

Soili Kojola, Hannu Hökkä, Raija Laiho ja Timo Penttilä



Soili Kojola



Hannu Hökkä



Raija Laiho



Timo Penttilä

Harvennusten ja kunnostus- ojitusten vaikutus puuston kasvuun ja tuotokseen ojitetuilla rämeillä – simulointitutkimus

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.

Tutkimuksessa selvitettiin puuston kehityssimulointien avulla harvennusten ja kunnostusojitusten merkitystä mäntyvaltaisten ojitusaluemetsien puuntuotannossa. Koeala-aineistoista koostetuille, alueittain ja turvekangastyypeittäin edustaville lähtöpuustoille simuloitiin MOTTI-simulaattorilla erilaisia uudistamisvaiheeseen saakka ulottuvia kasvatusketjuja. Hyväkuntoisten nuorten kasvatusmetsien parhaisiin ketjuihin sisältyi yksi kunnostusojitus ja yleensä vain yksi harvennus, Etelä-Suomen ravinteikkaimmilla kasvupaikoilla kaksi harvennusta. Hoidon tarpeessa olevista nuorista metsistä alkavissa ketjuissa yksi harvennus oli riittävä kunnostusojituksen ohella karuimilla kasvupaikoilla, muilla tarvittiin kaksi harvennusta. Metsänhoitotoimia sisältävissä parhaissa kasvatusketjuissa keskimääräiset vuotuiset käyttöpuun kasvut olivat $1,4\text{--}6,8\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$, kun ne ilman harvennuksia ja kunnostusojituksia olivat $1,2\text{--}4,1\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$. Passiiviseen metsänhoitoon verrattuna parhaat kasvatusketjut tuottivat keskimäärin noin 10 % alhaisemman kokonaistuotoksen, mutta samalla keskimääräiset vuotuiset kokonaiskasvut lisääntyivät noin kymmenesosalla ja käyttöpuun kasvut puolella.

Asiasanat: harvennus, kunnostusojitus, metsän kasvatus, MOTTI, ojitetut turvemaat, *Pinus sylvestris*, simulointi

Yhteystiedot: *Kojola* ja *Penttilä*, Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö, PL 18, 01301 Vantaa; *Hökkä*, Metsäntutkimuslaitos, Rovaniemen toimintayksikkö, PL 16, 96301 Rovaniemi; *Laiho*, Helsingin yliopisto, metsäekologian laitos, PL 27, 00014 Helsingin yliopisto

Sähköposti soili.kojola@metla.fi

Hyväksytty 6.5.2008

I Johdanto

Metsänhoidolla vaikutetaan puuston elinvoimaisuuteen ja kasvuolosuhteisiin sekä edelleen metsänkasvatuksen puuntuotannolliseen ja taloudelliseen tulokseen. Ojitettujen suometsien tavanomaisimmat metsänhoidon toimenpiteet, harvennushakkuut ja kunnostusojitukset, vaikuttavat puiden kasvuun ja metsikön tuotokseen eri lähtökohdista: harvennukset kilpailun ja kunnostusojitukset kasvuolosuhteiden säätelemisen kautta. Harvennusten tarkoituksena on vähentää puiden välistä kilpailua, estää itseharvennemistä ja keskittää kasvua laadultaan ja kasvukyvyltään parhaisiin puihin. Ensimmäisen ojituksen seurauksena alentunutta pohjaveden pinnan tasoa kontrolloidaan tarvittaessa kunnostusojituksin, jolloin pidetään yllä saavutettua puuston kasvun tasoa, mutta saadaan aikaan myös lisäkasvua (Hökkä 1997a, Lauhanen ja Ahti 2001, Ahti 2006). Suometsien kasvumallien sekä niiden perustana olevien tutkimusten mukaan heikko kuivatustila alentaa puuston kasvua (Heikurainen 1980, Hökkä ym. 1997, 2000). Harvennukset taas alentavat kasvua metsikkötasolla (Hynynen ja Arola 1999, Kojola ym. 2004, Mäkinen ja Isomäki 2004), mutta yleensä lisäävät jäävien puiden kasvua ja vaikuttavat suotuisasti käyttöpuun kertymiseen.

Metsänhoidon vaikutukset puuntuotoksen määrään, rakenteeseen ja puutavaralajijakaumaan on oletettu soilla samantapaisiksi kuin vastaavan tuotostason kankailla. Vaikka suometsät eroavat ominaisuuksiensa suhteen huomattavasti kangasmetsistä, ja niissä on otettava yhtä aikaisesti huomioon sekä kasvupaikan että puuston hoidon tarpeet, on niihin tähän saakka sovellettu kangasmetsien käsittelysuosituksia (Hyvän metsänhoidon... 2001). Ojitusalueiden ensimmäisen puusukupolven metsille on tyypillistä erirakenteisuus (Hökkä ja Laine 1988, Hökkä ym. 1991, Sarkkola ym. 2005). Metsät muodostuvat ennen ojitusta syntyneistä eri-ikäisistä ja -kokoisista puista sekä ojituksen jälkeen eri aikoina syntyneistä puista, jotka ovat useimmiten myös sijoittuneet ryhmittäisesti kasvupaikalleen. Suopuustojen heterogeenisuudesta ja kasvupaikkojen vaihtelevista olosuhteista johtuen puut saattavat reagoida metsänhoitotoimenpiteisiin eri tavalla suolla kuin kangasmaalla.

Suomessa soiden metsätalouskäyttö keskittyy pää-

asiassa ojitusalueille, kaikkiaan vajaalle 4,9 miljoonalle hehtaarille, josta noin 4,2 miljoonaa hehtaaria on metsämaata (Metinfo 2007). Metsänhoitotöiden tarve kasvaa jatkuvasti pääosin 1960- ja 1970-luvuilla ojitettujen alueiden puustojen varttuessa. Valtakunnan metsien inventoinnin (VMI 10) mukaan ala, jolla on arvioitu olevan kunnostusojitustarvetta lähimmällä kymmenvuotiskaudella, on 1,5 miljoonaa hehtaaria (Metinfo 2007). Viime vuosien vuotuiset kunnostusojitusmäärät ovat kattaneet VMI:ssä kunnostusojitustarpeeksi arvioidusta pinta-alasta noin puolet (Metinfo 2007). VMI 9:n mukaan suometsissä arvioitiin olevan 740 000 hehtaaria taimikonhoito- ja harvennusrästejä (Tomppo 2005). Suometsissä on kuitenkin runsaasti hakkuupotentiaalia: esimerkiksi VMI 10:n aineistoista laskettu suurimman kestävän hakkuusuunnitteen arvio ensimmäiselle kymmenvuotiskaudelle (2006–2015) on suometsien osalta noin 12 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (Nuutinen ym. 2007).

Tässä tutkimuksessa keskityttiin ojitusalueiden puuston kasvuun ja tuotokseen tarkoituksena tuottaa perusteita suometsien hoidolle. Siinä selvitettiin simulointien perusteella kasvupaikkojen välisiä puuntuotoseroja sekä erilaisten metsänhoidon toimenpiteiden merkitystä ojitetuilla mäntyvaltaisilla rämeillä. Tutkimuksen tavoitteena oli

- i) erilaisten kasvupaikkojen ja alueiden puustojen kasvun ja tuotoksen selvittäminen sekä ilman metsänhoitotoimia että kunnostusojitusten ja harvennusten seurauksena
- ii) kunnostusojituksen ja harvennuksen ajankohdan ja harvennusvoimakkuuden tuotosvaikutusten arviointi
- iii) uudistamisajankohdan aikaistamisen tuotosvaikutusten arviointi sekä
- iv) parhaat tuotostulokset tuottavien kasvatusketjujen löytäminen tyypillisille ojitusalueiden mäntyvaltaisille metsille.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Simulointien lähtöpuustot

Simulointeja varten tarvittiin mitattuja aineistoja, joiden avulla voitiin tarkastella metsänhoidon vaiku-

tuksia ojitetuilla rämeillä alueittain ja kasvupaikoittain kattavasti. Aineistojen tuli edustaa metsiä, joissa ensimmäisestä ojituksesta kulunut aika kertoo lähestyvistä kunnostusojitustarpeesta ja joiden puusto on varttumassa ensiharvennusvaiheeseen. Lähtöpuustojen puulajeittaiset läpimittajakaumat koostettiin seuraavista aineistoista: 1) SINKA-koalat (VMI 7-maastomittauskoalojen alaotos; Penttilä ja Honkanen 1986), 2) Metlan suometsien harvennuskokeet (Penttilä 2001), 3) Suomessa vuosina 1930–1978 ojitettujen soiden inventointi (Keltikangas ym. 1986) sekä 4) Pirkka-Hämeen metsälautakunnan alueella ojitettujen nevarämeiden inventointi (Laiho ja Laine 1994) (taulukko 1).

Aineistoista valittiin varttuneita taimikoita (kehitysluokka 3) ja nuoria kasvatusmetsiä (kehitysluokka 4), joilla männyn (*Pinus sylvestris* L.) katsottiin olevan kasvatettava pääpuulaji. Pienimmillään männyn osuus oli 30 % tilavuudesta mustikkaturvekankaan (Mtkg II) hoidon tarpeessa olevassa varttuneessa taimikossa (taulukko 1). Taimikoissa mitattujen puiden minimiläpimitta oli 2,5 cm ja nuorissa kasvatusmetsissä 4,5 cm.

Lähtöpuustojen ojitusiäksi (aika ensimmäisestä ojituksesta) määriteltiin taimikoille 15 vuotta (vaihteluväli aineistoissa 11–23 vuotta) ja nuorille kasvatusmetsille 20 vuotta (vaihteluväli 10–40 vuotta). Nämä arvioitiin sopiviksi simulointien aloitusajankohdiksi, sillä silloin puustot ovat vakiintuneet ensimmäisen ojituksen jälkeen niin, että runkojen määrä ei oleellisesti enää lisääntynyt (Hökkä ja Laine 1988, Sarkkola ym. 2005) ja ojien kunto on heikentynyt (Heikurainen 1980, Keltikangas 1986, Lauhanen ym. 1998), joten kunnostusojitustarpeen ja -vaikutusten arviointi on ajankohtaista.

Lähtöpuustojen edustavuus sekä ilmastollisen että kasvupaikkatyypin vaihtelun suhteen pyrittiin varmistamaan ryhmittelemällä aineistot neljään lämpösumma-alueeseen (<900, 900–1025, 1026–1150 ja >1150 d.d.) sekä neljään turvekangastyypin (Laine 1989): varputurvekangas (Vatkg), puolukkaturvekangas I (Ptkg I), puolukkaturvekangas II (Ptkg II) ja mustikkaturvekangas II (Mtkg II) (taulukko 1).

Aineistoissa 1 ja 3 metsikoille oli määriteltävä metsänhoidollinen tila. Muiden aineistojen osalta vastaava määrittely tehtiin puuston tiheyden ja puulaji- ja läpimittajakaumien perusteella. Metsänhoidollisen tilan mukaan aineisto ryhmiteltiin kahteen

luokkaan: A: hyvä (ei välitöntä hoidon tarvetta) ja B: huono (harvennus- tai perkaustarve). Kasvupaikoilla Ptkg II ja Mtkg II hoidon tarve johtui useimmiten lehtipuuston, pääasiassa hieskoivun (*Betula pubescens* Ehrh.) runsaasta esiintymisestä, muilla puuston ryhmittäisyydestä ja/tai ylitiheydestä.

Kullekin sijainnin ja kasvupaikan sekä puuston kehitysvaiheen ja metsänhoidollisen tilan perusteella rajatulle ryhmälle tuotettiin koaloittain mitatuista puujoukoista yksi tyypillinen ja edustava lähtöpuusto. Se saatiin yhdistämällä samaan ryhmään kuuluvien koalojen runkolukusarjat. Tällä tavoin simulointien lukumäärä voitiin rajoittaa kohtuulliseksi. Kaikkiaan määriteltiin 40 lähtöpuustoa (taulukko 1). Jokaiselle saman lämpösumma-alueen lähtöpuustolle käytettiin alueen keskimääräistä maantieteellistä sijaintitietoa (pituusaste, leveysaste, korkeus meren pinnasta) ja lämpösummaa.

2.2 Suometsien kehityksen simulointi MOTTI-simulaattorissa

Lähtöpuustojen kehitys simuloitiin Metlan MOTTI-metsikkösimulaattorilla (Salminen ja Hynynen 2001), johon on liitetty suometsien puuston kehitystä kuvaavat mallit (kuva 1) (Hynynen ym. 2002, Hökkä ja Salminen 2006). Kangasmaiden malleihin verrattuna suometsien ennusteissa on pystyttävä ottamaan huomioon myös muutokset kasvupaikan vesiolosuhteissa. MOTIN malleissa nämä muutokset kuvautuvat puutason pohjapinta-alan kasvumallien kautta puuston kehitykseen (Hökkä ym. 1997, Hynynen ym. 2002). Suometsien mallit kuvaavat ensimmäisen ojituksen jälkeisen puusukupolven kehitystä. Mallit on kalibroitu VMI 8:n aineistolla (Hynynen ym. 2002).

MOTIN malleissa pohjapinta-alan kasvu paranee portaittain ojituksesta kuluneen ajan funktiona 25 vuoteen saakka ja sen jälkeen kasvun taso vakiintuu (Hökkä ym. 1997). Kunnostusojitustarvemalli (Hökkä ym. 2000) ennustaa metsikkötasolla todennäköisyyden ojien huonolle kunnolle ja kunnostusojituksen tarpeellisuudelle ensimmäisestä ojituksesta kuluneen ajan ja suon sijainnin perusteella. Pohjapinta-alan kasvumallien kautta ojien huono kunto alentaa kasvun tasoa kaikilla metsikön puilla. Ellei kunnostusojitusta erikseen estetä simuloinnin ai-

Taulukko I. Simulointien lähtöpuustojen metsikkötunnukset ja lähtöpuustojen taustalla olevat aineistot.

Lämpösumma- alue, d.d. ^{a)}	Kasvu- paikka ^{b)}	Kehitys- luokka ^{c)}	Metsänhoidoll. tila ^{d)}	Runkoluku, kpl ha ⁻¹	Pohjapinta- ala, m ² ha ⁻¹	Keskiläpim., cm ^{e)}	Valta- pituus, m	Tilavuus, m ³ ha ⁻¹	Koivun osuus, %	Aineisto ^{f)}
<900	Ptkg I	3	A	962	3,9	10,1	7,8	14	5,8	1
<900	Ptkg II	3	A	1123	3,8	8,9	7,2	13	1,8	1
<900	Mtkg II	3	A	858	2,8	8,6	6,8	10	0,1	1
900–1025	Vatkg	3	A	1498	5,1	8,5	7,1	18	10,5	1
900–1025	Ptkg I	3	A	1506	4,5	8,4	7,2	16	17,3	1
900–1025	Ptkg II	3	A	1918	6,4	8,6	8,0	24	14,5	1
900–1025	Mtkg II	3	A	1698	6,2	8,9	8,2	23	24,2	1
<900	Ptkg II	3	B	2392	8,2	10,1	9,2	32	9,7	1
<900	Mtkg II	3	B	2392	8,2	10,1	9,2	32	9,8	1
900–1025	Ptkg II	3	B	3960	12,0	8,2	8,3	45	60,9	1
900–1025	Mtkg II	3	B	5427	16,0	8,0	8,8	62	70,0	1
<900	Vatkg	4	A	920	5,8	11,3	8,5	23	4,9	1
<900	Ptkg I	4	A	683	5,0	12,1	9,2	21	3,1	1
<900	Ptkg II	4	A	1178	6,8	10,3	8,8	27	3,8	1
<900	Mtkg II	4	A	1087	6,7	11,9	9,3	28	4,5	1
900–1025	Vatkg	4	A	1231	8,5	11,8	9,9	37	8,2	1
900–1025	Ptkg I	4	A	1339	10,7	12,8	11,6	53	9,9	1
900–1025	Ptkg II	4	A	1440	11,5	12,9	10,9	56	24,9	1
900–1025	Mtkg II	4	A	1518	13,2	12,5	11,8	67	16,7	1
1026–1150	Vatkg	4	A	945	10,6	13,9	11,9	56	1,3	1, 2
1026–1150	Ptkg I	4	A	1179	12,8	14,2	13,3	75	1,2	1
1026–1150	Ptkg II	4	A	914	9,9	13,1	12,0	53	9,5	2
1026–1150	Mtkg II	4	A	997	11,6	14,8	13,5	67	15,3	1, 2
> 1150	Vatkg	4	A	1289	10,9	12,6	11,5	56	0,3	3, 4
> 1150	Ptkg II	4	A	1935	15,9	12,3	13,4	91	17,5	3
> 1150	Mtkg II	4	A	1538	17,9	14,3	14,8	116	18,0	3
<900	Ptkg II	4	B	2076	15,3	12,8	12,5	77	18,3	1
<900	Mtkg II	4	B	2076	15,3	12,8	12,5	77	18,6	1
900–1025	Vatkg	4	B	1834	14,8	12,9	11,9	72	13,5	1
900–1025	Ptkg I	4	B	2332	17,5	12,5	12,9	89	24,3	1
900–1025	Ptkg II	4	B	2725	16,6	10,8	11,5	78	38,9	1
900–1025	Mtkg II	4	B	3205	17,8	10,6	10,2	79	59,3	1
1026–1150	Vatkg	4	B	1390	20,3	15,0	14,1	129	0,1	2
1026–1150	Ptkg I	4	B	1659	15,5	13,2	13,3	91	0,3	2
1026–1150	Ptkg II	4	B	2414	21,1	12,7	13,8	125	14,9	2
1026–1150	Mtkg II	4	B	2414	21,1	12,7	13,8	126	15,3	2
> 1150	Vatkg	4	B	1742	15,6	12,9	12,7	86	0,0	1
> 1150	Ptkg I	4	B	1520	20,9	16,5	17,0	142	21,3	2
> 1150	Ptkg II	4	B	2260	17,7	13,0	14,1	103	27,8	2, 4
> 1150	Mtkg II	4	B	2099	20,3	14,1	15,0	127	41,7	4

^{a)} Kunkin alueen lähtöpuustojen simuloinneissa käytetty keskimääräinen sijainti ja lämpösumma: <900=Kemijärvi, pohj. 830 d.d., 900–1025=Pudasjärvi 970 d.d., 1026–1150=Pihitipudas 1060 d.d., > 1150=Luopioinen 1200 d.d.

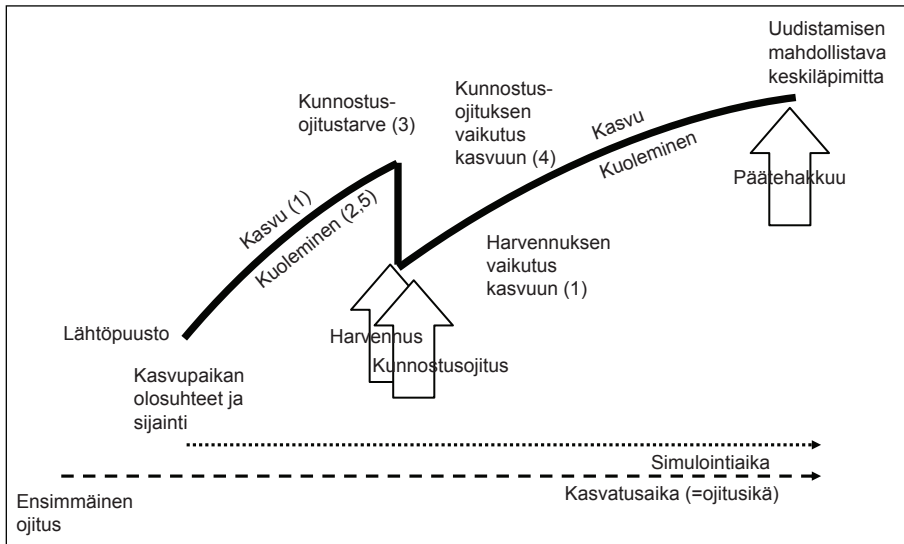
^{b)} Vatkg=Varputurvekangas, Ptkg I=Puolukkaturvekangas I, Ptkg II=Puolukkaturvekangas II, Mtkg II=Mustikkaturvekangas II

^{c)} Kehitysluokka: 3=varttunut taimikko, 4=nuori kasvatusmetsä

^{d)} Metsänhoidollinen tila: A=hyvä, B=huono

^{e)} Pohjapinta-alalla painotettu keskiläpimitta

^{f)} Aineisto: 1=SINKA, 2=Metlan suometsien harvennuskokeet, 3=Keltikangas ym. (1986), 4=Laiho ja Laine (1994)



Kuva 1. Simulointien periaate ja metsiköiden kehitykseen erityisesti suometsissä 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)

kana, kunnostusojitus toteutuu todennäköisyyden yltiessä oletusarvoksi määritellyn raja-arvon 0,5.

Kunnostusojituksen aikaansaama kasvureaktio toteutuu simuloinneissa metsikkötason pohjapinta-alan kasvun lisääntymisen kautta. Reaktion suuruus vaihtelee 5 vuoden jaksoissa ja kestää 25–30 vuotta. Koko metsikölle ennustettu kasvun lisäys jaetaan yksittäisille puille siten, että lisäys on suhteessa kunkin puun edeltävään 5-vuotiskasvuun. Edeltävän kasvun vaikutusta kunnostusojitusreaktioon ovat tarkastelleet mm. Hökkä ja Kojola (2002). Ensikertaisen kunnostusojituksen aikaansaama reaktio on erisuuruinen kasvupaikasta, lämpösummasta ja kunnostushetken puuston pohjapinta-alasta riippuen. Muissa kunnostusojitustilanteissa kasvuvaste ennustetaan kasvumallin (Hökkä ym. 1997) tasokorjauksella (Hökkä ja Kojola 2003, Hökkä ja Salminen 2006). MOTIN ennustamat kunnostusojituksen suhteelliset kasvureaktiot ovat suurimmat vähäpuustoisilla pohjoisen

soilla (myös Lauhanen ja Ahti 2001). Sararämeistä tai sarakorvista kehittyneillä 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).

Harvennus aikaansaa pohjapinta-alan kasvumallissa pienehkön positiivisen kasvureaktion ensimmäisen viiden vuoden ajalle harvennuksesta (Hökkä ym. 1997). Kokonaisvaikutus on silti jonkin verran pitkäaikaisempi, sillä harvennuksen jälkeen kasvua rajoittavien kilpailutekijöiden vaikutus puustolla vähenee, jolloin kasvu jatkuu pidempään parempana (Hökkä 1997a, Hynynen ym. 2002).

Puutason kuolemissmallit kuvastavat suopuustoille ominaista kilpailudynamiikkaa ja ne ennustavat todennäköisyyden yksittäisten puiden kuolemisel-

le (Jutras ym. 2003). Todennäköisyyteen vaikuttavat puun koko ja kilpailuasema, metsikön tiheys, puulajisuhteet ja kasvupaikka. Kuolemismalli 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 itseharvenemismallit alkavat vaikuttaa, mikäli puuston tiheys kasvaa liikaa suopuustojen kuolemismallista huolimatta (Hynynen 1993, Hynynen ym. 2002).

2.3 Simuloidut kasvatusketjut ja toimenpiteet

Kasvatusketjut

Simulointeja varten määriteltiin 9 peruskasvatusketjua, joihin kuului passiivisen metsänhoidon ketjun (R1) ohella 8 kunnostusojitusten ja harvennusten yhdistelmää (R2–R9) (taulukko 2). Ketjujen muodostamisen tavoitteena oli saada esiin sekä erilaisten toimenpiteiden toteuttamisen että niiden tekemättä jättämisen vaikutukset. Taloudellisesti korjuukelpoisten kertymien tavoittelun ja aikaisempien rä-

Taulukko 2. Simuloinneissa käytetyt peruskasvatusketjut.

Kasvatusketjut ilman harvennuksia

- R1 Ei toimenpiteitä, passiivinen metsänhoito
- R2 Yksi kunnostusojitus
- R3 Kaksi kunnostusojitusta

Kasvatusketjut, joissa yksi harvennus

- R4 Yksi kunnostusojitus yhdistettynä harvennukseen
- R5 Yksi kunnostusojitus yhdistettynä harvennukseen ja toinen kunnostusojitus myöhemmin
- R6 Yksi kunnostusojitus ennen harvennusta ja toinen kunnostusojitus harvennuksen yhteydessä

Kasvatusketjut, joissa kaksi harvennusta

- R7 Yksi kunnostusojitus yhdistettynä harvennukseen ja toinen harvennus myöhemmin
- R8 Kaksi kunnostusojitusta yhdistettynä kahteen harvennukseen
- R9 Yksi kunnostusojitus yhdistettynä harvennukseen, toinen harvennus, minkä jälkeen toinen kunnostusojitus

meitä koskevien tuotostietojen (Kojola ym. 2004) perusteella harvennusten määrä rajoitettiin enintään kahteen. Myös kunnostusojitusten määrä ketjuissa vaihteli nolasta kahteen. Harvennuksia sisältävät peruskasvatusketjut (R4–R9) jaettiin edelleen eri ajankohdilla ja eri voimakkuuksilla tehtyjen harvennusten mukaisesti ketjuihin.

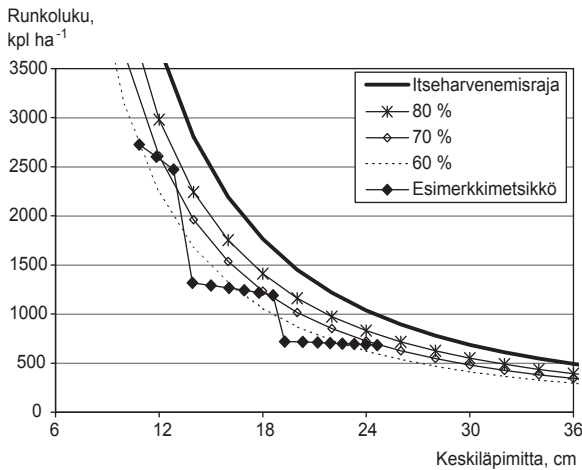
Kunnostusojitukset

Simuloinneissa kunnostusojitukset joko määrättiin harvennusten yhteyteen tai niiden annettiin toteutua kunnostusojitustarvemallin ennustamana ajankohtana. Esimerkiksi pelkkien kunnostusojitusten kasvatusketjuissa R2 ja R3 ojat kunnostettiin ensimmäisen kerran 10–15 vuoden kuluttua simuloinnin alusta. Toinen kunnostusojitus rajoitettiin toteutumaan aikaisintaan 20 vuoden kuluttua ensimmäisestä. Kunnostusojitus tehtiin harvennuksen yhteydessä, harvennuksen viivästäminen tai aikaistaminen vaikutti vastaavasti myös kunnostusojitukseen.

Harvennukset

Kehitysvaihe, jossa metsikköä pidettiin harvennuskypsänä, määriteltiin itseharvenemismallin avulla. Itseharvenemismalli määrittää tiettyä keskiläpimitä vastaavan maksimaalisen elävien runkojen määrän. Mallin avulla pyrittiin sitomaan eri tilanteiden harvennukset metsikön suhteelliseen tiheyteen. Käytetty itseharvenemismalli (Hynynen 1993) on laadittu männiköille ja se perustuu runkoluvun ja metsikön pohjapinta-alalla painotetun keskiläpimitan suhteeseen (kuva 2). Malli perustuu kangasmetsien aineistoihin ja on sama kaikille kasvupaikoille. Metsänhoitosuosituksen (Hyvän metsänhoidon... 2001) mukaista normaalin harvennuksen tilannetta vastaavaksi arvioitiin harvennuskypsyys, jossa on saavutettu 70 %:n tiheys itseharvenemisrajaan nähden. Vastaavasti 60 %:n taso itseharvenemisrajasta edusti aikaista harvennusta ja 80 %:n taso viivästyntä harvennusta. Harvennusvoimakkuus määriteltiin poistuman osuutena kokonaistilavuudesta, jolloin normaalia harvennusta vastasi 33 %:n, lievää 20 %:n ja voimakasta 50 %:n poistuma.

Normaaleja, voimakkaita ja viivästyneitä harvennuksia simuloitiin kaikkien alueiden ja kasvupaikkojen lähtöpuustoille sen mukaan, miten ne olivat



Kuva 2. Itseharvenemisrajan (Hynynen 1993) soveltamisen periaate harvennuksen ajankohdan määrittelyssä. Aikainen harvennus 60 %, normaali harvennus 70 % ja viivästynyt harvennus 80 % männyn itseharvenemisrajasta. Kuvassa esimerkkimetsikön (Ptkg II-4B) simuloitu kehitys kaksi normaalia harvennusta sisältävässä kasvatusketjussa.

puuston kehittymisen myötä toteutettavissa. Lievät harvennuksot arvioitiin tarpeellisiksi vain taimikoiden lähtöpuustoissa, joissa ne todennäköisesti pienestä kertymästä huolimatta olisivat koko kasvatusketjun tuotoksen kannalta merkittäviä. Näin ollen lieviä harvennuksia simuloitiin vain pohjoisten alueiden hoidon tarpeessa oleville varttuneille taimikoille. Aikaisten harvennusten kertymät oletettiin myös pieniksi, mutta niiden simuloineilla haluttiin mahdollistaa harvennusketjuja niillekin lähtöpuustoille, joilla normaaliajankohdan harvennus ei toteutuisi. Aikaisia harvennuksia simuloitiin kaikille varputurvekankaiden sekä pohjoisimman Ptkg I:n lähtöpuustoille.

Harvennuksissa puuston poistoa ohjattiin lievästi alaharvennuksen suuntaan, ts. harvennus ei vaikuttanut paljontaan pohjapinta-alajakauman muotoon. Rämeojitusalueiden hieskoivu kelpaa laadultaan harvoin tukkipuuksi (mm. Verkasalo 1997) ja männyn kasvatus on yleensä selvästi kannattavampaa. Simuloituissa harvennuksissa suositettiin kasvamaan jäävien puiden valinnassa mäntyä ja koivun osuutta pienennettiin mahdollisuuksien mukaan.

Päätähakkuu

Metsikön ikä, jota yleisesti käytetään määriteltäessä metsikön uudistuskypsyyttä kangasmailla, ei ole käyttökelpoinen suomensissa puustojen suuren ikä- ja kokovaihtelun takia (mm. Hökkä ym. 2002). Kokonaan tai osittain ennen ojitusta syntyneen puuston keski-ikä ei myöskään kuvasta puiden ojituksen jälkeistä elinvoimaisuutta samalla tavalla kuin koko ajan samanlaisissa kasvulosuhteissa kehittyneissä puustoissa. Tässä tutkimuksessa suomensien uudistamiskriteerinä käytettiin metsikön pohjapinta-alalla painotettua keskiläpimittaa. Kaikissa simuloineissa tehtiin päätähakkuu, kun metsikkö saavutti voimassa olleiden suositusten mukaisen, uudistuskypsyyttä kuvaavan keskiläpimitan, joka oli kasvupaikasta riippuen 23–29 cm (Hyvän metsänhoidon... 2001).

Hakkuupoistumat

Simuloidut harvennus- ja päätähakkuupoistumat apteerattiin tukki-, kuitu- ja hukkapuiksi. Koska kaikki tukin mitat täyttävä puu ei täytä tukin laatuvaatimuksia, käytettiin keskimääristä, VMI-aineistoihin perustuvaa laatuvehennystä (Hynynen ym. 2002) siirtämään osa tukkipuusta kuitupuiksi. Männystä tehtiin myös pikkutukkia. Sen sijaan koivusta ei oletettu saatavan tukkia, vaikka läpimitta-vaatimukset olisivatkin täyttyneet. Puutavaralajien pienimmät sallitut latvaläpimitat olivat:

	Latvaläpimitta, cm		
	Tukki	Pikkutukki	Kuitu
Mänty	15	12	7
Kuusi	16		8
Koivu			7

2.4 Simulointiaineiston analysointi

Simulointien tuloksena syntynyt aineisto sisälsi kaikkiaan 628 simuloitua kehitystä eli eri lähtöpuustojen erilaista kasvatusketjua (taulukko 3).

Sijainnin, kasvupaikan ja toimenpiteiden yleisiä tuotosvaikutuksia kuvattiin kokonaistuotoksella ($m^3 ha^{-1}$), käyttöpuun kokonaistuotoksella ($m^3 ha^{-1}$) ja kertymien puutavaralajirakenteella. Toimenpiteiden

Taulukko 3. Simuloitujen kasvatusketjujen määrä alueittain ja kasvupaikoittain.

Lämpösomma- alue, d.d.	Kasvupaikka ^{a)}	Kasvatusketju ^{b)}									Yhteensä, kpl
		R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	
<900	Vatkg ^{c)}	1	(1)	(1)	-	-	-	-	-	-	3
	Ptkg I	2	2	2	2	-	2	-	-	-	10
	Ptkg II	4	4	4	15	9	10	4	4	3	57
	Mtkg II	4	4	4	14	10	10	7	6	6	65
900–1025	Vatkg	3	3	3	13	6	9	-	1	1	39
	Ptkg I	3	3	3	12	4	7	3	1	1	37
	Ptkg II	4	4	4	18	14	8	9	6	7	74
	Mtkg II	4	4	4	15	11	6	12	9	10	75
1026–1150	Vatkg	2	2	2	6	4	7	1	1	1	26
	Ptkg I	2	2	2	8	7	6	1	1	1	30
	Ptkg II	2	2	2	8	4	4	4	4	4	34
	Mtkg II	2	2	2	8	5	4	5	3	4	35
> 1150	Vatkg	2	2	2	12	8	6	3	3	1	39
	Ptkg I	1	1	1	4	4	-	3	3	3	20
	Ptkg II	2	2	2	8	8	-	8	6	6	42
	Mtkg II	2	2	2	8	8	-	7	7	6	42
	Yhteensä, kpl	40	40	40	151	102	79	67	55	54	628

^{a)} Vatkg = Varputurvekangas, Ptkg I = Puolukkaturvekangas I, Ptkg II = Puolukkaturvekangas II, Mtkg II = Mustikkaturvekangas II

^{b)} Kasvatusketjut R1–R9, ks. taulukko 2

^{c)} Vatkg:lla ei käytännössä yleensä tehdä kunnostusojitusta alle 900 d.d.:n lämpösomma-alueella.

den kasvuvaikutuksia ja kasvatusketjujen eroja vertailtiin keskimääräisen vuotuisen kokonaiskasvun (MAI_{tot} , [Mean Annual Increment], $m^3 ha^{-1} a^{-1}$) sekä keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun (MAI_{merch} , $m^3 ha^{-1} a^{-1}$) avulla. Keskimääräiset vuotuiset kasvut, joista käytetään jatkossa lyhennettyjä termejä ”kokonaiskasvu” (MAI_{tot}) ja ”käyttöpuun kasvu” (MAI_{merch}), laskettiin simuloinnin alusta uudistamiseen ulottuvalle ajanjaksolle:

$$MAI_{tot} = (V_{ph} + V_h + V_{lp} - V_{ap}) / T_{sim} \quad (1)$$

jossa

V_{ph} = elävä kokonaispuusto simuloinnin lopussa (pääte-hakkuupuusto)

V_h = harvennusten yhteenlaskettu poistuma

V_{lp} = luonnonpoistuma

V_{ap} = elävä kokonaispuusto simuloinnin alussa

T_{sim} = simulointiaika (aika simuloinnin alusta päätehakkuuseen)

MAI_{merch} laskettiin kuten MAI_{tot} mutta pois lukien hukkapuu ja luonnonpoistuma.

Ojitetuilla soilla ensimmäisestä ojituksesta uudistamiseen kuluva ajanjaksoa kutsutaan tässä kasvatusajaksi kangasmailla käytetyn kiertoaikakäsitteen sijaan. Koska lähtöpuustot edustivat kehitysluokittain 15–20 vuotta ensimmäisen ojituksen jälkeistä tilannetta, simulointiaika oli lyhyempi kuin kasvatusaika. Keskimääräiset kasvut laskettiin simulointiajalle. Kokonaistuotokset sen sijaan laskettiin koko kasvatusajalta. Alun 15–20 vuoden luonnonpoistuman määrää ei aineistoista tunnettu. Sen merkitys kokonaistuotoksessa jää joka tapauksessa marginaaliseksi, joten laskelmissa oletettiin, ettei ko. jaksolla ollut poistumaa.

Metsänhoitotoimien vaikutuksia puuston kehitykseen tarkasteltiin sekä erikseen että yhteisvaikutuksina. Kunnostusojituksen vaikutus pelkistettynä saatiin näkyviin kasvatusketjujen R1 (ei kunnostusta), R2 (1 kunnostusojitus) ja R3 (2 kunnostusojitusta) välisissä vertailuissa. Harvennuksia tarkasteltiin sekä harvennuskypsyyden toteutumisine että tuotosvaikutuksina. Pelkän harvennuksen osuutta kunnostusojituksen ja harvennuksen yhdistelmissä arvioitiin kasvatusketjujen R2 ja R4 välillä (kummassakin

ynksi kunnostusojitus) sekä ketjujen R3 ja R8 välillä (kummassakin kaksi kunnostusojitusta). Viimeksi mainittuun tarkasteluun sisältyivät ainoastaan ne tapaukset, joissa vertailtavien kunnostusojitusajankohtien ajallinen ero oli enintään 10 vuotta.

Kasvatusketjujen parhaimmisto valittiin kunkin lähtöpuuston simulointien joukosta käyttöpuun kasvun perusteella. Ketjujen suhteelliset tuotoserot passiiviseen metsänhoitoon nähden pyöristettiin täysiksi kymmeniksi prosenteiksi ja samaan 10 prosentin luokkaan kuuluvat tulkittiin yhtä hyväksi vaihtoehtoiksi.

Kasvatusajan pituuden vaikutusten tarkastelemiseksi simulointiaineistosta poimittiin varsinaista päätehakkuuajankohtaa 10, 20 ja 30 vuotta aikaisempia ajankohtia vastaavat tulokset.

3 Tulokset

3.1 Kokonaistuotos ja hakkuukertymä

Kokonaistuotokset olivat sitä suurempia, mitä korkeampi oli lämpösusma (kuva 3). Tuotoseroja kuitenkin tasoitti jonkin verran se, että lämpösusman

kasvaessa uudistuskypsyys saavutettiin aikaisemmin, jolloin kasvatusajat lyhenivät. Kasvupaikkojen tuotoksen mukainen järjestys oli seuraava: Vatkg < Ptkg I < Ptkg II < Mtkg II (kuva 3). Kaikki kasvatusketjut mukaan lukien kokonaistuotokset olivat 160–550 m³ ha⁻¹ kasvatusaikojen ollessa 50–120 vuotta (taulukko 4).

Suurimmat käyttöpuun kokonaismäärät koko kasvatusajalta saatiin normaalien harvennusten kasvatusketjuista lukuun ottamatta kaikkein pohjoisimman alueen hyvää metsänhoidollista tilaa edustaneita A-lähtöpuustoja, joissa harvennus alensi kokonaistuotoksen ohella myös käyttöpuun kokonaistuotosta.

Harvennusten ainespuukertymä ensimmäisissä normaaleissa harvennuksissa oli alueesta ja kasvupaikasta riippuen 10–75 m³ ha⁻¹ (keskimäärin 45 m³ ha⁻¹). Vastaavasti toisten normaalien harvennusten kertymät olivat 25–85 m³ ha⁻¹ (keskimäärin 65 m³ ha⁻¹) (kuva 4).

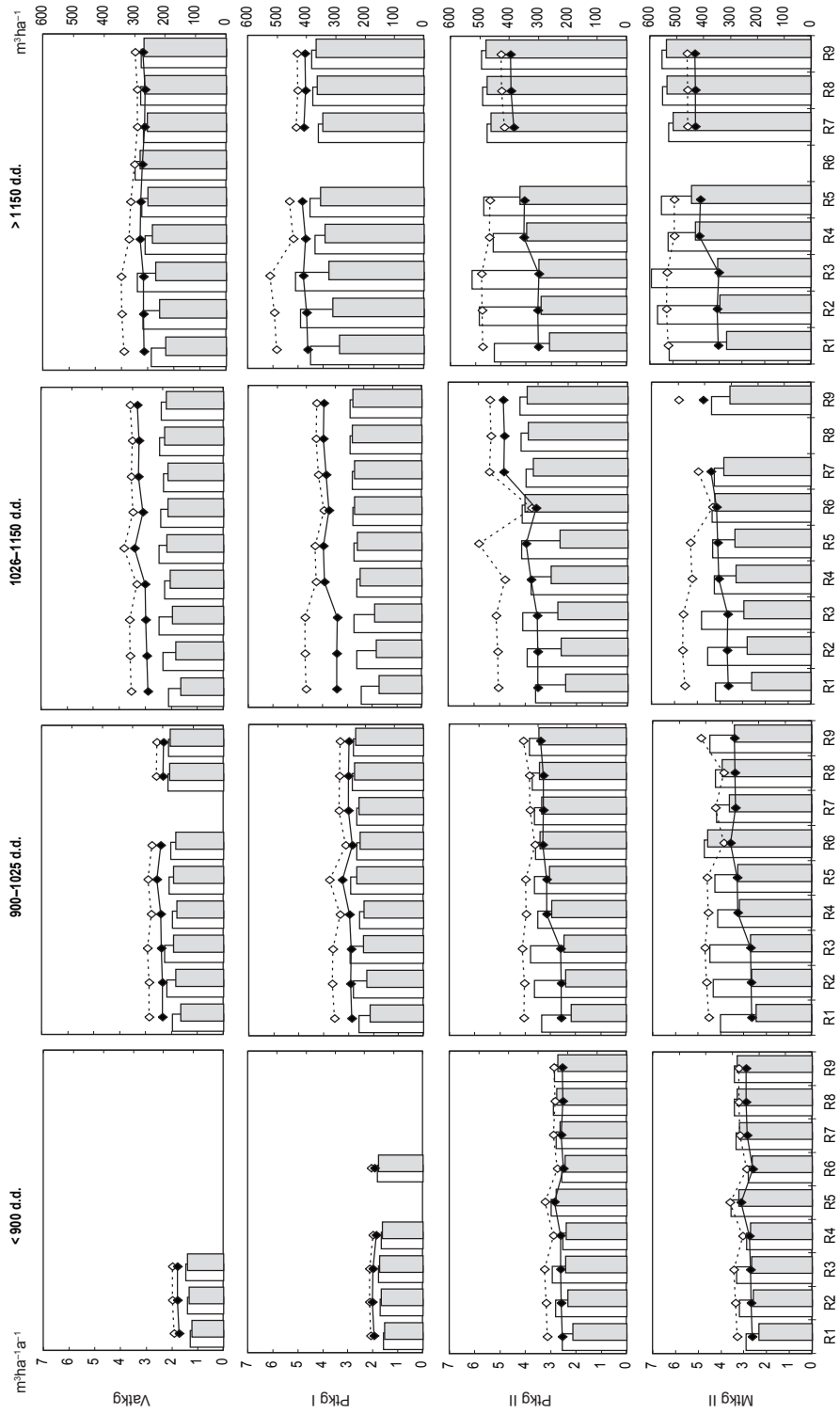
Päätehakuukertymät suurensivat jonkin verran karuilta ravinteisemmille kasvupaikoille ja pohjoisesta etelään mentäessä. Kaikissa kasvatusketjuissa ainespuuta kertyi päätehakuista pohjoisimman alueen keskimäärin 180:stä eteläisimmän alueen 280 kuutiometriin hehtaarilla. Huolimatta siitä, että

Taulukko 4. Pienimmät ja suurimmat kokonaistuotokset (m³ ha⁻¹) ja niitä vastaavat simulointiajat vuosina (v) koko simulointiaineistossa (kaikki kasvatusketjut). Päätehakuu on toteutettu metsänhoitosuosituksen mukaisen läpimitarajan täytyessä (Hyvän metsänhoidon... 2001).

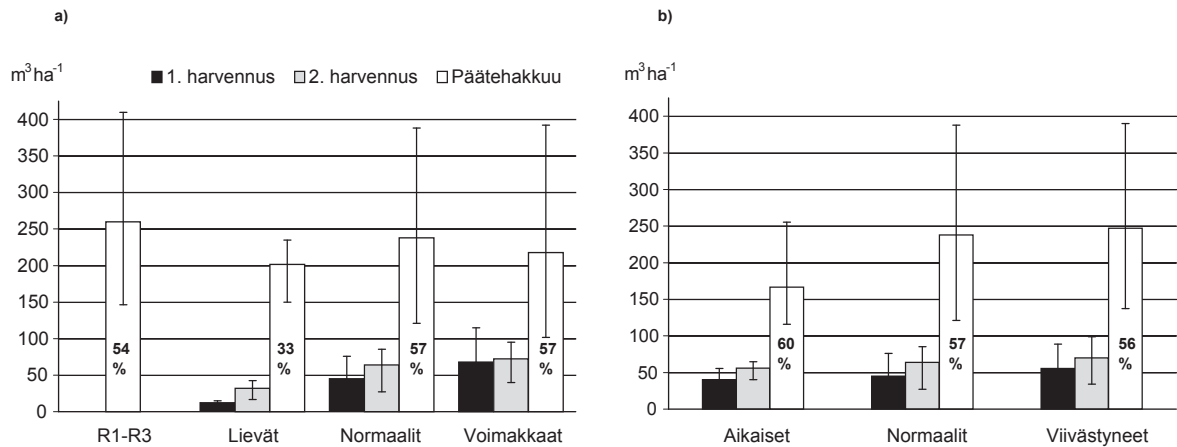
Kasvupaikka ^{a)}		Lämpösusma-alue, d.d.								
		<900 d.d.		900–1025 d.d.		1026–1150 d.d.		>1150 d.d.		Kaikki
		Kokonais- tuotos, m ³ ha ⁻¹	Simulointi- aika, v ^{b)}	Kokonais- tuotos, m ³ ha ⁻¹	Simulointi- aika, v	Kokonais- tuotos, m ³ ha ⁻¹	Simulointi- aika, v	Kokonais- tuotos, m ³ ha ⁻¹	Simulointi- aika, v	
Vatkg	Minimi	163	110	186	75	216	65	245	65	163
	Maksimi	169	100	270	80	354	90	361	80	361
Ptkg I	Minimi	158	90	244	95	287	75	389	60	158
	Maksimi	196	100	357	85	428	120	524	75	524
Ptkg II	Minimi	200	65	269	70	298	60	380	50	200
	Maksimi	335	70	399	95	521	90	510	65	521
Mtkg II	Minimi	202	70	288	60	342	65	431	50	202
	Maksimi	369	75	481	100	550	90	548	60	550
Kaikki kasvupaikat	Minimi	158		186		216		245		158
	Maksimi	369		481		550		548		550

^{a)} Vatkg = Varpurvetkangas, Ptkg I = Puolukkaturvetkangas I, Ptkg II = Puolukkaturvetkangas II, Mtkg II = Mustikkaturvetkangas II

^{b)} Simulointiaika = aika simuloinnin alusta päätehakuuseen



Kuva 3. Kokonaistuotos ($m^3 ha^{-1}$, katkoviiva), käyttöpuun kokonaistuotos ($m^3 ha^{-1}$, yhtenäinen viiva), keskimääräinen vuotuinen kokonaiskasvu ($m^3 ha^{-1} a^{-1}$, valkoinen pylväs) ja keskimääräinen vuotuinen käyttöpuunkasvu ($m^3 ha^{-1} a^{-1}$, tumma pylväs) kasvupaikoittain ja alueittain eri kasvatusketjuissa. (Kaikkien lähtöpuustojen keskiarvot, harvennuksia sisältävissä ketjuissa normaalit harvennukset.)



Kuva 4. Keskimääräiset hakkuukertymät ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)

- a) kasvatusketjujen R1–R3 päätehakuissa sekä lievien, normaalien ja voimakkaiden harvennusten kasvatusketjuissa sekä
 b) aikaisten, normaalien ja viivästyneiden harvennusten kasvatusketjuissa.

Jana osoittaa vaihteluvälin, päätehakuupylvään prosenttiluku tukin osuuden päätehakuukertymässä. Lievissä harvennuksissa vain 3 kehitysluokan lähtöpuustoja ja aikaisissa vain varputurvekankaan lähtöpuustoja.

päätehakkuu tehtiin kunkin alueen ja kasvupaikan kaikissa kasvatusketjuissa saman keskiläpimitan täyttyessä, päätehakuukertymien suuruus vaihteli myös kasvatusketjuittain erilaisten puustorakenteiden seurauksena. Kunkin lähtöpuuston kasvatusketjuissa suurimmat päätehakuukertymät saatiin yleensä harvennuksia sisältämättömissä kasvatusketjuissa (R1–R3) ja pienimmät kahden harvennuksen ketjuissa. Päätehakuukertymien tukkipuun osuus oli pohjoisessa keskimäärin 46 % ja etelässä 65 %. Simuloiduissa harvennuksissa oli periaatteena koivun osuuden selkeä pienentäminen, mutta etenkin turvekangastyypin II-varianteilla koivun osuus oli harvennuksen jälkeenkin merkittävä. Tällöin, koska koivutukkia ei tehty, tukin osuus hakkuukertymissä jäi alhaisemmaksi kuin puhtaissa männiköissä. Tukiosuus mäntyrungoissa oli 29–78 %.

Simuloiduissa kehityksissä luonnonpoistumaa syntyi $5\text{--}275 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1}$. Määrä oli yleensä suurimmillaan passiivisessa tai pelkkiä kunnostusojituksia sisältävissä ketjuissa erityisesti Ptkg II:n ja Mtkg II:n eteläisimmillä kasvupaikoilla (kuva 3). Harvennuksia sisältävissä ketjuissa luonnonpoistuman määrät jäivät pieniksi, mutta eteläisimmillä turvekangastyypin II-varianteilla määrä oli alhainen vasta kahden harvennuksen ketjuissa.

3.2 Keskimääräinen vuotuinen kasvu

Kaikilla lämpösomma-alueilla turvekangastyypin vuotuiset kokonaiskasvut (MAI_{tot}) olivat suuruusjärjestyksessä: $\text{Vatkg} < \text{Ptkg I} < \text{Ptkg II} < \text{Mtkg II}$ (kuva 3). Sama järjestys toteutui myös käyttöpuun kasvussa ($\text{MAI}_{\text{merch}}$). Sekä kokonais- että käyttöpuun kasvut paranivat kaikilla turvekangastyypeillä etelään mentäessä niin passiivisissa R1-kasvatusketjuissa kuin toimenpiteitä sisältävissä kasvatusketjuissakin (kuva 3). Passiivisten kasvatusketjujen käyttöpuun kasvut olivat $1,2\text{--}4,1 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$, muiden $1,3\text{--}6,8 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$.

Käyttöpuun kasvun ero etelän ja pohjoisen välillä oli passiivisessa metsänhoidossa $1\text{--}2 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ja toimenpiteitä sisältävissä ketjuissa $1,5\text{--}3 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Vastaava kokonaiskasvun ero oli passiivisissa ketjuissa $1,5\text{--}3 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ ja muissa $1,5\text{--}3,5 \text{ m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$. Ptkg I -tyyppillä kasvu lisääntyi eniten pohjoisesta etelään. Käyttöpuun kasvun osuus kokonaiskasvusta oli suurempi Vatkg:lla ja Ptkg I:llä (yli 80 %) kuin turvekangastyypin II-varianteilla (alle 70 %), mutta kasvupaikkojen välinen ero supistui ja osuus kasvoi keskimäärin 90–95 %:iin, kun kasvatukseen sisältyi toimenpiteitä.

Varputurvekankailla passiivisessa metsänhoidossa

saavutettiin hieman yli $1,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ käyttöpuun kasvu 900–1025 ja 1026–1150 d.d.:n alueilla, mutta eteläisimmällä noin $2,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ kasvu. Yhden harvennuksen ja kunnostusojituksen myötä kasvu nousi 900–1025 d.d.:n alueellakin lähelle kahden kuutiometrin tasoa. Pohjoisimmalla alueella varputurvekankaat jäivät harventamatta ja käyttöpuun kasvu kunnostusojitettunakin alle $1,4$ kuutiometrin.

Kuvassa 3 esitetyt keskimääräiset tuotokset ja kasvut laskettiin kaikista kyseisen kasvatusketjun simuloinneista alueittain ja kasvupaikoittain. Tämä pääsääntöisesti keskiarvoisti tuloksia. Siitä myös johtuivat muutamat kasvatusketjujen R5 (ensimmäinen kunnostusojitus harvennuksen yhteydessä) ja R6 (ensimmäinen kunnostusojitus ennen harvennusta) poikkeamat. Edellinen toteutui lähinnä vain hoidon tarpeessa olevissa B-lähtöpuustoissa ja jälkimmäinen hyvää metsänhoidollista tilaa edustaneissa A-lähtöpuustoissa, muiden ketjujen toteutuessa yleensä molemmissa. Kasvatusketjujen R6 puuttuminen etelän paremmilta kasvupaikoilta johtui siitä, että eteläiset lähtöpuustot saavuttivat harvennuskypsyyden nopeammin kuin pohjoisemmat eikä ennen harvennusta tehtävää kunnostusojitusta voitu toteuttaa.

3.3 Toimenpiteiden vaikutukset

3.3.1 Kunnostusojitukset

Käyttöpuun kasvu (MAI_{merch}) oli keskimäärin $0,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (9 %) suurempi yhden kunnostusojituksen vaihtoehdossa kunnostusojittamattomaan verrattuna ja $0,1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (3,9 %) suurempi kahden kunnostusojituksen vaihtoehdossa yhteen kunnostusojitukseen verrattuna. Ensimmäisen kunnostusojituksen tuottama suhteellinen kasvun lisäys oli suunnilleen samansuuruinen kaikilla lämpösumma-alueilla. Toisen kunnostusojituksen tuottama kasvun lisäys oli suurimmillaan (n. 5 %) 1026–1150 d.d.:n alueella. Kunnostusojituksen vaikutus kasvuun laskettiin näissä vertailuissa keskimääräiseksi koko simulointiajalle. Todellisuudessa ja myös simuloinneissa kasvunlisäys syntyy noin 20–25 vuoden kuluessa kunnostusojituksesta. Tässä ajassa yhden kunnostusojituksen vaikutus on noin $1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja toisen vaikutus ensimmäisen lisäksi noin $0,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Kunnostusojitusten vaikutuk-

sesta uudistamisläpimitta saavutettiin yleensä 5 tai 10 vuotta aikaisemmin kuin ilman kunnostusojituksia kasvatetuissa puustoissa.

3.3.2 Harvennukset

Kolmen eteläisimmän alueen kaikki lähtöpuustot saavuttivat simuloinneissa normaalin harvennuksen harvennuskypsyyden ensimmäistä harvennusta varten (70 %:n taso itseharvenemisrajasta, R4 tai R6 ketjut). Pohjoisimmalla alueella Vatkg:n ja Ptkg I:n puustot eivät saavuttaneet normaalin harvennuksen tasoa lainkaan. Toiseksi pohjoisimman alueen varputurvekankaiden puustot saavuttivat harvennuskypsyyden hyvin myöhään suhteessa päätehakkuuajankohtaan. Aikaisemman harvennusajankohdan (60 % rajan) soveltaminen mahdollisti harvennuksen myös pohjoisimmalla Ptkg I:llä, mutta ei edelleenkään pohjoisimmalla Vatkg:lla. Keskimäärin normaali ensiharvennus toteutui puuston pohjapinta-alan ollessa $22\text{--}26 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ ja valtapituuden $13\text{--}16 \text{ m}$. Puuston määrä oli tuolloin pohjoisilla lämpösumma-alueilla $130\text{--}140 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja eteläisillä alueilla $160\text{--}180 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$.

Toinen harvennus toteutui Ptkg II:n ja Mtkg II:n lähtöpuustoissa pohjoisimmalla alueella vain metsänhoidolliselta tilaltaan huonoissa B-lähtöpuustoissa, mutta yli 900 d.d.:n alueilla kahta poikkeusta lukuun ottamatta kaikissa II-variantin metsiköissä. Ptkg I:llä toinen harvennus oli mahdollista yli 900 d.d.:n B-lähtöpuustoissa. Vatkg:lla toinen harvennus edellytti yleensäkin lähtöpuuston hoidon tarvetta, aikaista ensimmäistä harvennusta ja yli 900 d.d.:n sijaintia.

Erillään kunnostusojitusvaikutuksesta laskettu harvennusvaikutus yhden harvennuksen kasvatusketjuissa oli käyttöpuun kasvuna keskimäärin $0,5 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (20 %) ja kahden harvennuksen kasvatusketjuissa keskimäärin $0,9 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (31 %) verrattuna niihin kasvatusketjuihin, jotka eivät sisältäneet harvennuksia. Harvennuksen suhteellinen vaikutus käyttöpuun kasvuun oli suurin 900–1025 d.d.:n alueella (24 %) ja pienin alle 900 d.d.:n alueella (12 %). Kuutiometreinä mitaten lisäykset olivat suurimmat etelässä (n. $0,7 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) ja pienimmät pohjoisessa (n. $0,3 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Harvennuksilla oli eniten vaikutusta käyttöpuun kasvuun II-varianteilla, Mtkg II ja Ptkg II, ja suhteellisesti vähiten ne vaikuttivat varputurvekankaalla.

Vain osalle lähtöpuustoista simuloituiden lievät harvennukset eivät juuri vaikuttaneet kokonaistuotokseen, mutta alensivat hieman käyttöpuun kasvua ($0,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$) verrattuna samojen lähtöpuustojen normaaleihin harvennuksiin. Voimakkaat harvennukset verrattuna normaaleihin harvennuksiin tuottivat alhaisemman kokonaistuotoksen, mutta käyttöpuun kasvu lisääntyi hieman (A-lähtöpuustoissa $0,03$ ja B-lähtöpuustoissa $0,15 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$). Eteläiset ja pohjoiset alueet eivät poikenneet harvennusvoimakkuuden vaikutusten suhteen toisistaan.

Yksi tai kaksi harvennusta sisältävien kasvatusketjujen välinen ero käyttöpuun kasvussa oli pieni Vatkg:lla ja Ptkg I:llä, mutta turvekangastyypin II-varianteilla kahden harvennuksen ketjut erottuivat selvästi tuotokseltaan parempina etenkin eteläisillä lämpösukka-alueilla. Yhden harvennuksen ja kunnostusojituksen kasvatusketjut lyhensivät metsiköiden kasvusaikaa noin viisi vuotta ja kahden harvennuksen ja kunnostusojituksen ketjut 15–20 vuotta passiiviseen metsänhoitoon verrattuna.

3.3.3 Toimenpiteiden aikaistaminen tai viivästäminen

Aikaiset harvennukset, joita simuloitiin vain karuimpien kasvupaikkojen puustoille, johtivat keskimäärin 5 % alhaisempaan kokonaistuotokseen kuin normaalin ajankohdan harvennusten vastaavat ketjut. Hyvää metsänhoidollista tilaa edustavien A-lähtöpuustojen kasvatuksessa aikaiset harvennukset kuitenkin lisäsivät käyttöpuun kasvua 5 %, kun taas hoitamattomissa kasvu aleni hieman.

Ensimmäisen harvennuksen ja siihen liittyvän ensimmäisen kunnostusojituksen viivästäminen, mikä ajallisesti merkitsi noin 10 vuotta, lisäsi yhden harvennuksen kasvatusketjuissa käyttöpuun kasvua keskimäärin $0,06 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (2 %). Kahden viivästetyn harvennuksen ketjuissa käyttöpuun kasvu oli $0,2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (5 %) suurempi kuin normaalien harvennusten ketjuissa. Käyttöpuun kasvu lisääntyi viivästyksen myötä hieman enemmän paremmilla kasvupaikoilla kuin huonoilla.

Aikaisten, varputurvekankaille simuloitujen ensiharvennusten kertymät olivat noin $14 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ pienempiä kuin samojen lähtöpuustojen normaali-ajankohtien harvennusten kertymät. Toiskertaisten

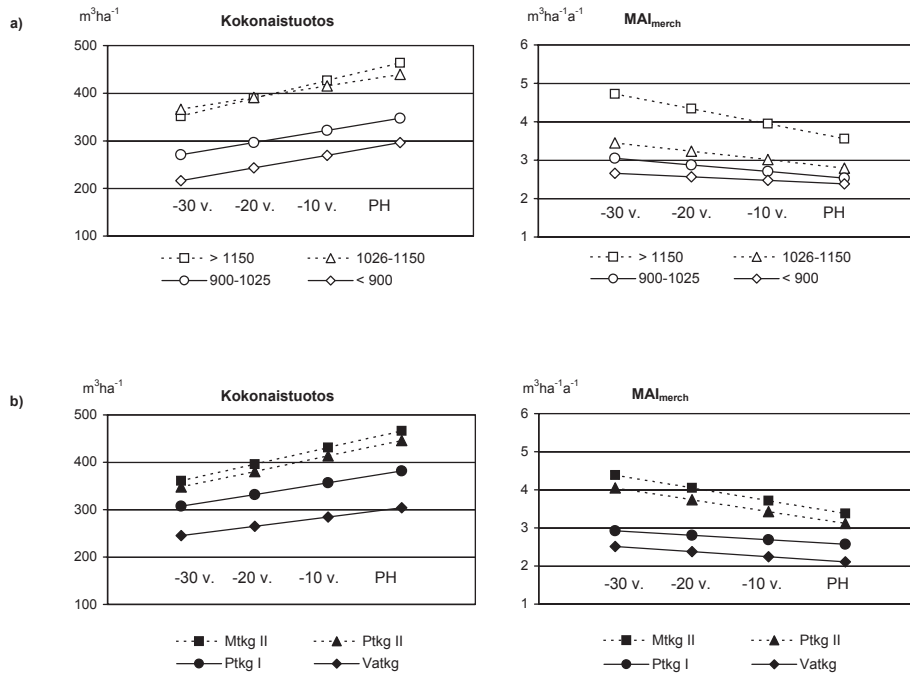
harvennusten osalta vastaavaa vertailua ei voitu tehdä, koska ne toteutuivat pääosin vain aikaisten ensiharvennusten jälkeen. Toisen, aikaisena toteutetun harvennuksen keskimääräinen kertymä oli kuitenkin $56 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ eli jonkin verran alhaisempi kuin normaaleissa harvennuksissa keskimäärin (kuva 4). Viivästyneissä harvennuksissa kertymät olivat n. $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ suurempia kuin normaalijankohtien harvennuksissa.

Harvennusten ajankohdan muutos normaalia aikaisemmaksi tai myöhäisemmäksi vaikutti uudistuskypsyysrajan saavuttamiseen vain vähän. Päätehakuukertymät olivat viivästyneiden harvennusten jälkeen useimmissa tapauksissa hieman suurempia kuin normaalien harvennusten jälkeen (kuva 4). Varpurvekankaille simuloitujen aikaisten harvennusten jälkeen päätehakuukertymät olivat kuitenkin n. $10 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ suuremmat kuin samojen lähtöpuustojen normaalien harvennusten jälkeen.

Päätehakkuiden 10–30 vuoden aikaistaminen alkuperäisistä läpimittasuositusten mukaisista tilanteista vaikutti simulointiaineistossa siten, että kasvatusajan lyhentyessä 10 vuodella kokonaistuotos aleni $24–38 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$, päätehakuukertymät pienenevät $17–30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja niiden tukkiosuus 1–4 prosenttiyksikköä, mutta keskimääräinen kasvu lisääntyi $0,1–0,4 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (kuva 5). Alueittain ja kasvupaikoittain vaikutukset olivat samansuuntaisia. Muutokset olivat jonkin verran voimakkaampia eteläisemmillä ja paremmilla kasvupaikoilla pohjoisiin ja karuihin verrattuna. Lyhyemmän kasvatusajan kasvatusketjuihin ei voitu sisällyttää yhtä monta tai yhtä voimakasta harvennusta kuin myöhäisimmän päätehakuun ketjuihin. Kolmen pisimmän uudistamisajankohdan parhaat ketjut tuottivat kuitenkin suhteellisesti samanlaisen edun passiiviseen metsänhoitoon verrattuna (noin 50 % paremman käyttöpuun kasvun), mutta varhaisimman uudistamisajankohdan ketjut vähän pienemmän edun (45 %).

3.4 Tuotoksen kannalta parhaat kasvatusketjut

Lähtöpuustojen metsänhoidollinen tila vaikutti selvästi siihen, millaiset kasvatusketjut käyttöpuun kasvujen ($\text{MAI}_{\text{merch}}$) perusteella valittuun parhaimmistoön lukeutuivat (kuva 6). Jos lähtöpuuston met-



Kuva 5. Kokonaistuotos ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) ja keskimääräinen käyttöpuun kasvu ($\text{MAI}_{\text{merch}}$, $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) eri uudistamisajankohdilla keskimäärin a) alueittain ja b) kasvupaikoittain. Kohdassa PH uudistaminen tehtiin voimassa olleiden metsänhoitosuosituksen alimmalla läpimittarajalla ja sitä edeltävät kohdat kuvaavat kukin 10 vuotta aikaisemman ajankohdan tilannetta.

Kuva 6 (viereinen sivu). Passiiviseen metsänhoitoon verrattuna parhaat kasvatusketjut kullekin lähtöpuustolle kehitysluokan ja metsänhoidollisen tilan mukaisesti ryhmiteltyinä. Parhaat vaihtoehdot on valittu keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun ($\text{MAI}_{\text{merch}}$) perusteella kaikkien simuloinneissa toteutuneiden kasvatusketjujen joukosta ml. erilaiset harvennusajankohtien ja voimakkuuksien vaihtoehdot. Kasvatusketjut R1–R9, ks. taulukko 2.

Valkoiset ruudut = simulointi toteutunut

Mustat ruudut = simulointi toteutunut, tulos on $\text{MAI}_{\text{merch}}$ -arvoltaan paras (10 %-luokka)

Kirjaimilla on kuvattu parhaiden vaihtoehtojen harvennusten ajankohtaa (isot kirjaimet) ja voimakkuutta (pienet kirjaimet) seuraavasti:

Ajankohta: A = aikainen, N = normaali, V = viivästynyt

Voimakkuus: I = lievä, n = normaali, v = voimakas

Kehitysluokka: 3 = varttunut taimikko, 4 = nuori kasvatusmetsä

Metsänhoidollinen tila: A = hyvä, B = huono

Kasvupaikka: Vatk = Varputurvekangas, Ptkg I = Puolukkaturvekangas I, Ptkg II = Puolukkaturvekangas II, Mtkg II = Mus-tikkaturvekangas II

Kehitysluokka 3, metsänhoidollinen tila simuloinnin alussa hyvä (A) tai huono (B).

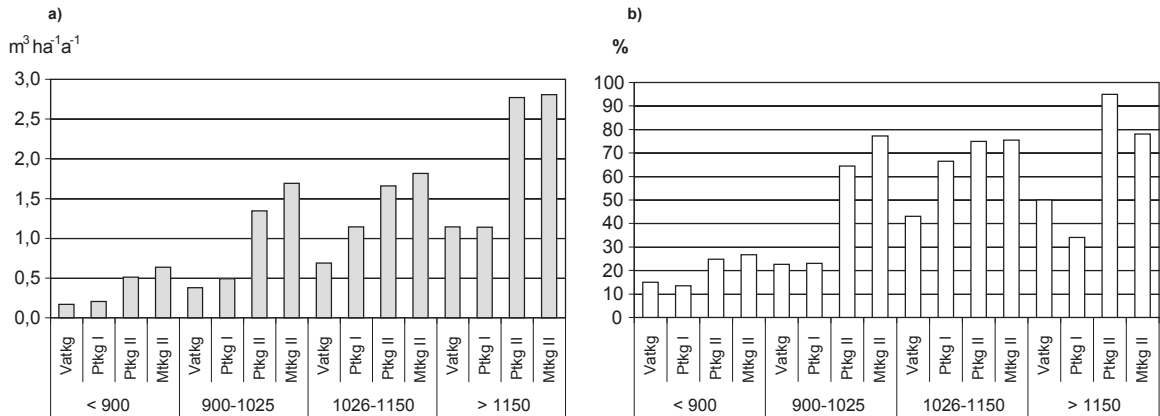
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
< 900 Ptkg I 3 A	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		A nv			
< 900 Ptkg II 3 A	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		N n			
< 900 Mtkg II 3 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
900-1025 Vatk 3 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	AN nv			
900-1025 Ptkg I 3 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		N n			
900-1025 Ptkg II 3 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		V nv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
900-1025 Mtkg II 3 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		V n	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
< 900 Ptkg II 3 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	V nv	V I	V I	<input type="checkbox"/>
< 900 Mtkg II 3 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	V nv	NV In	NV In	N In
900-1025 Ptkg II 3 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		NV n	NV nv	NV nv
900-1025 Mtkg II 3 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		V v	V v	V v

Kehitysluokka 4, metsänhoidollinen tila simuloinnin alussa hyvä (A)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
< 900 Vatk 4 A	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
< 900 Ptkg I 4 A	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>						
< 900 Ptkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		N nv			
< 900 Mtkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		N nv			
900-1025 Vatk 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		A nv			
900-1025 Ptkg I 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		NV nv			
900-1025 Ptkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	V v			
900-1025 Mtkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	V nv	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
1026-1150 Vatk 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		A nv			
1026-1150 Ptkg I 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	V v			
1026-1150 Ptkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		NV nv			
1026-1150 Mtkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	NV nv	<input type="checkbox"/>		
> 1150 Vatk 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	N v	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
> 1150 Ptkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	Nv, Vr	N nv
> 1150 Mtkg II 4 A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	NV n	NV n

Kehitysluokka 4, metsänhoidollinen tila simuloinnin alussa huono (B)

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9
< 900 Ptkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		N n	N n	N n
< 900 Mtkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		V n	NV n	NV n
900-1025 Vatk 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
900-1025 Ptkg I 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
900-1025 Ptkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
900-1025 Mtkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1026-1150 Vatk 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1026-1150 Ptkg I 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1026-1150 Ptkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
1026-1150 Mtkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
> 1150 Vatk 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
> 1150 Ptkg I 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
> 1150 Ptkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
> 1150 Mtkg II 4 B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>



Kuva 7. Suurimman keskimääräisen vuotuisen käyttöpuun kasvun tuottavan kasvatusketjun ja passiivisen metsänhoidon kasvatusketjun (RI) tulosten erotus keskimäärin alueittain ja kasvupaikoittain a) kuutiometreinä b) prosentteina.

sänhoidollinen tila oli hyvä, parhaissa ketjuissa oli vain yksi kunnostusojitus ja yksi harvennus, paitsi eteläisimmillä parhailla kasvupaikoilla, joilla kaksi harvennusta oli mahdollista toteuttaa. Huonon metsänhoidollisen tilan lähtöpuustoissa ensimmäinen harvennus toteutui suhteellisen aikaisin ja kasvatusaikana tarvittiin toinenkin harvennus. Näissä parhaat vaihtoehdot löytyivät karuimpia kasvupaikkoja lukuun ottamatta kahden harvennuksen ketjuista, ja niistä edelleen kahden kunnostusojituksen ketjuista (R8 tai R9).

Metsänhoidolliselta tilaltaan hyvissä lähtöpuustoissa toteutui usein kasvatusketju R6, jossa kunnostusojitus tehtiin erillisenä ennen ensimmäistä harvennusta. Yleensä tämä kasvatusketju tuotti myös jonkin verran suuremman käyttöpuun kasvun kuin ketjut R4 ja R5, joissa kunnostusojitus tehtiin vasta harvennuksen yhteydessä. Runsaspuustoisissa lähtöpuustoissa kasvatusketjua R6 ei useinkaan voitu toteuttaa, koska harvennuskypsyys saavutettiin jo ennen kuin kunnostusojitustarvetta ilmeni.

Erilaisista harvennusten vaihtoehdoista parhaissa ketjuissa esiintyi useimmin normaaleja, mutta myös viivästettyjä ja voimakkaita harvennuksia. Aikaiset harvennukset olivat yleensä parhaita tapauksissa, joissa normaalit harvennukset jäivät toteutumatta tai toteutuivat päätehakkuuajankohtaan nähden myöhäisinä. Lievä harvennus, joka simuloitiin vain pohjoisten alueiden hoidon tarpeessa olevien taimi-

koiden lähtöpuustoille, nousi parhaaksi vain pohjoisimman alueen Ptkg II:n ja Mtkg II:n lähtöpuustossa (kuva 6).

Yhteenvedon voidaan todeta metsänhoidon suotuisa vaikutus puuntuotokseen (kuva 7). Parhaiden kasvatusketjujen käyttöpuun kasvut (MAI_{merch}) vaihtelivat lähtöpuustoittain $1,4\text{--}6,8\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$. Passiiviseen metsänhoitoon verrattuna harventamalla ja kunnostusojittamalla saatiin käyttöpuun kasvuun keskimäärin $0,2\text{--}2,8\text{ m}^3\text{ ha}^{-1}\text{ a}^{-1}$ lisäys.

4 Tulosten tarkastelu

4.1 Kasvatusketjun valinta

Tulokset toivat esiin aktiivisen metsänhoidon merkityksen puuntuotoksen lisäämiseksi. Metsänhoidon myönteiset vaikutukset korostuivat eteläisillä alueilla ja viljavimmilla kasvupaikoilla. Simulointien mukaan ojitusaluemetsiä aktiivisesti hoitamalla saatiin selkeä lisäys keskimääräiseen vuotuisen käyttöpuun kasvuun ja hoitamatta jättäminen oli yleensä aina heikoin vaihtoehto (mm. Kojola ym. 2004).

Parhaan tuotostuloksen tuottavan ja samalla toteutuskelpoisen kasvatusketjun määrittämistä vaikeuttaa yleensä se, että harvennus- ja kunnostusojitustarvet eivät välttämättä esiinny metsikössä samaan aikaan.

Käytännössä joudutaankin tavallisesti poikkeamaan jomman kumman toimenpiteen optimiajankohdasta. Simulointien mukaan harvennuksen osuus kunnostusojitusten ja harvennusten yhteisvaikutuksesta käyttöpuun kasvuun oli yleensä suurempi kuin kunnostusojituksen. Karuilla kasvupaikoilla, joilla lähtöpuuston metsänhoidollinen tila oli hyvä ja näin ollen puiden välinen kilpailu heikkoa, harvennusten vaikutus jäi kuitenkin vähäisemmäksi kuin kunnostusojituksen. Näissä metsiköissä myös harvennusta edeltävän kunnostusojituksen käsittävä kasvatusketju osoittautui usein tuottoisimmaksi.

Ennen harvennustarvetta ilmenevä kunnostusojitustarve selittyy karujen kasvupaikkojen hitaamalla puuston kehityksellä. Näillä soilla kasvun tason ylläpito lienee myös tärkeämpi kunnostusojituksen toteutusperuste kuin lisäkasvu. Harvennuksen ja kunnostusojituksen yhtäaikainen toteutus ei välttämättä ole tuotoksen lisäämisen näkökulmasta paras ratkaisu silloin, kun kuivatustila heikkenee selvästi aiemmin kuin puusto saavuttaa harvennuskypsyyden. Eteläisemmillä soilla näiden toimenpiteiden optimiajankohdat osuvat ainakin ensiharvennussivaiheessa ajallisesti lähemmäs toisiaan, jolloin toimenpiteet on käytännössä yleensä järkevää toteuttaa yhtä aikaa.

Taloudellisesti korjuukelpoisen kertymän tuottavia harvennuksia on ojitetuilla rämeillä harvoin mahdollista toteuttaa kasvatusajalla enempää kuin kaksi. Simuloinneissa kaksi harvennusta toteutui vain joko jo alussa hoidontarpeessa olevissa tai runsaasti koivua sisältävissä, eteläisissä Ptkg II- tai Mtkg II-puustoissa. Pohjoisimmilla soilla yhdenkin harvennuksen toteuttaminen oli usein kyseenalaista. Harvennusten lukumäärään vaikutti myös harvennusten voimakkuus. Simuloitujen harvennusten voimistamista 50 %:n poistuman tasoon voi pitää varsin suurena. Puuston määrä harvennuksen jälkeen jäi pohjoisilla alueilla kuitenkin voimakkaissakin harvennuksissa metsänhoitosuosituksissa määritellyn ns. lakirajan yläpuolelle. Etelämpänä, 1026–1150 d.d.:n alueella, voimakkaat harvennuksiset ulottuivat lakirajan tuntumaan ja yli 1150 d.d.:n alueella hieman niiden alapuolelle. Lievissä harvennuksissa hakkuupoistumat ja varsinkin käyttöpuun kertymät olivat pieniä. Nämä, käytännössä ns. nuoren metsän hoidon tyyppiset harvennuksiset hävisivät kasvatusketjutasolla normaaleille ja voimakkaile harvennuk-

sille. Ne sopivatkin sovellettaviksi lähinnä kohteissa, joissa ilman hoitohakkuuta puuston tuleva kehitys vaarantuisi.

Harvennusten viivästäminen voi lisätä ensiharvennusten kertymiä (mm. Kojola ym. 2005) ja sitä kautta niiden kiinnostavuutta puumarkkinoilla. Tuotostappioita ei näiden simulointien perusteella viivästämisestä aiheutunut. Sen sijaan ketjun kokonaiskannattavuus saattaa joissain tapauksissa alentua, mikäli toinen harvennus jää ensiharvennuksen viivästämisestä vuoksi toteutumatta. Toimenpiteiden pitkän ajan viivästyminen vaikutuksista näillä simuloinneilla ei saatu tietoa. Karuilla kasvupaikoilla harvennuksen aikaistaminen tuotti yleensä normaali-ajankohdan harvennusta alhaisemman käyttöpuun kasvun jäljellä olevalla kasvatusajalla, mutta toisaalta mahdollisesti joissain tapauksissa edes yhden harvennuksen kasvatusajalle.

Kasvatusketjutasolla metsänhoidon kokonaisuhyötyyn vaikutti osaltaan myös kasvatusajan lyheneminen. Lyhenemisen, eli uudistamisläpimittarajan aikaisemman saavuttamisen, voi katsoa johtuvan sekä puuston elinvoimaisuuden ja kasvun paranemisesta hoitotoimien seurauksena että myös keskiläpimitan suurenemisestä, kun puustosta etenkin alaharvennuksessa poistetaan enemmän pieniä puita kuin suuria. Näissä simuloinneissa harvennuksiset olivat kuitenkin vain lievästi alaharvennuspainotteisia ja vaikuttivat vain vähän puuston keskiläpimitaan. Näin ollen kasvatusaikaerojen erot aiheutuivat pääosin jäävien puiden läpimittojen todellisesta kasvusta. Selkeämpi alaharvennus voisi hieman nopeuttaa läpimitaan perustuvan uudistamiskypsyyden saavuttamista, mutta vaikuttaisi alentavasti harvennuskertymän määrään.

Uusien metsänhoitosuosituksien (Hyvän metsänhoidon... 2006) taloudellisen kannattavuuden näkökulman myötä kangasmetsien uudistamiskypsyyden rajat ovat alentuneet ja samoja keskiläpimittarajoja suositellaan sovellettavaksi suometsienkin uudistamiskypsyyden määrittelyssä (Hyvän metsänhoidon... 2007). Tutkimuksessa tarkastellut neljä uudistamisajankohtaa sijoittuivat kohtuullisen hyvin uusien suosituksien läpimittarajojen sisään. Kasvatusketjujen päävertailut tehtiin kuitenkin kasvatusajalla, joka vastasi aiempien suosituksien alarajaa ja on nyt lähempänä uusien suositusläpimittojen ylärajaa. Simulointien mukaiset suuremmat keski-

määräiset käyttöpuun kasvat lyhempiä kasvatusaikoja käytettäessä puolsivat osaltaan uudistamisen aikaistamista. Vaikka uudistamisen aikaistumisen ei todettu suuresti vaikuttavan kasvatusketjujen välisiin suhteellisiin tuotoseroihin, harvennuskertojen vähenemisellä voi olla vaikutusta kasvatusketjujen taloustuloksiin.

4.2 Simulointeihin liittyvät epävarmuudet

Simulointiperusteiseen tarkasteluun liittyy monia epävarmuustekijöitä. Simuloinneilla laadittujen ennusteiden luotettavuus ja kehityskulkujen todennäköisyys riippuvat aineistojen edustavuudesta sekä käytettyjen mallien hyvydestä ja niiden keskinäisten riippuvuuksien toimivuudesta. Näissä simuloinneissa lähtöpuustot muodostettiin todellisista puustojoukoista, joiden pääosa oli peräisin systemaattiseen otantaan perustuvasta SINKA-aineistosta ja vuosien 1930–1978 ojitettujen soiden inventoinnista. Lähtöpuustot sijoittuivat hyvin MOTIN kasvumallien laadinta-aineiston vaihtelun sisään.

Pitkät, uudistuskypsytyteen saakka ulottuvat simulointiajat ovat huomattava epävarmuustekijä johtuen mm. mahdollisten virheiden kumuloitumisesta. Osaltaan epävarmuus johtuu myös siitä, että monet simulaattorin malleista kuvaavat suometsien prosesseja yksinkertaistaen eivätkä aina voi vastata riittävästi olosuhteiden poikkeamiin pitkän ajan keskiarvoista (Hökkä ja Salminen 2006). Simuloinneissa ei esimerkiksi pystytä ottamaan huomioon yllättäviä puuston elinvoimaisuuteen vaikuttavia tapahtumia, kuten tauteja tai poikkeavia sääolosuhteita, joiden seurauksena kunnostusojittamattomien soiden puustojen kehitys voi taantua (mm. Ahti 1991). Toisaalta poikkeamat voivat olla myös puuston kasvulle myönteisiä. Metsänhoitotoimenpiteisiin liittyy riskejä: yleensä ne parantavat puuston elinvoimaisuutta, mutta voivat joskus myös aiheuttaa puustovaurioita ja lisätä sitä kautta tautiriskiä tai kasvutappioita.

Suopuustoista, joiden kehityshistoria tunnetaan ja joiden mittaukset ulottuvat kasvatusajan loppuun, on saatavilla niukasti tietoja. Suometsien malleilla tehtyjen simulointien luotettavuutta on testattu vertaamalla koemetsiköiden simuloitua kehitystä mitattuihin kehityksiin ja todettu lievä kasvun aliarvio

(Kojola ym. 2004). Tämä huomioon ottaen näissä simuloinneissa saavutetut kokonaistuotokset ja kasvat vastasivat hyvin muita julkaistuja tuotoksia (mm. Hännell 1988, Miina ja Pukkala 1995, Gustavsen ym. 1998). Kasvupaikkojen väliset erot olivat odotusten mukaiset, suurimpien kokonaistuotosten ja kasvujen ollessa Mtkg II:lla ja Ptkg II:lla sekä kunkin kasvupaikan eteläisissä metsiköissä (mm. Keltikangas ym. 1986, Gustavsen ym. 1998, Kojola ym. 2004). Kasvupaikkojen tuotoserot voivat johtua mm. turpeen keskimäärin korkeammista typpipitoisuuksista turvekangastyypin II-variantteja edustavilla kohteilla (Westman ja Laiho 2003). Hökkä ja Ojansuu (2004) ovat todenneet puuston pituuskasvun olevan nopeampaa turvekangastyypin II-variantteilla kuin aidoista puustoisista suotyypeistä syntyneillä turvekankailla, mikä johtuu mm. II-varianttien suhteellisesti suuremmasta vesitalouden muutoksesta ensimmäisen ojituksen jälkeen.

Suopuustojen kehityksen vasteesta harvennuksiin pitkällä aikavälillä ei toistaiseksi ole julkaistua tietoa. Kojola ym. (2004) ovat todenneet simuloidun kasvun aliarvion olevan suuruusluokaltaan samalaista riippumatta siitä onko metsikössä tehty harvennus vai ei. Kunnostusojitusten vaikutukset ovat simuloinneissa samaa suuruusluokkaa aikaisempien tutkimustulosten kanssa (mm. Hytönen ja Aarnio 1998, Lauhanen ja Ahti 2001, Ahti 2006). Tarkastelujakso on kuitenkin mainituissa tutkimuksissa lyhyempi, joten tuloksia ei voi suoraan verrata koko kasvatusajalle laskettuihin tuloksiin.

Suopuustojen kehityksen simuloinneissa itseharvenemisraja määräytyi kangasmaiden itseharvenemisellä. Sterban ja Monserud'in (1993) mukaan pieniläpimittaisissa eri-ikäisissä kangasmaiden metsissä maksimirunkoluku tietyllä keskiläpimitalla on alempi kuin tasaikäisissä metsissä. Sen sijaan suopuustojen todellisesta käyttäytymisestä itseharvenemismallin molemmin puolin ei ole tutkimustietoa, joten tutkimuksessa käytetyn 70 % rajan soveltuvuutta leimausrajaperusteeksi on vaikea arvioida. Pohjoisilla ja karuilla kasvupaikoilla sekä metsänhoidolliselta tilaltaan hyvissä metsiköissä, joissa puuston tiheys ei ollut kovin suuri, itseharvenemisrajan perusteella määritellyt harvennukset saattoivat jäädä myöhäisiksi tai jopa kokonaan toteutumatta. Näille lähtöpuustoille simuloitiin itseharvenemisrajaan nähden aikaisia harvennuksia.

Varttuneiden taimikoiden lähtöpuustoille simuloidut lievät harvennukset toteutuivat itseharvenemisrajan perusteella sen sijaan varsin aikaisessa vaiheessa. Tällöin poistettavien puiden pieni koko alensi kertymää (Kojola ym. 2005).

4.3 Yhteenveto

Kullekin kasvupaikalle valitut tuotoksen kannalta parhaat kasvatusketjut erosivat vastaavista passiivisen metsänhoidon kasvatusketjuista tiivistetyksi seuraavasti: Ainespuuta saatiin talteen ensiharvennuksista keskimäärin $60 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ja osassa metsiköitä toteutuneista toisista harvennuksista keskimäärin $70 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Päätehakuukertymät pienenevät useimmissa tapauksissa, mutta samaan aikaan niiden tukkiisuus yleensä suureni ja hakkuun ajankohta aikaistui parilla kymmenellä vuodella. Koko simulointiajalta kertyneen luonnonpoistuman määrä aleni noin viidesosaan, käyttöpuuta saatiin kaikkiaan lisää keskimäärin 15 %. Kokonaistuotos aleni noin 10 prosentilla ja kokonaiskasvut lisääntyivät keskimäärin 10 % ja käyttöpuun kasvut keskimäärin 49 %.

Hoitamalla ojitusalueiden suometsiä niiden puuntuotoskyky pystytään hyödyntämään tehokkaasti. Yleisesti parhaaseen tuotostulokseen pääseminen edellyttää kasvatusajalla sekä kunnostusojituksia että harvennuksia. Parhaan kasvatusketjun valinnassa vaikuttavat kuitenkin tuotostulokulman lisäksi taloudelliset seikat. Karuimmillakin kasvupaikoilla kunnostusojituksella saatu kasvunlisäys todennäköisesti kannattaisi realisoida vähintään yhdessä harvennuksessa kasvatusajan kuluessa. Useimmiten vaaditaan kompromissiratkaisua parhaan tuotoksen ja parhaan taloudellisen tuloksen tuottavan kasvatusketjun kesken.

Kiitokset

Tämä tutkimus on valmistunut Maa- ja Metsätalousministeriön rahoittamassa hankkeessa ”Suometsien käsittelyvaihtojen tuotos ja talous – perusteet käsittelysuosituksille” yhteistyössä Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion kanssa. Tutkimuksen tuloksia on hyödynnetty laadittaessa turvemaiden metsänhoi-

tosuosituksia sekä niihin sisältyviä turvekankaiden mäntyvaltaisten metsien harvennusmalleja ja kasvatusketjusuosituksia (Hyvän metsänhoidon... 2007). Tutkimuksemme valmistumiseen ovat myötävaikuttaneet yksityismetsätalouden organisaatioista Pekka Heinonen, Samuli Joensuu, Markku Kuusela, Hannu Niemelä ja Matti Ruotsalainen sekä Metlasta Anssi Ahtikoski, Riitta Alaniva, Jari Hynynen, Mika Leh-tonen, Hannu Salminen ja Matti Siipola. Lausumme heille kaikille lämpimät kiitokset.

Kirjallisuus

- Ahti, E. 1991. Kunnostusojituksen puuntuotanto ja ympäristövaikutukset. Julkaisussa: Ferm, A. & Heino, E. (toim.). 1991. Keski-Pohjanmaa – nouseva metsämaakunta. Metsäntutkimuspäivä Ylivieskassa 14.6.1990. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 374: 12–14.
- 2006. 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.
- Gustavsen, H.G., 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.
- Heikurainen, L. 1980. Kuivatuksen tila ja puusto 20 vuotta vanhoilla ojitusalueilla. *Acta Forestalia Fennica* 167: 39 s.
- 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., 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.
- Hytönen, L.A. & Aarnio, J. 1998. Kunnostusojituksen erilliskannattavuus muutamilla karuhkoilla rämeillä. *Suo* 49(3): 87–99.
- Hyvän metsänhoidon suositukset 2001. Metsätalouden

- kehittämiskeskus Tapio, Helsinki. 95s.
- 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.
- 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.
- & 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.
- & 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. (eds.). 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.*
- , Piironen, M.-L. & Penttilä, T. 1991. Lämpimittäjakauden ennustaminen Weibull-jakaumalla Pohjois-Suomen mänty- ja koivuvaltaisissa ojitusaluemetsiköissä. *Folia Forestalia* 781. 22 s.
- , 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.
- , Kaunisto, S., Korhonen, K.T., Päivänen, J., Reinikainen, A. & Tomppo, E. 2002. Suomen suometsät 1951–94. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2002: 201–357.
- 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.
- Keltikangas, M., Laine, J., Puttonen, P. & Seppälä, K. 1986. Vuosina 1930–1978 ojitetut suot: ojitusaluiden inventoinnin tuloksia. *Acta Forestalia Fennica* 193. 94 s.
- Kojola, S., Penttilä, T. & Laiho, R. 2004. Impacts of different thinning regimes on the yield of uneven-structured Scots pine stands. *Silva Fennica* 38(4): 393–403.
- , 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.
- Laiho, R. & Laine, J. 1994. Nitrogen and phosphorus stores in peatlands drained for forestry in Finland. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9: 251–260.
- Laine, J. 1989. Metsäojitetujen soiden luokittelu. *Suo* 40: 37–51.
- Lauhanen, R. & 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.
- Metinfo. 2007. Metsätietopalvelut. [Verkkosivusto]. Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/>. [Viitattu 5.12.2007].
- Miina, J. & 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.
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 201: 311–325
- Nuutinen, T., Hirvelä, H., Salminen, O. & Härkönen, K. 2007. Alueelliset hakkuumahdollisuudet valtakunnan metsien 10. inventoinnin perusteella, maastotyöt 2004–

2006. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2007: 215–248.
- 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.
- Salminen, H. & Hynynen, J. 2001. MOTTI: a growth and yield simulation system. Abstract. Julkaisussa: LeMay, V. & Marshall, P. (eds.). Forest modelling for ecosystem management, forest certification, and sustainable management. Proceedings of the Conference held in Vancouver, BC, Canada. August 12 to 17, 2001, s. 488.
- Sarkkola, S., 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.
- Sterba, H. & Monserud, R.A. 1993. The maximum density concept applied to uneven-aged mixed-species stands. *Forest Science* 39(3): 432–452.
- 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.
- Verkasalo, E. 1997. Hieskoivun laatu vaneripuuna. Abstract: Quality of European white birch (*Betula pubescens* Ehrh.) for veneer and plywood. Finnish Forest Research Institute, Research Papers 632. 483 s.
- Westman, C.J. & Laiho, R. 2003. Nutrient dynamics of peatland forests after water-level drawdown. *Biogeochemistry* 63: 269–298.

43 viitettä