

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU
Metsätalouden koulutusohjelma

Olli Karppinen
Riku Kukkonen

KULOTUKSEN VAIKUTUS PUUSTON KEHITYKSEEN

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2018



OPINNÄYTETYÖ
Huhtikuu 2018
Metsätalouden koulutusohjelma

Karjalankatu 3
80200 JOENSUU
Puh. (013) 260 600

Tekijät
Olli Karppinen, Riku Kukkonen

Nimeke
Kulotuksen vaikutus puuston kehitykseen

Toimeksiantaja
Luonnonvarakeskus

Tiivistelmä

Tässä opinnäytetyössä suoritettiin viisivuotismittaus Kanta-Hämeen maakunnassa sijaitsevalle Tammelan kulotus-muokkauskokeen puustolle ja tutkittiin mittauksessa saatujen tuloksien kautta puuston tilaa. Tavoitteena oli selvittää kulotuksen vaikutusta männyn kehitykseen ottaen huomioon tutkimuskohteen olosuhteet.

Aineisto hankittiin maastomittauksin ja saadut mitta-arvot kirjattiin maastomittauslomakkeelle maastotietokoneella. Tutkimusalue koostui 24 koeruudusta, joista puolet olivat kulotetulla maaperällä ja puolet kulottamattomalla. Kulotuskäsittelyn lisäksi koeruutujen maaperä oli muokattu joko mätästämällä, äestämällä tai oli jätetty muokkaamatta; jokaista tapaa oli käytetty yhtä paljon. Koealueelta mitattiin yhteensä 1 798 puuta, joihin tutkimustulokset perustuvat. Mittausaineistoa analysoitiin vertailemalla kulotetun alueen tuloksia kulottamattoman alueen tuloksiin sekä muokkaustavoittain. Saatuja tuloksia verrattiin myös aikaisempien samankaltaisten tutkimusten tuloksiin.

Saaduista tutkimustuloksista saadaan suuntaa-antavaa tietoa kulotuksen vaikutuksista männyn tilavuuden ja biomassan kehitykseen. Tuloksia voidaan hyödyntää uudistusaloilla, jotka ovat joko hyvin samanlaisia tässä tutkimuksessa olleen metsikön kanssa tai niiden olosuhteet ovat muuten verrattavissa tähän tutkimukseen. Vuoden 2013 ensiharvennushakkuu hieman vaikeutti kulotuksen vaikutusten näkyvyyttä, mutta harvennuksen poistumatietojen ja tilastollisen analyysin avulla vaikutukset tilavuus- sekä biomassankehitykseen voitiin havaita ja tehdä niiden pohjalta johtopäätöksiä.

Kieli
suomi

Sivuja 64
Liitteet 4
Liitesivumäärä 5

Asiasanat

Kulotus, mänty, mätästys, äestys, tilavuus, biomassa, Tammela



THESIS
April 2018
Degree Programme in Forestry

Karjalankatu 3
80220 JOENSUU
FINLAND
Tel. (013) 620 600

Authors
Olli Karppinen, Riku Kukkonen

Title
The Effect of Prescribed Burning on Forest Cover Development

Commissioned by
Natural Resource Institute Finland

Abstract

In this thesis, the state of a research forest site on prescribed burning and site preparation was examined throughout measuring the trees in it. The research site lies in municipality of Tammela, Kanta-Häme region. The goal was to investigate the effects of prescribed burning for development of Scots pine considering the conditions on the site.

Material for this work was obtained from tree measurements as a field work and the data was booked to specific data gathering form with a lap top. Research area was divided into 24 squares and 12 of them were on prescribed burned ground and the rest of them on not-burned ground. Other site preparation methods used within these squares were mounding and harrowing, and part of the squares were left without site preparation. Experiment results are based on 1 798 trees that were measured from the experiment area. Material was analyzed by comparing results between burned and not-burned areas and different site preparation methods. Also, former researches that had similar topics as this were introduced.

Result of this research give directional information about effects of prescribed burning for Scots pine. Results can be utilized on forest regeneration sites that have same or very similar conditions as in this research forest. The first commercial thinning in 2013 made the prescribed burning effects harder to spot, but the thinning reduction data and different kind of statistical analysis helped to noticing those effects and making realistic conclusions.

Language

Finnish

Pages 64

Appendices 4

Pages of appendices 5

Keywords

Prescribed burning, Scots pine, mounding, harrowing, capacity, biomass, Tammela

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1	Johdanto	5
2	Luke	6
3	Kulotus	7
3.1	Tarkoitus	7
3.2	Historia	8
4	Mänty	8
4.1	Maanmuokkaustavat männylle	9
4.2	Puun laatu	12
4.3	Biomassa	12
5	Tutkimuksen tavoite	13
6	Aineiston mittaus ja tulosten laskenta	14
6.1	Tammelan tutkimusmetsä	14
6.2	Aineiston mittaus	15
6.2.1	Latvus alarajan mittaus	16
6.3	Tulosten laskeminen	17
6.3.1	Pituusmallit	18
6.3.2	Laasasenahon tilavuusyhtälö	20
6.3.3	Repolan biomassamallit	20
6.3.4	Tilastollinen testaus	25
7	Tulokset ja päätelmät	25
7.1	Runkomäärät ja puulajijakauma	29
7.2	Tilavuus	32
7.3	Puuston kasvu	38
7.4	Biomassan määrä	41
7.4.1	Biomassan jakautuminen koko koalueelle	41
7.4.2	Biomassa kulotetulla ja kulottamattomalla alueella	43
7.4.3	Biomassan jakautuminen muokkaustavoittain	44
7.5	Elävän latvuksen osuus	46
7.6	Kuolleisuus ja tuhot	50
8	Vertailu aikaisempiin tutkimuksiin	51
9	Pohdinta	54
9.1	Tuloksista	54
9.2	Luotettavuus	56
9.3	Työn onnistuminen ja ongelmakohdat	57
	Lähteet	58

Liitteet

Liite 1	Tutkimuskohteen koeruutukartta muokkaustavoittain
Liite 2	Maastomittauslomake
Liite 3	Tilavuuslaskelmien yhteenvetotaulukko
Liite 4	Biomassalaskelmien yhteenvetotaulukot

1 Johdanto

Tulen käytöllä on pitkät perinteet Suomen metsätaloudessa. Vaikka kulotusta käytetään nykyään harvoin metsän uudistamisessa, ovat sen hyödyt hyvin tiedossa. Kulotus parantaa huomattavasti kasvupaikan olosuhteita, ja näin pedataan oivallinen lähtökohta uudelle puusukupolvelle. Kuitenkin koko ajan muuttuva ja kasvava metsätalous vaatii yhä tehokkaampia keinoja kasvattaakseen laadukasta puuta metsäteollisuuden raaka-aineeksi, joten on myös syytä tutkia lisää ja mahdollisesti myös kehittää kulotuksen vaikutusta puun matkaan mullasta markkinoille.

Luonnonvarakeskus (Luke) tuottaa tutkimuksia luonnonvarojen kestävästä käytöstä edistämiseksi. Tutkimusten tulokset toimivat päättäjien ja luonnonvaroista hyötyvien toimijoiden vipuvartena kestävässä kehityksessä. Metsätalouden näkökulmasta tarkasteltuna tärkeimmät tutkimuskohteet ovat kasvun edistäminen laatua heikentämättä ja metsävarojen säilyttäminen.

Tässä opinnäytetyössä keskityttiin selvittämään maaperään tehtävien ehostustoimenpiteiden vaikutusta koepuustoon tarkastelemalla Tammelassa sijaitsevan tutkimusmetsän tilannetta. Tutkimuksen ensisijaisena päämääränä oli selvittää kulotuksen ja maanmuokkaustapojen vaikutusta puuston tilavuuden ja biomasan määrään. Pääasiallisena tarkasteltavana puulajina oli mänty.

Koepuusto istutettiin vuonna 1989 ja on mitattu siitä lähtien muutaman kerran. Tätä opinnäytetyötä varten suoritettiin syksyllä 2017 viisivuotismittaus kyseiselle koepuustolle. Edellinen mittaus oli vuonna 2012, mistä saatiin vertailtavaa aineistoa tähän työhön. Aikaisemmin mainittujen tavoitteiden lisäksi, saatuja mittaustuloksia tulkitsemalla voidaan päätellä myös, kuinka kulotus ja eri maanmuokkaustavat sopivat männylle kyseisellä kasvupaikalla. Tämän työn tuloksia ei hyödynnetä suoraan kulottamiseen käytännössä, vaan tämä on osa suurempaa valtakunnallista kulotustutkimusta. Opinnäytetyö tehtiin Lukelle tämän kyseisen kulotus-muokkauskoetutkimuksen jatkoksi.

2 Luke

Luke on tutkimuslaitos, jonka toiminta on täysin maa- ja metsätalousministeriön alaisuudessa. Aikaisemmin metsäalalla tutkimuksista vastasi Metsäntutkimuslaitos Metla, mutta vuonna 2015 se liitettiin muihin valtion alaisuudessa toimiviin tutkimuslaitoksiin, joista muodostui Luke (kuva 1). Luken päätoimipaikat sijaitsevat pääkaupunkiseudulla, Jokioisissa, Joensuussa ja Oulussa. Pienempiä toimipisteitä on kaikkialla Suomessa. (Luke 2016a.)



Kuva 1. Lukeen sisällytetyt tutkimuslaitokset (Luke 2016b).

Nimensä mukaisesti Luke tutkii luonnonvaroja sekä valvoo ja kehittää niiden kestäväää käyttöä. Tuottamallaan tutkimustiedolla se tarjoaa arvokasta tietoa luonnonvarojen tilasta, minkä avulla päättäjät voivat tehdä päätöksiä esimerkiksi hakkuumääristä ja tuontiviljan määrästä. Yksi varsin merkittävistä tutkimusprojekteista metsätalouden puolesta on vuosittain suoritettava Valtakunnan metsien inventointi (VMI). VMI:n tarkoituksena on selvittää Suomen puuvarojen määrää, kuntoa ja esimerkiksi sitä, kuinka paljon Suomen metsät sitovat hiiltä. Metsien hiilensidonnin määrä on ollut 2010-luvulla yksi suurimmista kulmakivistä Euroopan unionin luonnonvaroja koskevissa päätöksissä, joiden päämääränä on seurata, hidastaa ja estää ilmastonmuutosta. (Luke 2015.)

3 Kulotus

3.1 Tarkoitus

Kulotuksella tarkoitetaan metsämaapohjan polttamista uudistamistarkoitukseen. Metsätalouden näkökulmasta kulotuksen tehtävänä on ravita uudistettava hakkuualue polttamalla elävä pintakasvillisuus, karike sekä kuviolle jääneet hakkuutahteet ja rungot. Poltettavista materiaaleista vapautuu maaperään ravinteita, esimerkiksi hiiltä, jotka edistävät tulevan puusukupolven kasvua. Kulotuksen on todettu lisäävän poltettavan alueen monimuotoisuutta ja vähentävän maaperän happamuutta. Ensisijaisesti kulotetulle maaperälle uudistusmenetelmäksi suositellaan kylvöä. Eräissä tutkimuksissa on selvitetty, että kulotus nimenomaan edistää taimettumista kylvö- ja luonnonsiemenistä. (Pitkänen, Järvinen, Turunen, Kolström & Kouki 2005, 388.)

Heikkala (2006) on tekemässään väitöskirjassaan tutkinut kulotuksen vaikutusta avohakkuualueille. Tutkimuksesta saaduista tuloksista selvisi, että hakkuiden jälkeinen kulotus mahdollistaa useille harvinaisille ja uhanalaisille lajeille hyvät elinmahdollisuudet. Nykyinen metsien tehokas talouskäyttö onkin johtanut siihen, että metsäekosysteemit ovat köyhtyneet ja monet eliölajit ovat menettäneet elinympäristöjä tai niiden määrä on laskenut liian vähäiseksi Suomessa.

Kulotus tulee hoitaa siten, ettei siitä aiheudu vaaraa ihmisille tai lähialueiden metsille. Se vaatii paljon esivalmisteluja ja työvoimaa. Kohteet rajataan mahdollisiin vesistöihin tai tiestöihin, jotka estävät palon leviämisen. Palo-ojien kaivaminen on myös yksi tapa rajata paloalue. Perinteisesti kulotusajankohtana on ollut alkukesä, joka mahdollistaa alueen kylvämisen samana vuonna. Paras kulotusaika on touko–kesäkuussa, mutta heinä–elokuussakin se on vielä mahdollista. Alkukesä on kulotuksen kannalta parempi, koska tällöin palamista haittaavan pintakasvillisuuden määrä on alhainen. Toisaalta pintakasvillisuus toimii myös hyvänä tulen hillitsijänä. (Lemberg & Puttonen 2002, 5-10.)

Kulotus eroaa kaskeamisesta siten, että kulotettu alue on tarkoitettu metsittämään uudelleen, toisin kuin kaskimaa, joka on maanviljelyyn tarkoitettua poltettua metsämaata. Kaskeamisessa metsä poltetaan pystyvineen, mikä lisää palossa syntyvää hyödyllistä tuhkaa. (Lemberg & Puttonen 2002, 5-10.; Romppanen 2016, 9.)

3.2 Historia

Kulotuksella ja varsinkin kaskeamisella on pitkät perinteet suomalaisessa metsänhoidossa ja maanviljelyssä. Kaskeaminen hävittää metsiä, ja sen harjoittamista on rajoitettu ajan saatossa useilla lailla. Lopulta se kiellettiin kokonaan vuonna 1886. Kulotusta on tutkittu ja kehitetty jo 1850-luvulta lähtien, ja 1900-luvun alusta se vakiintui metsän uudistamisessa. 1950-luvulla oli kulotuksen huippuvuodet, jolloin kulotettujen alueiden määrä nousi 35 000 hehtaariin vuodessa. (Kauppi 2016.)

1940–1960-luvuilla kulotus oli kiivaimmillaan, mutta nykyisin sen käyttö on keskittynyt lähinnä erityiskohteille. Kulotuksen kustannukset eivät pärjänneet uusille maanmuokkausmenetelmille. Koneellistuminen vähensi jyrkästi kulotusta, sillä maanmuokkaus koneella tuli halvemmaksi ja nopeammaksi. Koneiden yleistymisen jälkeen maaperää kulotetaan Suomessa vuosittain vain noin tuhat hehtaaria. Nykyisin yleisessä käytössä olevat sertifiointimenetelmät PEFC ja FSC kannustavat kulotuksiin. (UPM Metsä 2017, Romppanen 2016, 9.)

4 Mänty

Mänty (lat. *Pinus sylvestris*) kuuluu mäntykasvien sukuun. Mänty on lauhkean vyöhykkeen havupuu ja Suomen valtapuu, joka täyttää jopa 65 % Suomen metsäpinta-alasta. Mänty ei ole kovinkaan vaativa maaperän suhteen, sillä puu sietää kuivuutta ja ravinteiden niukkuutta. Männyn kasvun kannalta tärkein tekijä on runsas valon saanti. Parhaiten mänty sopeutuu kuiville ja karuille kasvupaikoille,

joissa valon saanti on turvattu. Mänty onkin lähes poikkeuksetta näiden kasvupaikkojen valtapuulaji. (Laine 2013, 151.)

Männyn kyky mukautua kasvupaikkansa mukaan mahdollistaa sen kasvamisen myös kosteilla maaperillä. Tällaisilla kasvupaikoilla kasvavat männyt jäävät usein kituliaiksi ja metsätalouden näkökulmasta huonolaatuisiksi. Maaperä vaikuttaa myös männyn juuriston kehittymiseen. Hienojakoisilla maalajeilla mänty kasvatetaan itselleen paalujuuren, jonka tarkoitus on ankkuroida puu tukevammin kiinni maahan. Mänty on hyvin pitkäikäinen puulaji ja se kasvaa luonnollisesti 250–350 vuoden ikään. Vanhin Suomessa tavattu mänty on noin 800-vuotias. (Piirainen, Piirainen & Vainio 1999, 45.)

Puulajina mänty on merkittävä Suomen metsäteollisuudelle, kuten myös metsän eliöille. Toisin kuin kuusen neulaset männyn neulaset ovat monen eläimen ravintoa. Esimerkiksi metsolle männyn neulaset ovat välttämätöntä talviravintoa muun ravinnon ollessa lumen alla. Myös hirvi käyttää nuoria männyn taimikoita ravintonaan aiheuttaen huomattavia tuhoja, joskus jopa tuhoten koko taimikon. (Halkka Kaaro, Valste & Vuokko 2004, 16.)

Runsaan valon ansiosta latvuksella on mahdollisuus kasvaa ja sitä kautta varjostaa alaoksia niin, että ne kuolevat ja tippuvat pois. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat huomattavasti puun laatuun, esimerkiksi puuaineksen tiheyteen. Metsätalouden näkökulmasta laadullisesti parasta mäntyrunkoa saadaan kasvatettua kuivilla ja kuivahkoilla kankailla, joissa ravinteiden saanti on niukkaa. Niukka ravinteiden saanti estää puuta kasvamasta liian nopeasti tehden puun syyraken- teesta tiiviimpää. (Huuskonen 2008, 9.; Metla 2010.)

4.1 Maanmuokkaustavat männylle

Maanmuokkaustavan valintaan vaikuttavat kohteen metsätyyppi, maalaji, uudistusmenetelmä ja tavoitepuulaji (kuvat 2 ja 3) sekä paikan muut ominaisuudet,

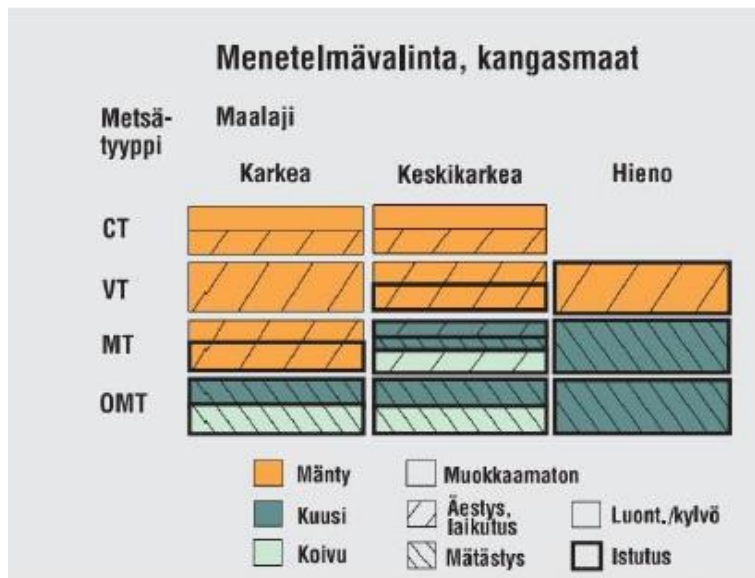
kuten maa-aineksen raekoko, kerrostuneisuus ja myös maanpinnan muodot. Oikea maanmuokkaustapa on erittäin tärkeä metsän uudistamisen kannalta. Karut kasvupaikat on järkevintä muokata äestämällä tai laikuttamalla edellyttäen, että kohteen vesitalous on kunnossa. Vastaavasti rehevät kasvupaikat kannattaa muokata kääntö-, laikku- tai naveromätästämällä. Jos kohde kärsii liiallisesta kosteudesta, muokkaustavaksi valitaan ojitusmätästys, jolloin vesitalous saadaan kuntoon. (Nuutinen 2014, 9, 16-17.)

Äestys tarkoittaa maanpinnan muokkaamista, yleensä metsätraktoriin kytkettävällä äkeellä niin, että äkeeseen kiinnitetyt muokkauslautaset tekevät maahan kivennäismaata paljastavia uria. Tämä menetelmä on varsin sovelias luontaiseen uudistamiseen tai kylvöön, mutta silloin kannattaa muokkausjälkeen jättää myös hieman humusta. Näin saatu muokkausjälki on hyvä alusta siemenelle, jossa se saa sopivasti kosteutta. (Nuutinen 2014, 10.)

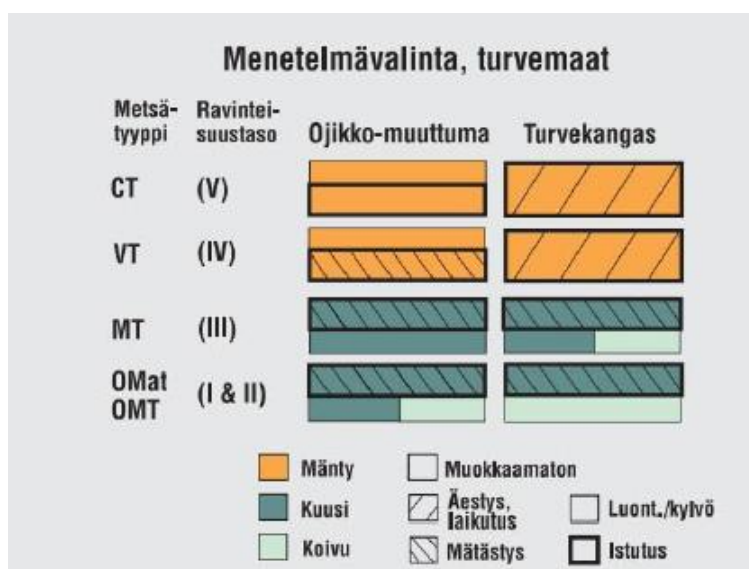
Laikutuksessa kangasmaata tai turvemaata muokataan kaivinkoneen kauhan kärjellä tai vastaavalla niin, että humuskerros poistetaan halutusta kohdasta ja syntyneeseen muokkausjälkeen jää paljas kivennäismaa. Tätä muokkauskohtaa kutsutaan laikuksi. Luontaisesti tai kylvämällä uudistettaessa laikkuun voi jättää hieman humusta. (Nuutinen 2014, 14-15.)

Mätästysmenetelmiä on neljä, ja ne poikkeavat toisistaan vain vähän. Kääntömätästyksessä kaivetaan varsinaisesti tälle menetelmälle tarkoitettulla kaivinkoneen-kauhalla haluttua kohtaa ja kauhaan tarttunut maa-aines käännetään ylösalaisin ja asetetaan syntyneeseen kuoppaan. Näin humus jää kuoppaan pohjimmaisiksi ja kivennäismaa pinnalle. Syntynyt mätäs on maanpintaa hieman korkeammalla ja näin suojelee taimia. Aikanaan mätät kuitenkin painuvat maanpinnan tasolle. Laikkumätästys on melkein sama kuin kääntömätästys, mutta mätäs tehdään muokkauksessa syntyvän kuopan viereen muokkaamattomalle maalle. Tässä menetelmässä etuna on kaksinkertainen humuskerros, johon tuleva taimi kiinnittää juurensa ja saa sitä kautta tarvitsemansa kosteuden. Naveromätästyksessä tarkoituksena on kuivattaa maaperää tekemällä maahan vakoja. Naveron kuivattava vaikutus on kuitenkin pieni. Jos maaperää täytyy kuivattaa kunnolla,

silloin tehdään ojitusmätästys johtamaan vedet pois. Naveroita ja ojia kaivettaessa saadaan hyvää materiaalia mätäitä varten, ja yhdestä kauhallisesta saa monta mätästä. (Nuutinen 2014, 11-14.)



Kuva 2. Muokkausmenetelmän valinta kangasmaille (Nuutinen 2014, 16).



Kuva 3. Muokkausmenetelmän valinta turvemaille (Nuutinen 2014, 17).

4.2 Puun laatu

Kasvupaikka vaikuttaa ratkaisevasti puun laatuun ja puun laatu taas vaikuttaa mihin tarkoitukseen puu käytetään teollisuuden raaka-aineena. Karkeimmat laatuokittelut ovat tukki- ja kuitupuu. Tukkipuun laatuvaatimukset eivät ole muuttuneet paljoakaan aikojen saatossa. Yleisimmät tukkipuuta karsivat tekijät ovat latvamutkaisuus, monivääryys, lahoisuus, sinistymät, toukanreiät, suuret oksankyhyt ja rengas- ja sydänhalkeamat, jotka ulottuvat yli puoleen väliin puun läpimitasta. Mäntytukin minimiläpimitana on pidetty 15,0 cm ja kuusella 16,0 cm. Tukkipuun määrä teollisuuden raaka-aineena vuonna 2016 oli 26 miljoonaa kuutiometriä eli sen osuus koko raaka-ainemäärästä oli 42,1 %. (Metsänhoitoyhdistys 2017, Luke 2017a, Keski-Suomen Metsäkeskus 1999, 3-4.)

Kuitupuun määrä teollisuuden raaka-aineena vuonna 2016 oli 35,8 miljoonaa kuutiota eli 57,9 %. Kuitupuiden laatuvaatimukset vaihtelevat jonkin verran ostajakohtaisesti (Luke 2017a). Yleisesti kuitupuuksi käytetään runkoja, jotka eivät kelpaa tukiksi niiden huonon laadun tai liian pienen läpimitan takia. Yleensä kuitupuiksi kelpaamattomat puut tai puunosat ovat liian epämuodostuneita, sillä liian jyrkät muodot haittaavat kuorimista ja muuta tehdaskäsittelyä. Muita karsivia lautekijöitä ovat pehmeä pintalaho, sekä puussa olevat haitalliset materiaalit, kuten noki, hiili, muovit, metallit tai kivet. (Metsänhoitoyhdistys 2017, Keski-Suomen Metsäkeskus 1999, 13.)

4.3 Biomassa

Biomassalla tarkoitetaan yleisesti eloperäisiä hiilipitoisia aineita, esimerkiksi puuainesta. Metsätalouden näkökulmasta biomassalla käsitetään yleisesti hakkuualueelle puista jäävät osat eli hakkuutähteet. Biomassaa voidaan käsitellä tuorepainona tai kuivapainona. Puustosta saatavaa biomassaa pidetään yhtenä tärkeimmistä uusiutuvista energialähteistä. Hyviä esimerkkejä näistä puupohjaisista energialähteistä ovat kotitalouksissa käytetyt pelletit ja hake, joiden valmis-

tukseen käytetään puunkorjuusta jääviä hakkuutähteitä ja teollisuuden raaka-ainesten sivutuotteita, kuten sahanpurua ja hiontapölyä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2008.)

Biomassan käyttö polttoaineena on noussut merkittävästi, sillä muun muassa hakkeen käyttömäärä vuonna 2016 sähkön- ja lämmöntuotannossa oli 7,4 miljoonaa kiintokuutiota. Luku perustuu ainoastaan voimalaitosten käyttämiin määriin, eikä siihen sisälly omakotitalojen kuluttamaa määrää. Vuonna 2015 kaksi kolmasosaa EU:n uusiutuvista energianlähteistä muodostui biomassasta, jonka avulla pyritäänkin vähentämään voimakkaasti fossiilisten polttoaineiden käyttöä. (Luke 2017b.)

5 Tutkimuksen tavoite

Tutkimuksen tavoitteena oli vastata seuraaviin pääkysymyksiin:

1. Vaikuttaako kulottaminen uuden puusukupolven tilavuuteen ja biomassaan merkittävästi?
2. Kuinka eri muokkaustavat kulotuksen lisäksi vaikuttavat puiden tilavuuteen ja biomassaan?
3. Kuinka biomassan määrä jakautuu puun eri osien suhteen?
4. Vaikuttaako kulottaminen ja/tai maanmuokkaustapa puulajien ja runkomäärien jakautumiseen alueen sisällä?

Tässä tutkimuksessa tavoitteena oli saada tietoa kulotuksen ja maanmuokkaustapojen yhteisvaikutuksista istutetulle männylle sekä kokeen alueelle luontaisesti syntyneille muille puulajeille. Tutkimusmenetelmänä tässä työssä oli kvantitatiivinen tutkimus, sillä tulokset perustuvat numeerisiin, mitattuihin tietoihin. Maastomittauksessa saadut tiedot laskettiin sellaiseen muotoon, että niitä voitiin vertailla vuoden 2012 puustotietoihin ja kulotetun ja kulottamattoman alueen välillä. Tuloksissa on vertailtu myös maanmuokkaustapojen välisiä vaihteluita.

Samanlaisia kulotus-muokkauskoemetsiköitä on perustettu ympäri Suomea. Kaikissa vallitsee erilaiset olosuhteet, ja niistä saadut tulokset voivat vaihdella suurestikin. Kuitenkin samankaltaisesta, ensiharvennuksen jälkeiselle männikölle tehdystä kulotustutkimuksesta on vähän julkaisuja. Kulotuksen vaikutusta taimien kehittymiseen on tarkkailtu useammankin tutkimuksen voimin. Tämä opinnäyte-työ jatkaa Luken kulotus-muokkauskoesarjaa ja on osana tutkimuksen lopullista kokoavaa tulosityhteenvetoa. Vuonna 2012 mitatut puustotiedot tukevat ja täydentävät tähän tutkimukseen mitattua aineistoa.

6 Aineiston mittaus ja tulosten laskenta

6.1 Tammelan tutkimusmetsä

Tammelassa Kanta-Hämeen maakunnassa sijaitseva tutkimuskohde on perustettu vuonna 1988 Metlan aikana. Tutkimuskohteen ensisijainen tarkoitus on seurata ja vertailla kulotettujen sekä kulottamattomien koeruutujen eroja. Tammelan tutkimuspalsta sisältää 24 koeruutua, joista 12 on kulotetulla maaperällä ja toiset 12 kulottamattomalla maaperällä. Kulotus tehtiin kohteelle 31.5.1988. Kaikki koeruudut ovat pinta-alaltaan 30 x 30 metriä, joten koeruutujen kokonaispinta-ala on 2,16 hehtaaria. Kohteen kasvupaikkatyyppi on tuore kangas ja metsätyyppi MT.

Tutkimuskohteelta mitattavat tiedot ja mittausmenetelmät ovat aikaisemmissa mittauksissa olleet pääpiirteittäin samat, jotta saatuja tuloksia voidaan verrata saumattomasti keskenään. Kulotuksen lisäksi tarkasteltiin kohteella käytettyjen maanmuokkausmenetelmien vaikutusta puuston kehitykseen. Koepalstalla käytettyjä muokkausmenetelmiä olivat lautasauraus (äestys), mätästys sekä osa koeruuduista on jätetty kokonaan muokkaamatta. Muokkaustavat ovat jaettu siten, että jokaista tapaa, myös muokkaamatonta, on yhtä paljon kulotetulla sekä kulottamattomalla alueella. (Liite 1.)

Kaikki koeruudut on istutettu männylle, vaikka ennen päätehakkuuta metsikkö oli ollut kuusivaltainen. Esimerkiksi koeruudulla 1 oli ollut 54 kuusta ja ainoastaan 11 mäntyä päätehakkuun hetkellä. Koealueen uudistaminen männylle tehtiin 8.—10.5.1989 ja taimina käytettiin männyn kokoluokkia 2a ja 1a, taimierän tunnus oli T03-82-39. Istutustiheys oli 2 500 tainta hehtaaria kohti. Taimet suojattiin ennen istutusta tukkimiehentäitä vastaan GORI 920 -merkkisellä kasvinsuojeluaineella.

Kohteen hoitotoimenpiteet ovat olleet hyvien metsänhoidon suositusten mukaisia, vaikka metsikkö on perustettu tutkimuskäyttöön. Näin on voitu lisätä tutkimustulosten valtakunnallista vertailukelpoisuutta. Ensimmäinen harvennus puustolle tehtiin talvella 2013, jolloin puustoa harvennettiin koeruudusta riippuen 30–35 % kokonaispuuston pohjapinta-alasta (m²/ha).

Tammelan tutkimuskohdetta on hyödynnetty muihinkin tutkimuksiin kuin pelkääntään kulotuksen tarkasteluun. Esimerkiksi vuonna 1990 Metsäteho tutki eri muokausmenetelmien toimivuutta männyn ja kuusen viljelyyn Etelä-Suomessa, jossa Tammelan tutkimusmetsä oli yksi kohde monista.

6.2 Aineiston mittaus

Päätutkimusmenetelmänä Tammelassa sijaitsevan koepuuston tutkimiseen käytettiin marraskuussa 2017 maastomittauksin kerättyä mittausdataa. Kokeen jokaisen 24 koeruudun sisällä olevista puista mitattiin rinnankorkeusläpimita ristimittauksella. Lämpimitan mittaaminen ristimittauksella huomioi paremmin puun mahdollista muotovaihtelua, kuten soikeutta. Koeruudulla joka kolmannesta koepuusta mitattiin pituus ja elävän latvuksen alaraja. Lisäksi jokaisesta koeruudusta valittiin silmämääräisesti kolme läpimitaltaan suurinta puuta valtapuiksi, joista mitattiin myös pituus ja latvuksen alaraja, jos ne eivät olleet jo sattuneet systemaattisesti kahden puun välein valittaviin koepuihin.

Jokaiselle puulle määritettiin rinnankorkeus, joka merkittiin punaisella liidulla runkoon. Rinnankorkeuden määrittäminen tapahtui 1,3 metriä pitkällä rinnankorkeuskepillä siten, että kepin alapää asetettiin puunjuuren ja maanpinnan tuntuun oletettuun syntypisteeseen, jolloin kepin toinen pää oli 1,3 metrin korkeudella syntypisteestä. Jos rinnankorkeus sattui oksakrymyn tai jonkin muun epämuodostuman kohdalle, laskettiin rinnankorkeuden taso mahdollisimman kaapeaan rungon kohtaan todellisen rinnankorkeuden alapuolelle.

Läpimitta mitattiin liidulla merkitystä rinnankorkeudesta ja mittaamiseen käytettiin mittasaksia. Mittausarvot kirjattiin maastotietokoneella maastomittauslomakkeelle (liite 2) (tietokoneen ollessa epäkunnossa, taulukko kopioitiin paperille ja tiedot kirjattiin käsin). Läpimitan ristimittaus tapahtui niin, että ensimmäinen läpimitta (lomakkeella d 1,3a) otettiin mittasaksien varren osoittaessa koeruudun keskipisteeseen ja toinen läpimitta (d 1,3b) saksien kärkien osoittaessa koeruudun keskipisteeseen. Puiden pituudet (pit) ja latvusalarajat (lr) mitattiin Haglöf Vertex IV-GS -ultraäänikorkeusmittarilla.

6.2.1 Latvuksen alarajan mittaus

Latvuksen alarajalla tarkoitetaan sitä puunrungon kohtaa, josta alkaa elävä latvus. Tässä tutkimuksessa yhtenäisen elävän latvuksen alarajan katsottiin olevan alin elävä oksa, jonka yläpuolella saa olla korkeintaan yksi kuollut oksa, jonka jälkeen jatkuu taas elävät oksat. Jos alimman elävän oksan yläpuolella on kaksi tai useampi kuollut oksa, latvuksen alaraja siirtyy niin ylös, että vastaan tulee yhtenäisen elävän latvuksen tunnuksen täyttävä kohta. Tarkoituksena oli selvittää koealojen koepuiden latvuksen pituus ja osuus koko puun pituudesta. Elävän latvuksen pituutta käytettiin biomassan laskennassa.

Luke käyttää tätä latvus alarajan mittausohjetta vakiintuneena menetelmänä puiden mittauksessa tutkimuksissaan.

6.3 Tulosten laskeminen

Tutkimuskysymyksiin vastaamista varten oli laskettava mittausdataa hyödyntäen useita puutunnuksia. Ensisijaisesti tarkastelun kohteena olivat nykypuuston tilavuus (m^3/ha) ja biomassa (kg/ha). Vuoden 2012 puustotiedoissa oli mukana harvennuksen poistuma, jonka avulla laskettiin puuston kokonaistilavuuden kertymä (nykypuuston tilavuus + poistuman tilavuus) tähän saakka. Harvennusta varten oli silloin myös laskettu jäävän puuston tiedot, joista voitiin katsoa, minkä kokoista nykypuusto oli vuonna 2012. Näiden tietojen avulla voitiin laskea ja selvittää kuinka paljon keskiläpimitat, keskipituudet ja tilavuudet olivat kasvaneet viiden vuoden aikana. Kaikkia laskettuja tunnuksia ei ole käytetty tämän työn tuloksissa. Kaikki tunnuksat löytyvät liitteistä 3 ja 4.

Laskennan yhteydessä saadut keskiläpimitat kuvaavat tarkasti koeruutujen puiden paksuutta, sillä koeruudun jokaiselle puulle on mitattu läpimita. Keskipituus laskettiin koepuiden pituuksien avulla luotujen mallien mukaan. Valtapuiden avulla laskettiin jokaiselle koeruudulle valtaläpimita ja valtapituus. Kuolleet puut on kirjattu tiedonkeruulomakkeelle, mutta eivät ole mukana tuloksien laskelmissa.

Mitattuja läpimittoja ja pituuksia sekä pituusmalleilla laskettuja koeruutukohtaisia pituuksia hyödyntämällä koepuuston jokaiselle puulle laskettiin tilavuus (m^3). Koepuiden pituuksien avulla luotiin jokaiselle koeruudulle oma pituusmallinsa, joista voitiin estimoida pituudet jokaiselle rinnankorkeusläpimitalle. Näillä pituusmalleilla saatiin arvioitua pituudet niille puille, joille ei ollut mitattua pituutta. Läpimittaa ja pituutta tarvitsi jokaisen puun tilavuuden laskentaan. Myös biomassalaskuissa hyödynnettiin mitattuja arvoja latvusalarajojen mallintamisessa ei-koepuille.

Biomassan laskemiseen käytettiin Repolan 2007 -laskukaavoja. Biomassat laskettiin jokaiselle puulle ja niiden avulla koeruutukohtaiset biomassan keskiarvot (kg). Biomassan laskennassa tulee myös mukaan koepuille mitattujen latvusten alarajojen arvot ja niiden avulla luodut koeruutukohtaiset latvusalarajamallit.

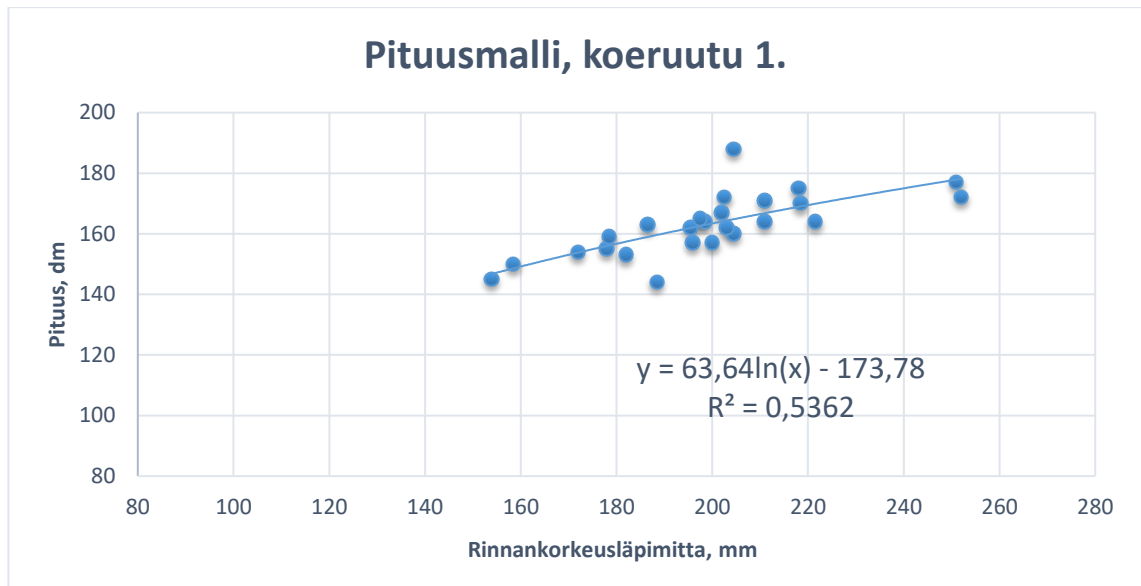
Biomassat laskettiin aikaisemmin mainituilla kaavoilla puulajeittain, jotta saadaan huomioitua esimerkiksi koivun vähäisempi oksaisuus saaduissa tuloksissa. Saadut tulokset ilmoitettiin kilogrammaa hehtaaria kohden (kg/ha).

6.3.1 Pituusmallit

Pituusmallien avulla saatiin pituudet puille, joilla ei ollut mitattua pituutta. Koeruu-tukohtaiset mallit antoivat pituuden jokaiselle rinnankorkeusläpimitalle. Pituus-mallien tekemiseen tarvitsi mahdollisimman tarkat arvot koepuiden rinnankor-keusläpimitoista ja pituuksista. Nämä arvot taulukoitiin, ja tästä taulukosta luotiin regressiomalli (läpimitta x-akseli, pituus y-akseli), jossa näkyi pituusyhtälö kuvaajana. Se yhtälö antoi pituuden jokaiselle mitatulle läpimitalle. Myös selitysastetta (R^2) tarkasteltiin. Mitä lähempänä R^2 on lukua 1, sen paremmin valitut otokset asettuvat regressiosuoralle. Mikäli arvoksi saadaan 1, ovat otokset asettuneet malliin mukaan täydellisesti. Vastaavasti arvon ollessa 0 otoksista saaduilla arvoilla ei ole lineaarista riippuvuutta. Saatu y-akselin yhtälö syötettiin Excelissä kaavariville ja muuttujan x tilalle täydennettiin jokaisen puun oma rinnankorkeus-läpimitta.

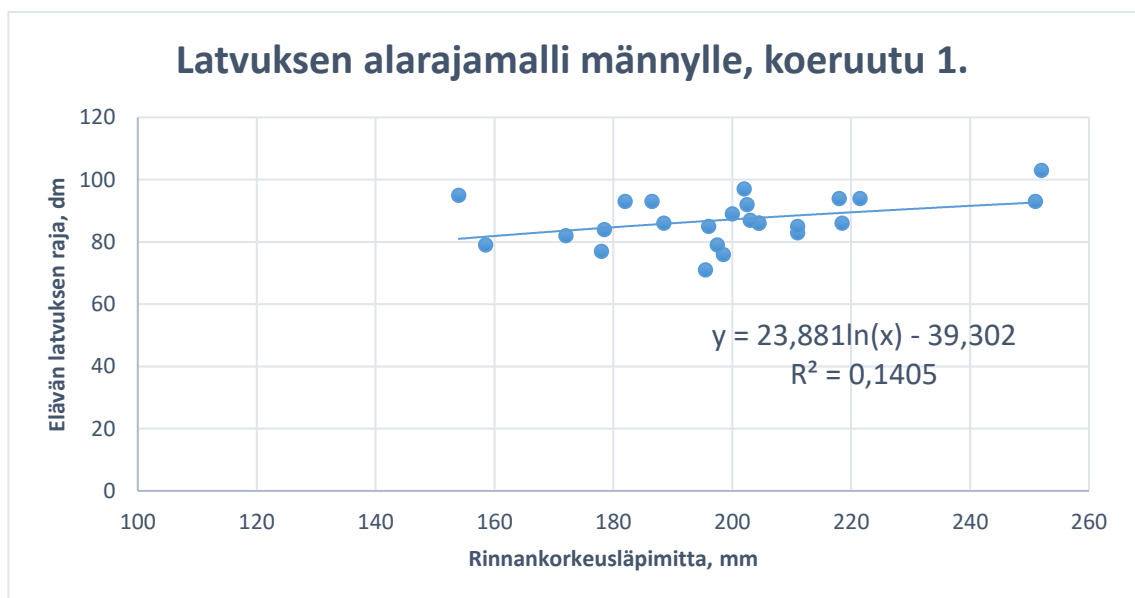
Koepuiden lisäksi mitatut valtapuut eli koeruu-tujen suurimmat puut eivät olleet pituusmallien laskennassa mukana, koska silloin mallit olisivat estimoineet pituu-det yläkanttiin. Suuret valtapuut, jotka olivat myös sattuneet varsinaisiksi koepuiksi, olivat mukana mallinnuksessa, koska ne olivat sattuneet systemaattiseen koepuuotantaan.

Pituusmallin esimerkissä (kuvio 1) pituusyksiköt ovat desimetrejä ja läpimittayk-siköt millimetrejä, mutta laskentavaiheessa yksiköt muutettiin kaavojen vaatimiksi metreiksi ja senttimetreiksi.



Kuvio 1. Esimerkki pituusmallista.

Ei-koepuiden latvusrajojen pituuksien mallintamiseen käytettiin myös koeruutu-kohtaisia koepuiden mitattuja arvoja. Esimerkkinä koeruutu 1:n latvuksen alarajamalli (kuvio 2).



Kuvio 2. Esimerkki latvus alarajan pituusmallista.

Koivuille ja kuusille ei olisi ollut realistista laskea omaa pituusmallia, sillä niitä oli koealueella niin vähän verrattuna pääpuulaji mäntyyn ja niitä sattui niin harvoin koepuiksi.

6.3.2 Laasasenahon tilavuusyhtälö

Kaikkien puiden tilavuudet laskettiin Laasasenahon tilavuusmallin avulla. Runko-tilavuuksissa oli kuoret mukana. Tulokset laskettiin ensiksi koeruuduittain kaikkien puiden tilavuuksien summaksi (m³). Kun koeruudun yhteisrunkotilavuus ja pinta-ala olivat tiedossa, voitiin laskea metsätaloudessa yleisimmin käytetty määre, kuutiometriä hehtaarille (m³/ha). Vuoden 2012 puustotiedoista saaduilla jäävän puuston tiedoilla voitiin laskea myös, kuinka puusto oli kasvanut kuutiometriä hehtaaria kohden vuodessa (m³/ha/a).

Tilavuuksia laskettaessa puulaji on otettu huomioon laskentakaavoissa. Laasasenahon rinnankorkeuteen ja pituuteen perustuvissa malleissa on jokaiselle puulajille oma mallinsa. Kyseisellä mallilla laskettaessa tulosten keskivirheet ovat männylle 7,2 %, kuuselle 7,6 % ja koivulle 8,5 %. Tässä tutkimuksessa keskivirheet lopullisissa kuutiomäärissä voivat kuitenkin vaihdella, sillä suurin osa puista (ei-koepuut) on kuutioitu estimoituja pituusarvoja käyttäen. Laasasenahon tilavuusyhtälöt (Laasasenaho 1982):

Rinnankorkeusläpimittaan (d) ja pituuteen (h) perustuvat mallit		keskivirhe, %
Mänty	$v = 0,036089 \times d^{2,01395} \times (0,99676)^d \times h^{2,07025} \times (h - 1,3)^{-1,07209}$	7,2
Kuusi	$v = 0,022927 \times d^{1,91505} \times (0,99146)^d \times h^{2,82541} \times (h - 1,3)^{-1,53547}$	7,6
Koivu	$v = 0,011197 \times d^{2,10253} \times (0,98600)^d \times h^{3,98519} \times (h - 1,3)^{-2,65900}$	8,5

6.3.3 Repolan biomassamallit

Repolan biomassamallien avulla pyrittiin laskemaan biomassan määrät kulotuskokeessa mitatulle puustolle. Biomassa laskettiin rungon puuainekselle, kuorelle, eläville oksille, neulasille/lehdille, kannoille sekä yhtä (1) senttimetriä suuremmille juurille. Biomassaa ei laskettu kuolleille oksille, koska niiden määrä olisi ollut liian pieni, eikä se olisi vaikuttanut oleellisesti kokonaismäärään. (Repola, Lindblad & Laitila 2013.)

Biomassat laskettiin kolmen muuttujan kaavalla, jonka muuttujat olivat puiden pituus, rinnankorkeusläpimitta ja elävä latvus. Jokaiselle tässä tutkimuksessa mitatulle puulajille eli männylle, kuuselle ja koivulle, oli oma mallinsa.

Laskennassa pituudet muutettiin metreiksi, rinnankorkeusläpimitat senttimetreiksi ja elävän latvuksen pituudet metreiksi. Elävän latvuksen pituus saatiin, kun puun pituudesta vähennettiin latvuksen alarajan korkeus.

Pituuteen, läpimittaan ja latvussuhteeseen perustuvat männyn biomassamallit puun eri osien laskemiseen. Laskennassa käytetyt parametrit taulukko 1. Männyn biomassamallien laskukaavat. (Repola ym. 2013):

Läpimittaan, pituuteen ja latvussuhteeseen perustuvat mallit puun latvusbiomassakomponenteille

Mänty

$$\text{Rungon puuaine: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 14)} + b_2 \frac{h_{ski}}{(h_{ski} + 12)} \quad (2)$$

$$\text{Rungon kuori: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 12)} + b_2 \ln(h_{ki}) \quad (3)$$

$$\text{Elävät oksat: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 12)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki} + 8)} + b_3 \ln(cl_{ki}) \quad (20)$$

$$\text{Neulasat: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 4)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki} + 1)} + b_3 \ln(cl_{ki}) \quad (21)$$

$$\text{Kanto: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 12)} \quad (6)$$

$$\text{Juuret >1 cm: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 8)} \quad (7)$$

y_{ki} = biomassa, kg

$d_{ski} = 2 + 1.25 d_{ki}$ (d_{ki} = rinnankorkeusläpimitta), cm

h_{ki} = puun pituus, m

Taulukko 1. Männyyn biomassamallien parametrit (Repola ym. 2013).

	Rungon puuaine kaava 2.	Rungon kuori Kaava 3.	Elävät oksat Kaava 20.	Neulaset Kaava 21.	Kanto Kaava 6.	Juuret >1 cm kaava 7.
Fixed						
b_0	-3,778	-4,756	-5,224	-2,385	-6,739	-9,601
b_1	8,294	8,616	13,022	15,022	12,658	15,931
b_2	4,949	0,227	-4,867	-11,979	-	-
b_3	-	-	1,058	1,116	-	-
Random						
$\text{var}(u_k)$	0,002	0,013	0,020	0,034	0,009	0,000
$\text{var}(e_{ki})$	0,008	0,054	0,067	0,095	0,044	0,065

Esimerkkilaskukaava männylle (Repola ym. 2013):

$$y_{ki} = \exp \left(-3.788 + 8.294 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 14)} + 4.949 \frac{h_{ski}}{(h_{ski} + 12)} + \frac{(0.002 + 0.008)}{2} \right)$$

Pituuteen, läpimittaan ja latvussuhteeseen perustuvat kuusen biomassamallit puun eri osien laskemiseen. Laskennassa käytetyt parametrit taulukossa 2. Kuusen biomassamallien laskukaavat. (Repola ym. 2013):

Läpimittaan, pituuteen ja latvussuhteeseen perustuvat mallit puun latvusbiomassakomponenteille

Kuusi

$$\text{Rungon puuaine: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{Ski}}{(d_{Ski} + 14)} + b_2 \ln(h_{ki}) + b_3 h_{ki} \quad (8)$$

$$\text{Rungon kuori: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{Ski}}{(d_{Ski} + 18)} + b_2 \ln(h_{ki}) \quad (9)$$

$$\text{Elävät oksat: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{Ski}}{(d_{Ski} + 14)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki} + 5)} + b_3 \ln(cl_{ki}) \quad (22)$$

$$\text{Neulaset: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{Ski}}{(d_{Ski} + 4)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki} + 1)} + b_3 \ln(cl_{ki}) \quad (23)$$

$$\text{Kanto: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{Ski}}{(d_{Ski} + 26)} \quad (12)$$

$$\text{Juuret >1 cm: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{Ski}}{(d_{Ski} + 24)} \quad (13)$$

y_{ki} = biomassa, kg

$d_{Ski} = 2 + 1.25 d_{ki}$ (d_{ki} = rinnankorkeusläpimitta), cm

h_{ki} = puun pituus, m

Taulukko 2. Kuusen biomassamallien parametrit (Repola ym. 2013).

	Rungon puuaine kaava 8.	Rungon kuori Kaava 9.	Elävät oksat Kaava 22.	Neulaset Kaava 23.	Kanto Kaava 12.	Juuret >1 cm kaava 13.
Fixed						
b_0	-3,655	-4,349	-2,945	0,286	-3,962	-2,295
b_1	7,942	9,879	12,698	16,286	11,725	10,649
b_2	0,907	0,274	-6,183	-15,576	-	-
b_3	0,018	-	0,959	1,170	-	-
Random						
$\text{var}(u_k)$	0,020	0,034	0,013	0,021	0,013	0,011
$\text{var}(e_{ki})$	0,067	0,095	0,072	0,090	0,054	0,044

Pituuteen, läpimittaan ja latvussuhteeseen perustuvat koivun biomassamallit puun eri osien laskemiseen. Laskennassa käytetyt parametrit taulukossa 3. Koivun biomassamallien laskukaavat. (Repola ym. 2013):

Läpimittaan, pituuteen ja latvussuhteeseen perustuvat mallit puun latvusbiomassakomponenteille

Koivu

$$\text{Rungon puuaine: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 12)} + b_2 \ln(h_{ki}) \quad (14)$$

$$\text{Rungon kuori: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 12)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki} + 20)} \quad (15)$$

$$\text{Elävät oksat: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 12)} + b_2 \frac{h_{ki}}{(h_{ki} + 12)} + b_3 cl_{ki} \quad (24)$$

$$\text{Lehdet: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 2)} + b_2 cr_{ki} \quad (25)$$

$$\text{Kanto: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 26)} \quad (18)$$

$$\text{Juuret >1 cm: } \ln(y_{ki}) = b_0 + b_1 \frac{d_{ski}}{(d_{ski} + 22)} + \ln(h_{ki}) \quad (19)$$

y_{ki} = biomassa, kg

$d_{ski} = 2 + 1.25 d_{ki}$ (d_{ki} = rinnankorkeusläpimitta), cm

h_{ki} = puun pituus, m

Taulukko 3. Koivun biomassamallien parametrit (Repola ym. 2013).

	Rungon puuaine kaava 14.	Rungon kuori Kaava 15.	Elävät oksat Kaava 24.	Lehdet Kaava 25.	Kanto Kaava 18.	Juuret >1 cm kaava 19.
Fixed						
b_0	-5,001	5,449	-4,837	-20,856	-3,667	-3,183
b_1	9,284	9,967	13,222	22,320	13,537	7,024
b_2	1,143	2,894	-3,139	-	-	0,892
b_3	-	-	0,135	-	-	-
Random						
$\text{var}(u_k)$	0,003	0,011	0,013	0,011	0,021	0,047
$\text{var}(e_{ki})$	0,005	0,044	0,540	0,044	0,046	0,027

6.3.4 Tilastollinen testaus

Tilastollisen testauksen tarkoituksena on selvittää, onko otoksista saadut muutokset, riippuvuudet tai ryhmien väliset erot yleistämiskelpoisia koskemaan koko perusjoukkoa. Testauksella on tarkoitus poistaa mahdollisen sattuman osuus saaduista tuloksista. (Heikkilä 2014.)

Tilastollisen testauksen hypoteeseista käytetään nimeä nollahypoteesi. Tässä työssä nollahypoteesina toimi ”tulokset ovat enintään yhtä suuret”. Tulosten paikkansa pitävyyden kertoo p-arvo. Muuttujien tilastollinen testaus antaa p-arvon ilmoitetuista tiedoista, minkä tarkoitus on näyttää tietojen tilastolliset merkitsevyydet. Mitä pienempi p-arvon tulos on, sitä tilastollisesti merkitsevämpi se on. Merkitsevyydet (Heikkilä 2014):

- Tilastollisesti erittäin merkitsevä, jos $p \leq 0,001$ ***
- Tilastollisesti merkitsevä, jos $0,001 < p \leq 0,01$ **
- Tilastollisesti melkein merkitsevä, jos $0,01 < p \leq 0,05$ *

Aineistoa testattiin kulotetun ja kulottamattoman alueiden arvojen välillä kahden riippumattoman otoksen t-testillä ja kahden otoksen f-testillä variansseille. Testit suoritettiin Excelin analyysityökalun avulla. Aineiston tilastollista testausta maanmuokkaustapakohtaisesti ei pystytty tekemään, koska silloin aineisto olisi mennyt liian suppeaksi ja tulokset olisivat olleet epäluotettavia.

7 Tulokset ja päätelmät

Tässä työssä kulotuksen vaikutuksia lähdettiin selvittämään ensiksi runkolukujen ja puulajijakaumien kautta. Vaikka runkomäärät ovat hyvin paljon riippuvaisia harvennuksesta, on silti niiden tulokset otettu mukaan vertailuun, sillä aikaisemmissa

samankaltaisissa tutkimuksissa oli hyvin selitetty kulotuksen ja maanmuokkauksen vaikutuksista runkomääriin. Kyseisien tutkimusten tulokset tukivat tämän työn vastaavanlaisia tuloksia.

Seuraavaksi tarkasteltiin tilavuuksia ja biomassaa. Niiden laskentaan tarvitsi selvittää jokaiselle kokeessa mukana olleelle puulle läpimitat ja pituudet. Koska jokaiselle puulajille oli joko mitattu tai laskettu läpimita- ja pituusarvo, voitiin niistä laskea tarkat keskiläpimitat ja -pituudet. Tuloksissa ei kuitenkaan paljoa tarkastella kyseisten arvojen vaihtelua kulotetulla ja kulottamattomalla alueella eikä muokkaustapakohtaisesti, vaan on keskitytty enemmän tämän tutkimuksen kannalta olennaisimpiin puustotunnuksiin.

Keskiläpimita oli 18,49 cm kulotetulla alueella ja kulottamattomalla 19,79 cm, eli 1,30 cm suurempi kuin kulotetulla. Läpimittojen keskihajonta oli kulotetulla 1,00 cm ja ei-kulotetulla 0,99 cm. Molempien alueiden puiden keskipituuksiksi saatiin noin 15,4 metriä (kulotettu 15,356 m ja kulottamaton 15,419 m ja pituuksien keskihajonnat olivat 64,7 cm ja 59,5 cm). Puut olivat keskimäärin vain 6,2 cm pitempiä kulottamattomalla alueella verrattuna kulotettuun alueeseen.

Keskipituuksien osalta kulotuksen vaikutuksia ei voitu varmaksi todeta, koska erot olivat niin pienet. Muokkaamattoman maaperän puut olivat keskimääräistä paksumpia mutta jäivät pituudessa koealueen muusta puustosta jälkeen. Mahdollinen selitys kulottamattoman ja muokkaamattoman alueen paksummille puille saadaan myöhemmin tuloksien runkomäärät ja puulajijakauma -kappaleessa.

Tuloksien osalta tilastolliset testit tehtiin kulotetun ja kulottamattoman alueen kesken keskiläpimitoille, keskipituuksille, tilavuuksille, tilavuuskasvulle ja latvuksen alarajoille.

Keskiläpimittojen tilastollisella testauksella selvitettiin, onko kulotuksella tilastollisesti merkitsevyyttä keskiläpimittojen osalta. Riippumattomien otoksien t-testille luotiin hypoteesit: H0: keskiarvot ovat korkeintaan yhtä suuret, H1: kulotetun alueen keskiläpimita on suurempi. Testin tuloksena p-arvo oli 0,002092 eli pienempi

kuin 0,01 eli on tilastollisesti merkitsevä (taulukko 4). H0 hypoteesi siis hylätään ja H1 jää voimaan.

Taulukko 4. Kahden riippumattoman otoksen t-testi tulos keskiläpimitalle.

Kahden otoksen t-testi olettaen varianssit yhtä suuriksi		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	18,48903255	19,78868
Varianssi	1,000668935	0,985325
Havainnot	12	12
Yhdistetty varianssi	0,992996971	-
Arvioitu keskiarvojen ero	0	-
va	22	-
t Tunnusluvut	-3,19466784	-
P(T<=t) yksisuuntainen	0,002092151	-
t-kriittinen yksisuuntainen	1,717144374	-
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,004184303	-
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,073873068	-

Kahden otoksen f-testillä variansseille testattiin kulotetun ja kulottamattoman alueen keskiläpimittojen yhdensuuruutta. Varianssien yhdensuuruuden testaamiseen luotiin hypoteesit: H0: varianssit ovat yhtäsuuret, H1: varianssit ovat erisuurat. Testin tuloksena p-arvo = 0,49 > 0,05 eli ei ole tilastollisesti merkitsevä ja H0 jää voimaan (taulukko 5).

Taulukko 5. Varianssien f-testin tulos keskiläpimitalle.

Kahden otoksen F-testi variansseille		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	18,48903	19,78867547
Varianssi	1,000669	0,985325008
Havainnot	12	12
va	11	11
F	1,015572	-
P(F<=f) yksisuuntainen	0,490008	-
F-kriittinen yksisuuntainen	2,81793	-

Myös keskipituuksille tehtiin tilastolliset testaukset. Riippumattomien otosten t-testiä varten laadittiin hypoteesit H_0 : keskiarvot ovat korkeintaan yhtäsuuret, H_1 : kulotetun keskipituus on suurempi. Tuloksena p-arvo = 0,417743 > 0,05, joten H_0 jää voimaan (taulukko 6). Keskiarvot ovat korkeintaan yhtäsuuret ja kulotuksella ei ole tilastollista merkitsevyyttä.

Taulukko 6. Kahden riippumattoman otoksen t-testin tulos keskipituudelle.

Kahden otoksen t-testi olettaen varianssit yhtä suuriksi		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	15,35134489	15,40474
Varianssi	0,408385425	0,366417
Havainnot	12	12
Yhdistetty varianssi	0,387401459	-
Arvioitu keskiarvojen ero	0	-
va	22	-
t Tunnusluvut	-0,210146765	-
P(T<=t) yksisuuntainen	0,417743591	-
t-kriittinen yksisuuntainen	1,717144374	-
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,835487182	-
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,073873068	-

Keskipituuksien varianssien yhtäsuuruustestissä hypoteesit olivat muotoa H_0 : varianssit ovat yhtäsuuret, H_1 : varianssit ovat erisuuret. Tuloksena hypoteesi H_0 jää voimaan, koska p -arvo = 0,430246 > 0,05 (taulukko 7). Varianssit ovat siis yhtäsuuret.

Taulukko 7. Varianssien yhtäsuuruus f-testin tulos keskipituudelle.

Kahden otoksen F-testi variansseille		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	15,35134	15,40474323
Varianssi	0,408385	0,366417493
Havainnot	12	12
va	11	11
F	1,114536	-
P(F<=f) yksisuuntainen	0,430246	-
F-kriittinen yksisuuntainen	2,81793	-

7.1 Runkomäärät ja puulajijakauma

Kaikkien 24 koeruudun sisällä oli yhteensä 1 798 mitattavaa puuta, joista 94,99 % oli mäntyjä, 1,39 % kuusia ja 3,62 % raudus- tai hieskoivuja. Määrällisesti kulotetulla alueella oli enemmän runkoja kuin kulottamattomalla. 54,78 % (985 kpl) kaikista rungoista sijaitsi kulotetulla alueella. Keskimääräisesti yhdellä kulotetulla koeruudulla oli 81,75 puuta ja kulottamattomalla koeruudulla 67,58 puuta.

Vuoden 2012 mittauksessa kulotetun alueen koko puuston keskiläpimitaksi saatiin 16,26 cm ja kulottamattoman alueen 17,42 cm. Suositusten mukaan Etelä-Suomessa sijaitsevaan tuoreen kankaan kuusikkoon ja männikköön tulisi harvennuksen jälkeen jättää noin 700—900 runkoa hehtaaria kohden (r/ha), jos jäävän puuston keskiläpimita on 17 cm (Tapio 2014, 25). Vuoden 2017 mittaustiedoilla saatiin laskettua kulotetulle alueelle keskimääräiseksi runkoluvuksi 912 r/ha ja

kulottamattomalle 753 r/ha, eli suosituksiin verrattuna koepuusto on harvennettu vuonna 2013 oikeaan tiheyteen.

Ennen ensiharvennusta vuonna 2012 puuston tiheys on ollut kulotetulla alueella keskimäärin 1 733,3 r/ha ja ei-kulotetulla alueella 1 406,5 r/ha. Saatujen tietojen mukaan 2012 vuoden inventoinnissa jääväksi puustoksi tarkoitettuja puita oli lähtenyt harvennuksen yhteydessä. Syynä tälle oli ollut harvennukseen käytetty liian järeä harvesteri. Järeämpi harvesteri on vaatinut leveämmän ajouran, jolloin ylimääräisiä puita on pitänyt poistaa. Kuitenkin joitakin poistuviksi leimattuja puita oli jätetty hakkaamatta ylimääräisten poistuneitten tilalle. Suunniteltu puuston tiheys kulotetulle alueelle oli 937 r/ha ja ei-kulotetulle 733,3 r/ha. Kulotetun alueen ylimääräistä poistumaa on siis tasoitettu ottamalla kulottamattomalta suunniteltua vähemmän puuta. Keskimääräisesti, eniten eroa suunnitellun runkoluvun ja toteutuneen runkoluvun välillä oli äestetyillä koeruuduilla, mikä voi vaikuttaa tuloksien muokkaustapakohtaisiin eroihin.

Jo mittausvaiheessa huomattiin selvä ero kulotetun ja kulottamattoman alueen välillä puulajijakaumassa. Kulotetulla maaperällä ei kasvanut yhtään kuusta ja ei-kulotetulla puusto koostui jopa 3 % kuusista. Myös raudus- ja hieskoivuja esiintyi yli puolet enemmän kulottamattomalla kuin kulotetulla.

Puulajien jakautuminen kulotetulla alueella muokkaustapojen kesken oli myös selkeästi nähtävissä. Koivut suosivat erityisesti muokkaamatonta maaperää. Koivuista 14/20 kasvoi muokkaamattomalla, 5/20 äestetyllä ja 1/20 mätästetyllä maaperällä (taulukko 8). Mätästetyillä koeruuduilla mäntyjen lukumäärä on hie- man alhaisempi kuin muilla muokkaustavoilla.

Taulukko 8. Puulajien jakautuminen kulotetuilla koeruuduilla muokkaustavan mukaan.

Kulotettu	Mänty	Kuusi	Koivu
Mätästys	294	0	1
Äestys	346	0	5
Muokkaamaton	325	0	14

Taulukosta 9 nähdään, kuinka koivun suosima muokkaustapa muuttui verrattuna kulotettuun maaperään. Koivu tuntuu suosivan mätästettyjä ja äestettyjä koeruutuja, kun taas kuusi menestyy koivua paremmin muokkaamattomilla ruuduilla. Tämä voi johtua kuusen kyvystä uudistua paremmin luontaisesti MT-metsissä. Kulottamattomalla alueella mätästetyt ja äestetyt koeruudut sattuivat usein tasaisille ja hieman notkomaisille paikoille, joissa oli koivulle suotuisasti kosteutta.

Taulukko 9. Puulajien jakautuminen kulottamattomilla koeruuduilla muokkaustavan mukaan.

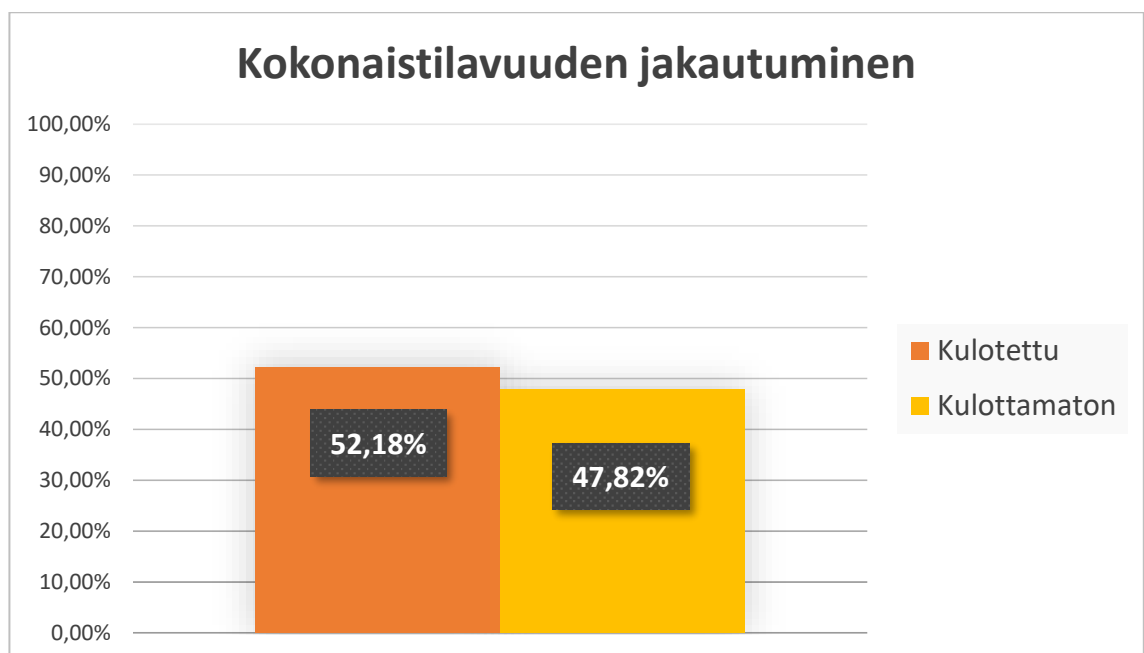
Kulottamaton	Mänty	Kuusi	Koivu
Mätästys	293	2	21
Äestys	278	3	19
Muokkaamaton	178	20	5

Huomattavaa oli myös muokkaamattomien koeruutujen runkomäärä, joka oli 100 runkoa pienempi kuin muilla muokkaustavoilla käsiteltyjen ruutujen. Maan muokkaamatta jättäminen ei ole missään tilanteessa suositeltu vaihtoehto männyn kannalta (kuva 2, 11.).

Kulottamattomien, muokkaamattomien koeruutujen puiden keskimääräistä suurempi läpimitta voi olla selitettävissä niiden harvalla runkoluvulla. Harvaan kasvavassa metsässä puilla ei ole kilpailua auringonsaannin suhteen, joten puut eivät kasvata pituutta vaan paksuutta. Myös täysin käsittelemättä jäänyt maaperä voi olla ravinteiltaan niukka kasvupaikka, jolloin kasvu keskittyy puun juuriin ja rungon alaosiin.

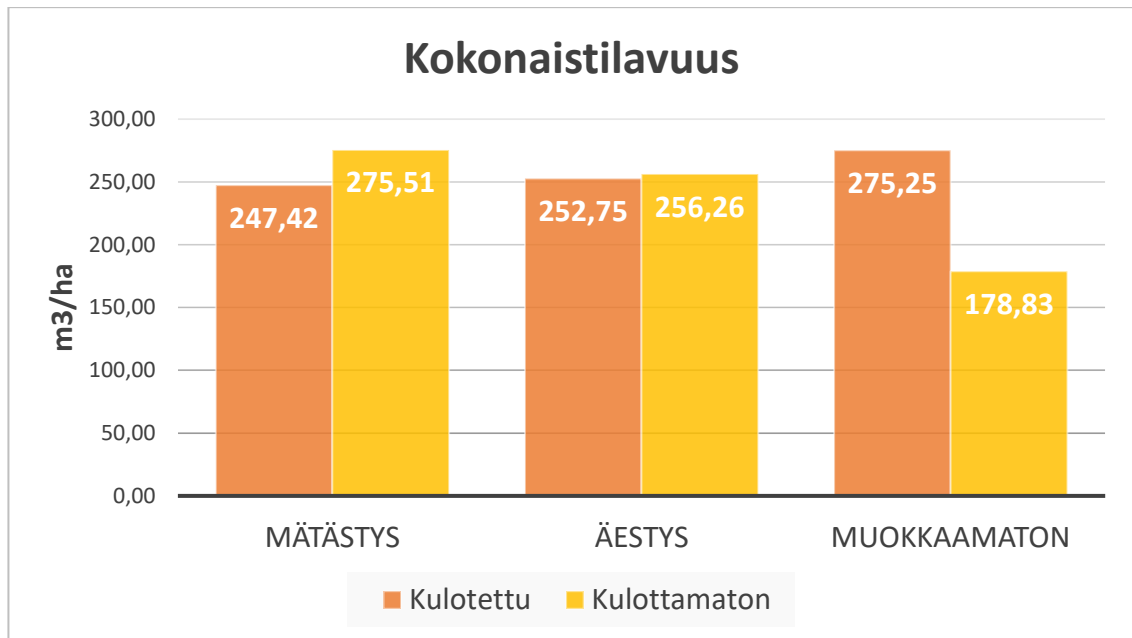
7.2 Tilavuus

Kaikilta koeruuduilta saatiin puiden yhteistilavuudeksi Laasasenahon rinnankorkeuteen ja pituuteen perustuvalla kuutioimisytälöllä 400,91 m³. Tuohon tilavuuteen lisättiin vielä harvennuksen poistuma kuutiometreinä, 134,05 m³, josta saatiin puuston tilavuuden kokonaistilavuuden kertymä, joka oli 534,97 m³. Ei ole yllättävää, että kun suurin osa kaikista rungoista oli kulotetuilla koeruuduilla, niin silloin myös kokonaistilavuudestakin suurin osa, 52,18 %, oli kulotetulla alueella (kuvio 3). Vuoden 2012 puuston vastaava osuus oli 53,65 %.



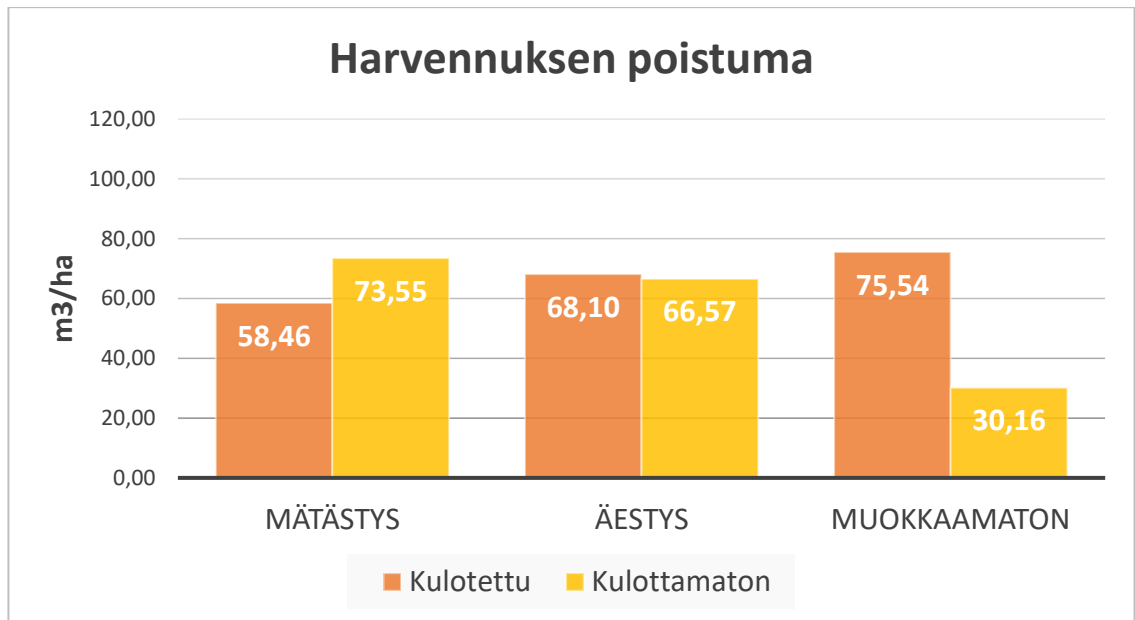
Kuvio 3. Kokonaistilavuuden kertymän (nykypuusto + poistuma) jakautuminen kulotetun ja ei-kulotetun alueen välillä.

Kokonaistilavuuden kertymää tarkastellessa muokkaustavoittain näkyy, kuinka kertymä jakaantui koeruuduille melko tasaisesti. Ainoastaan kulottamattoman alueen muokkaamattomilla koeruuduilla kokonaistilavuus jäi huomattavasti keskimääräistä alhaisemmaksi (kuvio 4). Kyseisillä koeruuduilla tilavuuden kertymistä rajoitti koeruutujen alhainen runkoluku ja puiden keskimääräistä lyhyempi pituus.



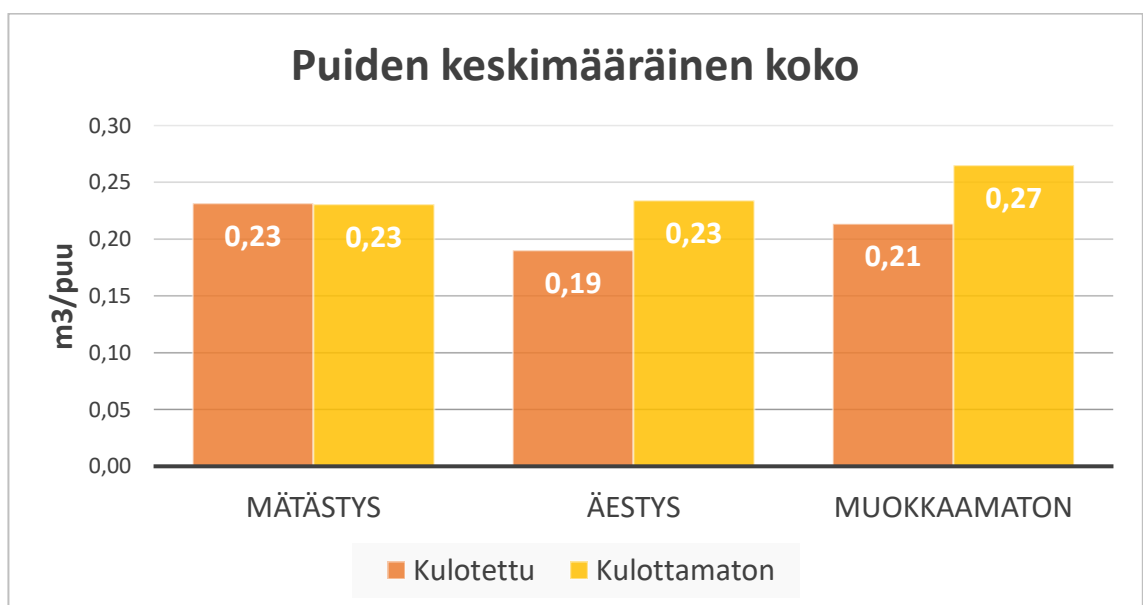
Kuvio 4. Kokonaistilavuuden kertymän jakautuminen muokkaustavoittain kulotetulle ja kulottamattomalle alueelle.

Lisäksi pohdittiin kulotuksen mahdollista vaikutusta harvennuksen saantoon. On selvää, että aikaisemmin tuloksissa mainitut kulotetun ja kulottamattoman alueen runkoluvut ja kokonaistilavuuden määrä vaikuttivat harvennuksen poistumaan. Kulotetun alueen hakkuusaanto oli keskimäärin 67,4 m³/ha ja kulottamattoman 56,8 m³/ha. Kuviosta 5 nähdään, että kulotettujen muokkaamattomien koeruutujen poistuma on ollut paljon suurempi kuin muiden koeruutujen. Muokkaamattomilta kulottamattomilta koeruuduilta sen sijaan saanto on ollut keskimääräisesti jopa puolet pienempää muihin verrattuna. Voidaan todeta, että kulotuksella on ollut selvästi jonkinlaista vaikutusta harvennuksen saantoon muokkaamattomilla koeruuduilla.



Kuvio 5. Harvennuksen poistuma muokkaustavoittain.

Kulotuksen vaikutusten seuraamisen kannalta yksittäisen puun keskitilavuus vastaa hyvin kysymykseen siitä, minkälaisilla koeruuduilla kasvaa suurimmat puut. Kulottamattomien, muokkaamattomien koeruutujen epäonnistuminen runkolukujen ja kokonaistilavuuden osalta tasoittuu hieman, sillä koealueen keskimääräisesti tilavuudeltaan suurimmat puut kasvavat juurikin kyseisillä koeruuduilla. Pienimmät sitä vastoin olivat kulotetuilla, äestetyillä koeruuduilla. (kuvio 6).



Kuvio 6. Puukohtaiset tilavuudet muokkaustavoittain.

Taulukoihin 10 ja 11 on laskettu koeruutukohtaiset kuutiometrimäärät m³, sekä elävien puiden lukumäärä, joiden avulla on saatu laskettua keskimääräinen puukohtainen kuutiometrimäärä. Kulotetulla alueella koeruudut olivat runkotilavuudeltaan keskimäärin 191,11 m³/ha ja kulottamattomalla alueella 180,11 m³/ha.

Ero kulotetun ja kulottamattoman alueiden tilavuuksissa oli kuitenkin melko pieni ottaen huomioon, että kulotetulla alueella oli 170 elävää puuta enemmän. Runkoluvuissa ilmennyt ero kuroutuu melkein umpeen kulottamattoman alueen puiden koosta johtuen. Keskimääräisesti kulotetulla alueella yhden puun tilavuus oli 0,212 m³, kun taas kulottamattomalla alueella puun keskitilavuus oli 0,243 m³ (taulukot 10 ja 11).

Taulukko 10. Kulotetun alueen koeruutujen muokkaustavat (Mtap) ja tilavuudet.

Koeruutu	Mtapa	Puita kpl	Yht. m ³	m ³ /ha	m ³ /puu
1	Mätästys	75	19,11	212,34	0,255
2	Ei	81	18,26	202,88	0,225
3	Äestys	87	16,21	180,14	0,186
4	Ei	84	18,66	207,36	0,222
5	Mätästys	77	14,77	164,09	0,192
6	Äestys	82	13,86	153,99	0,169
7	Äestys	88	19,23	213,64	0,219
8	Ei	84	17,04	189,31	0,203
9	Mätästys	74	15,33	170,38	0,207
10	Mätästys	69	18,81	209,04	0,273
11	Ei	88	17,94	199,30	0,204
12	Äestys	92	17,18	190,83	0,187
Keskiarvo		<u>81,75</u>	<u>17,20</u>	<u>191,11</u>	<u>0,212</u>

Taulukko 11. Kulottamattoman alueen koeruutujen muokkaustavat (Mtapä) ja tilavuudet.

Koeruutu	Mtäpä	Puita kpl	Yht. m ³	m ³ /hä	m ³ /puu
13	Mätästy	79	18,04	200,46	0,228
14	Äesty	80	17,12	190,21	0,214
15	Ei	51	13,37	148,56	0,262
16	Äesty	63	14,85	165,04	0,236
17	Ei	51	13,53	150,33	0,265
18	Mätästy	75	16,47	183,03	0,220
19	Äesty	70	18,02	200,18	0,257
20	Mätästy	82	18,28	203,13	0,223
21	Ei	43	12,26	136,22	0,285
22	Mätästy	79	19,91	221,23	0,252
23	Äesty	80	18,30	203,35	0,229
24	Ei	58	14,36	159,56	0,248
Keskiarvo		<u>67,58</u>	<u>16,21</u>	<u>180,11</u>	<u>0,243</u>

Kulotuksen vaikutusta tilavuuteen selvitetiin tilastollisilla testeillä. Riippumattomien otosten t-testi suoritettiin hypoteeseilla H₀: keskiarvot ovat korkeintaan yhtäsuuret, H₁: kulotetun alueen tilavuus on suurempi. Tuloksena p-arvo = 0,135756 > 0,05, jolloin H₀ jää voimaan (taulukko 12).

Taulukko 12. Kahden riippumattoman otoksen t-testin tulos tilavuudelle.

Kahden otoksen t-testi olettaen varianssit yhtä suuriksi		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	191,1091105	180,1082
Varianssi	401,0255198	740,5236
Havainnot	12	12
Yhdistetty varianssi	570,774584	-
Arvioitu keskiarvojen ero	0	-
va	22	-
t Tunnusluvut	1,127902208	-
P(T<=t) yksisuuntainen	0,135756114	-
t-kriittinen yksisuuntainen	1,717144374	-
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,271512227	-
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,073873068	-

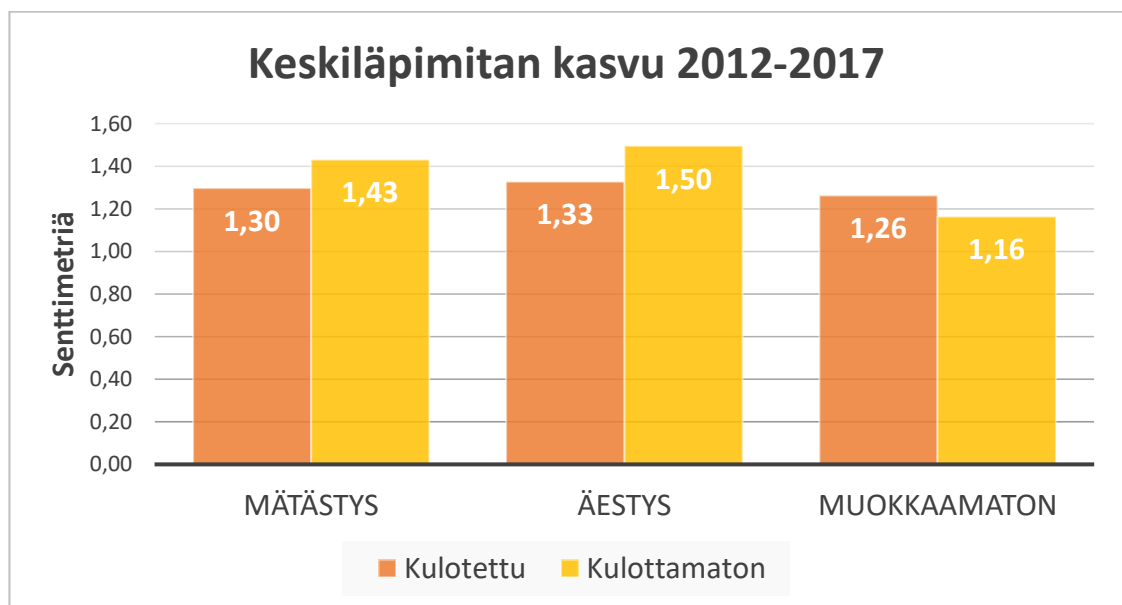
Tilavuuksien varianssien yhtäsuuruustestissä hypoteesit olivat muotoa H0: varianssit ovat yhtäsuuret, H1: varianssit ovat erisuuret. Tuloksena hypoteesi H0 jää voimaan, koska p-arvo = 0,161865 > 0,05 (taulukko 13).

Taulukko 13. Varianssien yhtäsuuruus f-testin tulos tilavuudelle.

Kahden otoksen F-testi variansseille		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	191,1091	180,1082125
Varianssi	401,0255	740,5236483
Havainnot	12	12
va	11	11
F	0,541543	-
P(F<=f) yksisuuntainen	0,161865	-
F-kriittinen yksisuuntainen	0,35487	-

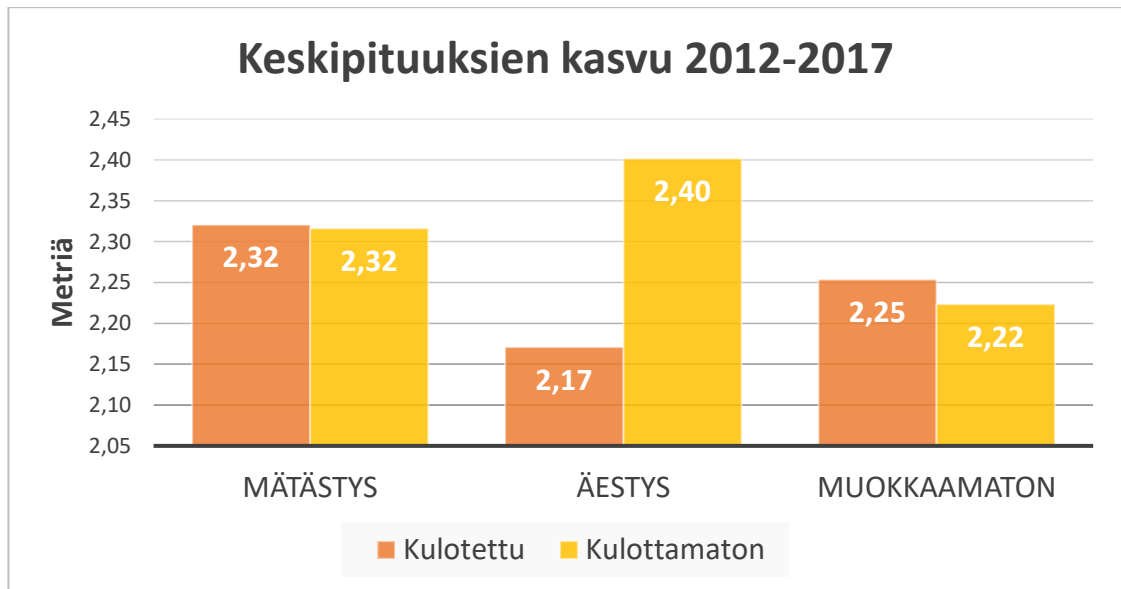
7.3 Puuston kasvu

Puuston kasvua tarkasteltiin nykypuuston puustotunnusten ja vuonna 2012 suunnitellun jäävän puuston tunnusten erotuksien avulla. Keskiläpimitta oli kasvanut kulotetulla alueella viidessä vuodessa keskiarvoisesti 1,30 cm ja ei-kulotetulla 1,36 cm. Kuten aikaisemmin tuloksissa todettiin, kulottamattoman alueen puiden paksuus voi johtua sen harvemmasta runkoluvusta verrattuna kulotettuun alueeseen. Kuviosta 7 nähdään läpimittojen keskimääräinen kasvu muokkaustavoittain. Paras ja huonoin kasvu löytyivät molemmat kulottamattomalta maaperältä. Eniten paksuutta olivat kasvaneet äestettyjen koeruutujen puut ja vähiten muokkaamattomien.



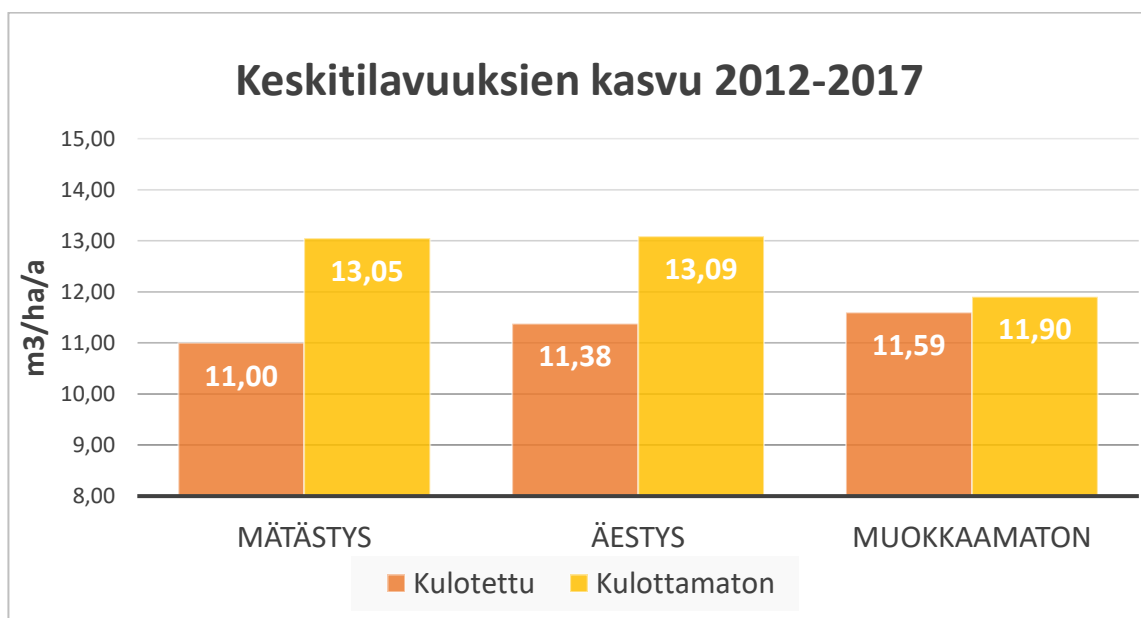
Kuvio 7. Keskiläpimittojen keskikasvu 2012-2017 muokkaustavoittain.

Puiden keskipituudet olivat kasvaneet viiden vuoden aikana keskimäärin kulotetuilla koeruuduilla 2,23 m ja kulottamattomilla 2,31 m. Huomattavin ero pituuskasvuissa oli äestetyillä koeruuduilla, sillä kulotetuilla, äestetyillä koeruuduilla keskikasvu oli vain 2,17 m ja vastaavasti kulottamattomilla äestetyillä jopa 2,40 m (kuvio 8).



Kuvio 8. Keskipituuksen keskikasvu 2012-2017 muokkaustavoittain.

Kuviosta 9 nähdään, kuinka paljon puusto oli keskiarvoisesti kasvanut tilavuutta vuodessa vuoden 2012 inventoinnin ja uusimman inventoinnin välisenä aikana. Tuloksia tarkastellessa pitää ottaa huomioon vuoden 2013 ensiharvennus ja sen mahdollinen vaikutus kasvuun. Kuten kuviosta voidaan huomata, kulottamattoman alueen kaikilla koeruuduilla puuston kasvu on ollut hieman vahvempaa kuin kulotetun.



Kuvio 9. Puuston tilavuuden keskiarvoiset vuosikasvut 2012-2017 muokkaustavoittain.

Kulotuksen vaikutusta tilavuuden kasvuun tarkasteltiin tilastollisilla testeillä. Riippumattomien otosten t-testiä varten luotiin hypoteesit H_0 : keskiarvot ovat korkeintaan yhtäsuuret, H_1 : kulotetun alueen tilavuuskasvu on suurempi. Tuloksena p-arvo = 0,021562 < 0,05, joten H_0 hylätään ja H_1 jää voimaan (taulukko 14).

Taulukko 14. Kahden riippumattoman otoksen t-testin tulos tilavuuskasvulle.

Kahden otoksen t-testi olettaen varianssit yhtä suuriksi		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	56,61994379	63,40488
Varianssi	54,74535309	65,16032
Havainnot	12	12
Yhdistetty varianssi	59,95283727	-
Arvioitu keskiarvojen ero	0	-
va	22	-
t Tunnusluvut	-2,146428731	-
P(T<=t) yksisuuntainen	0,021561553	-
t-kriittinen yksisuuntainen	1,717144374	-
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,043123106	-
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,073873068	-

Tilavuuskasvun varianssien yhtäsuuruustestissä hypoteeseina käytettiin H_0 : varianssit ovat yhtäsuuret, H_1 : varianssit ovat erisuuret. Tuloksena hypoteesi H_0 jää voimaan, koska p-arvo = 0,388913 > 0,05, joten H_0 jää voimaan. Varianssit siis yhtäsuuret (taulukko 15).

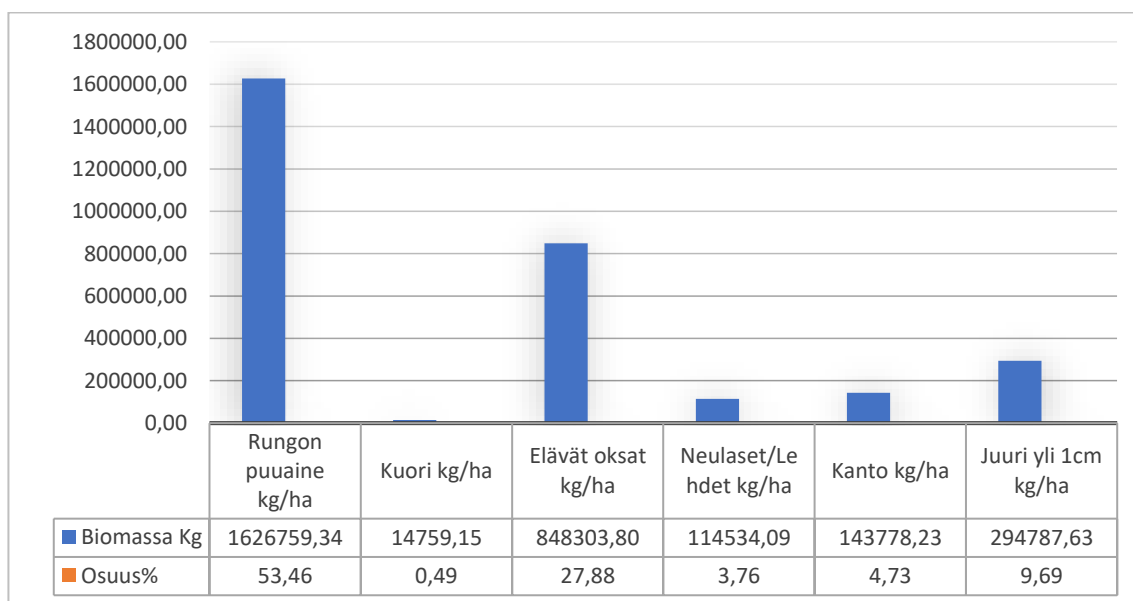
Taulukko 15. Varianssien yhtäsuuruus f-testin tulos tilavuuskasvulle.

Kahden otoksen F-testi variansseille		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	56,61994	63,40487921
Varianssi	54,74535	65,16032144
Havainnot	12	12
va	11	11
F	0,840164	-
P(F<=f) yksisuuntainen	0,388913	-
F-kriittinen yksisuuntainen	0,35487	-

7.4 Biomassan määrä

7.4.1 Biomassan jakautuminen koko koalueelle

Kuviossa 10 on havaittavissa, kuinka biomassan kokonaismäärä jakautui koko alueen kaikkien koeruutujen kesken.



Kuvio 10. Biomassajakauma kaikkien koeruutujen kesken.

Rungon puuaine sisälsi huomattavasti suurimman osan koko biomassamäärästä, hieman yli 50 %, jota pidettiin oletusarvona.

Seuraavaksi eniten biomassaa sisälsivät puun elävät oksat, noin 30 % kokomäärästä. Oksien sisältämän biomassan määrää voidaan pitää tällä koepuustolla suhteellisen korkeana. Oksiston biomassan määrää tarkasteltiin myös pelkän pituuden ja rinnankorkeusläpimitan kaavalla, jonka oksikkuuden määrät perustuvat normaalien kasvatusmetsien oletusarvoihin. Kahden muuttujan biomassakaavan tulokset poikkesivat kuitenkin erittäin paljon koealueelta saaduista kolmen muuttujan kaavan tuloksista, eikä saatuja tuloksia voitu pitää luotettavina tälle puustolle (liite 4). Latvusrajan lisääminen laskukaavaan lisäsi elävien oksien biomassan määrää noin kolme kertaa suuremmaksi, mitä pidettiin tällä alueella realistisempaan tuloksena.

Suuresta elävien oksien biomassamäärästä voitiin päätellä, että kyseinen puusukupolvi oli kasvanut joko liian harvassa ja/tai maaperä oli liian ravinteikas kyseiselle pääpuulajille eli männylle. Oksien runsaan kasvun syyksi voidaan päätellä, että tuore kangas on liian ravinteikasta maaperää männyn kasvatukseen metsätaloudellisesta näkökulmasta. Runsaan ravinteiden määrän vuoksi männyllä ei ole ollut tarvetta tiputtaa alimpia oksia, mikä kasvattaa samalla elävän latvuksen osuutta.

Juurien biomassa oli vähän alle 10 % koko biomassan määrästä. Juuristosta saadut tulokset perustuvat Repolan kaavojen oletusarvoihin, joten tarkasta määrästä ei voida olla varmoja.

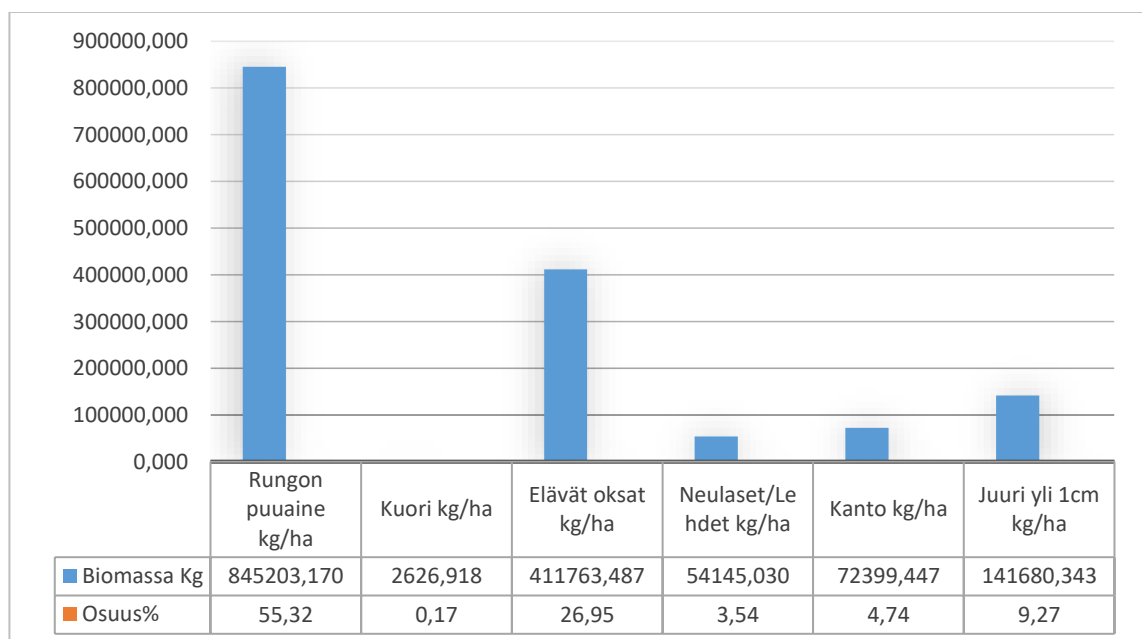
Kantojen sekä neulasten/lehtien osuudet olivat lähes yhtä suuret, hieman alle 5 % kokonaisbiomassan määrästä. Neulasten/lehtien määrää voidaan pitää korkeana kokonaismäärään nähden. Kuoren sisältämän biomassan määrä oli kyseisellä alueella vähäistä, hieman alle 1 % kokonaismäärästä.

Vertailua ennen harvennusta saatuihin biomassoihin ei voitu toteuttaa, koska harvennustiedoista ei selvinnyt tarkkoja puukohtaisia tietoja. Biomassojen kehityksen vertailua vuoden 2012 puustoon ei ollut mahdollista tehdä, sillä aikaisemmissa tiedoissa ei ollut mukana rinnankorkeusläpimittaa, pituutta, eikä latvusrajoja koepuista. Vuoden 2012 puuston biomassan laskeminen olisi siis ollut liikaa oletusarvojen varassa.

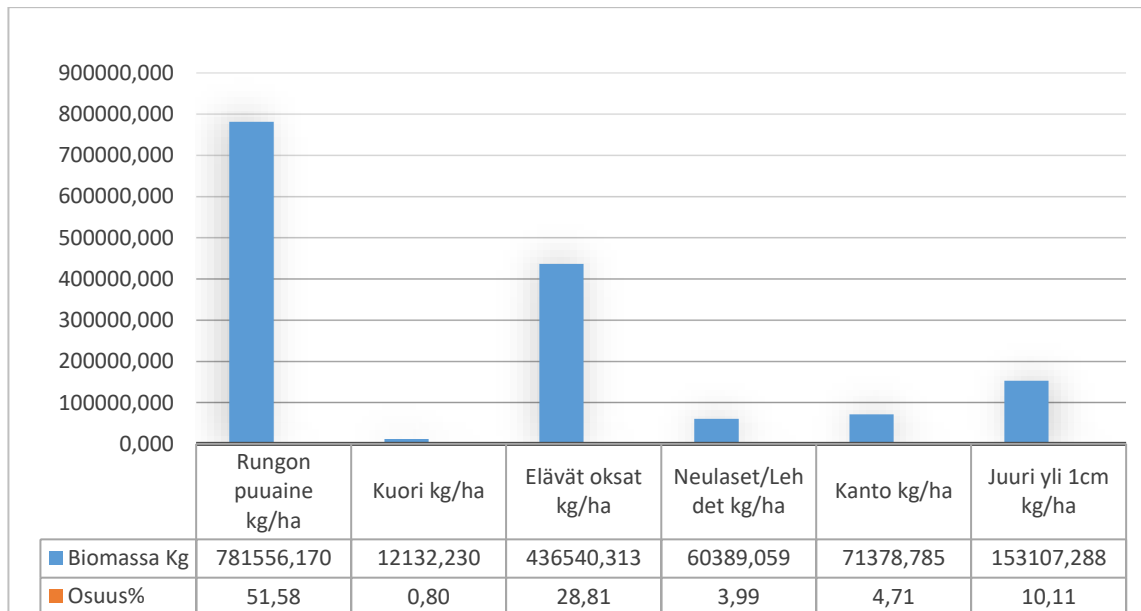
Harvennustiedoista selvisi ainoastaan hakattujen puiden määrä ja niiden poistuman tilavuus sekä keskiläpimitta ja keskipituus. Latvusrajan puuttumisen takia tulisi käyttää kahden muuttujan kaavaa ja tietoja jouduttaisiin soveltamaan siten, että jokainen poistettu puu olisi ollut täsmälleen samanlainen.

7.4.2 Biomassa kulotetulla ja kulottamattomalla alueella

Kuvioissa 11 ja 12 on havaittavissa, kuinka biomassat jakautuivat kulotetun sekä kulottamattomien koeruutujen kesken.



Kuvio 11. Biomassajakauma kulotetulla alueella.



Kuvio 12. Biomassajakauma kulottamattomalla alueella.

Kokonaisbiomassamäärä oli selkeästi jakautunut kulotetuille koeruuduille. Kulotettujen koeruutujen kokonaisbiomassan määräksi saatiin 1 525 073,7 kg, joka oli 51,65 % koalueen kaikkien koeruutujen biomassamäärästä.

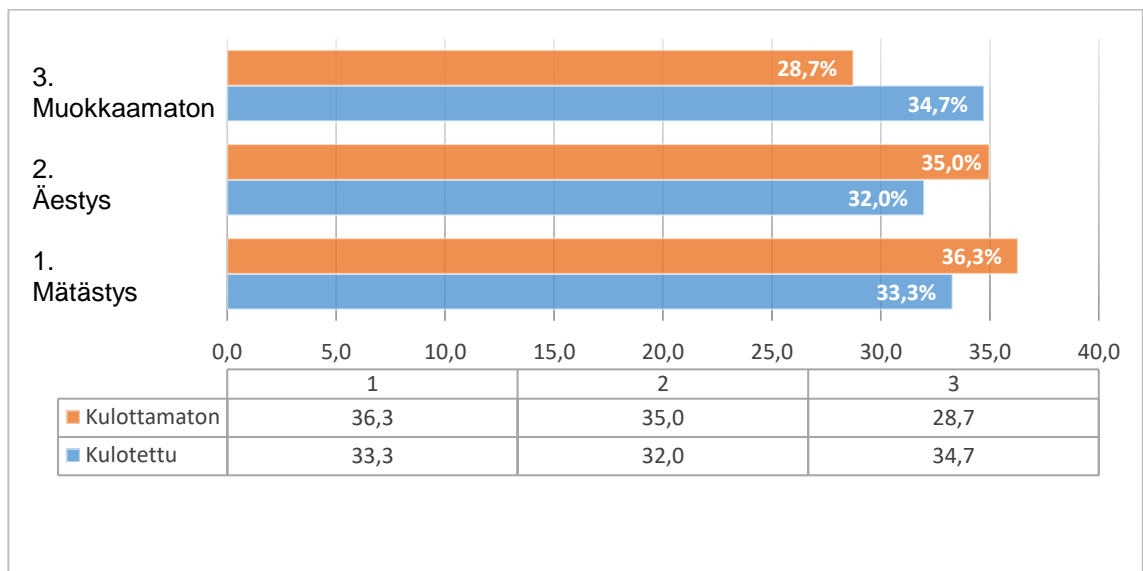
Vastaavasti kulottamattomat koeruudut sisälsivät 1 427 753,1 kg biomassaa, joka oli 48,35 % koko määrästä. Huomioitavaa tässä oli se, että kulottamattomien koeruutujen biomassan suhteellinen määrä on selkeästi korkeampi kuin vastaavien kulotettujen koeruutujen.

Biomassan prosentuaalisissa jakautumisissa ei ollut merkittäviä eroja kulotettujen ja kulottamattomien koeruutujen kesken. Kulotuksella ei näyttäisi olleen merkitystä siihen, kuinka biomassa jakautui puun eri osien kesken.

7.4.3 Biomassan jakautuminen muokkaustavoittain

Tässä työssä haluttiin myös vertailla, onko muokkaustavan valinnalla suoranaista vaikutusta siihen, kuinka biomassa jakautuu kulotetun ja kulottamattoman alueen välillä. Maanmuokausmenetelmillä oli selvä vaikutus koeruutujen biomassamäärille varsinkin kulottamattomilla koeruuduilla, kuten nähdään kuviosta 13.

Kulotettujen koeruutujen biomassat jakautuivat suhteellisen tasaisesti muokkausmenetelmästä riippumatta, ja niiden vaihteluväli osui 31,3–35,1 % välille. Yhdelläkään muokkaustavalla ei ollut havaittavissa selkeää poikkeamaa biomassan jakautumisessa. Jokseenkin yllättävänä tuloksena voidaan kuitenkin pitää sitä, että kulotetut muokkaamattomat koeruudet sisälsivät eniten biomassaa. Tästä voidaan päätellä, että kulotus oli lisännyt elintärkeiden ravinteiden määrää humuskerroksen polttamisen seurauksena, jolloin uudelle puusukupolvelle oli tarjolla edullisemmat kasvuolosuhteet kuin muokatuilla koeruuduilla. Lisäksi poltetty pintakasvillisuus vähentää kilpailua taimivaiheessa, jolla voi olla suurikin merkitys taimien eloonjäämisessä.



Kuvio 13. Biomassan jakautuminen kulotettujen ja kulottamattomien koeruutujen kesken muokkaustavasta riippuen.

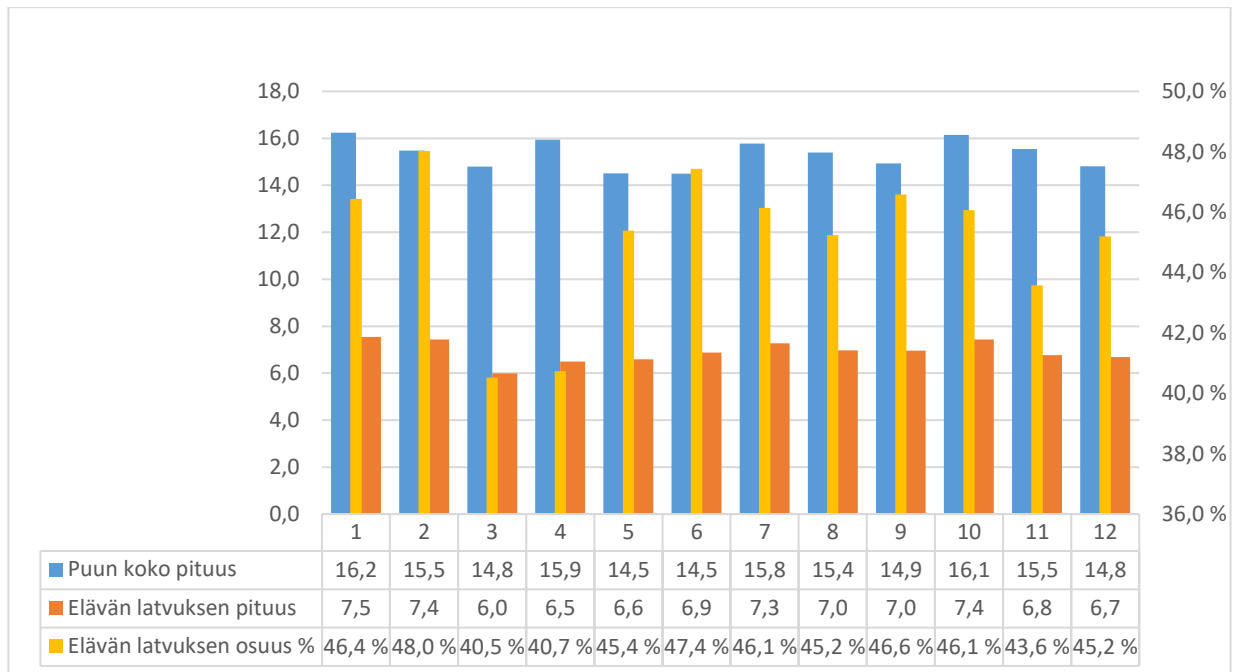
Kulottamattomilla koeruuduilla oli havaittavissa huomattava ero käytetyn muokkaustavan vaikutuksessa biomassan määrään. Muokkaamattomat koeruudet sisälsivät reilusti vähemmän biomassaa kuin muokatut koeruudet. Kun kulotettujen koeruutujen muokkausmenetelmien vaikutus biomassan määrän vaihteluun oli vain noin 4 % suurimman ja pienimmän biomassamäärän välillä, kasvoi biomassan vaihteluiden ero kulottamattomalla alueella reiluun 8 %:iin.

Muokkaamattomat koeruudet sisälsivät kulottamattomalla alueella vähiten biomassaa eli juuri päinvastoin kuin kulotetulla alueella. Muokkaamattomilla koeruuduilla biomassan määrään vaikutti suoranaisesti puiden huomattavasti vähäisempi kappalemäärä muokattuihin koeruutuihin verrattuna. Muokkaamattomilla koeruuduilla ei ollut riittävästi ravinteita taimille, jolloin uuden puusukupolven oli vaikeaa päästä kasvamaan pintakasvillisuuden läpi. Lisäksi muokkaamattomilla koeruuduilla kilpailu oli ollut kovempaa kuin muokatuilla koeruuduilla.

Mätästyksellä ja äestyksellä ei ollut merkittävää eroa keskenään biomassan jakautumisessa. Verrattaessa kulotettuja sekä kulottamattomia koeruutuja, mätästyksellä näyttäisi olevan suotuisimmat vaikutukset puun biomassan kehitykselle maanmuokkausmenetelmistä, joskin tämä ero äestykseen oli vain vähäistä.

7.5 Elävän latvuksen osuus

Tuloksissa haluttiin tarkastella, vaikuttaako kulotus elävän latvuksen pituuteen. Latvus alarajat mitattiin ja laskettiin jokaiselle puulajille, mutta tulokset rajattiin ainoastaan männyille. Tulokset ilmoitettiin metreinä sekä prosenttiosuuksina koko puun pituudesta. Kuviossa 14 nähdään, kuinka mäntyjen latvusrajat vaihtelevat koeruuduittain kulotetulla alueella.

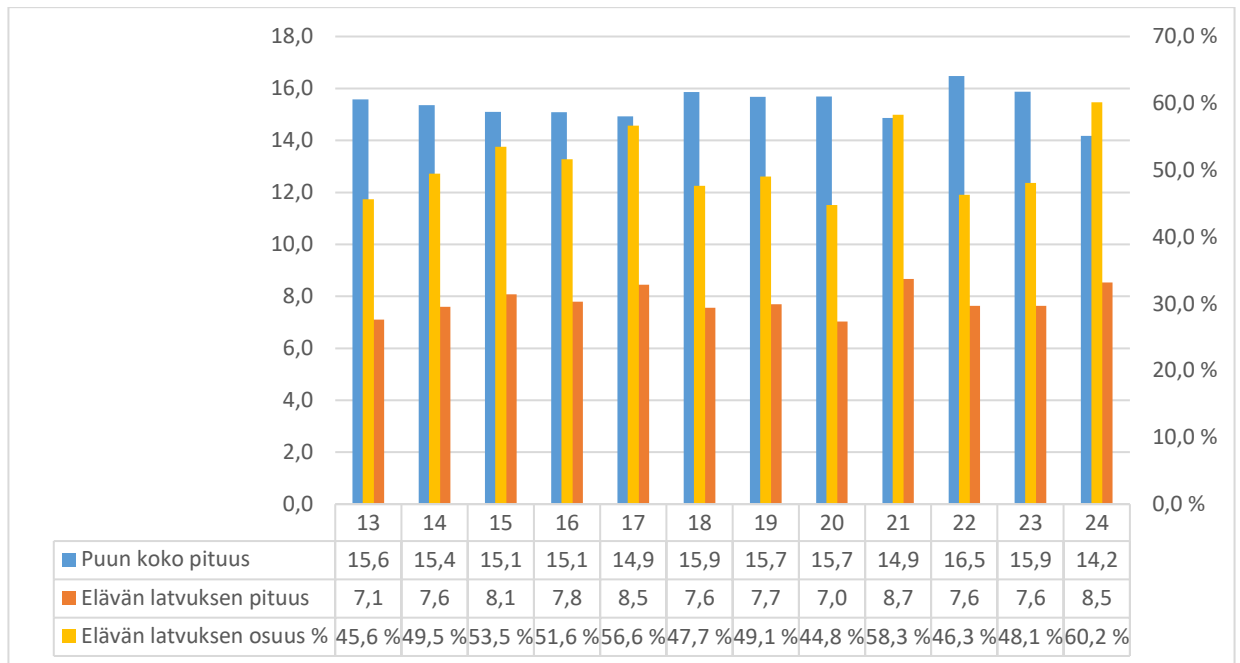


Kuvio 14. Elävän latvuksen osuus kulotetuilla koeruuduilla.

Elävän latvuksen osuudet vaihtelivat koeruudun sisällä 40,5–48,0 % välillä. Keskiarvo kaikkien kuvioiden kesken oli 45,1 %. Elävän latvuksen pituus kertoo yleensä kilpailu- ja ravintotilanteesta. Elävän latvuksen osuus ei saa supistua liikaa, sillä se hidastaa puun kasvua sekä lisää riskialttiutta tuhoille, esimerkiksi lumi- tai hyönteistuhonille. (Itä-Suomen metsätoimistot 2006.)

Männyllä latvuksen osuuden mennessä alle 40 %:iin puun pituudesta tulisi metsä harventaa. Tämä jättääkin tulkinnan varaa siihen, onko ensiharvennus tehty ajoissa, vai onko latvukset supistuneet osasta koeruuduista myöhästyneen harvennuksen seurauksena.

Kuviosta 15 ilmenee, kuinka elävän latvuksen osuus jakautui koeruutujen kesken kulottamattomilla koeruuduilla.



Kuvio 15. Elävän latvuksen osuus kulottamattomilla koeruuduilla.

Kulottamattomilla koeruuduilla elävän latvuksen osuus oli parempi kuin kulotetuilla koeruuduilla. Elävän latvuksen osuudet jakoutuivat välille 44,8–60,2 %. Eroa koeruutujen välillä oli huomattavasti enemmän kuin kulotetulla alueella. Koeruutujen keskiarvoksi tuli 50,9 % eli sen osuus kasvoi reilu 5 % kulotettuun alueeseen verrattuna.

Koeruudulla 24 oli erityisen suuri latvusprosentti. Tällä ruudulla puustoa oli kapalemmäärältään vähän ja puut saivat kasvaa väljästi ilman keskenäistä kilpailua, mikä oli auttanut latvuksen kasvua.

Kulottamattomalla alueella ensiharvennus oli luultavasti tehty ajoissa ennen kuin latvukset olivat supistuneet liikaa ja se näkyi myös puustossa. Jäävällä puustolla oli enemmän tilaa kasvaa, joka näkyi suuremman latvusprosentin lisäksi noin sentin isompana rinnankorkeusläpimittana kulotettuun verrattuna.

Latvusrajalle tehtiin myös tilastolliset testit, joissa verrattiin kulotettujen ja kulottamattomien koeruutujen latvuksien pituuksien keskiarvoja keskenään.

Elävänlatvuksen varianssien yhtäsuuruustestissä hypoteeseina käytettiin H_0 : varianssit ovat korkeintaan yhtäsuuret, H_1 : kulotetun latvusraja on suurempi.

Riippumattomien otosten t-testin tulokseksi p-arvolle saatiin $0,01007 < 0,05$, eli tulos oli tilastollisesti merkitsevä (taulukko 16). H_0 hylätään, joten tilastollisen testausten perusteella kulotuksella näyttäisi olevan melkein merkitsevä vaikutusta latvuksen alarajaan.

Taulukko 16. Kahden riippumattoman otoksen t-testin tulos latvusrajalle.

Kahden otoksen t-testi olettaen varianssit yhtä suuriksi		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	8,433333333	7,6
Varianssi	0,28969697	1,038181818
Havainnot	12	12
Yhdistetty varianssi	0,663939394	-
Arvioitu keskiarvojen ero	0	-
va	22	-
t Tunnusluvut	2,50512938	-
P(T<=t) yksisuuntainen	0,010070092	-
t-kriittinen yksisuuntainen	1,717144374	-
P(T<=t) kaksisuuntainen	0,020140184	-
t-kriittinen kaksisuuntainen	2,073873068	-

Elävän latvuksen pituuden varianssien yhtäsuuruustestissä hypoteeseina käytettiin H_0 : varianssit ovat yhtäsuuret, H_1 : varianssit ovat erisuuret. Kahden otoksen F-testin tulokseksi saatiin p-arvo = $0,017 < 0,05$ eli tulos oli tilastollisesti melkein merkitsevä (taulukko 17). H_0 hylätään ja H_1 astuu voimaan eli varianssit ovat erisuuret.

Taulukko 17. Varianssien yhtäsuuruus f-testin tulos latvusrajalle.

Kahden otoksen F-testi variansseille		
	<i>Muuttuja 1</i>	<i>Muuttuja 2</i>
Keskiarvo	8,436740403	7,598659575
Varianssi	0,269020263	1,035524107
Havainnot	12	12
va	11	11
F	0,259791406	-
P(F<=f) yksisuuntainen	0,017359819	-
F-kriittinen yksisuuntainen	0,35487036	-

7.6 Kuolleisuus ja tuhot

Mitattavalla koealueella tavattiin vain kuusi kuollutta puuta, joista neljä oli kulotetulla ja kaksi kulottamattomalla alueella. Yleisin tuhon aiheuttaja oli lumi, joka oli katkaissut latvan jopa kolmelta puulta. Katkenneet latvat olivat ilmeisesti joko altistaneet puut jollekin tuholaiselle tai heikentäneet niiden elinvoimaa niin, että puut olivat kuolleet. Muita kuolleisuuden syitä olivat tervasroso, harvennuksen yhteydessä tullut runkovaurio ja yksi tunnistamaton sienitartunta. Kuolleiden puiden vähäisyys ja kuolemiin johtaneet syyt eivät viittaa kulotuksen vaikutuksiin. Samanlaisia tuhoja esiintyy muokkaustavasta riippumatta kulotetuilla tai kulottamattomillakin maaperillä.

Yleisesti koealueella näkyi hyvin vähän metsätuhoja. Tähän voi olla syynä kulotuksen desinfioiva vaikutus kasvupaikalle. Puiden heikkoa laatua ei voida pitää tuhona mutta muuten metsänarvoa heikentävänä tekijänä.

Koeruutujen väliin jäävää aluetta kutsutaan vaippa-alueeksi, jota ei oteta mittauksissa huomioon millään tavalla. Huomioitavaa oli kuitenkin erään vaippa-alueen suuri kuolleisuus. Koeruutujen 5, 6, 8 ja 9 vaippa-alueella oli hyvin harvakseltaan puita ja suurin osa näistä puista oli kuolleet. Paikka oli pahasti heinittynyt (kuva 4).



Kuva 4. Koeruutujen 5, 6, 8 ja 9 välissä oleva ns. vaippa-alue oli pahasti heinitty-nyt ja siellä oli useita kuolleita puita (Kuva: Olli Karppinen).

8 Vertailu aikasempiin tutkimuksiin

Saatuja tuloksia vertailtiin aikasempiin tehtyihin samankaltaisiin tutkimuksiin. Vuonna 2004 oli tehty lähes vastaavanlainen tutkimus männyn kehitykselle käsittelemättömälle ja kulotetulle metsälle. Kyseisessä tutkimuksessa seurattiin keskiläpimitan, keskipituuden, runkoluvun sekä runkotilavuuden kasvua istutetuille männyntaimikoille. Männyn taimikot oli istutettu sekä VT- ja MT-metsätyypeille. Lähtökohdat olivat siis hyvin samankaltaiset kuin tämän opinnäytetyön tutkimuksessa. (Levula, Levula & Westman 2004.)

Männyn pituus- ja läpimittakasvun on huomattu kärsivän enemmän hienoilla maalajeilla kuin karkeilla. Syynä oli juuriston kärsiminen runsaasta kosteudesta. Kulotuksella oli selvä runkolukua lisäävä vaikutus koepuustoon. (Levula ym. 2004.)

Tämä puoltaa hyvin Tammelan koepuustosta saatuja tuloksia, joista ilmeni kulotuksen selkeä runkolukua lisäävä vaikutus. Runkoluku pysyy korkeana, koska kulotuksen uskotaan edes auttavan uudistusvaiheessa metsälauhan kasvua, jonka on todettu helpottavan männyntaimien kasvua. (Levula ym. 2004.)

Kulotuksen mainitaan parantavan päätehakkuun jälkeisen puusukupolven selviytymistä, mutta sen ei ole huomattu vaikuttavan pituuden tai läpimitan kasvuun. Tutkimuksessa nostettiin esille se, että erityisesti kulotuksen vaikutus muokkamattomalle maaperälle oli ollut edellytys männyn hyvälle eloonjäämisprosentille (Levula ym. 2004). Vastaavanlaisia tuloksia oli havaittavissa Tammelan kulotettujen ja kulottamattomien muokkamatta jätettyjen koeruutujen vertailussa. Tammelankaan kohteella ei ollut havaittavissa kovin suuria eroja pituuden tai läpimitan osalta kulotetun ja kulottamattoman alueen välillä.

Tulokset olivat erittäin yhtenevät vuoden 2004 tehtyyn tutkimukseen verrattuna jokaiselta osa-alueelta. Tämän voidaan todeta lisäävän Tammelan kulotuskohteen tulosten luotettavuutta myös laajemmasta näkökulmasta tarkasteltuna.

Toinen tutkimus, johon saatuja tuloksia verrattiin, oli vuonna 1990 Hämmäläisen teettämä metsätehon tutkimus muokkausmenetelmien vaikutuksesta taimien eloonjäämiseen ja pituuskasvuun, jossa samainen Tammelan tutkimusmetsä oli yksi koealue. Tutkimus oli tehty Tammelan puustolle noin vuosi sen istutuksesta. Tutkittavat puulajit olivat mänty ja kuusi. Mainittakoon, ettei Hämmäläisen tekevässä kokeessa huomioitu kulotuksen vaikutusta tuloksiin.

Tuloksena tutkimuksessa oli, että mitä enemmän maata muokkauksen aikana on rikottu, sitä enemmän se lisää uuden puusukupolven eloonjäämistä. Reheville kohteille mentäessä muokkauksen vaikutus kasvaa. (Hämmäläinen 1990.)

Tässä tapauksessa männyn selviäminen tuoreella kankaalla oli hyvin paljon muokkaustavasta riippuvaa. Esimerkiksi Tammelan tutkimuskohteella elonjäämisprosentti muokkaamattomilla koeruuduilla oli ollut noin 56–57 % vuosi istutuk-

sen jälkeen. Syynä heikkoihin eloonjäämisprosentteihin olivat esimerkiksi maaperän liika kosteus, tukkimiehentäit ja muut taimikkotuhojen aiheuttajat, kuten myyrät. (Hämäläinen 1990.)

Tulokset täsmäävät nykyisiin tuloksiin kulottamattoman alueen osalta. Muokkaamattomilla koeruuduilla oli selkeästi vähemmän puustoa kuin muokatuilla koeruuduilla. Näiden koeruutujen uudistaminen oli epäonnistunut. Sen sijaan muokkaamattoman alueen epäonnistuneisuutta ei voida yleistää kulotetun alueen vastaaviin koeruutuihin, joilla kasvoi kappalemäärältään eniten puita. Syynä voivat olla juurikin tukkimiehentäiden aiheuttamat runkovauriot taimivaiheessa sekä tuoreen kankaan huono veden imeytyminen hienoilla maa-aineksilla, mikä vuorostaan vahingoittaa männyn juuristoa. Myös kilpailutilanteella ja vähäisellä ravinteiden määrällä uskotaan olevan suuri merkitys taimikuolemiin.

Taimien pituuskasvun oli havaittu olevan nopeampaa muokatuilla koeruuduilla. Auras- sekä mätätysruuduilla kasvaneet taimet olivat olleet noin 20–30 % pitempiä muokkaamattomiin tai kevyesti muokattuihin koeruutuihin nähden (Hämäläinen 1990). Nykypuuston pituudessa ei ole enää huomattavissa samaa eroa. Kulotetulla alueella tilanne oli kääntynyt siten, että muokkaamattomilla koeruuduilla kasvoi pisimmät puut ja puuston pituuden keskiarvo oli suurin. Kulottamattomalla alueella tilanne oli kuten vuoden 1990 tutkimuksessa, mutta pituuseroa muokkamattomilla koeruuduilla oli ainostaan äestettyihin koeruutuihin 5,6 % ja mätätettyihin koeruutuihin 3,4 %.

Vuoden 1990 tutkimustuloksia vertaillen voidaan todeta, että kulottamattoman alueen koeruudet täsmäsivät suhteellisen hyvin nykytilanteeseenkin, joskin tulokset ovat tasoittuneet pituuskasvun osalta. Mielenkiintoinen huomio oli, että muokkaamattomien koeruutujen eloonjäämisprosentti oli enää vähän yli 50 % noin vuoden päästä koepuuston istuttamisesta. Tämä oli havaittavissa vielä nykypuuston tilanteessa.

9 Pohdinta

Kulotuksella on pitkät perinteen metsätaloudessa. Vaikka sen käyttö on nykyään erittäin vähäistä, ei tämä tarkoita sitä, että se pitäisi unohtaa. Kulotuksen positiiviset vaikutukset ovat hyvin tiedossa. Nykypäivän tehometsätaloudesta johtuen metsien monimuotoisuus on vaarassa ja ratkaisuja etsitään, jotta saavutettaisiin kestävä kehityksen kriteerit. Ehkä ratkaisu ei ole täysin uusissa menetelmissä, vaan voidaan tarkastella vanhempia menetelmiä uusien näkökulmien kautta. Esimerkiksi biodiversiteetin säilymisen kannalta kulotus on tiedettävästi hyvä vaihtoehto.

Kulotuksen vaikutuksista on tehty useita tutkimuksia, joiden avulla pyritään ymmärtämään paremmin lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia uuteen puusukupolvelle. Tässä tutkimuksessa vahvistettiin jo vanhoja tiedettäviä kulotuksen vaikutuksia ja saatiin tietoa siitä, miten kulotuksen vaikutukset näkyvät varttuneessa kasvatusmetsässä.

9.1 Tuloksista

Tässä tutkimuksessa saatiin runsaasti tietoa koepuuston nykytilasta ja siihen mahdollisesti vaikuttaneista tekijöistä. Saatujen tulosten perusteella voidaan todeta, että kulotuksella ja muokkaustavoilla on ollut jonkinlainen merkitys puuston kehitykselle. Kuten aikaisemmista tutkimuksista voidaan todeta, kulotuksella on suuri vaikutus etenkin taimivaiheeseen, jolloin kulotus näyttäisi parantavan taimien eloonjäämistä ja sitä kautta nykypuuston runkolukua.

Kulotuksella ja eri muokkaustavoilla ei vaikuttanut olevan suurta merkitystä varttuneemman puuston tilavuuden kehitykseen. Ainoa merkittävä vaikutus oli tuo aikaisemmin mainittu vaikutus taimien eloonjäantiin ja runkomäärään. Kulotetun suurempi runkomäärä nosti vain kokonaistilavuutta, eikä keskiarvoisissa tilavuus-

määrissä ollut suuria eroja kulotetun ja kulottamattoman välillä. Kuitenkin kulottamattomien muokkaamattomien koeruutujen keskivertoa suuremmat puut herättivät ihmetystä. Siihenkin arvioitiin syyn olevan runkoluku. Koeruudet, joilla oli koko alueen suurimmat puut, olivat erittäin harvoja ja puilla oli enemmän kasvu-tilaa verrattuna tiheimpiin koeruutuihin.

Kulottamattoman alueen muokkaamattomia koeruutuja voidaan pitää epäonnistuneina. Uuden puusukupolven taimivaiheen selviämisen kannalta on siis tärkeää, että maaperää käsitellään. Muokkauksen paljastamat ravinteet auttavat taimia kasvamaan ja vähentämään kasvukilpailua esimerkiksi pintakasvillisuuden kanssa. Myös tukkimiehentäin aiheuttamat tuhot vähenevät, koska ne välttelevät paljasta kivennäismaata.

Biomassat jakoutuivat kulotettujen ja kulottamattomien koeruutujen kesken melko tasaisesti. Vaikka kulotetulla alueella oli enemmän biomassaa määrällisesti, kulottamattomalla alueella sitä oli suhteessa enemmän. Tästä ei voida kuitenkaan tehdä suoranaisia johtopäätöksiä, että kulotus vähentäisi biomassan määrää, esimerkiksi elävien oksien osalta. Kulotetun alueen koeruudet olivat pääsääntöisesti ylitiheitä, jolloin mänty kaventaa osan latvuksestaan pois. Sen sijaan kulottamattomat koeruudet kasvoivat harvemmassa, millä oli selvä vaikutus elävän latvuksen pituuteen.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että kulotuksella ei ole enää kovin näkyviä vaikutuksia varttuneen kasvatusmetsän tilavuuteen ja biomassaan. Tämän tutkimuksen tulosten riippuvuus jo taimivaiheessa tulleeseen runkomäärään oli suuri. Kulottamattomien koeruutujen puut olivat päässeet kasvamaan ilman kilpailua elintilasta ja sen takia kasvattaneet keskimääräistä paksummat rungot ja suuremmat elävät latvukset. Tuloksien tulkinta on melko hankalaa tietäen, että suurimpaan osaan lasketuista tuloksista on vaikuttanut koealueen runkolukujen vaihtelu. Toisaalta sekin on yksi kulotuksen kauaskantoinen vaikutus, mutta se vaikeuttaa vastaamista tähän työhön valittuihin tutkimuskysymyksiin.

9.2 Luotettavuus

Tutkimuksen pääkysymyksiin vastattiin kattavasti ja perustellusti käyttäen myös aikaisempia tutkimustuloksia tukevana aineistona. Tutkimukseen käytettyä aineistoa voidaan pitää luotettavana ja tarpeeksi laajana vastaamaan haluttuihin kysymyksiin. Koemetsikön selkeyden ja tarkan mittaamisen ansiosta saadut tutkimustiedot ovat hyvin tarkkoja. Olettaen, että koepuuston mittauksissa ei ole tapahtunut mittavirheitä, tuloksia vertailemalla ja yhdistämällä aikaisempiin ja tuleviin tutkimustuloksiin saadaan realistinen kasvumalli alueen puustosta.

Tutkimus keskittyy vain yhden koemetsikön tilanteen tarkasteluun ja karkeasti vain yhdelle puulajille. Yhden metsikön tilannetta seuraamalla ei saada eheää kokonaiskuvaa kulotuksen vaikutuksista, eikä voida tehdä kokonaisvaltaisia johtopäätöksiä kulotuksen kannattavuudesta. Tammelan kulotus-muokkauskoemetsää koskevat johtopäätökset pätevät parhaiten vain tälle tai tämänkaltaiselle metsikölle ja kasvupaikalle.

Tutkimuksen aineistossa mukana olevat 1 798 puuta, eli kaikki kokeen alueella olevat puut, muodostivat erittäin tarkan ja luotettavan kuvan puuston tilasta. Jos haluttaisiin laajentaa tutkimusaineistoa, täytyisi hankkia dataa samanlaisen käsittelyhistorian saaneesta koemetsästä, jossa olisi esimerkiksi eri pääpuulaji ja erilaiset maaperän ominaisuudet.

Mittausmenetelmien systemaattisuus ja yksinkertaisuus sekä mittausvälineiden säännöllinen kalibrointi vahvistavat tulosten luotettavuutta. Empiirisesti paikan päällä toteutettu tutkimustyö auttaa käsittämään konkreettisesti metsän tilanteen ja sitä kautta tekemään luotettavimpia tulosanalyseja.

9.3 Työn onnistuminen ja ongelmakohtat

Vanhoiden mittaustietojen pohjalta pystyttiin vertaamaan sekä laskemaan tuloksia ennen ensiharvennusta. Ilman näitä tietoja työn sisältö olisi jäänyt melko suppeaksi ja kulotuksen vaikutuksien tarkastelu vielä enemmän arvailujen varaan. Tilavuuksien laskemisessa pystyttiin hyödyntämään aikaisempien vuosien puustotietoja, ja niiden pohjalta saatiin laskettua kokonaistilavuudet nykyiselle puustolle. Vuoden 2012 yksityiskohtaisten puustotietojen uupuminen johti siihen, että silloisen puuston biomassan tarkan määrän selvittäminen oli mahdotonta ja ei voitu verrata nykyhetkeä aikaisempaan puustoon.

Rinnankorkeuden määrittäminen oikein on hyvin paljon mittaajasta kiinni. Syntypisteen oletaminen oikeaan kohtaan on nopeassa mittaustahdissa vääjäämättä arvuuttelua.

Metsätalouden kannalta tämän tutkimuksen hyödynnettävyys on hieman kyseenalaista. Tulokset keskittyvät tuoreen kankaan männikköön, jossa kasvaa laadullisesti todella heikkolaatuista puuta. Puut ovat erittäin oksikkaita, joista voidaan päätellä, että kasvupaikka on liian rehevä männylle. Voidaan siis miettiä, kuinka hyvin tämän tutkimuksen tuloksia kannattaa hyödyntää yleisesti kulotus-muokkaustilanteissa muilla, männylle paremmilla kasvupaikoilla. On muistettava myös, että näitä samanlaisia kulotus-muokkauksia on muualla Suomessa, joten nämä tulokset eivät joudu yksin määrittelemään kulotukset hyötyjä.

Kehitysideana jatkotutkimuksia varten pohdittiin, että kulotetun ja kulottamattoman alueen tuloksien vertailtavuutta pystyttäisiin lisäämään harventamalla oikeaan aikaan molemmat alueet samaan tiheyteen. Kuten tässäkin tutkimuksessa, myös aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu kulotuksen parantavan taimien eloonjäämistä ja sitä kautta runkomääriä. Kulotetun ja kulottamattoman alueiden kasvaessa samassa tiheydessä voitaisiin keskittyä paremmin muihin tärkeisiin puuston ominaisuuksiin, eikä kyseenalaistaa tuloksia jonkin kauan aikaa sitten vaikuttaneen tekijän vuoksi.

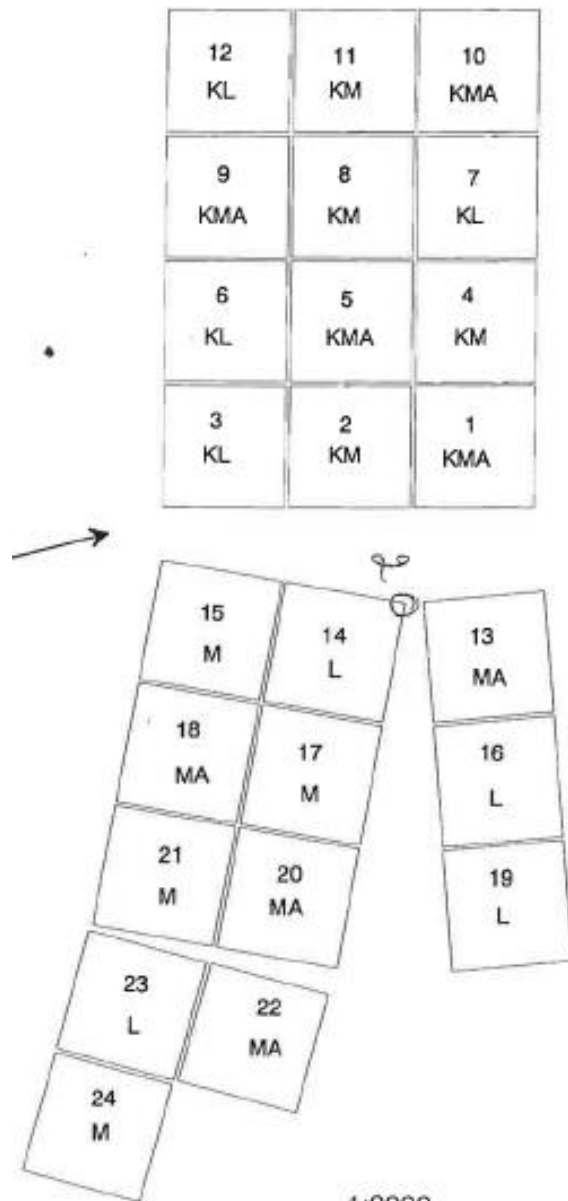
Lähteet

- Halkka, A., Kaaro, J., Valste, J., Vuokko, S. 2004. Suuri suomalainen luontoparas. Keuruu: Suuri Suomalainen Kirjakerho.
- Heikkala, O. 2016. Emulation of natural disturbances and the maintenance of biodiversity in managed boreal forests: the effects of prescribed fire and retention forestry on insect assemblages. Väitöskirja. <https://dissertationsforestales.fi/pdf/article2005.pdf>. 5.1.2018.
- Heikkilä, T. 2014. Muuttujien väliset riippuvuudet - esimerkkejä. <http://www.tilastollinentutkimus.fi/5.SPSS/Riippuvuudet.pdf>. 26.3.2018.
- Huuskonen, S. 2008. Nuorten männiköiden kehitys - taimikonhoito ja ensiharvennus. Maatalous-metsätiede. Väitöskirja. <https://core.ac.uk/download/pdf/14916156.pdf>. 27.11.2017.
- Hämäläinen, J. 1990. Eri maanmuokkausmenetelmien edullisuus männyn ja kuusen viljelyssä Etelä-Suomessa. Metsätehon tiedote. http://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/tiedotus-1990_402.pdf. 29.3.2018.
- Itä-Suomen metsätoimistot. 2006. Tietoa metsänhoidosta. Verkko-opas. <http://www.itasuomenmetsatoimistot.fi/tietoa.htm>. 28.3.2018.
- Kauppi, A. 2016. Tuli kuuluu luontoon – kulotus hoitaa metsää ja lisää monimuotoisuutta. Metsäyhdistys. Artikkelit. <https://www.smy.fi/artikkeli/tuli-kuuluu-luontoon-kulotus-hoitaa-metsaa-ja-lisaa-monimuotoisuutta/>. 27.11.2017.
- Keski-Suomen Metsäkeskus. 1999. Puutavaralajien mitta- ja laatuvaatimukset. Julkaisu. http://www.virtuaali.info/opetusmaatilat/13/file/puutavaran-Laatuvaatimukset_1999_www.pdf. 28.11.2017.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Väitöskirja. Helsinki: Helsingin yliopisto.
- Laine, L J. 2013. Suomen luonto. Tunnistusopas. Helsinki: Otava.
- Lemberg, T., Puttonen, P. 2002. Kulottajan käsikirja. Helsinki: Metsälehti Kustannus.
- Levula, J., Levula, T., Westman, C J. 2004. Männyn taimikon kehityksen suhde maan ominaisuuksiin käsittelemättömällä ja kulotetulla metsämaalla. Metlan julkaisusarja. <https://www.metsatieteenaikakauskirja.fi/pdf/article6245.pdf>. 15.2.2018.
- Luke. 2015. Metsien ilmastovaikutukset - hiilensidonta ei kerro koko totuutta. Uutinen. <https://www.luke.fi/uutiset/metsien-ilmastovaikutukset-hiilensidonta-ei-kerro-koko-totuutta/>. 26.3.2018.
- Luke. 2016 a. Organisaatio. Toimipaikkaverkosto. <https://www.luke.fi/luke/organisaatio/toimipaikat/>. 27.11.2017.
- Luke. 2016 b. Luke. Lukessa työskentelevät tutkijat ja asiantuntijat tuottavat uusia ratkaisuja suomalaisen biotalouden kestävään kehittämiseen ja uusien elinkeinojen edistämiseen. <https://www.luke.fi/luke/>. 27.11.2017.
- Luke. 2017 a. Teollisuuspuun hakkuut uuteen ennätykseen vuonna 2016. Uutisartikkeli. <https://www.luke.fi/uutiset/teollisuuspuun-hakkuut-uuteen-ennatukseen-vuonna-2016/>. 27.11.2017.
- Luke. 2017 b. Biomassa-atlas. <https://www.luke.fi/biomassa-atlas/biomassojen-kuvaukset/metsa/>. 27.11.2017.

- Maa- ja metsätalousministeriö 2008. Bioenergia maa- ja metsätaloudessa. Muis-
tio. <http://mmm.fi/documents/1410837/1801168/Bioenergiamuisto.pdf/3cc7f60f-6491-4e16-ab0b-f334fed33032>. 27.11.2017.
- Metla. 2010. Pohjoinen mänty - laadukas ja monikäyttöinen. Tutkittua tietoa poh-
joisen männyn ominaisuuksista ja oikeasta käytöstä. <http://www.metla.fi/metinfo/northernpine/>. 27.11.2017.
- Metsänhoitoyhdistys. 2017. Mitta- ja laatuvaatimukset 2017. Eteläinen metsäre-
viiri. [https://www.mhy.fi/sites/default/files/metsareviiri/mitta-
_ja_laatu_2017.pdf](https://www.mhy.fi/sites/default/files/metsareviiri/mitta- ja_laatu_2017.pdf). 27.11.2017.
- Nuutinen, J. 2014. Maanmuokkauksen laadun kehittäminen. Metsä Group. Mik-
keli ammattikorkeakoulu. Opinnäytetyö. [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/85130/Nuuti-
nen_Jaakko.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/85130/Nuuti- nen_Jaakko.pdf?sequence=1). 2.12.2017.
- Piirainen, M., Piirainen, P., Vainio, H. 1999. Kotimaan luonnonkasvit. Helsinki:
WSOY.
- Pitkänen, A., Järvinen, E., Turunen, J., Kolström, T., Kouki, J. 2005. Kulotuksen
ja maan muokkauksen vaikutus männyn siementen itämiseen ja kyl-
vötaimien varhaiseen eloonjääntiin. Metlan julkaisusarja. <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff05/ff054387.pdf>. 27.11.2017.
- Repola, J., Lindblad, J., Laitila, J. 2013. Latvusmassan ja kantopuun määrän ar-
viointi hakkuukonemittauksessa. Metlan julkaisusarja. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp215.pdf>.
1.12.2017.
- Romppanen, K. 2016. Ennallistamispolton vaikutus elävän ja lahon puun mää-
rään. Karelia-ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusohjelma.
Opinnäytetyö. [https://www.theseus.fi/bitstream/han-
dle/10024/112311/Opinnaytetyo_Kari_Romppanen.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/112311/Opinnaytetyo_Kari_Romppanen.pdf?sequence=1).
27.11.2017.
- Salminen, V. 2016. Mäntytkin laatuosto. Tampereen ammattikorkeakoulu. Met-
sätalous. Opinnäytetyö. [https://www.theseus.fi/bitstream/han-
dle/10024/113964/Salminen_Viivi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/113964/Salminen_Viivi.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
27.11.2017.
- Takanen, O. 2017. Kulotuksen ja maanmuokkauksen vaikutus metsänuudistami-
seen. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Metsätalouden koulutusoh-
jelma. Opinnäytetyö. [http://www.theseus.fi/bitstream/han-
dle/10024/22841/Takanen_Olavi.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/22841/Takanen_Olavi.pdf?sequence=1&isAllowed=y).
28.11.2017.
- Tapio. 2014. Hyvän metsänhoidon suositukset. Maastotaulukot. Lahti: Metsäkus-
tannus Oy.
- UPM Metsä. 2017. Kulotus. Kulotuksessa metsämaata poltetaan hallitusti. Polton
yhteydessä maahan jäävä hiili antaa hyödyllisiä ravinteita maaperälle
ja kasvattaa samalla biodiversiteettiä. Metsäkirjasto. <https://www.upmmetsa.fi/tietoa-ja-tapahtumia/tietoartikkelit/kulotus/>.
27.11.2017.

Tutkimuskohteen koeruutukartta muokkaustavoittain

KULOTUS- JA MUOKKAUSKOE 658
TAMMELA LINTUMAA



1:2000

↑ Louku-Porras
tella

K=KULOTUS 31.5.1988
M=MUOKKAAMATON
L=LAUTASAURAUUS 8.1988
MA=MATASTYS 8.1988

Istutus 8.-10.5.1989
Taimet ma 2a + 1a
SV 1 Anjalankoski



Biomassalaskelmien yhteenvetotaulukot

KULOTETTU	keskilpm cm	keskipituus m	Biomassa pituusläpimittia				Neulaset/Lehdet kg/ha	Kanto kg/ha	Juuri yli 1cm kg/ha	Yhteensä kg/ha
			Rungon puuaine kg/ha	Kuori kg/ha	Elävät oksat kg/ha	Elävät oksat kg/ha				
koeruutu										
1 kma	19,93	16,25	77759,63	59,358	13812,92	5714,20	6626,766	12894,786	116867,669	
2 km	19,10	15,48	76308,55	601,661	13768,19	5713,43	6555,668	13191,807	116139,299	
3 kl	17,64	14,80	66199,27	122,631	11997,97	5290,15	5711,939	11064,456	100386,420	
4 km	18,62	15,94	77483,52	59,793	12884,14	5589,35	6342,005	12253,919	114612,723	
5 kma	18,18	14,50	64710,96	59,371	11479,36	4983,21	5393,072	10385,096	97011,072	
6 kl	17,01	14,51	56527,82	186,006	10259,86	4625,44	4886,970	9484,676	85970,769	
7 kl	18,55	16,02	81296,33	62,897	13191,50	5846,76	6564,204	12667,293	119628,980	
8 km	18,15	15,36	70372,31	352,539	12369,07	5355,87	5957,283	11808,944	106216,012	
9 kma	18,67	14,92	62062,99	58,753	11926,86	5053,18	5553,249	10729,524	95384,561	
10 kma	20,53	16,17	75431,26	501,816	14317,81	5587,91	6677,710	13423,613	115940,118	
11 km	18,00	15,56	74679,25	160,659	12610,55	5516,42	6166,897	12011,165	111144,944	
12 kl	17,48	14,77	68937,64	439,326	12936,36	5534,65	6064,459	12064,007	105976,432	
Kulotetulla yhteensä		Biomassa Kg	851769,53	2664,81	151554,59	64810,57	72500,22	141979,28	1285278,998	
		Osuus%	66,27	0,21	11,79	5,04	5,64	11,05	100	
keskiarvo	18,49	15,36	70980,79	222,07	12629,55	5400,88	11153,880	11831,607	112218,778	
KULOTTAMATON										
13 ma	19,22	15,57	73521,20	586,960	13671,98	5621,95	6437,860	13003,668	112843,622	
14 l	18,54	15,58	68661,71	1931,524	13277,99	5271,37	6131,780	13631,079	108905,449	
15 m	20,95	15,05	53360,13	671,167	11827,48	4554,86	5220,431	10795,487	86429,565	
16 l	19,69	15,07	61447,28	2166,744	12736,95	4604,26	5718,280	12901,438	99574,951	
17 m	21,05	14,94	52020,19	322,193	11787,27	5152,49	5240,369	10950,008	85472,513	
18 ma	18,64	15,86	67999,13	984,129	11898,22	4959,33	5724,662	11946,756	103512,239	
19 l	20,20	15,71	71915,78	611,640	13908,82	5987,43	6546,166	13625,938	112595,774	
20 ma	18,89	15,71	75566,91	1437,860	13432,65	5728,06	6478,812	14137,355	116781,653	
21 m	21,58	14,91	40929,03	1486,546	9321,53	7624,08	5118,234	13554,346	78033,775	
22 ma	19,70	16,50	82932,77	1607,827	14101,13	5884,68	6901,756	15076,398	126504,555	
23 l	19,10	15,88	74949,04	129,333	13116,98	5756,70	6355,764	12489,294	112797,109	
24 m	19,91	14,26	53214,06	259,015	13219,04	5034,63	5563,738	11309,261	88599,739	
Kulottamattomalla yhteensä			776517,24	12194,94	152300,05	66179,84	71437,853	153421,028	1232050,945	
		Osuus%	63,03	0,99	12,36	5,37	5,80	12,45	100,00	
keskiarvo	19,79	15,42	64709,77	1016,24	12691,67	5514,99	10990,439	12785,086	107708,197	
Yhteensä koko kokeen alueella			1628286,77	14859,75	303854,64	130990,41	143938,07	295400,31	2517329,94	

Biomassalaskelmien yhteenvetotaulukot

KULOTTIETTU	Keskilp (m)	Keskilp (cm)	keskipituus (m)	Latusraja (m)	Biomassa pituus+läpimitta+latusraja			Neulaset/Lehdet kg/ha	Kanto kg/ha	Juuri yli 1cm kg/ha	Yhteensä kg/ha
					Rungon puuain kg/ha	Kuori kg/ha	Eivät oksat kg/ha				
Koeruutu Muokkaustapa											
1 kma	8,7	19,93	16,25	78180,73	59,172	39804,04	4807,57	6626,766	12894,786	142373,060	
2 km	7,9	19,10	15,48	74622,86	601,343	39800,75	5245,41	6507,934	13099,960	139878,252	
3 kl	8,8	17,64	14,80	66189,49	111,902	28702,95	3856,29	5711,939	11032,079	115604,649	
4 km	9,5	18,62	15,94	76959,64	60,502	33827,46	4226,41	6342,005	12253,919	133669,933	
5 kma	7,9	18,18	14,50	59656,72	60,810	30383,26	3971,27	5393,072	10385,096	109850,229	
6 kl	7,6	17,01	14,51	56595,04	186,047	28534,16	4046,38	4886,970	9484,676	103733,275	
7 kl	8,7	18,55	16,02	79641,78	63,315	38276,72	4966,98	6511,164	12566,922	142026,877	
8 km	8,5	18,15	15,36	70606,58	344,046	33755,60	4581,00	5957,283	11786,189	127030,708	
9 kma	8,0	18,67	14,92	62113,82	58,793	32684,46	4160,57	5553,249	10729,524	115300,418	
10 kma	8,7	20,53	16,17	76286,54	501,369	39409,65	4718,90	6677,710	13423,613	141017,787	
11 km	8,8	18,00	15,56	74117,45	152,004	32511,43	5147,27	6166,897	11985,911	130075,956	
12 kl	8,1	17,48	14,77	70232,51	427,616	34073,02	4421,98	6064,459	12037,668	127257,248	
Kulotettulla yhteensä	8,4		Biomassa Kg	845203,170	2626,918	411763,487	54145,030	72399,447	141680,343	1527818,394	
			Osuus%	55,32	0,17	26,95	3,54	4,74	9,27	100	
keskiarvo	18,49	15,36	15,96	70433,60	218,91	34313,62	4512,09	11138,376	11806,695	132423,289	
KULOTTAMATON											
13 ma	8,5	19,22	15,57	73863,43	571,816	36925,50	4917,68	6437,860	12966,521	135682,802	
14 l	7,9	18,54	15,58	71125,50	1952,556	35573,80	5596,71	6085,616	13599,636	133933,815	
15 m	7,0	20,95	15,05	52964,92	669,835	34980,89	4343,73	5220,431	10790,363	108970,166	
16 l	7,3	19,69	15,07	60911,93	2140,804	33709,83	5247,40	5718,280	12826,494	120554,738	
17 m	6,5	21,05	14,94	52223,16	321,805	36186,31	4522,89	5240,369	10950,008	109444,550	
18 ma	8,3	18,64	15,86	68500,06	990,022	33350,55	4808,99	5711,757	11941,364	125302,739	
19 l	8,0	20,20	15,71	71613,02	612,880	39680,22	5002,66	6546,166	13625,938	137080,886	
20 ma	8,7	18,89	15,71	75067,35	1392,372	35254,69	5367,24	6478,812	14016,948	137577,413	
21 m	6,2	21,58	14,91	42487,37	1486,985	30272,82	4961,17	5118,234	13515,064	97841,640	
22 ma	8,8	19,70	16,50	82932,77	1607,827	38969,64	5678,97	6901,756	15076,398	151167,353	
23 l	8,2	19,10	15,88	74828,38	129,503	39547,13	5022,42	6355,764	12489,294	138372,499	
24 m	5,8	19,91	14,26	55038,27	255,826	42088,95	4919,21	5563,738	11309,261	119175,245	
Kulottamattomalla yhteensä	7,6		436540,313	781556,170	12132,230	436540,313	60389,059	71378,785	153107,288	1515103,845	
			Osuus%	51,58	0,80	28,81	3,99	4,71	10,11	100,00	
keskiarvo	19,79	15,42	15,42	65129,68	1011,02	36378,36	5032,42	10981,351	12758,941	131291,773	
Yhteensä koko kokeen alueella				1626759,34	14759,15	848303,80	114534,09	143778,23	294787,63	3042922,24	