan kattavuus ja vertailukelpoisuus sekä kirjaamaan mittauksiin kulunut aika mahdollisimman tarkasti. Näin saatiin aineisto, jonka avulla voitiin vertailla eri mittausmenetelmien ajankäyttöä ja soveltuvuutta metsänmittaukseen.

3 Menetelmät

3.1 Tilastollinen tarkastelu

Tilastollisessa tarkastelussa eri mittausmenetelmien ajankäyttöä verrattiin muuttamalla kaikki mittausajat sekuntia/runko- muotoon, jotta tulokset olivat vertailukelpoisia. Aineistosta laskettiin tilastolliset muuttujat kuvaamaan ajankäytön vaihtelua eri menetelmillä. Mittaustulosten riippuvuuksia ja eroja analysoitiin useilla tilastollisilla testeillä: Spearmanin järjestyskorrelaatiokertoimella tutkittiin mittausaikojen välistä yhteyttä, Levenen testillä tarkistettiin varianssien yhteneväisyys ja Shapiro-

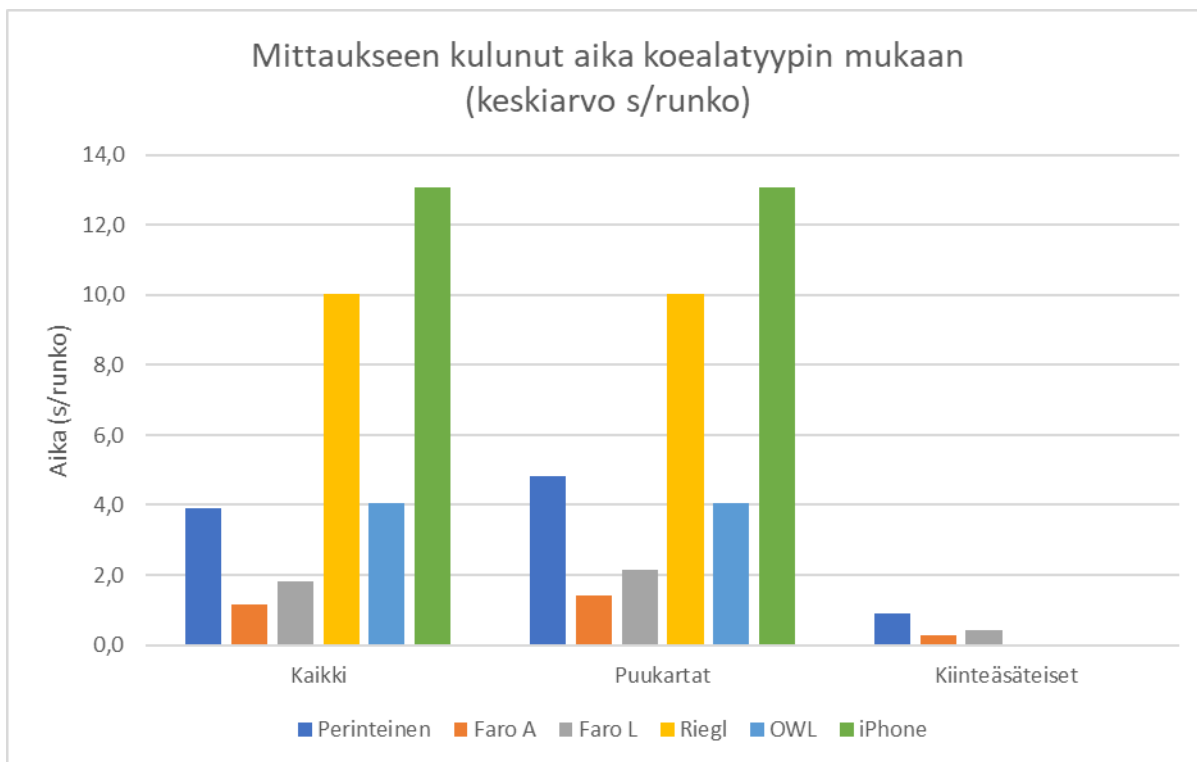
Wilkin testillä selvitettiin normaalijakauman toteutumista. Jos normaalijakauman ja varianssien ehdot eivät täyttyneet, ryhmien mediaanien eroja vertailtiin Kruskal-Wal-lisin testillä ja mahdolliset ryhmäkohtaiset erot tunnistettiin Dunnin jälkitestillä.

3.2 Haastattelu

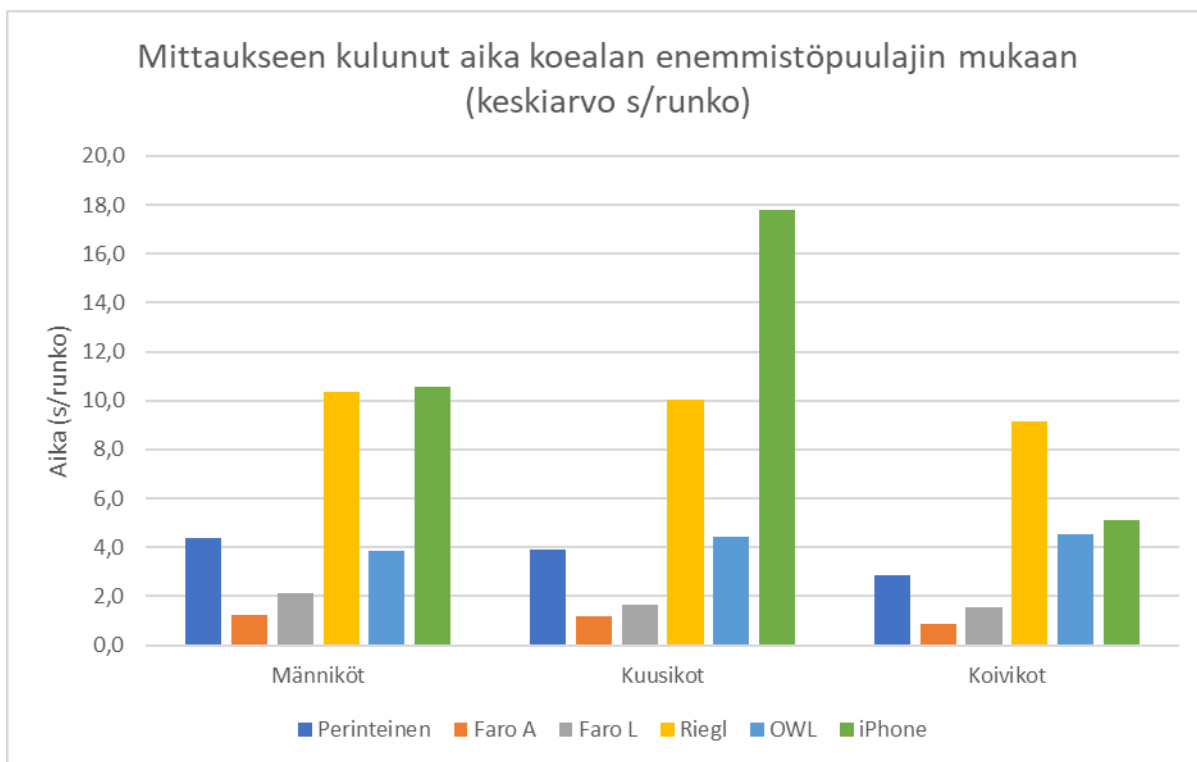
Selvityksessä käytettiin puolistrukturoitua teemahaastattelua, jossa haastateltiin Metsäkeskuksen, Luonnonvarakeskuksen, yliopistojen ja alan yritysten asiantuntijoita. Haastateltavat valittiin heidän erityisosaamisensa perusteella. Haastatteluissa esitettiin pääosin samat kysymykset, mutta keskustelua ohjattiin joustavasti ja tarvittaessa esitettiin lisäkysymyksiä. Haastattelujen tavoitteena oli kartoittaa kokemuksia, vahvuuksia, heikkouksia ja kehitystarpeita perinteisessä koealamittauksessa ja maastolasermittauksessa, sekä selvittää kiinnostusta uusien menetelmien käyttöönottoon. Haastattelut litteroitiin tekoälyn avulla ja tarkistettiin manuaalisesti. Vastaukset analysoitiin laadullisesti, ja analyysissä hyödynnettiin myös tekoälyä, joka auttoi tunnistamaan ajankäyttöön vaikuttavia tekijöitä ja muita keskeisiä teemoja.

4 Tulokset ja johtopäätökset

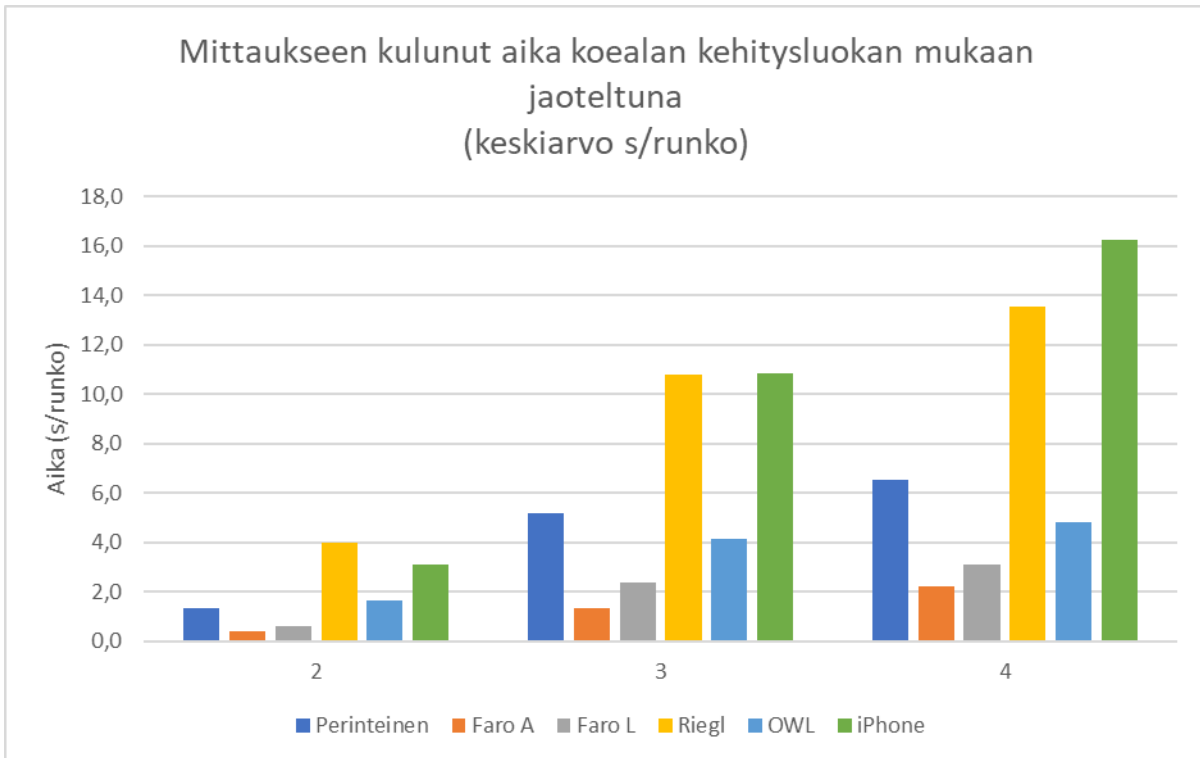
Tulokset osoittavat, että maastolaserkeilauksella voidaan saavuttaa merkittäviä ajansäästöjä maastotyöhön perinteiseen koealamittaukseen verrattuna, mutta säästön suuruus riippuu käytetystä laitteesta ja mittausmenetelmästä. Faro Orbis -keilaimella tehty mittaus oli kaikissa tarkastelluissa tapauksissa nopeampaa kuin perinteisellä menetelmällä. Faro Orbis mittaukseen kului keskimäärin koko aineistossa 1,1–1,8 sekuntia/runko (apila- ja linjakuviot), kun perinteisellä menetelmällä vastaava aika oli 3,9 sekuntia/runko. OWL mittaus oli keskimäärin hitaampaa (koko aineiston keskiarvo 4,1 sekuntia/runko) kuin perinteinen mittaus, mutta tietyissä metsikkötyypeissä ja kehitysluokissa se suoriutui perinteistä menetelmää hieman nopeammin (erot eivät kuitenkaan tilastollisesti merkitseviä). Rieglillä mittaus oli perinteistä menetelmää huomattavasti hitaampaa (koko aineiston keskiarvo 10,0 sekuntia/runko). iPhonella kaikkien koealojen mittausaikojen keskiarvo oli kaikista suurin (13,1 sekuntia/runko) ja ajanmenekki vaihteli paljon (keskihajonta 29,8). Kuvaajissa 1, 2 ja 3 on esitetty mittaukseen kulunut aika koko aineistossa ja jaoteltuna koealatyypin, enemmistöpuulajin ja kehitysluokan mukaan.



Kuvaaja 1. Mittaukseen kuluneen ajan keskiarvot eri mittalaitteilla koealakoealatyypin mukaan tarkasteltuna.



Kuvaaja 2. Mittaukseen kuluneen ajan keskiarvot eri mittalaitteilla koealan enemmistöpuulajin mukaan tarkasteltuna.



Kuvaaja 3. Mittaukseen kuluneen ajan keskiarvot eri mittalaitteilla koealan kehitysluokan mukaan tarkasteltuna (02 = nuori kasvatusmetsikkö, 03 = varttunut kasvatusmetsikkö, 04 = uudistuskypsä metsikkö).

Luottamusvälit olivat kaikilla mittausmenetelmillä ja lähes kaikissa tarkasteluryhmissä hyvin pieniä; saatujen keskiarvojen voidaan siis olettaa olevan tarkkoja. Mittausaikaan vaikuttivat eniten metsikön runkoluku ja puulaji, mutta myös koealan koko ja kehitysluokka olivat merkitseviä tekijöitä. Jos tarkastellaan esimerkiksi mittausmenetelmien suoriutumista eri kehitysluokissa, kaikki mittalaitteet, sekä perinteinen inventointi suoriutuivat hitaimmin kehitysluokan 4 metsissä ja nopeimmin kehitysluokan 2 metsissä. Tämä havainto johtuu koealan koosta, sillä kehitysluokan 4 metsissä on vähän runkoja suurella koealalla, jolloin keskimääräisesti yhtä runkoa kohden kuluu enemmän aikaa. Tuloksia tarkasteltaessa Rieglin osalta on myös hyvä huomioda se, että sillä mittaus tehtiin hyvin tiheällä asemapistelistöllä. Asemapisteidien määrää Riegl-mittauksissa on todennäköisesti mahdollista optimoida metsiköistä havaittujen ennakkotietojen ja maastotyökokemuksen avulla. Tosin Riegl:n mittausaikojen keskiarvo oli perinteiseen mittaukseen verrattuna yli kaksinkertainen kaikissa tarkastelluissa tapauksissa. Jos oletetaan, että yhdellä asemapistellä kuluu keskimäärin sama aika, asemapistettä saisi olla noin kolmasosa tässä tutkimuksessa käytetystä asetelmasta, mikäli haluttaisiin päästä perinteistä mittausta nopeampaan aikaan.

Faro-keilaimella saavutettaisiin perinteiseen mittaukseen verrattuna suurimmat säästöt: vuositasolla tämä tarkoittaisi Metsäkeskuksen inventointilaajuudessa

2 155–2 869 henkilötyöpäivän (htp) säästöä, joka tarkoittaa 547 000–728 000 € kustannussäästöä. Laskelma perustuu oletukseen, että kaikki koealamittaukset voitaisiin korvata uudella teknologialla. Säästö syntyy nopeammasta mittauksesta ja siitä, että työ voidaan tehdä yhden henkilön voimin. On kuitenkin huomioitava, että kokonaiskustannustehokkuuden arvioinnissa tulee huomioida myös mittausten valmisteluun ja jälkikäsittelyyn kuluva aika, joita ei otettu tarkasteluun tässä selvityksessä.

Haastattelujen perusteella perinteisen mittauksen etuina nähtiin helppokäyttöisyys, keveys ja tunnetut virhelähteet, kun taas haittoina olivat inhimilliset virheet ja mittauksen hitaus. Maastolaserkeilauksen etuina korostuivat tarkkuus, mahdollisuus palata mittaushetkeen ja monipuolisemmat puustotunnukset, mutta haittoina nähtiin laitteiden hinta, paino, sääherkkyys ja datan jälkikäsittelyn työläys.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että maastolaserkeilaus tarjoaa potentiaalia nopeampaan ja siten kustannustehokkaampaan maastomittaukseen, erityisesti kun prosessointia saadaan automatisoitua ja laitteiden käytettävyyttä kehitetään. Kokonaisvaltaista arviota menetelmän soveltuvuudesta tai kustannuksista ei kuitenkaan voida näiden tulosten perusteella tehdä vaan siinä tulee ottaa huomioon paljon muita laatuun ja kustannuksiin vaikuttavia tekijöitä. Perinteinen mittausmenetelmä säilyttää kuitenkin todennäköisesti vahvuutensa erityisesti taimikoissa ja nuorissa metsissä sekä tilanteissa, joissa tarvitaan tarkkaa ja helposti todennettavaa tietoa. Molemmat menetelmät täydentävät toisiaan, ja jatkossa tarvitaan lisää tutkimusta sekä käytännön kokemuksia, jotta maastolaserkeilauksesta voidaan kehittää varteenotettava vaihtoehto perinteiselle koealamittaukselle metsien mittaukseen.

Tekoälyn käyttö yhteenvedon tekemisessä

Yhteenvedon tekemisessä on hyödynnetty apuna OpenAI:n tekoälymallia (GPT-4.1). Yhteenveto on muokattu ja jatkokirjoitettu Metsäkeskuksen erityisasiantuntijan toimesta, ja sen on tarkastanut työn alkuperäinen kirjoittaja.

Liite 1.

Taulukko 1. Mittaukseen kuluneen ajan keskiarvot eri mittalaitteilla koealakoealatyypin mukaan tarkasteltuna.

Koealojen ryhmitys	Mittausmenetelmä	Mittaukseen kulunut aika (keskiarvo s/runko)
Kaikki	Perinteinen mittaus	3,9
Kaikki	Faro Apilakuvio	1,1
Kaikki	Faro Linjakuvio	1,8
Kaikki	Riegl	10,0
Kaikki	OWL	4,1
Kaikki	IPhone	13,1
Puukartat	Perinteinen mittaus	4,8
Puukartat	Faro Apilakuvio	1,4
Puukartat	Faro Linjakuvio	2,2
Puukartat	Riegl	10,0
Puukartat	OWL	4,1
Puukartat	IPhone	13,1
Kiinteäsäteiset	Perinteinen mittaus	0,9
Kiinteäsäteiset	Faro Apilakuvio	0,3
Kiinteäsäteiset	Faro Linjakuvio	0,4

Taulukko 2. Mittaukseen kuluneen ajan keskiarvot eri mittalaitteilla koealan enemmistöpuulajin mukaan tarkasteltuna.

Koealojen ryhmitys	Mittausmenetelmä	Mittaukseen kulunut aika (keskiarvo s/runko)
Männiköt	Perinteinen mittaus	4,4
Männiköt	Faro Apilakuvio	1,2
Männiköt	Faro Linjakuvio	2,1
Männiköt	Riegl	10,4
Männiköt	OWL	3,8
Männiköt	IPhone	10,6
Kuusikot	Perinteinen mittaus	3,9
Kuusikot	Faro Apilakuvio	1,2
Kuusikot	Faro Linjakuvio	1,7
Kuusikot	Riegl	10,0
Kuusikot	OWL	4,4
Kuusikot	IPhone	17,8
Koivikot	Perinteinen mittaus	2,8
Koivikot	Faro Apilakuvio	0,8
Koivikot	Faro Linjakuvio	1,5
Koivikot	Riegl	9,1
Koivikot	OWL	4,5
Koivikot	IPhone	5,1

Taulukko 3. Mittaukseen kuluneen ajan keskiarvot eri mittalaitteilla koealan kehitysluokan mukaan tarkasteltuna.

Koealojen ryhmitys	Mittausmenetelmä	Mittaukseen kulunut aika (keskiarvo s/runko)
Nuoret kasvatusmetsiköt	Perinteinen mittaus	1,3
Nuoret kasvatusmetsiköt	Faro Apilakuvio	0,4
Nuoret kasvatusmetsiköt	Faro Linjakuvio	0,6
Nuoret kasvatusmetsiköt	Riegl	4,0
Nuoret kasvatusmetsiköt	OWL	1,6
Nuoret kasvatusmetsiköt	IPhone	3,1
Varttuneet kasvatusmetsiköt	Perinteinen mittaus	5,2
Varttuneet kasvatusmetsiköt	Faro Apilakuvio	1,3
Varttuneet kasvatusmetsiköt	Faro Linjakuvio	2,3
Varttuneet kasvatusmetsiköt	Riegl	10,8
Varttuneet kasvatusmetsiköt	OWL	4,1
Varttuneet kasvatusmetsiköt	IPhone	10,9
Uudistuskypsät metsiköt	Perinteinen mittaus	6,5
Uudistuskypsät metsiköt	Faro Apilakuvio	2,2
Uudistuskypsät metsiköt	Faro Linjakuvio	3,1
Uudistuskypsät metsiköt	Riegl	13,6
Uudistuskypsät metsiköt	OWL	4,8
Uudistuskypsät metsiköt	IPhone	16,3