

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutus

Metsänlannoituksen tasaisuuden sekä uuden mittavälineen soveltu-
vuuden arviointi
Atro Tenhunen

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2022



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2022
Metsätalouden Koulutus

Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
+358 13 260 600 (vaihde)

Tekijä(t)
Atro Tenhunen

Nimeke
Metsänlannoituksen tasaisuuden sekä uuden mittavälineen soveltuvuuden arviointi
Toimeksiantaja
Metsä Group

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä on mitattiin metsänlannoituksen tasaisuutta kahdella erilaisella mittavälineellä. Mittauksilla haluttiin selvittää lannoitetasaisuutta ja uuden mittavälineen soveltuvuutta mittauksiin. Työn tilaajana oli Metsä Group.

Mittaukset tehtiin Metsä Groupin metsänlannoitustyömailla. Lannoituskohteilla mitattiin kahdella erilaisella mittavälineellä lannoitetasaisuutta samoilla koealoilla. Saadut mitaustulokset kerättiin talteen, ja niitä vertailtiin.

Mittausten perusteella mittavälineiden välillä ei ollut merkitsevää eroa. Toisaalta lannoitetasaisuudessa oli paljon eroja koealojen välillä.

Molemmat mittavälineet soveltuvat metsänlannoituksen mittauksiin. Boorin levityksessä havaittiin olevan eniten epätasaisuutta. Epätasaisuuden pääteltiin johtuvan alhaisemmista lannoitemääristä muihin lannoitevalmisteisiin verrattuna.

Kieli
Suomi

Sivuja 27

Asiasanat

Metsänlannoitus, Ravinne , Laaduntarkkailu



THESIS
April 2022
Degree Programme in Forestry

Tikkarinne 9
80220 JOENSUU
FINLAND
+350 13 260 600

Author (s)
Atro Tenhunen

Title
Evaluation of Evenness of Forest Fertilization and Suitability of New Measuring Instrument
Commissioned by
Metsä Group

Abstract

In this thesis, the evenness of forest fertilization has been measured with two different measuring instruments. The purpose of the measurements was to determine the evenness of the fertilizer and the suitability of the new measuring instrument for the measurements. The work was commissioned by Metsä Group.

The measurements were made at Metsä Group's forest fertilization sites. Fertility evenness was measured at the fertilization sites with two different measuring instruments in the same test areas. The obtained background results were collected and compared.

Based on the measurements, there was no significant difference between the measuring instruments. On the other hand, there were many differences in fertilizer uniformity between the plots.

Both measuring instruments are suitable for forest fertilization measurements. Boron application was found to have the most unevenness. The unevenness was concluded to be due to lower fertilizer volumes compared to other fertilizer preparations.

Language

Finnish

Pages 27

Keywords

Forest fertilization, Nutrient, Quality control

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Metsän ravinnetalous.....	6
2.1	Ravinteet.....	6
2.2	Ravinnekierto.....	7
3	Metsämaan ominaisuudet.....	8
3.1	Lannoitus	8
3.2	Lannoitus kivennäis- ja turvemaidella	9
4	Lannoituksen operatiivinen puoli.....	11
4.1	Lannoitustarpeen toteaminen	11
4.2	Lannoittaminen	11
5	Menetelmät	13
5.1	Työn tavoitteet	13
5.2	Työn toteutus	14
5.3	Tilastolliset menetelmät	16
6	Tulokset	17
7	Pohdinta.....	25
7.1	Tulosten tarkastelu	25
7.2	Luotettavuus	26
	Lähteet.....	27

Kuvat

Kuva 1. Iso mittaväline edessä ja pieni takana (Kuva: Tiina Laine)

Kuva 2 Koealojen sijoittelu

Kuviot

Kuvio 1 Mitatut koealat lannoitteittain

Kuvio 2 Hyväksytyt koealat mittavälineittäin

Kuvio 3 Hyväksytyt koealat lannoitteittain isolla mittavälineellä.

Kuvio 4 Hyväksytyt koealat lannoitteittain pienellä mittavälineellä.

Kuvio 5 Hyväksytyt kohteet.

Kuvio 6 Hyväksytyt kohteet lannoitteittain.

Kuvio 7 Keskiarvo toteutuneen lannoituksen määrästä suhteutettuna
tavoitemäärään mittavälineittäin.

Kuvio 8 Laatikkojanakaavio toteutuneista lannoitemääristä suhteessa
tavoitemääriin.

Kuvio 9 Histogrammi aineiston jakautuneisuudesta isolla mittavälineellä

Kuvio 10 Histogrammi aineiston jakautuneisuudesta pienellä mittavälineellä

1 Johdanto

Ravinteet ovat vesitalouden ja lämpösumman kanssa eniten puunkasvuun vaikuttava tekijä. Metsämaan ravinnemääriin ja tasapainoon voidaan vaikuttaa metsien lannoituksella. Lannoituksen vaikutuksesta puu kasvaa paremmin, ja terveempänä. Vuonna 2020 Suomessa tehtiin metsienlannoitusta yhteensä 76 501 hehtaarille. Näistä puuston kasvuun tähtääviä kasvatuslannoituksia oli 54 068 hehtaaria ja puuston parempaan terveyteen tähtääviä terveyslannoituksia 22 433 hehtaaria (Luke 2022).

Metsänlannoituksessa lannoite pyritään levittämään tasaisesti koko lannoitettavalle alueelle, optimaalisten ravinnemäärien saavuttamiseksi. Lannoitevalmistesulaa hyvin nopeasti maastossa joutuessaan tekemisiin kosteuden kanssa eikä sitä ole mahdollista enää myöhemmin mitata. Tästä syystä lannoitetasaisuuden mittaaminen on tehtävä lannoituksen yhteydessä. Mittauksen tuloksia voidaan käyttää työn laadun arviointiin ja laadun kehittämiseen.

Tässä opinnäytetyössä on mitattu lannoitetasaisuutta, ja vertailtu kahden eri mittavälineen tuloksia samoilla koealoilla. Mittaukset on tehty työharjoittelujakson aikana työsuhteessa Metsä Groupille. Mittaus ja tulosten talteenotto on tehty yhteistyössä Metsä Groupin Metsänhoidon asiantuntijan Tiina Laineen kanssa. Työssä on keskitytty saamaan luotettavia mittaustuloksia lannoitetasaisuudesta, ja vertailemaan tuloksia mittavälineiden välillä. Tutkimuksessa haluttiin selvittää toteutuneen lannoituksen tasaisuutta, ja uuden mittavälineen soveltuvuutta mittauksiin. Mittaukset suoritettiin viemällä mittavälineet samalle koealalle ennen lannoitusta. Lannoituksen jälkeen lannoitteet kerättiin talteen, ja tulokset kirjattiin ylös.

2 Metsän ravinnetalous

2.1 Ravinteet

Typpi

Typpi vaikuttaa ravinteista eniten kasvun määrään. Puutosoireena havaitaan eri kasvinosien heikentyntä kasvua. Oireet puulajien välillä ovat hyvin samankaltaisia. Helpoiten havaitaan neulaisten kellertävyytenä, ja lyhytkasvuisuutena. (Reinikainen, 1998)

Fosfori

Fosfori on tärkeä puiden energian varastointi ja siirtojärjestelmälle. Normaalin kasvun lisäksi, se on tärkeä myös siementen itämisessä ja kypsymisessä. Fosforin puute havaitaan huonona kasvuna. Neulasmassaa on vähän, ja puuston laatu heikkoa. (Reinikainen, 1998)

Kalium

Kalium on tärkein puun vesitaloutta ja aineiden kuljetusta säätelevä ravinne. Kaliumin uskotaan lisäävän puuston vastustuskykyä erilaisia tuhoja vastaan. Kaliumin puutos näkyy puuston kasvussa vasta ravinnepuutoksen ollessa ankara. Puutos havaitaan helpoiten neulasten kellertävyytenä. (Reinikainen, 1998)

Kalsium

Puuston kasvussa kalsium edistää juurten kasvua, itämistä sekä soluseinien välilevyjen ja solukalvojen muodostumista. Vähäinen kalsiumin määrä aiheuttaa solujen huonoa pituuskasvua, kärkisilmujen kuolemista, juurten heikkokasvuisuutta ja monilatvaisuutta. (Reinikainen, 1998)

Magnesium

Puu kykenee tasapainottamaan magnesiumpitoisuuksia siirtämällä magnesiumia vanhemmista lehdistä uudempiin. Magnesiumia tarvitaan klorofyllin muodostamiseen. Puutosoireena on neulasten kellastumista. (Reinikainen, 1998)

Rikki

Kasvin rikki käytetään pääasiassa proteiineihin ja sulfolipidien osana kalvora-kenteisiin. Suomen metsissä ei uskota esiintyvän rikinpuutosta. (Reinikainen, 1998)

Boori

Boorin tehtävä puussa on ylläpitää ligniinisynteesiä ja solujen normaalia toimintaa. Boorin puutoksen ja myrkytystilan väli on joillakin kasveilla kapea, mutta metsäpuilla yliannostuksen aiheuttamat häiriöt ovat vähäisiä. Boorin puutostila havaitaan helpoiten heikosta pituuskasvusta ja monilatvaisuudesta. (Reinikainen, 1998)

2.2 Ravinnekierto

Suurin osa metsän kiertävistä ravinteista on peräisin maaperästä. Ravinteita maaperään kertyy sateesta ja ilmasta. Kaikki maaperän ravinteet eivät ole kasvillisuuden käytettävissä. Maaperän ravinnetasoissa on suuria eroja erilaisten metsätyyppien välillä. Metsätyyppi vaikuttaa kasvupaikalle syntyvään kasvustoon, ja kasvuston ravinnesuhteisiin (Lehtonen, 1976). Ravinteikkaalla kasvupaikalla pintakasvusto on runsas, niukkaravinteisella taas lähinnä varvustoa. Ravinteet sitoutuvat kasvustoon. Pintakasvillisuuden merkitys ravinnekiertoon on tärkeä, vaikkakin ravinnemäärät puustoon verrattuna ovat pieniä. Noin kolmannes sammalien, varpujen ja juurien biomassasta uusiutuu vuosittain. Ravin-

teiden otto pintakasvillisuudessa on suurimmillaan alle 20-vuotiaissa metsissä (Palviainen, 2007).

Pintakasvillisuuden varastoimat ravinteet voivat aiheuttaa ravinnevajausta. Ravinnevajausta voi rajoittaa orgaanisen aineksen kasvua. Mitä enemmän kasveilla on biomassaa, sitä enemmän niihin on varastoitunut ravinteita. Ravinteet palaavat kiertoon lehtien ja neulasten varistessa maahan. (Lehtonen, 1976)

Kasvupaikan ravinteisuuden määrää maaperän ravinnepitoisuudet, karikkeiden ja humusten määrä ja niiden hajoamisnopeus. Hajoamisnopeus yleensä heikenee metsän kasvun myötä, ja ravinnevajausta on yleisempää vanhemmissa metsissä. (Lehtonen, 1976)

Metsän orgaaninen aines tuotetaan puustossa, sekä pensas- ja kenttäkerroksessa. Puuston ravinnetarpeeseen vaikuttaa puulaji, kehitysluokka, kasvupaikka sekä kasvukauden ajankohta. (Lehtonen, 1976)

Puustossa olevien ravinteiden määrä kasvaa puuston kasvaessa. Ravinteiden tarve on suurin silloin kuin puun kasvu on suurimmillaan. Kuusella ja männyllä 20-40 vuoden iässä. Ravinnepitoisuuksissa puuston eri osien välillä on vaihtelua. Juurissa, oksissa ja rungossa on eniten kalsiumia. Typpi ja kalium ovat lehdistä ja neulasissa. (Lehtonen, 1976)

3 Metsämaan ominaisuudet

3.1 Lannoitus

Metsän kasvuun vaikuttaa vesitalous, lämpösumma sekä metsän ravinnetasot. Lämpösummaan ei juurikaan voida vaikuttaa. Vesitalouteen voidaan vaikuttaa ojitettamalla, ja ravinnetasoihin lannoittamalla. Lannoituksen tarkoituksena on parantaa puuston kasvua ja terveyttä kasvattamalla tilapäisesti maaperän ravinnetasoa. Parantunut kasvu ja terveys tarkoittavat myös parempaa tuottoa metsälle. (Äijälä, 2019) Lannoittaminen on nopein keino lisätä puuston kasvua.

Kivennäismailla lannoituksella voidaan saavuttaa jopa kolmanneksen kasvunlisäys kymmeksi vuodeksi (luke 2020).

Lannoituksen taloudelliseen tulokseen vaikuttavat monet seikat. Parhaat tulokset saadaan lannoittamalla Etelä- ja Keski-Suomessa sijaitsevia metsiköitä jotka ovat jo ennestään hyvässä kasvussa. Lannoituksen ansiosta nuorissa kasvatusemetsissä kuitupuu järeytyy nopeammin tukkimittoihin. Vanhemmissa metsissä kasvun lisäys on lähes pelkästään arvokasta tukkipuuta. Tehostunut kasvu ja aikaisempi järeytyminen vaikuttaa metsän taloudelliseen tuotokseen. Metsän lannoitus on yksi kannattavimmista metsänhoitotoimenoiteistä.

Terveyslannoituksella tarkoitetaan ravinne-epätasapainon korjaamista lisäämällä Booria tai tuhkaa. Terveyslannoitukseen on mahdollista saada Kemera tukea. (Äijälä, 2019) Kasvatusemetsällä tarkoitetaan lannoitusta, joka tähtää puuston kasvun lisäämiseen ja täten parantuneeseen tuottoon. (Äijälä, 2019)

3.2 Lannoitus kivennäis- ja turvemilla

Kivennäismailla

Lannoitukselle paras tulos saadaan varttuneessa- tai uudistuskypsässä metsikössä, jossa puulajina on havupuut, vesitalous on kunnossa ja lämpösumma ei rajoita kasvua. Metsätyypin olisi suositeltavaa olla kuivahko-, tuore-, tai lehtomainen kangas. Mikäli puuston kasvu ennen lannoitusta ylittää 12m³/ha vuodessa, ei lannoitusta kannata toteuttaa. (Äijälä, 2019)

Kivennäismailla kasvuun vaikuttaa eniten typen puutos, mutta paras kasvunlisäys saadaan käyttämällä useampaa ravinnettä. Tärkein ravinne typen ohessa on fosfori. Typpilannoituksen vaikutusaika on 6-8 vuotta. (Äijälä, 2019)

Myös boorin puutos on kivennäismailla yleistä, etenkin Itä-Suomessa. Puutos johtuu metsien käyttöhistoriasta kaski ja laidunmaina. Toistuvan typpilannoituksen on myös havaittu aiheuttavan puutosta. Ravinne epätasapainosta johtuvat kasvuhäiriöt on mahdollista poistaa boorilannoituksella. Vaikutusaika boorilla on tyypeä pidempi, ainakin 10 vuotta. (Äijälä, 2019)

Lannoituksella on mahdollista lisätä puuston kasvua 1,5-3m³/ha/a. Typpilannoituksen vaikutusajan ollessa 6-8 vuotta, voidaan lannoitus toistaa useasti kiertoajassa. (Äijälä, 2019)

Turvemailla

Ravinnepuutokset vaihtelevat suuresti turvemailla. Yleisimmät kasvua rajoittavat puutokset ovat fosfori, kalium ja boori. Tyypeä on usein enemmän kuin tarpeeksi, ja se aiheuttaa myös ravinne-epätasapainoa. Ravinne epätasapainot typen ja fosforin tai kaliumin välillä ovat yleisimpiä paksuturpeisilla mailla, joissa on paljon tyypeä. (Moilanen, 2015)

Arvion mukaan viidesosa Suomen turvemaista kärsii jonkinasteisesta fosforin tai kaliumin puutteesta. Osassa ravinnepuutokset ovat niin vakavia, että lannoitus on välttämätöntä puun kasvun jatkamiseksi kiertoajan loppuun saakka. Arviolta kolmasosa Suomen turvemaista on lannoitettu viimeisen 60 vuoden aikana. (Moilanen, 2015)

Lannoituksen vaikutukset vaihtelevat suotyypin, turpeenpaksuuden, ravinnetason ennen lannoitusta ja käytettyjen lannoitteiden määrästä. PK lannoitus metsiköissä joissa tyypeä on runsaasti paransi kasvua 1-3m³/a lämpösummasta riippuen 30-40 vuoden ajan. Lannoituksen vaikutukset männyn neulasissa ovat havaittavissa jopa 30 vuoden päästä. (Moilanen, 2015)

Puuntuhkan on havaittu olevan hyvä vaihtoehtoinen lannoite turvemaille fosfori, kalium, kalsium ja magnesium pitoisuuksiensa vuoksi. Hyvän kasvunlisäyksen ja pitkän vaikutusajan vuoksi sopivalla kasvupaikalla tuhka on taloudellisesti kannattavin vaihtoehto turvemaan lannoitukseen. (Moilanen, 2015)

4 Lannoituksen operatiivinen puoli

4.1 Lannoitustarpeen toteaminen

Ennen lannoitukseen ryhtymistä on syytä selvittää maaperän ravinnetasot. Maaperän ravinnetasoa on mahdollista arvioida silmämääräisesti, sekä mittamalla pitoisuudet neulasista. Silmämääräisessä arvioissa tarkastellaan puuston kuntoa, kasvupaikan viljavuutta sekä turvemaille turpeen paksuutta. (Äijälä, 2019)

Joissain tapauksissa silmämääräinen arviointi on haasteellista, joten on perusteltua käyttää neulasnäyteanalyysiä. Analyysiä varten kerätään havupuiden neulasia, jotka toimitetaan mitattavaksi mittaukseen tekeväälle taholle. (Äijälä, 2019)

4.2 Lannoittaminen

Lannoitusta suunniteltaessa on otettava huomioon lannoitevalmiste, lannoitustavat, varastopaikat ja suojavaikokkeet vesistöihin, ojiin ja luontokohteisiin. Erilaisille lannoituskohteille on tarjolla paljon eri lannoitteita(Taulukot 1 ja 2) Lannoitustavan valintaan on kolme vaihtoehtoa. Lento-, maa- ja käsinlevitys. Lentolevitys soveltuu pinta-alaltaan yli kymmenen hehtaarin lannoitusaloille. Koneella maasta tehtävän levityksen edellytyksenä on tuore ajouraverkosto, ja

kantava maasto. Pienialaiset lannoitukset on mahdollista levittää myös käsin. (Yara, 2021)

Kangasmetsät	Tavoiteltava ravinnelisyys kg/ha	Lannoitetyypit, suluissa typen, fosforin ja kaliumin sekä boorin %-osuudet (NPKB).	Käyttösuositus kg/ha
Lehtomaisen kankaan kuusikot	N 150* P 10–30 B 0,5–2	Metsän NP (25-2-0-0,3)	500–800
Tuoreen kankaan kuusikot	N 150* P 10–30 B 0,5–2	Metsän NP (25-2-0-0,3) Metsäsalpietari (27-0-1-0,15) Urea** (46-0-0)	500–800 500–800 270–430
Tuoreen tai kuivahkon kankaan männiköt	N 150*	Metsän NP (25-2-0-0,3) Metsäsalpietari (27-0-1-0,15) Urea** (46-0-0-0)	500–800 500–800 270–430
Boorinpuutteesta kärsivät puustot (neulasanalyysi suositeltavaa)	B 2,0–3,0***	Metsän NP (25-2-0-0,3) BT-300 boorilannoite (0-1-3-0,8) Bortrac 150 (N 65 g/l, B 150 g/l) Levitetään ruiskulla 15–20 litraa/ha veteen sekoitettuna	450–550 250–300

* Vaihteluväli 100–200 kg/ha. Käyttösuositusten ylärajaa lähempänä olevat lannoitemäärät sopivat Etelä-Suomeen ja lähempänä alarajaa olevat Pohjois-Suomeen.

**Urea levitetään kosteaan maastoon alkusyksystä ensilumen tulon asti.

*** Pelkkä boorin lisäys soveltuu parhaiten taimikoiden ravinnehäiriöihin. Boorilannoitteita on syytä käyttää tarkoin suositusten mukaisesti. Selvä yliannostus (jo runsas 10 kg B/ha) voi aiheuttaa vakavia puustovaurioita.

Taulukko 1. Kivennäismaiden lannoitevalmisteita. Taulukko (Vanhatalo 2019)

Turvemaametsät (turvekankaat ja muuttumat)	Tavoiteltava ravinnelisyys kg/ha	Lannoitetyypit, suluissa typen, fosforin ja kaliumin sekä boorin %-osuudet (NPKB).	Käyttösuositus kg/ha
Paksuturpeiset ja runsastyyppiset ruoho-, mustikka- ja puolukka-turvekankaat	P 40–50* K 80–120 B 1,5–2,0	T-4000 metsätuhka (0-1-3-0,02) BT-4000 metsätuhka (0-1-3-0,05) Puutuhka (sisällöstä ravinneanalyysi)	3 000–5 000 3 000–5 000 3 000–8 000
Niukatyyppiset puolukka- ja varputurvekankaat	N 100*** P 30–40* K 60–90 B 1,0–1,5	T-4000 metsätuhka (0-1-3-0,02) tarvittava typen lisäys urealla** BT-4000 metsätuhka (0-1-3-0,05) tarvittava typen lisäys urealla**	3 000–5 000 3 000–5 000
Metsitetyt turvemaapellot	P 30–40* K 60–90 B 1,5–2,5	BT-4000 metsätuhka (0-1-3-0,05)	3 000–5 000
Ohutturpeiset (< 30 cm) kohteet, jotka eivät tarvitse PK-lisäystä	N 100***	Metsäsalpietari (27-0-1-0,15) Urea (46-0-0) ** Metsän NP (25-2-0-0,3)	500–800 200–250 500–800

* Aiemmin peruslannoitetuissa kohteissa fosforilisäys ei aina ole tarpeen. Ravinnetila on suositeltavaa varmistaa ravinneanalyysillä.

**Urea levitetään kosteaan maastoon alkusyksystä ensilumen tulon asti.

*** Myös turvemaiden typpilannoituksen vaikutusaika jää lyhyehköksi, alle kymmeneen vuoteen.

Taulukko 2 Turvemaiden lannoitevalmisteita. Taulukko (Vanhatalo 2019)

Lannoitteiden vesistöihin huuhtoutumisen pyritään välttämään jättämällä suoja-kaistoja vesistöihin ja luontokohteisiin. Helikopteri levityksessä suojakaista on 50 metriä. Levitystyössä ojat otetaan huomioon, ja lannoitteen joutumista ojiin vältetään. Myöskään pohjavesialueella lannoitusta ei tehdä. (Yara, 2021)

5 Menetelmät

5.1 Työn tavoitteet

Työn tavoitteena oli selvittää metsänlannoituksen tasaisuutta. Tasaisuudesta ei ollut aiempaa mittausaineistoa Metsä Groupin toimesta. Urakoitsija oli tehnyt mittauksia, ja toimittanut toteutuneet levitysreitit karttaan tallennettuna. Mittaukset suoritettiin helikopterilevityksen yhteydessä. Ennen levitystyötä mittalaitteet sijoitettiin maastoon, ja levitystyön jälkeen tulokset kerättiin talteen.

Työssä haluttiin mitata lannoituksen levitystasaisuutta. Levitystasaisuus on lannoituksessa tärkeää, sillä lannoittamatta jääneet alueet eivät saa lannoitehyötyjä. Mittauksissa saaduilla tiedoilla voidaan mitata työn laatua, ja kehittää sitä. Jos levitystasaisuutta ei mitata, ei tulosta voida tietää.

Lannoite sulaa hyvin nopeasti päästessään tekemisiin kosteuden kanssa, ja tuloksia ei jälkikäteen voida tietää. Helikopterilla tehtävä lannoitus vaatii kuljettajalta tarkkuutta ja myös sääolosuhteet vaikuttavat mittauksiin.

Lisäksi haluttiin selvittää uuden, vanhaa suuremman mittavälineen soveltuvuutta mittauksiin. Tulosten samankaltaisuuden varmistamiseksi molemmilla mittavälineillä piti mitata samat koealat. Tuloksia vertailemalla jo käytössä olevan, ja uuden mittavälineen välillä, saimme tiedon mittalaitteen sopivuudesta mittauksiin.

5.2 Työn toteutus

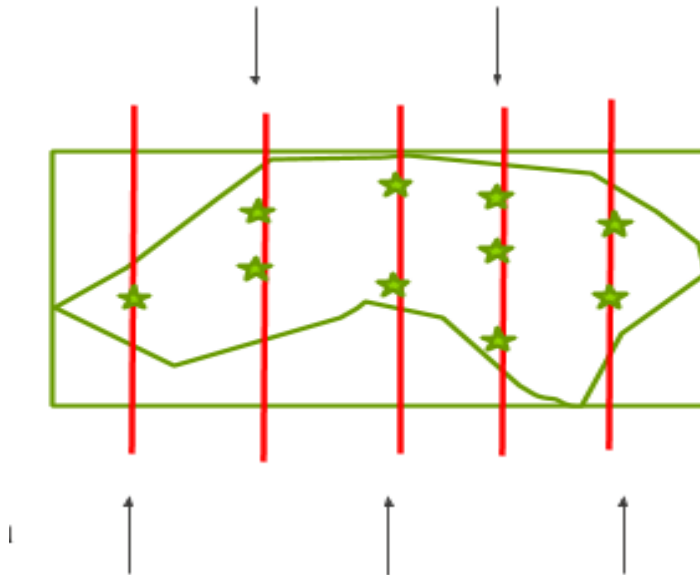
Tutkimuksessa mitatut koealat on mitattu Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan alueilla yksityisten metsänomistajien lannoituskohteilla. Kohteet valikoitiin lannoitustavan, sijainnin ja kohteen pinta-alan perusteella. Mitattavia kohteita oli kolmea erilaista. Kohteista 10 oli helikopterilevitystä ja 2 maalevitystä. Mittauksissa pyrittiin saamaan aineistoa kaikilta eri lannoitetyypeiltä. Terveyslannoitus, jossa booria levitettiin 250kg/ha, kasvatuslannoitus metsäsalpietari 550kg/ha ja kasvatuslannoitus npk 600kg/ha. Jokaiselta kohteelta mitattiin 20 koealaa, 10 kullakin mittavälineellä. Koealat pyrittiin sijoittamaan niin, ettei puiden latvus ja oksisto häiritse lannoitteen varisemista mittavälineelle.

Mittauksissa käytettiin kahta erilaista mittavälinettä (Kuva 1). Ensimmäinen mittaväline oli ympyrän mallinen ja sen halkaisija oli 50cm. Toinen mittaväline oli suorakulmion mallinen, jonka mitat olivat 1x2m.



Kuva 1. Iso mittaväline edessä ja pieni takana (Kuva: Tiina Laine)

Koealoja sijoiteltaessa (Kuva 2) lannoitusosalta eristettiin suorakaiteen muotoinen alue, joka jaettiin tasavälein viiteen linjaan. Jokaiselle linjalle sijoitettiin satunnaisesti 4 koealaa, 2 molemmilla mittavälineillä. Koealalla oli vierekkäin noin metrin väleillä eri mittavälineet. Satunnaisuus suoritettiin arpomalla luku, ja luvun perusteella etäisyys linjan reunasta, ja toisella luvulla etäisyys edellisestä koealasta.



Kuva 2 Koealojen sijoittelu

Lannoitteet kerättiin maastossa mittavälineistä Minigrip pusseihin. Pussit merkittiin koeala numeroittain, ja mittavälineen mukaan. Pussien sisältämä lannoite punnittiin sisätiloissa kotitalousvaa alla, ja tulokset kirjattiin ylös.

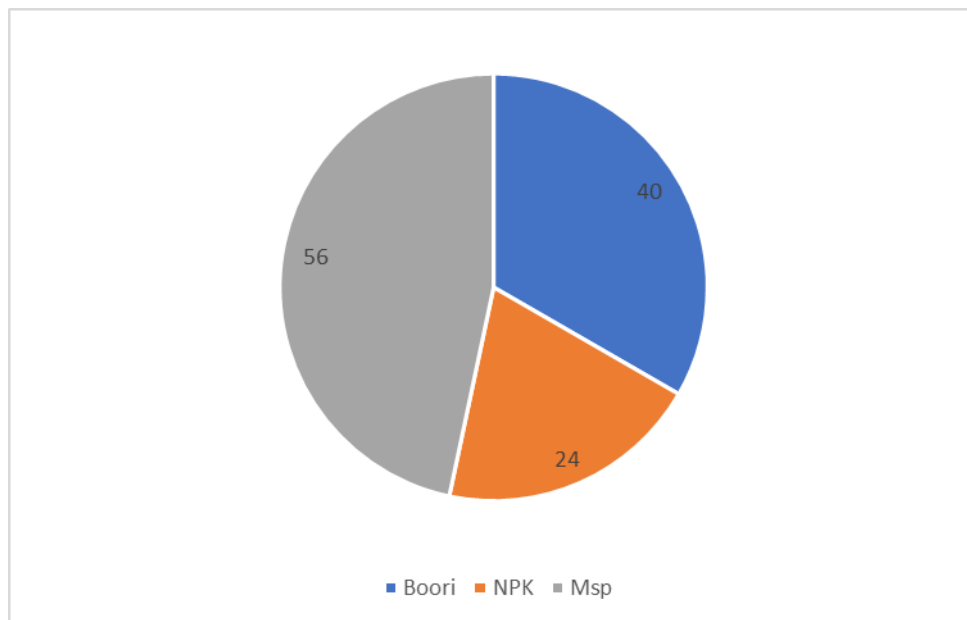
5.3 Tilastolliset menetelmät

Kahden riippumattoman otoksen t-testillä selvitetään onko mittaustulosten keskiarvojen erossa poikkeama otantavirheen vuoksi. T-testin tuloksena saadaan p-arvo. P-arvo on todennäköisyys sille, että erojen keskiarvon poikkeama nolasta selittyy pelkästään otantavirheellä. Mitä pienempi p-arvo sitä enemmän saadaan tukea sille, että erojen keskiarvo poikkeaa merkittävästi nolasta. Vakiintuneen tavan mukaan alle 0,050 (5,0 %) suuruista p-arvoa pidetään riittävä näyttonä perusjoukossa olevan eron puolesta. Kahden riippumattoman otoksen t-testistä on kaksi sovellusta riippuen siitä, onko verrattavien ryhmien erisuuret tai yhtäsuuret. Mikäli ryhmien varianssit ovat yhtäsuuret, käytetään yhtäsuurten varianssien testiä ja mikäli ne ovat erisuuret, niin käytetään erisuurten varianssien testiä.

Varianssianalyysia käytetään tutkittaessa eroavatko kahden tai useamman ryhmän keskiarvot tilastollisesti merkitsevästi toisistaan. Varianssianalyysilla voidaan tutkia ovatko mittaustulokset keskiarvoiltaan toisistaan poikkeavia (Taanila, 2016) .

6 Tulokset

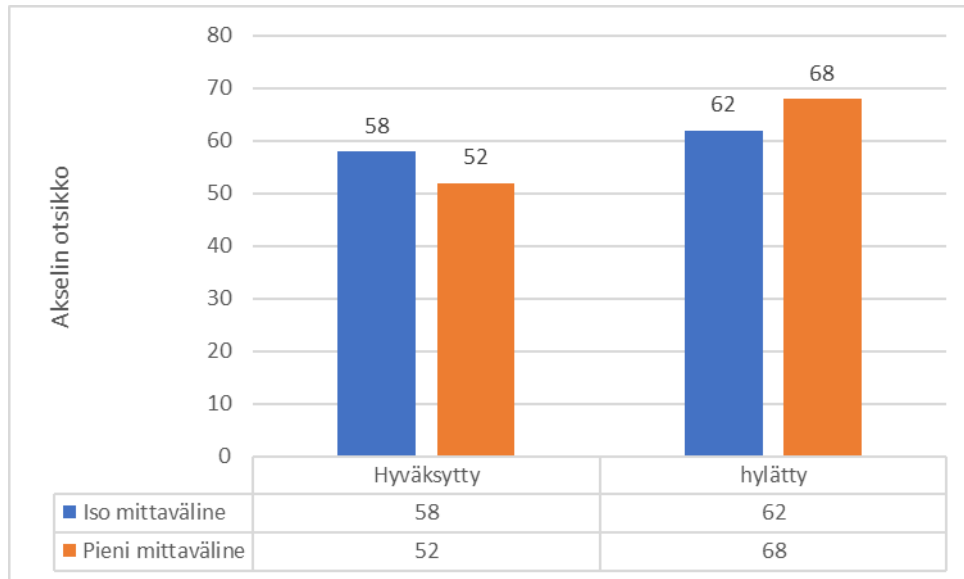
Mitattuja kohteita oli 12 ja koealoja kertyi yhteensä 240, eli 120 molemmille mittavälineille. Molemmilla mittavälineillä mitattiin 40 koealaa booria, 24 npk:ta ja 56 metsäsalpietaria (Kuvio 1).



Kuvio 1 Mitatut koealat lannoitteittain

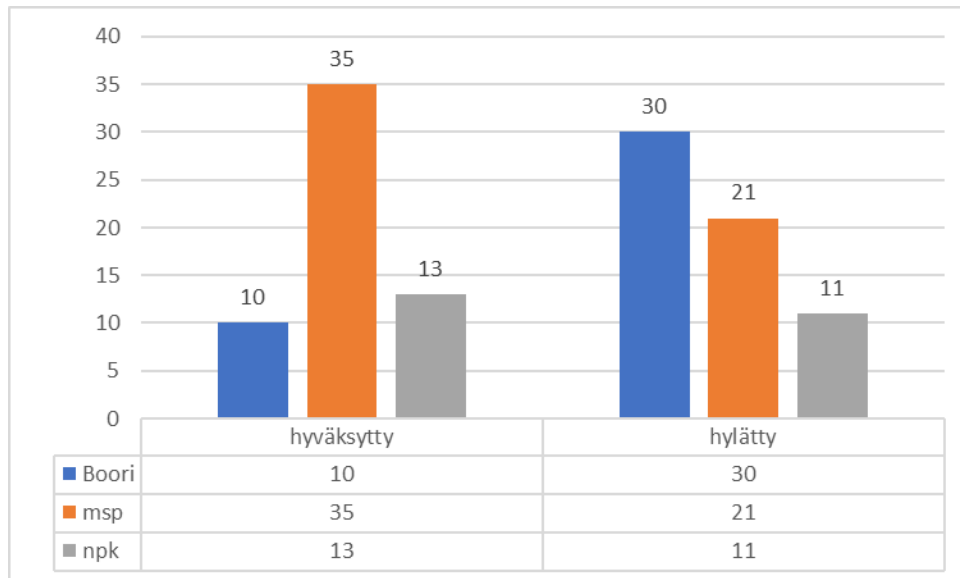
Mitattu koeala luokiteltiin hyväksytyksi, jos mittaustulos oli +-50% mittavälineen tavoitetuloksesta. Tavoitetulos saatiin laskemalla paljonko lannoitetta pitäisi kertyä mittavälineelle, jos levitystulos olisi täysin tasainen. Hyväksytyjä koealoja

kertyi isolla mittavälineellä 58, pienellä 52. Hylättyjä koealoja oli isolla 62 ja pienellä 68 (Kuvio 2).



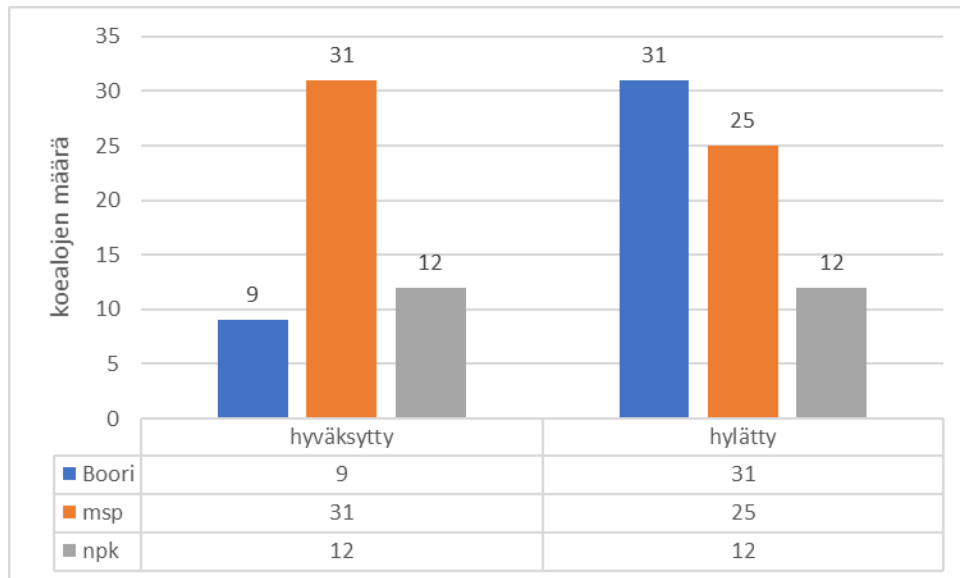
Kuvio 2 Hyväksytyt koealat mittavälineittäin

Hyväksytyt koealoja isolla mittavälineellä (Kuvio 3) oli boorilla 10, metsäsalpietarilla 35 ja npk:lla 13. Hylättyjä koealoja oli boorilla 30, metsäsalpietarilla 21 ja npk:lla 11.



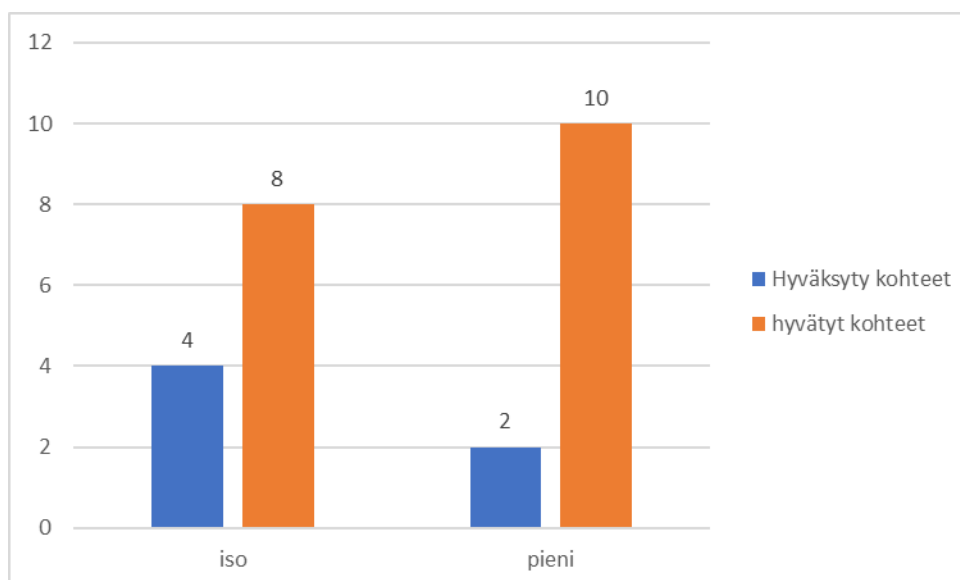
Kuvio 3 Hyväksytyt koealat lannoitteittain isolla mittavälineellä.

Hyväksytyjä koealoja pienellä mittavälineellä (Kuvio 3) oli boorilla 9, metsäsalpietarilla 31 ja npk:lla 12. Hylätyjä koealoja oli boorilla 31, metsäsalpietarilla 25 ja npk:lla 12.



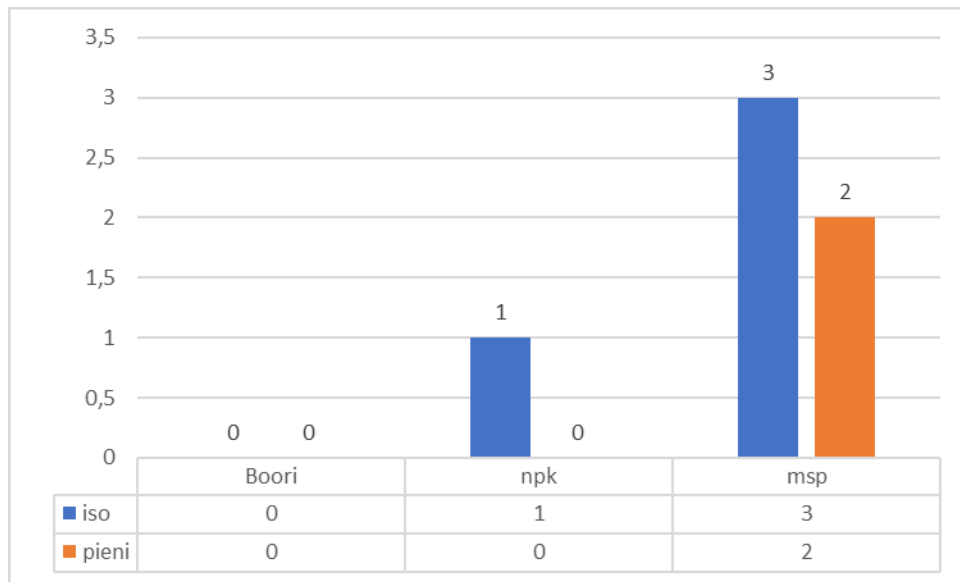
Kuvio 4 Hyväksytyt koemat lannoitteittain pienellä mittavälineellä.

Kultakin kohteelta mitattiin 10 koemaa. Kohde luokiteltiin hyväksytyksi, jos yli 70% koaloista kohteella oli hyväksyttyjä. Isolla mittavälineellä hyväksyttyjä kohteita oli 4 ja hylättyjä 8 (Kuvio 5). Pienellä mittavälineellä hyväksyttyjä 2 ja hylättyjä 10.



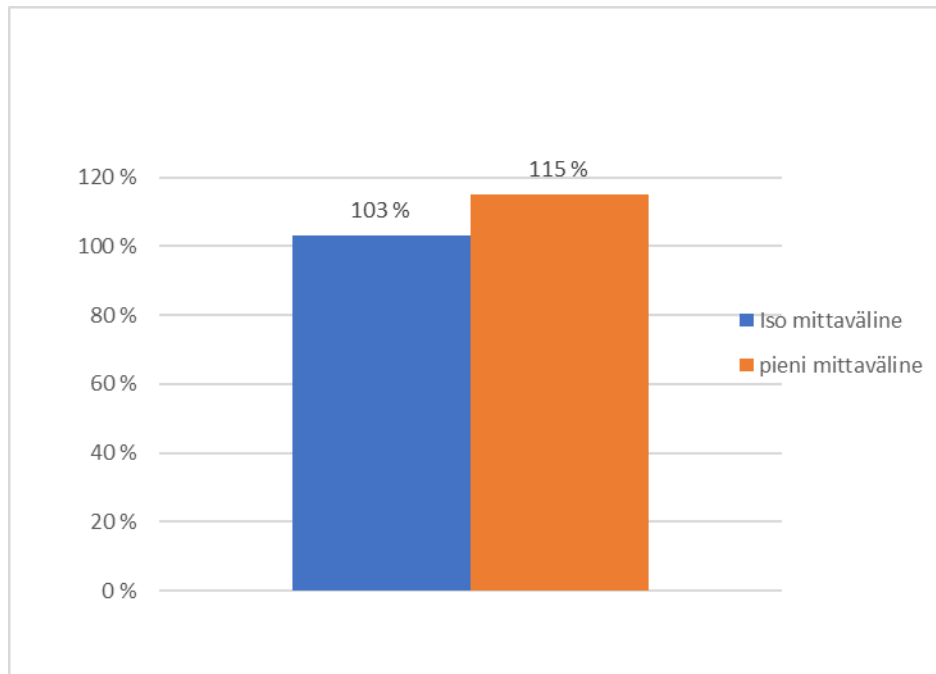
Kuvio 5 Hyväksytyt kohteet.

Hyväksytyistä kohteista isolla mittavälineellä 3 oli metsäsalpietarilla, 1 npk:lla ja 0 boorilla (Kuvio 6). Pienellä mittavälineellä hyväksytyjä kohteita oli 2 metsäsalpietarilla. Npklla tai boorilla ei saatu hyväksytyä kohdetta pienellä mittavälineellä.



Kuvio 6 Hyväksytyt kohteet lannoitteittain.

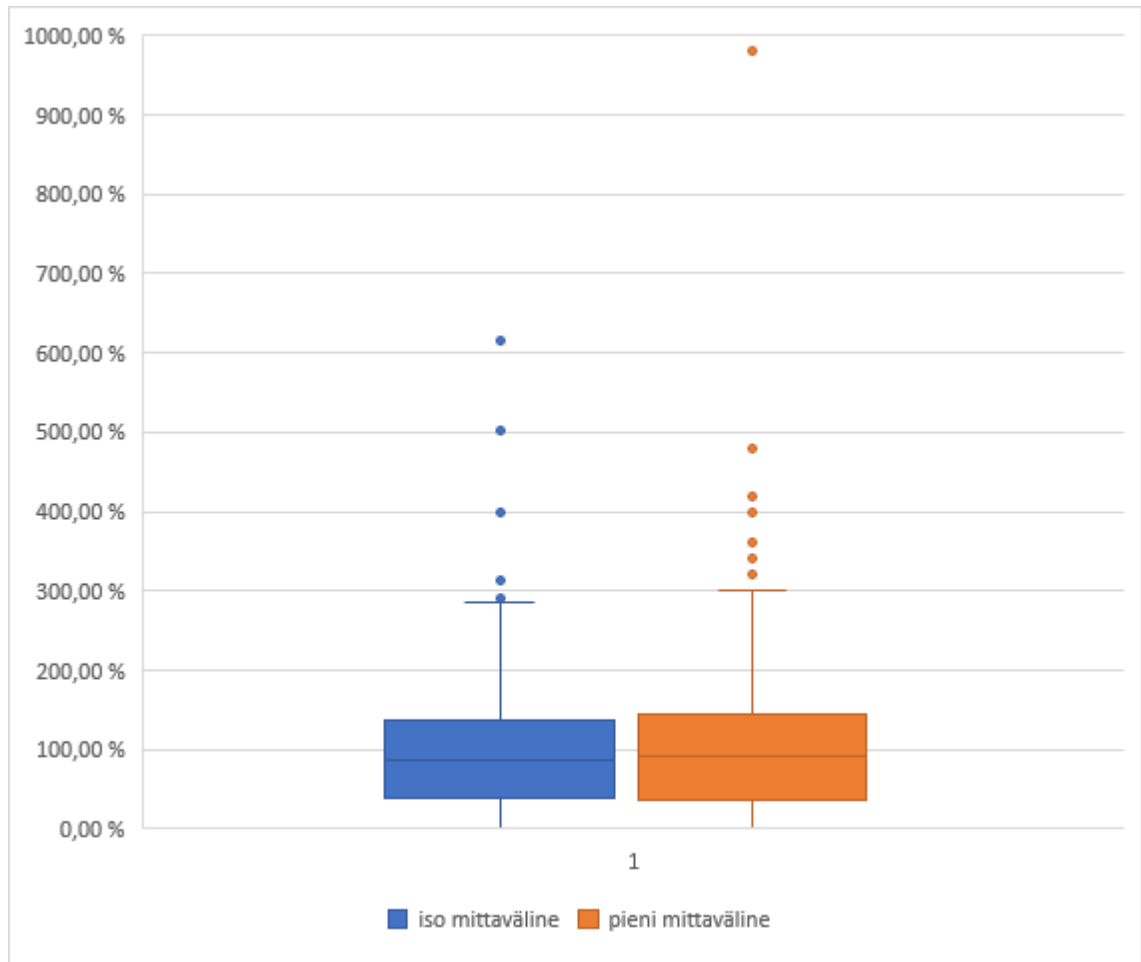
Koealojen toteutuneesta lannoitemäärästä suhteessa tavoitemäärään laskettiin prosenttiosuus. Tämä tehtiin koska, eri lannoitevalmisteilla on eri käyttömäärät, joten prosenttiosuuksilla voimme verrata eri lannoitevalmisteiden lannoitetasaisuutta. Isolla mittavälineellä keskiarvoprosentti oli 103 % ja pienellä mittavälineellä 115 %. Esimerkkinä jos tavoitelannoite määrä olisi 50 grammaa ja toteutunut 75 olisi keskiarvoprosentti 150%.



Kuvio 7 Keskiarvo toteutuneen lannoituksen määrästä suhteutettuna tavoitemäärään mittavälineittäin.

Laatikkojanakuviossa (Kuvio 8) on kuvattu toteutuneiden lannoitemäärien jakaumaa suhteessa tavoitemääriin. Isolla mittavälineellä pienin arvo oli 0 % ja suurin oli 616 %. Kolme neljäsosaa mitatuista tuloksista sijouttuu ylimmän ja alimman neljänneksen sisään. Alin neljännes on 38,14%. mediaani on 86,21%. Keskiarvo on 103 %. Ylin neljännes on 137 %.

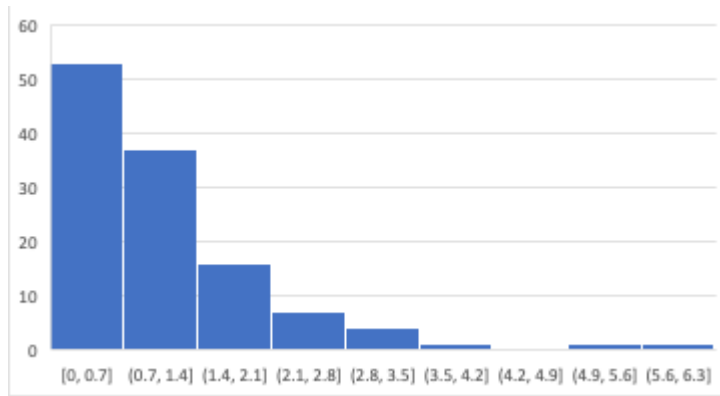
Pienellä mittavälineellä pienin arvo oli 0 % ja suurin 980 %. Alin neljännes on 36,36%. Mediaani on 91,92 %. Ylin neljännes on 144,89 %. Ääriarvot on merkattu taulukossa pisteillä.



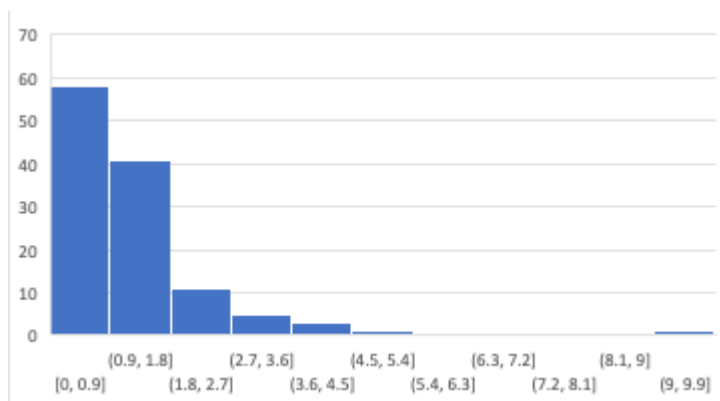
Kuvio 8 Laatikkojanakaavio toteutuneista lannoitemääristä suhteessa tavoitemääriin.

Varianssianalyysin p-arvoksi saadaan 0,39, joten nollahypoteesi hylätään ja aineistojen varianssit ovat eri suuruiset.

Aineisto ei ole normaalijakautunut, sillä molemmat aineistot ovat vinoutuneet oikealle. Tämä vinoutuneisuus voidaan havaita katsomalla aineistojen histogrammeja (kuvio 9 ja 10). Edellytys T-testin käyttämiselle on, että aineisto on normaalijakautunut, mutta Taanilan (2016) aineistossa todetaan, että mikäli otoskoko on suurempi kuin 30 voidaan T-testiä käyttää (Taanila, 2016).



Kuvio 9. Histogrammi aineiston jakautuneisuudesta isolla mittavälineellä



Kuvio 10. Histogrammi aineiston jakautuneisuudesta pienellä mittavälineellä

	Iso mittaväline	Pieni mittaväline
Otoskoko	121	121
Keskiarvo	1,03	1,15
Keskihajonta	0,98	1,27

Riippumattomien otosten t-testin p-arvoksi saadaan 0,393 varianssien ollessa eri suuret, joten nollahypoteesi jää voimaan ja keskiarvoilla ei ole merkitsevää eroa (Taanila, 2016).

7 Pohdinta

7.1 Tulosten tarkastelu

Tulokset molemmilla mittavälineillä olivat samankaltaisia, ja mittavälineiden välillä ei havaittu merkittävää eroa. Myös uusi mittaväline soveltuu mittauksiin. Kokonaisuudessaan lannoitetasaisuus oli huono. Koealoista hyväksytyjä oli vain 45,8 %. Kohteista hyväksytyjä oli 25 %.

Molemmilla mittavälineillä boorin levitystasaisuus oli heikkoa verrattuna muihin lannoitteisiin. Heikko tasaisuus johtuu todennäköisesti hehtaarikohtaisista lannoitemääristä. Boorin hehtaarikohtaiset lannoitemäärät kiloissa olivat yli puolta pienempiä muihin lannoitteisiin verrattuna. Myös boorin koostumuksen epäiltiin vaikuttavan tasaisuuteen. Boorirae on hyvin karkeaa, sepelimäistä, muiden lannoitteiden ollessa tasaisempaa rautaa.

Tämä opinnäytetyö osoittaa että, lannoitetasaisuuden valvontaa on syytä tehdä jatkossakin työn laadun varmistamiseksi, ja laadun kehittämiseksi eteenpäin.

7.2 Luotettavuus

Vastaavia lannoitetasaisuuden mittauksia tehtiin Länsi-Suomessa Metsä Groupin toimesta, ja niiden tulokset olivat samankaltaisia. Tästä syystä pidan tuloksia luotettavana. Tulokset olisivat kuitenkin voineet olla hyvinkin toisenlaisia, mikäli mittaukset olisivat painottuneet enemmän kasvatuslannoituksiin. Kasvatuslannoitusten lannoitetasaisuus oli merkittävästi booria parempi, ja tästä syystä hyväksytyjä koealoja ja kohteita oltaisiin saatu enemmän.

Lähteet

- Helmisaari, H-S., Kukkola, M., Luro, J., Saarsalmi, A., Smolander, A. & Tamminen, P. 2009. Hakkuutähteiden korjuu - muuttuuko typen saatavuus?. Metsätieteen aikakauskirja. Helsinki: Metla.
- Keltikangas, M & Seppälä, K. 1973. Metsänlannoituksen edullisuuden vaihtelu. Silva Fennica.
- Lehtonen, I., Westman, C. & Kellomäki, S. 1976. Ravinteiden kierto eräässä männikössä: I Kasvillisuuden ja maaperän ravinnepitoisuuksien vaihtelu kasvukauden aikana. Helsinki: Silva Fennica.
- Luke 2022. Tilastotietokanta. Luke 22.2.2022. <https://urly.fi/2uoQ>
- Luke. 2022. Talousmetsien puuntuotantoa voidaan tehostaa merkittävästi. 2022. <https://www.luke.fi/mt-talouismetsien-puuntuotantoa-voidaan-tehostaa-merkittavasti/>
- Moilanen, M., Hytönen, J., Hökkä, H & Ahtikoski, A. 2015. Fertilization increased growth of scots pine and financial performance of forest management in drained peatland in Finland. Helsinki: Silva Fennica.
- Palviainen, M & Finer, L. 2007. Ravinteiden pidättäytymisen kasvillisuuteen päätehakkuun ja maanmuokkauksen jälkeen. Helsinki: Metsätieteen aikakauskirja 3/2007.
- Reinikainen, A., Veijalainen, H & Nousiainen, H. 1998. Puiden ravinnepuutokset. Metsänkasvattajan ravinneopas. Helsinki: Metla (Reinikainen, 1998).
- Sved, J & Koistinen, A. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset kannattavaan metsätalouteen, työopas. Tapion julkaisu. 27.1.2022
- Taanila, A. 2016. Tilastollinen päättely. <http://myy.haagehelia.fi/~taaak/p/paattely.pdf>
- Taanila, A. Akin menetelmäblogi. 24.2.2022. <https://tilastoapu.wordpress.com/>
- Vanhatalo, K., Väisänen, P., Joensuu, S., Sved, J., Koistinen, A. & Äijälä, O. (toim.) 2019. Metsänhoidon suositukset suometsien hoitoon, työopas. Tapion julkaisu.
- Yara. 2021 Metsänlannoitusopas. Yara. https://tuhtametsasta.fi/wp-content/uploads/2017/11/YARA_Metsalannoitusopas.pdf. 24.11.2021.
- Yara. 2021. Käytännön neuvoja metsänlannoitukseen. Yara. <https://www.yara.fi/lannoitus/metsa/kaytannon-neuvoja/> . 17.7.2021.
- Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. 2019. Metsänhoidon suositukset. Teoksessa Äijälä, O., Koistinen, A., Sved, J., Vanhatalo, K. & Väisänen, P. (toim.) Tapion julkaisu. Helsinki: Tapio, 159 – 163.