

**Dissertationes Forestales 83**

**Kohti hyvää suometsien hoitoa –  
harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus  
ojitusaluemänniköiden puuntuotokseen ja  
metsänkasvatuksen taloustulokseen**

Soili Kojola

Metsäekologian laitos  
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta  
Helsingin yliopisto

Akateeminen väitöskirja

Esitetään Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan luvalla tarkastettavaksi Metsätieteiden talon luentosalissa B2 (Latokartanonkaari 7, Helsingin yliopisto)  
17.4.2009 klo 12.

*Väitöskirjan nimi:* Kohti hyvää suometsien hoitoa – harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus ojitusaluemänniköiden puuntuotokseen ja metsänkasvatuksen taloustulokseen

*Tekijä:* Soili Kojola

*Dissertationes Forestales* 83

*Ohjaajat:*

Dos. Hannu Hökkä

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimintayksikkö

Dos. Raija Laiho

Helsingin yliopisto, Metsäekologian laitos

MMT Anssi Ahtikoski

Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimintayksikkö

*Esitarkastajat:*

Dr. Kalev Jõgiste

Estonian University of Life Sciences, Institute of Forestry and Rural Engineering

MMT Jari Miina

Metsäntutkimuslaitos, Joensuun toimintayksikkö

*Vastaväittäjä:*

Dos. Heli Peltola

Joensuun yliopisto, Metsätieteiden tiedekunta

ISSN 1795-7389

ISBN 978-951-651-255-9 (PDF)

(2009)

*Julkaisijat:*

Suomen Metsätieteellinen Seura

Metsäntutkimuslaitos

Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta, Helsingin yliopisto

Metsätieteellinen tiedekunta, Joensuun yliopisto

*Toimitus:*

Suomen Metsätieteellinen Seura

PL 18, 01301 Vantaa

<http://www.metla.fi/dissertationes>

**Kojola, S. 2009.** Towards best management of drained peatland forests – Impacts of different silvicultural regimes on productivity and financial returns of Scots pine stands. *Dissertationes Forestales* 83. 67 p. Available at <http://www.metla.fi/dissertationes/df83.htm>

## ABSTRACT

This thesis examines the impacts of silvicultural activities on productivity and financial returns of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands on drained peatlands in Finland. The effects of ditch network maintenance operations (DNM) and thinnings, with different timings and intensities, were studied. Based on stand development simulations, the best regimes for different types of stands according to site type, climatic area, and stand silvicultural status were defined from the viewpoint of both wood production and financial profitability.

Certain aspects affecting the management outcomes, such as the timing of the first thinning, were examined using data from thinning experiments. Long-term predictions of the impacts of different management regimes were carried out by simulating the development of well-representative model-stands which were composed from appropriate inventory data sets. The MOTTI stand simulator used to perform the simulations enables the predictions by utilizing specific models for drained peatland stands. In addition to natural stand dynamics, these models describe the effects of silvicultural treatments on the development of a given stand. The mean annual increment of merchantable wood (MAI<sub>merch</sub>) was used as the measure of wood productivity, and the financial feasibility of the regimes was compared using net present value (NPV) analysis.

Silvicultural treatments, when applied to appropriately match stand condition, increased both the productivity and financial returns of stand management. Applying DNM resulted in a small increase in MAI<sub>merch</sub>. When thinning was introduced along with DNM, their combined effect on wood productivity was considerable. According to current operational practices, DNM is generally combined with thinning. In some cases, e.g., in sites of low productivity, the need for DNM may become apparent prior to the thinning stage. As for profitability, thinnings proved to be crucial. The regimes with heavy and late thinnings were generally more profitable than those with normal thinnings. Further, early thinning (relative to stand volume) lacked appeal when seeking a financially profitable removal from the first thinning. In young stands with an initially poor silvicultural condition, however, applying even a low-yielding first thinning considerably increased the NPV when compared to a regime with no thinning at all. Generally, the regimes resulting in the best profitability included heavier thinnings and fewer DNM and thinning treatments than did the regimes resulting in the best yield results.

This study demonstrates considerable potential for profitable wood production-oriented management in pine stands on drained peatlands despite their challenging circumstances and long rotations. The results can be used for defining new and more site-specific silvicultural guidelines for various types of drained, pine-dominated peatland stands within the entire range of boreal conditions.

**Keywords:** *Pinus sylvestris*, peatland forestry, thinning, ditch network maintenance, simulation

**Kojola, S. 2009.** Kohti hyvää suometsien hoitoa – harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus ojitusaluemänniköiden puuntuotokseen ja metsänkasvatuksen taloustulokseen. *Dissertationes Forestales* 83. 67 s. <http://www.metla.fi/dissertationes/df83.htm>

## TIIVISTELMÄ

Tutkimuksessa tarkasteltiin ojitettujen mäntyvaltaisten suometsien metsänkasvatuksen tuloksen muodostumista. Simulointilaskelmien avulla selvitettiin kunnostusojitusten sekä ajoitukseltaan ja voimakkuudeltaan erilaisten harvennusten vaikutuksia puuston kehitykseen, kasvatusajan kokonaistuotokseen sekä metsänkasvatuksen taloudelliseen tulokseen. Kasvupaikan, ilmastoalueen ja puuston metsänhoidollisen tilan suhteen erilaisille metsille määritettiin kasvatusketjut, jotka tuottivat parhaat tulokset joko puuntuotoksen tai metsänkasvatuksen taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta.

Metsänkasvatuksen tulokseen vaikuttavia osatekijöitä, kuten ensiharvennuksen ajoitusta, tarkasteltiin harvennuskokeiden avulla. Päätehakkuuseen saakka ulottuvissa tarkasteluisa tutkittiin alueittain ja kasvupaikoittain edustavia inventointiaineistoihin perustuvia puustoja. Puustojen kehitysnusteeet tuotettiin MOTTI-simulaattorilla, joka mahdollisti pitkän aikavälin metsikkökohtaisen tarkastelun ojitusaluemetsien kasvumallien avulla. Mallit kuvaavat puuston luontaisen dynamiikan lisäksi myös toimenpiteiden vaikutuksia puuston määrän ja rakenteen kehitykseen. Kasvatusketjujen tuotoksia vertailtiin keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun avulla ja toimenpiteiden taloudellista kannattavuutta nettotulojen nykyarvon avulla.

Metsänhoidon keinoin ja valitsemalla kullekin kohteelle sopivimmat toimenpiteet voitiin oleellisesti parantaa metsänkasvatuksen tulosta. Kunnostusojitukset tuottivat pienehkön lisäyksen keskimääräiseen vuotuisen kasvuun. Kun kasvatusaikana tehtiin kunnostusojituksen lisäksi harvennus, oli tulos selkeästi parempi kuin kasvatusketjussa, johon ei sisällynyt kumpaakaan toimenpidettä. Pääsääntöisesti kunnostusojitus toteutetaan harvennusten yhteydessä, mutta pohjoisilla tai karuilla kasvupaikoilla se olisi joskus tarpeen jo ennen harvennusta. Taloustuloksessa harvennustulojen merkitys oli keskeinen. Harvennusten voimistaminen ja kohtuullinen viivästäminen lisäsivät yleensä kasvatusketjun kannattavuutta. Riittävän ensiharvennuskertymän saavuttamiseksi oli tärkeää välttää liian aikaisia hakkuita. Kuitenkin metsänhoidolliselta tilaltaan heikon nuoren metsän ensiharvennus, joka sinällään saattoi jäädä heikkotuottoiseksi, oli usein hyödyllinen koko kasvatusketjun taloustuloksen kannalta. Parhaita taloustuloksia tuottaviin kasvatusketjuihin sisältyi yleensä voimakkaampia harvennuksia ja vähemmän harvennus- ja kunnostusojituskertoja kuin tuotoksen näkökulmasta parhaisiin kasvatusketjuihin.

Tulosten mukaan ojitettujen soiden mäntyvaltaisissa metsissä on tuotospotentiaalia, joka mahdollistaa metsätalouden kannattavan harjoittamisen haasteellisista olosuhteista ja verratien pitkistä kasvatusajoista huolimatta. Hoidon puute heikentää kuitenkin metsien potentiaalini hyödyntämistä. Tutkimuksen tuloksista voidaan johtaa entistä tarkempia toimenpidesuosituksia kasvupaikan ja maantieteellisen sijainnin suhteen erilaisille ojitusalueiden metsille.

**Asiasanat:** *Pinus sylvestris*, ojitetut turvemaat, suometsätalous, kasvu ja tuotos, simulointi

## ALKUSANAT

Tämä työ sai alkunsa syksyllä 2000, kun silloista metsänarvioimistieteen opiskelijaa kysyttiin pari kuukaudeksi Metsäntutkimuslaitokselle (Metla) tutkimusaineistojen analysointiin. Ilmakuvien ja satelliittikuvien pikselirunsaus konkretisoitui ojitettujen soiden sarkajaoiksi ja harvennuskoealojen yksittäisiksi puiksi. Työtehtävät seurasivat toisiaan, ja vähitellen mukaan liitettiin myös suometsätieteen jatko-opinnot. Väitöskirjan ensimmäiset osajulkaisut suometsien harvennuksista tehtiin Maa- ja metsätalousministeriön rahoittaman Wood Wisdom tutkimusohjelman KuRaSuo-hankkeessa. Samoihin aikoihin käytännön metsätaloudessa lisääntyi kiinnostus ojitusaluemetsiin ja niille haluttiin laatia omat metsänhoitosuosituksset. Tämä laajensi tutkimuksen näkökulmaa ja johti tutkimuskokonaisuuden täydentymiseen erillisistä metsänkasvatuksen ilmiöistä laajempiin toimenpiteiden yhdistelmiin ja niiden tuotos- ja taloustarkasteluihin. Työ jatkui Metlan ja Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion yhteishankkeessa, edelleen Maa- ja metsätalousministeriön rahoituksella. Väitöskirjatutkimuksen muodon työ sai pääasiassa Joensuun yliopiston metsätieteiden tutkijakoulun sekä Metlan rahoituksen turvin.

Minulla on ollut suuri ilo ja kunnia työskennellä osaavien ja innostuneiden tutkijoiden ohjauksessa. Alusta asti mukana olleiden Raija Laihon ja Timo Penttilän lisäksi tutkimusryhmään tulivat myöhemmin mukaan Hannu Hökkä ja Anssi Ahtikoski. Kaikilta heiltä olen saanut runsain mitoin oppia, neuvoja ja kannustusta. Lämpimät kiitokset – ilman teitä tämä työ ei olisi koskaan valmistunut. Kiitokset lausun myös työn esitarkastajille Kalev Jögistelle ja Jari Miinalle hyvistä ja aiheellisista, mielihyvin varteen otetuista kommentteista.

Metlan Vantaan toimintayksikkö on tarjonnut erinomaiset puitteet tutkimuksen tekemiselle. Tutkimusta varten käyttööni annetut aineistot ja ohjelmistot ovat monien ihmisten työn tulosta. Kiitokseni kuuluvat heille kaikille. Avusta ja opeista aineistojen käsittelyssä kiitän erityisesti Riitta Maunuvaaraa ja Matti Siipolaa. MOTTI-simulaattorilla oli työssäni keskeinen merkitys. Kiitokset oivasta työvälineestä kuuluvat koko MOTTI-tiimille, erityisesti Jari Hynyselle, Mika Lehtoselle ja Hannu Salmiselle. Merja Heikkistä ja Meeri Pearsonia kiitän yhteenvedon suomen ja englannin kielen tarkastuksesta. Kiitän lämpimästi kaikkia niitä metlalaisia, jotka ovat antaneet aikaansa ja apuaan monissa eteen tulleissa ongelmissa, liittyivät ne sitten käytännön asioihin tai tutkimukseen. Hyviä neuvoja ja kannustusta olen saanut myös Helsingin yliopiston metsäekologian laitokselta, erityisesti Saija Huuskoselta ja Harri Vasanderilta.

Väitöskirja on valmistunut vähitellen monien vuosien aikana. Matkan varrella olen päässyt osalliseksi monista mielenkiintoisista työtehtävistä niin tutkimuksessa kuin sen ulkopuolellakin sekä saanut monia hyviä työtovereita. "Suo-osaston" kahvitaukojen ja retkien rento meininki on tarjonnut hyvän vastapainon tutkijankammiossa vietetyille yksinäisille tunneille. Haluan myös kiittää ystäviäni ja sukulaisiani, jotka ovat osoittaneet kiinnostusta työtäni kohtaan. Olette kannustaneet uppoutumaan työhön, mutta samalla pitäneet huolen, etten pääse uppoamaan siihen kokonaan.

Lopuksi haluan lausua kiitokseni äidilleni ja Sakarille huolenpidosta ja kannustuksesta. Antti ansaitsee erityiskiitokset avusta kuvien laadinnassa sekä kärsivällisestä suhtautumisesta työtäni kohtaan. Lämpimät kiitokset Timolle, joka on ollut sekä korvaamaton apu itse työn viimeistelyssä, mutta samalla myös kannustava ja ymmärtävä tuki työn moninaisissa vaiheissa. Omistan tämän väitöskirjatyön edesmenneelle isälleni.

## VÄITÖSKIRJAN OSAJULKAISUT

Väitöskirja perustuu seuraaviin osajulkaisuihin, joihin viitataan tekstissä roomalaisin numeroin I–IV.

- I Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2005. First commercial thinnings in peatland pine stands: Effect of timing on fellings and removals. *Baltic Forestry* 11(2): 51-58.
- II Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2004. Impacts of different thinning regimes on the yield of uneven-structured Scots pine stands on drained peatland. *Silva Fennica* 38(4): 393-403.
- III Kojola, S., Hökkä, H., Laiho, R. & Penttilä, T. 2008. Harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus puuston kasvuun ja tuotokseen ojitetuilla rämeillä – simulointitutkimus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2008: 75-95.
- IV Kojola, S., Ahtikoski, A., Hökkä, H. & Penttilä, T. Profitability of forest management in Scots pine stands on drained peatlands in Finland – a simulation study. Manuscript.

Osajulkaisujen tutkimussuunnitelmat ovat tekijöiden yhdessä laatimia. Soili Kojola on tehnyt tutkimuksiin liittyvät simuloinnit, laskennat ja tulosten käsittelyn sekä laatinut ensimmäisen käsikirjoitusversion kaikissa osajulkaisuissa. Osajulkaisujen lopulliset tekstit on laadittu kaikkien tekijöiden yhteistyönä.

# SISÄLTÖ

ABSTRACT.....	3
TIIVISTELMÄ .....	4
ALKUSANAT .....	5
VÄITÖSKIRJAN OSAJULKAISUT .....	6
KÄSITTEITÄ .....	9
1 JOHDANTO.....	11
1.1 Ojitetut suot Suomen metsätaloudessa .....	11
1.2 Ojitetut suot metsänkasvatuksen kannalta.....	13
1.2.1 <i>Suopuustojen tuotos ja kasvu – ojituksen vaikutus</i> .....	13
1.2.2 <i>Kuivatustilan ylläpidon tarve</i> .....	14
1.2.3 <i>Puustorakenne</i> .....	15
1.3 Metsänhoito ojitusalueilla.....	16
1.3.1 <i>Yleistä</i> .....	16
1.3.2 <i>Harvennukset</i> .....	18
1.3.3 <i>Kunnostusojitukset</i> .....	19
1.4 Metsänkasvatuksen tulos .....	20
1.5 Tutkimus ja käytäntö.....	22
1.6 Tutkimuksen tavoitteet .....	23
2 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	24
2.1 Lähestymistapa.....	24
2.2 Aineistot .....	25
2.2.1 <i>Aineiston valinta</i> .....	25
2.2.2 <i>Suometsien harvennuskokeiden aineisto</i> .....	25
2.2.3 <i>SINKA-aineisto</i> .....	26
2.2.4 <i>MKSK-aineisto</i> .....	26
2.2.5 <i>LVARA-aineisto</i> .....	27
2.3 Menetelmät.....	27
2.3.1 <i>Ensiharvennuskertymien tarkastelu</i> .....	27
2.3.2 <i>Harvennushakkuiden vaikutusten tarkastelu</i> .....	28
2.3.3 <i>Kasvatusketjujen tuotos- ja talousvaikutusten tarkastelu</i> .....	29
2.4 Ojitusalue metsien kehitys ja metsänhoidon vaikutukset MOTTI-simulaattorissa.	30
2.5 Laskennat ja analyysit.....	33
2.5.1 <i>Tuotoslaskelmat</i> .....	33
2.5.2 <i>Talouseläskelmat</i> .....	34
3 TULOKSET .....	35
3.1 Aktiivinen metsänhoito parantaa kasvatuksen tulosta .....	35
3.2 Metsänkasvatuksen tulokseen vaikuttavat tekijät .....	36
3.2.1 <i>Puuntuotospotentialiaali</i> .....	36
3.2.2 <i>Kunnostusojitus</i> .....	36
3.2.3 <i>Nuoren metsän metsänhoidollinen tila</i> .....	36
3.2.4 <i>Harvennukset</i> .....	37
3.2.5 <i>Päätehakkuun ajankohta</i> .....	38
3.3 Kasvatusketjun valinta.....	39

4	TARKASTELU .....	42
4.1	Kasvatusketjut .....	42
4.1.1	<i>Harvennukset</i> .....	42
4.1.2	<i>Harvennusten viivästäminen</i> .....	43
4.1.3	<i>Harvennusten voimistaminen</i> .....	43
4.1.4	<i>Harvennusten toistuvuus</i> .....	44
4.1.5	<i>Poistuman ja jäävän puuston rakenne</i> .....	44
4.1.6	<i>Kunnostusojitukset</i> .....	45
4.1.7	<i>Päätehakuut</i> .....	46
4.1.8	<i>Parhaat kasvatusketjut</i> .....	46
4.2	Tuotoksen ja kasvun tasot .....	47
4.3	Hinnat, kustannukset ja korko .....	48
4.4	Tulosten yleistettävyyys ja käytetyt menetelmät .....	51
4.4.1	<i>Aineistot</i> .....	51
4.4.2	<i>Simuloinnit</i> .....	53
4.4.3	<i>NNA-menetelmä</i> .....	54
4.5	Käytäntöön soveltaminen ja jatkotutkimustarpeet .....	55
5	PÄÄTELMÄT .....	57
	KIRJALLISUUS .....	58

## KÄSITTEITÄ

**Mänty:** *Pinus sylvestris* L.

**Kuusi:** *Picea abies* (L.) Karst.

**Hieskoivu:** *Betula pubescens* Ehrh.

**Suo:** Kasvupaikka, jolla on turvekerros tai jonka kasvillisuudesta vähintään 75 % on suokasvillisuutta (metsätaloudellinen suon määritelmä mm. valtakunnan metsien inventoinnissa).

**Ojitusalue:** Tässä työssä käytetty nimitys metsänkasvatusta varten ojitetulle suolle. Metsänhoitosuosituksissa ojitetuille soille käytetään nimitystä turvemaat.

**Metsä-, kitu- ja joutomaa:** Metsätaloudellisessa luokituksessa käytetyt puuntuotoskykyä kuvaavat luokat. Metsämaalla puuston keskimääräinen vuotuinen kasvu ohjekiertojalla on vähintään  $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ , kitumaalla  $0,1\text{--}0,99 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  ja joutomaalla alle  $0,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ .

**Räme ja korpi:** Luonnontilaisten puustoisten soiden päätyyppiryhmät. Rämeiden tyypillisiin puulaji on mänty ja korpien kuusi. Valtakunnan metsien inventoinnissa nimityksiä käytetään myös ojitetujen soiden mäntyvaltaisten ja kuusivaltaisten metsien kasvupaikoista, myös niistä, jotka ovat alun perin olleet avoimia.

**Turvekangastyyppi:** Ojituksen jälkeen suon ravinteisuustasoa kuvaava niin alkuperäisistä suotyypeistä kuin kangasmaiden metsätyypeistäkin poikkeava kasvupaikkaluokka. Suo luokitellaan kuivatusvaiheesta riippumatta siihen turvekangastyyppiin, joksi se todennäköisesti tulee kehittymään. Turvekangastyyppit karuimmasta ravinteisimpaan ovat jäkäläturvekankaat (Jätkg), varputurvekankaat (Vatkg), puolukkaturvekankaat (Ptkg), mustikkaturvekankaat (Mtkg) ja ruohoturvekankaat (Rhtkg). Turvekangastyyppien I-variantit ovat aitojen puustoisten suutyypin kasvupaikoista ojituksen jälkeen muodostuvia turvekangastyyppisiä (Ptkg I ja Mtkg I) ja II-variantit puustoisten ja avosoiden suutyypin yhdistelmistä, sekatyypeistä, ojituksen jälkeen muodostuvia turvekangastyyppisiä (Ptkg II ja Mtkg II). Varputurvekankaille jaottelua I- ja II-variantteihin ei nykyisin käytetä.

**Uudistamiskypsyys:** Puuston kehitysvaihe, jossa sen kasvattamista ei enää ole tarkoituksenmukaista jatkaa. Voidaan määrittellä esimerkiksi biologisin, puuntuotannollisin tai taloudellisin perustein. Määrittämiskriteereinä mm. metsikön ikä tai keskiläpimitta.

**Kasvatusaika:** Ojitusaluemetsien kehityksessä aika ensimmäisestä ojituksesta päätehakkuuseen.

**Käyttöpuu:** Hakkuussa saatava myyntikelpoinen puutavara, kuitu- ja tukkipuu (ainespuu).

**NNA-menetelmä, nettotulojen nykyarvo menetelmä (engl. NPV, net present value method):** Investoinnin kannattavuuden tarkastelussa käytetty laskentamenetelmä, joka yhteismitallistaa eri ajankohtina realisoituvat tulot ja kustannukset diskonttaamalla ne halutulla korkokannalla päätöksentekohetkeen.

**Lähtöpuusto:** Tässä työssä simulaattorille annettu tarkasteltavan metsikön puuston kuvaus, runkolukusarja, josta puuston kehityksen ennustaminen aloitetaan.

**Kasvatusketju:** Tässä työssä käytetty nimitys niille toimenpiteiden (harvennus, kunnostusojitus, päätehakkuu) yhdistelmille, joiden mukaisena lähtöpuustojen kehitys simuloinneissa ennustettiin. Passiivisessa kasvatusketjussa toteutettiin vain päätehakkuu.

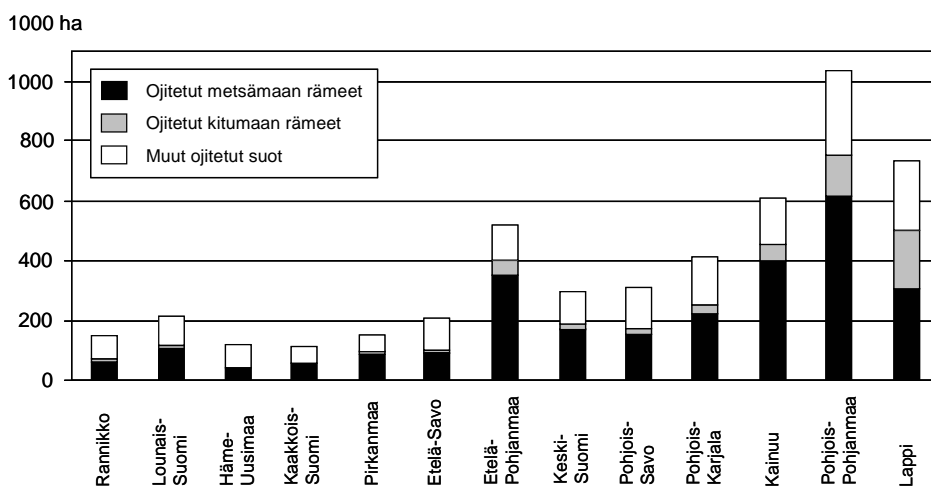


# 1 JOHDANTO

## 1.1 Ojitetut suot Suomen metsätaloudessa

Suometsät edustavat noin neljännessä Suomen metsien kokonaispuustosta sekä -kasvusta (Korhonen ym. 2007). Metsäojitettujen soiden nykyisestä noin viiden miljoonan hehtaarin pinta-alasta 4,2 miljoonaa hehtaaria luokitellaan metsämaaksi (Metinfo 2007). Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI) perusteella lasketut hakkuusuunnitteet kertovat suometsien varsin merkittävästä hakkuupotentiaalista: suurimman kestävän hakkuusuunnitteen arvio suometsille kymmenvuotiskaudelle 2006–2015 on noin 12 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, mikä tarkoittaa kuudesosaa kaikkien metsien yhteenlasketusta suunnitearviosta (Nuutinen ym. 2007). Viime vuosina suometsien vuotuiset hakkuumäärät ovat ylittäneet 5–7 miljoonaa kuutiometriin (Hyvän metsänhoidon... 2007).

Metsän kasvun parantamiseen tähtäviä ojituksia tehtiin kokeiluluonteisina Suomessa jo 1800-luvun jälkipuoliskolla. Järjestelmällisemmät metsäojitukset alkoivat vuonna 1908, aluksi valtion mailla (mm. Tuokko 1992). Ensimmäinen vuonna 1928 annettu metsänparannuslaki käynnisti laajamittaisemmat metsäojitukset myös yksityismetsissä. Valtakunnan metsien inventointitulosten (Ivessalo 1956) sekä puun käyttöä koskevien selvitysten perusteella lisättiin panostuksia puuhuollon turvaamiseksi, ja metsäojitukset olivat eräs keskeisistä toimenpiteistä. Sotien ajan keskeytyksissä ollut metsänparannustoiminta käynnistyi vähitellen uudelleen. Puunkäytön voimakas lisääntyminen muun muassa jälleenrakennuksen ja kasvavan puunjalostusteollisuuden tarpeisiin uhkasi johtaa kasvua suurempiin hakkuisiin ja alijäämääseen metsätaseeseen (Heikurainen ym. 1961, Heikurainen 1984). Huoli puuvarojen riittävydestä kasvoi, ja puuntuotannolle ryhdyttiin asettamaan määrällisiä tavoitteita metsäohjelmien, kuten HKLN ja MERA, avulla. Tavoitteiden saavuttamiseksi metsänhoito- ja metsänparannustöitä vauhditettiin valtion rahoituksella (mm. Tuokko 1992, Päivänen 2007). Myös ojitustekniikka ja koneet kehittyivät mahdollistaen entistä suuremmat vuotuiset ojitusmäärät (Heikurainen 1984, Huikari 1988, Tuokko 1992). Suometsien nykyinen



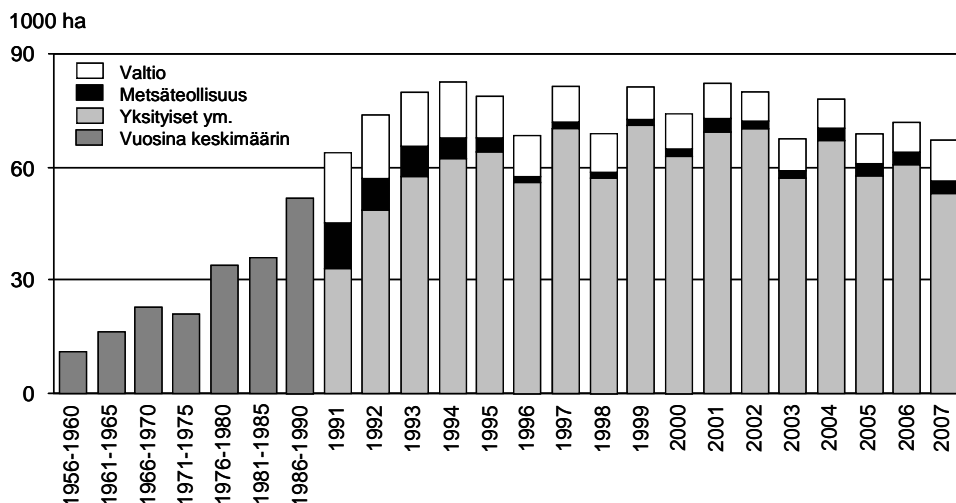
**Kuva 1.** Ojitusalueiden kokonaispinta-ala ja ojitettujen metsä- ja kitumaan rämeiden pinta-ala metsäkeskusalueittain (VMI 9 -aineisto).

asema Suomen metsätaloudessa onkin pääosin 1960–1970 lukujen aktiivisen metsänparannustoiminnan tulosta.

2000-luvulle tultaessa ojitusaluemetsien "suuret ikäluokat" ovat erityisen mielenkiinnon kohteena. Niissä on runsaasti nuorten kasvatusmetsien kehitysvaiheessa olevia puustoja, noin 52 % ojitetusta pinta-alasta (VMI 9 -aineisto), joten ensiharvennusten tarve on suuri. Huomattava määrä taimikonhoitoja ja ensiharvennuksia on tähän mennessä jäänyt myös rästiin (Tomppo 2005). Kasvupaikkojen ravinteisuusjakaumasta johtuen ojitusaluiden metsät ovat suurelta osin mäntyvaltaisia. VMI-luokituksen mukaiset metsämaan rämeät edustavat noin 66 % ojitettujen soiden nykyisestä pinta-alasta (Kuva 1).

Alkuperäiset ojitukset ovat monin paikoin aikansa palvelleita (Keltikangas ym. 1986, Tomppo 2005), joten ensiharvennusten ohella myös kunnostusojitukset ovat keskeisiä toimia nykyisissä ojitusaluemetsissä. Vuotuiset kunnostusojitusmäärät ovat viime aikoina vaihdelleet 70 000 hehtaarin molemmin puolin (Kuva 2). Tulevina vuosikymmeninä ensimmäisen ojituksenjälkeisen puusukupolven päätehakkuiden osuus ojitusaluiden hakkuisista kasvaa voimakkaasti, ja huomiota aletaan kiinnittää seuraavien puusukupolvien perustamiseen ja kasvattamiseen metsäojitetuilla soilla (mm. Saarinen 2005).

Metsäojitettujen soiden määrästä, niiden hakkuupotentiaalista ja puuston elinvoimaisuuden ylläpidon tarpeista syntyy painetta toiminnan lisäämiseksi ojitusalueilla. Kiinnostus ojitusaluiden metsiin voi lisääntyä myös kotimaisen kuitupuun ja energiapuun kysynnän mahdollisesti kasvaessa. Soiden alueellinen jakautuminen (Kuva 1) lisää suometsätalouden suhteellista merkitystä monilla alueilla. Esimerkiksi Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella puustojen kokonaistilavuudesta 42 % ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella 38 % on suometsissä (Korhonen ym. 2007). Toisaalta myös ojitusalueilla toimimisen kiinnostavuutta heikentävät tekijät ovat voimakkaita. Käsitukset ojitusalueilta saatavan kuitupuun ja tukin laadusta vaihtelevat (Päivänen ja Sipi 2002, Rikala 2003, Varhimo ym. 2003, Verkasalo ym. 2005). Ongelmalliseksi on koettu myös ojitusaluiden puunkorjuun olosuhteet (Sirén ym. 2002, Sirén 2004, Ala-Ilomäki 2005) ja pienet harvennuskertymät (Eeronheimo 1991, Ylimartimo ym. 2001, Ojansuu ym. 2002).



**Kuva 2.** Vuotuiset kunnostusojituspinta-alat vuosina 1956–2007 (Metsäntutkimuslaitos, metsätalastollinen tietopalvelu).

## 1.2 Ojitetut suot metsänkasvatuksen kannalta

### 1.2.1 Suopuustojen tuotos ja kasvu – ojituksen vaikutus

Ojitusalueiden metsillä on useita kangasmetsistä poikkeavia ominaispiirteitä alkaen niiden erilaisesta synty- ja kehityshistoriasta. Luonnontilaisella suolla puiden kasvua rajoittaa korkealla olevan pohjaveden aiheuttama kasvualustan vähähappisuus. Taimet voivat kehittyä puiksi yleensä vain suon kuivimmilla mätäillä tai paikoissa, joissa vesi on liikkuvaa, kuten korpijuoteissa. Liiallisen märkyden heikentämiä kasvuolosuhteita on pyritty parantamaan ojituksella. Ojaverkoston avulla saatetaan puiden juuriston hapensaantia heikentävä liiallinen vesi liikkeelle ja alennetaan pohjavesipinnan keskimääräistä tasoa (mm. Heikurainen 1984, Paavilainen ja Päivänen 1995, Päivänen 2007). Ensijajaisen rajoittavan tekijän väistyessä puiden kasvuun vaikuttavat lähinnä ilmasto (mm. Heikurainen ja Seppälä 1965) ja kasvupaikan ravinteisuus (mm. Heikurainen 1973, 1984).

Eloperäisen turvekerroksen muodostama kasvualusta eroaa kankaiden kasvupaikoista monien ominaisuuksien suhteen (Paavilainen ja Päivänen 1995). Turpeen huokostila on suuri, ja se pidättää vettä karkearakeisia kivennäismaita paremmin. Lämpötilouudeltaan turve on varsin epäedullinen kasvualusta (mm. Hytönen ja Silfverberg 1991, Domisch 2002). Turpeessa on yleensä runsaasti typpeä mutta niukasti kivennäisravinteita, kuten kaliumia ja fosforia (mm. Westman ja Laiho 2003, Moilanen 2005). Ojitus voi vaikuttaa ravinnetalouteen nopeuttamalla eloperäisen aineen hajoamista ja ravinteiden kiertoa. Suon soveltuvuus metsäojitukseen ja puun kasvatukseen kytkeytyykin turpeessa olevan typen määrään ja sen riittävään vapautumiseen puiden käyttöön (Pietiläinen ja Kaunisto 2003). Toisaalta ojituksen seurauksena kasvuaan lisännyt puusto tarvitsee aikaisempaa enemmän ravinteita. Karuimmilla ja pohjoisimmilla ojitusalueilla voi tulla jopa puutetta käyttökelpoisessa muodossa olevasta typestä (Kaunisto ja Paavilainen 1977, Moilanen ym. 2005). Useimmiten puiden kasvua kuitenkin rajoittaa fosforin ja kaliumin niukkuus (Hoosbeek ym. 2002, Silfverberg ja Moilanen 2008).

Soilla ravinnetalous ja vesitalous muodostavat erilaisia yhdistelmiä. Tästä seuraa suon kasvupaikkojen pienipiirteinen vaihtelu ja luonnontilaisten suotyyppien suuri määrä (mm. Huikari ym. 1963, Heikurainen ja Pakarinen 1983, Reinikainen ja Hotanen 1988). Ojituksen seurauksena vedenpinnan suora vaikutus vähenee ja tekee vaihtelun yksiulotteisemmaksi, jolloin ojitetun suon ravinteisuustasoja voidaan kuvata suotyyppejä huomattavasti vähälukuisemmilla turvekangastyypeillä (Heikurainen 1978, Laine 1989, Laine ja Vasander 2005). Aiemmin kuivatussukcession vaiheet eroteltiin ojikoiksi, muuttumiksi ja turvekanikaiksi. Nykyisin suositellaan käytettäväksi kaikissa ojituksen jälkeisissä vaiheissa sen turvekangastyyppin nimeä, joksi suo kuivatussukcession myötä tulee kehittymään (Laine 1989, Laine ja Vasander 2005).

Ojitusalueilla, kuten kangasmaillakin, tietyn kasvupaikan puuntuotos vaihtelee ilmasto-olojen mukaan (Heikurainen ja Seppälä 1965, 1973, Huikari ym. 1967). Kuivatuksen on todettu lisäävän puuston kasvua ja tuotosta sitä enemmän, mitä suurempi on alueen lämpösomma (Heikurainen ja Seppälä 1973, Keltikangas ym. 1986, Gustavsen ym. 1998). Esimerkiksi Hänellin (1988) mukaan ojitetuilla mäntyä kasvavilla soilla puuston keskimääräinen vuotuinen kasvu oli 1200 d.d:n lämpösomma-alueella lähes kaksinkertainen verrattuna 800 d.d:n alueen vastaavien kasvupaikkojen puuston kasvuun.

Yksittäisten puiden kasvun lisääntyminen ojituksen jälkeen perustuu niiden elpymiskykyyn. Muun muassa Heikurainen ja Kuusela (1962) totesivat pienten puiden säde- ja pituuskasvun elpyvän paremmin kuin suurten puiden. Nuoret puut elpyvät vanhoja puita pa-

remmin (Multamäki 1923, Heikurainen ja Kuusela 1962, Seppälä 1969, Hökkä ja Ojansuu 2004). Päivänen (2007) mainitsee myös puun elinvoimaisuutta kuvaavan latvuksen ja neulasten kunnon indikaattoriksi puun elpymiskyvylle. Elpymisen on todettu olevan yleensä nopeampaa ja voimakkaampaa ravinteisempien kuin karujen soiden puilla, ja toisaalta männyn elpymisen olevan nopeampaa kuin kuusen (Heikurainen 1984).

Ojituksen aiheuttamat vesitalouden muutokset näkyvät parantuneena puuston kasvuna 10–20 vuotta ensimmäisen ojituksen jälkeen (Seppälä 1969, Heikurainen 1980a). Suotyypien välillä ja myös niiden sisällä on tässä suhteessa runsaasti vaihtelua (Heikurainen ja Seppälä 1973). Alkuperäisen suotyypin merkitys puuston kasvuun ja kehitykseen ilmenee muun muassa siten, että märempien soiden kuivatus saa aikaan suuremman parannuksen kasvuoloihin kuin kuivempien (Hökkä 2001, Hökkä ja Ojansuu 2004). Suotyypien väliset erot näkyivät esimerkiksi Heikuraisen ja Seppälän (1973) tutkimuksessa kasvun vaihteluna välillä  $0,3\text{--}5,4\text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  35 vuoden kuluttua ojituksesta.

Kasvupaikan olosuhteiden on havaittu myös parantuvan ensimmäisestä ojituksesta kuluvan ajan myötä (Zalitis 1999). Hökkä ja Penttilä (1999) totesivat kasvupaikan puuntuotoskyvyn paranevan ojituksen jälkeen jopa 40 vuoden ajan, kun hyvää kuivatustilaa ylläpidetään, ja päättelivät tämän johtuvan erityisesti kasvuolosuhteiden jatkuvasta muutoksesta.

Koska ojituksen vaikutukset voivat kohteesta riippuen olla hyvinkin erilaisia, on ollut tarpeen määrittellä suot, joille metsäojituksia on kannattanut kohdentaa. Soiden metsänkasvatuskelpoisuutta on määritelty ilmaston, suotyypin ja ojitushetkellä suolla kasvavan puuston määrän perusteella. Käytännön apuna ojituskohdeiden valinnassa on käytetty muun muassa kunkin suotyypin ja ilmastovyöhykkeen (Lukkala 1939) ojituksen jälkeistä puuntuotoskykyä kuvaavaa metsäojitusboniteettia sekä siitä johdettua, talousvaikutukset huomioivaa hyötykerrointa (Heikurainen 1973, 1984). Heikuraisen määrittelemä rajalämpösumma tiivistä edellä mainituin taloudellisin perustein lasketut tulokset ojituksen kannattavuudelle ja osoitti kullekin suotyypille lämpösumman, jota viileämmissä ilmasto-oloissa suotyyppi ei ollut enää metsänkasvatuskelpoinen. Mitä suurempi oli alueen lämpösumma, sitä karumpia suotyyppisiä sisältyi metsäkasvatuskelpoisten soiden joukkoon (Heikurainen 1973, 1978, 1984). Myöhemmin tarkennettujen laskelmien mukaan parhaimpien suotyypin rajalämpösummaksi muotoutui 750 d.d. (mm. Päivänen 2007).

Vaikka kasvu- ja tuotostutkimusta metsäojitustoiminnan edellytyksistä ja alkuvuosikymmenten tuloksista onkin runsaasti, puustojen kehitystä kuvaavia pitkän aikavälin tuotostutkimuksia on julkaistu varsin vähän (Keltikangas ym. 1986, Hännell 1988, Gustavsen ym. 1998). Tämä johtuu muun muassa siitä, että vasta osa ojitusalueiden puustoista on saavuttanut päätehakkuvaiheen sekä siitä, että tiedot puustojen alkukehityksestä ja kasvatusajan alkuvaiheiden poistumista ovat usein puutteellisia. Alkuperäistä ojituskohdeiden valintaa on voitu vuosien varrella arvioida tuotostutkimuksilla ja inventoinneilla, mutta päätehakkuuseen saakka ulottuvaa kokonaistuotostietoa erilaisilta kasvupaikoilta ja ilmasto-alueilta tarvitaan lisää.

### *1.2.2 Kuivatustilan ylläpidon tarve*

Ensimmäisellä ojituksella aikaansaatu pohjavesipinnan aleneminen ja puuston juuriston kasvuolosuhteiden paraneminen pintaturpeessa eivät välttämättä säily kovin pitkään (Heikurainen 1957, Ahti ym. 1988). Ojat rappeutuvat yleensä noin 20–30 vuodessa (mm. Heikurainen 1980a, Keltikangas ym. 1986). Muutoksen nopeus riippuu muun muassa pohjaan ja turpeen ominaisuuksista, kaltevuussuhteista ja ilmasto-oloista. Heikuraisen (1980a)

mukaan ojien kunnan heikkeneminen voi aiheuttaa puiden kasvun taantumista jo vajaan 20 vuoden kuluttua ensimmäisestä ojituksesta. Kunnostusojituksella kuivatustila voidaan palauttaa tasolle, jossa vesi ei rajoita puiden kasvua. Kohteesta riippuen optimaaliselle kuivatussyvyydelle on eri tutkimuksissa saatu arvoja 30 cm:stä 80 cm:iin (Vompersky ja Sirin 1997). Suomen olosuhteissa sopivana kuivatussyvyytenä pidetään yleensä 30–40 cm pohjaveden pinnan tasoa (Heikurainen 1984, Ahti 1995).

Oleellinen vaikutus puuston kasvuolosuhteiden säilymisessä on myös puustolla itsellään. Puuston määrän ollessa riittävä sen latvuspidentä ja haihdutus, niin sanottu biologinen kuivatus, pystyvät pitämään pohjaveden pinnan tarpeeksi alhaalla (Ahti ja Hökkä 2006, Ahti ym. 2008, Hökkä ym. 2008). Tämä vaikutus voi heikentyä monista syistä, joista esimerkkeinä on mainittu muun muassa satunnaiset runsassateiset jaksot (Ahti 1995), puuston elinvoimaa heikentävät taudit (Ahti 1991) ja hakkuut (Heikurainen ja Päivänen 1970, Päivänen 1982). Biologisen kuivatuksen merkitys kasvaa puuston varttuessa (Lauhanen ja Ahti 2001) ja ojaverkoston toiminnan samaan aikaan heiketessä. Muun muassa Ahti (1991) sekä Ahti ja Hökkä (2006) ovat päätelleet, että koska karuimmilla kasvupaikoilla puustot kasvavat hitaasti, ne ovat ojaverkoston kuivatuksen varassa pidempään kuin hyvien kasvupaikkojen puustot.

Vesitalouden tilan vaihtelusta johtuu, että ojitetun suon kasvupaikka ei ole olosuhteiltaan niin vakaa kuin kangasmaan kasvupaikka. Metsänkasvatus ojitusalueilla edellyttääkin kuivatustilan seuranta ja tarpeellisia toimia hyvien olosuhteiden ylläpitämiseksi. Myös kasvatettavaksi jätettävän puuston määrää arvioitaessa on huomioitava sen mahdolliset vaikutukset pohjaveden pinnan tasoon.

### *1.2.3 Puustorakenne*

Alkuperäisestä suotyypistä riippuen ojitusalueilla on vaihteleva määrä puustoa, joka on syntynyt jo ennen ojitusta (Heikurainen 1971, Heikurainen ja Seppälä 1973, Sarkkola ym. 2008). Ojituksen seurauksena luontaisesti avoimilla tai harvapuustoisilla soilla käynnistyy metsäsukkersio (mm. Laiho ym. 2003, Sarkkola 2006). Sen lisäksi, että kohentuneet kasvuolosuhteet parantavat olemassa olevien puiden kasvua, puustopääoma kasvaa ja tuotos lisääntyy myös uusien puiden syntymisen myötä (mm. Hökkä ja Laine 1988). Uusien puiden syntyminen jatkuu ainakin parin-, kolmenkymmenen vuoden ajan (Sarkkola ym. 2004a, 2005). Myös taimien luontainen kuolleisuus jää alhaisemmaksi verrattuna luonnontilaisiin soihin. Tämän kehityksen tuloksena ojitusalueiden metsät muodostuvat sekä ikä- että kokorakenteeltaan varsin vaihteleviksi (Hökkä ja Laine 1988, Sarkkola ym. 2005). Useimmiten puiden iän ja koon välinen korrelaatio on heikko (Hökkä ja Ojansuu 2004).

Eri rakenteisuus on ominaista erityisesti ojitusalueiden nuoremmille kehitysvaiheille. Sitä kuvaa käänteisen J:n muotoinen läpimittajakauma (mm. Gustavsen ja Päivänen 1986). Ojitusalueiden puustot ovat epätasaisia myös tilajakaumaltaan. Ryhmittäisyyttä ja aukkoisuutta aiheuttaa muun muassa ennen ojitusta esiintyneestä mätäs- ja painannepintojen vaihtelusta sekä turpeen paksuuden vaihtelusta. Puuston epätasaisuuden ja ryhmittäisyyden on todettu alentavan tilavuuskasvua, kun kasvua on verrattu tasaisempien metsien kasvuun (Seppälä 1972, Heikurainen 1980a, Miina ym. 1991, Miina 1994). Penner ym. (1995) havaitsivat ryhmien reunoilla kasvavien puiden kasvun olevan suurempaa kuin muiden puiden. Puustojen varttuessa niiden rakenne vähitellen tasoittuu sekä puiden välisen luontaisen kilpailun että taimikonhoidon ja harvennusten seurauksena (Hökkä ja Laine 1988, Sarkkola ym. 2005).

Myös ojaverkosto erilaisine sarkaleveysineen aiheuttaa epätasaisuutta metsikköön (Seppälä 1972, Miina ym. 1991) ja niistä aiheutuu jonkin verran kasvutappioita, vaikka reunimmaisat puut voivatkin kasvaa hieman paremmin (mm. Miina 1994). Rantosen ja Päiväsen (1989) mukaan ojalinjat edustavat noin 6 % pinta-alasta. Keltikankaan (1971) laskelmien mukaan esimerkiksi neljän metrin levyisten 30 metrin sarkaleveydellä olevien ojalinjoiden metsikön keskimääräistä kasvua pienentävä vaikutus oli noin 10 %.

Ojitusalueiden metsät vaihtelevat puhtaista mänty- ja kuusimetsistä puulajisuhteiltaan vaihteleviin sekametsiin. Rauduskoivua esiintyy vain vähäisissä määrin ohutturpeisimmilla kasvupaikoilla. Hieskoivun runsas esiintyminen sekapuuna on sen sijaan ominaista etenkin turvekangastyypin II-varianteille (Heikurainen 1959, Keltikangas ja Seppälä 1977, Ferm 1988, 1989). Keltikankaan ym. (1986) aineistosta laskettuna koivun keskimääräiset tilavuusosuudet olivat eteläsuomalaisella Mtkg II:lla 45 %, Ptkg II:lla 22 %, Ptkg I:llä 12 % ja Vatkg:lla 2 % (Laine 1989). Kasvuolosuhteiden parantuminen ojituksen seurauksena lisää tavallisesti koivun määrää (Keltikangas ja Seppälä 1977), mutta sen osuus puuston pohjapinta-alasta yleensä pienenee vähitellen kehityssukcession edetessä (Sarkkola ym. 2005). Ojitetuilla rämeillä koivun osuus pienenee etelästä pohjoiseen (Heikurainen 1959). Ravinteisuudeltaan keskinkertaisilla ja sitä paremmilla ojitusalueilla koivun ja männyn tilavuuskehitys on suurin piirtein samanlaista (Keltikangas ja Seppälä 1977, Saramäki 1977, Gustavsen ja Mielikäinen 1984, Ferm 1988), mutta laadultaan ojitusalueiden hieskoivu ylittää harvoin tukkipuiksi (Verkasalo ym. 2005).

Puustojen erirakenteisuus (ikä- ja kokojakauma), ryhmittäisyys ja aukkoisuus sekä hieskoivun runsas esiintyminen sekapuuna ovat nuorten ensiharvennussivaihetta lähestyvien ojitusaluemetsien ominaispiirteitä. Vaikka rakenne-erot suo- ja kangaspuustojen välillä tunnetaan suhteellisen hyvin, ei metsänhoidon pitkän aikavälin vaikutuksista erirakenteisissa ojitusaluemetsissä ole riittävästi tietoa.

### 1.3 Metsänhoito ojitusalueilla

#### 1.3.1 Yleistä

Puiden kasvu on sekä sisäisten että ulkoisten tekijöiden vaikutuksen tulos. Sisäisiä tekijöitä ovat esimerkiksi puulaji ja perimä, ulkoisia tekijöitä muun muassa kasvupaikka, ilmasto-olot ja kilpailu. Metsänhoidossa niitä kasvutekijöitä, joihin voidaan vaikuttaa, pyritään säätelemään – taloudellisten rajoitteiden puitteissa – niin, että puille saadaan elinvoimaisuuden ja kasvun kannalta parhaat mahdolliset olosuhteet. Suopuustojen kasvuun vaikuttavista tekijöistä ainakin jossain määrin säädeltävissä ovat kasvupaikan vesi- ja lämpötilaolosuhteet (ojitukset), ravinnetalous (ojitus, lannoitukset) sekä puiden välinen kilpailu (taimikonhoito, harvennukset) (Kuva 3). Eri toimenpiteillä vaikutetaan puuston kasvuun eri lähtökohdista. Esimerkiksi harvennuksilla säädellään puiden välistä kilpailua, kun taas kunnostusojituksilla varmistetaan tai parannetaan puiden kasvualustan laatua.

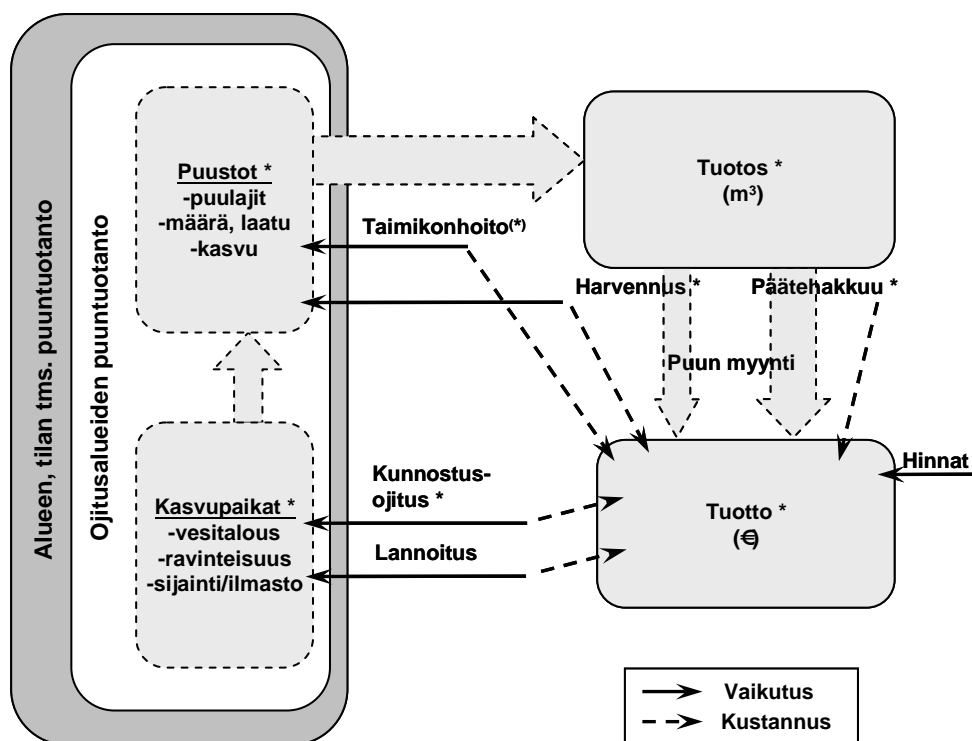
Harvennukset ja kunnostusojitukset ovat nykyisten ojitusaluemetsiemme keskeisimpiä työläjjejä. Taimikonhoitovaihe on jo pääosin ohitettu. VMI 10 mukaan vain runsas 10 % ojitusalueiden metsistä on kehitysluokaltaan taimikoita. Käytännössä taimikonhoitotöitä on jäänyt runsaasti tekemättä (Tomppo 2005), ja metsien kunnostamista edistetään nyt muun muassa nuoren metsän hoitoon suunnatulla valtion tuella. Ojitusalueiden taimikonhoitoa koskevaa tutkimusta ei juuri ole, vaan siinä sovellettavat periaatteet ovat peräisin kangas-

metsien kasvatuksesta. Taimikonhoidon uusimmat suositukset (Hyvän metsänhoidon... 2007) kohdistuvatkin pääasiassa jo seuraavan ojituksenjälkeisen puusukupolven hoitoon.

Uudistamistöiden painopiste sijoittuu puolestaan tulevaisuuteen. VMI 10 mukaan uudistuskypsiksi luokiteltujen metsien osuus ojitusaluemetsistä on alle 10 %. Puustojen varttuesa uudistettavien metsien osuus kasvaa. Osuutta lisää myös uudistuskypsyyssrajojen alentuminen viimeisimmissä metsänhoitosuosituksissa (Hyvän metsänhoidon... 2007).

Kaikkein viljavimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta ravinteiden niukkuus tai epätasapaino voivat rajoittaa ojitusaluemetsien puuston kasvua (mm. Moilanen ym. 2005). Niinpä ojitusalueiden metsänhoitoon sisältyy usein lannoituksia (Hyvän metsänhoidon... 2007). Terveyslannoituksilla korjataan vakavaa ravinteiden epätasapainoa, yleensä kaliumin tai boorin puutosta. Sopivilla kohteilla lannoitus voi olla myös hyvä investointi. Lisäämällä pääravinteita, fosforia (P), kaliumia (K) ja erityistapauksissa myös typpeä (N), on saatu huomattaviakin kasvunlisäyksiä riippuen lannoitushetkellä vallitsevista ravinnesuhteista (Moilanen 2005).

Kasvupaikan olosuhteiden muuttuvuus, puustojen erirakenteisuus ja kunnostusojituksen sisältyminen metsänhoitoon tekevät metsänkasvatuksen ojitusalueilla erilaisiksi kuin kangasmetsissä. Tämän vuoksi tarvitaan ojitusaluemetsien lähtökohdista tehtyä tutkimusta metsänhoidon vaikutuksista. Seuraavassa keskitytään tässä väitöskirjatutkimuksessa tarkasteltuihin metsänhoitotoimiin: harvennuksiin ja kunnostusojitukseen.



**Kuva 3.** Metsänkasvatus ojitusalueilla (ensimmäinen ojituksenjälkeinen puusukupolvi). Tässä tutkimuksessa tarkastellut osa-alueet on merkitty tähdellä.

### 1.3.2 Harvennukset

Metsikön kehittyessä puuston tiheys lisääntyy vähitellen niin paljon, että se alkaa haitata puiden kasvua. Heikentynyt kilpailuasema johtaa jossain vaiheessa puiden kuolemiseen. Puuston metsänhoidollista tilaa voidaan arvioida muun muassa puuston tiheyden, tilajärjestyksen sekä puulajisuhteiden ja kuolevien puiden määrän perusteella. Ojitusalueiden metsissä heikko metsänhoidollinen tila voi johtua puuston ylitiheydestä tai ryhmittäisyydestä sekä erityisesti turvekangastyypin II-varianteilla runsaasta koivun osuudesta. Nuoren metsän heikkoon metsänhoidolliseen tilaan on usein syynä taimikonhoidon laiminlyönti. Useimmiten heikkoa metsänhoidollista tilaa voidaan parantaa harvennuksella.

Etenkin puuston erirakenteisuudesta johtuen harvennusajankohdan ja -voimakkuuden arviointi ei ojitusalue metsissä ole aina yksiselitteistä. Harvennustarve voi vaihdella paljonkin epätasaisen metsikkökuvion eri osissa (vrt. Pukkala ja Miina 2005). Suurikaan runkoluku ei aina takaa taloudellisesti kannattavaa ensiharvennusta, ja toisaalta runkoluvultaan suhteellisen vähäinen puusto voi olla hoidon tarpeessa esimerkiksi ryhmittäisyyden vuoksi. Epätasaisuudesta johtuvat ongelmat ovat vähäisempiä toisissa harvennuksissa tai ensiharvennuksissa, joita on edeltänyt taimikonhoito.

Harvennustarvetta arvioidaan esimerkiksi vertaamalla puuston tiheystunnuksia (pohjapinta-ala, runkoluku) harvennussalleissa esitettyihin rajoihin. Paavilaisen ja Päiväsen (1995) mukaan harvennustarpeen määrittelyyn tulisi ojitusalueilla perustua kehitysluokkaan ja metsikkötason puuston tiheyteen, vaikkei harvemmissä kohdissa vielä harvennusta tarvittaisikaan. Metsänhoidollinen peruste harvennukselle onkin useimmiten nähty tärkeämmäksi kuin pohjapinta-alaan ja korjuutekniikkaan perustuvat näkökohdat (mm. Keltikangas ym. 1986). Tästä seuraa kuitenkin se, että ensiharvennuskertymät jäävät usein pieniksi.

Harvennussmallien toinen käyttötarkoitus on harvennuksen voimakkuuden säätely. Leimausrajan ja jäävän puuston määrän määrittämiseen liittyy yleensä metsänhoidollisten näkökohtien lisäksi myös tavoite riittävästä harvennuskertymästä ja puustopääoman tuotoskyvyn säilyttämisestä (Vuokila 1980). Käsitukset vaihtelevat siitä, tulisiko puuston tiheys määritellä erirakenteisessa puustossa pohjapinta-alan vai runkoluvun perusteella. Osittain tarve erilaisille malleille on peräisin käytännöstä – totuttu käytäntö puoltaa pohjapinta-alaan ja valtapituuteen perustuvia malleja, kun taas koneelliseen puunkorjuuseen kaivataan runkolukuperusteisia malleja. Eriperusteisten harvennussmallien keskinäistä paremmuutta ojitusalueiden metsille ei kuitenkaan ole tutkittu perusteellisesti. Paavilainen ja Päivänen (1995) arvioivat runkolukuperusteisten harvennussmallien soveltuvan paremmin ojitusalueiden ensiharvennuksille kuin pohjapinta-alaan ja valtapituuteen perustuvien tasarakenteisille puustoille laadittujen mallien (myös Eeronheimo 1991). Vuokilan (1980) mukaan hoideuissa metsissä runkolukumallit ja vastaavasti tiheissä ja hoitamattomissa pohjapinta-alamallit johtavat liian suuriin jäävän puuston määriin. Pohjapinta-alamallin käyttöä puoltaa toisaalta se, että harvennustapa ei vaikuta tulokseen (Vuokila 1980). Pohjapinta-alan voi myös katsoa kuvaavan puuston tiheyttä selvemmin kuin runkoluvun, sillä tiheissä erirakenteisissa puustoissa runkoluku vaihtelee vielä suuremmissa rajoissa kuin pohjapinta-ala, eikä näin ollen ole välttämättä hyvä indikaattori tiheydelle.

Harvennusten vaikutusta ojitusalue metsien puustojen kasvuun on tutkittu vähän. Tiettyjen kangasmetsistä havaittujen yleisperiaatteiden voi kuitenkin olettaa pätevän ojitusalueilakin. Muun muassa kokonaistuotosta harvennuksiset eivät yleensä lisää, mutta harvennuksissa saadaan talteen valtaosa siitä puumäärästä, joka muutoin menetettäisiin luonnonpoistumana ennen päätehakkua (mm. Vuokila 1980). Harvennusvaikutusten kannalta keskeisiä kangasmetsistä poikkeavia piirteitä ovat ojitusaluepuustojen erilainen rakenne ja kilpailu

sekä puuston rooli vesitalouden säätelyssä. Hökän ja Salmisen (2006) mukaan harvennusten vaikutukset voivat olla ojitusalueilla monimutkaisempia kuin kankailla, jos haihduttavan puuston väheneminen harvennuksissa nostaa pohjavesipinnan tasoa (Heikurainen ja Päivänen 1970, Päivänen 1982, Päivänen ja Sarkkola 2000, Jutras ym. 2006), mikä vuorostaan heijastuu takaisin puuston kasvuun sitä heikentäen.

Varsin monet ojitusalueiden metsiä koskevista harvennustutkimuksista käsittelevät hieskoivikon harvennusten vaikutuksia (mm. Ferm 1983, Saramäki 1977, Niemistö 1991). Männiköitä koskevia tutkimustuloksia ovat julkaisseet mm. Miina ja Pukkala (1995) sekä Miina (1996), jotka tarkastelivat erilaisten harvennuskäsittelyiden vaikutuksia simuloimalla karun ojitusalueen männikön kehitystä. Puuston tilajakauman huomioon ottavissa vertailuissa paras tulos saavutettiin kasvattamalla puustoa tiheämpänä ajourien ja ojien varsilla kuin muualla saralla. Hökkä ym. (1997) osoittivat puiden reagoivan harvennuksessa vähenevään kilpailuun lisäämällä kasvuun. Sarkkola ym. (2005) totesivat harvennusten vähentävän puuston rakenteellista epätasaisuutta ja nopeuttavan rakenteen kehitystä ojitusalueiden männiköissä. Puiden ravinnetilan paranemisesta harvennusten seurauksena ovat raportoineet Hökkä ym. (1996).

### *1.3.3 Kunnostusojitukset*

Kestävä puuntuotanto ojitusalueilla edellyttää sitä, että ensimmäisellä ojituksella aikaansaatuja puustolle suotuisia kasvuolosuhteita ylläpidetään tarvittaessa kunnostusojituksilla. Heikurainen (1984) arvioi, että 10 % ojitusalueista pysyy kunnossa kasvatusajan loppuun ilman kunnostusojitusta, 50 % edellyttää yhtä ojien perkauskertaa ja muut edellyttävät kunnostusta toistuvasti 20 vuoden välein. Kunnostusojitustarvetta arvioidaan muun muassa puustossa tapahtuvien muutosten perusteella. Kuivatuksen heikentymisen vaikutuksia voidaan nähdä puiden vuosikasvaimissa, vuosilustoissa ja neulasmassassa. Puiden elinvoimaisuus heikkenee, kasvu hidastuu ja kuolleisuus lisääntyy (Ahti ym. 1988). Puuston ilmasun lisäksi kunnostusojitustarvetta arvioidaan käytännössä myös pintakasvillisuuden sekä ojien kunnan perusteella. Koska myös puuston määrä vaikuttaa pohjavesipinnan tasoon (mm. Ahti ja Hökkä 2006), ojien kunto ei ole yksiselitteinen indikaattori kunnostusojitustarpeelle (myös Ahti ym. 1988, Lauhanen 1992, Hökkä ym. 2000).

Kunnostusojitusten puuston kasvua ylläpitävä ja elvyttävä vaikutus on osoitettu monissa tutkimuksissa (Ahti 1995, Ahti ja Päivänen 1997, Hökkä 1997a, Lauhanen ja Ahti 2001, Ahti 2005). Vaikutukset kuitenkin vaihtelevat melkoisesti eri tilanteissa ja kunnostustavoissa (Lauhanen ja Ahti 2001), ja usein lisäkasvu on jäänyt melko pieneksi. Esimerkiksi lyhyen ajan kokeellisissa tarkasteluissa lisäkasvu oli suuruudeltaan  $0,2\text{--}0,5\text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  ensimmäisen 10 vuoden aikana (Lauhanen ja Ahti 2001) ja jonkin verran suurempi kasvumalleilla 15–20 vuodelle tehdyissä simuloinneissa (Hökkä 1997a, Hytönen ja Aarnio 1998). Usein kunnostusojitusvaikutusten tutkimusta vaikeuttaa vertailukohtien puute, eli puute vastaavanlaisen puuston kehityksestä ilman kunnostusojitusta (Hökkä ja Kojola 2003).

Kasvun elpymiseen vaikuttaa se, miten hyvin kunnostusojitustarve arvioidaan ja toimenpiteen ajoitus onnistuu (Ahti ym. 1988). Useimmiten kunnostusojitus tehdään harvennuksen yhteydessä (Paavilainen ja Päivänen 1995, Hyvän metsänhoidon...2007), mikä ei aina ole suotuisien kasvuolosuhteiden säilyttämisen kannalta optimaalinen kunnostusojituksen ajankohta.

#### 1.4 Metsänkasvatuksen tulos

Poiketen kangasmailla käytetystä kiertoaikakäsitteestä on ojitetuilla soilla ensimmäisestä ojituksesta päätehakkuuseen kuluva ajanjakso kutsuttu kasvatusajaksi (Hökkä ja Penttilä 2005). Soilla puuston syntyajankohtaa on vaikea määrittää täsmällisesti, koska se jakautuu useiden vuosien, jopa vuosikymmenten, ajalle. Näin ollen kiertoaikakäsite ei ole suopuustoille yksiselitteinen. Varhaisin tiedossa oleva tapahtuma on yleensä ensimmäinen ojitus edustaen sitä ajankohtaa, jolloin suon varsinainen metsätalousoikeus on aloitettu.

Lähtökohdan metsänkasvatuksen tulokselle metsikkötasolla muodostavat kohteen puusto, kasvupaikka ja sijainti (Keltikangas ja Seppälä 1966, Vuokila 1980). Ojitusalueilla tulokseen vaikuttaa lisäksi ensimmäisen ojituksen onnistuminen. Sen jälkeen hyvään kokonaistulokseen pääseminen edellyttää oikeita toimenpidevalintoja kasvatusaikana. Tulosta voidaan mitata tuotoksen näkökulmasta tai taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta. Tulos syntyy koko kasvatusaikana talteen kerättävän ja myytävän puun määrästä, laadusta ja arvosta sekä puun tuottamisesta ja korjuusta aiheutuvista kustannuksista (Kuva 3). Tulos on myös suhteutettava sen saavuttamiseen tarvittavaan aikaan.

Taloudellisen kannattavuuden tarkasteluissa voidaan valita vaihtoehtoisia laskentamenetelmiä. Yleisesti käytetty menetelmä on nettotulojen nykyarvon menetelmä, NNA (engl. NPV, Net Present Value) (mm. Pearce ja Nash 1989, Raunihar ym. 2000, Venn 2005). Menetelmä soveltuu yleensä keskipitkän tai pitkän aikavälin tarkasteluihin siten, että se yhteismitallistaa eri ajankohtien tulot ja kustannukset päätöksentekohetkeen. NNA:n avulla voidaan arvioida tulevaisuudessa realisoituvien tulojen ja kustannusten vaikutuksia. Aikaisemmin realisoituvat tulot ovat arvokkaampia kuin myöhäisemmät, ja kustannusten painoarvo sitä pienempi, mitä myöhemmin ne lankeavat maksettaviksi. Toimenpidettä tai investointia pidetään yleensä kannattavana, jos NNA-laskelman tulos on positiivinen.

Toinen tapa arvioida kannattavuutta on laskea investoinnin sisäinen korko, toisin sanoen se korkotaso, jolla haluttuun ajanhetkeen diskontattujen tulojen ja kustannusten erotus on nolla. Saatua korkoa verrataan edelleen tavoitekorkotasoon. Investointia pidetään taloudellisesti perusteltuna, jos laskettu korkokanta ylittää tavoitekorkotason (Johansson ja Löfgren 1985, Aarnio ja Rantala 1999, Brukas ym. 2001). Myös vuotuisen tasatuoton (equivalent annual income, EAI) menetelmää (esim. Raunihar ym. 2000) sekä sijoitetun pääoman tuotto -menetelmää (return on investment, ROI) (esim. Ahtikoski ym. 2008) voidaan käyttää tilanteissa, joissa tarkastellaan yksittäistä tapahtumaa tai investointia.

Faustmannin kiertoaikamallia, jolla määritetään paljaan maan arvo, käytetään yleisesti metsätalouden kannattavuuslaskelmissa (mm. Hyytiäinen ja Tahvonen 2001). Käytännössä Faustmannin kiertoaikamallin soveltaminen kuitenkin edellyttää riittävää tietoa kaikista kiertoajan kustannuksista ja tuotoista. Näin ollen paljaan maan arvon soveltamista ojitusaluemetsien tarkasteluissa hankaloittaa se, että puustojen alkukehitys kustannuksineen joudutaan yleensä perustamaan moniin oletuksiin. Myöskään kiertoaika (vrt. kasvatusaika) ei voida yksiselitteisesti määrittää (Hawkins ym. 2006). Paljaan maan arvon laskenta perustuu nykyisen puusukupolven tietoihin. Ojitusalueilla on kuitenkin todennäköistä, että myöhemmät puusukupolvet poikkeavat ensimmäisestä sekä rakenteeltaan että kasvurytmiltään.

Metsätaloudellisissa tarkasteluissa 3 % korkokantaa voi pitää perinteisenä, ainakin suomalaisessa toimintaympäristössä (Pesonen ja Hirvelä 1992, Hyytiäinen ja Tahvonen 2005). Uusimman talousteorian tutkimukset suosittelivat pitkän aikavälin tarkasteluihin tätäkin pienempiä korkokantoja, ja jopa ajan funktiona pieneneviä laskentakorkokantoja (Hepburn ja Koundouri 2007).

Talouselaskelmien mukaan soiden kuivatus metsätalouskäyttöön on osoittautunut kannattavaksi toiminnaksi, kunhan ojitukset ovat kohdistuneet oikeille suotyypeille (Keltikangas ym. 1986, Päivänen 1997). Ojitusten kansantaloudellista kannattavuutta ovat tarkastelleet mm. Keltikangas ja Seppälä (1966, 1973). Yksityisen metsänomistajan näkökulmasta esimerkiksi Ptkg II-tasoisien suon ojituksen on todettu olevan kannattavaa Etelä-Suomessa 5 % korkovaatimuksella (Heikurainen 1980b, Mikkola ym. 2002, Aarnio 2004) ja Pohjois-Suomessa 3 % korkovaatimuksella (Aarnio 2004). Laskelmissa on huomioitu ojituksen jälkihoitoon kuuluvina taimikonhoidon ja kunnostusojituksen kustannukset.

Ylläpitoinvestoinnin luonteiseen kunnostusojitukseen sijoittaminen on myös todettu kannattavaksi toiminnaksi. Hytösen ja Aarnion (1998) mukaan kunnostusojitus oli kannattavaa karuhkoillakin ojitusalueilla, jos ensimmäisellä ojituksella oli saatu aikaan vähintään 30–50 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> puusto. Ahtikosken ym. (2008) tutkimuksessa kunnostusojitusinvestoinnille saatiin 1,6–3,7 % sisäinen korko pohjoisilla puolukka- ja mustikkaturvekankaiden II-varianteilla ja Hytösen ja Aarnion (1998) tutkimuksessa pääasiassa Pohjanmaan ja Keski-Suomen karuhkoilla kasvupaikoilla 2,5–5,5 % sisäinen korko riippuen kunnostusojituksen toteutustavasta.

Harvennusten taloudellisen merkityksen tutkimustulokset ovat yleensä peräisin kangasmailta, joilla harvennusten hyödyt, kuten aikaisemmat hakkuutulot, talteen saatavan käyttöpuun määrän lisääntyminen sekä jäävän puuston määrän ja arvon lisääntyminen, ovat selkeät (mm. Hyytiäinen ja Tahvonen 2001, Huuskonen ja Ahtikoski 2005, Hynynen ym. 2005). Nykytilanteessa, jossa ojitusaluiden nuorten metsien määrä on suuri, on tärkeää nostaa ensiharvennusten toteutumisastetta. Siksi, vaikka ensiharvennuksen lähtökohdat ovatkin ensisijaisesti metsänhoidolliset (mm. Vuokila 1980, 1981), on myös niiden kannattavuutta tarpeen parantaa. Tämä on mahdollista esimerkiksi hakkuukertymää suurentamalla (Ylimartimo ym. 2001, Sirén ja Aaltio 2003).

Puulajisuhteiden merkitystä ojitusalueiden metsänkasvatuksen tulokseen on arvioitu lähinnä koivun laadun kautta. Rungas hieskoivun osuus havupuuvaltaisessa ojitusalueemetsässä alentaa kokonaistuotosta sekä erityisesti tukkipuuntuotosta (Hynynen ym. 1997) ja sitä kautta myös taloudellista tulosta. Useimmiten ojitusalueiden koivun kasvatukselle asetetaan eri tavoite kuin männyn kasvatukselle (Niemistö 1991), ja parhaimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta hieskoivua kasvatetaan pelkästään kuitupuuksi (Hyvän metsänhoidon... 2007).

Ojitettujen soiden metsänkasvatuksen kohteita on tarkasteltava myös kriittisesti. Kaikki alkuperäiset ojitukset eivät ole tuottaneet tulosta toivotulla tavalla, joten investointeja metsänparannukseen ja metsänhoitoon on syytä harkita tarkkaan ja kaikkein heikoimmilla paikoilla luopua nykypuuston tai viimeistään seuraavien puusukupolvien kasvattamisesta (Hyvän metsänhoidon... 2007). Rajanveto metsätalouskäytön ulkopuolelle jätettävistä ojitusalueista on kuitenkin vaikeaa, ja kriteerit metsänkasvatukseen soveltumattomien soiden määrittelyä ovat vaihdelleet eri yhteyksissä (Paavilainen ja Päivänen 1995, Hyvän metsänhoidon... 2007).

Vaikka metsänkasvatus ojitetuilla soilla on selkeästi taloudellista toimintaa, useimmissa tutkimuksissa tulosta on mitattu puun tuotosta kuvaavilla mittareilla. Lisäksi monet tutkimuksista ovat keskittyneet yksittäisten toimenpiteiden, kuten ojituksen tai kunnostusojituksen vaikutuksiin sekä tarkastelleet suhteellisen lyhyitä ajanjaksoja. Harvennusten ja kunnostusojitusten yhteisiä vaikutuksia ei ole tutkittu, varsinkaan pätehtävyyteen saakka ulottuvina kasvatusketjuina. Taloudellisissa tarkasteluissa on keskitytty alkuperäisen ojitusinvestoinnin kannattavuuden ohella vain vähäisessä määrin kunnostusojitusinvestoinnin kannattavuuteen, eikä vaihtoehtoisten kasvatusketjujen talousvaikutuksia ole tutkittu. Eräs keskeisimmistä yksittäisistä toimenpiteistä on ensiharvennus, joten on tarpeen selvittää mahdollisuuksia myös sen kannattavuuden parantamiseen.

## 1.5 Tutkimus ja käytäntö

Suomalainen metsäojitustoiminta on kattavuudeltaan ja intensiivisyydeltään ainutlaatuista (Paavilainen ja Päivänen 1995), ja myös siihen liittyvä tutkimustoiminta on ollut vilkasta. Suometsien käyttöä koskevaa tutkimustietoa on saatavissa muistakin pohjoisen havumetsävyöhykkeen maista, muun muassa Venäjältä, Ruotsista, Norjasta, Baltian maista, Kanadasta sekä USA:n pohjoisosista. Useimmiten toisistaan poikkeavat metsänomistus- ja muut olosuhteet ovat kuitenkin johtaneet erilaisiin tutkimusongelmiin ja käytännön ratkaisuihin. Esimerkiksi Kanadassa suometsätaloutta harjoitetaan pääasiassa luonnontilaisilla soilla (Jeglum 1990, Päivänen 1997), ja se keskittyy voimakkaasti mustakuusen hyödyntämiseen (esim. Payandeh 1973, Groot ym. 1994). Ruotsalaisia suometsiä koskevat tutkimustulokset (esim. Holmen 1964, Nilsson ym. 1987, Hånell 1988, Sundström 1995) ovat suhteellisen hyvin Suomen oloihin verrattavissa (Hökkä ja Penttilä 1991).

Ojitusalue metsien kasvatukseen liittyvä tutkimus on aina ollut hyvin käytännönläheistä. Perustutkimus ja soveltava tutkimus kulkevat käsi kädessä. Tutkimusongelmat ovat olleet käytännössä esiin nousseita, ja vastaavasti tuloksia on pyritty siirtämään käytäntöön mahdollisimman nopeasti. Metsäojituksen tekniseen toteutukseen liittyvät seikat ovat saaneet runsaasti huomiota (Paavilainen ja Päivänen 1995). Keskeisiä reittejä tutkimustiedon välityksessä käytännön metsätaloudelle ovat olleet metsänparannusohjeet ja käsittelysuositukset. Metsänparannustoiminta on alkuajoistaan asti ollut varsin kiinteästi sidoksissa valtion rahoitukseen, alussa avustuksiin ja lainoihin ja myöhemmin tukeen (Aarnio 2004, 2005), mikä on osaltaan lisännyt ja ohjannut toimintaa yksityismetsissä.

Metsänkasvatuksen taloudellisen kannattavuuden näkökulma on keskeinen nykyisissä metsänhoitosuosituksissa (Hyvän metsänhoidon... 2006, Hyvän metsänhoidon... 2007). Erityisesti ojitusalueilla yksittäisten toimenpiteiden kannattavuutta arvioidaan huolella ja käytännön toimintoja pyritään keskittämään mahdollisimman tehokkaasti. Pinta-alaltaan tyypillisesti pienillä yksityismetsien kuvioilla puunkorjuun ja ojien kunnostuksen kustannustehokkuutta parannetaan yhteishankkeilla (Aarnio 2004, 2005) sekä kerralla kuntoon-periaatteella (Hyvän metsänhoidon... 2007). Kestävän metsätalouden rahoituslailla (1094/1996) edistetään kestävä metsätaloutta yksityismetsissä tukemalla muun muassa kunnostusojituksia ja nuoren metsän hoitoa (Hilska-Aaltonen 2008). Resurssien väheneminen johtaa entistä täsmällisempään priorisointiin niin metsänhoidon menetelmien kuin kohteidenkin valinnassa. Kannattavuuteen liittyvät myös toimenpiteiden ulkopuolelle, kunnostusojittamatta tai uudistamatta, jätettävien kohteiden määrittelyt.

Muun muassa metsien sertifiointi, metsälaki ja vesiensuojelulaki asettavat rajoja, joiden puitteissa metsätaloutta ojitetuilla soilla harjoitetaan. Tämä näkyy myös tutkimuksessa, jossa keskeisiä ojitetujen soiden käyttöön liittyviä aiheita ovat muun muassa kunnostusojitusten vesistövaikutukset (Saukkonen ja Kenttämies 1995) sekä metsänkasvatuksen vaikutukset kasvihuonekaasutaseisiin (Sarkkola 2008).

Ojitetujen soiden metsänhoidossa on näihin päiviin saakka ollut vallalla voimakas metsänparannushenki. Metsät on haluttu saattaa hyvään kuntoon ja tuottaviksi aktiivisella metsänhoidolla ja metsänparannustoimenpiteillä. Vasta viime aikoina on taloudellisen kannattavuuden näkökulma saanut voimakkaammin jalansijaa, mikä on lähempänä yksityisen metsänomistajain varainhoitoa kuin perinteistä metsänparannusajattelua. Näin ollen myös tutkimuksen näkökulma on muuttumassa.

## 1.6 Tutkimuksen tavoitteet

Tämän väitöskirjatutkimuksen tavoitteena oli selvittää harvennushakkuiden ja kunnostusojitusten erilaisten toimenpideyhdistelmien vaikutuksia ojitusaluemetsien kehitykseen, kasvatusajan kokonaistuotokseen, käyttöpuun tuotokseen ja metsänkasvatuksen taloudelliseen tulokseen erilaisilla kasvupaikoilla ja ilmastoalueilla. Tutkimuksen käytännön metsätalouteen kytkeytyvänä tavoitteena oli tuottaa perusteita omien käsittelysuositusten laadintaan ojitusalueiden metsille (Turvemaiden metsien... 2007, Hyvän metsänhoidon... 2007). Toteutusta varten tutkimus jaettiin neljään osatutkimukseen, joiden taustat ja tavoitteet olivat seuraavat.

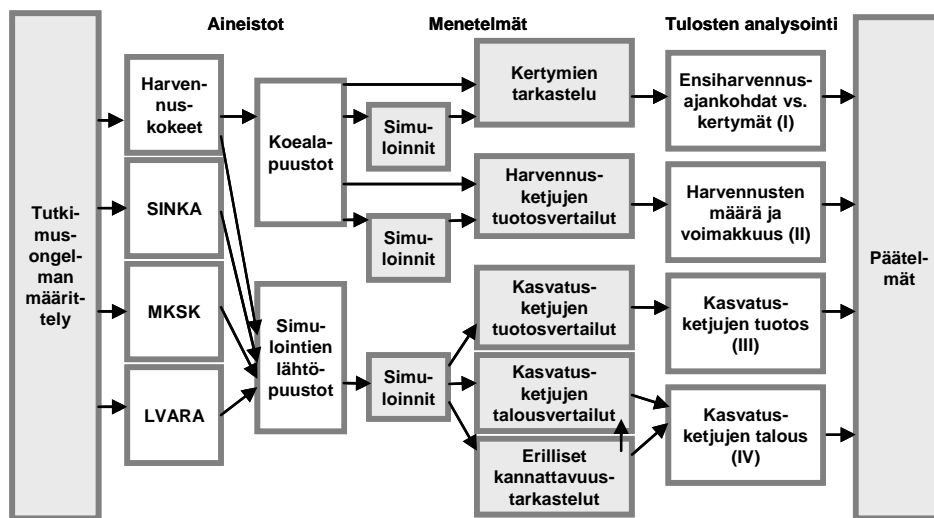
*I Ensiharvennusten harvennuskertymät ojitetuilla soilla.* Huolimatta metsänhoidollisista tarpeista, yleinen kiinnostus ojitusaluemetsien ensiharvennusten toteuttamiseen on ollut vähäistä. Syynä on muun muassa se, että ojitusaluemetsien harvennuskertymät ovat tai niiden uskotaan olevan pieniä. Harvennusten ajoittuminen suhteessa puuston kehitysvaiheeseen vaikuttaa oletettavasti kertymien suuruuteen. Osatutkimuksen I tavoitteena oli selvittää eri kehitysvaiheissa oleviin metsiköihin kohdistuvien ensiharvennusten avulla harvennusajankohdan vaikutusta harvennuskertymien ja jäävän puuston määrään ja rakenteeseen.

*II Erilaisten harvennusten vaikutus ojitusaluemetsien puuntuotokseen.* Erilaisten harvennusten sekä harventamatta jättämisen vaikutuksia ojitusaluemetsien kokonais- ja käyttöpuuntuotoksiin ei tunneta riittävästi. Käytännön toiminta on perustunut kangasmaiden käsittelysuositukseen. Harvennusten vaikutukset voivat kuitenkin olla ojitusaluemetsissä erilaisia kuin kangasmailla johtuen muun muassa puustojen heterogeenisestä rakenteesta ja kasvupaikan vesi- ja ravinnetalouden eroista. Osatutkimuksen II tavoitteena oli tutkia voimakkuudeltaan erilaisten harvennusten vaikutusta jäävän puuston kasvuun ja arvioida harvennusten vaikutuksia puuston kokonaistuotokseen ja keskimääräiseen kasvuun koko kasvatusajan kuluessa.

*III Kasvatusketjujen tuotosvertailu.* Kunnostusojitukset ja harvennukset vaikuttavat kumpikin osaltaan puuston kehitykseen. Ojitusaluemetsien käsittelysuositusten täsmentämiseksi tulisi löytää parhaiten soveltuvat toimenpideyhdistelmät eri kasvupaikkojen ja ilmastoalueiden tyypillisille puustoille. Osatutkimuksen III tavoitteena oli sekä selvittää ojitettujen soiden puuntuotospotentiaalia alueittain ja kasvupaikoittain että tutkia erilaisten toimenpideyhdistelmien (harvennukset ja kunnostusojitukset) vaikutusta puuston kehitykseen ja kokonaistuotokseen siten, että tuloksia voidaan hyödyntää myös ojitusaluemetsien omien käsittelysuositusten laadinnassa.

*IV Kasvatusketjujen talousvertailu.* Edellisessä osatutkimuksessa tarkasteltujen tuotosvaikutusten lisäksi on käsittelysuosituksia laadittaessa tunnistettava myös ne toimenpideyhdistelmät, jotka tuottavat kullekin kasvupaikalle ja puustolle taloudellisesti parhaan lopputuloksen metsänkasvatuksessa. Osatutkimuksen IV tavoitteena oli selvittää koko kasvatusketjun kannattavuuteen vaikuttavia tekijöitä siten, että tuloksia voidaan hyödyntää yhdessä tuotostulosten kanssa käsittelysuositusten laadinnassa.

Tutkimuksen pääväittäväksi kiteytyi seuraava: "Aktiivisella metsänhoidolla ja siinä tehdyillä valinnoilla voidaan parantaa puuntuotosta ja metsänkasvatuksen taloudellista tulosta ojitusalueiden mäntyvaltaisissa metsissä."



Kuva 4. Kaavio tutkimuskokonaisuudesta.

Tutkimuksessa keskityttiin ensimmäisen ojituksen jälkeisen puusukupolven kasvatukseen männiköissä ja mäntyvaltaisissa metsissä. Tarkastellut toimenpiteet ja niiden yhdistelmät ovat käytännössä toteutettavissa, eli ne ovat sekä puuntuotannon, talouden että riskien suhteen vertailukelpoisia. Koska lannoituksen vaikutusta ojitusaluemetsien kehitykseen kuvaavat mallit puuttuvat, lannoitus jätettiin näiden tarkastelujen ulkopuolelle. Taimikohdion merkitystä arvioitiin välillisesti käytettyjen aineistojen metsänhoidollisen tilan perusteella. Tarkastelut tehtiin metsikkötasolla ja yksittäisen metsänomistajan näkökulmasta.

## 2 AINEISTO JA MENETELMÄT

### 2.1 Lähestymistapa

Tutkimukselle asetettujen tavoitteiden mukaisesti mielenkiinto kohdistui ensiharvennusajankohdan ohella erityisesti pitkän aikavälin tuloksiin. Tämän vuoksi tutkimusta ei voitu toteuttaa pelkästään koeaineistoja tai inventointien poikkileikkausaineistoja analysoimalla, sillä suhteellisen lyhyestä historiasta johtuen koeaineistot kattavat vasta varsin pienen osan ojitusaluemetsien kehityksestä. Ojitusaluemetsien päätähakkuuseen ulottuva kehitys selvitettiin simuloimalla.

Osatutkimuksissa I ja II erillisiä ilmiöitä, kuten harvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutuksia, tarkasteltiin järjestettyjen harvennuskokeiden ja niiltä mitattujen puustojoukkojen kehitysennusteiden avulla (Kuva 4). Osatutkimuksissa III ja IV pitkän aikavälin tarkasteluja laajennettiin alueittain ja kasvupaikoittain edustaviin puustojoukkoihin hyödyntäen pääasiassa inventointiaineistoja. Harvennusten ja kunnostusojitusten lukuisille vaihtoehtoisille yhdistelmille simuloituista kehitysennusteista tuotettiin tietokanta analysoitavaksi tuotos- ja talousmittareilla.

Tutkimuksessa tuotetun simulointiaineiston avulla tuli saada tietoa ojitettujen soiden mäntyvaltaisten metsien puuntuotospotentialista sekä metsänhoitotoimien tuotos- ja talousvaikutuksista. Jotta tuloksista olisi hyötyä käytännön metsätaloudelle, simulointien lähtöpuustojen tuli edustaa tarkasteluajankohdalle tyypillisiä tilanteita, toisin sanoen niitä päättökenttilanteita, joissa valitaan toimenpiteitä ojitusaluemetsien jäljellä olevalle kasvatusajalle. Tarkasteluun valittujen toimenpideyhdistelmien tuli tuoda esiin erilaisten toteuttamistapojen tai toteuttamatta jättämisen vaikutukset metsänkasvatuksen tulokseen.

Simuloinnit tehtiin MOTTI-simulaattorilla, joka mahdollisti pitkän aikavälin metsikkökohtaisen tarkastelun ojitusaluemetsien kasvumalleilla (mm. Hökkä 1997a, Hynynen ym. 2002). Luontaisen dynamiikan lisäksi malleilla on kuvattu myös toimenpiteiden, kuten harvennuksen ja kunnostusojituksen vaikutuksia puuston määrän ja rakenteen kehitykseen. MOTTI-simulaattoria ja sen malleja käsitellään tarkemmin luvussa 2.4.

## 2.2 Aineistot

### 2.2.1 Aineiston valinta

Tutkimuksen aineistot valittiin siten, että ne edustivat i) ensimmäistä ojituksen jälkeistä puusukupolvea, ii) männiköitä ja mäntyvaltaisia metsiä, iii) keskeisiä männyn kasvupaikkoja, iv) Suomen ojitettujen soiden maantieteellistä jakaumaa, v) varttuneita taimikoita ja nuoria kasvatusmetsiä sekä lisäksi sellaisia metsiä, joilla todennäköisesti oli lähitulevaisuudessa vi) kunnostusojitustarvetta sekä mahdollisesti myös vii) harvennustarvetta.

Tietoja yllämainittujen rajausten mukaisista metsistä oli saatavissa Metsäntutkimuslaitoksen ojitettujen suometsien harvennuskokeista sekä suometsien pysyvien koealojen SINKA-aineistosta (Kuva 5). Näiden pohjoiseen painottuvasta alueellisesta jakaumasta johtuen Etelä-Suomen aineistoja täydennettiin kahdella tutkimusaineistolla: LVARA ja MKSK.

Harvennuskokeiden koealojen puustoilla selvitettiin sekä ensiharvennusten toteuttamisajankohdan vaikutusta ensiharvennuskertymien määrään (I) että harvennusten lukumäärän ja voimakkuuden tuotosvaikutuksia (II). Kaikista aineistoista muodostettujen lähtöpuustojen simuloinneilla tutkittiin harvennusten ja kunnostusojitusten yhteensovittamista, erilaisten toimenpiteiden tuotosvaikutuksia (III) ja kannattavuutta (IV) (Kuva 4).

### 2.2.2 Suometsien harvennuskokeiden aineisto

Metsäntutkimuslaitoksen ojitettujen suometsien harvennuskoeemetsiköt edustavat laajaa vaihteluväliä niin puustojen kehitysvaiheen (varttunut taimikko – varttunut kasvatusmetsä), kasvupaikkatyyppien (varputurvekangas – mustikkaturvekangas) kuin maantieteellisen sijainninkin (750 d.d.–1130 d.d.) suhteen (Penttilä 2001, Penttilä ym. 2005). Suometsien harvennuskokeet on perustettu vuosina 1987–1993 metsiköihin, jotka tuolloin edustivat käytännön metsätalouden tavanomaisia harvennushakkuuvaiheessa olevia puustoja. Taimikohdointo oli tehty viimeistään riukuvaiheessa. Alueiden ojitukset oli tehty 15–50 vuotta ennen kokeiden perustamista, minkä jälkeen kuivatusta oli tarpeen mukaan ylläpidetty kunnostusojituksin. Kokeet noudattavat lohkoittaisen järjestetyn kokeen koeasetelmaa. Koemetsiköihin, joiden kehitystä on seurattu viiden vuoden välein tehdyillä mittauksilla, kuuluu harventamattomien kontrollikoealojen lisäksi lievän, normaalin ja voimakkaan harvennuksen käsittelyjä.

Harvennuskokeiden aineistoja käytettiin kaikissa tämän työn osatutkimuksissa, mutta eri tavoin. Ensiharvennusajankohdan vaikutuksen tutkimiseen (I) käytettiin harventamattomien kontrollikoealojen tietoja viideltätoista kokeelta (I: Taulukko 1). Eri voimakkuudella harvennettujen puustojen kehitystä valituilla käsittelytavoilla (II) voitiin tarkastella harvennuskokeiden koejärjestelyn lähtökohdista. Kokeet olivat samat kuin ensimmäisessä osatutkimuksessa (II: Taulukko 1). Osaa harvennuskokeiden koealoista käytettiin myös kasvatusketjujen tuotos- ja talousvaikutustutkimuksissa (III, IV) simulointien lähtöpuustojen muodostamisessa.

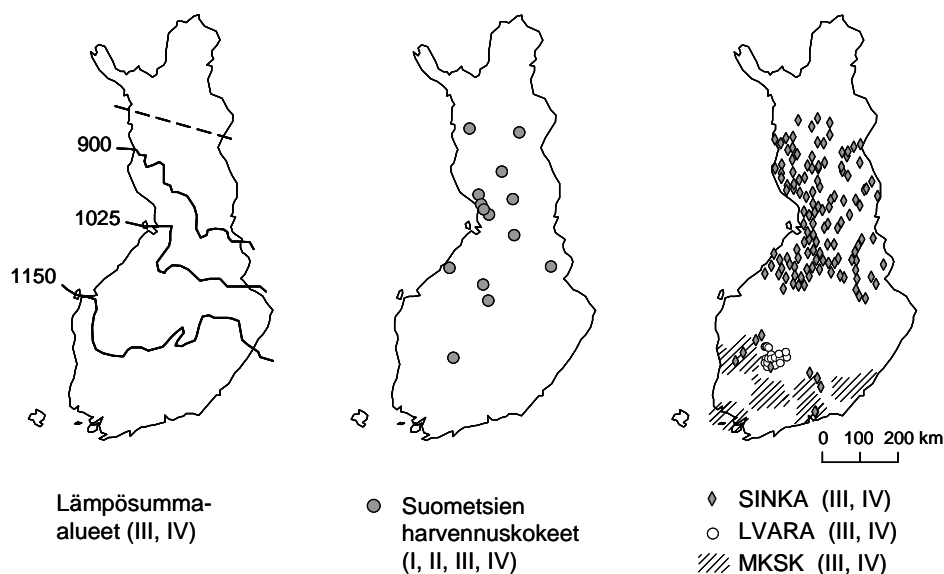
### 2.2.3 SINKA-aineisto

Suometsien pysyvien koealojen verkosto, SINKA-koealat, on perustettu suopuustojen kasvua ja tuotosta kuvaavan tutkimustiedon tuottamista varten (Penttilä ja Honkanen 1986). Erityisesti koealoilla on tuotettu tietoa metsikkö- ja puutason kasvumalleihin (Hökkä ym. 1997). SINKA-koealaverkosto on alaotos VMI 7:n koealoista (ositettu systemaattinen otanta, ositus ojitustilanteen, pääpuulajin ja kasvupaikan mukaan). Otosyksiköt (metsikkökuviot) olivat kasvupaikan ja kehitysluokan suhteen mahdollisimman homogeenisia ja niiden puustot metsänhoidollisen tilan suhteen vähintään tyydyttävässä kunnossa. Koealaverkosto on perustettu ja puusto mitattu ensimmäisen kerran vuosina 1984–1988. Toisen kerran puusto on mitattu 1988–1994, minkä jälkeen kunkin koealan mittaukset on toistettu viiden tai kymmenen vuoden välein. Yksi SINKA-koeala muodostuu kolmesta 40 metrin etäisyydellä toisistaan olevasta ympyräkoealasta. Yhdellä SINKA-koealalla on noin 100 mitattua runkoa, joiden minimiläpimitta on kehitysluokasta riippuen 2,5 tai 4,5 cm. Alkuperäistä SINKA-verkostoa viiden pohjoisimman silloisen piirimetsälautakunnan alueelta on täydennetty myöhemmin vuosina 1999–2003 perustetuilla Etelä-Suomen SINKA-koealoilla.

Tässä tutkimuksessa SINKA-koealat muodostivat keskeisen, inventointiin perustuvan aineiston kasvatusketjujen tuotos- ja talousvaikutusten tutkimiseen (III ja IV). SINKA-aineistoa käytettiin simulointien lähtöpuustojen muodostamisessa, mitä varten SINKA-tietokannasta poimittiin koealoja tutkimusaineistolle asetetun rajauksen mukaisesti edustamaan haluttuja kasvupaikkoja ja kehitysvaiheita.

### 2.2.4 MKSK-aineisto

Suomessa vuosina 1930–1978 metsäojitettujen soiden inventoinnin aineiston (Keltikangas ym. 1986) avulla täydennettiin puuston määrää ja rakennetta koskevaa tietoa Etelä-Suomen lähtöpuustoissa (III, IV). Inventoinnin tavoitteena oli arvioida siihenastisten ojitusten tuloksia ja taloudellisuutta. Aineisto perustui ositettuun systemaattiseen otantaan, jonka perusjoukkona olivat vuosina 1930–1978 toteutetut ojitushankkeet. Toisin kuin esimerkiksi tuon ajan VMI:ssä, aineisto oli erillisinventoinnissa mahdollista koota metsistä, joiden ojitusikä oli tiedossa. Vuosina 1979–1981 toteutetussa inventoinnissa puusto mitattiin linjoilla 200 metrin välein olevilta relaskoopikoealoilta. Tämän tutkimuksen simulointien lähtöpuustoissa (III, IV) käytettiin inventoinnin eteläisimmän, viisi kuntaryhmää käsittävän, pääalueen metsiä kuvaavia runkolukujakaumia suotyypeittäin ja ojitusikäluokittain. Tässä työssä aineistoa kutsutaan nimellä MKSK-aineisto.



**Kuva 5.** Osatutkimuksissa III ja IV käytetyt lämpösomma-alueet sekä osatutkimuksissa I–IV käytetyt aineistot.

### 2.2.5 LVARA-aineisto

Toinen Etelä-Suomea koskeva aineisto tuotos- ja taloustarkasteluihin (III, IV), jota kutsutaan tässä työssä LVARA-aineistoksi, saatiin Pirkka-Hämeen metsälautakunnan alueella ojitettujen nevarämeiden inventoinnista (Laiho ja Laine 1994). Aineisto oli koottu tutkimukseen, jossa tarkasteltiin muun muassa pintaturpeen ja puuston ravinnevarastojen muutoksia sekä kasvillisuusbiomassan dynamiikkaa ojituksen jälkeen. Vuosina 1987–1990 toteutetun inventoinnin otantakehikon muodostivat entisen Pirkka-Hämeen metsälautakunnan alueen (lämpösomma noin 1150–1250 d.d) ojitetut suot tietyiltä rämetyypeiltä. Aineiston 80 koealaa, joista 69 sijaitsi ojitetulla suolla, täyttivät kriteerit muun muassa ympäröivästä puolen hehtaarin suhteellisen tasaisesta kasvupaikkatyypistä, vähintään yhden metrin paksuisesta turvekerroksesta, ojitetuilla koealoilla tehokkaasta kuivatuksesta sekä hakkuin käsittelemättömistä puustoista. Aineiston ja siitä tehdyt tutkimukset kuvaavat Laiho (1997) sekä Laiho ja Laine (1994).

## 2.3 Menetelmät

### 2.3.1 Ensiharvennuskertymien tarkastelu

Suometsien harvennuskokeiden kontrollikoealojen jossain määrin eri kehitysvaiheissa olevat puustot tarjosivat mahdollisuuden tarkastella harvennusajankohdan vaikutusta hakkuukertymän määrään ja rakenteeseen sekä jäävään puustoon (I). Kontrollikoealojen puustot ryhmiteltiin aikaisiin, suositusten mukaisiin ja viivästyneisiin sen mukaan, miten kyseisellä ajankohdalla toteutettava ensiharvennus sijoittuisi suhteessa metsänhoitosuosituksen (Hyvän metsänhoidon... 2001) kangasmetsien harvennusmallin leimausrajaan (ensisijaisesti valtapi-

tuuteen, toissijaisesti pohjapinta-alaan). Koealojen puustoille tehtiin puustotietojen ja puukarttojen avulla harvennusmallien mukainen leimaus, jossa puuston määrä pudotettiin mahdollisimman lähelle harvennusmallien osoittamaa jäävän puuston pohjapinta-alaan. Poistettavien puiden valinnassa sovellettiin alaharvennuksen periaatetta mäntyä suosien. Valintaan vaikuttivat muun muassa puiden läpimitta, sijainti, puulaji, latvuskerros ja rungon laatu.

Koealapuustojen kehitysvaiheiden painottuessa tapauksiin, joissa harvennus toteutui aikaisin, saatiin lisähavaintoja suositusten mukaisista ja viivästyneistä harvennuksista simuloimalla koealapuustojen kehitystä eteenpäin ja toteuttamalla myöhäisempien ajankohtien harvennuksia simuloituina. Tulosten perusteella selvitettiin lähtöpuuston ja jäävän puuston tilaa sekä harvennuskertymän määrää ja rakennetta kuvaavia tunnuksia. Laskennoissa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksen Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelmaa KPL (Heinonen 1994) ja MOTTI-simulaattoria (luku 2.4). Puiden pituudet tasoitettiin Näslundin (1936) pituusmallilla koepuiden pituuksien perusteella, ja tilavuudet laskettiin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöillä.

### 2.3.2 *Harvennushakkuiden vaikutusten tarkastelu*

Kasvatusajalle sijoittuvien, voimakkuudeltaan erilaisten harvennusten vaikutusta jäävän puuston kasvuun ja kasvatusajan kokonaistuotokseen tutkittiin kasvatusketjuina (II). Harvennuksia sisältävät ketjut muodostettiin siten, että ensimmäiset harvennuksia (simuloinnin alku) olivat todellisia harvennuskokeen perustamisvaiheessa tehtyjä harvennuksia ja seuraavat harvennuksia simuloitiin samalla, kun puuston jatkokehitys ennustettiin päätehakkuuseen saakka. Tarkasteltuihin ketjuihin sisältyi i) puuston kasvattaminen ilman harvennuksia (kontrolli), ii) lievästi käsitellyn puuston viivästynyt harvennus, iii) suositusten mukainen harvennusten sarja sekä iv) voimakkaiden harvennusten sarja.

Sekä todelliset että simuloitujen harvennuksien toteutettiin metsänhoitosuositusten (Hyvän metsänhoidon... 2001) kangasmetsien harvennusmallien mukaan siten, että normaalissa harvennuksessa puuston pohjapinta-ala tuli suositusten mukaiseksi, kun taas lievässä päädyttiin 30 % suurempaan ja voimakkaassa 30 % pienempään pohjapinta-alaan. Todellisissa harvennuksissa tasoitettiin ensisijaisesti ryhmittäisyyttä. Simuloituissa harvennuksissa jäävän puuston valinta tehtiin vain lievästi alaharvennusten tapaan. Koska simuloituissa harvennuksissa ei ollut mahdollista tehdä puukohtaista jäävän puuston valintaa, pyrittiin tällä toimintaperiaatteella kuvaamaan erirakenteisissa ojitusalueiden metsissä useimmiten käytettyä harvennustapaa. Siinä pääperiaatteiltaan alaharvennusta noudattelevassa hakuussa poistetaan tarpeen mukaan myös heikkolaatuisia läpimittajakauman suurimpia ja usein myös iäkkäimpiä puita.

Päätehakkuu toteutettiin metsänhoitosuosituksissa kullekin alueelle ja kasvupaikalle määriteltyjen uudistamisläpimittojen alarajojen täyttyessä. MOTTI-simulointien avulla tarkasteltiin eri ketjujen tuottamien tilavuuksien kehitystä, kokonaistuotosta sekä hakkuupoistumien määrää ja rakennetta koealueittain sekä kasvupaikan tuotoskyvyn mukaisina ryhminä. Tuotoskykyä kuvattiin myös keskimääräisen vuotuisen kokonaiskasvun ja käyttöpuun kasvun tunnuksilla. Tarkastelussa keskityttiin pelkästään harvennuksiin, joten oletettiin, että ojitusalueiden kuivatustila säilyi koko ajan hyvänä. Simulointien onnistumista arvioitiin vertaamalla simuloituja tilavuuksia koealojen toisen ja kolmannen mittauksen tuloksiin.

### 2.3.3 Kasvatusketjujen tuotos- ja talousvaikutusten tarkastelu

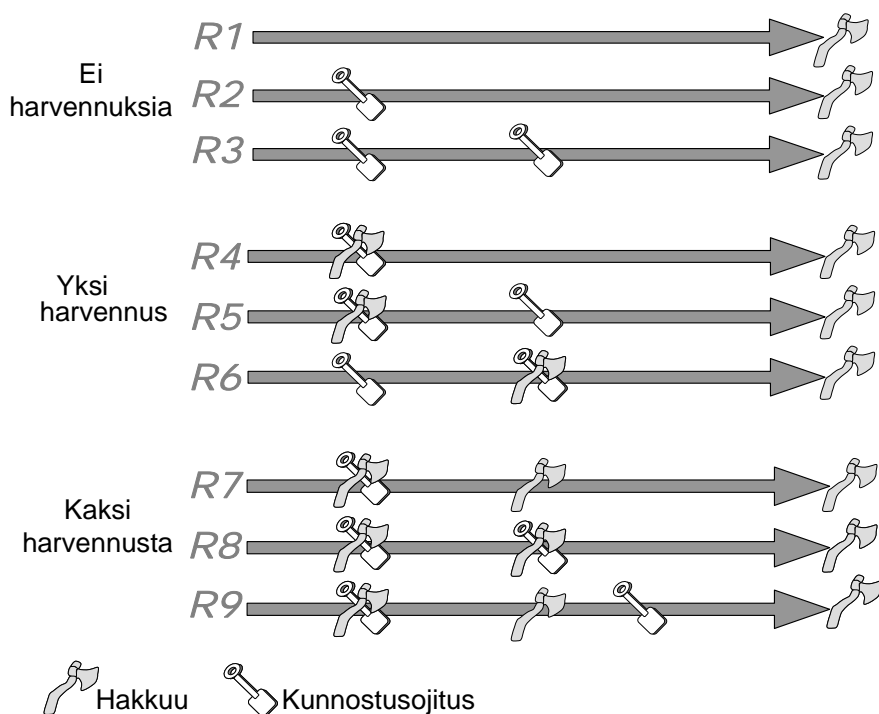
Kasvatusaikana toteutettavien toimenpiteiden tuotos- ja talousvaikutusten tarkastelemiseksi (III, IV) muodostettiin simulointien lähtöpuustot SINKA-koealojen, harvennuskokeiden sekä LVARA- ja MKSK-aineistojen mittaustietojen perusteella. Tavoitteena oli muodostaa lähtöpuustot, jotka edustivat männyn kasvatukseen soveltuvien ojitusalueiden tilaa 15–20 vuotta ensimmäisen ojituksen jälkeen. Alueet edustivat neljää lämpösumma-aluetta (Kuva 5), kasvupaikat neljää turvekangastyyppeä (Vatkg, Ptkg I, Ptkg II, Mtkg II), kehitysvaiheet varttuneita taimikoita ja nuoria kasvatusmetsiä ja metsänhoidollinen tila kahta luokkaa välittömän hoidon tai harvennuksen tarpeen perusteella. Metsänhoidollinen tila ilmaistiin kahden luokkana: A-metsiköt edustivat hyväkuntoisia, oletettavasti taimikonhoidoin käsiteltyjä metsiä, joilla ei ollut välitöntä hoidon tarvetta, ja B-metsiköt heikkokuntoisia, ylitihedyn, ryhmittäisyyden tai koivun runsauden vuoksi hoidon tarpeessa olevia metsiä.

Muodostamalla yksi lähtöpuusto kutakin edellä mainittujen tekijöiden muodostamaa ryhmää kohden saatiin simulointien määrä pidettyä kohtuullisena. Kaikkiaan 40 lähtöpuustossa käytettiin 288 erillisen koealan mittaustietoja sekä MKSK-aineiston kasvupaikoittain keskimääräisiä runkolukujakaumia. Koska lähtöpuustot muodostettiin aina kutakin ryhmää edustavien metsien runkolukusarjoista, lähtöpuustoissa säilyi varsin hyvin kullekin tilanteelle tyypillinen puustorakenne.

Simulointien aloittaminen varttuneesta taimikosta tai nuoresta metsästä sekä tilanteesta parikymmentä vuotta ensimmäisen ojituksen jälkeen oli perusteltua, koska puustojen tiheys on siinä vaiheessa yleensä jo vakiintunut eikä runkojen määrä oleellisesti enää lisääntynyt (Hökkä ja Laine 1988, Sarkkola ym. 2005). Toisaalta myös oijen kunto on alkanut heiketä (Heikurainen 1980a, Keltikangas ym. 1986, Lauhanen ym. 1998), joten kunnostusojitustarpeen ja -vaikutusten arviointi on ajankohtaista.

Simuloitaviksi käsittelyvaihtoehdoiksi eli kasvatusketjuiksi määriteltiin yhdeksän peruskasvatusketjua (Kuva 6). Simuloinnit alkoivat varttuneesta taimikosta tai nuoresta kasvatusmetsästä ja kattoivat jäljellä olevan kasvatusajan. Peruskasvatusketjuihin kuului passiivisen metsänhoidon ketjun (R1) ohella kahdeksan kunnostusojitusten ja harvennusten yhdistelmää (R2–R9). Peruskasvatusketjuja muunneltiin vaihtelemalla toimenpiteiden ajankohtia ja harvennuksen voimakkuutta. Passiivisessa kasvatusketjussa metsän annettiin kasvaa ilman toimenpiteitä päätehakkuuseen saakka.

Harvennusajankohdat suhteutettiin puuston runkoluvun ja keskiläpimitan mukaan mallinnettuun itseharvenemisrajaan (Hynynen 1993). Näin eri tilanteiden harvennukset pyrittiin sitomaan metsikön suhteelliseen tiheyteen. Harvennukset toteutettiin puuston keskiläpimitan ja tiheyden suhteen saavuttaessa 60 %, 70 % tai 80 % itseharvenemisrajasta. Erilaiset harvennusvoimakkuudet määritettiin poistuman 20 %, 33 % tai 50 % osuutena elävän puuston tilavuudesta. Ensimmäisissä harvennuksissa pyrittiin alentamaan koivun osuutta voimakkaasti, mutta ei kuitenkaan alle 10 % tilavuusosuuden. Kunnostusojitukset toteutettiin joko harvennusten yhteydessä tai erikseen. Erillisten kunnostusojitusten ajankohdat määrittyivät simulaattorin mallin ennustamina. Päätehakkuut toteutettiin kun metsänhoitosuosituksen mukaiset keskiläpimittavaatimukset täyttyivät. MOTTI-simulaattorilla (luku 2.4) simuloitiin lähtöpuustoille kaikkiaan noin 700 kasvatusketjujen mukaista puustokehitystä.



**Kuva 6.** Peruskasvatusketjuihin R1-R9 sisältyvät toimenpiteet (III, IV). R1 on ns. passiivinen kasvatusketju.

Tuotokseen keskittyvässä osatutkimuksessa (III) mukana olivat kaikkien lähtöpuustojen (40 kpl) simuloinnit. Talouteen keskittyvässä osatutkimuksessa (IV) rajoitettiin nuoren kasvatusmetsän lähtöpuustoihin ja tarkasteltiin erikseen metsänhoidolliselta tilaltaan hyvässä (15 kpl) ja huonossa kunnossa (14 kpl) olevia lähtöpuustoja. Sekä tuotoksen näkökulmasta (III) että taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta (IV) arvioitiin eri tekijöiden vaikutuksia metsänkasvatuksen tulokseen ja valittiin parhaat kasvatusketjut kullekin lähtöpuustolle. Lisäksi arvioitiin päätehakkuaajankohdan merkitystä tulokseen alkuperäisen päätehakkuaajankohdan (alin suositusläpimitta) sekä 10, 20 ja 30 vuotta sitä aikaisempien ajankohtien tulosten perusteella.

#### 2.4 Ojitusalue metsien kehitys ja metsänhoidon vaikutukset MOTTI-simulaattorissa

MOTTI on Metsätutkimuslaitoksessa kehitetty ohjelmisto puuston kehityksen ennustamiseen (Matala ym. 2003, Hynynen ym. 2005, Salminen ym. 2005). Simulaattorissa olevat puuston kehitystä kuvaavat mallit ovat pääosin samat kuin käytännön metsätaloudessa ja pitkän ajan kehityssuunnusteissa paljon käytetyssä MELA-ohjelmistossa (Siitonen ym. 1996). MOTILLA ennustetaan kerrallaan yhden metsikön kehitystä, kun taas MELA soveltuu laajempien metsäalueiden ennusteiden ja optimointilaskelmien tekoon.

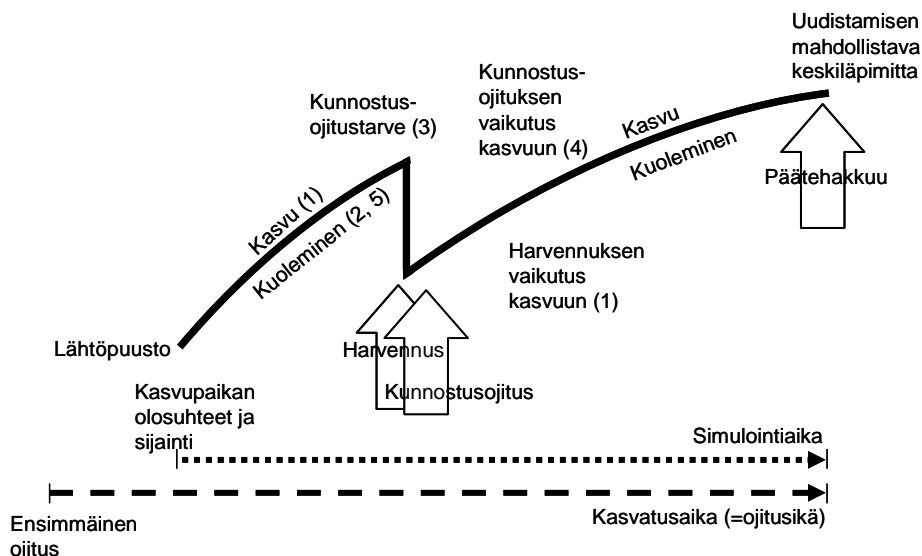
MOTTIIN sisältyy ojitusaluemetsien puustojen kehitystä kuvaavat mallit (Hynynen ym. 2002, Hökkä ja Salminen 2006). Ne kuvaavat ensimmäisen ojituksenjälkeisen puusukupolven kehitystä. Mallien täydentyminen kattamaan puuston maantieteellisen sijainnin ja kasvupaikan mukaisen kasvun, kilpailun ja kuoleamisen lisäksi myös harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutukset (Kuva 7) on mahdollistanut tässä väitöskirjatutkimuksessa tehdyt simuloinnit. Kaikki simuloinnit toteutettiin samalla MOTTI-ohjelmiston tutkimuskäyttöön laaditulla kehitysversiolla. Työn alkuvaiheissa simulaattorin toiminta valittujen kasvatustekijöiden edellyttämässä simuloinneissa varmistettiin lukuisilla testisimuloinneilla.

Metsikön kasvua ja kehitystä kuvaavat MOTIN mallit ovat empiirisiä malleja, ja niiden käyttö on yleensä mahdollista inventointiaineistoille tavanomaisten puusto- ja kasvupaikkatunnusten avulla. MOTTI ennustaa annetun lähtöpuuston kehityksen etäisyydestä riippumattomilla yksittäisten puiden kasvumalleilla viiden vuoden askelissa. Runkolukusarjan (kuvauspuiden) puuttuessa lähtöpuuston muodostamiseen voidaan käyttää jakaumamalleja (Siipilehto ym. 2007) ja ennustaa jakauma metsikön keskittunuksista. Tämän työn simuloinneissa lähtöpuustojen rakenne tunnettiin puukohtaisesti.

Simulointi etenee seuraavin vaihein: Lähtöpuuston puiden läpimittojen perusteella ennustetaan puiden pituudet pituus-läpimittamallilla (Hökkä 1997b). Tämän jälkeen yksittäisten puiden tilavuudet lasketaan Laasasenahon (1982) yhtälöillä. Pohjapinta-alan kasvumallilla (Hökkä ym. 1997) ennustetaan puiden seuraava viiden vuoden kasvu, minkä jälkeen pituustiedot päivitetään pituus-läpimittamallilla. Pituuskasvu saadaan viiden vuoden jakson alku- ja loppupituuksien erotuksena.

Kangasmaiden malleista poiketen ojitusaluemetsien ennusteissa on pystyttävä ottamaan huomioon myös muutokset kasvupaikan kuivatustilassa. MOTIN malleissa nämä muutokset kuvautuvat pohjapinta-alan kasvumallien kautta puuston kehitykseen (Hökkä ym. 1997, Hynynen ym. 2002). Ensimmäisen ojituksen jälkeen puuston pohjapinta-alan kasvu paranee portaittain ajan funktiona 25 vuoteen saakka ja vakiintuu sen jälkeen (Hökkä ym. 1997). Ojien huono kunto, minkä todennäköisyyttä ennustetaan kunnostusojitustarvemallilla ojituksesta kuluneen ajan ja suon sijainnin perusteella (Hökkä ym. 2000), alentaa kaikkien puiden kasvua pohjapinta-alan kasvumallin kautta. Hökkä ym. (2000) mukaan näissä kasvumalleissa kunnostusojitusten tekemättä jättäminen kunnostusojitustarpeessa olevassa metsikössä aiheuttaa noin 15 % alhaisemman kasvun tason hyvään vesitalouden tilaan verrattuna.

Kunnostusojituksella saadaan aikaan 25–30 vuotta kestävä ja viiden vuoden jaksoissa vaihteleva kasvureaktio ennustetussa metsikkötason pohjapinta-alan kasvussa. Ensimmäisen kunnostusojituksen aikaansaama reaktio on erisuuruinen riippuen kasvupaikasta, lämpösommasta ja kunnostushetken puuston pohjapinta-alasta. Seuraavissa kunnostusojituksissa kasvuvaste ennustetaan kasvumallin (Hökkä ym. 1997) tasokorjauksella (Hökkä ja Kojola 2003, Hökkä ja Salminen 2006). Kunnostusojituksen metsikkötasolle tuottama kasvun lisäys jaetaan yksittäisille puille siten, että lisäys on suhteessa kunkin puun edeltävään viisivuotiskasvuun. Edeltävän kasvun vaikutusta kunnostusojitusreaktioon ovat tarkastelleet muun muassa Hökkä ja Kojola (2002). MOTIN ennustamat kunnostusojituksen suhteelliset kasvureaktiot ovat suurimmat vähäpuustoisilla pohjoisen soilla (myös Lauhanen ja Ahti 2001). Turvekangastyypin II-varianteilla reaktio on suurempi kuin aitojen suotyyppien ojitusalueilla. Simuloinneissa metsikön tiheys vaikuttaa kunnostusojitusreaktion suuruuteen siten, että tiheässä puustossa kasvua lisäävää vaikutusta ei ole mahdollista hyödyntää täysimääräisesti (Hökkä ja Salminen 2006).



**Kuva 7.** Simulointien periaate ja erityisesti ojitusalueiden kehitykseen vaikuttavat MOTTI-simulaattorin mallit (ks. Hökkä ja Salminen (2006), muut MOTTIIN sisältyvät mallit Hynynen ym. (2002)).

- (1) Pohjapinta-alan kasvumalli, joka sisältää harvennuksen kasvureaktiovaikutuksen (Hökkä ym. 1997), ja pituus-läpimittamalli (Hökkä 1997b)
- (2) Puiden kuolemistodennäköisyysmalli (Jutras ym. 2003, Nuutinen ym. 2004)
- (3) Kunnostusojituksen tarve (ojituksen/kuivatuksen tila) (Hökkä ym. 2000)
- (4) Pohjapinta-alan kasvun vaste kunnostusojitukseen (Hökkä ym. 1997, Hökkä ja Kojola 2003, Hökkä ja Salminen 2006).
- (5) Itseharvennemismalli (Hynynen 1993, Hynynen ym. 2002)

Harvennus saa pohjapinta-alan kasvumallin mukaisissa kasvuissa aikaan pienehkön, viisi vuotta kestävästä positiivisesta kasvureaktiosta (Hökkä ym. 1997). Puiden kasvu kuitenkin jatkuu parempana jonkin verran pidempään, sillä harvennus vähentää kasvua rajoittavien kilpailutekijöiden vaikutusta (Hynynen ym. 2002).

Puutason kuolemissalleilla ennustetaan yksittäisten puiden kuolemisen todennäköisyyttä (Jutras ym. 2003). Siihen vaikuttavat puun koko ja kilpailuasema, metsikön tiheys, puulajisuhteet ja kasvupaikka. Suopuustoille ominaista kilpailudynamiikkaa kuvastava kuolemissmalli ei ole kuitenkaan käytössä varputurvekankaan kasvupaikoilla, vaan niillä käytetään samaa mallia kuin kuivan kankaan mäntyjen kuolemistodennäköisyyttä ennustettaessa (Hynynen ym. 2002). Myös muilla kasvupaikoilla kangasmaiden aineistoista laaditut metsikkötason itseharvennemismallit alkavat vaikuttaa, mikäli puuston tiheys kasvaa liikaa suopuustojen kuolemissmallista huolimatta (Hynynen 1993, Hynynen ym. 2002).

MOTIN mallit on kalibroitu VMI 8:n aineistolla (Hynynen ym. 2002). Rungoista mittojen perusteella kertyvän tukkipuun määrä voitiin myös kalibroida tukkivähennysmallilla (Hynynen ym. 2002) keskimääräisten laatuodotusten mukaiseksi. Harvennuskokeiden aineistoissa (I, II) voitiin pituus-läpimittamallin ennuste kalibroida koepuiden mitatuilla pituuksilla, muissa tapauksissa (III) pituudet ennustettiin pituus-läpimittamallilla (Hökkä 1997b).

## 2.5 Laskennat ja analyysit

### 2.5.1 Tuotoslaskelmat

Tässä väitöskirjatyössä MOTTI-simulaattorilla tehdyt ennusteet pitäytyvät puuston kehitysennusteissa. Keskimääräisten kasvujen sekä taloustulosten laskennat tehtiin simulointitulosten perusteella erikseen.

Tutkimuksen eräänä keskeisenä osana kasvatusketjujen ja niiden kasvuvaikutusten ohel-la oli alueittaisten ja kasvupaikoittaisten kokonaistuotosten arvioiminen (II, III). Metsän sijainnin ja kasvupaikan mukaista, joko ilman metsänhoitotoimenpiteitä tai niiden tuloksena syntyneitä tuotospotentiaalia kuvattiin kokonaistuotoksella ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ), käyttöpuun kokonaistuotoksella ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ) sekä kertymien puulaji- ja puutavaralajirakenteella.

Kokonaistuotokset ja käyttöpuun kokonaistuotokset ennustettiin MOTTI-simulaattorin kasvu- ja kuolemismalleilla. Koska simulointien lähtöpuustot olivat varttuneita taimikoita ja nuoria kasvatusmetsiä, puustojen alkukehitystä ensimmäisestä ojituksesta lähtöpuustoksi ei pääosin tunnettu. Osatutkimuksessa II luonnonpoistuman määrä ennen harvennuskokeiden perustamista, samoin kuin osatutkimuksessa III ennen lähtöpuustojen muodostamista, ei ollut tiedossa. Näin ollen laskelmissa oletettiin, ettei kyseisellä jaksolla ollut muodostunut luonnonpoistumaa. Myös mahdolliset taimikonhoidon poistumat jätettiin huomiotta. Sen sijaan osatutkimuksessa II arvioitiin harvennuskokeiden perustamisen yhteydessä syntyneet harvennuspoistumat saman kokeen kontrollikoealan ja kunkin harvennetun koealan puustojen tilavuuseron perusteella.

Toimenpiteiden kasvuvaikutuksia ja kasvatusketjujen eroja vertailtiin keskimääräisen vuotuisen kokonaiskasvun ( $\text{MAI}_{\text{tot}}$ , [Mean Annual Increment],  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ) sekä keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun ( $\text{MAI}_{\text{merch}}$ ,  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ) avulla (II, III). Osatutkimuksissa II ja III  $\text{MAI}_{\text{tot}}$  ja  $\text{MAI}_{\text{merch}}$  laskettiin hieman toisistaan poiketen. Osatutkimuksessa II metsiköiden todelliset ojitusajankohdat olivat tiedossa, joten jakajana oli mahdollista käyttää kasvatusaikaa. Osatutkimuksessa III keskimääräisten vuotuisten kasvujen laskennassa käytettiin jakajana simulointiaikaa eli aikaa simuloinnin alusta päätehakkuuseen (Kuva 7). Loppupuustosta vähennettiin simuloinnin alkuhetken puusto, jolloin tuloksissa esitetyt kasvut koskevat simulointiajan kuluessa tapahtunutta kasvua. Tämä palveli paremmin tutkimuksen päätarkoitusta eli kasvatusketjujen vertailua.

Keskimääräinen vuotuinen kokonaiskasvu laskettiin seuraavasti:

$$\text{MAI}_{\text{tot}} = (V_{ph} + V_h + V_{lp} - V_{ap})/T \quad (1)$$

$\text{MAI}_{\text{tot}}$  = keskimääräinen vuotuinen kokonaiskasvu,  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$

$V_{ph}$  = elävä kokonaispuusto simuloinnin lopussa,  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  (päätehakkuupuusto)

$V_h$  = harvennusten yhteenlaskettu poistuma,  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$

$V_{lp}$  = luonnonpoistuma,  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$

$V_{ap}$  = alkupuusto,  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$

=  $0 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (osatutkimus II)

= elävä kokonaispuusto simuloinnin alussa,  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$  (osatutkimus III)

$T$  = kasvatusaika, vuosia (osatutkimus II)

= simulointiaika, vuosia (osatutkimus III)

Keskimääräinen vuotuinen käyttöpuun kasvu laskettiin kuten  $MAI_{tot}$  mutta pois lukien hukkapuu ja luonnonpoistuma:

$$MAI_{merch} = (V_{phk} + V_{hk} - V_{apk})/T \quad (2)$$

$MAI_{merch}$  = keskimääräinen vuotuinen käyttöpuun kasvu,  $m^3ha^{-1}a^{-1}$

$V_{phk}$  = tukki- ja kuitupuu simuloinnin lopussa,  $m^3ha^{-1}$  (päätehakkuupuustossa)

$V_{hk}$  = harvennuksista kertynyt tukki- ja kuitupuu,  $m^3ha^{-1}$

$V_{apk}$  = tukki- ja kuitupuu alkupuustossa,  $m^3ha^{-1}$

=  $0 m^3ha^{-1}$  (osatutkimus II)

= tukki- ja kuitupuu simuloinnin alussa,  $m^3ha^{-1}$  (osatutkimus III)

$T$  = kasvatusaika, vuosia (osatutkimus II)

= simulointiaika, vuosia (osatutkimus III)

### 2.5.2 Talouslaskelmat

Toimenpiteiden vaikutuksia sekä kasvatusketjujen eroja taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta tarkasteltiin simulointien alkuhetkeen (nuori kasvatusmetsä, ojitusikä 20 vuotta) diskontattujen nettotulojen avulla. Laskennat tehtiin noudattaen kaavaa 3, joka on mukailtu Raunikaar'n ym. (2000, s. 333) esittämästä nettotulojen nykyarvon kaavasta. Ojitusalue metsien kasvatusketjujen vertailuun valittiin NNA-menetelmä, koska tutkimuksessa nimenomaan haluttiin tarkastella jäljellä olevaa kasvatusaikaa sellaisten tyypillisten ensiharvennusajankohtaa lähestyvien ojitusalue metsien näkökulmasta, joissa on aika tehdä päätöksiä tulevan kasvatusajan toimenpiteistä.

$$NPV = \sum_{i=0}^t \left( \frac{H_i}{(1+r)^i} + \frac{V_t}{(1+r)^t} \right) - \sum_{i=0}^l \frac{C_i}{(1+r)^i} \quad (3)$$

$NPV$  = nettotulojen nykyarvo (NNA) metsikkötasolla,  $€ha^{-1}$

$H_i$  = hakkuutulo ajanhetkellä  $i$ ,  $€ha^{-1}$

$C_i$  = kunnostusojituskustannus ajanhetkellä  $i$ ,  $€ha^{-1}$

$i$  = aika simuloinnin alusta, vuosia

$V_t$  = elävän puuston arvo simuloinnin lopussa,  $€ha^{-1}$  (= päätehakkuutulo ajanhetkellä  $t$ )

$t$  = simulointiaika, vuosia

$l$  = aika simuloinnin alusta kunnostusojituksen ajankohtaan, vuosia ( $t > l$ )

$r$  = korkovaatimus

NNA-laskelmat perustuivat simulointien mukaisiin hakkuukertymiin ja annettujen mita- ja laatuperiaatteiden mukaiseen puutavaralajien apteeraukseen (III, IV). Laskelmissa puutavaralajien hintoina käytettiin kantohintoja ( $€m^{-3}$ ). Samalla oletettiin, etteivät korjuukustannukset vaihdelleet kasvatusketjujen eri hakkuissa. Hinnat olivat kaikilla lämpösumma-alueilla samat, ja ne perustuivat tilastoituihin vuoden 2003 koko maan keskimääräisiin hintoihin (Metinfo 2007). Kunnostusojituskustannus perustui niin ikään tilastoituihin yksityismetsätalouden kustannuksiin ja sisälsi suunnittelun ja työnjohdon kustannukset. Tutkimuksen IV päätulokset laskettiin käyttäen 3 % korkokantaa.

Osassa simuloituja ensiharvennuksia kertymät jäivät erittäin pieniksi. Silloin niiden ei oletettu enää olevan varsinaisina kaupallisina hakkuina toteutettavia kohteita vaan harvennusta pidettiin paremminkin nuoren metsän kunnostamisena laiminlyödyn taimikonhoidon jälkeen. Nämä tapaukset otettiin huomioon nettotulojen laskennan yhteydessä siten, että tulo jätettiin huomiotta (kattamaan kustannuksia) tai kasvatusketjuun lisättiin erilliskustannus tulojen sijaan seuraavien periaatteiden mukaisesti:

- a) jos käyttöpuukertymä oli 20–30 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, ensiharvennuksesta ei saatu tuloa (= 0 €ha<sup>-1</sup>)
- b) jos käyttöpuukertymä oli pienempi kuin 20 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, tulojen sijaan harvennuksesta aiheutui 100 €ha<sup>-1</sup> kustannus.

### 3 TULOKSET

#### 3.1 Aktiivinen metsänhoito parantaa kasvatuksen tulosta

Aktiivisen metsänhoidon merkitys tuli osatutkimusten tuloksissa hyvin esille. Aktiivisuus voidaan tässä ymmärtää sekä toimenpiteiden toteuttamisen lisäämisenä että vaihtoehtoisten toimintatapojen arviointina ennen toteutettavien toimenpiteiden valintaa. Ensiharvennuksen kannattavuuden parantamisessa oikean ajankohdan valinta oli tulosten mukaan keskeistä (I). Ajoituksiltaan ja voimakkuuksiltaan oikeanlaisten harvennusten sisällyttäminen kasvatukseen paransi keskimääräisellä vuotuisella käyttöpuun kasvulla (II, III) sekä nettotulojen nykyarvolla (IV) mitattua kasvatuksen tulosta. Kunnostusojitukset tuottivat pienehkön lisäyksen keskimääräiseen vuotuiseseen kasvuun (III).

Sekä tuotokset että kasvut vaihtelivat ensisijaisesti metsikön lämpösumma-alueen sekä kasvupaikan ravinteisuuden mukaan (II, III). Näin olosuhteet muodostivat kasvatuksen reunaehdot, joiden puitteissa vaikuttivat toimenpiteiden tekeminen tai tekemättä jättäminen sekä kasvatusketjuihin sisältyvien toimenpiteiden toteutustapa (II, III). Pohjoisessa ja karuilla kasvupaikoilla reunaehdot olivat tiukemmat ja toimenpiteistä saatu hyöty vähäisempi kuin etelämpänä ja paremmilla kasvupaikoilla, missä olosuhteet mahdollistivat suuremman määrän vaihtoehtoisia kasvatusketjuja. Vastaavasti paremmissa kasvuolosuhteissa toimenpiteiden laiminlyönti jätti enemmän tuotospotentiaalia hyödyntämättä. Myös nettotulojen nykyarvolla mitatun taloustuloksen lähtökohta oli tuotoksessa. Toisin sanoen toimenpiteiden taloudelliset hyödyt saatiin vain metsikön tuotospotentiaalain mahdollistamissa rajoissa (IV).

Kasvatusketjutason vertailuissa passiivinen metsänkasvatuksen vaihtoehto, johon ei sisältynyt harvennuksia (II) tai harvennuksia ja kunnostusojituksia (III), oli pohjoisimpia ja karuimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta tuotostulokseltaan muita vaihtoehtoja heikompi. Sen sijaan aktiiviset, toimenpiteitä sisältävät kasvatusketjut johtivat parhaimmillaan kaksinkertaisiin keskimääräisiin vuotuisiin käyttöpuun kasvuihin verrattuna passiivisiin ketjuihin (II, III). Taloustuloksen parantamisessa harvennusten merkitys oli keskeinen. Keskimäärin harvennus kaksinkertaisti passiivisen kasvatusketjun nettotulojen nykyarvon (IV). Nuoren metsän hyvä metsänhoidollinen tila näkyi erityisesti ensiharvennusten riittävän suurina kertyminä (I, III). Hyväkuntoisissa puustoissa ensiharvennuksen kannattavuutta voitiin lisätä myös harvennusajankohtaa viivästäväällä (I).

## 3.2 Metsänkasvatuksen tulokseen vaikuttavat tekijät

### 3.2.1 Puuntuotospotentiaali

Simuloidut kokonaistuotokset vaihtelivat välillä 160–595 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> (II, III) riippuen lämpösumma-alueesta ja kasvupaikasta. Kokonaistuotokset suurenvat pohjoisesta etelään ja kasvupaikalta toiselle seuraavassa järjestyksessä: Vatkg < Ptkg I < Ptkg II < Mtkg II. Käyttöpuun kokonaistuotokset olivat 145–460 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> (II, III) niin ikään suurentuen pohjoisesta etelään ja karuulta paremmille kasvupaikoille. Keskimääräiset vuotuiset kokonaiskasvut (MAI<sub>tot</sub>) vaihtelivat heikoimpien kohteiden 1,3:sta parhaimpien kohteiden 7,4 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>:iin (II, III), ja keskimääräiset vuotuiset käyttöpuun kasvut (MAI<sub>merch</sub>) 1,2:sta 6,8 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup>:iin (II, III). Käyttöpuun kasvujen ero pohjoisten ja eteläisten alueiden välillä oli suuruusluokaltaan 1–3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> ja varputurvekankaan ja mustikkaturvekangas II:n välillä 0,5–3 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> (III).

### 3.2.2 Kunnostusojitus

Kunnostusojitusten vaikutus näkyi kasvatusketjutasolla keskimääräisen vuotuisen kasvun paranemisena. Vaikutuksen suuruus, arvioituna niiden kasvatusketjujen joukosta, joihin ei sisällynyt harvennuksia, oli noin 0,2 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> (III). Taloustuloksessa kunnostusojituskustannuksen merkitys oli yleensä vähäinen (IV). Vain eteläisimmillä ja parhaimmilla kasvupaikoilla kunnostusojitusvaikutus riitti yksinään kohentamaan taloustulosta passiivisen kasvatuksen tuloksesta. Toisin sanoen vasta päätehakuussa realisoituva kunnostusojituksella aikaansaatua tulojen lisäys ei aina riittänyt kattamaan kunnostusojituskustannusta nettotulojen nykyarvotarkastelun mukaan (IV). Myös jälkimmäinen kahdesta kunnostusojituksesta paransi hieman keskimääräistä vuotuista kasvua (III). Talousnäkökulmasta sen toteuttaminen ei kuitenkaan aina olisi ollut tarpeen (IV). Pohjoisimmalla varputurvekankaalla nettotulojen nykyarvo jäi yhden kunnostusojituksen seurauksena lähelle nolaa ja kahden kunnostusojituksen seurauksena negatiiviseksi.

Pääsääntöisesti kunnostusojituksen toteuttaminen yhtä aikaa harvennuksen kanssa tuotti sekä hyvän tuotostuloksen että hyvän taloustuloksen. Simuloinneissa esiintyi kuitenkin myös tilanteita, joissa kunnostusojitus oli tarpeen selvästi ennen harvennusta (III). Näitä tilanteita oli etenkin karuimmilla kasvupaikoilla ja puustoissa, joiden tiheys oli pieni ja kasvu verraten hidasta. Kasvatusketjut, joissa kunnostusojitus toteutettiin ennen voimakasta harvennusta, olivat varteenotettavia myös taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta (IV).

### 3.2.3 Nuoren metsän metsänhoidollinen tila

Metsänhoidollinen tila vaikutti jossain määrin toteutuneiden kasvatusketjujen valikoimaan (III, IV). Kun nuoren metsän metsänhoidollinen tila oli hyvä, kasvatusketjussa tehtiin useimmiten vain yksi, itsessäänkin hyvin kannattava harvennus. Ellei tila ollut hyvä, ensiharvennuksessa kertymän määrä ja runkojen koko jäivät pieniksi ja sen tuloksena ensiharvennus heikosti kannattavaksi. Lisäksi kasvatusaikana tarvittiin vielä toinen harvennus. Kuitenkin myös heikkotuottoiseksi jäänyt ensiharvennus oli tärkeä kasvatusketjutasolla ja johti suhteellisen hyvään lopputulokseen sekä tuotoksen että talouden kannalta (III, IV).

Taimikonhoito ei sisällynyt simuloitaviin toimenpiteisiin, mutta sen merkitys käyttöpuun tuotosta lisäävänä tekijänä näkyi tuloksissa välillisesti, kun oletettiin nuoren metsän heikon metsänhoidollisen tilan johtuvan taimikonhoidon puutteesta (III). Lievien harvennusten tekeminen laiminlyötyjen taimikonhoitojen takia näytti tuotostulosten mukaan tar-

peelliselta (III). Ensiharvennuksen viivästämisen tuoma etu harvennuskertymän suuruudessa todettiin nimenomaan taimikonhoidoin käsitellyissä metsissä (I).

### 3.2.4 Harvennuksset

Harvennusten merkitys metsän kasvatuksen tuloksessa muodostui useista osatekijöistä, muun muassa kertymien määrästä ja arvosta, hakkuutulojen realisoitumisen ajankohdasta ja jäävään puustoon kohdistuvista vaikutuksista. Kasvatuksen aikana kertyneen käyttöpuun kokonaismäärä oli suurempi tai keskimääräinen vuotuinen käyttöpuun kasvu parempi harvennuksia sisältävissä ketjuissa kuin passiivisessa tai pelkkiä kunnostusojituksia sisältävissä ketjuissa (II, III). Keskimääräistä vuotuista kasvua lisäävä vaikutus oli suurimmillaan puolukka- ja mustikkaturvekankaiden II-varianteilla ja pienimmillään varputurvekankailla.

Taloudellisen tuloksen kannalta harvennuksista saatavat tulot olivat tärkeitä (IV). Kasvatusketju, joka tuotti parhaan nettotulojen nykyarvon, sisälsi aina harvennuksia (pois luki- en lähtöpuustot, joiden kasvatusketjuissa harvennuksset eivät lainkaan toteutuneet). Harvennuksista saatu hyöty lisääntyi pohjoisesta etelään ja karuilta kasvupaikoilta paremmille. Nettotulojen nykyarvon perusteella valitut parhaat kasvatusketjut tuottivat passiivisiin kasvatusketjuihin verrattuna noin kaksinkertaiset nykyarvot nuoren metsän metsänhoidollisen tilan ollessa hyvä ja noin kolminkertaiset nykyarvot metsänhoidollisen tilan ollessa heikko (IV). Yleensä varputurvekankaalla ja puolukkaturvekangas I:llä ei ollut suurta eroa yhden tai kahden harvennuksen ketjujen tuloksissa. II-varianteilla ja etenkin eteläisillä alueilla kahden harvennuksen ketjut olivat sen sijaan yleensä selvästi yhden harvennuksen ketjuja parempia (IV).

Ensiharvennuksen vaikutus metsänkasvatuksen tulokseen näkyi kahdella tavalla. Toisaalta se oli koko kasvatusketjussa ensimmäinen toimenpide, josta voitiin saada tuloa, ja tarkastelujakson alkuvaiheessa realisoituneet tulot olivat merkittäviä nettotulojen nykyarvoissa (IV). Toisaalta ensiharvennuksen laiminlyönti johti pitkällä aikavälillä puuston heikompaan kehitykseen (luonnonpoistuman lisääntyminen, puiden järeytymisen hidastuminen) (II,III). Ensiharvennus oli kertymältään riittävä ja harvennus itsessään kannattava, kun taimikonhoidosta oli huolehdittu ja nuoren metsän metsänhoidollinen tila oli hyvä (I, III, IV). Ensiharvennuskertymien määrät olivat osatutkimuksessa I keskimäärin  $60 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (Taulukko 1, I; Taulukko 2) ja osatutkimuksessa III keskimäärin  $45 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$  (Taulukko 1, III: Kuva 4).

Harvennuksen viivästämisen lisäsi ensiharvennuskertymää. Osajulkaisun I tuloksissa normaalin ja viivästetyn harvennuksen kertymien ero (keskimäärin  $25 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ) oli suurempi kuin III:ssa ( $10 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ ) (Taulukko 1, III: Kuva 4), mikä johtuu eripituisista viivästämistä. Viivästettyjä harvennuksia sisältyi myös taloustulokseltaan parhaisiin kasvatusketjuihin metsiköissä, joissa lähtöpuuston metsänhoidollinen tila oli heikko (IV).

Aikainen harvennus tuli yleensä kyseeseen tilanteissa, joissa harvennus ei muutoin olisi toteutunut kasvatusaikana lainkaan. Tuotosmielessä aikaistaminen oli perusteltua lähinnä vain uudistamisajankohdan saavuttamisen nopeutumisenä (III), sen sijaan taloustulokseen sillä oli enemmän vaikutusta (IV). Nettotulojen nykyarvojen mukaan toimenpiteiden ajankohdan muutoksesta saatu hyöty riippui osittain siitä, sijoittuiko aikaistettava tai viivästettävä toimenpide tarkastelujakson alkuvaiheisiin vai myöhemmäksi. Siksi aikaistamisen tai viivästämisen vaikutukset saattoivat olla erisuuntaisia metsänhoidolliselta tilaltaan hyvien ja huonojen lähtöpuustojen simuloinneissa. Osatutkimuksessa I liian aikainen ensiharvennusajankohta johti pieneen, keskimäärin  $36 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ :n käyttöpuukertymään.

**Taulukko 1.** Keskimääräiset ensiharvennuskertymät erilaisissa harvennuksissa, käyttöpuuta  $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ .

	Ajankohta (normaali voimakkuus)			Voimakkuus (normaali ajankohta)		
	Aikaiset	Normaalit	Viivästetyt	Lievät	Normaalit	Voimakkaat
I	36	59	84			
II				25*	31*	55*
III,IV	40	45	55	12	45	68

\*) harvennuskokeiden perustamisvaiheen puustotietojen perusteella lasketut kertymät

Hakkuukertymän määrän lisäämiseksi harvennusta voitiin myös voimistaa (Taulukko 1, III: Kuva 4). Keskimäärin kertymät kasvoivat noin  $24 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ :lla. Kasvatusketjutasolla voimistamisella oli kuitenkin kahdensuuntaisia vaikutuksia. Suuremmat hakkuutulot kyseisestä harvennuksesta sekä päätehakkuuta aikaisempien tulojen osuuden suureneminen paransivat kasvatusketjun nettotulojen nykyarvoa (IV). Toisaalta suuri vähennys puustopääomasta heikensi joskus loppukasvatusajan tuotosta (II, III).

Poistettavien runkojen järeys vaikutti käyttöpuukertymään. Sen lisäksi, että järeämmät rungot kasvattivat kertymää, niiden hukkapuun osuus oli pienempi kuin ohuempien runkojen. Kuitupuupölkyn minimiläpimitta vaikutti kuitenkin vain vähän kertymän määrään (I). Sen sijaan lähtöpuuston hyvällä metsänhoidollisella tilalla (taimikonhoidolla) oli myönteinen vaikutus runkojen kokoon ja sitä kautta harvennuskertymien määrään ja rakenteeseen (I, II, III, IV). Tukiin osuus kokonaiskäyttöpuumäärästä oli suhteellisen vähäinen: osatutkimuksessa II keskimäärin 50 % ja osatutkimuksessa III 45 %.

### 3.2.5 Päätehakuun ajankohta

Simuloidut päätehakuukertymät olivat keskimäärin  $230 \text{ m}^3\text{ha}^{-1}$ . Niissä kasvatusketjuissa, joissa harvennuksia ei tehty, päätehakuukertymä oli samalla kasvatusajan kokonaiskertymä, joka näin ollen jäi yleensä muiden ketjujen kokonaiskertymiä alhaisemmaksi (II, III, IV). Yhdelle lähtöpuustolle simuloitujen kasvatusketjujen välistä käyttöpuun kokonaisuutena vaihtelua tasoitti jossain määrin se, että kaikissa ketjuissa puustot kasvatettiin samaan metsikön keskiläpimittaan ennen päätehakkuuta (II, III). Näin ollen kasvatusaikana toteutettujen toimenpiteiden tuoma etu ilmeni paremminkin niin, että samansuuruiset tai suuremmat käyttöpuumäärät saatiin talteen lyhyemmässä ajassa kuin passiivisissa kasvatusketjuissa (II, III).

Yhdelle lähtöpuustolle simuloitujen kasvatusketjujen päätehakuukertymien puutavaralajirakenteessa oli huomattavia eroja. Tämä johtui ilmeisimmin siitä, että harvennukset vaikuttivat erirakenteiseen puustoon ja sen kehitykseen eri kasvatusketjuissa eri tavoin. Harvennusten seurauksena päätehakuukertymiin sisältyi yleensä myös arvokkaampia puutavaralajeja kuin passiivisten tai ainoastaan kunnostusojituksia sisältävien ketjujen päätehakuukertymiin (IV). Päätehakuuajankohdalla realisoituvat tulot olivat parhaisiin tuloksiin johtavissa kasvatusketjuissa keskimäärin 5 % suuremmat ja parhaimmillaan 27 % suuremmat kuin passiivisissa kasvatusketjuissa.

Osa harvennusten ja kunnostusojitusten hyödyistä aiheutui siitä, että ne aikaistivat läpimitan perusteella määriteltäviä päätehakuuajankohtaa (II, III, IV). Myös keskiläpimitasta

riippumaton päätehakkuun aikaisempi toteutus (simuloinneissa 10, 20 tai 30 vuotta) oli taloustarkastelujen mukaan edullista (IV). Nettotulojen nykyarvon lisäksi myös käyttöpuun keskimääräinen vuotuinen kasvu oli lyhyemmällä kasvatusajolla suurempi kuin alkuperäisillä päätehakkuuajankohdilla. Kokonaistuotos sen sijaan jäi sitä pienemmäksi mitä aikaisempi oli päätehakkuuajankohta (III).

### 3.3 Kasvatusketjun valinta

Kullekin lähtöpuustolle simuloitujen kasvatusketjujen keskinäinen vertailu tuotti yhdistelmätuloksia harvennusten ja kunnostusojitusten lukumääristä, toteutusajankohdista ja toteutuksen yhteensovittamisesta. Tulokset tiivistyivät kunkin lähtöpuuston parhaiden ketjujen ominaisuuksiin. Parhaiksi todetut kasvatusketjut olivat erilaisia sen mukaan, mitä aluetta ja mitä kasvupaikkaa lähtöpuusto edusti (II, III, IV). Myös lähtöpuuston metsänhoidollinen tila vaikutti siihen, millainen kasvatusketju osoittautui parhaaksi (III, IV). Ketjujen paremmuusjärjestys oli seurausta metsänhoitotoimien vaikutuksista kasvuun ja päätehakkuuajankohtaan (III) sekä tulojen määriin ja aikaistumiseen (IV).

Tuotoksen näkökulmasta parhaiden kasvatusketjujen (Taulukko 2, III: Kuva 6) keskimääräiset vuotuiset kasvut olivat 0,2–2,8 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>a<sup>-1</sup> suurempia kuin passiivisissa kasvatusketjuissa (III). Tämä tarkoitti käyttöpuun kokonaistuotokseen keskimäärin 40 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> lisäystä, joka saavutettiin parhaissa kasvatusketjuissa keskimäärin 15 vuotta lyhyemmässä ajassa kuin passiivisessa ketjussa.

Taloustuloksen perusteella parhaiden kasvatusketjujen (Taulukko 2, IV: Kuva 4) nettotulot muodostuivat keskimäärin kaksi ja puolikertaisiksi passiivisten ketjujen tuloksiin verrattuna. Kun passiivisissa ketjuissa ensimmäiset tulot saatiin vasta päätehakkuussa, saatiin lähtökohdaltaan hyväkuntoisten metsiköiden parhaissa ketjuissa harvennustuloja keskimäärin noin 30 vuoden kuluttua tarkastelujakson alusta. Lähtökohdaltaan heikkokuntoisista metsiköistä saatiin vieläkin aikaisemmat, mutta huomattavasti pienemmät tulot. Päätehakkuutulot aikaistuivat keskimäärin 20 vuodella (IV).

Tuotoksen (keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun) lisäämiseen keskittyvät metsänkasvatuksen toimenpiteet johtivat pääasiassa jonkin verran heikompaan taloustulokseen kuin sellaiset, jotka valittiin taloustuloksen perusteella. Esimerkiksi valitsemalla metsänhoidolliselta tilaltaan hyväkuntoisille nuorille metsille tuotoksen kannalta parhaat kasvatusketjut saavutettiin tapauksesta riippuen noin 80 %:n lisäys nettotulojen nykyarvossa passiivisiin kasvatusketjuihin nähden. Sen sijaan silloin, kun parhaat ketjut valittiin taloustuloksen perusteella, saatiin keskimäärin noin 115 %:n lisäys. Vastaavasti metsänhoidolliselta tilaltaan heikkokuntoisille nuorille metsille tuotoksen kannalta parhaat kasvatusketjut johtivat 140 %:n lisäykseen nettotulojen nykyarvossa, kun taas talouden kannalta parhailla ketjuilla saavutettiin keskimäärin noin 170 %:n lisäys (IV). Edellä mainitut taloustulosta kuvaavat luvut eivät sisällä lämpösumma-alueen 1026–1150 d.d:n puolukkaturvekangas I:n lähtöpuustoa, jossa passiivisen kasvatusketjun puustokehitys oli poikkeuksellisen hidasta ja johti toimenpiteitä sisältävien kasvatusketjujen huomattavan suuren paremmuuteen nettotulojen nykyarvossa.

**Taulukko 2a.** Metsänhoidolliselta tilaltaan hyväkuntoisille nuorille kasvatusmetsille (A-lähtöpuustot) simuloitua parhaan kasvatusketjun.

Paras tuotosketju = paras tulos keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun ( $MAI_{merch}$ ) perusteella.

Paras talousketju = paras tulos nettotulojen nykyarvon (NNA) perusteella.

Prosenttiluku kuvaa sitä, kuinka paljon parempi parhaan talousketjun valinta on verrattuna parhaan tuotosketjun valintaan nettotulojen nykyarvolla mitattuna.

Kasvatusketjut: R1–R3, ei harvennuksia, R4–R6 yksi harvennus, R7–R9 kaksi harvennusta

Harvennuksen ajankohta: A = aikainen, N = normaali, V = viivästetty,

Harvennuksen voimakkuus: n = normaali, v = voimakas.

Lämpösumma- alue, d.d.	Kasvu- paikka	Paras tuotos- ketju	Paras talous- ketju	Talousketjun toimenpiteet verrattuna tuotosketjuun	Talousketjun paremmuus, %
<900	Vatkg	R3	R1	Kunnostusojitus jää pois	*
<900	Ptkg I	R3	R1	Kunnostusojitus jää pois	160
<900	Ptkg II	R3	R6-Nv	Kunnostusojitus ennen harvennusta ja voimakas harvennus	66
<900	Mtkg II	R6-Nn	R6-Nv	Voimakkaampi harvennus	10
900-1025	Vatkg	R6-An	R4-Av	Voimakkaampi harvennus ja vain yksi kunnostusojitus	40
900-1025	Ptkg I	R6-Nn	R6-Nv	Voimakkaampi harvennus	27
900-1025	Ptkg II	R6-Vv	R6-Nv	Ei viivästetä	4
900-1025	Mtkg II	R6-Vn	R8-Nn	Kaksi normaalia harvennusta, ei viivästetä	14
1026-1150	Vatkg	<b>R6-Av</b>	<b>R6-Av</b>	<b>Ei muutosta</b>	<b>0</b>
1026-1150	Ptkg I	R6-Vv	R6-Nv	Ei viivästetä	22
1026-1150	Ptkg II	R6-Nn	R6-Nv	Voimakkaampi harvennus	14
1026-1150	Mtkg II	R6-Vn	R6-Nv	Voimakkaampi harvennus, ei viivästetä	26
>1150	Vatkg	<b>R6-Nv</b>	<b>R6-Nv</b>	<b>Ei muutosta</b>	<b>0</b>
>1150	Ptkg II	<b>R8-Nv</b>	<b>R8-Nv</b>	<b>Ei muutosta</b>	<b>0</b>
>1150	Mtkg II	R8-Nn	R9-Nn	Toinen kunnostusojitus myöhemmin	1

\* Parhaan tuotosketjun nettotulojen nykyarvo negatiivinen.

**Taulukko 2b.** Metsänhoidolliselta tilaltaan heikossa kunnossa oleville nuorille kasvatusmet-sille (B-lähtöpuustot) simuloidut parhaat kasvatusketjut.

Paras tuotosketju = paras tulos keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun ( $MAI_{merch}$ ) perusteella.

Paras talousketju = paras tulos nettotulojen nykyarvon (NNA) perusteella.

Prosenttiluku kuvaa sitä, kuinka paljon parempi parhaan talousketjun valinta on verrattuna parhaan tuotosketjun valintaan nettotulojen nykyarvolla mitattuna.

Kasvatusketjut: R1–R3, ei harvennuksia, R4–R6 yksi harvennus, R7–R9 kaksi harvennusta

Harvennuksen ajankohta: A = aikainen, N = normaali, V = viivästetty,

Harvennuksen voimakkuus: n = normaali, v = voimakas.

Lämpösumma- alue, d.d	Kasvu- paikka	Paras tuotos- ketju	Paras talous- ketju	Talousketjun toimenpiteet ver- rattuna tuotosketjuun	Talousketjun paremmuus, %
<900	Ptkg II	R5-Nn	R4-Vv	Toinen kunnostusojitus jää pois, voimakkaampi, viivästetty harvennus	85
<900	Mtkg II	R8-Vn	R7-Nn	Normaaliajankohdilla kaksi har- vennusta ja vain yksi kunnos- tusojitus	2
900-1025	Vatkg	R6-Vn	R5-Nv	Voimakkaampi harvennus, ei viivästetä, kunnostusojitus har- vennuksen yhteyteen	31
900-1025	Ptkg I	R5-Vn	R7-Nv	Kaksi voimakasta harvennusta, ei viivästetä	23
900-1025	Ptkg II	R8-Nn	R7-Nv	Voimakkaampi harvennus, vain yksi kunnostusojitus	28
900-1025	Mtkg II	R9-Vn	R7-Vv	Voimakkaammat harvennuksset, toinen kunnostusojitus pois	48
1026-1150	Vatkg	R6-Nv	R5-Nv	Kunnostusojitus harvennuksen yhteyteen	3
1026-1150	Ptkg I	R6-Vv	R5-Nv	Ei viivästetä, kunnostusojitus harvennuksen yhteyteen	1
1026-1150	Ptkg II	<b>R8-Nv</b>	<b>R8-Nv</b>	<b>Ei muutosta</b>	<b>0</b>
1026-1150	Mtkg II	R8-Vv	R9-Vv	Toinen kunnostusojitus myö- hemmin	2
>1150	Vatkg	<b>R6-Vv</b>	<b>R6-Vv</b>	<b>Ei muutosta</b>	<b>0</b>
>1150	Ptkg I	<b>R8-Vn</b>	<b>R8-Vn</b>	<b>Ei muutosta</b>	<b>0</b>
>1150	Ptkg II	R8-Vn	R7-Vn	Toinen kunnostusojitus jää pois	1
>1150	Mtkg II	R8-Vn	R7-Vn	Toinen kunnostusojitus jää pois	1

Nettotulojen nykyarvojen erot tuotoksen kannalta parhaan ketjun ja taloustuloksen kannalta parhaan ketjun välillä olivat suurimmillaan pohjoisten lämpösumma-alueiden metsissä. Sen sijaan eteläisillä lämpösumma-alueilla ja etenkin lähtötilanteessa metsänhoidolliselta tilaltaan heikoissa metsiköissä ei ollut juurikaan väliä sillä, kummalla perusteella ketju valittiin, tai sitten parhaat ketjut olivat molemmissa tapauksissa samat (Taulukko 2).

Kasvatuksetjujen tuotostuloksen perusteella muodostunut paremmuusjärjestys oli erilainen 23 tapauksessa 29:stä verrattuna siihen paremmuusjärjestykseen, joka muodostui nettotulojen nykyarvotulosten perusteella (Taulukko 2). Suuria eroavaisuuksia paremmuusjärjestyksissä ei kuitenkaan ollut. Verrattuna tuotoksen kannalta parhaisiin ketjuihin taloudellisesti parhaissa ketjuissa suosittiin voimakkaampia harvennuksia, vähempiä harvennuskertoja ja vähempiä kunnostusojituskertoja (Taulukko 2).

## 4 TARKASTELU

### 4.1 Kasvatuksetjut

#### 4.1.1 Harvennuksset

Keskeisimmäksi toimenpiteeksi metsänkasvatuksen tuloksen parantamisessa osoittautui harvennus. Simuloinneissa yksittäisten puiden kasvureaktio perustui kasvumallin toimintaan ja näkyi tuloksissa lähinnä vain metsikkötason keskiläpimitan kasvussa. Kangasmailta havaintoja harvennusvaikutuksista, muun muassa kasvatettavien puiden läpimitan kasvun paranemisesta, on runsaasti (mm. Assman 1970, Vuokila 1981, Zeide 2001, Pukkala ym. 2002, Mäkinen ja Isomäki 2004). Ojitusalueilta tutkimukseen perustuvia tuloksia kasvureaktioista on vähän, mutta esimerkiksi Sarkkola ym. (2004b) havaitsivat ojitettujen soiden valtapuuston kasvun reagoivan positiivisesti harvennuksen ja lievilläkin toistuvilla harvennuksilla voitavan lisätä tukkipuun tuotosta.

Harvennusten merkitys koko kasvatusajan taloustuloksessa oli huomattava. Karuimmillakin kasvupaikoilla, joissa harvennuksset eivät enää lisänneet keskimääräistä vuotuista käyttöpuun kasvua (II ja III), harvennuksset paransivat taloustulosta (IV). Yksittäisten harvennusten kannattavuuteen vaikuttaa keskeisesti harvennuskertymän määrä (mm. Pesonen ym. 1993, Ylimartimo ym. 2001, Sirén ja Aaltio 2003). Erityistä huomiota siihen tulee kiinnittää ensiharvennuksissa. Osatutkimuksen I päätelmissä arvioitiin erään syyn ojitusalueiden usein pieniksi todettuihin kertymiin olevan siinä, että harvennuksia on ehdotettu tehtäväksi liian aikaisin, eli harvennustarve ei olisi aina todellinen. Kun tarkasteltiin osatutkimuksen I harvennuksia, joissa puusto oli ennen harvennusta selvästi saavuttanut tai ylittänyt silloisten harvennusmallien edellyttämän pohjapinta-alan, ensiharvennuskertymät olivat kangasmetsien ensiharvennusten kertymiin (mm. Hynynen ja Arola 1999, Huuskonen ja Ahtikoski 2005) nähden hyvinkin kilpailukykyisiä. Myös osatutkimuksessa III itseharvennemisrajan perusteella määritellyt normaalin ja viivästetyn ajankohdan harvennuksset johtivat suuruudeltaan kelvollisiin ensiharvennuskertymiin lähtöpuuston metsänhoidollisen tilan ollessa hyvä.

#### 4.1.2 *Harvennusten viivästäminen*

Tulosten mukaan harvennusten viivästämisestä oli hyötyä sekä ensiharvennuksen että useimmiten myös koko kasvatusketjun kannalta. Kasvatusketjun taloustulokseen harvennuksen viivästämisestä saatiin kuitenkin hyötyä vaihtelevasti, sillä hyöty riippui siitä, millä kohdalla kasvatusketjua harvennuksen viivästäminen tapahtui (IV). Tämä johtuu NNA-laskennan diskonttauksesta, joka korostaa lähempänä tarkasteluajankohtaa tapahtuvien nettotulolisäysten vaikutusta. Muun muassa Pesonen ja Hirvelä (1992) ovat todenneet metsikön taloustuloksen paranevan ensiharvennusta viivästämillä. Myös Huuskosen ja Ahtikosken (2005) kangasmetsiä koskevassa tutkimuksessa ensiharvennuksen viivästäminen lisäsi harvennustuloja, vaikkakaan kiertoajan mittaisessa tarkastelussa etu ei enää ollut merkittävä.

Liiallisesta harvennuksen viivästämisestä voi aiheutua tuotostappioita (järeytymisen hidastumista, ylitiheyden aiheuttaman itseharvennemisen lisääntymistä). Osatutkimuksessa I harvennus viivästy huomattavasti, mutta siitä aiheutuvia loppukasvatusajan tuotosvaikutuksia ei arvioitu. Osatutkimuksessa III toteutettu viivästäminen oli varovaisempi. Kyse oli keskimäärin kymmenestä vuodesta. Sen ei todettu olevan haitallista metsikön kokonaiskehitykselle siitäkään huolimatta, että harvennuksen viivästyessä viivästy myös kunnostusojitus (III) (vrt. Ahti ym. 2008). Hoitamattomissa metsissä myös tuhoriski voi kasvaa (mm. Valinger ym. 1994, Nykänen ym. 1997). Viivästäminen aiheuttamaa tuhoriskiä ei kuitenkaan tässä yhteydessä voitu arvioida. Huomattava on, että osatutkimuksen I tulokset viivästämisestä edullisuudesta koskevat vain metsiä, joissa taimikonhoito on tehty.

Kangasmaiden männiköiden tutkimuksissa on jonkin asteinen harvennusten viivästäminen todettu myös mahdolliseksi ilman merkittäviä tuotostappioita (Hynynen ja Saramäki 1995, Hynynen ja Arola 1999, Huuskonen ja Ahtikoski 2005). Useimmiten siinä vaiheessa, kun ensiharvennustarvetta arvioidaan, ojitusaluiden puustot ovat vielä selkeästi erirakenteisia eivätkä latvustot ole täysin sulkeutuneita ryhmissäkään. Puuston erirakenteisuudesta ja erilaisesta kilpailudynamiikasta johtuen harvennuksen viivästäminen voi olla jopa paremmin mahdollista ojitusaluiden metsissä kuin kankailla. Erirakenteisen ja ryhmittäisen puuston ylitiheys ei ehkä ole niin haitallista kuin tasarakenteisen metsän ylitiheys, sillä sekä ryhmien reunoilla että eri korkeuksilla sijaitsevilla latvuksilla riittää valoa paremmin kuin tasaisten puustojen latvuksilla.

#### 4.1.3 *Harvennusten voimistaminen*

Toinen keino lisätä harvennuskertymiä ja parantaa kannattavuutta oli harvennusvoimakkuuden lisääminen. Kasvatusketjujen paremmuusvertailussa harvennusten voimistamisesta saatu hyöty oli selkeästi suurempi kuin viivästämisestä saatu hyöty. Vastaavasti lievät harvennukset eivät pienistä kertymistä johtuen olleet yleisesti ottaen mielekkäitä. Lieviä harvennuksia voidaan kuitenkin pitää perusteltuna tapauksissa, joissa niiden avulla saadaan kunnostettua muutoin ränsistynvä metsä.

Voimakkaat ensiharvennukset voivat johtaa tuotostappioihin, sillä järeytyminen ei välttämättä korvaa puustopääoman vähenemistä (mm. Vuokila 1981, Mäkinen ja Isomäki 2004). Vuokilan (1980) mukaan tasarakenteiset kangasmetsät kestävät noin kolmanneksen poistuman ensiharvennuksissa ilman kasvutappioita. Ojitusaluemetseissä voimakkaita harvennuksia on Päiväsen (1982) mukaan varottava myös siitä syystä, että haihduttavan puuston väheneminen voi vaikuttaa kuivatustilaan kasvuolosuhteita heikentäen. Päiväsen tulokset koskevat karujen kasvupaikkojen ojitusaluita. Hökän ja Penttilän (1995) tutkimuksessa pohjoisilla keskimääräistä paremmilla kasvupaikoilla harvennusten ei sen sijaan todettu

aiheuttavan merkittäviä muutoksia vesitaloudessa. Harvennuspoistumat olivat kuitenkin suhteellisen pieniä.

Kasvutappioiden välttämiseksi on oleellista, että kasvamaan jää riittävästi puustoa harvennuksen jälkeen. Tämän tutkimuksen simulointien (III, IV) voimakkaissa harvennuksissa poistuman osuus oli varsin suuri, osatutkimuksessa III 50 % tilavuudesta ja osatutkimuksessa II keskimäärin 48 % tilavuudesta. Kummassakaan tutkimuksessa voimakkaat harvennukset eivät johtaneet oleellisesti pienempiin käyttöpuun tuotoksiin verrattuna voimakkuudeltaan normaaleihin harvennuksiin. Simuloinneista ei kuitenkaan ilmene, kuinka voimakkaita harvennukset voisivat enimmillään olla. Vuokilan (1980) mukaan kangasmaiden metsissä poistuma voi suotuisissa oloissa olla jopa puolet tilavuudesta, mutta silloin tuhoriski kasvaa.

Jäävän puuston määrän alaraja määritellään yleensä harvennusmallien avulla. Suurempien kertymien tavoittelussa olisikin riskittömämpää noudattaa tätä alarajaa ja kasvattaa harvennuskertymiä niin, että puuston annetaan kasvaa riittävän suureksi ennen harvennusta. Viivästämisaika ei kuitenkaan voi venyä kohtuuttoman pitkäksi. Osatutkimuksen III simuloinneissa puuston määrä ennen harvennuksia oli alueesta riippuen keskimäärin 140–190 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>. Osatutkimuksessa I puuston määrät ennen hakkuuta olivat 130–220 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup> ja päätelmissä esitettiin 15 metrin valtipituustavoite ennen ensiharvennusta. Todelliselle harvennustarpeelle onkin esitetty tavoitteeksi 150–180 m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>:n harvennusta edeltävä puusto (Penttilä ym. 2000). Osatutkimuksen I kuva 2 havainnollistaa harvennusta edeltävän puuston tilavuuden ja hakkuukertymän välisen riippuvuuden.

#### 4.1.4 Harvennusten toistuvuus

Niin viivästäminen kuin voimistaminenkin voivat vähentää harvennuskertojen määrää kasvatusaikana. Tulosten mukaan enimmillään kaksi harvennusta kasvatusajan kuluessa vaikutti riittävältä määrältä, ja harvennukset sijoituivat kasvatusajalle varsin tasaisesti. Taloudellisesti paras yhden harvennuksen ketju oli usein parempi kuin monet kahden harvennuksen ketjuista (IV: Kuva 4).

Myöskään puunkorjuun näkökulmasta ei ojitusaluemetsissä ole tarkoituksenmukaista toteuttaa kovin monia harvennuskertoja kasvatusajan kuluessa. Heikurainen (1984) totesi kunnostusojitustarpeen mukaisen toiminnan johtavan ojitusaluemetsissä noin 25–35 vuoden hakkuukiertoon eli yhdestä kahteen harvennukseen kasvatusaikana. Vaikka tämä saattoikin tarkoittaa jonkinasteista ylitiehyttä ennen harvennusta ja alitiehyyttä harvennuksen jälkeen, Heikurainen piti menettelyä vesitalouden kannalta sekä myös harvennusteknologian kannalta hyvänä. Myös Hynynen ym. (1997) arvioivat kahden harvennuksen riittävän alun perin hoidetussa ojitusalueen puustossa (mänty-koivu -sekametsä).

#### 4.1.5 Poistuman ja jäävän puuston rakenne

Puutavaralajirakenne vaikuttaa kertymien arvoon. Tukkipuuta tulee ojitusalueiden metsistä suhteellisen vähän. Tähän on todennäköisesti syynä puuston erirakenteisuus, joka jossain määrin säilyy harvennusten rakennetta tasoittavasta vaikutuksesta huolimatta. Keskimääräistä paremmin hoidetuista ojitusaluemänniköistä on ilman laatuvehennyksiä saatu 40–70 % tukkia (Sarkkola ym. 2002). Tässä tutkimuksessa tukin osuus oli keskimäärin 50 % käyttöpuun kokonaisuudesta, kun puiden tekninen laatu huomioitiin VMI-tuloksiin perustuvan laatuvehennyksen avulla. Joillakin ojitusalueiden kasvupaikoista harvennuksen viivästäminen mahdollisesti hieman lisäsi koivun suhteellista osuutta myöhempien hakkuiden kerty-

missä. Koska koivutukkia ei tehty, vaikutti koivun osuus tukiin määrään erityisesti päätehakkuukertymissä (vrt. Hynynen ym. 1997).

Ajourilta ja kunnostusojituksen vuoksi ojalinjoiilta poistetut puut sisältyivät simuloituihin harvennuspoistumiin. Tutkimuksessa ei eritelty ajourilta lähtevän puuston osuutta, joka on esimerkiksi Tantun ym. (2002) mukaan yli kolmannes kertymästä. Puuston epätasaisuudesta huolimatta Sirénin ym. (2006) tutkimuksen mukaan ajourien sijoittelulla ei kuitenkaan ole kovin suurta merkitystä taloustulokseen. Myöskään ojalinjapuustojen osuutta hakkuukertymässä ei eritelty.

Harvennustavan vaikutusta tuotos- ja taloustuloksiin arvioitiin tässä tutkimuksessa vain vähän. Suhteellisen tasaisesti pohjapinta-alajakaumaan kohdistuva harvennustapa, jota usein ojitusalueilla sovelletaan, voi johtaa hieman suurempaan harvennuskertymään kuin selkeämmin alaharvennusperiaatteita noudattava harvennus. Toisaalta tämä laatua huomioiva harvennustapa lisää metsikön keskiläpimittaa todennäköisesti vähemmän kuin puhdas alaharvennus.

#### 4.1.6 Kunnostusojitukset

Harvennusten lisäksi toisella ojitusalueiden keskeisellä toimenpiteellä, kunnostusojituksella, saavutettiin pieni mutta selkeä parannus kasvatusketjujen tuotostulokseen. Taloudellisessa mielessä kunnostusojituksen hyöty oli sidoksissa harvennusten toteuttamiseen. Ojitusalueilla hakkuutuloilla katetaan myös kunnostusojituksen kustannuksia, joten riittävä puusto edes jonkinasteisen harvennuksen tekemiseksi oli yleensä edellytyksenä kannattavalle kunnostusojitusinvestoinnille. Myös Hytösen ja Aarnion (1998) sekä Ahtikosken ym. (2008) tutkimuksissa korostuu riittävän puustopääoman merkitys. Taloustarkastelujen (IV) mukaan jälkimmäisen kunnostusojituksen toteutus ei ollut aina tarpeen. Sen toteutusta onkin syytä harkita, etenkin jos puustoa on riittävästi ylläpitämään haihduntaa (vrt. Ahti ja Hökkä 2006, Hökkä ym. 2008). Investoinnin kannattavuus tulisikin arvioida uudelleen lähempänä mahdollista toteutusajankohtaa. Pohjoisimman alueen varputurvekankaalla todettu tulos kannattamattomasta kunnostusojituksesta tukee käytäntöä, jossa varputurvekankaita ei yleensä kunnostusojiteta alueilla, joissa lämpösumma jää alle 900 d.d:n.

Pääsääntöisesti kunnostusojitus ja harvennus kannatti toteuttaa yhtä aikaa. Etenkin karuilla kasvupaikoilla oli kuitenkin tapauksia, joissa ei voitu odottaa puuston varttumista harvennuskypsytyksen ilman, että kunnostusojitus myöhästyi huomattavasti. Simuloinneissa kunnostusojituksen myöhästymisen näkyi keskimäärin 35 vuoden erona niiden kunnostusojitusajankohtien välillä, jotka määräytyivät kunnostusojitustarpeen mukaan ja niiden, jotka määräytyivät harvennusajankohdan mukaan. Tulos kertoo siitä, että kunnostusojitustarpeeseen nähden paras kunnostusojitusajankohta ei aina sovi yhteen sopivan harvennusajankohdan kanssa.

Vaikka kunnostusojitusta ei yleensä suositella erillisenä toimenpiteenä, osoittautui näiden tulosten mukaan kasvatusketju, jossa kunnostusojitus toteutettiin ennen harvennusta, usein hyväksi vaihtoehdoksi niin tuotos- kuin taloustarkasteluissakin. Tämä johtui ainakin osittain siitä, että kunnostusojituksen seurauksena saavutettu kasvun taso aikaisti tulevaa harvennusta parantaen hieman lopputulosta.

Koska erillisen kunnostusojituksen takia kaadettua ojalinjapuustoa ei simuloinneissa voitu huomioida, muodostui myöhemmin toteutetun harvennuksen kertymä tältä osin liian suureksi. Erikseen tehdyn tarkastelun mukaan kyseisen kasvatusketjun paremmuus kuitenkin säilyi, vaikka ojalinjapuustona olisi menetetty noin 10–15 kuutiometriä käyttöpuuta.

Koko simulointiajalle lasketun kunnostusojitusvaikutuksen vertailu muihin tutkimustuloksiin ei ole suoraan mahdollista, sillä useimmissa tähänastisissa tutkimuksissa tarkastellaan kasvureaktiota lyhyemmällä, tavallisimmin 10–15 vuoden jaksolla kunnostusojituksen jälkeen. Näissä aiemmissa tutkimuksissa havaitut kunnostusojitusvaikutukset ovat vaihdelleet esimerkiksi  $0,2\text{--}1,8\text{ m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$  (Hökkä 1997a, Hytönen ja Aarnio 1998, Lauhanen ja Ahti 2001, Ahti 2005) erisuuruisten vaikutusten riippuessa muun muassa kasvupaikasta, tarkastelujakson pituudesta, kunnostusojituksen toteutustavasta ja tutkimusmenetelmästä. Tässä tutkimuksessa kunnostusojituksen toteutustapaan ei otettu kantaa.

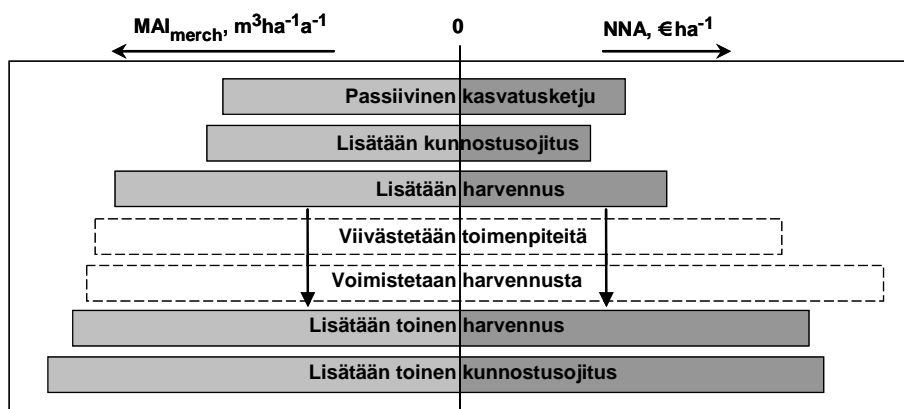
#### 4.1.7 Päätehakuut

Päätehakuun toteuttaminen aikaisemmin kuin alkuperäiset läpimittarajat suosittelivat (Hyvän metsänhoidon... 2001) oli edullisempaa sekä keskimääräisen käyttöpuun kasvulla että nettotulojen nykyarvolla mitattuna. Tarkastellut päätehakuuajankohdat sijoituivat lähes kaikissa metsiköissä puuston luontaisen kehityksen ajanjaksoon, jossa keskimääräinen vuotuinen kokonaiskasvu oli alenemassa saavutettuaan sitä ennen maksiminsa. Tasaikäisissä metsissä tätä maksimia on käytetty eräänä kiertoaikamääritelmänä (korkeimman tilavuuskasvun kiertoaika) (esim. Poso 1997), joten tässä mielessä simulointitulokset puoltavat mahdollisuutta päätehakuun aikaistamiseen. Kyseinen määrittelyperuste ei kuitenkaan ota huomioon puuston arvon kehittymistä, hintoja, korkoja eikä kustannuksia.

Simuloinneissa käytetty menettely, jossa uudistaminen tehdään keskiläpimittaan perustuvalla ajankohdalla, johtaa jo sinällään siihen, että alaharvennuspainotteiset harvennukset lyhentävät kasvatusaikaa (Mielikäinen 1979). Vastaavasti aikaistuvat päätehakuutulot johtavat nettotulojen nykyarvon suurenemiseen lyhyempiä kasvatusaikoja kohden. Aikaistuvat tulot kuitenkin tasapainoilevat pienenevän keskijäreiden kanssa. Puuston keskijäreiden pienemisestä ei kuitenkaan näyttänyt olevan merkittävää haittaa, sillä 3–4 cm pienemmästä keskiläpimitasta huolimatta 20 vuotta aikaisempi päätehakuu tuotti paremman taloustuloksen kuin alkuperäinen. Ojitusalue metsissä monet muutkin syyt, muun muassa tukkipuun heikohkot laatuodotukset, voivat puoltaa lyhyempiä kasvatusaikoja. Ääritilanteissa lyhyt kasvatusaika voi kuitenkin johtaa tilanteisiin, joissa puuston keskijäreys päätehakuussa on puun ostajan kannalta jo liian pieni.

#### 4.1.8 Parhaat kasvatusketjut

Jokainen tutkimuksessa tarkastelluista osatekijöistä vaikutti metsänkasvatuksen tulokseen. Pääsääntöisesti tuotostulos parani toimenpiteitä tai niiden voimakkuutta lisäämällä. Ei ollut kuitenkaan itsestään selvää, että tuotostulosta parantavat ratkaisut olisivat aina parantaneet vastaavasti taloustulosta (Kuva 8). Kasvatusketjun valinnan ratkaisevatkin viime kädessä päätöksentekijän tavoitteet.



**Kuva 8.** Metsänhoidon intensiivisyyden lisääntymisen vaikutus kasvatusketjujen tulokseen sekä tuotoksen (vasen) että taloustuloksen (oikea) näkökulmasta. Kuvassa metsänhoidon intensiivisyys lisääntyy ylhäältä alaspäin passiivisesta kasvatusketjusta useampia tai erilaisia toimenpiteitä sisältäviin ketjuihin.

## 4.2 Tuotoksen ja kasvun tasot

Simuloidut kokonaistuotokset (II, III) vastaavat muita julkaistuja tuotoksia yleensä ottaen hyvin (Taulukko 3). Keskimääräiset vuotuiset kasvut eivät aina ole laskentaperiaatteensa vuoksi suoraan verrattavissa muihin tutkimustuloksiin. Laskentatavaltaan ja laskentajaksoiltaan rinnastuskelpoiset kasvut ovat kuitenkin suuruusluokaltaan tässä tutkimuksessa saatuja kasvutuloksia vastaavia (Taulukko 3).

Kokonaistuotokset muodostuivat suurimmiksi passiivisissa kasvatusketjuissa (II, III). Tämä johtui pääasiassa harventamattomuudesta, mutta osaltaan myös muita ketjuja pidemmistä kasvatusajoista. Harvennusten kokonaistuotosta alentava vaikutus on todettu useissa kangasmetsiä koskevissa tutkimuksissa (mm. Assmann 1970, Vuokila 1980, 1981, Zeide 2001, Mäkinen ja Isomäki 2004). Käyttöpuun kokonaistuotos sen sijaan oli yleensä suurempi silloin, kun kasvatukseen sisältyi harvennuksia. Tämän tutkimuksen simulointien ääritapauksissa, eli pohjoisen karuimmilla kasvupaikoilla, harvennus alensi kokonaistuotoksen ohella myös käyttöpuun tuotosta (III). Simuloitujen kokonaistuotosten suureneminen paremmille kasvupaikoille ja lämpösummaltaan paremmille alueille mentäessä oli odotettua ja myös yleisesti tutkimuksissa todetun vaihtelun mukaista (mm. Keltikangas ym. 1986, Hökkä ym. 1997, Gustavsen ym. 1998).

Metsikön kokonaistuotos on aina jonkin erikseen määritellyn ajanjakson tulos. Tässä tutkimuksessa ajanjakso päättyi puuston keskiläpimittaan perustuvan uudistamiskriteerin täyttyessä. Periaatteessa päätehakkuun toteuttaminen annetulla puuston keskiläpimitalla tasoitti todettuja tuotoseroja jossain määrin, koska paremmilla lämpösumma-alueilla ja paremmilla kasvupaikoilla uudistamisraja voitiin saavuttaa nopeammin. Nämä kokonaistuotokset eivät myöskään kuvaa kasvupaikkojen maksimaalisia puuntuotospotentiaaleja, koska aineistot edustivat keskimääräisiä puustoja eivätkä välttämättä täystiheitä puustoja siinä mielessä, että ne hyödyntäisivät kasvupaikan puuntuotospotentiaalin täysimääräisesti.

Kuten tuotosten, myös kasvujen erot kasvupaikkojen ja alueiden välillä olivat odotusten mukaiset. Suurimmillaan kasvut olivat mustikka- ja puolukkaturvekankaiden II-varianteilla

ja kunkin kasvupaikan eteläisissä metsiköissä. Turvekangastyypin välisiin kasvueroihin on löydetty syitä muun muassa erilaisista vesitalouden muutoksista ojituksen jälkeen (Hökki ja Ojansuu 2004) ja turpeen erilaisista typpipitoisuuksista (Westman ja Laiho 2003). Yhden lämpösumma-alueen Ptkg I:n tuloksissa havaitut poikkeavat tulokset johtuvat todennäköisesti lähtöpuustojen eroista.

Simulointien (II, III) lähtötilanne oli varttunut taimikko tai nuori kasvatusmetsä, ja tieto puuston alkukehityksestä perustui oletuksiin. Lähtötilannetta edeltävä kuolleen puun määrä oletettiin nollassa, sillä määrän voitiin olettaa jäävän pieneksi ja merkityksen kokonaistuotoksessa marginaaliseksi. Jos alkuvaiheen luonnonpoistuma olisi oletettua (nollaa) suurempi, jäisivät simuloidut kokonaistuotokset siinä suhteessa lieväksi aliarvioksi. Samaan tapaan pieneen kokonaistuotoksen aliarvion johtaa metsänhoidolliselta tilaltaan kunnossa olevien metsiköiden mahdollinen taimikonhoidon poistuma, jonka määrä jätettiin huomiotta (III). Ennen tarkasteluajankohtaa esiintyneen luonnonpoistuman tai taimikonhoidon poistuman oletuksilla ei ole juurikaan merkitystä käyttöpuun tuotoksiin. Näillä oletuksilla ei ole merkitystä myöskään osatutkimuksen III simulointiajalle lasketuissa kasvuissa. Apteerauksen kriteerit vaikuttavat käyttöpuun määriin mutta eivät vertailuihin, koska kriteerit säilytettiin koko ajan samoina.

### 4.3 Hinnat, kustannukset ja korko

Talouseläimissä käytettiin hintoja ja kustannuksia, jotka vallitsivat osatutkimusten III ja IV aloitusajankohdalla vuonna 2003. Laskelmien selkeyttämiseksi kaikille lämpösumma-alueille käytettiin keskimääräisiä kunnostusojituskustannuksia ja keskimääräisiä puutavara-lajeittaisia hintoja. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että korjuuolosuhteiden ei oletettu merkittävästi muuttuvan eri kasvatusketjujen välillä. Tätä oletusta tukee se, että vaihtoehtojen vertailu tapahtui yhdelle lähtöpuustolle simuloitujen kasvatusketjujen kesken, jolloin puustotunnukset simuloinnin lähtötilanteessa olivat samat. Lisäksi, mahdolliset korjuuolosuhteiden erot kasvatusketjujen välillä eivät suoraan heijastu sovellettuihin yksikköhintoihin. Silti, kantohintojen käyttö talouseläimissä voi jossain määrin tasoittaa kasvatusketjujen välisiä eroja korjuukustannuksissa.

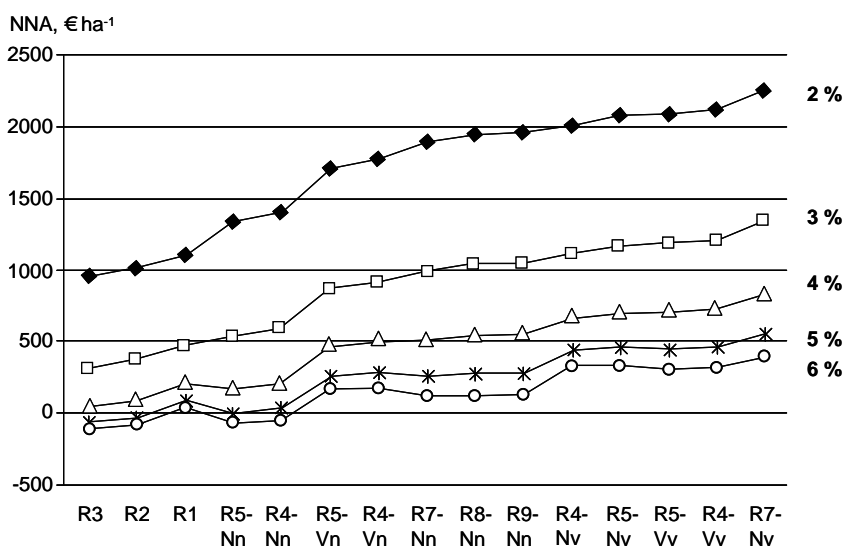
Koska todellisuudessa hakkuiden korjuukustannukset vaihtelevat kertymän määrän ja runkojen koon mukaan, tarkasteltiin esimerkinomaisesti harvennuksille ja päätehakuulle erikseen määriteltyjen hintojen vaikutusta osatutkimuksen IV päätulokseen eli kasvatusketjujen kannattavuusvertailuun. Kasvatusketjujen nettotulojen nykyarvot laskettiin siten, että päätehakuukertymä hinnoiteltiin tutkimuksessa käytetyillä tilastohinnoilla, toisen harvennuksen kertymä 90 % osuudella tilastohinnoista ja ensiharvennuskertymä 70 % osuudella tilastohinnoista. Kaikkein pienimmät kertymät otettiin huomioon, kuten peruseläimissäkin, nollatuloksena tai 100 €/ha<sup>-1</sup> suuruisena taimikonhoidon kustannuksena. Tarkastelun mukaan harvennuksista kertyvän puutavaran hinnan alentaminen (esimerkiksi ensiharvennuskertymä noin neljällä eurolla) vaikutti kasvatusketjujen paremmuusjärjestykseen varsinkin vähän. Paras kasvatusketju säilyi samana 22 metsikössä 29:stä ja kolmen parhaan ketjun joukko 19 metsikössä 29:stä. Metsiköt, joissa kolmen parhaan kasvatusketjun joukko ei kokonaan säilynyt, olivat yleensä metsänhoidolliselta tilaltaan heikkojen lähtöpuustojen metsiköitä. Hakuukertymien erilainen hinnoittelu vaikutti eniten niihin metsiköihin, joiden ensiharvennus tapahtui tarkastelujakson alussa ja aiheutti sen, että harvennuksen viivästämisestä saatu hyöty väheni.

**Taulukko 3.** Osatutkimuksissa II ja III simuloitujen kokonaistuotokset ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$ ) ja keskimääräiset vuotuiset kasvut ( $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$ ) verrattuna muissa tutkimuksissa julkaistuihin tuloksiin. Kasvupaikat ja lämpösumma-alueet on rinnastettu mahdollisuuksien mukaan.

Lämpösumma- alue, d.d.	Kokonaistuotos, $\text{m}^3\text{ha}^{-1}$							
	Kasvatusajan puoliväliin		Kasvatusajan loppuun					
<900			Vatkg–Mtkg II: 245–595	Vatkg–Mtkg II: 160–370				
900–1025	Vatkg: 150		Vatkg–Mtkg II: 245–595	Vatkg–Mtkg II: 190–480				
1026–1150	Vatkg: 150	Vatkg: 136 Ptkg II: 199	Vatkg–Mtkg II: 245–595	Vatkg–Mtkg II: 220–550		Vatkg: 225–230		
>1150	Ptkg II: 220	Vatkg: 136 Ptkg II: 199	Vatkg–Mtkg II: 245–595	Vatkg–Mtkg II: 250–550	Vatkg–Ptkg II 200-270	Vatkg: 132–184 Mtkg II: 369–413		
	Osajulkaisu III	Gustavsen ym. 1998	Osajulkaisu II	Osajulkaisu III	Hänell 1988	Miina ja Pukka- la 1995	Paarlahti ja Ta- kamaa 1984	
Lämpösumma- alue, d.d.	Keskimääräinen vuotuinen kasvu, $\text{m}^3\text{ha}^{-1}\text{a}^{-1}$							
	Kasvatusajan puoliväliin		Kasvatusajan loppuun					
<900			Vatkg–Mtkg II: 1,8–5,2	Vatkg–Mtkg II: 1,3–4,5	Vatkg: 2,3 Ptkg II: 2,6		P-S: 2,0	
900–1025			Vatkg–Mtkg II: 1,8–5,2	Vatkg–Mtkg II: 1,8–5,0	Vatkg: 2,7–3,2 Ptkg II: 3,1–3,7		P-S: 2,0	
1026–1150		Vatkg: 2,9 Ptkg II: 5,5	Vatkg–Mtkg II: 1,8–5,2	Vatkg–Mtkg II: 2,0–5,0	Vatkg: 3,8 Ptkg II: 4,3	Vatkg: 2,0–2,1	E-S: 3,5	
>1150		Vatkg: 2,9 Ptkg II: 5,5	Vatkg–Mtkg II: 1,8–5,2	Vatkg–Mtkg II: 2,8–7,4	Vatkg: 4,4 Ptkg II: 4,8		Vatkg: 1,8–2,5 Mtkg II: 4.9–5,5 E-S: 3,5	
		Gustavsen ym. 1998	Osajulkaisu II	Osajulkaisu III	Hänell 1988	Miina ja Pukka- la 1995	Paarlahti ja Ta- kamaa 1984	VMI 8

Puutavaran hinnat muuttuvat jatkuvasti myös ajassa. Laskennat kuitenkin tehtiin yhden ajanhetken, vuoden 2003, kantohinnoilla ja kustannuksilla. Mikäli kustannusten ja hintojen suhde säilyy tulevaisuudessa samana, säilyy myös kasvatusketjujen vertailujen tulos. Jos suhde muuttuu, muuttuvat vertailutkin. Harvennushakkuiden edullisuus lisääntyy muun muassa silloin, jos kuitupuun hinta nousee suhteessa tuokin hintaan (vrt. Pesonen ja Hirvelä 1992). Jos reaaliset kustannukset kasvavat enemmän kuin reaaliset kantohinnat, kunnostusajituksia sisältävät ketjut tulevat epäedullisemmiksi alkuperäiseen ketjujen järjestykseen verrattuna.

Käytännössä ei yleensä ole tarpeen käyttää yli 3 % korkovaatimusta (ks. luku 1.4). Koska korkovaatimuksen muutos voi kuitenkin vaikuttaa varsin voimakkaasti kannattavuusvertailuihin (esim. Pesonen ja Hirvelä 1992), tarkasteltiin myös tämän aineiston tuloksia lasquemalla nettotulojen nykyarvot 2–6 % korkoa käyttäen. Korkovaatimuksen suureneminen alentaa nettotulojen nykyarvoja, ja suurimmilla, 5–6 % korkovaatimuksilla muutamat ketjut tuottivat negatiivisen NNA:n, eli ketjujen toteutus ei korkovaatimuksen noustessa olisi enää kannattavaa. Yleensä nämä olivat ketjuja, jotka sisälsivät pelkästään kunnostusajituksia (R2, R3) tai joiden ensiharvennuskertymät olivat erittäin pieniä, sekä joskus myös R6-ketjuja, joissa kunnostusajitus tehtiin ennen harvennusta.



**Kuva 9.** Esimerkki korkokannan vaikutuksesta kasvatusketjujen nettotulojen nykyarvon (NNA) mukaiseen paremmuusjärjestykseen yhden lähtöpuuston kasvatusketjuissa (Ptkg II, lämpösusma 900–1025 d.d., lähtöpuuston metsänhoidollinen tila heikko). Kasvatusketjut: R1–R3, ei harvennuksia, R4–R6 yksi harvennus, R7–R9 kaksi harvennusta N = ajankohdaltaan normaali harvennus, V = viivästetty harvennus, n = voimakkuudeltaan normaali harvennus, v = voimakas harvennus.

Pääsääntöisesti harvennukset lisäsivät nettotulojen nykyarvoa korkokannasta riippumatta (vrt. Pesonen ja Hirvelä 1992). Koron vaikutus kasvatusketjujen keskinäiseen paremmuusjärjestykseen jäi pieneksi. Suurin osa kunkin lähtöpuuston kasvatusketjujen vertailuista on kuvassa 9 esitetyn esimerkin mukaisia, eikä kasvatusketjujen paremmuusjärjestys oleellisesti muuttunut korkovaatimuksen muuttuessa. Esimerkiksi verrattaessa kasvatusketjujen paremmuusjärjestyksiä, kun korko nousi 3 %:sta 5 %:iin, paras ketju säilytti asemansa 15 tapauksessa 29:stä. Niissä tapauksissa, joissa paras ketju vaihtui, muutos oli pieni ja tilalle tuli ketju, jossa toteutettiin edellistä aikaisempi (5 kpl) tai voimakkaampi (5 kpl) harvennus, tai luovuttiin ennen harvennusta tehtävästä kunnostusojituksesta (5 kpl).

Simuloitujen kasvatusketjuvaihtoehtojen kasvatusajat eli tarkastelun aikahorisontit vaihtelivat. Tähän liittyvän epävarmuuden kartoittamiseksi tarkasteltiin kasvatusketjujen tuloksia myös samanpituisilta ajanjaksoilta siten, että selvitettiin passiivisen kasvatusketjun puuston tila sillä ajankohdalla, jossa parhaaksi arvioidussa kasvatusketjussa tehtiin päte-hakkuu. Todellisuudessa passiivisen kasvatusketjun tulos ei ole tässä vaiheessa vielä rea-lisoitavissa.

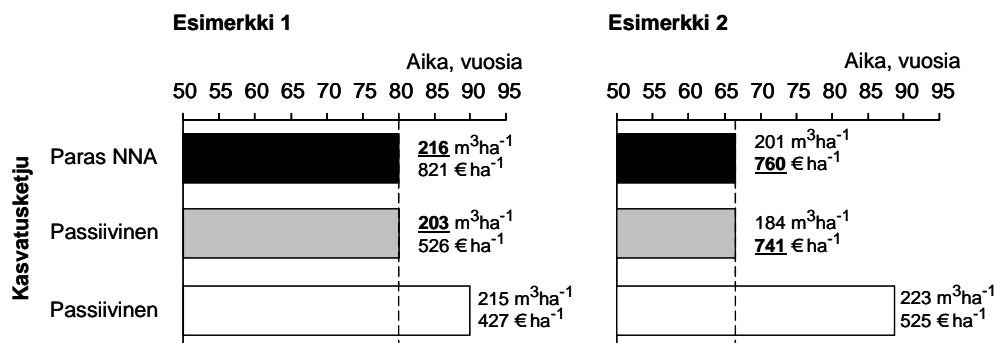
Tämän erillistarkastelun mukaan parhaat kasvatusketjut tuottivat enemmän käyttöpuuta (keskimäärin  $50 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ , 18 %) ja suuremman rahallisen arvon (0 % korko, keskimäärin  $1136 \text{ € ha}^{-1}$ , 13 %) kuin passiivinen ketju samaan ajankohtaan mennessä. Myös nettotulojen nykyarvo (korko 3 %) oli yhtä tapauksista lukuun ottamatta parhaassa ketjussa suurempi kuin vastaavalla ajankohdalla laskettu passiivisen ketjun nettotulojen nykyarvo. Tämä toteutui myös niissä lähtöpuustoissa, joissa kyseisen ajankohdan käyttöpuun määrät (Kuva 10, esi-merkki 1) tai nettotulot (Kuva 10, esimerkki 2) olivat lähimpänä toisiaan. Koska paras ketju säilytti asemansa näissä ääritapauksissa, ei järjestyksen muuttumista tarvitse kyseenalaistaa muidenkaan lähtöpuustojen tapauksissa. Parhaan ketjun edullisuuden säilyminen johtuu harvennuksista, joiden tulot vaikuttavat oleellisesti kasvatusketjujen kannattavuuksiin (esim. Brazee ja Bulte 2000, Hyytiäinen ja Tahvonen 2001, 2003).

## 4.4 Tulosten yleistettävyyden ja käytetyt menetelmät

### 4.4.1 Aineistot

Luotettavien kehitysennusteiden ja yleistämiskelpoisten tulosten ensimmäisenä tekijänä ovat aineistot. Simulointien lähtöpuustojen edustavuus ja laatu perustuvat tausta-aineistojensa satunnaistamiseen, otantaan, mittausmenetelmiin ja erilaisiin virhelähteisiin mittauksessa, aineistonkäsittelyssä jne. Tässä tutkimuksessa aineistojen tuli edustaa mahdollisimman hyvin tyypillisimpiä ojitusaluemetsiä tutkimuksessa määritellyltä ajankohdal-ta.

Simulointien lähtöpuustojen edustavuus perustuu olemassa olevien aineistojen puitteissa muodostettuihin keskimääräisiin runkolukusarjoihin alueittain ja kasvupaikoittain (III, IV). Yksi lähtöpuusto muodostui useista eri metsiköistä samoilta kasvupaikoilta ja samoilta ajankohdilta ojituksen jälkeen. Aineistot kattoivat hyvin kaikki männyn kasvatukselle so-veltuvat turvekangastyypit ja varsin hyvin myös tarkastellut lämpösumma-alueet lukuun ottamatta keskistä Suomea. Kehitysluokista vain nuoret kasvatusmetsät kattoivat kaikki alueet (III, IV), sillä varttuneiden taimikoiden aineistoa saatiin riittävästi vain pohjoisesta. Keskimääräisinä lähtöpuustot eivät kata ojitusaluemetsien moninaisia puustorakenteita, joten käytännössä tuleekin vastaan tapauksia, joihin simuloitujen kasvatusketjut eivät sellai-senaan ole sovellettavissa.



**Kuva 10.** Käyttöpuun kokonaismäärä, m<sup>3</sup>ha<sup>-1</sup>, ja nettotulojen nykyarvo, € ha<sup>-1</sup>, eri ajankohtien tarkasteluissa.

Nettotulojen nykyarvon mukaisen parhaan kasvatustietäjän (musta) etu passiiviseen kasvatustietäjään (valkoinen) säilyy myös, kun sitä verrataan passiivisen tietäjän sen ajankohdan tilanteeseen (harmaa), jossa parhaassa tietäjässä toteutuu päätehakkuu.

Esimerkit kuvaavat simulointiaineiston ääritapauksia, joissa saman ajankohdan käyttöpuun määrät parhaassa ja passiivisessä kasvatustietäjässä olivat lähimpänä toisiaan (Esimerkki 1), ja joissa samalta ajankohdalta lasketut nettotulojen nykyarvot olivat parhaassa ja passiivisessä kasvatustietäjässä lähimpänä toisiaan (Esimerkki 2).

Esimerkki 1: Vatkg, lämpösumma 900–1025 d.d., lähtöpuuston metsänhoidollinen tila heikko, Esimerkki 2: Mtkg II, lämpösumma alle 900 d.d., lähtöpuuston metsänhoidollinen tila hyvä.

Suometsien harvennuskokeiden aineiston (I,II,III,IV) etu on, että koalat ovat tarkkaan mitattuja, mittaukset kattavat kohtuullisen pitkän ajanjakson ja metsien historia tunnetaan hyvin. Harvennuskokeilta on puukohtainen tieto puulajista, rungon koosta sekä laadusta, mikä mahdollisti puukohtaisen jäävän puuston valinnan koaloille tehdyissä leimuksissa (I), sekä spatiaalinen tieto tilajakaumasta, mikä puolestaan mahdollisti ryhmittäisyyttä ta-soittavan, kilpailua vähentävän jäävän puuston valinnan (I). Harvennuskoeometsiköiden eräänlaisena heikkoutena voi pitää sitä, että ne ovat varsin hyväkuntoisia ja runsaspuustoisia eivätkä tässä suhteessa aivan edusta keskimääräisiä talousmetsiä.

Simulointien lähtöpuustojen muodostamisessa käytettyä SINKA-aineistoa (III, IV) voi VMI:n alaotoksena pitää hyvin talousmetsiä edustavana. SINKA-aineistojen etuna on pitkäaikainen seuranta ja yksityiskohtainen tieto puuston rakenteesta. Sata runkoa käsittävät koalat voivat kuitenkin tiheissä puustoissa jäädä pinta-aloiltaan pieniksi ja vaikuttaa koala- ja metsikkötason puustotunnusten laskentaan siten, että maksimiarvoista tulee liian suuria. Pieni koala ei myöskään kuvaa metsikössä vallitsevaa kilpailutilannetta riittävän hyvin (Hynynen ja Ojansuu 2003). LVARA- ja MKSK-aineistot ovat myös inventoinneista ja otokset hyvin talousmetsiä edustavia. Ne ovat kuitenkin erilaista tarkoitusta varten perustettuja kuin SINKA-koalat. Tässä tutkimuksessa hyödynnetyt MKSK-aineiston runkolukusarjat ovat jo alun perin useiden koalojen keskiarvoja, joten yksittäisen metsikön jakauma on vain suuntaa antava.

Runkolukusarjojen ohella myös tiedot kasvupaikoista, ojitusiästä ja käsittelyistä olivat tärkeitä. Nämä tiedot olivat hyvin saatavissa kaikista aineistoista, joskin MKSK-aineistosta vain keskimääräisenä. Tieto metsänhoidollisesta tilasta perustui maastossa tehtyyn määritte-

lyyn SINKA-aineistossa ja harvennuskokeilla. LVARA- ja MKSK-aineistoissa se voitiin johtaa kohtuullisesti puustotunnuksista.

#### 4.4.2 *Simuloinnit*

Kuten lähtöpuustoihin, myös puustojen kehitystä sekä toimenpiteiden vaikutuksia kuvaa viin malleihin ja simulaattoriin liittyvä keskiarvoistuminen, eivätkä kehitysennusteet kuvaa kaikkia ojitusaluemetsien vaihtelevia tilanteita. Lähtöpuustot sijoittuivat kasvumallien laadinta-aineiston vaihtelun sisään hyvin. Mallien aineistossa metsikön tiheys oli alimmillaan 290 runkoa hehtaarilla (Hökkä ym. 1997), kun lähtöpuustojen pienin runkoluku oli 683. Pitkät simulointiajat lisäävät luonnollisesti ennusteiden epävarmuutta. Pisimmillään passiivisissa kasvatusketjuissa kehitystä ennustettiin 120 vuoden ajalle. Saavutetut kokonaistuotokset kertovat kuitenkin mallien toimivan maltillisesti, ja vertailtavuus muihin tuotostuloksiin oli hyvä. Mallien kalibrointi VMI-mittausten tiedoilla tarkentaa ennusteita.

Suomen ojitettujen soiden kokonaisalueen jakaminen neljään lämpösumma-alueeseen riittää erottelemaan ilmasto-olojen vaikutukset pääpiirteissään. Koska kasvumalleissa sekä lämpösumma että etelä-pohjoissijainti vaikuttavat kasvuun, voi kunkin lämpösumma-alueen sisällä syntyä lievää aliarviota eteläosien ja yliarviota pohjoisosien puustojen todelliseen kehitykseen nähden.

Alussa annettuun lähtöpuuston runkolukusarjaan ei voi enää simuloinnin aikana lisätä puita. Sen vuoksi simuloinnin aloitusajankohdaksi määritelty varttuneen taimikon tai nuoren kasvatusmetsän vaihe, jolloin puuston määrää (runkolukua) voitiin pitää vakiintuneena, oli oleellinen. Malleihin sisältyy myös epävarmuutta todellisuudessa alikasvokseksi jäävien ja täysikokoiseksi kasvavien runkojen erottamisessa.

Kasvatusketjujen vertailussa oli oleellista se, miten hyvin simulaattorin mallit kuvasivat toimenpiteiden vaikutuksia. Vertailtavat kasvatusketjut määriteltiin jo alun perin sellaisiksi, että ne olisivat myös käytännössä toteuttamiskelpoisia. Näin ollen simuloinneissa liikuttii mallien toiminnan kannalta luotettavimmilla alueilla. Kunnostusojitusten vaikutusten todettiin olevan samaa suuruusluokkaa aikaisempien tutkimustulosten kanssa, mutta tarkastelujaksojen pituuden eroista johtuen yksityiskohtaista vertailua ei voitu tehdä. Harvennuksen aikaansaama yksittäisen puun kasvureaktio sisältyy pohjapinta-alan kasvumalliin (Hökkä ym. 1997). Mallissa reaktio kestää vain viisi vuotta, kun se kangasmetsien vastaavassa mallissa kestää 10 vuotta harvennuksen jälkeen (Hynynen ym. 2002). Toisaalta simuloinneissa harvennuksen vaikutusaika muodostuu mallin määräämää aikaa pidemmäksi, koska kilpailutekijöiden vaikutukset vähenevät harvennuksen seurauksena. Ojitusalueiden puustojen kehityksen vasteesta harvennuksiin pitkällä aikavälillä ei toistaiseksi kuitenkaan ole julkaistua tietoa. Varsinkin puuston kasvun ennusteeseen voimakkaiden harvennusten jälkeen liittyy epävarmuutta. Mallien aineistoon sisältyvät tiheydeltään alhaiset metsiköt ovat pääasiassa luontaisesti harvapuustoisia eivätkä seurausta voimakkaista harvennuksista.

Simuloitu passiivisen kasvatusketjun mukainen ennuste voi olla jopa liiankin optimistinen, sillä toimenpiteiden puuttumisen vaikutus näkyy malleissa heikosti. Malleilla on voitu kuvata vain ojien teknisen kunnan heikkenemisen aiheuttama vaikutus, vaikka kunnostusojittamattoman suon puuston kasvuun voivat vaikuttaa muutkin seikat (Hökkä ja Salminen 2006). Simuloinneissa ei esimerkiksi pystytä ottamaan huomioon todellisuudessa esiintyviä yllättäviä häiriöitä, kuten puuston elinvoimaisuutta heikentäviä sääolosuhteita, jolloin varsinkin kunnostusojittamattomilla soilla puustojen kehitys voisi taantua (mm. Ahti 1991). Kasvuolosuhteissa voi tapahtua muutoksia myös myönteiseen suuntaan. Toisaalta myös metsänhoitotoimista voi aiheutua hyödyn lisäksi haittaa, kuten korjuuvaurioita.

Osatutkimuksessa I oli sekä mittaustuloksiin että simuloiteihin perustuvia harvennuksia. Simuloitujen normaalien ja viivästyneiden harvennusten kertymät olivat vähän suurempia kuin mittaustuloksiin perustuvien erillisten leimausten kertymät. Tämä johtui siitä, että simuloituid puustot olivat harvennushetkellä suurempia kuin leimatut puustot vastaavassa vaiheessa. Tälle puolestaan oli ilmeisenä syynä valtapituuden käyttö harvennuskypsytyden ensisijaisena kriteerinä (I). Tavoiteltaessa tiettyä valtapituutta pohjapinta-ala kasvoi suhteessa voimakkaammin lisäten simuloitua hakkuukertymää. Tämä valtapituuden verraten hidaskasvu suhteessa pohjapinta-alan kasvuun näyttää kuitenkin olevan tyypillistä ojitusaluiden puustoille ja on nähtävissä myös harvennuskoe metsiköiden mitatuissa kehityksissä.

Kasvatusketjuvaihtoehdoissa aikaisia ja lieviä harvennuksia ei simuloitu riittävän kattavasti kaikille alueille (III, IV). Aikaisten harvennusten simulointi myös muille kuin karujen kasvupaikkojen puustoille ja lievien harvennusten simulointi muillekin kuin varttuneiden taimikoiden lähtöpuustoille olisi parantanut kuvaa niiden kasvatusketjutason tuotosvaikutuksista sekä harvennuskertymän määrään vaikuttavista tekijöistä, kuten puuston tiheydestä ja runkojen koosta ennen harvennusta.

Simulointituloksista ei voitu suoraan päätellä suopuustojen kuolemissmallien toiminnan todenmukaisuutta erilaisissa kasvatusketjuissa. Yksittäisten puiden kuolemissmallit ennustavat ojitusaluiden puiden luontaisen, kilpailusta aiheutuvan kuoleamisen hieman suuremmaksi kuin vastaavat kangasmaiden mallit (Jutras ym. 2003). Varputurvekankaiden tuloksiin toi epävarmuutta se, että suopuustojen omaa kuolemissmallia ei ollut käytössä ja kuolemissmallien ennuste jäi niillä alhaisemmaksi kuin muilla kasvupaikoilla.

MOTISSA puuston tiheyden liiallista kasvua rajoittaa kangasmaiden metsille määritelty itseharvenemisraja. Osatutkimuksen III simuloinneissa itseharvenemisrajan avulla määriteltiin myös harvennusajankohdat. Rajan soveltuvuudesta ojitusaluemetsien leimausrajaperusteeksi ei kuitenkaan ole tutkimustietoa. Simulointitulosten perusteella lähtöoletus itseharvenemisrajasta johdetusta normaalin harvennuksen tasosta toteutui aineistossa ainakin keskimäärin, sillä kyseisen ajankohdan puustotunnukset vastasivat varsin hyvin tavanomaisena pidettyjä normaalin harvennuksen tasoja (pohjapinta-alan keskiarvot 23–26 m<sup>2</sup>ha<sup>-1</sup> ja valtapituuden keskiarvot 13–16 m yhden kunnostusojituksen ja yhden harvennuksen sisältävissä kasvatusketjuissa). Voi kuitenkin olettaa, että pohjoisilla ja karuilla kasvupaikoilla, joissa puuston tiheys ei ole kovin suuri, itseharvenemisrajan perusteella määritellyt harvennukset myöhästyivät liikaa tai jäivät jopa kokonaan toteutumatta. Näissä tapauksissa simuloitiin useimmiten aikainen harvennus.

MOTILLA tehtyjen ojitusaluemetsien kehityssimulointien luotettavuutta on toistaiseksi voitu testata vain vähän. Lievää kasvun aliarviota, joka todettiin verrattaessa simulointituloksia keskimääräistä hieman parempina pidettyihin harvennuskoe metsiköiden kehityksiin (II), voidaan pitää hyväksyttävänä. Näin ollen kokonaistuotosarviot ovat varovaisia. Koska aliarvion taso säilyi erilaisia toimenpiteitä simuloitaessa, sen ei katsottu vaikuttavan kasvatusketjujen vertailussa lähtöpuustoittain. Vertailumahdollisuus mitattuihin puustokehityksiin oli ajallisesti kuitenkin hyvin lyhyt koko kasvatusaikaa ajatellen.

#### 4.4.3 NNA-menetelmä

NNA-menetelmä on laskennan apuväline investoinnista päätettäessä, ja se soveltuu myös pitkien ajanjaksojen tarkasteluihin. Lisäksi menetelmä soveltuu hyvin kasvatusketjujen taloudelliseen vertailuun, sillä sen avulla voidaan yhteismitallistaa eri aikoina tapahtuvat ja toistuvat yksittäiset tulot ja kustannukset. NNA-menetelmän avulla ei kuitenkaan saada

selville esimerkiksi metsänomistajan kannalta kiinnostavaa tietoa tulojen tasaisuudesta eli kassavirroista. Menetelmä ei myöskään ota kantaa tulosten loogisuuteen, eli se ei esimerkiksi paljasta kynnysarvoja, jotka pitäisi ylittää. Tämä tarkoittaa sitä, että tulosten tulkin- nassa on huomioitava kannattavaksi todetun investoinnin toteuttamiskelpoisuus käytännös- sä. Tämän tutkimuksen kasvatusketjut määriteltiin jo alussa sillä periaatteella, että ne olisi- vat toteutettavissa myös käytännössä. Toisaalta ennalta määriteltyjen vaihtoehtojen rajalli- sen joukon tarkastelu tarkoittaa myös sitä, että parhaat tulokset eivät välttämättä ole met- sikkötason optimeja. Koska tulokset eivät nostaneet esiin erityisiä ristiriitoja tuotoksen nä- kökulmasta valittujen parhaiden ketjujen ja taloudellisen kannattavuuden näkökulmasta valittujen parhaiden ketjujen kesken, ei ole todennäköistä, että näistä tuloksista johdettaisiin epäedullisia toimenpidesuosituksia.

#### 4.5 Käytäntöön soveltaminen ja jatkotutkimustarpeet

Simuloinneilla toteutettuun tutkimukseen liittyy useita epävarmuustekijöitä, jotka johtuvat malleista, simulaattorista ja pitkän ajan ennusteiden tekemisestä yleensä. Simulaattori on kuitenkin väline, joka mahdollisti tässä tutkimuksessa tuotetut ennusteet. Julkaistuja koko- naistuotostietoja ojitusalueiden metsistä, joiden kehityshistoria tunnetaan ja joiden mittauk- set ulottuvat kasvatusajan loppuun, on niukasti saatavilla. Näin ollen mallien avulla tuote- tut, todellisiin puustorakenteisiin perustuvat ennusteet tuovat lisänsä ojitusalueumetsiä kos- kevaan tietoon.

Vaikka tässä tutkimuksessa parhaiksi todetut kasvatusketjut ovat sinänsä toteuttamis- kelpoisia, monet käytännön rajoitteet vaikuttavat niiden soveltamismahdollisuuksiin. Met- sänomistussuhteista johtuen useimmat ojitusalueet ovat pienialaisia, jolloin kustannussääs- töjä haetaan yhteishankkeilla sekä kerralla kuntoon -periaatteella. Tämä rajoittaa metsikkö- kohtaisesti parhaiden kasvatusketjujen toteuttamista. Päätöksentekijän kokonaisvaltaiset tavoitteet metsänkasvatukselle, esimerkiksi tuottojen tasaisuuden tavoite, voivat johtaa sii- hen, että yksittäisissä metsiköissä ei saavuteta parasta mahdollista tulosta. Lisäksi muun muassa alueen urakoitsijoiden olemassa oleva konekanta ja kapasiteetti vaikuttavat töiden toteutustapaan. Puukauppatilanne on keskeinen vaikuttaja etenkin ensiharvennusten toteut- tamisessa. Ojitusalueiden runsas kuitupuun tarjonta ei vastaa puumarkkinoilla yleensä val- litsevaan hyvään tukkipuun kysyntään.

Jotta ojitusalueilla voitaisiin toteuttaa parhaan mahdollisen taloustuloksen tuottavaa metsänhoitoa, on ensiharvennuksen kiinnostavuuden parantaminen ja toteutusmäärien li- sääminen ensiarvoisen tärkeää. Ensiharvennuksen mahdollisimman oikea-aikainen toteut- taminen on yleisimmin myös ensiaskel tuotosta tai kannattavuutta lisäävän kasvatusketjun käynnistämiseen. Tämän tutkimuksen mukaan on löydettävissä keinoja, joilla kertymän määrää voidaan kasvattaa ja mahdollisesti lisätä hakkuiden kiinnostavuutta. Tulevaisuudes- sa myös energiapuun lisääntyvä käyttö voi parantaa kannattavuutta metsänhoidolliselta tilaltaan heikoissa nuorissa metsissä. Karuimmilla kasvupaikoilla nuoresta metsästä alkavan kasvatusketjun ensimmäinen toimenpide voi kuitenkin olla myös kunnostusojitus.

Taloudellisen kannattavuuden taustalla on aina tuotos. Ajan mukana muuttuvissa olo- suhteissa tuotosperusteisen tarkastelun tulokset ovat luonteeltaan pysyvämpiä ja niistä on tarvittaessa johdettavissa uusia taloustuloksia. Pelkästään talousnäkökulmasta laskettuja tuloksia sovellettaessa on pidettävä mielessä käytetyt hinnat ja kustannukset sekä koron ja ajan vaikutukset. Kyse on kuitenkin useiden kymmenien vuosien päähän vaikuttavista va- linnoista.

Taloudellista kannattavuutta kuvaavien nettotulojen nykyarvojen erot passiivisen ja muiden kasvatusketjujen kesken olivat pohjoisessa pieniä verrattuna etelään. Siitä seuraa, että maan eteläosissa oikeilla valinnoilla on suhteellisesti suurempi merkitys kuin pohjoisempana. Vähintäänkin on tehtävä valinta yhden tai kahden harvennuskerran välillä. Yksityiskohtaisempi tulosten tarkastelu paljastaa myös sen, että lähes yhtä hyviä ketjuja voi olla useita. Hyvään tulokseen pääseminen ei siis välttämättä edellytä juuri parhaan ketjun ehdotonta valintaa. Harvennusten ja kunnostusojitusten parhaiden ajankohtien yhteensovittamisen ollessa vaikeaa päädytään yleensä kompromissiin. Kun harvennusten vaikutus etenkin taloustulokseen on selkeästi suurempi kuin kunnostusojitusten, voitaneen harvennusta pitää ensisijaisempana ajankohdan määrittäjänä muilla paitsi karuilla ja harvapuustoisilla ojitusalueilla.

Kestävän metsätalouden rahoituslain mukainen julkinen tuki kunnostusojituksille ja nuoren metsän hoidolle kannustaa metsänhoitoon, mutta asettaa myös reunaehjoja. Tässä tutkimuksessa laskelmat tehtiin yksityisen metsänomistajan oman rahoituksen näkökulmasta. Koska kunnostusojitusinvestoinnin kannattavuus oli pääasiassa varsin hyvä omalla rahoituksellakin, lisää tuki edelleen investoinnin kannattavuutta. Sekä Hytösen ja Aarnion (1998) että Ahtikosken ym. (2008) laskelmissa julkisella rahoituksella oli mahdollista saada noin kaksinkertainen tuotto mäntyvaltaisten ojitusaluemetsien kunnostusojituksesta omalla rahoituksella toteutettuun verrattuna. Tuleva rahoituslaki kattaa myös kunnostusojitukseen liittyvän vesiensuojelun kustannukset kokonaisuudessaan. Yhteishankkeiden eräänä etuna on myös vesiensuojelunäkökohtien kokonaisvaltaisempi huomioiminen.

Metsikkötasoa laajemman kokonaiskannattavuuden tavoittelu sekä toisaalta myös resurssien vähyys johtavat keskittämään toimenpiteitä kohteisiin, joissa niiden hyödyt ovat suurimmillaan. Keskimääräisiä talousmetsien tilanteita kuvaavista tuloksista ei kuitenkaan voi johtaa rajauksia metsätalouden ulkopuolelle jätettävistä alueista. Sen sijaan tulokset rohkaisevat valitsemaan ensisijaisiksi toimenpidekohteiksi parhaimpia kasvupaikkoja, joilla sekä kunnostusojitus että harvennus voidaan yhdistää, mutta myös kiinnittämään huomiota pohjoisempiin ja karumpiin kohteisiin, joilla metsänkasvatuksen tulos turvataan jo ennen harvennusta tehtävällä kunnostusojituksella. Tämän tutkimuksen tulosten mukaan kahdesta kunnostusojituksesta jälkimmäisen merkitys jää varsin vähäiseksi, joten käytännössä resursseja voinee tässäkin mielessä kohdentaa kiireellisimpiin, ensimmäisen kunnostusojituksen tarpeessa oleviin kohteisiin. Maa- ja metsätalousministeriölle laaditun, osittain samoja simulointituloksia hyödyntäneen asiantuntijaselvityksen mukaan hyvällä ojitusaluemetsien hoidolla, kunnostusojituksilla ja harvennushakkuilla, voitaisiin välttyä jopa miljoonan käytöpuukuutiometrin vuotuiselta tuotostappiolta (Kojola ym. 2004, Penttilä ym. 2005).

Tässä työssä esitetyt tulokset koskevat vain nykyistä puusukupolvea. Soiden ensikertaisia ojituksia ei enää tehdä, vaan metsätalous jatkuu olemassa olevilla, kannattaviksi kohteiksi todetuilla ojitusalueilla. Niiden tuotospotentiaalista toisen puusukupolven kasvatuksessa on vasta vähän tietoa saatavilla. Todennäköistä kuitenkin on, että seuraavan puusukupolven kasvatuksessa saavutetaan parempi tuotostaso kuin ensimmäisen (mm. Hökkä ja Penttilä 1999). Oleellista onkin se, että nykyisiä puustoja koskevien tietojen perusteella pitäisi voida valita ne kohteet, jotka soveltuvat parhaiten puuntuotantoon myös tulevaisuudessa. Valinta joudutaan tekemään tukeutuen ensimmäisen ojituksenjälkeisen puusukupolven tuotoksiin ja nykyisiin metsänhoidollisiin käytäntöihin sekä oletuksiin ja varhaisiin tutkimustuloksiin tulevista olosuhteista.

Tämän tutkimuksen myötä keskeisimmiksi jatkotutkimustarpeiksi ovat nousseet:

- vaihtoehtoisten kasvatusketjujen vertailun laajentaminen koskemaan keskimääräisten puustojen lisäksi laajempaa joukkoa puustorakenteiden vaihtelun suhteen,
- harvennusreaktion tarkempi selvittäminen ja ilmiön kuvaaminen malleihin,
- pitkän ajan havaintoihin perustuvan tiedon hankinta puuston kehityksestä sellaisissa tilanteissa, joissa kunnostusojitus jää tekemättä,
- simulaattoriin soveltuvan lannoitusreaktiomallin laatiminen ojitusaluemetsille sekä
- seuraavaa puusukupolvea koskevien tietojen hankinta.

## 5 PÄÄTELMÄT

Tulokset tukivat selkeästi tutkimuksen pääväittämää aktiivisen metsänhoidon merkityksestä sekä siitä, että sopivan kasvatusketjun valinnalla on mahdollista lisätä ojitusaluemetsistä saatavaa käyttöpuun määrää ja parantaa kasvatuksen taloudellista tulosta. Tulosten mukaan ojitettujen soiden mäntyvaltaisissa metsissä on tuotospotentiaalia, joka mahdollistaa metsätalouden kannattavan harjoittamisen haasteellisista olosuhteista ja verraten pitkistä kasvatusoajoista huolimatta. Hoidon puute heikentää kuitenkin niiden potentiaalin hyödyntämistä.

Ojitusalueiden mäntyvaltaisissa metsissä kunnostusojitus on useimmiten tarpeellinen toimenpide, kun metsää hoidetaan aktiivisesti. Sijoittaminen kunnostusojitukseen osoittautui suhteellisen pieneksi investoinniksi. Panostaminen ensiharvennusten tekemiseen, myös rästiin jääneissä kohteissa, nosti kasvatuksen tulosta merkittävästi. Pienillä toimenpiteiden ajoituksen ja harvennusvoimakkuuden muutoksilla voitiin edelleen saada kasvatukselle lisäarvoa.

Tutkimuksessa vertailut kasvatusketjut edustivat vaihtoehtoja, jotka ovat toteuttamiskelpoisia myös käytännössä. Harvennukset ja kunnostusojitukset tehtiin pääsääntöisesti yhtä aikaa harvennustarpeen ollessa ajankohdan määräävä tekijä. Jaottelemalla kasvatusketjujen tarkastelu tuotokseen ja talouteen voitiin tuottaa metsänkäsittelyn vaihtoehtoisia malleja kahdelle tavoitteiltaan erilaiselle metsänomistajaryhmälle: taloudellista turvallisuutta painottaville ja kannattavuutta painottaville. Tutkimuksen tuloksista voidaan johtaa entistä tarkempia toimenpidesuosituksia kasvupaikan ja maantieteellisen sijainnin suhteen erilaisille metsiköille.

## KIRJALLISUUS

- Aarnio, J. 2004. Investointien yksityistaloudellinen kannattavuus: Uudisojitus. Julkaisussa: Aarnio, J. (toim.). Julkinen tuki yksityismetsätaloudessa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 923: 74-77.
- 2005. Suometsätalouden kannattavuus yksityismetsissä. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 194-201.
- & Rantala, T. 1999. Peltojen luontaisen metsityksen yksityistaloudellinen kannattavuus. Metsätieteen Aikakauskirja 1/1999: 25-37.
- Ahti, E. 1991. Kunnostusojituksen puuntuotanto ja ympäristövaikutukset. Julkaisussa: Ferm, A. & Heino, E. Keski-Pohjanmaa - nouseva metsämaakunta. Metsäntutkimuspäivä Ylivieskassa 14.6.1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 374: 12-14.
- 1995. Kunnostusojituksen vaikutus pohjavesipinnan syvyyteen ja männyn pohjapinta-alan kasvuun karuhkoilla rämemuuttumilla. Julkaisussa: Hytönen, J. & Polet, K. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kälviällä 1994. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 540: 49-58.
- 2005. Kunnostusojitus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 114-120.
- & Hökkä, H. 2006. The effects of the growth and volume of Scots pine stands on the level of the water table on peat in Central Finland. Julkaisussa: Amatya, D.M. & Nettles, J. (toim.). Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8-12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA. s. 309-315.
- & Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Julkaisussa: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. & Jørgensen, J.K. (toim.). Northern forested wetlands: Ecology and management. CRC Press Inc.; Lewis Publishers, USA. s. 449-457.
- , Päivänen, J. & Vuollekoski, M. 1988. Kunnostusojitus. Julkaisussa: Ahti, E. (toim.). Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta, 1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 46-55.
- , Kojola, S., Nieminen, M., Penttilä, T. & Sarkkola, S. 2008. The effect of ditch cleaning and complementary ditching on the development of drained Scots pine-dominated peatland forests in Finland. Julkaisussa: Farrel, C. & Feehan, J. (toim.). Proceedings of the 13th International Peat Congress. After Wise Use - The Future of Peatlands. Tullamore, Ireland, 8-13 June 2008. Volume 1, Oral Presentations. International Peat Society. s. 457-459.
- Ahtikoski, A., Kojola, S., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2008. Ditch network maintenance in peatland forest as a private investment: short- and long-term effects on financial performance at stand level. *Mires and Peat* (<http://www.mires-and-peat.net/>) (only on-line) 3(3): 1-11.
- Ala-Ilomäki, J. 2005. Metsäisten turvemaiden kulkukelpoisuus. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 97-111.
- Assmann, E. 1970. The principles of forest yield study. Pergamon Press. 506 s.

- Braze, R. J. & Bulte, E. 2000. Optimal harvesting and thinning with stochastic prices. *Forest Science* 46(1): 23-31.
- Brukas, V., Thorsen, B.J., Helles, F. & Tarp, P. 2001. Discount rate and harvest policy: implications for Baltic forestry. *Forest Policy and Economics*, Volume 2, Issue 2, June 2001. s. 143-156.
- Domisch, T. 2002. Effects of soil temperature on Scots pine biomass allocation and litter decomposition in peat. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 874: 1-65.
- Eeronheimo, O. 1991. Suometsien puunkorjoo. *Folia Forestalia* 779: 1-29.
- Ferm, A. 1983. Tuloksia koivun kasvatustiheyskokeista sekä männyn ja koivun sekakasvatuskokeista turvemaalla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 120: 13-17.
- 1988. Koivu ojitetuilla soilla. Julkaisussa: Ahti, E. (toim.). Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta, 1988. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 308: 133-142.
- 1989. Hieskoivun kasvatus soilla. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 322: 40-52.
- Groot, A. & Horton, B.J. 1994. Age and size structure of natural and second-growth peatland *Picea mariana* stands. *Canadian Journal of Forest Research* 24: 225-233.
- Gustavsen, H.G. & Mielikäinen, K. 1984. Luontaisesti syntyneiden koivikoiden kasvupaikkaluokittelu valtapituuden avulla. *Folia Forestalia* 597: 1-20.
- & Päivänen, J. 1986. Luonnontilaisten soiden puustot kasvullisella metsämaalla 1950-luvun alussa. *Folia Forestalia* 673: 1-27.
- , Heinonen, R., Paavilainen, E. & Reinikainen, A. 1998. Growth and yield models for forest stands on drained peatland sites in southern Finland. *Forest Ecology and Management* 107: 1-17.
- Hawkins, C.B., Steele, T.W. & Letcford, T. 2006. The economics of site preparation and the impacts of current forest policy: evidence from central British Columbia. *Canadian Journal of Forest Research* 36(2): 482-494.
- Heikurainen, L. 1957. Metsäojituksen syvyyden ja pintaleveyden muuttuminen sekä oijen kunnan säilyminen. *Acta Forestalia Fennica* 65: 1-45.
- 1959. Tutkimus metsäojitusalueen tilasta ja puustosta. *Acta Forestalia Fennica* 69(1): 1-279.
- 1971. Virgin peatland forests in Finland. *Acta Agralia Fennica* 123: 11-26.
- 1973. Soiden metsänkasvatuskelpoisuuden laskentamenetelmä. *Acta Forestalia Fennica* 131: 1-35.
- 1978. Suo-opas metsänkasvatusta varten. 3. uudistettu painos. 49 s.
- 1980a. Kuivatuksen tila ja puusto 20 vuotta vanhoilla ojitusalueilla. *Acta Forestalia Fennica* 167: 1-39.
- 1980b. Input and output in Finnish forest drainage activity. *Proceedings of the 6th International Peat Congress, Duluth, Minnesota, USA.* s. 398-402.
- 1984. Metsäojituksen alkeet. *Gaudeamus*, Helsinki. 284 s.
- & Kuusela, K. 1962. Revival of the tree growth after drainage and its dependence on the tree size and age. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 55(8): 1-29.
- & Pakarinen, P. 1983. Suokasvillisuus ja suotyyppit. Julkaisussa: Laine, J. (toim.). Suomen suot ja niiden käyttö. Suoseura ry ja IPS:n Suomen kansallinen komitea. Helsinki. s. 14-59.
- & Päivänen, J. 1970. The effect of thinning, clear cutting, and fertilization on the hydrology of peatland drained for forestry. *Acta Forestalia Fennica* 104: 1-23.
- & Seppälä, K. 1965. Regionality in stand increment and its dependence on the temperature factor on drained swamps. *Acta Forestalia Fennica* 78(4): 1-14.

- & Seppälä, K. 1973. Ojitusalueiden puuston kasvun jatkumisesta ja alueellisuudesta. *Acta Forestalia Fennica* 132: 1-36.
- , Kuusela, K., Linnamies, O. & Nyyssönen, A. 1961. Metsiemme hakkuumahdollisuudet. Pitkän ajan tarkastelua. Liite teoksessa: Komitean mietintö 1961:1. Metsätalouden suunnittelukomitean mietintö. *Silva Fennica* 110: 115-166.
- Heinonen J. 1994. Koealojen puu- ja puustotunnusten laskentaohjelma KPL. Käyttöohje. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 504. 80 s.
- Hepburn, C. & Koundouri, P. 2007. Recent advances in discounting: Implications for forest economics. *Journal of Forest Economics* 13: 169-189.
- Hilksa-Aaltonen, M. 2008. Metsätalouden rahoitus. Tapion taskukirja. 25. uudistettu painos. *Metsäkustannus*. s. 54-60.
- Holmen, H. 1964. Forest ecological studies on drained peatland in the province of Uppland, Sweden. Parts I–III. *Studia Forestalia Suecica* 16: 1–236.
- Hoosbeek, M.R., van Breemen, N., Vasander, H., Buttler, A. & Berendse, F. 2002. Potassium limits potential growth of bog vegetation under elevated atmospheric CO<sub>2</sub> and N deposition. *Global Change Biology* 8: 1130-1138.
- Huikari, O. 1988. Metsäojitusmenetelmien kehitys. Julkaisussa: Ahti, E. (toim.). Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta, 1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 40-45.
- , Muotiala, S. & Wäre, M. 1963. Ojitusopas. Kirjayhtymä. Helsinki. 257 s.
- , Aitolahti, M., Metsänheimo, U. & Veijalainen, P. 1967. Puuston kasvumahdollisuuksista ojitetuilla soilla Pohjois-Suomessa. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 64(5): 1-51.
- Huuskonen, S. & Ahtikoski, A. 2005. Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 99-115.
- Hynynen, J. 1993. Self-thinning models for even-aged stands of *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 8(3): 326-336.
- & Arola, M. 1999. Ensiharvennusajankohdan vaikutus hoidetun männikön kehitykseen ja harvennuksen kannattavuuteen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999: 5-23.
- & Ojansuu, R. 2003. Impact of plot size on individual-tree competition measures for growth and yield simulators. *Canadian Journal of Forest Research* 33: 455-465.
- & Saramäki, J. 1995. Ensiharvennuksen viivästymisen ja harvennusvoimakkuuden vaikutus nuoren männikön kehitykseen. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 2/1995: 99-113.
- , Hökkä, H., Niemistö, P. & Valkonen, S. 1997. Harvennushakkuut. Julkaisussa: Mieliäinen, K. & Riikilä, M. (toim.). Kannattava puuntuotanto. s. 65-85.
- , Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA system. The Finnish Forest Research Institute, Research papers 835. 116 s.
- , Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005. 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.
- Hytönen, L.A. & Aarnio, J. 1998. Kunnostusojituksen erilliskannattavuus muutamilla karuhkoilla rämeillä. *Suo* 49(3): 87-99.
- & Silfverberg, K. 1991. Kuivatustehon vaikutus turvemaan lämpöoloihin. *Folia Forestalia* 780: 1-24.

- Hyvän metsänhoidon suositukset 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Libris Oy, Helsinki. 95 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset 2006. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 100 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Metsäkustannus Oy, Helsinki. 50 s.
- Hyttiäinen, K. & Tahvonen, O. 2001. The effects of legal limits and recommendations on timber production: the case of Finland. *Forest Science* 47(4): 443-454.
- & Tahvonen, O. 2003. Maximum sustained yield, forest rent or Faustman: does it really matter? *Scandinavian Journal of Forest Research* 18: 457-469.
- & Tahvonen, O. 2005. Metsänkasvatusketjun edullisuusvertailu ja puuntuotannon kannattavuus. Teoksessa: Hynynen, J., Valkonen, S. & Rantala, S. (toim.). Tuottava metsänkasvatus. Metsäntutkimuslaitos ja Metsäkustannus Oy, Helsinki. 221 s. + Motti-ohjelmisto. s. 161-173.
- Hänell, B. 1988. Post-drainage forest productivity in Sweden. *Canadian Journal of Forest Research* 18: 1443-1456.
- Hökkä, H. 1997a. Models for predicting growth and yield in drained peatland stands in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 651. 45 + 53 s.
- 1997b. Height-diameter curves with random intercepts and slopes for trees growing on drained peatlands. *Forest Ecology and Management* 97: 63-72.
- 2001. Puuston valtapituuskehitys rämekasvupaikkojen kuvauksessa. Julkaisussa: Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). Pohjoisten metsien hoito - 30 vuotta tutkimuspäiviä Rovaniemellä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 803: 119-132.
- & Kojola, S. 2002. Kunnostusojituksen kasvureaktioon vaikuttavat tekijät. Julkaisussa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.). Suometsien kasvatuksen ja käytön teemapäivät 26.-27.9.2001 Joensuu. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 832: 30-36.
- & Kojola, S. 2003. Suometsien kunnostusojitus – kasvureaktion tutkiminen ja kuvaus. Julkaisussa: Jortikka, S., Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). Soilla ja kankailla – Metsien hoitoa ja kasvatusta Pohjois-Suomessa. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 903: 13-20.
- & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. *Silva Fennica* 22: 45-65.
- & Ojansuu, R. 2004. Height development of Scots pine on peatlands: describing change in site productivity with a site index model. *Canadian Journal of Forest Research* 34(5): 1081-1092.
- & Penttilä, T. 1991. Suometsätieteellinen tutkimus Ruotsissa. *Suo* 42(1): 13-22.
- & Penttilä, T. 1995. Harvennushakkuun vaikutus pohjavedenpinnan syvyyteen ojitusalueilla Pohjois-Suomessa. *Suo* 46(1): 9-19.
- & Penttilä, T. 1999. Modelling and dynamics of wood productivity on drained peatland sites in Finland. *Silva Fennica* 33: 25-39.
- & Penttilä, T. 2005. Puuston käsittely turvemaille. Teoksessa: Hynynen, J., Valkonen, S. & Rantala, S. (toim.). Tuottava metsänkasvatus. Metsäntutkimuslaitos ja Metsäkustannus Oy, Helsinki. 221 s. + Motti-ohjelmisto. s. 118-119.
- & Salminen, H. 2006. Utilizing information on site hydrology in growth and yield modeling: peatland growth models in the MOTTI stand simulator. Julkaisussa: Amatya, D.M. & Nettles, J. (toim.). Hydrology and Management of Forested Wetlands. Proceedings of the International Conference, April 8-12, 2006, New Bern, North Carolina. ASABE, Michigan, USA. s. 302-308.

- , Penttilä, T. & Hånell, B. 1996. Effect of thinning on the foliar nutrient status of Scots pine stands on drained boreal peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 26: 1577-1584.
- , Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, pubescent birch and Norway spruce on drained peatlands in Finland. *Silva Fennica* 31(2): 161-178.
- , Alenius, V. & Salminen H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. *Kunnostusojitustarpeen ennustaminen ojitusalueilla. Suo* 51(1): 1-10.
- , Repola, J. & Laine, J. 2008. Quantifying the interrelationship between tree stand growth rate and water table level in drained peatland sites within Central Finland. *Canadian Journal of Forest Research* 38(7): 1775-1783.
- Ilvessalo, Y. 1956. Suomen metsät vuosista 1921-24 vuosiin 1952-53. Kolmeen valtakunnan metsien inventointiin perustuva tutkimus. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 47. 227 s.
- Jeglum, J.K. 1990. Peatland forestry in Canada: an overview. *Julkaisussa: Hånell, B. (toim.). Biomass production and element fluxes in forested peatland ecosystems. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Forest Site Research. Umeå. s. 19-28.*
- Johansson, P.O. & Löfgren, K.G. 1985. *The economics of forestry and natural resources. Basil Blackwell, Oxford, UK. 305 s.*
- Jutras, S., Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2003. Modelling mortality of individual trees in drained peatland sites in Finland. *Silva Fennica* 37(2): 235-251.
- , Plamondon, A.P., Hökkä, H., & Bégin, J. 2006. Water table changes following pre-commercial thinning on post-harvest drained wetlands. *Forest Ecology and Management* 235: 252-259.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1977. Response of Scots pine plants to nitrogen refertilization on oligotrophic peat. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 92(1). 54 s.
- Keltikangas, M. 1971. Sarkaleveyden vaikutus ojitusinvestoinnin taloudelliseen tulokseen. *Acta Forestalia Fennica* 123: 1-70.
- & Seppälä, K. 1966. Laskelmia metsäojituksen alueittaisesta edullisuudesta. *Suo* 17(1): 9-21.
- & Seppälä, K. 1973. Metsäojituksen, metsänlannoituksen ja metsityksen edullisuuden alueittainen vaihtelu. *Helsingin Yliopiston metsätalouden liiketieteen laitos, Julkaisuja* 11: 1-67.
- & Seppälä, K. 1977. Ojitusalueiden hieskoivikoiden kasvatusta taloudellisena vaihtoehtona. *Silva Fennica* 11(1): 49-68.
- , Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930-1978 ojitettujen suot: ojitusalueiden inventoinnin tuloksia. *Acta Forestalia Fennica* 193: 1-94.
- Kojola, S., Ahti, E., Hökkä, H. & Penttilä, T. 2004. Asiantuntijaselvitys alueellisten metsäohjelmien kunnostusojitustavoitteiden tarkentamista varten. *Metsäntutkimuslaitos, Vantaa. 16 s.*
- Korhonen, K.T., Ihalainen, A., Heikkinen, J., Henttonen, H. & Pitkänen, J. 2007. Suomen metsävarat metsäkeskuksittain 2004-2006 ja metsävarojen kehitys 1996-2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 149-213.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Laiho, R. 1997. Plant biomass dynamics in drained pine mires in southern Finland. Implications for carbon and nutrient balance. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 631. 53 s.

- & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 251-260.
- , Vasander, H., Penttilä, T. & Laine, J. 2003. Dynamics of plant-mediated organic matter and nutrient cycling following long-term water-level drawdown in boreal peatlands. *Global Biogeochemical Cycles* 17, 2, 1053.
- Laine, J. 1989. Metsäojittettujen soiden luokittelu. *Suo* 40: 37-51.
- & Vasander, H. 2005. Suotyypit ja niiden tunnistaminen. *Metsäkustannus Oy*. 110 s.
- Lauhanen, R. 1992. Kunnostusojituksen ongelmat ja tutkimustarpeet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 409. 45 s.
- & Ahti, E. 2001. Effects of maintaining ditch networks on the development of Scots pine stands. *Kunnostusojituksen vaikutus rämemänniköiden kehitykseen*. *Suo* 52(1): 29-38.
- , Piironen, M.-L., Penttilä, T. & Kolehmainen, E. 1998. Kunnostusojitustarpeen arviointi Pohjois-Suomessa. *Suo* 49(3):101-112.
- Lukkala, O.J. 1939. Soiden metsäojituskelpoisuus. *Keskusmetsäseura Tapio, Helsinki*. 48 s.
- Matala, J., Hynynen, J., Miina, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 2003. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. *Ecological Modelling* 161: 95-116.
- Metinfo 2007. Metsätietopalvelut. *Metsäntutkimuslaitos*. [www-ovellus \(http://www.metla.fi/metinfo/vmi/\)](http://www.metla.fi/metinfo/vmi/).
- Mielikäinen, K. 1979. Alaharvennusten vaikutus männikön tuotokseen ja arvoon. Summary: The influence of low thinnings on the wood production and value of a pine stand. *Folia Forestalia* 401. 23 s.
- Miina, J. 1994. Spatial growth model for Scots pine on drained peatland. *Silva Fennica* 28(1): 15-27.
- 1996. Optimizing thinning and rotation in a stand of *Pinus sylvestris* on a drained peatland site. *Scandinavian Journal of Forest Research* 11: 182-192.
- & Pukkala, T. 1995. Comparison of thinning methods in a Scots pine stand on drained peatland. A simulation study. *Harvennusmenetelmien vertailu ojitetun turvemaan männikössä*. *Simulointitutkimus*. *Suo* 46(1): 1-7.
- , Kolström, T. & Pukkala, T. 1991. An application of spatial growth model of Scots pine on drained peatland. *Forest Ecology and Management* 41: 256-277.
- Mikkola, K., Pajujoja, H. & Aarnio, J. 2002. Effect of public financing on the profitability of drainage investments in private forest holdings. *Julkaisussa: Ottitsch, A., Tikkanen, I. & Riera, P. (toim.). Financial Instruments of Forest Policy: Proceedings of the International Conference, 17–20 June 2001, Rovaniemi, Finland, EFI Proceedings* 42, *European Forest Institute, Joensuu*. s. 87–93.
- Moilanen, M. 2005. Suometsien lannoitus. *Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 134-166.
- , Kaunisto, S. & Sarjala, T. 2005. Puuston ravinnetilan arviointi. *Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 81-95.
- Multamäki, S.E. 1923. Tutkimuksia ojitettujen soiden metsänkasvusta. *Acta Forestalia Fennica* 27(1): 1-121.

- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 201: 311-325
- Niemistö, P. 1991. Hieskoivikoiden kasvatustiheys ja harvennusmallit Pohjois-Suomen turvemailla. *Folia Forestalia* 782: 1-36.
- Nilsson, T., Olsson, M. & Lundin, L. 1987. Soil improvements and intense forest production on a peatland. *Reports in Forest Ecology and Forest Soils*. Swedish University of Agricultural Science, Report 58. 51 s.
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Hökkä, H. 2004. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2002-2031 Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/2004: 419-435.
- , Hirvelä, H., Salminen, O. & Härkönen, K. 2007. Alueelliset hakkuumahdollisuudet valtakunnan metsien 10. inventoinnin perusteella, maastotyöt 2004–2006. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2007: 215–248.
- Nykänen, M-L., Peltola, H., Quine, C., Kellomäki S. & Broadgate, M. 1997. Factors affecting snow damage of trees with particular reference to European conditions. *Silva Fennica* 31(2): 193–213.
- Näslund, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 29(1). 169 s.
- Ojansuu, R., Halinen, M. & Härkönen, K. 2002. Metsätalouden suunnittelujärjestelmän virhelähteet männyn ensiharvennuskertymän määrittämisessä. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2002: 441-457.
- Paarlahti, K. & Takamaa, H. 1984. Ojituksen vaikutus puuston tuotokseen. *Julkaisussa: Jaakoin-suon koeojitusalue 75 vuotta. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 156: 22-88.
- Paavilainen, E. & Päivänen, J. 1995. *Peatland forestry. Ecology and principles*. Springer-Verlag, Berlin. 248 s.
- Payandeh, B. 1973. Analyses of a forest drainage experiment in northern Ontario. I: Growth analysis. *Canadian Journal of Forest Research* 3: 387-398.
- Pearce, D.W. & Nash, C.A. 1989. *The social appraisal of projects: a text in cost-benefit analysis*. Basingstoke, MacMillan. 225 s.
- Penner, M., Penttilä, T. & Hökkä, H. 1995. A method for using random parameters in analyzing permanent sample plots. *Silva Fennica* 29: 287-296.
- Penttilä, T. 2001. Harvennushakkuut ojitetuilla rämeillä. *Julkaisussa: Varmola, M. & Tapaninen, S. (toim.). Pohjoisten metsien hoito - 30 vuotta tutkimuspäiviä Rovaniemellä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 803: 133-141.
- & Honkanen, M. 1986. Suometsien pysyvien kasvukoealojen maastotyöohjeet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 226. 98 s.
- , Hökkä, H., & Laiho, R. 2000. Harvennusten ekologiset perusteet ja tuotosvaikutukset ojitetuilla rämeillä. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2000: 292-296.
- , Hökkä, H., Kojola, S., Ahti, E., Sarkkola, S., Päivänen, J. & Laiho, R. 2005. Harvennushakkuut ojitusalueilla. *Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 947: 121-133.
- Pesonen, M. & Hirvelä, H. 1992. Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 800: 1-35.
- , Jämsä, J. & Hirvelä, H. 1993. Harvennushakkuuiden edullisuusvertailu metsälötasolla. *Summary: Profitability comparisons of thinnings at the forest holding level. Folia Forestalia* 802: 1-23.

- Pietiläinen, P. & Kaunisto, S. 2003. The effect of peat nitrogen concentration and fertilization on the foliar nitrogen concentration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L) in three temperature sum regions. *Suo* 54(1): 1-13
- Poso, S. 1997. Metsätalouden suunnittelun perusteet. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 5. 152 s.
- Pukkala, T. & Miina, J. 2005. Optimising the management of a heterogeneous stand. *Silva Fennica* 39(4): 525–538.
- , Miina, J. & Palahí, M. 2002. Thinning response and thinning bias in a young Scots pine stand. *Silva Fennica* 36(4): 827-840
- Päivänen, J. 1982. Hakkuun ja lannoituksen vaikutus vanhan ojitusalueen vesitalouteen. *Folia Forestalia* 516: 1-19.
- 1997. Forested mires as a renewable resource – toward a sustainable forestry practice. Julkaisussa: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. & Jeglum, J.K. (toim.). Northern forested wetlands: Ecology and management. CRC Press Inc.; Lewis Publishers, USA. s. 27-44.
- 2007. Suot ja suometsät – Järkevän käytön perusteet. Metsäkustannus, Hämeenlinna. 368 s.
- & Sarkkola, S. 2000. The effect of thinning and ditch network maintenance on the water table level in a Scots pine stand on peat soil. *Suo* 51(3): 131-138.
- & Sipi, M. 2002. Structural post-drainage development of peatland stands, quality of wood raw material produced and its suitability for different end uses. Final report, Finnish forest cluster research programme Wood Wisdom. Wood Wisdom Report 3: 315-323.
- Rantonen, H. & Päivänen, J. 1989. Kasvatusmetsien metsänhoidollinen tila ojitusalueilla puunkorjuun jälkeen. *Silva Fennica* 23(1): 33-50.
- Raunihar, R., Buongiorno, J., Prestemon, J.P. & Abt, K.L. 2000. Financial performance of mixed-age naturally regenerated loblolly-hardwood stands in the south central United States. *Forest Policy and Economics* 2000(1): 331-346.
- Reinikainen, A. & Hotanen, J-P. 1988. Soiden luokitus metsänkasvatusta varten. Julkaisussa: Ahti, E. (toim.). Soiden käyttö metsänkasvatukseen. Suontutkimusosasto 60 vuotta, 1988. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 308: 5-89.
- Rikala, J. 2003. Spruce and pine on drained peatlands – wood quality and suitability for the sawmill industry. Helsingin yliopisto, Metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 35: 1-147.
- Saarinen, M. 2005. Metsänuudistaminen turvemaidella. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 177-193.
- 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. 1977. Ojitettujen turvemaiden hieskoivikoiden kehitys Kainuussa ja Pohjanmaalla. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 91(2): 1-51.
- Sarkkola, S. 2006. Stand structural dynamics on pristine and managed boreal peatlands. *Dissertationes Forestales* 29. 78 s.
- (toim.) 2008. Greenhouse effect of the use of peat and peatlands in Finland. Final report. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja - Publikationer av Jord- och skogsbruksministeriet - Publications of Ministry of Agriculture and Forestry 11a. 68 s.
- , Hökkä, H., Penttilä, T. & Päivänen, J. 2002. Metsien rakennedynamiikan erityispiirteet ojitusalueilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 605–608.

- , Hökkä, H. & Penttilä, T. 2004a. Natural development of stand structure in peatland Scots pine following drainage: results based on long-term monitoring of permanent sample plots. *Silva Fennica* 38(4): 405-412.
- , Hökkä, H. & Penttilä, T. 2004b. Effect of thinning on the DBH distributions of Scots pine dominated stands on drained peatlands. Julkaisussa: Päivänen, J. (toim.). Wise use of peatlands. Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, 6-11 June 2004. Vol. 1. Oral presentations. International Peat Society, Jyväskylä. s. 509-513.
- , Hökkä, H., Laiho, R., Päivänen, J. & Penttilä, T. 2005. Stand structural dynamics on drained peatlands dominated by Scots pine. *Forest Ecology and Management* 206: 135-152.
- , Hökkä, H. & Penttilä, T. 2008. Microsite variation and climate result in stand dynamics variation in pristine *Pinus sylvestris* mires: Evidence from a stand structure study. *Journal of Vegetation Science* 19: 465-474.
- Saukkonen, S. & Kenttämies, K. (toim.). 1995. Metsätalouden vesistövaikutukset ja niiden torjunta. METVE-projektiin loppuraportti. Suomen ympäristökeskus. 420 s.
- Seppälä, K. 1969. Kuusen ja männyn kasvun kehitys ojitetuilla turvemailla. *Acta Forestalia Fennica* 93: 1-88.
- 1972. Ditch spacing as a regulator of post-drainage stand development in spruce and in pine swamps. *Acta Forestalia Fennica* 125: 1-21.
- Siipilehto, J., Sarkkola, S. & Mehtälö, L. 2007. Comparing regression estimation techniques when predicting diameter distribution of Scots pine on drained peatlands. *Silva Fennica* 41(2): 333-349.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook – 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 452 s.
- Silfverberg, K. & Moilanen, M. 2008. Long-term nutrient status of PK-fertilized Scots pine stands on drained peatlands in North-Central Finland. *Suo* 59(3): 71-88.
- Sirén, M. 2004. Harvesting on peatlands – a challenge. Julkaisussa: Päivänen, J. (toim.). Wise use of peatlands. Proceedings of the 12th International Peat Congress, Tampere, Finland, 6-11 June 2004. Vol. 1. Oral presentations. International Peat Society, Jyväskylä. s. 514-520.
- & Aaltio, H. 2003. Productivity and costs of thinning harvesters and harvester-forwarders. *International Journal of Forest Engineering* 14(1): 39-48.
- , Tantt, V., Mäntynen, E., Aaltio, H. & Siipilehto J. 2002. Ensiharvennusten korjuuolot. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837: 9-19.
- , Tantt, V. & Ahtikoski, A. 2006. Financial comparison of strip road alternatives in the harvesting of pine stands on drained peatlands. *Baltic Forestry* 12(1): 70-81.
- Sundström, E., 1995. The impact of climate, drainage and fertilization on the survival and growth of *Pinus sylvestris* L. in afforestation of open low-production peatlands. *Scandinavian Journal of Forest Research* 10: 190-203.
- Tantt, V., Sirén, M. & Aaltio, H. 2002. Harvennuskertymän rakenne ja energiapuun määrä ensiharvennuskäytössä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 837: 27-36.
- Tomppo, E. 2005. Suomen suometsät 1951-2003. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 26-38.
- Tuokko, K. 1992. Metsänparantajat kansakunnan asialla 1908-1988. Saarijärven Offset Oy. 509 s.

- Turvemaiden metsien käsittely ja hoito. Laskelmia ja tutkimustietoa taustamateriaaliksi turvemaiden metsänhoitosuosituksen kehittämistä varten. 2007.  
([http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/pdf/Taustaraportti\\_lopullinen.pdf](http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/pdf/Taustaraportti_lopullinen.pdf))
- Valinger, E., Lundqvist, L. & Brandel, G. 1994. Wind and snow damages in a thinning and fertilisation experiment in *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(2): 129-134.
- Varhimo, A., Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2003. Quality and yield of pulpwood in drained peatland forests: pulpwood properties of Scots pine in stands of first commercial thinnings. *Silva Fennica* 37(3): 343-357.
- Venn, R.T. 2005. Financial and economic performance of long-rotation hardwood plantation investments in Queensland, Australia. *Forest Policy and Economics* 2005(7): 437-454.
- Verkasalo, E., Stöd, R., Heräjärvi, H., Kilpeläinen, H., Lindblad, J. & Wall, T. 2005. Suometsien puuraaka-aineen laatu ja soveltuvuus eri käyttötarkoituksiin. Julkaisussa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.). Suosta metsäksi. Suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Metsän-tutkimuslaitoksen tiedonantoja 947: 276-333.
- Vompersky S.E. & Sirin, A.A. 1997. Hydrology of drained forested wetlands. Julkaisussa: Trettin, C.C., Jurgensen, M.F., Grigal, D.F., Gale, M.R. & Jeglum, J.K. (toim.). Northern forested wetlands: Ecology and management. CRC Press Inc.; Lewis Publishers, USA. s. 189-211.
- Vuokila, Y. 1980. Metsänkasvatuksen perusteet ja menetelmät. WSOY, Porvoo. 256 s.  
— 1981. Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen. *Folia Forestalia* 468: 1-13.
- Westman, C.J., & Laiho, R. 2003. Nutrient dynamics of peatland forests after water-level drawdown. *Biogeochemistry* 63: 269-298.
- Ylimartimo, M., Harstela, P., Korhonen, K.T. & Sirén, M. 2001. Ensiharvennuskohteiden korjuukelpoisuus ojitetuilla turvemailla. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2001: 253-263.
- Zalitis, P. 1999. The Productivity of Drained Pine Forests and Pinewood Quality. *Baltic Forestry*, 5(2): 2-7
- Zeide, B. 2001. Thinning and growth: a full turnaround. *Journal of Forestry* 99: 20-25.