

Tuula Nuutinen, Hannu Hirvelä, Kari Härkönen ja Hannu Hökkä

Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2002–2031 Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella

Nuutinen, T., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Hökkä, H. 2004. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2002–2031 Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja* 3B/2004: 419–435.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen hakkuumahdollisuudet vuosille 2002–2031. Hakkuulaskelmat tehtiin MELA-ohjelmistolla. Laskelmissa käytettiin valtakunnan metsien 9. inventoinnin (VMI9) koela- ja puutiedoista muodostettua laskelma-aineistoa.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänkäsittelysuositusten perusteella hakkuukypsää ja hakkuukypsäksi tulevaa puuta riittäisi hakattavaksi inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella 6,0 miljoonaa kuutiometriä vuodessa eli 1,4-kertaisesti vuosina 1997–2001 keskimäärin toteutuneisiin hakkuisiin verrattuna (noin 4,1 miljoonaa kuutiometriä käyttöpuuta vuodessa). Vaikka hakkuumahto hyödynnettäisiin kokonaan, puuvaranto puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla hieman suurensi lähivuosikymmeninä ja hakkuumahto säilyisi toisella kymmenvuotiskaudella lähes 6 miljoonassa kuutiometrissä vuodessa. Suurimman jatkuvasti hakattavissa olevan vuosittaisen käyttöpuumäärän arvio laskettiin maksimoimalla nettotulojen nykyarvoa neljän prosentin korkokannalla siten, että kokonaishakkuukertymät ja nettotulot olivat aina vähintään edellisen kymmenvuotiskauden tasolla, tukkipuukertymät pysyivät koko laskelma-ajan vähintään ensimmäisen kymmenvuotiskauden tasolla ja puuston tuottoarvo neljän prosentin korkokannalla laskettuna oli laskelma-ajan lopussa vähintään laskelman alkuhetken tasolla. Arvio on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 5,2 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla suurimman kestävän hakkuumäärän arviosta on mäntyä keskimäärin 60, kuusta 21, koivua 17 ja muuta lehtipuuta 2 prosenttia. Koivun kertymästä on turvemailla keskimäärin 64 prosenttia. Metsä- ja kitumaasta on tiukasti suojeltu noin kuusi prosenttia ja rajoitetussa käytössä noin 12 prosenttia. Suojelu ja käytönrajoitukset supistavat ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuumahtoa 0,9 miljoonaa kuutiometriä ja kestäviä hakkuumahdollisuuksia 0,6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Esitetyt hakkuumahdollisuusarviot eivät ole puun tarjonnan eivätkä todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita. Käytännössä puunostajat ja metsänomistajat ratkaisevat, miten metsiä hakataan ja hoidetaan.

Asiasanat: hakkuumahdollisuusarvio, suurin kestävä hakkuumäärä, hakkuumahto, MELA-ohjelmisto, valtakunnan metsien 9. inventointi, Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus

Yhteystiedot: Metla, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu

Sähköposti tuula.nuutinen@metla.fi, hannu.hirvela@metla.fi, kari.harkonen@metla.fi, hannu.hokka@metla.fi

Hyväksytty 22.6.2004

I Johdanto

Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen puuston tilavuus on kasvanut voimakkaasti 1970-luvulta, jolloin puuston kasvu lähti jyrkkään nousuun metsäojitusten ja vajaatuottoisten metsien uudistamisen vuoksi. Alueen vahvuutena ovat runsaat metsävarat ja vahva metsäsektori. Vahvuuksien hyödyntämistä hankaloittavat nuorten suometsien suuri osuus ja hankalat puunkorjuuolosuhteet. (Pohjois-Pohjanmaan ... 2001)

Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan alueelle (taulukko 1) valtakunnan metsien 5.–7. inventoinnin yhteydessä esitetyt hakkuusuunnitteet perustuivat tavoitehakkuulaskelman (Kuusela 1959, Kuusela 1964, Kuusela ja Nyysönen 1962) soveltamiseen. VMI6:n ja VMI7:n hakkuusuunnitteen yhteydessä esitettiin lisäksi lähinnä puuntuotannon ulkopuolelle jäävään puustoon ja sen kasvuun perustuva suojeluvähennys. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin yhteydessä hakkuumahdollisuuksia havainnollistettiin MELA-ohjelmistolla (Siitonen ym. 1996) tehdyillä vaihtoehtolaskelmilla. Puuntuotantoon kuulumattomat alueet oli rajattu peruslaskelmien ulkopuolelle ja suojelun vaikutuksia hakkuumahdollisuuksiin tarkasteltiin erillisellä laskelmalla. Turvemaiden hakkuumahdollisuuksia näissä laskelmissa ei erikseen tarkasteltu.

Valtakunnan metsien 9. inventoinnin maastomittaukset tehtiin Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella vuosina 2001–2002 (Tomppo ym. 2004). Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alue ei ole sama kuin aiemmissa inventoinneissa käytetty Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan alue. Vuonna 1996 tehdyn metsäkeskusjaon yhteydessä Kuusamon kunta liitettiin Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskukseen. Lisäksi noin puolet Keski-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueesta liitettiin 1.1.1998 Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskukseen.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää MELA-ohjelmiston avulla Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen hakkuumahdollisuudet vuosille 2002–2011 sekä niitä vastaava hakkuumahdollisuuksien ja metsävarojen ehdollinen kehitys kahdelle seuraavalle kymmenvuotiskaudelle. Tutkimusta varten tarkennettiin MELA-laskelmissa käytettäviä turvemaiden metsien kehitysmalleja.

Taulukko 1. Pohjois-Pohjanmaan metsälautakunnan alueen metsävaratietoja ja hakkuumäärän arvioita eri inventoinneissa. Hakkuusuunnite (VMI5–VMI7) perustuu tavoitehakkuulaskelman soveltamiseen. Suurimman kestävän hakkuukertymän arvio (VMI8) on laskettu MELA-ohjelmistolla.

Inventointi (mittausvuodet)	VMI5 ¹⁾ (1969)	VMI6 ²⁾ (1975)	VMI7 ³⁾ (1982–83)	VMI8 ⁴⁾ (1992–93)
Metsämaa				
Pinta-ala, 1000 ha	1386	1472	1603	1575
Metsä- ja kitumaa				
Pinta-ala, 1000 ha	1729	1855	1869	1848
Tilavuus, m ³ /ha	44,2 ⁵⁾	39,8	50,8	61,9
Kasvu, m ³ /ha/v	1,6 ⁵⁾	1,6	2,2	2,5
Hakkuusuunnitteen käyttöpuosa,				
milj. m ³ /v	2,6 ⁵⁾	2,4	3,0	–
Suurimman kestävän hakkuukertymän arvio,				
milj. m ³ /v	–	–	–	3,1 ⁶⁾
Hakkuukertymää vastaava kokonais- poistuma, m³/ha/v				
	1,7 ⁵⁾	1,6	2,0	2,0 ⁶⁾

1) Kuusela ja Salovaara (1971).

2) Kuusela ja Salminen (1976).

3) Kuusela ym. (1986).

4) Metsätalastollinen vuosikirja 1993–94.

5) Tilavuuden laskentamenetelmästä johtuen kuutiomääriin on tehty 3 prosentin korotus (Kuusela 1978).

6) Jämsä ja Hirvelä (1996).

VMI9-aineistoon perustuvia ja MELA-ohjelmiston avulla tehtyjä hakkuumahdollisuusarvioita on aikaisemmin esitetty Etelä-Pohjanmaan (Hirvelä ym. 1998), Keski-Suomen ja Pohjois-Savon (Hirvelä ym. 1999), Kymen (Hirvelä 1999), Rannikon (Hirvelä 2000), Lounais-Suomen (Nuutinen ja Hirvelä 2000a), Hämeen-Uudenmaan (Nuutinen ja Hirvelä 2000b), Pirkanmaan (Nuutinen ja Hirvelä 2000c), Etelä-Savon (Nuutinen ja Hirvelä 2001a), Pohjois-Karjalan (Nuutinen ja Hirvelä 2001b) ja Kainuun (Nuutinen ja Hirvelä 2003) metsäkeskusten sekä Ahvenanmaan maakunnan (Hirvelä ja Härkönen 1999) alueelle.

Tässä tutkimuksessa hakkuumahdollisuuksia tarkasteltiin hakkuumahdon ja suurimman kestävän hakkuumäärän avulla. Tulokset esitetään puuntuotantoon käytettävissä olevalle metsä- ja kitumaalle ellei toisin mainita. Tuloksia verrattiin vuosien 1997–2001 keskimääriin toteutuneisiin hakkuuksiin ja niitä vastaavaan metsien kehitykseen. Lisäksi tarkas-

Taulukko 2. VMI9-maastoaineistosta muodostetun laskelma-aineiston mukaiset käsittelyluokkien pinta-alat ja puuston tilavuudet Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella.

Käsittelyluokka	Metsämaa	Kitumaa	Yhteensä	Osuus, %
Pinta-ala, 1000 ha				
Ensisijaisesti puuntuotanto	2272,1	– ¹⁾	2272,1	81,9
Rajoitettu puuntuotanto	20,2	305,1	325,3	11,7
Puuntuotannon ulkopuolella	118,4	57,2	175,5	6,3
Yhteensä	2410,7	362,2	2772,9	100,0
Tilavuus, milj. m ³				
Ensisijaisesti puuntuotanto	179,3	– ¹⁾	179,3	89,2
Rajoitettu puuntuotanto	2,2	5,1	7,3	3,7
Puuntuotannon ulkopuolella	13,2	1,3	14,4	7,2
Yhteensä	194,7	6,4	201,1	100,0

¹⁾ Kitumaat ovat joko rajoitetussa puuntuotannossa tai puuntuotannon ulkopuolella.

teltiin uusien turvemaiden mallien, puuntuotannon rajoitusten ja laskelmissa sovelletun korkokannan vaikutusta hakkuumahdollisuusarvioihin.

2 Aineisto

Tutkimuksessa käytettiin vuosina 2001–2002 mitattuja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen VMI9:n koeala- ja puutietoja (Valtakunnan metsien ... 2001). VMI9-koeala oli ympyrä, jonka säde määrytyi metsä- tai kitumaalta relaskoopilla (kertoimella 1,5) luetun suurimman puun läpimitan perusteella. Säde oli kuitenkin korkeintaan 12,45 m (Valtakunnan metsien ... 2001). Jos koealaympyrä ei mahtunut kokonaan samalle kuviolle, koeala jaettiin osiin. Kuviota, jolle koealan keskipiste osui, nimitettiin keskipistekuvioksi ja muita kuvioita sivukuvioiksi. Tutkimukseen valittiin metsä- ja kitumaan koealat puuttomia sivukuvioita lukuun ottamatta (yhteensä 8 632 koealakuviota).

VMI9-metsävaratulosten mukaan Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsä- ja kitumaan pinta-ala oli yhteensä 2,77 miljoonaa hehtaaria, puuston tilavuus 201,1 miljoonaa kuutiometriä (72,5 m³/ha) ja puuston kasvu inventointia edeltäneellä viiden vuoden jaksolla keskimäärin 8,8 miljoonaa kuutiometriä (3,2 m³/ha) vuodessa (Tomppo ym. 2004). Männyn ja kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvuindeksit olivat 9. inventoinnin kasvunlaskentajaksoilla lähellä vuosien 1972–2001 keskimääräistä

tasoa (Tomppo ym. 2004). Alueen metsä- ja kitumaan pinta-alasta (taulukko 2) oli laskelma-aineistossa puuntuotannon ulkopuolella (taulukko 3) 0,18 miljoonaa hehtaaria, jota vastaava puuston tilavuus oli 14,4 miljoonaa kuutiometriä.

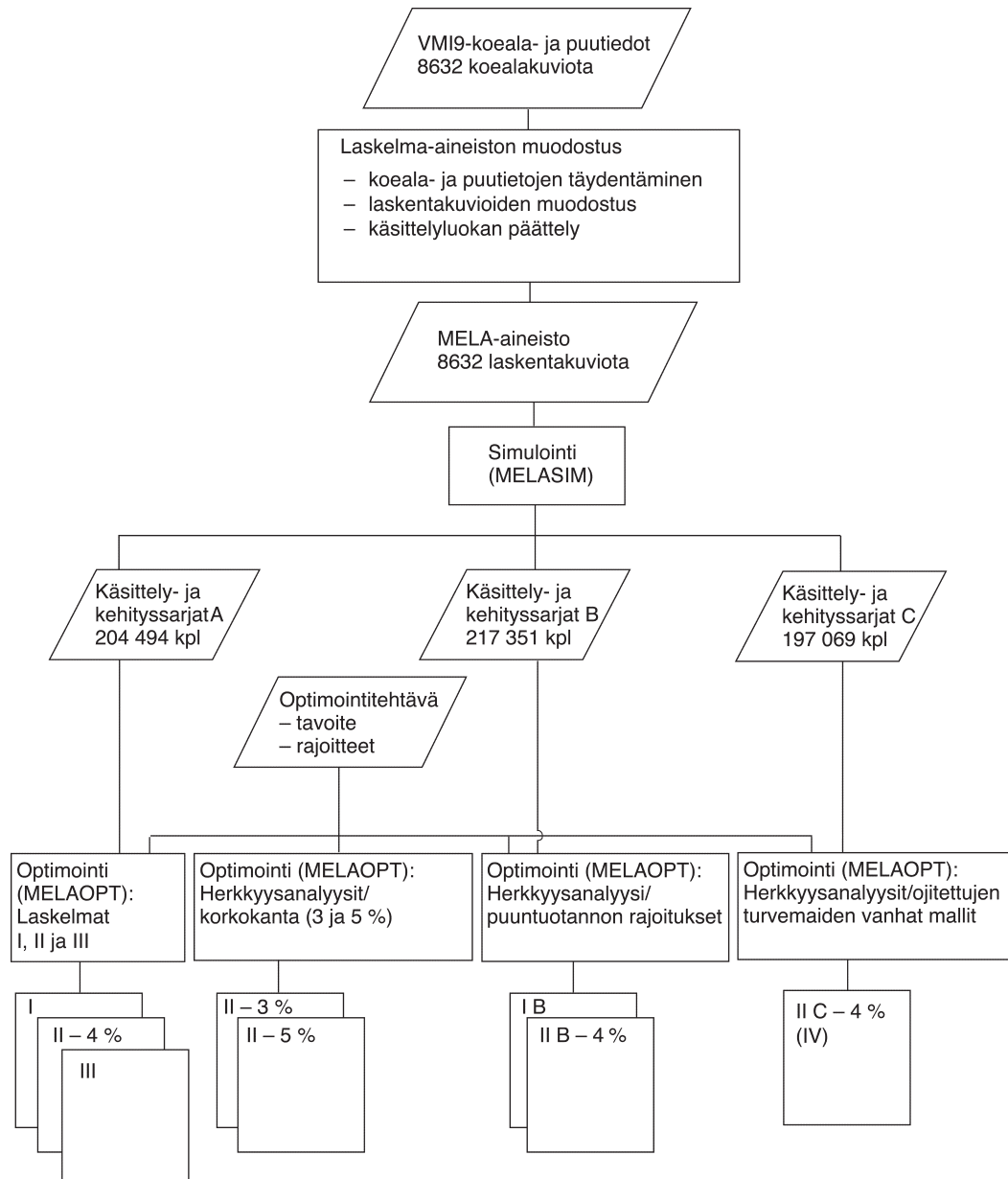
3 Menetelmät

3.1 Laskelmakehikko

Hakkuulaskelmat tehtiin MELA-ohjelmiston vuoden 2002 julkistusversiolla (Nuutinen 2002, Redsvén ym. 2002), jossa oli Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen osalta käytössä valtakunnan metsien 8. inventoinnin aineistoon perustuva tukki-vähennysmalli (Mehtälä 2002). Tätä tutkimusta varten ohjelmistossa otettiin ojitetuilla turvemaidella käyttöön uudet männyn ja koivun luonnonpoistumamallit (Jutras ym. 2003) sekä männyn kunnostus-ojituksen kasvureaktiomalli.

Laskelmissa oli neljä vaihetta (kuva 1):

- 1) laskelma-aineiston muodostus,
- 2) vaihtoehtoisten käsittely- ja kehityssarjojen simulointi laskentakuvioille,
- 3) simuloituista vaihtoehtoisista käsittely- ja kehityssarjoista aluetason tehokkaiden tuotanto-ohjelmien hakeminen lineaariseen optimointiin perustuvalla JLP-ohjelmistolla (Lappi 1992) ja
- 4) herkkyyshanalyysi.



Kuva I. Laskennan vaiheet.

Tarkastelualueen hakkuumäärät, puuston kehitys, tulot ja kustannukset määräytyivät simuloitujen käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen sekä koko alueen metsätaloudelle asetettujen laskentateknisten tavoitteiden ja rajoitteiden perusteella.

Laskelmat tehtiin 50 vuoden jaksolle, joka jaettiin viiteen kymmenvuotiskauteen. Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin pääasiassa vain ensimmäisen 30 vuoden jaksoa.

Taulukko 3. Laskenta-aineiston käsittelyluokat (1 = ensisijaisesti puuntuotannossa olevat, 2 = rajoitetussa puuntuotannossa olevat ja 3 = puuntuotannon ulkopuolella olevat).

Suojelupinta-alaluokitus ¹⁾	Laskenta-aineiston käsittelyluokka		
	1	2	3
Luonnonpuistot			x
Kansallispuistot			x
Suojeluohjelmiin kuuluvat alueet lukuunottamatta rantojen-, harjujen- ja lintuvesien suojeluohjelmia			
– suojeluohjelmiin kuuluvat valtion maat			x
– suojeluohjelmiin kuuluvat yksityismaat			x
Yksityismaiden lakisääteiset luonnonsuojelualueet, joilla hakkuut on kielletty			x
Metsähallituksen soidensuojelualueet			x
Valtiolle luonnonsuojelutarkoituksiin hankitut alueet			x
Erämaa-alueet			
– erämaa-alueiden suojellut osat			x
– erämaa-alueiden luonnonmukaisesti hoidettavat alueet			x
Metsähallituksen suojelumetsät (entiset aarnialueet)			x
Metsäntutkimuslaitoksen omilla päätöksillään perustamat suojelualueet			x
Rantojensuojeluohjelmaan kuuluvat alueet	x		
Muun omistajan kuin valtion metsätalouksikäytön ulkopuolella olevat alueet		x	
Seutukaavan suojeluun varatut alueet			
– valtion mailla		x	
Metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt		x	x
Luonnonsuojelulain perusteella suojellut luontotyytit		x	
Valtion retkeilyalueet		x	
Metsähallituksen ja kuntien virkistysmetsät		x	
Metsähallituksen			
– ojitusrauhoitusalueet		x	
– tutkimussopimusmetsät		x	
– luonnonhoitometsät		x	
– maisema-alueet		x	
– korkeat alueet		x	
Muut alueet			
– metsämaa	x		
– kitumaa			x

¹⁾ Muuttujien ja luokitusten täydelliset selitykset, ks. Metsien suojelupinta-alat (1999) ja Metsien suojelun ... (2002).

3.2 Laskelma-aineiston muodostus

Laskelma-aineiston muodostuksen vaiheet olivat:

- 1) VMI9:n koealatietojen täydentäminen MELA-koealatiedoiksi sekä luku- ja koeputietojen MELA-kuvauspuutiedoiksi (ks. Siitonen ym. 1996, s. 263),
- 2) VMI9-koealojen yhdistäminen laskentakuvioiksi ja
- 3) käsittelyluokan päättely VMI9-kuviotietojen perusteella.

Ensimmäisessä vaiheessa VMI9-lukupuille ennustettiin puuttuvat MELA-kuvauspuutiedot puukoh- taisten mallien avulla.

Toisessa vaiheessa tavoitteena oli muodostaa jokaiselle koealalle metsikkökuviota vastaava laskentakuvio, joka olisi riittävän suuri kuvaamaan metsikön sisäistä vaihtelua, ja siten parantaa metsikkökuvion puuston määrän arvioinnin ja käsittelytarpeen päättelyn luotettavuutta. Kuhunkin laskentakuvioon yhdistettiin koealan lisäksi kahdesta viiteen puusto- ja kasvupaikkatunnusiltaan vastaavaa koealaa Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueelta. Koealojen yhdistelyssä käytetyt kuviokohtaiset tunnuks- set olivat maaluokka, kasvupaikkatyyppi, puuston pohjapinta-ala, kehitysluokka, puuston keskiläpimit- ta, vallitseva puulaji, puuston biologinen ikä, kasvu- paikan päätyyppi (alaryhmä) ja vallitsevan puulajin osuus. Yhdisteltävät koealat valittiin koealatunnus- ten sijasta VMI:ssä arvioitua koko metsikkökuviota koskevien tunnusten perusteella, jotta koealat kuvai- sivat metsikkökuvion sisäistä vaihtelua.

Kolmannessa vaiheessa tavoitteena oli määrittää laskentakuvioille luonnonsuojelu- ja metsälakien se- kä metsänkäsittelysuositusten mukaiset käsittelyra- joitukset. Rajoitusten kuvaamiseksi laskentakuviot jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella oleviin. Jako perustui Suojelupinta-alaprojektin (Metsien suojelupinta-alat 1999) ja Metsien suojelun luokittelun ja tilastoinnin yhtenäistämistyöryhmän (Metsien suojelun ... 2002) laatimiin suojelupinta-alaluokituksiin ja se tehtiin VMI9-koealatietojen perusteella. Puuntuotannon ul- kopuolella olivat mm. luonnon- ja kansallispuistot sekä luonnonsuojelulain nojalla rauhoitetut alueet (taulukko 3). Luokitusta täydennettiin rajaamalla puuntuotannon ulkopuolelle ne avainbiotooppi-

kohteet, jotka VMI:n maastotöiden yhteydessä oli arvioitu täyttävän metsälain tarkoittaman monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeän elinympäristön vaatimukset ja joilla oli maastossa arvioitu kaikkien toimenpiteiden olevan kiellettyjä (ks. Valtakunnan metsien ... 2001). Avainbiotooppikohteiden alueellista yleisyyttä ei arvioitu maastossa. Jos avainbiotooppiesiintymä käsitti vain osan kuviosta, vaadittiin lisäksi, että avainbiotooppiesiintymän piti olla laajuudeltaan vähintään puolet avainbiotoopin arvioinnissa käytetyn 30 metrin säteisen ympyrän pinta-alasta. Jos laskentakuvilla ei ollut muita käsittelyrajoituksia, metsämaan laskentakuvio luokiteltiin maaluokan perusteella ensisijaisesti puuntuotantoon ja kitumaan laskentakuvio rajoitettuun puuntuotantoon.

3.3 Käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi

Laskentakuvioiden käsittely- ja kehityssarjat tuotettiin puukohtaisiin malleihin perustuvalla MELA-ohjelmiston metsikkösimulaattorilla (Hynynen ym. 2002, Nuutinen 2002, Redsvén ym. 2002).

MELA-ohjelmistossa luonnonprosessimalleina (Hynynen ym. 2002) käytettiin Ojansuun ym. (1991) metsien uudistumiseen ja puuston kehitykseen, Ojansuun (1996) kasvupaikan kuvaukseen, Hynysen (1996) puuston kasvuun ja luonnonpoistumaan sekä Hökän (1996, 1997) suometsien kasvuun liittyvien mallien uusimpia versioita (Hökkä ym. 1997, Hökkä ym. 2000, Nuutinen ym. 2000). Kunnostusojitus-tarve ennustettiin Hynysen ym. (2002) mukaisesti. Kivennäismaiden luonnonprosessimalleissa taimikoiden vastemuuttajat laskettiin erikseen taimikolle, jos uudistusalueella on taimikkoa isompi säästöpuujakso (Härkönen 2001).

Mallien ennustama kasvu oli korjattu vastamaan puuston keskimääräistä kasvuntasoa vuosien 1965–1994 välisenä aikana (Hynynen ym. 2002). Tasokorjaus oli tehty kasvuindeksien avulla.

Uudet turvemaiden puutason luonnonpoistumamallit (Jutras ym. 2003) testattiin ennen varsinaisia simulointeja. Koska männyn malli todettiin harhaiseksi järeissä metsiköissä, männylle estimoititiin samasta aineistosta uusi harhaton malli. Uudessa mallissa puun kuolemistodennäköisyyden ja läpi-

Taulukko 4. Männyn luonnonpoistumamalli (vastemuuttaja on puun kuolemistodennäköisyys tulevan 5 vuoden jaksolla).

Muuttuja	Parametri	Keskivirhe
vakio	-4,4812	0,5665
1/d13	-248,943	55,93
BAL/G	1,73	0,301
G	0,1039	0,0168
Glp	2,181	0,3766
Ln(Dw) × (1/d13) × 100	1,356	0,2427
Dw	-0,2537	0,0496
var(u _j)	1,732	0,187
var(e _{ij})	1,000	

d13 = puun läpimitta rinnankorkeudelta (cm)

BAL = kohdepuuta suurempien puiden yhteenlaskettu pohjapinta-ala (m²/ha)

G = metsikön pohjapinta-ala (m²/ha)

Glp = lehtipuun osuus pohjapinta-alasta (%)

Dw = pohjapinta-alalla painotettu metsikön keskiläpimitta (cm)

Ln = luonnollinen logaritmi

var(u_j) = satunnaisen metsikkökotekijän varianssi

var(e_{ij}) = satunnainen virhevarianssi, binäärisen vasteen tapauksessa = 1.

mitan välinen riippuvuus muuttuu metsikön keskiläpimitan kasvaessa (taulukko 4).

Kunnostusojituksen kasvureaktion kuvausta var-ten laadittiin uusi malli mäntyvaltaisille turvemaa-metsiköille (ks. Hökkä ja Kojola 2003). Aiemmin kunnostusojituksen kasvureaktio kuvattiin pohjapinta-alan kasvumalliin liittyvän valemuuttujan avulla tasokorjauksena (ks. Hynynen ym. 2002). Uusi malli on taulukkotyyppinen kerroinmalli, joka lisää metsikkötason suhteellista kasvua kunnostusojituksesta kuluneen ajan funktiona 5-vuotisjaksoissa verrattuna tilanteeseen, jossa kunnostusojitusta ei tehdä. Kasvureaktio kestää 25–30 vuotta. Ajan lisäksi kasvureaktion suuruuteen vaikuttavat kunnostushetken puuston määrä, metsikön maantieteellinen sijainti ja kasvupaikka. Uudella mallilla kasvureaktio on voimakkain karuhkoilla nevamaisilla kasvupaikoilla, pohjoisessa ja vähäpuustoisissa metsiköissä. Tämä tulos on yhdenmukainen muiden kunnostusojituksen kasvureaktiota selvittäneiden tutkimusten tulosten kanssa (esim. Lauhanen ja Ahti 2001). Koska mallin laadinta-aineistossa ojien perkausta ja täydennys- ojitusta ei oltu eroteltu, malli ennustaa samanlaisen reaktion eri kunnostusojituskäsittelyille (Hökkä ja Kojola 2003). Mallin ennustama metsikkötason lisä- kasvureaktio jaetaan puille niiden aiemman kasvun suhteessa, mikä periaate noudattaa puutason kasvu-

reaktion selvittämisessä saatua tulosta (Hökkä ja Kojola 2002).

Uuden mallin käytössä ja toteutuksessa on tehty joitain rajoituksia ja oletuksia. Koska malli laadittiin aineistosta, joka edusti mäntyvaltaisia räme-metsiköitä, sen käyttö on rajattu metsiköihin, joissa männyn osuus pohjapinta-alasta on yli 50 prosenttia. Jos sekapuuston osuus on yli 50 prosenttia, kunnostusojituksen kasvureaktio ennustetaan kuten aiemminkin puittaisten pohjapinta-alan kasvumallien valemuuttujien avulla. Uutta mallia sovelletaan vain ensikertaisen kunnostusojituksen yhteydessä. Jos metsikössä tehdään ennen päätehakkuuta kaksi kunnostusojitusta, jälkimmäisellä kerralla kasvureaktio lasketaan kuten aiemminkin kasvumallien valemuuttujien avulla tasokorjauksena. Tämä rajausta perustuu oletukseen ensimmäisen kunnostusojituksen suuremmasta merkityksestä metsikön vesitaselle: tällöinhän haihduttavaa puustoa on keskimäärin vähemmän ja kuivatus on enemmän ojaston varassa, jolloin merkittävä muutos kuivatustilassa tuottaa suuremman kasvureaktion.

Metsänkäsittelyt perustuivat Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion metsänkäsittelysuositukseen vuodelta 2001 (Hyvän metsänhoidon ... 2001). Hakkuuvaihtoehtoina olivat runkolukuun ja pohjapinta-alaan perustuvat harvennukset, avohakkuut, siemenpuuhakkuut (mänty- ja koivuvaltaiset), suojuspuuhakkuut (kuusivaltaiset) sekä ylispuiden poisto.

Pohjapinta-alaan perustuva harvennus simuloitiin ns. kahden käyrän mallilla (Nuutinen ja Hirvelä 2000b) noudattaen MELA-ohjelmiston vuoden 1999 julkistusversiossa käyttöön otettuja puulajeittaisia ja kasvupaikkaluokittaisia oletusarvoja. Koska simuloinnissa hakkuut toteutettiin kymmenvuotiskausien puolivälissä, harvennuksissa pohjapinta-alan vaatimusta alennettiin 10 prosentilla, jotta harvennettavaksi tulisivat myös kohteet, jotka täyttivät pohjapinta-alavaatimuksen vasta 10-vuotiskauden jälkimmäisellä puoliskolla.

Laskelmissa sallittuja metsänkäsittelyjä olivat hakkuiden lisäksi säästöpuiden jättäminen uudistusaloille, metsänuudistamiseen liittyvä raivaus, maanpinnan käsittely, viljely ja taimikonhoito. Tavoiteltava säästöpuiden määrä oli viisi kuutiometriä hehtaarilla (ks. Kotiharju ja Niemelä 2000). Säästöpuut oletettiin jätetyksi tasaisesti koko uudistus- alalle. Ojitetuilla turvemailla harvennushakkuiden

yhteydessä tehtiin kunnostusojitus. Lannoitus, uudisojitus ja pystypuiden karsinta eivät olleet mukana käsittelyvaihtoehtojen simuloinnissa.

Ensisijaisesti puuntuotantoon käytettävissä olevilla alueilla sallittuja hakkuutapoja olivat harvennus-, avo-, siemenpuu- ja suojuspuuhakkuut sekä ylispuiden poisto. Rajoitetussa puuntuotannossa olevilla alueilla sallittuja hakkuutapoja olivat harvennushakkuut ja luontainen uudistaminen. Puuntuotannon ulkopuolella olevilla alueilla ei sallittu mitään toimenpiteitä.

MELA-ohjelmiston käsittelyvaihtoehtojen simuloinnissa toteutuskelpoiset toimenpiteet päätettiin koko laskentakuvion keskimääräisistä tiedoista, jotka määritettiin laskentakuvioon kuuluvien koealojen avulla. Toimenpiteet toteutettiin erikseen laskentakuvion jokaisella koealalla, mutta optimoinnissa käytettävät päätösmuuttujat ja raportoitavat tulokset kerättiin vain alkuperäisiltä maastokoealoilta, joita oli yksi jokaisella laskentakuviolla. Siten MELA-ohjelmistolla saatujen tulosten laskennassa käytettiin samoja koealoja kuin varsinaisten VMI9-metsävaratulosten (Tomppo ym. 2004) laskennassa.

Nettotulojen nykyarvon laskenta perustui tienvarsihintoihin. Tukkipuiden tienvarsihintoihin tehtiin MELA-ohjelmiston oletusjärjestyksessä (Siitonen ym. 1996, s. 218–219, Laasasenaho ja Sevola 1971), jota on käytetty myös aikaisemmissa VMI9-aineistoon perustuvissa hakkuulaskelmissa (Hirvelä ym. 1998, Hirvelä ym. 1999, Hirvelä 1999, Hirvelä ja Härkönen 1999, Hirvelä 2000, Nuutinen ja Hirvelä 2000a, Nuutinen ja Hirvelä 2000b, Nuutinen ja Hirvelä 2000c, Nuutinen ja Hirvelä 2001a, Nuutinen ja Hirvelä 2001b, Nuutinen ja Hirvelä 2003). Nettotulot saatiin vähentämällä tienvarsihintoista hakkuutuloista korjuun ja metsänhoidon kustannukset. Näin otettiin huomioon mm. poistettavien runkojen koon ja hehtaarikohtaisen hakkuukertymän aiheuttamat erot nettotuloihin. Tienvarsihintoina käytettiin vuosina 1992–2001 Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla toteutuneiden hankintahintojen (Metsätalostollinen vuosikirja 2002) vuoden 2001 hintatasolla laskettuja keskiarvoja puutavaralajeittain (taulukko 5).

Korjuukustannukset laskettiin korjuun ajanmenekin ja korjuun yksikköhintojen (taulukko 6) tulona. Ajanmenekit perustuivat työtutkimuksiin (Kuitto ym. 1994, Rummukainen ym. 1993). Jokaisessa hakkuuvaihtoehdossa MELA-ohjelmisto valitsi

Taulukko 5. Vuosina 1992–2001 Kainuussa ja Pohjois-Pohjanmaalla toteutuneiden hankintahintojen vuoden 2001 hintatasolla lasketut keskiarvot (euroa/m³) puutavaralajeittain. (Metsätalastollinen vuosikirja 2002)

	Tukkipuu	Kuitupu
Mänty	49,10	28,60
Kuusi	40,60	31,30
Koivu	43,00	29,80

Taulukko 6. Laskelmissa sovelletut korjuun yksikköhinnat.

Työlaji	Yksikköhinta, euroa/h
Metsäkuljetus	46,00
Hakkuu monitoimikoneella	69,00
Metsurihakkuu	21,30

aina edullisimman (kustannuksiltaan halvimman) korjuuvaihtoehdon (metsurihakkuun tai hakkuun monitoimikoneella). Metsänhoitotöiden kustannukset laskettiin työmäärien ja vuosina 1992–2001 toteutuneiden keskimääriäisten, vuoden 2001 hintatasoon muutettujen yksikköhintojen (taulukko 7) tulona.

Puutavaralajit saatiin parametrina annettavasta taulukosta, johon rungon ja siitä saatavien puutavaralajien tilavuus oli laskettu Laasasenahon (1982) puun rinnankorkeusläpimittaan ja pituuteen perustuvien runkokäyräyhtälöiden avulla. Runkojen apteerauksessa oli käytetty mäntytkin kuorellisena minimiläpimittana 15 cm, kuusitukin 16 cm ja lehtipuutukin 18 cm sekä kuitupuun kuorellisena minimiläpimittana männyllä 6,3 cm ja kuusella sekä lehtipuilla 6,5 cm. Kuituosan minimipituus oli 2,0 m. Minimimitat eivät täysin vastanneet niitä mittoja, joiden perusteella VMI9:ssä pysty puusto on jaettu puutavaralajeihin (Valtakunnan metsien ... 2001). Koska rungon mittoihin perustuva apteeraus ei ota huomioon puutavaran laatuun liittyviä tekijöitä, tukkipuun määrää korjattiin metsikkösimulaattorissa erillisellä tukkivähennysmallilla (Mehtälä 2002). Erotus siirtyi kuitupuuksi.

VMI9-metsävaratulosten mukaan tukkipuun osuus puuston runkotilavuudesta metsä- ja kitumaalla oli keskimäärin 18 prosenttia (Tomppo ym.

Taulukko 7. Metsänhoitotöiden vuosina 1992–2001 toteutuneet keskimääräiset yksikköhinnat vuoden 2001 hintatasoon muutettuna. (Metsätalastollinen vuosikirja 2002)

Työlaji	Yksikkö	Yksikköhinta
Raivaus	euroa/ha	49,30
Äestys	”	100,10
Auraus/mätästys	”	162,30
Männyn kylvö	”	150,00
Männyn taimi	euroa/taimi	0,09
Kuusen taimi	”	0,14
Koivun taimi	”	0,19
Männyn täydennystaimi	”	0,14
Kuusen täydennystaimi	”	0,16
Koivun täydennystaimi	”	0,25
Ruohous	euroa/ha	69,80
Kunnostusojitus	euroa/ha	101,10
Metsänhoitotyö	euroa/h	15,70
Hakkuutyö	euroa/h	21,30

2004). MELA-laskelmissa vastaava tukkiosuus olisi ollut VMI8:aan perustuvan korjauksen jälkeen keskimäärin 20 prosenttia, joten VMI8:n tukkivähennysmallin avulla saatua tukkipuun kokonaismäärää kalibroitiin puulajikohtaisilla tasokertoimilla vastaamaan laskelmien alkuhetkellä VMI9:ssä arvioituja tukkiosuuksia puulajeittain. Männyn tukkiosuus oli 20, kuusen 29, koivun 2 ja muiden lehtipuuden 4 prosenttia tilavuudesta (Tomppo ym. 2004).

3.4 Optimointi

Hakkuulaskelmien tavoitteena oli havainnollistaa Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen hakkuumahdollisuuksia ja verrata niitä viime vuosina keskimäärin toteutuneisiin hakkuusiin.

Kaikissa laskelmissa valittiin lineaarisen optimoinnin tavoitefunktioiksi nettotulojen nykyarvon maksimointi. Toiminnan kannattavuus määräytyi nettotulojen nykyarvon laskennassa käytetyn laskentakoron ja optimoinnissa sovellettujen rajoitteiden yhteisvaikutuksena. Laskentakorkokannoksi valittiin kolme, neljä ja viisi prosenttia (Nuutinen ja Hirvelä 2000a).

Ensimmäisellä laskelmalla kuvattiin metsänkäsittelysuositusten mukaan hakattavissa olevan puuston määrää. Hakkuumahto (hakkuulaskelma I) laskettiin

maksimoimalla nettotulojen nykyarvoa viiden prosentin korkokannalla ilman toiminnan kestävyys- ja lopputilan puustovaatimuksia (Siitonen ym. 1996, s. 103). Hakattavissa olevan puuston selvittämiseen valittiin laskentakorkokannaksi korkein eli viisi prosenttia. Laskelmassa hakattiin kaikki sovellettujen metsänkäsitelysuositusten mukaan hakattavissa olevat kohteet, jotka eivät täyttäneet kasvattamisen ehdoksi asetettua kannattavuusvaatimusta. Teknisesti vuotuinen hakkuumahto oli kymmenvuotiskauden puolivälissä hakattavissa oleva puumäärä jaettuna kymmenellä. Teoreettisesti ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuumahto on lyhyen aikavälin puuntarjonnan ehdoton yläraja eli se puumäärä, joka markkinoille voisi lakeja ja suosituksia rikkomatta tulla edellyttäen, että kaikelle markkinoille tulevalle puulle olisi kysyntää ja että metsänomistajat myisivät puuta ja hakkaisivat metsiään metsikkökohtaisten suositusten ja viiden prosentin tuottovaatimuksen mukaisesti.

Toisen laskelman tavoitteena oli määrittää suurin jatkuvasti hakattavissa oleva hakkuukertymä. Suurimman kestäväen hakkuukertymän toteuttavassa laskelmassa (hakkuulaskelma II) otettiin siis huomioon myös puuntuotannon kestävyysvaatimukset. Laskelmassa maksimoitiin nettotulojen nykyarvoa neljän prosentin korkokannalla (vrt. Siitonen ym. 1996, s. 104). Puuntuotannon kestävyys laskelma-ajan kuluessa varmistettiin siten, että kokonaishakkuukertymät ja nettotulot olivat aina vähintään edellisen kymmenvuotiskauden tasolla, tukkipuukertymät pysyivät koko laskelma-ajan vähintään ensimmäisen kymmenvuotiskauden tasolla ja puuston tuottoarvo neljän prosentin korkokannalla laskettuna oli laskelma-ajan lopussa vähintään laskelman alkuketken tasolla. Laskelmassa ei rajoitettu kasvun ja poistuman suhdetta eikä metsien ikäluokkarakennetta. Suurimman kestäväen hakkuumäärän arvio on hakkuusuunnitteen yläraja, jos puuntuotannon kestävyyttä metsäkeskuksen alueella pidetään tavoiteltavana.

Kolmannessa laskelmassa tavoitteena oli havainnollistaa, miten metsävarat kehittyisivät, jos hakkuut jatkuvat viime vuosien keskimääräisellä tasolla. Myös hakkuulaskelmassa III (vuosien 1997–2001 keskimääräinen kertymätaaso) maksimoitiin nettotulojen nykyarvoa neljän prosentin korkokannalla. Kertymätaaso haettiin käyttämällä optimoinnissa rajoitteena vuosina 1997–2001 keskimäärin toteutu-

neita puutavaralajeittaisia hakkuukertymiä (Metinfo 2003). Kertymätilasto sisälsi myös polttopuun, josta oletettiin teollisuuden ainespuuksi kelpaavaksi 30 prosenttia (ks. Ryyänen ja Tuomi 1982). Laskelmissa ei käytetty rajoitteena toteutuneita hakkuupinta-aloja.

3.5 Herkkyysanalyysit

Hakkuulaskelman II herkkyyttä tarkasteltiin kolmen ja viiden prosentin korkokannan suhteen. Korkokannan suhteen tehty herkkyysanalyysi havainnollistaa erilaisten tuottovaatimusten ja aikapreferenssien seurauksia hakkuuohjelmina ja puuvarannon kehityksenä, kun lähtökohtana ovat nykyiset metsävarat, niiden kasvu ja kasvuodotukset sekä puun hinta ja puunhankinnan kustannukset.

Puuntuotannon rajoitusten vaikutusta hakkuulaskelmiin tarkasteltiin simuloimalla laskentakuvioille toinen käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukko (kuva 1, käsittely- ja kehityssarjat B), jossa rajoitetussa puuntuotannossa tai puuntuotannon ulkopuolella olevat laskentakuviot oletettiin kuuluvan ensisijaisesti puuntuotannossa olevaan alueeseen lukuun ottamatta maaluokan perusteella tehtyä käyttörajoitusta (kaikki metsämaat ensisijaisesti puuntuotannossa ja kitumaat rajoitetussa puuntuotannossa). Tälle käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukolle laskettiin hakkuumahtoa (laskelma I) ja suurimman kestäväen hakkuumäärän arviota (laskelma II) vastaavat tuotanto-ohjelmat.

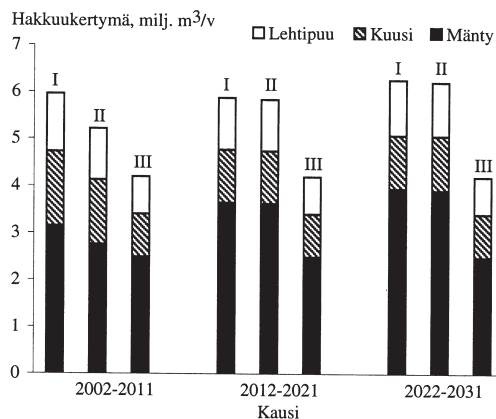
Ojitettujen turvemaiden uusien mallien vaikutuksia tarkasteltiin simuloimalla laskentakuvioille kolmas käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukko (kuva 1, käsittely- ja kehityssarjat C), jossa käytettiin vanhoja malleja. Tälle käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukolle laskettiin suurimman kestäväen hakkuumäärän arviota (laskelma II) vastaava tuotanto-ohjelma eli laskelma IV.

4 Tulokset

4.1 Toteutuneiden hakuiden mukainen hakkuukertymä

Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsistä hakattiin vuosina 1997–2001 keskimäärin 4,1 miljoonaa kuutiometriä käyttöpuuta vuodessa. Käyttöpuu sisälsi markkinahakkuiden ja piensahojen käyttämän puun lisäksi teollisuuden ainespuun mitat täyttävän osan polttopuusta. Kertymästä oli mäntyä 59, kuusta 22 ja lehtipuuta 19 prosenttia. Tukkipuukertymä oli keskimäärin 1,3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta männyn osuus oli 62 prosenttia.

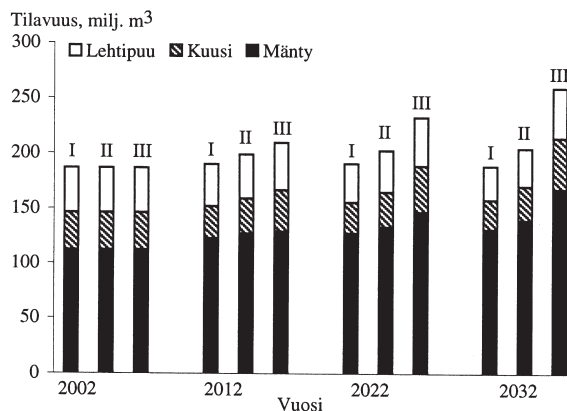
Jos hakkuut säilyisivät vuosien 1997–2001 keskimääräisellä tasolla (kuva 2, hakkuulaskelma III), puuvarannon arvioidaan karttuvan puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla 2,4 miljoonan kuutiometrin vuosivauhdilla (kuva 3). Vastaavalla alueella malleilla lasketun puuston kasvun (kuva 4) arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja sen ennakoitaan pysyvän lähes samalla tasolla kolmannelle kymmenvuotiskaudelle saakka.



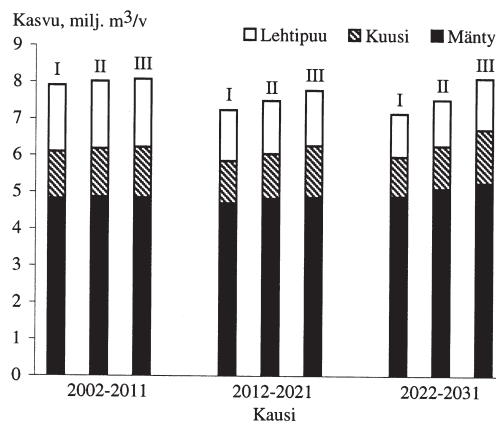
Kuva 2. Hakkuukertymä puulajeittain vuosina 2002–2031 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (I = nettotulojen nykyarvon maksimointi viiden prosentin korkokannalla, II = suurin kestävä hakkuukertymä ja III = vuosina 1997–2001 keskimäärin toteutunut hakkuukertymä).

4.2 Hakkuumahto

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänkäsittelysuositusten (Hyvän metsänhoidon ... 2001) perusteella hakkuukypsää ja hakkuukypsäksi tulevaa puuta (hakkuumahto) riittäisi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella hakattavaksi 6,0 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 2, hakkuulaskelma I) eli 1,4-kertaisesti vuosina 1997–2001 keskimäärin toteutuneisiin hakkuisiin verrattuna. Kertymästä olisi mäntyä 53, kuusta 26 ja lehtipuuta 21 prosenttia.



Kuva 3. Puuston tilavuus puulajeittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 2002–2032 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (laskelmat, ks. kuva 2).



Kuva 4. Puuston kasvu puulajeittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 2002–2031 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (laskelmat, ks. kuva 2).

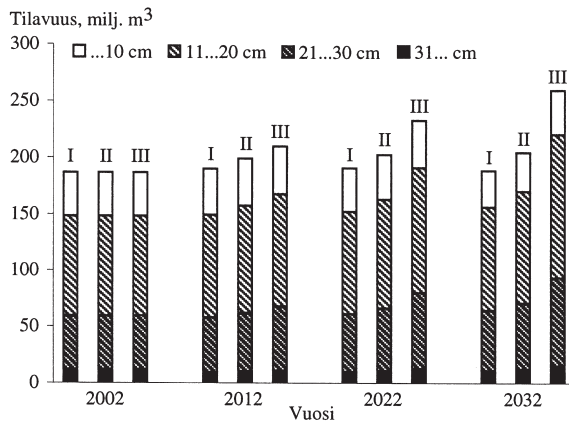
Vaikka hakkuumahto hyödynnettäisiin kokonaan, puuvaranto puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla hieman suurenisi nykyisestä (kuva 3) ja vuotuinen hakkuumahto (kuva 2) säilyisi lähes ennallaan. Kolmenkymmenen vuoden kuluessa järeän puun (rinnankorkeusläpimitta yli 20 cm) varanto (kuva 5) kasvaisi 9 prosenttia. Järeän puun hakkuumahdollisuudet (kuva 6) kuitenkin supistuisivat ensimmäiseen kymmenvuotiskauskseen verrattuna.

Hakkuumahdon mukaisesti toimittaessa harvennushakkuiden osuus kertymästä vuosina 2002–2011 olisi 27 prosenttia ja koko kolmenkymmenen vuoden

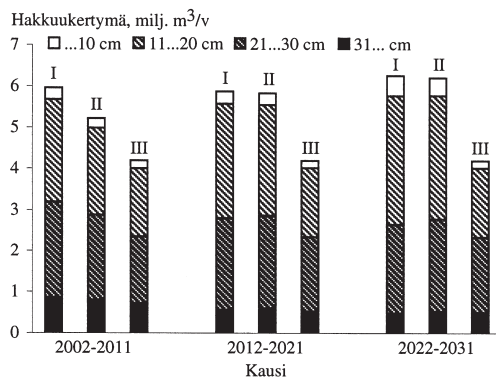
tarkastelujakson aikana keskimäärin 33 prosenttia (kuva 7). Kokonaishakkuuala olisi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 66 200 hehtaaria (kuva 8) ja keskimääräinen korjuukustannus 10,7 euroa/m³ (taulukko 8).

4.3 Suurin kestävä hakkuukertymä

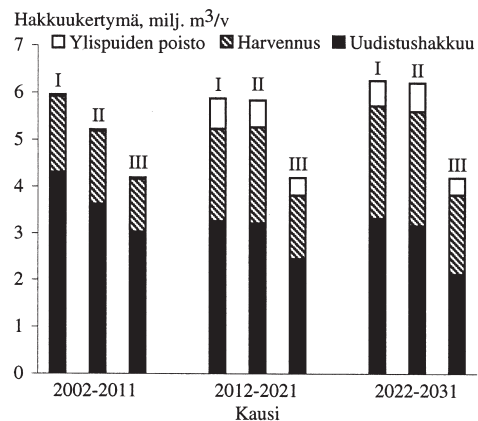
Suurimman jatkuvasti hakkattavissa olevan käyttöpuumäärän arvio on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 5,2 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja se lähestyy 6,2 miljoonan kuutiometrin tasoa kolmen-



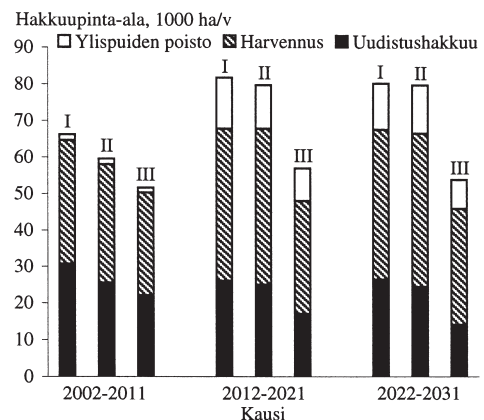
Kuva 5. Puuston tilavuus läpimittaluokittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 2002–2032 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (laskelmat, ks. kuva 2).



Kuva 6. Hakkuukertymä läpimittaluokittain vuosina 2002–2031 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (laskelmat, ks. kuva 2).



Kuva 7. Hakkuukertymä hakkuutavoittain vuosina 2002–2031 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (laskelmat, ks. kuva 2).



Kuva 8. Hakkuupinta-alat hakkuutavoittain vuosina 2002–2031 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (laskelmat, ks. kuva 2).

Taulukko 8. Hakkuumahdollisuusarvioita kuvaavia keskimääräisiä tunnuksia puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla (laskelmat, ks. kuva 2).

Tunnus	Laskelma I	Laskelma II	Laskelma III
2002–2011			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	3,0	3,1	3,1
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	2,9	2,6	2,2
Korjuukustannus, euroa/m ³	10,7	10,5	10,5
Hakkuukertymä, m ³ /ha	90,0	87,5	81,2
2012–2021			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	2,8	2,9	3,0
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	2,8	2,7	2,1
Korjuukustannus, euroa/m ³	11,1	11,0	10,4
Hakkuukertymä, m ³ /ha	71,9	73,3	73,7
2022–2031			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	2,8	2,9	3,1
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	2,8	2,8	2,1
Korjuukustannus, euroa/m ³	11,6	11,3	10,3
Hakkuukertymä, m ³ /ha	78,0	78,0	77,8

kymmenen vuoden tarkastelujakson aikana (kuva 2, hakkuulaskelma II). Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla suurimman kestävän hakkuumäärän arviosta on mäntyä keskimäärin 60, kuusta 21 ja lehtipuuta 19 prosenttia. Kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson jälkeen suurimman kestävän hakkuumäärän arvion ennakoidaan vakiintuvan 6,2 miljoonan kuutiometrin vuositasolle.

Lopputuottoarvorajoite hakkuulaskelmassa II ei ole sitova: tuottoarvo laskelmakauden lopussa on 38 prosenttia korkeampi kuin alussa. Sen sijaan kertymärajoite kolmannelta kaudelta alkaen ja kolmannen kauden tukkirajoite ovat sitovia.

Suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa tukkipuukertymän arvioidaan olevan 1,6 miljoonan kuutiometrin vuositasolla kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana. Järeimmän (rinnankorkeusläpimitta yli 30 cm) puun osuus hakkuumahdollisuuksista laskee koko kolmenkymmenen vuoden ajan (kuva 6). Suurimman kestävän hakkuumäärän mukaisesta tukkipuukertymästä suurin osa on mäntytukkia, keskimäärin 67 prosenttia kolmen vuosikymmenen aikana. Mäntykuitupuun osuus kuitupuukertymästä on keskimäärin 57 prosenttia. Kuusitukkipuun ja -kuitupuun vastaavat osuudet

ovat 30 ja 18 prosenttia.

Malleilla laskettu puuston kasvun arvio puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,0 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 4). Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella poistuma jää selvästi kasvua pienemmäksi, sillä vastaava kokonaispoistuman arvio on 6,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (taulukko 9). Kokonaispoistuma koostuu hakkuupoistumasta ja metsiin jäävästä luonnonpoistumasta. Hakkuupoistuma sisältää tukki- ja kuitupuun, hakuiden yhteydessä hakkuutähteenä metsään jäävän kuitupuun minimimittoja pienemmän runkopuun sekä raivauksessa ja taimikonhoidossa metsään jäävän runkopuun. Toisella kymmenvuotiskaudella hakkuuta vastaava kokonaispoistuman ehdollinen ennuste on 7,1 ja kasvun 7,5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja kolmannella kaudella vastaavasti 7,3 ja 7,5 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Kokonaispoistuman ja kasvun ero siis supistuu tarkastelukauden aikana. Koko metsä- ja kitumaan alalla puuston kasvun arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Jos hakkuut noudattaisivat suurimman kestävän hakkuumäärän arviota, puuvaranto kasvaisi puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla seitsemän prosenttia nykyisestä tasosta vuosikymmenessä ja 10 prosenttia koko kolmen vuosikymmenen tarkastelujakson aikana (kuva 3). Järeän (rinnankorkeusläpimitta yli 20 cm) puun varanto kasvaisi viidenneksen kolmen vuosikymmenen aikana (kuva 5). Laskelman mukainen hakkuuohjelma johtaisi keskitilavuuden kohoamiseen 72 kuutiometristä 79 kuutiometriin hehtaarilla kolmen vuosikymmenen kuluessa.

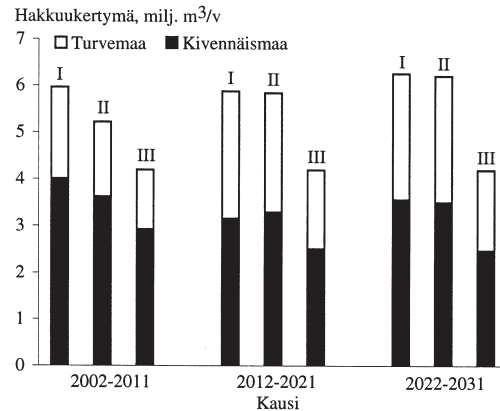
Harvennushakkuiden osuus kestävien hakkuumahdollisuuksien mukaisesta käyttöpuusta on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 30 prosenttia, josta se nousee kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana 39 prosenttiin (kuva 7). Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella kokonaishakkuuala on 59 500 hehtaaria vuodessa, josta harvennushakkuuta on 32 500 hehtaaria (kuva 8). Uudistushakkuualasta (25 500 hehtaaria) lähes puolet on luontaista uudistamista, lähinnä siemenpuuhakkuita. Ylispuiden poistoa on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 1 500 hehtaaria ja toisella kymmenvuotiskaudella 11 900 hehtaaria. Laskelmissa korjuukustannuk-

Taulukko 9. Poistuma- ja kasvuarvion rakenne (milj. m³/vuosi) puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 2002–2011 I. Laskelmissa ei ole edellytetty puulajikohtaista kestävyttä, joten puulajien osuudet saattavat vaihdella huomattavasti eri kymmenvuotiskausilla (laskelmat, ks. kuva 2).

Tunnus	Laskelma I	Laskelma II	Laskelma III
Kokonaispoistuma	7,57	6,78	5,77
Mänty	3,74	3,34	3,12
Kuusi	1,76	1,53	1,05
Koivu	1,75	1,60	1,36
Muu lehtipuu	0,32	0,31	0,25
Hakkuupoistuma	6,55	5,74	4,68
Hakkuukertymä	5,96	5,22	4,19
Tukkikertymä	1,74	1,56	1,32
mäntytukki	1,06	0,95	0,82
kuusitukki	0,63	0,56	0,47
koivutukki	0,04	0,03	0,02
muu lehtipuutukki	0,01	0,01	0,00
Kuitupuukertymä	4,21	3,65	2,88
mäntykuitu	2,08	1,80	1,67
kuusikuitu	0,95	0,81	0,44
koivukuitu	0,99	0,87	0,64
muu lehtipuukuitu	0,18	0,17	0,12
Hakkuutähde	0,60	0,53	0,49
Luonnonpoistuma	1,02	1,03	1,09
Kasvu	7,90	8,01	8,08
Mänty	4,82	4,87	4,84
Kuusi	1,27	1,31	1,38
Koivu	1,61	1,64	1,65
Muu lehtipuu	0,20	0,20	0,20

set ovat keskimäärin 10,5 euroa/m³ (taulukko 8). Keskimääräiset korjuukustannukset ovat uudistus-hakkuissa 9,1 euroa/m³ sekä harvennushakkuissa ja ylispuiden poistossa 13,7 euroa/m³.

Turvemaiden osuus kestävästä hakkuumahdollisuuksista on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 31 prosenttia ja koko kolmenkymmenen vuoden aikana keskimäärin 40 prosenttia (kuva 9). Männyn hakkuumahdollisuuksista on vuosina 2002–2031 turvemaidella keskimäärin 37 prosenttia. Kuusella, koivulla ja muilla lehtipuilla vastaavat osuudet ovat 31, 64 ja 26 prosenttia.



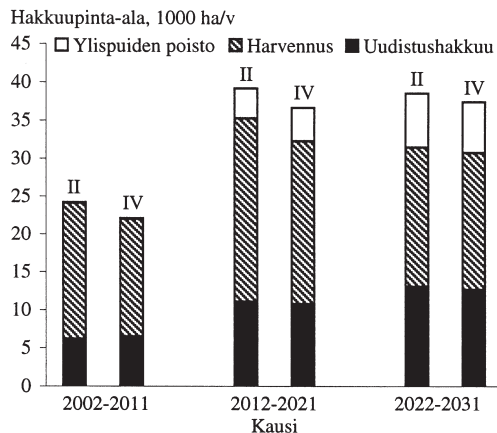
Kuva 9. Hakkuukertymä kivennäis- ja turvemaidella vuosina 2002–2031 laskelmissa I, II ja III Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (laskelmat, ks. kuva 2).

4.4 Herkkyysanalyysit

Hakkuulaskelma II oli herkkä korkokannan muutokselle. Viiden prosentin korkokannalla laskettu hakkuumäärän arvio on kolmen vuosikymmenen aikana 12 prosenttia korkeampi kuin neljän prosentin korkokannalla laskettu ja puuston keskitilavuus säilyy lähes ennallaan. Kolmen prosentin korkokannalla laskettu vuotuisen hakkuumäärän arvio jää kolmen vuosikymmenen aikana 11 prosenttia alemmalle tasolle kuin neljän prosentin korkokannalla laskettu ja puuston keskitilavuus kohoaa 18 m³/ha.

Puuntuotannon rajoitusten poistaminen lisäsi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman kestävästä hakkuumäärän arviota 12 ja hakkuumahdotta 15 prosenttia. Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla vastaavan lisäyksen arvioidaan olevan sekä suurimman kestävästä hakkuumäärän arvioissa että hakkuumahdossa kahdeksan prosenttia. Molemmista laskelmissa puuntuotannon rajoitukset heijastuvat eniten ensimmäisen kymmenvuotiskauden uudistushakkuisiin. Ilman puuntuotannon rajoituksia ensimmäisen kymmenvuotiskauden uudistushakkuukertymä olisi kummassakin 15 prosenttia suurempi.

Ojitettujen turvemaiden uusilla malleilla laskettu suurimman kestävästä hakkuumäärän arvio on ensimmäisellä ja toisella kymmenvuotiskaudella suurempi kuin vanhoilla malleilla laskettu arvio. Ero on 0,1



Kuva 10. Hakkuupinta-alat hakkuutavoittain turvemilla vuosina 2002–2031 laskelmissa II ja IV Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella (II = ks. kuva 2 ja IV = vanhoilla suometsien malleilla laskettu suurin kestävä hakkuukertymä).

miljoonaa kuutiometriä käyttöpuuta vuodessa. Kolmannella kymmenvuotiskaudella uusilla malleilla laskettu vuotuinen arvio on vajaa 0,2 miljoonaa kuutiometriä pienempi kuin vanhojen mallien mukainen arvio. Uusilla malleilla tehdyissä laskelmissa luonnonpoistuma on suurempi ja turvemaiden männyn kasvu pienempi kuin vanhoilla malleilla tehdyissä laskelmissa. Lisäksi turvemilla tehdään enemmän harvennuksia (kuva 10).

5 Tulosten tarkastelu

Vuosina 1997–2001 keskimäärin toteutuneet hakkuut (kts. hakkuulaskelma III) Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella vastaavat puulajirakenteeltaan inventointia seuraavalle kymmenvuotiskaudelle laskettua suurimman kestävä hakuuäärän arviota. Toteutunut hakkuukertymä on 0,3 miljoonaa kuutiometriä pienempi kuin alueellisen metsäohjelman ainespuun kertymätavoite (Pohjois-Pohjanmaan... 2001), 1,1 miljoonaa kuutiometriä pienempi kuin suurimman kestävä hakuuäärän arvio ja 1,9 miljoonaa kuutiometriä pienempi kuin hakkuumahdon mukainen hakkuukertymäarvio ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella. Hakkuulaskelma III havainnollistaa hakkuumahdollisuuksien ja puuston kehitystä,

jos metsiä hyödynnetään puuntuotantoon vähemmän kuin metsänkäsittelysuositusten, suurimman kestävä hakuuäärän arvio tai metsäohjelman tavoitteiden mukaan olisi mahdollista.

Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella on enintään 40-vuotiaita metsiä 30 prosenttia ja 40–80-vuotiaita metsiä noin 40 prosenttia metsämaan pinta-alasta. Enintään 60-vuotiaiden metsien osuus kivennäismaiden metsämaan pinta-alasta on 55 prosenttia (Tomppo ym. 2004). Puuvaranto kasvaa, mutta metsien rakenteesta johtuen kestävät hakkuumahdollisuudet ovat ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella huomattavasti pienemmät kuin puuston kasvu. Huomattava osa kasvusta on pienläpimittaisessa puustossa. VMI9-metsävaratulosten mukaisesta kasvuarviosta (8,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa) noin neljännes (2,2 miljoonaa kuutiometriä vuodessa) on alle 9,6 cm:n läpimittaisten puiden kasvua (Tomppo ym. 2004).

Metsämaaksi luokitelluilla turvemilla on enintään 60-vuotiaiden metsien osuus pinta-alasta noin 40 prosenttia ja enintään 80-vuotiaiden metsien osuus noin 70 prosenttia (Tomppo ym. 2004). Turvemilla kasvavan koivun osuus koivun hakkuumahdollisuuksista on huomattava ja turvemaiden harvennuskohteet nostavat keskimääräisiä korjuukustannuksia. Turvemaiden osuudessa hakkuumahdollisuuksista ei ole kuitenkaan odotettavissa merkittävää lisäystä enää kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson jälkeen. Harvennushakkuiden osuus kestävien hakkuumahdollisuuksien mukaisesta käyttöpuusta kivennäis- ja turvemilla nousee ensimmäisen kymmenvuotiskauden 30 prosentista 39 prosenttiin kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana.

Suojelun ja käytönrajoitusten takia ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuumahto on supistunut 0,9 miljoonaa kuutiometriä ja kestävät hakkuumahdollisuudet 0,6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Hakkuulaskelmat eivät ole puun tarjonnan tai todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita vaan olemassa olevan tiedon ja tehtyjen oletusten perusteella laskettuja arvioita. Laskelmissa tehdyt oletukset koskevat esimerkiksi puiden kasvua, metsien käsittelyohjeita, metsänhoidon tasoa, käytettävissä olevaa korjuuteknologiaa sekä niihin liittyvää hinta- ja kustannusrakennetta ja -tasoa.

Ojitetuilla turvemilla käyttöön otetut männyn ja koivun luonnonpoistumamallit (Jutras ym. 2003)

sekä männyn kunnostusojituksen kasvureaktiomalli tarkentavat laskelmia erityisesti turvemaiden kehityksen osalta. Kunnostusojitusmallissa ei pystytä erottelemaan eri työlajeja (täydennysojitus tai ojan perkaus), koska niitä ei oltu eroteltu mallin laadinta-aineistossa. Metsäkeskuksen alueella harhan todennäköisyys on kuitenkin pieni, jos eri työlajien osuudet eivät poikkea laadinta-aineiston vastaavista osuuksista.

Nykyiset MELA-ohjelmistossa käytössä olevat kasvumallit (Hynynen ym. 2002) kuvaavat aiempaa (Ojansuu ym. 1991) täsmällisemmin varttuneiden metsien puuston kehitystä ja metsikön reaktioita esimerkiksi puuston tihentymiseen ja käsittelyihin. Nuorten metsien osalta mallien uudistaminen on kuitenkin vielä kesken. Nykyiset mallit eivät sellaisenaan sovellu esimerkiksi metsänhoidon laiminlyöntien seurausten tarkasteluun.

Hakkuulaskelmat tehtiin 50 vuoden laskelmakaudelle. Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon tulosten luotettavuuden olevan sitä huonompi mitä kauemmaksi tulevaisuuteen laskelmia tehdään. Tuloksia tarkasteltiin pääasiassa ensimmäisen 30 vuoden osalta. Kaksi viimeistä vuosikymmentä oli laskelmassa mukana kestävyuden varmistamiseksi.

Laskelmissa oletettiin puiden kasvun säilyvän vuosien 1965–1994 keskimääräisellä kasvuntasolla. Muutokset kasvuun vaikuttavissa tekijöissä ja puiden reagoinnissa kasvutekijöihin saattavat vaikuttaa puuston tulevan kasvun ennusteisiin ja sitä kautta hakkuumahdollisuusarvioihin.

Laskelmissa sovellettiin Suojelupinta-alaprojektin (Metsien suojelupinta-alat 1999) ja Metsien suojelun luokittelun ja tilastoinnin yhtenäistämistyöryhmän (Metsien suojelun ... 2002) luokituksia (Nuutinen ja Hirvelä 2000a). Jos puuntuotantoon käytettävissä olevien metsien määrä vähenee laskelmissa oletetusta, metsien hakkuumahdollisuudet pienenevät tässä esitetyistä.

Laskelmissa ei otettu huomioon metsänomistuksen rakennetta tai metsänomistajien käyttäytymistä. Kaikissa laskelmissa oletettiin, että metsänhoitotyöt tehdään suositusten mukaisesti. Metsien hakkuumahdollisuudet muuttuvat tässä esitetyistä, jos metsänhoitotoissa viivytellään tai nuoret metsät jäävät hoitamatta.

Kiitokset

Alkuperäisen maastoaineiston on kerännyt valtakunnan metsien inventointi. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksesta aluepäällikkö Markku Mehtätalo ja ylitarkastaja Juha Pyykkönen ovat kommentoineet käsikirjoitusta. Parhaimmat kiitokset kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille.

Kirjallisuus

- Hirvelä, H. 1999. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1997–2026 Kymen metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 3B/1999: 587–601.
- 2000. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1997–2027 Rannikon metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 1B/2000: 233–253.
- & Härkönen, K. 1999. Uppskattningar av avverkningsmöjligheterna inom landskapet Åland åren 1997–2026. Metsätieteen aikakauskirja 4B/1999: 769–783.
- , Nuutinen, T. & Salminen, O. 1998. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1997–2026 Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2B/1998: 279–291.
- , Nuutinen, T. & Salminen, O. 1999. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1996–2025 Keski-Suomen ja Pohjois-Savon metsäkeskusten alueilla. Metsätieteen aikakauskirja 2B/1999: 289–307.
- Hynynen, J. 1996. Puuston kehityksen ennustaminen MELA-järjestelmässä. Julkaisussa: Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen – MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612: 21–37.
- , Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H. & Haapala, P. 2002. Models for predicting stand development in MELA System. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 835. 116 s.
- Hyvän metsänhoidon suositukset. 2001. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. 95 s.
- Härkönen, K. 2001. Säästöpuut ja MELA2000. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Suokas, A. (toim.). MELA2000 ja muuttuva metsänkäsittely. MELA-käyttäjöpäivä

- 21.11.2000 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 814. s. 19–29.
- Hökkä, H. 1996. Suometsien uudet kasvu- ja pituusmallit. Julkaisussa: Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen – MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612: 57–68.
- 1997. Models for predicting growth and yield in drained peatland stands in Finland. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 651. 45 + 53 p.
- , 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. *Suo* 51(1): 1–10.
- & Kojola, S. 2002. Kunnostusojituksen kasvureaktioon vaikuttavat tekijät. Julkaisussa: Hiltunen, A. & Kaunisto, S. (toim.) 2001. 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.
- 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.
- Jämsä, J. & Hirvelä, H. 1996. Pohjois-Suomen metsien hakkuumahdollisuudet. Julkaisussa: Hökkä, H., Salminen, H., & Varmola, M. (toim.) Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589: 96–106.
- Kotiharju, S. & Niemelä, H. 2000. Talousmetsien luonnonhoidon laadun arviointi. Seurantaraportti. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki. 19 s. + liitteet.
- Kuitto, P.-J., Keskinen, S., Lindroos, J., Oijala, T., Rajamäki, J., Räsänen, T. & Terävä, J. 1994. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus. Metsätehon tiedotus 410. 38 s. + liitteet.
- Kuusela, K. 1959. Suurin kestävä hakkuusuunnite ja menetelmä sen arvioimiseksi. Summary: Largest permanent allowable cut and a method for its calculation. *Acta Forestalia Fennica* 71(1). 39 s.
- 1964. Increment-drain forecast for a large forest area. Seloste: Kasvun ja poistuman ennuste suurelle metsäalueelle. *Acta Forestalia Fennica* 77(5). 79 s.
- 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971–1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971–1976. Metsäntutkimuslaitoksen julkaisuja 93(6). 107 s.
- , Mattila & Salminen, S. 1986. Metsävarat piirimetsälautakunnittain Pohjois-Suomessa 1982–1984. Summary: Forest resources in North Finland by forestry board districts, 1982 to 1984. *Folia Forestalia* 655. 86 s.
- & Nyysönen, A. 1962. Tavoitehakkuulaskelma. Summary: The cutting budget for a desirable growing stock. *Acta Forestalia Fennica* 74(6). 34 s.
- & Salminen, S. 1976. Pohjois-Karjalan metsävarat vuosina 1973–74, Etelä-Pohjanmaan, Vaasan ja Keski-Pohjanmaan vuonna 1974 sekä Kainuun ja Pohjois-Pohjanmaan vuonna 1975. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Pohjois-Karjala in 1973–74, Etelä-Pohjanmaa, Vaasa and Keski-Pohjanmaa in 1974, Kainuu and Pohjois-Pohjanmaa in 1975. *Folia Forestalia* 274. 43 s.
- & Salovaara, A. 1971. Kainuun, Pohjois-Pohjanmaan, Koillis-Suomen ja Lapin metsävarat vuosina 1969–70. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Kainuu, Pohjois-Pohjanmaa, Koillis-Suomi and Lappi in 1969–70. *Folia Forestalia* 110. 49 s.
- Laasasenaho, J. 1982. Taper curve and volume functions for pine, spruce and birch. Seloste: Männyn, kuusen ja koivun runkokäyrä- ja tilavuusyhtälöt. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 108. 74 s.
- & Sevola, Y. 1971. Mänty- ja kuusirunkojen puutavaruusteet ja kantoarvot. Summary: Timber assortment relationships and stumpage value of Scots pine and Norway spruce. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 74(3). 87 s.
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s.
- Lauhanen, R. & Ahti, E. 2001. Effects of maintaining ditch networks on the development of Scots pine stands. Kunnostusojituksen vaikutus rämemännikön kehitykseen. *Suo* 52(1): 29–38.
- Mehtätalo, L. 2002. Valtakunnalliset puukohtaiset tukki-vähennyksmallit männylle, kuuselle, koivuille ja haavalle. Metsätieteen aikakauskirja 4/2002: 575–591
- Metinfo. 2003. Metsäsektorin suorakäyttöinen tietojärjes-

- telmä. Metsäntutkimuslaitos. WWW-sovellus (<http://www.metla.fi/metinfo/>).
- Metsien suojelun luokittelun ja tilastoinnin yhtenäistämistyöryhmä. 2002. Työryhmämuistio MMM 2002:15. Helsinki. 51 s. + liitteet. ISSN 0781-6723.
- Metsien suojelupinta-alat. Suojelupinta-alaprojektin raportti. 1999. Suomen ympäristö 300. Ympäristöministeriö. Oy Edita Ab, Helsinki. 44 s. ISBN 951-37-2869-2.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1993–94. Skogsstatistisk årsbok. Statistical Yearbook of Forestry. SVT Maa- ja metsätalous 1994:7. Metsäntutkimuslaitos. 348 s.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2002. Skogsstatistisk årsbok. Finnish Statistical Yearbook of Forestry. SVT Maa-, metsä- ja kalatalous 2002: 45. Metsäntutkimuslaitos. 378 s.
- Nuutinen, T. 2002. MELA2002. Julkaisussa: Nuutinen, T. Kiiskinen, A. (toim.). MELA2002 ja käyttöpuun kuvaus. MELA-käyttäjäpäivä 7.5.2002 Joensuu. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 865: 6–10.
- & Hirvelä, H. 2000a. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1998–2027 Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2000: 413–428.
- & Hirvelä, H. 2000b. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2028 Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2000: 567–583.
- & Hirvelä, H. 2000c. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2028 Pirkanmaan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 4B/2000: 741–757.
- & Hirvelä, H. 2001a. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2028 Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2001: 389–406.
- & Hirvelä, H. 2001b. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2000–2029 Pohjois-Karjalan metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2001: 577–594.
- & Hirvelä, H. 2003. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 2001–2030 Kainuun metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2003: 257–272.
- , Hirvelä, H., Hynynen, J., Härkönen, K., Hökkä, H., Korhonen, K. & Salminen, O. 2000. The role of peatlands in Finnish wood production – an analysis based on large-scale forest scenario modelling. *Silva Fennica* 34(2): 131–153.
- Ojansuu, R. 1996. Kangasmaiden kasvupaikan kuvaus MELA-järjestelmässä. Julkaisussa: Hynynen, J. & Ojansuu, R. (toim.). Puuston kehityksen ennustaminen – MELA ja vaihtoehtoja. Tutkimusseminaari Vantaalla 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 612: 39–56.
- , Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000-versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. Puuntuotoksen tutkimussuunta. 59 s.
- Pohjois-Pohjanmaan metsäohjelma 2001–2005. 2001. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskus. 67 s. + liitteet.
- Redsven, V., Anola-Pukkila, A., Haara, A., Hirvelä, H., Härkönen, K., Kettunen, L., Kiiskinen, A., Kärkkäinen, L., Lempinen, R., Muinonen, E., Nuutinen, T., Salminen, O., Siitonen, M. 2002. MELA2002 Reference Manual. Metsäntutkimuslaitos. 588 s.
- Rummukainen, A., Alanne, H. & Mikkonen, E. 1993. Puunhankinta muutospaineessa. Voimavaratarpeiden arviointimalli vuoteen 2010. Helsingin yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 2.
- Ryynänen, S. & Tuomi, S. 1982. Polttopuun korjuu ja käyttö maatiloilla. Tilakohtainen inventointi v. 1979. Työtehoseuran julkaisuja 241.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook – 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 452 s.
- Tomppo, E., Tuomainen, T., Henttonen, H., Ihalainen, A., Korhonen, K.T., Mäkelä, H. & Tonteri, T. 2004. Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueen metsävarat 1968–2002. Metsätieteen aikakauskirja 3B/2004: 339–418.
- Valtakunnan metsien 9. inventointi (VMI9). 2001. Maastotyön ohjeet 2001. Kainuu ja Pohjois-Pohjanmaa. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 176 s.

53 viitettä