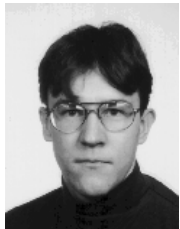




■ Ari Keskimölo



■ Juha Malinen

Ari Keskimölo ja Juha Malinen

Lapin metsänkäyttöskenaarioiden energiapuukertymät

Keskimölo, A. & Malinen, J. 1997. Lapin metsänkäyttöskenaarioiden energiapuukertymät. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 3/1997: 375–388.

Tutkimuksessa arvioidaan Lapin metsästrategiatyöryhmän esittämien metsänkäyttöskenaarioiden toteutumisen vaikutukset energiapuun korjuumahdollisuuksiin seuraavan kolmen vuosikymmenen aikana Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien alueella. Laskelmat tehtiin MELA-ohjelmistosta energiapuulaskentaan kehitetyllä versiolla. Tulokset laskettiin kahdelle talousskenaariolle, monikäyttöskenaariolle ja luonnonsuojeluskenaariolle neljällä vaihtoehdoisella energiapuun hinnalla (45, 55, 65 ja 85 mk/MWh) käyttöpaikalla.

Maksimihinnalla 45 mk/MWh energiapuun korjuu ei ollut kannattavaa. Maksimihinnoilla 55–85 mk/MWh talousskenaarioiden energiapuukertymä oli 0,6–1,2 milj. m³/v. Monikäyttöskenaariossa energiapuukertymät olivat vastaavilla hinnoilla 0,5–1,1 milj. m³/v ja luonnonsuojeluskenaariossa 0,5–0,9 milj. m³/v. Männyn ja kuusen osuus energiapuukertymistä oli yhteensä vähintään 80 %. Lämpöarvoltaan parhaan puulajin, koivun, osuus oli suurimmillaan 19 %. Energiapuukertymät koostuivat pääasiassa mänty- tai kuusivaltaisilta päätehakkuaaloilta korjattavista hakkuutähteistä. Energiapuun korjuuala oli suurimmillaan runsaat 35 000 ha.

Energiapuu tarjoaa tulevaisuudessa merkittävän mahdollisuuden energiantuotannossa. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että energiapuun käyttöä Lapissa ei rajoita tulevaisuudessa niinkään metsien käyttö, vaan ennen kaikkea energiapuusta maksettava hinta.

Asiasanat: energiapuu, energiapuun korjuun kannattavuus, työllisyys, valtakunnan metsien inventointi

Kirjoittajien osoitteet: *Keskimölo*: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Soidinkuja 4, 00700 Helsinki. *Malinen*: Metsäntutkimuslaitos, PL 68, 80101 Joensuu

Telekopio 09-1562 232 Sähköposti: ari.keskimolo@tapio.mailnet.fi

Hyväksytty: 2.9.1997

1 Johdanto

Maa- ja metsätalousministeriö asetti vuoden 1994 lopulla Lapin metsästrategiatyöryhmän, jonka tehtävänä oli valmistella Lapin metsien käyttöä, hoitoa ja suojelua koskeva toimenpideohjelma Lapin metsätalouden kehittämiseksi pitkällä aikavälillä (Kajala 1996). Metsästrategiatyöryhmässä oli edustettuna Lapin koko metsäsektori. Työssä painotettiin erityisesti luonnonvarojen kestävyyttä sekä Lapin metsien taloudellisten, sosiaalisten ja ekologisten tekijöiden merkitystä niin alueellisesti kuin kansainvälisestikin.

Lapin metsästrategiatyöryhmän tilauksesta Metsäntutkimuslaitos tuotti Pohjois-Suomen metsille erilaisia kehitysvaihtoehtoja valtakunnan metsien inventointiaineiston pohjalta (Jämsä ja Hirvelä 1996). Näiden perusteella Lapin metsästrategiatyöryhmä hahmotteli neljä vaihtoehtoista skenaariota Lapin metsien tulevalle käytölle. Skenaariot nimettiin talous-, monikäyttö- ja luonnonsuojeluskenaarioksi (Kajala 1996), jotka kuvataan tarkemmin luvussa 2. Skenaariot ovat syntyneet laajan asiantuntijaryhmän yhteistyönä.

Tämän tutkimuksen tavoitteena on arvioida Lapin metsästrategiatyöryhmän esittämien metsänkäyttökkenaarioiden toteutumisen vaikutukset energiapuukertymiin seuraavien kolmen vuosikymmenen aikana. Energiapuukertymien hintaherkkyyttä tarkastellaan neljällä vaihtoehtoisella energiapuun hinnalla käyttöpaikalla. Energiapuukertymiä on arvioitu aikaisemmin toisistaan poikkeavilla menetelmillä mm. Pohjanmaalla, Pohjois-Savossa ja Lapiassa (Tiuhonen ja Virtanen 1982, 1983, Leiviskä ym. 1993, Mattila ja Keskimölo 1994, Mielikäinen ym. 1995).

2 Aineisto ja menetelmä

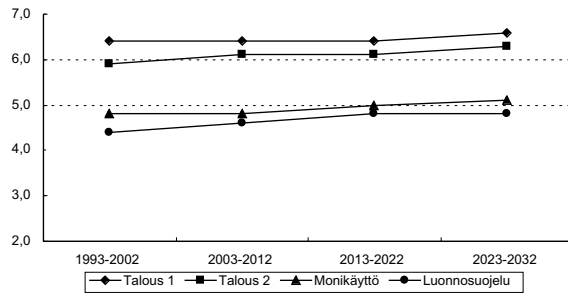
2.1 Tutkimusaineisto

Lapin metsästrategiatyöryhmä hahmotteli kaksi talousskenaariota sekä monikäyttö- ja luonnonsuojeluskenaariot vaihtoehtoisiksi Lapin metsien tulevalle käytölle Metsäntutkimuslaitoksen tekemien met-

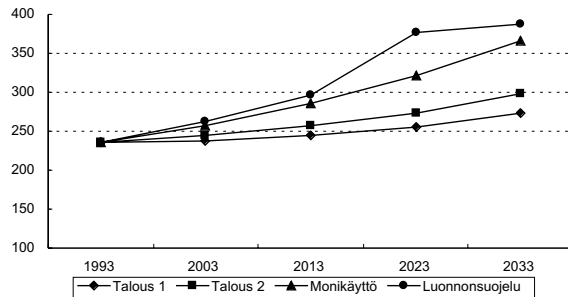
sävara- ja hakkuulaskelmien pohjalta (Jämsä ja Hirvelä 1996, Kajala 1996, s. 74–82). Tehdyt laskelmat koskivat teollisuuden ainespuun hakkuumahdollisuuksia ja ne tehtiin 40 vuoden ajalle. Lapin metsästrategiatyön vaihtoehtoiset skenaariot esitellään seuraavassa lyhyesti. MELA-laskelmien kytkennät eri skenaarioihin ja tehtyjen laskelmien perusteet on esitetty yksityiskohtaisemmin Lapin metsästrategiatyössä (Kajala 1996). Tässä esitetään laskelmien perusteet pääpiirteittäin.

Talousskenaarioissa metsiä hyödynnetään täysimääräisesti puuntuotannollisen kestävyuden rajoissa. Talousskenaario 1 kuvaa väljentyvän metsälainsäädännön mahdollisuuksia. Siinä metsiä hyödynnetään käyttämällä hyväksi uuden metsänhoitolain antamat mahdollisuudet hakata puuntuotannollisesti suurin kestävä hakkuumäärä metsänhoitosuosituksia lyhyemmällä ohjekiertoaajoilla. Talousskenaariossa 2 metsänhoitosuosituksia noudatetaan myös ohjekiertoaikojen osalta. Monikäyttökkenaario on Metsä 2000 -ohjelman mukaelma ja siinä painotetaan puuntuotannon ohella enemmän myös metsän muita käyttömuotoja, minkä vuoksi hakkuuta tehdään varovaisemmin kuin talousskenaarioissa. Luonnonsuojeluskenaariossa ohjekiertoaika on 25 % metsänhoitosuosituksia pitempi, joten sen voidaan katsoa tukevan esitetyistä vaihtoehtoista parhaiten luonnonsuojelun tarpeita.

Tehdyissä MELA-laskelmissa maksimoitiin kolmen tai neljän prosentin korkokannalla diskontattua nettotulojen nykyarvoa laskelmakauden alussa ja puuntuotannon kestävyys otettiin huomioon rajoitteiden avulla (Jämsä ja Hirvelä 1996, Kajala 1996, s. 72–73). Puuntuotannon kestävyuden turvaamiseksi laskelmakaudella nettotulojen ja hakkuukertymien edellytettiin olevan tasaisia tai nousevia ja tukkikertymän tuli säilyä vähintään ensimmäisen 10-vuotiskauden tasolla. Puuston määrän ja tuottoarvon tuli olla vähintään nykytasolla laskelmakauden lopussa puuntuotannon kestävyuden turvaamiseksi laskelmakauden jälkeen. Näiden lisäksi Lapin metsälautakunnan alueella käytettiin rajoitteena suurinta mahdollista uudistamis-pinta-alaa metsien ikärakenteeseen nähden ylisuurten uudistushakkuiden estämiseksi. Koillis-Suomen metsälautakunnan alueella tätä rajoitetta ei tarvittu metsien erilaisen ikärakenteen vuoksi. Suurin mahdollinen uudistamis-pinta-ala määritettiin alueen puus-



Kuva 1. Hakuukertymät eri skenaarioissa Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueella.



Kuva 2. Puuvaranto eri skenaarioissa Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueella.

ton keskimääräisen kiertojen perusteella ja se vaihteli 0,8–1,2 % välillä puuntuotannon piirissä olevan metsämaan pinta-alasta. Laskelmissa oletettiin, että puuntuotannossa olevan metsämaan pinta-ala säilyy nykyisellään ja että puuston kasvuedellytykset säilyvät nykytasolla. Lisäksi Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakunnan alueen kitumailla ja alhaisen lämpösunnan (<700 d.d.) soilla ei sallittu hakkuuta ja metsänhoitotoimenpiteitä.

Talousskenaarioiden toteutuminen merkitsisi muita skenaarioita huomattavasti suurempia teollisuuden ainespuun hakkuukertymiä (kuva 1) (Jämsä ja Hirvelä 1996, Kajala 1996). Talousskenaariossa 1 Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueen ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuukertymä olisi yhteensä 6,4 milj. m³ ja talousskenaariossa 2 kertymä oli 5,9 milj. m³ vuodessa. Jatkossa hakkuukertymien arvioitiin kasvavan molemmassa vaihtoehdoissa lievästi. Kiertoaikojen lyhentämisen (talousskenaario 1) hakkuumahdollisuuksia lisäävä vaikutus olisi kaikilla kymmenvuo-

tiskausilla vähintään 0,3 milj. m³ vuodessa. Monikäyttö- ja luonnonsuojeluskenaariossa hakkuukertymät olisivat selvästi talousskenaarioita pienemmät. Monikäyttökäytökskenariossa ensimmäisen kymmenvuotiskauden hakkuukertymä olisi 4,8 milj. m³ ja luonnonsuojeluskenaariossa 4,4 milj. m³ vuodessa. Hakkuukertymien arvioitiin kasvavan lievästi myös näissä vaihtoehdoissa.

Kaikissa skenaarioissa Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien puuntuotannon piirissä olevan alueen puuvaranto kasvaisi nykyisestä noin 235 milj. m³:sta (kuva 2). Luonnonsuojeluskenaariossa puuvarannon kasvu olisi tulevan 40 vuoden aikana yli 150 milj. m³ ja monikäyttökäytökskenariossakin se olisi 130 milj. m³. Myös talousskenaarioissa puuvarannon kasvu olisi huomattavaa. Puuvarannon lisääntymiseen vaikuttaa metsien käytön lisäksi ratkaisevasti metsien rakenne. Nuoria nopeasti kasvavia metsiä on Lapissa runsaasti sotien jälkeisten runsaiden uudistamishakkuiden takia (Tomppo ja Hirvelä 1994, 1995).

Tässä tutkimuksessa esitettävien energiapuulaskelmien perusteet olivat samat kuin edellä esitetyissä Lapin metsänkayttöskenaariolaskelmissa. Erona aiemmin esitettyihin laskelmiin oli se, että energiapuun korjuu otettiin mukaan tarkasteluun. Laskenta-alueena oli Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakunnat, jotka yhdistyivät 1.3.1996 Lapin metsäkeskukseksi. Kuusamon kunta kuuluu laskenta-alueeseen, vaikka se jäikin Lapin metsäkeskuksen alueen ulkopuolelle. Laskenta-alueen pinta-ala oli yhteensä lähes 5,3 milj. ha.

Laskelmat tehtiin valtakunnan metsien 8. inventoinnin (VMI8) koelaloista muodostetuilla MELA-aineistoilla (Tomppo ja Hirvelä 1994,1995), joita käytettiin myös Lapin metsästrategialaskelmissa (Jämsä ja Hirvelä 1996, Kajala 1996, s. 74). Aineiston maastomittaukset on tehty vuosina 1992–94. Tarkastelun kohteena olevan alueen metsiä kuvattiin koelaloista muodostetuilla laskentayksiköillä. Maastokoealat on ryhmitelty puuston tilalta ja kehitykseltä yhtenäisiin luokkiin koelaloilta mitattujen kasvupaikka-, puusto- ja toimenpidetietojen perusteella. Puusto kuvataan aineistossa kuvauspuiden avulla, joita olivat mm. VMI-koelaloilta relaskoopilla yksilöidyt lukupuut. Metsät on luokiteltu MELA-aineistoissa kolmeen käsittelyluokkaan niiden käyttöön liittyvien rajoitusten perusteella:

ensisijaisesti puuntuotantoon, rajoitettuun puuntuotantoon ja puuntuotannon ulkopuolelle kuuluviin metsiin. Koillis-Suomen metsälautakunnan alueen koealoista on muodostettu 352 ja Lapin metsälautakunnan alueen koealoista 698 laskentayksikköä. Lapin metsälautakunnan alue oli jaettu kolmeen osa-alueeseen Lapin metsälautakunnan suuren koon ja maantieteellisten erojen vuoksi.

2.2 Tutkimusmenetelmä

Laskelmat tehtiin MELA-ohjelmistosta (Kilkki ja Siitonen 1976, Siitonen 1983, 1993, 1995, Kilkki 1987) energiapuulaskelmiin kehitetyllä versiolla (Mielikäinen ym. 1995, Malinen ym. 1996). Laskentamenetelmä perustuu simulointiin ja optimointiin. Laskentayksiköille tuotetaan vaihtoehtoisia metsänkäsittelyketjuja halutulle ajanjaksolle ja simuloituista vaihtoehdoista valitaan alueen puuntuotanto-ohjelma lineaarisen optimoinnin avulla (Lappi 1992). Metsien kehitystä ja toimenpiteitä kuvataan mallien ja käsittelysääntöjen avulla (Ojan-suu ym. 1991). Laskentayksiköille simuloitiin tavalliset metsänkäsittelytoimenpiteet kuten taimikonhoito, hakkuut ja metsän uudistaminen. Optimointitehtävässä määriteltiin puuntuotannolle asetetut tavoitteet ja rajoitteet (ks. aineiston kuvaus). Puuntuotannon rajoitteita otettiin huomioon myös simuloinnissa ohjaamalla kitumaiden ja alhaisen lämpösomman soiden toimenpiteiden simulointia.

Harvennustarve määritetään MELA-ohjelmistossa harvennusmallien avulla. Harvennuksia simuloitiin alaharvennuksina, jolloin harvennuksessa poistetaan pääasiassa runkolukusarjan pienimpiä puita, mutta esim. ensiharvennuksissa myös ylispuita. Harvennuksissa kasvamaan jätetään ensisijassa kasvupaikalle parhaiten sopivia puulajeja. Koillis-Suomessa ja Lapissa männyn kasvuedellytykset ovat monin paikoin muita puulajeja paremmat. Metsien uudistamispäätös tehtiin metsänhoito-ohjeiden mukaisten kiertoaikojen ja läpimittavaatimusten perusteella

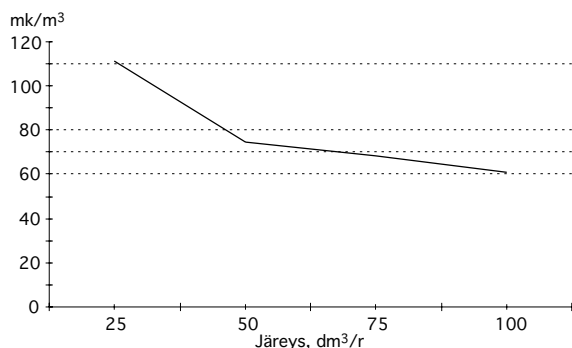
Energiapuulaskelmissa tarkasteltiin teollisuuden ainespuun korjuun lisäksi energiapuun korjuuta. Simuloidut energiapuun korjuuvaihtoehdot olivat hakkuutähteen korjuu päätehakkuaaloilta, integroitu teollisuuden ainespuun ja energiapuun korjuu

mäntyvaltaisista ensiharvennusmetsistä sekä energiapuun erilliskorjuu ensiharvennusmetsistä (Mielikäinen ym. 1995). Integroitu korjuuketju perustui ketjukarsintamenetelmään (Hakkila ja Kalaja 1993). Ensiharvennuksissa teollisuuden ainespuu ja energiapuun kilpailivat siten samoista kohteista.

Ensiharvennusten energiapuuhakkuissa metsään oletettiin jätettävän noin 3 m:n latvakappale, mikä merkitsee ensiharvennusleimikoissa männyllä noin 5 cm, kuusella 5–6 cm ja koivulla 3–4 cm kuoretonta katkaisuläpimittaa. Pölkynpituutena käytettiin noin 5 m ja latvasta voitiin katkaista noin 3 m:n kappale apumittana. Energiapuun korjuuvaihtoehdoissa saadaan talteen runkopuun lisäksi myös latvusmassaa, jota voidaan hyödyntää energiantuotannossa. Hakkuussa poistettavien puiden latvusmassat laskettiin puukohtaisilla malleilla (Hakkila 1991). Käytetyt mallit perustuivat puulajiin, puun rinnankorkeusläpimittaan ja puun pituuteen. Niiden avulla ennustettiin biomassat koko latvukselle, elävälle latvukselle, kuolleille oksille ja neulasille. Latvusmassat muutettiin kiintotilavuudeksi kuiva-tuoretiheyksien avulla (Gislerud 1974, Kärkkäinen 1976, Hakkila 1989).

Ensiharvennusten energiapuun korjuuvaihtoehdoissa metsään jäävän runkopuun osuus laskettiin puulajeittain puun pituuden ja metsään jäävän latvakappaleen pituuden perusteella. Hakkuun ja metsäkuljetuksen yhteydessä metsään arvioitiin jäävän elävistä oksista 7 kg kuorellista runkopuun kiintokuutiometriä kohti (Hakkila ja Kalaja 1993) ja kuolleista oksista 50 %. Integroidun korjuuketjun raaka-ainetase perustui Hakkilan ja Kalajan (1993) tutkimukseen ja prosessoinnissa saatava polttojäte oletettiin saatavan kokonaan polttokäyttöön. Hakkuutähteen korjuussa hakkuutähteen talteensaantoprosentiksi oletettiin 60 % hakkuutähteen kokonaisuudesta. Talteen saadun energiapuun energiasisältö laskettiin tehollisten lämpöarvojen avulla (Hakkila 1984, Nurmi 1993, Tapion taskukirja 1994, s. 572–574).

Ensiharvennusten energiapuun korjuuvaihtoehdoissa siirtelykaatona tehtävän hakkuun kustannusmalli laadittiin metsätyön palkkaperusteiden pohjalta (Metsäpalkkarakenteen uudistaminen 1995) ja metsäkuljetuksen osapuun kustannusmalli laadittiin vuoden 1991 yksikkömaksujen perusteella (Perustason maksut... 1991) (kuva 3). Palkkaperus-

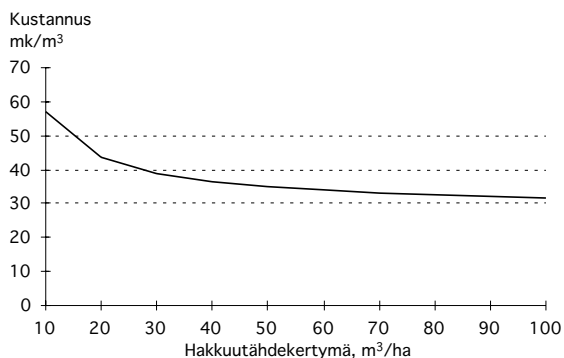
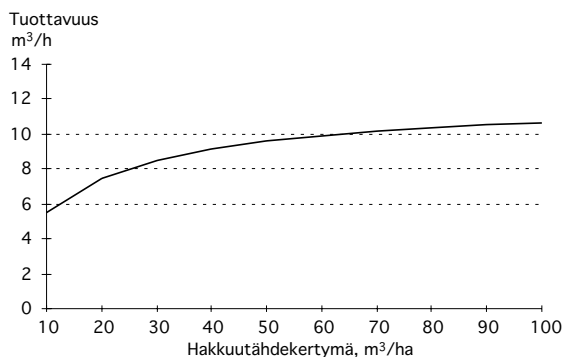


Kuva 3. Laskelmissa käytettyjen mallien siirtelykaatona tehtävän hakkuun ja osapuun metsäkuljetuksen (350 m) kustannukset ilman työnjohto-, suunnittelu- ja sivukuluja Pohjois-Suomen ensiharvennusmänniköissä.

teista saadut hakkuun yksikköhinnat (mk/runko) ohjelmoitiin tietokoneohjelmaksi ja hakkuun kustannukset laskettiin MELAssa yksikköhintojen (mk/r) ja hakkuupoistuman runkolukusarjan perusteella. Kustannuksiin lisättiin palkan sivukustannusten ja työnjohdon osuus. Metsäkuljetusten yksikkömaksut ohjelmoitiin myös tietokoneohjelmaksi ja metsäkuljetuksen kustannukset laskettiin puulajin, tarvalajien tiheyden ja metsäkuljetusmatkan perusteella. Metsäkuljetusta koskevan mallin kustannustaso korjattiin vuoden 1996 tasolle. Hakkuutähteen korjuun kustannusmalli laadittiin Kärhän (1994) ja Vesisenahon (1994) tutkimusten pohjalta (kuva 4). Keskimääräisenä metsäkuljetusmatkana oli laskelmissa 350 m.

Energiapuun hakkuutyön työmenekkimalli perustui hakkuutyön palkkaperusteiden tuotoslukuihin (Metsäpalkkarakenteen uudistaminen 1995). Vastaavasti hakkuutähteen metsäkuljetuksen työmenekkimalli perustui kustannusten laskennassa käytettyyn hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuusmalliin (kuva 3).

Energiapuukertymiä tarkasteltiin seuraavan kolmen kymmenvuotiskauden aikana neljällä vaihtoehtoisella energiapuun maksimihinnalla käyttöpaikalla (45, 55, 65 ja 85 mk/MWh). Maksimihinnalla tarkoitetaan tässä hintaa, johon energiapuu on toimitettava käyttöpaikalle, jotta sen käyttö energiantuotannossa on kannattavaa. Hinta sisältää energiapuun korjuu-, haketus- ja kuljetuskustannukset, mutta ei varsinaista kantohintaa. Energiapuulle voi



Kuva 4. Laskelmissa käytettyjen mallien hakkuutähteen metsäkuljetuksen tuottavuus (m³/h) ja kustannukset (mk/m³), kun metsäkuljetusmatka on 350 m.

kuitenkin muodostua kantohintaa, jos energiapuu saadaan toimitettua käyttöpaikalle laskelmassa käytettyä hintaa alhaisemmin kustannuksin. Energiapuun kaukokuljetusmatkana oli laskelmissa 50 km ja kaukokuljetuskustannuksena käytettiin ensiharvennusten energiapuulla 28 mk/m³ ja hakkuutähteenä 29 mk/m³. Kaukokuljetuskustannuksia käytettiin laskettaessa energiapuun tienvarsihintaa.

3 Tulokset

3.1 Energiapuun korjuu talousskenaarioissa

Talousskenaariot poikkesivat toisistaan ohjekierroaikojen noudattamisen suhteen. Talousskenaarioissa kuten muissakaan skenaarioissa energiapuun korjuu ei ollut kannattavaa energiapuun maksimi-

Taulukko 1. Energiapuukertymät, energiapuun korjuun pinta-alat ja työpanokset kolmella vaihtoehtoisella energiapuun maksimihinnalla talousskenaariossa 1. Maksimihinnalla 45 mk/MWh energiapuun korjuu ei ollut kannattavaa.

	Kymmenvuotiskausi			Keski- arvo
	1993–2002	2003–2012	2013–2022	
MAKSIMIHINTA 55 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	834	710	613	719
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	49	42	45	45
kuusi	41	45	46	44
koivu	8	12	9	9
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	8	11	10	10
latvusmassa	92	89	90	90
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakuutähteiden korjuu	23 800	20 000	16 900	20 233
Työpanos, henkilötyövuotta/v	60	51	44	52
MAKSIMIHINTA 65 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	947	812	720	826
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	50	40	44	45
kuusi	41	47	42	43
koivu	8	11	13	11
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	8	11	11	10
latvusmassa	92	89	89	90
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakuutähteiden korjuu	29 000	22 200	19 500	23 567
Työpanos, henkilötyövuotta/v	70	59	52	60
MAKSIMIHINTA 85 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	1 178	988	1 099	1 088
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	47	40	42	43
kuusi	43	46	40	43
koivu	8	13	17	13
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	10	13	16	13
latvusmassa	90	86	84	87
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	500	500	1 100	700
hakuutähteiden korjuu	35 000	27 300	29 600	30 633
Työpanos, henkilötyövuotta/v	88	75	89	84

hinnalla 45 mk/MWh. Hinnan ollessa 55 mk/MWh ensimmäisen kymmenvuotiskauden energiapuukertymät Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueella olivat talousskenaariossa 1 yhteensä 0,83

milj. m³ ja talousskenaariossa 2 kertymä oli 0,78 milj. m³ vuodessa (taulukot 1 ja 2). Maksimihinnalla 65 mk/MWh ensimmäisen kauden energiapuukertymät olivat vastaavasti 0,95 milj. m³/v ja

Taulukko 2. Energiapuukertymät, energiapuun korjuun pinta-alat ja työpanokset kolmella vaihtoehtoisella energiapuun maksimihinnalla talousskenaariossa 2. Maksimihinnalla 45 mk/MWh energiapuun korjuu ei ollut kannattavaa.

	Kymmenvuotiskausi			Keski-arvo
	1993–2002	2003–2012	2013–2022	
MAKSIMIHINTA 55 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	784	863	629	759
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	47	34	43	41
kuusi	44	53	46	48
koivu	8	12	11	10
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	8	11	11	10
latvusmassa	92	89	89	90
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakkuutähteiden korjuu	22 300	23 700	18 600	21 533
Työpanos, henkilötyövuotta/v	57	62	46	55
MAKSIMIHINTA 65 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	890	952	834	892
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	50	33	46	43
kuusi	41	54	42	46
koivu	8	12	12	11
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	8	11	12	10
latvusmassa	92	89	88	90
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakkuutähteiden korjuu	27 000	27 300	25 900	26 733
Työpanos, henkilötyövuotta/v	66	70	61	65
MAKSIMIHINTA 85 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	1 054	1 202	1 117	1 124
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	46	33	50	43
kuusi	45	49	35	43
koivu	8	17	14	13
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	9	15	15	13
latvusmassa	91	85	85	87
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	800	1 100	633
hakkuutähteiden korjuu	30 900	34 500	21 800	29 067
Työpanos, henkilötyövuotta/v	78	95	91	88

0,89 milj. m³/v. Maksimihinnan ollessa 85 mk/MWh energiapuukertymä oli talousskenaariossa 1 ensimmäisellä kaudella 1,18 milj. m³ ja talousskenaariossa 2 kertymä oli 1,05 milj. m³ vuodessa.

Talousskenaariossa 1 voitiin tehdä ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella enemmän päätehakkuita, koska kiertoajat olivat lyhemmät. Tällöin myös hakkuutähteitä oli mahdollista korjata enemmän. Sa-

malla kuitenkin myöhemmät hakkuumahdollisuudet pienenevät, minkä vuoksi energiapuukertymät toisella ja kolmannella kymmenvuotiskaudella laskevat. Talousskenaariossa 2 energiapuukertymät kasvoivat selvästi toisella kymmenvuotiskaudella.

Pääosa energiapuusta oli mäntyä ja kuusta. Talousskenaariossa 1 niiden molempien osuudet koko laskentajaksolla olivat 43–45 %. Talousskenaariossa 2 kuusen osuus kasvoi hieman. Lämpöarvoltaan parasta puulajia koivua oli ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella alle kymmenesosa kertymistä, mutta sen osuus kasvoi laskentajakson loppua kohden ollen suurimmillaan 17 %. Energiapuusta noin kymmenesosa oli runkopuuta ja loput latvusmassaa (oksia ja neulasia). Runkopuun osuus kasvoi lievästi laskentajakson lopulla.

Talousskenaarioissa energiapuun korjuuala oli suurimmillaan runsaat 35 000 ha/v ja energiapuuta kertyi pääasiassa päätehakkuualoilta. Energiapuun erilliskorjuuta ensiharvennuksista oli ainoastaan korkeimmalla hintavaihtoehdolla, enimmillään 1 100 ha/v. Energiapuun integroitu korjuu mäntyvaltaisilta ensiharvennusaloilta ei ollut kannattavaa missään skenaariossa. Energiapuun hakkuun ja metsäkuljetuksen (ts. energiapuun korjuun) työpanos vaihteli energiapuukertymien mukaisesti ollen suurimmillaan 95 henkilötyövuotta vuodessa.

3.2 Energiapuun korjuu monikäyttöskenaariossa

Monikäyttöskenaariossa metsiä käsiteltiin talousskenaariota huomattavasti varovaisemmin. Teollisuuspuun hakkuiden väheneminen vaikutti myös energiapuukertymiin. Maksimihinnalla 55 mk/MWh laskentajakson energiapuukertymät olivat 0,49–0,72 milj. m³ vuodessa (taulukko 3). Maksimihinnan ollessa 65 mk/MWh energiapuukertymät olivat 0,71–0,79 milj. m³/v ja kun maksimihinta oli 85 mk/MWh ensimmäisen kauden energiapuukertymä oli 0,90 milj. m³/v. Se kasvoi laskentajakson loppua kohden ollen kolmannella kymmenvuotiskaudella 1,07 milj. m³/v.

Männyn ja kuusen osuudet energiapuukertymistä olivat samaa suuruusluokkaa (yhteensä 80–91 %) kuin talousskenaarioissa. Koivua oli aluksi noin kymmenesosa koko energiapuukertymästä ja sen

osuus kasvoi talousskenaarioiden tapaan ollen kolmannella kymmenvuotiskaudella enimmillään 19 %. Runkopuun osuus energiapuukertymästä oli suurimmillaan 16 %.

Energiapuun korjuuala oli enimmillään runsaat 30 000 ha/v. Energiapuun erilliskorjuuta ensiharvennuksista oli vähäisessä määrin ainoastaan kalteimmassa hintavaihtoehdossa. Energiapuun korjuun työpanos oli suurimmillaan 82 henkilötyövuotta vuodessa.

3.3 Energiapuun korjuu luonnonsuojeluskenaariossa

Luonnonsuojeluskenaariossa metsien käsittelyssä sovellettiin pidempiä kiertoaikoja kuin muissa skenaarioissa. Koska energiapuukertymät koostuivat pääasiassa päätehakkuulojen hakkuutähteistä, teollisuuspuun hakkuiden väheneminen pienensi energiapuukertymiä monikäyttöskenaarion tasosta. Energiapuun maksimihinnan ollessa 55 mk/MWh vuotuiset energiapuukertymät vaihtelivat 0,5 milj. m³:n molemmin puolin (taulukko 4). Maksimihinnalla 65 mk/MWh energiapuukertymät olivat 0,58–0,67 milj. m³ vuodessa ja maksimihinnalla 85 mk/MWh 0,69–0,94 milj. m³ vuodessa.

Hakkuukertymien pieneminen ei vaikuttanut mainittavasti eri puulajien eikä runkopuun ja latvusmassan osuuksiin energiapuukertymistä. Energiapuun korjuuala oli suurimmillaan runsaat 28 000 ha/v ja korjuun työpanos oli suurimmillaan 72 henkilötyövuotta vuodessa. Maksimihinnalla 55 mk/MWh energiapuun korjuun työllisyysvaikutus tässä metsien käytön varovaisimmassa vaihtoehdossa oli kuitenkin vielä lähes 40 henkilötyövuotta.

4 Tulosten tarkastelu

Tässä tutkimuksessa laskentayksiköille simuloitiin energiapuun korjuuvaihtoehdot perinteisen tavaramallikorjuun lisäksi. Metsänkäsittelyn vaihtoehdot lisääntyvät energiapuun tuotantovaihtoehtojen mukaan ottamisen myötä ja tämä muuttaa ongelmanratkaisua. Lapin metsästrategiatyöryhmälle tehdyissä laskelmissa ja tässä tutkimuksessa käytetty

Taulukko 3. Energiapuukertymät, energiapuun korjuun pinta-alat ja työpanokset kolmella vaihtoehtoisella energiapuun maksimihinnalla monikäyttökkenaariossa. Maksimihinnalla 45 mk/MWh energiapuun korjuu ei ollut kannattavaa.

	Kymmenvuotiskausi			Keski-arvo
	1993–2002	2003–2012	2013–2022	
MAKSIMIHINTA 55 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	691	716	493	633
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	54	37	43	45
kuusi	37	50	44	44
koivu	8	12	12	11
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	8	11	12	10
latvusmassa	92	89	88	90
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakkuutähteiden korjuu	20 300	19 900	14 600	18 267
Työpanos, henkilötyövuotta/v	50	52	35	46
MAKSIMIHINTA 65 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	756	788	711	752
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	54	35	42	44
kuusi	37	51	44	44
koivu	8	12	13	11
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	8	11	13	11
latvusmassa	92	89	87	89
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakkuutähteiden korjuu	22 800	22 100	20 700	21 867
Työpanos, henkilötyövuotta/v	55	57	51	54
MAKSIMIHINTA 85 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	902	992	1 069	988
Jakautumien puulajeittain (%):				
mänty	51	37	42	43
kuusi	39	50	38	43
koivu	9	12	19	13
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	9	13	16	13
latvusmassa	91	87	84	87
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	700	700	467
hakkuutähteiden korjuu	29 600	28 000	29 500	29 033
Työpanos, henkilötyövuotta/v	67	77	82	75

MELA-ohjelmiston simulointiosa poikkesivat toisistaan. Näiden tekijöiden vuoksi teollisuuden ainespuun hakkuukertymät ja puuston kehitys poikkesivat tässä työssä hieman Lapin metsästrategiat-

yössä tehdyistä laskelmista. Talousskenaarioissa eri versioilla tehdyt laskelmat eivät poikenneet toisistaan merkittävästi. Monikäyttökkenaariossa energiapuukertymät olivat lieviä yliarvioita, koska teolli-

Taulukko 4. Energiapuukertymät, energiapuun korjuun pinta-alat ja työpanokset kolmella vaihtoehtoisella energiapuun maksimihinnalla luonnonsuojeluskenaariossa. Maksimihinnalla 45 mk/MWh energiapuun korjuu ei ollut kannattavaa.

	Kymmenvuotiskausi			Keskiarvo
	1993–2002	2003–2012	2013–2022	
MAKSIMIHINTA 55 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	519	489	495	501
Jakautumien puolajieittain (%):				
mänty	55	38	47	47
kuusi	36	51	43	43
koivu	8	11	9	9
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	7	9	9	8
latvusmassa	93	91	91	92
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakuutähteiden korjuu	15 600	14 000	13 200	14 267
Työpanos, henkilötyövuotta/v	38	35	35	36
MAKSIMIHINTA 65 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	602	581	671	618
Jakautumien puolajieittain (%):				
mänty	53	33	48	45
kuusi	38	55	40	44
koivu	8	10	11	10
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	7	9	10	9
latvusmassa	93	91	90	91
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	–	–	–
hakuutähteiden korjuu	18 300	16 400	19 600	18 100
Työpanos, henkilötyövuotta/v	44	42	49	45
MAKSIMIHINTA 85 mk/MWh				
Kertymä yhteensä, 1000 m ³ /v	693	781	938	804
Jakautumien puolajieittain (%):				
mänty	54	35	40	43
kuusi	37	52	41	43
koivu	8	12	18	12
muu lehtipuu	1	1	1	1
Rungonosittain (%):				
runkopuu	7	13	13	11
latvusmassa	93	87	87	89
Korjuupinta-ala, ha/v:				
erilliskorjuu	–	1 100	700	600
hakuutähteiden korjuu	23 900	22 500	27 400	24 600
Työpanos, henkilötyövuotta/v	52	68	72	64

suuden ainespuukertymät olivat hiukan suuremmat kuin Lapin metsästrategiatyössä tehdyissä laskelmissa ja luonnonsuojeluskenaariossa vastaavasti lieviä aliarvioita. Kokonaisuutta ajatellen erojen mer-

kitys oli kuitenkin vähäinen, sillä energiapuun hinta vaikuttaa näitä voimakkaammin energiapuukertymiin. Erojen vuoksi energiapuuta koskevat tulokset esitettiin tässä vain kolmelle kymmenvuo-

tiskaudelle, koska erot teollisuuden ainespuun hakuuukertymissä olivat suurimmat juuri neljännellä kymmenvuotiskaudella (enimmillään 8 %).

Metsä- ja kaukokuljetusmatkat vakioidaan laskentamenetelmässä. Metsä- ja kaukokuljetusmatkan laskenta VMI-koealoille ei ole järkevää, koska yhteen laskentayksikköön voi aineistoa muodostettaessa tulla koealoja maantieteellisesti kaukaakin toisistaan. Laskentamenetelmän kustannusmallit asettavat myös rajansa tarkan metsä- ja kaukokuljetusmatkan hyödyntämiselle. Keskimääräisen metsä- ja kaukokuljetusmatkan käyttö soveltuu kuitenkin tämällyypiseen analyysiin. Laskenta-alueella on kattava metsätieverkosto ja 350 m:n keskimääräisen metsäkuljetusmatkan käyttö on tältä osin perusteltu. Tällä hetkellä mahdollisten energiapuun käyttöpaikkojen hankinta-alueet 50 km:n keskimääräisellä kaukokuljetusmatkalla kattavat Lapin etelä- ja keskiosan. Pohjois-Lapissa valittu kuljetusmatka edellyttäisi 1–2 uuden käyttöpaikan rakentamista.

Laskelmissa käytettiin neljää vaihtoehtoista energiapuun maksimihintaa käyttöpaikalla. Energiapuun korjuun kannattavuusraja oli 45 ja 55 mk/MWh:n välillä. Nämä hinnat vastaavat noin 90 ja 110 mk/m³ (1 m³ energiasisältö on noin 2 MWh). Maksimihinnalla 45 mk/MWh energiapuun korjuu ei ollut kannattavaa, mutta 55 mk/MWh maksimihinnalla energiapuukertymä oli pienimmilläänkin noin 0,5 milj. m³/v. Maksimihinnan nousu 55 mk/MWh:sta 85 mk/MWh:aan kasvatti energiapuukertymän 1,5–2,0-kertaiseksi. Energiapuusta käyttöpaikalla maksettavan hinnan merkitys energiapuukertymiin oli siten ratkaiseva.

Teollisuuden ainespuukertymät ja niiden myötä myös energiapuukertymät vaihtelivat skenaariosta toiseen. Ainespuukertymissä eroa oli suurimmillaan runsaat kaksi miljoonaa kuutiometriä ja energiapuukertymissä muutamia satoja tuhansia kuutiometrejä. Skenaarioittain tarkasteltuna energiapuukertymän ja teollisuuden ainespuukertymän välinen suhde oli lähes vakio, sillä energiapuukertymä oli keskimäärin 14–16 % ainespuukertymästä. Hintavaihtoehtoittain tarkasteltuna energiapuukertymä oli kaikissa skenaarioissa pienimmillään noin kymmenesosa (maksimihinta 55 mk/MWh) ja suurimmillaan noin viidesosa ainespuukertymästä (maksimihinta 85 mk/MWh).

Tehdyissä laskelmissa energiapuukertymiä ei pakotettu tasaisiksi, koska pyrittiin selvittämään, miten kunkin skenaarion toteutuminen vaikutti energiapuukertymiin eri kymmenvuotiskausilla. Energiapuukertymien tulisi olla tasaiset, jotta energian tuottamisella puulla olisi edellytyksiä. Vaikka energiapuukertymille ei laskelmissa asetettu tasaisuusvaatimusta, tasaisuusvaatimus toteutui kuitenkin hyvin.

Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien energiapuukertymät olivat herkempiä hintamuutoksiin kuin samalla menetelmällä Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueelle tehdyissä laskelmissa (Mielikäinen ym. 1995). Tämä aiheutui uusista tavaramaljakorjuun ja energiapuun korjuun kustannusmalleista ja Lapin suuremmista kuljetusetäisyyksistä. Tutkimuksessa käytetyt keskimääräiset lähi- ja kaukokuljetusmatkat olivat suuremmat verrattuna Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueelle tehtyihin laskelmiin, minkä vuoksi kannattavuusraja siirtyi ylöspäin. Uusista kustannusmalleista johtuen energiapuun integroitu korjuu ensiharvennusmänniköistä ei Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien alueella ollut kannattavaa, vaikka Keski-Pohjanmaalla sitä oli huomattava määrä. Tavaramaljakorjuu oli tässä tutkimuksessa käytetyillä kustannusmalleilla integroitua korjuuta edullisempi korjuutapa. Ensiharvennusmänniköiden energiapuureservi voidaan kuitenkin saada käyttöön, jos korjuutapojen kannattavuussuhde muuttuu. Hakkuutähteiden korjuu sallittiin kaikilta päätehakkuualoilta, koska kuusivaltaisten metsien osuus on Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien alueilla pieni. Hakkuutähteiden korjuun salliminen myös mäntyvaltaisista metsistä johti suuriin hakkuutähteiden korjuumääriin Koillis-Suomen ja Lapin metsälautakuntien alueilla. On otettava huomioon, että pienikin muutos mallien kustannustasossa voi aiheuttaa merkittäviä muutoksia lopputuloksiin. Tarkkojen energiapuun korjuun kustannusmallien laatiminen edellyttäisi laajoja aineistoja käytännön korjuutoiminnasta mallien perusteeksi.

Mattilan ja Keskimölon (1994) laskelmien mukaan energiapuukertymä Rovaniemen alueella oli keskimäärin noin 0,22 m³ metsä- ja kitumaan hehtaaria kohti vuodessa. Laskelma vastaa parhaiten tämän tutkimuksen korkeimman maksimihinnan tilannetta, jossa vuotuinen energiapuukertymä oli teh-

tyjen laskelmien mukaan 0,21 m³/ha. Tutkimusten tulokset tukivat tässä suhteessa toisiaan. Rovaniemen alueen laskelmissa (Mattila ja Keskimölo 1994) lehtipuiden osuus oli nyt laskettuja tuloksia huomattavasti suurempi. Pääosa energiapuukertymästä tuli vajaatuottoisista metsistä, joissa lehtipuiden osuus oli muita kehitysluokkia suurempi.

Energiapuun korjuu aiheuttaa metsämaan ravinteiden määrän vähenemisestä, erityisesti hakkuutähteiden korjuussa (Energiantuotannon...1989, Kukkola ja Mälkönen 1987, Hakkuutähteiden...1974). Tämä rajoittaa energiapuun korjuuta kaikkein karuimmilla kasvupaikoilla. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin (Tomppo ja Hirvelä 1994, 1995) mukaan kuivien kankaiden ja sitä karumpien kasvupaikkojen sekä vastaavien suotyypin osuus metsämaan alasta laskenta-alueella oli runsaat 6 %. On kuitenkin otettava huomioon, että karuilla kasvupaikoilla puuston keskimääräinen tilavuus on muita kasvupaikkoja alhaisempi, joten niiden vaikutus energiapuukertymiin on niiden pinta-alaosuutta pienempi.

Vanhojen metsien suojelualueiden vaikutus energiapuukertymiin on korkeintaan parin prosentin luokkaa Metsähallituksen arvioiman Lapin hakkuukertymän vähenemisen perusteella (Kajala 1996). Suurimmillaan vaikutus olisi talousskenaarioiden toteutuessa. Muissa skenaarioissa hakkuuta voitaisiin osittain kohdentaa korvaaviin kohteisiin. Talousskenaarioissa hakkuut olisivat kestävän käytön ylärajalla, joten uudet suojelualueet vähentäisivät vastaavalla alalla myös päätehakkuita ja samalla myös näiltä korjattavan energiapuun määrää. Vaikutus ei kuitenkaan olisi yhtä suuri kuin teollisuuden ainespuun kertymissä, sillä uudet suojelualueet sijaitsevat keskimääräistä kauempana mahdollisista käyttöpaikoista. Niiltä korjatun energiapuun tuotantokustannukset olisivat siten korkeammat, joten osa jäisi joka tapauksessa taloudellisesti kannattamattomana energiapuun korjuun ulkopuolelle.

Energiapuun korjuun suora työllistävä vaikutus ei ole kovin suuri. Karsimattoman puun korjuu ei vaadi työtä niin paljon kuin perinteinen karsitun puutavaran korjuu, minkä vuoksi integroitu korjuu ei suoranaisesti lisää työllisyyttä. Työllistävä vaikutus on selvä, jos ensiharvennusten määrää voidaan lisätä energiapuun korjuun lisääntymisen myötä. Hakkuutähteiden kohdalla kaikki korjuun tarjoa-

mat työtilaisuudet lisäävät työpaikkoja, vaikka työ tehdäänkin täysin koneellisesti. Vaikka energiapuun korjuun suora työllisyysvaikutus ei olekaan kovin suuri, on lisäksi otettava huomioon energiapuun haketuksen tai murskauksen, kaukokuljetuksen ja polton tarjoamat työtilaisuudet sekä niiden kerrannaisvaikutukset, joiden työllisyysvaikutuksen arvioidaan olevan noin 1,3-kertainen välittömiin työpaikkoihin verrattuna (Toropainen 1982).

Tutkimuksessa tehtyjen energiapuukertymäarvioiden perusteella energiapuun voisi tarjota tulevaisuudessa merkittävän mahdollisuuden energiantuotannossa. Jos energiapuusta maksettaisiin 55 mk/MWh, sitä voitaisiin korjata Koillis-Suomen ja Lapin alueelta vähintään puoli miljoonaa kiintokuutiometriä. Talousskenaarioiden toteutuessa energiapuuta voitaisiin korjata Ruotsin lämpölaitosten maksamalla hinnalla (85 mk/MWh) yli miljoona kuutiometriä. Tämän puumäärän energiasisältö on suurempi kuin Lapin läänissä käytettävän raskaan polttoöljyn ja turpeen (ks. Keskimölo 1994).

Vaikka laskelmissa ei energiapuulle annettu suoranaisista kantohintaa, voi energiapuun korjuu tarjota metsänomistajille lisätuloja. Kantohintatuloja syntyy metsänomistajalle, jos energiapuun saadaan toimitettua käyttöpaikalle laskelmassa käytettyä hintaa alhaisemmin kustannuksin. Metsänomistaja saa omatoimisesta hakkuutyöstä ja metsäkuljetuksesta korvauksen myös tehdyn työn työpalkkoina. Metsänomistajien suhtautumiseen energiapuun korjuuseen vaikuttaa heidän saaman taloudellisen hyödyn lisäksi myös metsänhoidollinen hyöty (Kukkonen 1993).

Lapin metsästrategiatyöryhmä valitsi metsästrategiakseen monikäyttö- ja luonnonsuojeluskenaarioiden väliin asettuvan hakkuiden määrän. Hakkuiden toteutuminen ratkeaa lopulta vasta tulevaisuudessa. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan kuitenkin todeta, että energiapuun korjuumahdollisuudet määrää ennen kaikkea energiapuusta maksettava hinta metsien hyväksikäytön tasosta riippumatta.

Kiitokset

Tekijät kiittävät tutkimuksen päärahoittajaa Imatran Voiman Säätiötä sekä muita Lapin energiapuuprojektiin osallistuneita tahoja. Lisäksi tekijät kiittävät käsikirjoituksen lukeneita MMT Martti Varmolaa, MMM Hannu Hirvelää, MMM Harri Hännistä ja MMM Jari Jämsää hyvistä korjausehdotuksista. Kiitämme myös Lapin metsästrategiatyöryhmää, jonka pitkäjännitteisen työn pohjalta nämä laskelmat oli mahdollista tehdä.

Kirjallisuus

- Energiantuotannon ja -käytön ympäristö-, luonto- ja terveysvaikutukset. 1989. Energiakomitean ympäristö- ja terveysjaoston selvitys. KTM, energiaosasto. Sarja C:22. 368 s.
- Gislerud, O. 1974. Heltreutnyttelse II. Biomasse og Biomasseegenskaper hos tynningsvirke av gran, furu, björk og or. Summary: Whole tree utilization. II. Biomass and biomass properties of trees from thinning spruce, pine, birch and alder. Norsk institutt för Skogsforskning. Skogsteknologisk avdelning. Rapport 6. 59 s.
- Hakkila, P. 1984. Forest chips as fuel for heating plants in Finland. Tiivistelmä: Metsähake lämpölaitosten polttoaineena Suomessa. Folia Forestalia 586. 62 s.
- 1989. Utilization of residual forest biomass. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag. Berlin. 568 s.
- 1991. Crown mass of trees at the harvesting phase. Folia Forestalia 773. 24 s.
- & Kalaja, H. 1993. Ketjukarsinta ensiharvennumännikön korjuuratkaisuna. Folia Forestalia 803. 31 s.
- Hakkuutähteiden talteenoton seurannaisvaikutukset. 1974. Summary: By-effects of the harvesting of logging residues. Folia Forestalia 210. 24 s.
- Jämsä, J. & Hirvelä, H. 1996. Pohjois-Suomen metsien hakkuumahdollisuudet. Teoksessa: Pohjoisten metsien kasvu – ennen, nyt ja tulevaisuudessa. Metsäntutkimuspäivä Rovaniemellä 1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 589: 96–106.
- Kajala, L. (toim.) 1996. Lapin metsästrategia. Lapin metsästrategiatyöryhmä. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2. 129 s.
- Keskimölä, A. 1994. Puuenergian hankinta ja käyttö Lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 522. 30 s.
- Kilkki, P. 1987. Timber management planning. 2nd edition. Silva Carelica 159 s.
- & Siitonen, M. 1976. Principles of a forest information system. XVI IUFRO World Congress, Division IV, Proceedings: 154–163.
- Kukkola, M. & Mälkönen, E. 1987. Hakkuutähteiden merkitys metsässä: Mitä kokopuun korjuu vaikuttaa puustonkasvuun. Käytännön maamies. s. 54–56.
- Kukkonen, T. 1993. Metsästä energiaa. Tutkimus puun energiakäytöstä. Helsingin yliopisto. Lahden tutkimus- ja koulutuskeskus. 113 s.
- Kärhä, K. 1994. Hakkuutähteen talteenotto osana puunkorjuun kokonaisurakointia. Metsäteknologian syventävien opintojen tutkielma. 46 s.
- Kärkkäinen, M. 1976. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun kuusen ja männyn oksissa. Silva Fennica 10(3). p. 212–236.
- Lappi, J. 1992. JLP a linear programming package for management planning. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 414. 134 s.
- Leiviskä, V., Ahonen, A. & Kiukaanniemi, E. 1993. Pohjois-Suomen energiapuutarat. Oulun yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos. Tiedonantoja 95. 31 s.
- Malinen, J., Härkönen, K., Hirvelä, H., Mielikäinen, K. & Pesonen, M. A method for estimating energy wood resources on the basis of simulation and optimisation. Käsikirjoitus.
- Mattila, E. & Keskimölä, A. 1994. Energiapuun korjuumahdollisuuksien arviointi metsän hakkuu- ja hoitoehdotusten perusteella. Rovaniemen energiapuukertymäarvio 1984–93. Summary: Calculation of possible energy wood outturn on the basis of forest treatment proposals. An estimate of energy wood outturn in Rovaniemi for 1984–93. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 534. 52 s.
- Metsäpalkkarakenteen uudistaminen. 1995. Metsäpalkkarakenteen kehittäminen. Projektiryhmä 10.1.1995. Koulutusaineisto. IV painos. 45 s.
- Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen, J. 1995. Energiapuun osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s.
- Nurmi, J. 1993. Heating values of the above ground biomass of small-sized trees. Acta Forestalia Fennica 236. 30 p.
- Ojansuu, R., Hynynen, J., Koivunen, J. & Luoma, P. 1991. Luonnonprosessit metsälaskelmassa (MELA) – Metsä 2000 -versio. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 385. 57 s.
- Perustason maksut puutavaran metsäkuljetuksessa Etelä-Suomessa ja urakointimaksujen sopimusmenettely

- ajalle 1.4.1991–15.11.1991. 1991. Metsäalan Kuljetuksenantajat ja Koneyrittäjien liitto ry.
- Siitonen, M. 1983. A long term forestry planning system based on data from the Finnish national forest inventory. Proceedings of the IUFRO subject group 4.02 meeting in Finland, September 5–9, 1983. University of Helsinki, Department of Forest Mensuration and Management. Research Notes 17:195–207.
- 1993. Experiences in the use of forest management planning models. *Silva Fennica* 27: 167–178.
- 1995. The MELA system as a forestry modelling framework. *Lesnictvi Forestry* 41(4): 173–178.
- Tapion taskukirja. 1994. Metsäkeskus Tapion julkaisuja. 640 s.
- Tiihonen, P. & Virtanen, J. 1982. Koetuloksia ilmakuvienv käytöstä energiapuun arvioinnissa Kannuksessa v. 1979–1980. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 66. 24 s.
- 1983. Koetuloksia ilmakuvienv käyttömahdollisuuksista energiapuun arvioinnissa Pohjanmaalla ja Pohjois-Savossa v. 1980–1982. Summary: Possibilities of using aerial photographs in the estimation of energy wood resources in Ostrobothnia and northern Savo. *Folia Forestalia* 567. 18 s.
- Tomppo, E. & Hirvelä, H. 1994. Koillis-Suomen metsälautakunnan alueen metsävarat ja niiden kehitys 1952–1993. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin tulosten julkistus. Kemijärven Kulttuurikeskus, 2.9.1994.
- Tomppo, E. & Hirvelä, H. 1995. Lapin metsälautakunnan alueen metsävarat ja niiden kehitys 1952–1994. Valtakunnan metsien 8. inventoinnin tulosten julkistus. Lapin yliopiston Fellman-sali, 10.5.1995.
- Toropainen, M. 1982. Kotimaisten polttoaineiden käyttöön siirtymisen kannattavuus ja julkinen rahoitustuki. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 54. 111 s.
- Vesisenaho, T. 1994. Hakkuutähteen korjuututkimus Äänekoskella. Väliraportti. 21 s.

35 viitettä