

KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU  
Metsätalouden koulutusohjelma

Tatu Laakkonen

PIENTEN RUNKOJEN KORJUUN KANNATTAVUUS TORNATOR  
OYJ:N JOUKKOKÄSITTELYHAKKUUSSA

Opinnäytetyö  
Toukokuu 2014



**OPINNÄYTETYÖ**  
**Huhtikuu 2014**  
**Metsätalouden koulutusohjelma**

Sirkkalantie 12 A  
80100 Joensuu  
p. 013 260 6900

Tekijä  
Tatu Laakkonen

Nimeke  
Pienten runkojen korjuun kannattavuus Tornator Oyj:n joukkokäsittelyhakuussa

Toimeksiantaja  
Tornator Oyj

Tiivistelmä

Puuenergian käytön suosio ja kysyntä jatkavat kasvuaan uusiutuvien energialähteiden käytön lisäämisen seurauksena. Tämän vuoksi energiapuunkorjuussa on siirrytty aina vain ko-neellisempaan suuntaan.

Opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää ohjeellinen raja korjuukonekuskeille siitä, mikä on pienin kannattava korjuussa kerättävä puu rinnankorkeusläpimitaltaan. Laskennassa tarkoi-tus oli saada selville järeydeltään erilaisten harvennuskohdeiden korjuun kannattavuus. Tut-kimuksen tarkoituksena oli myös saada selville metsureille annettava ohjeellinen rinnankor-keusläpimittaraja ennakkoraivaukseen ensiharvennuksilla.

Tutkimus perustui tapaustutkimukseen. Suuren aineiston sijasta paneuduttiin muutamiin tapauksiin syvällisesti. Tutkimus toteutettiin teoreettisilla runkolukusarjoilla ja niistä syntyvil-lä tuloksilla. Tutkimuksessa verrattiin myös todellisia runkolukusarjoja. Tutkimuksen tarkoi-tus oli selvittää pienien puiden korjuun vaikutus leimikon poistuman keskijäreyteen sekä poistuman määrään ja sitä kautta leimikon korjuukustannuksiin.

Tutkimustulosten perusteella valtaosassa tapauksista pienin kannattava ensiharvennuksilla korjattava läpimitta on 8 cm. Tätä pienemmistä puista ei kyseisissä tapauksissa saanut kor-jaamalla tarpeeksi puumateriaalia. Korjatessa minimiläpimitaltaan 7–9 cm:n puita kannatta-vuudessa ei ollut merkittäviä taloudellisia eroja.

Kieli  
suomi

Sivuja 39  
Liitteet 2  
Liitesivumäärä 3

Asiasanat  
Ensiharvennus, puunkorjuu, energiapuu



**THESIS**  
**April 2014**  
**Degree Programme in Forestry**  
Sirkkalantie 12 A  
FI 80100 JOENSUU  
FINLAND  
Tel. 358-13-260-6900

Author  
Tatu Laakkonen

Title  
Profitability of Harvesting Small Trees in Multi-Stem Harvesting of Tornator Plc

Commissioned by  
Tornator Plc

Abstract

Usage and demand for wood energy continues to grow as a result of increased use of renewable energy sources. Therefore, harvesting of energy wood has changed towards a more to mechanized direction.

The goals of this study were to determine the indicative limits for harvest operators and what is the smallest wood diameter at breast height is that is profitable to collect at thinning sites. This research was aimed to calculate profitability of thinning at cutting sites of different sturdiness. Another purpose of this study was to find out indicative diameter limits at breast height for forest workers for pre-clearance at the first thinning sites.

The research was based on a case study. Instead of large data, the study focused on a few cases profoundly. The study was carried out by using a theoretical diameter distribution and the results were based on it. The study also compared actual diameter distribution. The purpose of this study was to examine the effect of harvesting small trees in a stand marked for cutting and how it affects the stand's sturdiness, yield of wood and cost of harvesting.

On the basis of the results of this research, it can be concluded that the smallest profitable harvested tree diameter is 8 cm at breast height. Harvesting trees smaller than that did not yield enough wood to cover harvesting costs. There were no significant differences in profitability when harvested trees were between 7 and 9 cm at breast height.

Language  
Finnish

Pages 39  
Appendices 2  
Pages of Appendices 3

Keywords  
First thinning, harvesting, energy wood

## Sisältö

Tiivistelmä  
Abstract

Sisältö .....	6
1 Johdanto .....	6
2 Toimeksiantajan ja yhteistyökumppanin esittely .....	7
2.1 Tornator Oyj.....	7
2.2 Fortum Oyj.....	8
3 Energiapuun korjuu harvennusemetsistä .....	8
3.1 Energiapuun korjuu.....	8
3.2 Joukkokäsittely .....	10
3.3 Energiapuunkorjuu ensiharvennuksilta .....	10
3.4 Energiapuun käyttötarkoitus Tornator Oyj:n kohteilla .....	12
4 Ennakkoraivaus .....	12
5 Kannattavuuteen vaikuttavat asiat ensiharvennuksilla .....	13
5.1 Hakattavan puuston keskijäreys .....	13
5.2 Taksarakenne .....	14
5.3 Puustamaksukyky .....	16
5.4 Ennakkoraivaus .....	17
6 Tutkimuksen toteutus.....	17
6.1 Toteutus.....	17
6.2 Tutkimusongelma .....	18
7 Tutkimusaineisto- ja menetelmät .....	19
7.1 Tutkimusmenetelmä .....	19
7.2 Teoreettiset laskennat .....	20
7.3 Koealojen poistumien runkolukusarjat .....	21
8 Tulokset .....	21
8.1 Puustotiedot ja runkolukusarjat.....	21
8.2 Teoreettiset runkolukusarjat .....	22
8.2.1 Pienet .....	23
8.2.2 Järeät .....	24
8.2.3 Suurin pohjapinta-ala.....	26
8.2.4 Keskiarvo.....	27

8.2.5 Kaksijaksoinen metsikkökuvio .....	29
8.3 Koealojen poistumien runkolukusarjat .....	30
8.3.1 Koeala 1 .....	30
8.3.2 Koeala 3 .....	32
8.4 Tulosten tarkastelu .....	33
8.5 Kannattavuus.....	34
8.6 Johtopäätökset .....	35
9 Pohdinta.....	36
9.1 Ensiharvennuksen toteutus .....	36
9.2 Luotettavuus .....	37
9.3 Prosessikuvaus.....	38
9.4 Jatkotutkimusaiheet .....	38
Lähteet.....	39

Liitteet

Liite 1	Teoreettiset runkolukusarjat
Liite 2	Koealojen runkolukusarjat

## 1 Johdanto

Toimin harjoittelijana Tornator Oyj:ssä kesän 2013 metsänhoitoesimiehen tehtävissä. Tornator on sopinut toimittavansa energiayhtiö Fortumin Joensuun liksenvaaraan rakennetulle bioöljylaitokselle tarvittavan puubiomassan. Suurimman osan puubiomassasta Tornator korjaa ensiharvennuskohteilta, joilta korjataan Fortumille tarkoitettua materiaalia joukkokäsittelyhakkuuna. Tämä kasvava puuaineen tarve herätti kysymyksiä korjuun kannattavuudesta ensiharvennuskohteilla joukkokäsittelyssä.

Sain syksyllä 2013 Tornator Oyj:ltä opinnäytetyöni aiheen, jonka tarkoitus on selvittää pienten runkojen korjuun kannattavuus joukkokäsittelynä ensiharvennuskohteilla. Opinnäytetyön aiheen antoi Tornator Oyj:n operatioesimies Jussi Komulainen, joka on myös opinnäytetyöni ohjaaja yhtiön puolesta. Tutkimus suoritetaan yhteistyössä yhtiön yhteistyökumppaneiden kanssa.

Pääkysymyksenä esille nousi ensiharvennuskohteiden ennakkoraivauksen ohjeellinen rinnankorkeusläpimitta. Onko ensiharvennuksella taloudellisesti kannattavaa korjata pieniläpimittaisia puita energiapuuksi, vai suorittaa ennakkoraivaus. Kysymyksenä on, onko taloudellisen tuloksen maksimoimiseksi kannattavampaa jättää ennakkoraivauksessa pienempi läpimittaisia puita pystyyn, jolloin harvennuspoistuma kasvaa, mutta toisaalta keskijäreys pienenee nostoen puunkorjuun kustannuksia. Toisin sanottuna, kun harvennuksen harvennuskeritymän keskijäreys laskee, korjuun kustannukset kasvavat. Ennakkoraivaus on ennen korjuuta tehtävä toimenpide, jossa poistetaan runsas, puunkorjuuta haittaava alikasvos raivaussahalla ennen puunkorjuuta. Tämä parantaa hakkuun korjuuolosuhteita. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 18.) Kaikkia kohteita ei kuitenkaan tarvitse ennakkoraivata korjuuta haittaavan puuston vähyden vuoksi.

Tutkimuksessa lasketaan pienien puiden tilavuus, ja verrataan syntynyttä tuotosta koneellisesta korjuusta aiheutuneisiin kustannuksiin keskijäreysten laski-

essa. Tästä tuloksena syntyy myös pienin ensiharvennuksessa kannattavasti korjattava puun rinnankorkeusläpimitta. Tutkimuksen tarkoitus on pääasiassa tuottaa tietoa hakkuukoneenkuljettajalle, mitä puita ennakkoraivaamattomilla harvennuksilla on järkevä ottaa, ja mitkä puut saavat jäädä pystyyn.

Opinnäytetyöni tarkoitus on tuottaa tuloksia, joilla voidaan ohjeistaa metsureita ennakkoraivauksessa sekä korjuukonekuskeja koneellisessa korjuussa ja joukkokäsittelyn korjuun ohjauksessa. Tavoitteena on taloudellisen lopputuloksen maksimointi, jossa muuttujina ovat hakkuukertymä ja sitä kautta puusta saatava myyntitulo ja korjuun kustannukset (€/m<sup>3</sup>).

## **2 Toimeksiantajan ja yhteistyökumppanin esittely**

### **2.1 Tornator Oyj**

Tornator Oyj on Suomen kolmanneksi suurin metsänomistaja lähes 600 000 hehtaarin metsäomaisuudellaan. Tornatorin toiminta alkoi vuonna 2002, kun Stora Enso siirsi metsäomaisuutensa uuteen yhtiöön. Tornator-nimi on kuitenkin 1930-luvulta, kun Enso-Gutzeitin omistukseen tuli Tornator-niminen metsäyhtiö. Nykyään Tornator Oyj:n suurin yksittäinen osakkeen omistaja on Stora Enso. Muita suuria osakkeen omistajia ovat vakuutusyhtiöt Ilmarinen, Etera ja Varma. (Tornator Oyj 2014.)

Tornatorilla on 14 toimipaikkaa ympäri Suomen ja toimintaa tytäryhtiöiden muodossa Romaniassa ja Virossa. Pääliiketoimintana toimii puuntuottaminen ja hakkuuoikeuksien myynti yhtiön metsistä. Pääliiketoiminnan ohella Tornator myy rantatontteja ja maa-aineksia sekä vuokraa käyttöoikeuksia maillensa. Lisäksi Tornator pyrkii ostamaan metsämaita nykyisten metsätilojensa läheisyydestä. (Tornator Oyj 2014.)

## **2.2 Fortum Oyj**

Fortum Oyj on suomalainen energiayhtiö, jonka tarkoitus on tuottaa lämpöä ja energiaa. Fortum on keskittynyt Pohjoismaihin, Venäjälle, Puolaan ja Itämeren alueelle. (Fortum Oyj 2014.)

Fortum otti käyttöön Joensuun liksenvaaran uuden bioöljylaitoksensa 29.11.2013. Bioöljyä tuottava laitos on teollisessa mittakaavassaan ensimmäinen laatuaan koko maailmassa, koska bioöljylaitos on integroitu Fortumin Joensuun sähkön ja lämmön yhteistuotantolaitokseen. Bioöljyä tuotetaan Joensuun lähialueilta kerätystä metsäpolttoaineesta, jonka toimittaa tuotantolaitokselle haketettuna Tornator Oyj. Bioöljyn tuotanto lisää Joensuun Fortumin puumateriaalien käyttöä 150 000 kuutiometrillä. Tästä puumäärästä saa 50 000 tonnia bioöljyä, joka vastaa yli 10 000 pientalon lämmitystarvetta. (Fortum Oyj 2014.) Joensuun bioöljylaitos perustuu niin sanottuun nopeapyrolyysiteknologiaan, jonka tarkoituksena on kuumentaa puubiomassa nopeasti hapettomassa tilassa, jonka seurauksena biomassa hajoaa ja muodostaa kaasuja. Kaasut lauhdutetaan tämän jälkeen edelleen öljyksi. (Fortum Oyj 2014.)

## **3 Energiapuun korjuu harvennusmetsistä**

### **3.1 Energiapuun korjuu**

Puu on metsissämme kasvava uusiutuva luonnonvara, jolla voidaan korvata uusiutumattomia energianlähteitä ja hidastaa ilmaston muutosta. Suomessa kokonaisenergiankäytöstä 23 % oli vuonna 2012 puuperäistä (Tilastokeskus 2014). Energiapuun käytön hidastava vaikutus ilmaston muutokseen perustuu uusiutumattomien fossiilisten polttoaineiden korvaamiseen uusiutuvilla energiamuodoilla vähentäen ilmakehään vapautuvan hiilidioksidin määrää (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 8).



Pieniläpimittaisen ja nuoren harvennuspuun korjuun ja käytön lisääminen on tällä hetkellä yksi tärkeimmistä kehittämis- ja tutkimustarpeista Suomen metsätaloudessa. Puuenergian suosio ja kysyntä jatkaa kasvuaan sekä energiapuun korjuussa on siirrytty aina vain koneellisempaan suuntaan. Tämän vuoksi onkin mielestäni tärkeä tutkia energiapuun koneellisen korjuun kannattavuutta ja raja-arvoja.

Opinnäytetyöni tarkastelee energiapuun korjuuta lähinnä ensiharvennuskohteilta ja tarkastelu ainespuun, eli saha- tai paperiteollisuudelle menevän puuraaka-aineen kohdalta on jätetty pois. Myös muilta harvennuskohteilta, kuten ensiharvennusta seuraavista harvennuksista, voidaan korjata energiapuuta integroidulla energia- ja ainespuunkorjuulla (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 16). Vaikka eri puilla on erilaiset puuominaisuudet (mm. kuidun pituus, kuidun leveys, kuituseinämän paksuus, kuituseinämän fibrillikulma, tiheys, sydänpuun osuus, nuorpuun määrä), energiapuun korjuussa ei ole vähimmäislatväläpimitta vaatimuksia eikä huomattavia laatuvaatimuksia. Tästä syystä minkä kokoinen puu tahansa kelpaa energiapuuksi laatuun katsomatta (Uusitalo 2003, 38). Laadulliset asiat tulevat kysymykseen vasta haketuksen yhteydessä. Polttohakkeen laatuun vaikuttavat kosteus, palakokojakauma, puhtaus, tiiviys sekä säilyvyys varastoinnissa (Metsäntutkimuslaitos 1998, 116). Energiapuun korjuulla ja varastoinnilla pyritään tuottamaan mahdollisimman kuivaa ja puhdasta raaka-ainetta energiantuotantoon. Kuiva raaka-aine parantaa energiapuun energiasältöä ( $\text{MWh/m}^3$ ) ja sitä edistetään korjuun ja varastoinnin kaikissa vaiheissa.

Varastoinnissa on raaka-aineen kuivamisen kannalta hyvä laittaa varastopinon pohjalle riittävästi aluspuuta, joka estää maakosteuden siirtymisen pinon alempiin kerroksiin, estää pinon kallistumisen sekä parantaa pinon tuulettumista. On tärkeä varmistaa, ettei pinossa ole kiviä tai muita haitallisia esineitä, jotka voisivat tuottaa ongelmia tulevaisuudessa tapahtuvassa haketuksessa tai polttovaiheessa. Mahdollisimman korkeaksi tehty pino pienentää kastuvaa alaa, jotka ovat varastopinon pohja sekä päällinen. Energiapuun kosteutta voidaan alentaa myös peittämällä varastopino. Tärkeää on varmistaa varastopinon sortumattomuus. Energiapuun kuivumisen nopeuttamiseksi puiden tyvet tulee osoittaa tielle päin ja mieluiten niin, että ne osoittavat etelään. Näin vesi valuu latvojen

suuntaan ja aurinko kohdistuu tasaisesti koko varastopinoon. Halutessa voidaan tien puolelle varastopinoon tehdä noin metrin pituinen lippa, joka vähentää pinon kastumista. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 47.)

Kerätty energiapuu on haketettava ennen polttoa. Olosuhteista ja käytettävissä olevasta kalustosta riippuen energiapuu voidaan hakettaa hakkuualueella, tienvarsivarastolla, erillisessä terminaalissa tai käyttöpaikalla. Haketus varsin varhaisessa vaiheessa alentaa kuljetuskustannuksia ajoneuvojen kuormatilan hyödynnettävyydestä johtuen, mutta varhainen haketus aiheuttaa varastointiongelmia ja vaatii aina erikoiskaluston käyttöä. (Uusitalo 2003, 100.)

### **3.2 Joukkokäsittely**

Joukkokäsittelyllä tarkoitetaan useamman kuin yhden puun käsittelyä kerrallaan. Normaaliin hakkuulaitteen yläosaan voidaan asentaa lisäkäpälät, jotka mahdollistavat usean pieniläpimittaisen rungon käsittelyn yhtäaikaaisesti. Hakkuulaite tekee kaatosahauksen, mutta ei kaada runkoa maahan vaan sulkee sen lisäkäpäliillä kouraan kiinni ja siirtyy seuraavalle rungolle. 2–5 rungon sahausen jälkeen koura karsii ja katkoo puut yhtenä nippuna vaaka-asennossa. Nipussa karsittuna puiden karsintajälki heikkenee, mutta ensiharvennuspuut kuoriutuvat kuivatusta varten riittävän hyvin, jotta bioöljyn tuottaminen onnistuu. Puuta ei kuitenkaan voida tarkasti mitata joukkokäsittelyllä. (Uusitalo 2003, 86.)

Pieniläpimittaisessa puustossa tuottavuus kasvaa joukkokäsittelyllä 15–30 %. (Uusitalo 2003, 86). Energiapuun koneellisessa korjuussa onkin ollut ongelmana koneiden suuri hankintahinta sekä pienet tuottavuuslukemat. Joukkokäsittelyn ansiosta energiapuun koneellisen korjuun kustannukset ovatkin laskeneet.

### **3.3 Energiapuunkorjuu ensiharvennuksilta**

Energiapuun korjuu soveltuu niin hoidetuille kuin hoitamatta jääneille metsille. Energiapuun korjuun jälkeen puusto järeytyy, ja tulevien harvennuksien tuotto

kasvaa. Hoitamattomissa metsissä lisääntyvä korjuuvaurioriski tulevilla hakkuilla kasvaa johtuen suuresta runkotiheydestä lähtöpuustossa. Hoidetussa metsässä myös metsässä liikkuminen helpottuu. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 18.) Ensiharvennuksen seurauksena puuston kasvu kiihtyy johtuen latvuksille ja juuristolle avautuneesta tilasta ja lahoavista hakkuutähteistä vapautuneista ravinteista. Kokopuun korjuussa ravinteet hakkuutähteistä kerätään kokonaan talteen kasvattaen biomassan kertymää metsästä. Tämän seurauksena kokopuun korjuun katsotaankin alentavan puuston kasvua näin tehdyn harvennushakkuun jälkeen. (Metsäntutkimuslaitos ja Tapio 1997, 92.)

Kokopuuna korjuu ei sovellu ravinnetaloudeltaan karuimmille kasvupaikoille, jotta maaperän puuntuotoskyky sekä maaperäeliöstön monimuotoisuus ei vaarantuisi. Rankapuun korjuuna, jolloin latvusmassa sekä oksat jäävät suurimmaksi osin metsään, voi energiapuuta korjata kaikista talousmetsistä. Samaan ryhmään kuuluu integroitu korjuu, jossa korjataan sekä energia- että ainespuuta yksinpuin tai joukkokäsittelynä. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 17–18.)

Ensiharvennuksen nettotuloihin vaikuttavat suuresti harvennuspoistuma sekä puunkorjuun kustannukset. Harvennuspoistumalla tarkoitetaan harvennukselta korjattavaa puumateriaalia ja hakkuupoistumalla tarkoitetaan korjuussa poistettuja puita. Edellytyksenä kannattavalle hakkuulle on, että poistettavat puut ovat käyttöpuun vähimmäiskokoa suurempia. Tästä johtuen hakkuuta voi lykätä niin myöhäiseen, kuin se metsänhoidollisesti on mahdollista. Jos energiapuulla on kysyntää sekä markkinoilla maksukykyä, ensiharvennus saattaa olla joissain tapauksissa selvästi kannattavampaa suorittaa varhaisemmin. (Metsäntutkimuslaitos ja Tapio 1997, 68.)

Energiapuunkorjuu mahdollistaa myös laatuharvennusperiaatteellisen, eli laadullisesti heikkojen puiden poistoon keskittyvän korjuun ensiharvennuksilla. Näin susipuita, eli heikkolaatuisia puita voidaan poistaa tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Puusta saa myös paremman hinnan joissain tapauksissa. Esimerkiksi susipuista ja lepästä saa saman hinnan mitä kuusesta. Energiapuunkorjuu onnistuu ja on kannattavampaa nykyaikana ennemmin konetyönä kuin metsuri-

työnä johtuen mm. ihmistyön korkeista sivukuluista, sekä metsäkuljetuksen alemmasta tuottavuudesta metsurihakkuun jäljiltä (Metsäntutkimuslaitos ja Tapio 1997, 94). Harvennuksessa siis korostetaan jäävän puuston laatua sekä poistetaan huonolaatuiset puut (vialliset, lengot, paksuoksalet) parantaen näin metsän sekä tulevien harvennusten puiden laatua.

Harvennusvoimakkuutta voi seurata hakkuun aikana jäävän puuston runkoluvun avulla. Poistettujen puiden läpimittoja hakkuukoneenkuljettaja voi tarkastella harvennusta suorittaessa koneen mittalaitteen avulla. Hakkuukoneen puomilla rajattavalla puoliympyrällä hakkuukoneenkuljettaja voi laskea ja tarkastella jäävän puuston määrää harvennuksen aikana. Hieman enemmän puita voi harvennuksella jättää ajouran varteen, sillä reunapuut voivat hyödyntää ajouran tuomat lisäravinteet ja valon. (Uusitalo 2003, 75 – 76.)

### **3.4 Energiapuun käyttötarkoitus Tornator Oyj:n kohteilla**

Tornator on sopinut Fortum Oyj:n kanssa puumateriaalin toimituksesta Joensuuun liksenvaaraan rakennetulle bioöljytehtaalle. Tornatorin energiapuun korjuukohteita ovat pääsääntöisesti ensiharvennukset.

Yhtiön ensiharvennukset ovat nykyään harvoin myöhässä, joten hoitamattomia nuoria metsiä on yhä vähemmän. Näiltä energiapuukohteilta kerätään puumateriaali rankapuuna, varastoidaan tienvarteen kuivumaan ja odottamaan kuljetusta tehtaalle, jossa puutavara haketetaan. Tornator Oyj on päättänyt hakettamaan energiapuun käyttöpaikalla varastoinnin ja logistiikan helpottamiseksi.

## **4 Ennakkoraivaus**

Ennakkoraivaus tehdään, jos se on välttämätöntä koneellisen korjuun kannalta. Ennakkoraivaus parantaa hakkuukoneenkuljettajan näkymää, joka omalta osaltaan parantaa hakkuun korjuun laatua. Alikasvos, joka heikentää näkymää leimikolla, ei alenna merkittävästi leimikolta saatavaa energiapuukertymää. En-

nakkoraivaus lisää myös korjuun tuottavuutta. (Uusitalo 2003, 198–199.) Riistan kannalta on suositeltavaa jättää metsikköön muutamia pienialaisia riistatiheikköjä riistan suojapaikoiksi (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 18).

Ennakkoraivaus suoritetaan tarvittavilla kohteilla metsurityönä käyttäen raivaussahaa. Suositeltavaa on toteuttaa ennakkoraivaus hyvissä ajoin ennen korjuuta, mieluiten jo edellisenä vuonna. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 17–18). Tornator Oyj:n kohteilla ennakkoraivauksen suorittaa yhtiön omat metsurit.

Puunkorjuuryitykset korostavat jatkuvasti ennakkoraivauksen tärkeyttä. Raivaamaton ensiharvennuskohte alentaa huomattavasti hakkuukoneen tuntu-  
tuotosta, johtuen tehotyöajasta menevän ainespuuksi kelpaamattoman puuston raivaukseen. Monessa tapauksessa hakkuukone ainoastaan raivaa alikasvosta sen verran, että kuljettaja voi onnistuneesti käsittelemään varsinaista hakattavaa puuta. Käsiteltävän puun tyvellä ei voida sallia alikasvosta puun mittauksen ja apteerauksen onnistumisen turvaamiseksi.

Kun alikasvoksen tiheys ja pituus kasvavat sekä ainespuun hakkuukertymä kasvaa, on taloudellisesti kannattavaa ennakkoraivata pieniäkin alikasvosker-  
tymiä. Tämä johtuu ennakkoraivauksen kustannusten ja korjuutyön lisäkustannusten suhteesta. Korjuutyön lisäkustannuksia tuottaa korjuutyön tuottavuuden laskeminen. Kun hakattavan puuston järeys kasvaa, nousee myös ennakkoraivausraja. (Kärhä, Keskinen, Kallio, Liikkanen, & Lindroos 2006, 59.)

## **5 Kannattavuuteen vaikuttavat asiat ensiharvennuksilla**

### **5.1 Hakattavan puuston keskijäreys**

Kun kohdetta harvennetaan, korjuun kokonaistaksa määräytyy hakattavan puuston keskijäreiden mukaan. Puuston keskijäreys vaikuttaa voimakkaimmin kannattavuuteen ensiharvennuskohteilla. Kun hakattavan puuston keskijäreys laskee, nousee konehakkuun taksa. Tämän vuoksi onkin mietittävä, kannattaa-

ko korjuukonekuljettajan käsitellä ensiharvennuskohteilla pienimpiä puita, vai jättää niitä pystyyn.

Korjuussa rungon keskikoolla on merkittävä vaikutus kannattavuuteen. Hakkuukoneilla suurimpien runkojen korjaaminen vie keskimääräisesti vain noin kaksi kertaa enemmän aikaa kuin pienten runkojen korjaaminen. Tuotos aikayksikköä kohti on päätehakkuu ikään kasvaneilla rungoilla lähes kymmenkertainen harvennuskokoiisiin runkoihin verrattuna. Tästä syystä tuotos aikayksikköä kohti eli työn tuottavuus on lähes kokonaan riippuvainen hakkuupoistuman kokoajakaumasta. Korjuun yksikkökustannuksiin sekä kannattavuuteen vaikuttavat rungon keskikoon kanssa myös harvennuspoistuman suuruus. Hakkuupoistuman merkitys korostuu koneellisessa puunkorjuussa, ja varsinkin harvennushakkuissa. Jos hakkuupoistuma on pieni, sitä suuremmaksi kasvaa työyksikköä kohden kiinteiden kustannusten osuus ja korjuun kannattavuus on sitä heikompi. (Uusitalo 2003, 24.)

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena onkin selvittää ohjeellinen raja korjuukonekuskille siitä, mikä on pienin puun rinnankorkeusläpimitta, joita kannattaa korjata. Korjaamalla pienimpiä puita harvennuspoistuman keskijäreys laskee, nostaan näin korjuutaksaa, minkä vuoksi hakkuusta ei saada parasta mahdollista tuottoa. Jättämällä aina vain isompia puita korjaamatta, harvennuspoistuma laskee ensiharvennuksella. Kannattava korjuu koneella edellyttää sitä, että korjattavan rungon keskikoko on vähintään 20–30 litraa ja metsikön valtapituus metsikössä on vähintään 10 metriä (Koistinen & Äijälä 2005, 13).

## **5.2 Taksarakenne**

Taksarakenne perustuu leimikon hakkuupoistuman keskijäreYTEEN. Kun korjuu on suoritettu, korjuukoneenkuljettaja välittää tiedon keskijäreYdestä ja hakkuupoistumasta taksan maksavalle organisaatiolle. Tämän pohjalta korjuuyrittäjä saa suorituksen työstään. KeskijäreYdeltään pienillä leimikoilla korjuutaksa voi-kin olla huomattavan korkea. Tässä korostuu korjuukoneenkuljettajan ammatti-

taito ja kyky osata olla ottamatta pienimpiä puita tiettyyn läpimittarajaan saakka, jos se metsänhoidollisesti on suotavaa.

Leimikon korjuukustannuksiin vaikuttavat ennen kaikkea lähikuljetusmatka, hakkuupoistuma ja hakkuupoistuman keskijäreys. Korjuun koneellistumisen ja kuljetuslogistiikan parantumisen mukana useamman metsänomistajan leimikko-keskittymillä ei ole enää nykyaikana niin suurta merkitystä kuin aikaisemmin. (Uusitalo 2003, 36.)

Luonnollisesti puunhankintayritykset pyrkivät pitämään urakkataksat mahdollisimman alhaisena konetyön mukana tulleen lisääntyneen työn tuottavuuden ansiosta, mutta ei millä hinnalla hyvänsä. Menestyvä puunkorjuuyrittäjä on myös urakanantajan etu. Tärkeää puunkorjuuyrittäjälle on se, että koneille on ainakin lähes ympärivuotisesti töitä, koska pääomakulut sekä lähes kaikki työvoimakulut on katettava, vaikka koneet eivät olisi metsässä. Tämän vuoksi puunhankintaorganisaatiot pyrkivät keskittämään puunkorjuutaan hyvin organisoituilla ja johdetuille puunkorjuuyrityksille, jotka ovat valmiita joustamaan toimitusaikojen suhteen sekä ovat valmiita kehittämään toimintaansa. Myös kausiluonteiset yrittäjät ovat hyödyllisiä ruuhkahuippujen tasaajina. Puunkorjuuyritysten työsopimukset perustuvat useampivuotisiin runkosopimuksiin, joissa taksarakenne usein tarkistetaan vuosittain. Pitkät runkosopimukset palvelevat paremmin urakanantajaa sekä koneyrittäjää, jotta urakanantaja voi varmistua tehtaiden puunhuollosta ja korjuuyrittäjä voi kehittää toimintaansa esimerkiksi investoimalla uusiin koneisiin ja panostaa korjuuta palveleviin toimintoihin. (Uusitalo 2003, 94.)

Koska puunkorjuun tuottavuus vaihtelee paljon olosuhteiden sekä käytettävissä olevien korjuutekniikoiden mukaan, ei tuottavuuksista voida julkaista tarkkoja lukuja. Kuitenkin puunkorjuuyrittäjien taksatason ja investointilaskelmien sekä puunkorjuun resurssitarpeiden avuksi joudutaan tekemään jonkinlaisia arvioita. Tällöin joudutaan tekemään arvioita hakkuutyömaiden puunkorjuuolosuhteista, kuten harvennuksien ja päätehakkuiden suhteesta sekä leimikoiden keskimääräisestä runkokoosta. (Uusitalo 2003, 94). Energiapuun korjuun kannalta täy-

tyykin laskea taksarakenne sellaiseksi, että se palvelee sekä korjuuyrittäjää että urakanantajaa.

Energiapuun korjuun taksarakenteiden kehittäminen ja tutkiminen olisi suotavaa kasvavan energiapuun korjuumäärän vuoksi. Nykyisiä taksarakenteita ei ole mielestäni suunniteltu energiapuunkorjuuta silmällä pitäen, vaan taksarakenteet ovat ainespuuharvennuksien ja uudistushakkuiden keskijäreysien pohjalta rakennettu.

Tässä tutkimuksessa sivuan myös aihetta, jossa verrataan nykyistä keksijäreydellä laskettua taksaa sellaiseen taksarakennejärjestelmään, missä jokaisen läpimittaluokan taksa lasketaan erikseen ja summataan. Tämä mielestäni voisi toimia paremmin energiapuuta korjattaessa. Taksan laskennassa vertailen käytössä olevaa nykyisellä taksarakenteella laskettavaa keskijäreyspohjautuvaa korjuuntaksaa sekä vaihtoehtoista summamenetelmää jokaiselle läpimittaluokalle erikseen.

### **5.3 Puustamaksukyky**

Korjuun kannattavuuteen ja siihen, miten pieniä puita kannattaa korjata, vaikuttaa suurilta osin puustamaksukyky, mitä puuraaka-aineesta rahallisesti saa. Puutavaralajien hintasuhteet ja valtion tuet ovat tekijöitä, joiden pohjalta päätetään, mitä puutavaralajeja harvennuskohteilta korjataan. Suosituksissa ei siksi ole tarkoituksenmukaista asettaa rajoitteita tai suosituksia energiapuuharvennuksien puuston järeydestä. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 16).

Kun puustamaksukyky kasvaa, on kannattavaa korjata aina pienempiläpimittaisia puita ensiharvennuksilta puumateriaalin lisääntyessä. Kun taas puustamaksukyky laskee, niin kannattavin on korjata suuria puita, jotta korjuukustannukset saataisiin parhaalla mahdollisella tavalla katettua eikä taksa nousisi keskijäreysien laskiessa. Tämä oletamus toteutuu sellaisilla tapauksilla, jossa maanomistaja maksaa kustannukset puunkorjuusta suoraan itse korjuuyrittäjälle, eikä esimerkiksi pystykaupan tapauksissa.



Tässä tutkimuksessa puustamaksukyky muodostuu tienvarsihinnan ja korjuun erotuksesta kaavalla:

**Tienvarsihinta, €/m<sup>3</sup> - (Koko korjuunhinta, € / Saatava kuutiomäärä m<sup>3</sup>).**

Keskimääräinen puustamaksukyky muodostuu näin oletettavasti välille 13 – 18 €/m<sup>3</sup>, olettamuksella että tienvarsihinta, jonka yhtiö puustaan saa, on 30€/m<sup>3</sup>.

## **5.4 Ennakkoraivaus**

Ennakkoraivauksen vaikutus korjuun kannattavuuteen perustuu tuottavuuteen. Kun näkemäesteitä korjuun aikana ei ole, työnopeus ja tuotos kasvavat (Uusitalo 2003, 198). Myös korjuun laatu kasvaa, kun hakkuukoneenkuljettaja näkee, missä harvesterinkoura on menossa ja minne puut kaatuvat välttämällä näin korjuuvaurioita jäävään puustoon (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2010, 16).

Ennakkoraivauksen ohjeellinen läpimitta täytyy tutkia. Jos metsuri raivaa liian järeitä puita, energiapuun koneellisen korjuun harvennuskertymä laskee ja voi vaikuttaa kannattavuuteen. Tässä tulisikin tietää, mikä olisi oikea ohjeellinen raja energiapuun korjuussa sille, mihin metsurit voi raivata ilman korjuu poistumaan vaikuttamista. Jos näkyvyyttä haittaava puusto on pelkästään pieniläpimittaista puuta, voivat korjuukustannukset nousta liian korkeaksi.

## **6 Tutkimuksen toteutus**

### **6.1 Toteutus**

Tutkimuksessa laskettiin ennakkoraivattujen tai ennakkoraivatuiksi tarkoitettujen puiden tilavuus, ja verrattiin syntynyttä tulosta koneellisesta korjuusta aiheutuneisiin kustannuksiin keskijäreiden laskiessa. Tutkimuksen tarkoitus on tuottaa

tietoa hakkuukoneenkuljettajille, minkä kokoisia puita ennakkoraivaamattomilla harvennuksilla on järkevä ottaa, ja mitkä puut saavat jäädä pystyyn. Tutkimus toteutettiin teoreettisesti, eikä tutkimuksessa ollut siten varsinaista maastotyötä. Tutkimuksen koelaitteita saadut todelliset runkolukusarjat toimitti Tornator Oyj:n urakoitsija Metsä Kallinen Oy. Kuljettajana runkolukusarjoja otettaessa toimi Aki Kallinen harvesterinaan Ponsse Beaver.

Aloitin tutkimuksen tekemällä Excel-taulukon, johon syötin harvennukselta poistettavan puuston runkolukusarjan ja hakkuupoistuman vertailun. Tästä tuloksesta syntyi kyseisen kuvion/leimikon kannattavin korjattava rinnankorkeusläpimitä. Puuston tilavuuden laskin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöllä. Tein laskentaohjelmaan kaavion, jolta voi mallien avulla ennustaa runkolukusarjan ja poistuman. Muuttujina taulukoissa ovat kustannusten ja kantotulojen suhteen vertailu eri läpimittaluokissa. Vertailu kohdistuu jokaiseen läpimittaluokkaan välillä 3cm–15cm.

Laskennassa syvennyin myös siihen, mistä läpimittaluokasta suurin osa korjuun kustannuksista syntyy. Tämän vertailun toteutin laskemalla jokaisesta läpimittaluokasta syntyvää korjuukustannusta erikseen ja summaamalla yhteen. Tällä tavalla laskettaessa korjuun hinta on pienempi, kuin keskijäreyden pohjalta laskettu korjuutaksa. Tämä voisi auttaa yhtiötä tekemään päätöstä tarkastamaan ensiharvennuksien korjuutaksat uudelleen.

## 6.2 Tutkimusongelma

Opinnäytetyöni tarkoitus oli tuottaa tuloksia, joilla voidaan ohjeistaa metsureita ennakkoraivauksessa sekä konekuskeja koneellisessa korjuussa ja joukkokäsittelyn korjuun ohjauksessa. Tavoitteeksi asetettiin taloudellisen lopputuloksen optimointi, jossa muuttujina ovat hakkuupoistuma ja sitä kautta puusta saatava myyntitulo ja korjuun kustannukset (€/m<sup>3</sup>). Kyseessä on lähinnä tapaustutkimus: miten Tornator Oyj:n korjuutaksarakenteella todelliset kustannukset käyttäytyvät leimikkotasolla pienten runkojen eri käsittelyvaihtoehdoissa.

Pääkysymyksenä esille nousi harvennuskohteiden ennakkoraivauksen ohjeellisen rinnankorkeusläpimitan vaikutus puunkorjuun kustannuksiin. Onko kannattavampaa jättää ennakkoraivauksessa pienempi läpimittaisia puita pystyyn, jolloin harvennuspoistuma ensiharvennuksella kasvaa, mutta toisaalta harvennuspoistuman keskijäreys pienenee nostaen puunkorjuutaksan kustannuksia. Toisin sanottuna, kun harvennuspoistuman keskijäreys laskee, kasvavat korjuun kustannukset.

Tärkeimmät tutkimusyhtälöt olivat

- lisäkuutiot pienistä, ennakkoraivattavista/metsään jätettävistä puista
- keskijäreystä johtuvan koneellisen korjuun taksat ja vaihtoehtoisen taksarakenteen vertailu nykyiseen taksanlaskentaan
- ennakkoraivauksen - ja pienimmän harvennettavan puun ohjeellinen läpimitta.

## **7 Tutkimusaineisto- ja menetelmät**

### **7.1 Tutkimusmenetelmä**

Tutkimusmenetelmäksi valittiin kvantitatiivinen tutkimus, tutkimuksen teoreettisen, tilastollisen ja laskennallisen luonteen vuoksi. Laskennassa tarkoitus oli saada selville järeydeltään erilaisten harvennuskohteiden korjuun kannattavuus. Laskennassa pääkohdaksi muodostui euromääräinen netto, mitä eri kohteelta saa harventaessa pieniä puita ja jättäessä pienet puut korjuussa koskematta.

Tutkimus perustuu tapaustudkimukseen. Suuren aineiston sijasta paneudun muutamiin tapauksiin syvällisesti tutkien tapauksia eri kulmista. Tavoitteena ei ole tehdä yleistyksiä, vaan kuvailla tapauksia tapauskohtaisesti ja tehdä uusia havaintoja.

Taksarakenteen sain suoraan Tornator Oyj:ltä. Tässä tutkimuksessa käytetyt taksat ovat 200m metsäkuljetusmatkalta. Tähän taksarakenteeseen sisältyy niin korjuu, kuin metsäkuljetus.

## 7.2 Teoreettiset laskennat

Koska tutkimus tehtiin pääsääntöisesti tapaustutkimuksena, runkolukusarjat ja niiden tilavuudet laskin laskentakaavoja hyväksi käyttäen. Pituuden mallinsin tutkimuksessani Veltheimin (1987) pituusmallilla, jonka syötin Excel- taulukkolaskentaohjelman laskuriin. Runkolukusarjat sain Weibull-jakaumaa hyväksikäyttäen, johon syötin teoreettisia puustotietoja.

Tilavuuden arvioinnissa käytetään nykyisin useimmiten tilavuusyhtälöitä. Jouko Laasasenaho (1982) on laatinut yhteen, kahteen ja kolmeen tunnuksen perustuvat rungon kokonaistilavuuden määrittämiseen tarkoitetut tilavuusyhtälöt. (Tapijon taskukirja 2008, 277.) Weibull-jakaumalla saatujen runkolukusarjojen tilavuuden laskenkin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöllä.

Käytin tässä tutkimuksessa kahteen tunnuksen pohjautuvaa tilavuusyhtälöä kokonaistilavuuden määrittämiseksi. Nämä tunnukset ovat rinnankorkeusläpimitta  $d_{1,3}$  ja pituus  $h$ . Kahden mittatunnuksen tilavuusyhtälö männylle on:

$$v = 0,036089 * d^{2,01395} * (0,99676)^d * h^{2,07025} * (h-1,3)^{-1,07209}$$

jossa  $h$  = pituus ja  $d$  = rinnankorkeusläpimitta

Runkolukusarjoista muodostuvat tunnusluvut syötin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, johon rakensin laskentakaavat jokaiselle läpimittaluokalle. Tämä laskuri laskee taksat, keskijäreydet, saatavan ainespuun, kantotulot ja saatavan neton (€) tiettyyn läpimittaluokkaan harventaessa. Näitä vertaamalla voikin tarkastella kannattavimman minimiläpimittaluokan, jota harvennuksilla korjataan.

### **7.3 Koealojen poistumien runkolukusarjat**

Olen saanut Tornator Oyj:n harvennuskohteelta Juuasta kolme todellista runkolukusarjaa. Kävin itse syksyllä 2013 merkkäämassa kohteelta alueet, joilta halusin runkolukusarjat otettavan harvennuksen yhteydessä. Nykyaikaisilla välineillä tämä onnistuu helpohkosti, mutta ongelmia korjuukonekuskille tuottaa vain yksinpuin korjuu. Vaikka harvennuksen metsäkoneessa oli valmiudet joukkokäsittelyyn, täytyi runkolukusarjat ottaa yksinpuin myös pienien puiden osalta, jotta puiden koko saataisiin mahdollisimman tarkasti. Joukkokäsittelyä käyttäen pienten puiden läpimitat ja pituudet eivät ole tarkkoja.

Leimikko ei varsinaisesti ollut ensiharvennuskohdetta, mutta valitsin kaksi koealuetta, joilla puuston järeys ei olisi niin korkea ja pienempiä puita olisi suurien puiden seassa. Valitsin myös yhden alueen, jonka hakkukoneenkuljettaja sai itse valita hieman järeämpipuustoiselta alueelta. Avasin runkolukusarjat Kareliammattikorkeakoulun Ponsen OptiOffice -ohjelmalla, jonka jälkeen aloitin analysoimaan tuloksia laittamalla ne valmistamaani laskuriin Exceltaulukkolaskentaohjelmaan.

## **8 Tulokset**

### **8.1 Puustotiedot ja runkolukusarjat**

Teoreettisista malleista muodostuneet runkolukusarjat ovat esitetty liitteessä 1, kuvat 1 – 5. Koealoilta saadut harvennuspoistumien runkolukusarjat ovat esitetty liitteessä 1, kuvioissa 6 – 7. Runkolukusarjoista voi saada tarkemman kuvan teoreettisista ja todellisista leimikoista ja niiden rakenteista.

Seuraavissa kappaleissa esitetyissä kuvioissa X-akselilla olevat määreet tarkoittavat sellaista tilannetta, jossa runkolukusarjasta on poistettu kyseessä olevan rinnankorkeusläpimitan omaavat ja siitä pienemmät puut. Vasemmanpuo-

leisessa Y-akselissa taksaluokka ( $\text{€}/\text{m}^3$ ). Oikeanpuoleisessa Y-akselissa keski-järeys (l) ja kantotulot ( $\text{€}/\text{ha}$  tai kuvio).

## 8.2 Teoreettiset runkolukusarjat

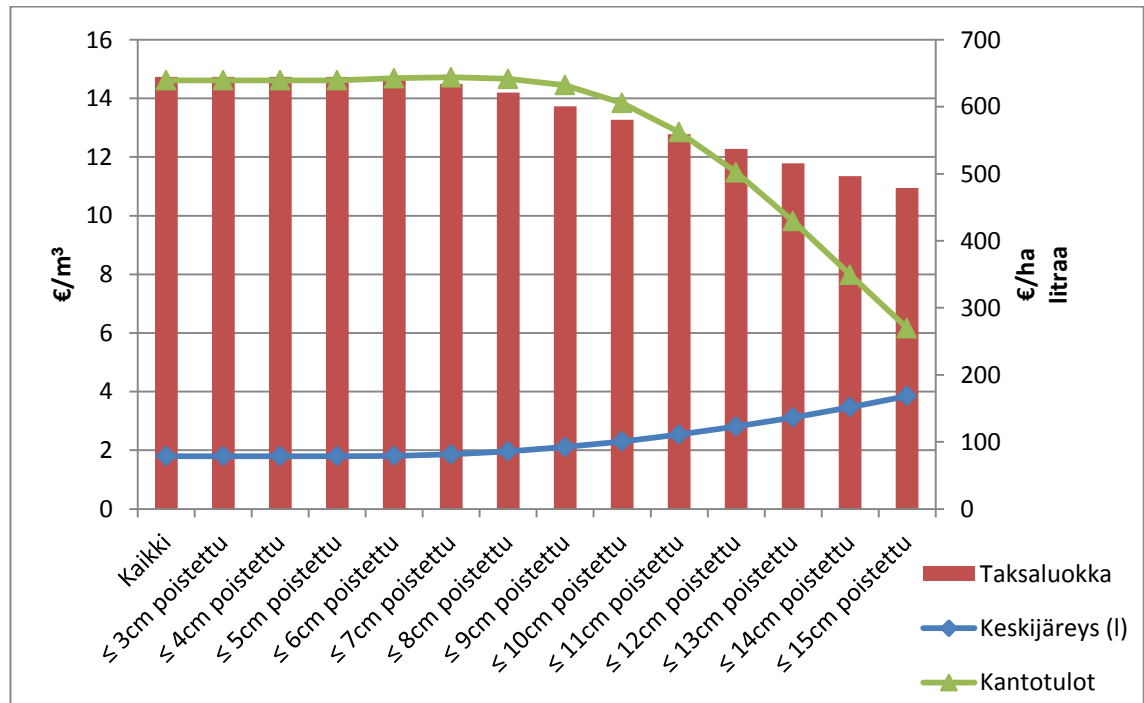
Tutkimuksessa käytän puustotietoja, jotka saan Metlan teettämästä tutkimuksesta metsätieteen aikakausikirjaan. Tutkimus on aiheesta ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta kuivahkon kankaan männikön tuotokseen ja tuottoon, ja se on valmistunut Huuskosen ja Ahtikosken (2005) toimesta. Tutkimus ei sinänsä liity omaan tutkimukseeni, mutta saan arvokkaita puustotietoja omaan tutkimukseeni. Puustotiedot saan Metlan tutkimukseen Metsähallituksen toimesta tehdyistä koealatiedoista. Aineistona on kuivahkoilla kankailla vuosina 1999–2000 koneellisesti hakattuja ensiharvennuskohteita Metsähallituksen mailla, yhteensä 27 männikköä Metsiköt sijaitsivat Keski-Suomessa Karstulan ja Viitasaaren alueella, Pohjois-Pohjanmaalla Puolangalla sekä Itä-Lapissa Kemijärven ja Sallan alueella. (Ahtikoski & Huuskonen 2005.) Tässä tutkimuksessa käytän ainoastaan Keski-Suomessa sijaitsevia ensiharvennuskohteita. Näiltä kohteilta valitsen 5 eri puustotunnukset. Näitä ovat pieniläpimitaiset, suuren pohjapinta-alan omaavan, järeän- sekä Keski-Suomen keskiarvoisia puustotietoja ensiharvennus kohteilta. Näillä puustotiedoilla muodostan Weibull-jakaumaa käyttäen runkolukusarjan ja Veltheimin-pituusmallia käyttäen puuston pituuden. Lisäksi simuloin kaksijaksoisen metsän runkolukusarjan.

Näillä puustotiedoilla sain Weibull-jakaumaa hyväksikäyttäen teoreettisia runkolukusarjoja. Kyseinen Weibull-funktio on rakennettu männylle. Lämpösummarvona on jokaisella kohteella 1200d.d., joka tulee Keski-Suomen keskiarvojen mukaan. (Pirinen, Simola, Aalto, Kaukoranta, Karlsson & Ruuhela). Puuston pituus on mallinnettu Veltheimin (1987) pituusmallilla.

### 8.2.1 Pienet

Tutkimusraportin mukaisilta koelaita ohutläpimittaisimman ja kevytrakenteisimman koalueen tiedot ovat seuraavanlaiset

– pohjapinta-ala	19,1
– keskiläpimitta	13,7cm
– keskipituus	12,4m
– keski-ikä	31 vuotta



Kuvio 1. Keskijäreiden vaikutus kantotuloihin sekä taksaan ohutläpimittaisella teoreettisella ensiharvennuskuvilla.

Pieniläpimittaisella teoreettisella ensiharvennuskuvilla kannattavinta on korjata kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan yli 7 cm olevat puut ja ohjeistaa metsureita ennakkoraivaamaan rinnankorkeusläpimitaltaan alle 8 cm:n puita, kuten kuvios-  
ta 1 voi huomata. Suuria euromääräisiä eroja ei kuitenkaan läpimittaluokkien välillä 6–8 cm ole. Harvennuksella poistettaessa ainoastaan yli 10 cm d1,3 olevia puita rupeaa kannattavuus kärsimään.

Keskijäreys nousee jättämällä korjaamatta puita välillä d1,3 3–8 cm 85,79 litraan, korjaamalla kaikkia läpimittaluokkia keskijäreys olisi 78,83 litraa. Tällä pienellä keskijäreiden muutoksella kannattavuus kasvaa kustannusten laskies-  
sa.

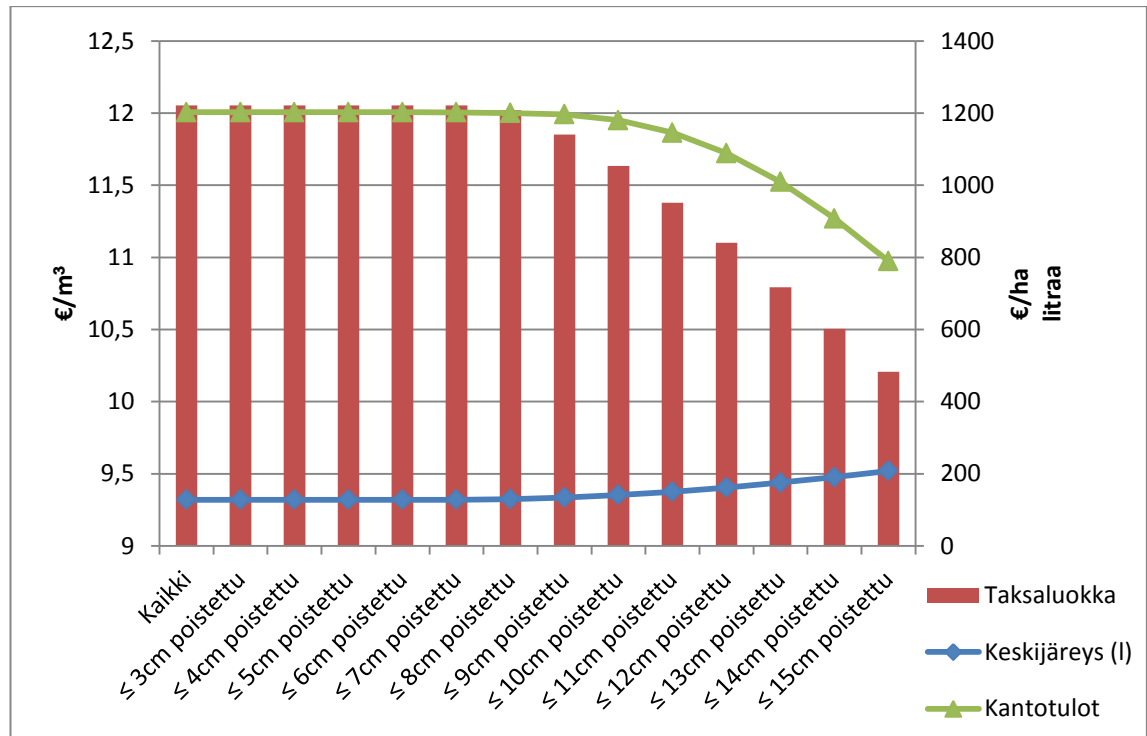
Korjaamalla yli 7 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevia puita ja laskemalla taksa summaamalla jokainen läpimittaluokka erikseen, kantotulot ovat 14,61 €/ha paremmat kuin laskemalla taksa keskijäreiden mukaan. Tämä selittyy halvemmalla korjuutaksalla.

### 8.2.2 Järeät

Tarkasteltaessa keskiläpimitaltaan järeämpiä metsiä, joista harvennetaan ainoastaan materiaalia pyrolyysiöljyyn, tulokset ovat lähes samanlaiset. Puustotietojen ollessa

– pohjapinta-ala	26,3
– keskiläpimitta	16,1 cm
– keskipituus	14,9 m
– keski-ikä	39 vuotta





Kuvio 2. Keskijäreysen vaikutus kantotuloihin sekä taksaan läpimitaltaan järeällä teoreettisella ensiharvennuskuvioilla.

Weibull-jakaumalla arvioidessa tämä tulos ei ole täysin käyttökelpoinen, koska kyseisillä puustotiedoilla jakauma ei anna yhtään alle 7 cm puuta. Järeys ei laske ratkaisevasti jos korjataan kaikkia läpimittaluokkia. Kuitenkaan lisäämällä manuaalisesti aluskasvillisuutta tähän runkolukusarjaan tulos ei ratkaisevasti muutu.

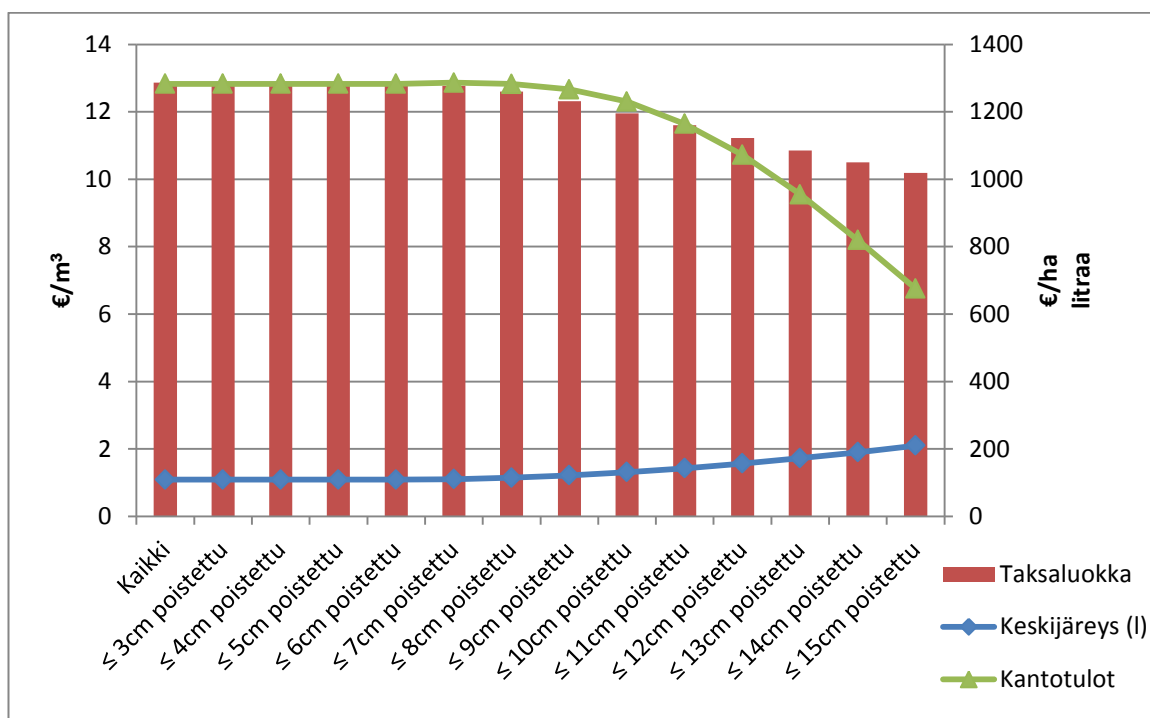
Keskijäreys kaikkia läpimittaluokkia korjattaessa on 128,10 l. Vaikka tällaisella harvennuskohteella jätettäisiin korjaamatta kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan alle 9 cm puut, niin keskijäreys nousisi ainoastaan tasolle 129,96 l. Tämä osoittaa sen, että kohteella kannattaa korjata kaikkia läpimittaluokkia, kuten kuviosta 2 voi huomata. Tällaisia ensiharvennuskohteita tuskin paljoa kuitenkaan on.

Järeällä kohteella, kuten kyseessä olevalla teoreettisella leimikolla, taksanlaskennan eroille ei tule niin suurta erotusta kuin pienempiä läpimittaisille. Kaikkia läpimittaluokkia korjaamalla lopullinen kantotulo, taksa keskijäreysen mukaan laskettaessa, on ainoastaan 12,91 €/ha pienempi kuin laskettaessa korjuutaksa summaamalla jokaisen läpimittaluokan taksa erikseen. Tämä on mielestäni kovin pieni erotus, ottaen huomioon saatavan energiapuumäärän.

### 8.2.3 Suurin pohjapinta-ala

Huuskosen ja Ahtikosken (2005) tutkimuksen Keski-Suomesta saaduista tutkimustuloksista suurimman pohjapinta-alan omaavan kohteen puustotiedot ovat

– pohjapinta-ala	28,5
– keskiläpimitta	14,7 cm
– keskipituus	15,3 m
– keski-ikä	35 vuotta



Kuvio 3. Keskijäreiden vaikutus kantotuloihin sekä taksaan suuri pohjapinta-alaisella teoreettisella ensiharvennuskuvilla.

Kuten kuvio 3 ilmenee, kannattavinta tällaisella kohteella on korjata ensiharvennuksessa kaikki 8 cm ja siitä läpimitaltaan suuremmat puut. Suurta eroa ei synny, vaikka harvennuksella korjataan myös pienempiä puita. Suurin ero syntyy jos kerätään ainoastaan rinnankorkeusläpimitaltaan yli 10 cm olevia puita. Tällaisessa tapauksessa saatava energiapuupoistuma laskee heikentäen kantotuloja.

Korjaamalla ainoastaan yli 7 cm läpimitaltaan olevia puita, keskijäreys tällaisella leimikolla on 110,11 l. Korjaamalla myös rinnankorkeusläpimitaltaan 7 cm puut mukaan keskijäreys laskee 108,65 litraan, joka nostaa korjuu taksaa vain 0,10 €/m<sup>3</sup>, mutta läpimittaluokasta 7 cm saa vain 0,23 m<sup>3</sup> energiapuuta. Tämä ei riitä korvaamaan nousutta taksaa. Rinnankorkeusläpimitaltaan 8 cm saa energiapuuta myös ainoastaan 0,97 m<sup>3</sup>, mutta tämä riittää maksamaan nousseen taksan ajatellen kannattavuutta, vaikka keskijäreiden vaihtelu tässä ei ole kuin 4,35 litraa.

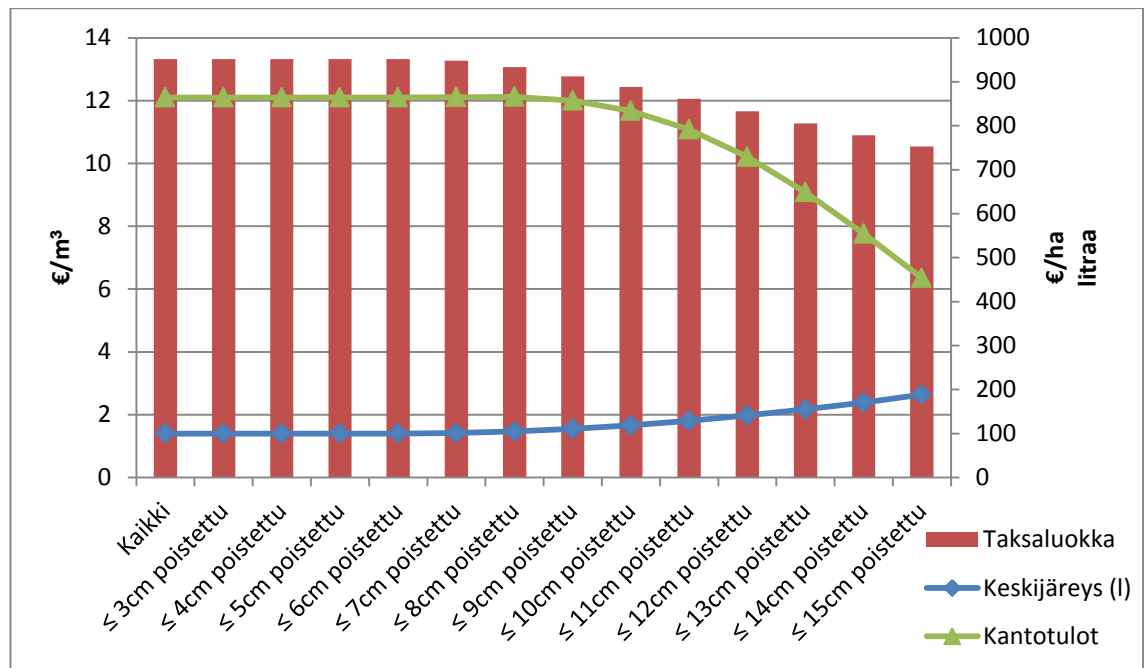
Jos taksarakenne laskettaisiin jokaiselta läpimittaluokalta erikseen, eikä keskijäreiden mukaan, kannattavuus korjaamalla rinnankorkeusläpimitaltaan yli 7 cm olisi 18,13 €/ha kannattavampi.

#### 8.2.4 Keskiarvo

Metlan tutkimuksesta Keski-Suomen keskiarvoiset ensiharvennuskohteiden puustotiedot ovat

– pohjapinta-ala	21,6
– keskiläpimitta	14,7 cm
– keskipituus	13,8 m
– keski-ikä	35 vuotta

Näillä puustotunnuksilla laskentakaavoja käyttäen syntyy harvennuspoistuman runkolukusarja, joka löytyy liitteistä.



Kuvio 4. Keskijäreiden vaikutus kantotuloihin sekä taksaan tunnusluviltaan keskiarvoisella teoreettisella ensiharvennuskuviolla.

Tässäkin teoreettisessa harvennuspoistuman runkolukusarjassa kannattavinta on korjata puita jotka ovat rinnankorkeusläpimitaltaan yli 8 cm, kuten kuviosta 4 voi huomata. Vaikka lisäämällä manuaalisesti Weibull-jakauman antamaan runkolukusarjaan läpimitaltaan pieniä puita ( $d_{1,3}$  3 – 7 cm), tulos ei muutu. Tämä johtuu pienien puiden antamasta vähäisestä energiapuukertymästä ja taksan nousemisesta keskijäreiden laskiessa.

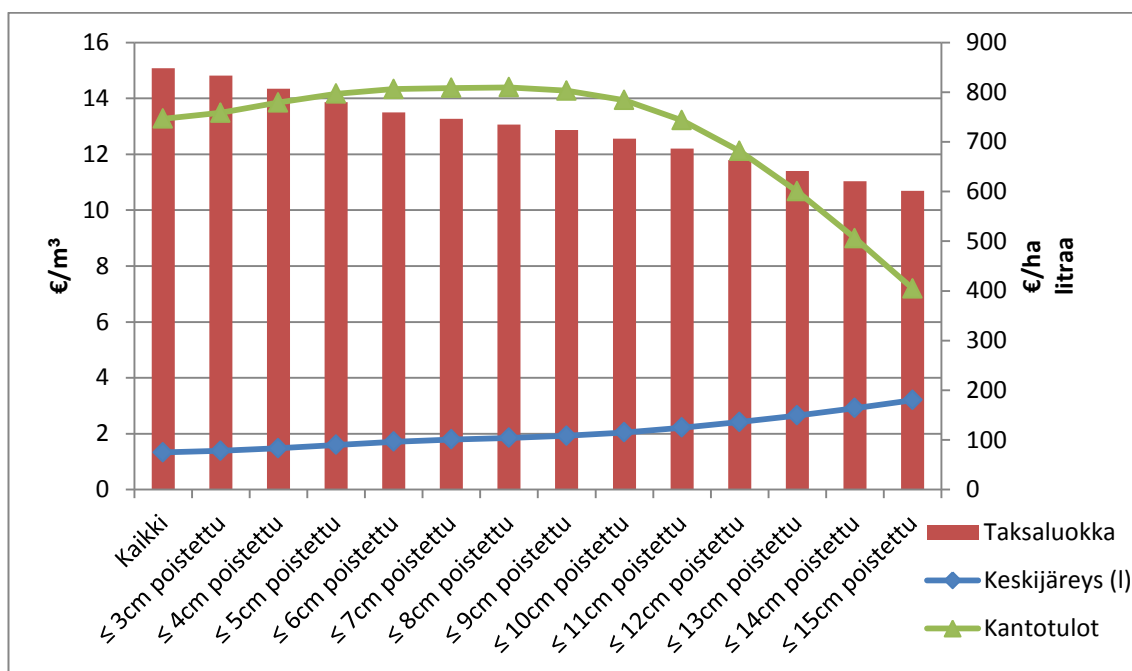
Ensiharvennuksella korjaten rinnankorkeusläpimitaltaan yli 7 cm puita tällaisella leimikolla, keskijäreys on 104,54 l. Korjaamalla rinnankorkeusläpimitaltaan yli 8 cm, keskijäreys olisi 110,48 l. Vaikka näin keskijäreys nousee ja taksan määrä laskee, saatavan energiapuun määrä laskisi 1,35 m<sup>3</sup>/ha vähentäen kantotuloja. Tällaisella leimikolla  $d_{1,3}$  8 cm onkin korjattavien puiden minimiläpimittaraja kannattavuutta ajatellen. Toisaalta ero korjattaessa yli 6 cm ja yli 8 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevia puita, ero/ha on ainoastaan 0,56 €/ha kantotuloissa, 0,6 m<sup>3</sup> saatavassa energiapuussa ja 3,54 litraa keskijäreudessa.

Laskiessa taksan erikseen jokaisen läpimittaluokan summana, ero kantotuloissa olisi 11,45 €/ha korjattaessa >8 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevia puita. Taksan näin laskettaessa kannattavinta olisikin tällaisella leimikolla korjata kaik-

kia läpimittaluokkia. Korjaamalla jokaista läpimittaluokkaa saisi kannattavuutta 4,62 €/ha paremmaksi kuin korjaamalla rinnankorkeusläpimitaltaan >8 cm puita.

### 8.2.5 Kaksijaksoinen metsikkökuvio

Kaksijaksoisen puuston harvennuspoistuman runkolukusarjan simuloin Huuskosen ja Ahtikosken (2005) tutkimuksesta poimituista Keski-Suomen keskiarvoisista puustotiedoista, ja lisäämällä manuaalisesti pieniä puita (d1,3 3–8 cm) Weibull-jakauman tekemän runkolukusarjan lisäksi. Tästä näemme kannattavuuden tällaisessa puustossa, jos pienempiäkin puita korjataan.



Kuvio 5. Keskijäreyden vertailu kantotuloihin sekä taksaan kaksijaksoisella teoreettisella ensiharvennuskuvioilla.

Tässä simulaatiossa harvennuksessa kannattavinta on kohdistaa harvennus kaikkiin rinnankorkeusläpimitaltaan 8 cm ja suurempiin puihin (Kuvio 5). Ennakkoraivauksessa tällaisessa metsikössä metsuria voi ohjeistaa ennakkoraivaamaan kaikki 7 cm ja siitä pienemmät rinnankorkeusläpimitaltaan olevat puut. 3–7cm läpimittaluokkien yhteenlaskettu tilavuus on 1,69 m<sup>3</sup>. Pienemmistä puista (3–7 cm) ei tässä tapauksessa tule tarpeeksi energiapuita harventaessa, jotta keskijäreyden laskemisesta seuraava taksan kasvaminen saataisiin tasattua.

Ero tässä tapauksessa verrattuna  $\leq 7$  cm poistettuun ja  $\leq 8$  poistettuun ei ole kuin 1,22 €, joten suurta haittaa ei synny näiden kahden läpimittaluokan sotkeutuessa.

Tämä manuaalinen pientenrunkojen lisääminen esittää hyvin todellisia runkolukusarjoja, joissa pienempiä puita on pääjakson seassa. Tästä huomaamme että pienistä puista ei saa tarpeeksi energiapuuta ja näin ollen tuloja nykyisellä takarakenteella. Korjuutaksaa laskettaessa jokaisesta läpimittaluokasta erikseen summaamalla olisi kannattavaa korjata myös pienempiä puita ensiharvennuksessa. Näin laskiessa korjuutaksan kantotulot nousisivat korjatessa  $>7$  cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevia puita 11,11 €/ha.

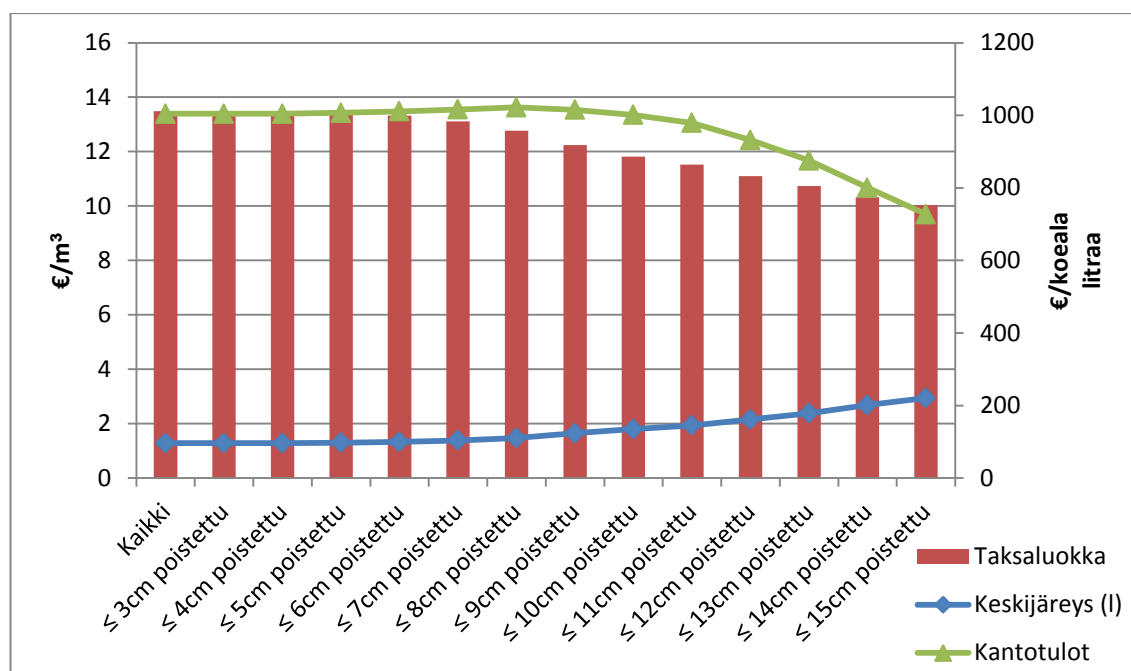
### **8.3 Koealojen poistumien runkolukusarjat**

Sain harvennuskohteelta 3 todellista harvennuspoistuman runkolukusarjaa. Leimikko nimeltään Ylemmäinen kesä 2014, joka sijaitsee Juuan kylältä länteen, Iso-Karhu – järven pohjoispuolella.

Leimikko ei varsinaisesti ollut ensiharvennuskohdetta, mutta valitsin 2 koealuetta, joilla puuston järeys ei olisi niin korkea ja pienempiä puita olisi suurien puiden seassa, sekä yhden alueen, jonka hakkukoneenkuljettaja sai itse valita hieman järeämpipuustoiselta alueelta. Ikäväkseni huomasin, että koealalta 2 oli tiedosto mennyt siirtämisvaiheessa rikki, joten jouduin jättämään tämän koealan pois.

#### **8.3.1 Koeala 1**

Runkoja ensimmäiseltä koealalta kertyi 633 ja keskiläpimitta oli 12,8 cm.



Kuvio 6. Keskijäreiden kehittyminen koéalalta 1. Mukana taksaluokkien muodostuminen sekä kantotulojen vertailu. Kantotulot kuvaavat sel-laista tilannetta, jossa kyseinen läpimittaluokka on pienin läpimitta joita kannattaa harvennuksella korjata.

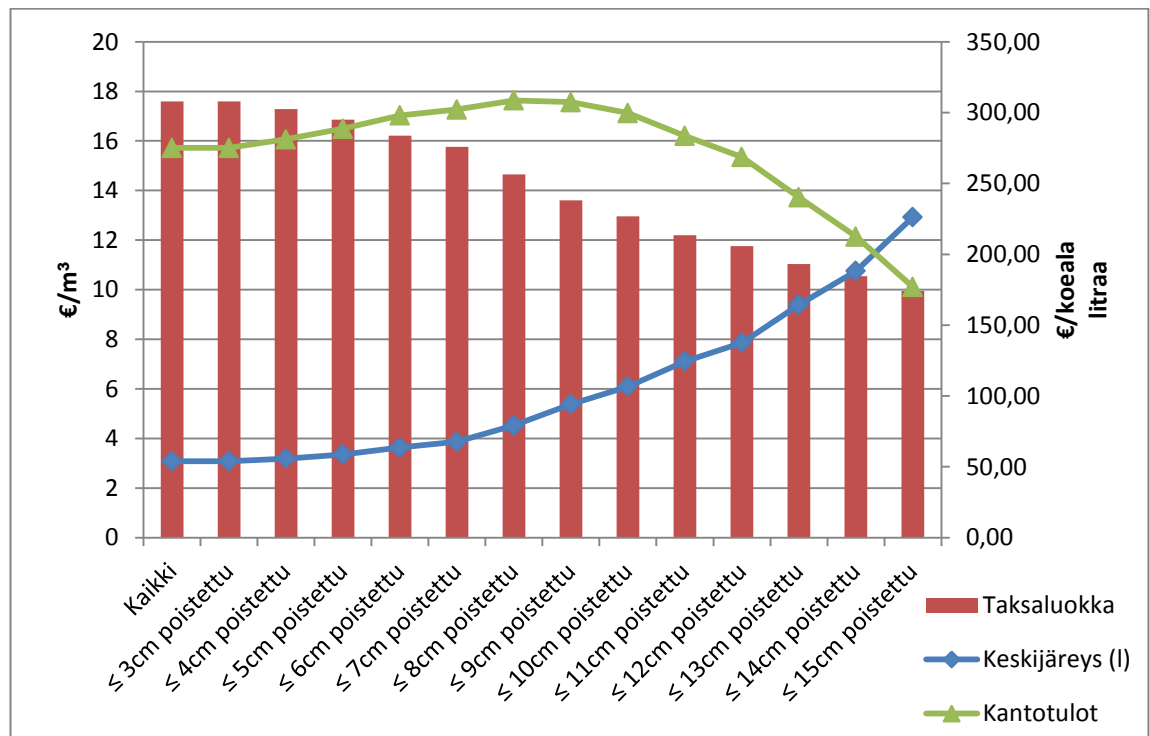
Kuten kuviosta 6 voi huomata, kannattavinta on korjata 9 cm läpimittaluokasta ja sitä suuremmat puut koéalalta 1. Pienempien puiden vähyden vuoksi kannattavuuden ero ei ole merkittävä vaikka harvennuksessa korjaisi pieniäkin puuta. d1,3 5 – 8 cm puuta ei ollut koéalalla tarpeeksi, jotta niitä keräämällä olisi saanut kannattavuuden paremmaksi.

Keskijäreys pysyy pieniä puuta korjatessa alle 100 l pitäen taksan yli 13 €/m³. Kun jätetään kaikki puut läpimittaluokassa 8 cm ja alle korjaamatta, keskijäreys nousee näin 110 l ja korjuutaksa laskee tasolle 12,78 €/m³. Puut läpimittaluokis-sa 3cm – 8 cm tuottavat saatavaa puuta vain 1,52 m³. Itsessään 9 cm läpimitta-luokassa olevilla puilla vastaava luku on 2,17 m³.

Korjaamalla ainoastaan yli d1,3 8 cm puuta ja laskemalla korjuutaksa jokaiselta läpimittaluokalta erikseen, jonka jälkeen summaamalla, olisi tällä koéalalla kan-nattavuus ollut 25,20 € parempi kuin laskemalla korjuutaksa keskijäreiden mu-kaan. Puustamaksukyky nousee näin laskettuna 17,22 €/m³:sta tasolle 17,65 €/m³.

### 8.3.2 Koeala 3

Koealalla 3 mäntyrunkoja kertyi 412. Koealalla puusto oli melko järeää, mutta toisessa jaksossa oli paljon pientä puuta.



Kuvio 7. Keskijäreyden kehittyminen koealalta 3. Mukana taksaluokkien muodostuminen sekä kantotulojen kehittyminen. Kantotulot kuvaavat sellaista tilannetta, jossa kyseinen läpimittaluokka on pienin läpimitta joita kannattaa harvennuksella korjata.

Järeiden kasvaessa korjuukustannukset laskevat, mutta korjatun puun määrä laskee. Kuten kuviosta 7 ilmenee, tällä kuviolla kannattavin olisi kerätä ainoastaan 9 cm ja sitä suurempia puita. Tämä osaltaan selittyy kaksijaksoisella metsiköllä, jossa pienempiä puita ei kannata harventaa rahallisen hyödyn maksimoimiseksi. Keskijäreys olisi tällä kuviolla 79 l ottamalla kaikki >8 cm puut mukaan harvennukseseen ja tämän seurauksena taksa olisi 20,11 €/m³. Jos harvennettisiin puita >9 cm läpimittaluokasta lähtien, keskijäreys kasvaa jo 94 l, ja taksa olisi tässä tilanteessa vain 18,76 €/m³. Näiden kahden läpimittaluokan erotus saatavassa ainespuu määrässä ei ole kuin 1,35 m³/koeala. Vaikka rinnankorkeusläpimitaltaan 8 cm puita on runkolukusarjasta eniten, ei niitä ole



kannattava korjata harvennuksessa, vaan metsuri voi korjuuta haittaavat alle 9 cm puut ennakkoraivata.

Tällä kuviolla siis kannattaa harventaa >9 cm läpimittaluokaltaan olevat puut ja tämä selittyy järeämmällä puustolla. Kuviosta 7 voi todeta, että 9 cm läpimittaluokan jälkeen, keskijäreys alkaa kasvaa ja taksa pienenemään jyrkästi.

Koelalla 3 kokonaistaksa oli 390,13 €. Laskemalla jokaisen läpimittaluokan taksan erikseen yhteen, koelan taksaksi olisi tullut 334,05 €. >9 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevia puita harventaen keskijäreydellä laskettaessa kokonaistaksaksi muodostuu 294,63 €, kun taas laskemalla jokaisen läpimittaluokan taksan erikseen yhteen, taksaksi muodostuisi 280,46 €. Verrattuna tilanteeseen, jossa tältä alueelta olisi korjattu ainoastaan >15 cm läpimitaltaan olevia puita, keskijäreydellä laskettaessa kokonaistaksaksi olisi muodostunut 87,84 €, kun taas läpimittaluokat erikseen laskettuna taksaksi olisi tullut 87,53 €. Näin pieni ero selittyy ilmeisesti taksarakenteella, joka on suunniteltu suurien puiden korjuuseen.

#### **8.4 Tulosten tarkastelu**

Kannattavuuslaskennoissa kävi ilmi, että suurimmalla osalla kannattavinta olisi ensiharvennuksessa jättää koneellisesti korjaamatta rinnankorkeusläpimitaltaan alle 8 cm puut. Ennakkoraivausta tarvitsevilla kohteilla metsureita voidaan ohjeistaa ennakkoraivaamaan kaikki korjuuta haittaavat puut, jotka ovat rinnankorkeusläpimitaltaan alle 8 cm. Toisaalta ensiharvennuksella korjaamalla rinnankorkeusläpimitaltaan myös 7 cm puita, kannattavuus ei ratkaisevasti huonone. Kannattavin piste näyttäisi olevan lähes kaikissa tilanteissa sellainen tilanne, että joko ennakkoraivaamalla on poistettu kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan alle 9 cm pois, tai korjaamalla ainoastaan rinnankorkeusläpimitaltaan yli 8 cm puita. Tämän pisteen viereisissä vaihtoehdoissa ei kuitenkaan ole kovin suuria euroääräisiä eroja, joten kovin suurta taloudellista menetystä ei korjaamalla rinnankorkeusläpimitaltaan välillä 7–9 cm ole.

Osassa teoreettisia runkolukusarjoja oli havaittavissa sellainen seikka, että pienempiä puita ei Weibull-jakaumalla tullut mielestäni tarpeeksi. Kokeilinkin jokaiseen runkolukusarjaan manuaalisesti lisätä pieniä puita ( $d_{1,3}$  3–7 cm), ja huomasi, ettei tulos ratkaisevasti muutu paitsi ääri tilanteissa. Tällaisia tilanteita syntyi lisäämällä useita tuhansia runkoja esimerkiksi läpimittaluokkaan  $d_{1,3}$  5 cm.

Kokeilin myös muodostaa erilaisia runkolukusarjoja. Kokeilussa laittaa puuston keskiläpimitaksi 9 cm, kannattavin on korjata rinnankorkeusläpimitaltaan minimissään 8 cm puita. Tämä selittyy myös pienellä saatavalla energiapuun määrällä pienemmistä puista sekä keskijäreiden suhteesta tähän määrään. Vaikka tällaisella toimenpiteellä jää korjaamatta pienemmistä (3 – 7 cm) puista  $8,27 \text{ m}^3$  keskijäreiden ollessa 42,85 l, korjaamalla myös  $d_{1,3}$  7 cm puita keskijäreys tippuu 36,46 l nostaten korjuutaksaa  $1,37 \text{ €/m}^3$ . Tekemällä Weibull-jakaumaa käyttäen teoreettisen runkolukusarjan järeillä puustotiedoilla ( $d_{1,3}$  16 cm, h 14 m), kannattavinta on edelleen korjata rinnankorkeusläpimitaltaan minimissään 8 cm puita. Lisäämällä teoreettisesti alikasvokseksi pienempiä puita, tulos ei muutu. Tämä johtuu myös pienemmistä puista saatavasta heikosta energiapuunsaannista ja keskijäreiden nousemisesta.

## 8.5 Kannattavuus

Kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä on monia. Näiden tekijöiden pohjalta voidaan laskea korjuun kannattavuus erilaisille ensiharvennuskohteille. Puunkorjuun kannattavuuden optimointi onkin ensiharvennuskohteilla suuressa roolissa nykyään, koska Suomessa on soiden ojituksista, ikäluokkajakaumasta sekä kasaantuneista ensiharvennusrästeistä johtuva ensiharvennustarve (Metsäntutkimuslaitos ja Tapio 1997, 88). Tämä tarve kannustaa laskemaan ensiharvennuksien korjuun kannattavuutta entistä enemmän, jotta tuottavuus ja kustannukset saataisiin optimoitua taloudellisesti mahdollisimman kannattavaksi.

Tätä työtä tehdessä huomasinkin, että kannattavuuteen vaikuttaa suurelta osin puusta saatava hinta. Puustamaksukyvyyn noustessa, kannattavinta on korjata aina vain pienempiläpimittaista puita. Jos puustamaksukyky laskee, pienempiä

puita ei taloudellisesti kannata korjata, koska harvennukselta saatavilla pienten puiden korjuukertymällä ei voida tasapainottaa korjuusta syntyviä kustannuksia.

Toinen suuri korjuun kannattavuuteen vaikuttava tekijä on hakkuupoistuman järeys. Järeydeltään pieni poistettava puusto nostaa korjuukustannuksia ja sillä on alhainen hakkuukertymä. Korjuukustannukset nousevat puustonkeskijäreiden sekä puun metsäkuljetusmatkan vuoksi, siksi myös korjuun taksarakenteella on suuri merkitys korjuun kannattavuuteen.

## 8.6 Johtopäätökset

Laskelmissa ensiharvennuksella ennakkoraivauksessa poistettavia puita ovat kaikki  $\leq 8$  cm puut. Tämä ei kuitenkaan tarkoita sitä, että kaikki tähän kokoluokkaan kuuluvat puut tulisi ennakkoraivata. Käytännössä näin suuri läpimittaisia puita ei ennakkoraivata, ellei kyseinen runko hankaloita koneellista korjuuta. Tässä tutkimuksessa ei lasketa ennakkoraivauksesta muodostuvia kuluja, eikä ennakkoraivauksen tuottavuutta korjuuseen. Kuitenkin puunkorjuun tuottavuuden kannalta ideaali tilanne syntyy poistettaessa kaikki  $\leq 8$  cm puut, jolloin hakkuukoneenkuljettaja saa harventaa kaikkia läpimittaluokkia, eikä leimikossa ole lainkaan korjuuta haittaavaa alikasvosta. Metsurin ei ole järkevää suorittaa ennakkoraivausta totaaliperkaamalla, eli raivaamalla lähes kaikki alikasvospuut pois leimikosta. Tästä aiheutuu useimmiten hyvin suuret kustannukset (Kärhä ym. 2006, 70). Tässä tuleekin optimoida, millä tavoin ja kuinka paljon leimikosta alikasvosta on raivattava, jottei korjuun tuottavuus laskisi. Kustannustehokkain ennakkoraivusmenetelmä onkin Kärhän ym. (2006) tekemän metsätehon raportin mukaan raivattaessa metrin säteeltä ainespuurunkojen ympäriltä ja raivata yli metrin pituinen alikasvos.

Valtaosassa tapauksia pienin kannattava läpimitta, jota ensiharvennukselta kannattaa korjata, on  $d_{1,3} 8$  cm. Tästä pienemmistä puista ei kyseisissä tapauksissa saanut korjaamalla tarpeeksi puumateriaalia, jotta kantotuloilla olisi voinut korvata kasvavat korjuukustannukset. Nostaessa minimiläpimittaa, hakkuupoistumapienenee. Vaikka tällaisissa tapauksissa korjuuntaksa onkin pienempi,

niin hakkuukertymän pieneneminen ottaa kannattavimman hyödyn korjuusta pois. Kuitenkaan minimiläpimitaltaan d1,3 7 – 9 cm ei suuria taloudellisia eroja kannattavuudessa ollut, kuitenkin 8 cm olevan suurimmilta osin kannattavin minimiläpimitta.

## **9 Pohdinta**

### **9.1 Ensiharvennuksen toteutus**

Kannattavan korjattavan minimi rinnankorkeusläpimitan määrittäminen on ollut hieman haasteellista, koska pieni läpimittaisten puiden vaikutusta ensiharvennuksella suoritettavaan korjuutyön kustannuksiin ja tuottavuuteen on tutkittu varsin vähän. Myöskään ennakkoraivauksen ohjeelliseen läpimittaan liittyen ei ole tehty paljoa tutkimuksia, puunkorjuun kannattavuuden näkökulmasta. Tästä johtuen ensiharvennuksen korjuun kannattavuuteen liittyvää lähdemateriaalia oli niukasti saatavilla. Tämä johtuu osaltaan ensiharvennuksien ja pienten puiden korjaamisen koneellisesta suunnasta.

Jokainen ensiharvennuskohte on erilainen, ja kaikilla kohteilla ei voi olla samankokoista puustoa samalla tiheydellä. Tässä painottuu hakkuukoneenkuljettajan ammattitaito valita kohteella pienin rinnankorkeusläpimitta, joita kyseisellä kohteilla korjaa. Tämän takia kannattavuutta tulisikin tutkia erilaisille kohteille, jotta ensiharvennuksen tuottavuus ja kustannukset saataisiin järkevälle tasolle samalla ohjeistaen ensiharvennuksia suorittavia korjuukone kuskeja. Jos taimikonhoito on jäänyt tekemättä tai se on tehty liian lievänä, ensiharvennusta joudutaan aikaistamaan. Tämä merkitsee pienempää hakkuukertymää ja samalla poistettavien runkojen keskijäreys laskee, nostaen puunkorjuun kustannuksia (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2007, 39).

## 9.2 Luotettavuus

Opinnäytetyössäni käytin empiirisiä tutkimusartikkeleita, mikä lisäsi luotettavuutta omalta osaltaan. En myöskään käyttänyt toissijaisia artikkeleita, vaan valitsin ensisijaisesti kattavimmat alkuperäisartikkelit.

Koska tein laskurin Excel-taulukkolaskentaohjelmaan, ja tarvittavat tiedot täydensi ihminen, voi tästä syystä luotettavuus heiketä inhimillisten erehdysten vuoksi. Kannattavuuslaskurin valmistelussa tulikin olla erityisen tarkka laskennallisten kaavojen kanssa, jotta henkilön tekemän virheettömän täydennysvaiheen jälkeen Excel – taulukkolaskentaohjelma laskee kannattavuuden luotettavasti ilman mallien aiheuttamaa virhettä.

Laskennallisten kaavojen luotettavuus perustuu kaavojen normaaliin keskivirheeseen. Puuston tilavuuden lasken Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöllä

$$v = 0,036089 * d^{2,01395} * (0,99676)^d * h^{2,07025} * (h - 1,3)^{-1,07209}$$

jossa  $h$  = pituus ja  $d$  = rinnankorkeusläpimitta

Tämä kahteen tunnuksen pohjautuva tilavuusyhtälön keskivirhe männyllä on 7,2 %. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio 2008, 277)

Weibull -funktion luotettavuus perustuu käytettävien jakaumaa kuvaavien parametrien valintaan. Parametrien valinnassa tuleekin käyttää mahdollisimman paljon todellisia parametrejä, todellisilta leimikoilta. Mikäli metsiköstä on mitattu ainoastaan summa- ja keskitunnuksia, voidaan teoreettisen jakauman parametreja ennustaa Weibull – funktiolla. (Auvinen 1994, 57.)

Veltheimin pituusmallin luotettavuus perustuu myös käytettävien parametrien valintaan. Pituusmallin antama pituus kalibroidaan vielä kertoimen avulla. Kerroin = mitattu keskipituus / keskiläpimittaisen puun mallilla saatu pituus

### 9.3 Prosessikuvaus

Tutkimuksen tekeminen on ollut mielenkiintoista sekä haastavaa. Haasteellisuutta lisäsi tutkimusmateriaalin niukkuus. Tutkimuksia on tehty paljonkin energiapuunkorjuusta miestyönä tehtynä, mutta koneellisen korjuun kannattavuudesta ei vielä juuri olla tehty. Myös ajalliseen tuottavuuteen on tehty muutamia tutkimuksia, mutta näissä tutkimuksissa ei ole kiinnitetty kannattavuuteen paljoa huomiota.

Excel-taulukkolaskentaohjelmasta on ollut suuri apu laskentoja tehtäessä. Laskelmien tekeminen on kuitenkin vaatinut erityistä tarkkuutta, etteivät virheet heikennä tutkimustuloksia.

### 9.4 Jatkotutkimusaiheet

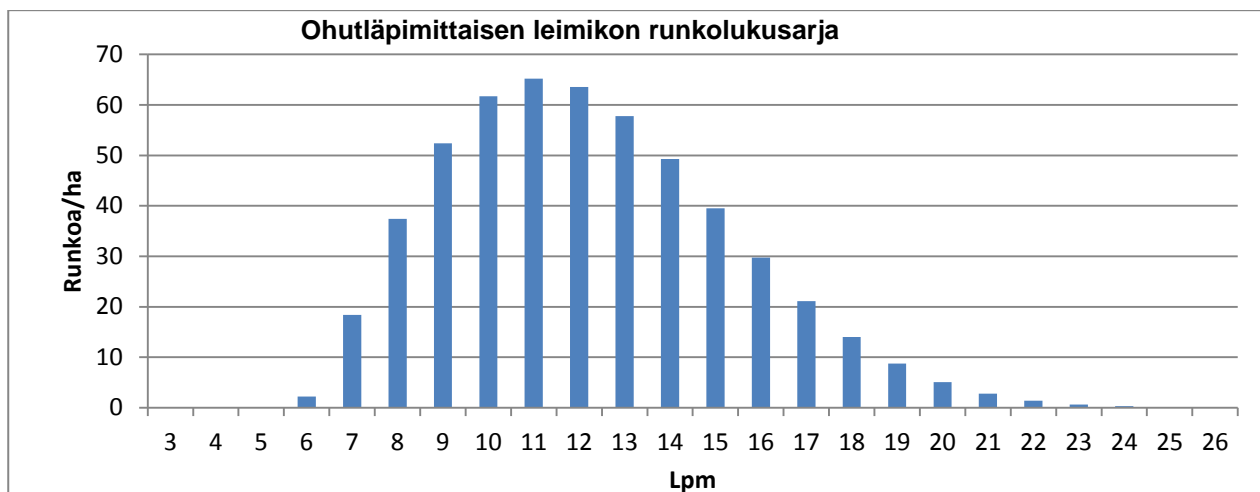
Tutkimuksessani tarkastelun ulkopuolelle jäävät muut kustannukset, kuten enakkoraivauksesta syntyvät kustannukset. Tutkimuksen päävertailufunktiot ovat korjuun kustannukset ja harvennukselta saatava kantoraha. Ennakkoraivauksen kustannuksia en ota tässä tutkimuksessa huomioon, koska jokaista ensiharvennusta ei tarvitse ennakkoraivata, joten teoreettisessa tutkimuksessa tämän funktion määrittäminen on jokseenkin mahdotonta.

Kaikilta teoreettisilta kohteilta korjataan ainoastaan energiapuuta, eikä lainkaan ainespuuta. Tutkimuksen pohjalta voisi syventyä, miten ainespuun korjuu vaikuttaa tuloksiin, ja millaisilta kohteilta ei kannattaisi edes korjata ainespuuta. Tämä tarkastelu kuitenkin käy kohteille, joilta harvennetaan ainoastaan energiapuuta.

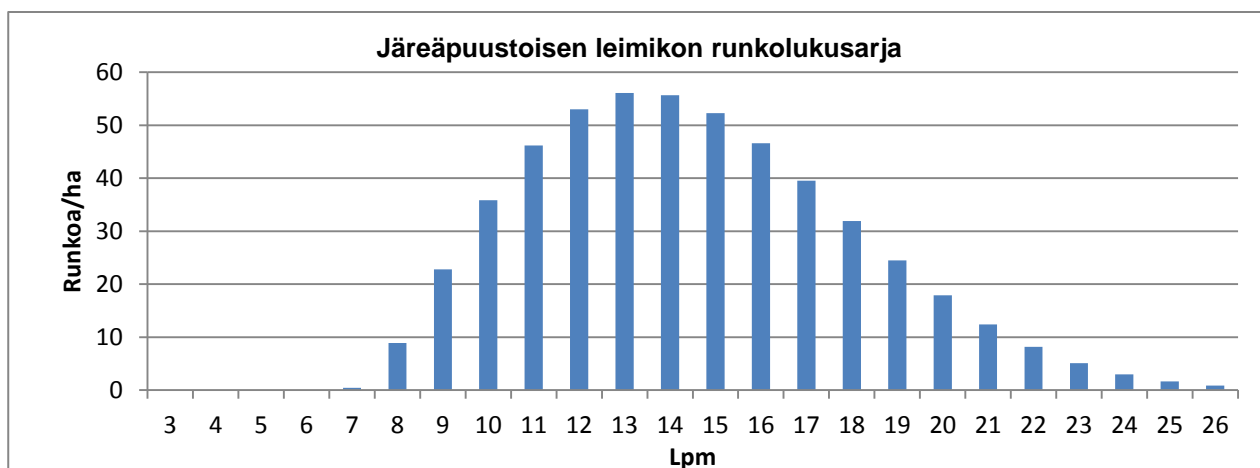
## Lähteet

- Ahtikoski, A. & Huuskonen, S. 2005 .Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 99–115
- Auvinen, P. 1994. *Metsänmittaus*. Helsinki: Opetushallitus.
- Fortum Oyj kotisivut. Fortum Oyj. 2014: <http://www.fortum.com/>. Viitattu 6.1.2014.
- Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. *Metsätehonraportti* 187.. [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti\\_187.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Raportti/Raportti_187.pdf).
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Seloste: männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt*. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74.
- Metsäntutkimuslaitos. 1998. *Puuvarojen käyttömahdollisuudet*. Jyväskylä: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.
- Metsäntutkimuslaitos ja Tapio. 1997. *Kannattava puuntuotanto*. Jyväskylä: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2005. *Hyvän metsänhoidon suositukset*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2007. *Hyvän metsänhoidon suositukset*. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2008. *Tapion taskukirja*. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2010. *Hyvän metsänhoidon suositukset; Energiapuun korjuu ja kasvat*. Helsinki: Metsäkustannus Oy.
- Pirinen, P., Simola, H., Aalto, J., Kaukoranta, J., Karlsson, P., & Ruuhela, R. 2012. *Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 – 2010*. Ilmatieteen laitos. [https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja\\_Suomen\\_ilmastosta\\_1981\\_2010.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4).
- Tilastokeskuksen kotisivut. Tilastokeskus. 2014 [http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2012/04/ehk\\_2012\\_04\\_2013-03-22\\_kuv\\_007\\_fi.html](http://tilastokeskus.fi/til/ehk/2012/04/ehk_2012_04_2013-03-22_kuv_007_fi.html) Viitattu 6.1.2014.
- Tornator Oyj kotisivut. Tornator Oyj. 2014: <http://www.tornator.fi/>. Viitattu 6.1.2014.
- Uusitalo, J. 2003. *Metsäteknologian perusteet*. Hämeenlinna: Kustannusosakeyhtiö Metsälehti.
- Veltheim, T. 1987. *Pituusmallit männylle, kuuselle ja koivulle*. *Metsänarvioimistieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto. 59 s. + liitteet 29 s.

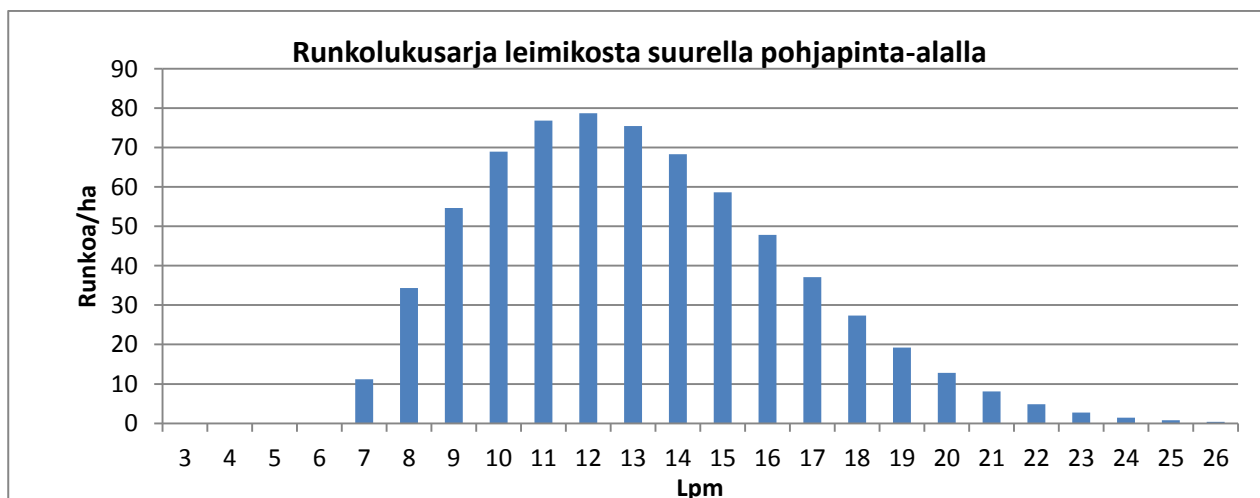
## Teoreettiset runkolukusarjat



Kuvio 7. Ohutläpimittaisen ja kevytrakenteisimman teoreettisen leimikon harvennuspoistuman runkolukusarja

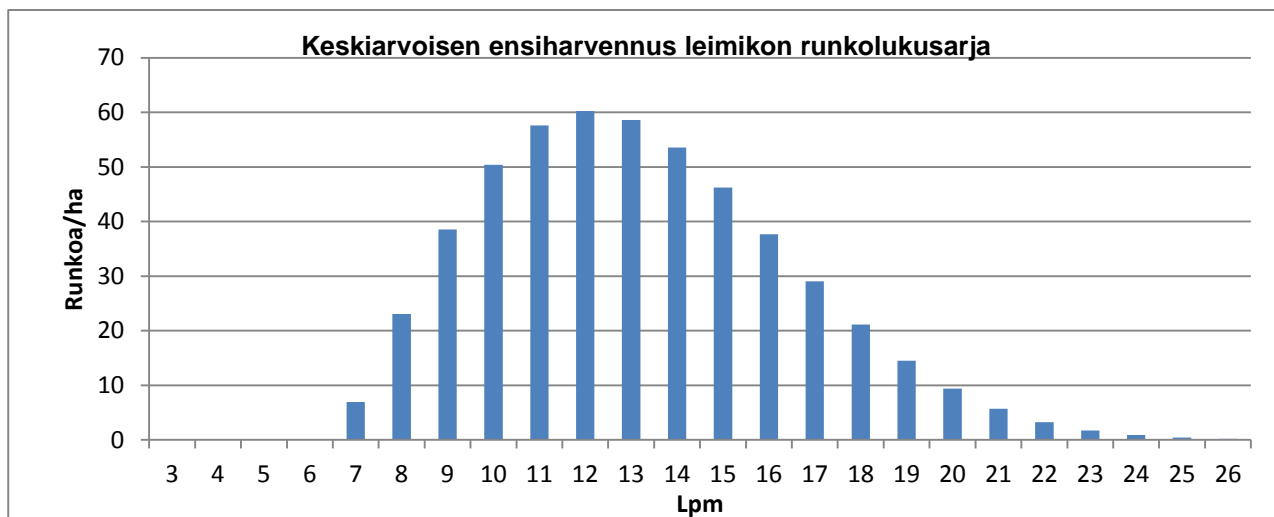


Kuvio 8. Järeäpuustaisen teoreettisen leimikon harvennuspoistuman runkolukusarja

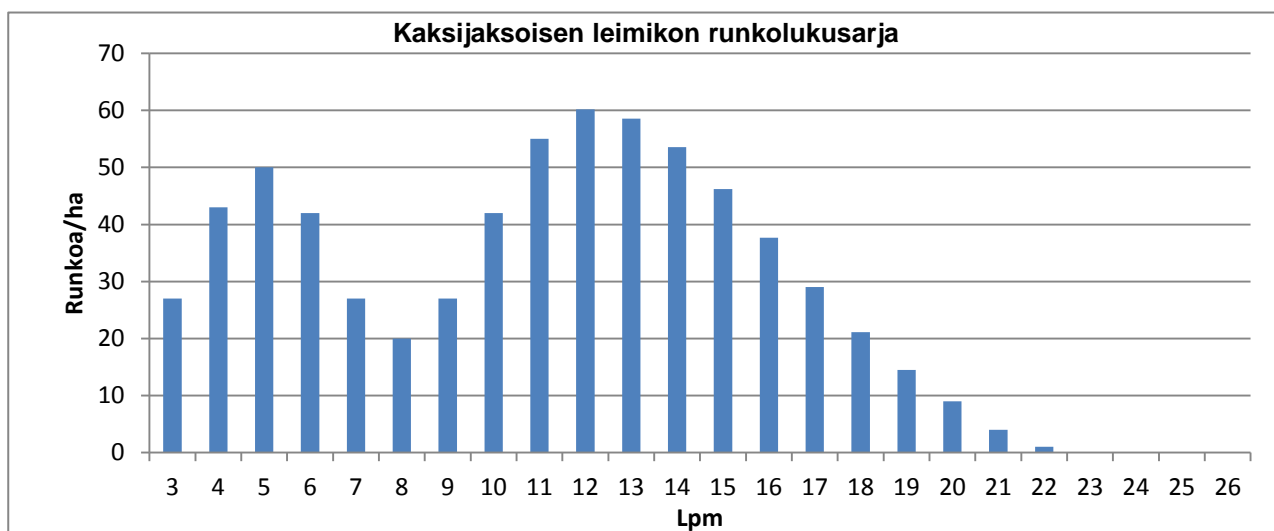


Kuvio 9. Suuren pohjapinta-alan omaavan teoreettisen leimikon harvennuspoistuman runkolukusarja



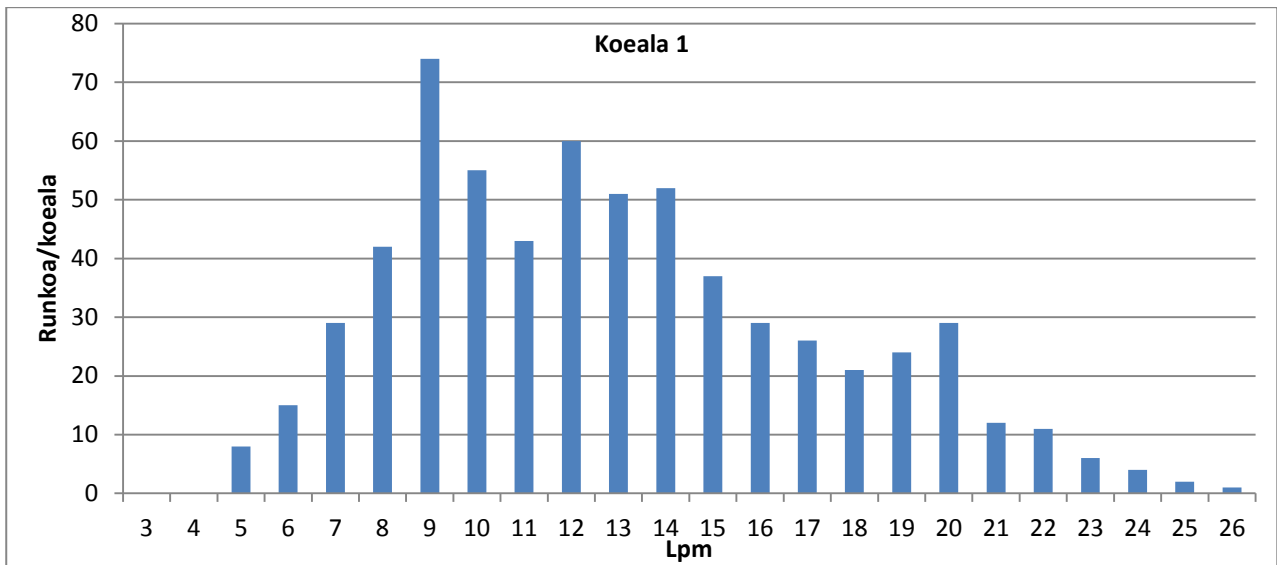


Kuvio 10. Keskiarvoisen ensiharvennusleimikon teoreettinen harvennuspoistuman runkolukusarja

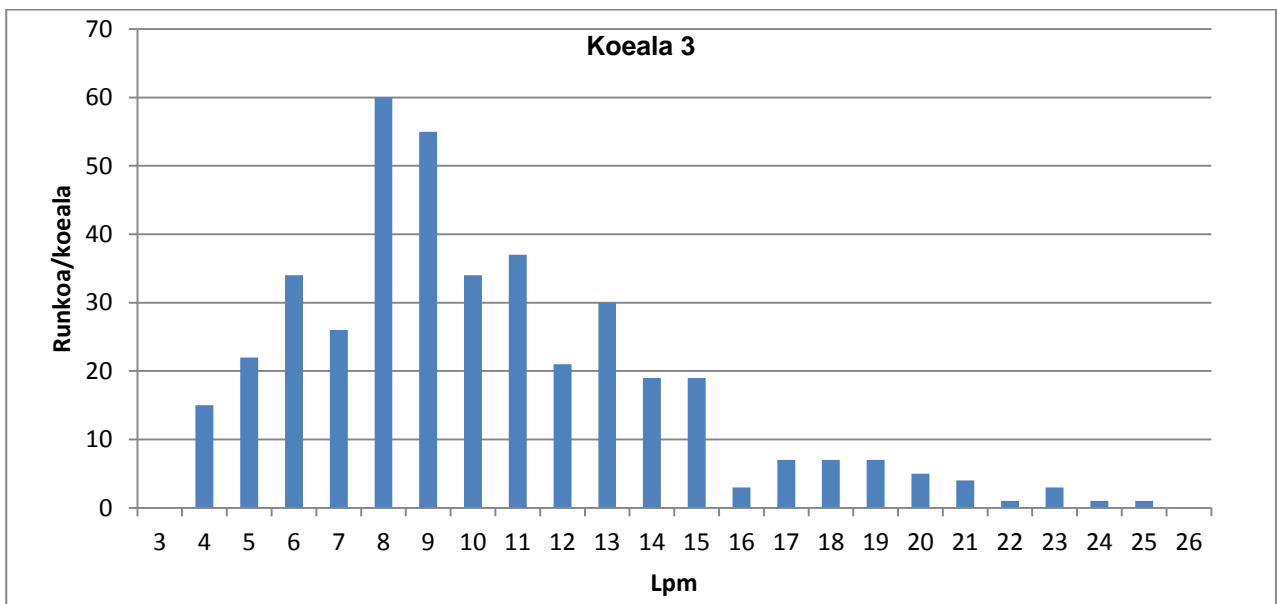


Kuvio 11. Kaksijaksoisen ensiharvennusleimikon teoreettinen harvennuspoistuman runkolukusarja

## Koealojen runkolukusarjat



Kuvio 12. Runkolukusarja harvennuspoistumasta koealalta 1



Kuvio 13. Runkolukusarja harvennuspoistumasta koealalta 2