



*Energiapuu osana
metsänkasvatusta
Keski-Pohjanmaalla*

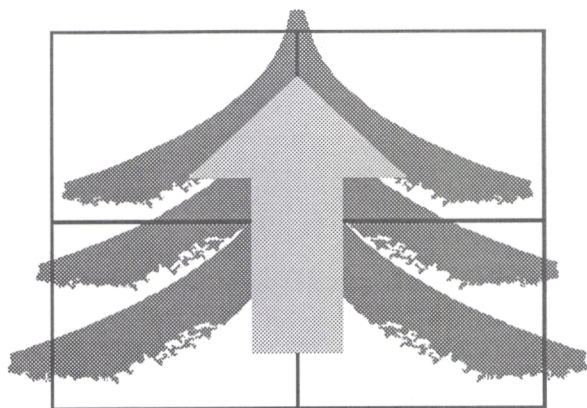
*Kari Mielikäinen, Hannu Hirvelä,
Kari Härkönen & Juba Malinen*

Metsäntutkimuslaitos – Vantaan tutkimuskeskus

Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556

Vantaa 1995

TEKNOLOGIAN KEHITTÄMISKESKUKSEN
ENERGIATEKNOLOGIAN TUTKIMUSOHJELMAT 1993-1998



BIOENERGIA

BIOENERGIA
Bioenergian tutkimusohjelma
Koordinointi:
VTT Energia

PL 1603, 40101 JYVÄSKYLÄ
puh. (941) 672 611, telefax (941) 672 597

METSÄNTUTKIMUSLAITOS
Kujala

ISBN 951-40-1430-8
ISSN 0358-4283



411 011
Kierrätykseen sopiva tuote
Alhaiset päästöt valmistuksessa
Hakapaino Oy, Helsinki 1995

Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen, J. Energiapuun osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556. 56 s. ISBN 951-40-1430-8, ISSN 0358-4283.

Tutkimuksessa selvitettiin kannattavasti korjattavan energiapuun määrä Keski-Pohjanmaalla sekä arvioitiin energiapuun korjuun vaikutuksia koko alueen metsien pitkän ajan kehitykseen. Tämän lisäksi selvitettiin sitä, millaisia muutoksia energiapuun lisääntyvä käyttö edellyttäisi nuorten metsien käsittelyohjeisiin.

Metsävarat eivät rajoita energiapuun käytön lisäämistä Keski-Pohjanmaalla. Syynä tähän on nuorten metsien runsaus, mikä takaa puun riittävyyden teollisuuskäytön lisäksi myös energiaksi. Energiapuuta voidaan korjata jatkuvasti hintaan 45 mk/MWh noin 570 000 m³ vuodessa, ellei teollisuuden kilpailua pienikokoisesta puusta oteta huomioon. Esitetty hinta on lähellä energiapuun pahimpien kilpailijoiden, hiilen, öljyn ja turpeen kustannustasoa.

Teollisuuden ylivoimainen hintakilpailukyky pienpuun ostajana merkitsee energiapuun vuotuisen korjuumäärän putoamista tasolle 120 000 m³. Hintatasolla 45 mk/MWh energiapuun korjuu rajoittuu teollisuuspuun korjuun yhteydessä kerättävään latvusmassaan ensiharvennusleimikoista ja kuusivaltaisilta päätehakuualoilta. Vasta 85 mk/MWh hinnalla myös runkopuuta kannattaa korjata ensiharvennuksissa energiapuuksi ja maksaa sille kilpailukykyistä kantohintaa. Vuotuiset energiapuun korjuumäärät kohoaisivat tällä hinnalla kolminkertaisiksi edellä mainittuihin määriin verrattuna.

Teollisuuspuun korjuumäärien säilyminen 1990-luvun taitteen alhaisella tasolla merkitsisi Keski-Pohjanmaan metsistä saatavien nettotulojen jäämistä 35 % alueen kestävien hakkuumahdollisuuksien alapuolelle. Rahallinen tappio olisi 1990-luvun loppuun mennessä noin 500 miljoonaa markkaa. Näin syntyvästä metsätulojen menetyksestä voitaisiin energiapuun korjuulla (65 mk/MWh) korvata noin kolmannes.

Nykyisin käytössä olevat nuorten metsien käsittelyohjeet soveltuvat lähes sellaisinaan myös harvennuksiin, joissa korjataan teollisuuspuun lisäksi energiapuuta. Energiapuun korjuu samalla kertaa teollisuuspuun kanssa voi olla ratkaisu aikaisessa vaiheessa tehtäviin ensiharvennuksiin tiheissä metsiköissä, joissa taimikon hoito on jäänyt tekemättä. Näin menetellen pienikokoinen puuraaka-aine saadaan hyödynnettyä tarkkaan, mikä parantaa korjuun kannattavuutta.

Energiapuun huono hintakilpailukyky on sen käytön yleistymisen suurin ongelma. Vaikeasti arvotettavat energiapuun käytön hyödyt liittyvät metsänhoitoon, ympäristöön ja työllisyyteen. Metsistä saatavat tulot supistuvat vuosikymmen toisensa jälkeen, mikäli nuoria metsiä ei hoideta. Puuenergia ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta, koska poltossa vapautuva hiili sitoutuu takaisin kasvillisuuteen. Energiapuun korjuu luo uusia työtilaisuuksia huomattavasti vasta erilliskorjuun tullessa kannattavaksi. Kokonaisuutena puuenergian käytön suoranaiset ja kerrannaisvaikutukset ovat kuitenkin alueellisesti erittäin merkittäviä. On myös syytä muistaa, että puu on kotimaista energiaa ja sitä käyttämällä voidaan pienentää ulkomailta ostettavan energian osuutta.

Avainsanat: energiapuu, energiapuun korjuu, energiapuun korjuun kannattavuus, hakkuulas-
kelma, ensiharvennus

Julkaisija: Metsäntutkimuslaitos. Hyväksynyt Aarne Reunala, tutkimusjohtaja 14.03.1995.

Kirjoittajien yhteystiedot: Kari Mielikäinen. Metsäntutkimuslaitos, Vantaan tutkimuskeskus,
PL 18, 01301 Vantaa. Puhelin 90-857051 ja fax 90-85705361. Hannu Hirvelä, Kari Härkö-
nen, Juha Malinen. Metsäntutkimuslaitos, Helsingin tutkimuskeskus, Unioninkatu 40 A,
00170 Helsinki. Puhelin 90-857051 ja fax 90-625308.

SISÄLLYS

ALKUSANAT	6
1. JOHDANTO	7
11. Metsien käyttötapojen muutokset	7
12. Maamme bioenergiavarat ja niiden nykykäyttö	8
13. Energiapuun korjuun vaikutuksia	9
2. TUTKIMUKSEN TAVOITE	11
3. TUTKIMUSAINEISTO	12
4. LASKENTAMENETELMÄ	15
41. Metsälaskelma MELA	15
42. MELAan tehdyt muutokset	17
421. Energiapuun korjuuketjut	17
422. Energiapuun biomassakertymät	18
423. Metsänhoidon ja puunkorjuun kustannukset	19
43. Puutavaralajien hinnat	21
5. LASKELMAT	23
51. Vaihtoehtoisten metsänkäsittelyjen simulointi	23
52. Puuntuotanto-ohjelmien valinta	24
6. TULOKSET	27
61. Energiapuun korjuumahdollisuudet	27
611. Energiapuun korjuumahdollisuudet ilman teollisuuspuun kilpailua	27
612. Energiapuun korjuumahdollisuudet teollisuuspuun ja energiapuun kilpailutilanteessa	30
62. Metsien kehitys eri puuntuotanto-ohjelmissä	32
63. Hakkuukertymät ja tulot eri puuntuotanto-ohjelmissä	34
64. Kannattavan energiapuuleimikon tunnusmerkit	37
65. Energiapuun kasvatusmallit	39
651. Taimikonhoito ja ensiharvennus osana metsänkäsittelyä	39
652. Taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus	40
653. Ensiharvennusmallit	41
66. Energiapuun korjuun kannattavuus metsikkötasolla	45
7. PÄÄTELMÄT	51
71. Keski-Pohjanmaan metsien rakenne ja tuleva kehitys	51
72. Energiapuun hakkuumahdollisuudet ja hintakilpailukyky	51
73. Energiapuun korjuun aluetaloudelliset vaikutukset	52
74. Energiapuun kasvatusmallit	53
75. Energiapuun tulevaisuus	54
KIRJALLISUUTTA	56

ALKUSANAT

Hakkuiden jääminen huomattavasti kestäviä hakkuumahdollisuuksia alhaisemmiksi muodostaa uhkan pienpuun käytölle. Puun vajaakäytön tilanteessa teollisuuspuun hakkuut kohdistuvat taloudellisesti kannattavimpiin, järeäpuustoiisiin kohteisiin. Ensiharvennusten kannattavuutta heikentää korkeiden korjuukustannusten lisäksi kuidun heikko saanto massateollisuudessa. Muutama vuosi sitten valmistuneen laajan tutkimuksen mukaan harvennuksista luopuminen johtaisi huomattaviin taloudellisiin tappioihin vuoteen 2030 mennessä.

Energiapolitiikan keskeisenä keskustelunaiheena on eri polttoaineiden haitallisuus ympäristön kannalta. Haitallisten energiamuotojen käyttöä pyritään rajoittamaan ympäristöveroin. Suljetun hiilenkierron omaava puu kuuluu tässä suhteessa lievimmin verotettuihin polttoaineisiin. Viime aikoina on yhä enenevässä määrin ehdotettu puun polttamista pienpuuongelman ratkaisuksi.

Valtaosa puuenergian käytön lisäämiseen tähtäävän Bioenergian tutkimusohjelman tutkimushankkeista keskittyy puunkorjuun ja polton tekniikan kehittämiseen. Puun riittävyteen, kokonaisuuden kannalta edullisimpiin korjuumenetelmiin ja pienpuun käytön metsänhoidollisiin vaikutuksiin ei ole kiinnitetty suurta huomiota.

Nyt esitettävässä Metsäntutkimuslaitoksen ja Joensuun yliopiston yhteistyönä alkaneessa tutkimuksessa tarkastellaan energiapuun korjuun pitkäaikaisvaikutuksia suuralueella. Samalla kiinnitetään huomiota myös tehtävien toimenpiteiden välittömään kannattavuuteen. Kaksi vuotta kestäneen tutkimuksen rahoitus on saatu Bioenergian tutkimusohjelman kautta maa- ja metsätalousministeriöstä.

Tutkimukseen ovat osallistuneet MMK Hannu Hirvelä, MMK Kari Härkönen, MMK Juha Malinen ja professori Kari Mielikäinen, kaikki Metsäntutkimuslaitoksesta. Kaikki edellä mainitut henkilöt ovat osallistuneet loppuraportin kirjoittamiseen. Kirjoittajat ovat saaneet apua lukuisilta henkilöiltä. Erityisen kiitoksen ansaitsevat professori Pentti Hakkila Metsäntutkimuslaitoksesta sekä MH Erkki Hallman Metsähallituksesta arvokkaista kommentteista käsikirjoitusvaiheessa. Kiitokset ansaitsee myös metsätalousinsinööri Hannu Kalaja valokuvista. Lopuksi kirjoittajat haluavat kiittää Bioenergian tutkimusohjelmaa koko tutkimuksen ajan vallinneesta innostavasta ilmapiiristä.

Vantaalla, helmikuussa 1995

Kari Mielikäinen Hannu Hirvelä Kari Härkönen Juha Malinen

ENERGIAPUU OSANA METSÄNKASVATUSTA KESKI-POHJANMAALLA

1. JOHDANTO

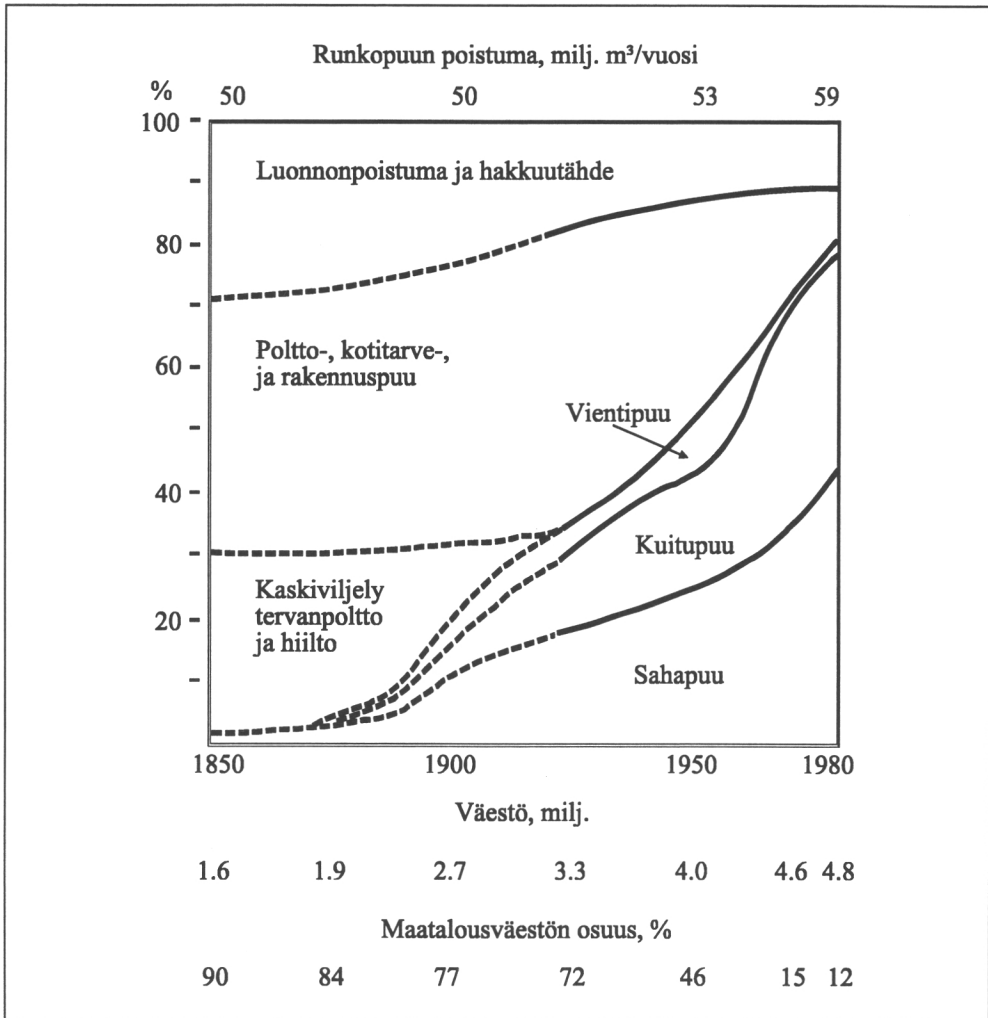
11. Metsien käyttötapojen muutokset

Polttaminen oli vuosisatojen ajan puun pääasiallinen käyttötapa Suomessa. Vielä viime vuosisadan puolivälissä valtaosa hakatusta puusta poltettiin kaskeamisessa, tervan valmistuksessa ja lämmityspuuna (kuva 1.1). Teollisuuden osuus puun käytöstä oli vain muutama prosentti.

Viime vuosisadalla toden teolla alkanut puun sahaus ja puuta kuiduttavan teollisuuden nousu merkitsivät puun arvon huomattavaa lisääntymistä, mikä johti kasken- ja tervanpolton loppumiseen. Polttopuu oli kuitenkin edelleen pääasiallinen lämmönlähde. Runsas polttopuun käyttö ei vaarantanut metsäteollisuuden puunsaantia, koska pienikokoisella lehtipuulla ei ollut muuta käyttöä kuin polttaminen. Koivua ryhdyttiin hyödyntämään paperin valmistuksessa vasta 1950-luvun päätyessä.

Toisen maailmansodan jälkeen puu ohjautui entistä enemmän metsäteollisuuden käyttöön. Huoli metsävarojen riittävydestä ja koivun kelpaaminen sellun valmistukseen nopeuttivat puun polttokäytön vähenemistä ja sen korvautumista muilla energiamuodoilla. Puun osuus energian kokonaiskäytöstä pieneni alle 50 prosentin ensimmäistä kertaa 1950-luvun lopulla. Samoihin aikoihin metsien hakkuut ylittivät useana vuonna kestäväksi arvioidun hakkuus suunnitteen.

Kuluvan vuosikymmenen alkaessa Suomen metsien kasvu, noin 80 miljoonaa kuutiometriä vuodessa, ylitti puuston kokonaispoistuman yli 40 prosentilla. Pääsyynä puuntuotoksen kohoamiseen on ollut 1950-luvulla aloitettu tehostunut metsänhoito. Soiden ojittaminen, vajaan tuottoisten metsien uudistaminen ja perustettujen taimikoiden hoitaminen, harsintahakkuista luopuminen ja edellisiä vähäisemmässä määrin myös metsänlannoitus ovat johtaneet metsävarojen nopeaan karttumiseen tilanteessa, jossa hakkuut eivät ole lisääntyneet vastavasti. Metsäteollisuuden tuotannon nousu on viime vuosikymmeninä perustunut paljolti puun entistä tarkempaan hyödyntämiseen, polttopuun käytön vähenemiseen sekä raakapuun tuonnin kasvuun.



Kuva 1.1. Puunkäyttö Suomessa 1850-1980 (Kuusela 1984).

Metsien muu kuin puuntuotannollinen käyttö on tullut viime vuosina entistä tärkeämmäksi. Virkistyskäytön lisäksi huoli uhanalaisten eliölaajien säilymisestä lisää paineita suojelualueiden lisäämiseen erityisesti Etelä-Suomessa. Maamme runsaat metsävarat mahdollistavat nyt paremmin kuin koskaan tällä vuosisadalla samanaikaisesti sekä puunkäytön että luonnon-suojelun lisäämisen.

12. Maamme bioenergiavarat ja niiden nykykäyttö

Vuonna 1993 Suomessa käytetystä energiasta 32 % oli kotimaista eli puulla, turpeella tai vesivoimalla tuotettua. Energian kokonaiskulutus vastasi öljyksi muutettuna hieman yli 30 miljoonaa tonnia (toe). Biopolttoaineiden osuus ilman vesivoimaa oli teollisuusmaiden korkein eli 17 %. Lähes samaan pystyvät ainoastaan Ruotsi ja Itävalta. Puuhun perustuvien polttoaineiden osuus bioenergiasta on yli 70 % lopun ollessa turvetta. Oljen poltto ja energiapajun

kasvatus eivät ole toistaiseksi yleistyneet Suomessa. Miljoonaksi hehtaariksi arvioidut ylimääräpelloit tarjoavat kuitenkin tulevaisuudessa varteenotettavan vaihtoehdon myös biopolttoaineiden tuotannolle.

Suomen turve- ja puuvarat ovat vuotuiseen energiakäyttöön verrattuna yli satakertaiset, turpeen osalta monisatakertaiset. Metsien vuotuinen kokonaiskasvu oksineen ja juurineen sen sijaan pystyisi kattamaan korkeintaan 80 % maamme nykyisestä kokonaisenergiatarpeesta. Tähän suhteutettuna puuenergian 14 prosentin kokonaisuus on korkea vastaten 25 miljoonaa puukuutiometriä. Vain noin viidennes tästä, eli 5,5 miljoonaa kuutiometriä, poltetaan kiinteistöissä. Valtaosa puuperäisestä energiasta tuotetaan metsäteollisuuden sivutuotteena kuoren, jätteen ja erityisesti mustalipeän poltossa. Valtioneuvoston asettaman tavoitteen mukaan puuperäisen energian tuotantoa tulisi kuluvalle vuosikymmenellä lisätä vielä noin kolmanneksella. Lisäys vastaa puuraaka-aineena noin 10 miljoonaa kuutiometriä vuodessa.

Puun energiakäytön pahin este on energiapuun huono hintakilpailukyky. Kilpailevien polttoaineiden, lähinnä turpeen ja raskaan polttoöljyn, vaihtoehtona puupolttoaine saisi nykyisellään maksaa käyttöpaikalla suurkanjäljille noin 45 mk megawattitunnilta. Lähimmäksi tätä tavoitetasoa päästään keräämällä hakkuukoneen kasaamia hakkuutähteitä päätehakkuualoilta erityisesti runsaspuustoisissa kuusikoissa. Käyttökelpoisena pidetään myös ns. integroitua korjuuta, jossa energiapuu ja teollisuuden ainespuu korjataan yhdessä ja energia tuotetaan polttamalla puu sellutehtaalla tai erillisessä polttolaitoksessa. Pienikokoisen puun korjuu harvennusestistä pelkäämällä energiapuuksi on toistaiseksi varsin kallista.

Edellämaituilla korjuutavoilla energiapuulle ei kerry mainittavaa kantohintaa. Pienpuun korjuun arvioidut hyödyt liittyvät metsänhoitoon, ympäristöön, työllisyyteen ja ulkomaisen valuutan säästöön. Näiden hyötyjen arvottaminen on puuenergian käytön kannattavuuslaskelmissa jäänyt toistaiseksi tekemättä.

Energiapuun käyttö on Ruotsin pientalouksissa ja aluelämpölaitoksissa suhteellisesti kannattavampaa kuin Suomessa. Lämmitykseen käytettävän puuenergian (hake, pelletit ja pulveri) markkinahinta on alle puolet kevyen polttoöljyn hinnasta. Syynä tähän on fossiilille polttoaineille, kuten kivihillelle ja öljylle, asetettu raskas ympäristövero. Ruotsissa vain teollisuus on tästä verosta vapaa. Myös Suomessa fossiilisia polttoaineita verotetaan biopolttoaineita enemmän, mutta lämmöntuotannon osalta huomattavasti lievemmin kuin naapurimaassamme.

13. Energiapuun korjuun vaikutuksia

Puu ja peltokasvit ovat tiukasti ottaen ainoat polttoon perustuvat energiamuodot, joiden hiilenkierto on suljettu. Ne eivät näin ollen lisää ilmaston hiilidioksidipitoisuutta, mikäli maapohja säilyy kasvillisuuden hallussa sitomassa itseensä poltossa vapautuvaa hiiltä. Metsät toimivat ns. hiilen nieluina niin kauan kuin niiden kasvu ylittää poltettavan ja lahoavan puun määrän. Tämä onkin tilanne tämän päivän Euroopassa, jossa metsien ja metsäteollisuustuotteiden on arvioitu sitoneen 1980-luvulla 5-10 prosenttia kaikesta fossiilipolttoaineista vapautuneesta hiilestä. Pohjoismaissa kyseinen prosenttiluku on moninkertainen. Ym-

päristösyistä puun polttoa tuetaan Suomessa ja erityisesti Ruotsissa kivihiilen ja öljyn ras-
kaammalla verottamisella. Ilmakehän hiilidioksidipitoisuuden nousu voimistaa kasvihuo-
neilmiötä, jonka pelätään ilmenevän maapallon ilmaston arvaamattoman nopeana lämpene-
misenä.

Viime vuosina metsiemme hakkuumahdollisuuksista on käytetty hyväksi vain kaksi kol-
mannesta. Pienikokoisen harvennuspuun korjuun kalleus yhdistettynä puun runsauteen on
ainakin tilapäisesti suunnannut hakkuita kannattavimpiin sahapuuvaltaisiin päätehakkuisiin.
Huomattavasti kasvua alhaisempi hakkuiden määrä ei ole pitkän päälle eduksi metsätalou-
den kestävyydelle. Näin on erityisesti ns. hakkuusäästön kertyessä hoitamattomiin nuoriin
metsiin ja rappeutuviin kuusikoihin. Puuston tihentyminen ja ikääntyminen johtavat vääjää-
mättä lisääntyviin metsätuhoihin. Ajallaan tehdyillä taimikonhoidolla ja ensiharvennuksella
voidaan parantaa puiden elinvoimaisuutta ja metsikön laatua, vähentää tuhojen riskiä sekä
alentaa puun korjuukustannuksia tulevissa hakkuissa. Näiden tekijöiden vaikutussuunta on
tiedossa, mutta niiden pitkän ajan taloudellinen merkitys on puutteellisesti tunnettu.

Metsävaraselvitysten perusteella voidaan todeta, että metsistämme on puuntuotoksen kärsimät-
tä mahdollista käyttää kestävästi huomattava määrä erityisesti pienikokoista puuta myös ener-
giantuotantoon. Viime aikoina kestävyys käsite on kuitenkin laajentunut sisältämään myös
muuta kuin kuutioina mitattavan runkopuun tuotoksen. Lehtipuita ja kilpailussa kuolleita pök-
kelöitä ei voida tutkimusten mukaan enää pitää pelkästään poltettavaksi joutavana roska-
puuna, vaan ne ovat osoittautuneet hyödyllisiksi maaperän jatkuvan tuotoskyvyn sekä metsässä elävien
eläinten ja kasvien kannalta. Tämä on pidettävä mielessä myös energiapuun korjuussa.

Energiapuun korjuussa otetaan runkopuun lisäksi talteen kertymä- ja kustannussyistä myös
muuta biomassaa. Oksien ja neulasten mukana metsästä poistuu huomattava määrä puille
tärkeitä ravinteita. Kokopuukorjuusta saattaa aiheutua kasvutappioita ja maaperän happa-
moitumista, joiden suuruudesta ja kestoajasta ei ole vielä riittävästi tutkimustietoa. Toistu-
vasta kokopuukorjuusta pidättäytyminen saattaa varmuuden vuoksi olla tarpeen tietyillä kas-
vupaikoilla.

2. TUTKIMUKSEN TAVOITE

Energiapuun korjuuseen ja polttoon sopivien laitteiden kehitys on ollut viime vuosina nopeaa. Myös yksittäisiä laskelmia korjuumenetelmien kannattavuudesta on tehty. Energiapuuvaroja on arvioitu metsätalouden suunnittelussa kerättyjen tietojen perusteella. Puun energiakäytön kannattavuuden ja metsällisten vaikutusten kokonaistarkastelu on kuitenkin jäänyt toistaiseksi tekemättä.

Kokonaistarkastelun keskeinen kysymys on energiapuun riittävyys ja korjuun kannattavuus pitkällä aikavälillä. Laskelmissa on otettava huomioon metsävarojen lisäksi puuston tuleva kasvu ja kehitys, puun eri käyttömuodot sekä puusta maksettava hinta. Energiapuu joutuu kilpailemaan kannattavuudessa toisaalta teollisuuspuun, toisaalta muiden energiamuotojen (öljyn ja kivihiiilen ym.) kanssa. Alueellisissa tarkasteluissa tulee myös pyrkiä löytämään kokonaisuuden kannalta kannattavimmat puunkorjuumenetelmät.

Laskelmien metsällisesti tärkein ja etukäteen heikoimmin tunnettu osa on energiapuun käytön vaikutus metsänkasvatuksen menetelmiin ja metsien pitkän ajan kehitykseen. Energiapuun käytöllä on katsottu olevan mahdollisuuksia lisätä taimikonhoidon ja ensiharvennusten määrää. Tällä hetkellä nämä metsien myöhemmälle kehitykselle tärkeät metsänhoitotyöt uhkaavat jäädä korkeiden kustannusten vuoksi tekemättä.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tehdä Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueen metsävaratietojen perusteella pitkän aikavälin laskelmia energiapuun korjuun kannattavuudesta ja vaikutuksista metsien kehitykseen. Tutkimuksen päämielenkiinto kohdistuu nuoriin ensiharvennusmetsiköihin ja päätehakkuikäisiin kuusikoihin. Tutkimusongelma voidaan jakaa kolmeen osaan:

1. Kannattavasti korjattavan energiapuun määrä

Energiapuun määrää selvitetään valtakunnan metsien inventoinnin aineiston pohjalta vaihtoehtoisista puupolttoaineen maksimihinnoista sekä teollisuuspuun korjuumääristä lähtien. Tarkastelussa etsitään erilaisiin korjuukohteisiin suhteellisesti edullisimmat korjuumenetelmät.

2. Energiapuun korjuun vaikutukset metsien tulevaan kehitykseen

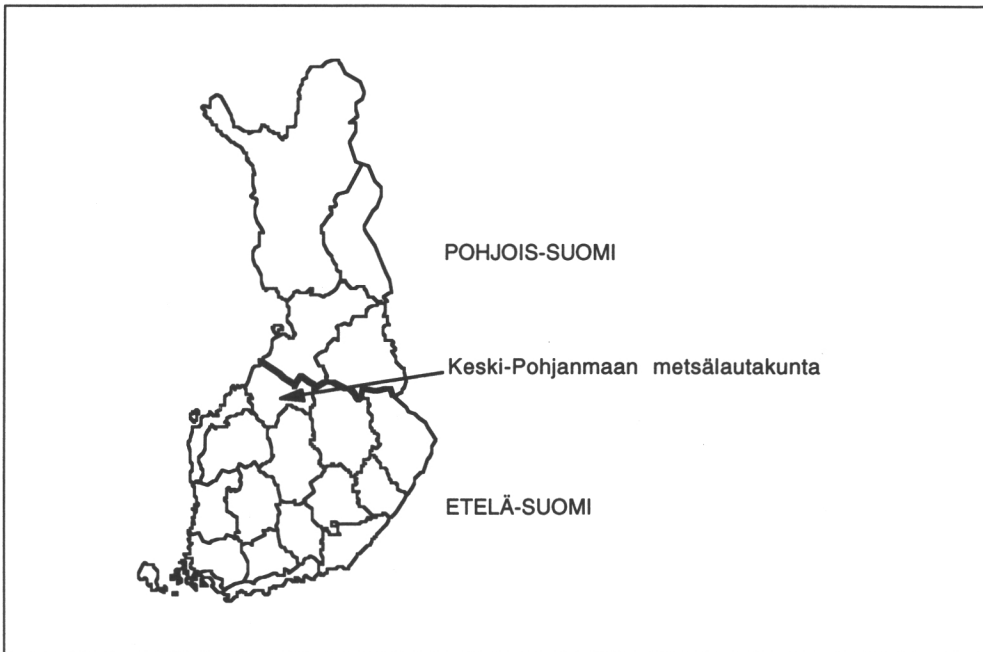
Metsien kehitystä ennustetaan energia- ja teollisuuspuun korjuumäärän vaihdellessa. Puunkäytön pitkäaikaisvaikutukset näkyvät puuston määrässä, metsien rakenteessa ja tulevassa tuottokyvyyssä useiden vuosikymmenien päähän ulottuvissa laskelmissa.

3. Teollisuus- ja energiapuun tuotannon huomioon ottavat metsänhoito-ohjeet

Laskelmissa energiapuun korjuuta tarkastellaan osana metsikön taloudellisesti kannattavinta kasvatusohjelmaa. Tavoitteena on selvittää, millaisista metsiköistä energiapuuta on edullisinta korjata ja millä menetelmillä.

3. TUTKIMUSAINEISTO

Laskelmien aineistona olivat valtakunnan metsien kahdeksannen inventoinnin (VMI8) ker-
takoealat Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueelta (kuva 3.1). Aineiston maastomit-
taukset on tehty vuosina 1991-92 ja inventointi- sekä suunnitiedot on julkistettu keväällä
1993. Aineiston valinnan perusteena oli käyttää laskelmissa mahdollisimman ajantasaista
maastotietoa, joka samalla kuvasi edustavasti koko lautakunnan metsävaroja. Keski-Pohjan-
maan metsälautakunta soveltui hyvin tutkimuksen aineistoksi, koska lautakunnan alueella on
suhteellisen paljon harvennusikäisiä tai harvennusikää lähestyviä metsiä. Lisäksi alueella on
runsaasti ojitettuja turvemaita, joilla kasvavat puustot ovat usein nuoria ja harvennuksen tar-
peessa olevia tiheikköjä.



Kuva 3.1. Tutkimusalueen maantieteellinen sijainti.

Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan kokonaismaa-ala on VMI8:n perusteella yhteensä 1,1 miljoonaa hehtaaria. Metsätalouden maaksi on luokiteltu 919 000 ha, josta varsinaisen met-
sämaan osuus on 83 % ja heikkokasvuisten kitu- ja joutomaiden sekä teiden ja varastoaluei-
den osuus yhteensä 17 %. Suojelun piirissä ja siten osittain tai kokonaan puuntuotannon ul-
kopuolella on metsätalousmaasta 15 400 ha. Metsätalousmaasta 71 % kuuluu yksityismet-
sänomistajien, 19 % valtion ja loput erilaisten yhtiöiden tai yhteisöjen omistukseen.

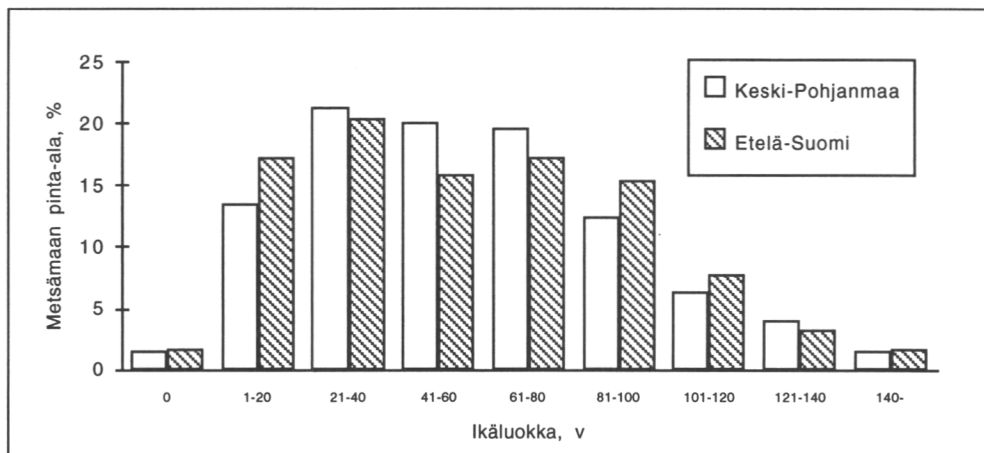
Keski-Pohjanmaan alueella on runsaasti soita, sillä 52 % metsätalouden maasta on luokitel-
tu turvemaiaksi. Ojitettujen soiden osuus on 73 % turvemaiden kokonaispinta-alasta. Turve-
kangasvaiheessa olevien ojitettujen turvemaiden osuus on kuitenkin vain 13 % soiden koko-
naispinta-alasta. Avosoiden osuus on 9 %.

Puuston kokonaistilavuus on VMI8:n perusteella 63,6 miljoonaa m³, josta männyn osuus on puolet ja kuusen sekä lehtipuiden osuus kummankin neljäsosa (taulukko 3.1). Tukkipuun osuudeksi on arvioitu 25 % ja kuitupuun 64 % puuston runkotilavuudesta lopun ollessa latvahukka- ja pienpuuta. Inventointia edeltäneen 5-vuotiskauden keskimääräiseksi vuotuiseksi kokonaiskasvuksi on arvioitu 2,8 miljoonaa m³ vuodessa. Kasvuarvioon on laskettu mukaan vain metsä- ja kitumaan metsät.

	Tukkipuun Runkopuuta, miljoonaa m ³	Kuitupuun	Hukkapuu	Yhteensä
Mänty	9,1	21,1	2,8	33,0
Kuusi	6,3	8,1	1,0	15,4
Lehtipuun	0,5	11,3	3,4	15,2
Yhteensä	15,9	40,5	7,2	63,6

Taulukko 3.1. Puuston runkotilavuus Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan metsä- ja kitumaalla valtakunnan metsien 8. inventoinnin perusteella.

Keski-Pohjanmaalla harvennusvaiheessa olevien tai sitä lähestyvien metsien (20-80 -vuotiainen) osuus on selvästi suurempi kuin keskimäärin Etelä-Suomessa (kuva 3.2). Vanhoja, yli 100-vuotiaita metsiä on sen sijaan suhteellisesti saman verran kuin muuallakin Etelä-Suomessa. Kehitysluokan perusteella varttuneiden taimikoiden osuus metsämaan pinta-alasta on 15 % ja nuorten kasvatusmetsien 43 %. Uudistuskypsiksi luokiteltuja metsiä on vain 7 %. Koko Etelä-Suomessa vastaavat luvut ovat 13, 30 ja 15 %.



Kuva 3.2. Puuston ikäluokkajakauma Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella.

Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan laskenta-aineisto käsitti yhteensä 3 566 maastokoealaa, jotka oli ryhmitelty 375 laskentayksikköön. Ryhmittelyssä koealat jaetaan nykytilaan ja tulevalta kehitykseltään mahdollisimman yhtenäisiin luokkiin maastossa arvioitujen kasvupaikka-, puusto- ja toimenpidetietojen perusteella. Muodostetuilla laskentayksiköillä kuvataan metsäalueen todellisia metsiköitä. Ryhmittely on tarpeen, koska yksi relaskooppikoeala ei yleensä edusta kokonaista metsikköä riittävän tarkasti puuston määrän ja metsikön käsittelytarpeen arvioinnissa.

Tässä tutkimuksessa käytettiin VMI8-tulosten laskentaa varten muodostettua ja ryhmiteltyä laskenta-aineistoa sellaisenaan. Jatkossa metsiköistä puhuttaessa tarkoitetaan näitä valmiiksi muodostettuja laskentayksiköitä.

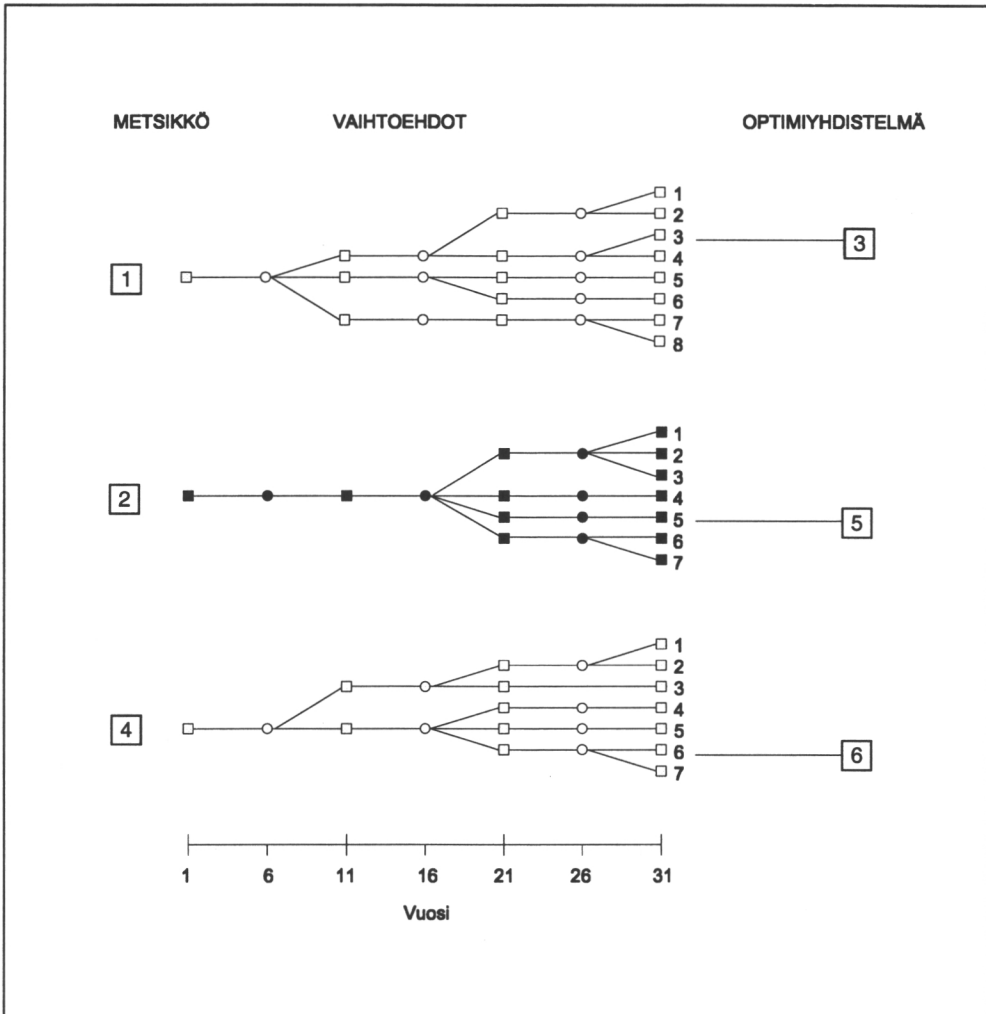
4. LASKENTAMENETELMÄ

41. Metsälaskelma MELA

Metsälaskelma MELA on Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetty metsikkösimulaattorin ja lineaarisen optimointiosan käsittävä tietokoneohjelmisto. Alunperin MELA kehitettiin pitkän aikavälin metsätalouden suunnittelujärjestelmäksi pääasiassa valtakunnan metsien inventoinnin tietoihin perustuvaan suuraluesuunnitteluun. Viime vuosina MELAn käyttö on lisääntynyt myös kuviokohtaisiin tietoihin perustuvassa tilakohtaisessa suunnittelussa. Nykyiseen muotoonsa MELA-järjestelmä on muotoutunut Metsä 2000 -ohjelman valmistelun yhteydessä 1980-luvun puolivälissä sekä sitä seuranneessa ohjelmiston jatkokehitystyössä. Metsä 2000 -ohjelma oli valtakunnallinen metsä- ja puutalouden pitkän aikavälin ohjelma, jossa pyrittiin sopeuttamaan puuntuotanto ja metsien muut käyttömuodot entistä paremmin toisiinsa.

MELA-järjestelmän toiminta jakautuu kolmeen pääosaan: metsävaratietojen käsittely laskentaa varten, metsän tulevien käsittely- ja kehitysvaihtoehtojen tuottaminen (simulointi) sekä halutun tuotanto-ohjelman valinta (optimointi). MELAn keskeisiä vaatimuksia ovat riittävän yksityiskohtaiset ja ajantasaiset metsävaratiedot, metsän kehitystä kuvaavat mallit sekä tiedot metsätaloudelle asetetuista tavoitteista ja siihen kohdistuvista rajoitteista. Metsävaratietojen ja metsää kuvaavien mallien avulla MELAn simulointiosalla tuotetaan suunnitteluyksikön metsiköille useita erilaisia käsittelyvaihtoehtoja halutun pituiselle suunnitteluajalle, joka jaetaan yleensä 10 vuoden pituisiin simulointikausiin. Suunnitteluajan ja simulointikausien määrä riippuvat päätöksentekijää kiinnostavista tunnuksista ja käytettävissä olevasta laskentakapasiteetista. Lineaarisella optimoinnilla vaihtoehdoista valitaan koko alueen tuotanto-ohjelma eli jokaiselle metsikölle valitaan toimenpiteet, jotka yhdessä toteuttavat päätöksentekijän määrittämät koko alueelle asetetut tavoitteet ja rajoitteet.

MELAn simulointiosalla ennustetaan metsissä tapahtuvia muutoksia ja tehtäviä toimenpiteitä. Puukohtaisilla malleilla kuvataan puiden kasvua ja kuolemista sekä uusien puiden syntymistä. Yleensä simulointikausien keskellä simuloitavia kasvupaikkaan tai puustoon kohdistuvia toimenpiteitä ohjataan erilaisten käsittelysääntöjen avulla. Käytettävissä ovat Metsäkeskus Tapion suositusten mukaiset hakkuut (harvennukset, päätehakkuut ja ylispuiden poistot), taimikonhoidot, metsänviljelyt ym. Koska samalla ajanhetkellä on mahdollista simuloida monia vaihtoehtoisia toimenpiteitä (esim. voimakkuudeltaan erilaisia harvennushakkuuta), seurauksena on useita vaihtoehtoisia toimenpideketjuja (kuva 41.1). Vaihtoehtoiseksi käsittelyksi katsotaan myös lepo, jolloin metsikön kehitystä simuloidaan ilman varsinaisia toimenpiteitä. Tuotanto-ohjelman valintaa varten simuloituja käsittelyketjuja saattaa olla useita tuhansia kappaletta metsikköä kohti.



Kuva 41.1. Vaihtoehtoisten käsittelyjen simulointi aineistolle.

Suunnittelun kohteena oleva metsäalue koostuu laskentayksiköihin jaetuista koealoista tai metsikkökuvioista, joista tiedetään alueelliseen sijaintiin, ilmastoon ja kasvupaikkaan liittyviä metsikkötietoja. Puusto kuvataan kuvauspuiden avulla, jotka voivat olla yksittäisiä puita tai suurempaa puujoukkoa edustavia laskennallisia kuvauspuita. Kuvauspuihin liittyviä tietoja ovat mm. puulaji, ikä, runkoluku, rinnankorkeusläpimitta ja pituus. Toimenpiteiden simulointi perustuu puukohtaisiin malleihin ja metsikkökohtaiset tunnuksat (kertymät ym.) saadaan puukohtaisten tunnusten summana.

42. MELAan tehdyt muutokset

421. Energiapuun korjuuketjut

Energiapuun korjuu rajattiin laskelmissa ensiharvennusmetsiin ja kuusivaltaisiin päätehakkuualoihin. Ensiharvennusmetsistä voitiin teollisuuspuun lisäksi korjata energiapuuta erilliskorjuuna tai integroituna korjuuna. Energiapuun erilliskorjuusta saatu hakkuukertymä käytettiin kokonaan energiapuuna. Integroidussa korjuussa saatiin samalla kertaa sekä teollisuuden ainespuuta että energiapuuta. Tässä käytetty integroitu korjuuratkaisu perustui ns. ketjukarsintamenetelmään (kuva 42.1). Hakkuutähteet oletettiin korjattavan päätehakkuualoilta muun puunkorjuun yhteydessä, jolloin työkoneita ja puunhankintaorganisaatiota voitiin hyödyntää tehokkaasti.



Kuva 42.1. Ketjukarsija-kuorija-hakkuri (kuva H. Kalaja).

Energiapuun erilliskorjuussa ja integroidussa korjuussa oletettiin käytettävän osapuukorjuumenetelmää. Hakkuu tehtiin ihmistyönä siirtelykaatotekniikalla. Menetelmässä puita ei karsita, mutta ne katkotaan noin viisimetrisiksi puunosiksi metsäkuljetuksen helpottamiseksi. Puu oletettiin korjattavan noin 5 cm:n latvaläpimittaan, jolloin saatavan selluhakkeen laatu paranee ja metsikön ravinnehukka pienenee kokopuukorjuuseen verrattuna. Hakkeen laatu on erityisen tärkeää teollisuuden ainespuun ja energiapuun integroidussa korjuussa, koska selluhakkeen laatuvaatimukset ovat korkeat. Osapuun metsäkuljetus tienvarteen tehtiin vakiovarusteisella kuormatraktorilla (kuva 42.2).



Kuva 42.2. Osapuun metsäkuljetusta (kuva E. Oksanen)

Erilliskorjuussa osapuuna korjattu energiapuu voidaan joko hakettaa tienvarsivarastolla ja kuljettaa hakkeena käyttöpaikalle tai osapuu voidaan kuljettaa puutavaraterminaaliin hakettavaksi. Ketjukarsintamenetelmässä osapuu käsitellään karsinta-kuorinta-haketusyksiköllä joko välivarastolla tai puunkäsittelyterminaalilla, johon osapuu kuljetetaan puutavara-autolla. Saatava selluhake ja polttoon menevä puu-, oksa- ja kuoritähde kuljetetaan käsittelyn jälkeen käyttöpaikalle.

Kuusivaltaisten päätehakkualojen hakkuutähteet oletettiin korjattavan kuormatraktorilla hakkuukoneen muodostamista kasoista. Metsätraktorissa oli hakkuutähteiden korjuuseen soveltuva kuormain ja laajennettu kuormatila, jotka yhdessä lisäävät metsäkuljetuksen tuotosta. Hakkuutähteet murskattiin tienvarsivarastolla ja murske kuljetettiin käyttöpaikalle.

Tehdyissä laskelmissa energiapuun erilliskorjuu simuloitiin hakkuuvaihtoehdoksi kaikille ensiharvennusvaiheessa oleville metsiköille. Ketjukarsintamenetelmään perustuva integroitu korjuuketju simuloitiin vain mäntyvaltaisille ensiharvennusmetsiköille, joille nykyisin käytössä oleva korjuumenetelmä soveltuu. Kaikille kuusivaltaisille päätehakkualoille tuotettiin perinteisen avohakkuun lisäksi korjuuvaihtoehto, jossa hakkuutähteet korjattiin energiapuuksi.

422. Energiapuun biomassakertymät

Simuloidussa energiapuun korjuussa puiden latvusmassat laskettiin puukohtaisilla malleilla, jotka perustuivat puulajiin, puun rinnankorkeusläpimittaan ja puun pituuteen. Biomassat las-

kettiin erikseen koko latvukselle, elävälle latvukselle, neulasille ja kuolleille oksille. Havupuiden latvusmassat laskettiin neulasineen ja lehtipuiden lehdettä.

Energiapuun erilliskorjuussa metsään jäävän rungon latvakappaleen tilavuus laskettiin puulaejittain puun piteuden ja latvakappaleen piteuden perusteella. Kaadon ja metsäkuljetuksen yhteydessä metsään jäävien oksien määrä arvioitiin kuorellisen runkopuun hakkuukertymän avulla ja kuolleiden oksien määrä malleilla ennustetun kuolleiden oksien kokonaismäärän avulla.

Ketjukarsintamenetelmään perustuvan integroidun korjuun päätuote oli selluhake. Puupolttoaine saatiin menetelmän sivutuotteena syöttö-, piiskaus- ja separaattoritähteenä. Ketjun koko raaka-ainetase perustui siitä julkaistuun tutkimukseen (Hakkila & Kalaja 1993. Ketjukarsinta ensiharvennumännikön korjuuratkaisuna. Folia Forestalia 803). Kaikki prosessitähde oletettiin tässä saatavan polttokäyttöön, mikä edellyttää työskentelyä terminaali- tai sitä muistuttavissa olosuhteissa.

Kuusivaltaisilta päätehakuualoilta hakkuutähteinä talteen saatavan biomassan määrä laskettiin prosenttiosuutena oksien kokonaismassasta ja runkojen latvakappaleista. Talteen saatavan biomassan määrä riippuu siitä, kuinka hyvin hakkuutähteen ovat hakkuukoneen jäljiltä kasoissa ja kuinka tarkkaan metsätraktorin kuljettaja pystyy ne keräämään. Käytännössä merkittävä osa hakkuutähteistä jää korjuussa metsään. Ruotsissa käytännön korjuutoiminnassa saanto on ollut noin 70 % hakkuutähteen kokonaismäärästä.

Energiapuukertymät muutettiin kiintotilavuudeksi kuivatuoretiheyksien avulla. Hakkeen tehollinen lämpöarvo laskettiin olettaen kosteudeksi 50 %. Tehollisen lämpöarvon avulla laskettiin eri puulajien suhteellinen edullisuus lämmöntuotannossa (= hakkeen tuotantokustannukset, mk/MWh).

423. Metsänhoidon ja puunkorjuun kustannukset

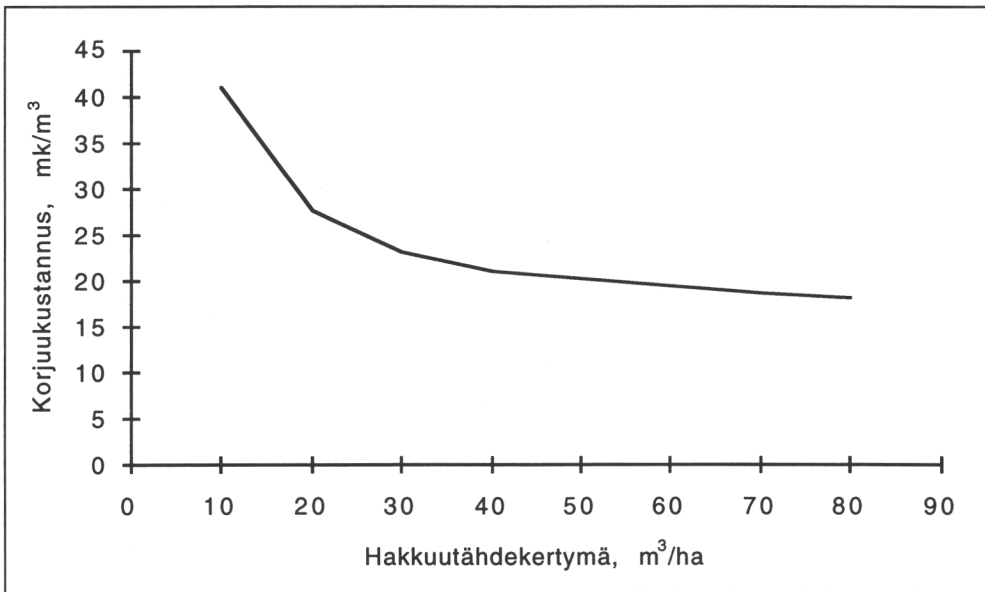
Metsänhoitotöiden kustannusrakennetta ja -tasoa tarkennettiin laatimalla taimikonhoidolle ja uudistusalan raivaukselle uudet kustannusmallit. Luotettavat mallit ovat tärkeitä erilaisten metsänkäsittelyjen liiketaloudellisissa analyyseissa, joissa otetaan huomioon kustannusten ja tulojen eriaikaisuus. Metsänhoitotyöt painottuvat kiertoajan alkupuolelle, jolloin niillä on koron vuoksi huomattava vaikutus metsänkäsittelyn taloudelliseen tulokseen.

Laaditut mallit soveltuvat raivaussahalla tehtävän taimikonhoidon ja raivauksen kustannusten ennustamiseen. Mallit tehtiin 1993 voimaantulleiden metsänhoitotöiden urakkapalkkaustaulukoiden perusteella, joissa on erikseen esitetty yksikköpalkat taimikon perkaukselle ja harvennukselle sekä uudistusalan raivaukselle. Palkkataulukkoissa on otettu huomioon poistettavan puuston tiheys, puulaji, keskimääräinen koko ja ryhmittyneisyys sekä maastotilat. Lisäksi kustannuksiin sisältyivät kasvatettavan puuston varominen sekä ojien ja karttapolkujen aukipito.

Teollisuuden ainespuun korjuukustannukset laskettiin Metsätehon kehittämällä puunkorjuun laskentajärjestelmällä (SUSY), jonka kustannustaso korjattiin vastaamaan vuoden 1993 tasoa.

Korjuuketjuihin kuului useita manuaalisia ja koneellisia vaihtoehtoja, joista valittiin halvin jokaiselle simuloidulle hakkuulle. Kustannuksiin sisältyivät hakkuun ja metsäkuljetuksen lisäksi työnjohto-, suunnittelu- ja mittauskustannukset, joiden osuus oli 10-15 % manuaalisessa korjuussa ja 3-8 % koneellisessa korjuussa.

Myös energiapuun erilliskorjuun ja integroidun korjuun kustannusten määrittämiseen laadittiin uudet mallit. Siirtelykaatona tehtävän hakkuun kustannusmalli tehtiin työehto-osapuolien sopimien hakkuun yksikköpalkkojen pohjalta. Hakkuukustannukset sisälsivät palkan ja sen sivukustannusten lisäksi työnjohdon, suunnittelun ja mittauksen kustannukset. Osapuun metsäkuljetuksen kustannusmalli laadittiin vuoden 1991 yksikkömaksujen perusteella ja mallin antamat kustannukset korjattiin vuoden 1993 tasolle. Hakkuutähteiden korjuukustannukset muodostuivat metsäkuljetuksen kustannuksista, joita koskeva malli laadittiin kuormatraktorin käyttötuntikustannusten ja hakkuutähteen metsäkuljetuksen käyttötuntituotoksen (vaihteli hakkuutähdetiheyden mukaan 4,0-8,5 m³/h) perusteella (kuva 42.3).



Kuva 42.3. Hakkuutähteiden korjuukustannusten riippuvuus hakkuutähteiden määrästä kuusivaltaisilla päätehakkuaaloilla.

Energiapuun erilliskorjuussa ja hakkuutähteiden korjuussa kaikki kustannukset kohdennettiin korjattavalle energiapuulle. Integroidussa korjuussa energiapuun saatiin sivutuotteena, minkä vuoksi korjuukustannukset kohdennettiin saatavalle sellujakeelle. Energiapuun kustannukset käyttöpaikalla syntyivät tällöin pelkästään murskauksen ja kaukokuljetuksen kustannuksista.

Metsänuudistamisen kustannuksina käytettiin Metsäkeskus Tapion julkaisemia metsälautakunnittaisia keskikustannuksia vuodelta 1993. Näihin kustannuksiin sisältyivät sekä materiaali- että työnjohtokustannukset.

43. Puutavaralajien hinnat

Tukki- ja kuitupuun hintoina käytettiin metsälautakunnittain tilastoituja alkuvuoden 1994 keskihintoja (taulukko 43.1). Vaihtoehtoisten metsänkäsittelyketjujen vertailu perustui toimenpiteiden nettotuloihin. Hakkuista saadut nettotulot määräytyivät tienvarsihintojen avulla laskettujen tulojen ja puunkorjuun kustannusten erotuksena. Koska tienvarsihintoja ei ole tilastoitu, tienvarsihintojen arvioina käytettiin hankintahintoja. Laskelmista tehtyjen päätelmien kannalta puutavaralajien hintasuhteet ja puunkorjuun kustannustaso ovat markkamääräisiä hintoja oleellisempia.

Taulukko 43.1. Laskelmissa käytetyt tukki- ja kuitupuun hinnat Keski-Pohjanmaalla.

	Hankintahinta, mk/m ³	Kantohinta, mk/m ³
Mäntytukki	202	181
Kuusitukki	173	150
Koivutukki	200	170
Mäntykuitu	137	71
Kuusikuitu	139	75
Koivukuitu	146	68

Energiapuusta käyttöpaikalla maksettava hinta määritetään käytännössä tapauskohtaisesti puun kanssa kilpailevien polttoaineiden hintojen ja puun lämpöarvon perusteella, joka vaihtelee mm. puulajin ja hakkeen kosteuden mukaan. Hakkeen lämpöarvoa määritettäessä puun kosteutena käytettiin 50 prosenttia eli puu oletettiin poltettavaksi tuorehakkeena. Energiapuusta käyttöpaikalla maksettavasta hinnasta vähennettiin keskimääräiset hakkeen kaukokuljetuksen (40 km) sekä haketuksen tai murskauksen kustannukset. Näin saatua hintaa käytettiin energiapuusta tienvarressa maksettavana hintana. Keskimääräiset energiapuun hinnat määritettiin puulajeittain jokaiselle korjuutavalle ja energiapuusta käyttöpaikalla maksettavalle hinnalle (taulukko 43.2).

Taulukko 43.2. Laskelmissa käytetyt energiapuun tienvarsihinnat.

Maksimihinta käyttöpaikalla energiasisällön perusteella	Korjuutapa	Tienvarsihintana, mk/m ³		
		Mänty	Kuusi	Koivu
45 mk/MWh	Integroitu korjuu	22	-	-
	Erilliskorjuu	34	35	52
	Hakkuutähteiden korjuu	-	32	-
65 mk/MWh	Integroitu korjuu	58	-	-
	Erilliskorjuu	70	72	96
	Hakkuutähteiden korjuu	-	73	-
85 mk/MWh	Integroitu korjuu	95	-	-
	Erilliskorjuu	107	109	140
	Hakkuutähteiden korjuu	-	114	-

Laskelmissa käytetyt energiapuun maksimihinnat käyttöpaikalla valittiin BIOENERGIA-tutkimusohjelman tavoitteiden ja Ruotsin lämpölaitosten energiapuun hintatason perusteella. BIOENERGIA-tutkimusohjelman tavoitteena on uusia tuotantomenetelmiä kehittämällä päästä siihen, että puupolttoaineen tuotantokustannukset käyttöpaikalla olisivat suurasiakaille noin 45 mk/MWh. Tuotantokustannustaso 85 mk/MWh on lähellä puupolttoaineen keskimääräistä kustannustasoa Ruotsin lämpölaitoksissa. Ruotsissa energiapuun kilpailuasemaa parantaa fossiilisille polttoaineille asetettu ympäristövero.

5. LASKELMAT

51. Vaihtoehtoisten metsänkäsittelyjen simulointi

Simuloinnilla tuotettiin toteutuskelpoisia metsiköiden käsittelyvaihtoehtoja Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueen puuntuotantolaskelmia ja metsänkäsittelyohjeiden laadintaa varten. Laskenta-aikana käytettiin 40 vuotta, joka jaettiin neljään 10 vuoden pituiseen simulointikauteen. Laskenta-aineiston metsiköille simuloituja mahdollisia metsänkäsittelytoimenpiteitä olivat taimikonhoito, runkolukuun perustuva ensiharvennus, pohjapinta-alaan perustuva myöhempi harvennus, avohakkuu, siemenpuuhakkuu, suojuspuuhakkuu, ylispuiden poisto, uudistusalan raivaus ja maanpinnan käsittely, metsänviljely ja täydennysviljely. Näiden toimenpiteiden simulointi perustui Metsäkeskus Tapion metsänhoitosuosituksiin. Metsikön kiertoaika sai simuloinneissa vaihdella, mutta puuston keski-ikä tuli olla päätehakkuvaiheessa vähintään 60 prosenttia Tapion kiertoaikasuosituksesta. Tapion ohjeiden mukaisen uudistamisjäreyden tuli kuitenkin ylittyä ennen kuin uudistaminen voitiin toteuttaa.

Taimikonhoidon ajoitusta ohjattiin simuloinnissa puuston keskipituuden avulla. Aikainen taimikonhoito simuloitiin keskipituudella 0,5-3 metriä ja myöhäinen keskipituudella 3-6 metriä. Taimikonhoidon voimakkuutta säädeltiin taimikonhoidon jälkeen kasvamaan jäävän puuston runkoluvulla, joka suhteutettiin Metsäkeskus Tapion runkolukusuositukseen eri puulajeille ja kasvupaikoille. Tehdyissä simuloinneissa käytettiin Tapion suosituksen lisäksi kahta vaihtoehtoista taimikonhoidon voimakkuutta. Voimakkaassa taimikonhoidossa puuston runkoluku oli 20 prosenttia Tapion suositusta pienempi ja lievässä taimikonhoidossa 20 prosenttia suositusta suurempi. Taimikonhoidon jälkeinen puuston runkoluku vaihteli näin 1 280-2 400 runkoon hehtaarilla puulajista ja kasvupaikasta riippuen. Ajoituksen ja voimakkuuden vaihtelun vuoksi yhdelle metsikölle tuotettiin enimmillään kuusi erilaista taimikonhoitovaihtoehtoa, joiden lisäksi taimikonhoito voitiin jättää kokonaan tekemättä.

Runkolukuun perustuva ensiharvennus simuloitiin kaikille metsiköille, joiden keskiläpimita ennen harvennusta oli vähintään 8 senttimetriä ja puuston keskipituus alle 13 metriä. Harvennuksen voimakkuutta ohjattiin taimikonhoidon tapaan harvennuksen jälkeen kasvamaan jätettävän puuston määrällä. Kasvamaan jäävän puuston määrä suhteutettiin Metsäkeskus Tapion runkolukuohjeeseen eri puulajeille ja kasvupaikoille. Ensiharvennusemetsiköille simuloitiin voimakas, Tapion ohjeen mukainen ja lievä harvennus. Voimakkaassa harvennuksessa puustoa jätettiin kasvamaan 20 prosenttia Tapion runkolukusuositusta vähemmän ja lievässä harvennuksessa 20 prosenttia suositusta enemmän. Ensiharvennuksen ajoitus vaihteli keskiläpimitan ja -pituuden sallimissa rajoissa ja lisäksi runkolukuun perustuva ensiharvennus voitiin jättää myös kokonaan tekemättä. Jos puuston keskipituus oli yli 13 metriä, harvennukset perustuivat Tapion pohjapinta-alasuosituksiin. Kaikki harvennushakkuut simuloitiin pääasiassa metsikön pienimpiin puihin kohdistuvina alaharvennuksina.

Jokaiselle ensiharvennukselle simuloitiin vaihtoehtoisten voimakkuuksien ja ajoitusten lisäksi kolme korjuuvaihtoehtoa: teollisuuspuun korjuu tavaralajimenetelmällä, teollisuuden ainespuun ja energiapuun integroitu korjuu sekä energiapuun erilliskorjuu osapuukorjuumenetelmällä. Näistä ketjukarsintamenetelmään perustuva integroitu korjuuketju simuloitiin vain mäntyvaltaisille metsiköille. Ensiharvennusvaiheen metsikölle tuotettiin parhaassa ta-

pauksessa samalle ajankohdalle yhdeksän erilaista runkolukuharvennusta. Koska ensiharvennus voitiin tehdä usealla ajankohdalla, harvennusvaihtoehtojen määrä kasvoi entisestään.



Kuva 51.1. Päätehakkuaalan hakkuutähteet voidaan korjata energiakäyttöön (kuva H. Kalaja).

Vaihtoehtoisten toimenpiteiden suuri määrä ja pitkä simulointiaika johtivat suureen metsiköittäisten käsittelyketjujen lukumäärään. Vaihtoehtoisia käsittelyketjuja tuotettiin jokaista metsikköä kohti keskimäärin 587 kappaletta, joten aineiston 375 metsikölle tuotettiin yhteensä yli 200 000 erilaista käsittelyketjua. Simuloinnit toistettiin laskelmissa käytetyille kolmelle energiapuun maksimihinnalle käyttöpaikalla. Näissä simuloinneissa metsiköille tuotettiin samat käsittelyketjut, mutta hakkuista saadut nettotulot vaihtelivat käytetyn energiapuun hinnan mukaan.

52. Puuntuotanto-ohjelmien valinta

Simuloitujen metsiköittäisten käsittelyvaihtoehtojen joukosta valittiin vaihtoehtojen yhdistelmiä eli tuotanto-ohjelmia, jotka parhaiten toteuttivat metsien käytölle asetetut tavoitteet ja rajoitteet. Ohjelmat valittiin lineaarisella optimoinnilla, joka on eniten käytetty matemaattisen optimoinnin menetelmä metsätalouden suunnittelussa. Koska kaikkien metsätalouden harjoittajien todellisia tavoitteita ja rajoitteita Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella ei ollut mahdollista tietää, tavoitteina käytettiin yleisiä metsätalouden päämääriä, kuten metsistä saatavien tulojen määrää ja toiminnan tasaisuutta. Tällä perusteella optimoinnin tavoittemuuttajaksi valittiin alkutuottoarvo, joka tarkoittaa kaikkien tulevaisuudessa saatavien nettotulojen nykyhetken diskontattua arvoa. Diskonttaus korkona oli kolme prosenttia, joka on

yleisesti käytetty korko metsätalouden suunnittelulaskelmissa. Metsätalouden kestävyyttä koskevat tavoitteet esitettiin optimointitehtävien rajoitteina.

Laskelmissa olivat mukana seuraavat vaihtoehtoiset tuotanto-ohjelmat:

Hakkuumahdollisuuksien täysimääräiseen käyttöön pyrkivät ohjelmat

Ohjelma 1:

Ohjelmassa maksimoitiin alkutuottoarvoa kolmen prosentin korolla. Siinä otettiin huomioon myös hakkuukertymien ja nettotulojen tasaisuus sekä puuntuotannon kestävyys. Metsänkasvatusvaihtoehtoina käytettiin teollisuuden ainespuun tuotantoon tähtääviä käsittely- ja kehitysvaihtoehtoja. Ohjelma kuvaa metsien tehokasta käyttöä teollisuuden ainespuun tuotannossa.

Ohjelma 2:

Ohjelma oli kuten ohjelma 1, mutta teollisuuspuun korjuun lisäksi myös energiapuun korjuu oli sallittu. Energiapuun korjuukustannukset käyttöpaikalla saivat olla korkeintaan 45 mk/MWh ja energiapuun korjuumäärien tuli olla tasaiset. Ohjelman avulla selvitettiin hakkuiden kohdentumista ja kannattavasti korjattavissa olevaa energiapuun määrää, kun teollisuus- ja energiapuun korjuu olivat kilpailutilanteessa mahdollisissa energiapuun korjuukohteissa. Ohjelma kuvaa tehokasta talousmetsien käyttöä teollisuuden ainespuun ja energiapuun samanaikaisessa tuotannossa.

Ohjelma 3:

Ohjelma oli kuten ohjelma 2, mutta energiapuun korjuukustannukset käyttöpaikalla saivat olla korkeintaan 65 mk/MWh.

Ohjelma 4:

Ohjelma oli kuten ohjelma 2, mutta energiapuun korjuukustannukset käyttöpaikalla saivat olla korkeintaan 85 mk/MWh.

1990-luvun alkuvuosien teollisuuspuun korjuumäärien mukaiset ohjelmat

Ohjelma 5:

Ohjelmassa maksimoitiin alkutuottoarvoa kolmen prosentin korolla. Teollisuuden puuraaka-aineen kertymärajoitteena käytettiin 1990-luvun alkuvuosien (1991-1992) keskimääräistä tasoa puu- ja puutavaralajeittain. Energiapuuta ei korjattu tässä ohjelmassa lainkaan. Ohjelman avulla selvitettiin metsien kehitystä tilanteessa, jossa hakkuumäärät pysyvät jatkossakin viime vuosien hakkuumahdollisuuksiin nähden alhaisella tasolla.

Ohjelma 6:

Ohjelma oli kuten ohjelma 5, mutta energiapuun korjuu oli mahdollinen. Energiapuun korjuukustannukset käyttöpaikalla saivat olla korkeintaan 65

mk/MWh ja energiapuun korjuumäärien tuli olla tasaiset. Ohjelman avulla selvitettiin hakkuiden kohdentumista ja kannattavasti korjattavissa olevaa energiapuumäärää, jos teollisuuden ainespuun korjuumäärät pysyisivät jatkosakin vuosien 1991-1992 keskimääräisellä tasolla.

Tuotanto-ohjelmien lisäksi laskettiin MELA-järjestelmän mukaisin harvennusriteerein ensiharvennusmetsien määrä Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella sekä energiapuun korjuumahdollisuudet eri maksimihinnoilla kantohinnan vaihdellessa 0-15 mk/MWh (0-40 mk/m³). Näissä laskelmissa kaikki kannattavat energiapuun korjuukohteet oletettiin saatavan energiapuukäyttöön. Lähiajan energiapuun korjuumahdollisuudet laskettiin maksimoimalla ensimmäisen kymmenvuotiskauden kannattavasti korjattavissa olevat energiapuun korjuumäärät eri maksimi- ja kantohinnoilla. Näiden lisäksi laskettiin suurin neljänkymmenen vuoden aikavälillä jatkuvasti korjattavissa oleva energiapuumäärä eri maksimihinnoilla.

6. TULOKSET

61. Energiapuun korjuumahdollisuudet

611. Energiapuun korjuumahdollisuudet ilman teollisuuspuun kilpailua

Seuraavassa tarkastellaan kannattavasti korjattavissa olevaa energiapuumäärää Keski-Pohjanmaalla, kun teollisuuspuun kilpailua ei oteta huomioon. Energiapuun korjuun tuli laskelmissa olla kannattavaa kullakin vaihtoehtoisella energiapuun maksimihinnalla käyttöpaikalla.

Energiapuun korjuuseen soveltuvien ensiharvennusmetsien määrä selvitettiin laskemalla niiden metsien pinta-ala, joilla ensiharvennus oli puustotunnusten perusteella mahdollista tehdä lähimmän kymmenen vuoden aikana. Keski-Pohjanmaalla oli ensiharvennuksin käsiteltäväksi soveltuvia metsiä yhteensä 312 000 ha. Tulos on varsin lähellä vuosikymmenen alussa VMI8:ssa nuoriksi kasvatusmetsiksi luokiteltujen metsien määrää, noin 40 % metsämaan pinta-alasta. Metsänhoidollinen ja taloudellisesti perusteltu todellinen harvennustarve on kuitenkin tätä huomattavasti pienempi.

Suurin kannattavasti korjattava energiapuumäärä selvitettiin maksimoimalla ensiharvennuksista ja kuusivaltaisilta päätehakkuaaloilta saatavia energiapuukertymiä ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella. Kaikki kannattavat energiapuun korjuukohteet oletettiin saatavan energiapuukäyttöön. Energiapuun maksimihintana käyttöpaikalla oli joko 45, 65 tai 85 mk/MWh. Tuotantokustannuksiin sisältyivät energiapuun korjuu-, haketus- ja kuljetuskustannukset sekä mahdollinen energiapuun kantohinta. Energiapuun kantohintoina käytettiin 0, 5, 10 ja 15 mk/MWh. Vastaavaan runkopuun kantohintaan (mk/m³) päästään kertoimella, joka on puulajista riippuen 2,2-2,6. Kertoimet koskevat ensiharvennusta, jossa rungosta jätetään noin kolmen metrin latvakappale oksineen metsään. Merkittävä osa ensiharvennuksessa poistuvien puiden neulasmassasta ja samalla puun sisältämistä ravinteista keskittyy männyllä 1-3 ja kuusella 1-4 metrin matkalle puun latvasta.

Taulukko 61.1. Vuosittain kannattavasti korjattavissa oleva energiapuumäärä tulevilla kymmenvuotiskaudella. Energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla 45 mk/MWh.

	mk/MWh			
Maksimihinta käyttöpaikalla	45	45	45	45
Korjuu ja kuljetus	45	40	35	30
Kantohinta	0	5	10	15
	1 000 m ³ /v			
Energiapuukertymä	830	830	520	520
Integroitu korjuu, %	62	62	100	100
Energiapuun erilliskorjuu, %	-	-	-	-
Hakkuutähteiden korjuu, %	38	38	-	-
	1 000 ha/v			
Energiapuuhakkuuala	30	29	25	25
Integroitu korjuu, %	84	85	100	100
Energiapuun erilliskorjuu, %	-	-	-	-
Hakkuutähteiden korjuu, %	16	15	-	-
	TWh/v			
Energiasisältö	1,64	1,63	0,99	0,99

Kun energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla oli 45 mk/MWh, korjuu oli kannattavaa ainoastaan integroituna tai hakkuutähteiden korjuuna (taulukko 61.1). Laskelmissa integroidun korjuun kaikki hakkuu- ja metsäkuljetuskustannukset kohdistettiin sellujakeelle. Tämä mahdollisti energiapuun korjuun aina silloin, kun korjuuketju oli kuitupuun osalta kannattava. Hakkuutähteiden korjuun kannattavuusraja tuotantokustannuksina käyttöpaikalla oli laskelman mukaan noin 40 mk/MWh. Tuotantokustannustasolla 45 mk/MWh Keski-Pohjanmaalta voitaisiin kuluvalle vuosikymmenellä korjata hakkuutähteitä noin 310 000 m³/v ja maksaa niille kantohintaa 5 mk/MWh (n. 10 mk/m³). Hakkuutähteillä ei ole kilpailevaa käyttöä, joten pienikin kantohinta on tässä suhteessa kilpailukykyinen. Esitetyt energiapuunmäärät ovat kiintokuutioita (m³) ja ne voidaan muuttaa hakekuutioiksi (i-m³) kertoimella 2,5.

Koko kannattavasti korjattavissa oleva vuotuinen energiapuunmäärä, 830 000 m³/v, riittäisi noin kahdenkymmenen keskiuuren, 100 000 hakekuutiota vuodessa polttavan, lämpölaitoksen polttoaineeksi. Kuusivaltaisilta päätehakkuualoilta saatava hakkuutähte pystyisi tyydyttämään 7-8 vastaavankokoisen lämpölaitoksen polttoainetarpeen.

Taulukko 61.2. Vuosittain kannattavasti korjattavissa oleva energiapuunmäärä tulevalle kymmenvuotiskaudella. Energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla 65 mk/MWh.

		mk/MWh			
Maksimihinta käyttöpaikalla	65	65	65	65	
Korjuu ja kuljetus	65	60	55	50	
Kantohinta	0	5	10	15	
		1 000 m ³ /v			
Energiapuukertymä	1 780	1 530	900	840	
Integroitu korjuu, %	10	21	57	62	
Energiapuun erilliskorjuu, %	73	59	7	-	
Hakkuutähteiden korjuu, %	17	20	36	38	
		1 000 ha/v			
Energiapuuhakkuuala	35	34	30	30	
Integroitu korjuu, %	35	51	82	84	
Energiapuun erilliskorjuu, %	53	35	2	-	
Hakkuutähteiden korjuu, %	12	14	16	16	
		TWh/v			
Energiasisältö	3,52	3,03	1,77	1,64	

Tuotantokustannustasolla 65 mk/MWh kannattavasti korjattavissa oleva energiapuunmäärä oli yli kaksi kertaa niin suuri kuin 45 mk/MWh kustannustasolla. Lisäys johtui siitä, että hakkuutähteiden ja integroidun korjuun lisäksi myös energiapuun erilliskorjuu alkoi tulla kannattavaksi noin 60 mk/MWh tuotantokustannuksilla. Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella oli noin 120 000 ha sellaisia ensiharvennusemänniköitä, joissa tulevalle kymmenvuotiskaudella voitaisiin korjata energiapuuta erilliskorjuuna 65 mk/MWh tuotantokustannustasolla ja maksaa energiapuulle 5 mk/MWh kantohintaa (taulukko 61.2). Runkopuun kiintokuutiometriä kohti em. kantohinta on ensiharvennusemänniköille noin 11-12 mk. Mikäli kaikelle teollisuuspuulle on kysyntää, energiapuun erilliskorjuu ei ole kilpailukykyistä vielä 65 mk/MWh tuotantokustannustasollakaan. Integroidun korjuun osuuden väheneminen erilliskorjuun lisääntyessä johtuu tässä käytetystä laskentatavasta, jossa maksimoitiin energiapuukertymiä ottamatta huomioon eri korjuutapojen suhteellista edullisuutta.

Taulukko 61.3. Vuosittain kannattavasti korjattavissa oleva energiapuumäärä tulevalla kymmenvuotiskaudella. Energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla 85 mk/MWh.

		mk/MWh		
Maksimihinta käyttöpaikalla	85	85	85	85
Korjuu ja kuljetus	85	80	75	70
Kantohinta	0	5	10	15
		1 000 m ³ /v		
Energiapuukertymä	2 000	1 990	1 990	1 970
Integroitu korjuu, %	-	1	1	2
Energiapuun erilliskorjuu, %	85	84	84	83
Hakkuutähteiden korjuu, %	15	15	15	15
		1 000 ha/v		
Energiapuuhaakuuala	35	35	35	35
Integroitu korjuu, %	-	4	5	9
Energiapuun erilliskorjuu, %	87	83	82	78
Hakkuutähteiden korjuu, %	13	13	13	13
		TWh/v		
Energiasisältö	3,91	3,90	3,90	3,87

Tuotantokustannustasolla 85 mk/MWh kaikki tarkasteltavat energiapuun korjuutavat olivat kannattavia, mikä mahdollistaisi laajamittaisen energiapuun korjuutoiminnan Keski-Pohjanmaalla (taulukko 61.3). Energiapuuta riittäisi viidenkymmenen keski-suuren (vuosikulutus 100 000 hakekuutiota) lämpölaitoksen polttoaineeksi. Kannattavasti korjattavissa oleva energiapuumäärä oli 12 % suurempi kuin 65 mk/MWh tuotantokustannustasolla. Energiapuun maksimihinta 85 mk/MWh käyttöpaikalla mahdollistaisi puulajista riippuen 33-39 mk kantohinnan runkopuun kuutiometriä kohti.

Pääosa energiapuusta oli mäntyä kaikilla tuotantokustannustasoilla (taulukko 61.4). Männyn suhteellinen osuus oli kuitenkin pienempi kuin sen osuus puuston runkotilavuudesta valtakunnan metsien inventoinnin mukaan. Kustannustasolla 45 mk/MWh kuusen suuri osuus johtui päätehakkuualueiden hakkuutähteiden suuresta hehtaarikohtaisesta kertymästä. Erilliskorjuun tullessa kannattavaksi 60 mk/MWh kustannustasolla koivun osuus kasvoi kuusen kustannuksella. Jos integroitu korjuumenetelmä olisi käytettävissä myös kuuselle, kuusen puulajiosuus energiapuusta voisi olla suurempi.

Taulukko 61.4. Puulajien osuudet energiapuukertymistä eri energiapuun maksimihinnoilla käyttöpaikalla.

		mk/MWh	
Maksimihinta käyttöpaikalla	45	65	85
		1 000 m ³ /v	
Energiapuukertymä	830	1 780	2 000
Mänty, %	43	45	48
Kuusi, %	40	25	24
Koivu, %	15	27	25
Muu lehtipuu, %	2	3	3

Edellä tarkasteltiin vain seuraavan kymmenen vuoden energiapuukertymiä ottamatta kantaa toiminnan kestävyys. Suurin jatkuvasti korjattavissa oleva energiapuumäärä laskettiin maksimoimalla ensimmäisen 10-vuotiskauden energiapuukertymiä edellyttäen energiapuun korjuumäärien, koko hakkuukertymän ja uudistamis-pinta-alojen säilyvän tasaisina koko 40-vuotisen tarkastelujakson. Tuotantokustannustasolla 45 mk/MWh suurin jatkuvasti korjattavissa oleva energiapuumäärä oli 570 000 m³/v eli noin 1 400 000 hakekuutiometriä vuodessa, joka riittäisi 45 mk/MWh tuotantokustannustasolla 14 keskisuuren (vuosikulutus 100 000 hakekuutiometriä) lämpölaitoksen tarpeisiin. Kustannustasoilla 65 ja 85 mk/MWh vastaavat korjuumäärät olivat 1 320 000 ja 1 420 000 m³/v.

612. Energiapuun korjuumahdollisuudet teollisuuspuun ja energiapuun kilpailutilanteessa.

Edellisissä laskelmissa energiapuun korjuumahdollisuuksia tarkasteltiin ilman teollisuuspuun kilpailua. Koska käytännössä energiapuun ja teollisuuspuun korjuu kilpailevat samoista ensiharvennuskohdeista, energiapuun korjuumahdollisuudet selvitettiin myös osana puuntuotanto-ohjelmia, joissa toteutui teollisuus- ja energiapuun kilpailu. Puuntuotanto-ohjelmissa 2-4 (luku 52) energiapuun korjuu kilpaili vapaasti teollisuuspuun korjuun kanssa. Ainoa ero näiden ohjelmien välillä oli energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla (45-85 mk/MWh). Ohjelmassa 6 teollisuuspuun korjuumäärät olivat 1990-luvun alun tasolla, mutta energiapuun korjuumääriä ei rajoitettu. Energiapuun korjuumäärien tuli kaikissa ohjelmissa säilyä tasaisina koko tarkastelujakson.

Taulukko 61.5. Energiapuukertymät valituissa tuotanto-ohjelmissä.

Kausi	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
Energiapuukertymä, 1 000 m ³ /v				
Ohjelma 2 (45 mk/MWh)				
Kertymä yhteensä	120	120	120	120
runkopuuta, %	7	19	29	48
latvusmassaa, %	93	81	71	52
Ohjelma 3 (65 mk/MWh)				
Kertymä yhteensä	187	187	187	187
runkopuuta, %	21	22	31	54
latvusmassaa, %	79	78	69	46
Ohjelma 4 (85 mk/MWh)				
Kertymä yhteensä	365	365	365	366
runkopuuta, %	40	49	47	69
latvusmassaa, %	60	51	53	31
Ohjelma 6				
Kertymä yhteensä	226	216	211	208
runkopuuta, %	44	36	37	41
latvusmassaa, %	56	64	63	59

Energiapuukertymät olivat ohjelmissä 2-4 vain 14-26 % ilman teollisuuspuun kilpailua laskeutuista pitkän ajan korjuumahdollisuuksista (taulukko 61.5). Integroidussa korjuussa kuitupuukertymä jäi samasta leimikosta pienemmäksi kuin teollisuuspuun korjuussa, joten kilpailutilanteessa pelkkä teollisuuspuun korjuu oli yleensä integroitua korjuuta kannattavam-

paa. Integroitu korjuu oli vahvimmillaan siellä, missä menetelmällä saatiin paljon myös energiapuuta. Energiapuun erilliskorjuun puustamaksukyky ei useimmiten riittänyt kilpailemaan teollisuuspuun korjuun kanssa, vaikka erilliskorjuu sinänsä olisikin ollut kannattavaa. Ainoastaan hakkuutähteiden korjuu tehtiin laskelman mukaan aina, kun se oli kannattavaa. Teollisuuspuun kysynnän ollessa hakkuumahdollisuuksia selvästi pienempi (ohjelma 6), teollisuuspuun korjuuseen valikoituivat ensin parhaat ensiharvennusmetsiköt. Energiapuun korjuumäärä nousi kuitenkin noin 20 % korkeammaksi kuin ohjelmassa 3, koska kaikille ensiharvennusmetsiköille ei ollut kysyntää teollisuuspuuna.

Tuotantokustannustasolla 45 mk/MWh (ohjelma 2) energiapuuta riittäisi teollisuuspuun kilpailun vallitessa kolmelle 100 000 hakekuutiota vuodessa käyttävälle lämpölaitokselle. Vastaavalla kustannustasolla (taulukko 61.1) lasketut korjuumahdollisuudet kuluvalle vuosikymmenellä olisivat riittäneet tyydyttämään 20 vastaavankokoisen laitoksen raaka-ainetarpeen. Ohjelmien 3 ja 4 (65 ja 85 mk/MWh) energiapuukertymät vastaavat noin 465 000 ja 910 000 hakekuutiometriä. Ohjelmassa 6 (65 mk/MWh), jossa teollisuuspuun hakkuukertymät oli rajattu 1990-luvun alkuvuosien tasolle, vuotuinen runsaan 500 000 hakekuution energiapuukertymä riittäisi viidelle keskisuurelle lämpölaitokselle.

Latvusmassan osuus energiapuusta oli ohjelmissa 2-4 suurin ensimmäisellä kaudella, josta se pienehti kohti tarkastelujakson loppua. Tämä johtui hakkuutähteiden korjuun pinta-alojen pienenemisestä (taulukko 61.6). Ohjelmassa 6 hakkuutähteiden korjuupinta-alat säilyivät ohjelmia 2-4 tasaisempina ja latvusmassan osuus energiapuusta säilyi koko tarkastelujakson noin 60 prosentin tasolla.

Energiapuun tuotantokustannustasolla 45 mk/MWh (ohjelma 2) kertymä koostui ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella kokonaan hakkuutähteiden korjuusta (taulukko 61.6). Toiselta kymmenvuotiskaudella lähtien energiapuuta korjattiin myös integroituna teollisuus- ja energiapuun korjuuna. Integroidun korjuun osuus koko harvennusalasta vaihteli kaudesta riippuen välillä 18-49 %.

Taulukko 61.6. Energiapuun vuotuiset korjuupinta-alat korjuutavoittain.

Kausi	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
	Korjuupinta-ala, ha/v			
Integroitu teollisuus- ja energiapuun korjuu				
Ohjelma 2	-	3 100	1 700	4 100
Ohjelma 3	2 400	3 600	4 000	6 000
Ohjelma 4	5 400	5 800	7 700	6 800
Ohjelma 6	5 900	6 100	5 900	4 900
Energiapuun erilliskorjuu				
Ohjelma 2	-	-	-	-
Ohjelma 3	-	200	-	-
Ohjelma 4	800	1 500	1 300	2 400
Ohjelma 6	-	-	-	-
Hakkuutähteiden korjuu päätehakkuualoilta				
Ohjelma 2	1 500	1 100	800	400
Ohjelma 3	1 900	1 600	1 300	400
Ohjelma 4	2 500	1 900	1 500	500
Ohjelma 6	1 000	1 400	1 200	700

Tuotantokustannustasolla 65 mk/MWh (ohjelma 3) hakkuut kohdistuivat pääasiassa hakkuutähteiden korjuuseen ja integroituun korjuuseen, joita oli hiukan enemmän kuin ohjelmassa 2. Vaikka energiapuun erilliskorjuun kannattavuusraja oli noin 60 mk/MWh (vrt. taulukko 61.2), puu oli kannattavampaa korjata pääosin teollisuuspuuksi. Vasta tuotantokustannustasolla 85 mk/MWh (ohjelma 4) energiapuun erilliskorjuu kohosi tasolle 800-2 400 ha/v.

Ohjelmassa 6, jossa sekä kuitu- että tukkipuun korjuumäärät olivat 1990-luvun alun tasolla, energiapuukertymät nousivat kaudesta riippuen 11-21 % suuremmiksi kuin tuotantokustannustasoltaan (65 mk/MWh) vastaavassa ohjelmassa 3 (taulukko 61.5). Lisäkertymä tuli lähinnä integroidusta korjuusta, jonka määrä vaihteli 900-6 100 ha/v. Uudistusalojen vähäinen määrä ohjelmassa 6 rajoitti energiapuun korjuumahdollisuuksia päätehakkuualoilta. Energiapuun erilliskorjuuta ei tehty ohjelmassa 6 lainkaan (vrt. ohjelma 3).

Ohjelmissa 2-4 energiapuun osuus koko hakkuukertymästä oli 8-19 % ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella (taulukko 61.7). Myöhemmillä kausilla osuus laski 4-7 prosenttiyksikköä ensimmäisen kauden tasosta, kun hakkuukertymät kohosivat energiapuun korjuun säilyessä tasaisena. Latvusmassan osuus koko hakkuukertymästä oli 7-11 % ensimmäisellä kaudella ja se pieneni myöhemmillä kausilla energiapuukertymiä vastaavasti. Ohjelmassa 6 energiapuun osuus hakkuukertymästä säilyi koko tarkastelujakson 15-16 prosentin tasolla. Tässä ohjelmassa teollisuuspuun korjuumäärät oli rajattu 1990-luvun alkuvuosien tasolle. Myös hakkuutähteiden korjuupinta-alat ja samalla latvusmassan osuus hakkuukertymästä säilyivät ohjelmassa 6 tasaisempina kuin ohjelmissa 2-4.

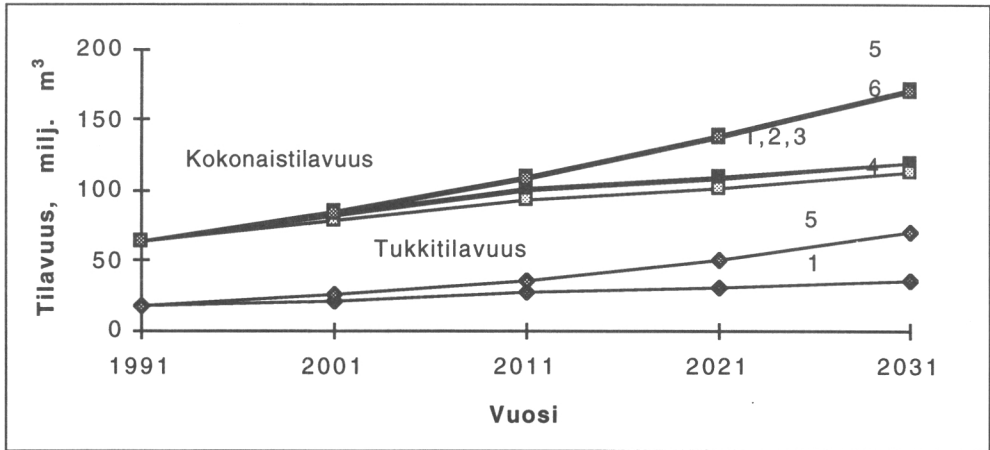
Taulukko 61.7. Energiapuun ja latvusmassan osuus koko hakkuukertymästä.

Kausi	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
Energiapuu, % hakkuukertymästä				
Ohjelma 2	8	6	4	4
Ohjelma 3	12	9	6	6
Ohjelma 4	19	16	12	12
Ohjelma 6	16	15	15	15
Latvusmassa, % hakkuukertymästä				
Ohjelma 2	7	5	3	2
Ohjelma 3	9	7	4	3
Ohjelma 4	11	8	7	4
Ohjelma 6	9	10	9	9

62. Metsien kehitys eri puuntuotanto-ohjelmissa

Puuntuotanto-ohjelmilla (luku 52) kuvattiin Keski-Pohjanmaan metsien kehitystä ja hakkuumahdollisuuksia toimittaessa eri metsätalouden intensiteeteillä, toiminnan rajoitteilla ja korjattaessa puuta sekä teollisuus- että energiapuuksi. Ohjelmat eivät ole suoranaisia metsätaloudellisia toimenpidesuosituksia. Ne antavat päätöksentekijälle tietoa siitä, mihin suuntaan metsien kehitys johtaa eri tavoin toimittaessa. Energiapuun korjuu oli tarkasteluissa osa metsänkasvatuksen kokonaisuutta. Tämä mahdollisti puunkorjuun tarkastelun yli leimikkokokoh-

taisten kannattavuustarkastelujen ja antoi tietoa energiapuun korjuun kokonaisvaikutuksista suuralueella. Ohjelmilla 1-4 kuvattiin Keski-Pohjanmaan metsien kehitystä, jos metsävaroja hyödynnettäisiin täysimääräisesti ja ohjelmilla 5-6 metsien kehitystä, jos teollisuuspuun käyttö olisi 1990-luvun alkuvuosina vallinneen taloudellisen taantumun aikaisella matalalla tasolla.



Kuva 62.1. Puuston runkotilavuuden kehitys ohjelmissa 1-6.

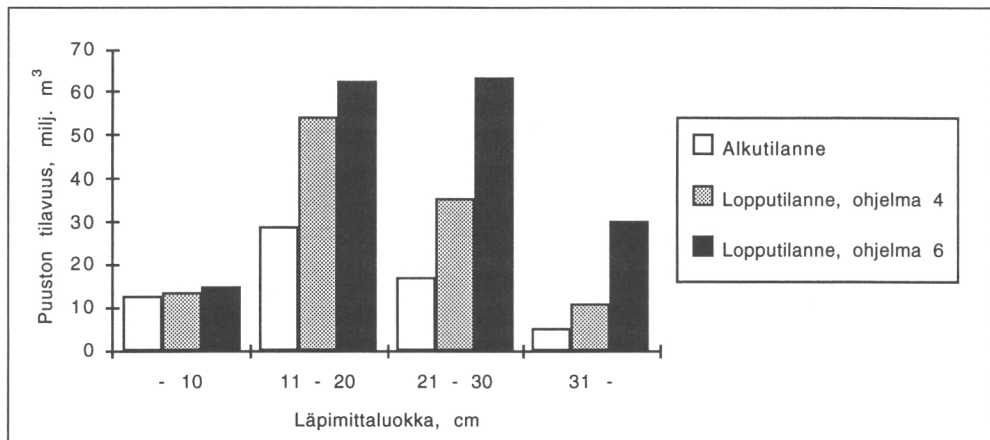
Keski-Pohjanmaalla metsät ovat tällä hetkellä nuorempia ja vähäpuustoisempia kuin Etelä-Suomessa keskimäärin. Laskelmien mukaan puuston runkotilavuus lisääntyy tulevan 40-vuoden aikana nykyisestä noin 64 milj. m³ tasosta 113-120 milj. m³:iin hakkuumahdollisuudet täysimääräisesti hyödyntävissä ohjelmissa 1-4. Vuosien 1991-1992 keskimääräisillä teollisuuspuun hakkuumäärillä (ohjelmat 5 ja 6) metsien runkotilavuus lisääntyy kaksi kymmenvuotisjaksoa lähes samalla tavalla kuin ohjelmissa 1-4. Tukkipuun määrä lisääntyy kuitenkin selvästi enemmän (kuva 62.1). Vähäiset hakkuumäärät johtavat runkotilavuuden voimakkaaseen lisääntymiseen kolmannella ja neljännellä 10-vuotiskaudella. Energiapuun korjuuta sisältävässä ohjelmassa 6, jossa pienikokoisen puun hakkuumahdollisuudet hyödynnettiin mahdollisimman tehokkaasti, puuston tilavuuskehitys oli samankaltainen kuin ohjelmassa 5.

Keski-Pohjanmaan metsien keskimääräinen vuotuinen kasvu on kuluvalle vuosikymmenellä kaikissa ohjelmissa noin 3,6 milj. m³. Puuston määrän lisääntyessä myös kasvu lisääntyy koko tarkastelujakson ajan. Ohjelmissa 1-4 kasvu lisääntyy noin neljänneksellä ollen neljännellä kymmenvuotiskaudella noin 4,5 milj. m³/v. Ohjelmissa 5 ja 6 puustopääoman voimakas lisääntyminen näkyy neljännellä kymmenvuotiskaudella lähes 40 % korkeampana kasvuna kuin ensimmäisellä kaudella.

VM18:n perusteella 40 % metsistä oli 1990-luvun alussa 21-60-vuotiaita. Yli 100-vuotiaiden metsien osuus oli 12 % metsämaan pinta-alasta. Nuorten metsien suuri osuus johtaa vanhojen metsien osuuden lisääntymiseen 40 vuoden tarkastelujakson aikana. Jos teollisuuspuun korjuu pysyy jatkuvasti 1990-luvun alun kertymätasolla, yli 100-vuotiaiden metsien osuus

metsämaan alasta voi kohota noin 30 prosenttiin neljännen kymmenvuotiskauden loppuun mennessä.

Järeän puun määrä lisääntyy luonnollisesti metsien ikääntyessä (kuva 62.2). Ohjelmassa 4 tämänhetkinen järeän (läpimitta yli 21 cm) puuston tilavuus, noin 22 miljoonaa kuutiometriä, lisääntyy 40 vuoden aikana yli kaksinkertaiseksi (46 milj. m³) ja ohjelmassa 6 yli nelinkertaiseksi (89 milj. m³). Myös läpimitaltaan 11-20 cm olevan puuston tilavuus kaksinkertaistuu tarkastelujakson aikana.



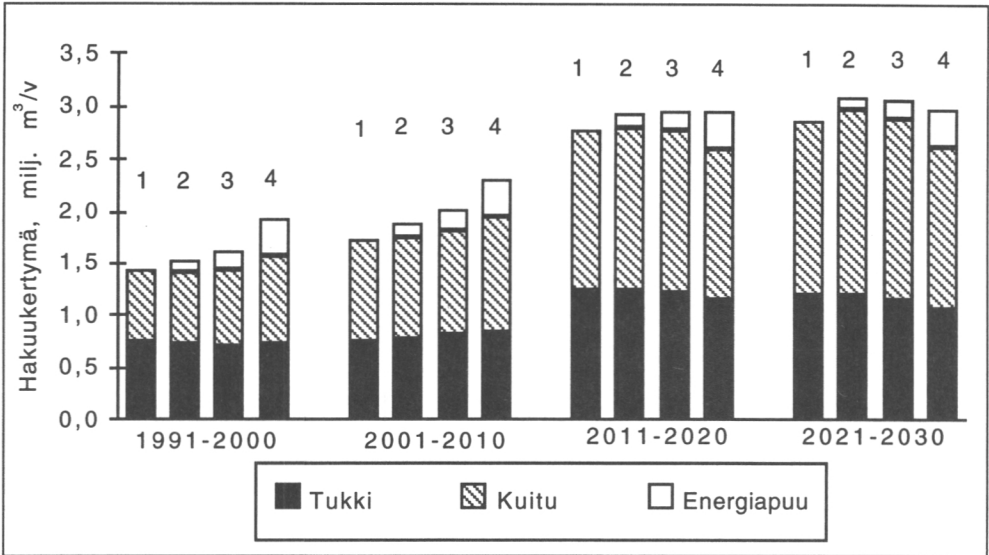
Kuva 62.2. Puuston järeys tarkastelujakson alku- ja lopputilanteessa ohjelmissa 4 ja 6.

63. Hakkuukertymät ja tulot eri puuntuotanto-ohjelmissa

Hakkuumahdollisuuksien täysimääräiseen hyödyntämiseen pyrkivissä ohjelmissa 1-4 hakkuukertymät kohoavat voimakkaasti toisella ja kolmannella kymmenvuotiskaudella (kuva 63.1). Erot ohjelmien 1-4 välillä ensimmäisellä ja toisella kaudella selittyvät energiapuun korjuuta sisältävissä ohjelmissa hakkuumahdollisuuksien tarkemmasta hyväksikäytöstä ja latvusmassan tuomasta lisäkertymästä (taulukko 61.7). Energiapuun korjuu ohjelmissa 2-4 ei vähennä kuitupuukertymiä, vaan päinvastoin lisää niitä hieman pelkkää teollisuuspuun korjuuta sisältävään ohjelmaan 1 verrattuna.

Kolmannella ja neljännellä kaudella kokonaiskertymien erot ohjelmien välillä tasoittuvat. Energiapuun tuoman lisän vuoksi hakkuukertymät ovat ohjelmissa 2-4 vähän korkeammat kuin teollisuuspuun korjuun ohjelmassa 1. Ohjelmassa 4 sekä tukki- että kuitupuukertymät ovat hieman pienemmät kuin ohjelmissa 1-3.

1990-luvun alun mukaiset teollisuuspuun hakkuumäärät (ohjelma 5) ovat koko tarkastelujakson selvästi pienemmät kuin hakkuumahdollisuudet tehokkaasti hyödyntävissä ohjelmissa 1-4, mikä johtaa puuvarojen voimakkaaseen lisääntymiseen. Vuotuinen tukkikertymä on ohjelmissa 5 ja 6 koko tarkastelujakson 0,42 milj. m³ ja kuitupuukertymä 0,78 milj. m³. Energiapuun tuoma lisä hakkuukertymiin (0,21-0,23 milj. m³/v) ohjelmassa 6 vaikutti vain vähän puuston tilavuuskehitykseen.



Kuva 63.1. Hakuukertymien kehitys ohjelmissa 1-4.

Energiapuun korjuu ei tarjoa ohjelmaa 4 lukuunottamatta merkittäviä ylimääräisiä työtilaisuuksia puunkorjuun vaatimaan kokonaistyöpanokseen (taulukko 63.1). Integroidussa korjuussa energiapuun tulee lähes samalla vaivalla teollisuuspuun kylkiäisenä. Myös energiapuun hakkuu ensiharvennuksista osa- tai kokopuuhakkuuna vaatii vähemmän ihmistyötä kuin saman leimikon hakkuu karsittuna puutavarana teollisuuspuuksi. Energiapuun korjuu näyttää lisäksi kohdistavan teollisuuspuun korjuuta entistä järeämpään puustoon, mikä edelleen pienentää korjattua puumäärää kohti tarvittavaa työpanosta. Hakkuutähteille ei ole kilpailevaa käyttöä, joten niiden korjuu lisää suoraan puunkorjuun työtilaisuuksia.

Energiapuun haketuksen tai murskauksen, kaukokuljetuksen ja polton tarjoamat työtilaisuudet sekä kerrannaisvaikutukset ovat merkittäviä arvioitaessa energiapuun korjuun työllistävää vaikutusta kokonaisuudessaan. Tässä tarkasteltiin vain hakkuun ja metsäkuljetuksen tarjoamia työtilaisuuksia.

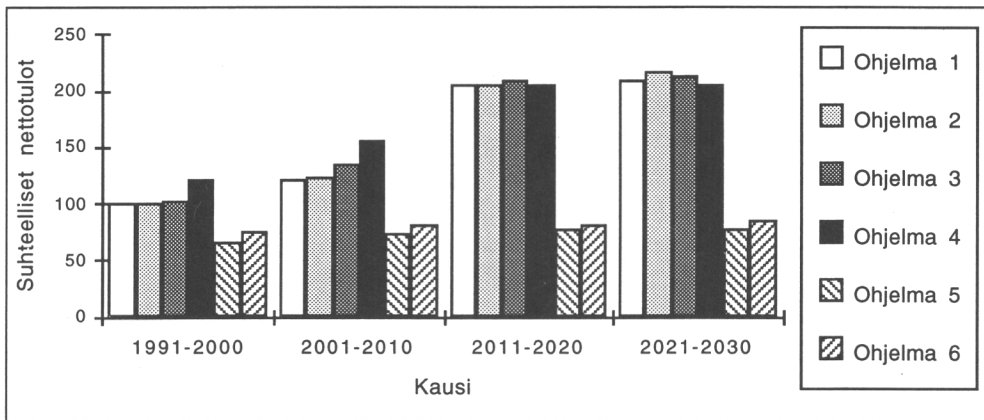
Taulukko 63.1. Puunkorjuun ja energiapuun korjuun työpanokset henkilötyövuosina (220 pv/v) eri ohjelmissa.

Kausi	1991-2000	2001-2010	2011-2020	2021-2030
Korjuu yhteensä, henkilötyövuotta/v				
Ohjelma 1	370	500	760	860
Ohjelma 2	380	510	770	870
Ohjelma 3	410	520	730	840
Ohjelma 4	490	600	760	820
Ohjelma 5	490	470	450	450
Ohjelma 6	430	440	430	390
Energiapuun korjuu, henkilötyövuotta/v				
Ohjelma 2	10	15	20	30
Ohjelma 3	25	25	35	55
Ohjelma 4	80	90	95	120
Ohjelma 6	60	45	45	45

Hakkuumahdollisuudet täysimääräisesti hyödyntävissä ohjelmissa 1-4 energiapuun korjuu lisää nettotuloja kahdella ensimmäisellä kaudella pelkästään teollisuuspuun korjuuta sisältävään ohjelmaan 1 verrattuna (kuva 63.2). Energiapuun 65 mk/MWh hintatasolla (ohjelma 3) ensimmäisen kymmenvuotiskauden vuotuiset nettotulot ovat 3 % korkeammat kuin ohjelmassa 1. Ohjelmassa 4 (85 mk/MWh) nettotulot ovat 22 % suuremmat kuin toimittaessa ohjelman 1 mukaisesti.

Toisella kymmenvuotiskaudella ohjelmien 2-4 nettotulojen lisäykset ovat vielä korkeammat kuin ensimmäisellä kaudella. Kolmannella ja neljännellä kaudella nettotulot vakiintuvat noin kaksi kertaa korkeammalle tasolle kuin ensimmäisellä kaudella. Erot ohjelmien 1-4 välillä ovat melko pienet.

Ohjelmissa 5 ja 6, joissa puunkäytön oletettiin säilyvän jatkuvasti 1990-luvun alun tasolla, vuotuiset nettotulot ovat ensimmäisellä 10-vuotiskaudella vain 65 ja 76 % ohjelman 1 tasosta (kuva 63.2). Myöhemmillä kausilla ero suurenee entisestään hakkuumahdollisuuksien lisääntyessä nykyhetken tasosta. Jos teollisuuspuun korjuumäärät pysyvät jatkuvasti matalalla tasolla, energiapuun korjuu voi tuoda lisätuloja. Ohjelman 6 vuotuiset nettotulot ovat kokotarkastelujaksolla keskimäärin 10 % korkeammat kuin ohjelmassa 5.



Kuva 63.2. Suhteelliset nettotulot eri ohjelmissa. Ohjelman 1 nettotulot kaudella 1991-2000 = 100.

Eri ohjelmissa maksimoitiin alkutuottoarvoa eli tulevaisuudessa saatavien nettotulojen nykyhetken diskontattua arvoa (taulukko 63.2). Tuottoarvossa ohjelmien yksi merkittävä tavoite eli metsätalouden tulevaisuudessa antama rahallinen tuotto on kuvattu yhtenä muuttujana, joka antaa viitteitä ohjelmien yleisestä edullisuusjärjestyksestä.

Taulukko 63.2. Metsien alkutuottoarvo (3 % korkokanta) eri ohjelmissa. Ohjelman 1 alkutuottoarvoa kuvataan suhdeluvulla 100.

Ohjelma	1	2	3	4	5	6
Tuottoarvo	100	101	102	104	94	97

Hakkuumahdollisuudet täysimääräisesti käytävissä ohjelmissa energiapuun korjuun kokonaisvaikutus alkutuottoarvolla mitaten oli aina positiivinen. Tuotantokustannustasolla 45

mk/MWh (ohjelma 2) ero oli 1,0 %. Ohjelmissa 3 ja 4 (65 ja 85 mk/MWh kustannustaso) alkutuottoarvot olivat 2,0 ja 4,4 % suuremmat kuin pelkän teollisuuspuun korjuun ohjelmassa 1. Energiapuun korjuu tehostaa hakkuumahdollisuuksien käyttöä ensiharvennuksissa, joissa se tuo lisäkertymää latvusmassana ja joissa se voi myös tuoda lisää potentiaalisia korjuukohteita. Hakkuutähteiden korjuu päätehakkuissa merkitsee myös biomassan tarkempaa hyväksikäyttöä.

Hakkuumahdollisuuksia pienemmät hakkuut merkitsevät metsävarojen säästämistä tulevaisuuteen. Pitkällä aikavälillä luonnonpoistuma ja tuhot alkavat kuitenkin lisääntyä ja metsien rakenne kehittyä puuntuotannolliselta kannalta epäedulliseen suuntaan. Tämä näkyy puunkorjuun ja metsänhoidon kustannusten lisääntymisenä pitkäaikaisen hoitamattomuuden seurauksena. Ohjelmissa 5 ja 6 metsien tuottoarvo jää selvästi alhaisemmaksi kuin ohjelmissa 1-4. Hakkaamattomuudesta aiheutuneita menetettyjä tuloja ei voi myöhemmin saada takaisin.

Kuluvalla vuosikymmenellä vuotuiset metsätalouden nettotulot tehokkaassa teollisuuspuun tuotannossa olisivat vuoden 1994 alun hintatasolla lähes 150 miljoonaa markkaa. Energiapuun korjuu voisi tehokkaan teollisuuspuun tuotannon lisäksi tuoda metsätaloudesta lähes 5 miljoonan markan vuotuiset lisätulot 65 mk/MWh tuotantokustannustasolla. Kustannustasolla 85 mk/MWh lisäys olisi noin 30 miljoonaa markkaa vuodessa. Vuosien 1991-1992 keskimääräisillä teollisuuspuun korjuumäärillä (ohjelma 5) vuotuiset nettotulot jäävät noin 50 miljoonaa markkaa pienemmiksi kuin tehokkaassa teollisuuspuun tuotannossa. Energiapuun korjuu 1991-1992 tasolla olevan teollisuuspuun korjuun lisäksi toisi vuosittain noin 16 miljoonaa markkaa lisää metsätalouden tuloja (65 mk/MWh). Koko neljänkymmenen vuoden tarkastelujakson aikana vuotuisten nettotulojen erot ovat hyvin samankaltaiset kuin ensimmäisellä kymmenvuotiskaudella.

Edellä esitetyt markkamäärät on laskettu 1994 alun teollisuuspuun hintatasolla. Vuoden 1994 aikana hinnat ovat kohonneet selvästi erityisesti havutukin osalta. Lasketut vuotuiset nettotulot voivat vaihdella hyvinkin paljon puutavaran hintavaihteluista johtuen. Esitettyjen ohjelmien keskinäinen edullisuusjärjestys kuitenkin säilyy, mikäli eri puutavaralajien hintasuhteet eivät muutu pitkällä aikavälillä.

64. Kannattavan energiapuuleimikon tunnusmerkit

Tehdyissä laskelmissa eri ensiharvennustavat ovat jakaantuivat kunkin ohjelman kokonaisuuden kannalta edullisimpiin hakkuukohteisiin. Kullekin harvennustavalle valikoituneita metsiköitä tarkastelemalla voitiin hakea eri menetelmillä harvennettävien metsiköiden tyypilliset tunnusmerkit. Suoraa vertailua eri ensiharvennustapojen välillä yksittäisessä metsikössä ei tehty, koska kullekin metsikölle oli valittu optimiratkaisuissa vain yksi käsittelyketju.

Ensiharvennustavan perusteella jaoteltuja metsiköitä tarkasteltiin testaamalla metsikkötunusten keskiarvojen eroja. Testiin valittiin kutakin ensiharvennustapaa edustavat metsiköt ohjelmista 2, 3 ja 4. Näissä ohjelmissa toteutui energiapuun ja teollisuuspuun korjuun vapaa kilpailutilanne. Kilpailun vaikutus näkyi jo alkuasetelmassa siten, että ohjelmista 2 ja 3 ei

löytynyt riittävästi havaintoja energiapuun erilliskorjuun testaamiseen. Vasta ohjelmassa 4 energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla oli niin korkea (85 mk/MWh), että energiapuun erilliskorjuu tuli ensiharvennusvaihtoehtona merkittäväksi.

Ohjelmien 2 ja 3 teollisuuspuun korjuussa metsiköt olivat selvästi järeämpiä kuin integroidussa korjuussa (taulukko 64.1). Ero oli testien mukaan merkitsevin puuston keskiläpimitassa ja -pituudessa. Hakkuukertymät olivat niinkään suurempia teollisuuspuun korjuussa. Taulukossa 64.1 hakkuukertymä on integroidussa korjuussa suurempi kuin vastaava hakkuupoistuma. Tämä johtuu siitä, että poistuma on laskettu runkopuuna, kun taas hakkuukertymään on runkopuun lisäksi laskettu latvuksen tuoma lisäbiomassa.

Vaikka integroitu korjuu kohdistuikin teollisuuspuun korjuuta pienipuustoisempiin metsiköihin, integroidunkin korjuun kannattavuus luonnollisesti paranee puuston järeytyessä. Siellä, missä puuta voidaan korjata molemmilla menetelmillä, teollisuuspuun korjuu kannattaa suunnata järeämpiin kohteisiin.

Taulukko 64.1. Eräiden metsikkötunnusten erojen merkitsevyys eri ensiharvennustavoilla. Ohjelmat 2 ja 3, energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla 45 ja 65 mk/MWh.

Korjuutapa	Energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla					
	45 mk/MWh			65 mk/MWh		
	Keskiarvot		Merkitsevyys	Keskiarvot		Merkitsevyys
	1	2		1	2	
Keskiläpimita, cm	13,2	9,8	***	13,4	10,3	***
Keskipituus, m	11,1	9,5	***	11,1	9,6	***
Keskirunko, dm ³	36	24	**	38	27	**
Tilavuus, m ³ /ha	135	109	*	138	107	**
Hakkuupoistuma, m ³ /ha	84	50	**	85	46	***
Hakkuukertymä, m ³ /ha	70	51	-	72	47	*
Korjuutapa	1	= Teollisuuspuun korjuu				
	2	= Integroitu teollisuus- ja energiapuun korjuu				
Merkitsevyys (T-testi)	*	= Merkitsevä ero (P < 0,05)				
	**	= Merkitsevä ero (P < 0,01)				
	***	= Erittäin merkitsevä ero (P < 0,001)				
	-	= Ero ei merkitsevä				

Tuotantokustannustasolla 85 mk/MWh (ohjelma 4) kaikkia energiapuun korjuumenetelmiä valikoitui mukaan ohjelmaan (taulukko 64.2). Tavaralajikorjuun ja integroidun korjuun suhteellinen edullisuus ei muuttunut. Hakkuukertymät noudattivat puuston keskimääräisen järeiden mukaista järjestystä eli kertymät olivat suurimmat teollisuuspuun korjuussa ja pienimmät integroidussa korjuussa. Energiapuun erilliskorjuu kohdistui muita korjuutapoja selvemmin koivu ja muuta lehtipuuta sisältäviin metsiköihin.

Puuston runkoluku oli teollisuuspuun korjuukohteissa merkitsevästi pienempi kuin energiapuun korjuussa. Keskiläpimitat erosivat merkitsevästi kaikkien hakkuutapojen välillä. Myös keskipituus oli teollisuuspuun ja energiapuun erilliskorjuukohteissa merkitsevästi suurempi kuin integroidussa korjuussa.

Taulukko 64.2. Eräiden metsikkötunnusten erojen merkitsevyys eri ensiharvennustavoilla. Ohjelma 4, energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla 85 mk/MWh.

Energiapuun maksimihinta käyttöpaikalla 85 mk/MWh						
Korjuutapa	Keskiarvot			Merkitsevyys		
	1	2	3	1-2	1-3	2-3
Keskiläpimitta, cm	14,0	10,8	11,6	***	*	*
Keskipituus, m	11,2	10,0	11,1	*	-	**
Keskirunko, dm ³	35	31	36	-	-	-
Tilavuus, m ³ /ha	111	116	125	-	-	-
Hakkuupoistuma, m ³ /ha	70	55	68	-	-	-
Hakkuukertymä, m ³ /ha	67	56	61	-	-	-
Mänty, %	84	58	34	-	**	**
Kuusi, %	7	6	9	-	-	-
Koivu, %	9	31	45	-	*	-
Muu lehtipuu, %	0	5	12	-	-	-
Korjuutapa	1	= Teollisuuspuun korjuu				
	2	= Integroitu teollisuus- ja energiapuun korjuu				
	3	= Energiapuun erilliskorjuu				
Merkitsevyys	*	= Merkitsevä ero (P < 0,05)				
(T-testi)	**	= Merkitsevä ero (P < 0,01)				
	***	= Erittäin merkitsevä ero (P < 0,001)				
	-	= Ero ei merkitsevä				

65. Energiapuun kasvatusmallit

651. Taimikonhoito ja ensiharvennus osana metsänkäsitelyä

Taimikonhoidon ja ensiharvennuksen ajoitus sekä voimakkuus vaikuttavat puunkorjuun kannattavuuteen ja metsikön tulevaan kehitykseen. Taimikonhoidossa valitaan ensimmäiseen käyttöpuuta tuottavaan harvennukseen saakka kasvatettavat puut ja ohjataan metsikön puulajisuhteita haluttuun suuntaan. Harvennushakkuilla ohjataan puuston kasvua hyvälaatuisiin ja kasvupaikalle sopivaa puulajia oleviin yksilöihin sekä nopeutetaan runkojen järeytymistä. Sekä taimikoiden että varttuneempien metsien harvennusten toteutusta ohjataan harvennussmalleilla. Malleja on laadittu useista eri lähtökohdista esimerkiksi puuntuotoksen tai nettotulojen maksimoimiseksi. Tässä tutkimuksessa selvitettiin, millaisia muutoksia energiapuun korjuu edellyttää teollisuuspuun tuotantoon tähtääviin metsänkäsitelyohjeisiin.

Metsänkäsitelyä tarkasteltiin ohjelmassa 3 tehtyjen metsiköittäisten toimenpiteiden pohjalta. Tämä ohjelma valittiin tarkasteluun, koska siihen sisältyi teollisuuspuun korjuun ohella myös energiapuun korjuuta. Energiapuun hintana tässä ohjelmassa oli 65 mk/MWh. Harvennussmallien laadinnassa energiapuun korjuun vaikutus metsänkäsitelyyn otettiin huomioon sisällyttämällä kaikki energiapuun korjuuseen tähtäävät harvennukset mallien laadinta-aineistoon. Metsänkäsitelyyn lyhyen ja pitkän aikavälin taloudelliseen kannattavuuteen kiinnitettiin huomiota ottamalla tavoitteeksi mahdollisimman suuret metsistä saatavat nettotulot.

Kankaita ja soita ei eritelty malleja laadittaessa toisistaan. Suopuuston erityisominaisuudet kuten puuston ryhmittäisyys, eri-ikäisyys ja epätasaisuus tulee kuitenkin ottaa huomioon harvennustarpeen arvioinnissa ja harvennuksessa.

652. Taimikonhoidon ajoitus ja voimakkuus

Mäntyvaltaisten taimikoiden harvennuksessa kasvamaan jäävän puuston keskimääräinen runkoluku vaihteli 1 650-1 900 runkoon hehtaarilla (taulukko 65.1). Viljavilla kasvupaikoilla suositeltava kasvatustiheys oli paremman tuotoskyvyn vuoksi suurempi kuin karuilla kasvupaikoilla. Kuivahkoilla ja kuivilla kankailla taimikonhoito painottui myöhäisempään ajankohtaan 3-6 metrin keskipituudelle. Tuoreen kankaan mäntyvaltaisissa metsiköissä selvää painottumista puuston keskipituuden suhteen ei sen sijaan voitu havaita.

Taimikonhoidon ajoituksesta ja voimakkuudesta tehdyt havainnot olivat mäntyvaltaisissa metsiköissä varsin yhtenevät Metsäkeskus Tapion uusien metsänhoitosuosittelujen kanssa. Taimikoiden kasvattaminen alkuvaiheessa mahdollisimman tiheinä parantaa puuston laatua erityisesti männiköissä. Kasvatustiheyden vaikutusta puuston laatuun ei näissä laskelmissa voitu kuitenkaan ottaa huomioon.

Taulukko 65.1. Taimikonhoidon jälkeen kasvamaan jäävän puuston runkoluku (kpl/ha) eri kasvupaikkatyypeillä.

	Taimikon keskipituus, metriä	
	0,5-3	3-6
Mänty		
Tuore kangas	1 900	1 850
Kuivahko kangas	1 750	1 750
Kuiva kangas	-	1 650
Kuusi		
Tuore kangas	2 200	1 900

Kuusivaltaisten taimikoiden keskimääräinen kasvatustiheys taimikonhoidon jälkeen vaihteli 1 900-2 200 runkoon hehtaarilla. Aikaisin tehdyissä taimikonhoidoissa kasvatettavaksi suositeltava puuston runkoluku oli suuri verrattuna Tapion metsänhoitosuosituksiin. Kuusivaltaisten metsiköiden taimikon harvennus painottui kuitenkin myöhäiseen ajankohtaan, jolloin kasvamaan jätettävän puuston keskimääräinen runkoluku oli 1 900 runkoa hehtaarilla.

Kuusivaltaisten taimikoiden suositeltava kasvatustiheys on Tapion metsänhoitosuosittelun mukaan 1600-1800 runkoa hehtaarilla eli hiukan alhaisempi kuin tässä tutkimuksessa saatu kasvatustiheys. Tapion suosittelun mukainen voimakas taimikon harvennus mahdollistaa ensiharvennuksen lykkäämisen myöhemmäksi.

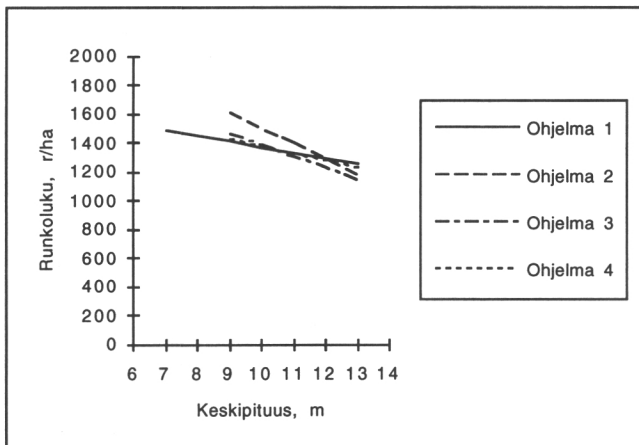
653. Ensiharvennusmallit

Käyttöpuuta tuottavan ensiharvennuksen ajoitus vaihteli yksittäisissä metsiköissä huomattavasti. Teollisuuspuun korjuu ja energiapuun erilliskorjuu kannatti tehdä kustannussyistä selvästi myöhemmin kuin integroitu teollisuuden ainespuun ja energiapuun korjuu (taulukko 65.2). Varhaisen integroidun korjuun kannattavuutta paransi runkopuun ohella talteen saatava ja energiapuuna hyödynnettävä latvusmassa. Vaikka osapuukorjuun kustannukset olivat tavaramalajokorjuun kustannuksia alhaisemmat, johti energiapuun alhainen hinta suhteessa korjuukustannuksiin siihen, että myös energiapuun erilliskorjuuta siirrettiin mahdollisimman myöhään.

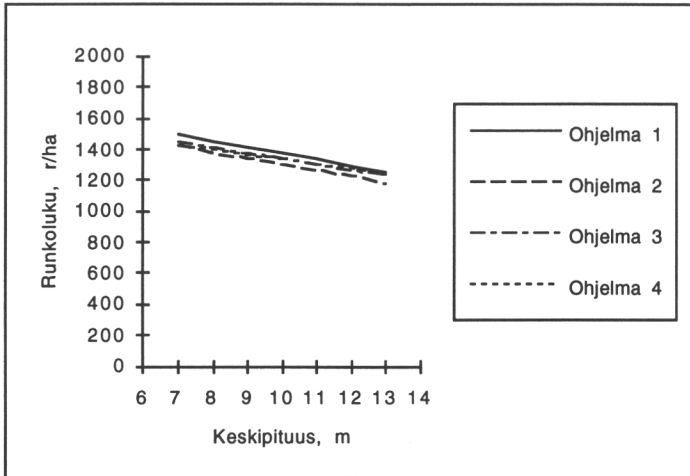
Taulukko 65.2. Eri korjuumenetelmillä harvennettujen metsiköiden lukumäärä ja hakkuiden ajoittuminen kuivahkon kankaan männiköissä.

Hinta käyttöpaikalla	Korjuutapa	Puuston keskipituus, metriä			
		alle 9	9-11	11-13	Metsiköitä
45 mk/MWh	Teollisuuspuun korjuu	3	5	18	26
	Integroitu korjuu	13	2	5	20
65 mk/MWh	Teollisuuspuun korjuu	1	5	13	19
	Integroitu korjuu	18	13	9	40
85 mk/MWh	Teollisuuspuun korjuu	1	4	7	12
	Integroitu korjuu	20	20	16	56
	Erilliskorjuu	-	4	5	9

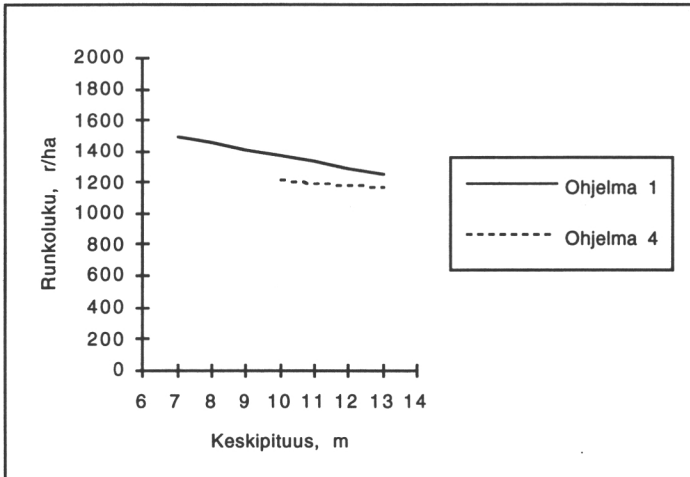
Eri menetelmillä tehtyjä harvennuksia verrattiin toisiinsa kuivahkon kankaan männiköissä, joista oli riittävästi havaintoja vertailua varten (kuvat 65.1 - 65.3). Ohjelmassa 1 teollisuuspuun korjuuna tehtyjä harvennuksia käytettiin vertailukohtana muille korjuumenetelmille. Tehdyn tarkastelun perusteella ilmeni, etteivät eri korjuutavoilla tehtyjen harvennusten voimakkuudet poikenneet toisiaan, vaikka teollisuuspuun korjuun ja integroidun korjuun ajoituksessa havaittiinkin selvä ero. Runkolukujen erot olivat suurimmillaan vain noin 200 runkoa hehtaarilla, jolla ei käytännön toiminnassa ole merkitystä. Kasvamaan jäävän puuston tiheyttä verrattiin myös ohjelmittain. Eri ohjelmissa tehdyt harvennukset eivät keskimäärin eronneet toisistaan.



Kuva 65.1. Teollisuuspuun korjuussa keskimäärin kasvamaan jäävän puuston runkoluku kuivahkon kankaan männiköissä.



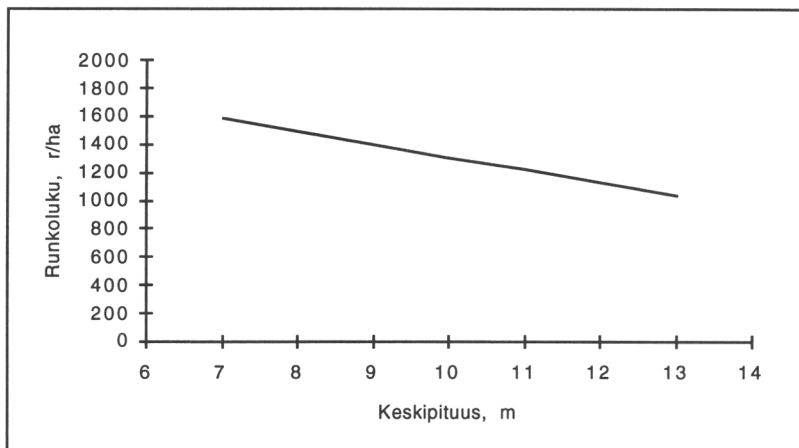
Kuva 65.2. Integroidussa korjuussa keskimäärin kasvamaan jäävän puuston runkoluku kuivahkon kankaan männiköissä.



Kuva 65.3. Erilliskorjuussa keskimäärin kasvamaan jäävän puuston runkoluku kuivahkon kankaan männiköissä. Energiapuun erilliskorjuuta tehtiin vain ohjelmassa 4.

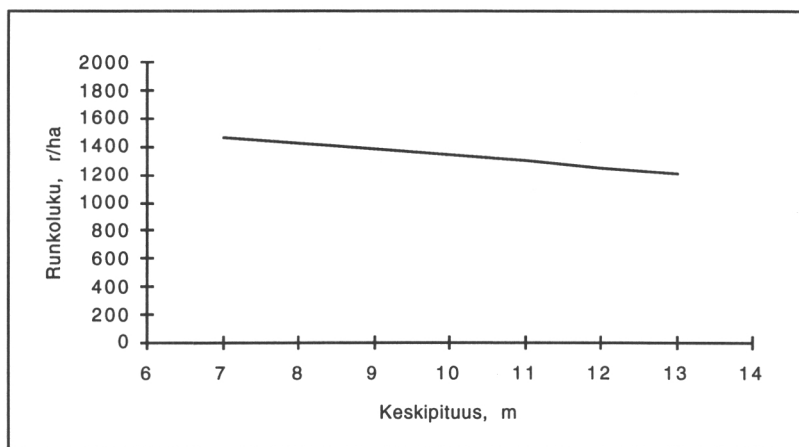
Esitettävien harvennusmallien perusaineistona käytettiin ohjelmassa 3 tehtyjä harvennuksia. Harvennuksen jälkeen keskimäärin kasvamaan jäävän puuston runkoluku kuvataan malleissa puuston keskipituuden (ennen harvennusta) suhteen (kuvat 65.4-65.6). Laaditut harvennusmallit kertovat kasvamaan jätettävän puuston määrän, jos harvennus katsotaan aiheelliseksi toteuttaa. Malleja ei pidä tulkita niin, että kaikki metsiköt, joissa harvennusmallin osoittama puuston runkoluku ylittyy, kannattaisi harventaa. Harvennustarve on pääteltävä kussakin metsikössä erikseen latvusten kunnon, metsän tulevan kehityksen ja korjuun kannattavuuden perusteella. Harvennusmallit eivät takaa harvennuksen kannattavuutta yksittäisessä metsikössä. Laadittuja malleja verrattiin Metsäkeskus Tapion vuodelta 1989 oleviin runkolukuharvennusmalleihin sekä uusiin vuoden 1994 keväällä julkaistuihin pohjapinta-alaan perustuviin harvennusmalleihin.

Viljavuudeltaan kuivaa kangasta (CT) vastaavien männiköiden harvennusmallin laadinnassa käytetyt havainnot olivat pääosin soilta. Harvennuksessa kasvamaan jäävän puuston määrä vaihteli 1 050-1 600 runkoon hehtaarilla puuston keskipituuden mukaan (kuva 65.4). Laadittu malli suosittaa metsiköiden kasvattamista hieman Tapion runkolukuharvennusmallin suositusta tiheämpinä.



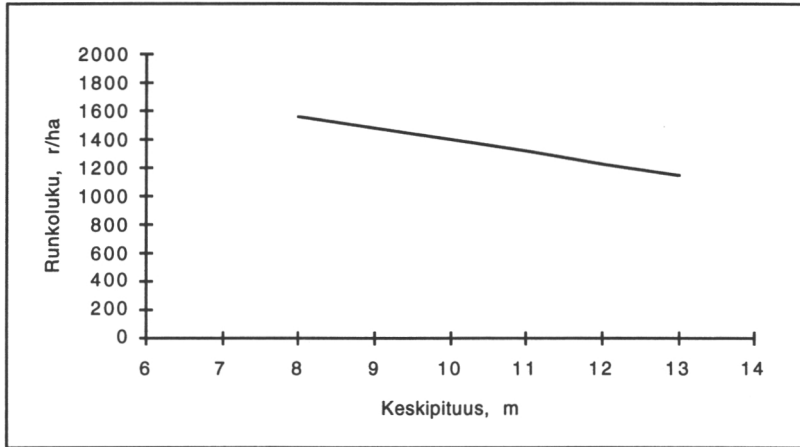
Kuva 65.4. Kuivan kankaan (CT) männikön runkolukuun perustuva harvennusmalli. Mallilla kuvataan puuston runkoluku harvennuksen jälkeen.

Edullisin kuivahkon kankaan (VT) männiköiden tiheys harvennuksen jälkeen oli tämän tutkimuksen mukaan 1 200-1 450 runkoa hehtaarilla (kuva 65.5). Kasvatettavan puuston määrä aleni vain hiukan puuston pituuden kasvaessa. Tapion runkolukuun perustuvan harvennusmallin kasvatusstiheys on hiukan pienempi, mutta käytännössä erolla ei ole merkitystä.



Kuva 65.5. Kuivahkon kankaan (VT) männikön runkolukuun perustuva harvennusmalli, jolla kuvataan puuston runkoluku harvennuksen jälkeen.

Tuoreen kankaan (MT) männiköissä keskimääräinen kasvatettavan puuston runkoluku vaihteli keskipituuden mukaan 1 150-1 550 runkoon hehtaarilla (kuva 65.6). Tapion runkoluku-harvennusmallin ja tutkimuksessa laaditun mallin suosittamat kasvatustiheydet olivat tuoreen kankaan männiköissä yhtenevät.



Kuva 65.6. Tuoreen kankaan (MT) männikön runkolukuun perustuva harvennusmalli, jolla kuvataan puuston runkoluku harvennuksen jälkeen.

Tuoreen kankaan (MT) kuusikon harvennusmallin laadinnassa yhdistettiin sekä lehtomaisella että tuoreella kankaalla tehdyt harvennukset samaan aineistoon. Yhdistämisestä huolimatta harvennusmallin laadinta-aineisto oli niukka. Harvennusmallin mukaan tuoreen kankaan kuusikoiden kasvatustiheys on noin 1 550 runkoa hehtaarilla, kun puuston keskipituus on 10-13 metriä. Harvennuksen jälkeen kasvamaan jäävän puuston määrä on Tapion runkolukuharvennusmallin suositusta korkeampi.

Laadittuja malleja verrattiin myös Metsäkeskus Tapion kesällä 1994 julkaisemiin uusiin harvennusmalleihin. Tapion uudet harvennusmallit perustuvat pohjapinta-alaan ja ne soveltuvat metsiköille, joiden valtapituus on yli 10 metriä. Mallien vertailua varten Tapion malleissa harvennuksen jälkeen kasvamaan jäävän puuston pohjapinta-ala muutettiin runkoluvuksi puuston pohjapinta-alan ja runkoluvun suhteesta Tapion suosituksissa esitetyn taulukon avulla. Vertailussa havaittiin, että Tapion uudet harvennusmallit toimivat hyvin nuoresta asti hoidetuissa metsiköissä, mutta ne eivät pohjapinta-alaan perustuvina sovellu kaikille metsiköille. Näin on erityisesti nuorissa tiheinä kasvaneissa metsiköissä, joissa pohjapinta-alasta puuston keskiläpimitan avulla johdettu runkoluku harvennuksen jälkeen saattaa olla hyvinkin suuri.

Tehdyn tarkastelun perusteella energiapuun korjuun huomioon ottaminen ei edellytä suuria muutoksia taimikonhoidon ja ensiharvennuksen toteutukseen Tapion metsänhoitosuosituksiin verrattuna. Energiapuun korjuu oli tarkastelussa vain pieni osa koko kiertoajan metsänkäsittelyn kokonaisuutta. Metsänkasvatuksen taloudelliset tavoitteet ohjasivat voimakkaasti metsänkäsittelyä riippumatta puun käyttökohteesta. Laadittujen mallien ja Tapion mallien

väliset erot johtuvat osittain myös siitä, että tutkimuksessa tarkasteltiin Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan metsiä. Tapion mallit koskevat koko Etelä-Suomea ja näin ollen laaditut mallit ottavat Tapion malleja tarkemmin huomioon Keski-Pohjanmaan metsien erityispiirteet.

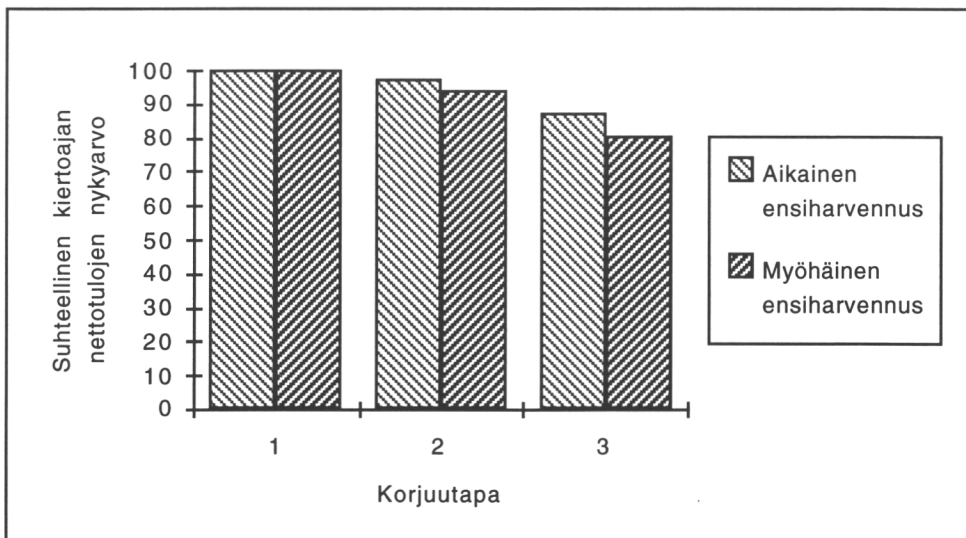
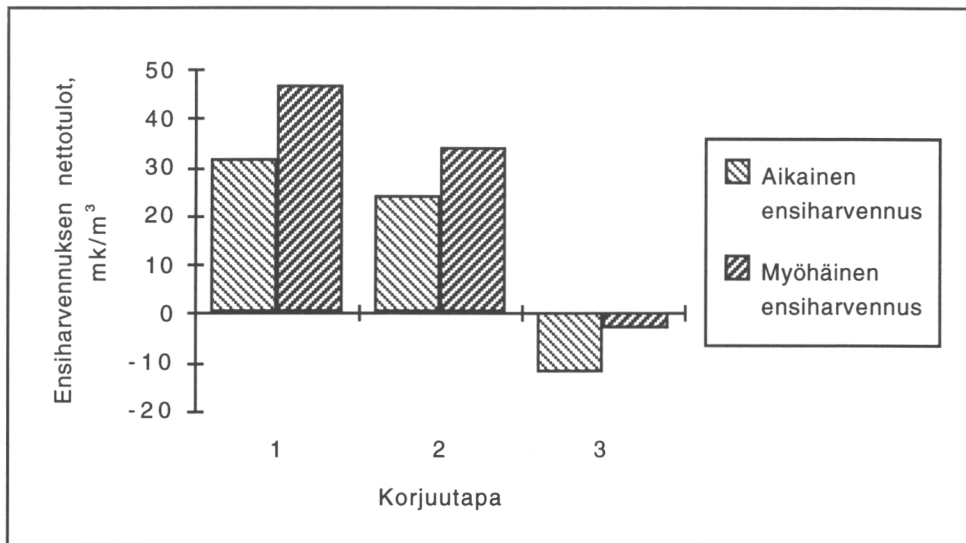
66. Energiapuun korjuun kannattavuus metsikkötasolla

Energiapuun korjuun kannattavuutta tarkasteltiin suuraluelaskelmien lisäksi kolmessa puulajisuhteiltaan toisistaan poikkeavassa esimerkkimetsikössä. Laskenta-aineistosta tarkasteltavaksi valittujen nuorten taimikoiden kehitystä simuloitiin päätehakkuuseen saakka ja tehtyjen laskelmien perusteella selvitettiin ensiharvennuksen ajoituksen ja korjuutavan vaikutusta ensiharvennuksen ja koko kiertoajan nettotuloihin. Laskelmissa selvitettiin myös kuusivaltaisten päätehakkuualojen hakkuutähteiden korjuun vaikutusta koko kiertoajan nettotuloihin. Kiertoajan nettotuloilla tarkoitetaan tässä päätehakkuuseen saakka metsästä saatavien hakkuutulojen nykyarvoa. Laskelmissa käytettiin kolmen prosentin korkokantaa.

Ensiharvennusten ajoitusta lukuun ottamatta hakkuut ja metsiköiden kiertoajat simuloitiin Tapion uusien metsänhoitosuosituksen mukaisina. Metsiköiden aikainen ensiharvennus tehtiin heti, kun se oli Tapion suositusten mukaan mahdollinen. Ensiharvennuksen ajoitukseen saatiin vaihtelua siirtämällä ensiharvennusta myöhemmäksi. Vaihtoehtoisia ensiharvennusten korjuutapoja olivat teollisuuspuun korjuu, integroitu korjuu ja erilliskorjuu, joista integroitua korjuutapaa käytettiin vain mäntyvaltaisissa metsiköissä. Hakkuutähteitä korjattiin energiapuuksi kuusivaltaisilta päätehakkuualoilta. Energiapuun tuotantokustannuksena käytöpaikalla käytettiin laskelmissa 65 markkaa megawattitunnilta.

Kuivahkon kankaan mäntyvaltaisessa metsikössä ensiharvennus oletettiin aikaisessa vaihtoehdossa tehtäväksi puuston valtapituudella 11,7 metriä (keskiläpimitta 12,4 cm) ja myöhäisessä puuston valtapituudella 13,0 metriä (keskiläpimitta 13,7 cm). Ensiharvennus tehtiin Tapion metsänhoitosuosituksen mukaisena, mikä vastasi voimakkuudeltaan hyvin myös tässä tutkimuksessa laadittua harvennusmallia. Metsikkö harvennettiin tämän lisäksi kerran ennen päätehakkuuta.

Teollisuuspuun korjuu tavaralajimenetelmällä osoittautui tässä metsikössä kannattavimmaksi menetelmäksi ensiharvennuksen ajoituksesta riippumatta (kuva 66.1). Integroidussa korjuussa teollisuuspuun määrä jäi pienemmäksi kuin tavaralajikorjuussa ja energiapuusta saatavat lisätulot eivät riittäneet korvaamaan teollisuuspuun pienemmästä saannosta johtuvia tulojen menetystä. Energiapuun erilliskorjuu oli tässä kohteessa tappiollista. Ensiharvennusten siirtäminen myöhäisempään ajankohtaan paransi korjuun kannattavuutta.



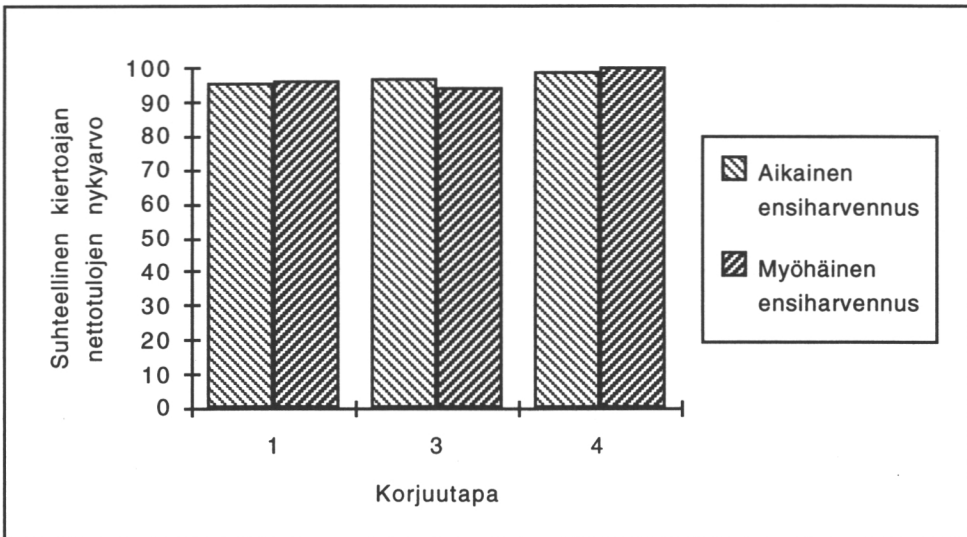
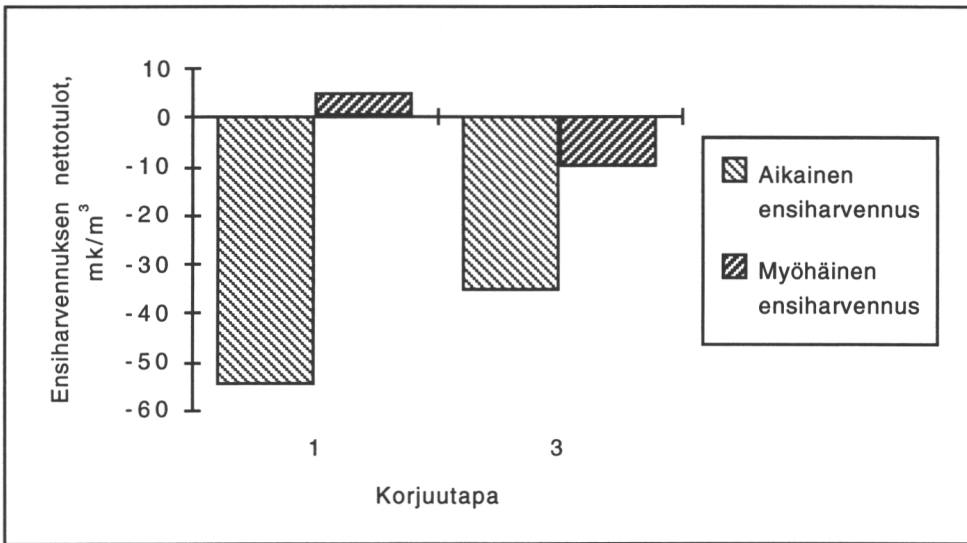
Kuva 66.1 Esimerkiksi valitun mäntyvaltaisen metsikön ensiharvennuksen nettotulot (m^3/m^3) ja koko kiertoaajan suhteellinen nettotulojen nykyarvo (paras vaihtoehto = 100) korjuutavoittain (1 = tavaralajikorjuu, 2 = integroitu korjuu, 3 = erilliskorjuu) ja harvennuksen ajoituksen vaihdellessa.

Ensiharvennuksen siirtäminen johti tässä metsikössä puuston järeytymisen hidastumiseen ja päätehakkuihin nettotulojen pienemiseen. Myös myöhempien harvennusten nettotulojen nykyarvo pieneni, koska niitäkin jouduttiin siirtämään myöhäisempään ajankohtaan. Päätehakkuu tehtiin molemmissa käsittelyketjuissa samaan aikaan. Kiertoaajan alkupäähän ajoittuvien ensiharvennustulojen vaikutus koko kiertoaajan nettotuloihin on koron vuoksi huomattava. Jos ensiharvennus tehtiin integroituna korjuuna tai energiapuun erilliskorjuuna, olivat koko kiertoaajan nettotulot myöhäisessä ensiharvennusvaihtoehdossa pienemmät kuin aikaisessa vaihtoehdossa. Tavaralajikorjuuna tehdyn myöhästetyn ensiharvennuksen suuremmat nettotulot riittivät kuitenkin korvaamaan myöhempien hakkuiden pienemmät nykyhetkeen

diskontatut nettotulot. Tavaralajikorjuuna tehdyn ensiharvennuksen siirtäminen myöhäisemmäksi näytti näin ollen olevan kiertoajan nettotuloilla mitaten edullista. Kun käsittelyketjujen edullisuutta verrattiin toisiinsa välittämättä tulojen saantiajankohdasta (korkokanta 0 %), aikainen ensiharvennus oli korjuutavasta riippumatta aina kannattavampaa kuin sen siirtäminen myöhäisemmäksi. Korjuutapojen keskinäinen järjestys säilyi ennallaan myös ilman korkoa tehdyssä vertailussa.

Tuoreen kankaan kuusikolle tuotettiin vastaavalla tavalla vaihtoehtoisia käsittelyketjuja. Kuusikossa aikainen ensiharvennus oletettiin tehtävän puuston valtapituudella 10,5 m (keskiläpimitta 9,1 cm) ja myöhäinen vastaavasti valtapituudella 12,6 m (keskiläpimitta 11,9). Myös kuusikossa Tapion pohjapinta-alaan perustuvat harvennusmallit vastasivat voimakkuudeltaan tämän tutkimuksen mallien tasoa. Metsikössä tehtiin aikaisen ensiharvennuksen tapauksessa kolme ja myöhäisen ensiharvennuksen tapauksessa kaksi varsinaista harvennusta ennen päätehakkuuta.

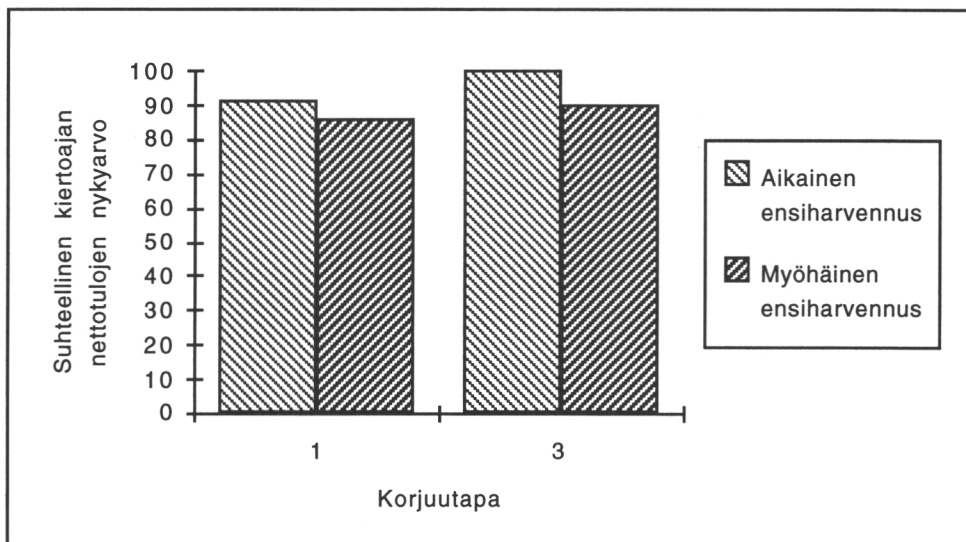
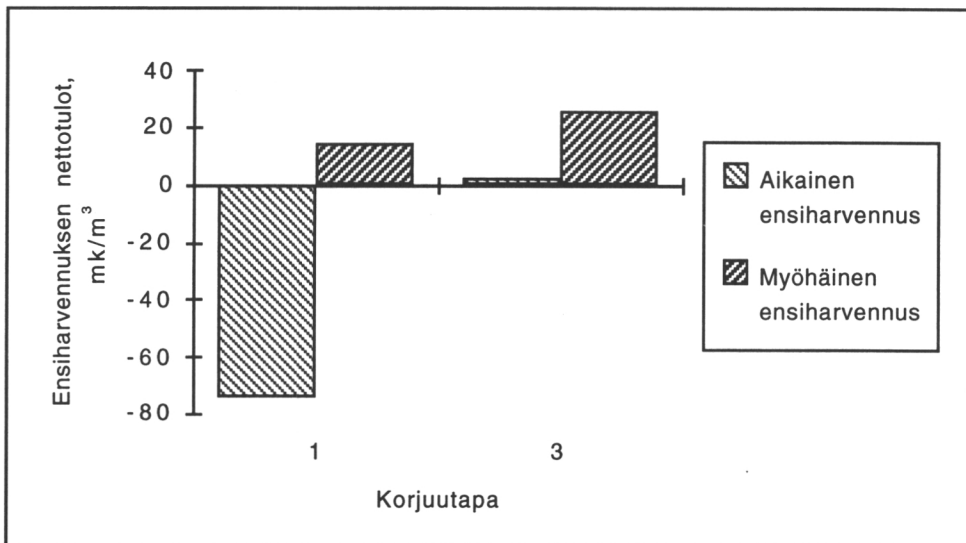
Kuusikon ensiharvennuksesta saatiin nettotuloja vain myöhäisessä teollisuuspuun korjuussa. Varhainen ensiharvennus tuotti korkeiden korjuukustannusten vuoksi tappiota (kuva 66.2). Tavaralajikorjuuna tehty ensiharvennus kannatti siirtää myöhäisempään ajankohtaan myös koko kiertoajan nettotuloilla mitattuna. Energiapuun erilliskorjuuna tehty ensiharvennus kannatti sen sijaan tehdä aikaisessa vaiheessa. Ensiharvennuksen ajankohta ei vaikuttanut puuston tulevaan kehitykseen yhtä voimakkaasti kuin männikössä, koska kuusi kestää mäntyä paremmin varjostusta. Päätehakkualan hakkuutähteiden korjuu paransi kiertoajan diskontattuja nettotuloja tässä metsikössä yli neljä prosenttia verrattuna käsittelyvaihtoehtoihin, joissa hakkuutähteitä ei korjattu. Kiertoajan diskonttaamattomien hakkuutulojen perusteella (korkokanta 0 %) kuusikon myöhäinen ensiharvennus oli aikaista ensiharvennusta edullisempi vaihtoehto kaikilla korjuutavoilla.



Kuva 66.2 Esimerkiksi valitun kuusivaltaisen metsikön ensiharvennuksen nettotulot (m^3/m^3) ja koko kiertoaajan suhteellinen nettotulojen nykyarvo (paras vaihtoehto = 100) korjuutavoittain (1 = tavaralajikorjuu, 3 = erilliskorjuu, 4 = tavaralajikorjuu ja hakkuutähtien korjuu päätehakuussa) ja harvennuksen ajoituksen vaihdellessa.

Tarkasteltavaksi valitulle hieskoivikolle simuloitiin kaksi vaihtoehtoista ensiharvennusajan-kohtaa ja korjuutapaa. Aikainen ensiharvennus tehtiin puuston valtapituudella 11,8 m (keskiläpimitta 9,6 cm) ja myöhäinen valtapituudella 13,2 m (keskiläpimitta 11,0 cm). Energiapuun erilliskorjuu oli laskelmissa käytetyllä energiapuun hinnalla tässä viljavuudeltaan lehtomaista kangasta vastaavan korven hieskoivikossa kilpailukykyinen vaihtoehto (kuva 66.3). Energiapuun erilliskorjuun hyvä kannattavuus koivikoissa johtuu koivun hyvästä lämpöarvosta ja siitä johdettavasta energiapuun hinnasta. Lisäksi suhteellinen koivukuitupuusta maksettava hinta on ollut mänty- ja kuusikuitupuun hintaa alhaisempi. Kiertoaajan diskontatuilla nettotuloilla mitaten aikainen ensiharvennus oli myöhäistä harvennusta kannattavampi

käsittelyvaihtoehto. Ensiharvennuksen myöhästyttäminen johti muista harvennuksista ja päätehakkuusta saatavien diskontattujen nettotulojen pienenemiseen. Kiertoaajan nettotulojen summan (korkokanta 0 %) pohjalta tehty vertailu ei muuttanut ensiharvennuksen ajoituksen ja korjuutapojen edullisuusjärjestystä.



Kuva 66.3 Esimerkiksi valitun hieskoivuvaltaisen metsikön ensiharvennuksen nettotulot (mk/m³) ja koko kiertoaajan suhteellinen nettotulojen nykyarvo (paras vaihtoehto = 100) korjuutavoittain (1 = tavaralajikorjuu, 3 = erilliskorjuu) ja harvennuksen ajoituksen vaihdellessa.

Esitetyt laskelmat ovat vain yksittäisiä metsiköitä kuvaavia esimerkkejä. Laskelmissa käytetty korko painottaa aikaisiin saatavia ensiharvennustuloja koko kiertoaajan nettotuloja laskettaessa. Tulojen tasaisuus on useille metsänomistajille tärkeää ja metsälön yksittäisen met-

sikön käsittely riippuu myös metsälön muista metsiköistä. Harvennukset tehdään yleensä sillä hetkellä parhaiten kannattavissa metsiköissä ja yksittäisen metsikön harvennuksen kannattavuutta ei tarkastella pitkälle tulevaisuuteen kuten tässä tehtiin. Energiapuun hintana käytettiin edellä esitetyissä laskelmissa 65 mk/MWh ja sen muutokset vaikuttavat eri korjuutapojen väliseen edullisuuteen. Metsänomistajan on otettava huomioon myös puunkorjuun työllistävä vaikutus, jolloin hän voi katsoa korjuukustannukset ainakin osittain työtu-loksi. Esimerkit kuitenkin osoittavat metsänkäsittelyn päätöksentekotilanteen vaikeuden. Metsänkäsittelypäätöstä tehtäessä ei yksittäisen toimenpiteen esim. ensiharvennuksen sen-hetkiseen kannattavuuteen pidä kiinnittää liikaa huomiota, vaan toimenpiteiden vaikutus pi-ttäisi pystyä arvioimaan ainakin koko metsikön kiertoajalle. Myös energiapuun erilliskorjuu voi olla koko kiertojen nettotuloilla mitaten edullista, jos harvennus saadaan sen ansiosta tehtyä ajallaan.

7. PÄÄTELMÄT

71. Keski-Pohjanmaan metsien rakenne ja tuleva kehitys

Keski-Pohjanmaan metsät ovat valtaosin nuoria ja siten voimakkaan kasvun vaiheessa. Syinä metsien nuoruuteen ovat uudistamisen lisäksi ojitetut suot, jotka ovat alkaneet kasvaa metsää. Puuston määrä lisääntyy huomattavasti seuraavien 40 vuoden aikana riippumatta siitä, kuinka voimaperäistä metsätaloutta alueella harjoitetaan. Jos metsien kestävä hakkuumahdollisuudet käytetään hyväksi täysimääräisesti, puuston määrä lähes kaksinkertaistuu nykyisestä 75 kuutiometristä hehtaarilla. Mikäli hakkuut säilyvät 1990-luvun alkuvuosien taloudellisen taantumana aikana vallinneella tasolla, tilavuus nousee vieläkin korkeammaksi.

Tehtyjen laskelmien mukaan myös metsien keski-ikä tulee nousemaan. Kuluva vuosikymmenen alun hakkuiden taso johtaisi vanhojen metsien osuuden kohoamiseen noin 30 prosenttiin metsämaan alasta vuoteen 2030 mennessä. Puuston lisääntyminen, ikääntyminen ja järetyminen turvaavat metsistä saatavan hyvinvoinnin lisääntymisen niin metsänomistajan, puunkäyttäjän kuin metsästä virkistystä hakevan jokamiehenkin kannalta katsottuna.

Metsävarojen tehokas hyödyntäminen merkitsee tulevina vuosikymmeninä mittavaa harvennusurakkaa. Keski-Pohjanmaan metsämaista 43 % luokiteltiin viimeksi suoritettussa valtakunnan metsien inventoinnissa nuoriksi kasvatusmetsiksi. Puuston elinvoimaisuuden ja suotuisan laatukehityksen edellyttämät ensiharvennukset uhkaavat näissä metsiköissä jäädä osittain tekemättä. Tärkeimpänä syynä tähän on pienikokoisen harvennuspuun korjuun kalteus, jonka vuoksi hakkuut helposti kohdistetaan järeämpiin ja tuottoisampiin leimikoihin.

Energiapuun korjuu tarjoaa mahdollisuuden lisätä nuorten metsien harvennuksia lähitulevaisuudessa. Seuraavat kaksikymmentä vuotta ovat Keski-Pohjanmaan metsien ja hakkuumahdollisuuksien kannalta erityisen tärkeitä. Myöhemmin puuston järetyessä energiapuulla ei ole hakkuumahdollisuuksien hyödyntämisen kannalta yhtä suurta merkitystä.

72. Energiapuun hakkuumahdollisuudet ja hintakilpailukyky

Keski-Pohjanmaan kannattavasti korjattavat energiapuutarat ovat huomattavan suuret, jos teollisuuspuun hintakilpailua ei oteta huomioon. Yksinomaan energiapuuta oletettiin hakattavaksi erilliskorjuuna kaikista ensiharvennusta kaipaavista metsistä, joissa korjuu oli kustannusten puolesta kannattavaa. Tämän lisäksi tarkastelussa oli mukana teollisuuspuun ja energiapuun yhdistetty eli integroitu korjuu männiköiden ensiharvennuksissa ja hakkuutähtöiden talteenotto kuusivaltaisilla uudistusaloilla.

Bionergian tutkimusohjelmassa energiapuun tavoitehinnaksi käyttöpaikalla on asetettu kilpailuvien polttoaineiden hinnasta johdettu 45 mk/MWh. Tällä hinnalla energiapuuta voitaisiin korjata Keski-Pohjanmaalla lähimmän 10 vuoden aikana vuosittain runsaat 0,8 miljoonaa kuutiometriä. Puun hinnan kohoaminen tasolle 65 mk/MWh merkitsisi korjuukelpoisen energiapuumäärän kaksinkertaistumista. Tilanteen tarkastelu 40 vuoden aikajänteellä alentaa jatkuvasti korjattavia puumääriä noin 30 prosentilla.

Edelläkuvatut puumäärät riittäisivät hintarajoituksista (45-65 mk/MWh) riippuen tyydyttämään jatkuvasti noin 15-30 keskikokoisen (10-20 MW) lämpövoimalan puuntarpeen. Kukin tällainen voimala tuottaa lämpöä usean tuhannen talon tarpeisiin. Edellä esitetyn vuotuisen puumäärän energiasisältö vastaa 500 MW suurvoimalayksikön runsaan puolen vuoden tuotantoa huipputeholla.

Käytännössä energiapuun joutuu ensiharvennuksissa kilpailemaan teollisuuspuun kanssa. Lisäksi hakkuutähteiden ja latvusmassan kertymät ovat sidoksissa teollisuuspuun korjuuseen. Vähäinen teollisuuspuun käyttö rajoittaa aina myös sivutuotteena saatavan energiapuun määrää. Energiapuun maksimihinnan ollessa 45 mk/MWh kaikki ensiharvennuspuu kannattaa käyttää teollisuudessa, mikäli kuitupuulle on kysyntää. Mainitulla energian hinnalla ja teollisuuspuun hakkuumahdollisuuksien täysimääräisellä hyväksikäytöllä energiapuun kannattava korjuumäärä putoaisi vajaan viidennekseen aiemmin esitetystä. Määrä koostuisi pelkästään kuusivaltaisten pätehakkuualojen hakkuutähteistä ja teollisuuspuun korjuun sivutuotteena saatavasta latvusmassasta. Puuta riittäisi jatkuvasti kolmelle keskikokoiselle lämpölaitokselle. Energiapuun hinnan kohoaminen tasolle 85 mk/MWh tekisi energiapuun erilliskorjuun kilpailukykyiseksi teollisuuden käyttämään kuitupuuhun verrattuna ja tarjoaisi polttoainetta noin kymmenelle 100 000 hakekuutiota käyttävälle laitokselle.

Teollisuuden puunkäytön jääminen muutaman vuoden takaiselle alhaiselle tasolle lisäisi energiapuun korjuumahdollisuuksia huomattavasti vain siinä tapauksessa, että energiapuun erilliskorjuu olisi kannattavaa. Erilliskorjuun kannattavuuden raja on tällä hetkellä noin 60-65 mk/MWh. Tälläkään tasolla puulle ei voida vielä maksaa mainittavaa kantohintaa.

73. Energiapuun korjuun aluetaloudelliset vaikutukset

Teollisuuspuun hakkuiden säilyminen 1990-luvun alkuvuosien puuvaroihin nähden alhaisella tasolla merkitsisi Keski-Pohjanmaalla 35 prosenttiin nousevaa nettotulojen menetystä suurimpaan kestävään hakkuusuunnitteeseen verrattuna. Rahallinen tappio 1990-luvulla olisi noin 500 miljoonaa markkaa. Energiapuun korjuu voisi korvata kolmanneksen tappiosta, mikäli kaikki teollisuudelta käyttämättä jäävät kannattavasti korjattavat (65 mk/MWh) ensiharvennuskohteet käytettäisiin energiaksi. Energiapuun antamat lisätulot olisivat metsien hakkuumahdollisuuksia pienemmän käytön tilanteessa koko 40 vuoden aikana noin 10 %.

Hakkuiden lisääntyminen kestäväen suunnitteen mukaiseksi lisäisi metsistä 40 vuoden aikana saatavia nettotuloja yhteensä 5 miljardilla markalla. Samalla myös energiapuun heikko hintakilpailukyky teollisuuspuuhun verrattuna korostuisi. Energiapuun korjuu Bioenergian tutkimusohjelman tavoitteena olevalla kustannustasolla 45 mk/MWh ei lisäisi täyskäytön tilanteessa metsistä lähitulevaisuudessa saatavia nettotuloja juuri lainkaan. Tuotantokustannustasolla 65 mk/MWh nettotulojen kokonaislisäys olisi vuosikymmenen loppuun mennessä yhteensä 50 miljoonaa markkaa. Vasta tason 85 mk/MWh mahdollistama energiapuun erilliskorjuu toisi Keski-Pohjanmaalle 300 miljoonan markan lisätulot. Luvut osoittavat energiapuun korjuun olevan kilpailukykyisimmillään silloin, kun metsävarojen käyttöaste on alhainen tai energiapuun hinta käyttöpaikalla korkea (vrt. Ruotsi).

Puusta saatavien nettotulojen lisäksi huomattava osa puunkorjuun kustannuksista on todellisuudessa paikkakunnalle jääviä työtuloja. Tässä tutkimuksessa käytetyt korjuumenetelmät on tarkoitettu suurten puumäärien hankintaan. Yhdistetty teollisuus- ja energiapuun korjuu kuten myös hakkuutähteiden koneellinen korjuu tarjoavat vähemmän työtilaisuuksia kuin perinteinen polttopuun teko. Alimmalla tuotantokustannusten tasolla lähinnä hakkuutähteiden talteenotto työllistäisi jatkuvasti ainoastaan 10-20 henkeä Keski-Pohjanmaalla. Kustannustasolla 85 mk/MWh pysyvien työpaikkojen lisäys olisi erilliskorjuun ansiosta noin 100 henkilötyövuotta. Hakkuun ja metsäkuljetuksen lisäksi energiapuun haketus tai murskaus, kaukokuljetus, poltto ja lämpölaitosten rakentaminen sekä niiden kerrannaisvaikutukset ovat merkittäviä arvioitaessa energiapuun käytön työllistävää kokonaisvaikutusta.

Energiapuun korjuuta, kuten nuorten metsien käsittelyä yleisemminkin, on usein perusteltu metsien tulevan tuottokyvyn säilymisellä. Tuottokyvyn säilymistä on mahdollista arvioida laskemalla yhteen metsistä kaikkien tulevaisuudessa saatavien tulojen nykyarvo, jossa lähiajan tuloja painotetaan laskemalla nettotuloille korkoa. Tämän tutkimuksen kolmen prosentin reaalikorolla tehdyt laskelmat osoittivat, että energiapuun korjuun vaikutus Keski-Pohjanmaan metsien tuottoarvoon on positiivinen. Tuottoarvon lisäys oli metsien täyskäytön ohjelmissa energiapuun hintatasosta riippuen 1,0-4,4 %. Puuvaroihin nähden vähäiset hakkuut aiheuttivat vastaavasti tulonmenetyksiä, joita metsien nopeasti lisääntyvä puustokaan ei pystynyt vuosikymmenien päästä enää kompensoimaan.

74. Energiapuun kasvatustallit

Tutkimuksessa laadittiin taimikonhoito- ja harvennusmallit, joissa otettiin teollisuuspuun korjuun ohella huomioon myös energiapuun tuottaminen. Mallit perustuvat metsiköittäisiin käsittelyketjuihin, jotka yhdessä toteuttavat Keski-Pohjanmaan alueen metsille asetetut teoreettiset kokonaistavoitteet. Laskelmissa energiapuuta tarkasteltiin osana kunkin metsikön laskenta-ajan käsittelyketjua.

Energiapuun korjuun huomioon ottaminen ei vaikuta taimikoiden käsittelyyn juuri lainkaan. Mikäli kuitupuulla on kysyntää teollisuudessa, taimikonhoito kannattaa yleensä lykätä 3-6 metrin keskipituudelle. Männyntaimikoiden sopivin tiheys käsittelyn jälkeen on 1650-1900 runkoa hehtaarilla; kuusikot kannattaa jättää hieman tiheämmiksi. Energiapuun korjuu taimikoista on nykyhinnoin ja -kustannuksin kannattamatonta.

Myös käyttöpuuta tuottavat ensiharvennukset vastaavat voimakkuudeltaan Metsäkeskus Tapion laatimien harvennusmallien tasoa. Ensiharvennuksen ajankohta riippuu olennaisesti siitä, miten metsikköä on hoidettu taimikkovaiheessa. Korjuumenetelmästä riippumatta ensiharvennus kannattaa siirtää niin myöhäiseen ajankohtaan kuin se metsänhoidollisesti on mahdollista. Ylitie metsikkö voidaan joutua harventamaan jo alle 10 metrin valtapituudella. Teollisuuspuun ja energiapuun yhdistetty eli integroitu korjuu kannattaa keskittää juuri nuorimpiin ja tiheimpiin männiköihin, joissa teollisuuspuuksi kelpaamattoman biomassan osuus on suurimmillaan.

Laaditut harvennusmallit on laadittu nykyistä korjuuteknologiaa ajatellen. Taimikon hoidon ja ensiharvennuksen suhde muuttuu ratkaisevasti, mikäli energiapuuta voitaisiin korjata kan-

nattavasti nykyistä pienempinä runkoina. Tällöin suurimman tuotoksen voisi antaa menetelmä, jossa taimikonhoito ja ensiharvennus olisi yhdistetty noin 8-10 metrin pituusvaiheessa tehtäväksi energiapuun korjuuksi.

Oksien ja neulasten mukana metsästä poistuu energiapuun korjuussa huomattava osa puun sisältämistä ravinteista, mikä saattaa joissakin tapauksissa näkyä kasvamaan jäävien puiden kasvun alenemisena. Kokopuun korjuun aiheuttamat vaikutukset metsämaahan tulee ottaa huomioon, jos energiapuun korjuu lisääntyy. Käytännössä tämä voi tarkoittaa puun ylimmän latvaosan jättämistä metsään tai kokopuun korjuun välttämistä tietyillä kasvupaikoilla.

75. Energiapuun tulevaisuus

Metsävarat eivät rajoita energiapuun käytön huomattavaa lisäämistä Keski-Pohjanmaalla. Vaikka puuvarojen teollinen käyttö kohoaisi alueen suurimman kestävän suunnitteen tasolle, puuta voitaisiin polttaa lisäksi 120 000-360 000 m³ vuodessa riippuen energiapuulle maksettavasta hinnasta polttopaikalla. Jos kaikelle teollisuuspuulle ei ole kysyntää, ensiharvennusten runkopuu lisäisi polttoon ohjattavan puun määrää huomattavasti. Edellämäinittu puumäärät koskevat kuitupuun mitat täyttäviä runkoja oksineen viiden sentin latvaläpimittaan saakka.

Tässä tutkimuksessa käytetyt menetelmät edellyttävät puun polttamista keskitetysti erillisissä lämpövoimaloissa tai teollisuuslaitoksissa. Energiapuun kustannusrakenne lämmön tuotannossa ei kestä muutamaa kymmentä kilometriä pidempiä kuljetusmatkoja. Tämä rajoittaa erillisten lämpövoimaloiden kokoa. Osa Keski-Pohjanmaan syrjäisimmistä energiapuuvaroista saattaa lämpöä tarvitsevien taajamien puutteessa jäädä myös käyttämättä. Parhaat mahdollisuudet näissä tapauksissa tarjoaa energiapuun korjuu yhtä aikaa teollisuuspuun kanssa ja poltto teollisuuslaitoksessa. Yhdistettyjen lämpö- ja sähkövoimaloiden perustaminen helpottanee tulevaisuudessa energian siirtoa pitkienkin matkojen päähän. Myös puun jalostaminen helppokäyttöisiksi pelleteiksi tai pulveriksi lisää puuenergian käyttömahdollisuuksia pientaloissa.

Hintakilpailukyky on energiapuun käytön yleistymisen suurin ongelma. Viime vuosina vilkkaan laitekehittämisen tavoitteena on ollut alentaa energiapuun tuotantokustannukset mahdollisimman lähelle 45 mk/MWh polttopaikalla. Mainittu kustannustavoite perustuu kilpaillevien energiamuotojen hintaan.

Uusista menetelmistä huolimatta esitetty tavoite on kova. Teollisuuspuun ylivoimainen kilpailukyky kohdistaa energiapuun korjuun em. hinnalla hakkuutähteiden keräilyyn ja latvusmassan korjuuseen teollisuuspuun sivutuotteena. Lisäpainetta kustannusten alentamisyhtiömyksille asettaa se, että metsänomistajat odottavat luonnollisesti jonkinlaista kantohintaa myös energiapuulta.

Energiapuun käyttöä tulisi kustannusongelmista huolimatta edistää. Tehdyt tarkastelut varmentavat käsityksen, jonka mukaan energiapuun korjuu vaikuttaa myönteisesti Keski-Pohjanmaan metsien tuottoihin ja työvoiman kysyntään. Vaikutus on erityisen suuri, mikäli teol-

lisuuden puunkäyttö säilyy hakkuumahdollisuuksiin nähden alhaisena. Tässä tutkimuksessa esitetty työllisyysvaikutus moninkertaistuu, kun tarkasteltavaksi otetaan myös puun pienkäyttäjät sekä puun kuljetuksen ja polton seurannaisvaikutukset. Aluetaloudellisesti energiapuun korjuuseen, voimaloiden rakentamiseen ja puun polttoon kuluva ihmistyöpanosta ei tarvitse laskea kokonaisuudessaan kustannukseksi, mikäli työvoimalle ei ole tarjolla tuotavampaa työtä.

Ympäristön kannalta puuenergian käytön merkittävin etu on suljettu hiilen kierto. Pitkällä aikavälillä kaikki puusta poltettaessa tai lahotessa vapautuva hiili sitoutuu takaisin kasvaan puustoon. Näin puun poltto ei lisää ilmakehän hiilidioksidipitoisuutta kuten tapahtuu fossiilisia polttoaineita, öljyä ja kivihiiltä käytettäessä. Kasvihuoneilmiö on yksi syy, jonka perusteella fossiilisille polttoaineille on odotettavissa kiristyviä ympäristöveroja.

Metsänhoitoon ja työllisyyteen myönteisimmin vaikuttava energiapuun korjuutapa on erilliskorjuu. Voidaanhan tällä menetelmällä korjata talteen puuta metsissä, jotka muutoin uhkaavat jäädä hoitamatta. Erilliskorjuu kannattavuusraja, 60-65 mk/MWh, on kuitenkin muiden energiamuotojen hintaan verrattuna korkea.

Metsänhoidollisten ja ilmanlaadullisten hyötyjen saavuttaminen edellyttää energiapuun tukemista. Subventointi voidaan toteuttaa joko energiapuun korjuun suoralla tuella tai edellä mainituissa suhteissa haitallisten energiamuotojen verotuksella.

KIRJALLISUUTTA

- 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 of spruce, pine, birch and alder. Norsk institutt før Skogforskning. Skogsteknologisk avdeling. Rapport 6:1-59.
- Hakkila, P. 1989. Utilization of Residual Forest Biomass. Springer Series in Wood Science. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York. 568 s.
- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.
- Hakkila, P. (toim.). 1992. Metsäenergia. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 422. 51 s.
- Hakkila, P ja Kalaja, H. 1993. Ketjukarsinta ensiharvennussmannikön korjuuratkaisuna. Folia Forestalia 803. 31 s.
- Harvennushakkuiden taloudellinen merkitys ja toteuttamisvaihtoehdot. 1992. Maa- ja metsätalousministeriö. 121 s.
- Kuusela, K. 1984. Timber utilization and the potential of forest energy in Finland with reference to the IEA member countries. IEA/ENFOR Join Report 7. 31 s.
- Kärhä, K. 1994. Hakkuutähteen talteenotto osana puunkorjuun kokonaisurakointia. Metsäteknologian syventävien opintojen tutkielma. 46 s.
- Kärkkäinen, M. 1976a. Puun ja kuoren tiheys ja kosteus sekä kuoren osuus koivun, kuusen ja männyn oksissa. Silva Fennica 10(3):212-236.
- Lappi, J. 1992. JLP A Linear Programming Package for Management Planning. The Finnish Forest Research Institute. Research Papers 414:1-134.
- Nurmi, J. 1993. Heating values of the above ground biomass of small sized trees.
- Pienikokoisten puiden maanpäällisen biomassan lämpöarvot. Acta Forestalia Fennica 236. 30 s.
- Pesonen, M. & Hirvelä, H. 1992. Liiketaloudelliset harvennusmallit Etelä-Suomessa. Folia Forestalia 800. 35 s.
- 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.

