

**TRESTIMAN PUUSTOTULKINNAN TARKKUUS TARKKAAN
MITATUILLA PUUKARTTAKOEALOILLA**



Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Evo, metsätalous

Kevät, 2020

Petri Ruusunen

Metsätalous
Evo

Tekijä	Petri Ruusunen	Vuosi 2020
Työn nimi	Trestiman puustotulkinnan tarkkuus tarkkaan mitatuilla puukarttakoealoilla	
Työn ohjaajat	Esa Lientola ja Risto Viitala	

TIIVISTELMÄ

Ajatus tämän opinnäytetyön toteuttamiseen tuli työn tilaajalta Suomen Metsäkeskukselta. Opinnäytetyön tekijä oli kesällä 2019 harjoittelussa Suomen Metsäkeskuksessa, jolloin myös keskustelua opinnäytetyöstä syntyi. Työn tavoitteena oli selvittää konenäköön ja valokuvaan perustuvan Trestima-sovelluksen tarkkuutta vertaamalla sen tuloksia Metsäkeskuksen mittaamiin uudenslaisiin puukarttakoeala-aineistoihin.

Tutkimuksessa Trestimalla kuvattiin kesällä 2019 mitattuja puukarttakoealoja. Kuvaukset suoritettiin samana vuonna puukarttamittausten kanssa. Trestimalla kuvattaviksi kohteiksi valikoitui 65 koealaa Kanta- ja Päijät-Hämeen alueelta. Kuvaaminen tehtiin kahdella eri tavalla, jotta voitiin selvittää, kumpi tapa olisi sopivampi verrattain pienille puukarttakoealoille. Tutkimuksessa vertailtiin puustotunnuksia yksittäin sekä puulajisuhteita. Kuvauksessa huolehdittiin, että kaikki kuviin osuvat puut on myös mitattu puukarttakoealamittauksessa. Tulokset käsiteltiin laskemalla puustotunnuksittain ja puulajisuhteittain absoluuttinen ja suhteellinen RMSE ja harha.

Tutkimuksesta saaduista tuloksista kävi ilmi, että Trestima-sovellus ei ole riittävän tarkka Metsäkeskuksen tekemään kuviokohtaiseen metsävaratiedon laadunvarmistukseen. Koealakohtaisesti poikkeamia oli paljon, vaikka keskimääräisesti tulokset vaikuttivat paikkansapitäviltä.

Avainsanat Trestima, Puukarttakoeala, Metsäkeskus

Sivut 41 sivua, joista liitteitä 6 sivua

Forestry
Evo

Author	Petri Ruusunen	Year 2020
Subject	Trestima's accuracy in accurately measured tree map plots	
Supervisors	Esa Lientola and Risto Viitala	

ABSTRACT

The idea for this thesis came from a contractor from the Finnish Forest Centre. In the summer of 2019, the author of the thesis was a trainee in the above-mentioned organization, which also led to a discussion about the thesis. The aim of the study was to determine the accuracy of the Trestima application based on machine vision and photos by comparing its results with the new tree map plot data measured by the Finnish Forest Centre.

In the research, previously measured tree map plots were photographed with Trestima. The surveys at Trestima were carried out the same year as the tree map measurements. 65 plots from the Kanta-Häme and Päijät-Häme areas were selected as subjects to be photographed by Trestima. Shooting was done in two different ways to determine which method would be more appropriate for relatively small tree map plots. The study compared tree stands individually and tree ratios. In the description, care was taken that all trees in the pictures were also measured in the tree map test area measurement. The results were processed by calculating the absolute and relative RMSE and bias by tree species and tree species ratio.

The results of the study showed that the Trestima application is not accurate enough for the quality assurance of pattern-specific forest resource data by Finnish Forest Centre. There were many discrepancies by trial area, although on average the results appeared to be correct.

Keywords Trestima, tree map plot, Finnish Forest Centre

Pages 41 pages including appendices 6 pages

SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	1
2	METSÄVARATIEDON KERUU.....	2
2.1	Kaukokartoitusperusteinen inventointi.....	2
2.2	Kuviokohtainen maastoinventointi.....	4
2.3	Metsävaratiedon ajantasaistus.....	4
2.4	Puukarttakoealamittaus.....	5
2.4.1	TerraTec Oy.....	8
2.4.2	TerraHärp.....	8
2.5	Trestima.....	9
3	AIEMMAT TUTKIMUKSET.....	10
3.1	Trestiman mediaanipuun mittatarkkuuden testaus.....	10
3.2	Trestima älypuhelin kuvauksessa tunnistettujen puiden oikeellisuus.....	11
3.3	Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus.....	11
4	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS.....	11
4.1	Työskentelyalue.....	12
4.2	Kuvaaminen Trestimalla.....	13
4.2.1	Kuvaustapa 1.....	13
4.2.2	Kuvaustapa 2.....	14
4.3	Tulosten käsittely.....	14
4.3.1	RMSE.....	15
4.3.2	Harha.....	16
5	TUTKIMUKSEN TULOKSET.....	16
5.1	Puustotunnukset.....	17
5.1.1	län vertailu.....	17
5.1.2	Pohjapinta-alan vertailu.....	19
5.1.3	Runkoluvun vertailu.....	21
5.1.4	Läpimitan vertailu.....	22
5.1.5	Pituuden vertailu.....	24
5.1.6	Tilavuuden vertailu.....	26
5.2	Puulajisuhteet.....	28
5.2.1	Omavalinta.....	28
5.2.2	Trestimavalinta.....	30
6	YHTEENVETO TULOKSISTA.....	31
6.1	Vertailu aiemmin tehtyihin tutkimuksiin.....	31
6.2	Johtopäätökset tuloksista.....	32
7	JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA.....	33
	LÄHTEET.....	34

Liitteet

Liite 1

Residuaalikuvaajat

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, saako Trestima-sovelluksella riittävän luotettavaa tietoa kasvatusmetsissä ja uudistuskypsissä metsissä, jotta sitä pystyttäisiin käyttämään avuksi metsävaratiedon laadunvarmistuksessa.

Suomen Metsäkeskus inventoi ja päivittää Suomen metsävaratietoa, jotta voitaisiin tehokkaasti seurata metsien tilaa ja puumäärän kasvua. Metsien inventointikierto on noin kymmenen vuotta, jona aikana puustotiedot kerätään kaukokartoittamalla metsiköt. Puustotietoja ajantasaistetaan inventointien välissä kasvatusohjelmien, metsänkäyttöilmoitusten tai esimerkiksi KEMERA-hankkeiden perusteella. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

Metsäkeskuksessa on myös vuoden 2019 aikana otettu käyttöön puukarttamittaukseksi kutsuttu puuston mittaussjärjestelmä, jota käytetään kaukokartoituksella kerätyn metsävaratiedon referenssikoealoina. Niiden on tulevaisuudessa tarkoitus korvata aiemmin käytössä olleet ympyräkoealammittaukset kaikissa muun kehitysluokan metsiköissä paitsi taimikoissa. Puukarttakoealat ovat tarkkuudeltaan ennen näkemättömän tarkkoja, joten ne soveltuivat hyvin käytettäväksi opinnäytetyön aineistona.

Työn tilaajana on Suomen Metsäkeskus, jossa olin asiantuntijaharjoittelussa kesällä 2019. Harjoittelussa pääsin testaamaan puukarttakoealamittauksista, jossa jokaiselle puulle määritettiin tarkka paikka. Ajatus varsinaiseen työhön tuli, kun metsävaratiedon laadunvarmistuksessa Metsäkeskuksen käyttämän Trestima-sovelluksen tarkkuudessa havaittiin poikkeavuuksia ja haluttiin selvittää, mistä ne mahdollisesti johtuvat. Samalla tuli myös ajatus hyödyntää puukarttakoealoilta saatua ennennäkemättömän tarkkaa metsävaratietoa ja käyttää sitä tutkimuksessa referenssiaineistona.

Valmiin opinnäytetyön tuloksien avulla selvitetään, voidaanko Trestimaa käyttää nykyisen kaltaisena ja onko sen avulla saatu tietoa riittävän tarkkaa Metsäkeskuksen käyttöön. Lisäksi tutkitaan, toimiiko Trestima luotettavasti puukarttakoealan kokoisilla alueilla ja onko erilaisilla kuvaustavoilla vaikutusta tuloksiin.

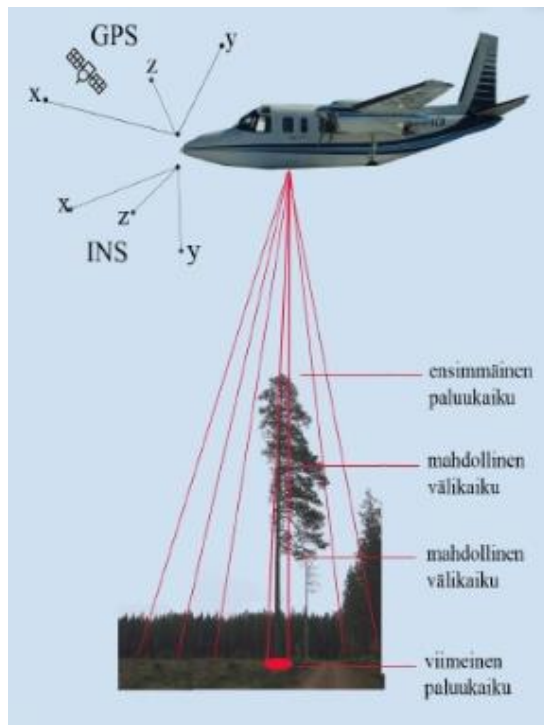
2 METSÄVARATIEDON KERUU

Suomen Metsäkeskus kerää metsävaratietoa Suomen metsistä pääsääntöisesti kaukokartoituksen avulla, mutta myös vähemmissä määrin kuviokohtaisesti tehtävällä maastoinventoinnilla. Kaukokartoituksella tarkoitetaan laserkeilausta ja ilmakeilausta. Laserkeilauksen avulla maastosta ja puustosta pystytään saamaan tarkka malli kolmiulotteisesti, kun taas ilmakeilauksessa käytetään eri puulajien tunnistuksessa. Kuviokohtaisessa arvioinnissa metsätieto kerätään perinteisillä maastoinventointimenetelmillä kuten relaskooppikoealoilla ja silmämääräisellä arvioinnilla. (Metsäkeskus, 2016)

2.1 Kaukokartoitusperusteinen inventointi

Kaukokartoituksella tarkoitetaan tiedon keräämistä jostakin kohteesta käsin koskematta. Kaukokartoitus tapahtuu usein miten ilmastakin käsin, jolloin tiedon keruuseen käytetään satelliitteja, lentokoneita tai miehittämättömiä ilma-aluksia eli droneja. Kaukokartoituksessa havainnoidaan eri kappaleiden lähettämää sähkömagneettista säteilyä. Esimerkiksi laserkeilaus perustuu tämän kaltaiseen säteilyn havainnointiin. (Hamk, 2017)

Laserkeilauksessa lentokoneessa olevasta keilaimesta lähetetään maata kohti lasersäteitä. Lasersäteet kimpoavat useita kertoja edestakaisin menettäen tehoaan koko ajan. Näistä laserin kimmokkeista käytetään nimitystä kaiku, joista ensimmäinen voi tulla esimerkiksi puun latvasta toinen latvuksen sisältä ja kolmas maan pinnalta (kuva 1, s. 3). Tällä menetelmällä saadaan kolmiulotteista tietoa maan pinnan muodoista ja puuston latvuksista. Keilaus tapahtuu noin kahden kilometrin korkeudesta. (Mustonen, 2011)



Kuva 1. Laserkeilaimen toimintaperiaate. (Mustonen, 2011)

Metsien inventointikierto on Metsäkeskuksessa kymmenen vuotta, joka tarkoittaa että vuosittain on inventoitava metsää 1,5 miljoonaa hehtaaria. Tämän takia kaukokartoituksella inventoitavat alueet ovat kooltaan noin 2 000 neliökilometriä (km^2). Kulloinkin inventoitavat alueet valitaan sen perusteella, kuinka vanhaa alueelta kerätty aikaisempi tieto on. Lisäksi inventointia pyritään mahdollisuuksien mukaan suorittamaan loogisessa järjestyksessä, jotta saadaan yhtenäinen inventoitu alue. (Metsäkeskus, 2016)

Pelkällä laserkeilauksella ja ilmakuvauksella ei saada tarkkaa tietoa puustosta ja kasvupaikoista, vaan metsiköistä on mitattava referenssikoaloja. Koealoja mitataan jokaiselta inventointialueelta 700 - 900 kappaletta riippuen alueen koosta. Koealat pyritään sijoittelemaan siten, että alueelta tulee kattavasti eri kasvupaikkojen, puulajien, tiheyksien ja kehitysluokkien edustamia metsiköitä. Koealamittauksessa käytetään pääsääntöisesti yhdeksän metrin kiinteäsänteistä koealaa. Harvemmissa usein varttuneissa puustoissa voidaan käyttää myös suurempaa 12,62 metrin koealaa, jotta koealalle saadaan riittävä määrä puita. Näiltä koealoilta mitataan kaikista tulkinnan kannalta merkittävistä puista läpimitta ja satunnaisista puista myös pituus. Koska taimikoiden mittaaminen näin on hidasta ja vaivalloista, käytetään niiden mittaamiseen alikoealoja. Alikoealoja on neljä saman koealapisteen ympärillä, ja kaikista mitataan runkoluku ja keskipituus puulajikohtaisesti. Referenssikoaloilta saaduista tuloksista ja samalta alueelta kerättyistä kaukokartoitusmateriaaleista luodaan laskentamalleja kullekin puustotunnukseksi. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

Inventoinnin tulokset tulevat 16 x 16 metrin kokoisina hilaruutuina, joista yleistetään lopulta puustotiedot kokonaisille metsikkökuvioille. Yksi hilaruutu vastaa kooltaan referenssikoealaa, joka on mitattu maastossa. Kaikille hilaruuduille lasketaan omat puustotiedot käyttäen aluetta parhaiten kuvaavaa referenssikoealaa. Sopivin referenssikoeala hilaruudulle haetaan mallinnuksessa valikoitujen laser- ja ilmakuviointien perusteella. Lopuksi vielä lasketaan kokonaispuusto, puulajikohtaiset puustotunnukset sekä simuloidaan metsävarakuviolle toimenpide-ehdotukset laskenta-sovelluksen avulla. Simuloitavien toimenpide-ehdotusten tulee noudattaa mahdollisimman hyvin Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksia. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

2.2 Kuviokohtainen maastoinventointi

Ennen kuin kaukokartoitusperusteinen inventointi otettiin Metsäkeskuksessa käyttöön vuonna 2010, inventoitiin kaikki metsiköt käyttäen kuviokohtaista maastoinventointia. Metsikkökuviot ovat puustoltaan ja kasvupaikoiltaan yhtenäisiä yhdestä kolmeen hehtaariin kokoisia alueita. Kuviorajaukset tehdään alustavasti ilmakuviointien perusteella, mutta niitä tarpeen tullen muokataan maastoinventoinnin aikana. Tiedonkeruu kuvioilta tehdään pääasiassa silmämääräisesti arvioiden ja mittaamalla. Kaukokartoitusperusteisen inventoinnin tultua käyttöön kuviokohtainen maastoinventointi loppui lähes kokonaan. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

Inventoinnin maastotyövaiheessa kuviolta kerätään puustotunnukset tarvittavalla määrällä relaskoopikoealoja. Taimikot inventoidaan arvioimalla runkoluku ympyräkoealalta. Puustotunnusten osalta pyritään 20 %:n tarkkuuteen muissa kehitysluokissa kuin taimikoissa. Kasvupaikkatyyppi arvioidaan silmämääräisesti erotellen turve- ja kangasmaat omiin alatyyppeihinsä. Kuvioille tehtävien toimenpide-ehdotusten tulee olla Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisia. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

2.3 Metsävaratiedon ajantasaistus

Pelkkä säännöllisin väliajoin tehtävä inventointi ei kuitenkaan riitä pitämään yllä ajantasaista metsävaratietoa. Tiedonkeruu on jatkuva prosessi ja metsätietoa pyritään päivittämään mahdollisimman nopeasti metsässä tapahtuneiden muutosten jälkeen erilaisten tietolähteiden perusteella. Apuna päivityksessä voidaan käyttää esimerkiksi metsänkäyttöilmoituksia, Kemera-hankkeiden toteutustietoja, kiinteistörajapäivityksiä sekä luonnonsuojelu- ja ympäristötuen piiriin kuuluvia aineistoja. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

Kun tieto toteutuneesta Kemera-kohteen toimenpiteestä on vastaanotettu, päivitetään tieto järjestelmään. Kuviolle simuloidaan laskentaohjelmalla kulloisenkin toimenpiteen jälkeinen puusto, hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti. Ajantasainen tieto päivittyy järjestelmään viimeistään puolen vuoden kuluessa ilmoituksesta. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

Metsänkäyttöilmoitus kertoo, että metsikkökuviolla ollaan aikeissa tehdä toimenpiteitä seuraavan kolmen vuoden kuluessa. Näin ollen niiden perusteella voidaan päivittää metsätietoa, koska tiedetään mitä kuviolla ollaan aikeissa tehdä. Metsänkäyttöilmoitusten perusteella päivitykset tehdään yleensä puolen vuoden kuluessa ilmoituksesta. Mikäli kuviolle on ilmoitettu tehtäväksi päätehakkuu, päivitetään tulevan taimikon perustaminen myös valmiiksi järjestelmään. Mikäli kuitenkin metsänkäyttöilmoituksen mukaisia toimenpiteitä ei metsikössä suoriteta, tulee metsätietoon tältä osin virheellistä tietoa. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

Inventoinnin jälkeen puustoa voidaan myös kasvattaa erilaisten laskentamallien avulla, jotta myös käsittelemättömien metsiköiden puustotieto pysyy ajantasaisena. Kasvumalleilla päivitetty metsätieto on osoittautunutkin varsin paikkansa pitäväksi. Jotta tieto olisi kuitenkin luotettavaa tulee jo inventointi- tai päivitysvaiheessa sen vastata Metsäkeskuksen asettamia laatuksia. Kasvatusmallit myös toimivat paremmin kasvatus- sekä uudistuskypsissä metsissä kuin taimikoissa. (Suomen Metsäkeskus, 2016)

2.4 Puukarttakoealamittaus

Puukarttakoealamittaus on Suomen Metsäkeskuksen ja TerraTec oy:n yhteistyössä kehittämä metsänmittausmenetelmä. Sen tarkoituksena on osittain korvata aikaisemmin käytössä ollut ympyräkoealamittaus, ja tuottaa entistä tarkempia referenssikoealoja metsävaratiedon päivitystä varten. Menetelmä on ympyräkoealamittaukseen verrattuna teoreettisesti tehokkaampi, sillä kerralla mitattava alue on kooltaan 2 000 - 3 000 neliometriä. Tämä vastaa noin 8 - 12 perinteistä ympyräkoealaa. Puukarttakoealamittaus perustuu siihen, että jokaiselle puulle mitataan tarkka paikka, jonka avulla osataan laser- ja ilmakuva-aineistoista tunnistaa tietyt puut. Tulevaisuuden metsävaratiedon tuottamisessa onkin tärkeää pystyä tulkitsemaan yksittäisiä puita, jotta tulkinnessa voidaan saavuttaa riittävä tarkkuus. Mittausta varten on kehitetty erikoisvälineistöä yhteistyössä Masser Oy:n kanssa ja niiden käyttöä on testattu vuodesta 2017 alkaen. (Savolainen, 2018)

Koealat on ennakkoon sijoiteltu ilmakuviin avulla mahdollisimman selkeisiin paikkoihin, joista koealan ulkoreunat on helppo määrittää. Tällaisia selkeitä rajoja voi olla esimerkiksi ajourat ja ojat. Koealan sijaintia ja rajoista voidaan myös muuttaa maastossa, mikäli mittaaminen ei ole mahdollista ennakkosijoittelussa paikassa. Koealalle pyritään saamaan 120 - 150 mitattavaa runkoa. Mitattaviksi rungoiksi luetaan kaikki yli 50 millimetriä paksut puut tai ne yli 30 millimetriset rungot, jotka ovat pituudeltaan yli puolet puuston keskipituudesta silmämääräisesti arvioiden. Koealan siirtäminen tai hylkääminen tulee kysymykseen, mikäli alueella on epänormaalin paljon poikkeavaa tai kuollutta puustoa. Koealalla ei saa myöskään olla suuria pinnavaihteluita, joka mahdollisesti katkaisisi mittasaksien ja tukiasemien välisen yhteyden. (Suomen Metsäkeskus, 2019)

Itse mittaus tapahtuu parityöskentelyinä. Toinen huolehtii saksimittauksesta ja varmistaa, että kaikki puut tulevat mitatuiksi. Toinen taas huolehtii pituuden mittauksesta, koealan kulmapisteiden paikantamisesta. Pituuksia mittaava pari varmistaa myös, että puut tulee mitattua oikean laatuksina, sillä mittasaksissa oleva pari ei välttämättä huomaa esimerkiksi katkennutta latvaa. Mitattuihin puihin tehdään vaakaviiva merkiksi, jotta samaa puuta ei mitattaisi kahteen kertaan.

Puiden paikannus tapahtuu mittasaksien ja koealalle levitettävän tukiasemaverkon avulla. Sijainnin paikannus perustuu TerraTec oy:n kehittämään pseudoliittimenetelmään. Pseudoliitteja eli tukiasemia on 16 kappaletta (kuva 2, s. 7) ja ne levitetään ennen mittauksen alkua tasaisesti suorakaiteen muotoiselle koealalle. Tukiasemat kiinnitetään mahdollisuuksien mukaan puiden oksiin tai runkoihin kiinnitettäviin muovisiin teko-oksiin. Mittasakset keskustelevat koko mittauksen avulla tukiasemien kanssa ja luo dataa. Puun paikannus tapahtuu joka puun kohdalla läpimitan mittauksen yhteydessä. Yksittäisen puun sijainnin tarkkuudessa päästään 10 - 20 senttimetrin tarkkuuteen. (Suomen Metsäkeskus, 2019)



Kuva 2. Paikannuksessa käytettävät pseudoliitit levitetään koealalle ta-saisin välein. (Savolainen, 2019)

Tarkan sijainnin lisäksi puista mitataan myös muita tietoja. Kaikista puista mitataan läpimitta ja pituus satunnaisesti joka viidennelle puulle lajikohtaisesti. Pituuden mittaaminen tapahtuu Haglöf Vertex -korkeusmittarilla, joka tulee kalibroida aina ennen mittauksen aloittamista. Myös puun laatu määritetään hyvin tarkasti. Puiden laatuluokkina käytetään normaalia elävää puuta, katkennutta elävää puuta, kuollutta puuta, pystykantoa ja vinoa puuta. Lisäksi voidaan valita puita, joista halutaan mitata pituus vaikka kyseessä ei olisikaan varsinainen pituuskoepuu. (Suomen Metsäkeskus, 2019)

Puukarttakoealoilta täytyy saada mitattua nurkkapisteet erityisen tarkasti, jotta paikalliseen koordinaatistoon sijoitetut puut saadaan sidottua valtakunnalliseen koordinaatistoon. Sitä kautta saadaan puiden sijainnit osumaan ilmakuvissa ja CHM:llä kohdalleen. Tämän takia kulmien paikantamiseen käytetään reaaliaikaista kinemaattista paikannusta eli RTK:ta (Eng. Real Time Kinematic). Edellä mainittu menetelmä hyödyntää paikannusteliitin ja maanpinnalla sijaitsevan tukiasemaverkon kantoaallon vaiheita. Kulmapisteiltä voidaan kerätä sijaintitiedot kolmella eri tavalla. Ensimmäinen tapa on RTK-paikannus, jossa yksittäisen paikannuksen kesto on vain noin kymmenen sekuntia. Samasta sijainnista kerätään useita paikannuksia, jolloin saadaan reaaliaikaisesti arvio sijaintipaikannuksen sijainnin tarkkuudesta. Toinen tapa on yhdistetty RTK-paikannus ja raakadatan keräys. Tapa on muutoin ensimmäisen kaltainen, mutta raakadatan keruussa kerätään kaikki data, joka on saatavissa kyseisestä sijainnista. Raakadatan avulla voidaan jälkiprosessoinnin avulla muodostaa sijaintitieto. Kolmas tapa on staattinen mittaus, joka on paljon hitaampi kahteen edelliseen tapaan verrattuna. Mittauksessa kerätään kaikki data, joka on kustakin sijainnista saatavilla. Lopullinen sijaintipaikannus tehdään jälkiprosessointina. Staattinen mittaus kestää yhdellä sijaintipisteellä noin puolituntia. (Välimäki, 2020)

2.4.1 TerraTec Oy

Terratec oy on norjalaisen TerraTec A/S:n tytäryhtiö, ja se on perustettu vuonna 2009. Yhtiö on erikoistunut erityisesti kaukokartoitusperusteiseen metsän tulkintaan ja sen tehostamiseen. Yhtiö omistaa myös lukuisia laserkeilaimia, joiden avulla se voi tuottaa maastotietoa erilaisiin tarpeisiin. Keilauksen lisäksi yhtiö tekee ilmakuvausta, josta saatua aineistoa se jatkojalostaa esimerkiksi ortokuviksi. (TerraTec Oy, 2019)

Eräs yhtiön niin sanotuista vahvuusalueista on mobiilikeilaus. Keilaus tapahtuu Lynx-mobiilikeilausjärjestelmällä, jolla saavutetaan erityisen hyvä tarkkuus. Pistepilven tiheyden ansiosta aineistoa voidaan käyttää erilaisen urbaanien rakennusprojektien kuten teiden ja rakennusten suunnittelussa. (TerraTec Oy, 2019)

2.4.2 TerraHärp

Puukarttakoealamittausta varten on kehitetty oma ohjelmisto ja laitteisto, joka kantaa nimeä TerraHärp. Itse laitteistoon kuuluu mittasakset, 16 kappaletta tukiasemia ja android-käyttöjärjestelmällä varustettu matkapuhelin, johon on ladattu TerraHärp-sovellus. Mittasakset on rakennettu Masser Excaliper ii -saksien pohjalle, joihin on asennettu lisäksi paikannuselektronikkaa (kuva3.). Paikannus perustuu mittasaksien etäisyyksiin tukiasemista. Saksien tulee saada aina yhteys vähintään kolmeen tukiasemaan. Mittaus suunnalla ei ole merkitystä, sillä mittasakset määrittelevät suunnan sähköisen kompassin avulla. Sakset tuleekin kalibroida jokaisella koealalla erikseen ennen mittausta. (Savolainen, 2018; Savolainen, 2019)



Kuva 3. Masser Excaliper ii mittasakset paikannuselektronikalla ja Haglöf Vertexin vastaanottimella varustettuna. (Savolainen, 2019)

Tiedot siirtyvät mittauksen edetessä reaaliaikaisesti mittasaksilta bluetoothin avulla matkapuhelinsovellukseen, josta voidaan seurata esimerkiksi, kuinka moneen tukiasemaan sakset milloinkin yhdistää. Sovellus

ilmoittaa myös mittauksen jälkeen mahdollisten lisäpituuskoepuiden tarpeen, jolloin sopivan kokoinen ja oikeaa lajia oleva mitattu puu etsitään koealalta ja mitataan uudelleen pituuden kanssa. Kun mittaus on valmis, voidaan tiedot lähettää puhelimella eteenpäin jatkokäsittelyyn. (Savolainen, 2019)

2.5 Trestima

Trestima on Suomessa kehitetty puuston arvioimiseen käytettävä puhelinsovellus. Sovellus perustuu puustosta puhelimella otettuihin valokuviin, joita käytetään näytteinä puustotulkintaa tehtäessä. Sovellus lähettää metsässä kuvatut valokuvat pilvipalvelimelle, jossa näytteet tulkitaan. Kun verkkoyhteys on hyvä, puustotiedot päivittyvät reaaliaikaisesti puhelimeen mittauksen edetessä. Mikäli verkkoyhteyttä ei ole maastossa saatavissa, päivittyvät tiedot verkkoyhteyden ollessa jälleen käytössä. Sovellus muodostaa kuvien perusteella puustoraportin kulloinkin mitattavana olevalle kuviolle. (Rouvinen, 2014, ss. 119 - 122)

Trestima ottaa huomioon kaikki keskeisimmät puustotunnukset, kuten pohjapinta-alan, läpimitan ja keskipituuden. Sovellukseen voi myös syöttää itse muistiinpanoja tai jopa puustotietoja puulajikohtaisesti. Periaatteessa Trestima on toimintatavaltaan perinteistä relaskoopikoealaa vastaava näyte, mutta sovellus kykenee mittaamaan puustoa eri etäisyyksiltä, kun taas relaskoopissa etäisyys on vakio. Erona relaskoopikoealalla ja Trestimamittauksella on myös se, että relaskoopilla mitatetaan näyte 360 asteen ympyrältä, Trestiman kuvan kattaessa vain noin 70 astetta. Trestiman käyttö on kuitenkin huomattavasti nopeampaa ja vaivattomampaa kuin relaskoopimittaus, joten sen avulla voidaan lyhyessä ajassa kuvata useampi näyte. Yhden hehtaarin mittaamiseen kuluukin sovelluksen avulla vain noin viisi minuuttia. (Rouvinen, 2014, ss. 119 - 122)

Trestiman tuloksien luotettavuutta tarkastellaan keskivirheen avulla. Keskivirheen laskemisessa käytetään metsikkökuviolta saatuja pohjapinta-alanäytteitä. Teoreettisesti riittävällä määrällä näytteitä per metsikkökuvio on mahdollista saavuttaa jopa 5 %:n keskivirhe. Sovellus ohjaa itse mittaus tapahtumaa ehdottamalla kartalla näytteenottopaikkoja ja ohjaamalla kuvienottosuuntaa satunnaisesti suuntiin. Näin saadaan itse näytteen ottajan vaikutus lopputulokseen minimoitua. Trestiman verkkopalvelussa pystytään myös jälkeempään jättämään joitain näytteitä pois laskennasta, mikäli halutaan tietoa esimerkiksi metsikkökuvion jostain tietystä kohdasta. (Trestima Oy, 2020)

Suomen Metsäkeskus on myös ottanut Trestima-sovelluksen käyttöönsä vuoden 2019 aikana. Sovellusta on käytetty tehtäessä metsikkökuviotason laatukontrolleja kasvatus- sekä uudistuskypsissä metsiköissä. Laatukontrolli tehdään Trestiman avulla muun muassa sellaisilla kohteilla, joiden kasvua on inventoinnin jälkeen simuloitu laskentaohjelmalla.

3 AIEMMAT TUTKIMUKSET

Tässä luvussa perehdytään aiemmin tehtyihin tutkimuksiin, jotka ovat tämän tutkimuksen kanssa vertailukelpoisia. Trestiman mittatarkkuutta käsitteleviä opinnäytetöitä löytyi varsin niukasti. Vertailtaviksi töiksi valitsin Ikäheimon (2015) ja Kopakan (2015) opinnäytetyöt. Ikäheimon tutkimus *Trestiman mediaanipuun mittatarkkuuden testaus* oli hyvä verrokkityö, sillä siinäkin verrataan Trestimasta saatuja tuloksia tarkasti mitattuun aineistoon ja käytetään osin samoja tutkimusmenetelmiä, joita itse käytin. Kopakan opinnäytetyö *Trestima älypuhelin kuvauksessa tunnistettujen puiden oikeellisuus* käsitellään myös oman opinnäytetyöni kannalta vertailukelpoisia aihealueita. Näiden kahden opinnäytetyön lisäksi tarkastelin myös yhtä kuvioittaisen arvioinnin tarkkuutta käsittelevää tutkimusta. Arto Haaran ja Kari T. Korhosen (2004) tekemä tutkimus *Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus* on pätevä vertailukohde, sillä sen avulla voidaan tarkastella, onko Trestima perinteistä relaskooppimittausta tarkempi.

3.1 Trestiman mediaanipuun mittatarkkuuden testaus

Trestiman mediaanipuun mittatarkkuuden testaus on Juho Ikäheimon vuonna 2015 keväällä Hämeen ammattikorkeakoulussa valmistunut opinnäytetyö. Tilaajana Ikäheimon työssä oli Silvadata Oy Ab, jonka erikoisalaa on metsäalan ohjelmistojen tuottaminen. Työn tilaaja olikin hyvin kiinnostunut selvittämään sovelluksen tarjoamia mahdollisia etuja heidän omien ohjelmien tukena. Työ perustui aiemmin tehtyyn opinnäytetyöhön, jossa analysoidaan Trestiman tarkkuutta. Kuten omassa opinnäytetyössäni, niin myös Ikäheimon työssä oletettiin Trestiman näyttävän mahdollisimman lähelle oikeita tuloksia verraten tarkkaan mitattuun tietoon. Työssä mitattiin tarkasti Trestiman kuvista tunnistettujen tarkalleen samojen puiden läpimitat ja niitä verrattiin keskenään. Tutkimustulosten käsittelyyn käytettiin samoja tilastollisia menetelmiä ja tunnuslukuja, joita myös itse opinnäytetyössäni käytin. (Ikäheimo, 2015)

3.2 Trestima älypuhelin kuvauksessa tunnistettujen puiden oikeellisuus

Trestima älypuhelin kuvauksessa tunnistettujen puiden oikeellisuus on Ville-Matti Kopakan 2015 Hämeen ammattikorkeakoulussa valmistunut opinnäytetyö. Myös Kopakan työssä verrataan Trestiman kuvista saatua puustotietoa jälkeinpäin tarkastusmittauksista saatuun tarkkaan tietoon. Tutkimuksessa tiedetään Trestimalla otettujen kuvien sijainti maastossa, jolloin pohjapinta-alaa kuvaavista kuvista osataan erottaa tarkasti samat puut ja mitata ne referenssiaineistoa varten. Kopakka vertailee työssään läpimittojen välisiä eroja Trestiman ja referenssiaineiston välillä, kuten myös Ikäheimo omassa tutkielmassaan. Tutkimuksessa selvisi, että Trestima tunnistaa puita sitä paremmin, mitä selkeämpi puustoinen kuvio on. Tunnistusta häiritsi runsas alikasvos ja heikko valoisuus. Nämä ovat huomioita, joita myös itse tein omassa opinnäytetyössäni. (Kopakka, 2015)

3.3 Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus

Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus on Arto Haaran ja Kari T. Korhosen tekemä tutkimusartikkeli, joka on julkaistu Metsätieteen aikakauskirjassa 4/2004. Tutkimuksessa tarkasteltiin kuvioittaisen arvioinnin tarkkuutta erilaisilla kohteilla. Lisäksi tarkasteltiin eri mittaajien eroja. Tarkistusmittaukset tehtiin saman vuoden aikana, kuin kuvioittainen arviointi. Tutkimusaineisto käsitti 1 304 kuviota, johon sisältyi 142 taimikkokuviota. Aineisto kerättiin Itä-Suomesta vuosien 1997 ja 1998 aikana. Tutkimuksessa kuvioittaisen arvioinnin luotettavuutta tarkasteltiin keskivirhettä ja harhaa apuna käyttäen. Tutkimuksissa saatiin selville, että runsaspuustoisilla kohteilla mittajat aliarvioivat pohjapinta-alaa ja keskitilavuutta huomattavan paljon, kun taas vähäpuustoisilla kohteilla pohjapinta-alaa yliarvioitiin jonkin verran. Myös mittaajien ero keskenään oli merkittävän suuri ja mittaja-kohtainen keskivirhe vaihtelikin keskitilavuuden osalta jopa yli 20 %. (Haara & Korhonen, 2004)

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

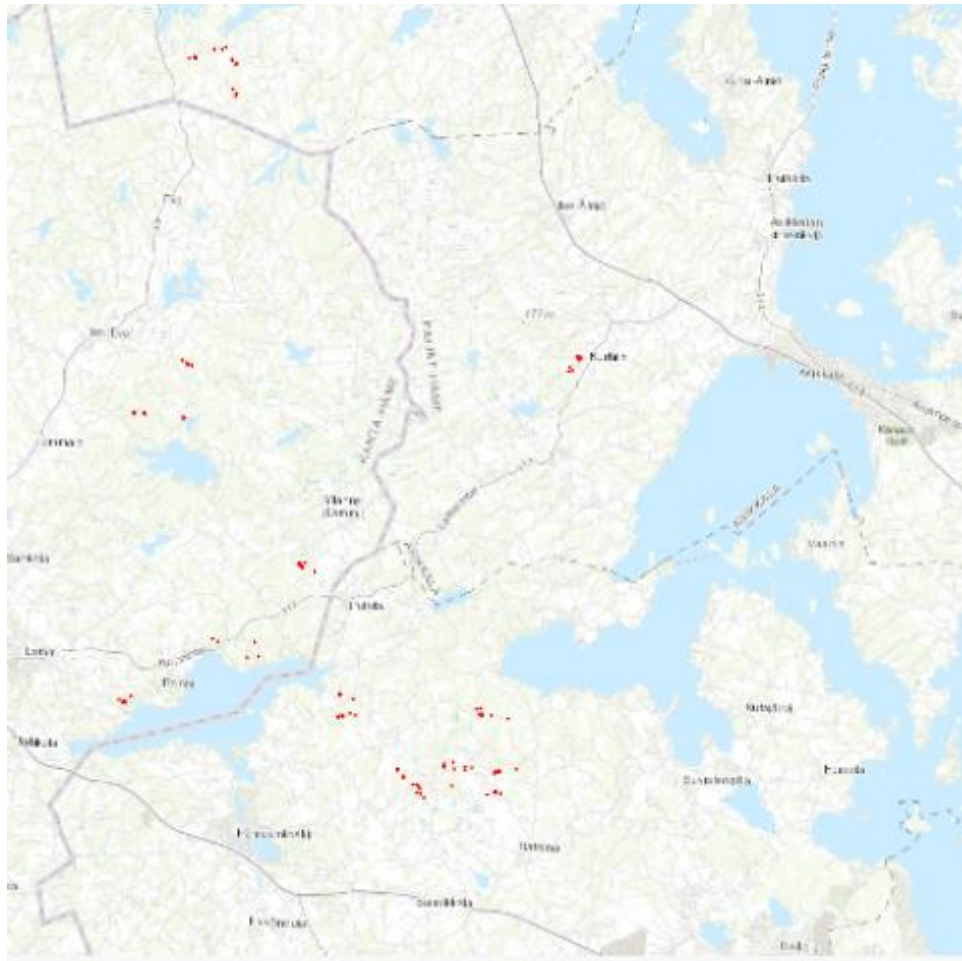
Tutkimuksen alussa Trestimalla kuvattiin puukarttakoealoja kahdella eri kuvaustavalla. Maastotöitä joudutti erityisesti se, että opinnäytetyön tekijä oli itse ollut mittaamassa suurinta osaa puukarttakoealoista, ja osasi näin ollen löytää ja hahmottaa koealat nopeasti maastossa. Tavoitteena oli kuvata 50 - 100 puukarttakoealaa molemmilla tavoilla, eli kukin koeala kierrettiin kahdesti eri tavoin kuvaten.

Riittävän suurella otannalla pyritään saamaan mahdollisimman tarkat tulokset ja karsimaan virheiden määrä vähäiseksi. Kuvaukset pyrittiin suorittamaan mahdollisuuksien mukaan lumettoman maan aikaan, joka leudosta säästä johtuen onnistui varsin hyvin. Tämä sen takia, jotta kaikissa tulkittavissa kuvissa lumiolosuhteet olisivat samanlaiset. Näin poistettiin lumesta aiheutuvaa poikkeamaa tulkinnassa.

Kuvattaviksi koealoiksi valikoitui lopulta 65 lähintä koealaa. Koealojen valintaa ei alettu sen kummemmin satunnaistamaan, sillä riittävän suuri otanta takasi monipuolisesti erityyppisiä metsiköitä.

4.1 Työskentelyalue

Tutkimuksessa käytettäväksi työskentelyalueeksi valikoitui Metsäkeskuksen eteläinen palvelualue. Alueen määritti tarkemmin mitattujen puukarttakoealojen sijainti Kanta- ja Päijät-Hämeen alueilla (kuva 4.). Koealat sijaittivat Hollolan, Hämeenlinnan, Padasjoen ja Asikkalan kuntien alueilla.



Kuva 4. Työskentelyalue sijaitsi Päijät- ja Kanta-Hämeen alueella. Koealat punaisina pisteinä kartalla. (P. Ruusunen, 2020)

4.2 Kuvaaminen Trestimalla

Tutkimuksen alussa heräsi kysymyksiä, kuinka Trestima tulee toimimaan verrattain pienillä puukarttakoealoilla. Trestiman ohjeen mukaan kuvia tulisi ottaa tietystä pisteestä aina satunnaiseen suuntaan. Jotta aineisto olisi kuitenkin vertailukelpoinen puukarttakoealoihin nähden, tulisi kuvien aina olla koealoille päin. Tästä syystä päätettiin kokeilla myös toisenlaista kuvaustapaa, joka on Trestiman menetelmään verrattuna systemaattisempi. Kuvaaminen Trestimalla suoritettiin loka- ja marraskuun aikana 2019, jolloin maa oli vielä ilman lumipeitettä.

4.2.1 Kuvaustapa 1

Ensimmäisellä kuvaustavalla koeala kuvattiin Trestiman ohjeistuksen mukaisesti. Koalarajat siirrettiin sovellukseen, jonka perusteella se loi näytteenottoapaikat kartalle. Näytteenottoapaikkaan suunnistettiin suurpiirteisesti ja aloitettiin kuvaus. Trestima ehdottaa kuvanottosuuntia kolmeen ilmansuuntaan. Tämä satunnaistaa näytteen ottoa ja kuvaajan merkitys jää vähäiseksi. Kuva otettiin koealan sisäänpäin, jotta kuvaan tulisi vain puukarttamittauksessa mitattuja puita. Kuvauspisteitä oli koealojen koosta riippuen 9 - 13 kappaletta (kuva 5.).

Koska Trestima on tarkoitettu käytettäväksi metsikkökuviotason mittauksessa, osoittautui verrattain pienten puukarttakoealojen kuvaaminen välillä haasteelliseksi. Mikäli näytteenottoapaikka oli sijoitettuna aivan koealan kulmaan, ei kuvanottosuunta aina osunut koealaa kohti. Näissä tapauksissa auttoi, kun aloitti kuvaamisen niin monta kertaa uudestaan, kunnes sovellus ehdotti kuvaussuuntaa koealalle päin.



Kuva 5. Trestiman ohjeella kuvattu puukarttakoeala. (P. Ruusunen, 2020)

4.2.2 Kuvaustapa 2

Toinen kuvaustapa on ensimmäiseen verrattuna paljon systemaattisempi, minkä takia haluttiinkin selvittää sopiiko se paremmin puukarttakoealojen kuvaamiseen. Tässä kuvaustavassa koeala kierretään reunoja myöden ja kuvat otetaan kulmista ja sivujen keskeltä kohti koealan keskustaa. Lisäksi koealan silmämääräisesti arvioidusta keskikohdasta otetaan neljä kuvaa kohti koealan reunoja (kuva 6.).

Tämän kuvaustavan odotettiin palvelevan tämä tutkimuksen tarpeita paremmin, sillä kuvat ovat varmasti aina koealalle päin. Kuvia tuli aina sama määrä joka koealalle eli 12 kappaletta. Kuvat tuli kuitenkin ottaa sellaisesta paikasta ettei aivan kameran linssin edessä ollut näkyvyyttä häiritsevää puusikkoa tai yksittäistä puun runkoa, joten kuvanottoa joutui välillä tuomaan reunalta koealan keskustaa kohden.



Kuva 6. Omavalintaisella tavalla kuvattu puukarttakoeala. (P. Ruusunen, 2020)

4.3 Tulosten käsittely

Trestimalla kuvatut mittaukset tallentuivat pilvipalveluun, josta ne saatiin uloskirjoitettua Excel-taulukkomuotoon. Uloskirjoitetusta aineistosta tarkasteltiin kokonaispuuston tunnuksia ja puulajikohtaisia tunnuksia koealakohtaisesti. Puukarttakoealojen aineisto tuli vastaavanlaisessa Excel-taulukossa, josta poimittiin laskentaan tarvittavat tiedot.

Tuloksia vertailtiin JMP-laskentaohjelmalla muodostamalla regressiokuvaajia Trestiman antamien tulosten ja puukartta-aineiston välillä. Laskenta tehtiin erikseen sekä omavalintaiselle- että Trestimavalintaiselle kuvaukselle. Excel-taulukko laskee koealakohtaisesti erot aineistojen välillä, ja muodostaa kustakin puustotunnuksesta ja puulajikohtaisesta tilavuudesta oman regressiomallin. Regressio kuvastaa Trestimalla mitatun aineiston riippuvuutta tarkasti mitattuun puukartta-aineistoon. Toisin sanoen regression tarkoituksena on selittää Trestima-aineiston vaihtelua Puukartta-aineiston vaihtelulla. Kuvaajista tarkastellaan, kuinka lähelle Trestima on päässyt oikeaa mitattua tietoa. Kuvaajissa käytetään lineaarista trendiviivaa. Trendiviivan avulla lasketaan selityskerroin, joka kertoo montako prosenttia aineistosta voidaan selittää regression avulla. Lisäksi JMP-ohjelmalla laskettiin residuaali- eli jäännöshajontakuvaajat kaikille puustotunnuksille. (liite 1)

Puulajisuhteiden vertailua varten Trestima-aineistoista lasketaan yhteen kaikkien muiden puulajien tilavuudet paitsi männyn ja kuusen. Tämä tehdään sen takia, että puukartta-aineistossa ei ole puulajikohtaisia tietoja kuin männystä, kuusesta ja kaikista muista puulajeista yhteensä.

Tulokset käsiteltiin myös JMP-tilastointiohjelmalla. Ohjelman avulla aineistoista voidaan laskea erilaisia tilastollisia tunnuslukuja. Lisäksi ohjelman avulla aineistosta voidaan tehdä erilaisia testejä kuten regressiomalleja ja paritestejä. (JMP, 2020) JMP:n avulla selvitettiin kustakin aineistosta, ovatko puustotunnukset normaalisti jakautuneita.

4.3.1 RMSE

RMSE (eng. root mean square error) eli keskineliövirheen neliöjuuri on tilastollisten tunnusten vertailuarvoa kuvaava tunnusluku, jonka avulla voidaan mitata havaittujen ja ennustettujen arvojen eroja. Sen avulla kuvataan tietyssä havaintoaineistossa olevien estimaattien tarkkuutta. Tässä työssä tarkastellaan puustotunnusten ja puulajikohtaisten tilavuuksien suhteellista ja absoluuttista RMSE-arvoa.

Laskenta tapahtuu niin, että Trestimalla saadusta tuloksesta vähennetään puukartta-aineistosta saatu tulos, jonka jälkeen saatu luku korotetaan toiseen potenssiin. Luvut lasketaan tämän jälkeen yhteen ja saatu summa jaetaan koealojen määrällä. Tämän jälkeen luvusta otetaan neliöjuuri, jonka tulos on absoluuttinen RMSE-arvo (Kaava 1.) Arvo kuvaa puustotunnuksen keskimääräistä virhettä. Suhteellinen RMSE-arvo (RMSE%) saadaan, kun absoluuttinen RMSE-luku jaetaan puukartta-aineiston tuloksen keskiarvolla ja kerrotaan tämän jälkeen saatu luku sadalla prosentilla (Kaava 2, s.16)

$$RMSE (absoluuttinen) = \sqrt{\frac{\sum(\text{ennustettu arvo} - \text{mitattu arvo})^2}{\text{kuvioiden lukumäärä}}} \quad (1)$$

$$RMSE \text{ (suhteellinen)} = \frac{RMSE \text{ (absoluuttinen)}}{\text{Puukarttakoealojen tulosten keskiarvo}} \times 100\% \quad (2)$$

4.3.2 Harha

Harha (BIAS) merkitsee jonkin otoksen systemaattista poikkeavuutta perusjoukosta. Mikäli arvioitavalle muuttujalle pystytään tuottamaan keskimäärin oikeita arvoja, on tulos silloin harhaton. (Mellin, 2006)

Absoluuttisen harhan (Bias) laskenta tapahtuu niin, että Trestima-aineiston tuloksista vähennetään puukartta-aineiston tulos, jonka jälkeen saadut tulokset lasketaan yhteen. Tämän jälkeen saatu luku jaetaan koealojen määrällä jolloin saadaan selville absoluuttinen harha (Kaava 3.) Suhteellinen harha (BIAS%) saadaan selville, kun absoluuttinen harha jaetaan Trestimasta saatujen tulosten keskiarvolla ja kerrotaan saatu luku sadalla prosentilla (Kaava 4.)

$$Bias \text{ (absoluuttinen)} = \frac{\sum(\text{ennustettu arvo} - \text{mitattu arvo})}{\text{kuvioiden lukumäärä}} \quad (3)$$

$$Bias \text{ (suhteellinen)} = \frac{Bias \text{ (absoluuttinen)}}{\text{Trestimalla saatujen tulosten keskiarvo}} \times 100\% \quad (4)$$

5 TUTKIMUKSEN TULOKSET

Tässä luvussa tarkastellaan tutkimuksen tuloksia, jotka on saatu käyttämällä luvun 4 menetelmiä. Sekä omavalintaista, että Trestimavalintaista kuvausta verrattiin erikseen tarkasti mitattuun puukartta-aineistoon. Eriksen vertailtavina aihe alueina olivat puustotunnukset ja puulajisuhteet. Suomen Metsäkeskus oli erityisen kiinnostunut vertailemaan kyseisiä aihealueita, sillä ne ovat merkittävimpiä heidän oman toimintansa kannalta. Tulokset esitellään molemmissa aihealueissa siten, että ensin on omavalintaisen kuvauksen tulos ja sen jälkeen Trestimavalintaisen. Kuvaajien jälkeen ilmoitetaan puustotunnuksesta tai puulajisuhteesta lasketut absoluuttinen ja suhteellinen RMSE- sekä BIAS- eli harha-arvo.

5.1 Puustotunnukset

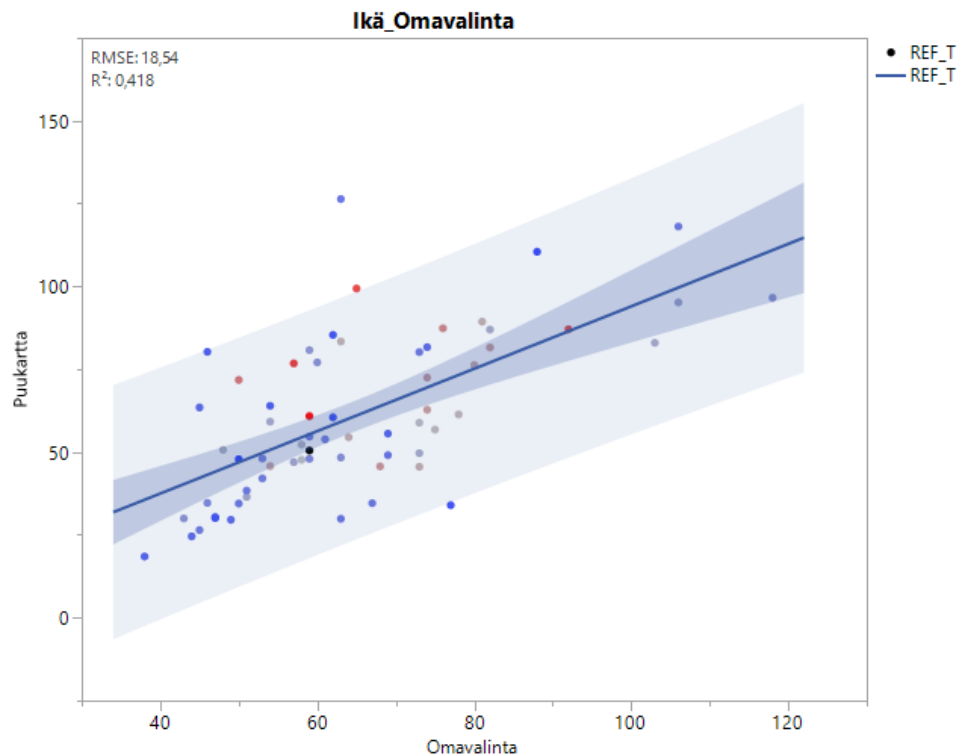
Puustotunnuksia vertailtiin, koska haluttiin selvittää puustotunnus kerrallaan, kuinka hyvin Trestima-sovellus laskee kunkin tunnuksen. Puustotunnukset joita vertailtiin olivat ikä, pohjapinta-ala, runkoluku, keskiläpimitta, keskipituus ja tilavuus. Lopputuloksen kannalta vaikuttavampia puustotunnuksia ovat oletettavasti pohjapinta-ala ja tilavuus.

5.1.1 Iän vertailu

Tuloksesta voidaan päätellä, että Trestiman ja puukartta-aineiston välillä on iän arvioimisessa kohtalaisen suuriakin eroavaisuuksia. Korrelaatiokerroin (R^2) on vain 0,418 eli noin 48 % Trestimatulosten vaihtelusta voidaan selvittää puukarttakoealan vaihtelulla. RMSE-arvoa tarkastelemalla voidaan myös havaita tuloksen olevan epätarkka, sillä voidaan todeta ikien poikkeavan keskimäärin 18,9 vuotta. Harhasta voidaan todeta, että ikä on systemaattisesti 3,91 vuotta poikkeava puukartta-aineistoon verrattuna (kuva 7.).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 18,54 vuotta ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 30,54 %.

Absoluuttiseksi harhaksi (BIAS) laskettiin 3,91 vuotta ja suhteelliseksi harhaksi (BIAS %) 6,06 %.

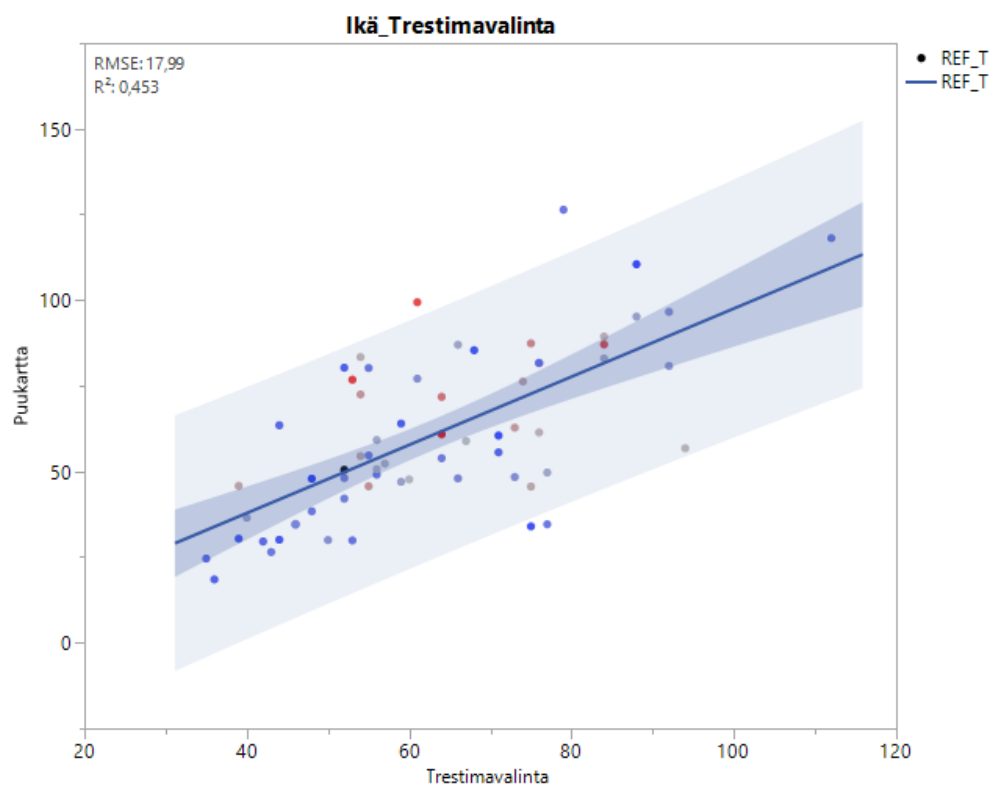


Kuva 7. Iän vertailu omavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

Verrattuna omavalintaiseen kuvaustapaan voidaan todeta, että Trestimavalintainen kuvaustapa on hieman parempi. Korrelaatiokerroin on suurempi ja RMSE- ja harha-arvot pienempiä, joka kertoo tarkemmasta lopputuloksesta. Ero omavalintaiseen kuvaukseen on kuitenkin pieni ja virhettä voidaan pitää suurena myös tällä kuvaustavalla (kuva 8.).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 17,99 vuotta ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 29,64 %.

Absoluuttiseksi harhaksi laskettiin 2,24 vuotta ja suhteelliseksi harhaksi 3,55 %.



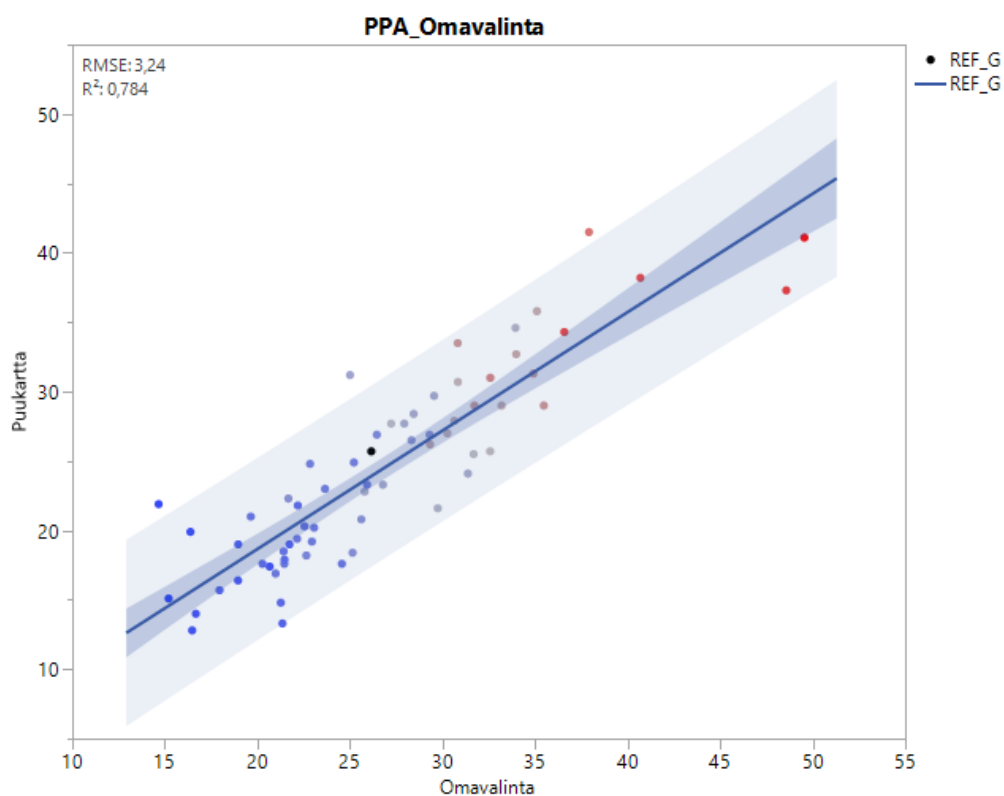
Kuva 8. Iän vertailu Trestimavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

5.1.2 Pohjapinta-alan vertailu

Pohjapinta-alan tarkkuus lopputuloksen kannalta on merkittävä, sillä sitä käytetään tilavuuden laskennassa. Kuvaajaa (kuva 9.) tarkastelemalla voidaan todeta, että korrelaatiokerroin on yli 78 %. Tulos on hyvä ja voidaan todeta, että Trestima antaa riittävän luotettavaa tietoa pohjapinta-alan osalta. Tarkkuus voidaan todeta myös kuvaajalta, jossa pisteet ovat tiiviissä lieriömäisessä muodossa suuntaviivan ympärillä. Keskimäärin pohjapinta-alat poikkeavat $3,24 \text{ m}^2$, josta RMSE-arvo kertoo.

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi laskettiin $3,24 \text{ m}^2$ ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 13,27 %.

Absoluuttiseksi harhaksi laskettiin $2,33 \text{ m}^2$ ja suhteelliseksi harhaksi 8,7 %.

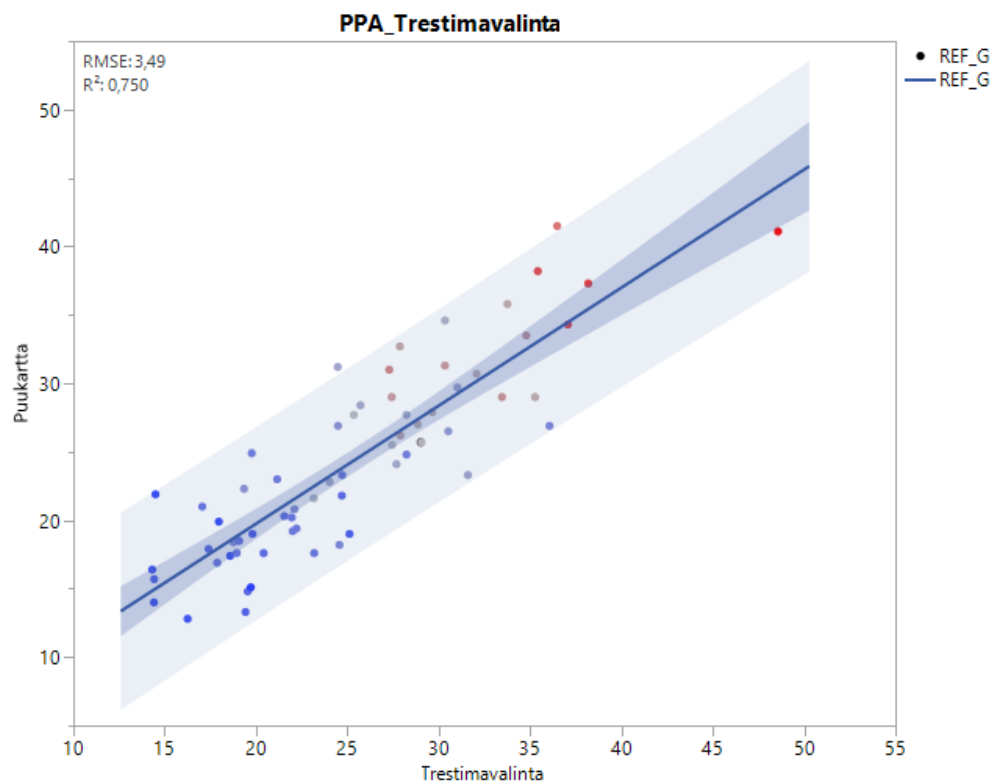


Kuva 9. Pohjapinta-alan vertailu omavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

Myös Trestimavalintaisella kuvaustavalla saatu tieto on keskimäärin riittävän hyvää. Tunnukset ovat hieman huonompia korrelaatiokertoimen ja RMSE:n osalta, mutta harha on vain 1 m^2 (kuva 10).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin $3,49 \text{ m}^2$ ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi $14,3 \%$.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin 1 m^2 ja suhteelliseksi harhaksi $3,92 \%$.



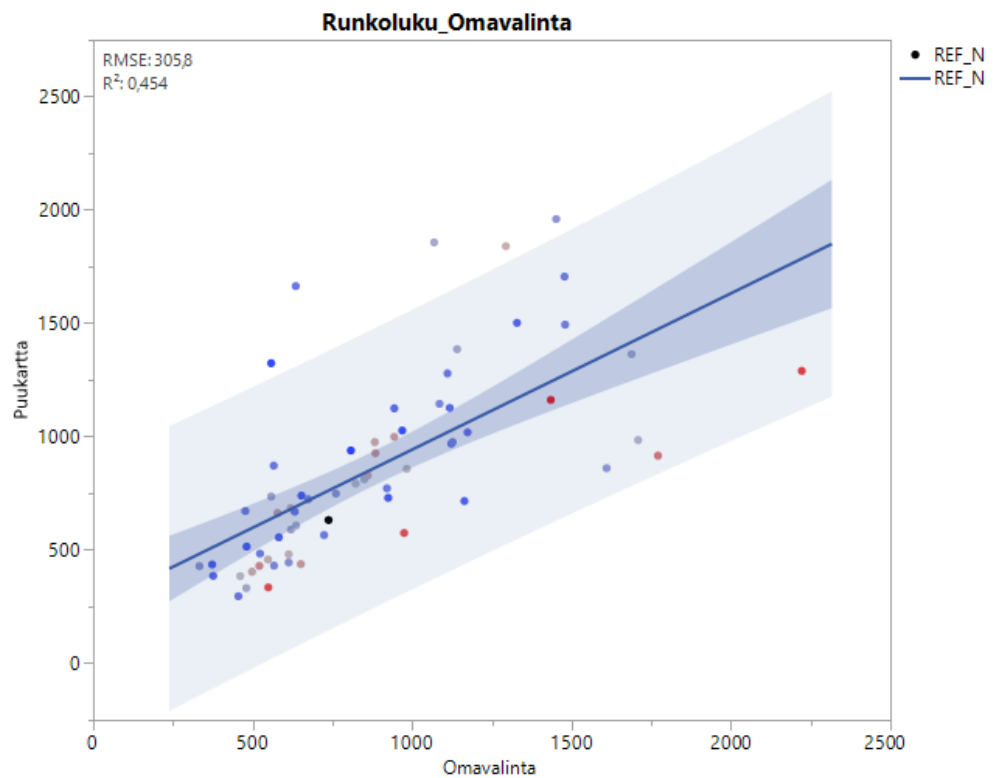
Kuva 10. Pohjapinta-alan vertailu Trestimavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

5.1.3 Runkoluvun vertailu

Kuvaajalta (kuva 11.) voidaan todeta, että runkoluvun tulkinta on kohtalaisen heikkoa. Korrelaatiokerroin on pieni ja RMSE että harha ovat molemmat suuria. Lopputuloksen kannalta runkoluvun tulkinta on kuitenkin vähämerkityksinen.

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 305,8 kpl ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 35,46 %.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin 20,83 kpl ja suhteelliseksi harhaksi 2,36 %.

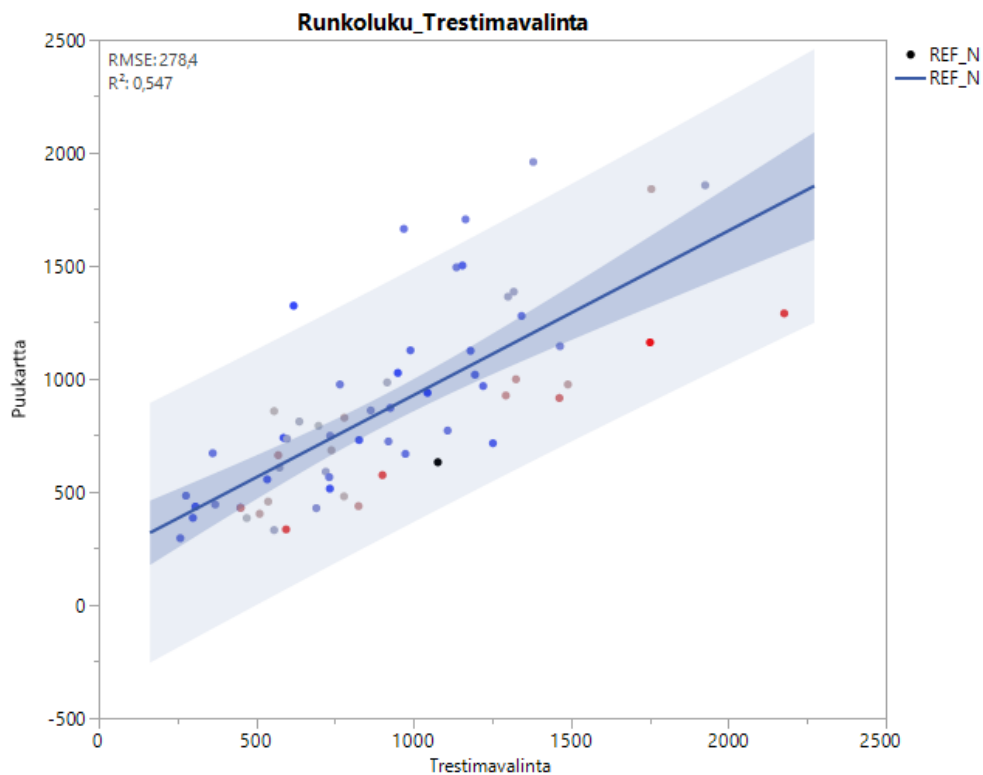


Kuva 11. Runkoluvun vertailu Omavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

Trestimavalintainen kuvaustapa antoi runkoluvulle jonkin verran tarkemman tuloksen, mutta hajontaa on silti vielä runsaasti (kuva 12, s. 22).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 278,4 kpl ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 32,28 %.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin 46,6 kpl ja suhteelliseksi harhaksi 5,13 %.



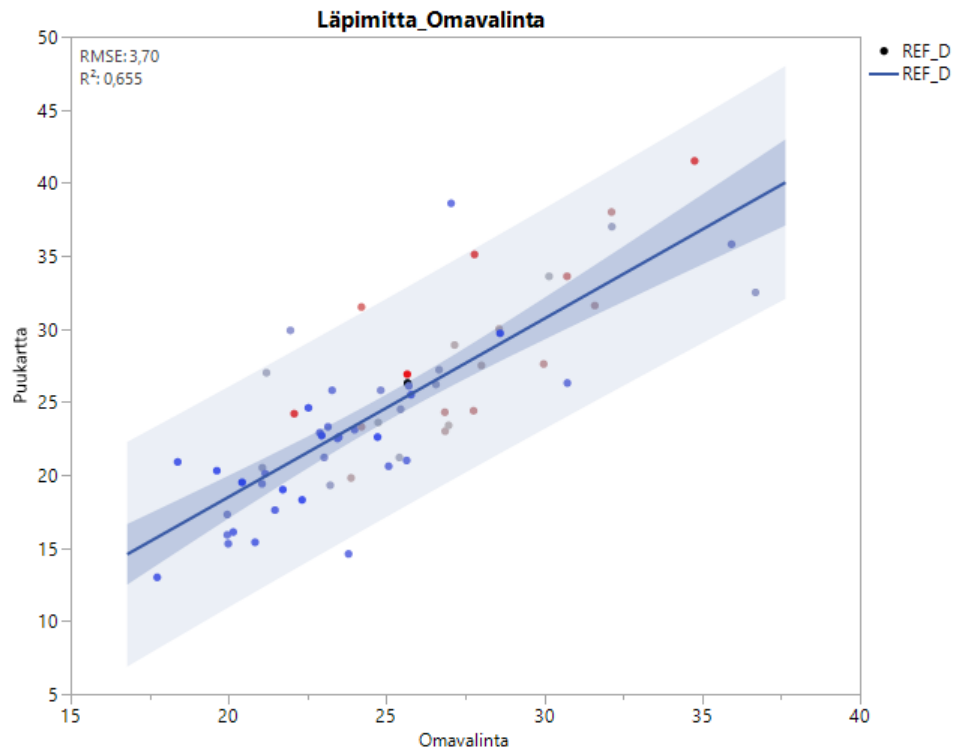
Kuva 12. Runkoluvun vertailu Trestimavalintaisen kuvaustavan ja puukarttamittauksen välillä.

5.1.4 Lämpimitan vertailu

Lämpimitan tulkinnessa on hajontaa jonkin verran, mutta tulos on kuitenkin kohtalainen. Keskimääräinen virhe tuloksissa on 3,70 senttiä ja harha on vain 0,38 cm eli todella pieni (kuva 13, s. 23).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 3,70 cm ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 14,97 %.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin 0,38 cm ja suhteelliseksi harhaksi 1,52 %.

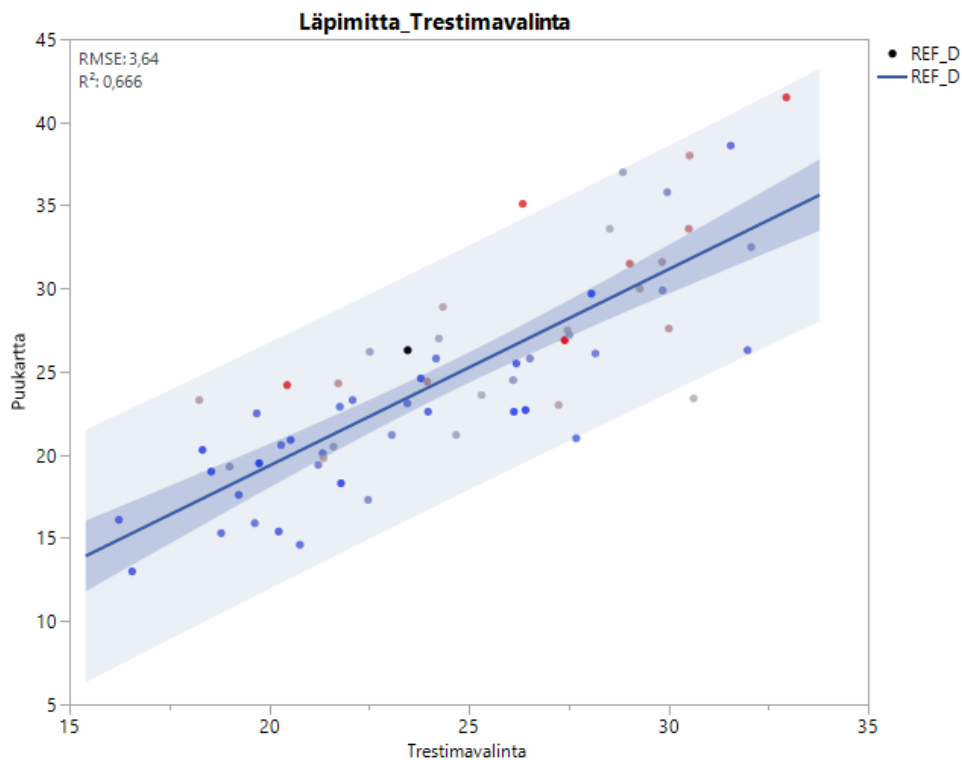


Kuva 13. Läpimitan vertailu omavalintaisen kuvaustavan ja puukarttamittauksen välillä.

Myöskään läpimitan osalta ei kuvaustapojen välillä ollut merkittävää eroa. Tässäkin tapauksessa tulos on kuitenkin omavalintaista kuvausta vähän parempi (kuva 14, s. 24)

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 3,64 cm ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 14,72 %.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin -0,17 cm ja suhteelliseksi harhaksi -0,69 %.



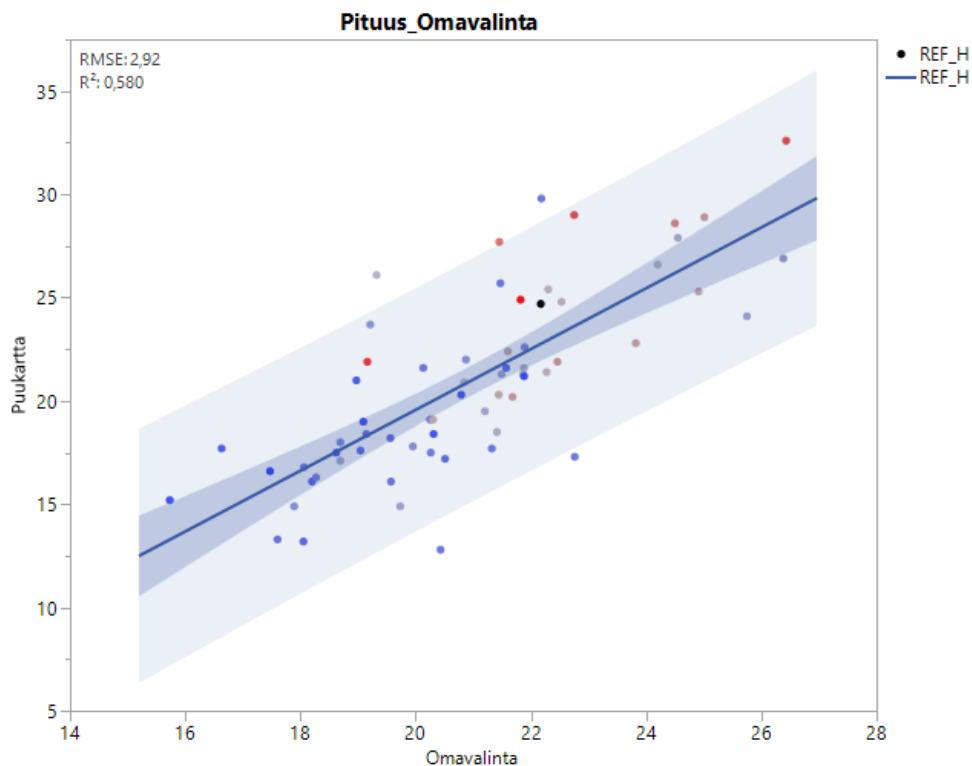
Kuva 14. Läpimitan vertailu Trestimavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

5.1.5 Pituuden vertailu

Pituuden tulkinnassa on jonkin verran heittoa ja korrelaatiokerroin onkin vain 58 %. Tämä voi vaikuttaa lopullisen tuloksen tarkkuuteen, sillä pituus vaikuttaa tilavuuden laskentaan oleellisesti. Absoluuttiseksi harhaksi saatiin $-0,01$ m, joka tarkoittaa että tulos oli lähestulkoon harhaton. RMSE-arvo on kuitenkin melko suuri mittayksikkö huomioon ottaen (kuva 15, s. 25).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin $2,92$ m ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi $13,95$ %.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin $-0,01$ m ja suhteelliseksi harhaksi $-0,04$ %.

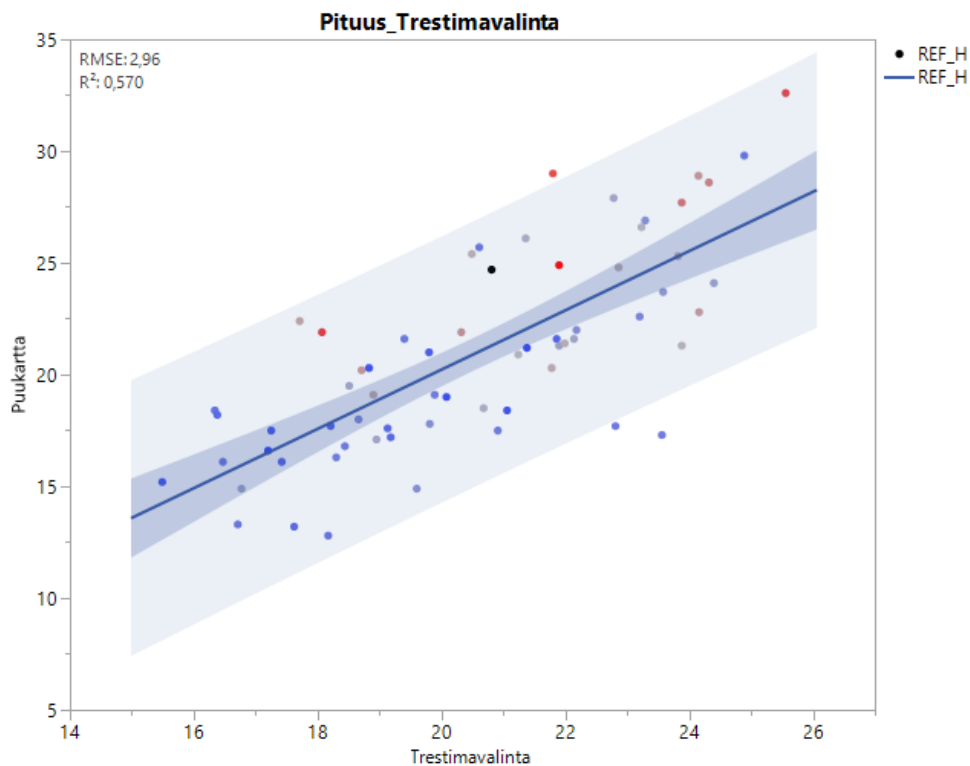


Kuva 15. Pituuden vertailu omavalintaisen kuvauksen ja puukartta-mittauksen välillä.

Trestimavalintaisen kuvauksen tulokset eivät olleet aivan omavalintaisen kuvauksen tasolla, mutta erot olivat edelleen minimaalisia. Harha tälläkin aineistolla pieni, mutta RMSE on myös verrattain iso (Kuva 16, s. 26).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 2,96 m ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 14,14 %.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin -0,40 m ja suhteelliseksi harhaksi -1,95 %.



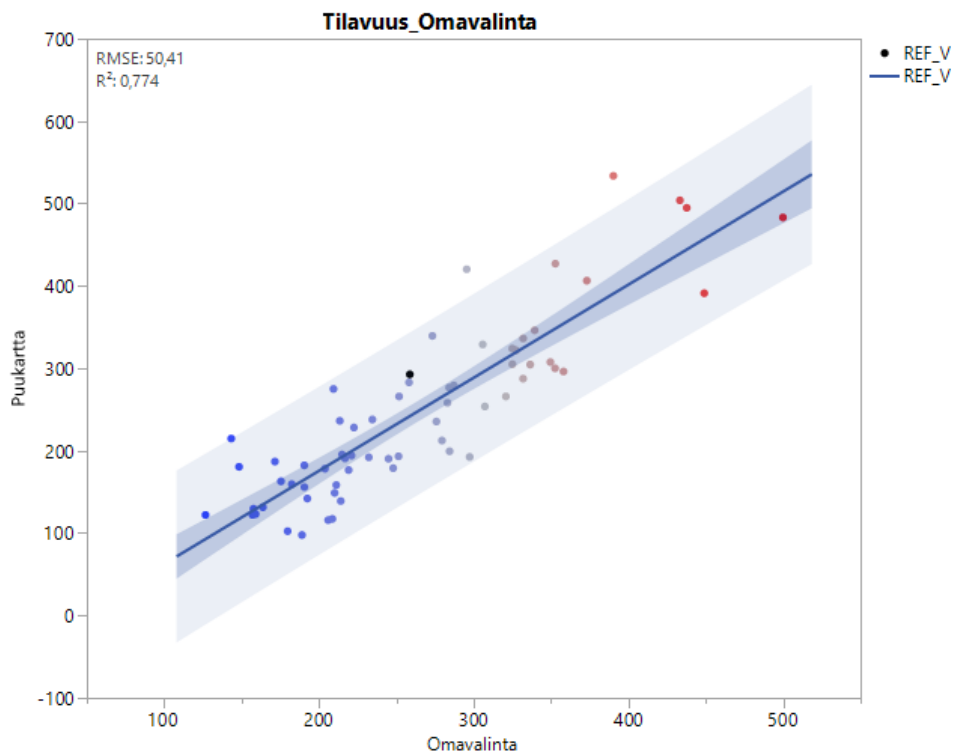
Kuva 16. Pituuden vertailu Trestimavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

5.1.6 Tilavuuden vertailu

Tärkein lopputulokseen vaikuttavista tiedoista on tilavuus. Kuvaajalta voidaan todeta, että Trestiman tuottama tieto on keskimäärin kohtuullisen hyvää ja sitä voidaan näin ollen pitää luotettavana (kuva 17, s. 27).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin $50,41 \text{ m}^3$ ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 20,43%.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin $16,07 \text{ m}^3$ ja suhteelliseksi harhaksi 6,12 %.

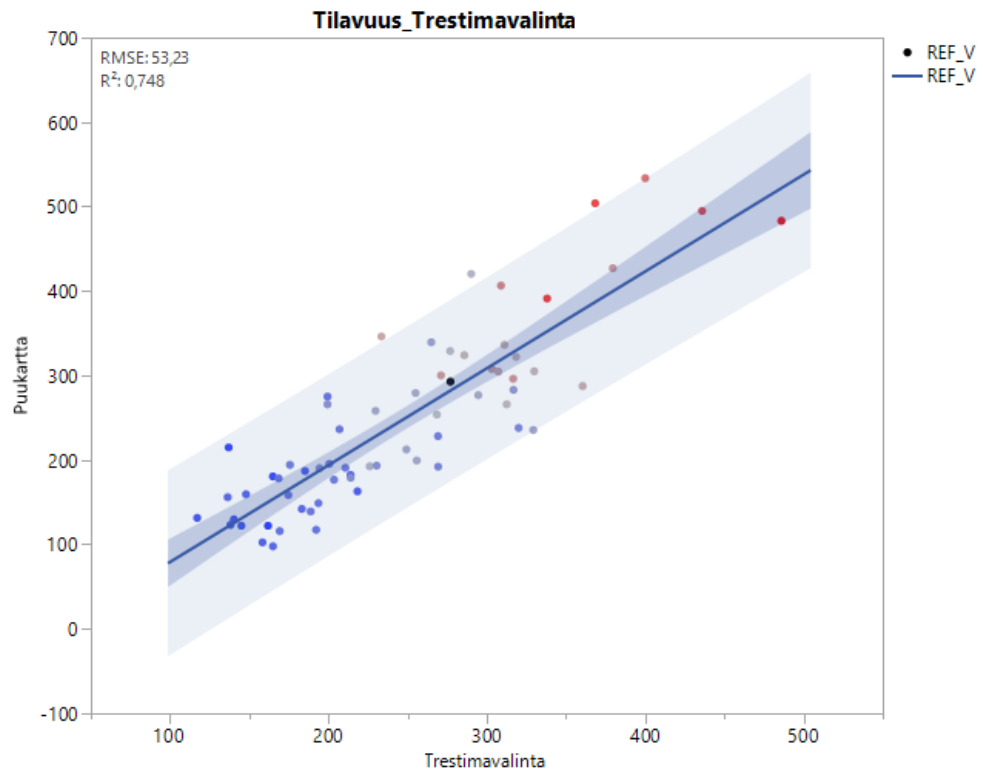


Kuva 17. Tilavuuden vertailu omavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

Trestimavalintainen kuvaustapa antaa myös riittävän tarkkaa tietoa tilavuuden suhteen. Tulos ei ole aivan yhtä hyvä kuin omavalintaisella kuvaustavalla saadut vastaavat luvut (kuva 18, s. 28).

Absoluuttiseksi RMSE-arvoksi saatiin 53,23 m³ ja suhteelliseksi RMSE-arvoksi 21,57 %.

Absoluuttiseksi harhaksi saatiin -0,72 m³ ja suhteelliseksi harhaksi -0,29 %.



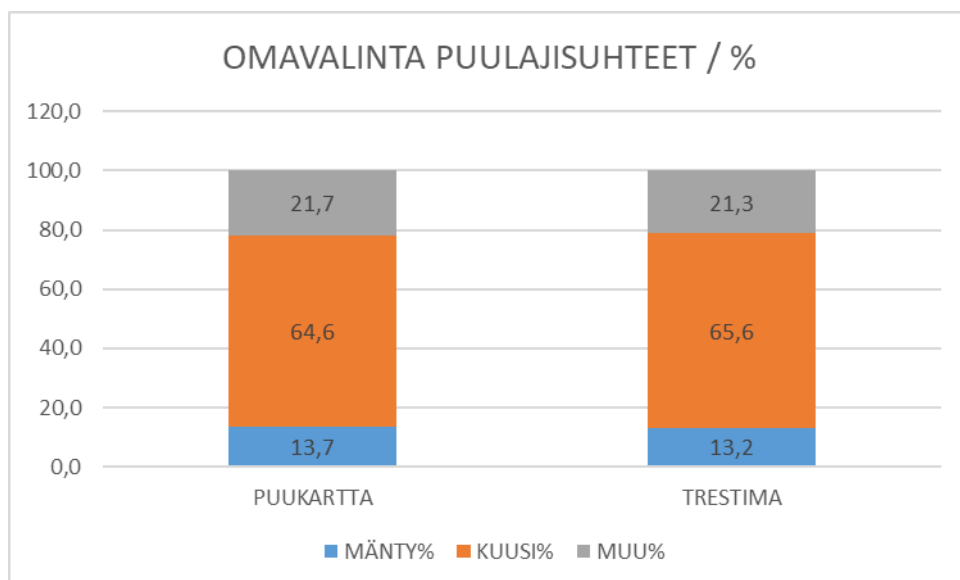
Kuva 18. Tilavuuden vertailu Trestimavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen välillä.

5.2 Puulajisuhteet

Puulajisuhteita haluttiin vertailla, koska haluttiin selvittää miten hyvin Trestima tunnistaa eri puulajit. Puulajit, joita tutkimuksissa tarkasteltiin olivat mänty, kuusi ja kaikki muut puulajit yhdessä. Koealakohtaisesti vertailtiin, kuinka paljon saman koealan puulajikohtainen tilavuus poikkeaa toisistaan puukartta-aineiston ja Trestimamittausten välillä. Puulajisuhteet on esitetty pylväsdiagrammeissa, joista käy ilmi kaikista koealoista yhteen laskettu puulajikohtainen prosenttiosuus puuston kokonaismäärästä.

5.2.1 Omavalinta

Kuvasta 19 sivulla 29 voidaan todeta, että puulajisuhteet ovat todella lähellä toisiaan ja eroa ei juurikaan ole. Voidaankin siis todeta, että Trestima tunnistaa puulajit keskimäärin hyvällä tarkkuudella. Tuloksista laskettiin myös puulajikohtaisesti absoluuttinen ja suhteellinen RMSE- ja harha-arvo, jotka kertovat koealakohtaisten tietojen vaihtelevan paljonkin todellisesta suhteesta. (Taulukko 1, s. 29).



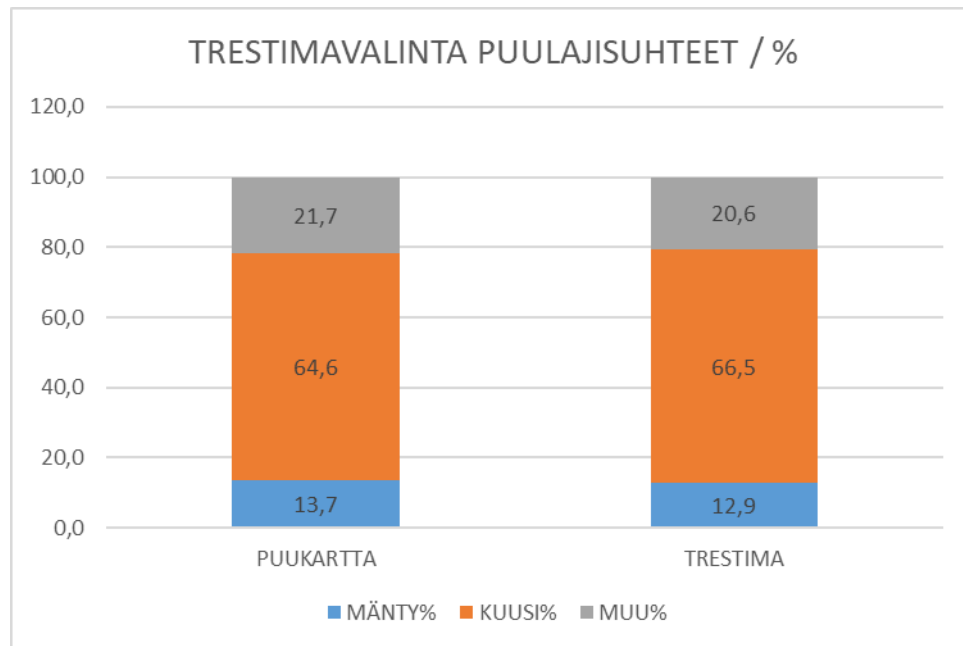
Kuva 19. Omavalintaisen kuvaustavan ja puukarttamittauksen välinen puulajisuhteiden vertailu.

Taulukko 1. Koealakohtaisista puulajisuhteiden vaihtelusta lasketut absoluuttiset ja suhteelliset RMSE- ja harha-arvot.

	MÄNTY	KUUSI	MUU
RMSE	20,0	41,9	23,5
RMSE%	59,4	26,3	43,9
BIAS	0,8	12,8	2,2
BIAS%	2,3	7,4	4,0

5.2.2 Trestimavalinta

Myös Trestimavalintaisessa kuvauksessa Trestima tunnisti puulajit keskimäärin hyvällä tarkkuudella (kuva 20.). Eroa kuvaustapojen välille ei juurikaan syntynyt. Kuten myös kappaleessa 5.2.1, niin myös Trestimavalintaisen kuvauksen ja puukarttamittauksen puulajisuhteiden vaihtelusta laskettiin absoluuttinen ja suhteellinen RMSE- ja harha-arvo. Lukemat kertovat, että myös Trestimavalintaisessa kuvaustavassa koelakohtaiset tiedot poikkeavat reilusti todellisuudesta. (Taulukko 2.).



Kuva 20. Trestimavalintaisen kuvaustavan ja puukarttamittauksesta saattujen puulajisuhteiden vertailu.

Taulukko 2. Koelakohtaisista puulajisuhteiden vaihtelusta lasketut absoluuttiset ja suhteelliset RMSE- ja harha-arvot.

	MÄNTY	KUUSI	MUU
RMSE	22,20	45,02	22,76
RMSE%	65,74	28,23	42,44
BIAS	-2,14	4,23	-2,94
BIAS%	-6,77	2,58	-5,79

6 YHTEENVETO TULOKSISTA

Tässä luvussa tehdään johtopäätöksiä luvussa 5 esitellyistä tuloksista ja pohditaan mahdollisia syitä eroavaisuuksille. Lisäksi tuloksia verrataan aiemmin muiden tekemiin tutkimuksiin.

6.1 Vertailu aiemmin tehtyihin tutkimuksiin

Vertailtaessa oman tutkimukseni tuloksia aiemmin tehtyihin tutkimuksiin, voidaan huomata niiden välillä yhtäläisyyksiä. Juho Ikäheimo muun muassa toteaa tutkimuksensa yhteenvedossa, että Trestima antaa luotettavaa tietoa mediaaniläpimitan arvioinnissa. Myös oma tutkimukseni tukee Ikäheimon tuloksia, sillä myös omissa tuloksissani läpimitan arviointi onnistui Trestimalta varsin hyvin. Erona tutkimuksissa on, että Ikäheimo käsittelee tuloksiaan puulajikohtaisesti ja minä kokonaispuuston kannalta. Voidaan kuitenkin todeta, että tulosten perusteella tutkimuksemme tukevat toisiaan. (Ikäheimo, 2015)

Myös Ville-Matti Kopakka (2015) oli tehnyt omassa tutkimuksessaan samansuuntaisia havaintoja, joita itse tein omassa työssäni. Yhtäläisyyksiä löytyy erityisesti Trestiman tulkintaa helpottavista tai hankaloittavista tekijöistä metsikössä. Kopakka on tehnyt havaintoja muun muassa siitä, kuinka runsas alikasvos heikentää Trestiman kykyä tunnistaa runkoja riittävällä tarkkuudella. Vastaavasti selkeillä järeärunkoisilla kohteilla Trestiman tulokset ovat luotettavampia. Nämä havainnot tukevat myös omia tutkimuksiani, sillä suurimmat virheet tulivat juuri tiheäpuustoisilla koealoilla, joilla oli runsaasti peitteisyyttä oksista ja alikasvoksesta. Kopakka kertoo työssään myös siitä, kuinka Trestiman tuloksen luotettavuus heikentyy samojen puiden osuessa useampaan kuvaan. Epäilin myös oman tutkimukseni alkuvaiheessa, kuinka Trestima tulee toimimaan pienillä puukarttakoealoilla, sillä samoja puita tulee varmasti kuvattua useaan kertaan eri suunnista. (Kopakka, 2015)

Verratessani saamiani tuloksia Arto Haaran ja Kari T. Korhosen tekemään kuvioittaisen arvioinnin luotettavuutta mittaavaan tutkimukseen, huomasin Trestiman olevan parempi menetelmä. Kuvioittaisessa arvioinnissa keskitilavuuden keskivirheeksi ilmoitettiin 24,8%, joka on pari prosenttiyksikköä suurempi kuin Trestimalla saatujen vastaavien tulosten keskivirhe. Myös mittaajan vaikutus korostuu kuvioittaisessa arvioinnissa, joka tehdään perinteisellä relaskooppimenetelmällä. Trestimaa käytettäessä mittaajan merkitys käytännössä mitätöityy sovelluksen ohjatessa mittaustahtumaa. (Haara & Korhonen, 2004)

6.2 Johtopäätökset tuloksista

Johtopäätöksenä tutkimuksen lopputuloksista voidaan todeta, ettei kahden erilaisen kuvaustavan välillä ollut keskenään merkittäviä eroavaisuuksia. Molemmat tavat antoivat saman suuntaisia tuloksia keskenään lähes yhtä suurilla vaihteluilla puukartta-aineistoon verrattuna. Mikäli kuitenkin halutaan valita kahdesta menetelmästä parempi, on se silloin Trestimavalintainen kuvaustapa, jossa kuvat otetaan satunnaiseen suuntaan. Tämä siitä syystä, että ratkaisevat puustotunnukset eli pohjapinta-ala, pituus ja tilavuus ovat keskimäärin enemmän oikein. Residuaalikuvaajista (liite 1) voidaan todeta, että Trestimavalintainen kuvaustapa antaa myös harhattomamman tuloksen, eli virheet kompensoivat toisiaan. Omavalintainen kuvaustapa puolestaan on harhaisempi tuottaen yliarviota. Lisäksi residuaalikuvaajista voidaan päätellä, että pienissä alle 300 m³ tilavuuksissa harha on yliarvio ja tätä suuremmissa aliarvio (liite 1/6).

Koealakohtaisia tietoja tarkasteltaessa huomattiin, että joillain koealoilla oli syntynyt huomattavan suuria eroja tiettyjen puustotunnusten välillä. Virheet eivät pääsääntöisesti olleet samoilla koealoilla riippuen kuvaustavasta. Esimerkiksi koealalla numero 1 006 Trestima aliarvioi runkoluvun yli 1 000 runkoa liian pieneksi käytettäessä Omavalintaista kuvausta. Trestimavalintaa käytettäessä vastaava ero oli jonkin verran pienempi mutta huomattavan suuri kuitenkin. Oletan eron johtuvan runsaasta alikasvoksesta ja tuuheista nuorista kuusista, jotka peittävät kuvissa runkoja, jolloin ne jäävät tunnistamatta puustotulkinnassa. Suurimmat virheet tulivatkin runkoluvun arvioinnissa Trestiman osalta joko ylä- tai alakanttiin.

Myös muissa puustotunnuksissa oli osalla koealoista suuria eroja. Omavalintaisessa kuvaustavassa oli huomattavissa, että Trestima arvioi pohjapinta-alaa, keskiläpimittaa ja pituutta merkittävästi alakanttiin. Nämä tunnukset vaikuttavat myös siihen, minkä takia tilavuus heittää kyseisillä koealoilla paljon. Yhteisenä tekijänä näille koealoille, joilta suurimmat virheet tulee on se, että ne ovat kaikki pieniä vain hieman yli 1 000 neliön kokoisia koealoja. Voidaan siis päätellä, että systemaattisesti kuvattava Omavalintakuvaus vääristää tulosta pienillä koealoilla enemmän kuin isommilla yli 2 000 neliön koealoilla. Kuviin osuu mitä ilmeisemmin niin paljon samoja puita, että tulokset vääristyvät. Osa koealoista oli myös poikkeuksellisen pitkä puustoisia, jolloin Trestima ei osannut arvioida oikeaa pituutta tietynläpimittaisille puille. Nämä jopa muutaman metrin erot pituuksissa ja usean sentin heitot läpimitoissa näkyvät tilavuudessa selkeästi.

Myös koealan puuston selkeys, valaistus ja matalalla olevien oksien tiheys tuntui vaikuttavan Trestiman kykyyn tehdä oikeanlaista analyysyä. On huomattavissa, että esimerkiksi tiheillä kuusivaltaisilla koealoilla virheen suuruus korostui enemmän verrattuna esimerkiksi selväpuustoiseen mäntykankaaseen. Nuoressa kuusikossa tiheä oksisto peittää osan rungoista, joka vääristää tuloksia.

Puulajisuhteiden vertailussa huomattiin, että Trestima pystyy tunnistamaan kuvista oikean puulajin hyvällä tarkkuudella. Kuvaustapojen välillä ei tässäkään tapauksessa ollut merkittävää eroa. Koealat olivat melko kuusi ja lehtipuuvoittoisia, minkä takia männyn tulos heittää suhteellisesti kaikkein eniten (kuvat 19. ja 20.)

Trestiman tarkkuuden voidaankin todeta olevan riittävän hyvää metsänarviointitehtävissä, kuten metsäsuunnittelussa. Metsäkeskus kuitenkin käyttää sovellusta metsikkökuviotason laatukontrollien tekoon, jolloin tulosten tulisi olla tarkempia. Trestiman käyttöä kyseisessä tarkoituksessa joudutaan siis vielä harkitsemaan.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyö palveli hyvin tarkoitustaan, ja sen avulla saatiin kerättyä paljon mielenkiintoista uutta tietoa Trestima-sovelluksen tarkkuudesta. Aiheesta ja aineistosta olisi voinut rakentaa vaikka kuinka laajan työn, mutta sitä jouduttiin supistamaan niin, että siitä saatiin pätevä opinnäytetyö. Oman hankaluutensa työn tekemiseen toi myös se, että puukartta-aineiston valmiiksi saaminen kesti oletettua kauemmin, ja vertailua päästiin tekemään näin ollen vasta varsin myöhäisessä vaiheessa. Tästäkin kuitenkin selvittiin ja tulokset saatiin laskettua ja niistä tehtyä johtopäätöksiä, jotka palvelevat tilaajan toiveita. Myös Trestimalla tehtävät kuvaukset olisi ollut jälkikäteen ajatellen ehkä parempi suorittaa aikaisemmin syksyllä, jolloin valoisaa aikaa olisi ollut päivällä enemmän ja pelkoa lumisateista ei olisi ollut.

Eriyisen mielenkiintoiseksi työn teki se, että olin itse ollut mittaamassa nyt tutkittuja referenssikoealoja uudella menetelmällä vuonna 2019. Näin ollen minulla oli näkemys aineiston tarkkuudesta ja osasin suhtautua siihen oikealla vakavuudella. Mitään näin tarkkaan aineistoon tehtyä vertailua Trestiman kanssa ei ole aiemmin opinnäytetyötasolla tehty, joka lisäsi aiheen mielenkiintoa entisestään. Prosessi tuntui kokonaisvaltaisesti merkitykselliseltä aina puukarttakoealojen mittaamisesta vertailujen valmiiksi saamiseen asti.

Olen oppinut valtavasti opinnäytetyöprosessin aikana erilaisista ajankäyttöön liittyvistä asioista ja syventänyt omaa matemaattista osaamista. Olen esimerkiksi oppinut entistä paremmin rytmittämään omaa päivittäistä rutiiniani ja sovittamaan opinnäytetyön tekemistä siihen. Opin myös valtaosan paljon erilaisista tilastotieteeseen liittyvistä aiheista. Myös Excel-taulukointiohjelman käsittely muuttui sujuvammaksi ja opin siitäkin runsaasti uusia ominaisuuksia.

LÄHTEET

- Haara, A & Korhonen, K. T. (2004). *Kuvioittaisen arvioinnin luotettavuus*. Metsätieteen aikakauskirja. Haettu 25.3.2020 osoitteesta <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff04/ff044489.pdf>
- Hamk. (2017). *Moodle.hamk*. Haettu 20.1.2020 osoitteesta <https://moodle.hamk.fi/mod/folder/view.php?id=645340>
- Ikäheimo, J. (2015). *Trestiman mediaanipuun mittatarkkuuden testaus*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 16.3.2020 osoitteesta <https://www.theseus.fi/handle/10024/89226>
- JMP. (2020). *JMP statistical analyst software*. Haettu 25.2.2020 osoitteesta https://www.jmp.com/en_us/software/data-analysis-software.html?utm_source=software&utm_medium=redirect#Key-Features
- Kopakka, V.-M. (2015). *Trestima älypuhelin kuvauksessa tunnistettujen puiden oikeellisuus*. Hämeen ammattikorkeakoulu. Haettu 16.3.2020 osoitteesta <https://www.theseus.fi/handle/10024/93838>
- Mellin, I. (2006). *Tilastolliset menetelmät*. Helsingin yliopisto. Noudettu osoitteesta <http://math.tkk.fi/opetus/sovtoda/oppikirja/OtosEstim.pdf>
- Metsäkeskus, (2016). *www.metsakeskus.fi*. Haettu 20.1.2020 osoitteesta <https://www.metsakeskus.fi/metsatiedon-keruu>
- Metsälehti (2019). *Sata vuotta inventointia*. Haettu 20.1.2020 osoitteesta <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/sata-vuotta-inventointia/#4132e36f>
- Mustonen, J. (2011). *Laserkeilaus puuston inventoinnissa*. Haettu 21.1.2020 osoitteesta <https://www.slideshare.net/JuhoUrkkolaserkeilaus-ympariston-mallintamisessa>
- Rouvinen, T. (2014). Kuvia Metsästä. *Metsätieteen aikakauskirja*, 119 - 122. Sähköpostiviesti tekijälle 10.1.2020
- Savolainen, P. (2018). *TerraHärp*. Sähköpostiviesti tekijälle 14.1.2020.
- Savolainen, P. (2019). *TerraHärp laitteisto*. Sähköpostiviesti tekijälle 14.1.2020.
- Suomen Metsäkeskus. (2016). *metsakeskus.fi*. Haettu 25.1.2020 osoitteesta https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/metsavaratiedon_laatuseloste.pdf

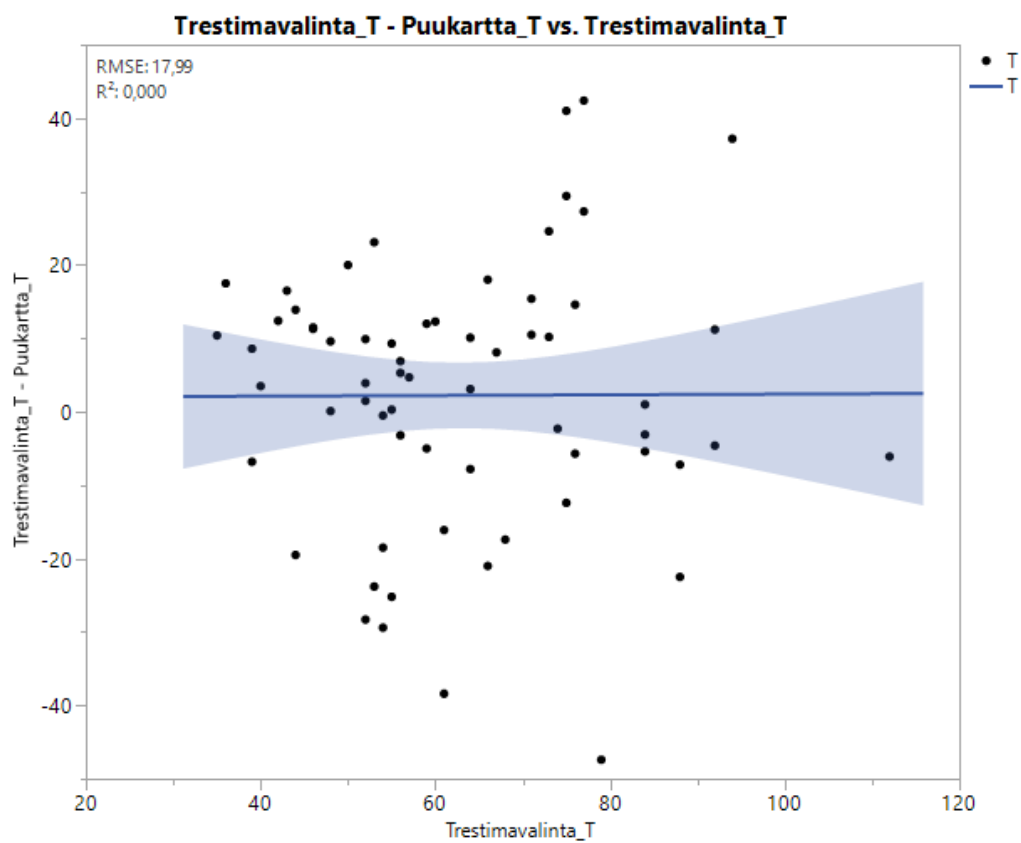
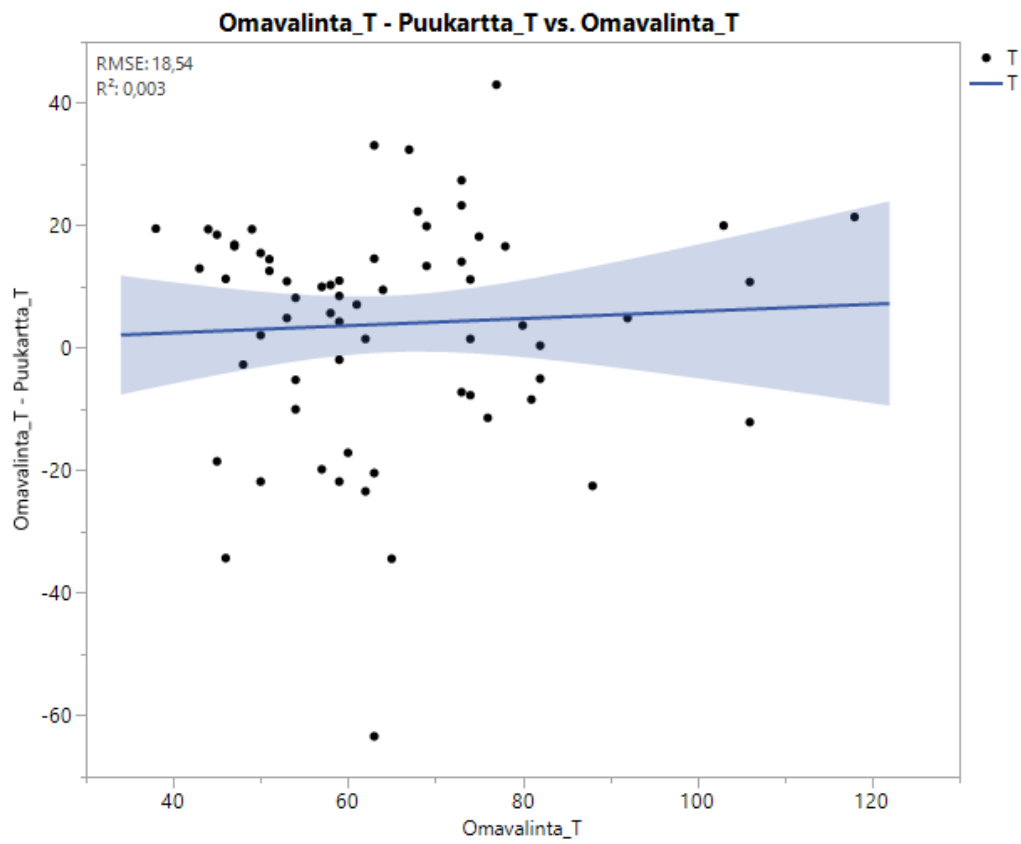
Suomen Metsäkeskus. (2019). *Koelamittaus 2020*. Maa- ja metsätalousministeriö. Sähköpostiviesti tekijälle 14.1.2020

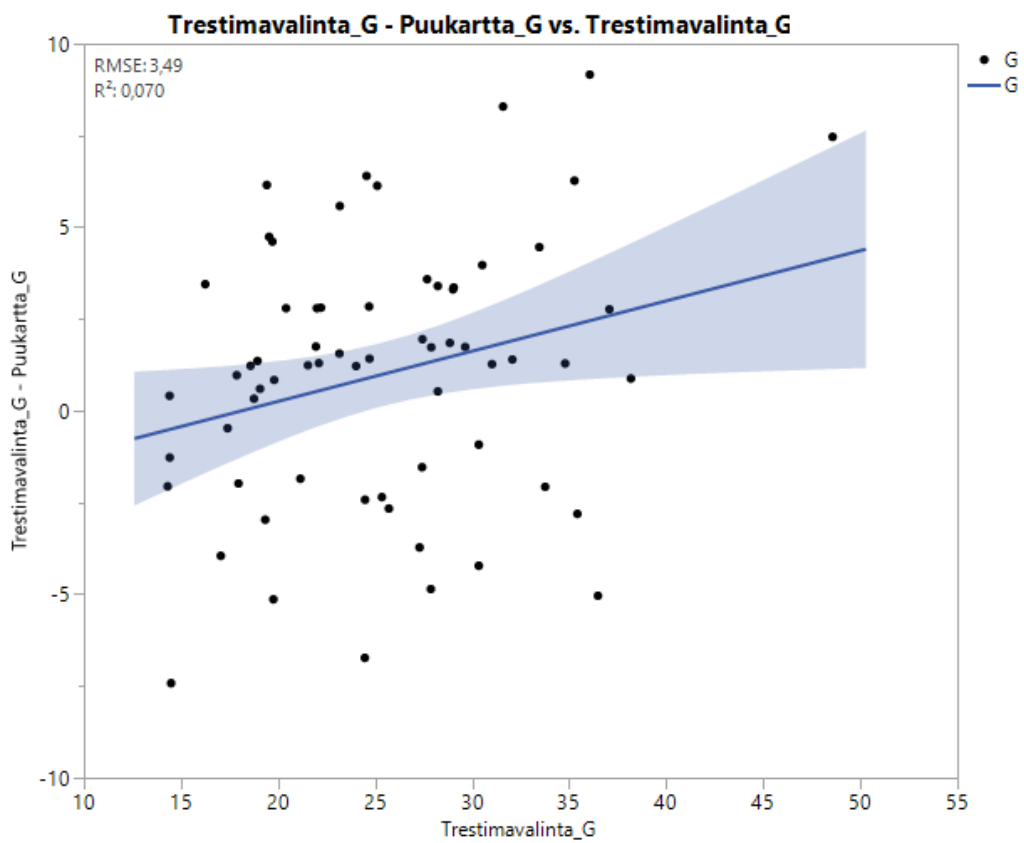
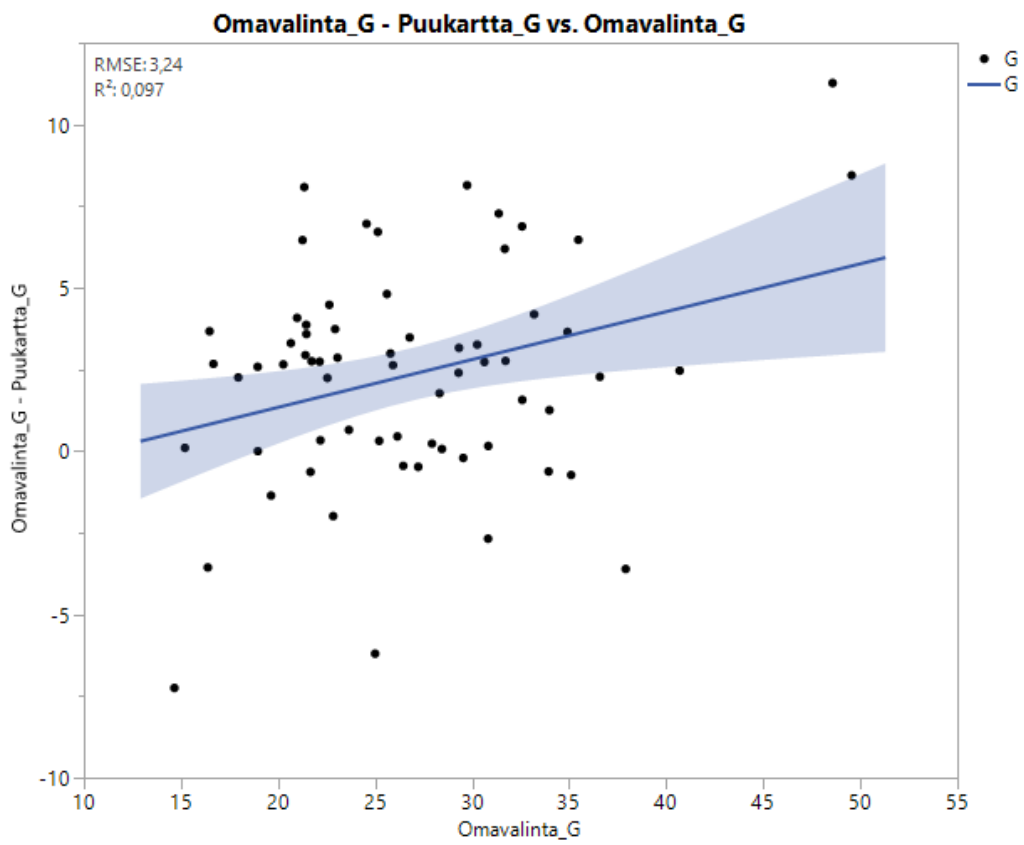
TerraTec Oy. (2019). *TerraTec Oy*. Haettu 3.2.2020 osoitteesta <https://www.terratec.fi/>

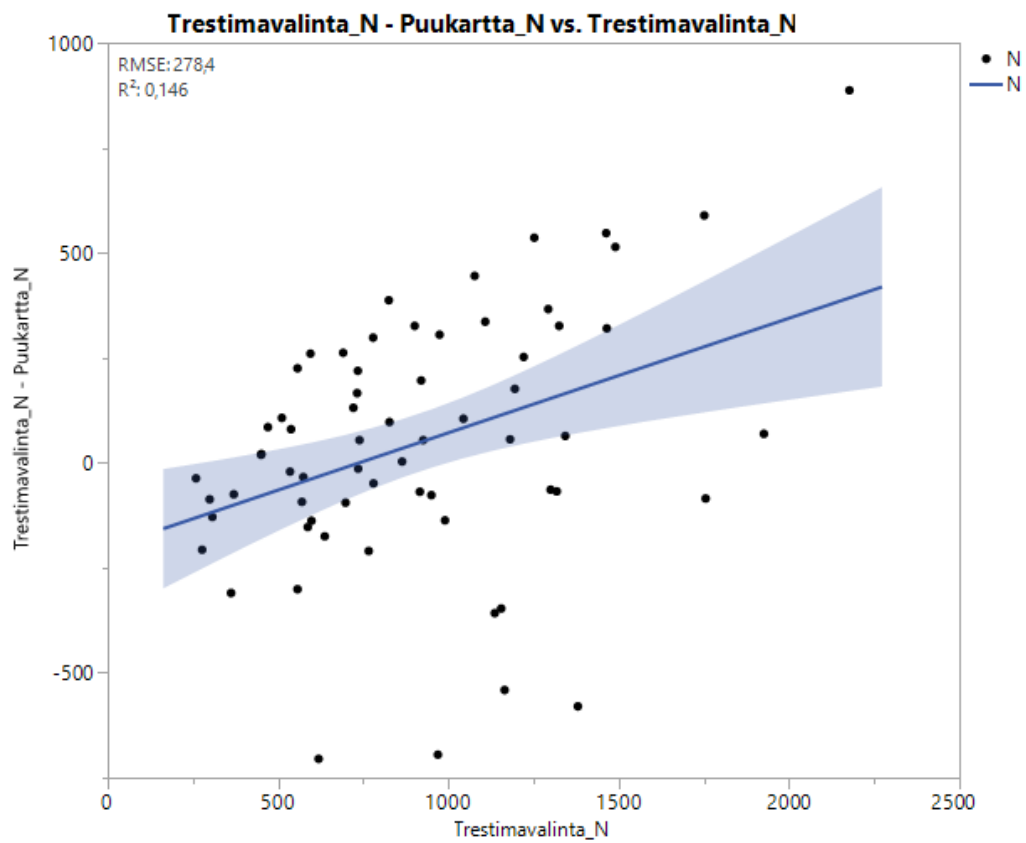
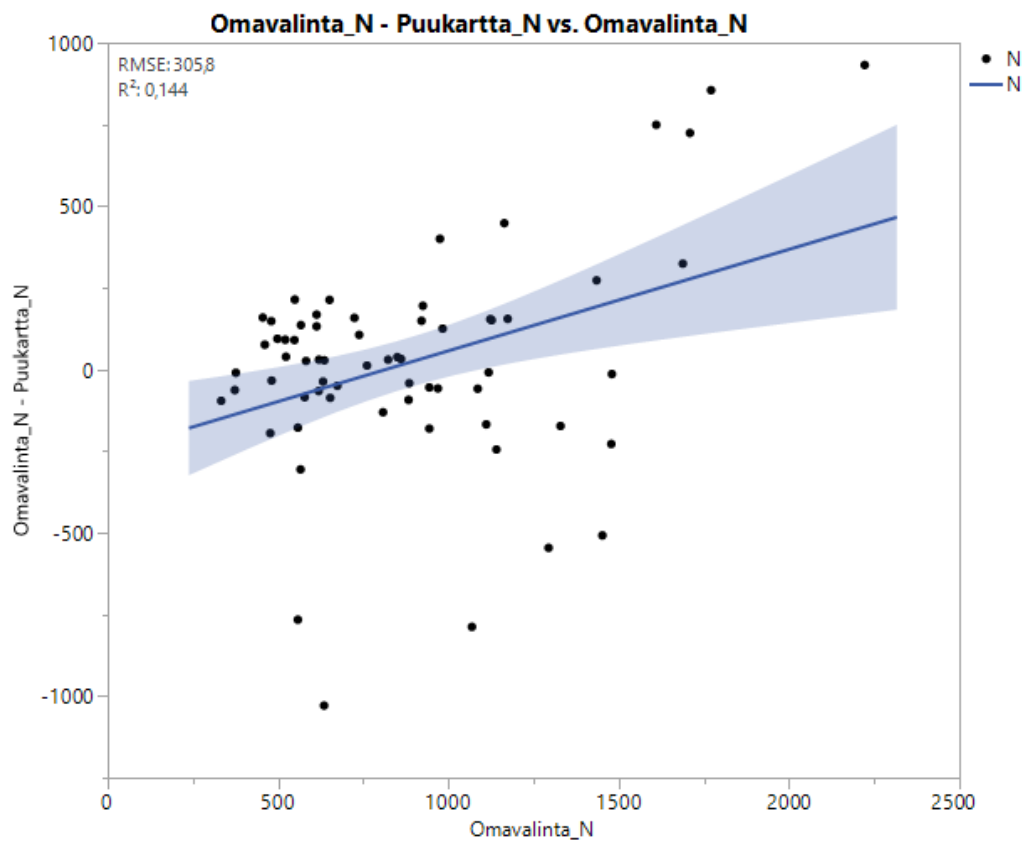
Trestima Oy. (3. 3 2020). *Trestima metsänmittausjärjestelmä*. Haettu 5.2.2020 osoitteesta <https://www.trestima.com/w/metsanmittausjarjestelma/>

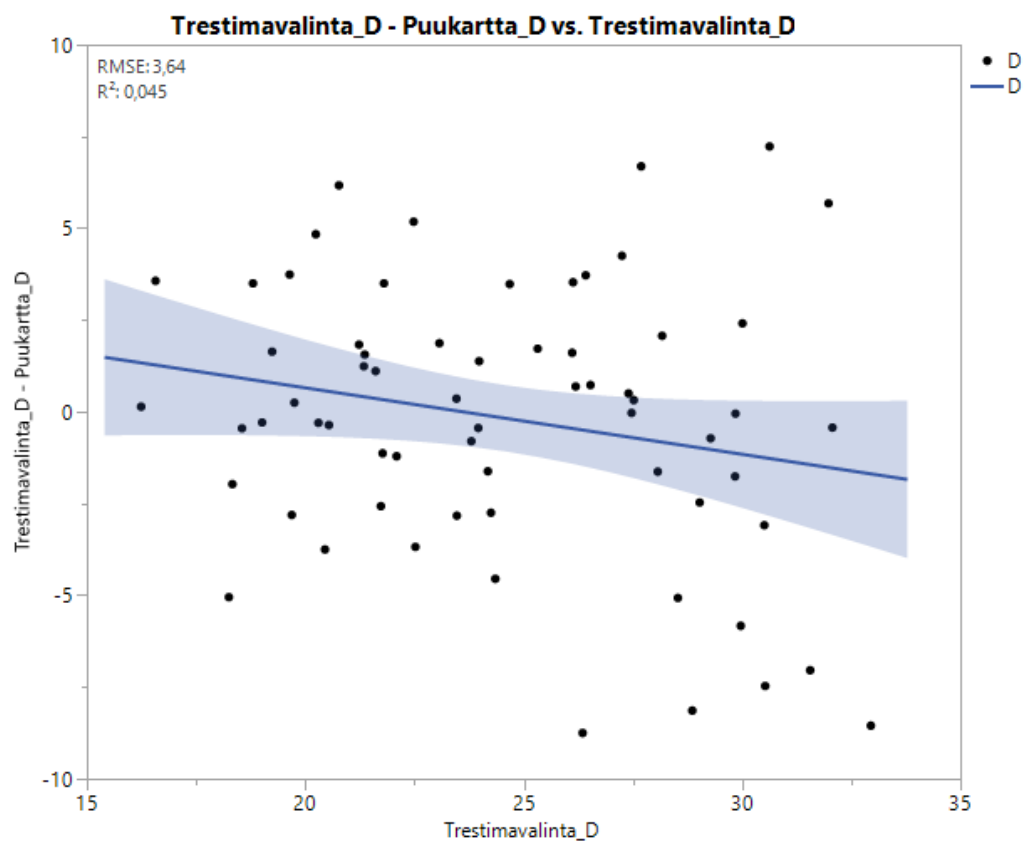
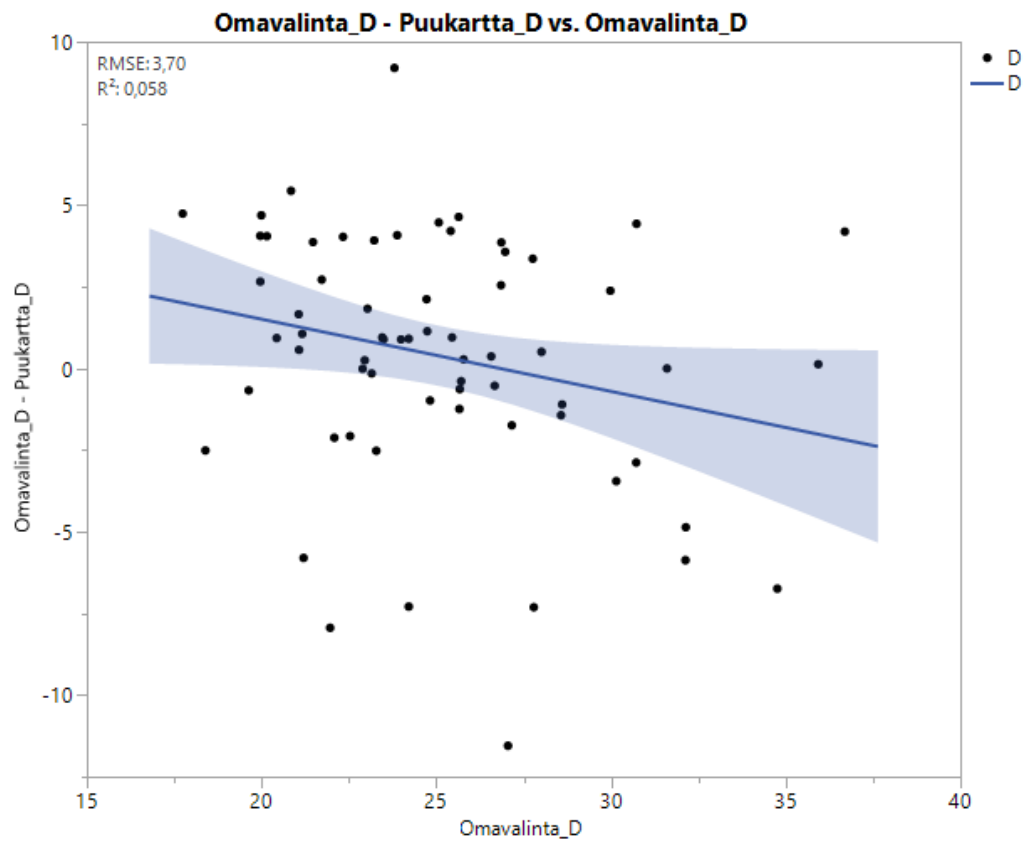
Välimäki, E. (2020) RTK-mittaus Metsäkeskuksessa. Sähköpostiviesti tekijälle 9.4.2020

RESIDUAALIKUVAAJAT









Liite 1/5

