

Tuula Nuutinen ja Hannu Hirvelä

Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2028 Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella

Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2001. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2028 Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella. *Metsätieteen aikakauskirja* 2B/2001: 389–406.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen hakkuumahdollisuudet vuosille 1999–2028. Hakkuulaskelmat tehtiin MELA-ohjelmistolla. Laskelmissa käytettiin valtakunnan metsien 9. inventoinnin (VMI9) koeala- ja puutiedoista muodostettua laskelma-aineistoa.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänkäsitteilysuositusten perusteella hakkuukypsää ja hakkuukypsäksi tulevaa puuta riittäisi hakattavaksi inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella 9,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa eli 1,6-kertaisesti vuosina 1994–1998 keskimäärin toteutuneisiin hakkuisiin verrattuna (noin 6,2 miljoonaa kuutiometriä käyttöpuuta vuodessa). Hakkuumahdon kokonaan hyödyntäminen kuitenkin pienentäisi puuvarantoa puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla viidenneksellä vuosikymmenen aikana. Toisella kymmenvuotiskaudella hakkuumahto olisi 6,3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Jos hakkuuta halutaan nykyisestä lisätä hakkuumahdollisuuksien vähentymättä tulevaisuudessa, osa nyt hakattavissa olevasta puustosta on säästettävä tuleville vuosikymmenille. 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 7,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Laskentakorkokannan, tuottoarvorajoituksen, puuntuotannon rajoitusten sekä uudistusaloille jätettyjen säästöpuiden vaikutusta tuloksiin tarkasteltiin erikseen. Tuloksia verrattiin VMI9-hakkuuehdotusten perusteella simuloituihin hakkuumahdollisuuksiin.

Esitetyt hakkuumahdollisuusarviot eivät ole puun tarjonnan eivätkä todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita. Puun kysyntä yhdessä metsänomistajien omien ja yhteiskunnan asettamien tavoitteiden kanssa ratkaisevat sen, väheneekö puuntuotannossa olevien metsien määrä, jäävätkö nuoret metsät hoitamatta, korjataanko puuta ensiharvennuskohteilta ja kohdentuvatko hakkuut hakkuukypsimpiin puustoihin.

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

Yhteystiedot: Metla, Joensuun tutkimuskeskus, PL 68, 80101 Joensuu. Sähköposti tuula.nuutinen@metla.fi, hannu.hirvela@metla.fi

Hyväksytty 1.6.2001

I Johdanto

Valtakunnan metsien 8. inventointiin saakka Etelä-Savon (taulukko 1) ja Itä-Savon (taulukko 2) metsälautakuntien alueiden metsät inventoitiin erikseen ja tulokset raportoitiin metsälautakunnittain. Vuonna 1996 tehdyn metsäkeskusjaon yhteydessä nämä kaksi aluetta yhdistettiin Etelä-Savon metsäkeskukseksi lukuun ottamatta kuntia, jotka liitettiin Keski-Suomen, Kymen (nykyisen Kaakkois-Suomen) ja Pohjois-Karjalan metsäkeskuksiin.

Valtakunnan metsien 5. (VMI5, Kuusela ja Salovaara 1968), 6. (VMI6, Kuusela ja Salovaara 1974a, 1974b) ja 7. (VMI7, Kuusela ja Salminen 1980) inventoinnin yhteydessä esitetyt hakkuusuunnitteet perustuivat tavoitehakkuulaskelman (Kuusela 1959, Kuusela 1964, Kuusela ja Nyssönen 1962) soveltamiseen. VMI6:n ja VMI7:n hakkuusuunnitteen yhteydessä esitettiin lisäksi suojeluvähennys.

Valtakunnan metsien 8. inventoinnin tulosten yhteydessä Etelä-Savon ja Itä-Savon metsälautakuntien hakkuumahdollisuuksia havainnollistettiin MELA-

ohjelmistolla (Siitonen ym. 1996) tehdyllä kahdella hakkuulaskelmalla (Salminen ja Salminen 1998). Suojelualueet oli rajattu laskelmien ulkopuolelle. Hakkuulaskelmat olivat arvioita metsien tuotantomahdollisuuksista ja niiden kehityksestä erilaisilla hakkuutasoilla – eivät hakkuusuunnitteita eivätkä toteutuvan tulevaisuuden ennusteita.

Valtakunnan metsien 9. inventoinnin maastomittaukset tehtiin Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella vuosina 1999–2000 (Tomppo ym. 2001). Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää MELA-ohjelmiston avulla Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1999–2008 sekä niitä vastaava hakkuumahdollisuuksien ja metsävarojen ehdollinen kehitys kahdelle seuraavalle kymmenvuotiskaudelle.

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

Taulukko 1. Etelä-Savon 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⁾ (1966)	VMI6 ²⁾ (1971–1972)	VMI7 ³⁾ (1979)	VMI8 ⁴⁾ (1988)
Metsämaa				
Pinta-ala, 1 000 ha	770	805	805	811
Metsä- ja kitumaa				
Pinta-ala, 1 000 ha	819	832	825	828
Tilavuus, m ³ /ha	103,7 ⁵⁾	103,8	119,4	129,4
Kasvu, m ³ /ha/v	4,8 ⁵⁾	4,5	5,3	6,1
Hakkuusuunnitteen käyttöpuosa, milj. m ³ /v	3,9 ⁵⁾	3,8	4,0	-
Suurimman kestävän hakkuukertymän arvio, milj. m ³ /v	-	-	-	4,3 ⁶⁾
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	5,0 ⁵⁾	4,9	5,4	6,1 ⁶⁾

¹⁾ Kuusela ja Salovaara (1968)

²⁾ Kuusela ja Salovaara (1974a)

³⁾ Kuusela ja Salminen (1980)

⁴⁾ Salminen (1993)

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

⁶⁾ Salminen ja Salminen (1998)

Taulukko 2. Itä-Savon 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⁾ (1966)	VMI6 ²⁾ (1973)	VMI7 ³⁾ (1979)	VMI8 ⁴⁾ (1988)
Metsämaa				
Pinta-ala, 1 000 ha	503	509	517	497
Metsä- ja kitumaa				
Pinta-ala, 1 000 ha	517	519	529	513
Tilavuus, m ³ /ha	101,5 ⁵⁾	109,1	117,0	131,0
Kasvu, m ³ /ha/v	5,0 ⁵⁾	4,8	5,2	5,7
Hakkuusuunnitteen käyttöpuosa, milj. m ³ /v	2,5 ⁵⁾	2,6	2,6	-
Suurimman kestävän hakkuukertymän arvio, milj. m ³ /v	-	-	-	2,7 ⁶⁾
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	5,2 ⁵⁾	5,4	5,5	6,2 ⁶⁾

¹⁾ Kuusela ja Salovaara (1968)

²⁾ Kuusela ja Salovaara (1974b)

³⁾ Kuusela ja Salminen (1980)

⁴⁾ Salminen (1993)

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

⁶⁾ Salminen ja Salminen (1998)

2000a), Hämeen-Uudenmaan (Nuutinen ja Hirvelä 2000b) ja Pirkanmaan (Nuutinen ja Hirvelä 2000c) metsäkeskusten sekä Ahvenanmaan maakunnan (Hirvelä ja Härkönen 1999) alueelle.

Aiemmin esitetyissä hakkuumahdollisuusarvioissa säästöpuut on otettu huomioon vähentämällä uudistushakkuissa hehtaarikohtaisesta hakkuukertymästä viisi kuutiometriä, koska MELA-ohjelmiston luonnonprosessimallit (Hynynen ym. 2000) eivät sellaisenaan sovellu pystyyn jätettävien säästöpuiden simulointiin (Hynynen 1998). Laskelmissa ei siis ole otettu huomioon säästöpuiden mahdollista vaikutusta taimikon tulevaan kehitykseen (Valkonen 2000).

Tässä tutkimuksessa laskelmissa jätettiin uudistusaloille säästöpuita pystyyn. Hakkuumahdollisuuksia tarkasteltiin hakkuumahdon ja suurimman kestävän hakkuumäärän avulla. Nämä hakkuulaskeumat eivät olleet toteuttamishoelmaksi tarkoitettuja. Tulokset esitetään puuntuotantoon käytettävissä olevalle metsä- ja kitumaalle ellei toisin mainita. Tuloksia verrattiin vuosien 1994–1998 keskimäärin toteutuneisiin hakkuisiin ja niitä vastaavaan metsien kehitykseen sekä VMI-hakkuuehdotusten perusteella inventointia seuraavalle kymmenvuotiskaudelle simuloituihin hakkuumahdollisuuksiin. Lisäksi tarkasteltiin puuntuotannon rajoitusten, säästöpuiden uudistusosalalle jättämisen sekä laskelmissa sovelletun korkokannan ja lopputilarajoitteen vaikutusta hakkuumahdollisuusarvioihin.

2 Aineisto

Tutkimuksessa käytettiin vuosina 1999–2000 mitattuja Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen VMI9:n koeala- ja puutietoja (Valtakunnan metsien ... 1999). VMI9-koeala oli ympyrä, jonka säde määräytyi metsä- tai kitumaalta relaskoopilla (kertoimella 2) luetun suurimman puun läpimitan perusteella. Säde oli kuitenkin korkeintaan 12,52 m (Valtakunnan metsien ... 1999). Jos koealaympyrä ei mahtunut kokonaan samalle kuviolle, koeala jaettiin osiin. Kuviota, jolle koealan keskipiste osui, nimitettiin keskipistekuvioksi ja muita kuvioita sivukuvioksi. Tutkimukseen valittiin metsä- ja kitumaan koealat puuttomia sivukuviota lukuun ottamatta (yhteensä 5 106 koealakuvioita).

VMI9-metsävaratulosten mukaan Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen metsä- ja kitumaan pinta-ala oli yhteensä 1,25 miljoonaa hehtaaria, puuston tilavuus 169,8 miljoonaa kuutiometriä (136 m³/ha) ja puuston kasvu inventointia edeltäneellä viiden vuoden jaksolla keskimäärin 7,4 miljoonaa kuutiometriä (5,9 m³/ha) vuodessa (Tomppo ym. 2001). Kuusen rinnankorkeusläpimitan kasvuindeksit olivat 9. inventoinnin kasvunlaskentajaksolla pitkän ajan keskiarvotason alapuolella (Tomppo ym. 2001). Alueen metsä- ja kitumaan pinta-alasta (taulukko 3) oli laskelma-aineistossa puuntuotannon ulkopuolella (taulukko 4) 29 200 hehtaaria, jota vastaava puuston tilavuus oli 4,3 miljoonaa kuutiometriä.

Taulukko 3. VMI9-maastoaineistosta muodostetun laskelma-aineiston mukaiset käsittelyluokkien pinta-alat ja puuston tilavuudet Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.

Käsittelyluokka	Metsämaa	Kitumaa	Yhteensä	Osuus, %
Pinta-ala, 1 000 ha				
Ensisijaisesti puuntuotanto	1175,6	- ¹⁾	1175,6	94,3
Rajoitettu puuntuotanto	25,9	15,9	41,7	3,3
Puuntuotannon ulkopuolella	24,8	4,5	29,2	2,3
Yhteensä	1226,3	20,3	1246,6	100,0
Tilavuus, milj. m ³				
Ensisijaisesti puuntuotanto	160,5	- ¹⁾	160,5	94,5
Rajoitettu puuntuotanto	4,6	0,5	5,1	3,0
Puuntuotannon ulkopuolella	4,0	0,2	4,3	2,5
Yhteensä	169,1	0,7	169,8	100,0

¹⁾ Kitumaat ovat joko rajoitetussa puuntuotannossa tai puuntuotannon ulkopuolella.

3 Menetelmät

3.1 Laskelmakehikko

Hakkuulaskelmat tehtiin MELA-ohjelmiston vuoden 2000 julkistusversiolla (Nuutinen 2001), jota varten luonnonprosessimalleihin oli tehty tekninen korjaus säästöpuiden simulointia varten (Härkönen 2001). Hakkuulaskelmia varten ohjelmistoon oli lisätty tukkitilavuuden puulajikohtainen kalibrointi.

Laskelmissa oli neljä vaihetta (kuva 1):

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

Tarkastelualueen hakkuumäärät, puuston kehitys ja esimerkiksi keskimääräiset korjuukustannukset 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.

3.2 Laskelma-aineiston muodostus

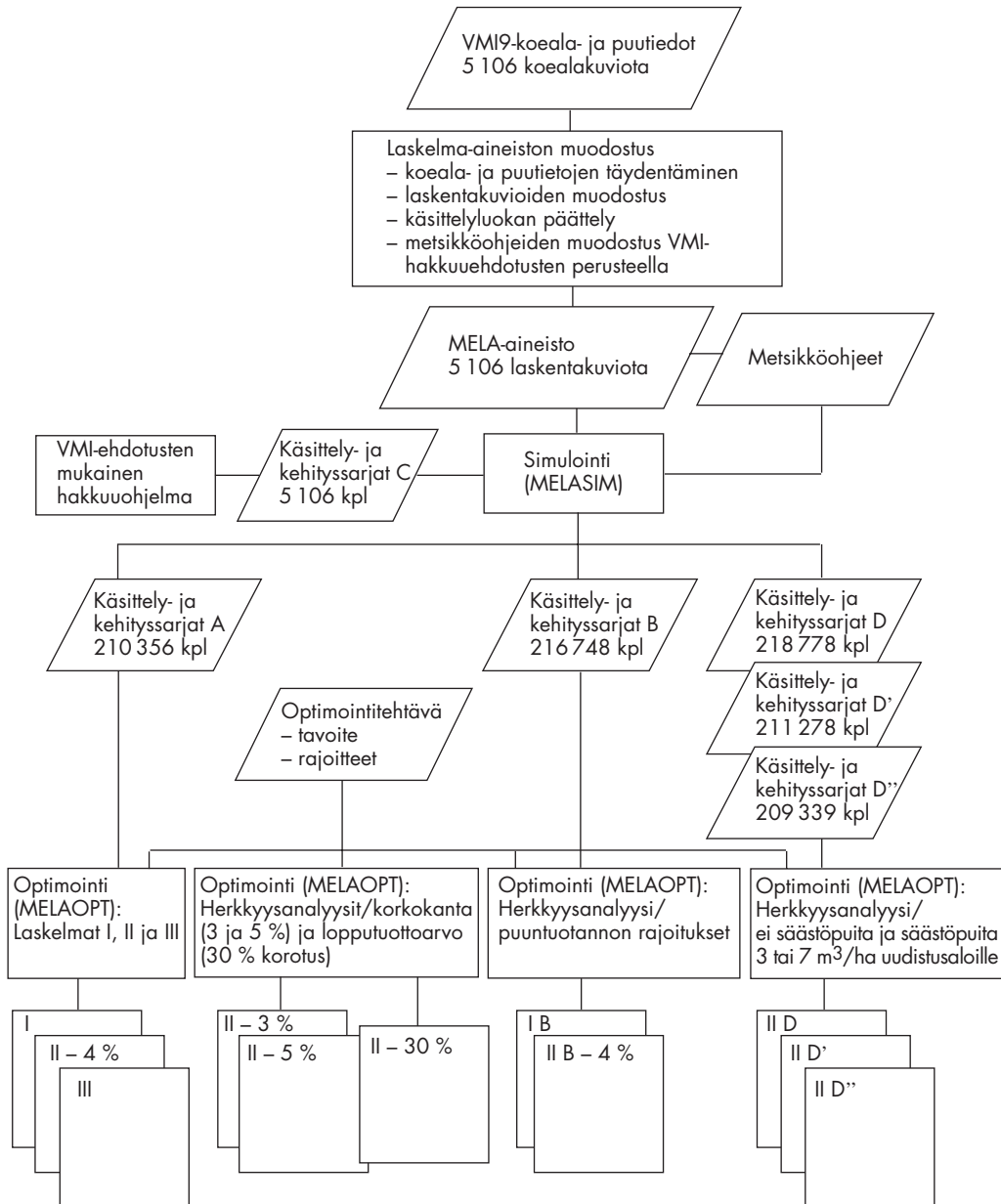
Laskelma-aineiston muodostuksen vaiheet olivat:

- 1) VMI9:n koealatietojen täydentäminen MELA-koealatiedoiksi sekä luku- ja koeputietojen MELA-kuvauspuutiedoiksi (ks. Siitonen ym. 1996, s. 263)
- 2) VMI9-koealojen yhdistäminen laskentakuvioiksi
- 3) käsittelyluokan päättely VMI9-kuviotietojen perusteella ja
- 4) metsikköohjeiden muodostus VMI:n maastotöiden yhteydessä tehtyjen hakkuuehdotusten simuloimiseksi laskentakuvioille.

Ensimmäisessä vaiheessa VMI9-lukupuille ennustettiin puuttuvat MELA-kuvauspuutiedot puukohdaintaisten 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. Kuhkan laskentakuvioon yhdistettiin koealan lisäksi kahdesta viiteen puustoa ja kasvupaikatunnuksiltaan vastaavaa koealaa Etelä-Savon metsäkeskuksen alueelta. Koealojen yhdistelyssä käytetyt kuviokohtaiset tunnuksot olivat maaluokka, kasvupaikkatyyppi, puuston pohjapinta-ala, kehitysluokka, puuston keskiläpimitta, vallitseva puulaji, puuston biologinen ikä, kasvupaikan päättelytyppi (alaryhmä) ja vallitsevan puulajin osuus. Yhdisteltävät koealat valittiin koealatunnusten sijasta VMI:ssä arvioitua koko metsikkökuviota koskevien tunnusten perusteella, jotta koealat kuvaisivat metsikkökuvion sisäistä vaihtelua.

Kolmannessa vaiheessa tavoitteena oli määrittää laskentakuvioille luonnonsuojelu- ja metsälakien sekä metsänkäsittelysuositusten mukaiset käsittelyrajoitukset. Rajoitusten kuvaamiseksi laskentakuviot jaettiin kolmeen käsittelyluokkaan: ensisijaisesti puuntuotannossa, rajoitetussa puuntuotannossa ja puuntuotannon ulkopuolella oleviin. Jako perustui Suojelupinta-alaprojektin tekemään suojelupinta-alaluokitukseen (Metsien suojelupinta-alat 1999) ja se tehtiin VMI9-koealatietojen perusteella. Puuntuotannon ulkopuolella olivat mm. luonnon- ja kansallispuistot sekä luonnonsuojelulain nojalla rauhoitetut alueet (taulukko 4). Luokitusta täydennettiin rajaamalla puuntuotannon ulkopuolelle ne avainbiotooppikohteet, 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... 1999). Avainbiotooppikohteiden alueellista yleisyyttä ei arvioitu maastossa. Jos avainbiotooppiesiintymä käsitti vain osan kuviosta, vaadittiin lisäksi, että avainbiotooppiesiintymän piti olla laajuudeltaan vähintään puolet avainbiotoopin arvioinnista käytetyn 30 metrin säteisen ympyrän pinta-alasta. Jos laskentakuvioilla ei ollut muita käsittelyrajoituksia, metsämaan laskentakuvio luokiteltiin maaluokan perusteella ensisijaisesti puuntuotantoon ja kitumaan laskentakuvio rajoitettuun puuntuotantoon.



Kuva 1. Laskennan vaiheet.

Neljännessä vaiheessa tavoitteena oli määrittää laskentakuvioille metsikkösimulaattoria varten metsikköohjeet, joiden perusteella VMI:n maastoehdotusten mukaiset hakkuut voitiin simuloida. Jokaiselle laskentakuvioille määriteltiin jokin hakkuutapah-

tuma (pohjapinta-ala- tai runkolukuharvennus, avo-, siemenpuu- tai suojuspuuhakkuu, ylispuiden poisto, taimikonhoito) tai lepo, jos vastaavalle metsikkökuvioille ei ollut maastossa tehty hakkuuehdotusta.

Taulukko 4. 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 lukuun ottamatta rantojen-, harjujen- ja lintuvesien suojeluohjelmia			
– suojeluohjelmiin kuuluvat valtion maat			x
– suojeluohjelmiin kuuluvat yksityismaat			x
Yksityismaiden lakisääteiset luonnon-suojelualueet, 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 metsätalouskäytön ulkopuolella olevat alueet		x	
Seutukaavan suojeluun varatut alueet valtion mailla		x	
Metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt	x	x	
Luonnonsuojelulain perusteella suojellut luontotyypit			x
Valtion retkeilyalueet			x
Metsähallituksen ja kuntien virkistysmetsät			x
Metsähallituksen			
– ojitusrauhoidusalueet			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)

3.3 Käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi

Laskentakuvioiden käsittely- ja kehityssarjat tuotettiin puukohtaisiin malleihin perustuvalla MELA-ohjelmiston metsikkösimulaattorilla (Hynynen 1998, Siitonen ym. 1999, Nuutinen 2001).

MELA-ohjelmistossa luonnonprosessimalleina (Hynynen ym. 2000) käytettiin Ojansuun ym. (1991) metsien uudistumiseen ja puuston kehitykseen, Ojansuun (1996) kasvupaikan kuvaukseen, Hynynen (1996) puuston kasvuun ja luonnonpoistumaan sekä Hökän (1996, 1997) suometsien kasvuun liittyvien mallien uusimpia versioita (Hökkä ym. 1997, Hökkä ym. 2000, Nuutinen ym. 2000).

Kivennäismaiden luonnonprosessimalleissa (Hynynen ym. 2000) taimikoiden vastemuuttujien laskennassa otetaan huomioon valtapaat, joita voivat olla mm. mahdolliset uudistusaloille jätetyt säästöpuut. Hynynen (1998) mukaan on todennäköistä, että säästöpuiden vaikutus taimikon kehitykseen kuvautuu loogisesti ja oikean suuntaisena. Sen sijaan säästöpuiden vaikutuksen suuruudesta ei ole tutki-
mustietoa, koska säästöpuut puuttuvat mallien laadinta-aineistosta. MELA2000-versiossa vastemuuttajat lasketaan erikseen taimikolle, jos uudistusalalla on taimikkoa isompi säästöpuujakso (Härkönen 2001).

Mallien ennustama kasvu oli korjattu vastaamaan puuston keskimääräistä kasvuntasoa viimeisen 30 vuoden aikana (Hynynen ym. 2000). Tasokorjaus oli tehty kasvuindeksien avulla.

Käsittelyt perustuivat Metsätalouden kehittämisskeskus Tapion metsänkäsittelysuositukseen vuodelta 1994 (Luonnonläheinen metsänhoito 1994). Hakkuuvaihtoehtoina olivat runkolukuun ja pohjapinta-alaan perustuvat harvennukset, avohakkuut, siemenpuuhakkuut (mänty- ja koivuvaltaiset), suojuspuuhakkuut (kuusivaltaiset) sekä ylispuiden poisto.

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

Taulukko 5. Vuosina 1989–1998 Etelä-Suomessa toteutuneiden hankintahintojen vuoden 1998 hintatasolla lasketut keskiarvot (mk/m³) puutavaralajeittain (Metsätilastollinen vuosikirja 1999).

	Tukkipuu	Kuitupuu
Mänty	267	162
Kuusi	223	186
Koivu	265	165

pohjapinta-alavaatimuksen vasta 10-vuotiskauden jälkimmäisellä puoliskolla.

Laskelmissa sallittuja metsänkäsittelyjä olivat hakkuiden lisäksi säästöpuiden jättäminen uudistusaloille, metsänuudistamiseen liittyvä raivaus, maanpinnan käsittely ja viljely sekä taimikonhoito. Tavoiteltava säästöpuiden määrä oli viisi kuutiometriä hehtaarilla (ks. Kotiharju ja Niemelä 2000). Säästöpuut oletettiin jätetyksi tasaisesti koko uudistus-alueelle. Ojitetuilla turvemaidilla 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. 2001) laskennassa.

Nettotulojen nykyarvon laskenta perustui tienvarsihintoihin. Tukkipuiden tienvarsihintoihin tehtiin MELA-ohjelmiston oletusjäreysskorjaus (Siitonen ym. 1996, s. 218–219, Laasasenaho ja Sevola 1971),

Taulukko 6. Laskelmissa sovelletut korjuun yksikköhinnat.

Työlaji	Yksikköhinta, mk/h
Metsäkuljetus	280
Hakkuu monitoimikoneella	420
Metsurihakkuu	120

jota on käytetty myös aikaisemmissa VMI9-aineistoon perustuvissa hakkuulaskelmissa (Hirvelä ym. 1998, Hirvelä ym. 1999, Hirvelä 1999, Hirvelä 2000, Nuutinen ja Hirvelä 2000a, Nuutinen ja Hirvelä 2000b, Nuutinen ja Hirvelä 2000c). 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 1989–1998 Etelä-Suomessa toteutuneiden hankintahintojen (Metsätilastollinen vuosikirja 1999) vuoden 1998 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 aina edullisimman (kustannuksiltaan halvimman) korjuuvaihtoehdon (metsurihakkuun tai hakkuun monitoimikoneella). Metsänhoitotöiden kustannukset laskettiin työmäärien ja vuosina 1989–1998 toteutuneiden keskimääräisten, vuoden 1998 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 mäntyäkin kuorellisena minimiläpimittana 14,5 cm, kuusitukin 17,0 cm ja lehtipuutukin 16,5 cm sekä kuitupuun kuorellisena minimiläpimittana männyllä 6,3 cm ja kuusella sekä lehtipuilla 6,5 cm. Kuituosan minimipituutena oli käytetty 2,0 m. Minimimitat eivät täysin vastanneet niitä mittoja, joiden perusteella VMI9:ssä pys-

Taulukko 7. Metsänhoitotöiden vuosina 1989–1998 toteutuneet keskimääräiset yksikköhinnat vuoden 1998 hintatasoon muutettuna (Metsätilastollinen vuosikirja 1999).

Työlaji	Yksikkö	Yksikköhinta
Raivaus	mk/ha	380
Äestys	mk/ha	730
Auraus/mätästys	mk/ha	1050
Männyn kylvö	mk/ha	985
Männyn taimi	mk/taimi	0,50
Kuusen taimi	mk/taimi	0,85
Koivun taimi	mk/taimi	1,15
Männyn täydennystaimi	mk/taimi	0,85
Kuusen täydennystaimi	mk/taimi	0,95
Koivun täydennystaimi	mk/taimi	1,50
Ruohous	mk/ha	525
Taimikon perkaus	mk/ha	1050
Kunnostusojitus	mk/100 m	210
Metsänhoitotyö	mk/h	90
Hakkuutyö	mk/h	120

typuusto on jaettu puutavaralajeihin (Valtakunnan metsien ... 1999). Koska rungon mittoihin perustuva apteeraus ei ota huomioon puutavaran laatuun liittyviä tekijöitä, tukkipuun määrää korjattiin metsikkösimulaattorissa erillisellä tukkivähennysmallilla VMI7:n pystyyn apteerattujen koepuiden tasolle (Ojansuu ym. 1991). Erotus siirtyi kuitupuuksi.

VMI9-metsävaratulosten mukaan tukkipuun osuus puuston runkotilavuudesta metsä- ja kitumaalalla oli keskimäärin 40 prosenttia (Tomppo ym. 2001). Koska tukkipuun määritysmenetelmästä ja erilaisista apteerausohjeista johtuen vastaava tukkiosuus MELA-laskelmissa olisi ollut VMI7:ään perustuvan korjauksen jälkeen keskimäärin yliarvio (tukkiosuus 44 prosenttia), VMI7:n tukkivähennysmallin avulla saatua tukkipuun kokonaismäärää kalibroitiin puulajikohtaisilla tasokertoimilla vastaamaan laskelmien alkuhetkellä VMI9:ssä arvioituja tukkiosuuksia puulajeittain. Männyn tukkiosuus oli 45, kuusen 47, koivun 20 ja muiden lehtipuiden 6 prosenttia tilavuudesta (Tomppo ym. 2001).

3.4 Optimointi

Hakkuulaskelmien tavoitteena oli havainnollistaa Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen hakkuumah-

dollisuuksia ja verrata niitä viime vuosina keskimäärin toteutuneisiin hakkuusiin.

Kaikissa laskelmissa valittiin lineaarisen optimoinnin tavoitefunktioiksi nettotulojen nykyarvon maksimointi, jolloin toiminnan kannattavuusvaatimus 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 metsänkäsitelysuositusten 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.

Toisen laskelman tavoitteena oli määrittää suurin jatkuvasti hakattavissa oleva hakkuukertymä. Suurimman kestävän 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 alkuhetken tasolla.

Kolmannessa laskelmassa tavoitteena oli havainnollistaa, miten metsävarat kehittyisivät, jos hakkuut jatkuvat viime vuosien keskimääräisellä tasolla. Myös hakkuulaskelmassa III (vuosien 1994–1998 keskimääräinen kertymätaaso) maksimoitiin nettotulojen nykyarvoa neljän prosentin korkokannalla. Kertymätaaso haettiin käyttämällä optimoinnissa ra-

joitteena vuosina 1994–1998 keskimäärin toteutuneita puutavaralajeittaisia hakkuukertymiä (Metinfo 1999). 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 sekä puuston lopputuottoarvoa koskevan rajoitteen suhteen. Jälkimmäisessä tehtiin laskelma, jossa neljän prosentin korolla lasketun puuston tuottoarvon laskelmakauden lopussa tuli olla vähintään 30 prosenttia korkeampi kuin tuottoarvon laskelmakauden alussa.

Puuntuotannon rajoitusten vaikutusta hakkuulaskelmiin tarkasteltiin simuloimalla Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen 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 maalukan perusteella tehtyä käyttörajoitusta (kaikki metsämaat ensisijaisesti puuntuotannossa ja kitumaat rajoitetussa puuntuotannossa). Tälle käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukolle laskettiin hakkuumahtoa (laskelma I) ja suurimman kestävän hakkuumäärän arviota (laskelma II) vastaavat tuotanto-ohjelmat.

Hakkuulaskelmatulosten vertailemiseksi VMI:n hakkuuehdotusten mukaisten hakkuuiden kanssa laskentakuvioille simuloitiin maastossa metsikkökuvioille tehtyjen hakkuuehdotusten mukainen käsittely (kuva 1, käsittely- ja kehityssarjat C). Hakkuuiden minimikertymätasoa alennettiin hakkuuiden simuloinnin varmistamiseksi. Yhden kymmenvuotiskauden käsittävässä simuloinnissa VMI:n ehdotetut hakkuut toteutettiin kymmenvuotiskauden puolivälissä riippumatta ehdotetun hakkuun arvioidusta ajankohdasta (toimenpide jo viivästynyt, ensimmäinen viisivuotiskausi tai jälkimmäinen viisivuotiskausi).

Säästöpuiden vaikutusta tarkasteltiin simuloimalla laskentakuvioille kolme uutta käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukkoa (kuva 1, käsittely- ja kehityssarjat D, D' ja D''). Ensimmäisessä uudistusaloil-

le ei jätetty säästöpuita. Toisessa tavoiteltava säästöpuiden määrä oli kolme kuutiometriä hehtaarilla ja kolmannessa seitsemän kuutiometriä hehtaarilla. Kaikille käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukoille laskettiin suurimman kestävän hakkuumäärän arviota (laskelma II) vastaava tuotanto-ohjelma.

4 Tulokset

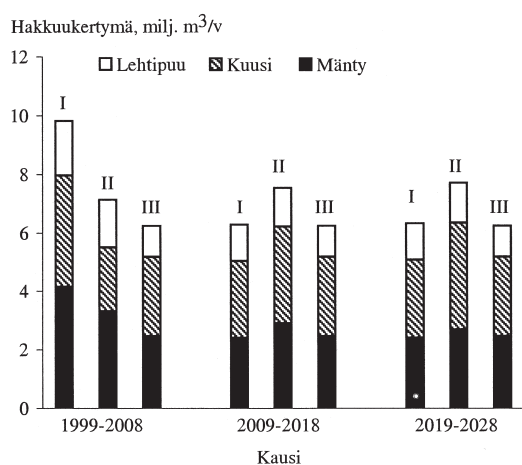
4.1 Toteutuneiden hakkuuiden mukainen hakkuukertymä

Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen metsistä hakattiin vuosina 1994–1998 keskimäärin 6,2 miljoonaa kuutiometriä käyttöpuuta vuodessa. Käyttöpuu sisälsi markkinahakkuuiden ja piensahojen käyttämän puun lisäksi teollisuuden ainespuun mitat täyttävän osan polttopuusta. Vuosien 1994–1998 kertymästä oli mäntyä 39, kuusta 43 ja lehtipuuta 17 prosenttia. Tukkipuukertymä vuosina 1994–1998 oli keskimäärin 3,4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta kuusen osuus oli lähes puolet.

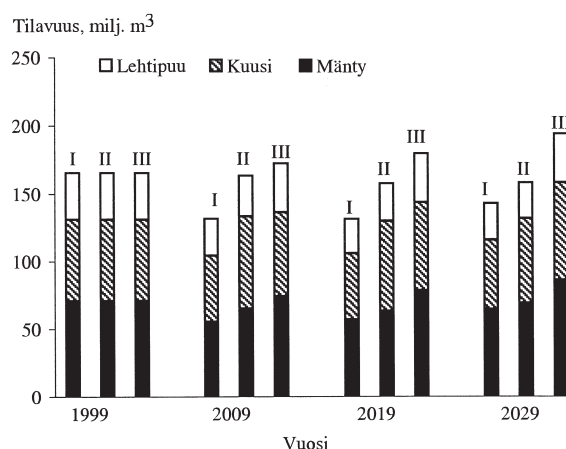
Jos hakkuut säilyisivät vuosien 1994–1998 keskimääräisellä tasolla (kuva 2, hakkuulaskelma III), puuvarannon arvioidaan karttuvan puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla 0,9 miljoonan kuutiometrin vuosivauhdilla (kuva 3). Vastaavalla alueella malleilla lasketun puuston kasvun (kuva 4) arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja sen ennakoitaan nousevan 8,7 miljoonan kuutiometrin tasolle kolmannella kymmenvuotiskaudella. Koko metsä- ja kitumaan alueella puuston vuotuisen kasvun arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

4.2 Hakkuumahto

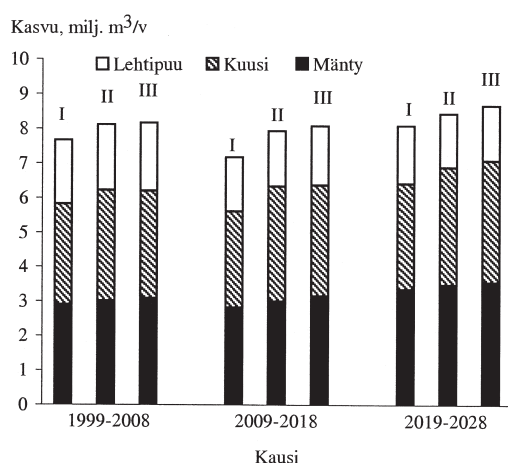
Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänkäsittelysuositusten (Luonnonläheinen metsänhoito 1994) perusteella hakkuukypsää ja hakkuukypsäksi tulevaa puuta (hakkuumahto) riittäisi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella hakattavaksi 9,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 2, hakkuulaskelma I)



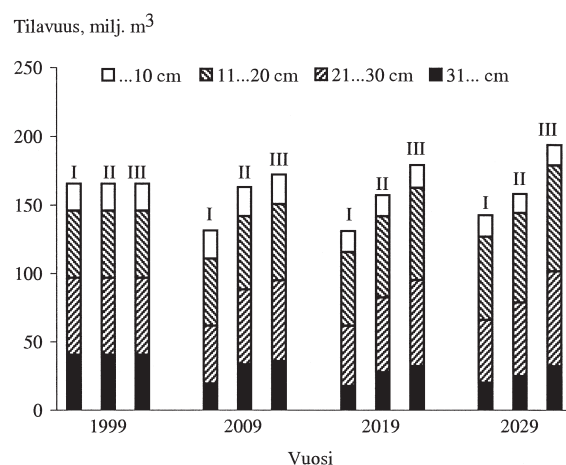
Kuva 2. Hakkuukertymä puulajeittain vuosina 1999–2028 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.



Kuva 3. Puuston tilavuus puulajeittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1999–2029 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.



Kuva 4. Puuston kasvu puulajeittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1999–2028 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.



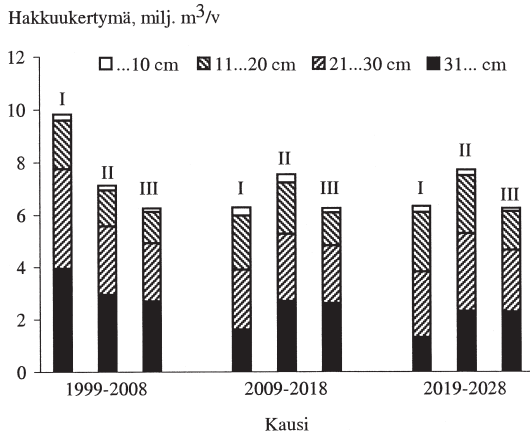
Kuva 5. Puuston tilavuus läpimittaluokittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1999–2029 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.

eli 1,6-kertaisesti vuosina 1994–1998 keskimäärin toteutuneisiin hakkuisiin verrattuna. Kertymästä olisi mäntyä 42, kuusta 39 ja lehtipuuta 19 prosenttia.

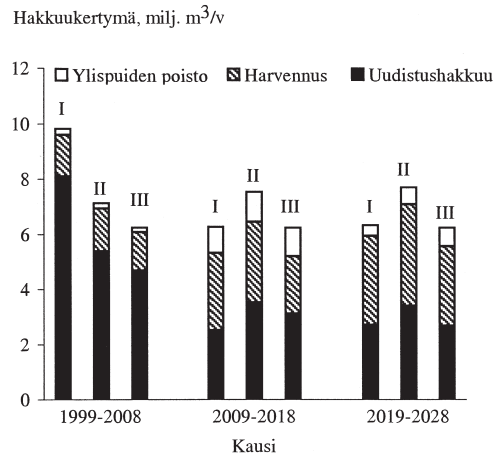
Hakkuumahdon kokonaan hakkaaminen kuitenkin pienentäisi puuvarantoa puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosikymmenessä 21 prosenttia nykyisestä (kuva 3). Toisella

kymmenvuotisjaksolla (vuosina 2009–2018) vuotuinen hakkuumahto olisi 6,3 miljoonaa kuutiometriä. Järeän puun (rinnankorkeusläpimitta yli 20 cm) varanto (kuva 5) supistuisi 36 prosenttia ja hakkuumahdollisuudet (kuva 6) 50 prosenttia ensimmäiseen kymmenvuotisjaksoon verrattuna.

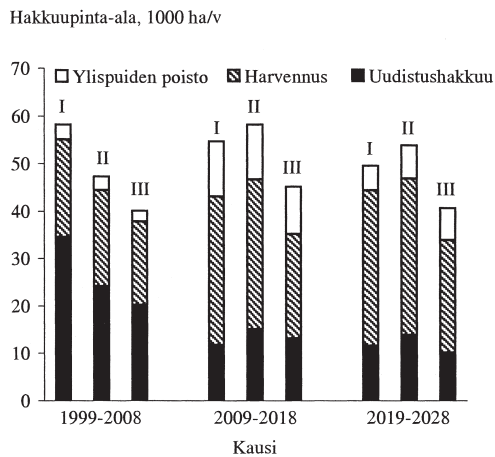
Hakkuumahdon mukaisesti toimittaessa harven-



Kuva 6. Hakkuukertymä läpimittaluokittain vuosina 1999–2028 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.



Kuva 7. Hakkuukertymä hakkuutavoittain vuosina 1999–2028 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.



Kuva 8. Hakkuupinta-alat hakkuutavoittain vuosina 1999–2028 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.

nushakkuuden osuus kertymästä vuosina 1999–2008 olisi 15 prosenttia ja koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana keskimäärin 34 prosenttia (kuva 7). Kokonaishakkuuala olisi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 58 200 hehtaaria (kuva 8) ja keskimääräinen korjuukustannus 49 mk/m³ (taulukko 7).

4.3 Suurin kestävä hakkuukertymä

Jos hakkuuta halutaan nykyisestään lisätä hakkuumahdollisuuksien kuitenkin vähentymättä tulevaisuudessa, osa nyt hakattavissa olevasta puustosta on säästettävä tuleville vuosikymmenille. Suurimman jatkuvasti hakattavissa olevan käyttöpuumäärän arvio on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 7,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja se lähestyy 7,7 miljoonan kuutiometrin tasoa kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana (kuva 2, hakkuulaskelma II).

Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman kestävä hakuu määrän arviosta on mäntyä 46, kuusta 31 ja lehtipuuta 23 prosenttia. Laskelmissa ei edellytetty puulajikohtaista kestävyttä. Kuisen osuuden arvioidaan nousevan kahden seuraavan kymmenvuotiskauden aikana. Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla suurimman kestävä hakuu määrän arviosta on mäntyä keskimäärin 40, kuusta 41 ja lehtipuuta 19 prosenttia.

Suurimman kestävä hakuu määrän arviota vastaava kokonaispoistuman arvio puuntuotantoon käytettävissä olevalle metsä- ja kitumaalle on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (taulukko 9). Kokonaispoistuma koostuu hakkuupoistumasta ja metsiin jäävästä luonnonpoistumasta. Hakkuupoistuma sisältää tuk-

Taulukko 8. Hakkuumahdollisuusarvioita kuvaavia keskimääräisiä tunnuksia puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla.

Tunnus	Vaihtoehto I	Vaihtoehto II	Vaihtoehto III
1999–2008			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	6,3	6,7	6,7
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	9,1	6,8	6,1
Korjuukustannus, mk/m ³	49	50	49
Hakkuukertymä, m ³ /ha	169	151	155
2009–2018			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	5,9	6,5	6,6
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	5,9	7,0	6,0
Korjuukustannus, mk/m ³	58	54	49
Hakkuukertymä, m ³ /ha	115	129	138
2019–2028			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	6,6	6,9	7,1
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	5,7	6,9	5,9
Korjuukustannus, mk/m ³	57	52	49
Hakkuukertymä, m ³ /ha	127	143	154

ki- ja kuitupuun, hakkuiden yhteydessä hakkuutähteenä metsään jäävän kuitupuun minimimittoja pienemmän runkopuun sekä raivauksessa ja taimikonhoidossa metsään jäävän runkopuun. Malleilla laskettu puuston kasvun arvio on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 4). Toisella kymmenvuotiskaudella hakkuita vastaava kokonaispoistuman ehdollinen ennuste on 8,5 ja kasvun 7,9 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja kolmannella kaudella vastaavasti 8,4 ja 8,4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Kokonaispoistuma on siis kahdenkymmenen vuoden ajan suurempi kuin kasvu. Koko metsä- ja kitumaan alalla puuston kasvun arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 8,3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

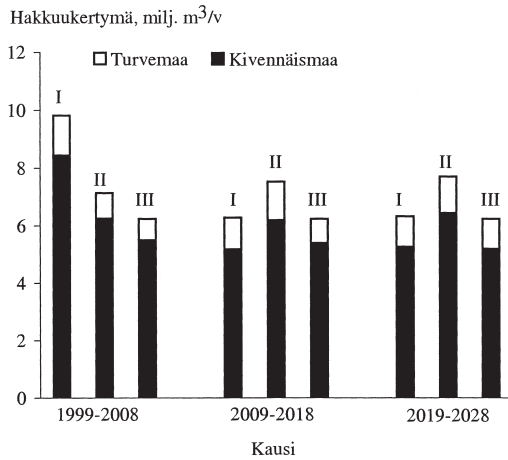
Jos hakkuut noudattaisivat suurimman kestävän hakkuumäärän arviota, puuvaranto pienenesi puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla prosentoin nykyisestä tasosta vuosikymmenessä ja 4 prosenttia koko kolmen vuosikymmenen tarkastelujakson aikana (kuva 3). Järeän (rinnan korkeusläpimitta yli 20 cm) puun varanto pienenesi vajaalla viidenneksellä kolmen vuosikymmenen aikana (ku-

Taulukko 9. Poistuma- ja kasvuarvion rakenne (milj. m³/vuosi) puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1999–2008. Laskelmissa ei ole edellytetty puulajikohtaista kestävyttä, joten puulajien osuudet saattavat vaihdella huomattavasti eri kymmenvuotiskausilla. Tukkipuun määrä on kalibroitu vastaamaan VMI9:ssä arvioitua tukkipuun määrää (ks. luku Käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi).

Tunnus	Vaihtoehto I	Vaihtoehto II	Vaihtoehto III
Kokonaispoistuma	11,07	8,34	7,48
Mänty	4,44	3,60	2,75
Kuusi	4,03	2,39	2,90
Koivu	2,02	1,80	1,40
Muu lehtipuu	0,59	0,56	0,42
Hakkuupoistuma	10,22	7,47	6,53
Hakkuukertymä	9,81	7,13	6,24
Tukkikertymä	5,33	3,75	3,41
mäntytukki	2,47	1,99	1,40
kuusitukki	2,38	1,34	1,68
koivutukki	0,45	0,40	0,31
muu lehtipuutukki	0,03	0,03	0,01
Kuitupuukertymä	4,48	3,37	3,41
mäntykuitu	1,67	1,32	1,06
kuusikuitu	1,43	0,85	1,03
koivukuitu	1,11	0,95	0,62
muu lehtipuukuitu	0,27	0,24	0,12
Hakkuutähde	0,41	0,34	0,29
Luonnonpoistuma	0,85	0,88	0,94
Kasvu	7,66	8,11	8,15
Mänty	2,89	3,01	3,08
Kuusi	2,92	3,20	3,11
Koivu	1,45	1,48	1,53
Muu lehtipuu	0,41	0,41	0,42

va 5). Laskelman mukainen hakkuuohjelma johtaisi keskitilavuuden alenemiseen kuudella m³/ha kolmen vuosikymmenen kuluessa.

Suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa tukkipuukertymän arvioidaan olevan vajaa 3,8 miljoonan kuutiometrin vuositasona kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana. Järeimmän (rinnan korkeusläpimitta yli 30 cm) puun osuus hakkuumahdollisuuksista laskee hieman koko kolmenkymmenen vuoden ajan (kuva 6). Suurimman kestävän hakkuumäärän mukaisesta tukkipuukertymästä suurin osa on kuusitukkia, keskimäärin 49 prosenttia kolmen vuosikymmenen aikana. Kuusikuitupuun osuus kuitupuukertymästä on keskimäärin 33 pro-



Kuva 9. Hakkuukertymä kivennäis- ja turvemaiilla vuosina 1999–2028 laskelmissa I, II ja III Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella.

senttia. Mäntytukkipuun ja -kuitupuun vastaavat osuudet ovat 42 ja 37 prosenttia.

Harvennushakkuiden osuus kestävien hakkuumahdollisuuksien mukaisesta käyttöpöystä on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 22 prosenttia, josta se nousee kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana 48 prosenttiin (kuva 7). Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella kokonaishakkuuala on 47 300 hehtaaria vuodessa, josta harvennushakkuuta on 20 300 hehtaaria (kuva 8). Uudistushakkuiden osuus kokonaishakkuualasta on 51 prosenttia. Uudistamishakkuualasta vajaa puolet on luontaista uudistamista, lähinnä siemenpuuhakkuita. Ylispuiden poistoa on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 2 900 hehtaaria ja toisella kymmenvuotiskaudella 11 500 hehtaaria. Laskelmissa korjuukustannukset ovat keskimäärin 50 mk/m³ (taulukko 7). Keskimääräiset korjuukustannukset ovat uudistushakkuissa 45 mk/m³ sekä harvennushakkuissa ja ylispuiden poistossa 68 mk/m³.

Turvemaiden osuus kestävästä hakkuumahdollisuuksista on vuosina 1999–2028 keskimäärin 16 prosenttia (kuva 9). Suurimman kestävästä hakkuumäärän arvion mukaan toimittaessa turvemaiilla on vuosina 1999–2028 männyn hakkuukertymästä keskimäärin 15, kuusen 15, koivun 20 ja muiden lehtipuiden 10 prosenttia.

4.4 Herkkyysanalyysit

Hakkuulaskelma II oli herkkä korkokannan muutokselle. Viiden prosentin korkokannalla laskettu hakkuumäärän arvio on kolmen vuosikymmenen aikana vajaa kolme prosenttia korkeampi kuin neljän prosentin korkokannalla laskettu ja puuston keskitilavuus alenee 13 m³/ha. Kolmen prosentin korkokannalla laskettu vuotuisen hakkuumäärän arvio jää kolmen vuosikymmenen aikana 8 prosenttia alemmalle tasolle kuin neljän prosentin korkokannalla laskettu ja puuston keskitilavuus kohoaa 14 m³/ha.

Lopputuottoarvorajoite hakkuulaskelmassa II ei ole sitova: tuottoarvo laskelmakauden lopussa on 13 prosenttia korkeampi kuin alussa. Kun hakkuulaskelman II lopputuottoarvorajoitetta nostetaan 30 prosentilla, hakkuukertymä jää 4 prosenttia alemmalle tasolle kuin alkuperäisessä laskelmassa ja puuston keskitilavuus kohoaa 36 m³/ha viiden vuosikymmenen kuluessa.

Puuntuotannon rajoitusten poistaminen lisäsi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman kestävästä hakkuumäärän arviota 2,5 ja hakkuumahdottoa 4,3 prosenttia. Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla vastaavan lisäyksen ennakoidaan olevan suurimman kestävästä hakkuumäärän arviossa 2,8 ja hakkuumahdossa 2,7 prosenttia.

Inventointia seuraavalle kymmenvuotiskaudelle VMI:n maastotöiden yhteydessä tehtyjen hakkuuehdotusten perusteella simuloitu hakkuukertymä oli 8,4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta harvennusten osuus oli 38 prosenttia. Hakkuukertymästä oli mäntyä 41, kuusta 36 ja lehtipuuta 23 prosenttia. Tukkipuukertymä oli 4,0 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, josta männyn osuus oli 46 prosenttia. Hakkuukertymää vastaava hakkuuala oli 56 300 hehtaaria vuodessa, josta harvennuksia oli 31 600 hehtaaria.

Säästöpuiden (viisi m³/ha) uudistusaloille jättäminen vähensi suurimman kestävästä hakkuumäärän arviota ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 0,24 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, mikä on enemmän kuin säästöpuuna uudistusaloille jäävän puuston määrä (0,14 miljoonaa kuutiometriä vuodessa). Jos säästöpuuta jätettäisiin uudistusaloille keskimäärin kolme kuutiometriä hehtaarille, suurimman kestävästä hakkuumäärän arvio pienenesi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 0,18 miljoonaa kuutio-

metriä vuodessa eli 2,3-kertaisesti uudistusaloille säästöpuuna jäävän puuston määrä (0,08 miljoonaa kuutiometriä vuodessa). Jos säästöpuuta jätettäisiin uudistusaloille keskimäärin seitsemän kuutiometriä hehtaarille, suurimman kestävän hakkuumäärän arvio pienenesi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 0,33 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Säästöpuuta uudistusaloille jäisi 0,2 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla suurimman kestävän hakkuumäärän arvio on säästöpuuta sisältävissä laskelmissa kahdesta neljään prosenttia pienempi kuin ilman säästöpuuta tehdyssä laskelmassa.

5 Tulosten tarkastelu

Laskelmissa sovellettu käsittelyluokitus ei täysin vastaa Suojelupinta-alaprojektin (Metsien suojelupinta-alat 1999) luokitusta (Nuutinen ja Hirvelä 2000a).

Puuntuotannon rajoitusten vaikutuksia kokonaishakkuukertymään ei voi tulkita VMI6:n ja VMI7:n yhteydessä esitettyksi, lähinnä puuntuotannon ulkopuolelle jäävään puustoon ja sen kasvuun perustavaksi suojeluvähennykseksi. Optimoinnilla haetuisa tehokkaissa tuotanto-ohjelmissä hakkuumahdollisuudet riippuvat aina puuntuotantoon käytettävissä olevien metsien rakenteesta. Siten puuntuotannon rajoitusten kohteena olevien metsien rakenne heijastuu rajoitusten vaikutuksiin. Etelä-Savon metsäkeskuksen alueella puuntuotannon rajoitusten välitön vaikutus suurimman kestävän hakkuumäärän arvioon ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella on hieinan pienempi kuin kolmenkymmenen vuoden laskelmakaudella keskimäärin. Tämä viittaa siihen, että suojeltujen metsien rakenne on toisenlainen kuin esimerkiksi Pirkanmaan metsäkeskuksen alueella (Nuutinen ja Hirvelä 2000c), jossa välitön vaikutus on suurempi.

Jos puuntuotantoon käytettävissä olevien metsien määrä vähenee laskelmissa oletetusta, metsien hakkuumahdollisuudet pienenevät tässä esitetyistä.

Jos puuntuotannon metsien rakenne muuttuu, saattavat hakkuut – ja suojelun vaikutus – kohdentua määrällisesti ja rakenteellisesti eri tavalla.

Hakkuumahdollisuusarviot perustuvat oletuksiin,

että sekä puuston kasvuun vaikuttavat tekijät että puiden reagointi niihin eivät muutu. Laskelmissa oletettiin puiden kasvun säilyvän viimeisen 30 vuoden keskimääräisellä kasvuntasolla. Muutokset kasvuun vaikuttavissa tekijöissä ja puiden reagoinnissa kasvutekijöihin saattavat vaikuttaa puuston tulevan kasvun ennusteisiin ja sitä kautta hakkuumahdollisuusarvioihin.

Laskelmissa ei otettu huomioon metsiköiden sijaintia suhteessa toisiinsa, metsiköiden sijaintia suhteessa puun käyttöpiesteisiin eikä näiden vaikutusta puustamaksukykyyn tai puun kysyntään. Nämä tekijät yhdessä saattavat ratkaista sen, jääkö esimerkiksi osa ensiharvennuspuustoista todellisuudessa puuntuotannon ulkopuolelle. Laskelmissa I ja II harvennusten määrä oli huomattavasti pienempi kuin VMI:n maastossa tehtyihin hakkuuehdotuksiin perustuvassa laskelmassa. Osa metsänhoidon kannalta tarpeellisiksi todetuista ensiharvennuksista voi jäädä tekemättä, mikäli toiminnan kannattavuus ratkaisee hakkuiden kohdentumisen.

Laskelmissa I ja II keskimääräisten korjuukustannusten ennakoitaan nousevan ja keskimääräisen hehtaarikohtaisen hakkuukertymän laskevan tulevana vuosikymmeninä. Kummassakin laskelmassa keskimääräisen hakkuukertymän huomattava notkahdus alaspäin toisella kymmenvuotiskaudella johtuu osittain ensimmäisen kymmenvuotiskauden luontaisen uudistamisen hakkuita toisella kaudella seuraavista ylispuuhakkuista, joiden määrä nousee ensimmäisestä kymmenvuotiskaudesta lähes nelinkertaiseksi.

Kaikissa laskelmissa oletettiin, että päätehakkuiden jälkeen metsänuudistamisessa – luontaisesti, kylvään tai istuttaen – ei viivytellä. Taimikonhoitotyöt oletetaan tehtävän suosituksen mukaisesti. Metsien hakkuumahdollisuudet pienenevät tässä esitetyistä, jos metsänhoitotöissä viivytellään tai nuoret metsät jäävät hoitamatta.

Uudistamiseen liittyvät riskit eivät ole laskelmissa mukana. Esimerkiksi taimettumisen kannalta epävarma kuusen suojuspuuhakkuu saattaa laskelmien mukaan olla avohakkuuta ja kuusen viljelyä edullisempi uudistamistapa, koska viljelystä aiheutuvat välittömät kustannukset ovat suuremmat.

Säästöpuiden jättämisellä oli tuleviin hakkuumahdollisuuksiin suurempi vaikutus kuin säästöpuuna metsään jäävän puuston osuus hakkuukertymästä.

Säästöpuiden vaikutus olisi pienempi, jos säästöpuut olisi jätetty uudistusaloille ryhminä, jolloin niiden ylispuuvaikutus kasvavaan taimikkoon olisi vähentynyt (Valkonen 2000).

Koska säästöpuiden vaikutuksesta ympäröivän taimikon kasvuun ei ole tutkimustietoa, vastemuut-
tujen laskennan teknisen korjauksen avulla tehdyt herkkyysoanalyysit ovat vain oletuksiin perustuvia arvioita (Härkönen 2001). Vaikutuksen suunta on todennäköisesti oikea, mutta vaikutuksen suuruuden tutkiminen edellyttää luonnonprosessimallien uudistamista. Malleihin liittyvistä varauksista johtuen MELA-ohjelmistoa ei voi käyttää säästöpuiden optimaalisen sijoittamisen, määrän tai valinnan ratkaisemiseen.

Ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuumah-
to on lyhyen aikavälin puuntarjonnan ehdoton ylä-
raja 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.

Hakkuumahdon (hakkuulaskelma I) mukainen hakkuukertymä oli 1,4 miljoonaa kuutiometriä ja hakkuuala 1 900 hehtaaria vuodessa suurempi kuin VMI:n maastossa tehtyjen hakkuuehdotusten perusteella simuloitu. Laskelmassa I uudistushakkuukertymä oli 8,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa eli 3,1 miljoonaa kuutiometriä enemmän kuin VMI-hakkuuehdotusten perusteella simuloitu. Sen sijaan laskelmassa I harvennushakkuukertymä oli 1,7 miljoonaa kuutiometriä pienempi kuin VMI-hakkuuehdotusten mukaisessa simuloinnissa.

Uudistushakkuiden määriin vaikuttaa mm. uudistamiskriteerien soveltaminen. VMI:ssä uudistushakkuuehdotus määritetään iän perusteella. MELA-laskelmissa uudistushakkuu voidaan simuloida, kun puusto saavuttaa joko uudistamiskriteeriksi määritetyn iän tai keskiläpimitan, minkä seurauksena uudistushakkuita voidaan tehdä keskimäärin aikaisemmin kuin VMI-hakkuuehdotuksissa.

Laskelman I, VMI-hakkuuehdotuksiin perustuvan laskelman ja VMI:n maastossa tehtyjen hakkuuehdotusten välisiin eroihin hakkuukertymissä ja -pinta-aloissa voi olla syynä myös hakkuiden ajoitus. VMI:ssä toimenpide-ehdotukset ryhmitellään jo myöhässä oleviin, lähimmällä 5-vuotiskaudella

tehtäviin ja toisella 5-vuotiskaudella tehtäviin. MELA-laskelmissa hakkuut simuloitiin 10-vuotisjakson puolivälissä. Tällöin osa toisella 5-vuotiskaudella tehtäväksi ehdotetuista hakkuista ei vielä toteuta annettuja käsittelysuosituksia.

Lisäksi erojen syynä voi olla se, että VMI-hakkuuehdotukset on tehty maastossa koko metsikkökuviolle, mutta MELA-laskelmassa toimenpiteet simuloidaan koealoittain. Jos koealan puusto jäi simuloinnissa harvennusmallin hakkuun jälkeen kasvatettavan puuston määrän alapuolelle, toimenpidettä ei toteutettu.

Suurimman kestävän hakkuumäärän arvio (laskelma II) on hakkuusuunnitteen yläraja, jos puuntuotannon kestävyyttä metsäkeskuksen alueella pidetään tavoiteltavana. Kestävyys on määritelty hakkuukertymien, nettotulojen ja tuottoarvon avulla. Laskelmassa ei ole rajoitettu kasvun ja poistuman suhdetta eikä metsien ikäluokkarakennetta.

Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman kestävän hakkuumäärän arvio on yli neljänneksen pienempi kuin metsänkäsittelysuositusten mukainen hakkuumahto ja 0,9 miljoonaa kuutiometriä vuodessa suurempi kuin vuosina 1994–1998 keskimääräiset hakkuut.

Vuosien 1994–1998 toteutuneet hakkuut ovat olleet kuusipainotteisempia kuin VMI:n maastossa tehtyjen ehdotusten mukainen laskelma, hakkuumahto (hakkuulaskelma I) tai suurimman kestävän hakkuumäärän arvio (hakkuulaskelma II). Hakkuumäärä ja hakkuiden puutavaralajirakenne vastaa Etelä-Savon metsätalouden tavoiteohjelmassa (1998) asetettua tavoitetta.

Hakkuukertymää vastaava hehtaariohtainen kokonaispoistuman arvio (taulukko 8) on noussut VMI8:n yhteydessä (Salminen ja Salminen 1998) esitetystä. Luonnonpoistuman osuus ensimmäisellä 10-vuotiskaudella on suurimman kestävän hakkuumäärän arviossa 11 prosenttia kokonaispoistumasta. Poistuman ja kasvun pieni ero selittyy metsien tasaisella ikärakenteella. Metsien hakkuumahdollisuudet pienenevät tässä esitetyistä, jos hakkuut eivät kohdistu hakkuukypsimpien metsien puustoihin.

Laskelmissa ei otettu huomioon metsänomistuksen rakennetta tai metsänomistajien käyttäytymistä. Suurimman kestävän hakkuumäärän arvio ei siis ole hakkuusuunnite, joka perustuu taloudenharjoittajan omiin tavoitteisiin. Esitetyt hakkuumahdollisuusar-

viot eivät myöskään ole puun tarjonnan eivätkä todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita. Todellisuudessa metsänomistajat yhdessä puun ostajien kanssa ratkaisevat markkinoille tulevan puumäärän ja metsien hoidon.

Hakkuulaskelmat tehtiin 50 vuoden laskelma-kaudelle. Laskelmakauden jälkeinen puuntuotannon kestävyys sisältyi laskelmiin lopputuottoarvoa koskevana rajoitteena kuten aikaisemmissakin VMI9-aineistoon perustuvissa hakkuumahdollisuusarvioissa (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). Alkutuottoarvon suhteen määrittelyllä rajoitteella on pyritty yhteismitallisuuteen eri alueilla. Suurimman kestävän hakkuumäärän laskelmassa lopputuottoarvorajoite ei ole sitova. Sen sijaan tukkikertymärajoite on sitova koko ajan.

Suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa männyn osuus ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella on suurempi ja kuusen pienempi kuin hakkuumahdon perusteella voisi olettaa. Suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa ei edellytetty puulaji- tai hakkuutapakohtaista kestävyttä, mikä mahdollisti hakkuiden kohdentumisen uudistuskypsiin männiköihin ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella ja kuusen hakkuiden lisääntymisen vasta toisella ja kolmannella kymmenvuotiskaudella. Uudistuskypsiä ja uudistuskypsyyttä lähellä olevia kuusikoita säästetään tukkipuun saannon turvaamiseksi pidemmälle aikavälille. Kuusitukin säästämistäpoihin liittyy kuitenkin riskejä (esimerkiksi tyvilaho), joita näissä laskelmissa ei otettu huomioon. Tukkipertymän tasaisuusvaatimukseen liittyy riskejä pidemmällä aikavälillä myös istutusmänniköiden laadun suhteen. VMI7-aineistoon perustuva tukkivähennysmalli ei riitä kuvaamaan puun laadun kehitystä.

MELA-ohjelmistossa tukin laatu voidaan ottaa huomioon lähinnä tienvarsihinnan järeyskorjauksen kautta. Järeyskorjauksen käyttäminen lienee laadun huomioon ottamiseksi perusteltua, mutta 1960-luvun lopun tilanteeseen perustuva järeyskorjaus ei välttämättä kuvaa nykyistä markkinatilannetta.

Kiilki (1987) korostaa metsävarojen nykytilan merkitystä korkokannan valinnassa. Korkokannan suhteen tehty herkkyysoanalyysi havainnollistaa erilaisten tuottovaatimusten ja aikapreferenssien seura-

uksia hakkuuohjelmina ja puuvarannon kehityksenä, kun lähtökohtana ovat nykyiset metsävarat, niiden kasvu ja kasvuodotukset sekä puun hinta ja puunhankinnan kustannukset.

Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon tulosten luotettavuuden olevan sitä huonompi mitä kauemmaksi tulevaisuuteen laskelmia tehdään. Jokaista kymmenvuotiskautta koskevat arviot ovat aina ehdollisia tehdyille oletuksille (esimerkiksi hinta- ja kustannusrakenteelle, hinta- ja kustannustasolle sekä käytettävissä olevalle korjuuteknologialle) ja aikaisempien kymmenvuotiskausien arvioille. Laskelmissa metsävarat, puuston kasvu ja hakkuut ovat aina ehdollisia edeltävien kausien metsävarojen, puuston kasvun ja toimenpiteiden suhteen.

Tuloksiin liittyvän epävarmuuden vuoksi tuloksia ei voi pitää toteutuvan kehityksen ennusteina, vaan olemassa olevan tiedon ja tehtyjen oletusten varassa laskettuina arvioina.

Kiitokset

Alkuperäisen maastoaineiston on kerännyt valtakunnan metsien inventointi. Parhaimmat kiitokset kaikille tutkimuksen valmistumiseen myötävaikuttaneille.

Kirjallisuus

- Etelä-Savon metsätalouden tavoiteohjelma. 1998. Etelä-Savon metsäkeskus. Moniste. 38 s.
- 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 metsäkes-

- kuksen 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. s. 21–37.
- 1998. Mitä käyttäjän tulisi tietää MELAn kasvumalleista. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Mäkkeli, P. (toim.). MELA98 ja tietojärjestelmäajennukset. MELA-käyttäjäpäivät 7.5.1998 Helsingissä. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 713. s. 18–29.
- , Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Siipilehto, J. & Haapala, P. 2000. Models for predicting the stand development – description of biological processes in MELA System. *Metsäntutkimuslaitos. Käsikirjoitus*.
- Härkönen, K. 2001. Säästöpuut ja MELA2000. *Metsäntutkimuslaitos. Käsikirjoitus*. 7 s.
- 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. s. 57–68.
- 1997. Models for predicting growth and yield in drained peatland stands in Finland. *Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja* 651. 45 + 53 s.
- , Alenius, V. & Penttilä, T. 1997. Individual-tree basal area growth models for Scots pine, pubescent birch and Norway spruce on drained peatlands in Finland. *Silva Fennica* 31(2): 161–178.
- , Alenius, V. & Salminen, H. 2000. Predicting the need for ditch network maintenance in drained peatland sites in Finland. *Suo* 51(1): 1–10.
- Kilkki, P. 1987. Timber management planning. 2. painos. *Silva Carelica* 5. University of Joensuu. 159 s. ISBN 951-696-528-8.
- 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. *Metsätalon 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.
- & Nyyssönen, A. 1962. Tavoitehakkuulaskelma. Summary: The cutting budget for a desirable growing stock. *Acta Forestalia Fennica* 74(6). 34 s.
- & Salminen, S. 1980. Ahvenanmaan maakunnan ja maan yhdeksän eteläisimmän piirimetsälautakunnan alueen metsävarat 1977–1979. Summary: Forest resources in the province of Ahvenanmaa and the nine southernmost forestry board districts in Finland 1977–1979. *Folia Forestalia* 446. 90 s.
- & Salovaara, A. 1968. Etelä-Savon, Etelä-Karjalan, Itä-Savon, Pohjois-Karjalan, Pohjois-Savon ja Keski-Suomen metsävarat vuosina 1966–67. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Etelä-Savo, Etelä-Karjala, Itä-Savo, Pohjois-Karjala, Pohjois-Savo and Keski-Suomi in 1966–67. *Folia Forestalia* 42. 54 s.
- & Salovaara, A. 1974a. Ahvenanmaan maakunnan, Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pirkka-Hämeen, Itä-Hämeen, Etelä-Savon ja Etelä-Karjalan piirimetsälautakunnan metsävarat vuosina 1971–72. Summary: Forest resources in the district of Ahvenanmaa, and the forestry board district of Helsinki, Lounais-Suomi, Satakunta, Uusimaa-Häme, Pirkka-Häme, Itä-Häme, Etelä-Savo ja Etelä-Karjala in 1971–72. *Folia Forestalia* 191. 64 s.
- & Salovaara, A. 1974b. Etelä-Karjalan, Pohjois-Savon, Keski-Suomen ja Itä-Savon metsävarat vuonna 1973. Summary: Forest resources in the forestry board districts of Etelä-Karjala, Pohjois-Savo, Keski-Suomi and Itä-Savo in 1973. *Folia Forestalia* 207. 35 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 puutavarasuhteet 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.
- Luonnonläheinen metsänhoito. 1994. *Metsänhoitosuosi-*

- tukset. 2. painos. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6/1994. Helsinki. 72 s.
- Metinfo. 1999. Metsäsektorin suorakäyttöinen tietojärjestelmä. Metsäntutkimuslaitos. WWW -sovellus (<http://www.metla.fi/metinfo/>).
- Metsien suojelupinta-alat. Suojelupinta-alaprojektin raportti. 1999. Suomen ympäristö 300. Ympäristöministeriö. Oy Edita Ab, Helsinki. 44 s. ISBN 951-37-2869-2.
- Metsätilastollinen vuosikirja 1999. 1999. Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus. 352 s.
- Nuutinen, T. 2001. MELA2000. Metsäntutkimuslaitos. Käsikirjoitus. 17 s.
- & 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., 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. s. 39–56.
- , Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000 -versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 59 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 maataloilla. Tilakohtainen inventointi v. 1979. Työtehoseuran julkaisuja 241.
- Salminen, S. 1993. Eteläisimmän Suomen metsävarat 1986–1988. Summary: Forest resources of Southernmost Finland, 1986–1988. *Folia Forestalia* 825. 111 s.
- & Salminen, O. 1998. Metsävarat Keskeisessä Suomessa 1988–1992 sekä koko Etelä-Suomessa 1986–1992. Summary: Forest Resources in Middle Finland, 1988–92, and in South Finland, 1986–92. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 710. 137 s.
- Siitonen, M., Härkönen, K., Hirvelä, H., Jämsä, J., Kilpeläinen, H., Salminen, O. & Teuri, M. 1996. MELA Handbook – 1996 Edition. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 622. 452 s.
- , Härkönen, K., Kilpeläinen, H. & Salminen, O. (toim.). 1999. MELA Handbook, 1999 Edition. Metsäntutkimuslaitos. 492 s.
- Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A., Tonteri, T. & Tuomainen, T. 2001. Etelä-Savon metsäkeskuksen alueen metsävarat 1966–2000. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2001: 309–388.
- Valkonen, S. 2000. Effect of retained Scots pine trees on regeneration, growth, form, and yield of forest stands. Efecto de la retención de pies de Pino silvestre sobre la regeneración, crecimiento, forma y producción. In: Mason, W., Alia, R., Forrest, G., Olsthoorn, A. & Sjöberg, K. (eds.). *Silviculture and biodiversity of Scots pine forests in Europe*. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales* 2000(1): 121–145.
- Valtakunnan metsien 9. inventointi (VMI9). 1999. Maastotyön ohjeet 1999. Häme-Uusimaa, Pirkanmaa ja Etelä-Savo. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 145 s.

48 viitettä