



Metsävaratietojen luotettavuus ja lannoitusten kannattavuus yksityismetsässä

Case: Alajärvi

Antti Marjamäki

OPINNÄYTETYÖ
Kesäkuu 2025

Metsätalouden tutkinto-ohjelma

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Metsätalouden tutkinto-ohjelma

MARJAMÄKI, ANTTI:

Metsävaratietojen luotettavuus ja lannoitusten kannattavuus yksityismetsässä
Case: Alajärvi

Opinnäytetyö 22 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Kesäkuu 2025

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan avoimen metsävaratiedon puustotietojen luotettavuutta sekä metsänlannoitusten taloudellista kannattavuutta yksityismetsissä. Tavoitteena oli selvittää, kuinka tarkasti metsävaratieto vastaa maastossa mitattuja puustotunnuksia ja kuinka kannattavia lannoitusinvestoinnit ovat kangas- ja turvemaiden metsiköissä. Tutkimuksen tilaaja oli yksityinen metsänomistaja Alajärveltä. Tutkimuksen aineisto kerättiin tekijän toimesta tilaajan metsistä sekä Metsäkeskuksen metsävaratietojen latauspalvelusta. Aineisto käsiteltiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla ja aineistoja vertailtiin suhteellisella keskivirheellä RMSE%-menetelmällä sekä laskemalla systemaattiset virheet. Aineistoille tehtiin myös hypoteesin testaus.

Puustotietojen luotettavuutta arvioitiin vertaamalla metsävaratiedon arvoja maastomittauksiin 48 metsikkökuviolla pääpuulajin tilavuuden ja keskiläpimitan osalta. Metsävaratiedon tarkkuus vaihteli kehitysluokittain: tarkimpia tiedot olivat kehitysluokissa 03 ja 04, kehitysluokassa 02 metsävaratiedot olivat selvästi epätarkimpia molempien tunnusten kohdalla. Keskiläpimitta osoittautui luotettavammaksi puustotunnukseksi kuin tilavuus. Lannoitusten kannattavuutta arvioitiin sisäisen korkokannan (IRR) avulla sekä kivennäis- että turvemaidella. Lannoitus osoittautui selkeästi kannattavaksi investoinniksi kaikilla tarkastelluilla kohteilla.

Tulosten perusteella metsävaratietoja voi tietyin varauksin käyttää sellaisenaan tilavuuden osalta kehitysluokissa 03 ja 04. Kehitysluokan 02 osalta puuston tilavuus ei ole luotettava metsävaratiedon puustotunnus ja maastokäynti on suositeltavaa tarkan tiedon saamiseksi. Läpimittojen osalta metsävaratieto osoittautui suhteellisen luotettavaksi kaikissa kehitysluokissa.

Asiasanat: metsätalous, metsävaratieto, metsän lannoitus, kannattavuus

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Forestry

MARJAMÄKI, ANTTI:

The reliability of forest resources data and the cost-effectiveness of fertilization in a privately-owned forest. Case: Alajärvi

Bachelor's thesis 22 pages, appendices 0 pages
June 2025

This thesis examines the reliability of open forest inventory data and the economic profitability of forest fertilization in a privately owned forest. The objective was to determine how accurately forest inventory data corresponds to field-measured stand attributes and how profitable fertilization investments are on mineral and peat soils. The study was commissioned by a private forest owner from Alajärvi. The research material was collected by the author from the client's forest properties and from the Finnish Forest Centre's forest inventory data service. The data was processed using Microsoft Excel and analyzed using the relative root mean square error (RMSE%) and by calculating systematic errors. A hypothesis test was also conducted.

The reliability of forest inventory data was assessed by comparing it to field measurements on 48 forest compartments, focusing on the dominant tree species' volume and average diameter and breast height. The accuracy of the inventory data varied by development class: the most accurate data was found in classes 03 and 04, while class 02 showed clearly the least accuracy in both variables. Average diameter at breast height proved to be a more reliable attribute than volume. The profitability of fertilization was evaluated using the internal rate of return (IRR) method on both mineral peatland sites. Fertilization was found to be a clearly profitable investment in all examined cases.

Based on the results, forest inventory data can be used with some reservations as is for volume estimation in development classes 03 and 04. In class 02, the volume estimates are not reliable, and field visits are recommended for accurate decision making. In terms of average diameter at breast height, the inventory data proved to be relatively reliable across all development classes.

Key words: forestry, forest resource data, fertilization, profitability

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	AVOIN METSÄVARATIETO	6
	2.1 Avoin metsävaratieto yleisesti	6
	2.2 Laserkeilaus	6
	2.3 Metsävaratiedon keruu ja ajantasaistus	7
3	KASVATUS- JA TERVEYSLANNOITUKSET	8
4	AINEISTON KERUU JA TUTKIMUSMENELMÄT	9
	4.1 Aineiston keruu puustotunnusten laskentaan.....	9
	4.2 Tutkimusmenetelmät.....	9
	4.3 Aineistojen vertailu puustotunnusten osalta	10
	4.3.1 Suhteellinen keskivirhe RMSE%	10
	4.3.2 Systemaattinen virhe	11
	4.3.3 Hypoteesin testaus	11
	4.4 Metsänlannoitusten kannattavuus.....	12
	4.4.1 Lannoituksen kannattavuusvertailun kohteiden valinta.....	13
5	TULOKSET	15
	5.1 Suhteelliset keskivirheet.....	15
	5.1.1 Pääpuulajien tilavuudet	15
	5.1.2 Pääpuulajin keskiläpimitta	15
	5.2 Systemaattiset virheet.....	16
	5.3 Lannoitusten sisäinen korkokanta	17
6	POHDINTA	19
	6.1 Metsävaratietojen luotettavuus.....	19
	6.2 Metsänlannoitusten kannattavuus.....	19
	LÄHTEET.....	21

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan kahta ajankohtaista ja metsänomistajalle taloudellisesti merkittävää teemaa: avoimen metsävaratiedon pohjalta tuotettujen puustotietojen luotettavuutta sekä metsänlannoitusten kannattavuutta yksityismetsissä. Metsävaratieto on keskeinen työkalu metsätalouden eri toimijoille – sitä hyödynnetään muun muassa puukaupan tukena ja metsäsuunnittelussa. Työn tavoitteena on selvittää kuinka tarkkoja luotettavia metsävaratiedon puustotiedot ovat verrattuna metsäalan ammattilaisen metsässä tekemiin puustoarvioihin.

Toinen keskeinen osa tätä opinnäytetyötä on metsänlannoitusten taloudellisen kannattavuuden arviointi. Lannoitus on investointi, jonka tavoitteena on lisätä puuston kasvua ja parantaa metsän tuottavuutta. Työssä tarkastellaan kasvatus- ja terveyslannoitusten kannattavuutta sisäisen korkokannan avulla.

Opinnäytetyön tilaaja on yksityinen metsänomistaja Alajärveltä, joka halusi selvittää, kuinka hyvin metsävaratiedon puustotiedot vastaavat todellisuutta etenkin puuston tilavuuden osalta sekä kuinka paljon lisätuottoa lannoituksilla on mahdollista saavuttaa. Aihe on ollut itseäni kiinnostava, sillä tulevana metsäalan toimihenkilönä on tärkeää ymmärtää, miltä osin metsävaratietoon voi luottaa ja missä tilanteissa tarvitaan tarkempia maastomittauksia. Myös lannoitusten taloudellisen vaikuttavuuden arviointi on hyödyllistä. Tämä tieto tukee niin ammattilaisen kuin metsänomistajankin päätöksentekoa puukauppojen ja metsänhoitoinvestointien suunnittelussa.

Tutkimuksessa keskitytään kuviopohjaisen metsävaratiedon puustotietoihin ja niiden vertailuun maastossa tehtyihin mittauksiin. Työn ulkopuolelle on rajattu kaukokartoitusaineiston luontotietoaineistot sekä hila-aineistojen tarkastelu. Metsävaratietojen luotettavuutta on tutkittu aiemminkin, mutta yhdistetty tarkastelu puustotietojen tarkkuudesta ja lannoitusten taloudellisesta kannattavuudesta on harvinaisempaa.

2 AVOIN METSÄVARATIETO

2.1 Avoin metsävaratieto yleisesti

Metsävaratieto on metsäkeskuksen julkisin varoin ylläpitämää ja keräämää tietoa Suomen yksityismetsistä. Se sisältää tietoa muun muassa puuston määrästä ja kasvusta, kehitysluokkajakaumasta, kasvupaikoista sekä metsälain erityisen tärkeistä elinympäristöistä. (Metsälehti 2023). Metsävaratiedon keruu on osa metsätietolain mukaista metsäkeskuksen tehtävää. Metsävaratietoa on kerätty vuodesta 2008 ja sitä päivitetään säännöllisesti. Tällä hetkellä metsäkeskuksen ylläpidettävän metsävaratiedon määrä on n. 12 milj. hehtaaria. Metsävaratieto tuli kaikkien käytettäväksi Juha Sipilän hallituksen kärkihankkeesta. Hankkeen pää tavoitteena oli tehostaa metsävaratiedon hyödyntämistä ja muuttaa vanhaa metsätietolakia, joka esti metsävaratiedon avoimen jakamisen. Tämä metsätietolain muutos tuli voimaan 1.3.2018. (Maa- ja metsätalousministeriö n.d.)

Metsäkeskus inventoi vuosittain Suomen metsiä yhdessä Maanmittauslaitoksen kanssa. Laserinventointi aloitettiin 2010 ja ensimmäinen kierros saatiin valmiiksi 2019. Toinen kaukokartoitusperusteinen inventointikierros alkoi vuonna 2020. Inventointi suoritetaan lentokoneesta ilmakuvaamalla, laserkeilauksella sekä tekemällä koealamittauksia maastossa. Koko Suomen kattava laserkeilaus kestää kuusi vuotta ja vuonna 2025 kartoitetaan viimeiset alueet. Ilmakuvausohjelmassa alueet kuvataan lisäksi toisen kerran keilauskierron puolella välissä, eli joka kolmas vuosi. (Metsäkeskus n.d.a.)

2.2 Laserkeilaus

Laserkeilaus on kaukokartoituksen päämenetelmä, jota tekee Maanmittauslaitos. Sillä saadaan tarkkaa ja kolmiulotteista tietoa puuston ja maaston rakenteesta. Keilaukset tehdään kahden kilometrin korkeudesta. (Metsäkeskus n.d.a). Laserkeilauksessa mittaus tehdään mittakeilaimella, joka lähettää lasersäteitä tiheänä rasterina. Lasersäteet heijastuvat takaisin keilaimeen, joka mittaa siihen kulu neen ajan ja näin saadaan jokaisen laserpulssin antama puuston korkeushavainto kartalle. (Joala 2006)

Ensimmäisen, vuosina 2008–2019 tehdyn inventointikierroksen tarkkuus oli 0,5 pistettä neliometrillä. Nykyisen, vuosien 2020–2025, inventointikierron tarkkuudeltaan 5 pistettä/m². Tästä aineistosta tehdään myös harvennettu versio pistetiheydeltään 0,5 pistettä/m² vastaamaan aiemman inventointikierron tarkkuutta. (Maanmittauslaitos n.d.) Laserkeilaus- ja ilmakuvausohjelman seuraavassa vaiheessa pistetiheys nousee mahdollisesti jopa 20 pisteeseen neliometrille. Tämä mahdollistaisi muun muassa tarkemman biodiversiteettitiedon tuottamisen. (Maanmittauslaitos 2024)

2.3 Metsävaratiedon keruu ja ajantasaistus

Metsäkeskus inventoi vuosittain 3,5–4 miljoonaa hehtaaria metsää 22 alueelta eri puolilta maata. Tiedon keruu tehdään pääasiassa yksityismetsistä, koska se on metsäkeskuksen lakisääteinen tehtävä. Perusinventointitietoa Metsäkeskus tuottaa kattavasti kaikista metsistä. Laserkeilauksen lisäksi hyödynnetään ilmakuvausta mm. puulajien tunnistamisessa. Ilmakuvien maastotarkkuus on 40 cm ja ne otetaan 7–8 kilometrin korkeudesta. (Metsäkeskus n.d.a.)

Kaukokartoitusperusteisen metsävaratiedon keruu ja käsittely kestää vuoden. Inventointialueelta mitataan ympyräkoealoja 700–800 tai 150–200 uudempaa puukarttakoealaa. Näitä koealatyyppejä voidaan myös yhdistää tarpeen mukaan. Maastossa mitatuille ja paikannetuille koealoille haetaan niiden sijaintia vastaavat laser- ja ilmakuvapiirteet, joiden avulla eri puustotunnuksille tuotetaan laskentamallit. Inventointiyksikkönä puustotulkinnassa käytetään 16 m x 16 m hilaruutuja, joiden pinta-ala vastaa 9 m säteistä koealaa. Uutena inventointiyksikkönä käytetään ns. latvusrajattua puuryhmää, jonka koko vastaa pinta-alaltaan yhtä hilaruutua. (Metsäkeskus n.d.a.)

Nykyisellä inventointikierroksella hyödynnetään metsikkökuvioiden osalta pääsääntöisesti jo olemassa olevaa kuviointia. Kuvioita päivitetään muutosten tai virheiden osalta uudella kaukokartoitusaineistolla ja tarvittaessa tehdään kokonaan uusi kuviointi. Kuvioille haetaan olemassa olevista tiedoista lisäksi kasvupaikkatiedot sekä tehdään suositusten mukaiset metsänhoito- ja hakkuuehdotukset. (Metsäkeskus n.d.a.)

3 KASVATUS- JA TERVEYSLANNOITUKSET

Kasvatuslannoituksilla tähdätään puuston kasvun ja elinvoimaisuuden parantamiseen lisäämällä ravinteita, joita maaperässä on niukasti puiden tarpeisiin nähden. Kivennäismailla kasvua rajoittava tekijä on yleensä typpi ja kasvatuslannoitus on kustannustehokas tapa nopeuttaa nuoren tai varttuneen havupuuvaltaisen kasvatusmetsän järeytymistä. Typpilannoitus siis lisää enemmän läpimitan kasvua kuin pituuskasvua. Kasvatuslannoituksella parannetaan puuston hiilensidontaa sekä metsätalouden kannattavuutta, ja sitä voidaan toteuttaa useita kertoja kiertoajan aikana. Tyypillisesti se tehdään 6–10 vuotta ennen uudistushakkuuta, jotta tukkipuun osuus kasvaa ja investoinnin tuotto maksimoituu. Typpilannoituksen vaikutusaika on männiköissä 6–8 vuotta ja kuusikoissa 8–10 vuotta. Etelä-Suomen havupuilla lisäkasvu on keskimäärin 1,5 m³/ha/v. (Metsänhoidonsuositukset n.d.a.)

Terveyslannoitus turvemaiilla on metsänhoidollinen toimenpide, joka tähtää puuston kasvuhäiriöiden korjaamiseen ja elinvoimaisuuden palauttamiseen tilanteissa, joissa ravinne-epätasapaino rajoittaa kehitystä. Turvemaiilla ravinnepuutokset ovat yleensä fosforin, kaliumin ja boorin puutokset. Ne voivat hidastaa puiden kasvua merkittävästikin ja oikein ajoitetulla sekä kohdennetulla lannoituksella puusto voi vielä elpyä ja olla taloudellisesti kannattavaa. Paksuturpeisilla kohteilla sen vaikutusaika voi kestää jopa yli 30 vuotta, kun taas boorilannoitus parantaa kasvua jo 2–4 vuodessa. Keskimäärin terveyslannoituksen tuottama pitkän ajan kasvunlisäys on turvemaiden männiköissä 1–3 m³/ha/v riippuen kasvupaikasta sekä ennen lannoitusta vallinneesta ravinnesuhteesta. Boorin lannoitus lisää pääasiassa puiden pituuskasvua vähentämällä kasvuhäiriöitä ja sen vaikutus läpimitan kasvuun on minimaalinen. (Metsänhoidonsuositukset n.d.b.)

4 AINEISTON KERUU JA TUTKIMUSMENELMÄT

4.1 Aineiston keruu puustotunnusten laskentaan

Tämän tutkimuksen aineistoina käytettiin avoimen metsävaratiedon puustotietoja, joita verrattiin itse keräämiini puustotietoihin. Alajärven kunnan metsävaratiedot ladattiin metsäkeskuksen paikkatietoaineistot-sivulta ja lisättiin QGIS-ohjelmaan. Metsänomistajan metsäkiinteistöt ja niiden kuviot lisättiin kiinteistötunnuksia käyttämällä. Työn helpottamiseksi QGIS-ohjelmaan ladattiin myös maastokartta sekä ilmakuvat. Vertailuaineistoksi tehty puustotietojen kerääminen tapahtui kuviokohtaisesti koealoja mittaamalla kuvion puuston pohjapinta-ala (PPA) ja läpimitat puulajikohtaisesti. Pääpuulajista mitattiin lisäksi hypsometrillä keskipituus. Koealojen määrään vaikutti kuvion pinta-ala sekä tilajärjestys. Esimerkkinä yhden hehtaarin kuviolta otettiin neljä koealaa, kahden kuusi koealaa jne. Mikäli kuviolla oli merkittävää aukkoisuutta, otettiin siltä ainakin yksi ylimääräinen koeala.

Aineistoja kerättiin yhteensä 52 kuviolta. Neljä kuviota hylättiin metsävaratiedon kuvioinnin ollessa selvästi virheellinen, jotteivat mitatut puustotunnukset vaikuttaisi virheellisesti lopputuloksiin. Lopulliseen aineistoon päätyi siis 48 kuviota, joista 02 kehitysluokan kuvioita 12 kpl, 03 kehitysluokasta 26 kuviota ja 04 kehitysluokasta 10 kuviota.

4.2 Tutkimusmenetelmät

Työssä käytetty tutkimusmenetelmä oli kvantitatiivinen, eli määrällinen tutkimus. Kuvioittaisia puustotunnuksia käytettiin otannan perusjoukkona. Puustotunnuksina olivat pohjapinta-ala, keskiläpimitta, keskipituus sekä pääpuulajin tilavuus/ha. Tilavuus huomioitiin vain pääpuulajista, etteivät puulajisuhteiden epätarkkuudet vääristäisi lopputuloksia. Aineistot kerättiin syksyllä 2024 ja niiden kaukokartoitusvuosi oli 2021. Kaukokartoitustiedot ajantasaistettiin ForestKIT-metsätietojärjestelmässä, jotta aineistot olisivat keskenään vertailukelpoisia.

4.3 Aineistojen vertailu puustotunnusten osalta

Aineiston luotettavuutta tarkasteltiin tässä tutkimuksessa käytännönläheisestä näkökulmasta, eli ovatko metsävaratiedon puustotunnukset tarpeeksi tarkkoja, että metsänomistaja voi tehdä niiden pohjalta päätöksiä esim. puun myynnistä tai missä määrin metsäasiantuntija voi käyttää metsävaratietoja työnsä tukena.

Kokonaistilavuuden tarkkuusvaatimuksena kasvatus ja uudistuskypsissä metsissä on laserinventoinnissa päästä 20 prosentin sisälle oikeasta tilavuudesta kahdeksalla kuviolla kymmenestä. Kokonaispuuston muille tunnuksille on määritetty omat laatuksiteerit. Pohjapinta alan tulee olla 3 m²/ha, keskiläpimitan 3 cm ja keskipituuden +/- 2 m oikeasta kahdeksalla kuviolla kymmenestä. (Metsäkeskus n.d.b.)

Aineistoja vertailtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmalla ja niiden luotettavuutta mitattiin RMSE%- menetelmällä, eli suhteellisella keskivirheellä sekä systemaattisella virheellä, eli harhalla sekä hypoteesin testauksella. Näitä menetelmiä on käytetty vastaavissa tutkimuksissa aiemminkin (Suvanto ym. 2005).

4.3.1 Suhteellinen keskivirhe RMSE%

Puuston tilavuuksien ja keskiläpimittojen luotettavuutta arvioitiin laskemalla suhteelliset keskivirheet RMSE%-menetelmällä. Suhteellinen keskivirhe saadaan laskemalla omien mittausten perusteella saatujen tilavuuksien tai keskiläpimittojen ja metsävaratiedon tilavuuksien tai keskiläpimittojen erotusten summien neliöt yhteen ja jaetaan tulos otoskoolla. Saatua tulos jaetaan omien tilavuus- tai keskiläpimitta-arvojen keskiarvolla.

$$RMSE\% = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}}}{\bar{y}} * 100\%$$

Jossa y_i = oma tilavuus- tai keskiläpimitta-arvio

\hat{y}_i = metsävaratiedon arvio

\bar{y} = omien tilavuus- ja keskilämpömitta-arvioiden keskiarvo

n = otoskoko, eli kuvioiden lukumäärä

(Utterä ym. 2006, 513)

4.3.2 Systemaattinen virhe

Tilavuuksien ja keskilämpömittojen luotettavuutta arvioitiin myös systemaattisella virheellä, eli harhalla. Se saadaan jakamalla omien ja metsävaratietojen tilavuuksien ja keskilämpömittojen erotusten summa otoskoolle eli kuvioiden lukumäärällä. Systemaattisessa virheessä siis lasketaan, kuinka suuri ero kahden arviointitavan keskiarvoilla on.

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$$

Jossa y_i = oma tilavuusarvio

\hat{y}_i = metsävaratiedon tilavuusarvio

n = otoskoko eli kuvioiden lukumäärä

(Utterä ym. 2006, 513.)

4.3.3 Hypoteesin testaus

Hypoteesin testaus on tilastollinen menetelmä, jolla arvioidaan, tukeeko data tiettyä oletusta vertailemalla nollahypoteesia (H_0) vaihtoehtohypoteesiin (H_1). P-arvo osoittaa, kuinka todennäköistä on saada havaittu tulos nollahypoteesin ollessa totta ja $p < 0,05$ viittaa tilastollisesti merkittävään eroon. Tilastollinen testausprosessi sisältää neljä vaihetta:

1. Nollahypoteesin ja vaihtoehtoisen hypoteesin sekä riskitason α valitseminen
2. Poimitaan perusjoukosta otos tai otoksia
3. Tilastollisen testin tekeminen
4. Tuloksien tulkitseminen

(Nummenmaa 2011)

Tämän tutkimuksen oletuksena oli, että pääpuulajien tilavuuksien ja keskilämpötilojen keskiarvoissa ei ole eroa, eli harha on nolla. Nollahypoteesi oli, että keskiarvoissa ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ja vastahypoteesi, että keskiarvoissa oli tilastollisesti merkitsevä ero. Tutkimuksessa tehtiin kahden otoksen parittainen t-testi keskiarvoille Excel-taulukkolaskentaohjelmalla harhan tilastollisen merkitsevyyden selvittämiseksi. Käytetty riskitaso oli $\alpha=0,05$.

4.4 Metsänlannoitusten kannattavuus

Opinnäytetyön tilaaja halusi selvittää, kuinka paljon lisätuottoa lannoituksilla voidaan saada. Metsänlannoitus on investointi, joka lisää puuston kasvua ja siten metsänomistajan taloudellista tuottoa. Lannoituksen kannattavuuden arviointi edellyttää sen tuoman lisätuoton laskemista ja vertaamista vaihtoehtoisiin sijoitusmahdollisuuksiin. Metsätalouden investointien taloudellinen arviointi perustuu rahan aika-arvon käsitteeseen, koska investoinnin kustannukset ja tuotot jakautuvat eri ajankohtiin. Lannoitus on tyypillinen pitkäaikainen investointi, jossa kustannukset realisoituvat heti, mutta lisätulot saadaan vasta vuosien päästä. Tämän vuoksi investoinnin kannattavuutta arvioidaan diskonttaamalla tulevat kassavirrat nykyhetkeen. (Kuuluvainen ym. 2009)

Keskeinen laskentamenetelmä lannoituksen kannattavuuden arvioinnissa on sisäinen korkokanta, eli IRR. Sen kaava on:

- **Sisäinen korkokanta (IRR):** IRR on korkokanta, joka tekee nettonykyarvon (NPV) nolaksi. Se kuvaa investoinnin vuotuista tuotto prosenttia, jota voidaan verrata muiden sijoitusten tuottoihin.

Vertailukorkokantoina käytetään tässä 3 % ja 5 %, koska ne edustavat tyypillisiä metsätalouden diskonttokorkoja tai vaihtoehtoisten sijoitusten tuotto-odotuksia.

Sisäinen korkokanta (IRR) lasketaan kaavalla:

$$p = n \sqrt{\frac{T}{N}} - 1$$

Missä:

p = korkoprosentti

n = aika vuosina

T = tulon odotus eli arvioitu tulo

N = investointimeno

(Neilimo ym. 2005)

4.4.1 Lannoituksen kannattavuusvertailun kohteiden valinta

Kasvatuslannoituskohteiksi valittiin kaksi tuoreen kankaan ja kaksi kuivahkon kankaan metsikkökuviota. Valintakriteerinä oli kuvioiden yhteenlaskettu pinta-ala, jonka tuli ylittää joko 5 tai 10 hehtaaria. Lentolevitys on kannattavaa, kun yhdeltä varastopaikalta voidaan lannoittaa 10 hehtaaria ja maalevitys on kannattavaa, kun lannoitettava ala on noin 5 hehtaaria yhdeltä varastopaikalta (Yara n.d.). Muita kriteerejä oli kuvioiden sijainti kivennäismaalla ja havupuuvaltaisuus (Yara, n.d.). Lisäksi kuvioiden kehitysluokkien tuli olla joko 03 tai 04.

Kasvatuslannoituksille sopivat kohteet löytyivät Rankilanahonkangas nimiseltä kiinteistöltä, jossa oli kriteerien mukaiset kuviot vierekkäin, pinta-alaltaan yhteensä 6,62 ha. Kuvioille katsottiin puuston kokonaistilavuudet ForestKIT-metsätietojärjestelmästä ja laskettiin puuston kasvunlisäys kahdeksan vuoden ajanjaksolta ilman lannoitusta ja lannoituksen kanssa. Kasvatuslannoitus maksaa tyypillisesti 370–450 €/ha, tässä laskelmassa hintana käytettiin 420 euron hehtaarihintaa (Havulatva n.d.). Lannoituksen vaikutus tukkipuun määrän kasvuun otettiin myös huomioon, parhaimmillaan se voi kasvaa jopa 5 % (Havulatva n.d.). Tässä tutkimuksessa tukkipuuprosentin kasvuksi lannoituskuvioilla käytettiin 4 %:n arvoa tuoreen kankaan kuvioille ja 3 %:n arvoa kuivahkon kankaan kuvioille. Lannoituksen tuoman tilavuuden lisäkasvun arvona käytettiin 2,5 m³/ha/v tuoreen kankaan kuvioille ja 1,8 m³/ha/v arvoa kuivahkon kankaan kuvioille (Yara n.d.). Kuvioille laskettiin puunmyyntitulot tämänhetkisillä Etelä-Pohjanmaan tukki- ja kuitupuun hinnoilla, jotka olivat 85 €/m³ tukille ja 34 €/m³ kuidulle. Myyntituloja verrattiin päätehakkuutulojen osalta ilman lannoitusta ja lannoituksen kanssa.

Terveyslannoituskohteeksi valittiin Turistikytö nimisen kiinteistön kolme turve-
maan kuviota, joiden yhteenlaskettu kokonaispinta-ala on 4,66 ha. Kuvioiden

puuston keskimääräinen läpimitta oli 21,6 cm, keski-ikä 86 vuotta ja arvokasvu-% keskimäärin 1,7. Kuvioille laskettiin keskimääräinen tilavuus hehtaaria kohden ForestKIT-metsäjärjestelmästä ja vuotuinen kasvu ilman lannoitusta sekä lannoituksen kanssa 20 vuoden ajanjaksolla, jonka jälkeen tehdään päätehakkuu. Lannoituksen tuomana vuotuisena kasvunlisänä käytettiin 2,5 m³/ha/v arvoa (Luonnonvarakeskus 2023, 69). Käytetyt puun hinnat olivat samat kuin kasvatuslannoituslaskelmissa. Lannoituskustannus hehtaaria kohden maksaa maalevityksenä 400–450 €/ha, tässä laskelmassa käytettiin 450 euron hintaa. Tuhkalannoituskohteille on saatavilla Metka-tukea Metsäkeskukselta ja se on 270 €/ha, joka on veronalaista tuloa (Metsäkeskus n.d.b.).

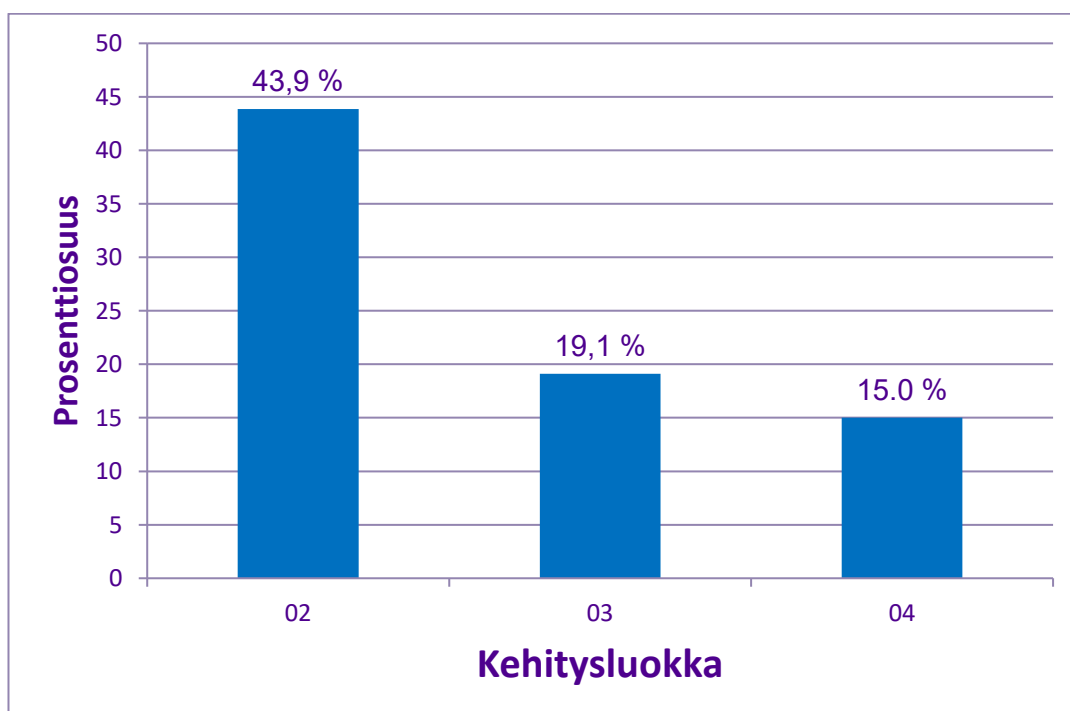
5 TULOKSET

5.1 Suhteelliset keskivirheet

Tulokset esitellään histogrammeilla vertailemalla eri kehitysluokkien pääpuulajien tilavuuksia ja läpimittoja keskenään suhteellisen keskivirheen (RMSE%) osalta.

5.1.1 Pääpuulajien tilavuudet

Suhteellisia keskivirheitä tarkastellessa metsävaratiedon tilavuustiedot ovat pääpuulajin suhteen tarkimpia uudistuskypsissä metsiköissä, eli kehitysluokassa 04 (15,0 %). Varttuneissa kasvatusmetsissä, eli kehitysluokassa 03, keskivirhe on 19,1 %. Ylivoimaisesti epätarkin pääpuulajin tilavuus on nuorissa kasvatusmetsissä, eli kehitysluokassa 02 (43,9 %). (Kuvio 1)

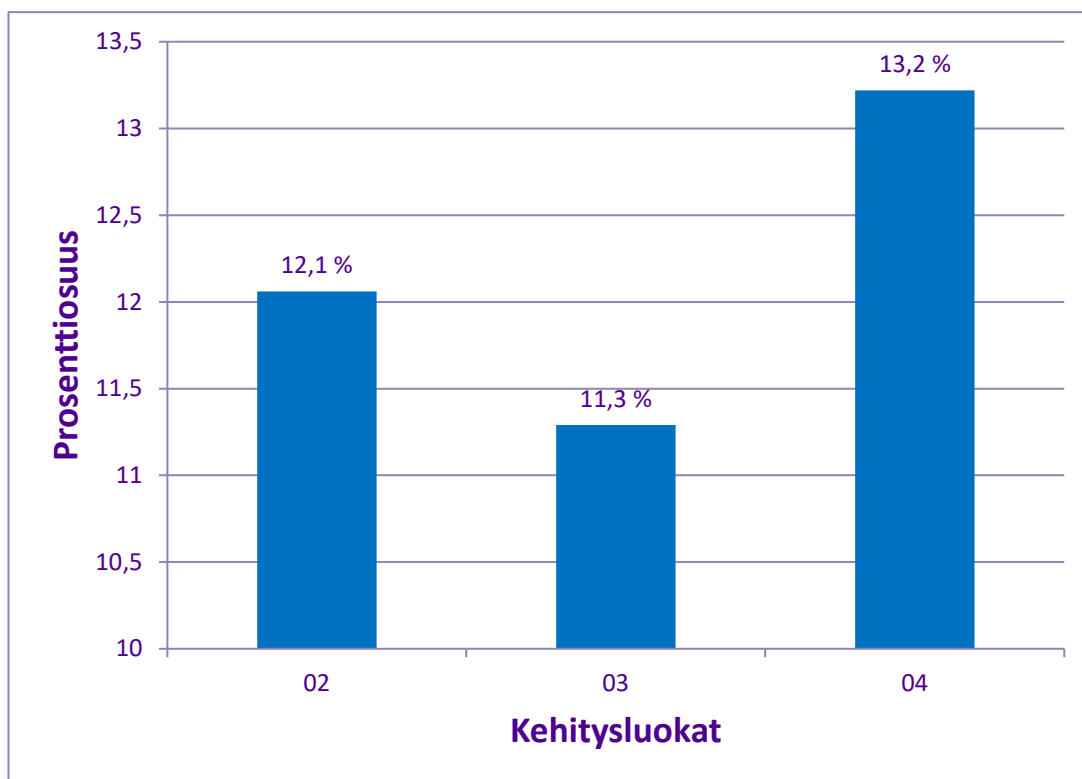


Kuvio 1 Pääpuulajin tilavuuksien suhteelliset keskivirheet kehitysluokittain.

5.1.2 Pääpuulajin keskiläpimitta

Pääpuulajin keskiläpimitan luotettavuuden suhteen huomataan eroavaisuuksia tilavuuksiin verrattuna. Pienin suhteellinen keskivirhe havaittiin kehitysluokassa 03

(11,3 %). Kehitysluokan 02 keskiläpimitan tarkkuus oli 12,1 % ja kehitysluokan 04 13,2 %. Erot olivat kuitenkin hyvin pieniä, vain 1,9 prosenttiyksikköä tarkimman ja epätarkimman kehitysluokan välillä. (Kuvio 2)



Kuvio 2 Pääpuulajin keskiläpimitan suhteelliset keskivirheet kehitysluokittain.

5.2 Systemaattiset virheet

Systemaattiset virheet, eli harhat, esitetään taulukoilla, joissa harhat esitetään kehitysluokittain pääpuulajien tilavuuksien ja keskiläpimittojen osalta. Harhoja tarkastellessa huomataan, että metsävaratiedon arviot pääpuulajin tilavuuden osalta ovat aliarvioita kehitysluokassa 02 ja yliarvioita kehitysluokissa 03 ja 04. Kehitysluokan 04 harha oli tilastollisesti merkitsevä. (Taulukko 1)

Taulukko 1 Eri kehitysluokkien pääpuulajien tilavuuksien harhat

Kehitysluokka	Tilavuserot (m ³ /ha)	p-arvo
02	13,2	0,12
03	-2,7	0,54
04	-13,2	0,02*

*= Harha tilastollisesti merkitsevä, jos $p < \alpha = 0,05$

Pääpuulajin keskiläpimittojen systemaattisia virheitä tarkastellessa huomataan, että pienimmät erot olivat kehitysluokassa 04 (0,2 cm). Suurin ero keskiläpimitoissa havaittiin kehitysluokassa 02 (0,8 cm). Kehitysluokan 03 harha oli -0,4 cm. Negatiivinen arvo tarkoittaa, että metsävaratiedon arvio keskiläpimitasta oli yliarvio ja positiivinen, että keskiläpimita oli aliarvio. Keskiläpimitan harhojen suhteen ei löytynyt tilastollista merkitsevyyttä (p -arvo $<0,05$). (Taulukko 2)

Taulukko 2 Eri kehitysluokkien pääpuulajien keskiläpimittojen harhat

Kehitysluokka	Läpimitan ero (cm)	p-arvo
02	0,8	0,06
03	-0,4	0,45
04	0,2	0,08

5.3 Lannoitusten sisäinen korkokanta

Lannoitusten sisäiset korkokannat esitetään taulukoilla, joissa kannattavuuslaskelmat ovat kasvatuslannoitusten osalta jaettu kuvioittain ja kehitysluokittain. Terveyslannoitusten osalta kuviot on yhdistetty yhdeksi kokonaisuudeksi kasvupaikan ja puustotunnusten samankaltaisuuden vuoksi. Terveyslannoituksissa kustannus esitetään myös nettokustannuksena, jossa lannoituksen kustannuksesta on vähennetty Metka-tuki.

Kasvatuslannoitusten kannattavuuden tuloksia tarkasteltaessa huomataan, että se on erittäin kannattava investointi kaikilla kuviolla. Sisäinen korkokanta on huonoimmassakin tapauksessa 12,5 % (kuvio 2) ja parhaimmassa tapauksessa jopa 19,0 %, kuviolla 3. (Taulukko 3)

Taulukko 3 Kasvatuslannoitusten kannattavuus kuvioittain

KL	Kuvio	Kustannus €	Lisätulo €	IRR %
04	2	-1071	2760	12,5
03	3	-462	1857	19,0
04	4	-706	3370	14,7
03	5	-542	3318	18,9

Terveyslannoituksen kannattavuuden tulos on hyvin samankaltainen kasvatyslannoitukseen verrattuna, sisäisen korkokannan ollessa 15,2 %. Kannattavuutta parantaa Metka-tuki. (Taulukko 4).

Taulukko 4 Terveyslannoituksen kannattavuus

Kustannus €	Nettokustannus €	Lisätulo €	IRR %
2097,0	-838,8	14 338,8	15,2

6 POHDINTA

6.1 Metsävaratietojen luotettavuus

Tulosten perusteella metsävaratietojen luotettavuus voi vaihdella paljonkin eri kehitysluokkien välillä etenkin puuston tilavuuden osalta. Kehitysluokassa 04 metsävaratiedon tilavuusarviot olivat pääpuulajin osalta suhteellisesti tarkimpia ($RMSE\% = 15,0\%$), mutta niissä havaittiin yliarvioon johtava systemaattinen virhe ($-13,2\text{m}^3/\text{ha}$). Kehitysluokan 03 tilavuusarviot olivat suhteellisen keskivirheen osalta kohtuullisen tarkkoja ja systemaattinen virhe joukon pienin. Näiden kehitysluokkien osalta metsävaratiedon tilavuustietoja voidaan pitää ainakin jossain määrin käyttökelpoisena metsäsuunnittelussa. Kehitysluokassa 02 tilavuusarviot olivat selvästi epäluotettavia ($RMSE\% = 43,9\%$), eikä niitä voida suositella käytettäväksi ilman maastomittauksia. Metsäkeskuksen tarkkuusvaatimukseen enintään 20 %:n eroon tilavuudessa päästiin kehitysluokissa 03 ja 04. Tuloksien luotettavuuteen kehitysluokkien 02 ($n = 12$) ja 04 ($n = 10$) kohdalla saattaa mahdollisesti vaikuttaa myös niiden pienet otoskoot.

Keskiläpimitan osalta metsävaratiedot osoittautuivat tutkimuksen perusteella tilavuuteen verrattuna selvästi luotettavammaksi puustotunnukseksi. Suhteelliset keskivirheet pysyivät kaikissa kehitysluokissa maltillisina, vaihdellen vain hieman eri kehitysluokkien välillä ($11,3\text{--}13,2\%$). Myös systemaattiset virheet jäivät pieniksi ja alittivat reilusti Metsäkeskuksen laatuksiteerin keskiläpimitan kohdalla (3 cm). Keskiläpimittojen kohdalla ei havaittu merkitseviä tilastollisia eroja harhojen osalta.

6.2 Metsänlannoitusten kannattavuus

Tulokset osoittavat, että kasvatuslannoitus on erittäin kannattava investointi kaikissa tarkastelluissa tapauksissa. Sisäisen korkokannan (IRR) arvot vaihtelivat $12,5\%$:sta $19,0\%$:iin, ylittäen selvästi 3% ja 5% vertailukorkokannat, jotka ovat metsätaloudessa yleisesti käytettyjä korkoja. Kuvion 3 (KL 03) lannoitus osoittautui kaikkein kannattavimmaksi, sisäisen korkokannan ollessa $19,0\%$. Kuvion 1

lannoitus oli vähiten kannattava, mutta senkin tulokset osoittavat huomattavaa tuottoa.

Kasvatuserlannoitus tarjoaa metsänomistajalle merkittävää taloudellista lisätuottoa, sillä sen kustannukset ovat alhaiset suhteessa odotettuun lisätuottoon. Kaikkien neljän kuvion lannoitukset osoittavat lannoituksen olevan kannattavampaa kuin vaihtoehtoiset sijoitukset 3 %:n ja 5 %:n tuotoilla. Kannattavuutta lisää mahdollisuus vähentää lannoituskulut kertapoistona verotuksessa (vero.fi 2025).

Myös terveyslannoituksen taloudellista kannattavuutta voidaan saatujen tulosten kannalta pitää erinomaisena. Metka-tuen ansiosta lannoituksen nettokustannukseksi jää 838,8 € ja sen tuoma lisätulo 14 338,8 € tuottaa korkean sisäisen korkokannan 15,2 %, joka ylittää selvästi vertailukorkokannat. Metka-tuki parantaa merkittävästi lannoituksen kannattavuutta vähentämällä metsänomistajan omarahoitusosuutta. Tuhkalannoitusten kannattavuutta arvioidessa täytyy ottaa huomioon, että kohteen vesitalous on kunnossa, jotta lannoituksen aikaansaama puuston kasvu saadaan hyödynnettyä täysimääräisesti (Lehto ym. 2023).

LÄHTEET

Havulatva. n.d. Metsänlannoitus – lisää puustosi kasvua ja metsän tuottavuutta. Verkkosivu. Viitattu 18.5.2025 <https://metsalannoitus.fi/>

Joala, V. 2006. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. Leica Nilomark Oy.

Kuuluvainen, J., & Valsta, L. (2009). Metsäekonomian perusteet. Gaudeamus.

Lehto T., Ilvesniemi H. 2023. Metsälannoitus nyt ja tulevaisuudessa – Synteesiraportti. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 56/2023: 68–70.

Luonnonvarakeskus. 2023. Metsänlannoitus nyt ja tulevaisuudessa. Pdf-dokumentti. Viitattu 30.5.2025. https://jukuri.luke.fi/bitstream/handle/10024/553413/luke-luobio_56_2023.pdf

Maa- ja metsätalousministeriö. n.d. Metsätieto ja sähköiset palvelut. Verkkosivu. Viitattu 4.3.2025. <https://mmm.fi/metsatieto-ja-sahkoiset-palvelut>

Maanmittauslaitos. 2024. Laserkeilaus ja ilmakuvausohjelma tuottaa yhteiskunnalle miljoonien säästöt. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/ajankohtaista/laserkeilaus-ja-ilmakuvausohjelma-tuottaa-yhteiskunnalle-miljoonien-saastot-nyt>

Maanmittauslaitos. n.d.b. Laserkeilaus ja ilmakuvauus. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2025. <https://www.maanmittauslaitos.fi/laserkeilaus-ja-ilmakuvaus>

Metsäkeskus. n.d.a. Metsävaratieto - Tiedonkeruu. Verkkosivu. Viitattu 11.3.2025. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietojen-yl-lapito/tiedonkeruu>

Metsäkeskus. n.d.b. Metsävaratieto – Tiedon laatu. Verkkosivu. Viitattu 20.5.2025. <https://www.metsakeskus.fi/fi/avoin-metsa-ja-luontotieto/tietojen-yl-lapito/tiedon-laatu>

Metsäkeskus. n.d.c. Terveyslannoituksen tuki. Verkkosivu. Viitattu 19.5.2025. <https://www.metsakeskus.fi/fi/palvelut/terveyslannoituksen-tuki>

Metsälehti. 2023. Mitä kerätään ja miksi? 15 kysymystä metsävaratiedosta. Verkkosivu. Viitattu 3.3.2025. <https://www.metsalehti.fi/artikkelit/metsanhoito-15-kysymysta-metsavaratiedosta/>

Metsänhoidon suositukset. n.d.a. Lannoitus kivennäismaalla. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2025. <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/lannoitus-kivennaismaalla/paatoksenteko>

Metsänhoidon suositukset. n.d.b. Lannoitus turvemaalla. Verkkosivu. Viitattu 27.3.2025. <https://metsanhoidonsuosituksset.fi/fi/toimenpiteet/lannoitus-turvemaalla>

Neilimo, K., & Uusi-Rauva, E. (2005). Johdon laskentatoimi (6. uud. p.). Edita.

Nummenmaa, L. 2023. Käyttäytymistieteiden tilastolliset menetelmät ([Uudistettu laitos]). Tammi.

Suvanto, A., Maltamo, M., Packalén, P. & Kangas, J. 2005. Kuviokohtaisten puustotunnusten ennustaminen laserkeilauksella. Metsätieteen aikakauskirja 4/2005: 413–428.

Utterä, J., Anttila, P., Suvanto, A. & Maltamo, M. 2006. Yksityismetsien metsävaratiedon keruuseen soveltuvilla kaukokartoitusmenetelmillä estimoitujen puustotunnusten luotettavuus. Metsätieteen aikakauskirja 4/2006: 507–519.

Vero.fi. 2024. Metsätalouden matkakulut ja muut menot. Verkkosivu. Viitattu 19.5.2025. <https://www.vero.fi/henkiloasiakkaat/omaisuus/metsa/menot/>

Yara.fi. 2025. Metsänlannoitus. Verkkosivu. Viitattu 19.5.2025. <https://www.yara.fi/lannoitus/metsa/kaytannon-neuvoja/>