



Saija Huuskonen



Anssi Ahtikoski

Saija Huuskonen ja Anssi Ahtikoski

Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon

Huuskonen, S. & Ahtikoski, A. 2005. Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2/2005: 99–115.

Tutkimuksessa selvitettiin viiden vaihtoehdoisen ensiharvennuksen vaikutusta metsikön tuotokseen ja tuottoon kuivahkon kankaan männiköissä. Hakkuukertymät ja kantorahatulujen nykyarvot laskettiin erikseen ensiharvennukselle ja koko kiertoaajalle. Kunkin vaihtoehdoisen ensiharvennuksensittelyn mukainen tuotos määritettiin metsikön mittaushetkestä (päätöksenteon ajankohta) päätehakkuuseen. Tutkimusaineistona käytettiin Metsähallituksen vuosina 1999–2000 koneellisesti hakattuja ensiharvennuskohteita, yhteensä 27 metsikköä Keski-Suomen, Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin alueilla. Puuston kehityssennusteet laadittiin MOTTI-ohjelmistolla, ja näiden ennusteiden luotettavuus testattiin riippumattomalla aineistolla (Metsäntutkimuslaitoksen kestokoeaineisto). Ennusteiden todettiin olevan harhattomia runkoluvun ja pohjapinta-alan suhteen sekä ennustevirheiden (mitattu – ennustettu) pieniä. Vaikka MOTTI-ennusteet aliarvioivat valtapituuden ja tilavuuden kehitystä, oli harha samaa suuruusluokkaa eri harvennusvaihtoehdoissa.

Kun pohjapinta-alasuositusten mukaista ensiharvennusta viivästettiin 10 vuodella, lisääntyi ensiharvennuksen kuitupuukertymä toteutuneesta tasosta (n. 30 m³ ha⁻¹) aina 60:een m³ ha⁻¹. Samalla ensiharvennuksen kantorahatulujen nykyarvo (4% laskentakorkokanta) suureni keskimäärin 330 € ha⁻¹. Kantohintojen vaihtelu tai laskentakorkokannan muutokset eivät ratkaisevasti vaikuttaneet eri ensiharvennustapojen väliseen kannattavuusjärjestykseen: 10 vuodella viivästetty pohjapinta-alasuositusten mukainen ensiharvennus osoittautui poikkeuksetta parhaimmaksi. Koska eri ensiharvennusvaihtoehtojen mukaiset koko kiertoaajan tuotokset ja tuotot eivät eronneet toisistaan, voidaan todeta, että ensiharvennuksen viivästäminen 10 vuodella on perusteltu keino parantaa nimenomaan ensiharvennuksen kannattavuutta, menettelyn kuitenkin vaikuttamatta ratkaisevasti metsikön tuotokseen tai tuottoon koko kiertoaajassa.

Asiasanat: mänty, kuivahko kangas, MOTTI, kantorahatulot, ensiharvennus, kannattavuus, tuotos
Yhteystiedot: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus, PL 18, 01301 Vantaa
Sähköposti saija.huuskonen@metla.fi; anssi.ahtikoski@metla.fi
Hyväksytty 3.5.2005

I Johdanto

Ensiharvennus on nuoren metsän ensimmäinen hakkuu, josta saadaan myyntikelpoista ainespuuta ja kantorahatuloja. Puunkorjuun ohella ensiharvennus tulee nähdä ennen kaikkea metsänhoidollisena toimenpiteenä. Sen tavoitteena on nopeuttaa jäävän puuston järeymistä puiden kasvutilaa lisäämällä ja parantaa puiden laatua keskittämällä kasvu arvokkaisiin ja hyvälaatuisiin puihin. Lisäksi luonnonpoistuman talteenotto, hakkuutulojen saaminen jo ennen varsinaista pätehakkuuta, puulajisuhteiden järjestäminen sekä latvusten hoito ja metsikön terveydentilan ylläpito on tavoitteena (Vuokila 1980). Näiden toteutumiseen vaikuttaa ratkaisevasti ensiharvennuksen ajoitus sekä hakkuun voimakkuus.

Ensiharvennuksia tehtiin Suomessa vuonna 2003 yhteensä 170 000 hehtaarilla, joista yksityisten metsänomistajien mailla yli 135 000 ha, joka on 30 % kasvatushakkuiden ja uudistushakkuiden kokonaispinta-alasta (Metsätilastollinen vuosikirja 2003). Valtion mailla vastaavat lukuarvot olivat 20 000 ha ja 29 %. Tulevaisuudessa ensiharvennusten osuus tulee oletettavasti vielä kasvamaan. Tästä syystä ensiharvennusten roolia metsänhoidollisena toimenpiteenä ja edelleen myös taloudellisena tekijänä ei tule väheksyä.

Ensiharvennuksia tulisi ajoittaa mahdollisimman myöhään, jolloin hakkuu on taloudellisesti kannattavaa riittävän järeän ja suuren käyttöpuukertymän vuoksi, mutta ei kuitenkaan vaaranna kasvatettavan puuston jatkokehitystä. Tapion julkaiseman Hyvän metsänhoidon suositusten (2001) mukaan ensiharvennuksia voidaan ajoittaa 13–15 metrin valtapitusvaiheeseen. Tämä edellyttää, että taimikonhoito on tehty oikeoppisesti ja ajallaan (esimerkiksi Etelä-Suomen männiköissä 5–8 m valtapitusvaiheessa harvennettu tiheyteen 1800–2000 kpl ha⁻¹). Metsähallituksen Metsänhoito-ohjeiden mukaan ensiharvennus tehdään normaalitilanteessa 12–14 metrin valtapitusvaiheessa, mutta tiheissä (yli 2500 kpl ha⁻¹) havupuuvaltaisissa metsiköissä ensiharvennusta aikaistetaan 12–13 m valtapitusvaiheeseen (Hokajärvi 1997). Metsähallituksen mailla ensiharvennuksissa jäävän puuston määrän kriteerinä on ensisijaisesti runkolukuun perustuva harvennusmalli ja muissa kasvatushakkuissa pohjapinta-alaan perus-

tuva harvennusmalli (Hokajärvi 1997).

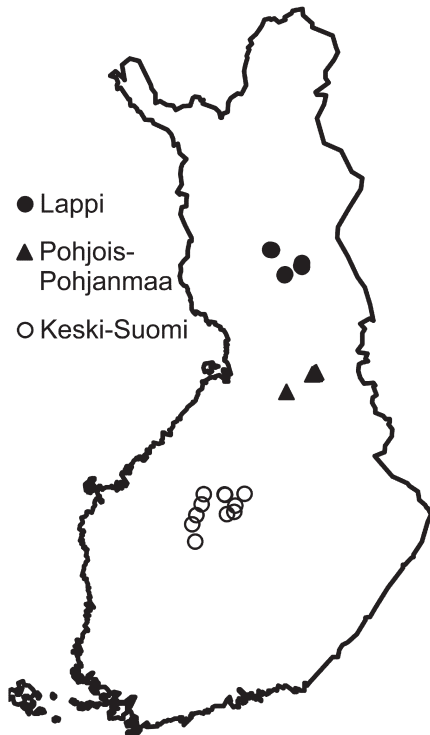
Harvennushakkuiden korjuujäljen inventointitutkimuksissa kasvatettavan puuston määrä on todettu usein alhaiseksi suosituksiin nähden. Metsäkeskusten harvennushakkuiden korjuujäljen tarkastuksissa esimerkiksi vuonna 2002 ilmeni, että Etelä-Suomen männiköistä lähes puolet oli hakattu suosituksia harvemmiksi. Kuusikoissa sen sijaan ei ollut yleistä harventaa alle suositusten (Männiköitä harvennetaan... 2003). Pohjois-Savon metsäkeskuksen vuoden 2002 selvityksessä ilmeni, että männiköissä kasvatettavan puuston pohjapinta-ala alittui suositustasosta jopa 86 %:lla ensiharvennuskohteissa (Lappalainen 2003). Metsähallituksen Länsi-Suomen, Itä-Lapin ja Pohjanmaan alueilla oli vuoden 2000 maastoinventoinnissa kasvatettavan puuston määrä 86 % runkolukutavoitteesta ja 84 % pohjapinta-alatavoitteesta (Mattila ym. 2002). Vuoden 2002 inventoinneissa Metsähallituksen mailla havaittiin, että Etelä-Suomessa jäävän puuston runkoluku oli keskimäärin vain 79 % tavoitteesta ja pohjapinta-ala ainoastaan 77 % tavoitteesta. Pohjois-Suomessa, johon luetaan Pohjanmaan, Kainuun ja Lapin alueet, jäävän puuston runkoluku oli 98 % ja pohjapinta-ala 101 % tavoitteesta.

Yleisenä esiintyvä suuntaus liian voimakkaista ensiharvennuksista herättää kysymyksen, miten voimakas harvennushakkuu vaikuttaa koko kiertoajan puuntuotokseen ja edelleen metsikön taloudelliseen tulokseen ja voiko ongelman yhtenä ratkaisukeinona olla ensiharvennuksen viivästyminen. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutusta ensiharvennusvaiheen tuotokseen ja tuottoon sekä koko kiertoajan vastaaviin tuloksiin. Lisäksi taloudellisissa laskelmissa otetaan huomioon mahdollisia tukki- ja kuitupuun kantohintasuhteissa tapahtuvia muutoksia sekä arvioidaan laskentakorkokannan merkitystä tuloksiin.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Tutkimusaineisto

Aineistona oli kuivahkoilla kankailla vuosina 1999–2000 koneellisesti hakattuja ensiharvennuskohteita Metsähallituksen mailla, yhteensä 27 männikköä.



Kuva 1. Koemetsiköiden sijainti.

Metsiköt sijaitsivat Keski-Suomessa Karstulan ja Viitasaaren alueella, Pohjois-Pohjanmaalla Puolangalla sekä Itä-Lapissa Kemijärven ja Sallan alueella (kuva 1). Kuviot mitattiin kesällä 2000 kaistaleinventoinnilla. Kaistaleiden määrä ja etäisyys toisistaan vaihteli kuvion koon ja muodon mukaan. Kaistaleen pituus riippui kuvion koosta, vaihdellen 250 ja 450 m:n välillä. Kolme metriä leveältä kaistaleelta mitattiin puulajeittain jokaisen elävän puun rinnankorkeusläpimitta ja kannoista kantoläpimitta. Kannoista mitattiin vain hakkuukoneen kaatamat puut ja elävistä pääasiassa vain kuitupuun mitat täytävät puut. Puuston ryhmittäisyydestä johtuen Lapissa mitattiin aukkopaikoissa myös pieniä ($d_{1.3} < 5$ cm) puita. Erikokoisista koepuista (20 mäntyä per metsikkö) mitattiin kanto- ja rinnankorkeusläpimitta sekä pituus. Koepuiden perusteella jokaiselle mitatulle puulle ennen hakkuuta ennustettiin rinnankorkeusläpimitta kanto- ja rinnankorkeusriippuvuuden perusteella metsiköittäin. Koepuiden perusteella estimoitiin Näslundin (1936) pituusyhtälön parametrit kussakin metsikössä, ja saadulla mallilla ennustettiin

lukupuille pituudet. Puuston tilavuus laskettiin Laasasenahon (1982) tilavuusyhtälöillä. Maastomittausmenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti Mattilan (2001) ja Mattila ym. (2002) julkaisuissa. Suurin osa metsiköistä oli luontaisesti tai kylvään syntyneitä (taulukko 1). Metsiköiden runkoluku vaihteli $781\text{--}2146$ kpl ha^{-1} välillä ja valtapituus oli keskimäärin 13 m (taulukko 1). Keski-Suomen metsiköt olivat tiheämpiä kuin Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin metsiköt (taulukko 1).

2.2 Kasvun ennustaminen MOTTI-ohjelmistolla

Metsiköiden kehitys ennustettiin ensiharvennusta edeltävästä mittaushetkestä (t_0), lähtöpuustona mitatut elävät puut ja hakkuukannot. Tutkimuksessa ei otettu huomioon ennen ensiharvennusvaihetta tapahtunutta luonnonpoistumaa ja taimikonhoitopoistumaa. Jokaiselle metsikölle (taulukko 1) ennusteet tehtiin päätehakuuseen asti Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyn MOTTI-ohjelmiston avulla (esim. Matala ym. 2003, Salminen ym. 2005). MOTTI-ohjelmistolla voidaan arvioida vaihtoehtoisten metsänkäsittelyiden vaikutusta niin metsikön puuntuotokseen kuin taloudelliseen tulokseenkin.

Kasvu-, tuotos- ja taloudelliset tulokset määritettiin seuraavien ensiharvennusvaihtoehtojen (1–5) mukaan:

- VE1) Toteutunut ensiharvennus perustui toteutettuihin koneellisiin ensiharvennuksiin,
- VE2) Ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen pohjapinta-alasuositusta,
- VE3) Ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen runkolukusuositusta,
- VE4) 10 vuotta viivästetty ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen pohjapinta-alasuositusta,
- VE5) 10 vuotta viivästetty ensiharvennus, jossa sovellettiin Metsähallituksen runkolukusuositusta.

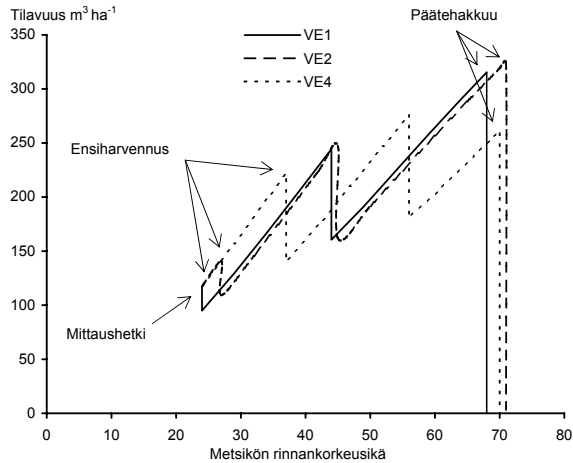
Ennusteet toteutettiin siten, että mittaushetken puusto (taulukko 1) syötettiin MOTTI-ohjelmistoon, minkä jälkeen vaihtoehdoissa 2–5 tehtiin ensiharvennus kunkin vaihtoehdon mukaisesti. Vaihtoehdossa 1 (VE1) puolestaan ensiharvennus tehtiin todellisuudessa hakkuussa poistettujen puiden (mitatut kannot) mukaan. Kaikissa vaihtoehdoissa (VE1...

Taulukko 1. Metsiköiden yleistiedot mittaushetkellä ennen ensiharvennusta. Syntytyyppi 1 = luontainen, 2 = kylvä ja 3 = istutus.

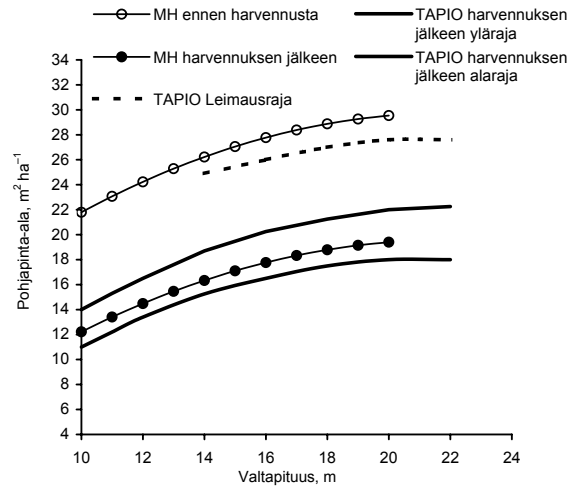
Alue ja metsikkö	Syntytyyppi	Kokonaisikä	Runkoluku, kpl ha ⁻¹	Runkoluku, d _{1,3} ≤ 5 cm kpl ha ⁻¹	Pohjapinta-ala, m ³ ha ⁻¹	Keski- läpimitta, cm	Valtapiisuus, m	Tilavuus m ³ ha ⁻¹
Keski-Suomi								
1	1	33	1367		19,3	15,0	13,7	117,6
2	2	31	1765		22,8	13,9	13,7	137,8
3	2	31	1712		21,9	13,7	13,5	136,0
4	2	32	1653		25,3	15,4	14,8	170,6
6	2	39	1573		22,3	14,5	14,3	149,1
8	1	36	1524		21,5	15,2	13,8	136,4
10	3	42	1441		20,9	15,1	13,2	123,2
11	3	35	2146		28,5	14,7	15,3	188,7
12	2	39	1499		26,3	16,1	14,9	184,5
14	2	31	1607		19,1	13,7	12,4	112,8
15	3	40	1233		18,5	15,3	13,3	115,6
16	3	32	1118		12,6	13,4	12,5	70,6
ka.		35	1553		21,6	14,7	13,8	136,9
Pohjois-Pohjanmaa								
27	1	44	1044		16,2	16,0	13,9	101,6
29	1	50	1096		13,8	14,1	12,7	84,2
30	3	30	1283		18,3	14,4	12,3	104,5
31	1	50	1093		15,3	14,5	13,1	93,8
32	1	35	1402		20,8	14,9	11,4	114,6
33	2	35	1362		18,5	14,1	11,6	102,6
34	3	34	1356		18,6	14,7	12,1	106,2
36	1	32	900		13,3	13,3	12,0	72,6
ka.		39	1192		16,9	14,5	12,4	97,5
Lappi								
17	1	74	827	22	11,7	17,3	13,6	72,1
19	1	64	1415		16,9	13,9	13,1	100,2
21	1	44	781	7	13,3	17,4	13,3	77,7
22	1	63	941		12,2	14,5	12,2	67,0
23	1	77	1279	21	16,9	16,5	14,9	102,3
25	1	73	1108	23	16,1	15,8	16,4	108,3
26	2	53	900	16	16,9	18,4	13,4	109,4
ka.		64	1036		14,9	16,3	13,8	91,0
Kaikki ka.		44	1312		18,4	15,0	13,4	113,3

VE5) ensiharvennuksen jälkeinen puuston kehitys ennustettiin MOTTI-ohjelmistolla (kuva 2). Ensiharvennuksen jälkeisissä harvennuksissa käytettiin aina pohjapinta-alakriteeriä. Ennusteissa kaikki harvennukset tehtiin heti, kun harvennusraja ylittyi. Päätehakuun ajankohta määritettiin soveltamalla Hyvän metsänhoidon suositusten (2001) läpimittakriteeriä, joka kuivahkon kankaan männikössä on Etelä-Suomessa 27 cm ja Pohjois-Suomessa 26 cm. Harvennusta ei tehty, mikäli aika harvennuksen ja päätehakuun välillä oli alle 10 vuotta. Ennusteiden alkuhetkenä pidettiin aina kunkin metsikön mittaushetkeä (t_0), joka metsikön kokonaisikänsä ilmaistuna oli välillä 31–77 vuotta. Ennustettujen päätehakkuiden ajankohta puolestaan ajoittui metsikön kokonaiselle 72–156 vuotta.

Tutkimusaineisto perustui alun perin Metsän-
tutkimuslaitoksessa tehtyyn tilaustutkimukseen Metsähallitukselle. Ensiharvennuksen käsittelyvaihtoehdot noudattivat Metsähallituksen ohjeita ja suosituksia. Metsähallituksen pohjapinta-alaan perustuvat harvennusmallit poikkesivat vain hieman Etelä-Suomen yksityismetsissä käytettävistä Hyvän metsänhoidon suositusten (2001) mukaisista harven-



Kuva 2. Metsikön I tilavuuden kehitysennusteet kolmesta ensiharvennusvaihtoehdosta: VE1, VE2 ja VE4.



Kuva 3. Metsähallituksen (MH) ja yksityismetsien Tapiion Hyvän metsänhoidon suositusten (2001) harvennusmallit Etelä-Suomen kuivahkon kankaan männikössä.

Taulukko 2. Ensiharvennuksen ajoitus kuivahkolla kankaalla valtapituuden (Hdom) ja puuston tiheyden mukaan.

	Suositus Hdom	Normaali 1500–2500 kpl ha ⁻¹		Harva <1500 kpl ha ⁻¹		Tiheä > 2500 kpl ha ⁻¹	
		Hdom	Kpl ha ⁻¹	Hdom	Kpl ha ⁻¹	Hdom	Kpl ha ⁻¹
Etelä-Suomi	13–14	13,5	950	15	800	13,0	1100
Pohjois-Suomi	12–14	13,0	900	14	750	12,0	1050

nusmalleista (kuva 3). Sen sijaan Pohjois-Suomen männiköissä (kuivahko kangas, valtapituus yli 13 m) Metsähallituksen suositukset olivat selvästi voimakkaammat – toisin sanoen ne sallivat suurempia harvennuspoistumia kuin yksityismetsien vastaavat. Alle 13 m valtapituusvaiheessa Metsähallituksen ja yksityismetsien suositukset eivät eronneet toisistaan merkittävästi.

Ensiharvennuksia tehtiin MOTTI-ohjelmistolla Metsähallituksen ohjeiden perusteella valtapituuden ja puuston tiheyden mukaan sekä runkolukua pohjapinta-alakriteeriä käytettäessä (taulukko 2). Esim. harvennus 13–14 m valtapituusvaiheessa ajoitettiin keskiarvon 13,5 m mukaan. Samoin harvennuksen jälkeen jäävä runkoluku laskettiin vaihteluvälillä 900–1000 kpl ha⁻¹ keskiarvon 950 kpl ha⁻¹ mukaan. Viivästettäessä ensiharvennusta 10 vuotta ensiharvennuksessa jäävä runkoluku pysyi samana ohjeen mukaisena, mutta jäävä pohjapinta-ala muuttui harvennusmallin mukaisesti valtapituuden kasvaessa.

2.3 MOTTI-ohjelmiston kasvuennusteiden validointi riippumattomalla kestokoeaineistolla

Koska tutkimuksessa tukeuduttiin MOTTI-ohjelmiston kasvuennusteisiin, testattiin ennusteiden luotettavuutta riippumattomalla kestokoeaineistolla. Kestokoeaineistona oli Metsätutkimuslaitoksen 6 kuivahkon kankaan metsikkökoetta Etelä- ja Pohjois-Suomessa. Tuloksia näistä kokeista ovat aiemmin julkaisseet Hynynen ja Saramäki (1995) sekä Hynynen ja Arola (1999). Kokeet on perustettu 1970-luvulla ensiharvennusvaiheessa oleviin tasaikäisiin metsiköihin. Metsiköt ovat luontaisesti (4 metsikköä) tai kylväen (2 metsikköä) syntyneitä männiköitä. Kaikissa metsiköissä oli tehty taimikonharvennus. Metsiköiden ikä vaihteli kokeiden perustamishetkellä 38 vuodesta 55 vuoteen.

Harvennuskäsittelyvaihtoehdot koealoilla olivat:

- EH1) Viivästetty voimakas ensiharvennus. Puuston annettiin kehittyä taimikonharvennuksen jälkeisessä tiheydessä koko 15 vuoden seuranta-ajan, jonka jälkeen puustosta poistettiin 60 % runkoluvusta.
- EH2) Lievä ensiharvennus. Puustosta poistettiin 30 % runkoluvusta heti kokeiden perustamisen yhteydessä. Toisen kerran nämä koealat harvennettiin 10 vuotta ensimmäisen mittauksen jälkeen, jolloin poistettiin myös 30 % runkoluvusta.
- EH3) Voimakas ensiharvennus. Puustosta poistettiin heti perustamisen yhteydessä ensimmäisellä mittauskerralla 60 % runkoluvusta.

Kaikki harvennukset tehtiin alaharvennuksina. Metsikköjä on seurattu 25 vuotta 5 vuoden mittausvälein. Mittausmenetelmät ja aineiston laskenta on kuvattu yksityiskohtaisesti Hynysen ja Arolan (1999) julkaisussa.

Lämpösummalla mitaten validoinnissa käytetyn kestokoeaineiston maantieteellinen vaihtelu (810–1270 d.d.) kattoi lähes kokonaan Metsähallituksen aineiston vaihtelualueen (780–1000 d.d.). Metsähallituksen kohteet olivat ennen harvennusta valtapituudeltaan keskimäärin 13 metriä, samoin kuin kestokokeilla. Pohjapinta-ala ennen hakkuuta oli Metsähallituksen aineistossa keskimäärin $18 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$ (ks. taulukko 1), kun kestokokeilla pohjapinta-ala oli $20 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$. Tilavuus kestokokeilla $111 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ vastasi hyvin Metsähallituksen maastoinventoinnin tulosta $113 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$. Aineistojen välinen ero oli suurin runkoluvuissa (Metsähallitus: 1312 kpl ha^{-1} vs. kestokoeaineisto: 2735 kpl ha^{-1} , vaihdellen $2160\text{--}3240 \text{ kpl ha}^{-1}$ välillä). Runkolukueroon vaikuttivat osittain mittausmenetelmien erot. Metsähallituksen maastoinventoinnissa mitattiin hakkuussa poistetut kannot ja elävistä puista pääasiassa kuitupuun mitat täyttävät puut (Mattila 2001), kun taas kestokokeilla mitattiin kaikki puut (Metsikkökokeiden maastotyöohjeet 1987). Kestokokeilla oli rinnankorkeusläpimitaltaan alle 5 cm puita keskimäärin 162 kpl ha^{-1} , joten runkolukuerot eivät selity pelkästään erilaisilla mittausmenetelmillä. Yhteenvedona voidaan todeta, että kestokokeet olivat ennen harvennusta puustoltaan tiheämpiä kuin Metsähallituksen ensiharvennusaineiston metsiköt.

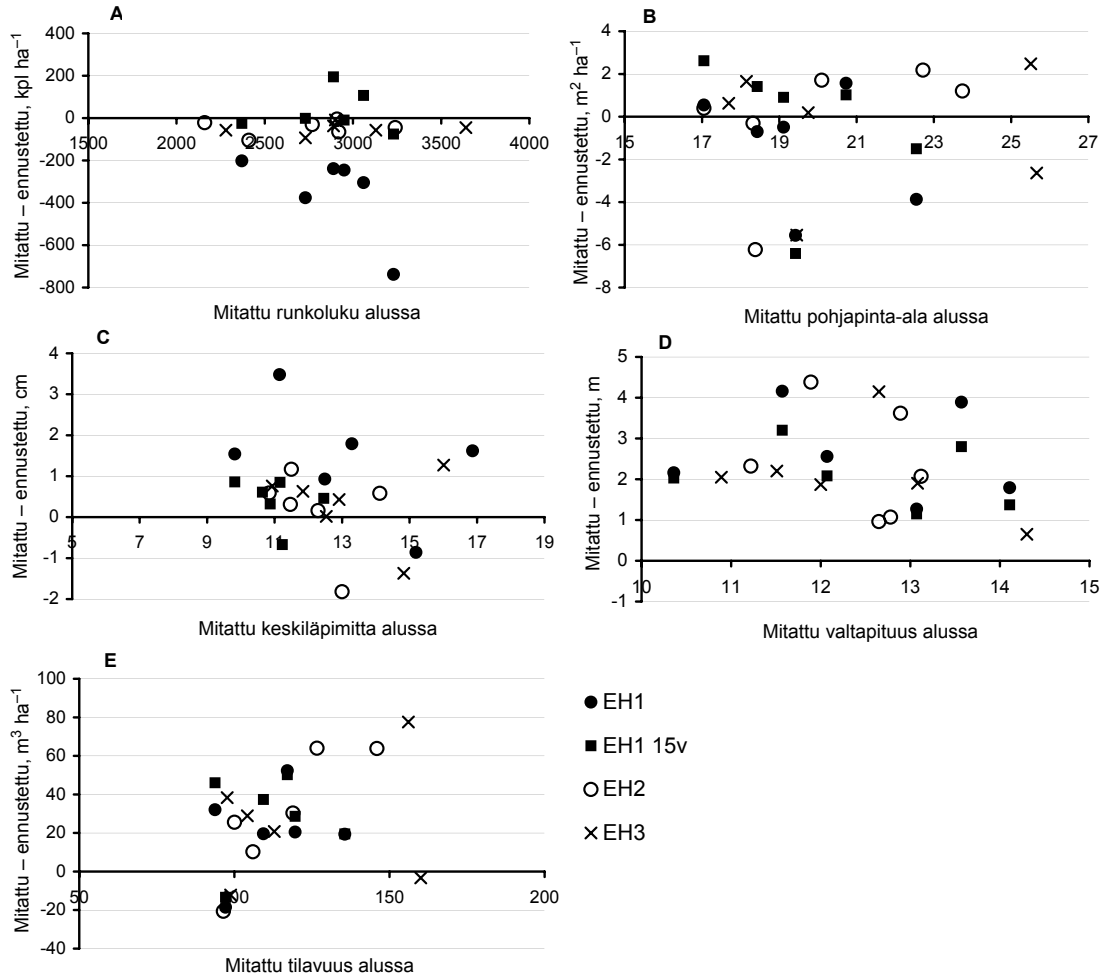
Ennusteen luotettavuutta tässä aineistossa tarkasteltiin ennustamalla jokaisen koemetsikön kaikkien kolmen koealan (EH1, EH2 ja EH3) kehitys

MOTTI-ohjelmistolla. Ennusteissa harvennukset toteutettiin puutasolla siten, että todellisuudessa leimatut puut poistettiin koealoilta. Tarkastelujakso oli koko seurantajakso, 25 vuotta. Lisäksi viivästetyn voimakkaan harvennuksen EH1-koealoilla tarkasteltiin ennusteiden luotettavuutta käsittelemättömänä olleen ensimmäisen 15 seurantavuoden ajalta (EH1 15 v).

Runkolukuvertailussa havaittiin, että EH1-koealojen ennustettu runkoluku 25 vuoden jälkeen oli alhaisempi kuin todellisuudessa mitattu (kuva 4A). Ero selittyi luonnonpoistuman yliarviona, sillä ennustettu harvennus vastasi todellisuudessa tehtyä. Tarkasteltaessa erikseen 15 vuoden ajanjaksoa (EH1 15 v) kyseisillä koealoilla ennustettu luonnonpoistuman määrä vastasi kuitenkin hyvin todellisuudessa mitattua (kuva 4A). Pohjapinta-alan vertailussa ei havaittu suuria eroja eikä systemaattista suuntausta (kuva 4B). Keskiläpimitan kehitys on lievä aliarvio (kuva 4C). Vaikka MOTTI-ennusteet aliarvioivat valtapituuden ja tilavuuden kehitystä (kuva 4D, 4E), on harha samaa suuruusluokkaa eri harvennusvaihtoehdoissa.

2.4 Kannattavuuslaskelmat ja hinta herkkyyshanalyysi

Kannattavuuslaskelmat perustuivat tehtyihin kasvun ennusteisiin, jotka edelleen muutettiin rahamääräisiksi. Kannattavuuslaskelmat tehtiin pelkästään yksityisen metsänomistajan näkökulmasta kantohinnoin. Laskelmat toteutettiin siten, että ensiharvennukselle ja koko loppukiertoajan (mittaushetkestä päätehakkuuseen) kantorahatuiloille määritettiin erikseen nykyarvot. Menettelyn etuna oli se, että nyt voitiin verrata eri ensiharvennusvaihtoehtojen kannattavuuksia pelkästään ensiharvennuksessa ja edelleen koko loppukiertoaikana. Samalla saatiin tietoa siitä, muuttuuko kannattavuusjärjestys vaihtoehtojen ensiharvennustapojen kesken, kun tarkastellaan pelkän ensiharvennuksen ja vastaavasti loppukiertoajan kannattavuutta. Loppukiertoajan kannattavuus nykyarvossa määritettiin seuraavan kaavan mukaisesti:



Kuva 4. Metsikkötunnusten vaihtelu mitattujen havaintojen ja ennusteiden välillä, kun seurantajakso on 25 vuotta. EH1 = voimakas viivästetty ensiharvennus (60% runkoluvusta 15 vuoden kuluttua seurantajakson alusta), EH2 = lievä harvennus (30% runkoluvusta heti seurantajakson alussa ja 10 vuoden kuluttua), EH3 = voimakas harvennus (60% runkoluvusta heti seurantajakson alussa). Lisäksi tarkasteltu EH1-koealojen käsittelemätöntä 15 vuoden ajanjaksoa (EH1 15v). A = runkoluku, B = pohjapinta-ala, C = keskiläpimitta, D = valtapituus ja E = tilavuus.

$$K_{is} = \frac{H_{is1}}{(1+r)^{t_{is1}}} + \sum_{l=2}^L \frac{H_{isl}}{(1+r)^{t_{isl}}} \quad (1)$$

missä

K_{is} = metsikön i loppukiertoajan kannattavuus (€ ha⁻¹) ensiharvennustavan s mukaan, $i = 1, 2, \dots, 27$, $s = VE1, VE2, VE3, VE4$ tai $VE5$

H_{isl} = metsikön i ensiharvennustavalla s toteutetun l :nnen hakkuun kantorahatulot (ensiharvennus: $l = 1$, päte-hakkuu: $l = L$)

t_{isl} = metsikön i ensiharvennustavalla s toteutetun l :nnen harvennuksen tai pätehakkuun ajankohta mittaushetkestä t_0 (lähtöpuustona elävät puut ja hakkuukannot)

r = sovellettava laskentakorkokanta siten, että esimerkiksi 2% merkitään kaavassa lukuarvolla 0.02 (kannattavuudet laskettu 0%, 2% tai 4% mukaan)

Koska aika mittaushetkestä simuloituun pätehakkuuseen asti vaihteli välillä 36–98 vuotta, laskettiin

tutkimuksessa koko aineistossa lisäksi kullekin ensiharvennusvaihtoehdolle loppukiertoajan vuotuinen tasatuotto-lukuarvo (engl. *equivalent annual income*; Raunikar ym. 2000). Vuotuinen tasatuotto on suure, joka mahdollistaa yhteismitallisen vertailun eri aikajänteisille käsittelyille. Toisin sanoen se ilmaisee, paljonko kukin ensiharvennusvaihtoehto kussakin metsikössä tuottaa vuotuisesti, riippumatta aikahorisontista (mittaushetkestä päätehakkuuseen). Vuotuisen tasatuotto-lukuarvon avulla voidaan eri ensiharvennusvaihtoehtoja verrata yksiselitteisesti keskenään esimerkiksi siten, että valitaan lyhin aikajänne (tässä 36 vuotta), ja katsotaan mikä ensiharvennusvaihtoehto tuottaa vuotuisesti ao. aikajänteellä eniten ($\text{€ ha}^{-1} \text{a}^{-1}$). Teknisesti vuotuinen tasatuotto on nykyarvokaavan muunnos, joka voidaan esittää seuraavasti: (ks. Raunikar ym. 2000)

$$VTT_{is} = K_{is} \frac{r(1+r)^{T_{is}}}{(1+r)^{T_{is}} - 1} \quad (2)$$

missä

VTT_{is} = metsikön i loppukiertoajan vuotuinen tasatuotto ensiharvennustavan s mukaan, € ha^{-1} ,

K_{is} = ks. kaava (1),

T_{is} = aika mittaushetkestä t_0 päätehakkuun ajankohdasta t_{isL} . T_{isL} vaihteli aineistossa välillä 36–98 vuotta,

r = laskentakorkokanta (sama kuin kaavassa (1))

Kantorahatulojen laskennassa (kaavat (1) ja (2)) sovellettiin reaalisia kantohintoja. Nimelliset kantohinnat deflatoitiin tukkuhintaindeksillä (kotimaiset tavarat), jonka perusvuotena käytettiin vuotta 2003 (Suomen Tilastollinen Vuosikirja 2003). Nimelliset kantohinnat saatiin Metsätalastollisesta Vuosikirjasta (2003) koko maan keskiarvoista vuosilta 1995–2003, ja peruslaskelmassa käytettiin vuoden 2003 koko maan keskiarvoa.

Valitun aikavälin (1995–2003) katsottiin olevan riittävän pitkä myös hintaherkkyysanalyysia varten, jotta se sisältäisi ainakin yhden suhdannesyklin kokonaisuudessaan (Metsäsektorin suhdannekatsaus 2003–2004) ja näin ollen tarkasteluun saataisiin mukaan yksikköhintojen huiput ja pohjat.

Herkkyysanalyysissa sekä pelkän ensiharvennuksen että loppukiertoajan kannattavuuslaskelmat tehtiin vaihtoehtoisilla kantohinnoilla, jotta suhdanteiden mahdollinen vaikutus kannattavuuteen

Taulukko 3. Vaihtoehtoisten kantohintakombinaatioiden mukaiset yksikköhinnat (€ m^{-3}).

Puutavara-laji	Peruslaskelmat (KH1)	Maks tukki – min kuitu (KH2)	Min tukki – maks kuitu (KH3)	Keskiarvo (KH4)
Mäntytukki	46,69	49,41	44,22	46,84
Mäntykuitu	13,67	13,67	17,42	15,66
Kuusitukki	44,49	44,49	36,51	41,18
Kuusikuitu	21,44	19,76	24,02	22,32
Koivutukki	44,22	49,12	43,92	45,98
Koivukuitu	13,07	13,07	17,69	15,53

ja edelleen vaihtoehtoisten ensiharvennustapojen väliseen paremmuusjärjestykseen saatiin kartoitettua. Kannattavuudet määritettiin kaikkiaan neljällä vaihtoehtoisella kantohintakombinaatiolla, jotka olivat:

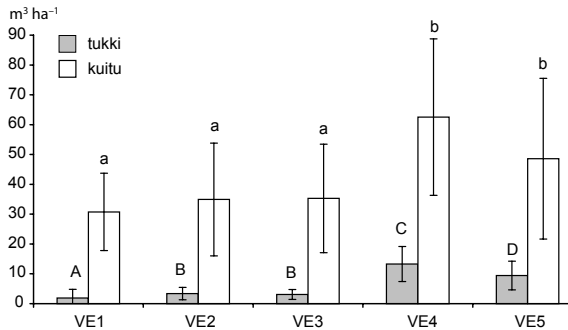
KH1) Vuoden 2003 koko maan keskiarvohinnat (peruslaskelma)

KH2) Vuosien 1995–2003 reaalisista kantohinnoista poimittu tukkipuun maksimihinta ja kuitupuun minimihinta puutavaralajeittain

KH3) Vuosien 1995–2003 reaalisista kantohinnoista poimittu tukkipuun minimihinta ja kuitupuun maksimihinta puutavaralajeittain

KH4) Vuosien 1995–2003 reaalisten kantohintojen keskiarvot puutavaralajeittain

KH2 kuvastaa epäedullisinta yksikköhintavaihtoehtoa kuitupuun yksikköhinnan kannalta, koska tällöin kuitupuun hinta on suhteellisesti alhaisimmillaan tukkipuun yksikköhintaan verrattuna, eli ao. puutavaralajien hintaero on suurimmillaan. Vastaavasti KH3 esittää kuitupuun kannalta paras vaihtoehto, koska tällöin kuitupuun yksikköhinta on lähimpänä tukkipuun yksikköhintaa, eli ao. puutavaralajien hintaero on pienimmillään. Tämä puolestaan vaikuttaa etenkin ensiharvennuksen kannattavuuteen suhteessa muiden harvennusten kannattavuuksiin. KH1 kuvaa uusinta koko maan tilastoitua vuotuislukuarvoa, kun taas KH4 on yleistävä, viimeisen 9 vuoden mukainen hintataso. Eri hintakombinaatioiden (KH1–KH4) yksikköhinnat on esitetty taulukossa 3.



Kuva 5. Tukki- ja kuitupuun ensiharvennuskertymä eri ensiharvennusvaihtoehdoilla (VE1...VE5). Janat kuvaavat metsiköiden välistä keskihajontaa. Samalla kirjaimella merkityt käsittelyvaihtoehdot eivät poikkea toisistaan merkittävästi (Mann-Whitney U, 5% tai pienempi riskitaso). Tukki- ja kuitupuukertymän tilastolliset testit on tehty erikseen.

2.5 Tilastolliset testit

Ensiharvennusvaihtoehtojen (VE1, VE2, VE3, VE4 ja VE5) mukaiset kasvu- ja tuotostulokset sekä kannattavuudet testattiin yhtenäisellä testausmenettelyllä. Ensin testattiin ei-parametrisella Kruskal-Wallis -testillä, onko ensiharvennusvaihtoehtojen välillä tilastollisesti merkitseviä eroja testattavan muuttujan suhteen. Kruskal-Wallis -testi tehtiin jokaiselle muuttujalle erikseen sekä koko aineistossa ($n = 27$) että osa-alueittain: Keski-Suomi ($n = 12$), Pohjois-Pohjanmaa ($n = 8$) ja Lappi ($n = 7$). Kun Kruskal-Wallis -testillä oli saatu selvitettyä, onko ensiharvennusvaihtoehtojen välillä ylipäänsä tilastollisesti merkitseviä eroja, jatkettiin tilastollista testausta vertaamalla pareittain ensiharvennusvaihtoehtoja ei-parametrisella Mann-Whitney U-testillä. Kaikkiaan pareittaisia Mann-Whitney U-testejä tehtiin 10 kappaletta (viisi ensiharvennusvaihtoehtoa, jokainen jokaista vastaan) kutakin muuttujaa (esim. kuitupuukertymä, tukkipuukertymä, kantorahatulosten nykyarvo) kohti kullakin alueella (koko aineisto, 3 osa-aluetta). Kaikissa tilastollisissa testeissä tulokset esitettiin ainoastaan merkitsevän (riskitaso 5%) tai tätä pienemmän riskitason osalta, ja käsittelyiden välistä eroa kutsuttiin tällöin merkitseväksi. Tilastolliset testit laskettiin SPSS-ohjelmistolla (SPSS 11.0 Syntax Reference Guide, 2001).

3 Tulokset

3.1 Ensiharvennuskertymät

Ensiharvennuskertymä ja erityisesti kertymän tukkipuun osuus lisääntyi, kun harvennuksen ajankohtaa viivästettiin (kuva 5). Toteutunut ensiharvennus oli usein suosituksia voimakkaampi ja tehty suosituksia aikaisemmin. Se poikkesi tilastollisesti merkittävästi viivästetystä ensiharvennuksesta tukki- ja kuitupuukertymän suhteen ja tukkipuukertymän suhteen myös suositusajankohtana tehdystä ensiharvennuksesta (kuva 5). Se, tehtiinkö ensiharvennus PPA- vai RL-kriteerin (VE2 ja VE3) mukaan suositusajankohtana, ei vaikuttanut merkittävästi tukki- ja kuitupuukertymään. Sen sijaan viivästetyssä ensiharvennuksessa tukkipuukertymä erosi merkittävästi kriteerien (VE4–VE5) välillä. Hukkapuun suhteellinen osuus kertymästä pieni huomattavasti, kun ensiharvennusta viivästettiin (taulukko 4). Ajoissa tehdyissä toteutuneissa ensiharvennuksissa hukkapuun suhteellinen osuus oli 10% kokonaiskertymästä, suositusten mukaan tehdyissä 9% ja viivästetyssä 5%. Toisaalta luonnonpoistuman määrä jäi hyvin pieneksi, vaikka ensiharvennusta viivästettiin (taulukko 4).

Valtapiutus ennen ensiharvennusta oli toteutuneissa ja suositusten mukaisissa harvennuksissa 12–14 m välillä (VE1, VE2, VE3). Kun ensiharvennusta viivästettiin (VE4, VE5) valtapiutus oli keskimäärin 16–17 m. Keskiläpimitta oli viivästetyssä ensiharvennuksissa Etelä-Suomessa $n. 2$ cm ja Pohjois-Suomessa $n. 1,5$ cm suurempi kuin suositusajankohtana. Pohjapinta-ala ennen ensiharvennusta oli suositusajankohtana $17\text{--}23\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$ ja viivästetyssä ensiharvennuksessa $20\text{--}30\text{ m}^2\text{ ha}^{-1}$.

Osa-alueiden tulokset olivat pääosin samansuuntaisia kertymän suhteen kuin keskimäärin, mutta joitain poikkeuksiakin oli. Pohjois-Pohjanmaalla ainoastaan vaihtoehto VE1 erosi merkittävästi kuitupuukertymänsä vaihtoehtoista VE2 ja VE4 (taulukko 4). Lapissa ainoastaan vaihtoehto VE4 erosi merkittävästi tukkipuukertymänsä muista ensiharvennusvaihtoehtoista ja kuitupuukertymän suhteen vain vaihtoehdot VE3 ja VE4 erosivat toisistaan.

Kasvatettavan puuston osalta tukki- ja kuitupuumäärä toteutuneissa (VE1) ensiharvennuksissa erosi merkittävästi viivästetyistä ensiharvennuksista

Taulukko 4. Alueittaiset ja koko aineiston keskiarvot eri harvennusvaihtoehdoilla ennustetusta ensiharvennuskertymästä ja kasvatettavan puuston määrästä sekä luonnonpoistumasta ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$). Numeron jälkeen yläindeksissä oleva kirjain ilmaisee tilastollisen merkitsevyyden Mann-Whitney U-testillä. Samalla kirjaimella merkityt käsittelyvaihtoehdot eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi (merkitsevyytasona 5%). Tilastolliset testit on tehty käsittelyjen pareittain vertailuna alueittain ja puutavaralajeittain erikseen harvennuspoistumalle ja kasvatettavalle puustolle.

Sijainti (Metsiköitä) Harvennusvaihtoehto	Luonnon- poistuma	Harvennuspoistuma			Kasvatettava puusto		
		Tukki	Kuitu	Hukka	Tukki	Kuitu	Hukka
Keski-Suomi (n = 12)							
VE1	0,0 ^a	1,2 ^a	37,3 ^a	4,1 ^a	7,7 ^a	79,1 ^a	7,5 ^c
VE2	0,2 ^a	2,5 ^b	35,6 ^a	4,1 ^a	10,2 ^a	92,3 ^b	6,9 ^c
VE3	0,2 ^a	3,1 ^b	45,3 ^a	5,2 ^a	9,5 ^a	82,7 ^a	5,8 ^b
VE4	1,3 ^b	12,4 ^c	73,8 ^b	4,5 ^a	29,0 ^b	106,9 ^c	4,8 ^a
VE5	1,3 ^b	11,0 ^c	66,6 ^b	4,1 ^a	30,5 ^b	114,1 ^c	5,2 ^{ab}
Pohjois-Pohjanmaa (n = 8)							
VE1	0,0 ^a	0,8 ^a	26,9 ^a	2,7 ^a	4,5 ^a	57,3 ^a	5,2 ^c
VE2	0,2 ^b	4,5 ^b	47,4 ^b	3,5 ^{ab}	10,4 ^b	67,2 ^b	3,4 ^b
VE3	0,2 ^b	3,4 ^b	37,4 ^{ab}	2,8 ^{ab}	11,4 ^b	77,2 ^c	4,1 ^b
VE4	0,6 ^c	17,5 ^c	72,0 ^b	3,9 ^b	26,8 ^c	68,8 ^b	2,6 ^a
VE5	0,6 ^c	11,2 ^c	47,2 ^{ab}	2,6 ^{ab}	33,1 ^c	93,6 ^d	3,9 ^b
Lappi (n = 7)							
VE1	0,0 ^a	4,3 ^a	24,0 ^{ab}	3,4 ^a	12,7 ^a	42,5 ^a	4,0 ^{ab}
VE2	0,1 ^b	3,8 ^a	19,4 ^{ab}	2,4 ^a	19,1 ^{ab}	57,1 ^b	4,4 ^{ab}
VE3	0,1 ^b	2,8 ^a	15,7 ^a	2,2 ^a	20,0 ^b	60,8 ^{bc}	4,6 ^b
VE4	0,4 ^c	10,0 ^b	32,5 ^b	3,0 ^a	30,2 ^c	57,7 ^b	3,3 ^a
VE5	0,4 ^c	4,8 ^a	19,2 ^{ab}	1,9 ^a	35,4 ^c	70,7 ^c	4,3 ^b
Keskimäärin (n = 27)							
VE1	0,0 ^a	1,9 ^a	30,8 ^a	3,5 ^{ab}	8,1 ^a	63,2 ^a	5,9 ^b
VE2	0,2 ^b	3,4 ^b	34,9 ^a	3,5 ^{ab}	12,5 ^b	75,7 ^b	5,2 ^{bc}
VE3	0,2 ^b	3,1 ^b	35,3 ^a	3,7 ^{ab}	12,8 ^b	75,4 ^b	5,0 ^{bc}
VE4	0,9 ^c	13,3 ^d	62,6 ^b	4,0 ^b	28,7 ^c	82,8 ^b	3,7 ^a
VE5	0,9 ^c	9,8 ^c	50,4 ^b	3,2 ^a	32,5 ^c	96,8 ^c	4,6 ^c

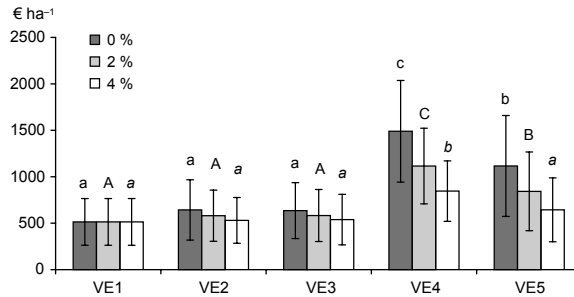
(VE4, VE5) (taulukko 4). Tukkipuumäärältä myös suositusajankohtana tehdyt (VE2, VE3) ensiharvennukset erosivat merkitsevästi vaihtoehdoista VE4 ja VE5 (taulukko 4). Alueittaiset tulokset erosivat joissain määrin myös kasvatettavan puuston osalta koko aineiston tuloksista. Esim. Keski-Suomessa vaihtoehto VE1 ei eronnut merkitsevästi vaihtoehdoista VE2 ja VE3 tukkipuumäärän suhteen, mutta VE2 erosi kasvatettavalta kuitupuumäärältä muista vaihtoehdoista (taulukko 4).

3.2 Ensiharvennuksen kannattavuus

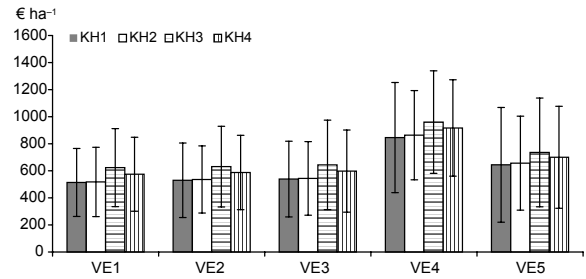
Kantorahatulojen nykyarvot koko aineistossa on esitetty kuvassa 6 kolmella laskentakorkokannalla, 0%, 2% ja 4%. Selvästi korkeimmat ensiharvennuksen kantorahatulojen nykyarvot saavutettiin, kun

suositusten mukaista ensiharvennuksen ajankohtaa viivästettiin 10 vuodella ja harvennuksessa sovellettiin pohjapinta-alasuositusta (VE4), riippumatta laskentakorkokannasta (Kuva 6). Tämä vaihtoehto erosi merkitsevästi kaikista muista vaihtoehdoista, VE1, VE2, VE3 ja VE5 kaikilla laskentakorkokannoilla, 0%, 2% ja 4% (kuva 6). Lisäksi vaihtoehdot VE2 ja VE5, VE5 ja VE3 sekä VE5 ja VE1 erosivat merkitsevästi toisistaan, kun ensiharvennuksen kantorahatulojen nykyarvot laskettiin 0% tai 2% mukaan (kuva 6).

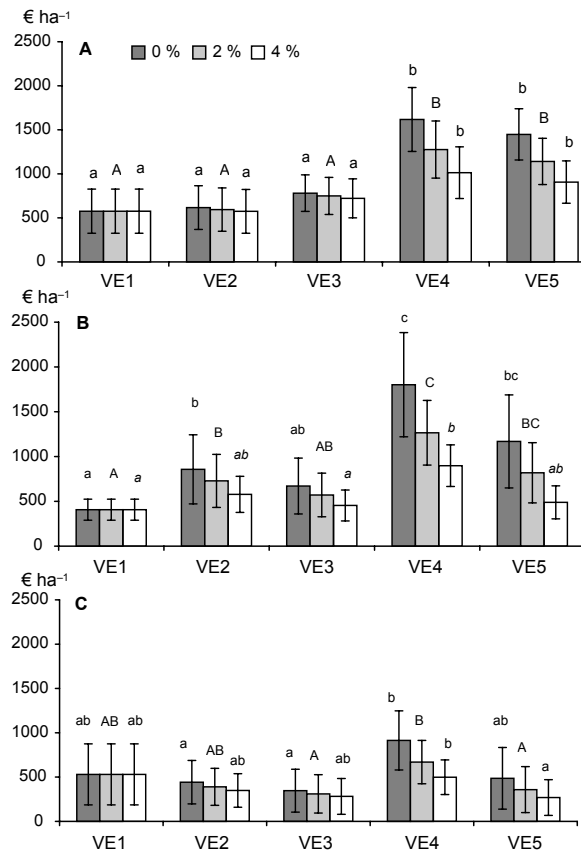
Vaihtoehtojen mukaiset ensiharvennuksen kantorahatulojen nykyarvot määritettiin myös Keski-Suomen, Pohjois-Pohjanmaan ja Lapin osa-alueille. Osa-alueiden tulokset (kuva 7A, B ja C) olivat pääosin samansuuntaisia kuin koko aineiston tulokset – vaihtoehto VE4 oli osa-alueillakin kannattavin ensiharvennustapa. Toisaalta myös poikkeuksia koko



Kuva 6. Vaihtoehtojen (VE1... VE5) mukaiset ensiharvennuksen kantorahatulot 0%, 2% ja 4%:n laskentakorkokannoilla. Janat kuvaavat keskihajontaa. Valitulla laskentakorkokannalla (0%, 2% tai 4%) samalla kirjaimella merkityt käsittelyvaihtoehdot eivät poikkea toisistaan merkitsevästi.



Kuva 8. Kantohintayhdistelmien (KH1... KH4) vaikutus ensiharvennuksen kantorahatuloihin koko aineistossa 4% korkokannalla eri ensiharvennuksenvaihtoehdoilla (VE1... VE5). Janat kuvaavat keskihajontaa. Käsittelyvaihtoehdot eivät poikkea toisistaan merkitsevästi eri kantohintayhdistelmillä.



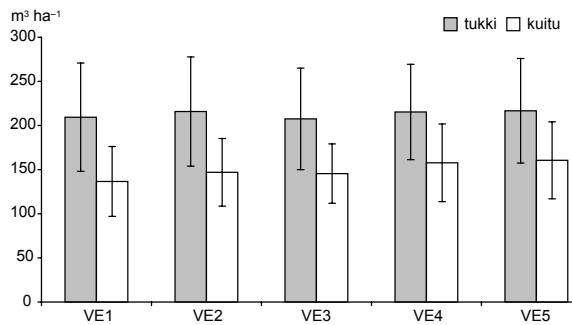
Kuva 7. Ensiharvennuksen kantorahatulot ensiharvennuksenvaihtoehtojen (VE1... VE5) mukaisesti eri osa-alueilla (A: Keski-Suomi, B: Pohjois-Pohjanmaa, C: Lappi). Valitulla laskentakorkokannalla (0%, 2% tai 4%) samalla kirjaimella merkityt käsittelyvaihtoehdot eivät poikkea toisistaan merkitsevästi.

aineiston tuloksiin verrattuna löytyi. Esimerkiksi Lapin osa-alueella merkitseviä eroja ensiharvennuksen kantorahatulojen nykyarvoissa muodostui ainoastaan vaihtoehtojen VE4 ja VE2, VE4 ja VE5 sekä VE4 ja VE3 välillä, eikä näissäkään kaikilla laskentakorkokannoilla (kuva 7C).

Ensiharvennuksen kantorahatulojen nykyarvojen herkkyyttä mahdollisiin yksikköhintamuutoksiin (suhdannesyklit) testattiin vaihtoehtoisilla tukki- ja kuitupuun hintayhdistelmillä. Koko aineistossa vaihtoehtoisten kantohintayhdistelmien (KH2–KH4) mukaan lasketut ensiharvennuksen kantorahatulojen nykyarvot eivät poikenneet merkitsevästi alkupe- räisen hintayhdistelmän (KH1) mukaan lasketuista kantorahatulojen nykyarvoista, laskentakorkokannan ollessa 4% (kuva 8). Osa-alueittaiset testit noudatti- vat koko aineiston testituloksia – myöskään osa- alu- eilla mahdolliset suhdannesyklit eivät vaikuttaneet merkitsevästi ensiharvennustapojen (VE1–VE5) väliseen paremmuusjärjestykseen.

3.3 Kiertoajan tuotos eri vaihtoehdoissa

Metsiköiden kehitys ensiharvennuksen jälkeen en- nustettiin kiertoajan loppuun käyttämällä pohjapinta- alaan perustuvia harvennussalleja. Koko aineistossa (VE1... VE5) 13%:lla ei tehty kuin ensiharvennus ja päätehakkuu. Nämä tapaukset keskittyivät Lap- piin, missä metsiköiden eri käsittelyvaihtoehdoista 29%:lla tehtiin vain ensiharvennus ja päätehakkuu.

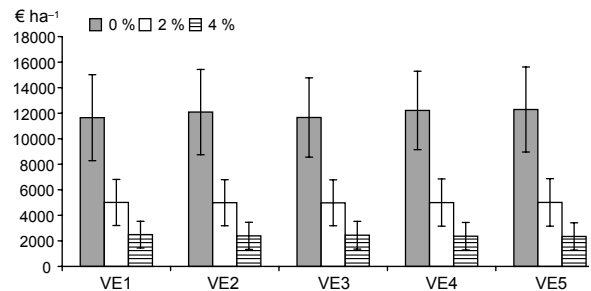


Kuva 9. Tukki- ja kuitupuukertymä ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) kiertoajan kuluessa eri ensiharvennusvaihtoehdoilla (VE1...VE5). Janat kuvaavat keskihajontaa. Eri käsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja.

Eri käsittelyvaihtoehdoista selkeästi yleisintä yhden harvennuksen tarve oli vaihtoehdolla VE4 (41 %), mutta myös 19 %:lla metsiköistä vaihtoehdolla VE1 tarvittiin lisäksi enää päätehakkuu. Kiertoaika vaihteli alueittain Keski-Suomen 86 vuodesta Lapin 131 vuoteen (taulukko 5). Myös eri käsittelyvaihtoehtojen välillä kiertoaika vaihteli. Yleensä VE1 johti lyhimpään kiertoaikaan kun taas vaihtoehdoilla VE4 ja VE5 kiertoaika oli pidempi. Keski-Suomessa käsittelyjen välinen ero oli suurimmillaan 3 vuotta, Pohjois-Pohjanmaalla 6 vuotta ja Lapissa 8 vuotta (taulukko 5).

Koko kiertoajan tukkipuun tuotos ei juurikaan vaihdellut, vaikka ensiharvennusta viivästettiin 10 vuotta (kuva 9). Käytännössä toteutunut ensiharvennus antoi lievästi huonoimman ainespuutuotoksen (kuva 9). Eri ensiharvennusvaihtoehdot eivät eronneet tukki- ja kuitupuutuotoksen suhteen merkitsevästi toisistaan.

Sen sijaan eri alueet erosivat selvästi sekä kokonaistuotoksen että vuotuisen keskituotoksen suhteen (taulukko 5). Alueittain tarkasteltuna Pohjois-Pohjanmaalla 10 vuotta viivästetty ensiharvennus johti suurimpaan kokonaistuotokseen, muuten kokonaistuotoksen ja vuotuisen keskituotoksen erot eri käsittelyjen välillä olivat hyvin pieniä (taulukko 5). Alueittain eri käsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja.



Kuva 10. Eri ensiharvennusvaihtoehtojen (VE1...VE5) mukaiset koko kiertoajan kantorahatulojen nykyarvot 0 %, 2 % ja 4 %:n laskentakorkokannoilla. Janat kuvaavat keskihajontaa. Eri käsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja.

3.4 Koko kiertoajan kannattavuus

Tulosten mukaan eri ensiharvennusvaihtoehtojen mukaiset, koko kiertoajalle lasketut kantorahatulojen nykyarvot (mittaushetkeen t_0 diskontattuina) eivät eronneet merkitsevästi toisistaan sovelletusta laskentakorkokannasta riippumatta (kuva 10).

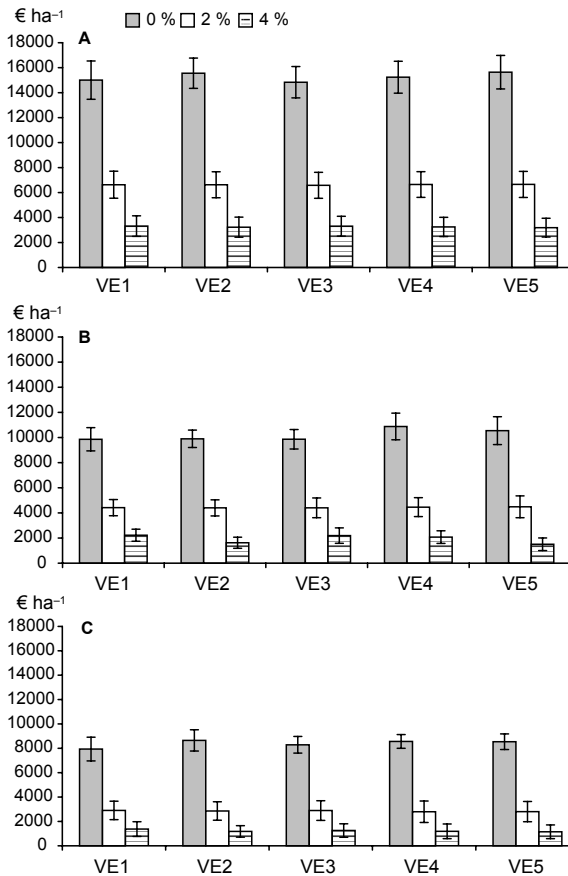
Myöskään vuotuinen tasatuotto (ks. kaava (2) ei koko aineistossa poikennut merkitsevästi eri ensiharvennusvaihtoehtojen välillä. Eri ensiharvennusvaihtoehtojen mukainen vuotuinen tasatuotto vaihteli $108\text{--}117 \text{ € ha}^{-1}$ ja $155\text{--}162 \text{ € ha}^{-1}$ välillä, kun laskentakorkokantana käytettiin joko 4 % (edelliset lukuarvot) tai 2 % (jälkimmäiset lukuarvot). Tämä vahvistaa jo aiemmin saatua tulosta siitä, että ensiharvennusvaihtoehdoilla ei ollut merkitseviä eroja kiertoajan kantorahatulojen nykyarvoihin.

Myöskään osa-alueittaisissa tarkasteluissa (Keski-Suomi, Pohjois-Pohjanmaa, Lappi) ei löydetty merkitseviä eroja vaihtoehtoisten ensiharvennustapojen mukaan lasketuille loppukiertoajan kantorahatulojen nykyarvoille (kuva 11). Osa-alueittainen tarkastelu osoitti, että vuotuisissa tasatuotoissa ei ollut merkitseviä eroja vaihtoehtojen (VE1, VE2, VE3, VE4 ja VE 5) välillä.

Hintaherkkyysanalyysissä tarkasteltiin kantorahatulojen herkkyyttä mahdollisiin yksikköhintamuutoksiin (suhdannesykli) vaihtoehtoisilla tukki- ja kuitupuun hintayhdistelmillä. Vaihtoehtoisten kantohintayhdistelmien (KH2–KH4) mukaan lasketut koko kiertoajan kantorahatulojen nykyarvot (4 %

Taulukko 5. Tuotos hakkuuerroittain ja luonnonpoistuma ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$), vuotuinen keskituotos ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{a}^{-1}$) sekä kiertoaika ja ennustejaksos pituus eri ensiharvennusvaihtoehdoilla (VE1...VE5).

Sijainti Käsittely	Ensiharvennus		Muu harvennus		Päätähakkuu		Luonnon- poistuma	Kokonais- tuotos	Tuotos/ vuosi	Kierto- aika	Ennuste- jakso		
	Tukki	Kuitu	Tukki	Kuitu	Tukki	Hukka						Hukka	
Keski-Suomi (n = 12)													
VE1	1,2	37,3	4,1	38,2	49,3	2,0	232,1	83,4	2,7	452,0	5,4	84,6	49,5
VE2	2,5	35,6	4,1	43,4	61,2	2,4	234,8	82,4	2,6	470,6	5,5	87,4	52,3
VE3	3,1	45,3	5,2	41,2	48,4	1,7	223,0	78,2	2,5	449,8	5,4	84,9	49,8
VE4	12,4	73,8	4,5	48,4	45,7	1,6	208,5	74,2	2,3	473,7	5,5	86,9	51,8
VE5	11,0	66,6	4,1	42,2	49,2	1,8	224,2	79,9	2,5	483,8	5,5	88,3	53,2
ka.	6,0	51,7	4,4	41,3	49,1	1,9	224,5	79,6	2,5	466,0	5,5	86,4	51,3
Pohjois-Pohjanmaa (n = 8)													
VE1	0,8	26,9	2,7	29,0	45,0	1,9	149,0	56,2	1,9	304,4	3,6	87,1	48,4
VE2	4,5	47,4	3,5	41,7	38,5	1,3	137,9	54,5	1,7	311,1	3,6	88,3	49,5
VE3	3,4	37,4	2,8	32,1	44,3	1,6	137,2	54,2	1,7	315,2	3,6	88,8	50,0
VE4	17,5	72,0	3,9	52,7	30,1	1,1	167,6	65,1	2,1	339,4	3,8	92,5	53,8
VE5	11,2	47,2	2,6	33,9	43,9	1,7	140,2	54,5	1,7	337,7	3,8	92,0	53,3
ka.	7,5	46,2	3,1	34,5	42,7	1,6	146,4	56,9	1,8	321,6	3,7	89,7	51,0
Lappi (n = 7)													
VE1	4,3	24,0	3,4	35,0	38,9	1,8	122,6	54,9	1,8	243,9	2,0	125,6	61,6
VE2	3,8	19,4	2,4	30,9	41,8	1,8	127,0	60,8	1,9	269,1	2,1	132,4	68,4
VE3	2,8	15,7	2,2	32,5	40,8	1,8	109,5	54,8	1,6	262,3	2,1	130,6	66,6
VE4	10,0	32,5	3,0	35,6	40,7	1,5	124,3	65,3	1,9	271,1	2,1	134,0	70,0
VE5	5,6	22,4	2,3	30,6	39,1	1,7	113,0	59,4	1,7	272,5	2,1	134,1	70,1
ka.	5,3	22,8	2,7	32,3	40,3	1,7	119,3	59,0	1,8	263,8	2,1	131,3	67,3
Kaikki ka.	6,3	42,7	3,6	37,6	45,6	1,8	174,1	67,5	2,1	370,8	4,1	99,0	55,4

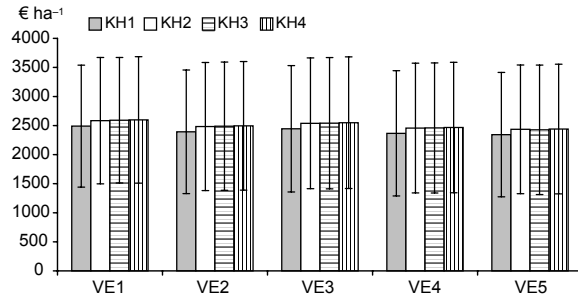


Kuva 11. Eri ensiharvennusvaihtoehtojen (VE1...VE5) mukaiset koko kiertoajan kantorahatulojen nykyarvot 0%, 2% ja 4%:n laskentakorkokannoilla eri osa-alueilla (A: Keski-Suomi, B: Pohjois-Pohjanmaa, C: Lappi). Janat kuvaavat keskiahjontaa. Eri käsittelyjen välillä ei ollut merkitseviä eroja.

laskentakorkokanta) eivät poikenneet merkitsevästi alkuperäisen hintayhdistelmän (KH1) mukaan lasketuista kantorahatuloista – ei koko aineistossa (kuva 12) eikä osa-alueittain.

4 Tulosten tarkastelu

Tutkimus perustuu ensiharvennusten metsänhoidollista tilaa kuvaavaan maastoaineistoon ja siitä laadittuihin kehitysennusteisiin. Tulosten luotettavuuteen vaikuttaa aineiston edustavuus ja ennus-



Kuva 12. Kantohintayhdistelmien (KH1... KH4) vaikutus koko kiertoajan kantorahatulojen nykyarvoon koko aineistossa 4 % korkokannalla eri ensiharvennusvaihtoehtoilla (VE1...VE5). Janat kuvaavat keskiahjontaa. Eri käsittelyjen välillä ei havaittu merkitseviä eroja.

teissa käytetyn menetelmän (MOTTI-ohjelmisto) luotettavuus.

Kuivahkon kankaan männiköiden ensiharvennuk-
sia tarkasteltiin maan eri osissa; Keski-Suomessa,
Pohjois-Pohjanmaalla ja Lapissa. Aineisto edustaa
hyvin näiden alueiden hoidettujen kuivahkojen kan-
kaiden männiköiden tilaa ensiharvennusvaiheessa.

Luotettavuustarkastelu tehtiin riippumattomalla ai-
neistolla. Sen perusteella voidaan todeta, että MOT-
TI-ohjelmiston antamat pohjapinta-alan ennusteet
ovat luotettavia, mutta keskiläpimitan ja erityisesti
valtapituuden ja tilavuuden kehitys on ennusteissa
aliarvio. Vaikka MOTTI-ennusteet aliarvioivat val-
tapituuden ja tilavuuden kehitystä, on harha samaa
suuruusluokkaa eri harvennusvaihtoehtoissa. Joten
harha ei vaikuta tutkimuksen päätarkoitukseen, eli
eri käsittelyvaihtoehtojen vertailuun. Valtapituuden
aliarvio vaikuttaa kuitenkin ensiharvennuksen ajoit-
ukseen, ja näin ollen suositusjankohtana ennustet-
tu ensiharvennus hieman viivästyy MOTTI-ohjel-
miston kasvuennusteiden aliarvioidessa todellista
valtapituutta. Eron todettiin olevan suuruudeltaan
n. 10 cm vuodessa.

Luotettavuustarkastelussa ei havaittu systemaat-
tista virhettä. Ensiharvennusvaihtoehtojen välisissä
tilastotesteissä käytettiin metsiköittäisten ennus-
teiden odotusarvoja, eikä otettu huomioon ennus-
teeseen sisältyvää satunnaisvirhettä. Tämä saattaa
johtaa siihen, että osa nyt havaituista tilastollisesti
merkitsevistä eroista ei todellisuudessa olisikaan
tilastollisesti merkitseviä.

Koko kiertoaikaa koskevissa laskelmissa metsiä käsiteltiin aina samojen sääntöjen (harvennusmalli ja päätehakkuukriteeri) mukaan ensiharvennuksen jälkeen. Tulokset eivät siten edusta optimaalista metsän käsittelyä, vaan tilannetta, jossa kasvatusohjeita noudatetaan kirjaimellisesti ensiharvennuksen jälkeen. Kiertoaika vaihteli eri käsittelyjen välillä, mutta kiertoaikaerot olivat suhteellisen pieniä etenkin Keski-Suomessa. Koko kiertoaikaa koskevat tulokset sekä vuotuisen keskituotoksen että vuotuisen tasatuoton suhteen olivat saman suuntaiset kuin kokonaistuotos ja tuotto.

Kun tarkastellaan ensiharvennuksen voimakkuuden ja viivästämisen vaikutuksia, on erotettava kaksi seikkaa: myöhäisen ensiharvennuksen tuoma taloudellinen hyöty ja harvennuksen viivästyisestä tai voimakkuudesta aiheutuvat haitalliset tekijät, kuten tuotostappiot tai tuhoriskit. Ensiharvennuksen viivästäminen lisää hakkuutulota kun ensiharvennuskertymä ja tukkipuuosuus suurenevat. Sen sijaan ensiharvennuksen viivästämisen metsänhoidolliset vaikutukset tulevat näkyviin metsän kehityksessä pidemmän ajan kuluessa. Tämän tutkimuksen perusteella ensiharvennuksen viivästäminen 10 vuodella lisää ensiharvennuskertymää ja tukkipuosuutta, mutta ei vaikuta heikentävästi koko kiertoajan tuotokseen. Samansuuntaisiin tuloksiin ovat päätyneet Hynynen ja Arola (1999) sekä Hynynen ja Saramäki (1995). Edellytyksenä kuitenkin on, että taimikonhoito on tehty ajallaan. Taimikonhoidon tärkeyden osana nuoren metsän kehitystä on tuonut tutkimuksessa esille jo aiemmin mm. Varmola (1996).

Runkolukuun ja pohjapinta-alaan perustuvat harvennusmallit eivät poikenneet toisistaan harvennusvoimakkuuden suhteen merkittävästi. Toteutuneet ensiharvennukset olivat suosituksia voimakkaampia ja ajoittuivat suosituksia aikaisemmin. Koko kiertoajan tarkastelussa toteutuneet ensiharvennukset eivät poikenneet merkittävästi muista käsittelyvaihtoehdoista. Liian voimakkaat ensiharvennukset johtavat kuitenkin suuriin tuotostappioihin, jota puuston nopeutuva järeytyminen ei riitä korvaamaan (Vuokila 1981, Hynynen ja Niemistö 2001). Voimakkaan ensiharvennuksen on todettu aiheuttavan männikössä Suomessa n. 25 % tilavuuskasvutappion (Mäkinen ja Isomäki 2004) ja Ruotsissa vastaavasti n. 30 %–37 % tilavuuskasvutappion (Eriksson ja Karlsson 1997, Valinger ym. 2000).

Vaikka tämän ja aiempienkin nykytutkimusten (Hynynen ja Arola, 1999 ja Hynynen ja Saramäki, 1995) perusteella voidaan todeta ensiharvennuksen viivästämisen olevan kannattavaa niin tuotoksen kuin tuotonkin suhteen, liiallisella ylitiheydellä on monia haitallisia vaikutuksia puuston jatkokehitykseen. Harventamattomissa, tiheissä metsiköissä latvussuhde pienenee metsikön ikääntyessä (Heikinheimo, 1953). Harvennuksen ehkäisevää vaikutusta elävän latvuksen osuuden pienenemiseen ovat tutkimuksissaan todenneet mm. männiköissä Varmola (1982), Salminen ja Varmola (1990), Hynynen ja Saramäki (1995) ja rauduskoivikoissa Niemistö (1997). Tämän tutkimuksen perusteella luonnonpoistuman osuus ei vielä kasvanut suureksi, vaikka ensiharvennusta viivästettiin 10 vuotta. Luonnonpoistuman osuus oli pieni siitäkin syystä, että tutkimusmetsiköt olivat hoidettuja ja Lapissa jopa suhteellisen harvoja mittaushetkellä.

Tehdyissä metsikön kehityssennusteissa ei ole otettu huomioon mahdollisia tuhoriskejä. Aikaisempien kotimaisten tutkimustulosten perusteella männikön myöhäinen ensiharvennus 16 m valtapituudella ei altistanut kasvatettavia puita lumi- tai tuulituhoille sen enempää kuin suositusajankohtana tehdyt harvennukset (Hynynen ja Arola, 1999). Sen sijaan Persson (1975) ja Valinger ym. (1994) ovat todenneet tuuli- ja lumituhoriskin kasvavan tiheissä hoitamattomissa metsiköissä. Toisaalta voimakkaiden harvennusten on puolestaan todettu lisäävän tuulituhojen määrää (Persson 1975, Laiho 1987). Tässä tutkimuksessa vaihtoehtoiset kehityssennusteet noudattivat kuitenkin varsin maltillisia metsänkäsittelyitä ensiharvennuksesta lähtien, joten myös tuhoriskien voitiin olettaa kohdentuvan samanlaisina eri käsittelyvaihtoehdoissa.

Taloudelliset tarkastelut osoittivat varsin selvästi, että ensiharvennuksen viivästäminen on taloudellisesti perusteltua kuivahkon kankaan männiköissä, joissa taimikonhoito on tehty ajallaan. Viivästämisellä ensiharvennusta esimerkiksi 10 vuodella ja tekemällä pohjapinta-alaperusteinen ensiharvennus voidaan ensiharvennus saada metsänomistajalle kannattavaksi. Ensiharvennuksen viivästämisellä ei kuitenkaan ollut merkittävää vaikutusta koko kiertoajan tuotokseen, vuotuisen keskituotokseen eikä myöskään kantorahatulosten nykyarvoon, kun laskennassa käytettiin 0 %, 2 % tai 4 %:ia. Tämä koros-

taa päätuloksen merkitystä: Ensiharvennusten järjestelmällinen viivästäminen hoidetuissa metsiköissä (taimikonhoito tehty) parantaa ensiharvennuksen kannattavuutta. Ratkaisu ei kuitenkaan vaikuta negatiivisesti puuston myöhempään kehitykseen eikä koko kiertoaikana saataviin kantorahatuloihin. Herkkyysanalyysit osoittivat lisäksi, että kuitu- ja tukkipuun hintasuhteissa tapahtuvat muutoksetkaan eivät vaikuttaneet ensiharvennustapojen kannattavuusjärjestykseen. Parhaimmat ensiharvennuksen kantorahatulot saadaan edelleen silloin, kun ensiharvennusta viiväستetään 10 vuodella ja suoritetaan pohjapinta-alaperusteinen harvennus. Tuloksen merkitystä korostaa se, että 10 vuodella viivästetty pohjapinta-alaperusteinen ensiharvennus oli tilastollisesti merkitsevästi kannattavampi kaikilla laskentakorkokannoilla verrattuna suositusten mukaiseen harvennuksen.

Vaikka kantorahatulojen nykyarvot (€ ha⁻¹) vaihtelivat suurestikin eri osa-alueiden (Keski-Suomi, Pohjois-Pohjanmaa, Lappi) välillä, oli kaikille osaluille kuitenkin yhteistä se, että loppukiertoajan tuotos ja tuotto eivät poikenneet merkitsevästi ensiharvennusvaihtoehtojen kesken (oliko ensiharvennusta viivästetty vai ei). Näin ollen metsänomistajalla näyttäisi olevan jonkin verran liikkumavaraa ajoittaa ensiharvennus esimerkiksi yleisen kantohintatason nousun yhteyteen tai ajankohtaan, jolloin metsänomistajan muitakin leimikoita hakataan. Molemmat yllä esitetyt tapaukset lisäävät ensiharvennusleimikosta maksettavan ainespuun hintaa ja samalla parantavat ensiharvennuksen kannattavuutta.

Kiitokset

Tämä tutkimus sai alkusysäyksen Metsähallitukselle tehdystä selvityksestä. Kiitämme Metsähallituksesta erityisesti MMT Pauli Walleniusta ja MH Erkki Hallmania hyvästä yhteistyöstä, sekä kaikkia Metsähallituksen henkilöitä, jotka olivat mukana maastomittauksissa. MOTTI-ohjelmiston teknisiin kysymyksiin saimme aina nopeasti vastaukset DI Mika Lehtoselta ja tilastotieteellisissä pulmissa neuvoja saimme FM Virpi Aleniukselta, kiitokset heille asiantuntemuksesta. Suuret kiitokset rakentavista keskusteluista ja hyvistä korjausehdotuksista

käsi kirjoitukseen kuuluvat MMT Risto Ojansuulle ja prof. Jari Hynyselle. Kiitokset kahdelle tarkastajalle ja aputoimittajalle erittäin hyvistä ja varteenotettavista korjausehdotuksista. Kiitos käsi kirjoituksen kieliasun tarkistamisesta Fyo Sanna Huuskoselle. Lisäksi haluamme kiittää kaikkia tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneita henkilöitä. Tutkimusraportin kirjoittamisen mahdollisti Suomen Luonnonvarain Tutkimussäätiön juhla-apuraha PURO-konsortiolle.

Kirjallisuus

- Eriksson, H. & Karlsson, K. 1997. Olika gallrings- och gödslingsrerimes effekter på beståndsutvecklingen baserat på långliggande experiment i tall- och granbestånd i Sverige. SLU, Institutionen för skogsproduktion. Report 42. 135 s.
- Heikinheimo, O. 1953. Puun rungon luontaisesta karsiutumisesta. *Communicationes Insituti Forestalis Fenniae* 41(5). 39 s.
- Hokajärvi, T. (toim.) 1997. Metsänhoito-ohjeet. Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja 10. 58 s.
- Hynynen, J. & Saramäki, J. 1995. Ensiharvennuksen viivästymisen ja harvennusvoimakkuuden vaikutus nuoren männikön kehitykseen. *Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja* 1995(2): 99–113.
- & Arola, M. 1999. Ensiharvennusajankohdan vaikutus hoidetun männikön kehitykseen ja harvennuksen kannattavuuteen. *Metsätieteen aikakauskirja* 1/1999: 5–23.
- & Niemistö, P. 2001. Kannattava puuntuotanto – tavoitteellista metsänhoitoa vai taloudellista optimointia. *Metsätieteen aikakauskirja* 2001(1): 45–49.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. *Communicationes Insituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- Laiho, O. 1987. Metsiköiden alttius tuulituhoille Etelä-Suomessa. *Folia Forestalia* 706. 24 s.
- Lappalainen, M. 2003. Ensiharvennusten metsänhoidollinen tila ja siihen vaikuttavat tekijät Pohjois-Savon metsäkeskuksen alueella. *Metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto. 56 s. + 2 liitettä.

- Matala, J., Hynynen, J., Miina, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., Väisänen, H. & Kellomäki, S. 2003. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. *Ecological Modelling* 161: 95–116.
- Mattila, S. 2001. Koneellisten ensiharvennusten metsänhoidollinen tila, siihen vaikuttavat metsikkötekijät ja niiden arviointimenetelmät Metsähallituksen mailla. *Metsänhoitotieteen pro gradu -tutkielma*. Helsingin yliopisto. 81 s. + 11 liitettä.
- , Hallman, E., Hokajärvi, T., Leinonen, K. & Puttonen, P. 2002. Koneellisten ensiharvennusten metsänhoidollinen tila – kesän 2000 maastoinventoinnin tulokset. *Metsähallituksen metsätalouden julkaisuja* 45. 58 s.
- Metsikkökokeiden maastotyöohjeet. 1987. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 257. 237 s.
- Metsäsektorin suhdannekatsaus. 2003–2004. *Metsäntutkimuslaitos*.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2003. *Metsäntutkimuslaitos*. 385 s.
- Männiköitä harvennetaan usein liian kovalla kädellä. 28.4.2003. [www-dokumentti]. <http://www.metsavastaa.net/index.cfm?docID=7473>. [Viitattu 12.5.2003].
- Mäkinen, H. & Isomäki, A. 2004. Thinning intensity and growth of Scots pine stands in Finland. *Forest Ecology and Management* 201: 311–325.
- Niemistö, P. 1997. Ensiharvennuksen ajankohdan ja voimakkuuden vaikutus istutetun rauduskoivikon kasvuun ja tuotokseen. *Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia* 4/1997: 439–454.
- Näslund, M. 1936. Skogsförsöksanstaltens gallringsförsök i tallskog. *Meddelanden från Statens Skogsförsöksanstalt* 29(1). 169 s.
- Persson, P. 1975. Stormskador på skog-uppkomstbetingelser och inverkan av skogliga åtgärder. *Skogshögskolan. Insitutionen för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser* 36. 294 s.
- Raunihar, R., Buongiorno, J., Prestemon, J.P. & Abt, K.L. 2000. Financial performance of mixed-age naturally regenerated loblolly-hardwood stand in the south central United States. *Forest Policy and Economics* (2000): 331–346.
- Salminen, H. & Varmola, M. 1990. Puolukkatyyppin kylvömänniköiden kehitys myöhäisestä harvennuksesta nuoren metsän ensiharvennuksen. *Folia Forestalia* 752. 29 s.
- , Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and Electronics in Agriculture*. (Painossa).
- SPSS 11.0 Syntax Reference Guide. 2001. 1474 s.
- Suomen Tilastollinen Vuosikirja 2003. *Statistical Yearbook of Finland 2003*. Tilastokeskus, Statistics Finland. Vol. 98.
- Valinger, E., Lundqvist, L. & Brandel, G. 1994. Wind and snow damage in a thinning and fertilisation experiment in *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research* 9(2): 129–134.
- , Elfving, B. & Mörling, T. 2000. Twelve-year growth response of Scots pine to thinning and nitrogen fertilization. *Forest Ecology and Management* 134: 45–53.
- Varmola, M. 1982. Taimikko- ja riukuvaiheen männikön kehitys harvennuksen jälkeen. *Folia Forestalia* 524. 31 s.
- 1996. Nuorten viljelymänniköiden tuotos ja laatu. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 585. 70 s. + 6 liitettä.
- Vuokila, Y. 1980. Metsän kasvatuksen perusteet ja menetelmät. 256 s.
- 1981. Nuoren männikön kasvureaktio ensiharvennuksen jälkeen. *Folia Forestalia* 468. 13 s.

32 viitettä