



*University of Eastern Finland*

*Luonnontieteiden ja metsätieteiden  
tiedekunta Faculty of Science and  
Forestry*

HARVENNUSOHJELMAN VALINNAN VAIKUTUS PUUNTUOTANNON  
KANNATTAVUUTEEN JA LAHOPUUN MÄÄRÄÄN TALOUSMETSIEN  
KUUSIKOISSA – LAHOPUUN LISÄÄMISEN KUSTANNUSTEHOKKUUDEN  
ARVIOINTI

ANTTI NURMI

METSÄTIETEEN PRO GRADU, METSÄEKONOMIAN- JA POLITIIKAN  
ERIKOISTUMISALA

---

JOENSUU 2012

Nurmi, Antti. 2012. Harvennusohjelman valinnan vaikutus puuntuotannon kannattavuuteen ja lahopuun määrään talousmetsien kuusikoissa – Lahopuun lisäämisen kustannustehokkuuden arviointi. Itä- Suomen yliopisto, luonnontieteiden ja metsätieteiden tiedekunta, metsätieteiden osasto, metsätieteen pro gradu, metsäekonomian- ja politiikan erikoistumisala. 46s. + liitteet 3 kpl.

## **TIIVISTELMÄ**

Viimeisten vuosikymmenien aikana monimuotoisuuden säilyttämisestä on tullut yksi tärkeimmistä kansainvälisen metsätalouden tavoitteista. Uusien arvojen ja asenteiden sekä kansainvälisten sopimusten myötä myös boreaalisten metsien monimuotoisuuden näkökulmaan on kiinnitetty entistä enemmän huomiota. Kotimaisessa tutkimuksessa, ja sitä kautta myös metsienkäsittelyssä, etenkin uhanalaisille lajeille tärkeän lahopuun merkitys on korostunut. Lahopuun lisäämisen/tuottamisen kustannustehokkuuden arvioiminen on jäänyt tutkimuksissa kuitenkin vähemmälle huomiolle.

Tässä tutkimuksessa selvitetään neljän erilaisen, toisistaan poikkeavan kuusitalousmetsän harvennusohjelman valinnan vaikutusta puuntuotannolliseen kannattavuuteen ja lahopuun määrään. Tapion harvennusohjelmaa varioidaan harvennusvoimakkuutta keventämällä ja harvennusajankohtaa viivästyttämällä, tuottamalla tekolahoa sekä jättämällä metsiköt kokonaan harventamatta. Harvennusohjelmia tarkastellaan kolmessa eri istutustiheydessä (1 500, 2 000 ja 2 500 taimea/ha) uudistetussa lähtömetsikössä. Vaihtoehtoiset kiertoajat ovat lyhyt kiertoaika (60 vuotta) ja pitkä kiertoaika (90 vuotta). Tutkimuksen kuusikoiden kasvupaikkatyyppinä ovat tuoreiden kivennäismaiden MT- kuusikot Itä-Suomessa, tarkemmin Joensuussa. Tutkimuksen aineisto ja harvennusohjelmien simuloinnit on toteutettu MOTTI 2.0- metsänkasvatusohjelmalla. Lahopuun lisäämisen kustannustehokkuutta tarkastellaan vertailemalla vaihtoehtoisia harvennusohjelmia Tapion lyhyen kiertoajan mukaiseen harvennusohjelmaan, istutustiheydeltään kolmessa erilaisessa lähtömetsikössä.

Tämän tutkimuksen tulosten perusteella kuusitalousmetsiin voidaan tuottaa tai lisätä monimuotoisuuden kannalta tärkeää lahopuuta muuttamalla istutustiheyttä, pidentämällä kiertoaikoja ja muokkaamalla nykyisiä harvennusohjelmia. Tutkimuksessa selvisi, että harvennusajankohtia viivästyttämällä ja harvennusvoimakkuutta keventämällä voidaan löytää kustannustehokkaita menetelmiä lahopuun lisäämiseksi. Tutkimus vahvistaa myös aikaisempien tutkimusten myönteisiä tuloksia harventamattomuuden kustannustehokkuudesta. Tuloksista käy lisäksi ilmi, että tekolaho ja kiertoajan pidentäminen näyttäisivät olevan yleisesti kustannustehottomia tapoja lisätä lahopuuta kuusitalousmetsissä.

**Avainsanat:** Monimuotoisuus, Kustannustehokkuus, lahopuu, harvennushakkuut, MOTTI

Nurmi, Antti. 2012. Effects of alternative thinning programmes on the profitability of timber production and amount of coarse woody debris in managed Norway spruce stands - Cost-effective measures for increasing the amount of coarse woody debris. University of Eastern Finland, Faculty of Science and Forestry, School of Forest Sciences, Master's Thesis in Forest Sciences. Specialization in Forest Economy and Forest Policy. 46 p. + 3 appendices.

## **ABSTRACT**

In recent decades new values, changed attitudes and international agreements have meant that the preserving of biodiversity has become one of the most important goals for global forestry. Thusly the biodiversity of the Boreal forests has become evermore important in the world wide discussion. In domestic research, and thereby forest management, the significance of wood debris that is particularly important to endangered species has been enhanced. The significance of woody debris to biodiversity has been extensively researched in the past. However, defining the cost-efficiency of production and increasing of the amount of wood debris has not been studied to the same extent.

The purpose of this study is to compare the effects of the choice of four different thinning programmes on the profitability of timber production and the amount of woody debris for Norway spruce stands. The Tapio thinning programme is varied by reducing the volumes thinned, by delaying the thinning, by artificial creation of high stumps, and by leaving the stands unthinned. The thinning programmes are reviewed at three different planting densities (1 500, 2 000 and 2 500 saplings per hectare). The alternative cycle times are the short cycle (60 years) and the long cycle (90 years). The habitats for this study are mineral soil type Norway spruce stands located in Joensuu, Eastern Finland. The data for this study, and the thinning programme simulations are carried out by MOTTI 2.0 growth simulator. The cost-effectiveness of increasing the amount of woody debris is examined by comparing the alternative thinning programmes to Tapio short cycle thinning programme for stands with three different planting densities.

In conclusion, it is plausible to produce or increase the amount of coarse woody debris in Norway Spruce stands by changing the planting density, by increasing the cycle times, and by modifying the existing thinning programmes. It is also evident, that by delaying the thinning, and by reducing the volumes thinned, it is possible to cost effectively increase the amount of wood debris. This study also supports earlier studies that have proven the cost-efficiency of unthinning. In addition it is concluded that it is not cost-effective to increase the amount of woody debris by artificial creation of high stumps or by increasing the cycle time.

**Keywords:** Biodiversity, Cost-efficiency, Dead wood, Thinning loggings, MOTTI

## ALKUSANAT

Haluan kiittää kaikkia niitä tahoja jotka ovat edesauttaneet tämän työn valmistumista ja myös niitä jotka ovat jaksaneet odottaa sen valmistumista. Erityiskiitokset työni ohjaajille: Jukka Materolle ja Olli-Pekka Tikkaselle. Saamani ohjaus oli erinomaista tutkimuksen jokaisessa vaiheessa. Kiitän läheisiäni ja tuttaviani, jotka ovat omalta osaltaan tukeneet minua tämän työn aikana.

Tutkimuksen rahoittajana on toiminut Metsämiesten Säätiö.

Joensuussa 2012

Antti Nurmi

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO.....	6
1.1 Talousmetsien monimuotoisuuden näkökulma.....	6
1.2 Lahopuu ja sen merkitys talousmetsissä.....	9
1.3 Talouskuusikoiden harvennusohjelmat.....	12
1.4 Lahopuun tuottamisen kustannustehokkuus .....	15
2 TUTKIMUKSEN TAVOITE.....	17
3 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	18
3.1 Lähtömetsiköiden luonti MOTTI-ohjelmalla .....	18
3.2 MOTTI-ohjelmalla tehtävien harvennusohjelmien mallisimuloinnit.....	20
3.3 Lahopuun tuotoksen simulointi .....	23
3.4 Harvennusohjelmien puuntuotannollisen kannattavuuden vertailut.....	24
4 TULOKSET .....	26
4.1 Lahopuukertymät eri harvennusohjelmissa .....	26
4.2 Harvennusohjelmien taloustulokset eri kiertoajoilla .....	29
4.3 Lahopuun tuottamisen kustannustehokkuus eri istutustiheyksillä.....	31
5 TULOSTEN TARKASTELU JA JOHTOPÄÄTÖKSET .....	35
KIRJALLISUUS .....	41
LIITTEET (3 kpl).....	47

## 1 JOHDANTO

### 1.1 Talousmetsien monimuotoisuuden näkökulma

Talousmetsien hoitoa ja käyttöä säätelevää metsäpolitiikkaa sekä metsänhoitosuosituksia uudistettiin Suomessa merkittävästi 1990-luvulla (esim. Tonteri ja Siitonen 2001, Hanski ym. 2006). Uudistusten taustalla olivat kansainväliset sopimukset. Yhdistyneiden kansakuntien (YK) ympäristö- ja kehityskokous Rio De Janeirossa 1992 ja Euroopan metsäministerikokous 1993 Helsingissä olivat luomassa uusia periaatteita metsien käytölle. Näiden kansainvälisten sopimusten pohjalta luotiin kaikille yhteiset toimintaperiaatteet niin metsien kestävän hoidon kuin käytönkin osalta (Tonteri ja Siitonen 2001). 1990-luvulla valtion ja metsäteollisuuden vuosikymmeniä jatkunut suhde alkoi horjua, kun yhä kansainvälisempi metsäteollisuus irrottautui kansallisen toimijan roolistaan. Tätä lisäsi myös valtiollisen päätöksenteon muutos EU- ratkaisun myötä, sillä päätösvaltaa siirtyi osittain Suomen rajojen ulkopuolelle (Hanski ym. 2006).

Metsäalalla tarve uusiin suuntauksiin, joita 90-luvun alkupuolen kansainväliset sopimukset osaltaan edistivät, perustui etenkin asiakkaiden ja sidosryhmien näkemyksissä tapahtuneeseen muutokseen. Yhteiskunnan uudet arvot ja asenteet korostivat puuntuotannon lisäksi myös metsien muuta merkitystä, kuten metsästä saatavaa moninaista hyvinvointia (Tonteri ja Siitonen 2001). Tonterin ja Siitosen (2001) mukaan kestävän puuntuotannon rinnalle nousivat uusina tavoitteina metsäluonnon monimuotoisuuden ylläpitäminen sekä uusina käsitteinä ja näkökulmina myös metsätalouden ekologinen ja sosiaalinen kestävyys.

Suomen Maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö vahvistivat Rion ja Helsingin sopimusten pohjalta vuonna 1994 metsätalouden ympäristöohjelman, jossa korostettiin metsä- ja suoekosysteemien monipuolista seuranta. Uusi metsälaki, metsäasetus, luonnonsuojelulaki sekä kestävän metsätalouden rahoituslaki tulivat voimaan vuoden 1997 alussa. Metsälain 1§ mukaan tarkoitus on edistää metsien taloudellisesti, ekologisesti ja sosiaalisesti kestävä hoitoa ja käyttöä siten, että metsät antavat kestävän tuoton samalla kun niiden biologinen monimuotoisuus säilytetään (Metsälaki 12.12.1996/1093, Siitonen ja Ollikainen 2006).

Kansainvälisen keskustelun auettua suurelle yleisölle, myös Suomessa monimuotoisuuden köyhtymiseen alettiin kiinnittää entistä enemmän huomiota. Lajiston uhanalaistumista ryhdyttiin torjumaan muun muassa jättämällä uudistusaloille säästöpuita ja rajoittamalla monimuotoisuusarvoiltaan erityisen tärkeinä pidettyjen elinympäristötyyppien käsittelyä

(metsälaki 1093/1996, 10§). Kyseiset toimet vakiintuivat juuri 1990-luvulla nopeasti metsätalouden yleiseksi käytännöksi. Lainsäädännön muutoksen lisäksi ne näkyivät Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsäsuosituksissa vuodesta 1994 lähtien ja suomalaisen metsäsertifiointijärjestelmän FFCS:n kriteereissä (Finnish Forest Certification system) vuodesta 1997 lähtien. Nykyisin näiden perusteella hoidetaan 95 % Suomen talousmetsistä nykyisin (Hanski ym. 2006).

Muutosta oli edesauttamassa lisääntynyt tutkimustieto metsätalouden moninaisista vaikutuksista etenkin metsälajistoon. Suomalaiseen metsäntutkimukseen metsien monimuotoisuusnäkökulma tuli laajemmin myös vasta 1990-luvun alussa. Tätä olivat jatkossa edesauttamassa myöhemmin 1990-luvun puolivälissä Metsäntutkimuslaitoksen (METLA) Metsien monimuotoisuus- tutkimusohjelma (1995–2000) ja Suomen Akatemian (ja eräiden muiden tahojen rahoittama) Suomen biodiversiteetti- tutkimusohjelma eli Fibre (Finnish Biodiversity Research Programme, 1997–2002) (Kuusinen 2006).

Tutkimustietoa monimuotoisuuden turvaamiskeinojen vaikutuksista alkoikin kertyä mittavammin vasta 1990-luvun lopulla. Tutkimukset osoittivat, etteivät nykykäytännön mukaiset säästöpuumäärät eivätkä nykyistä suuremmat säästöpuupinta-alat pysty säilyttämään metsien monimuotoisuutta juuri avohakkuuta enempää (Jalonen ja Vanha-Majamaa 2001, Hanski ym. 2006).

1990-luvulla tapahtuneen muutoksen taustalla oli lisääntynyt tutkimustieto metsätalouden moninaisista vaikutuksista erityisesti metsälajistoon. Valtioneuvoston lokakuussa 2002 tekemä periaatepäätös Etelä-Suomen metsien monimuotoisuus ohjelmasta eli METSOsta on ollut myöhemmin 2000-luvulla merkittävä tekijä monimuotoisuusnäkökulmien muotoutumisessa (Hanski ym. 2006).

METSO-ohjelma muodostuu useista toimenpiteistä, joilla kaikilla edistetään suoraan tai välillisesti Etelä-Suomen metsien monimuotoisuutta. Ohjelman toimenpiteet voidaan jakaa karkeasti neljään (4) painopistealueeseen: (1) Luonnonsuojelualueiden ennallistaminen ja hoito, (2) uusien suojelukeinojen kokeiluhankkeet, (3) talousmetsien luonnonhoidon kehittäminen sekä (4) tutkimus. METSO-ohjelman seuranta ja arviointi etenee samanaikaisesti ohjelman toteuttamisen kanssa. Sen sosiaaliset, ekologiset ja taloudelliset vaikutukset arvioitiin ensimmäisen kerran vuoteen 2006 mennessä. METSO-ohjelmassa arvioidaan uusien suojelukeinojen käyttökelpoisuutta. Arviointi on haastavaa ja uusien suojelukeinojen käyttökelpoisuutta on tarkasteltava muun muassa niiden kustannustehokkuuden ja taloudellisten vaikutusten osalta (Kuusinen 2006).

Talousmetsien pitkään jatkuneena trendinä on ollut metsänkasvatuksen tehokkuuden lisääminen. Tämä on johtanut avohakkuisiin ja harvennushakkuisiin, joissa pyritään maksimoimaan mahdollisimman hyvin metsästä saatava rahamääräinen tuotto kiertoajan kuluessa. Esimerkiksi Siitosen ja Tonterin (2001) ja Siitosen ym. (2000) mukaan metsätalous on vähentänyt lahopuumäärän vain kymmenesosaan siitä, mitä se on luonnontilaisessa metsässä. Lahopuun väheneminen metsätalouden seurauksena onkin yksi merkittävä syy lajien uhanalaisuuteen. Similän ym. (2003) mukaan erityisesti lahopuusta riippuvaisten lajien uhanalaisuus on kasvanut lahopuun vähenemisen johdosta. Similän ym. (2003) tutkimuksessa painotettiin etenkin sitä, että lahopuusta riippuvaisten lajien monimuotoisuus ja esiintyvyys vaatii lahopuun jatkuvaa lisäystä erityisesti talousmetsissä.

Uuden metsälain voimaantulon jälkeen yksityismetsien metsänhoitosuositukset ovat uusiutuneet vuosina 2001 ja 2006. Talousmetsien luonnonhoidon keinot painottuvat etenkin luonnonsuojelullisesti arvokkaiden elinympäristöjen säästämiseen, säästöpuiden jättämiseen päätehakkuiden yhteydessä, lahopuuston säästämiseen ja määrän lisäämiseen. Metsäsertifiointi on ollut omalta osaltaan tukemassa näiden keinojen käytäntöönpanoa ja toteutumista (Siitonen ja Ollikainen 2006).

Uuden metsälain pohjana on ollut yleisperiaate, jonka mukaan talousmetsien hoidossa ja käytössä edistetään sellaisia käsittelymenetelmiä, jotka turvaavat eri biotooppeihin ja eri kehitysvaiheisiin sekä ekologisiin tilanteisiin sopeutuneille eliöille riittävät elinmahdollisuudet metsän luontaista kehitystä jäljittelemällä. Metsälaissa määritellään seitsemän erityisen tärkeää elinympäristötyyppiä, joiden erityiset ominaispiirteet tulisi turvata. Turvaamiselle on erityisesti tarvetta mikäli nämä kohteet ovat luonnontilaisia tai luonnontilaisen kaltaisia sekä ympäristöstään selvästi erottuvia (Siitonen ja Ollikainen 2006).

Kansainvälisistä ja kansallisista sopimuksista huolimatta metsänkasvatuksen pääasiallinen tavoite on kuitenkin lisätä tai maksimoida metsien puuntuotantoa ja metsästä saatavaa taloudellista tuottoa. Metsänkasvatuksen kannattavuus ja metsien luonnon monimuotoisuus eivät ole taloudellisista lähtökohdista tarkasteltuna kuitenkaan aina ristiriidassa, sillä kysymys on ennen kaikkea siitä kuinka suuri osuus metsien kasvupotentiaalista säästetään monimuotoisuuden ylläpitämiseksi ja kuinka paljon itse puuntuotannon tavoitteisiin (Siitonen 2005).

Metsänkäsittelyllä itsessään ohjataan metsän ja sen puuston kehitystä. Useimpien metsänomistajien päätavoitteena on saada metsästä taloudellista hyötyä. Taloudellisen hyödyn lisäksi metsään kohdistuvat tavoitteet voivat koskea esimerkiksi luonnon monimuotoisuutta,



virkestyskäyttöä tai riistanhoitoa (Niemistö 2005, Hänninen ym. 2011). Nykyinen metsänhoito Suomessa pohjautuu Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksiin. Tapion suositukset huomioivat kestävänsä metsätalouden tarpeet. (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006) Talousmetsien luonnon monimuotoisuuden säilyttäminen on ollut siis yksi metsätalouden merkittävimmistä suuntauksista ja tavoitteista viime vuosina.

Talousmetsissä monimuotoisuutta voidaan ylläpitää muun muassa pidentämällä kiertoaikaa, luomalla eri-ikäisrakententeita ja lisäämällä lahoppuuta jättämällä säästöpuita muutoin tasaikäisiin metsiköihin (Ollikainen ja Kouki 2006). Monimuotoisuuden säilyttämistä on pyritty lisäämään muun muassa luomalla uudentyyppisiä metsänkasvatusmalleja, kuten tasaikäisten metsien uudistusaloille jätettävät jättopuuryhmät (esim. Koskela ym. 2007, Tikkanen ym. 2012). Lisäksi esim. Ranius ym. (2005) tutkivat ns. tekolahoppuun tuottamista yhtenä tapana lisätä lahoppuuta ja sitä kautta turvata monimuotoisuuden säilymistä.

Talousmetsien monimuotoisuutta on viimeaikaisissa tutkimuksissa käsitelty enemmän ja monimuotoisuuden lisäämiselle on haettu uusia tapoja. Esimerkiksi Materon (2007) mukaan etenkin harvennushakkuiden rooli on aiemmin jäänyt monimuotoisuuden suojelun ja puuntuotannon yhteensovittamisen arvioinneissa vähemmälle huomiolle ja tutkimusta voisi suunnata tulevaisuudessa enemmän nuoriin kasvatusmetsiin.

## **1.2 Lahoppu ja sen merkitys talousmetsissä**

Lahoppuusta ja sen määrästä ollaan nykyisin kiinnostuneita sekä luonnon monimuotoisuuden (Harmon 1986, Tonteri ja Siitonen 2001, Tanhuanpää 2011) että siihen varastoituneen hiilen kannalta. Yleisesti lahoppuulla eli jo kuolleilla tai lahoavilla puilla on tärkeä tehtävä monissa metsän ekologisissa prosesseissa. Tikkasen ja Koukin (2007) mukaan lahoppu on selvästi merkittävin uhanalaisten metsälajien elinympäristö. Lahoppu on tutkimuskohteena mitattavissa oleva ympäristömuuttuja ja täten helppo sovellettava myös metsäsuunnittelun yhteydessä (Tikkanen ja Kouki 2007). Lahoppu on monimuotoisuuden kannalta keskeinen metsän rakenneosana. Siihen on sitoutunut huomattava määrä hiiltä, joka on samalla myös ilmakehän hiilidioksidia. Tällä on merkitystä myös metsäekosysteemien hiilitaseen osalta (Tonteri ja Siitonen 2001).

Hiilidioksidia sitoutuu maahan ja kasveihin (puihin) niiden kasvaessa (Tapion taskukirja 2008). Metsänkäsittely aiheuttaa kuitenkin häiriötä metsän hiilitaseeseen, koska karikkeen

kertyminen maahan häiriintyy harvennusten sekä hakkuutähteiden ja kantojen poiston vuoksi (Routa 2010). Metsikön kiertoaikaa säätämällä voidaan vaikuttaa puuston kasvunopeuteen ja hiilidioksidin sitoutumiseen. Hiilidioksidia sitoutuu metsään erityisesti kiertoajan alkupuolella, kasvunopeuden ollessa suurimmillaan (Jarvis ym. 2005). Vastan ym. (2006) mukaan kiertoajan pidentäminen sekä pohjapinta-alan nosto lisäävät metsäekosysteemin hiilivarastoa.

Luonnonmetsissä lahoppuuta syntyy kilpailun, itseharvenemisen ja puulajisukcession lisäksi erilaisten häiriöiden, kuten metsäpalojen ja myrskyjen seurauksena. Tällaiset suuremmat häiriötekijät voivat muuttaa kerralla suuren osan elävästä puusta lahoppuiksi. Metsikön uudistuminen tietyn häiriötekijän vuoksi on luonnonmetsissä merkittävä lahoppuun lähde (Tonteri ja Siitonen 2001). Luonnontilaisissa metsissä kuollutta puuainesta syntyy yleensä jatkuvasti. Lahoppuun tuottaminen tarkoituksellisesti on sen sijaan kertaluonteinen toimenpide, koska samalle kohteelle palaaminen on kustannussyistä kannattamatonta, ellei jäljelle jäävä puusto ole niin harva, että se altistuu tuulen kaadoille. Lahoppuun muodostuminen vähenee tällaisten ennallistamistoimien jälkeen, koska elävän puuston kasvuolosuhteet paranevat kilpailun vähentyessä. Elinympäristön saatavuuden huomattava ajallinen vaihtelu on suuri ongelma etenkin lahoppuusta riippuvaisille eliöille. Luotujen lahoppuukeskittymien läheltä tulisi löytyä alueita, joille nämä eliöt voivat siirtyä alkuperäisen lahoppuun laadun heikentyessä (Mönkkönen ja Kuuluvainen 2006). Lahoppuusta riippuvaisia lajeja eli saproksyylejä on Suomessa yhteensä arviolta 4000–5000 lajia. Tämä kattaa noin viidenneksen kaikista metsien eliölajeista (Tonteri ja Siitonen 2001, Metsätalastollinen vuosikirja 2011). Tikkasen ja Koukin (2007) mukaan lahoppulajit muodostavat noin 60 % kaikista uhanalaisista metsälajeista.

Lahoppuun merkitystä monimuotoisuuden kannalta on tutkittu ja esimerkiksi Tapion Hyvän metsänhoidon suositukset (2001, 2006) sekä Siitonen ja Ollikainen (2006) toteavat, että lahoppuuta tulisi lisätä suositusten (uudistusalojen säästöpuusto ja lahoppuustoa koskeva suositus) lisäksi jättämällä metsiin luontaisten häiriötekijöiden aiheuttamat, kuten yksittäiset tuulenkaadot ja lumivahinkopuut. Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksissa ei kuitenkaan ole mainintaa määrällisistä tavoitteista.

Uudistusalojen säästöpuustoa ja lahoppuustoa koskevat suositukset eivät perustu metsälakiin vaan luonnonhoidon suosituksiin ja metsäsertifiointiin (Siitonen ja Ollikainen 2006). Hyvän metsänhoidon suositusten (2001, 2006) mukaan tavoitteena on jättää 5–20 elävää säästöpuuta hehtaaria kohti. Pökkelöt ja pystyyn kuolleet puut säästetään, ja kuolleet maapuut pyritään kiertämään puunkorjuun ja maanmuokkauksen yhteydessä.

Kurttila ym. (2006a) totesivat Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelman tutkimusraportissa, että lahoppuuston määrä ei nykyisillä luonnonhoidon keinoilla tule merkittävästi lisääntymään ja että lisäpanostus lahoppuuston lisäämiseen etenkin monimuotoisuuden osalta on ilmeisen tarpeen. Lisätutkimus lahoppuun tuottamisen kustannustehokkuudesta on kuitenkin tarpeen myös siksi, koska jatkuvasti lisääntyvä energiapuun korjuu korostaa entisestään tämän lisäyksen tarvetta. Esimerkiksi Siitosen ja Ollikaisen (2006) mukaan säästöpuuston nykytason avulla uudistusalojen lahoppuun määrää pystytään lisäämään ehkä 0,5 miljoonaa m<sup>3</sup> vuositasolla, kun samaan aikaan energiapuun korjuu vähentää suuruusluokaltaan vähintään kymmenkertaisen määrän (5 miljoonaa m<sup>3</sup>) lahoppuuta.

Metsäntutkimuslaitoksen Metsähallitukselle tekemän selvityksen mukaan tulevaisuudessa on erityisen tärkeää lisätä runkolahoppuun määrää Etelä-Suomessa. Runkolahoppuumäärä lisääntyy edelleen valtion mailla tulevaisuudessa, kun elävät säästöpuut alkavat kuolla ja luontaisesti syntynyttä lahoppuuta säästetään. Tällöin päästäisiin kokonaismäärissä normaaleissa talousmetsissä keskimäärin noin 10 m<sup>3</sup>/ha. Energiapuun korjuun seurauksena pieniläpimittaisen kuolleen puun ja kantojen määrä tulee sen sijaan hyvin todennäköisesti vähenemään (Päivinen ym. 2011). Kurttila ym. (2006b) mukaan säästöpuiden kokonaistaloudellinen vaikutus on todennäköisesti erityisen arvokkaita elinympäristöjä suurempi, sillä Koskela ym. (2004, 2005) arvioivat yhteiskunnallisesti optimaalisen säästöpuumäärän olevan noin 9 m<sup>3</sup>/ha, eli noin 20 järeää runkoa hehtaarilla. Laskelmissa käytettiin Poudan (2005) kansalaisten maksuhalukkuusestimointia säästöpuiden lisäämiseksi.

Metsähallituksen julkaisemassa Metsätalouden ympäristöoppaassa on esitetty talousmetsien uudet tavoitteet lahoppuumäärien hehtaarikohtaisista kuutiomääristä (m<sup>3</sup>/ha). Lahoppuustolle on asetettu määrälliseksi tavoitteeksi talousmetsissä 10 m<sup>3</sup>/ha, yhteys- ja tukialueilla 20 m<sup>3</sup>/ha ja ydinalueilla 30 m<sup>3</sup>/ha (Päivinen ym. 2011). Tonteri ja Siitonen (2001) sekä Siitonen ja Ollikainen (2006) toteavat kuitenkin, että viimeaikaisten tutkimusten mukaan eteläsuomalaisissa vanhoissa metsissä uhanalaisia lajeja alkaa esiintyä vasta siinä vaiheessa, kun lahoppuuston tilavuus on vähintään 20 m<sup>3</sup>/ha.

Lahoppuusto on merkittävä rakennepiirre metsäluonnon monimuotoisuudelle. Valtakunnan metsien inventoinnissa (VMI) mitataan kuolleen pysty- ja maapuuston määrää ja laatua metsä- ja kitumaalla. Lahoppuuston mittaukset aloitettiin vuonna 1996 valtakunnan yhdeksännen inventoinnin (VMI9) yhteydessä. VMI9:n mukaan järeän lahoppuun tilavuus metsämaalla on keskimäärin 2,5 m<sup>3</sup>/ha METSO- toimintaohjelman alueella talousmetsissä

(Siitonen ja Ollikainen 2006). Mittauksia jatkettiin valtakunnan metsien kymmenennessä inventoinnissa (VMI10) vuosina 2004–2005. Näiden kahden inventoinnin seurantavälin tulosten perusteella on voitu tarkastella lahopuustossa tapahtuvia muutoksia. Valtakunnan metsien inventointien (VMI9) ja (VMI10) tulosten perusteella voidaan todeta lahopuun määrän kuitenkin lisääntyneen Etelä-Suomessa seurannan aikana. Kuollutta puuta oli metsä- ja kitumaalla keskimäärin 3,2 m<sup>3</sup>/ha, kun vastaava määrä 90-luvun lopussa oli 2,8 m<sup>3</sup>/ha. (Ihalainen ja Mäkelä 2009). Ihalaisen ja Mäkelän (2009) mukaan tähän päätelmään liittyy kuitenkin varaus siitä, että lahoa maapuuta on jäänyt VMI10:ssä mittaamatta edelliseen mittaukseen verrattuna. Lisäksi syitä määrän kasvuun VMI:n mittausten yhteydessä voivat Ihalaisen ja Mäkelän (2009) mukaan olla esimerkiksi uudistusaloilla ja taimikoissa tapahtunut lahoasteeltaan kovan kuolleen puun lisäys. Tämä viittaa siihen, että uudet metsänhoitosuosituksot ovat olleet omalta osaltaan lisäämässä kuolleen puun määrää, etenkin päätehakuissa. Lisäksi vuoden 2001 jälkeen tapahtuneet myrskytuhot, metsien lisääntyneet harvennusrästöt sekä metsänhoitosuositusten soveltaminen siten, ettei harvennushakuissa yksin puin korjata kuolleita puita siinä määrin kuin aikaisemmin, ovat todennäköisesti aiheuttaneet kuolleen pystypuuston määrän lisääntymistä (Ihalainen ja Mäkelä 2009).

### **1.3 Talouskuusikoiden harvennusohjelmat**

Yhä suurempi osuus kasvatusvaiheen kuusikoista on perustettu viljellen. Hoidetut viljelykuusikot ovat luontaisesti syntyneitä kuusikoita tasaikäisempiä ja rakenteeltaan tasaisempia (Hynynen ym.2005b). Kuusi uudistetaan yleensä istuttamalla. (Metsätilastollinen vuosikirja 2011). Täystiheän taimikon aikaansaamiseksi taimia tulisi istuttaa kerralla riittävä määrä ja Tapion Hyvän metsänhoidon suosituksissa (2006) kuusen istutustiheydeksi on suositeltu 1 600–1 800 taimea hehtaarille. Luorasan ja Kiljusen (2006) mukaan lehtomaisille kankaille on suositeltua istuttaa jopa 2 200 kuusen taimea hehtaarille ja vastaavasti tuoreille kankaille 2 000 kuusen taimea.

Istutuskuusikoiden käsittelyä ja kehitystä on tutkinut Suomessa etenkin Vuokila (1975, 1980a). Vuokila tutkimukset (esim.1980a) perustuivat eteläsuomalaisiin istutuskuusikoissa tehtyihin kestokokeisiin, joissa tutkittiin erityisesti vaihtelevan kasvatustiheyden vaikutusta puuston kehitykseen.

Taimikkovaiheen jälkeen puuston kehitystä ohjataan harvennushakkuin. Metsikön kehitykseen ja sen kasvatukseen kannattavuuteen vaikutetaan harvennusten voimakkuudella, lukumäärällä ja ajoittamisella sekä kasvatettavien ja poistettavien puiden lukumäärää ja valintaa säätelemällä (Niemi 2005). Valsta ym. (2006) mukaan metsänkasvatukselliset toimenpiteet, kuten taimikon harvennus ja harvennushakkuut poistavat metsästä heikompilaatuisia puita, jotka muutoin karsiutuisivat ja kuolisivat lisääntyvän kilpailun myötä. Harvennuksissa jäljelle jäävät puut järeistyvät ja tuottavat parempilaatuista puuainesta. Hiilinielujen ja biodiversiteetin tuotannon kannalta harvennuksilla on kuitenkin myös kielteisiä vaikutuksia sillä metsikön absoluuttinen hiidensidontapotentiaali vähenee tiettyä kiertoaikaa kohti, ja puuainesta jää vähemmän lahoppuusta riippuvaiselle lajistolle.

Harvennushakkuilla on kaksi päätarkoitusta: säädellä puustopääoman määrää ja vaikuttaa puuston laatuun. Tasaikäisissä metsissä tehdään yleensä 1–4 harvennusta. (Kuuluvainen ja Valsta 2009).

Metsien harventamisella ei välttämättä aina saavuteta tai aikaansaada kokonaiskasvun ja runkokuun tuotokseen lisäystä, mutta harventamisen merkitys voidaankin nähdä painokkaammin taloudellisen tuloksen parantamisena. Metsikön kiertoajan taloudellinen tulos koostuu harvennus- ja päätehakkuutulojen sekä kustannusten määrästä ja ajoittumisesta. Harvennusten avulla taloudellista tulosta voidaan parantaa esimerkiksi aikaistamalla hakkuutuloja, lisäämällä puiden järeyttä ja tukkipuusuutta, suosimalla taloudellisesti arvokkaita ja hyvälaatuisia kasvupaikalle sopivia puulajeja sekä poistamalla huonolaatuisia. Täten talousmetsien harventamisen yksi tärkein tavoite on metsiköiden liikkaituuden aiheuttamien vahinkojen ehkäisy (Niemi 2005).

Yleisesti harvennusmallien tarkoitus on toimia harvennushakkuiden käytännöllisinä apuneuvoina. Harvennusmalleissa pyritään yhdistämään korkea puuntuotos, runkojen nopea järeistyminen ja koko kasvatusketjun kohtuullinen kannattavuus. Harvennusmallien avulla määritetään siis metsikön harvennustarve ja voimakkuus (Niemi 2005). Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan harvennushakkuiden tavoitteina on parantaa kasvatettavan puuston laatua, nopeuttaa puuston järeytymistä ja tuottaa harvennushakkuutuloja. Tapion suositusten (2006) mukaan kasvamaan jätettävien puiden valinnassa otetaan huomioon olemassa olevan puuston laatu, kasvupaikan puuntuotoskyky ja puuston tilajärjestys. Tapion harvennusmalleissa metsiköitä tarkastellaan puulajien ja eri kasvupaikkatyyppien perusteella. Mallit osoittavat puuston kehitysvaiheen ja tiheyden

perusteella metsikön harvennustarpeen sekä jätettävän puuston määrän. (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006).

Tarkasteltaessa harvennushakkuita ja monimuotoisuutta Siitosen (2005) mukaan harvennushakkuiden toteutuksessa monimuotoisuuden kannalta kolme tärkeintä periaatetta ovat; (1) kuolevia ja vastakuolleita puita ei poisteta, koska nämä eivät kilpaile resursseista kasvatettavien puiden kanssa, (2) taloudellisesti vähäarvoisia puulajeja säästetään ja (3) säästöpuita ei poisteta tulevaisuudessa harvennuksissa. Siitosen (2005) mukaan harvennushakkuiden vähentäminen ja lieventäminen lisää puiden välistä kilpailua ja sitä kautta puuston kuolleisuutta. Etenkin kokonaan harventamattomassa nuorena ja keski-ikäisessä metsikössä kuollutta puuta muodostuu yllättävän paljon.

Kuusikoiden harventamista on tutkittu paljon. Kuusikoiden on todettu reagoivan vaihtelevasti harventamiseen. Esimerkiksi Vuokilan (1980a) mukaan kuusikoiden harventamisen vaikutuksesta erityisesti rehevien kasvupaikkojen kuusien kasvu ei ole merkittävästi vähentynyt voimakkaasta harventamisesta huolimatta (Saramäki ja Hynynen 2003).

Kuusikoiden harventamista (istutuskuusikoissa) ovat tutkineet esimerkiksi Saramäki ja Hynynen (2003), jotka tarkastelivat Nynäsin harvennuskokeita Heinolan maalaiskunnan UPM-Kymmene yhtiön mailla vuosina 1961 ja 1962 perustetuilla koemetsiköillä. Saramäen ja Hynynen (2003) tutkimusten pohjalta on saatu ensimmäisiä kotimaisia tuloksia sitten Vuokilan (1975, 1980a) tutkimusten. Edellä mainittujen tutkimusten tulosten perusteella voidaankin todeta, että uudet tulokset vahvistavat aiempien tutkimusten myönteisiä tuloksia kuusen kasvureaktioista harventamiseen. Etenkin nuoren kuusikon reagointikyky harventamiseen on hyvä ja tulokset merkittäviä, sillä harvennushakkuuksien mietittäessä on mahdollista suunnitella harvennusten ajoitukset ja voimakkuudelle hyvinkin väljät rajat. Edellytyksenä on kuitenkin se, että kuusikon alkukehityksestä on huolehdittava riittävästi (Saramäki ja Hynynen 2003).

Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten (2006) mukaan kuusi reagoi herkästi harvennuksiin ja yksittäisen puun järeys kasvaa nopeasti harvennuksen jälkeen. Lisäksi kuusen on katsottu sietävän yliitiheyttä ilman että puun tuotos laskisi. Tämän johdosta verrattuna esimerkiksi mäntyyn, kuusi on tutkimuskohteenakin joustavampi erilaisille harvennushakkuuksille.

Hynynen ym. (2005b) mukaan eteläsuomalaisen keskiviljavan kuusikon valtapuut saavuttavat päätehakkuuseen mennessä noin yhden kuutiometrin tilavuuden, kun metsikköä harvennetaan suositusten mukaisesti. Harventamattoman puuston keskitilavuus on selvästi pienempi, koska

pieniä runkopuita on runsaasti. Valtapuut (100 paksuinta puuta/ha) ovat tässäkin tapauksessa lähestulkoon yhtä suuria.

#### **1.4 Lahopuun tuottamisen kustannustehokkuus**

Ollikainen ja Kouki (2006) toteavat, että monimuotoisuuden suojelun taloustutkimus on toistaiseksi keskittynyt lähinnä arvioimaan optimaalista tai hyväksyttävää suojelupinta-alaa Etelä-Suomen metsissä. Muilta osin tutkimus on vähäistä ja heidän mukaansa metsiköiden monimuotoisuuden suojelussa on vielä runsaasti avoimia teemoja, kuten säästöpuiden merkitys, lahopuun tuottaminen sekä elinympäristöjen ja lajien vuorovaikutusten liittäminen taloudellisiin analyyseihin. Edellä mainittujen lisäksi Ollikaisen ja Koukin (2006) mukaan vaihtoehtoisten kasvatustyyppien taloudellisen- ja ekologisen tutkimuksen tulisi suuntautua tasaikäisen kasvatuksen ns. pehmeämpien käsittelyvaihtoehtojen tarkasteluun monimuotoisuuden turvaamiseksi.

Viimeaikaisten tutkimusten valossa on perusteltua tutkia uusien monimuotoisuustavoitteiden ohella niiden aiheuttamia kustannuksia, etenkin lahopuun tuottamisen osalta. Ranius ym. (2005) esimerkiksi toteavat, että koska puuaine metsissä on taloudellisista lähtökohdista katsottuna kaikista tärkein metsistä saatava hyödyke, tulee tarkastella myös lahopuun lisäämisestä aiheutuvia kustannuksia arvioimalla erilaisten lahopuunlisäämistöimien kustannustehokkuutta.

Ranius ym. (2005) tutkivat lahopuun tuottamisen luomiskeinoja ja niiden kustannusvaikuttavuutta viidellä eri metsäalueella Ruotsissa. Lahopuun tuottamisen keinoina käytettiin järeitä säästöpuita, runkojen katkaisua tekopötkkelöksi harvennuksissa ja päätehakkuissa, lahopuun tuhoutumisen ehkäisyä hakkuilla, pidennettyä kiertoaikaa ja syntyvän lahopuun säästämistä. Ranius ym. (2005) osoittivat, että tekopötkkelöiden tekeminen oli edullisin tapa lisätä lahopuun määrää tutkimuksen metsäalueilla. Tekopötkkelöistä kehittyi lähes poikkeuksetta lahopuuta. Tekolahopuun tuottaminen ei aiheuttanut lisäkustannuksia korjuussa, mutta metsäkuljetuksen osalta sen katsottiin aiheuttavan jonkin asteista haittaa. Samassa tutkimuksessa todettiin myös, että luontaisen häiriön johdosta kuolleiden puiden, kuten tuulenkaatojen ja tykkylumen murtamien puiden säilyttäminen oli lähes yhtä kustannustehokas vaihtoehto lisätä lahopuuta. Raniuksen ym.

(2005) tutkimuksessa harvennusohjelman muutosta ei kuitenkaan käsitelty lahopuun lisäämisvaihtoehtona, kuten tässä tutkimuksessa tehtiin.

Jonsson ym. (2006) ovat tutkineet lisäksi säästöpuuryhmien taloudellisia vaikutuksia ja heidän tutkimusten mukaan mitä enemmän säästöpuita jätetään hehtaaria kohden, sitä enemmän menetetään myös päätehakkuissa saatavia hakkuutuloja. Jonssonin ym. (2006) mukaan esimerkiksi kun säästöpuiden kokonaispinta-ala oli 9 % (päätehakkuualasta), niin tällä alalla puuston tilavuus ja tuottavuus hehtaaria kohden oli vain 75 % koko hakkuualan keskiarvosta, eikä tämä pinta-ala ole puuntuotannossa hakkuun jälkeenkään.

Wikström ja Erikson ym. (2000) kuitenkin osoittivat, että lahopuun tuottaminen edellyttää myös harvennuskertojen vähentämistä ja harvennuksissa poistettavien puumäärän pienentämistä.

Eräs vaihtoehtoinen tapa lisätä lahopuun määrää talousmetsissä onkin säätää tavanomaista harvennusohjelmaa jättämällä metsiköt harventamatta. Tämän menetelmän harvinaisuus (Venäjällä ja Kanadassa tavanomainen) Suomessa ja muualla Pohjoismaissa on hieman yllättävää, sillä kokonaistuotoksen on tiedetty olevan suurimmillaan juuri harventamattomissa metsiköissä. Samaan aikaan kyseiset metsiköt tuottavat suuren määrän lahopuuta (Daniel ym. 1979, Tikkanen ym. 2012). Tikkanen ym. (2012) ovat tutkineet lahopuun tuottamisen kustannustehokkuutta ja tutkimuksen mukaan metsiköiden kasvattaminen harventamattomina lisäsi lahopuun määrän 5–6 kertaiseksi verrattuna tavanomaiseen tapaan jättää uudistuksen yhteydessä säästöpuuryhmiä (20 runkoa/ha). Kustannustehokkuuden osalta harventamattomuus vähensi hakkuutulojen nettonykyarvoa alle 20 %. Tutkimuksen mukaan talousmetsien harventamatta jättäminen voikin tarjota hyvin kustannustehokkaan tavan lisätä talousmetsien lahopuun määrää.



## 2 TUTKIMUKSEN TAVOITE

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää metsikkötasolla, miten kuusikon harvennusohjelman valinta, istutustiheys ja kiertoaika vaikuttavat sen puuntuotannon kannattavuuteen sekä kertyvään lahopuun määrään.

Tutkimuksessa tarkastellaan neljää erilaista, toisistaan poikkeavaa harvennusohjelmaa. Harvennusohjelmien puuntuotannollista kannattavuutta ja lahopuun määrää tarkastellaan kolmessa eri istutustiheydessä (1 500, 2 000 ja 2 500 taimea/ha) uudistetussa lähtömetsikössä. Vaihtoehtoiset kiertoajat ovat lyhyt kiertoaika (60 vuotta) ja pitkä kiertoaika (90 vuotta). Tutkimuksen kuusikoiden kasvupaikkatyyppinä ovat tuoreiden kivennäismaiden MT-kuusikot Itä-Suomessa, tarkemmin Joensuussa.

Kasvatusketjujen vertailun avulla tutkimuksessa pyritään arvioimaan lahopuun tuottamisen aiheuttamia kustannuksia. Lahopuun tuottamisen kustannustehokkuutta tarkastellaan vertailemalla vaihtoehtoisia harvennusohjelmia Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukaiseen harvennusohjelmaan. Tutkimuksen päätavoitteena on siis löytää ja arvioida entistä kustannustehokkaampia tapoja ja menetelmiä lisätä lahopuun määrää kuusitalousmetsissä.

### 3 AINEISTO JA MENETELMÄT

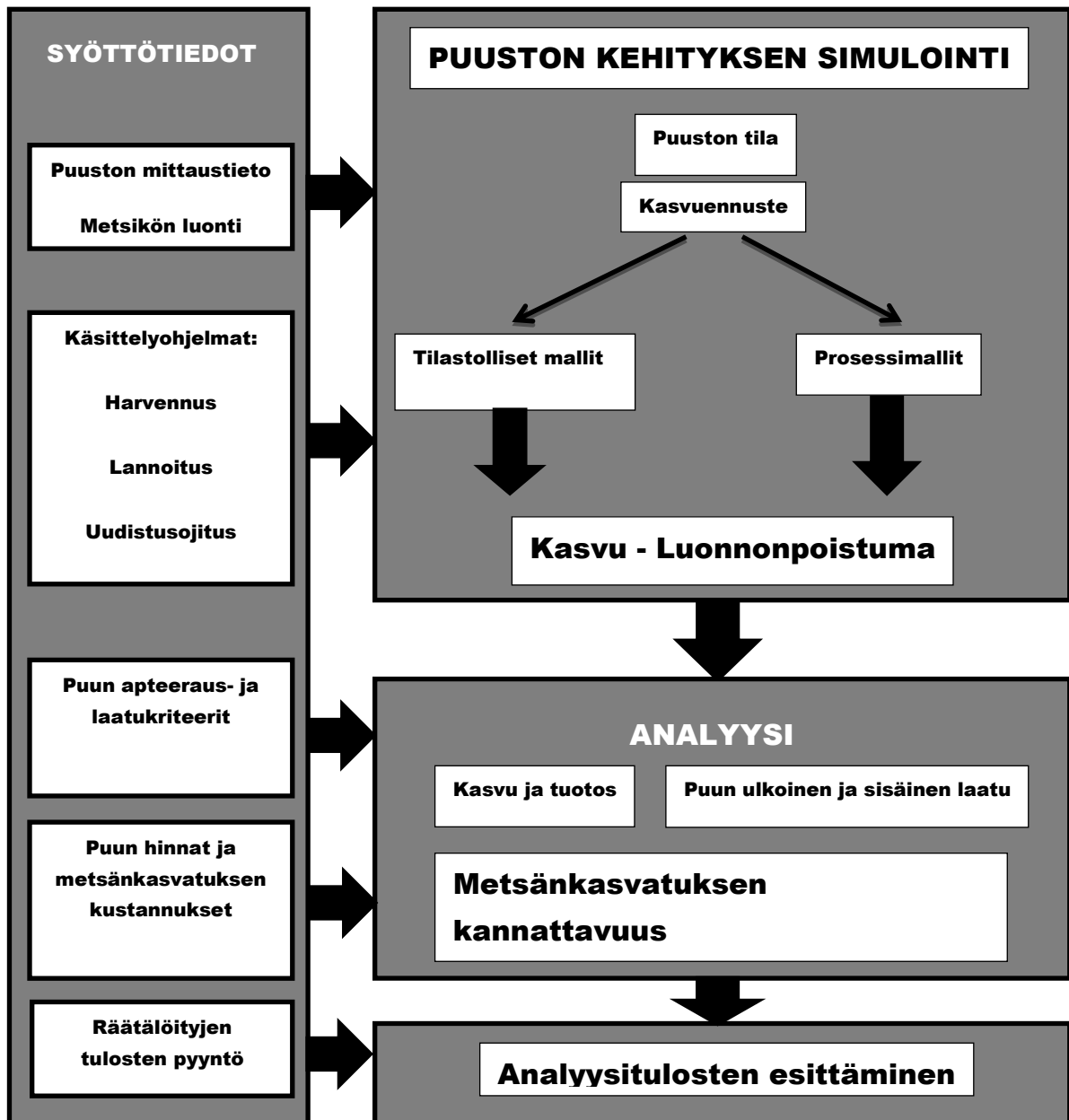
#### 3.1 Lähtömetsiköiden luonti MOTTI-ohjelmalla

Tämän tutkimuksen aineisto luotiin MOTTI 2.0-metsänkasvatusohjelmalla. MOTTI-ohjelmisto on Metsäntutkimuslaitoksen (METLA) kehittämä metsiköiden kasvatuksen tarkastelua ja päätöksentekoa tukeva apuväline. MOTTI-ohjelmaa apuna käyttäen voidaan tarkastella ja havainnollistaa erilaisten kasvatusohjelmien vaikutusta puuston kehitykseen, hakkuukertymiin ja taloudelliseen kannattavuuteen. MOTTI:n avulla on mahdollista myös seurata kasvatuksen aikana syntyvää luonnonpoistumaa eli lahopuun määrää. MOTTI-ohjelma sisältää puuston kehityksen ennustemallit ja ohjelman avulla on mahdollista kasvattaa metsiköitä haluttujen lähtökohtien ja rajoitusten mukaisesti (kuva 1) (Hynynen ym. 2005a).

MOTTI-ohjelman mallit pohjautuvat laajaan ja kattavaan mittausaineistoon, joka on testattu ja kalibroitu kahdeksannen valtakunnan metsien inventoinnin (VMI8) aineistolla (Salminen ym. 2005, Lallukka 2011)

MOTTI-ohjelmalla tarkasteltavien metsiköiden syöttötiedot voidaan ladata suoraan erillisestä tietokannasta esim. metsäsuunnitelman kuviotiedot sisältävästä pmt- muotoisesta tiedostosta (Adobe PageMaker Template), jossa metsikön puusto- ja kuviotiedot ovat valmiina. Ohjelmistolla voidaan myös luoda lähtömetsikköjä, omien tavoitteiden ja päämäärien mukaisesti (MOTTI), kuten myös tässä tutkimuksessa tehtiin.

## MOTTI-OHJELMISTO



**Kuva 1.** MOTTI-ohjelman sisältö ja toimintaperiaate (Hynynen 2006).

Havupuulajit: Kuusi (*Picea abies*) ja mänty (*Pinus sylvestris*) ovat Suomessa ja muualla pohjoismaissa taloudellisesti merkittävimpiä puulajeja (esimerkiksi Tapion taskukirja 2008, Tikkanen ym. 2012). Suomessa on tällä hetkellä runsaasti nuoria ensiharventamattomia istutuskuusikoita (Metsätilastollinen vuosikirja 2011).

Tämän tutkimuksen MOTTI-simuloinneissa tarkasteltavaksi puulajiksi valittiin kuusi. Kuusi kasvaa tyypillisesti mäntyä rikkaammilla kasvupaikoilla, kuten MT ja OMT-kasvupaikkatyyppin metsissä. Kuusikon kasvupaikaksi MOTTI-ohjelman syöttötiedoiksi

määritettiin kuuselle ominainen tuore kivennäismaa (MT) (Taulukko 1). Metsiköiden maantieteellinen sijainti rajattiin Joensuun seudulle. MOTTI laskee kuntatiedon perusteella lämpösumman (Joensuussa 1 163,6), koordinaatit ja korkeuden merenpinnan yläpuolella. MOTTI-simulointia varten perustetut metsiköt luotiin uudistusalueelle missä edeltävinä toimenpiteinä oli tehty uudisalanraivaus ja maanmuokkaus. Uudistusalueelle ei ollut edellisen uudistuksen yhteydessä jätetty myöskään säästöpuuryhmiä.

**Taulukko 1.** Metsikön luonti, lähtötilanne MOTTI-simuloinneille

<b>Metsikön lähtötilanne</b>	<b>Valinnat</b>
Puulaji	Kuusi
Kunta	Joensuu
Lämpösumma	1163,6
Kasvupaikka	Kivennäismaa/Tuore
Uudistamistoimenpiteet	Uudisalan raivaus/Maanmuokkaus
Säästöpuut	Ei
Metsikön syntytyyppi	Istutus

MOTTI-simulointeja varten luotiin kolme istutustiheydeltään erilaista lähtömetsikköä. Näiden metsiköiden istutustiheydet olivat harva: 1 500 taimea/ha, normaali: 2 000 taimea/ha ja tiheä: 2 500 taimea/ha. Taimien eloonjäämisprosentiksi (%) asetettiin 100.

### 3.2 MOTTI-ohjelmalla tehtävien harvennusohjelmien mallisimuloinnit

MOTTI-ohjelmalla luotuja lähtömetsikköjä kasvatettiin MOTTI-metsikkösimulaattorilla viiden vuoden jaksoissa. Ensimmäisen 5- vuotisjakson jälkeen jokaisessa lähtömetsikössä tehtiin varhaisperkaus vuonna 5. Tämän jälkeen kasvatusta jatkettiin samalla tapaa siten, että seuraavana toimenpiteenä metsiköissä tehtiin taimikonhoito vuonna 15. Taimikonhoidossa metsiköistä poistettiin kaikki muut luontaisesti syntyneet puulajit paitsi kuusi. Metsiköissä oli täten taimikonhoidon jälkeen ainoastaan istutustiheyttä vastaava lukumäärä kuusta. MOTTI ennustaa kuvioille luontaisesti syntyvän puuston. Koska tutkimuksessa haluttiin saada tietoa ainoastaan kuusen puuntuotoksista ja lahoppumäärästä taimikonhoidon yhteydessä oli perusteltua poistaa kaikki muu metsikköön luontaisesti syntynyt puuaines. Tällä ehkäistiin myös mahdollisia ongelmatilanteita simuloinneissa ja tulosteissa, etenkin ylisuurien lahoppuun kuutiomäärien osalta. Nämä korostuivat erityisesti äärimmäisiä harvennusohjelmia simuloitaessa. Istutustiheydeltään kolmea erilaista lähtömetsikköä kasvatettiin viiden vuoden jaksoissa aina vuoteen 30 asti. Tämän jälkeen kaikki lähtömetsiköt olivat alkukehitykseltään

samanlaisia, puustoltaan 30-vuotiaita kuusikoita. Seuraavaksi 30-vuotaille lähtömetsiköille simuloitiin neljä erilaista harvennusohjelmaa. Harvennusohjelmia simuloitaessa käytettiin kahta eri kiertoaikaa: lyhyttä kiertoaikaa 60v. ja pitkää kiertoaikaa 90v. (taulukko 2).

MOTTI-simuloinneissa käytetyt neljä erilaista harvennusohjelmaa olivat: (1) Tapio, (2) Tapio + tekolaho, (3) Ei harvennuksia ja (4) Kevyt.

Ensimmäisessä harvennusohjelmassa (Tapio) käytettiin Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisia harvennusmalleja. Metsikkö harvennettiin välittömästi kun sen puuston pohjapinta-alakriteeri saavutti Tapion suositusten mukaisen leimausrajan. Harvennuksissa jäävän puuston pohjapinta-alaksi asetettiin Tapion harvennusrajojen puoliväli. Tapio-harvennusohjelmaa käytettiin tämän tutkimuksen vertailukohtana myöhemmin tehtävissä kustannustehokkuusvertailuissa.

Toisessa harvennusohjelmassa (Tapio + tekolaho) käytettiin samalla tapaa Tapion suosituksia, mutta harvennuksissa ja päätehakkuussa metsikköön jätettiin 5 m<sup>3</sup>/ha ns. tekolahopuuta. Tekolahoa voidaan tuottaa keinotekoisesti, esimerkiksi jättämällä harvennuksissa ja päätehakkuissa korkeita kantoja eli ns. ”tekopötkelöitä”. Tällöin puu katkaistaan mahdollisimman korkealta, aivan metsätyökoneen kouran ulottuman ääripäästä. Kannon lisäksi metsikköön jätetään myös katkaistava latvus. Tekolahopuiden keskitilavuus oletettiin samaksi kuin hakkuussa poistettavien puiden keskitilavuus.

Kolmannessa harvennusohjelmassa (Ei harvennuksia) tehtiin ainoastaan päätehakkuu.

Neljännessä harvennusohjelmassa (Kevyt) Tapion suositusten mukaisen kasvatuksen harvennusajankohtia viivästettiin. Harvennusajankohtia siirrettiin Tapion suositusten mukaisten harvennusajankohtien puoliväliin. Ensiharvennuksen ajankohtaa siirrettiin molemmilla kiertoajoilla 10 vuotta eteenpäin ja pitkillä kiertoajoilla ensiharvennuksen jälkeistä harvennusta siirrettiin 15 vuotta eteenpäin. Harvennusten voimakkuutta kevennettiin asettamalla jäävän puuston pohjapinta-alaksi Tapion harvennusmallin (pohjapinta-alakriteeri) leimausrajan ja harvennusrajojen puolivälin keskiarvo. Tällä tavoin oli mahdollista ylläpitää korkeampaa puustopääomaa harvennusten yhteydessä.

**Taulukko 2.** Lähtömetsiköissä suoritettujen toimenpiteiden eri harvennusohjelmissa lyhyellä (LK) ja pitkällä (PK) kiertoajalla. VP tarkoittaa varhaisperkausta. TH tarkoittaa Taimikonhoitoa. H ilmoittaa harvennusajankohdan. PH ilmoittaa päätehakkuun ajankohdan.

Metsikön ikä	5	15		40	50	60	75	80	90
				<b>LK</b>					
Istutustiheys	VP	TH	Harvennusohjelma	H	H	PH			
Harva (1500)	x	x	Tapio (+tekolaho)	39	49	59			
Normaali (2000)	x	x	Tapio (+tekolaho)	39	49	59			
Tiheä (2500)	x	x	Tapio (+tekolaho)	39	49	59			
Harva (1500)	x	x	Kevyt	-	49	59			
Normaali (2000)	x	x	Kevyt	-	49	59			
Tiheä (2500)	x	x	Kevyt	-	49	59			
Harva (1500)	x	x	Ei harvennuksia	-	-	59			
Normaali (2000)	x	x	Ei harvennuksia	-	-	59			
Tiheä (2500)	x	x	Ei harvennuksia	-	-	59			
				<b>PK</b>					
Istutustiheys	VP	TH	Harvennusohjelma	H	H	H	H	H	PH
Harva (1500)	x	x	Tapio (+tekolaho)	39	49	59	74	-	89
Normaali (2000)	x	x	Tapio (+tekolaho)	39	49	59	74	-	89
Tiheä (2500)	x	x	Tapio (+tekolaho)	39	49	59	74	-	89
Harva (1500)	x	x	Kevyt	-	49	-	74	-	89
Normaali (2000)	x	x	Kevyt	-	49	-	74	-	89
Tiheä (2500)	x	x	Kevyt	-	49	-	74	-	89
Harva (1500)	x	x	Ei harvennuksia	-	-	-	-	-	89
Normaali (2000)	x	x	Ei harvennuksia	-	-	-	-	-	89
Tiheä (2500)	x	x	Ei harvennuksia	-	-	-	-	-	89

Kaikissa harvennusohjelmien MOTTI-simuloinneissa metsikköjä kasvatettiin viiden vuoden jaksoissa, lisäksi molempien kiertoaikojen hakkuissa noudatettiin seuraavaa viittä (5) eri kriteeriä: (1) Harvennusten voimakkuus eli metsikköön jäävän puuston määrä määriteltiin pohjapinta-alakriteerien (m<sup>2</sup>/ha) mukaisesti. (2) Harvennukset tehtiin alaharvennuksina. (3) Ensiharvennuksissa avattiin ajourat, 18 % pinta-alasta. (4) Harvennuksissa syntyneitä hakkuutähteitä (latvukset, oksat, neulaset) ei korjattu. (5) Päätehakkuiden yhteydessä uudistusaloille ei jätetty säästöpuuryhmiä.

### 3.3 Lahopuun tuotoksen simulointi

Lahopuun tuotoksen ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) osalta MOTTI-ohjelma tulostaa luonnonpoistuman määrän ainoastaan kumulatiivisena arviona simulointijakson lopussa metsikön päätehakkuehetkellä. Tästä johtuen lahopuun tuotosta tarkasteltiin 10 vuoden aikajaksoissa tekemällä lähtömetsiköiden harvennusohjelmien mukaisissa erillisissä simuloinneissa aikaistetut päätehakkuut kiertoaikojen lopusta alkaen aina 10 vuoden välein. Näillä erillisillä simuloinneilla saatiin tieto jokaisen kymmenen vuoden ajanjaksolla kertyneestä luonnonpoistumasta.

Seuraavaksi lahopuulle tuotettiin kohortit eli jokaiselle lähtötilanteelle ja harvennusohjelmalle laskettiin jokaisella kymmenen vuoden kasvatusjaksolla tapahtunut lahopuun lisäys (luonnonpoistuma) (Tikkanen ym. 2012). MOTTI-ohjelman tulosteista saatiin tiedot keskimääräisistä pohjapinta-alalla painotetuista läpimitoista ja kertyneistä lahopuumääristä. Tämän jälkeen jokaisen lahopuukohortin tuleva kehitys ennustettiin (Mäkisen ym. 2006) lahoamismallin avulla. Lahopuukohortin oletettiin häviävän metsiköstä kokonaan, kun sen tiheys laski alle 15 %:iin alkuperäisestä. Lahopuun kokonaismäärä metsikössä kunkin 10-vuoden kauden lopussa saatiin lahopuukohorttien tilavuuksien Exel-taulukossa lasketun summan avulla. Kasvatusohjelmien vertailu ja lahopuun tuottamisen kustannustehokkuusanalyysi perustui lahopuun ennustettuun kokonaistilavuuteen (lahopuukertymään) vuonna 90 (pitkän kiertoajan päätehakkueajankohtana).

### 3.4 Harvennusohjelmien puuntuotannollisen kannattavuuden vertailut

Puuntuotannollisen kannattavuuden arvioimiseksi jokaiselle 30-vuotiaalle lähtömetsikölle laskettiin harvennusohjelmittain puuntuotannollinen tuottoarvo eli Faustmannin (1849) mallin mukainen tulevaisuudessa saatavien tulojen ja kustannusten yhteenlaskettu nykyarvo  $V_H$ . Ensimmäiseksi laskettiin hakkuutulojen nykyarvo (meneillään olevan kiertoajan loppuun) seuraavasti,

$$V_{1R} = \sum_{i=b}^T (TH_i - KK_i)(1+r)^{-(i-b)} \quad (1)$$

,missä  $TH_i$  = hakkuutulo (tienvarsihinoin) metsikön iän ollessa  $i=b, \dots, T$ ;  $b=30$  (metsikön ikä lähtöhetkellä) ja  $T$  on metsikön ikä päätehakkuuhetkellä.  $KK_i$  = korjuukustannukset metsikön iän ollessa  $i$  ja  $r$  on diskonttauskorko 3 %. Metsänkasvatuksen taloudellisissa laskelmissa käytetään kantohintojen sijaan usein tienvarsihintoja, kun vertailtavina on erilaisia hakkuita, joiden erilaiset korjuukustannukset otetaan huomioon (Kuuluvainen ja Valsta 2009). Tässä työssä tienvarsihinat johdettiin kantohinnoista lisäämällä niihin vuoden 2007 puutavaralajikohtaiset keskimääräiset korjuukustannukset (Kariniemi 2008). Kantohintoina käytettiin ajanjakson 2001–2010 Pohjois-Karjalan keskimääräisiä hintoja (Metla/Metinfo) deflatoituna elinkustannusindeksillä (Tilastokeskus) vuoden 2010 hintatasoon.

Seuraavassa vaiheessa laskettiin paljaan maan arvot kaikille samanlaisina ikuisuuteen toistuville kiertoajoille seuraavasti (ensimmäisen päätehakkuun jälkeen),

$$V_F = \frac{-UK - VP(1+r)^{-5} - TH(1+r)^{-15} + V_{1R}(1+r)^{-b}}{1 - (1+r)^{-T}} \quad (2)$$

,missä  $UK$  on odotettavissa olevat uudistamiskustannukset (raivaus, mätästys ja istutus) kiertoajan alussa,  $VP$  on varhaisperkauskustannus vuonna 5 ja  $TH$  on taimikonhoitokustannus vuonna 15. Hehtaarikohtaiset kustannusarviot  $UK$  (1500 taimea/ha=1191€, 2000 taimea/ha=1466€, 2500 taimea/ha=1741€),  $VP$  (200€ kaikissa istutustiheyksissä) ja  $TH$  (306€ kaikissa istutustiheyksissä) ovat MOTTI-ohjelman omia kustannusarvioita (MOTTI).



Kolmannessa vaiheessa metsikön puuntuotannollinen tuottoarvo 30 vuoden iässä,  $V_H$ , saatiin ensimmäisen kiertoajan hakkuutulojen nettonykyarvon,  $V_{IR}$  ja paljaan maan arvon,  $V_F$ , summana:

$$V_H = V_{IR} + V_F (1 + r)^{-(T-b)} \quad (3)$$

Korjuukustannukset laskettiin mukailemalla Hyytiäisen ja Tahvosen (2002) kustannusmallilla seuraavasti,

$$KK = \underset{\text{removal}}{x} \left\{ \beta_1 + \underbrace{\beta_2 \ln[\beta_3 x]}_{\text{removal ha}^{-1}} + \underbrace{\beta_4 \ln(\beta_5 v) + \beta_6 v^{-1}}_{\text{mean volume of removed trees}} \right\} + c \quad (4)$$

,missä  $\beta_1$ - $\beta_6$  ovat Hyytiäisen ja Tahvosen (2002) antamat parametrit, erikseen harvennuksille ja päätehakkuulle, ja  $c$  on korjuun kiinteä kustannus 84 € ha<sup>-1</sup>.

Lahopuun tuottamisen/lisäämisen kustannustehokkuutta tarkasteltaessa sekä jokaisen lähtömetsikön kolmea vaihtoehtoista harvennusohjelmaa että Tapion (90v.) harvennusohjelmaa verrattiin Tapion (60v.) harvennusohjelmaan. Tällöin lahopuun lisäämisen vaihtoehtoiskustannus (€/m<sup>3</sup>) vaihtoehtoisille harvennusohjelmille saatiin Tapion (60v.) harvennusohjelman mukaisen puuntuotannollisen tuottoarvon ja kyseisen harvennusohjelman mukaisen tuottoarvon erotuksena. Lopulta vaihtoehtoisten harvennusohjelmien kustannustehokkuutta lahopuun lisäämiseksi arvioitiin lahopuulisäysten keskimääräisellä yksikkökustannuksella (jakamalla vaihtoehtoiskustannus lahopuukertymän lisäyksellä, kun vertailukohtana oli Tapio 60v.). Vrt. Tikkanen ym. 2012: "Finally the cost-efficiency of the two alternative ways to increase the amount of CWD was evaluated with the average cost of additional CWD, vaihtoehtoiskustannus/lahopuukertymän lisäys CWD (€/CWD m<sup>3</sup>)."

Kaikki edellä mainitut laskennat tehtiin Excel-taulukossa.

## 4 TULOKSET

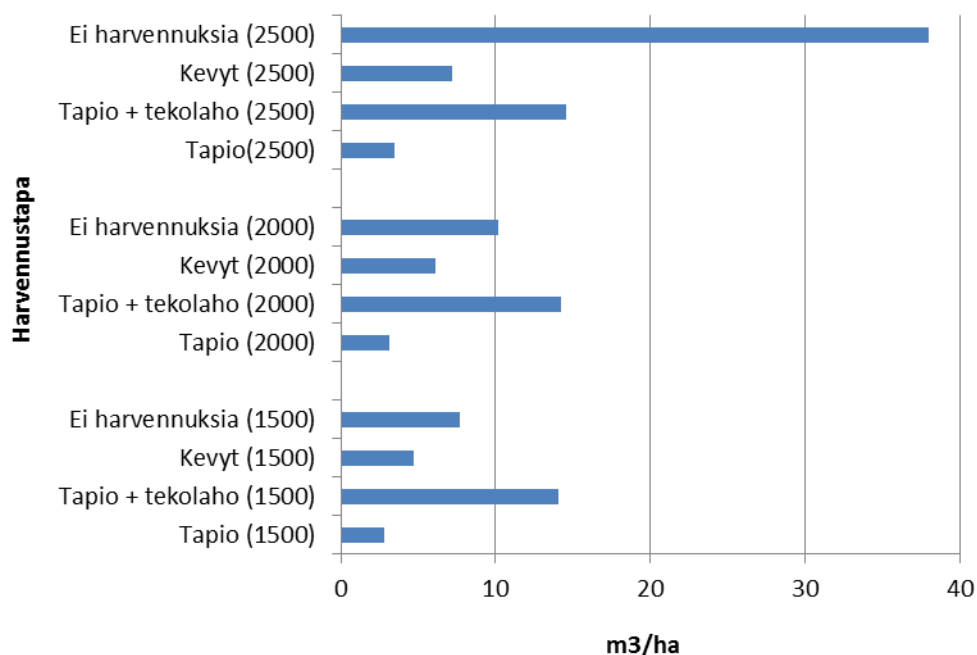
### 4.1 Lahopuukertymät eri harvennusohjelmissa

Lähtömetsiköiden ennustetut lahopuukertymät (vuonna 90) vaihtelivat huomattavasti sekä lyhyellä että pitkällä kiertoaajalla (Liite 1). Lahopuukertymiin vaikuttivat lähtömetsiköiden istutustiheys ja harvennusohjelman valinta.

Lyhyellä 60 vuoden kiertoaajalla lähtömetsikön ollessa istutustiheydeltään harva (1 500 taimea/ha) suurin lahopuumäärä (14 m<sup>3</sup>/ha) saavutettiin, kun kuusikko käsiteltiin ”Tapio + tekolaho” vaihtoehdon mukaisesti (kuva 2). Tuottamalla lahopuuta keinotekoisesti saatiin lahopuuta kerrytettyä kolme kertaa enemmän kuin harvennusohjelmassa ”Kevyt” ja liki neljä kertaa enemmän kuin tavanomaisessa ”Tapio” harvennusohjelmassa. Vaihtoehdoissa ”kevy” ja ”Tapio” lahopuuta kertyi alle 5 m<sup>3</sup>/ha. Harvan istutustiheyden vaihtoehdossa ”Ei harvennuksia” lahopuuta kertyi noin puolet vähemmän (7,7 m<sup>3</sup>/ha) kuin ”Tapio + tekolaho” vaihtoehdossa.

Lähtömetsikön istutustiheyden ollessa normaali (2 000 taimea/ha), suurin määrä lahopuuta kertyi vaihtoehdossa ”Tapio + tekolaho”, jossa lahopuuta oli 14,3 m<sup>3</sup>/ha (kuva 2). Vaihtoehdossa ”Ei harvennusta” lahopuuta kertyi myös yli 10 m<sup>3</sup>/ha. Muissa harvennusohjelmissa ”Tapio” ja ”Kevyt” lahopuuta kertyi selvästi vähemmän kuin ”Tapio + tekolaho” vaihtoehdossa.

Lähtömetsikön istutustiheyden ollessa tiheä (2 500 taimea/ha) suurin määrä lahopuuta kertyi ”Ei harvennuksia” harvennusohjelmassa (38 m<sup>3</sup>/ha) (kuva 2). Vaihtoehdossa ”Tapio + tekolaho” lahopuumäärä pysyi kaikilla istutustiheyksillä miltei samana. Kaikissa istutustiheyksissä vaihtoehto ”Tapio” tuotti vähiten lahopuuta.



**Kuva 2.** Lyhyen kiertoajan (60v) lahopuukertymät ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) vuonna 90 eri lähtömetsiköissä (istutustiheys 1 500, 2 000 tai 2 500 taimea/ha) ja harvennusohjelmissa. Ei harvennuksia = ainoastaan päätehakkuu. Kevyt = ensiharvennuksen ajankohtaa siirrettiin molemmilla kiertoajoilla 10 vuotta eteenpäin ja pitkällä kiertoajoilla ensiharvennuksen jälkeistä harvennusta siirrettiin 15 vuotta eteenpäin. Harvennusten voimakkuutta kevennettiin asettamalla jäävän puuston pohjapinta-alaksi Tapion harvennusmallin (pohjapinta-alakriteeri) leimausrajan ja harvennusrajojen puolivälin keskiarvo. Tapio + tekolaho = harvennuksissa ja päätehakkuussa metsikköön jätettiin  $5 \text{ m}^3/\text{ha}$  ns. tekolahopuuta. Tapio = Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukainen harvennusmalli. Metsikkö harvennettiin välittömästi kun sen puuston pohjapinta-alakriteeri saavutti Tapion suositusten mukaisen leimausrajan. Harvennuksissa jäävän puuston pohjapinta-alaksi asetettiin Tapion harvennusrajojen puoliväli.

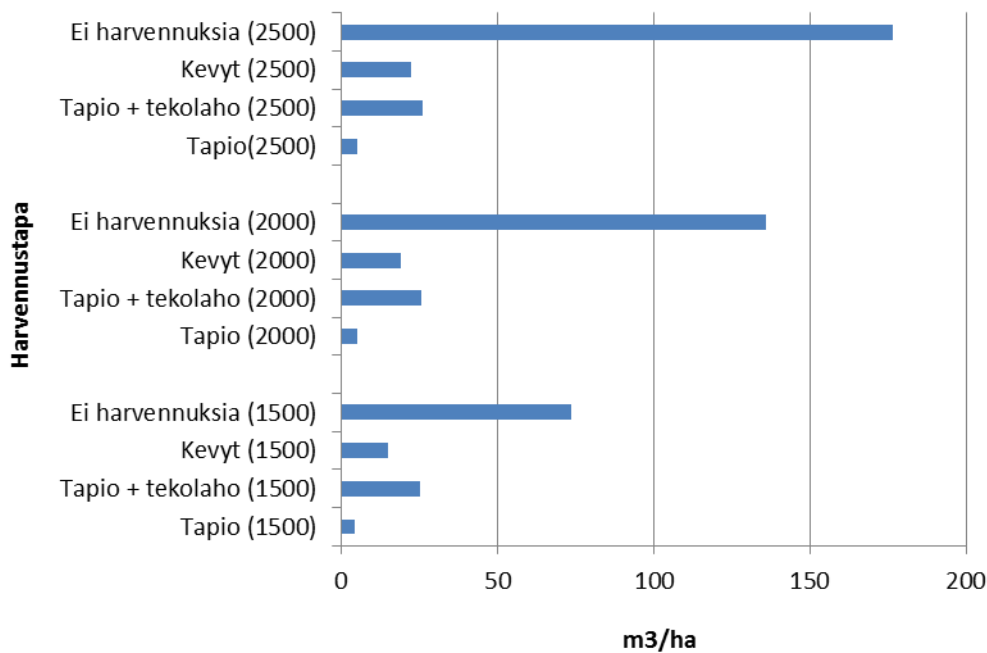
Pitkällä 90 vuoden kiertoajalla lähtömetsikön istutustiheyden ollessa harva (1 500 taimea/ha), suurin määrä lahopuuta ( $73,7 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) saavutettiin ”Ei harvennuksia” vaihtoehdossa (kuva 3). Harvennusohjelmassa ”Tapio + tekolaho” lahopuuta kertyi vain noin kolmas osan ”Ei harvennuksi” vaihtoehtoon nähden ( $25 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) ja vaihtoehdossa ”Kevyt” liki viidesosan ( $15 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) vähemmän. Tavanomaisessa vaihtoehdossa ”Tapio” lahopuuta kertyi alle  $5 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

Lähtömetsikön istutustiheyden ollessa normaali (2 000 taimea/ha) suurin määrä lahopuuta kertyi vaihtoehdossa ”Ei harvennuksia”, missä lahopuuta oli  $136 \text{ m}^3/\text{ha}$  (kuva 3). Lahopuuta muodostui moninkertaisesti verrattuna muihin harvennusohjelmiin, sillä toiseksi suurin määrä lahopuuta kertyi vaihtoehdossa ”Tapio + tekolaho” ( $25 \text{ m}^3/\text{ha}$ ). Vaihtoehdossa ”Kevyt”

lahopuuta kertyi  $19 \text{ m}^3/\text{ha}$  mikä on vaihtoehtoon ”Tapio” verrattuna ( $4,9 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) lähes neljä kertaa enemmän lahopuuta hehtaarilla.

Lähtömetsikön istutustiheyden ollessa tiheä (2 500 taimea/ha) suurin määrä lahopuuta kertyi ”Ei harvennuksia” -harvennusohjelmassa ( $176,6 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) (kuva 3). Vaihtoehtoisissa ”Tapio + tekolaho” ( $25,8 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) ja ”Kevyt” ( $22,2 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) kertyi huomattavasti vähemmän lahopuuta. Harvennusohjelmassa ”Tapio” ( $5,25 \text{ m}^3/\text{ha}$ ) lahopuuta kertyi vähiten.

Lahopuukertymistä eri istutustiheyksien osalta (Kuvat 2 ja 3) merkittävä vaikutus näkyy vain ”Ei harvennuksia” -vaihtoehdon tuottamissa lahopuumäärissä. Tiheyden muutoksella ei näyttäisi olevan suurta merkitystä muiden tutkimuksessa mukana olleiden harvennusohjelmien osalta.



**Kuva 3.** Lähtömetsiköiden pitkän kiertoajan (90v) lahopuukertymät ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ) vuonna 90 eri istutustiheyksissä ja harvennusohjelmissa. Harvennusohjelmien kuvaus kuvan 2 yhteydessä.

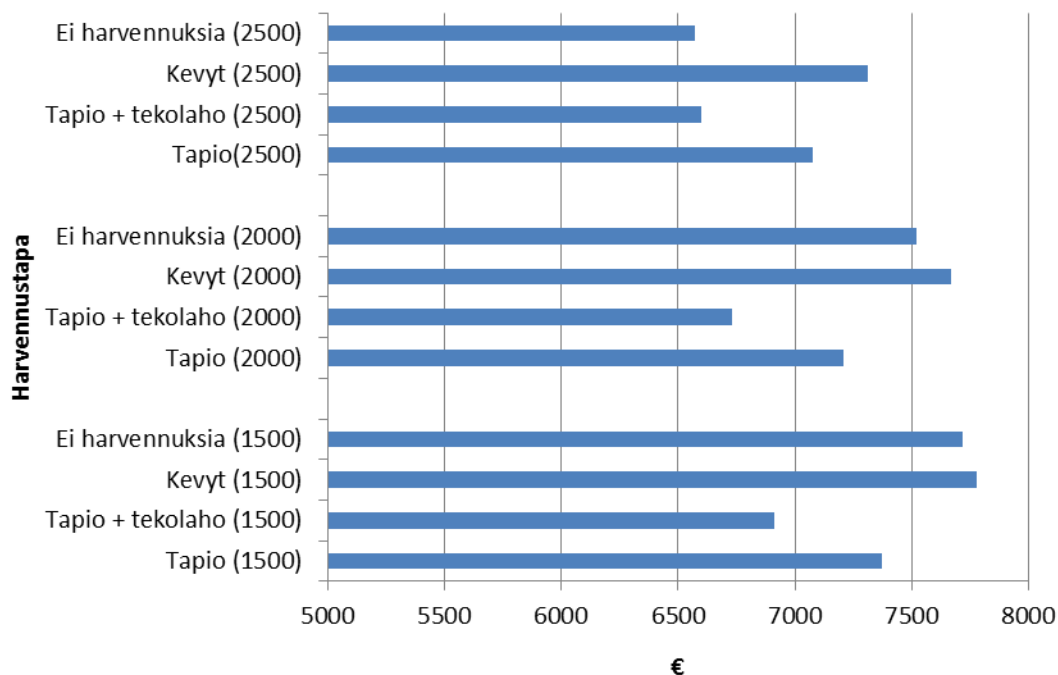
## 4.2 Harvennusohjelmien taloustulokset eri kiertajoilla

Harvennusohjelmien väliset erot tuottoarvossa olivat varsin pieniä lukuun ottamatta pitkän kiertajan ”Ei harvennuksia” -vaihtoehtoa, jonka tuottoarvo oli selvästi muita harvennusohjelmia alhaisempi (Liite 2).

Lähtömetsikön ollessa istutustiheydeltään harva (1 500 taimea/ha) suurin tuottoarvo (€) lyhyellä 60 vuoden kiertojalla ja 3 % korolla saavutettiin, kun kuusikko käsiteltiin ”Kevyt” vaihtoehdon mukaisesti (kuva 4). Harvennusohjelmassa ”Kevyt” tuottoarvo oli 7 779 €. Harvennusohjelman ”Tapio + tekolaho” tuottoarvo (6 910 €) oli pienin, 11 % pienempi kuin vaihtoehdossa ”kevyt”. Harvennusohjelman ”Tapio” tuottoarvo oli 7374 €.

Lähtömetsikön istutustiheyden ollessa normaali suurin tuottoarvo (€) saavutettiin vaihtoehdossa ”Kevyt” jonka tuottoarvo oli 7 670 € (kuva 4). Myös harvennusohjelmassa ”Ei harvennuksia” tuottoarvo kohosi yli 7 500 €: n (7 520). Pienin tuottoarvo oli ”Tapio + tekolaho” vaihtoehdossa (6 732 €). Harvennusohjelma ”Tapio” tuottoarvo oli 7 210 €.

Tuloksissa lähtömetsikön istutustiheyden ollessa tiheä suurin tuottoarvo (€) saavutettiin myös vaihtoehdossa ”Kevyt” missä tuottoarvo oli 7 310 € (kuva 4). Pienin tuottoarvo oli harvennusohjelmassa ”Ei harvennuksia” missä tuottoarvo oli 6 570€, myös tässäkin tiheydessä ”Tapio + tekolaho” vaihtoehdon tuottoarvo jäi pieneksi (6 600 €). Harvennusohjelman ”Tapio” tuottoarvo oli 7 075 €.



**Kuva 4.** Istutustiheydeltään kolmen erilaisen lähtömetsikön puuntuotannolliset tuottoarvot (€) 30 vuoden iässä lyhyellä 60 vuoden kiertojalla ja 3 % korolla eri harvennusohjelmissä. Harvennusohjelmien kuvaus kuvan 2 yhteydessä.

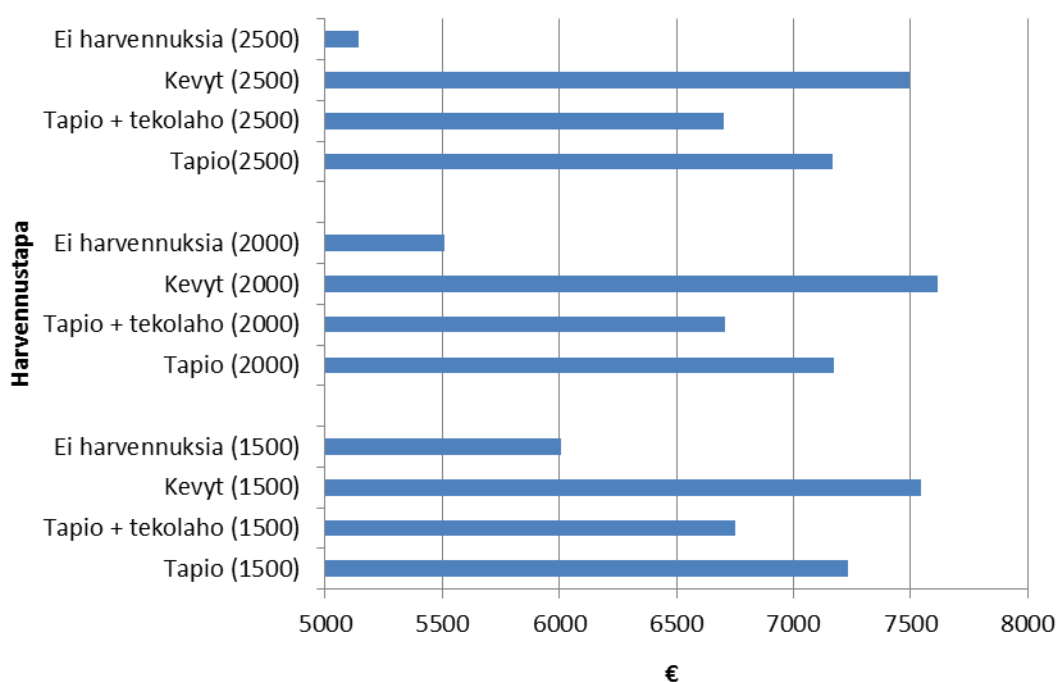
Lähtömetsikön ollessa istutustiheydeltään harva (1 500 taimea/ha) suurin tuottoarvo (€) pitkällä 90 vuoden kiertojalla ja 3 % korolla saavutettiin, kun kuusikko käsiteltiin ”Kevyt” vaihtoehdon mukaisesti (kuva 5). Harvennusohjelmassa ”Kevyt” tuottoarvo oli 7 548 €. Harvennusohjelman ”Ei harvennuksia” tuottoarvo (6 008 €) oli pienin, 20 % pienempi kuin vaihtoehdossa ”kevyt”.

Lähtömetsikön istutustiheyden ollessa normaali (2 000 taimea/ha) suurin tuottoarvo (€) saavutettiin niin ikään vaihtoehdossa ”Kevyt” jonka tuottoarvo oli 7615 € (kuva 5). Pienin tuottoarvo oli ”Ei harvennuksia” vaihtoehdossa (6 732 €). Harvennusohjelma ”Tapio” tuottoarvo oli 7 174 € ja vaihtoehdon ”Tapio + tekolaho” tuottoarvo oli 6 707 €.

Tuloksissa lähtömetsikön istutustiheyden ollessa tiheä (2 500 taimea/ha) suurin tuottoarvo (€) saavutettiin myös vaihtoehdossa ”Kevyt” missä tuottoarvo oli 7 494 € (kuva 5). Kaikista pienin tuottoarvo oli harvennusohjelmassa ”Ei harvennuksia” missä tuottoarvo jäi 5 140 euroon, joka on peräti 31 %:a pienempi kuin vaihtoehdossa ”kevyt”. Tässäkin tiheydessä

”Tapio + tekolaho” -vaihtoehdon tuottoarvo jäi pieneksi (6 701 €). Harvennusohjelman ”Tapio” tuottoarvo oli 7 167 €.

Molempien kiertoaikojen tuottoarvoja tarkasteltaessa (kuvat 4 ja 5) voidaan todeta, että harvennusohjelma ”Tapio” tuottaa jokseenkin saman tuottoarvon molemmilla (sekä lyhyellä että pitkällä) kiertoajalla. Ero prosentteina on suhteellisen pieni. Kiertoaikaa pidentämällä tuottoarvot pienenevät erityisesti ”Ei harvennuksia” vaihtoehdoissa, muutoin vaihtelu on vähäistä.



**Kuva 5.** Pitkän kiertoajan (90v.) metsiköiden tuottoarvo (€) 3 % korolla (Nettonykyarvo + paljaan maan arvo diskontattuna nykyhetkeen) eri istutustiheyksissä ja harvennusohjelmissä. Harvennusohjelmien kuvaus kuvan 2 yhteydessä.

### 4.3 Lahopuun tuottamisen kustannustehokkuus eri istutustiheyksillä

Lahopuun lisäämisen kustannustehokkuutta (Kuva 6) tarkasteltaessa jokaisen lähtömetsikön kaikkia vaihtoehtoisia harvennusohjelmia verrattiin (mukaan lukien kaikki pitkän kiertoajan harvennusohjelmat) Tapion lyhyen (60v.) kiertoajan harvennusohjelmaan. Vaihtoehtoisten harvennusohjelmien kustannustehokkuutta lahopuun lisäämiseksi arvioitiin lahopuulisäysten keskimääräisellä yksikkökustannuksella (€/m<sup>3</sup>) (Liite 3).

Tuloksissa ilmenevät negatiiviset arvot (voivat syntyä jos vaihtoehtokustannus on negatiivinen) parantavat kannattavuutta referenssinä olevaan vaihtoehtoon (Tapio 60v.) verrattuna. Kyseiset harvennusohjelmat siis kasvattavat 3 % tuottoarvoa, joka on tuloksissa kannattavuusmittari.

Istutustiheyden ollessa harva (1 500 taimea/ha) on vaihtoehto ”Kevyt 60v.” kaikista kustannustehokkain tapa lisätä lahoppuuta. Vaihtoehdossa ”Kevyt 60v.” lahoppuun lisääminen parantaa metsänkasvatuksen kannattavuutta, sillä lahoppuulisäyksen keskimääräinen yksikkökustannus oli selvästi negatiivinen,  $-213 \text{ €/m}^3$  (kuva 6). Seuraavaksi kustannustehokkain tapa lisätä lahoppuuta on vaihtoehto ”Ei harvennuksia 60v.”. Sen keskimääräinen yksikkökustannus oli  $-70 \text{ €/m}^3$ . Pidemmällä kiertoajoilla kustannustehokkain oli harvennusohjelma ”Kevyt 90v.”, jossa lahoppuun lisäämisen keskimääräinen yksikkökustannus oli  $-14 \text{ €/m}^3$ . Harvennusohjelman ”Tapio” mukaisesti kiertoajan pidentäminen 60 vuodesta 90 vuoteen on kallein/kustannustehottomin tapa lisätä lahoppuuta harvassa lähtömetsikössä, sillä vaihtoehdon ”Tapio (90v.)” keskimääräinen yksikkökustannus oli selvästi positiivinen ( $87 \text{ €/m}^3$ ). Lisäksi on huomioitava vielä, että yksikkökustannukset myös vaihtoehdoissa ”Tapio + tekolaho (90v.)” ( $28 \text{ €/m}^3$ ) ja ”Tapio + tekolaho (60v.)” ( $41 \text{ €/m}^3$ ) olivat positiiviset.

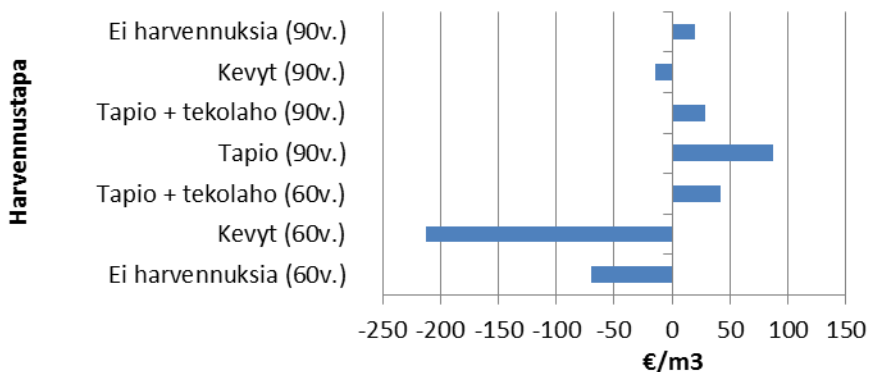
Istutustiheyden ollessa normaali (2 000 taimea/ha) on vaihtoehto ”kevyt 60v.” kaikista kustannustehokkain tapa lisätä lahoppuuta. Vaihtoehdossa ”kevyt 60v.” lahoppuun lisääminen parantaa metsänkasvatuksen kannattavuutta, sillä lahoppuulisäyksen keskimääräinen yksikkökustannus oli selvästi negatiivinen,  $-153 \text{ €/m}^3$  (kuva 6). Seuraavaksi kustannustehokkain tapa lisätä lahoppuuta on vaihtoehto ”Ei harvennuksia 60v.”. Sen keskimääräinen yksikkökustannus oli  $-44 \text{ €/m}^3$ . Pidemmällä kiertoajoilla kustannustehokkain tapa tuottaa lahoppuuta oli ”kevyt 90v.”, jossa lahoppuun lisäämisen keskimääräinen yksikkökustannus oli vielä negatiivinen ( $-25 \text{ €/m}^3$ ). Vaihtoehdossa ”Tapio + tekolaho” keskimääräinen yksikkökustannus oli pitkällä kiertoajalla (90v.)  $22 \text{ €/m}^3$ . Lyhyellä kiertoajalla (60v.)  $43 \text{ €/m}^3$ , joka kaikista kustannustehottomin tapa lisätä lahoppuun määrää istutustiheydeltään normaaleissa kuusitalousmetsissä. ”Tapio 90v.” keskimääräinen yksikkökustannus oli  $20 \text{ €/m}^3$ .

Lähtömetsikön istutustiheyden ollessa tiheä (2 500 taimea/ha) on vaihtoehto ”kevyt 60v.” kaikista kustannustehokkain tapa lisätä lahoppuuta. Vaihtoehdossa ”kevyt 60v.” lahoppuun lisääminen parantaa metsänkasvatuksen kannattavuutta talousmetsien kuusikoissa, sillä lahoppuun lisäämisen yksikkökustannus oli negatiivinen,  $-63 \text{ €/m}^3$  (kuva 6). Seuraavaksi

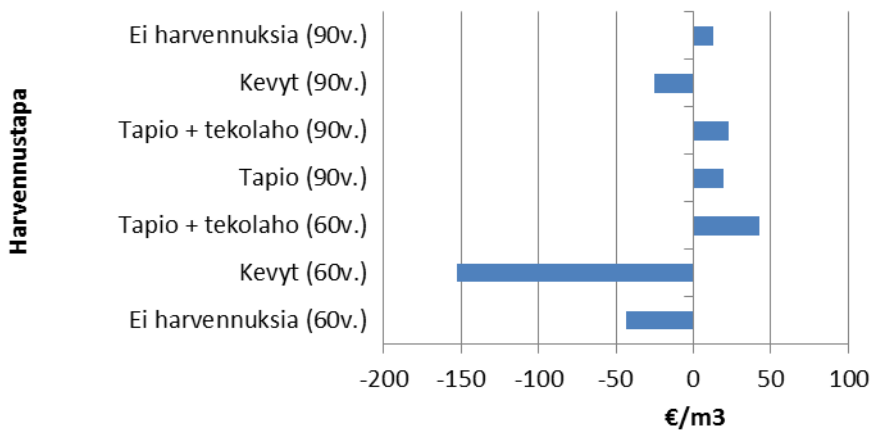


kustannustehokkain tapa lisätä lahoppuuta on kuitenkin vaihtoehto ”Tapio 90v.”. Sen keskimääräinen yksikkökustannus oli -50 €/m<sup>3</sup>. Tämä tarkoittaa, että verrattuna aikaisempiin istutustiheyksiin, vaihtoehdon ”Tapio” kiertoajan pidentäminen 60 vuodesta 90 vuoteen on kustannustehokasta tiheässä lähtömetsikössä. Tiheässä lähtömetsikössä vaihtoehdot ”Ei harvennuksia” keskimääräiset yksikkökustannukset (€/m<sup>3</sup>) olivat positiivisia sekä lyhyellä 60 vuoden (11 €/m<sup>3</sup>) että pitkällä 90 vuoden (15 €/m<sup>3</sup>) kiertoajoilla. Vaihtoehdossa ”Tapio + tekolaho” keskimääräinen yksikkökustannus oli positiivinen molemmilla kiertoajoilla. Täten ”Tapio + tekolaho (60v.)” on kaikista kustannustehottomin tapa lisätä lahoppuun määrää tiheissä (2 500 taimea/ha) lähtömetsiköissä. Sen keskimääräinen yksikkökustannus oli 43 €/m<sup>3</sup>. ”Tapio + tekolaho (90v.)” keskimääräinen yksikkökustannus oli 17 €/m<sup>3</sup>.

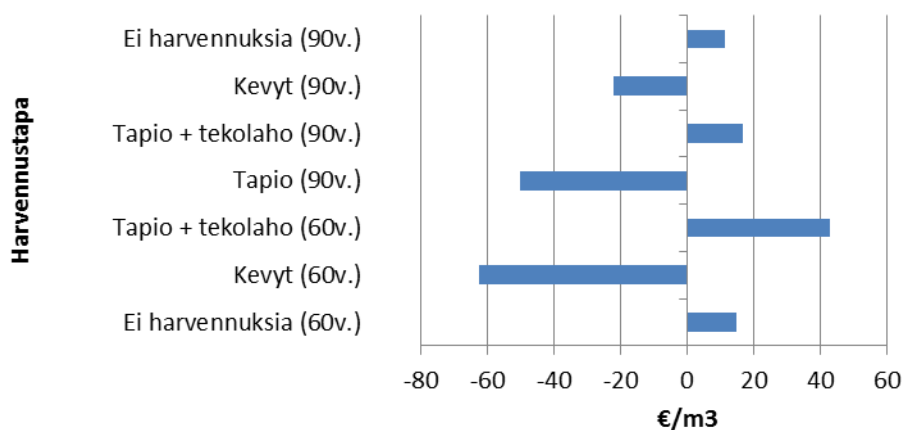
## Istutustiheys: 1500 taimea/ha



## Istutustiheys: 2000 taimea/ha



## Istutustiheys: 2500 taimea/ha



**Kuva 6.** Lahopuun lisäämisen vaihtoehtokustannus (€/m<sup>3</sup>) eri harvennusohjelmilla istutustiheydeltään kolmessa erilaisessa lähtömetsikössä. Harvennusohjelmien vertailukohtana Tapio (60v.), jonka vaihtoehtokustannus on 0. Harvennusohjelmien kuvaus kuvan 2 yhteydessä. Huomaa mitta-asteikon erot.

## 5 TULOSTEN TARKASTELO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tulosten perusteella kuusitalousmetsiin voidaan tuottaa tai lisätä monimuotoisuuden kannalta tärkeää lahoppuuta tavanomaisen säästöpuiden jättämisen lisäksi myös muuttamalla istutustiheyttä, pidentämällä kiertoaikoja, muokkaamalla nykyisiä harvennusohjelmia, tuottamalla tekolahoppuuta ja jättämällä metsiköt kokonaan harventamatta. Tutkimus vahvisti aikaisempia tutkimuksia (esim. Tikkanen ym. 2012) sen osalta, että tavanomaisen Tapion hyvän metsänhoidon suositusten mukainen metsänkäsittely ei tuota nykyisillään riittävästi lahoppuuta monimuotoisuusnäkökulmasta katsottuna, eivätkä metsähallituksen asettamat säästöpuutavoitteet 5–10 m<sup>3</sup>/ha riitä kattamaan monimuotoisuusnäkökulman kannalta tärkeän lahoppuun ja siitä riippuvaisten uhanalaisen eliöstön vaatimuksia. Suosituksissa on mukana taloudellinen näkökulma, jonka mukaan säästöpuiden määrän lisääminen, lisää myös siitä aiheutuvia kustannuksia. Hyvärinen ym. (2006) totesivat, että vasta säästöpuiden määrän lisäämisellä 50 m<sup>3</sup> hehtaarille oli positiivisia vaikutuksia lahoppuusta riippuvaisille uhanalaisille eliöstöille.

Metsätalouden ympäristöoppaassa on esitetty määrälliset tavoitteet Metsähallituksen talousmetsien lahoppuun hehtaariohtaisista kuutiomääristä (m<sup>3</sup>/ha). Lahoppuustolle on asetettu määrälliseksi tavoitteeksi talousmetsissä vähintään 10 m<sup>3</sup>/ha (Siitonen ja Ollikainen 2006). Tähän tavoitteeseen tutkimuksessa yllettiin lyhyemmällä kiertoajoilla, kaikissa istutustiheyksissä, ainoastaan tuottamalla tekolahoa. Kun lähtömetsiköt jätettiin harventamatta, saavutettiin Metsähallituksen asettamat tavoitteet tiheimmissä (2 000 taimea/ha ja 2 500 taimea/ha) istutusvaihtoehdoissa. Metsähallituksen asettamiin määrällisiin tavoitteisiin yllettiin pitkällä kiertoajoilla kaikissa istutustiheyksissä ja harvennusohjelmissa lukuun ottamatta Tapion suositusten mukaista vaihtoehtoa, joka tuotti poikkeuksetta vähiten lahoppuuta. Tapion suositusten mukainen harvennusohjelma saavutti korkeimman lahoppumäärän 5,2 m<sup>3</sup>/ha tiheimmässä lähtömetsikössä ja pitkällä 90 vuoden kiertoajalla. Tämä on kuitenkin suurempi määrä lahoppuuta, kuin VMI10 tulosten 3,2 m<sup>3</sup>/ha keskiarvo eteläsuomalaisissa metsissä (Ihalainen ja Mäkelä 2009). Tonterin ja Siitosen (2001) sekä Siitosen ja Ollikaisen (2006) mukaan eteläsuomalaisissa vanhoissa metsissä uhanalaisia lajeja alkaa esiintyä vasta siinä vaiheessa, kun lahoppuuston tilavuus on vähintään 20 m<sup>3</sup>/ha. Tässä tutkimuksessa tämä raja tavoitettiin kiertoaika pidentämällä, jättämällä metsiköt harventamatta tai tuottamalla tekolahoa. Tähän tavoitteeseen päästiin myös

harvennusajankohtaa lykkäämällä ja voimakkuutta keventämällä, mikäli lähtömetsikön istutustiheys oli 2 500 taimea/ha. Lyhyellä kiertoajalla tähän tavoitteeseen päästiin ainoastaan tiheässä lähtömetsikössä ja kun metsiköt jätettiin harventamatta. Harvennusohjelmassa ”kevyt” tähän tavoitteeseen päästiin vain tiheimmässä istutustiheydessä pitkällä kiertoajalla.

Tutkimuksessa mukana ollut harvennusohjelma ”Tapio + tekolaho” tuotti lahopuuta siis kaikissa vaihtoehdoissa Metsähallituksen tavoitteiden mukaisesti ja pitkällä kiertoajalla myös Tonterin ja Siitosen (2001) esittämään uhanalaisten lajien esiintymisrajan (20 m<sup>3</sup>/ha) mukaisesti. Tämä vastaa Raniuksen ym. (2005) tutkimuksen tuloksia siltä osin, että tekolaho on suhteellisen tehokas tapa tuottaa lahopuuta, sillä tekopötkelöistä kehittyi lähes poikkeuksetta lahopuuta. Pitkällä kiertoajalla harvennusohjelman ”Ei harvennuksia” -vaihtoehdoissa saatiin tuotettua kuitenkin suurimmat kuutiomäärät lahopuuta hehtaarille. Tämä tukee Tikkasen ym. (2012) tuloksia, joissa kasvattamalla metsät harventamatta, voidaan itseharvenemisen seurauksena tuottaa runsaasti lahopuuta.

Harvennusohjelmien väliset erot tuottoarvossa olivat kohtuullisia lyhyen kiertoajan istutustiheyksillä. Kaikkien harvennusohjelmien tuottoarvojen minimi oli harvennusohjelmassa ”Ei harvennuksia” (istutustiheydessä 2 500 taimea/ha), joka oli noin 6 570 € ja maksimi harvennusohjelmassa ”Kevyt” (Istutustiheys 1 500 taimea/ha) noin 7 779 €, joten vaihteluväli on noin 1 200 € ja minimi arviolta 15 % maksimia pienempi. Kaikkia lyhyen kiertoajan harvennusohjelmia vertailemalla voidaan todeta, että korkein tai suurin tuottoarvo on vaihtoehdossa ”Kevyt” istutustiheyden ollessa 1 500 taimea/ha. Tuottoarvot olivat korkeat myös harvennusohjelman ”Tapio” vaihtoehdoissa.

Myös pitkän kiertoajan harvennusten tuottoarvojen erot olivat kohtuullisia. Minimi oli harvennusohjelmassa ”Ei harvennuksia” (istutustiheys 2 500 taimea/ha) 5 140 € ja maksimi oli vaihtoehdossa ”kevyt” (istutustiheys 2 000 taimea/ha) noin 7 615 €, joten vaihteluväli on noin 2 475€. Johtopäätöksenä molempien kiertoaikojen tuottoarvoista voidaan todeta seuraavaa: Harvennusohjelmassa ”kevyt” tuottoarvot olivat kaikissa istutustiheyksissä suurimmat. Pidemmällä kiertoajoilla ”Ei harvennuksia” vaihtoehdoissa tuottoarvot laskivat tiheyden kasvaessa. Harvennusohjelma ”Tapio” pysyi tuottoarvoltaan korkeana ja harvennusohjelmassa ”Tapio + tekolaho” ei kiertoaikojen tai istutustiheyden muuttaminen juuri vaikuttanut tuottoarvoon, ainakaan merkittävästi. Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisissa hakkuissa pyritään ottamaan myös taloudellinen näkökulma huomioon, siksi tuottoarvot olivat vertailun korkeimmat. Kevennetyn harvennusohjelman tuottoarvot selittyvät ensiharvennuksessa saatavilla lisätuotoilla. Tutkimus mukailee myös

Saramäen ja Hynysen (2003) tutkimusta, jossa luonnonpoistuman osuus runkoluvusta ja tilavuudesta pieneni harvennusvoimakkuuden kasvaessa, sillä harvennusohjelmassa ”Tapio” oli kaikissa tapauksissa vähiten lahopuuta.

Harvennusten merkitys taloudellisen kannattavuuden kannalta on siis suhteellisen, jopa yllättävän vähäinen, ainakin jos taimikonhoito on tehty kunnolla ennen 30 vuoden ikää. Tämä on siinä mielessä yllättävää, koska kuusella harvennusreaktio on todettu hyvin voimakkaaksi (Saramäki ja Hynynen 2003). Tosin käytetty korjuukustannusmalli on sellainen, että se ennustaa pienten kertymien aikaisille harvennuksille hyvin alhaiset kantorahatulot (Tikkanen ym. 2012). Tästä voidaan päätellä lisäksi, että viivytetty ja kevennetty harvennusohjelma vastaa hyvin Danielin ym. (1979) tutkimuksia, joiden mukaan eräs vaihtoehtoinen tapa lisätä lahopuun määrää talousmetsissä on säätää tavanomaista harvennusohjelmaa jättämällä metsiköt harventamatta. Runkopuuston kokonaistuotoksen on tiedetty olevan suurimmillaan juuri harventamattomissa metsiköissä ja samaan aikaan kyseiset metsiköt tuottavat suuren määrän lahopuuta (Tikkanen ym. 2012).

Kustannustehokkuuden osalta tekolaho ja kiertoajan pidentäminen näyttäisivät olevan yleisesti kustannustehottomia tapoja lisätä lahopuuta (verrattuna ”Kevyt” ja ”Ei harvennuksia” -harvennusohjelmiin, joissa hyödynnetään itseharvenemisprosessia). Tämän johdosta tutkimus ei vastaa Raniuksen ym. (2005) tuloksia, missä tekolahopuun tuottaminen oli puolestaan kustannustehokasta, mutta heidän tutkimuksessaan harvennusohjelman muokkaamista ei käsitelty lahopuun tuottamisvaihtoehtona. Tosin lyhyellä kiertoajalla tekolaho oli ainoa keino tuottaa lahopuuta yli 10 m<sup>3</sup>/ha, jos tiheys oli 1 500 taimea/ha tai 2 000 taimea/ha. Harvennusohjelma ”kevyt” on tulosten valossa väistämättä parempi (kustannustehokkaampi) tapa tuottaa lahopuuta, kuin muut tutkimuksessa mukana olleet harvennusohjelmat. Tutkimus myötäilee täten Wikströmin ja Eriksonin ym. (2000) tutkimusta, jonka mukaan lahopuun tuottaminen edellyttää myös harvennuskertojen vähentämistä ja harvennuksissa poistettavien puumäärän pienentämistä. Voidaan siis ajatella, että vaihtoehtojen ”kevyt” ja ”Ei harvennuksia” väliltä voisi löytyä vielä näitä kahta parempi harvennusohjelma, kun tarkastellaan lahopuun tuottamisen kustannustehokkuutta. Tikkasen ym. (2012) tutkimuksessa todettiin että harventamattomuus on kustannustehokkaampi, kuin säästöpuiden jättäminen uudistamisen yhteydessä. Tämän tutkimuksen tulosten pohjalta voidaan kuitenkin olettaa, että harventamattomuudelle voidaan löytää kustannustehokkaampi ja halvempi tapa tuottaa riittävästi lahopuuta kuusitalousmetsiin keventämällä ja viivästäällä harvennuksia. Harvennusohjelma ”kevyt” tuotti kuitenkin poikkeuksetta vähemmän lahopuuta kuin ”Ei harvennuksia” -harvennusohjelma ja esimerkiksi monimuotoisuuden kannalta

aikaisemmin esitetyt raja-arvot eivät ylittyneet vaihtoehdossa ”Kevyt” muuten kuin kiertoaikaa pidentämällä ja kun istutustiheys oli 2 500 taimea/ha.

Tutkimuksen ”kevyt” -harvennusohjelman kustannustehokkuutta voidaan peilata myös metsien monimuotoisuuden ja hiilensidonnan osalta Valstan ym. (2006) tekemiin tutkimuksiin. Valsta ym. (2006) totesivat, että pohjapinta-alan nostaminen ja kiertoajan pidentäminen lisäävät metsien hiilivaraston määrää. Tässä tutkimuksessa kustannustehokkaat harvennusohjelmat: ”Ei harvennuksia” ja ”Kevyt” -harvennusohjelmat suosivat pohjapinta-alan nostoa. Lisäksi tutkimuksen tulokset puoltavat Valstan ym. (2006) tuloksia, joissa metsien kasvattaminen nykyistä tiheämpinä voisi olla sekä taloudellisesti, monimuotoisuuden ja ilmaston kannalta nykyistä käytäntöä tai kiertoaikojen pidentämistä mielekkäämpi vaihtoehto. Tämä tulos vaatii kuitenkin että käytetyt kasvumallit ovat harhattomia suhteessa puuston tiheyden muutokseen ja että puuston tuhoherkkyys ei lisäännä suuremman tiheyden vuoksi. Käytännössä puuston tiheyden nosto tapahtuisi ns. harvennuskäyriä nostamalla, jolloin harvennukset viivästyisivät jonkin verran.

Tulosten ja niiden tarkastelun luotettavuuteen vaikuttaa ensinnäkin MOTTI-aineiston edustavuus ja Motin luotettavuus, sen laskelmat perustuvat kasvumalleilla tuotettuihin ennusteisiin. Malli on aina yksinkertaistettu ja yleistetty kuvaus todellisuudesta. Lisäksi kaikkia metsän kehitykseen ja käsittelyvaihtoehtoihin liittyviä käytännön näkökohtia ei voi mallilaskelmissa ottaa huomioon (MOTTI).

Tässä tutkimuksessa kaikki harvennusohjelmat simuloitiin itse mekaanisesti luomalla ja kasvattamalla lähtömetsiköt itse ennalta asetettujen oletusten ja kasvatuskriteerien pohjalta. MOTTI-ohjelma saattaa joissakin tapauksissa tehdä muutaman vuoden siirtymisiä simuloinneissa ilman, että niihin voidaan vaikuttaa. Tämä näkyy tutkimuksen tuloksissa muutaman vuoden heittoina esimerkiksi metsikön ja puuston iässä. Lisäksi Matalan yms. (2003) vertailujen mukaan MOTTI yliarvioi metsikön itseharvennemista ja lisäsi kuolleisuutta. Tämä näkyi tutkimuksessa etenkin pitkillä kiertoajoilla ”Ei harvennuksia” vaihtoehdoissa. Tikkasen ym. (2012) mukaan tutkimuksessa käytetty MOTTI-ohjelmaa on kuitenkin parannettu sittemmin ja täten tuloksetkin ovat luotettavampia näiltä osin kuin esimerkiksi Hynysen ja Ojansuun (2003) tutkimuksessa käytettyyn MOTTI-ohjelman versioon verrattuna.

Lahopuumittana käytettiin yhden ajan hetken luonnonpoistuman (90 vuotta uudistamisesta) lahopuumäärää eikä se huomioi millään tavoin ajallista vaihtelua metsikön lahopuumäärässä. Lahopuun osalta on huomioitava myös lahopuulle tuotettujen kohorttien eli jokaiselle lähtötilanteelle ja harvennusohjelmalle laskettujen jokaisen kymmenen vuoden

kasvatusjaksolla tapahtunut lahopuun lisäys. Lahopuun lisäys perustui MOTTI-ohjelman omiin kuolemissalleihin. Mäkisen ym. (2006) lahoamismallin avulla ennustettiin lahoamisen vuoksi tapahtuva lahopuun vähenemä. Mallin perusteella lahopuun oletettiin häviävän metsiköstä kokonaan, kun sen tiheys laski alle 15 %:iin alkuperäisestä. Lisäksi lahopuun osalta oletettiin, että lahopuuta ei poisteta tai tuhoudu hakkuiden yhteydessä, sillä ensimmäisessä päätehakuussa ja sen jälkeisessä uudisalan maanmuokkauksessa suurin osa lahopuusta on vielä sen verran kovaa, ettei se murskaudu. Sen sijaan seuraavissa harvennuksissa lahopuuta tuhoutunee hieman, mutta ei kuitenkaan vielä kovin merkittäviä määriä. Raja-arvon korotus olisi tarkoittanut käytännössä sitä, että lahopuu häviää metsästä aiemmin. Näin voidaan perustellusti ajatella sillä Tikkasen ja Koukin (2007) mukaan vain lahoasteet 1–4 ovat merkityksellisiä uhanalaisille lajistoille. Tällöin raja-arvoa olisi voinut nostaa nykyisestä 15 %:sta 30 %:iin. Tätä vaikutusta eri harvennusohjelmissa ja monimuotoisuusnäkökulmaan ei otettu huomioon tässä tutkimuksessa.

Tarkasteltaessa harvennusten voimakkuuksia ja viivästyksen aiheuttamia vaikutuksia on niiden merkitys huomioitava ja esim. Tikkasen ym. (2012) tulosten perusteella korjuukustannusmallin muotoilulla on hyvin suuri vaikutus harventamattomuuden tai harvennusohjelman säätelyn taloudellisten vaikutusten kannalta. Tässä työssä käytetty korjuukustannusmalli oli sellainen, että se ennustaa pienten kertymien aikaisille harvennuksille hyvin alhaiset kantorahatulot. Myöhästyvän ensiharvennuksen tuoma taloudellisen hyödyn lisäksi viivästyisestä tai voimakkuudesta aiheutuvat haitalliset tekijät kuten tuotostappiot (otettu huomioon MOTTI-ohjelman malleissa) ja tuhoriskit.

Tuho-riskien osalta on tässä yhteydessä mainittava ns. Ötökkälaki eli Maa- ja metsätalousministeriön päätös metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta. Ötökkälain mukaan jos hakkuupaikalla on hehtaaria kohden enemmän kuin 10 kuutiometriä metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta annetun lain 2 §:n 1 momentin 1 ja 2 kohdassa tarkoitettuina aikoina suoritetuista hakkuista jääneitä männyn tai kuusen tyveiksiä taikka vastaavia ainespuuksi kelpaamattomia rungonosia, tulee niiden omistajan huolehtia siitä, että tällaiset rungonosat joko kuljetetaan pois hakkuupaikalta (Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta 8.2.1991/263). Tämä toisaalta puoltaa sitä, että esimerkiksi tutkimuksessa mukana ollut harvennusohjelma ”Tapio + tekolaho” on lainmukainen tapa käsitellä metsiä. Ötökkälain osalta on syytä mainita myös viimeaikainen kehitys etenkin kirjanpaina- ja hyönteisten osalta. Niiden määrä on lisääntynyt paikoin epidemia-asteelle Etelä- ja Kaakkois-Suomessa. Tiedotteen mukaan tuhojen torjuntaa on tehostettava etenkin kuusivaltaisilla alueilla, joilla on esiintynyt kirjanpaina- ja tuhoja (Metlan tiedote: 20.06.2012).

Tämän tutkimuksen tulosten ja johtopäätösten perusteella olisi jatkotutkimuksen kannalta mielenkiintoista tutkia tarkemmin harvennusohjelmia ”kevyt” ja ”Ei harvennuksia”. Edellä mainittujen harvennusohjelmien väliltä voisi löytyä vielä kustannustehokkaampia vaihtoehtoja tuottaa lahpuuta talousmetsiin. Myös muiden puulajien kuin kuusi ja esimerkiksi sekametsien harvennusohjelmia olisi mielenkiintoista tarkastella lahpuun tuottamisen kustannustehokkuuden näkökulmasta.



## KIRJALLISUUS

Daniel, T. W., Helms J. A. & Baker, F. S. 1979. Principles of silviculture. McGraw-Hill Book Company. New York. 500 s.

Faustmann, M. 1849. Berechnung des Wertes welchen Waldboden sowie noch nicht haubare Holzbestände für die Waldwirtschaft besitzen. Allgemeine Forstund Jagd Zeitung 25: 441–455.

Hanski I., Jalonen R., Kuuluvainen T., Nikinmaa E. & Tahvonen, O. 2006. Luku 1. Julkaisussa: Jalonen, R., Hanski, I., Kuuluvainen, T., Nikinmaa, E., Pelkonen P., Puttonen P., Ratio K. & Tahvonen O. (toim.) Uusi metsäkirja. Gaudeamus. Helsinki. s. 11–21.

Harmon, M. E., Franklin, J. F., Swanson, F. J., Sollins, P., Gregory, S. V., Lattin, J. D., Anderson, N. H., Cline, S. P., Aumen, N. G., Sedell, J. R., Lienkaemper, G. W., Cromack, K. JR., Cummins, K. W. 1986. Ecology of Coarse Woody Debris in Temperate Ecosystems. *Advances in Ecological Research* 15: 133–302.

Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005a. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest Ecology and Management* 207: 5–18.

Hynynen, J., Valkonen S. & Rantala S. (toim.) 2005b. Tuottava metsänkasvatus. Metsäntutkimuslaitos. Metsäkustannus Oy. 221 s.

Hynynen, J. 2006. MOTTI- laskentaohjelmisto metsikön kasvatusvaihtoehtojen tarkasteluun. [Verkkodokumentti] Saatavissa: <http://www.metla.fi/projects/puro/esitelmat/2006-03-29/hynynen-esitys.pdf> [Viitattu 29.07.2012].

Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 2006. Metsäkustannus Oy. Helsinki. 100s. Saatavissa: <http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/pdf/15FHyvan205Fmetsanhoidon5Fsuositukset2Epdf.pdf> [Viitattu 20.04.2011].

Hyvärinen E., Kouki, J., Martikainen, P. 2006. Fire and green-tree retention in conservation of red-listed and rare deadwood-dependent beetles in Finnish boreal forests. *Conservation Biology* 20: 1711–1719.

- Hyytiäinen, K. & Tahvonen, O. 2002. Economics of forest thinnings and rotation periods for Finnish boreal forests. *Conservation Biol* 20: 1711–1719.
- Hänninen, H., Karppinen, H. & Leppänen, J. 2011. Suomalainen metsänomistaja 2010. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 208. 94 p. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2011/mwp208.htm> [Viitattu: 31.07.2012].
- Ihalainen, A. & Mäkelä, H. 2009. Kuolleen puuston määrä Etelä- ja Pohjois-Suomessa 2004–2007. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2009: 35–56.
- Jalonen, J. & Vanha-Majamaa, I. 2001. Immediate effects of four different felling methods on mature boreal spruce forest understorey vegetation in southern Finland. - *Forest Ecology and Management* 146: 25–34.
- Jarvis, P. G., Ibrom, A., Linder, S. 2005. Carbon forestry-managing forests to conserve carbon. Teoksessa: Griffiths, H., Jarvis, P. G. (toim.). *The Carbon Balance of Forest Biomes*. Taylor & Francis Group, UK. S. 331–349.
- Jonsson M., Ranius T., Ekvall, H., Bostedt, G., Stokland J.N. & Dahlberg, A. 2006. Cost-Efficiency of Measures to Increase the Amount of Substrate for Red-listed Saprophytic Organisms in Managed Norway Spruce forests. *Biological Conservation* 127: 443–467.
- Kariniemi, A. 2008. Puun korjuu ja kaukokuljetus- tulosalvosarja 06a/2008 (Kalvo 28). Koneellisen korjuun yksikkökustannukset 2007 (puutavaralaji) Metsäteho Oy. [Verkkodokumentti] Saatavissa: [http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja\\_2008\\_06a\\_Puuhuolto\\_tilasto\\_aka.pdf](http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tulosalvosarja/Tulosalvosarja_2008_06a_Puuhuolto_tilasto_aka.pdf) [Viitattu 15.3.2012].
- Koskela, E., Ollikainen, M. & Pukkala, T. 2004. Biodiversity Conservation in Boreal Forests: optimal Rotation Age and Volume of Retention trees. Helsinki Center of economic Research, Discussion Paper No. 2.
- Koskela, E., Ollikainen, M. & Pukkala, T. 2005. Biodiversity Policies in Commercial Boreal Forests: optimal Design of subsidy and tax Combinations. Department of economics and Management, Discussion Paper No. 6.
- Koskela, E., Ollikainen, M. & Pukkala, T. 2007. Biodiversity conservation in commercial boreal forestry: optimal rotation age and volume of retention. *Forest Science* 53: 443–452.

Kurttila, M. & Hänninen, H. 2006a. Metsänomistajien tiedot monimuotoisuudesta ja säästöpuista. Julkaisussa: Horne, P., Koskela, T., Kuusinen, M., Otsamo, A. & Syrjänen, K. (toim.). METSO:n jäljillä. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelman tutkimusraportti. MMM, YM, Metla, SYKE. Vammalan Kirjapaino Oy, s. 224–228.

Kurttila, M., Kuuluvainen J., Leskinen L. 2006b. Monimuotoisuuden turvaamisen ohjauskeinot ja yhteiskunnalliset vaikutukset. Julkaisussa: Horne, P., Koskela, T., Kuusinen, M., Otsamo, A. & Syrjänen, K. (toim.). METSO:n jäljillä. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelman tutkimusraportti. MMM, YM, Metla, SYKE. Vammalan Kirjapaino Oy s. 110–127.

Kuuluvainen J. & Valsta L. 2009. Metsäekonomian perusteet. Gaudeamus. Helsinki. 332 s.

Kuusinen, M. 2006. Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelma METSO. Julkaisussa: Jalonen, R., Hanski, I., Kuuluvainen, T., Nikinmaa, E., Pelkonen P., Puttonen P., Ratio K. & Tahvonen O. (toim.) Uusi metsäkirja. Gaudeamus. Helsinki. s. 73–74.

Lallukka, H. 2011. Energiapuuhakkuut nuoren metsän hoitokohteissa – Vaikutukset puuntuotukseen ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Metsävaratieteen ja –teknologian pro gradu- tutkielma. Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos. 51 s.

Laki metsän hyönteis- ja sienituhojen torjunnasta 8.2.1991/263. Saatavissa:

<http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1991/19910263> [Viitattu 15.08.2012]

Luoranen, J. & Kiljunen, N. 2006. Kuusen paakkutaimen viljelyopas. Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusyksikkö. Gummerus Kirjapaino Oy. 98s.

Matala, J., Hynynen J., Miina J., Ojansuu, R. ym. 2003. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. Ecological Modelling 161: 95–116.

Matero, J. 2007. Taloudelliset näkökulmat monimuotoisuuden suojelun ja puuntuotannon yhdistämisessä. Julkaisussa: Kouki Jari & Tikkanen Olli-Pekka (toim.). Uhanalaisten lahoppulajien elinympäristöjen turvaaminen suojelualueilla ja talousmetsissä. Suomen ympäristö 24: 19–26.

Metsälaki 12.12.1996/1093. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1996/19961093> [Viitattu 11.08.2012].

Metla/Metinfo. Metsäntutkimuslaitoksen tilastopalvelu. Saatavissa:

<http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/> [Viitattu 03.11.2011]

Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastollinen vuosikirja 2011. Sastamala. 470 s.

Metsäntutkimuslaitoksen tiedote. 20.06.2012. Kirjanpainajahyönteisten määrä on lisääntynyt paikoin epidemia-asteelle Etelä- ja Kaakkois-Suomessa.[Verkkodokumentti] Saatavissa:

<http://www.metla.fi/tiedotteet/2012/2012-06-20-kirjanpainaja.htm> [Viitattu 09.08.2012]

MOTTI-ohjelmisto. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/motti/> [Viitattu 20.04.2011]

Mönkkönen, M. ja Kuuluvainen, T. 2006. Metsätalous ja metsien monimuotoisuus.

Julkaisussa: Jalonen, R., Hanski, I., Kuuluvainen, T., Nikinmaa, E., Pelkonen P., Puttonen P., Ratio K. & Tahvonen O. (toim.) Uusi metsäkirja. Gaudeamus. Helsinki. s. 175–199.

Mäkinen, H., Hynynen, J., Siitonen, J. & Sievänen, R. 2006. Predicting the decomposition of Scots pine, Norway spruce, and birch stems in Finland. *Ecological Applications* 16(5): 1865–1879.

Niemistö, P. Metsän käsittely. Teoksessa: Hynynen, J., Valkonen S. & Rantala S. (toim.) 2005. Tuottava metsänkasvatus. Metsäntutkimuslaitos. Metsäkustannus Oy. s.73–118.

Ollikainen ja Kouki. 2006. Monimuotoisuuden suojelun talous ja ekologia: suojelun määrä, kustannustehokkuus ja ohjauskeinot. Julkaisussa: Jalonen, R., Hanski, I., Kuuluvainen, T., Nikinmaa, E., Pelkonen P., Puttonen P., Ratio K. & Tahvonen O. (toim.) Uusi metsäkirja. Gaudeamus. Helsinki. s. 208–218.

Pouta, E., Lehtonen E., Kuuluvainen, J. & Rekola, M. 2004. Etelä-Suomen metsien suojelun kannatus – metsänomistajat ja muu väestö. Julkaisussa: Horne, P., Koskela, T. & Ovaskainen, V. (toim.) Metsänomistajien ja kansalaisten näkemykset metsäluonnon monimuotoisuuden turvaamisesta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 933: 18–19.

Päivinen, J., Björkqvist, N., Karvonen, L., Kaukonen, M., Korhonen, K-M., Kuokkanen, P., Lehtonen, H. & Tolonen, A. 2011. (toim.): Metsähallituksen metsätalouden ympäristöopas. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 67. 162 s. Saatavissa:

<http://julkaisut.metsa.fi/julkaisut/pdf/mta/ymparistoopas2011.pdf> [Viitattu 20.07.2012].

- Ranius, T., H. Ekvall, M. Jonsson, and G. Bostedt. 2005. Cost-efficiency of measures to increase the amount of coarse woody debris in managed Norway spruce forests. *Forest Ecology and Management*. 206: 119–133.
- Routa, J., Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., Peltola, H., Strandman, H. 2010. Effects of management on the CO<sub>2</sub> emissions and energy supply when aiming at integrated production of timber and energy wood. *Käsikirjoitus. Metsäntutkimuslaitos. Joensuu*.
- Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture* 49 (1): 103–113.
- Saramäki, J. Hynynen J. 2003. Kuusikoiden harventamisesta. Julkaisussa: Saramäki, J., Niemistö, P. & Kokko, A. (toim.). 100 vuotta tutkimuksen ja opetuksen yhteistyötä Tuomarniemellä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 891: 25–38.
- Siitonen J., Martikainen P., Punttila P., Rauh, J. 2000. Coarse woody debris and stand characteristics in mature managed and oldgrowth boreal mesic forests in southern Finland. *Forest Ecology Management* 128: 211–225.
- Siitonen, J. 2005. Metsänkasvatus ja monimuotoisuus. Teoksessa: Hynynen, J., Valkonen S. & Rantala S. (toim.) 2005. Tuottava metsänkasvatus. *Metsäntutkimuslaitos. Metsäkustannus Oy*. 134–147.
- Siitonen, J. & Ollikainen, M. 2006. Talousmetsät. Teoksessa: Horne, P., Koskela, T., Kuusinen, M., Otsamo, A. & Syrjänen, K. (toim.) METSON jäljillä –Etelä-Suomen metsien monimuotoisuusohjelman tutkimusraportti. Maa- ja metsätalousministeriö, ympäristöministeriö, Metsäntutkimuslaitos ja Suomen ympäristökeskus. s. 53–142.
- Similä, M. Kouki, J., Martikainen, P. 2003. Saproxylic beetles in managed and seminatural Scots pine forests: quality of deadwood matters. *Forest Ecology and Management* 174: 365–381.
- Tanhuanpää, T. 2011. Lahopuumäärän ennustaminen ja kartoitus lentokonelaserkeilauksen avulla. *Metsävaratiiteen ja -teknologian pro gradu- tutkielma. Helsingin yliopisto, metsätieteiden laitos*. 47 s.
- Tapion taskukirja. 2008. Metsätalouden kehittämiskeskus. *Metsäkustannus Oy*. 490 s.

Tikkanen O-P., Kouki, J. 2007. Alueen uhanalaiset metsälajit ja niiden elinympäritöjen mallinnus. Julkaisussa: Kouki Jari & Tikkanen Olli-Pekka (toim.). Uhanalaisten lahoppulajien elinympäristöjen turvaaminen suojelualueilla ja talousmetsissä. Suomen ympäristö 24: 27–35.

Tikkanen O-P., Matero J., Mönkkönen M., Juutinen A. & Kouki J. 2012. To thin or not to thin - bio-economic analysis of two alternative practices to increase amount of coarse woody debris in managed forests. *European Journal of Forest Research* 131 (5): 1411–1422.

Tilastokeskus. Elinkustannusindeksi [Verkojulkaisu]. Saatavilla:

<http://www.stat.fi/til/eki/index.html> [Viitattu 13.3.2012].

Tonteri, T. & Siitonen, J. 2001. Lahopuu talousmetsissä, valtakunnan metsien 9. inventoinnin tulosten mukaan – vertailu luonnonmetsiin. Julkaisussa: Siitonen, J. (toim.). Monimuotoinen metsä. Metsäluonnon monimuotoisuuden tutkimusohjelman loppuraportti. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 812: 57–72.

Valsta, L., Ahtikoski, A., Horne, P., Karttunen, K., Kokko K., Melkas, E., Mononen, J., Pingoud, K., Pohjola J. ja Uusivuori, J. 2006. Puu ilmastonmuutoksen hillitsijänä. LOPPURAPORTTI, Ympäristöklusterin tutkimusohjelman konsortio ”Suomen metsät ja puutuotteet ilmastonmuutoksen torjunnassa – nielut ja substituuotiot sekä niiden taloudellinen ja oikeudellinen ohjaus”. 57 s. Saatavissa:

<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=48189> [Viitattu: 08.08.2012].

Vuokila, Y. 1975. Nuoren istutuskuusikon harvennus puuntuotannollisena ongelmana. Summary: Thinning of young spruce plantation of timber production. *Folia Forestalia* 247. 24 s.

Vuokila, Y. 1980a. Kasvatustiheyden vaikutus istutuskuusikon kasvuun ja tuotokseen. Summary: The dependence of growth and yield on the density of spruce plantations in Finland. *Folia Forestalia* 448. 15 s.

Wikström, P. & Erikson, L. 2000. Solving the stand management problem under biodiversity-related consideration. *Forest Ecology and Management* 126: 261–376.

## LIITTEET

**Liite 1.** Lyhyen kiertoajan (60v) ja Pitkän kiertoajan (90v.) lahoppuukertymät (m<sup>3</sup>/ha) vuonna 90 eri lähtömetsiköissä (istutustiheys 1500, 2000 tai 2500 taimea/ha) ja harvennusohjelmissa. Ei harvennuksia = ainoastaan päätehakkuu. Kevyt = ensiharvennuksen ajankohtaa siirrettiin molemmilla kiertoajoilla 10 vuotta eteenpäin ja pitkällä kiertoajoilla ensiharvennuksen jälkeistä harvennusta siirrettiin 15 vuotta eteenpäin. Harvennusten voimakkuutta kevennettiin asettamalla jäävän puuston pohjapinta-alaksi Tapion harvennusmallin (pohjapinta-alakriteeri) leimausrajan ja harvennusrajojen puolivälin keskiarvo. Tapio + tekolaho = harvennuksissa ja päätehakkuussa metsikköön jätettiin 5 m<sup>3</sup>/ha ns. tekolahopuuta. Tapio = Tapion Hyvän metsänhoidon suositusten mukainen harvennusmalli. Metsikkö harvennettiin välittömästi kun sen puuston pohjapinta-alakriteeri saavutti Tapion suositusten mukaisen leimausrajan. Harvennuksissa jäävän puuston pohjapinta-alaksi asetettiin Tapion harvennusrajojen puoliväli.

Harvennusohjelma	Pitkä kiertoaika (90v.)	Lyhyt kiertoaika (60v.)
Tapio (1500)	4.44	2.80
Tapio+tekolaho (1500)	25.00	14.03
Kevyt (1500)	14.94	4.71
Ei harvennuksia (1500)	73.73	7.71
Tapio (2000)	4.93	3.10
Tapio+tekolaho (2000)	25.57	14.26
Kevyt (2000)	18.99	6.10
Ei harvennuksia (2000)	135.92	10.19
Tapio(2500)	5.25	3.43
Tapio+tekolaho (2500)	25.83	14.54
Kevyt (2500)	22.22	7.17
Ei harvennuksia (2500)	176.53	38.03

**Liite 2.** Istutustiheydeltään kolmen erilaisen lähtömetsikön puuntuotannolliset tuottoarvot (€) 30 vuoden iässä lyhyellä (60v.) ja pitkällä (90v.) kiertoajalla ja 3 % korolla eri harvennusohjelmissa. Harvennusohjelmien kuvaus Liitteen 1 yhteydessä.

Harvennusohjelma	Pitkä kiertoaika (90v.)	Lyhyt kiertoaika (60v.)
Tapio (1500)	7232	7374
Tapio+tekolaho (1500)	6750	6910
Kevyt (1500)	7548	7779
Ei harvennuksia (1500)	6008	7719
Tapio (2000)	7174	7210
Tapio+tekolaho (2000)	6707	6732
Kevyt (2000)	7615	7670
Ei harvennuksia (2000)	5512	7520
Tapio(2500)	7167	7075
Tapio+tekolaho (2500)	6701	6600
Kevyt (2500)	7494	7310
Ei harvennuksia (2500)	5140	6570

**Liite 3.** Lahopuun lisäämisen vaihtoehtoiskustannus (€/m<sup>3</sup>) eri harvennusohjelmilla istutustiheydeltään kolmessa erilaisessa lähtömetsikössä. Harvennusohjelmien vertailukohtana Tapio (60v.), jonka vaihtoehtoiskustannus on 0.

Istutustiheys	Kiertoaika	Harvennusohjelma	(€/m <sup>3</sup> )
1500	60	Ei harvennuksia (60v.)	-70
1500	60	Kewyt (60v.)	-213
1500	60	Tapio + tekolaho (60v.)	41
1500	90	Tapio (90v.)	87
1500	90	Tapio + tekolaho (90v.)	28
1500	90	Kewyt (90v.)	-14
1500	90	Ei harvennuksia (90v.)	19
2000	60	Ei harvennuksia (60v.)	-44
2000	60	Kewyt (60v.)	-153
2000	60	Tapio + tekolaho (60v.)	43
2000	90	Tapio (90v.)	20
2000	90	Tapio + tekolaho (90v.)	22
2000	90	Kewyt (90v.)	-25
2000	90	Ei harvennuksia (90v.)	13
2500	60	Ei harvennuksia (60v.)	15
2500	60	Kewyt (60v.)	-63
2500	60	Tapio + tekolaho (60v.)	43
2500	90	Tapio (90v.)	-50
2500	90	Tapio + tekolaho (90v.)	17
2500	90	Kewyt (90v.)	-22
2500	90	Ei harvennuksia (90v.)	11