

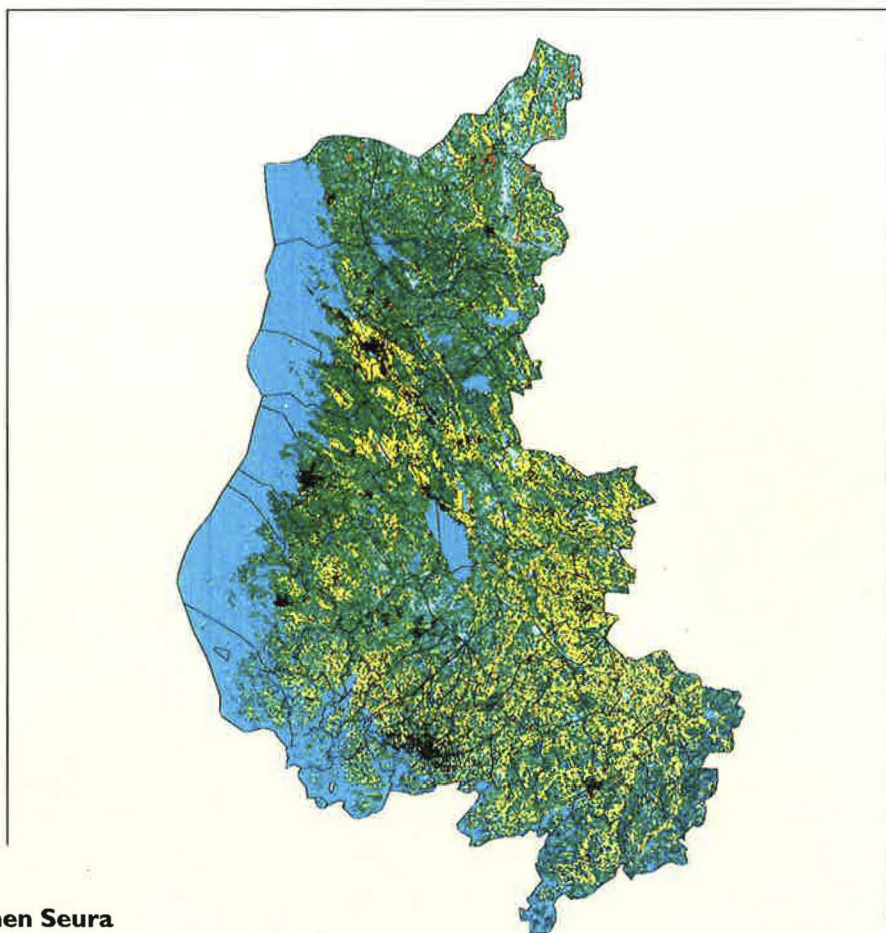
Metsätieteen aikakauskirja 2B/2000

Metsävarat

Lounais-Suomi

metsävarat 1964–98

hakkuumahdollisuudet 1998–2027



Tuula Nuutinen ja Hannu Hirvelä

Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1998–2027 Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella

Nuutinen, T. & Hirvelä, H. 2000. Valtakunnan metsien 9. inventointiin perustuvat hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1998–2027 Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2000: 413–428.

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen hakkuumahdollisuudet vuosille 1998–2027. Hakkuulaskelmat tehtiin MELA-ohjelmistolla. Laskelmissa käytettiin valtakunnan metsien 9. inventoinnin koeala- ja puutiedoista muodostettua laskelma-aineistoa.

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänkäsittelysuositusten perusteella hakkuukypsää ja hakkuukypsäksi tulevaa puuta riittäisi inventointia seuraavalla kymmenvuotiskaudella hakattavaksi Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella 8,4 miljoonaa kuutiometriä vuodessa eli yli kaksinkertaisesti vuosina 1994–1998 keskimäärin toteutuneisiin hakkuihin verrattuna (runsas 3,6 miljoonaa kuutiometriä käyttöpuuta vuodessa). Hakkuumahdon kokonaan hyödyntäminen kuitenkin pienentäisi puuvarantoa puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla yli neljänneksen vuosikymmenen aikana. Toisella kymmenvuotiskaudella hakkuumahto olisi 5,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Jos hakkuita halutaan nykyisestään 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 5,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Korkokannan ja tuottoarvorajoituksen vaikutusta tuloksiin tarkasteltiin erikseen.

Esitetyt hakkuumahdollisuusarviot eivät ole puun tarjonnan eivätkä todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita. Puun kysyntä yhdessä metsänomistajien omien ja yhteiskunnan asettamien tavoitteiden kanssa saattavat ratkaista 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, Lounais-Suomen metsäkeskus

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

Sähköposti tuula.nuutinen@metla.fi, hannu.hirvelä@metla.fi

Hyväksytty 3.6.2000

I Johdanto

Valtakunnan metsien 8. inventointiin saakka Lounais-Suomen (taulukko 1) ja Satakunnan (taulukko 2) metsälautakuntien alueiden metsät inventoitiin erikseen ja tulokset raportoitiin metsälautakunnittain. Vuonna 1996 tehdyn metsäkeskusjaon yhteydessä nämä kaksi aluetta yhdistettiin Lounais-Suomen metsäkeskukseksi lukuun ottamatta kuntia, jotka liitettiin Pirkanmaan ja Hämeen-Uudenmaan metsäkeskuksiin. Vuoden 1999 alusta lukien Lounais-Suomen metsäkeskukseen liitettiin myös Kiikoisten kunta (Korhonen ym. 2000).

Valtakunnan metsien viidennen (VMI5, Kuusela 1967), kuudennen (VMI6, Kuusela ja Salovaara 1974) ja seitsemännen (VMI7, Kuusela ja Salminen 1980) inventoinnin yhteydessä esitetyt hakkuusuunnitteet perustuivat tavoitehakkuulaskelman (Kuusela 1959, Kuusela 1964, Kuusela ja Nyyssönen 1962) soveltamiseen. VMI6:n ja VMI7:n hakkuusuunnitteen yhteydessä esitettiin lisäksi suojeluvähennys.

Taulukko 1. Lounais-Suomen 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⁾ (1964)	VMI6 ²⁾ (1971)	VMI7 ³⁾ (1977)	VMI8 ⁴⁾ (1986)
Metsämaa				
Pinta-ala, 1000 ha	455	459	483	527
Metsä- ja kitumaa				
Pinta-ala, 1000 ha	520	520	527	563
Tilavuus, m ³ /ha	91,9 ⁵⁾	93,8	104,8	121,1
Kasvu, m ³ /ha/v	3,9 ⁵⁾	3,8	4,5	5,4
Hakkuusuunnitteen käyttöpuuosa, milj. m ³ /v	1,9 ⁵⁾	1,9	2,1	–
Suurimman kestävän hakkuukertymän arvio, milj. m ³ /v	–	–	–	2,6 ⁶⁾
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	3,9 ⁵⁾	3,9	4,3	5,2 ⁶⁾

¹⁾ Kuusela (1967).

²⁾ Kuusela ja Salovaara (1974).

³⁾ Kuusela ja Salminen (1980).

⁴⁾ Salminen (1993).

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

⁶⁾ Salminen ja Salminen (1998).

Valtakunnan metsien 8. inventoinnin tulosten yhteydessä 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 maastomitaukset tehtiin Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella pääosin vuonna 1998 (Korhonen ym. 2000). Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää MELA-ohjelmiston avulla Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen hakkuumahdollisuusarviot vuosille 1998–2007 sekä niitä vastaava hakkuumahdollisuuksien ja metsävarojen ehdollinen kehitys kahdelle seuraavalle kymmenvuotiskaudelle. Hakkuumahdollisuuksia tarkasteltiin hakkuumahdon ja suurimman kestävän hakkuumäärän avulla. Nämä hakkuulaskelmat eivät olleet toteuttamisohjelmaksi tar-

Taulukko 2. Satakunnan 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⁾ (1964)	VMI6 ²⁾ (1971)	VMI7 ³⁾ (1977)	VMI8 ⁴⁾ (1987)
Metsämaa				
Pinta-ala, 1000 ha	637	661	666	687
Metsä- ja kitumaa				
Pinta-ala, 1000 ha	703	726	713	726
Tilavuus, m ³ /ha	77,8 ⁵⁾	78,8	93,9	108,9
Kasvu, m ³ /ha/v	3,4 ⁵⁾	3,2	4,7	4,8
Hakkuusuunnitteen käyttöpuuosa, milj. m ³ /v	2,2 ⁵⁾	2,2	2,6	–
Suurimman kestävän hakkuukertymän arvio, milj. m ³ /v	–	–	–	2,9 ⁶⁾
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	3,4 ⁵⁾	3,3	4,0	4,7 ⁶⁾

¹⁾ Kuusela (1967).

²⁾ Kuusela ja Salovaara (1974).

³⁾ Kuusela ja Salminen (1980).

⁴⁾ Salminen (1993).

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

⁶⁾ Salminen ja Salminen (1998).

koitettuja. Tuloksia verrattiin vuosien 1994–1998 keskimäärin toteutuneisiin hakkuisiin ja niitä vastaavaan metsien kehitykseen. Lisäksi tarkasteltiin puuntuotannon rajoitusten sekä laskelmissa sovelletun korkokannan ja lopputilarajoitteen vaikutusta hakkuumahdollisuusarvioihin. Tulokset esitetään puuntuotantoon käytettävissä olevalle metsä- ja kitumaalle ellei toisin mainita.

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) ja Rannikon (Hirvelä 2000) metsäkeskusten sekä Ahvenanmaan maakunnan (Hirvelä ja Härkönen 1999) alueelle.

2 Aineisto

Tutkimuksessa käytettiin pääosin vuonna 1998 mitattuja Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen VMI9:n koeala- ja puutietoja (Valtakunnan metsien ... 1998). VMI9-koeala oli ympyrä, jonka säde määräytyi metsä- tai kitumaalta relaskoopilla (ker-toimella 2) luetun suurimman puun läpimitan perusteella. Säde oli kuitenkin korkeintaan 12,52 m (Valtakunnan metsien ... 1998). Jos koealaympyrä ei mahtunut kokonaan samalle kuviolle, koeala jaettiin osiin. Kuviota, jolle koealan keskipiste osui, nimitettiin keskipistekuvioksi ja muita kuvioita sivu-

kuvioiksi. Tutkimukseen valittiin metsä- ja kitumaan koealat puuttomia sivukuvioita lukuun ottamatta (yhteensä 4 448 koealaa).

VMI9-metsävaratulosten mukaan Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen metsä- ja kitumaan pinta-ala oli yhteensä 1,06 miljoonaa hehtaaria, puuston tilavuus 146,2 miljoonaa kuutiometriä (137 m³/ha) ja puuston kasvu inventointia edeltäneellä viiden vuoden jaksolla keskimäärin 5,8 miljoonaa kuutiometriä (5,5 m³/ha) vuodessa (Korhonen ym. 2000). Männyn rinnankorkeusläpimitan kasvuideksit olivat VMI9:n kasvunlaskentajaksolla lähellä pitkän ajan (vuosien 1949–1998) keskiarvotasoa (Korhonen ym. 2000). Kuusen kasvuideksit olivat yli 5 prosenttia pitkän ajan keskiarvotason alapuolella. Alueen metsä- ja kitumaan pinta-alasta oli laskelma-aineistossa puuntuotannon ulkopuolella 33 600 hehtaaria, jota vastaava puuston tilavuus oli 3,7 miljoonaa kuutiometriä (taulukko 3).

3 Menetelmät

3.1 Laskelmakehikko

Hakkuulaskelmat tehtiin MELA-ohjelmiston vuoden 1999 julkistusversiolla (Siitonen ym. 1999), jossa metsikkösimulaattorin metsänhoidon ja puunkorjuun ajanmenekki- ja kustannusmallit sekä osa turvemaiden luonnonprosessi- ja käsittelymalleista oli uudistettu (Nuutinen ym. 2000).

Taulukko 3. VMI9-maastoaineistosta muodostetun laskenta-aineiston mukaiset käsittelyluokkien pinta-alat ja puuston tilavuudet Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.

Käsittelyluokka	Metsämaa	Kitumaa	Yhteensä	Osuus, %
		Pinta-ala, 1000 ha		
Ensisijaisesti puuntuotanto	971,8	– 1)	971,8	91,3
Rajoitettu puuntuotanto	10,2	48,6	58,8	5,5
Puuntuotannon ulkopuolella	20,4	13,2	33,6	3,2
Yhteensä	1002,4	61,8	1064,2	100,0
		Tilavuus, milj. m ³		
Ensisijaisesti puuntuotanto	139,5	– 1)	139,5	95,4
Rajoitettu puuntuotanto	1,6	1,4	3,0	2,0
Puuntuotannon ulkopuolella	3,3	0,5	3,7	2,6
Yhteensä	144,3	1,9	146,2	100,0

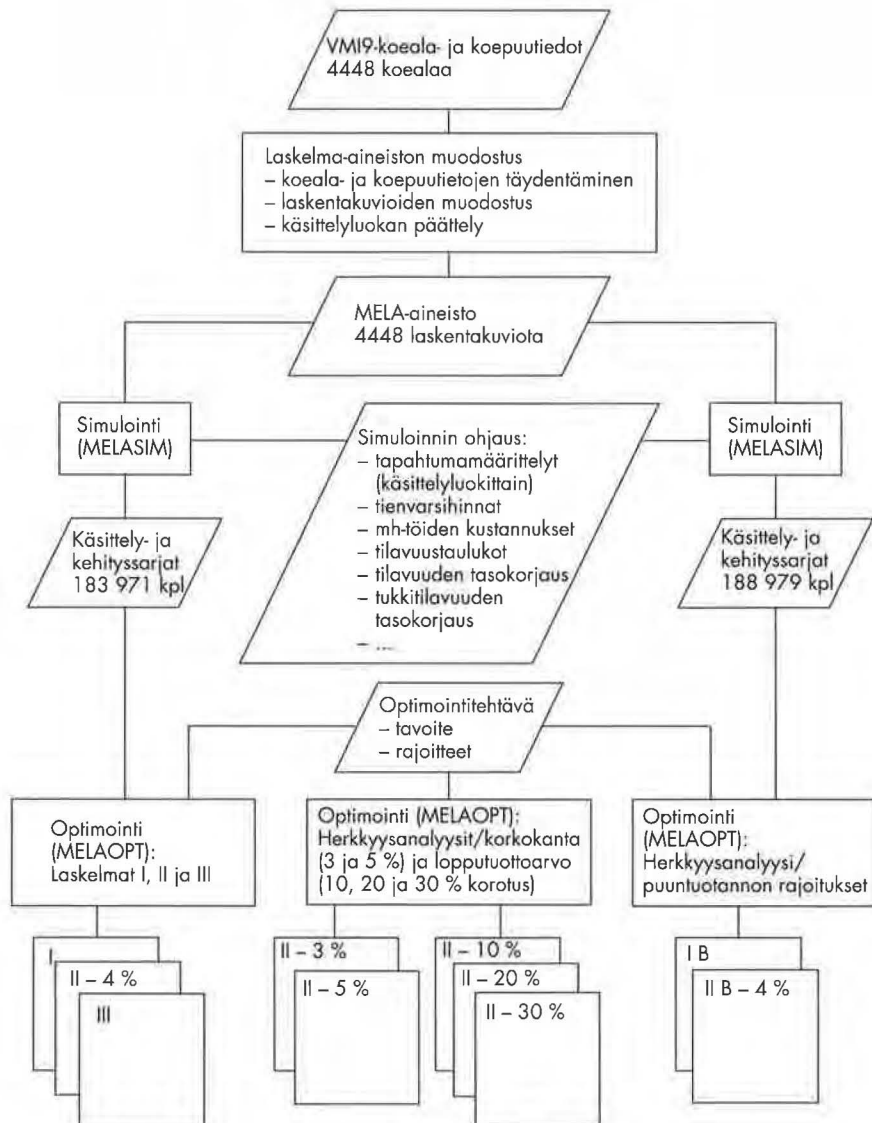
1) Kitumaat ovat joko rajoitetussa puuntuotannossa tai puuntuotannon ulkopuolella.

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. 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.



Kuva I. Laskennan vaiheet.

3.2 Laskelma-aineiston muodostus

Laskelma-aineiston muodostuksen vaiheet olivat:

1. VMI9:n koealatiетоjen täydentäminen MELA-koealatiетоiksi sekä luku- ja koepuutietojen MELA-kuvauspuutietoiksi (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 puustosta kasvupaikkatunnuksiltaan vastaavaa koealaa Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueelta. Koealojen yhdistelyssä käytetyt kuviokohtaiset tunnuksot olivat maaluokka, kasvupaikkatyyppi, puuston pohjapinta-ala, kehitysluokka, puuston keskiläpimitta, vallitseva puulaji, puuston biologinen ikä, kasvupaikan päätyyppi (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-alaluokituksen (Metsien suojelupinta-alat 1999) ja se tehtiin VMI9-koealatiетоjen 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 elinympä-

Taulukko 4. Laskenta-aineiston käsittelyluokat (1 = ensisijaisesti puuntuotannossa olevat, 2 = rajoitetussa puuntuotannossa olevat ja 3 = puuntuotannon ulkopuolella olevat).

Suojelupinta-alaluokitus ¹⁾	Laskelma-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 perustuvat suojelualueet		x	
Rantojensuojeluohjelmaan kuuluvat alueet		x	
Muun omistajan kuin valtion metsätalouden käytön ulkopuolella olevat alueet		x	
Seutukaavan suojeluun varatut alueet			
valtion mailla		x	
Metsälain erityisen tärkeät elinympäristöt			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).

ympäristön vaatimukset ja joilla oli maastossa arvioitu kaikkien toimenpiteiden olevan kiellettyjä (ks. Valtakunnan metsien ... 1998). Avainbiotooppikohteiden alueellista yleisyyttä ei arvioitu maastossa. Jos avainbiotooppiesiintymä käsitti vain osan kuvios-

ta, 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.

3.3 Käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi

Laskentakuvioiden käsittely- ja kehityssarjat tuotettiin puukohtaisiin malleihin perustuvalla MELA-ohjelmiston metsikkösimulaattorilla (Hynynen 1998, Siitonen ym. 1999). 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 Hökkän (1996, 1997) suometsien kasvuun liittyvien mallien uusimpia versioita (Hökkä ym. 1997, Hökkä ym. 2000). 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 metsänkäsittelysuosituksiin vuodelta 1994 (Luonnonläheinen metsänhoito 1994). Hakkuuvaihtoehtoina olivat runkolukuun ja pohjapinta-alaan perustuvat harvennukset, avo-, siemenpuu- ja suojuspuuhakkuut sekä ylispuiden poisto. Uudistushakkuissa hehtaarikohtaisesta hakkuukertymästä vähennettiin viisi kuutiometriä, joka vastasi keskimäärin avohakkuualoille ns. säästöpuina jätettävää puustoa (Metsäluonnon hoito ... 1997).

Laskelmissa sallittuja metsänkäsittelyjä olivat hakkuiden lisäksi metsänuudistamiseen liittyvä raiwaus, maanpinnan käsittely ja viljely sekä taimikonhoito. Ojitetuilla turvemaidella 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 keskimääräisten tietojen perusteella, 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 laskentakuvioilla. Siten MELA-ohjelmistolla saatujen tulosten laskennassa käytettiin samoja koealoja kuin varsinaisten VMI9-metsävaratulosten (Korhonen ym. 2000) laskennassa.

Nettotulojen nykyarvon laskenta perustui tienvarsihintoihin. Nettotulot saatiin vähentämällä tienvarsihintaisista hakkuutulosta 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 (Metsätalastollinen 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

Taulukko 5. Vuosina 1989–1998 Etelä-Suomessa toteutuneiden hankintahintojen vuoden 1998 hintatasolla laske-
tut keskiarvot (mk/m³) puutavaralajeittain. (Metsä-
tilastollinen vuosikirja 1999)

	Tukkipuu	Kuitupuu
Mänty	267	162
Kuusi	223	186
Koivu	265	165

Taulukko 6. Laskelmissa sovelletut korjuun yksikkö-
hinnat.

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

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

Työlaji	Yksikkö	Yksikköhinta
Raivaus	mk/ha	380
Äestys	"	730
Auraus/mätästys	"	1 050
Männyn kylvö	"	985
Männyn taimi	mk/taimi	0,50
Kuusen taimi	"	0,85
Koivun taimi	"	1,15
Männyn täydennystaimi	"	0,85
Kuusen täydennystaimi	"	0,95

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 pysty puusto on jaettu puutavaralajeihin (Valtakunnan metsien ... 1998). Koska rungon mittoihin perustuva apteraus 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 kitumaal-la oli keskimäärin 38 prosenttia (Korhonen ym. 2000). Koska tukkipuun määritysmenetelmästä ja erilaisista apterausohjeista johtuen vastaava tukki-
osuus MELA-laskelmissa olisi ollut VMI7:ään perustuvan korjauksen jälkeen keskimäärin yliarvio (tukkiosuus 45 prosenttia), VMI7:n tukkivähennysmallin avulla saatua tukkipuun kokonaismäärää kalibroitiin puulajikohtaisilla tasokertoimilla vastamaan laskelmien alkuhetkellä VMI9:ssä arvioituja tukkiosuuksia puulajeittain. Männyn tukkiosuus oli 40, kuusen 45, koivun 12 ja muiden lehtipuiden 16 prosenttia tilavuudesta (Korhonen ym. 2000).

3.4 Optimointi

Hakkuulaskelmien tavoitteena oli havainnollistaa Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen hakkuu-
mahdollisuuksia ja verrata niitä viime vuosina keski-
määrin toteutuneisiin hakkuisiin.

Kaikissa laskelmissa valittiin lineaarisen opti-
moinnin tavoitefunktioiksi nettotulojen nykyarvon
maksimointi, jolloin toiminnan kannattavuusvaati-
mus määräytyi nettotulojen nykyarvon laskennassa
käytetyn laskentakoron ja optimoinnissa sovellet-
tujen rajoitteiden yhteisvaikutuksena.

Vuosina 1990–1997 pitkät nimelliskorot vaihte-
livat Suomessa noin 5 ja 14 (Täppinen ym. 1997),
inflaatio 0 ja 6 sekä reaalikorko 4,5 ja 10 prosentin
välillä (Kurri 1998). Vastaavana ajankohtana Sak-
san toteutuneen viimeisen kolmen vuoden inflaati-
on keskiarvon avulla estimoidut pitkät reaalikorot
vaihtelivat noin 1,5 ja 7 prosentin välillä (Kurri
1998). Tässä tutkimuksessa oletettiin, että Emuun
liittymisen jälkeen Suomen pitkä reaalikorko kes-
kimäärin alenee ja sen vaihtelu pienenee. Laskenta-
korkokannoksi valittiin kolme, neljä ja viisi pro-
senttia.

Ensimmäisellä laskelmalla kuvattiin metsänkäsit-
telysuositusten mukaan hakattavissa olevan puus-
ton määrää. Hakkuumahto (vaihtoehto I) laskettiin
maksimoimalla nettotulojen nykyarvoa viiden pro-
sentin 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 jaetuna kymmenellä.

Toisen laskelman tavoitteena oli määrittää suurin jatkuvasti hakattavissa oleva hakkuukertymä. Suurimman kestävän hakkuukertymän toteuttavassa laskelmassa (vaihtoehto 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 alkukhetken tasolla.

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

Puuntuotannon rajoitusten vaikutusta hakkuulaskelmiin tarkasteltiin simuloimalla Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen laskentakuviolle toinenkin käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen joukko, jossa ra-

joitetussa 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 joukolla laskettiin hakkuulaskelmavaihtoehtoja I (hakkuumahto) ja II (suurimman kestävän hakkuumäärän arvio) vastaavat tuotanto-ohjelmat.

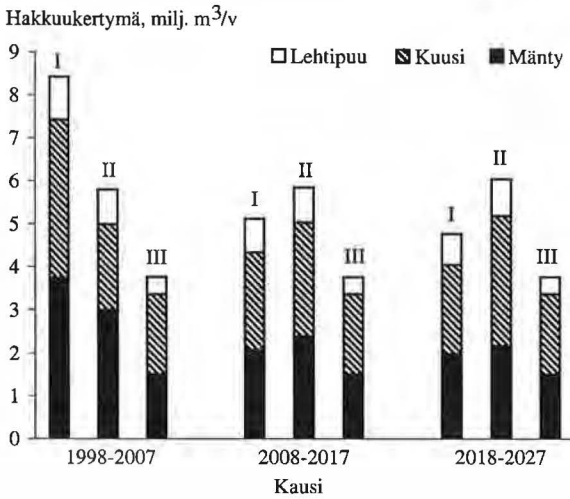
Hakkuulaskelmavaihtoehdon II herkkyyttä tarkasteltiin kolmen ja viiden prosentin korkokannan sekä puuston lopputuottoarvoa koskevan rajoitteen suhteen. Jälkimmäisessä tehtiin kolme laskelmaa, joissa neljän prosentin korolla lasketun puuston tuottoarvon laskelmakauden lopussa tuli olla vähintään 10, 20 ja 30 prosenttia korkeampi kuin tuottoarvon laskelmakauden alussa.

4 tulokset

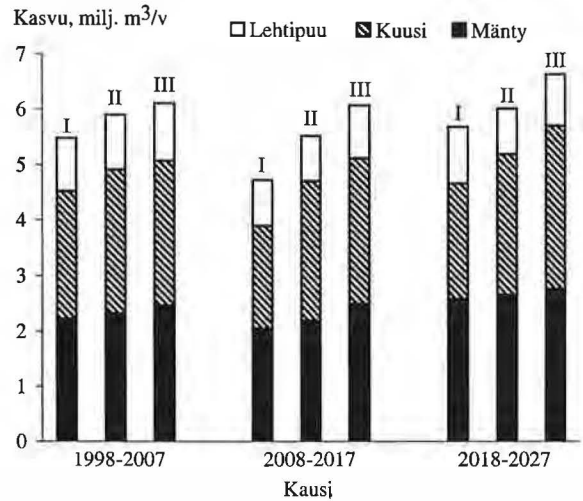
4.1 Toteutuneiden hakkuiden mukainen hakkuukertymä

Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen metsistä hakattiin vuosina 1994–1998 keskimäärin runsas 3,6 miljoonaa kuutiometriä käyttöpuuta vuodessa. Käyttöpuu sisälsi markkinahakkuiden ja piensahojen käyttämän puun lisäksi teollisuuden ainespuun mitat täyttävän osan polttopuusta. Vuosien 1994–1998 kertymästä oli mäntyä 40, kuusta 50 ja lehti-puuta 10 prosenttia.

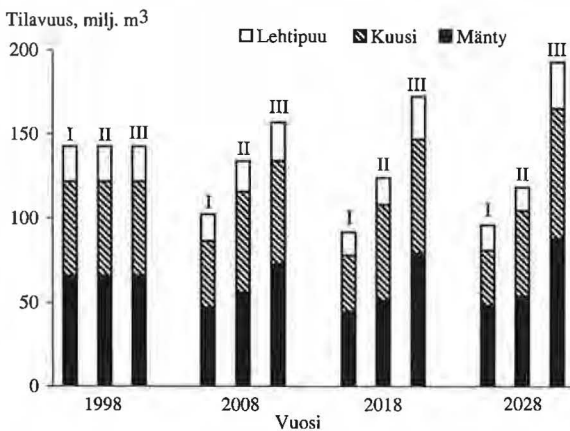
Jos hakkuut säilyisivät vuosien 1994–1998 keskimääräisellä tasolla (kuva 2, vaihtoehto III), puuvarannon arvioidaan karttuvan puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla 1,7 miljoonan kuutiometrin vuosivauhdilla (kuva 3). Vastavalla alueella malleilla lasketun puuston kasvun (kuva 4) arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 6,1 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja sen ennakoitaan nousevan 6,6 miljoonan kuutiometrin tasolle kolmannella kymmenvuotiskaudella. Koko metsä- ja kitumaan alueella puuston vuotuisen kasvun arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella lähes 6,3 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.



Kuva 2. Hakkuukertymä puulajeittain vuosina 1998–2027 vaihtoehdoissa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.



Kuva 4. Puuston kasvu puulajeittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1998–2027 vaihtoehdoissa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.



Kuva 3. Puuston tilavuus puulajeittain puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1998–2028 vaihtoehdoissa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.

4.2 Hakkuumahto

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion metsänkäsitteilysuositusten (Luonnonläheinen metsänhoito 1994) perusteella hakkuukypsää ja hakkuukypsäksi tulevaa puuta (hakkuumahto) riittäisi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella hakattavaksi noin 8,4

miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 2, vaihtoehto I) eli yli kaksinkertaisesti vuosina 1994–1998 keskimäärin toteutuneisiin hakkuuksiin verrattuna. Kertymästä olisi mäntyä 44, kuusta 43 ja lehtipuuta 13 prosenttia.

Hakkuumahdon kokonaan hakkaaminen kuitenkin pienentäisi puuvarantoa puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosikymmenessä yli neljänneksen nykyisestä (kuva 3). Toisella kymmenvuotisjaksolla (vuosina 2008–2017) vuotuinen hakkuumahto olisi 5,1 miljoonaa kuutiometriä ja puuston kasvu puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla 4,7 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 4). Järeän puun (rinnankorkeusläpimitta yli 20 cm) varanto (kuva 5) supistuisi 40 prosenttia ja hakkuumahdollisuudet (kuva 6) 48 prosenttia ensimmäiseen kymmenvuotisjaksoon verrattuna.

Hakkuumahdon mukaisesti toimittaessa harvennushakkuiden osuus kertymästä vuosina 1998–2007 olisi 15 prosenttia ja koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana keskimäärin 27 prosenttia (kuva 7). Kokonaishakkuuala olisi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 52 000 hehtaaria (kuva 8) ja keskimääräinen korjuukustannus 49 mk/m³ (taulukko 8).

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

Tunnus	Vaihtoehto I	Vaihtoehto II	Vaihtoehto III
1998–2007			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	5,3	5,7	5,9
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	9,0	6,4	4,4
Korjuukustannus, mk/m ³	49	50	47
Hakkuukertymä, m ³ /ha	162	141	150
2008–2017			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	4,6	5,4	5,9
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	5,5	6,2	4,4
Korjuukustannus, mk/m ³	56	52	46
Hakkuukertymä, m ³ /ha	118	124	140
2018–2027			
Keskikasvu, m ³ /ha/v	5,5	5,8	6,4
Hakkuukertymää vastaava kokonaispoistuma, m ³ /ha/v	5,0	6,3	4,4
Korjuukustannus, mk/m ³	57	52	46
Hakkuukertymä, m ³ /ha	129	140	156

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 5,8 miljoonaa kuutiometriä vuodessa ja sen arvioidaan ylittävän 6 miljoonaa kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana (kuva 2, vaihtoehto II).

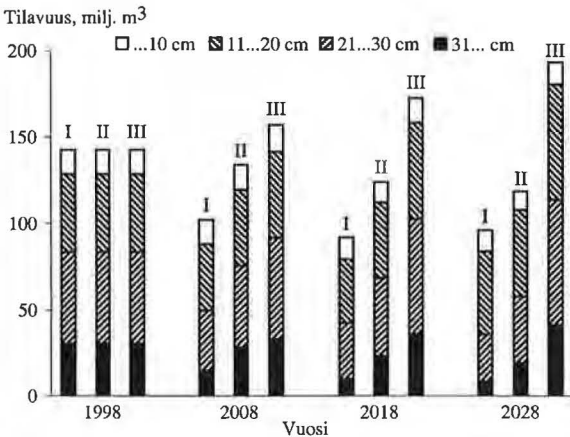
Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman kestävä hakkuumäärän arviosta on mäntyä 52, kuusta 34 ja lehtipuuta 14 prosenttia. Laskelmissa ei edellytetty puulajikohtaista kestävyyttä. Kuusen osuuden arvioidaan nousevan selvästi kahden seuraavan kymmenvuotiskauden aikana. Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla suurimman kestävä hakkuumäärän arviosta on mäntyä keskimäärin 43, kuusta 43 ja lehtipuuta 14 prosenttia.

Suurimman kestävä hakkuumäärän arviota vastaava kokonaispoistuman arvio puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 6,6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (taulukko 9). Kokonaispoistuma koostuu hakkuupoistumasta ja metsiin jäävästä luonnonpoistumasta. Hakkuupoistuma sisältää tukki- ja kuitupuun, hakkuuiden yhteydessä hakkuutähteenä metsään jäävän kuitupuun minimimittoja pienemmän runkopuun sekä raivauksessa ja taimikonhoidossa metsään jäävän runkopuun. Malleilla laskettu puuston kasvun arvio on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 5,9 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 4). Toisella kymmenvuotiskaudella hakkuuta vastaava kokonaispoistuman ehdollinen ennuste on 6,4 ja kasvun 5,5 miljoonaa kuutiomet-

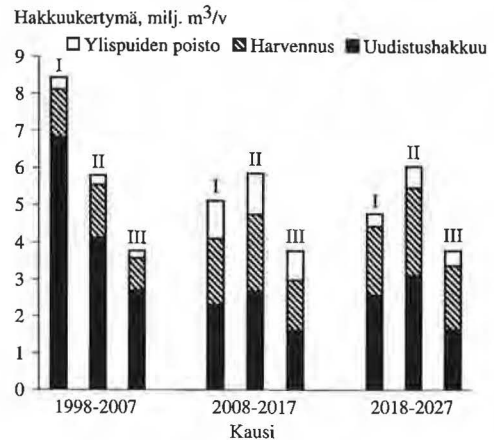
Taulukko 9. Poistuma- ja kasvuarvion rakenne (milj. m³/vuosi) puuntuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1998–2007. Laskelmissa ei ole edellytetty puulajikohtaista kestävyyttä, joten puulajien osuudet saattavat vaihdella huomattavasti eri kymmenvuotiskausilla. Tukkipuun määrä on kalibroitu vastaamaan VMI9:ssä arvioitua tukkipuun määrää (ks. luku Käsitteily- ja kehitysvaihtoehtojen simulointi).

Tunnus	Vaihtoehto I	Vaihtoehto II	Vaihtoehto III
Kokonaispoistuma	9,29	6,63	4,58
Mänty	3,98	3,23	1,74
Kuusi	3,87	2,15	2,02
Koivu	1,14	0,98	0,67
Muu lehtipuu	0,30	0,26	0,15
Hakkuupoistuma	8,73	6,04	3,92
Hakkuukertymä	8,43	5,80	3,77
Tukkikertymä	4,31	2,88	2,06
mäntytukki	1,93	1,56	0,82
kuusitukki	2,18	1,15	1,14
koivutukki	0,16	0,12	0,08
muu lehtipuutukki	0,05	0,04	0,01
Kuitupuukertymä	4,12	2,92	1,71
mäntykuitu	1,81	1,44	0,68
kuusikuitu	1,49	0,83	0,72
koivukuitu	0,65	0,52	0,26
muu lehtipuukuitu	0,16	0,13	0,05
Hakkuutähde	0,30	0,24	0,15
Luonnonpoistuma	0,56	0,58	0,66
Kasvu	5,48	5,91	6,12
Mänty	2,22	2,31	2,46
Kuusi	2,29	2,60	2,61
Koivu	0,83	0,85	0,89
Muu lehtipuu	0,14	0,14	0,16

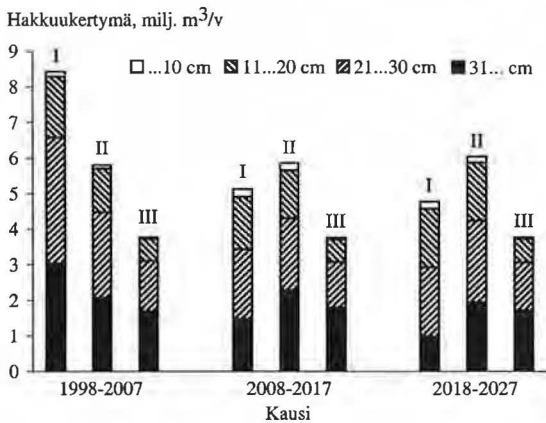
maaisella kymmenvuotiskaudella 6,6 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (taulukko 9). Kokonaispoistuma koostuu hakkuupoistumasta ja metsiin jäävästä luonnonpoistumasta. Hakkuupoistuma sisältää tukki- ja kuitupuun, hakkuuiden yhteydessä hakkuutähteenä metsään jäävän kuitupuun minimimittoja pienemmän runkopuun sekä raivauksessa ja taimikonhoidossa metsään jäävän runkopuun. Malleilla laskettu puuston kasvun arvio on ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 5,9 miljoonaa kuutiometriä vuodessa (kuva 4). Toisella kymmenvuotiskaudella hakkuuta vastaava kokonaispoistuman ehdollinen ennuste on 6,4 ja kasvun 5,5 miljoonaa kuutiomet-



Kuva 5. Puuston tilavuus läpimittaluokittain puun- tuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaalla vuosina 1998–2028 vaihtoehdoissa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.



Kuva 7. Hakkuukertymä hakkuutavoittain vuosina 1998–2027 vaihtoehdoissa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.



Kuva 6. Hakkuukertymä läpimittaluokittain vuosina 1998–2027 vaihtoehdoissa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.

riä vuodessa ja kolmannella kaudella vastaavasti 6,5 ja 6,0 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Kokonaispoistuma on siis koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson ajan suurempi kuin kasvu. Koko metsä- ja kitumaan alalla puuston kasvun arvioidaan olevan ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella 6,0 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

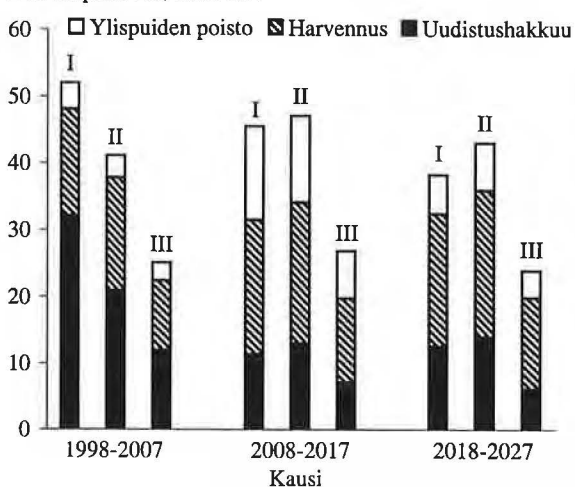
Jos hakkuut noudattaisivat suurimman kestävän hakkuumäärän arviota, puuvaranto pienenesi puun- tuotantoon käytettävissä olevalla metsä- ja kitumaal-

la 6 prosenttia nykyisestä tasosta vuosikymmenes- sä ja 17 prosenttia koko kolmen vuosikymmenen tarkastelujakson aikana (kuva 3). Järeän (rinnankor- keusläpimitta yli 20 cm) puun varanto pienenesi lä- hes kolmanneksella kolmen vuosikymmenen aika- na (kuva 5). Laskelman mukainen hakkuuohjelma johtaisi keskitilavuuden alenemiseen yli 20 m³/ha kolmen vuosikymmenen kuluessa.

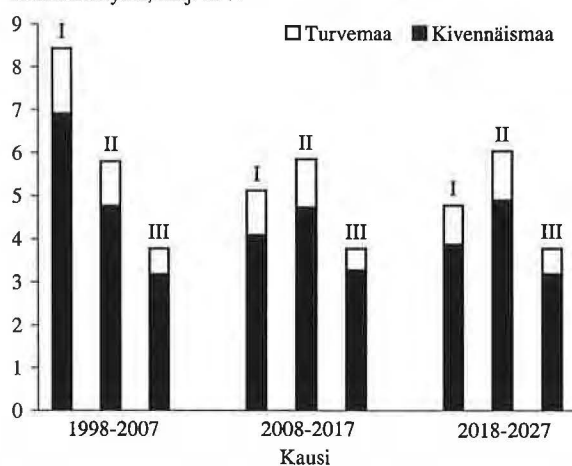
Suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa tukkipuukertymän arvioidaan olevan 2,9 miljoonaa kuutiometrin voimasotalla kolmenkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana. Järeimmän (rinnankor- keusläpimitta yli 30 cm) puun osuus hakkuumah- dollisuuksista pysyy lähes ennallaan koko kolmen- kymmenen vuoden ajan (kuva 6). Suurimman kes- tävän hakkuumäärän mukaisesta tukkipuukertymäs- tä suurin osa on kuusitukkuja, keskimäärin 53 pro- senttia kolmen vuosikymmenen aikana. Kuusikuitu- puun osuus kuitupuukertymästä on keskimäärin 34 prosenttia. Mäntytukkipuun ja -kuitupuun vastaa- vat osuudet ovat 41 ja 44 prosenttia.

Harvennushakkuiden osuus kestävien hakkuu- mahdollisuuksien mukaisesta käyttöpuusta on en- simmäisellä kymmenvuotiskaudella 25 prosenttia, josta se nousee kolmenkymmenen vuoden tarkas- telujakson aikana 33 prosenttiin (kuva 7). Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella kokonaishakkuu- ala on 41 100 hehtaaria vuodessa, josta harvennus- hakkuuta on 16 800 hehtaaria (kuva 8). Uudistus-

Hakkuupinta-ala, 1000 ha/v



Kuva 8. Hakkuupinta-alat hakkuutavoittain vuosina 1998–2027 vaihtoehdossa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.

Hakkuukertymä, milj. m³/v

Kuva 9. Hakkuukertymä kivennäis- ja turvemilla vuosina 1998–2027 vaihtoehdossa I, II ja III Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueella.

hakkuiden osuus kokonaishakkuualueesta on 52 prosenttia. Laskelmissa korjuukustannukset ovat keskimäärin 50 mk/m³ (taulukko 8). Keskimääräiset korjuukustannukset ovat uudistushakkuissa 46 mk/m³ sekä harvennushakkuissa ja ylispuiden poistossa 62 mk/m³.

Turvemaiden osuus kestävästä hakkuumahdollisuuksista on vuosina 1998–2027 keskimäärin 18 prosenttia (kuva 9). Suurimman kestävästä hakkuumäärän arvion mukaan toimittaessa turvemilla on vuosina 1998–2027 männyn hakkuukertymästä keskimäärin 18, kuusen 17, koivun 30 ja muiden lehtipuiden 7 prosenttia.

4.4 Herkkyysanalyysit

Puuntuotannon rajoitusten poistaminen lisäsi ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman kestävästä hakkuumäärän arviota 2,4 ja hakkuumahtoa 2,6 prosenttia. Koko kolmenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla vastaavan lisäyksen ennakoidaan olevan molemmissa laskelmissa noin 2,5 prosenttia.

Hakkuulaskelmavaihtoehto II ei ollut herkkä korkokannan nostamiselle: viiden prosentin korkokannalla laskettu hakkuumäärän arvio on samanlai-

nen kuin neljän prosentin korkokannalla laskettu sekä kertymän määrän että rakenteen osalta. Myös puuvarannon kehityksen ennakoidaan olevan samanlaisen. Sen sijaan korkokannan alentamisella oli vaikutusta. Kolmen prosentin korkokannalla laskettu hakkuumäärän vuotuinen arvio jää kolmen vuosikymmenen aikana noin 0,4 miljoonaa kuutiometriä alemmalle tasolle kuin neljän ja viiden prosentin korkokannalla lasketut. Puuvaranto kasvaa ja keskitilavuus kohoaa 20 m³/ha viiden vuosikymmenen kuluessa.

Kun hakkuulaskelmavaihtoehtoon II lopputuottoarvorajoitetta nostetaan 10, 20 ja 30 prosentilla, saadaan tulokseksi tuotanto-ohjelmat, joissa hakkuukertymä kolmen vuosikymmenen aikana jää 0,1, 0,2 ja 0,3 miljoonaa kuutiometriä alemmalle tasolle kuin alkuperäisessä laskelmassa. Lopputuottoarvorajoitteen nostaminen 30 prosentilla johtaa koko 50 vuoden laskelmakaudella tasaisempaan hakkuukertymään (5,5–5,6 miljoonaa kuutiometriä) kuin alkuperäinen laskelma tai lopputuottoarvon nostaminen 10 tai 20 prosentilla. Puuvaranto kasvaa ja keskitilavuus kohoaa yli 20 m³/ha viiden vuosikymmenen kuluessa.

5 Tulosten tarkastelu

Laskelmissa sovellettu käsittelyluokitus ei täysin vastaa Suojelupinta-alaprojektin (Metsien suojelupinta-alat 1999) luokitusta. Ensiksi, VMI-tunnusten perusteella ei voida varmuudella yksilöidä kaikkia luokkia. Esimerkiksi Natura 2000-ohjelman ehdotukseen kuuluvat luonnonsuojelulain perusteella suojellut uudet alueet yksityismailla ja Metsähallituksen ympäristöarvometsät jäivät kokonaan pois tässä sovelletusta käsittelyluokituksesta. Toiseksi, Suojelupinta-alaprojektin luokituksessa metsälaisa määritellyt erityisen tärkeät elinympäristöt kuuluvat ryhmään, jossa varovaiset hakkuut ovat mahdollisia. Koska MELA-laskelmissa ei toistaiseksi ole määritelty luokituksessa tarkoitettuja erikoishakkuita, arvokkaimmat avainbiotoopit rajattiin puuntuotannon ulkopuolelle. Arvokkaiksi määriteltiin kohteet, jotka maastossa arvioituna täyttivät metsälain tarkoittaman monimuotoisuuden kannalta erityisen tärkeän elinympäristön vaatimukset. VMI:n yhteydessä esitetyt arviot voivat kuitenkin olla yliarvioita todellisten lakikohteiden määrästä, koska VMI:ssa ei ole otettu etukäteen huomioon avainbiotooppien yleisyyttä lakikohdetta määritettäessä (Korhonen ym. 2000).

Puuntuotannon rajoitusten vaikutuksia kokonais-hakkuukertymään ei voi tulkita VMI6:n ja VMI7:n yhteydessä esitettyksi, lähinnä puuntuotannon ulkopuolelle jäävään puustoon ja sen kasvuun perustuvaksi suojeluvähennykseksi. Jos puuntuotantoon käytettävissä olevien metsien rakenne muuttuu, optimoinnilla haetuissa tehokkaissa tuotanto-ohjelmis-sa hakkuut saattavat kohdentua myös rakenteellisesti eri tavalla.

Hakkuumahdollisuusarviot perustuvat oletuksiin, että sekä puuston kasvuun vaikuttavat tekijät että puiden reagointi niihin eivät muutu. Muutokset kasvuun vaikuttavissa tekijöissä ja puiden reagoinnissa kasvutekijöihin saattavat vaikuttaa puuston tulevan kasvun ennusteisiin ja sitä kautta hakkuumahdollisuusarviointiin.

Metsien hakkuumahdollisuudet pienenevät tässä esitetystä, jos esimerkiksi puuntuotantoon käytettävissä olevien metsien määrä vähenee, nuoret metsät jäävät hoitamatta, puuta ei korjata turvemailta tai jos hakkuut eivät kohdistu hakkuukypsimpien metsien puustoihin.

Laskelmissa ei otettu huomioon metsiköiden sijaintia suhteessa toisiinsa, metsiköiden sijaintia suhteessa puun käyttöpisteisiin eikä näiden vaikutusta puustamaksukykyyn tai puun kysyntään. Nämä tekijät yhdessä saattavat ratkaista sen, jääkö esimerkiksi osa turvemaista tai ensiharvennuspuustoista todellisuudessa puuntuotannon ulkopuolelle.

Laskelmissa ei otettu huomioon metsänomistuksen rakennetta tai metsänomistajien käyttäytymistä. Suurimman kestävän hakkuumäärän arvio ei siis ole hakkuusuunnite, joka perustuu taloudenharjoittajan omiin tavoitteisiin. Esitetyt hakkuumahdollisuusarviot eivät myöskään ole puun tarjonnan eivätkä todennäköisesti toteutuvan tulevaisuuden ennusteita. Todellisuudessa metsänomistajat yhdessä puun ostajien kanssa ratkaisevat markkinoille tulevan puumäärän ja metsien hoidon.

Ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuumah-to 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.

Vuosien 1994–1998 keskimääräisten hakkuiden mukainen laskelma (vaihtoehto III) havainnollistaa, miten metsävarat kehittyisivät hakkuiden jäädessä huomattavasti alemmalle tasolle kuin metsävarojen käytön kannalta olisi mahdollista.

Suurimman kestävän hakkuumäärän arvio (vaihtoehto II) on hakkuusuunnitteen yläraja, jos puuntuotannon kestävyyttä metsäkeskuksen alueella pidetään tavoiteltavana. Ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella suurimman kestävän hakkuumäärän arvio on vajaan kolmanneksen pienempi kuin metsänkäsittelysuositusten mukainen hakkuumahto ja 2,2 miljoonaa kuutiometriä vuodessa suurempi kuin vuosina 1994–1998 keskimääräiset hakkuut. Hakkuukertymää vastaava hehtaarikohtainen kokonaispoistuman arvio (taulukko 8) on noussut VMI8:n yhteydessä (Salminen ja Salminen 1998) esitetystä.

Suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa männyn osuus ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella on suurempi ja kuusen pienempi kuin hakkuumahdon perusteella voisi olettaa. Suurimman kestävän hakkuumäärän arvioissa ei edellytetty puulajikohtaista kestävyyttä, mikä mahdollisti hakkuiden

kohdentumisen uudistuskypsiin männiköihin ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella ja kuusen hakkuiden lisääntymisen vasta toisella ja kolmannella kymmenvuotiskaudella. Uudistuskypsiä ja uudistuskypsyttä lähellä olevia kuusikoita säästetään tukkipuun saannon turvaamiseksi pidemmälle aikavälille. Kuusitukin säästämistapoihin liittyy kuitenkin riskejä (esimerkiksi tyvilaho), joita näissä laskelmissa ei otettu huomioon. Tukkipuun kasvun tasaisuusvaatimukseen liittyy riskejä pidemmällä aikavälillä myös istutusmänniköiden laadun suhteen. VMI7:ään perustuva tukkivähennysmalli ei riitä kuvaamaan puun laadun kehitystä.

Todellisessa päätöstilanteessa reaalitytuottovaatimus, inflaatio-odotus ja riskilisiä vaikuttavat korkokannan valintaan. Kilkki (1987) korostaa myös metsävarojen nykytilan merkitystä korkokannan valinnassa. Korkokannan suhteen tehty herkkyysoanalyysi 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.

Hakkuulaskelmat tehtiin 50 vuoden laskelmakaudelle. 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). Alkutuottoarvon suhteen määritellyllä rajoitteella on pyritty yhteismitallisuuteen eri alueilla. Rajoitteen toimivuus todellisessa päätöstilanteessa – esimerkiksi hakkuusuunnitteen laadinnassa – riippuu kuitenkin olennaisesti siitä, mikä on puuvarannon tila laskelmakauden alussa suhteessa puuntuotannon tavoitteeseen laskelmakauden lopussa. Esimerkiksi laskelmassa II, jossa lopputuottoarvon tuli olla vähintään alkutuottoarvon suuruinen, puuvaranto ja keskitilavuus alenevat laskelmakauden aikana. Lopputuottoarvorajoitteen nostaminen 20 prosentilla turvaa puuvarannon säilymisen alkutilanteen tasolla myös 50 vuoden laskelmakauden päättyessä. Puuntuotannon laskennallinen kestävyys edellyttää metsien nuorennusleikkausta ja perustuu nuoriin metsiin kohdistuviin kasvuodotuksiin. Kasvuennusteisiin liittyy kuitenkin aina epävarmuutta.

Tuloksia tulkittaessa on otettava huomioon tulosten luotettavuuden olevan sitä huonompi mitä kauemmaksi tulevaisuuteen laskelmia tehdään. Jokaisista kymmenvuotiskautta koskevat arviot ovat aina mahdollisia 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 mahdollisia 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. Lounais-Suomen metsäkeskuksen suunnittelupäällikkö Tapio Nummi ja MH Markku Siitonen ovat kommentoineet käsikirjoituksen. Parhaimmat kiitokset kaikille tutkimuksen valmistamiseen 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.
- 1998. Mitä käyttäjän tulisi tietää MELAn kasvumalleista. Julkaisussa: Nuutinen, T. & Mäkelä, P. (toim.). MELA98 ja tietojärjestelmäajennukset. MELA-käyttäjätapaaminen 7.5.1998 Helsingissä. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 713: 18–29.
- , Ojansuu, R., Hökkä, H., Salminen, H., Haapala, P., Härkönen, K. & Repola, J. 2000. Models for predicting stand development – Version for description of biological processes in MELA System. Metsäntutkimuslaitos. Käsikirjoitus.
- 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.
- Kilki, P. 1987. Timber management planning. *Silva Carelica* 5. University of Joensuu. 2. painos. 159 s. ISBN 951-696-528-8.
- Korhonen, K.T., Tomppo, E., Henttonen, H., Ihalainen, A. & Tonteri, T. 2000. Lounais-Suomen metsäkeskuksen alueen metsävarat ja niiden kehitys 1964–98. Metsätieteen aikakauskirja 2B/2000: 337–411.
- 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.
- Kurri, S. 1998. Reaalikorko Pohjoismaissa. Valtion taloudellinen tutkimuskeskus. Keskustelualoitteita 167. 38 s. ISBN 951-561-237-3.
- 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.
- 1967. Helsingin, Lounais-Suomen, Satakunnan, Uudenmaan-Hämeen, Pohjois-Hämeen ja Itä-Hämeen metsävarat vuosina 1964–65. Summary: Forest resources in the Forestry Board Districts of Helsinki, Lounais-Suomi, Satakunta, Uusimaa-Häme, Pohjois-Häme and Itä-Häme in 1964–65. *Folia Forestalia* 27. 56 s.
- 1978. Suomen metsävarat ja metsien omistus 1971–1976. Summary: Forest resources and ownership in Finland 1971–1976. *Communicationes Instituti Forestalis Fenniae* 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. 1974. 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.
- 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.
- Lappi, J. 1992. JLP: A linear programming package for management planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s.
- Luonnonläheinen metsänhoito. 1994. Metsänhoitosuosittukset. Metsäkeskus Tapion julkaisu 6/1994. 2. painos. 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.
- Metsäluonnon hoito hakkuissa ja metsän uudistamisessa. 1997. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Helsinki. 12 s. + liitteet.
- Metsätalastollinen vuosikirja 1999. 1999. Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus. 352 s.
- Nuutinen, T., 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.
- 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 Keskisessä 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.
- Täppinen, J., Vihriälä, V. & Virén, M. 1997. Mistä hyvä korkokehitys johtuu? *Kansantaloudellinen aikakauskirja* 4/1997: 602–620.
- Valtakunnan metsien 9. inventointi (VMI9). 1998. Maastotyön ohjeet 1998. Etelä-Suomi. Metsäntutkimuslaitos. Moniste. 150 s.

41 viitettä