



■ Marika Salomäki



■ Pentti Niemistö



■ Jori Uusitalo

Marika Salomäki, Pentti Niemistö ja Jori Uusitalo

Ensiharvennuksen toteutusvaihtoehdot ja niiden vaikutukset männikön tuotokseen ja kasvatuksen kannattavuuteen ojitetuilla turvemilla – simulointitutkimus

Salomäki, M., Niemistö, P. & Uusitalo, J. 2012. Ensiharvennuksen toteutusvaihtoehdot ja niiden vaikutukset männikön tuotokseen ja kasvatuksen kannattavuuteen ojitetuilla turvemilla – simulointitutkimus. *Metsätieteen aikakauskirja* 3/2012: 163–178.

Harvennushakkuiden kannattavuutta turvemilla heikentävät puuston epätasaisuus, pieni hakkuukertymä ja runkokoko sekä puunkorjuuta rajoittava ojaverkosto ja maan huono kantavuus. Tavanomaisesta poikkeava ensiharvennus voi vaikuttaa hakkuun onnistumiseen ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen. Puuntuotosta ja taloudellista tuottoa tutkittiin erilaisilla ajourien sijoitteluilla ja leveysillä sekä harvennettävien, avohakattavien tai harventamatta jäävien vyöhykkeiden yhdistelmillä. Aineistona oli VMII0-lohkoilta poimitut 14 ensiharvennusemäntikköä Etelä-Pohjanmaalla, joille simuloitiin Motti-ohjelmalla eri käsittelyvaihtoehtojen puuntuotos ja kannattavuus kasvatustajan loppuun.

Koko leimikon tasainen harventaminen ja neljän metrin levyiset ajourat ojien välisellä saralla 20 metrin välein osoittautuivat parhaiksi sekä puuntuotoksessa että taloudellisessa kannattavuudessa. Harventamattomassa puustossa ainespuun tuotos oli lähes yhtä suuri, mutta taloudellinen tulos 3% korolla oli siinä heikoin kaikista tutkituista käsittelyvaihtoehdoista. Syynä oli hakkuutulojen ajoittuminen kokonaan päätehakkuuseen. Ajouran leventäminen kahdella metrillä pienensi koko kasvatusajan puuntuotosta 5,9% ja nettotulojen nykyarvoa 4,7%. Leveän ajouran avaaminen ojan penkoille ja keskelle sarkaa vähensi vastaavasti puuntuotosta 10%, mutta nettotulojen nykyarvoa vain 4,5% korkeiden ensiharvennustulojen takia. Erilaiset kaistalehakkuvaihtoehdot tai harventamattomien vyöhykkeiden jättäminen olivat huonosti kannattavia.

Nykykäytännön mukainen ensiharvennus oli tässä tutkimuksessa edullisin toimintatapa myös turvemilla, mutta ajouria voidaan tulosten mukaan leventää ja sijoittaa joustavasti ojien päälle tai viereen sekä eri osiin sarkaa kannattavuuden siitä suuresti alentumatta. Tällaiset harvennusleimikoiden korjuukelpoisuutta ojitusalueilla parantavat seikat ovat merkittäviä, koska suomänniköiden harventaminen oli sinänsä kannattavaa ja harvennustuloilla oli suuri vaikutus koko kasvatusajan taloustulokseen.

Asiasanat: ajourat, harvennukset, ojitusalueet, puunkorjuu, puuntuotos

Yhteystiedot: Metla, Parkanon toimipaikka Sähköposti: pentti.niemisto@metla.fi

Hyväksytty 24.8.2012

Saatavissa <http://www.metla.fi/aikakauskirja/full/ff12/ff123163>

I Johdanto

Turvemaiden hakkuumahdollisuudet on valtakunnan metsien inventoinnissa (VMI) todettu selvästi suuremmiksi kuin niitä on viime vuosikymmeninä hyödynnetty. Suometsistä hakataan vuosittain noin 5 milj. m³ ainespuuta, mutta määrä olisi mahdollista lisätä 10–15 milj. m³:iin (Nuutinen ja Hirvelä 2006). Pinta-alassa suometsien ensiharvennustarve on VMI10:n perusteella kasvanut yli kaksinkertaiseksi edelliseen inventointiin verrattuna (Korhonen ym. 2007).

Turvemaan nuorten metsien harvennusrästeihin on monia syitä. Osalla kohteista hakkuukertymä ja korjattavien runkojen keskikoko ovat niin pieniä ja puunkorjuu siksi kallista, etteivät leimikot houkuta ostajia. Puuston epätasainen jakautuminen leimikossa ja pitkät lähikuljetusmatkat alentavat korjuun tuottavuutta. Turvemaiden heikko kantavuus ja roudattomien jaksojen pituus rajoittavat suometsäkohteiden korjuuta. Suometsät ovat myös metsäteollisuuden logistiikan näkökulmasta hankala raaka-aineen lähde. Turvemaiden puunkorjuun keskittyminen roudan aikaan sekoittaa tuoreen puuraaka-aineen ympärivuotista tasaista virtaa ja kasvattaa ajoittain puuvarastoja tienvarressa ja tehtaalla. Korjuun kausivaihtelun tasoittaminen edellyttäisi, että turvemaan korjuukohteille päästäisiin myös huonompien korjuuolosuhteiden aikaan. Turvemaiden puunkorjuun kulkukelpoisuusongelmia on käsitelty esimerkiksi tutkimuksissa Sirén toim. (2002), Sirén (2006), Ala-Ilomäki (2006) ja Airavaara ym. (2008).

Turvemaiden puustot ovat usein ikä- ja kokojakaumaltaan epätasaisia (Hökkä ja Laine 1988). Vaikka puuston rakenne tasoittuu vähitellen ojituksen jälkeen puiden välisen kilpailun ja metsänkäsittelyn seurauksena, läpimittojen suuri vaihtelu säilyy suometsiköissä yleensä kiertoajan loppuun saakka (Sarkkola ym. 2002 ja 2005). Muita turvemaiden puustoille tyypillisiä piirteitä ovat ryhmittäisyys, aukkoisuus ja hieskoivun runsaus sekapuuna. Turvemaiden ja kivennäismaiden eroista huolimatta, ojitusalueiden puustot käsitellään yleensä samoin kuin kangasmaiden puustotkin. Puuston rakenteen epätasaisuuden vuoksi ensiharvennus voidaan tällaisissa metsiköissä joutua tekemään aikaisemmin, havennuskertymät ovat pienempiä ja kasvatettavan

puuston määrä voi jäädä pienemmäksi kuin vastaavan kehitysvaiheen tasarakenteisissa metsiköissä (Pukkala ja Miina 2005).

Turvemaan metsänkasvatuksen toimenpideketjussa tarvitaan yleensä 1–2 harvennusta ja 1–2 kunnostusojitusta ennen päätehakkuuta (Kojola 2009). Turvemaiden metsänhoidossa ensimmäisestä ojituksesta päätehakkuuseen kuluva aika kutsutaan kasvatusajaksi (Hökkä ja Penttilä 2005). Lähtöpuuston metsänhoidollinen tila vaikuttaa paljon siihen, millainen käsittelyketju on ainespuun tuotoksen perusteella paras (Kojola ym. 2008 ja Kojola 2009). Metsänhoidolliselta tilaltaan hyvissä metsiköissä paras käsittelyketju sisältää em. tutkimusten mukaan yhden harvennuksen ja kunnostusojituksen lukuun ottamatta puuntuotoskyvyltään parhaita eteläisimpiä kasvupaikkoja, joilla tarvitaan useampia käsittelyjä. Metsänhoidolliselta tilaltaan huonoissa lähtöpuustoissa joudutaan ensimmäinen harvennus tekemään suhteellisen aikaisin ja silloin kasvatusketjuun tarvitaan toinenkin harvennus. Toisaalta Kojolan ym. (2004) tutkimuksen mukaan puuston kokonaiskasvu on suurin harventamattomissa metsiköissä ja vuotuisessa myyntipuun lisäyksessä ei ollut käsittelyjen välillä suuria eroja. Harvennuksen etuna oli lähinnä kiertoajan lyheneminen lisääntyneen runkopuun tuotoksen vuoksi.

Hyvän kasvatusketjun määrittely edellyttää monien tekijöiden yhteensovittamista ja tasapainoilua puuntuotoksen määrän ja aikaisia harvennustuloja suosivan kannattavuuden kesken. Liian aikainen ensiharvennus on yleensä taloudellisesti heikosti kannattava, mutta joissakin kohteissa se voidaan nähdä metsänhoidollisena toimenpiteenä, josta suuria hakkuutuloja ei ole odotettavissa. Silloin tärkeintä on luoda pohja metsikön tulevalle tuotolle. Lievähäkö ensiharvennus ajallaan ja voimakkaampi toinen harvennus johtavat usein hyvään taloustulokseen turvemaan männiköissä (Penttilä ym. 2002). Nettotulojen nykyarvon käyttö korostaa aikaisin saatujen tulojen merkitystä. Toisaalta, mitä myöhemmin kustannuksia syntyy, sitä pienempi on niiden merkitys kasvatusajan nettonykyarvoon.

Rakenteeltaan epätasaisissa suopuustoissa metsänkäsittelyllä on ilmeisesti suhteellisesti suurempi vaikutus puun tuotokseen ja laatuun kuin tasarakenteisissa puustoissa kangasmaalla (Rikala ja Sipi 2002). Pukkalan (1988) tutkimuksen mukaan

puiden tilajärjestyksen pienellä vaihtelulla ei ole vaikutusta nuoren männikön tilavuuskasvuun. Myöskään systemaattisesti kuuden metrin välein hakatut 2 metrin levyiset käytävät eivät vaikuta kasvuun, mutta leveämmät 4 metrin käytävät 20 metrin välein pienentävät em. tutkimuksen mukaan kasvuennustetta 10–20 %. Kasvutappiot riippuvat siitä, kuinka suuri osuus puuttomasta alasta on sellaista kasvutilaa, jota aukon viereiset puut eivät voi hyödyntää.

Ajouran leveys turvemaiden harvennushakkuukohteilla on vuoden 2008 korjuujäljen tarkastusten mukaan keskimäärin 4,3 metriä (Äijälä 2009). Puunkorjuussa pyritään ns. yleiskoneilla tekemään kaikki hakkuut ensiharvennuksesta päätehakkuuseen, eikä pieniä koneita ole juurikaan käytettävissä. Turvemaiden puunkorjuussa metsätraktori on varustettava suoteloilla, jotka kasvattavat koneen leveyden hieman yli kolmeen metriin. Myös turvemaiden erikoiskoneet kuten kääntyvätelaiset hakkuu- ja ajokoneet ovat leveydeltään samaa luokkaa.

Ajourien sijoittelussa ojitetulla kohteella on erilaisia vaihtoehtoja riippuen hakkuun ajankohdasta, vanhojen ojien kunnosta, sarkaleveydestä ja kunnostuksen toteutuksesta. Usein ojien etäisyydet ja suunnat vaihtelevat ja sarkaleveys poikkeaa puunkorjuuta ajatellen parhaasta mahdollisesta. Esimerkiksi korjuujäljen tarkastuksissa vuodelta 2008 on ajouraväli ollut alle 20 metriä 14,3 % ensiharvennuskohdeista (Äijälä 2009). Keskipokoisen hakkuukoneen ulottuvuus on noin 10 metriä, joten optimaalisena ajouravälinä pidetään 20 metriä.

Etuna ajourien sijoittamisessa vanhojen ojien päälle on valmis aukko ja usein hyvät hakkuumahdollisuudet ojien lähellä. Ajouran vuoksi ei silloin tarvitse poistaa runsaasti kasvatuskelpoista puustoa, mutta harvennuksen tarve ja hakkuukertymä voi olla kuitenkin suuri lähellä uraa. Kantavuus ojan reunoilla voi olla hyvä, mutta etenkin paksuturpeisilla kohteilla se on usein huono. Muita haittoja ovat epätasainen kulkualusta sekä ojien liettyminen ja hakkutähteiden kertyminen ojiin, joten hakkuu on tehtävä ennen ojien perkausta. Ojan penkalla ajettaessa ajoura ja oja muodostavat yhdessä leveän aukon ja ajouran vuoksi voidaan joutua poistamaan runsaasti hyväkasvuista puustoa. Sirénin (2005) mukaan koko harvennuskertymä on 39 % leimikon ainespuutilavuudesta, kun ajourat sijaitsevat saralla ja 35 %, kun ajourat sijaitsevat ojan päällä. Ilman

ajouraa tehdyssä koeleimauksessa kasvatettavaksi valittuja puita on jouduttu poistamaan saralle avautulta ajouralta yli 50 % enemmän kuin vastaavalta ajouralta ojan päällä.

Ajourien kokonaisala ei ole pois puuntuotannosta, vaan reunapuut pystyvät hyödyntämään osan lisääntyneestä kasvutilasta ja hakkuutähteistä vapautuvat ravinteet ovat etenkin reunapuiden käytettävissä (Eriksson 1982 ja 1987, Niemistö 1989, Isomäki ja Niemistö 1990). Osa ajouran pinta-alasta kuuluu jo ennestään reunapuiden kasvutilaan. Mahdolliset puuston korjuuvauriot ja urapainumat voivat puolestaan ehkäistä reunapuiden kasvun lisäyksen tai jopa pienentää niiden kasvua (Fries 1976, Isomäki ja Kallio 1984, Mäkinen ym. 2007).

Leveydeltään vaihtelevien avoimeksi hakattujen käytävien vaikutusta reunapuiden kasvuun on selvitetty Isomäen (1986) sekä Mäkisen ym. (2006) tutkimuksissa. Kivennäismaan männiköissä systemaattinen käytävähakkuu (hakattiin pelkästään 2–5 m levyiset suorat käytävät) ja puolisystemaattinen harvennus (2–5 m levyiset käytävät + valikoiva harvennus niiden välissä) ovat alentaneet tukkituotosta, mutta eivät ainespuun tuotosta suhteessa valikoivaan harvennukseen. Puun kasvua lisäävä reunavaikutus on ollut selvä kuusella ja koivulla, mutta männyllä sitä ei ole kaikissa tapauksissa havaittu. Erilaisten johtolinjojen varressa (Isomäki 1986) reunavaikutus ei ole millään puulajilla pystynyt täysin korvaamaan avatun käytävän aiheuttamaa tuotostappiota. Samansuuntaisia tuloksia on saatu myös ruotsalaisissa tutkimuksissa (Bucht ja Elfving 1977, Pettersson 1986).

Kysymys ajourien leveyden lisäämisestä tulee suoraan käytännön tarpeista. Leveämmät ajourat voivat olla yksi vastaus turvemaan kantavuusongelmiin, mikäli ajolinjaa uralla voidaan muuttaa ajokerrasta toiseen ja siten jakaa turpeen juuristokerrokseen kohdistuvaa räsitusta laajemmalle alueelle. Leveämpi ajoura mahdollisesti suurentaa harvennuskertymää sekä nopeuttaa hakkuuta ja vähentää korjuuvaurioita, kun koneilla on runsaasti tilaa liikkua ja työskennellä ajouralla. Puuston määrä ja rakenne voi vaihdella eri etäisyydellä ojista, joten myös ajourien sijoittelulla voi olla vaikutusta harvennuskertymään ja kasvuun. Korjuukoneen lieväkin kääntyminen koettelee turvemaan kantavuutta enemmän kuin suoraan ajo, joten ajouraverkon tulisi

olla mahdollisimman suoraviivainen. Näitä kysymyksiä ei ole kuitenkaan vielä tutkittu.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ajo-uran sijoittelun ja leveyden sekä erilaisten ensiharvennustapojen vaikutusta puuntuotukseen ja kasvatustajan taloudelliseen tulokseen ojitetuissa ensiharvennusköyryissä turveilla. Tutkimuksessa pyrittiin selvittämään 1) onko tasaiseen puustorakenteeseen pyrkiminen harvennuksessa välttämätöntä vai voitaisiinko ojitusalueen metsänkasvatuksen taloudellista tulosta parantaa esimerkiksi harventamalla osa saralla olevasta puustosta voimakkaammin ja jättämällä osa puustosta ensiharvennuksessa käsittelemättä sekä 2) mikä on ajo-uran leventämisen vaikutus hakkuukertymiin, jäävän puuston määrään sekä puuntuotukseen ja metsänkasvatuksen taloudelliseen tulokseen kasvatusaikana. Tutkimus perustui ensiharvennusköyryssä mitatuille puustoille simuloituihin erilaisiin käsittelyvaihtoehtoihin.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Aineisto

Tutkimuksen lähtöaineistona oli ojitettujen turve-aiden ensiharvennusköyryä määrittämistä varten kesällä 2007 mitatut 40 metsikkököyryä (Bergroth ym. 2008). Edustavuuden ja alueellisen merkittävyyden vuoksi köyryjen paikat valittiin sa-

tunnaisesti VMI10:n Etelä-Pohjanmaalla sijaitsevien ojitettujen turveaidenköyryjen kertaköyryistä, joille oli ehdotettu ensiharvennusta ensimmäiselle viisivuotiskaudelle. Maastossa mitattujen köyryjen koko oli 20×40 metriä siten, että köyryän pitkä sivu rajoittui ojaan (kuva 1). Keskimääräinen lämpösumma vaihteli välillä 1017–1137 dd. (taulukko 1).

Tähän tutkimukseen valittiin kaikista mitatuista ne köyryt, joiden pääpuulaji oli mänty ja turvekangastyypit olivat puolukkaturvekangas (Ptkg I tai II) tai varputurvekangas (Vatkg) (Laine ja Vasander 2005). Valitut 14 köyryä jakaantuivat turvekangastyypeittäin seuraavasti: Ptkg I: 4 kpl, Ptkg II: 6 kpl ja Vatkg: 4 kpl (taulukko 1).

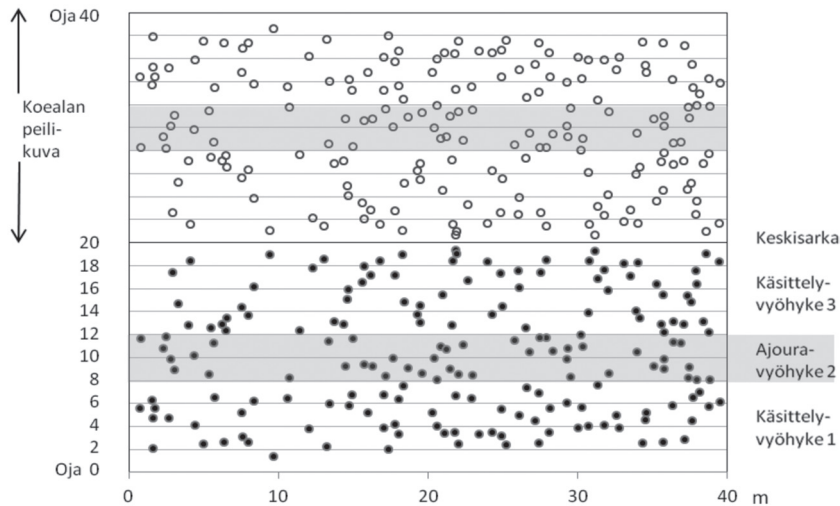
Köyryiltä mitattiin kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan vähintään 4 cm puut. Jokaisesta puusta määritettiin sijainti, puulaji, puujakso, rinnankorkeusläpimitta (mm), puuluokka ja laatuluokka (tarkemmin: Bergroth ym. 2008). Kaikista mitatuista puista valittiin puulajeittain joka 6:s puu koepuoksi, joista mitattiin edellisten lisäksi puun pituus ja elävän latvuksen alarajan korkeus. Köyryän kaksi paksuinta puuta mitattiin lisäksi koepuuna.

2.2 Puuston kasvatusvaihtoehdot

Kukin köyry jaettiin ojan suuntaisesti 2 m leveyisiin kaistoihin (kuva 1). Kerrallaan tarkasteltavan kaistan leveydeksi valittiin 2 m, jotta ala olisi riittävän suuri harvennusköyryä ajatellen, mutta riittävän

Taulukko 1. Köyryjen yleistiedot.

Köyry	Kasvu- paikka	Keskiläpim. (aritm.) cm	Keskipituus (aritm.) m	Pohjapinta-ala, m ² /ha		Runkoluku kpl/ha	Tilavuus, m ³ /ha
				mänty	kaikki		
1	Ptkg I	16,6	13,2	20,6	23,9	1538	199
2	Ptkg I	11,9	11,0	18,7	18,8	2288	138
3	Ptkg I	14,9	12,2	25,2	29,4	2663	235
4	Ptkg I	16,0	12,5	21,6	21,9	1600	177
5	Ptkg II	16,0	11,6	23,4	23,4	1538	179
6	Ptkg II	14,6	12,1	10,3	16,5	1475	124
7	Ptkg II	12,3	10,9	17,1	26,2	3288	181
8	Ptkg II	13,3	12,7	26,7	29,3	2900	235
9	Ptkg II	15,3	12,4	17,3	17,6	1288	139
10	Ptkg II	10,6	9,7	16,7	17,9	2900	119
11	Vatkg	13,2	10,4	18,1	18,3	1900	129
12	Vatkg	13,8	10,7	17,1	18,0	1813	131
13	Vatkg	13,2	10,0	18,2	18,2	1825	126
14	Vatkg	13,3	11,6	21,0	22,1	2250	168



Kuva 1. Kaaviokuva mitatusta koealasta (mustat ympyrät) ja sen jakamisesta 2 metrin levyisiin kaistoihin. Esimerkkinä kuvassa on käsittely 3, jossa avattiin normaalia leveämpi ajoura poistamalla puut kaistoilta 8–10 m ja 10–12 m. Käsittelyvyöhykkeet puolestaan harvennettiin valikoivasti. Tulokset laskettiin 40 m sarkaleveydelle muodostamalla koealasta peilikuva (vaaleat ympyrät), joka ulottuu seuraavaan ojaan saakka.

pieni puuston epätasaisuuden huomiointiin ja erilaisten harvennustapojen toteutukseen. Kaistoista muodostettiin simuloinneissa eri levyisiä ajouria sekä harvennettavia ja käsittelemättä jääviä vyöhykkeitä. Kuvassa 1 on yhden koealan puukartta ja esimerkki ajouran sijoittamisesta koealalle. Puiden kasvu ennustettiin Metsäntutkimuslaitoksen Motti-ohjelmalla (Hynynen ym. 2002, tarkempi kuvaus luvussa 2.4).

Harvennettaville vyöhykkeille tehtiin ensiharvennus, jossa pyrittiin alaharvennukseseen, mutta kuitenkin niin, että myös yksittäisiä isoja puita poistettiin. Tämä tapahtui laskemalla kullekin puulle vertailuluku korottamalla rinnankorkeusläpimitta potenssiin 1,2 ja kertomalla satunnaisluvulla. Haluttu alaharvennus saatiin aikaan poistamalla kultakin 2 metrin kaistalta tarvittava määrä vertailuluvultaan pienimpiä puita. Puuston määrät muunnettiin hehtaarikohtaisiksi ja simuloitujen käsittelyvaihtoehdot toteutettiin turvemaiden harvennusmallien mukaisesti (Hyvän metsänhoidon... 2008). Koko metsikköä edustava jäävän puuston tiheys saatiin kaistojen summasta.

Puulajivalintaa ensiharvennuksessa ei tehty, koska valitut koealat olivat jo lähtötilanteessa melko puhtaita männiköitä. Pienikokoiset ojituksen jäl-

keen syntyneet hieskoivut tulivat alaharvennuksessa muutoinkin poistettaviksi ja yksittäisiä koivuja on perusteltua jättää aukkopaikkoihin. Toisessa harvennuksessa koivut poistettiin, jos niitä vielä oli jäljellä. Toinen harvennus tehtiin Motti-simulaattorilla alaharvennuksena koko koealalla.

Eri levyisiä ajouria varten harvennusvaihtoehdoissa poistettiin puusto yhdeltä, kahdelta tai kolmelta vierekkäiseltä 2 metrin levyiseltä kaistalta. Ajourien leveyden määrittelyyn on kehitetty erilaisia menetelmiä niin korjuuteknisestä näkökulmasta (Diggle ja Knutell 1979) kuin puuntuotannollisesta näkökulmasta (Niemistö 1989, Isomäki ja Niemistö 1990, Isomäki 1994). Korjuutekninen ajouraleveys on yleensä 2–3 m puuntuotannollista uraleveyttä suurempi, koska osa ajourasta kuuluu jo ennestään reuna- ja puuston kasvutilaan. Suoraviivaisesti tyhjennetty kaista vastaa periaatteessa ajouran puuntuotannollista leveyttä, joten siitä syntyvän ajouran korjuutekninen leveys on selvästi ko. kaistan leveyttä suurempi riippuen luonnollisesti puuston tiheydestä ja puiden satunnaisesta sijainnista viereisillä kaistoilla.

Korjuuteknistä menetelmää (Diggle ja Knutell 1979) soveltaen tutkimusaineistosta haettiin ajouraksi hakattavaa kaistaa lähimpänä olevat pystypuut sen molemmilta puolilta ja mitattiin niiden etäisyys

Taulukko 2. Koealapuustoille simuloitujen käsittelyvaihtoehdot ensiharvennuksessa.

Käsittely 1	Ei harvenneta, vain päätehakkuu (kontrolli)
Käsittely 2	Tavanomainen ajoura saralla (2/sarka), ensiharvennus
Käsittely 3	Tavanomainen ajoura + 2 m saralla (2/sarka), ensiharvennus
Käsittely 4	Tavanomainen ajoura + 4 m saralla (2/sarka), ensiharvennus
Käsittely 5	Kaistalehakkuu, 2x6 m vyöhyke aukoksi saran keskellä, ei ensiharvennusta
Käsittely 6	Kaistalehakkuu, 2x10 m kaista aukoksi saran keskellä, ensiharvennus
Käsittely 7	Leveä ajoura ojan vieressä ja saran keskellä, ensiharvennus
Käsittely 8	Leveä ajoura ojan vieressä, ensiharvennus 2x10 m vyöhykkeellä

ajourakaistan keskiviivasta. Mittaus toistettiin neljän metrin jaksoissa ajourakaistan pituussuunnassa. Ajouraksi hakattava yksi 2 metrin kaista vastasi tutkituilla koealoilla keskimäärin 4,3 m korjuuteknistä ajouraleveyttä ja kaksi 2 metrin kaistaa vastaavasti 6,3 metrin levyistä ajouraa.

Koealoille simuloitiin mahdollisimman erilaiset, mutta samalla myös puunkorjuun käytäntöön sopivat metsänkäsittelyvaihtoehdot, joista käytetään jatkossa taulukon 2 mukaista numerointia: Käsittely 1, Käsittely 2 jne.

Koko metsikön laskennassa 20 metrin levyinen koeala kaksinkertaistettiin siten, että sen toinen reuna on saran keskellä ja muu koeala käännettiin peilikuvakseen seuraavaan ojaan saakka. Koeala jaettiin harvennettaviin (tai harventamattomiin) puustovyöhykkeisiin ja kokonaan hakattaviin ajouravyöhykkeisiin siten että koko 40 metrin levyisen saran puusto oli käsiteltävissä ajourilta. Puunkorjuussa yleisin hakkuukoneen ulottuvuus on noin 10 metriä, joten harvennuksissa ajourien etäisyys toisistaan oli suurimmillaan 20 m (taulukko 3). Laskennassa käytetty sarkaleveys oli 40 m, kun maastossa tutkimuskoealojen kohdalta mitattu todellinen sarkaleveys oli keskimäärin 38,4 m.

Jokaiselle 14 koealalle simuloitiin kahdeksan vaihtoehtoa, joten lopullisia simulointeja tehtiin yhteensä 112 kpl. Käsittelyvaihtoehdosta riippuen koealat jakautuivat yhteen tai kahteen ajouraan ja käsittelyvyöhykkeeseen taulukon 3 mukaisesti.

Käsittelyssä 2, jossa ajouraleveys vastasi tavanomaista, pyrittiin harvennuksessa jättämään pohjapinta-ala, joka laskettiin harvennusmallin tavoitepuuston ala- ja ylärajan keskiarvona. Ajouran leventämistä kompensoitiin harvennusvoimakkuutta lieventämällä, jolloin puusto harvennuksen jälkeen jätettiin sopivasti harvennusmallin ohjetta tiheim-

mäksi (taulukko 4). Toisella harvennuskerralla, jolloin puiden keskimääräinen etäisyys toisistaan oli suurempi, ero harvennusmalliin jäi pienemmäksi. Kaikissa simuloinneissa aukoksi hakattujen kaistojen puustoa ei kokonaisuudessaan kompensoitu jättämällä enemmän puita puustoiselle vyöhykkeelle, jolloin harvennusaste metsikkötasolla lisääntyi. Esimerkiksi käsittelyssä 6 puolet koealasta hakattiin paljaaksi ja lisäksi puustoinen osa harvennettiin harvennusmallin (Hyvän metsänhoidon... 2008) mukaan. Harvennusta lievennettiin harvennusmallien tavoitteesta muutamalla tiheällä koealalla siten, ettei harvennusvyöhykkeeltä poistettu kerralla enempää kuin 40 % puuston pohjapinta-alasta.

Puuston kasvatusvaihtoehtojen ja kolmen kasvu- paikkaluokan vaikutuksia tutkittiin kaksisuuntaisella varianssianalyysillä (ANOVA / SPSS16.0). Luokkien välisten pareittaisten erojen merkitsevyys tutkittiin Bonferronin testillä.

2.3 Puuston kuvaus

Puustotunnukset on esitetty taulukossa 1. Turpeen paksuus oli kuudella koealalla yli metrin. Muilla kahdeksalla koealalla turpeen paksuuden keskiarvo oli 65 cm.

Koealojen runkoluvun suuren vaihtelun lisäksi myös puuston läpimittajakauma vaihteli suuresti (kuva 2). Puuston rakenteen vuoksi osalta koealoja saatiin jo ensiharvennuksessa kohtalainen ainespuukertymä, mutta joillakin ensiharvennus oli lähinnä nuoren metsän kunnostusta. Varpaturvekankailla rinnankorkeusläpimitaltaan alle 16 cm puita oli taasisesti noin 90 % runkoluvusta. Puolukkaturvekan- kailla vaihtelu oli suurempaa.

Vyöhykkeisiin perustuvan tutkimusmenetelmän

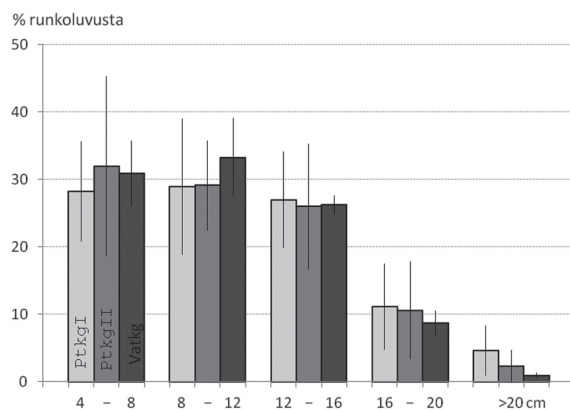
Taulukko 3. Koealan jakautuminen käsittely- ja ajouravyöhykkeisiin ojan suuntaisesti.

	Käsittelyvyöhyke 1	Ajouravyöhyke 2	Käsittelyvyöhyke 3	Ajouravyöhyke 4
Käsittely 1	0–20 m			
Käsittely 2	0–8 m	8–10 m	10–20 m	
Käsittely 3	0–8 m	8–12 m	12–20 m	
Käsittely 4	0–6 m	6–12 m	12–20 m	
Käsittely 5	0–14 m	14–20 m*		
Käsittely 6	0–10 m	10–20 m*		
Käsittely 7	4–18 m	0–4 m		18–20 m
Käsittely 8	4–10 m	0–4 m	10–20 m	

* avohakattu vyöhyke

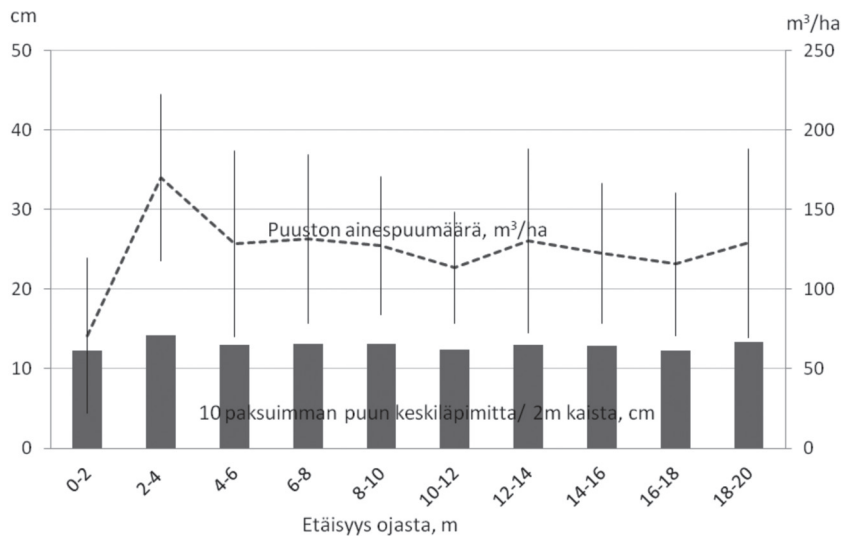
Taulukko 4. Ensimmäisen ja toisen harvennuksen voimakkuus (= jäävän puuston pohjapinta-ala, m²/ha) käsittelyvyöhykkeillä 1 ja 3 (ks. taulukko 2). Lyhenne ”harv.malli” tarkoittaa, että puuston pohjapinta-ala ensiharvennuksen jälkeen on harvennusmallin mukainen (Hyvän metsänhoidon... 2009). Lisämääre +1 tarkoittaa, että puuston määrä ylittää harvennusmallin yhdellä m²/ha jne.

Käsittely	Harvennus	Ensiharvennus m ² /ha, vyöhyk. 1	m ² /ha, vyöhyk. 3	Harvennus	Toinen harvennus m ² /ha, vyöhyk. 1	m ² /ha, vyöhyk. 3
1	ei tehdä			ei tehdä		
2	kaista 1 ja 3	harv. malli	harv. malli	tarvittaessa	harv.malli	harv. malli
3	kaista 1 ja 3	harv. malli +1	harv. malli +1	tarvittaessa	harv. malli +0,5	harv. malli +0,5
4	kaista 1 ja 3	harv. malli +2	harv. malli +2	tarvittaessa	harv. malli +1	harv. malli +1
5	ei tehdä			tarvittaessa	harv. malli +1	
6	kaista 1	harv. malli		tarvittaessa	harv. malli	
7	kaista 1	harv. malli +2		tarvittaessa	harv.malli +1	
8	kaista 3	harv. malli		tarvittaessa	harv. malli	harv. malli



Kuva 2. Rinnankorkeusläpimittaluokkien osuudet lähtöpuuston runkoluvusta kasvupaikkatyypin keskiarvona. Pystyviivat kuvaavat keskihajontaa.

vuoksi on tarpeen verrata lähtöpuuston ominaisuuksia eri etäisyyksillä ojasta (kuva 3). Eniten puustoa oli 2–4 m etäisyydellä ojasta sijaitsevalla kaistalla. Muuten puuston määrässä ei ollut selviä eroja eri etäisyyksillä ojasta. On huomattava, että koealan 0-kohta sijaitsee ojan keskellä, joten vähiten puustoa oli luonnollisesti 0–2 metrin kaistalla, joka on koealasta riippuen kokonaan tai osittain ojaa. Se jätettiin pois kaistojen ainespuumäärää vertailevasta varianssianalyysistä. Kaistan 2–4 m ainespuun määrä erosi tilastollisesti merkitsevästi kaistoista 10–12 m ($p = 0,023$) ja 16–18 m ($p = 0,024$), mutta muutoin kaistojen välillä ei ollut merkitseviä eroja. Lähtöpuuston keskiläpimitassa kaistojen välillä ei ollut eroja, mutta suurimmat puut olivat kaistalla 2–4 m paksumpia kuin koealan muissa osissa. Koivun osuus puustosta oli melko tasainen ja riippumaton ojan etäisyydestä. Kasvupaikkatyypillä ei ollut yhdysvaikutusta puuston vaihteluun eri etäisyyksillä ojasta.



Kuva 3. Tutkimuskoealojen ainespuumäärän vaihtelu (mittausajankohdan keskiarvot ja keskihajonnat) eri etäisyyksillä ojasta laskettuna 2 metrin levyisille kaistoille. Pylväskuvana on esitetty vastaavasti koealan 10 paksuimman puun keskiläpimitta kaistoittain (= 1250 paksuinta/ha).

2.4 Kasvun ja tuotoksen laskenta

Puuston kasvun ennustamisessa käytettiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitettyä Motti-ohjelmaa, johon on sisällytetty sekä puu- että metsikkötason kasvumalleja, jotka perustuvat laajoihin ja edustaviin inventointiaineistoihin sekä pitkään seurattuihin metsänkäsittelykokeisiin. Pohjapinta-alan kasvulle, metsiköiden valtapituuden kasvulle ja luonnonpoistumille Motti-ohjelmassa on erikseen turvemaille tarkoitetut mallit. Mallit ovat ei-spatiaalisia, eli niissä ei käytetä tietoa puiden sijainnista. Motin malli on esitelty tarkemmin julkaisussa Hynynen ym. (2002).

Motti-ohjelmaan lähtöpuusto muodostettiin koealalta mitatuista puista siten, että yhdellä kerralla simuloitiin kaikkien saman harvennuskäsittelyn piiriin kuuluvien 2 metrin kaistojen puuston kehitys. Vastaavasti harventamattomista kaistoista muodostettiin simulointia varten oma lähtöpuustonsa. Puutavaralajien läpimitta- ja pituusvaatimukset olivat taulukon 5 mukaiset. Koivut apteerattiin kokonaan kuitupuuksi. Pikkutukin vähimmäispituutena käytettiin 3,5 metriä ja kuitupuun 3,0 m kaikilla puulajeilla. Motti-simulaattorissa käytettiin puutavaralajien

Taulukko 5. Motti-ohjelmassa käytetyt puutavaran latvaläpimitan minimiarvot (cm).

	Mänty	Kuusi	Lehtipuut
tukki	14,5	15,5	ei tukkia
pikkutukki	12,0	12,0	ei tukkia
kuitupuun	6,0	7,0	6,0

katkonnassa ns. tukkivähennystä, joka alentaa tukin saantoa oletettujen vikojen vuoksi. Vähennysmalli perustuu valtakunnan metsien inventointimittauksiin (VMI) ja se ottaa huomioon puun läpimitan, puulajin ja iän (Yli-Kojola ja Nevalainen 2006).

Käsittelyvaihtoehdot simuloitiin suoraan lähtöpuustolle neljällä koealalla 14:sta. Muilla koealoilla puustoa kasvatettiin Motti-simulaattorissa sopivan ensiharvennusajankohdan saavuttamiseksi. Tähän tarvittiin neljällä koealalla viisi vuotta, mutta muilla kuudella koealalla 10–20 vuotta. Inventointivaiheessa kaikki koealat oli merkitty kiireellisyysluokkaan 1:een eli ensiharvennus oli ehdotettu tehtäväksi ensimmäisen viisivuotiskauden aikana. VMI:ssä arvio perustuu kuitenkin koko kuvioon, eikä pelkästään koealaan niin kuin tässä tutkimuksessa jouduttiin tekemään. Koealoista viidellä tehtiin yksi harvennus

Taulukko 6. Hakkuutulojen laskennassa käytetyt puutavaralajien kantohinnat (€/m³):

Mät = mäntytukki, Mäp = mäntypikkutukki, Mäk = mäntykuitupuun ja Kok = koivukuitupuun. Laatukorjattuja kantohintoja käytettiin käsittelyvaihtoehdoissa 1, 5 ja 8, joissa ensiharvennusta ei tehty tai se tehtiin vain osalle koealaa.

	Ensiharvennus				Harvennus				Päättehakkuu			
	Mät	Mäp	Mäk	Kok	Mät	Mäp	Mäk	Kok	Mät	Mäp	Mäk	Kok
	20	12	12	11	45	23	15	14	53	26	18	17
Laatukorj.	20	12	12	11	42	21	13,5	14	50	24	16,5	17

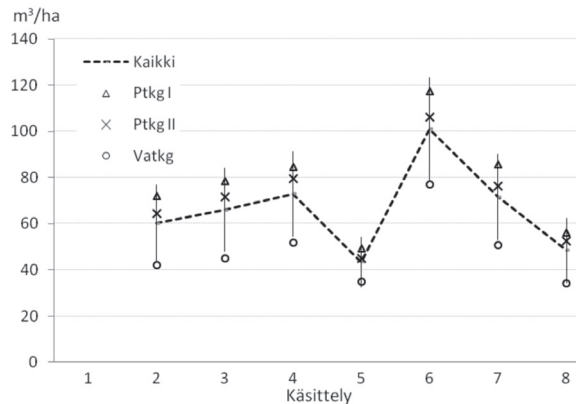
ja yhdeksällä kaksi harvennusta kasvatusajassa.

Päättehakkuun ajankohta simuloinneissa määräytyi uudistamissuosituksen (Hyvän metsänhoidon... 2008) keskiläpimittaohjeen perusteella. Sen mukaan 1000–1200 dd. lämpösomma-alueella uudistamiskypsyyden rajana on puolukkaturvekankaalla 23–27 cm ja varputurvekankaalla 22–25 cm. Lakiraja, eli valtioneuvoston asetuksella säädetty vähimmäisläpimitta uudistamiselle on Väli-Suomen puolukkaturvekankaalla 22 cm ja varputurvekankaalla 20 cm (Valtioneuvoston asetus... 2010). Koealoittain käytettiin samanpituista kasvatusaikaa kaikissa käsittelyvaihtoehdoissa (taulukko 2). Se perustui keskiläpimitan kehitykseen tavanomaisena pidettävässä käsittelyssä 2.

2.5 Metsänkasvatuksen taloustuloksen laskenta

Kunnostusojituksen vaikutusta puuston kasvuun ja metsänkasvatuksen kannattavuuteen ei tarkasteltu. Simuloinneissa kunnostusojitus ajoitettiin harvennusten yhteyteen tai simuloinnin alkuun niissä käsittelyissä, joissa ensiharvennusta ei tehty. Kunnostusojituksen kustannus oli tässä tutkimuksessa 240 €/ha. Ainespuun hintoina käytettiin alkuvuoden 2011 keskimääräisiä hakkuutavoittain laskettuja kantohintoja koko Suomessa (Metinfo 2011, taulukko 6). Harvennus vaikuttaa kasvatettavan puuston laatuun, joten ensiharvennuksessa käsittelemättä jääville vyöhykkeille tehtiin päättehakkuussa laatuvehennys siten, että 3 % mäntytukista siirtyi kuitupuuksi ja yksikköhintaa laskettiin taulukon 5 mukaan. Ensiharvennuksessa kertyi vähän ja laadultaan heikkoja tukkeja, joille käytettiin pikkutukin hintaa ja pikkutukeille kuitupuun hintaa.

Taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin netto-



Kuva 4. Ensiharvennuksen ainespuukertymä eri käsittelyvaihtoehdoissa (taulukko 2): keskiarvo ja keskihajonta käsittelyittäin koko aineistossa sekä keskiarvot kasvupaikka-tyypeittäin.

tulojen nykyarvomenetelmällä käyttäen 3 % korkokantaa. Kantorahatutot ja kunnostusojituksen kustannukset diskontattiin ensiharvennuksen ajankohtaan. Korjuukustannukset sisältyivät kantohintoihin.

3 Tulokset

3.1 Ensiharvennuskertymä ja kasvatusajan ainespuutuotos

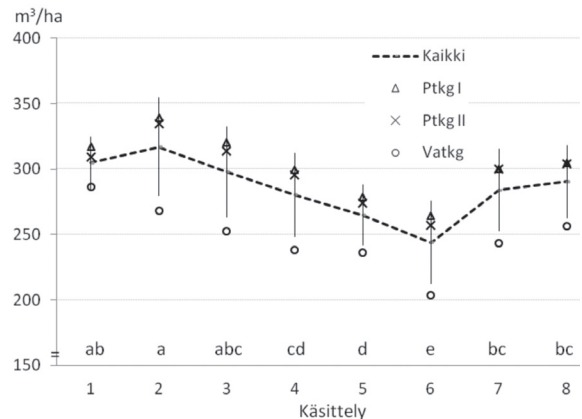
Ensiharvennuksen keskimääräinen ainespuukertymä vaihteli metsänkäsittelyvaihtoehtojen välillä 43–101 m³/ha (kuva 4). Suurin ainespuukertymä saatiin käsittelyvaihtoehdossa, jossa puolet alasta avohakattiin ja vastaavasti puolet harvennettiin. Varputurvekankailla eri käsittelyvaihtoehtojen ensiharvennuskertymä oli keskimäärin 48 m³/ha, puolukkaturvekangas I:llä 71 m³/ha ja puolukkaturve-

kangas II:lla 78 m³/ha. Nykysuositusten mukaisen metsänkäsitteilyn (käsitteily 2) ensiharvennuskertymä oli keskimäärin 60 m³/ha ja vaihteli välillä 38–83 m³/ha. Kannattavan ensiharvennuksen rajana pidetään yleensä 40 m³/ha ainespuukertymää. Kaikista 112 simuloinnista 13 jäi tämän rajan alapuolelle. Pienimmät kertymät olivat pääosin varputurvekankailla käsitteilyssä 5, jossa hakattiin vain 6 m kaista aukoksi, sekä käsitteilyssä 8, jossa ensiharvennus tehtiin vain puolella sarkaleveydestä.

Varputurvekankaalla koko kasvatusajan suurin ainespuutuotos saatiin, kun puustoa ei harvennettu lainkaan, vaan tehtiin pelkkä päätehakuu (kuva 5). Puolukkaturvekankailla korkein tuotos saatiin, kun sovellettiin tavanomaista ajouraleveyttä ja koko koeala ensiharvennettiin (käsitteily 2). Muuten käsitteilytapojen paremmuusjärjestys tuotoksen suhteen oli sama kasvupaikasta riippumatta eikä käsitteilyllä ja kasvupaikalla ollut varianssianalyyseissä merkitsevää yhdysvaikutusta. Pienin ainespuutuotos saatiin odotetusti käsitteilyssä 6, jossa puolet sarkaleveydestä avohakattiin ja toinen puoli harvennettiin. Koko kasvatusajan tuotosero parhaan ja heikoimman käsitteilyn välillä oli 73 m³/ha. Ajouran leventäminen kahdella metrillä vähensi kasvatusajan ainespuutuotosta n. 20 m³/ha.

Turvekangastyypeittäin kasvatusajan ainespuun tuotoksessa ei ollut eroa Ptkg I ja Ptkg II välillä. Varputurvekankaiden tuotos jäi kaikissa simuloinneissa 30–50 m³/ha puolukkaturvekankaiden tuotosta pienemmäksi. Ainespuun tuotoksessa puolet avohakkuuta sisältävä käsitteily 6 erottui 5 %:n riskitasolla huomattavasti kuin tuotokseltaan parhaat käsitteilytavat. Jos riskitaso nostettiin 10 prosenttiin ($p = 0,1$), silloin käsitteilyt 1 (harventamaton) ja 2 (nykysuositus) erottuivat tuotokseltaan muuta paremmiksi ja käsitteily 6 muuta heikoimmaksi. Myös käsitteilyssä 5 (avohakuu 6 m kaistalla, ei ensiharvennusta) tuotos oli merkittävästi muuta alempi. Leveiden ajourien sijoittaminen ojan varteen ja keskelle sarkaa pienensi kasvatusajan tuotosta noin 20 m³/ha verrattuna kahteen tavanomaiseen ajouraan saralla.

Keskimääräinen vuotuinen kasvu laskettiin simulointijaksolle, joka ulottui ensiharvennuksesta päätehakuuseen. Koko aineistossa vuotuisen ainespuumäärän kasvun vaihtelu oli käsitteilyittäin 1,4–2,5 m³/ha/v. Ajouran leventäminen kahdella metrillä vähensi ainespuumäärän kasvua keskimäärin 0,3



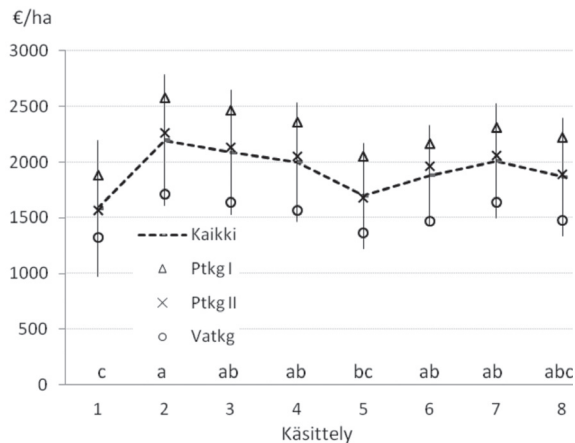
Kuva 5. Ensiharvennuksen käsitteilyvaihtoehtojen (taulukko 2) vaikutus koko kasvatusajan ainespuutuotokseen, kun eri tavoin käsitellyjen puustojen kehitystä on simuloitu kullekin lähtöpuustolle sovitetun kasvatusketjun mukaisesti: keskiarvo ja keskihajonta käsitteilyittäin koko aineistossa sekä keskiarvot kasvupaikkatyypeittäin. Samalla kirjaimella merkityt käsitteilyt eivät eronneet merkittävästi toisistaan ($p = 0,1$).

m³/ha/v. Käsitteily 1, jossa harvennuksia ei tehty, tuotti ainespuuta keskimäärin 2,3 m³/ha/v. Nykysuositusten mukaisessa kasvatustavassa (käsitteily 2) ainespuumäärän kasvu oli molemmilla puolukkaturvekangastyypeillä 2,6 m³/ha/v ja varputurvekankailla 2,25 m³/ha/v.

Harventamattomassa puustossa (käsitteily 1) pohjapinta-alalla painotettu päätehakuuläpimitta oli puolukkaturvekankaan metsiköissä keskimäärin 22,4 cm ja varputurvekankaalla 21,3 cm. Käsitteilystä riippuen keskiläpimitta päätehakuussa oli puolukkaturvekankaalla 1–2 cm suurempi ja varputurvekankaalla 2–3 cm suurempi kuin harventamattomassa puustossa.

3.2 Kasvatusajan nettotulojen nykyarvo

Kasvatusajan korkein nettotulojen nykyarvo, keskimäärin 2200 €/ha saavutettiin käsitteilyssä 2 eli nykysuosituksen mukaisella harvennustavalla ja ajouraleveydellä (kuva 6). Käsitteilyssä 1, jossa puustoa ei harvennettu lainkaan, nettotulojen nykyarvo oli pienin, keskimäärin 1590 €/ha. Näiden kahden käsitteilyn ero oli tilastollisesti merkitsevä. Harven-



Kuva 6. Ensiharvennuksen käsittelyvaihtoehtojen (taulukko 2) vaikutus nettotulojen nykyarvoon kasvupaikkatyypeittäin, kun eri tavoin käsiteltävien puustojen kehitystä on simuloitu kullekin lähtöpuustolle sovitettuna kasvatusketjun mukaisesti: keskiarvo ja keskihajonta käsittelyittäin koko aineistossa sekä keskiarvot kasvupaikkatyypeittäin. Laskenta-ajankohta oli ensiharvennus ja korkotasona 3%. Samalla kirjaimella merkityt käsittelyt eivät eroa merkitsevästi toisistaan ($p = 0,1$).

tamattoman puuston ainespuutuotos koko kasvatusaikana oli käsittelyvaihtoehdoista toiseksi suurin, mutta taloustulos heikoin, koska hakkuutulo saatiin kokonaan vasta päätehakkuussa.

Toinen merkitsevästi nykysuosituksen mukaista käsittelyä alempi nettotulojen nykyarvo, 1700 €/ha, saatiin käsittelyssä 5 (avohakkuu 6 m kaistalla, ei ensiharvennusta). Siinä sekä ensiharvennuskertymä että koko kasvatusajan ainespuukertymä ja tukkiprosentti jäivät kaikki melko pieniksi. Muut käsittelyjen kannattavuuserot eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Esimerkiksi voimakkaimmassa käsittelyssä 6 ja varsinkin lievässä käsittelyssä 8 nettotulojen nykyarvo oli lähes sama, vaikka kasvatettavan puuston erot olivat suuret.

Kaikissa käsittelyvaihtoehdoissa turvekangastyyppien taloustuloksen järjestys parhaimmasta huonoimpaan oli ravinteisuustason mukainen eli PtkgI, PtkgII ja Vatkg (kuva 6) ja kaikki kolme erosivat tilastollisesti toisistaan ($p = 0,05$). Kasvupaikalla ja käsittelyllä ei ollut yhdysvaikutusta.

Ajouran leventäminen kahdella tai neljällä metrillä (Käsittelyt 2, 3 ja 4) ei pienentänyt nettotulojen

nykyarvoa merkitsevästi. Ensiharvennuskertymä oli leveämpää ajouraa käytettäessä suurempi kuin tavanomaisella ajouraleveydellä, vaikka ajouran leventämistä pyrittiin kompensoimaan jättämällä puusto ajouran ulkopuolella hieman tiheämmäksi (taulukko 4). Ilmeisesti suurempi ensiharvennuskertymä lisäsi harvennustuloja ja kompensoi ajouran leventämisen pienentävää vaikutusta kasvuun ja sitä kautta taloustulokseen.

Tarkasteltujen kasvatusketjujen nettotulojen nykyarvon vaihtelu turvekangastyyppien sisällä oli suurta, varsinkin mikäli harvennushakkuuta ei tehty lainkaan. Ptkg II:lla harventamattoman metsikön taloustulos oli alle 70% parhaan kasvatusketjun tuloksesta, varputurvekankaalla se oli vastaavasti 77% parhaasta tuloksesta.

4 Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa nykysuositusten mukainen käsittely 2 (ks. taulukko 2) osoittautui parhaaksi sekä ainespuun tuotoksen että kannattavuuden perusteella. Siinä koko puusto käsiteltiin harvennussmallien mukaan ja hieman yli 4 m levyiset ajourat sijaitsivat saralla 20 m välein. Ajouran leventäminen kahdella metrillä pienensi metsikön vuotuista kasvua 11,4%, kasvatusajan tuotosta 5,9% ja nettotulojen nykyarvoa 4,7%. Ajouran leventäminen tästä vielä kahdella metrillä aiheutti lähes kaksinkertaisen taloudellisen tappion. Leveät ajourat ojan varressa ja saran keskellä (käsittely 7) alensivat vuotuista kasvua 20% ja kasvatusajan tuotosta 10%, mutta nettotulojen nykyarvoa vain 4,5%.

Harventamaton puusto oli eniten ainespuuta tuotettava vaihtoehto karuimmilla kasvupaikoilla, mutta kaikilla kasvupaikoilla se oli taloudellisesti huonoin vaihtoehto. Kojolan ym. (2004) simulointien mukaan turvemailla kokonaistuotos on suurin harventamattomissa metsiköissä. Harvennusten hyötynä on päätehakkuuläpimitan saavuttaminen lyhyemmällä kasvatusajalla ja suurempi myyntikelpoisen puun kasvu. Myös aikaiset harvennustulot parantavat selvästi taloustulosta, koska kasvatusaika turvemaan männiköissä on pitkä. Näistä syistä voimakkaimmat käsittelyt 6 ja 7 (kaistalehakkuu tai leveät ajourat + harvennus) sijoittuivat paremmin kannattavuus-

den vertailussa kuin puuntuotoksessa. Vastaavasti harventamattoman puuston tuotos oli suurin, mutta taloudellinen kannattavuus heikoin.

Simulointitutkimuksen lähtöaineistona olivat tarkasti mitatut ja kartoitetut todelliset puustot, jotka edustivat länsisuomalaisia, harvennustarpeessa olevia ojitusaluemänniköitä. Puuston eri käsittelyvaihdot muodostettiin 2 m levyisten ojan suuntaisten kaistojen avulla. Menetelmä osoittautui käyttökelpoiseksi laadittaessa erilaisia käytäntöön sovellettavissa olevia ajoura- ja harvennusvaihtoehtojen yhdistelmiä. Kapeampia kaistoja yhdistellen olisi mahdollisuus sijoitella eri levyisiä ajouria vielä monipuolisemmin, mutta kaistojen puumäärät olisivat silloin liian pieniä ja vaihtelevia puuston käsitteilyn simulointiin.

Puuston tuotos eri vaihtoehdoissa simuloitiin Motti-ohjelmalla, joka ei ota huomioon mahdollista ajourasta tai avohakkuuvyöhykkeestä johtuvaa reunapuiden lisäkasvua (Eriksson 1982 ja 1987, Niemistö 1989, Isomäki ja Niemistö 1990, Mäkinen ym. 2006). Toisaalta sulan maan aikaisessa puunkorjuussa syntyy turvemaiilla lähes aina ajourapainumia, jotka puolestaan pienentävät reunapuiden kasvua (Niemistö 2009). Tässä tutkimuksessa oletettiin, että nämä vaikutukset kumoavat toisensa. Ajourien leventämisen tuotosta alentavaa vaikutusta saatettiin tästä syystä yliarvioida, koska uran leventyminen voi lisätä reunapuiden kasvua.

Kaistalahakkuissa (käsittelyt 5 ja 6) urapainumat eivät pienennä kasvua, joten reunapuiden kasvu todennäköisesti aliarvioidaan. Suopuustoissa reunavaikutusta on tutkittu vähän (Niemistö 2009). Kangasmailla kuusella ja koivulla on havaittu voimakkaampi kasvua lisäävä reunavaikutus kuin männyllä (Isomäki 1986) ja etenkin karulla kasvupaikalla reunapuiden lisäkasvu on vähäistä. Suomänniköissä reunavaikutus voidaan olettaa puulajin, kasvupaikan karuuden, puuston ryhmittäisyyden ja valokilpailun vähäisyyden vuoksi melko pieneksi. Tässä tutkimuksessa vaihtoehdot, joihin sisältyi kaistalahakkuu, olivat niin selvästi muita vaihtoehtoja huonompia, ettei reunapuiden kasvun mahdollinen aliarvio muuta oleellisesti lopputulosta.

Puusto päätehakattiin kaikissa kasvatusvaihtoehdoissa samaan aikaan, joka määräytyi keskilämpimittan kehityksestä käsittelyssä 2. Yleensä voimakas harventaminen lyhentää taloudellisesti edullisinta

kiertoaikaa ja lievät harvennukset pidentävät sitä. Harventamattoman puuston taloudellinen kiertoaika voi kuitenkin lyhentyä siksi, että myyntipuukokoista puustoa alkaa kuolla (Jutras ym. 2003). Tässä tutkimuksessa voimakkaimpien käsittelyvaihtoehtojen taloudellinen tulos saattaisi hieman parantua, jos niissä käytettäisiin ko. käsittelylle optimaalista kasvatusaikaa. Kuitenkin eri käsittelyvaihtoehdoista myös harventamattoman puuston keskilämpimittä päätehakkuuvaiheessa ylitti lakirajan.

Käytetyt kantohinnat olivat alhaisimmat ensiharvennusvaiheessa ja korkeimmat päätehakkuussa. Näin otettiin huomioon korjuukustannukset, mutta käsittelytavan vaikutusta ensiharvennusvaiheen korjuukustannuksiin ei otettu huomioon. Todellisuudessa korjuukustannukset alentuvat, kun hakkuukertymän määrä ja korjattavien runkojen keskikoko kasvavat, ajourat leventyvät tai osa pinta-alasta avohakataan. Tämä vaikuttaa siten, että leveitä ajouria tai avohakkuukaistoja sisältävien vaihtoehtojen kannattavuus saatettiin hieman aliarvioida (etenkin käsittely 6, mutta myös 4, 7 ja 8, ks. taulukko 2). Harventamattoman puuston heikompi tekninen laatu otettiin huomioon, mutta mahdollisten korjuuvaurioiden aiheuttamia vikoja ei voitu tarkastella. Vaurioita syntyy eniten, jos käytetään kapeita ajouria.

Edellä tarkastellut tutkimusmenetelmän mahdollisesti aiheuttamat virheet vaikuttavat siihen suuntaan, että tilajärjestykseltään ja voimakkuudeltaan äärevien käsittelyjen (5–8) negatiivinen vaikutus tuotokseen ja kannattavuuteen olisi todellisuudessa pienempi kuin tämän tutkimuksen tulokset osoittavat. Toisaalta näihin käsittelyihin sisältyy riskejä, joita tutkimuksessa ei otettu huomioon. Etenkin myrsky- ja lumituhojen riski voi olla sitä suurempi, mitä leveämpiä käytäviä puustossa on ja mitä epätasaisempi on kasvatettava puusto (Sato ym. 1971, Laiho 1987, Valinger ja Pettersson 1996). Kaikissa tutkimuksissa tätä ei ole kuitenkaan havaittu (Kramer ja Jünemann 1985, Bucht ja Elfving 1977).

Käytännössä ajoura sijoitetaan usein ojan päälle tai viereen. Ensimmäinen 2 m kaista ojan keskeltä mitattuna oli tämän tutkimuksen mukaan vähäpuustoinen, koska suuri osa siitä oli ojaa. Sen sijaan seuraavalla kaistalla, 2–4 metrin etäisyydellä ojan keskeltä, puusto oli vähän keskimääräistä tiheämpää ja suurikokoisempaa (kuva 2). Muuta ojan etäisyydestä johtuvaa vaihtelua puustossa ei havaittu. Sen

sijaan Pohjolan (1983) tutkimuksen mukaan puuston kokonaismäärä pienene selvästi saran keskustaa kohti. Sirénin ym. (2006) simuloinneissa ajouran sijainti ojan päällä tai saralla ei ole vaikuttanut suuressi kiertoajan taloudelliseen tulokseen.

Kahden metrin levyiset kaistat ojan keskeltä mitattuna toimivat eri käsittelyvaihtoehtoja laadittaessa muutoin hyvin, mutta ajouran sijoittamisessa ojan varteen menetelmä oli joustamaton. Ajouraa varten puut poistettiin kahdelta neljän metrin vyöhykkeeltä ojan keskikohdan molemmin puolin (käsittelyt 7 ja 8). Näin tehtynä ajouran kokonaisleveys muodostui turhankin suureksi mahdollistaakseen ojan päällä ajamisen ja ojan perkauksen kunnostusojituksessa. Pelkän harvennuksen yhteydessä ojan päälle sijoitettu ajoura voisi olla kapea ja sen tuotosta alentava vaikutus pieni, mutta toisaalta, hakkuu ja ajo ojan päältä ovat käytännössä mahdollista vain, mikäli kunnostusojitus toteutetaan harvennuksen jälkeen. Sen sijaan ojan vieressä ajettaessa ura-aukko sijaitsee ojaan nähden toispuolisesti, mutta 4 m ojan keskeltä ei silloin riitä ajouran leveydeksi.

Käytännössä ojan viereen sijoitetun ajouran tuotosta ja kannattavuutta pienentävä vaikutus optimikäsittelyyn (käsittely 2) verrattuna on arviolta kolmannesta pienempi kuin oli käsittelyn 7 vaikutus. Toisin sanoen ojan vieressä ajaminen lisäisi ensiharvennuskertymää 8–9 m³/ha ja pienentäisi ainespuun tuotosta kasvatusaikana 6–7%. Ojan päällä ajamisen vaikutus on pienempi. Sirénin (2005) mukaan harvennuskertymä on 39% leimikon ainespuutilavuudesta, kun ajoura sijaitsee saralla ja 35%, kun ura sijaitsee ojan päällä. Toisen tutkimuksen mukaan ajouran sijoittelulla ei ole merkitsevää vaikutusta turvemaamännikön ensiharvennuskertymään (Sirén ym. 2006).

Mäkisen ym. (2006) tutkimuksen mukaan puoli-systemaattiset harvennukset (2–5 m käytävät + valikoiva harvennus) eivät pienennä ainespuun tuotosta kangasmailla. Tulokseen ei kuitenkaan sisälly puunkorjuun vaikutuksia. Useissa käytännöllisemmissä ajouratutkimuksissa on päädytty 10–20% kasvutappioon noin 10 vuoden jaksolla (Spellman 1986, Pettersson 1986, Bucht 1981). Niemistön (1989) kivennäismaan kuusikoissa tehdyssä tutkimuksessa ajouran leveyden kasvaminen metrillä on lisännyt kasvutappioita 5%. Koko kasvatusajalle tasoitettuna tulokset vastaavat hyvin tämän tutkimuksen

tuloksia.

Tässä tutkimuksessa 12 m kaistalehakkuu saran keskellä ilman ensiharvennusta alensi kasvua 32%, kasvatusajan tuotosta 16,5% ja kannattavuutta 20% verrattuna nyky-suosituksen mukaiseen harvennuksen. Kymmenen metrin kaistalehakkuu (= 20 m saran keskellä) ja muun puuston ensiharvennus alensivat kasvua peräti 45%, kasvatusajan tuotosta 23% ja nettotulojen nykyarvoa 15,5%. Kuten edellä todettiin, reunapuiden kasvu saatettiin näissä tapauksissa aliarvioida.

Mäkisen ym. (2006) mukaan puhtaassa käytävähakkuussa 2–5 m levyiset käytävät kangasmailla aiheuttavat männikoissä 2–3% ja kuusikoissa 11% kasvutappion noin 20 vuoden jaksolla. Samassa tutkimuksessa käytävän leveyden lisääminen metrillä on aiheuttanut noin 2% tuotostappion kiertoajan kuluessa. Jos männiköiden käytävähakkuiden tulosta sovelletaan tämän tutkimuksen käsittelyyn 6 (eli 12 m levyisen kaistaleen hakkuuseen), molemmissa tutkimuksissa päädytään samansuuruiseen, 16–17% tuotostappioon.

Tuloksia yleistettäessä on huomioitava aineiston suppea-alaisuus. Kaikki tutkitut koealat sijaitsivat Etelä-Pohjanmaalla kapealla lämpösumma-alueella ja puustot olivat lähes kaikki puhtaita männiköitä ja harvennukset tehtiin kaikissa metsiköissä männyn hyväksi. Viljavuustason puolesta tulokset ovat sovellettavissa varpu- ja puolukkaturvekankaille, jotka muodostavat suurimman osan turvemaiden männiköistä Suomessa. Puolukkaturvekangas II:n metsiköissä harventamattoman puuston tuotosta pienensi se, että kiireellisen ensiharvennuksen tarpeessa olevia puustoja oli useita. Niissä harventamattomuus aiheuttaa puuston riukuuntumista ja lisää nopeasti luonnonpoistumaa.

Tutkimuksessa oletettiin, että samanlaista käsittelytapaa sovellettaisiin koko leimikkoon. Kuitenkin esimerkiksi leveä ajoura voi tulla tarpeelliseksi vain paikoissa, joiden kantavuutta rasittavat useat ajokerrat tai koneiden kääntyminen. Nämä ajourat ovat pääasiassa kokoojauria, joita pitkin puutavaraa kuljetetaan varastolle.

Tulosten mukaan harventaminen on tarpeellista, ainakin kasvatusajan netto nykyarvon perusteella. Lähtöpuuston hyvä kasvatuskunto määrää kuitenkin pitkälti kasvatusketjun tuloksen käsittelyvaihtoehdosta riippumatta, mutta metsänhoitotöistä on

myös aiheutunut kustannuksia, joille on odotettavissa vastinetta kymmenien vuosien kuluessa tai vasta päätehakkuussa. Toisaalta esimerkiksi Tapion korjuujäljen tarkastuksessa (Mäki ym. 2010) on ilmennyt, että osa turvemaiden metsiköitä on ensiharvennettu paljon ennen harvennusmallien suosittelun pohjapinta-alan saavuttamista. Ryhmittäisessä puustossa voi olla silminnähtävää harvennustarvetta, vaikka kokonaispohjapinta-alan ja harvennusmallien perusteella sitä ei olisikaan. Lisäksi päätös harvennusajankohdasta tehdään ojitetuilla turvemaidella useimmiten kunnostusojitustarpeen perusteella. Tässä tutkimuksessa puusto kasvatettiin tarvittaessa ensin harvennusmallin leimausrajalle ja harvennettiin vasta sitten. Nykysuosituksen mukaisen käsittelyn kannattavuus voi hieman hyötyä tästä, koska tällöin lieväkin käsittely tuottaa kannattavan suuruisen harvennuskertymän.

Tulosten mukaan nykysuosituksen mukainen käsittelytapa on paras ratkaisu, jos sitä on mahdollista käyttää. Syynä vaihtoehtoisten menetelmien käyttöön voi olla esimerkiksi maaperän märkyys niin, että ilman poikkeuksellista ajouran sijaintia tai leveyttä metsikkö jää kokonaan käsittelemättä. Myös vanhojen ojien sijainti, puunkorjuun kannalta hankala sarkaleveys tai uudet ojat saattavat edellyttää poikkeamisen parhaasta vaihtoehdosta. Eräillä telakoneilla ajourat voidaan tehdä myös poikittais-suunnassa ojiin nähden, jolloin nykysuositus on toteutettavissa sarkaleveydestä riippumatta. Kaistalehakkuuvaihtoehdoissa pitää ottaa huomioon myös mahdollinen metsänuudistaminen, jolloin puuntuotoksen menetystä voisi osalla aluetta kompensoida uuden puusukupolven syntyminen.

Tässä tutkimuksessa arvioitiin muutamien vaihtoehtoisten harvennusmenetelmien ja ajouratarkaisujen puuntuotannollisia ja taloudellisia vaikutuksia. Kun metsätalouden kannattavuutta turvemaidella halutaan parantaa, harvennukset ovat tarpeellisia ja kantavuuden parantaminen ajouraleveyttä kasvatamalla on varteenotettava ja tuotostaloudellisesti kestävä vaihtoehto. Tutkitun kaltaisten vaihtoehtojen toteutuksesta ja käytännöllisistä hyödyistä tarvitaan lisää tutkimusta.

Kirjallisuus

- Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. Metlan työraportteja/Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 80. 46 s.
- Ala-Ilomäki, J. 2006. 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 – The Finnish Forest Research Institute, Research Papers 947: 98–111.
- Bergroth, J., Ihalainen, A. & Heikkilä, J. 2008. Ojitettujen turvemaiden taloudellinen ensiharvennuspotentiaali. Metsätehon katsaus 32. 4 s.
- Bucht, S. 1981. Effekten av några olika gallringsmönster på beståndsutvecklingen i tallskog. Summary: The influence of some different thinning patterns on the development of Scots pine stands. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsskötsel. Rapport 4. 276 s.
- & Elfving, B. 1977. Gallringsreaktion och tillväxt i ett korridorallrat bestånd. Summary: Thinning response and increment in a strip-thinned stand. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 4: 323–345.
- Diggle, P. & Knutell, H. 1979. “Kniggle” – en ny metod för skattning av stickvägsbredd. Summary: “Kniggle” – a new method for estimating striproad width. Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsteknik. Rapport 4. 59 s.
- Eriksson, H. 1982. Stickvägsbreddens inverkan på tillväxten i unga granbestånd – några nya resultat från ett sameuropeiskt forskningsprojekt. Summary: The effect of the width of striproad on the increment of young Norway spruce stands – some new results from a common European research project. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 6: 47–56.
- 1987. New results from plot no. 5 at Sperlingsholm estate in southwestern Sweden in the European Stem-number Experiment in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research. 2: 85–98.
- Fries, J. 1976. Körskadorna och produktionsförkluster. Skogshögskolan, Institutionen för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser 40. 64 s.
- Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting

- stand development in MELA system. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille. 2008. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 52 s.
- Hökkä, H. & Laine, J. 1988. Suopuustojen rakenteen kehitys ojituksen jälkeen. *Silva Fennica* 22(1): 45–65
- & Penttilä, T. 2005. Puuston käsittely turvemaille. Julkaisussa: Hynynen, J., Valkonen, S. & Rantala, S. (toim.). Tuottava metsänkasvatus. Metsäntutkimuslaitos ja Metsäkustannus Oy. Helsinki. 221 s.
- Isomäki, A. 1986. Linjakäytävän vaikutus reunapuiden kehitykseen. *Folia Forestalia* 678. 30 s.
- 1994. Ajouran leveyden määrittäminen. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 501. 66 s.
- & Kallio, T. 1984. Consequences of injury caused by timber harvesting machines on the growth and decay of spruce. *Seloste: Puunkorjuun aiheuttamien vaurioiden vaikutus kuusen lahoamiseen ja kasvuun. Acta Forestalia Fennica* 136. 25 s.
- & Niemistö, P. 1990. Ajourien vaikutus puuston kasvuun Etelä-Suomen nuorissa kuusikoissa. *Folia Forestalia* 756. 36 s.
- Jutras, S., Hökkä, H., Alenius, V. & Salminen, H. 2003. Modeling mortality of individual trees in drained peatland sites in Finland. *Silva Fennica* 37(2): 235–251.
- Kojola, S. 2009. Kohti hyvää suometsien hoitoa – harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus ojitusaluemänniköiden puuntuotukseen ja metsänkasvatuksen talustulokseen. *Dissertationes Forestales* 83. 67 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.
- , Hökkä, H., Laiho, R. & Penttilä, T. 2008. Harvennusten ja kunnostusojitusten vaikutus puuston kasvuun ja tuotukseen ojitetuilla rämeillä – simulointitutkimus. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2008: 75–95.
- 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.
- Kramer, H. & Jünemann, D. 1985. Summary: The influence of heavy individual and schematic thinning on the growth of young spruce stands. *Forstarchiv* 56: 253–258.
- Laiho, O. 1987. Metsiköiden alttius tuulituhoille Etelä-Suomessa. Summary: Susceptibility of forest stands to windthrow in southern Finland. *Folia Forestalia* 706. 24 s.
- Laine, J. & Vasander, H. 2005. Suotyypit ja niiden tunnistaminen. *Metsäkustannus*. 110 s.
- Metinfo – puun ostot ja hinnat kuukausittain. 2011. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: http://www.metla.fi/metinfo/tilasto/puukauppa/puukauppa_hinnat_kuukausittain_t.html. [Viitattu 3.12.2011].
- Mäki, O., Vanhatalo, K & Äijälä, O. 2010. Korjuujälkikriteeristö – osaprojektin raportti turvemaiden korjuujälkimittauksista. Tapio. 36 s.
- Mäkinen, H., Isomäki, A. & Hongisto, T. 2006. Effect of half-systematic and systematic thinning on the increment of Scots pine and Norway spruce in Finland. *Forestry* 79(1): 103–121.
- , Hallaksela, A.-M. & Isomäki, A. 2007. Increment and decay in Norway spruce and Scots pine after artificial logging damage. *Canadian Journal of Forest Research* 37: 2130–2141.
- Niemistö, P. 1989. A simulation method for estimating growth losses caused by strip roads. *Scandinavian Journal of Forest Research* 4(2): 203–214.
- 2009. Syvät painumat voivat aiheuttaa pysyvän haittan. *Uutiskirje – Suometsätalous*, ISSN 1798-4149, 2/2009 joulukuu. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/uutiskirje/sum/index.htm>. [Viitattu 3.12.2011].
- Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2006. Hakkuumahdollisuudet Suomessa valtakunnan metsien 10. inventoinnin perusteella. *Metsätieteen aikakauskirja* 1B/2006: 223–237.
- Penttilä, T., Kojola, S. & Laiho, R. 2002. Suomänniköiden ensiharvennukset. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 609–613.
- Pettersson, N. 1986. Korridoröjning i självsådd tallungskog. Summary: Line thinning in young natural regenerated pine stands. *Sveriges Lantbruksuniversitet, Institutionen för skogsproduktion. Rapport* 17. 22 s.
- Pohjola, T. 1983. Puuston vaihtelu ojitusaluiden nuorissa kasvatusmetsissä. *Metsähallituksen kehittämisjaoston tutkimusselostus* 137. 10 s. + liitteet.
- Pukkala, T. 1988. Effect of spatial distribution of trees on the volume increment of a young Scots pine stand. *Silva Fennica* 22(1): 1–17.
- & Miina, J. 2005. Optimizing the management of a heterogeneous stand. *Silva Fennica* 39(4): 525–538.
- Rikala, J. & Sipi, M. 2002. Suopuustot sahateollisuuden raaka-aineena. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 620–623.

- Sarkkola, S., Hökkä, H., Penttilä, T. & Päivänen, J. 2002. Metsien rakennedynamiikan erityispiirteet ojitusalueilla. *Metsätieteen aikakauskirja* 4/2002: 605–608.
- , Hökkä, H., Laiho, R., Päivänen, J. & Penttilä, T. 2005. Stand structural dynamics on drained peatlands dominated by Scots pine. *Forest Ecology and Management* (206)2005: 135–152.
- Satoo, T., Moroto, T. & Ushiyama, R. 1971. A line-thinning experiment of a plantation of *Cryptomeria japonica*: growth and snow damage. *Journal of the Japanese Forest Society* 53: 72–76.
- Sirén, M. 2002. (toim.) Ensiharvennusten korjuuolot ja niiden parantamismahdollisuudet. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 837. 56 s.
- 2005. Metsänkasvatus ja puunkorjuu. Julkaisussa: Hynynen, J., Valkonen, S. & Rantala, S. (toim.). Tuottava metsänkasvatus. *Metsäkustannus*. s. 148–160.
- 2006. Harvesting on peatlands – a challenge. Esitelmä tieteellisessä kokouksessa. *Wise Use of Peatlands*. 12th International Peat Congress, Tampere, Finland.
- , Tantu, 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.
- Spellmann, H. 1986. The effect of various thinning techniques and intensities on the development of a widely-spaced Norway spruce stand. *Allgemeine Forst und Jagdzeitung* 175: 27–31.
- Valinger, E. & Pettersson, N. 1996. Wind and snow damage in a thinning and fertilization experiment in *Picea abies* in southern Sweden. *Forestry* 69: 25–33.
- Valtioneuvoston asetus metsien kestävästä hoidosta ja käytöstä. 1234/2010. [Verkkodokumentti]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101234>. [Viitattu: 3.12.2011].
- Yli-Kojola, H. & Nevalainen, S. 2006. Metsätuhojen esiintyminen Suomessa 1986–94. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/2006: 97–180.
- Äijälä O. 2009. Harvennushakkuiden ja energiapuuharvennusten korjuujäljen tarkastusten tulokset 2008 (liitteet). [Verkkojulkaisu]. Saatavissa: http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Korjuujalki/Liitteet_korjuujalki_2008.pdf. [Viitattu: 30.7.2009].

50 viitettä