



Kari Pasanen



Veijo Vesterlin



Ari Keskimölo



Janne Soimasuo



Timo Tokola

Kari Pasanen, Veijo Vesterlin, Ari Keskimölo,
Janne Soimasuo ja Timo Tokola

Alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmä

Pasanen, K., Vesterlin, V., Keskimölo, A., Soimasuo, J. & Tokola, T. 1997. Alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmä. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 1/1997: 25–35.

Tutkimuksessa kehitettiin kuviokohtaisiin metsäsuunnitelmatietoihin, kuviokarttoihin, digitaaliseen tiestöaineistoon ja yleiskarttaan perustuva energiapuuvarojen analysointimenetelmä, jolla voidaan tarkastella teknisten ja taloudellisten rajoitteiden vaikutuksia energiapuukertymiin esimerkiksi kuntatasolla. Menetelmässä metsä- ja kaukokuljetusmatkat lasketaan paikkatietojärjestelmällä ja energiapuuvaroja analysoidaan energiapuutietokannan avulla. Tietokantasovelluksella lasketaan kuviokohtaiset energiapuukertymät ja kustannukset sekä tuotetaan yhteenvetoraportit. Kehitetyssä sovelluksessa ja esimerkkilaskelmissa tarkastellaan päätehakkuiden hakkuutähdettä, ensiharvennumänniköistä integroidulla korjuulla saatavaa energiapuuta sekä osittain myös nuoren metsän kunnostuskohteita. Esimerkkilaskelmien aineistona oli 15 000 ha kuviointaisia suunnitelmatietoja. Esimerkkikunnan päätehakkuiden hakkuutähteen vuotuinen kokonaismäärä oli 54 000 m³, josta noin 25 000 m³ oli teknisesti ja taloudellisesti korjattavissa. Ensiharvennumänniköistä voitaisiin integroidulla korjuulla saada vuosittain noin 3 600 m³ energiapuuta. Nuoren metsän kunnostuskohteiden energiapuupotentiaali oli noin 4 800 m³ vuodessa.

Asiasanat: hakkuutähte, energiapuu, paikkatietojärjestelmät

Kirjoittajien osoitteet: *Pasanen* ja *Tokola*, Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta, PL 111, 80101 Joensuu; *Soimasuo*, Metsämannut Oy, PL 105, 35801 Mänttä; *Keskimölo* ja *Vesterlin*, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, Soidinkuja 4, 00700 Helsinki

Hyväksytty 22.1.1997

1 Johdanto

Metsävarojemme energiakäytön edistämiseksi on käynnistetty monia tutkimus- ja kehityshankkeita. Tutkimuspanosta on käytetty niin energiapuuvarojen määrän selvittämiseen kuin korjuun tehostamiseenkin (esim. Keskimölo 1994, Kärhä 1994, Paajala ja Kiukaanniemi 1994, Saksa ja Tuovinen 1994, Bioenergian tutkimusohjelma... 1995, Mielikäinen ym. 1995). Teknisesti korjattavissa olevan energiapuun laajamittaisen hyödyntämisen pahimpana ongelmana on ollut raaka-aineen korkea hinta vaihtoehtoihin polttoaineisiin verrattuna (Imponen 1993, Saksa 1994). Polttolaitosinvestointien ja energiapuun hankinnan suunnittelun tueksi tarvitaankin selvityksiä, joissa tarkastellaan kustannusrajoitteiden vaikutuksia energiapuun saatavuuteen.

Energiapuun korjuun kannattavuutta ja vaikutuksia metsien kehitykseen on tutkittu mm. Keski-Pohjanmaan metsälautakunnan alueella (Mielikäinen ym. 1995). Tutkimuksessa käytettiin valtakunnan metsien inventoinnin koealoja, simuloitiin vaihtoehtoisia metsien käsittelyohjelmia eri korjuuketjuilla ja laadittiin puuntuotanto-ohjelmia lineaarisella ohjelmoinnilla. PUUHA-projektin yhteydessä on tehty yksityismetsien kuviotietoihin perustuva selvitys Mikkelin seudun metsähakkeen raaka-ainevaroista (Saksa ja Tuovinen 1994). Siinä energiapuuvaroja tarkasteltiin kaukokuljetusmatkavyöhykkeittäin, mutta energiapuun hankintakustannuksia ei analysoitu lainkaan. Kannattavasti korjattavissa olevan energiapuumäärän selvittämiseksi tarvitaankin paikkatietoanalyysiä.

Paikallis- ja kansantaloudellisten kokonaisarviointien puuttuessa ei tiedetä, paljonko energiapuusta missäkin olosuhteissa kannattaisi maksaa. Ahosen ym. (1994) tekemä selvitys Pohjois-Suomen kunnallisten lämpölaitosten metsähakkeen käytön vaikutuksista on ensi askel tällaisten kokonaisvaltaisten kannattavuuslaskelmien kehittämisessä. Alueelliset, kustannukset huomioon ottavat, energiapuuvarojen analyysit tulisivat kytkeä osaksi kokonaistaloudellisia selvityksiä.

Tässä tutkimuksessa esitetään alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmä ja kuntatason esimerkkilaskelma. Tutkimuksessa on keskitytty

päättehakkuiden hakkuutähteen ja ensiharvennusmänniköistä integroidulla korjuulla saatavaan energiapuun tarkasteluun. Nuoren metsän kunnostuskohteista lasketaan vain energiapuukertymät, koska metsäsuunnitelmätietojen perusteella ei hakkuukustannuksia voida laskea luotettavasti. Menetelmällä saadaan tietoa polttolaitosinvestointien suunnitteluun ja päätöksenteon tukemiseen sekä energiapuun operatiivisen hankintatoiminnan tehostamiseen. Kysymyksessä on paikkatietosovellus, jonka periaatteita voi soveltaa arvioitaessa myös muiden puutavaralajien alueellista saatavuutta ja kehitettäessä puunhankinnan logistiikkaa.

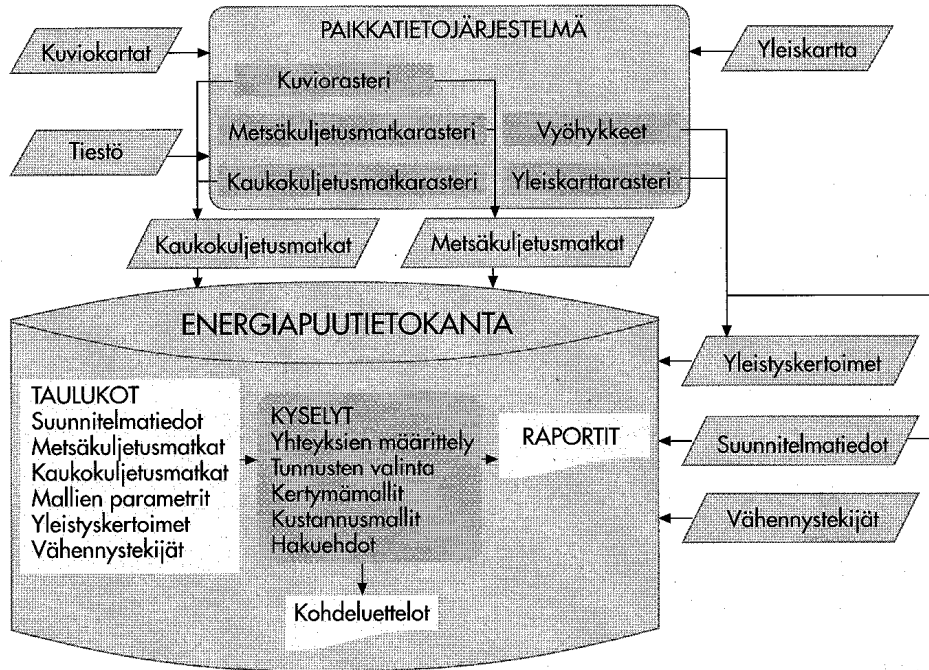
2 Energiapuuvarojen analysointimenetelmä

2.1 Yleiskuvaus

Menetelmä perustuu kuvioittaisiin metsäsuunnitelmätietoihin, kuviokarttoihin, tiestökarttaan, yleiskarttarasteriin sekä kertymä- ja kustannusmalleihin (kuva 1). Kuvioittaiset metsä- ja kaukokuljetusmatkat lasketaan paikkatietojärjestelmällä ja energiapuuvaroja analysoidaan energiapuutietokannan avulla. Tietokantasovelluksella lasketaan kuviokohdattaiset energiapuukertymät ja kustannukset sekä tuotetaan yhteenvetoraportit. Tuloksena saadaan monipuolisia yhteenvetotietoja alueen energiapuuvaroista ja mm. kustannusrajoitteiden vaikutuksista kertymiin. Tietokannasta voidaan myös tulostaa halutut hakuehdot täyttävien kuvioiden luetteloita energiapuun hankinnan edistämistä ja vaikkapa teemakarttojen tuottamista varten.

Tarkasteltava alue, esimerkiksi kunta, jaetaan kaukokuljetusmatkavyöhykkeisiin (alle 10 km, 10–19 km, 20–29 km jne.). Kultakin vyöhykkeeltä pyritään saamaan mahdollisimman kattava ja edustava aineisto tuoreita suunnitelmätietoja laskelmien perustaksi. Tulokset yleistetään tarkasteltavan alueen metsämaan alalle vyöhykkeittäin. Käytettävissä olevista lähtötiedoista pyritään näin saamaan mahdollisimman luotettavat kokonaistulokset koko analyysialueelle.

Suunnitelmätiedot kuviokarttoineen saadaan kul-



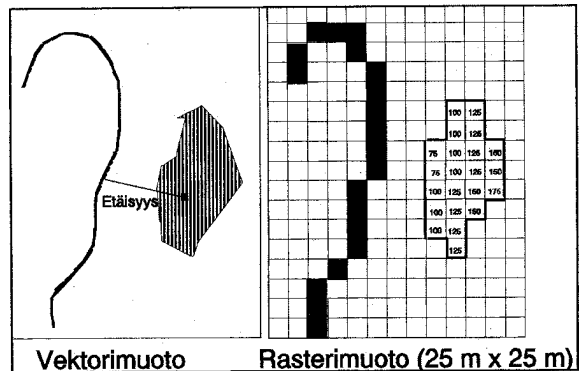
Kuva 1. Menetelmän yleiskuvaus.

loisenkin metsäorganisaation tietojärjestelmästä, digitaalinen tiestö- ja yleiskartta-aineisto on hankittava Maanmittauslaitokselta. Paikkatietojärjestelmänä on GRASS 4.1 (Unix-ympäristössä toimiva ilmaisohjelma) ja tietokantaohjelmistona Microsoft Access 2.0. Analyysin toteuttaminen onnistuu tavallisella mikrotietokoneella, johon on asennettu sekä DOS- että Linux (unix) -käyttöjärjestelmät.

2.2 Paikkatietoanalyysi

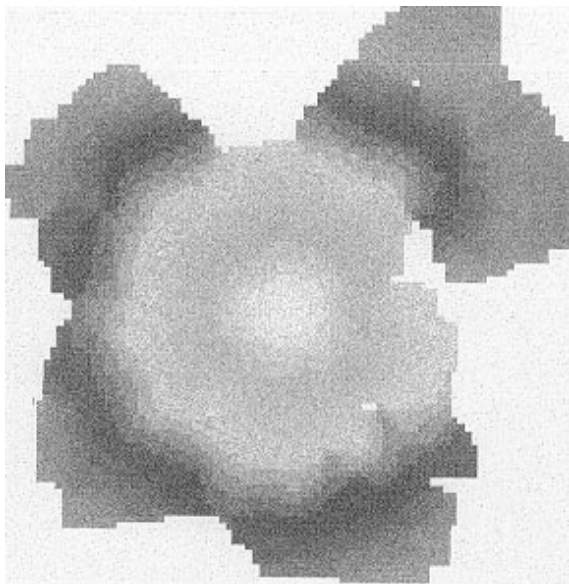
Kokonaiskustannusten laskemiseen tarvitaan kuviokohtaista paikkatietoa (metsä- ja kaukokuljetusmatkat). Nykytekniikka mahdollistaa suurienkin aineistojen tehokkaat paikkatietoanalyysit.

Paikkatietojärjestelmissä geometrinen tieto kuvataan joko vektori- tai rasterimuodossa. Metsikkökuvion keskimääräinen etäisyys lähimpään tien voidaan laskea kummankin kuvaustavan pohjalta (kuva 2). Vektorikuvioiden tapauksessa etäisyys lasketaan joko kuviolle digitointivaiheessa



Kuva 2. Metsikkökuvion etäisyys tiestä; vektori- ja rasterikuvausten ero.

määritetystä referenssipisteestä tai erikseen lasketavasta painopisteestä. Painopisteiden laskenta ei kuitenkaan ole standarditoiminto paikkatietojärjestelmissä. Kuvion referenssipiste on yleensä sijoitettu siten, että kuvion numero näkyisi tulosteissa



Kuva 3. Kaukokuljetusmatkarasteri.

selkeästi. Tällöin etäisyyden laskennan perustaminen referenssipisteeseen on hyvin epämääräistä. Metsäkuljetusmatkat lasketaan tässä menetelmässä rasteripohjaisesti.

Kuviokartat ja tiestö, jotka ovat aluksi vektorimuodossa, viedään paikkatietojärjestelmään, jossa ne ensin rasteroidaan (25×25 m). Tiestörasterista lasketaan sitten ns. etäisyysrasteri, jossa kunkin pikselin arvona on etäisyys lähimpään tiehen. Etäisyysrasterin ja kuviokarttarasterin avulla lasketaan kunkin kuvion keskimääräinen etäisyys lähimpään tiehen. Rasteripohjaisesti laskettu etäisyystunnuskaan ei vastaa todellista metsäkuljetusmatkaa, mutta on varastopaikkatietojen puuttuessa luotettavin metsäkuljetusmatkan arviointitapa. Jos tien ja kuvion välissä on ylittämättömiä esteitä, kuten järvi tai avosuo, niin rasteritietomallissa ko. kohteet voidaan merkitä kulkukelvottomiksi (ko. pikseleille suuri arvo), jolloin etäisyyden laskennassa ne kierretään.

Kaukokuljetusmatkat lasketaan metsäkuljetusmatkojen tapaan paikkatietojärjestelmällä, jolla luodaan tiestöaineistoon perustuva kaukokuljetusmatkarasteri (kuva 3) ja lasketaan kuvioittaiset kaukokuljetusmatkat. Kaukokuljetusmatkavyöhyk-

keiden pinta-alat määritetään digitoimalla ensin vyöhykkeiden rajat ja laskemalla vyöhykkeille satuvien yleiskarttarasterin eri arvoluokkien pinta-alat. Näin vesistöt, taajamat ja peltoalueet saadaan vähennettyä kunnan kokonaispinta-alasta. Metsäalatiiedoista johdetaan vyöhykkeiden metsämaan alat käyttäen apuna kunnan käytön tilastotietoja. Vyöhykkeittäiset yleistyskertoimet lasketaan kunkin vyöhykkeen ja vastaavan laskenta-aineiston metsämaan alojen suhteena.

2.3 Energiapuutietokanta

Energiapuutietokanta koostuu taulukoista, kyselyistä ja raporteista. Tarkasteltavia energiapuun lähteitä ovat päätehakkuiden hakkuutähde, ensiharvennusemänniköistä integroidulla korjuulla saatava energiapuun sekä nuoren metsän kunnostuskohteet. Kuvioittaiset suunnitelma- ja etäisyystiedot sekä tulosten yleistämisessä tarvittavat kertoimet viedään taulukoiksi tietokantaan. Eri taulukkojen tietoja yhdistetään kyselyillä, joilla määritetään taulukoiden väliset yhteydet, poimitaan tarvittavat tiedot eri taulukoista, lasketaan kertymät ja kustannukset sekä määritetään hakuehdot. Kyselyjä tai niiden avulla muodostettuja uusia taulukoita käytetään yhteenvetoraporttien pohjana. Erilaiset hakuehdot täyttävien kohteiden taulukkoja voidaan käyttää myös sellaisenaan energiapuun hankinnan edistämiseen. Yhteenvetoraportit sisältävät perustiedot laskenta-aineistosta sekä eri tavoin luokiteltua keskiarvo- ja summatietoa eri energiapuun lähteistä. Tärkeimpiä tuloksia ovat päätehakkukohteiden ja ensiharvennusemänniköiden koko analyysialueelle yleistetyt energiapuukertymät eri kustannusrajoitteilla. Yleistämisessä voidaan ottaa huomioon myös erilaisia harkinnanvaraisia tai erillisselvityksiin perustuvia vähennystekijöitä (esim. luontoarvojen huomioon ottamisen vaikutus ja myyntihalukkuus) niitä kuvaavien kertoimien avulla.

Nuoren metsän kunnostuskohteiden tarkastelu perustuu suunnitelmatietojen erityisominaisuustunnuksiin, mutta kustannuksia ei voida laskea luotettavasti. Koska tietopohja nuoren metsän kunnostusten osalta ei välttämättä ole kattava, ei kertymiä päätehakkukohteiden ja ensiharvennusemänniköiden tavoin yleistetä automaattisesti koko analyysialueelle.

Tutkimuksessa kehitetty energiapuutietokantasovellus sisältää valmiiksi määritellyt taulukot, kyselyt ja raportit, joten soveltaminen uudella alueella vaatii vain kuviokohtaisten metsäsuunnitelmatietojen ja etäisyystietojen viemisen tietokantaan ja mahdolliset laskentaparametrien tarkistukset. Tietokannan rakennetta voi sovellustilanteissa muuttaa kulloisiakin tarpeita vastaavaksi.

2.4 Kyselyt, mallit ja laskentaparametrit

2.4.1 Päätehakkuukohteet

Kyselyyn poimitaan mänty- ja kuusivaltaiset päätehakkuukuviot, jotka on suunniteltu hakattavaksi seuraavalla 10-vuotiskaudella (kiireellisyys H, 1 tai 2). Hakkuutähteen minimikertymä-rajoitteena on 35 m³/ha. Erityisominaisuustunnusten perusteella on kohteet, joissa jyrkkä maasto vaikeuttaa korjuuta, rajattu pois. Laskennan parametrit ja oletusarvot on esitetty taulukossa 1.

Hakkuutähdekertymät lasketaan puulajisuhteittain Hakkilan (1991) latvusmassataulukoista johdettujen kertymäkerrointen avulla. Kuusen hakkuutähdekertymä on 43 %, männyn 26 % ja lehtipuiden 17 % hakkuukertymästä. Talteensaantikertoimen oletusarvona on 0,65, mutta sitä voi vapaasti muuttaa eri tilanteita tarkasteltaessa (esim. kokopuujuonto). Kuvion hehtaarikohmainen hakkuutähdekertymä laskeaan hakkuukertymän funktiona seuraavasti:

$$V_{\text{tähde}} = V_{\text{tot}} 0,1(M\ddot{a}p\text{ro}P_{m\ddot{a}} + K\text{u}p\text{ro}P_{k\text{u}} + L\text{e}p\text{ro}P_{l\text{e}h}) T\text{a}l\text{t} \quad (1)$$

missä

$V_{\text{tähde}}$ = hakkuutähdekertymä, m³/ha

V_{tot} = hakkuukertymä, m³/ha

$P_{m\ddot{a}}$ = männyn osuus, 1/10

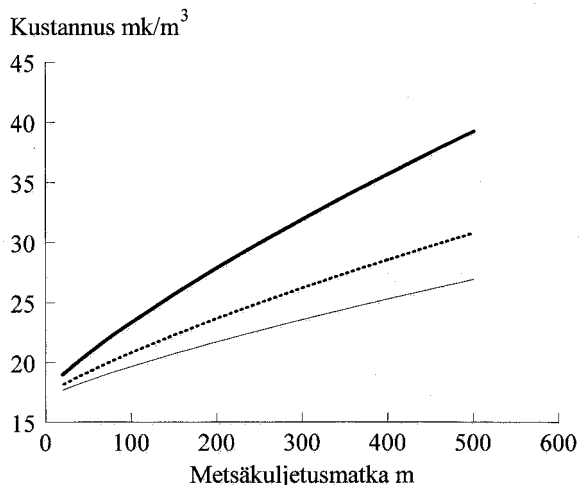
$P_{k\text{u}}$ = kuusen osuus, 1/10

$P_{l\text{e}h}$ = lehtipuun osuus, 1/10

Metsäkuljetuskustannusmalli (kuva 4) johdettiin Kärhän (1994) käyttämistä eri vaiheiden (kuormaus, kuormausajo, kuormattuna-ajo, tyhjänäajo ja purkamisen) tuotosmalleista. Maastoluokkaparametreina käytettiin luokkien 1 ja 2 keskiarvoja. Tyhjänä- ja kuormattuna-ajon matkoina käytettiin las-

Taulukko 1. Päätehakkuukohteiden laskennan parametrit.

Parametri	Selitys	Oletusarvo
<i>Talt</i>	Talteensaantikerroin	0,65
<i>Mäpro</i>	Kertymäkerroin, mänty	0,26
<i>Kupro</i>	Kertymäkerroin, kuusi	0,43
<i>Lepro</i>	Kertymäkerroin, lehtipuu	0,17
<i>Hakk</i>	Hakkuukustannukset, mk/m ³	3
<i>K</i>	Metsätraktorin kuormatila, m ³	8
<i>A</i>	Ajouratiheys, 100 m/ha	6
<i>KKa</i>	Kaukokuljetusmallin vakio	14
<i>KKb</i>	Kaukokuljetusmallin kulmakerroin	0,29
<i>Ktk</i>	Metsätraktorin käyttötuntikustannukset, mk/h	300
<i>Hake</i>	Haketuskustannukset, mk/m ³	34
<i>Yk</i>	Yleiskustannukset, mk/m ³	7,5



Kuva 4. Päätehakkuiden hakkuutähteen metsäkuljetuskustannukset eri kokoisilla kuormatiloilla (Kärhä 1994). (Hakkuutähdekertymä 50 m³/ha, käyttötuntikustannukset 300 mk/h, ajouratiheys 600 m/ha.)

— kuorma 5 m³ --- kuorma 8 m³ — kuorma 11 m³

kettua keskimääräistä metsäkuljetusmatkaa. Koska käytännössä ei yleensä päästä mallien aikauttusten mukaisiin tuotoksiin, käytettiin tasokertoimenä lukua 1,2. Sievennysten jälkeen lopulliseksi metsäkuljetuskustannusmalliksi saatiin:

$$Mkkust = (7,27 / V_{iähde} + 0,76 / K + 1,9 + 0,01M / K(4,9 - 0,735 \ln(M / 100))) Ktk1,2 / 60 \quad (2)$$

missä

$Mkkust$ = metsäkuljetuskustannus, mk/m³

$V_{iähde}$ = hakkuutähdekertymä, m³/ha

M = metsäkuljetusmatka, m

Kaukokuljetuskustannukset lasketaan seuraavalla mallilla:

$$Kkkust = a + bKM \quad (3)$$

missä

$Kkkust$ = kaukokuljetuskustannus, mk/m³

KM = kaukokuljetusmatka, km

Kokonaiskustannukset hakkuutähteen kiintokuutiometriä kohti koostuvat siis kiinteistä hakkuu-, haketus- ja yleiskustannuksista sekä malleilla laske- tuista metsä- ja kaukokuljetuskustannuksista. Kokonaiskustannukset lasketaan lisäksi energiayksikköä (mk/MWh) kohti. Kun hakkuutähteen kiintokuutiosta männyllä (45 %:n kosteus) saadaan energiaa 2 MWh, kuusella 2,1 MWh ja koivulla 2,45 MWh, niin kokonaiskustannukset mk/MWh saadaan kaavalla:

$$Mk_{MWh} = (T_{ma} / 2 + T_{ku} / 2,1 + T_{leh} / 2,45) Kust_{m3} / V_{iähde} \quad (4)$$

missä

Mk_{MWh} = kustannukset käyttöpaikalla, mk /MWh

T_{ma} = männyn hakkuutähdekertymä, m³/ha

T_{ku} = kuusen hakkuutähdekertymä, m³/ha

T_{leh} = lehtipuiden hakkuutähdekertymä, m³/ha

$Kust_{m3}$ = kustannukset käyttöpaikalla, mk /m³

$V_{iähde}$ = hakkuutähdekertymä yhteensä, m³/ha

2.4.2 Ensiharvennusmänniköiden integroitu korjuu

Kyselyssä poimitaan kaikki ensiharvennuskohteet, joissa pääpuulajina on mänty, joissa männyn kertymäosuus on vähintään 90 % ja joissa ravinteisuus- taso on kuivaa kangasta (5) rehevämpi.

Energiapuukertymä lasketaan osuutena (oletus- arvo 0,25) ainespuukertymästä (katso Hakkila ja Kalaja 1993). Hakkuun ja metsäkuljetuksen kus- tannuksia ei kohdisteta energiapuulle. Ketjukarsinta- kuorinta oletetaan tehtäväksi välivarastolla. Koko- naiskustannukset (mk/m³) koostuvat murskaus- (oletusarvo 32 mk/m³) ja yleiskustannuksista (ole- tusarvo 7,5 mk/m³) sekä kaukokuljetuskustannuk- sista (malli sama kuin päätehakuilla). Yhdestä kuu- tiometriä saadaan noin 1,9 MWh energiaa (40 %:n kosteus), joten kokonaiskustannukset energia- yksikköä kohti (mk/MWh) saadaan jakamalla kiin- tokuutiometriä kohti lasketut kustannukset kertoimella 1,9.

2.4.3 Nuoren metsän kunnostuskohteet

Kyselyyn poimitaan kaikki ensiharvennuskuviot, joilla on erityisominaisuutena ”energiapuuta kor- jattavissa” -koodi tai muu paikallisesti käytetty nuor- en metsän kunnostuksia tarkoittava koodi. Ener- giapuukertymä (m³/ha) koostuu karsitusta runko- puusta (kertymän polttopuuosuus + erityisomina- suuskoodilla ilmaistu energiapuukertymä + aines- puurunkojen latvakappaleet):

$$V_{ep} = 0,1P_{polt} Kert + Ep + 0,1Kert \quad (5)$$

missä

V_{ep} = energiapuukertymä, m³/ha

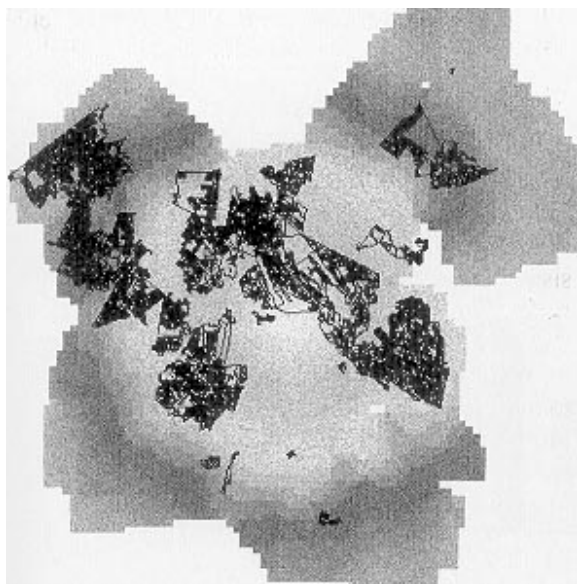
P_{polt} = hakkuukertymän polttopuuosuus, 1/10

Ep = erityisom. mukainen energiapuukertymä, m³/ha

$Kert$ = hakkuukertymä, m³/ha

3 Esimerkkianalyysi

Esimerkkilaskelmien kohdealueena oli yksi kunta Keski-Suomesta. Laskenta-aineistona oli 15 000 ha kuvioittaisia metsäsuunnitelmätietoja vuosilta 1987–1994, vastaavat metsikkökuviokartat, sekä digitaalinen tiestöaineisto. Vertailuaineistona oli käytettävissä Metsäkeskuksen laskema alueellisten suunnitelmien yhdistelmä (ASY), joka kattoi 61 %



Kuva 5. Laskenta-aineiston sijoittuminen kohdealueelle.

kunnan metsämaan alasta. Esimerkissä tarkasteltiin päätehakkuukohteita, ensiharvennumänniköitä (integroitu korjuu) ja nuoren metsän kunnostuskohteita. Energiapuun käyttöpaikaksi oletettiin kunnan keskusta.

Aineiston sijoittuminen kohdealueelle on esitetty kuvassa 5. Vyöhykkeiden pinta-alat ja yleistyskerroimet on esitetty taulukossa 2. Vyöhykkeiden rajat digitointiin paikkatietojärjestelmällä. Eri vyöhyk-

Taulukko 2. Vyöhykkeiden ja laskenta-aineiston metsämaan pinta-alat ja yleistyskerroimet.

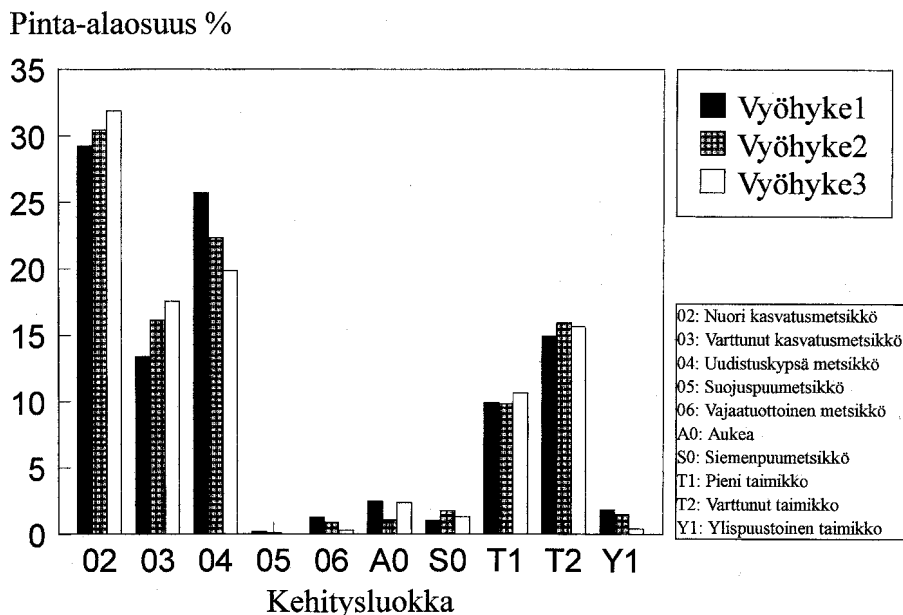
	Vyöhykkeen ala, ha	Laskenta-aineiston ala, ha	Yleistys- kerroin
Vyöhyke 1 (0–9 km)	14500	4826	3,0
Vyöhyke 1 (10–19 km)	36000	8080	4,46
Vyöhyke 3 (20–29 km)	21500	1867	11,52

keiden metsäpinta-alat määritettiin rasteripohjista menetelmällä, jossa laskettiin yleiskarttarasterin eri komponenttien pinta-alat kullakin vyöhykkeellä. Kun vierekkäisten vyöhykkeiden rajojen digitointivirheet kumoavat toisiaan ja kun vyöhykkeiden yhteenlaskettu metsämaan ala ei poikennut tiedossa olleesta kunnan metsämaan alasta, kokonaistuloksissa ei pitäisi olla merkittäviä systemaattisia virheitä.

Laskenta-aineiston metsämaan alasta nuoria kasvatusmetsiä oli vajaa kolmannes ja uudistuskypsiä metsiä vajaa neljännes (kuva 6). Laskenta-aineisto koostui pääosin tuoreista (3) tai kuivahkoista (4) kankaista tai vastaavista soista (taulukko 3). Sisimmällä vyöhykkeellä rehevien maiden ja uudistuskypsi metsien osuus oli suurempi kuin uloimmalla vyöhykkeellä. Esimerkkilaskelmissa käytetyt mallit ja laskentaparametrit on esitetty luvussa 2.4. Parametrioletuksista poikettiin vain tarkasteltaessa metsätraktorin kuormatilan koon vaikutusta

Taulukko 3. Laskenta-aineiston metsämaan pinta-ala ravinteisuusluokittain eri kaukukuljetusmatkavyöhykkeillä (ravinteisuusluokat käsittävät kangasmaiden lisäksi myös vastaavan tasoiset suot).

Ravinteisuusluokka	Pinta-ala, ha		
	Vyöhyke 0–9 km	Vyöhyke 10–19 km	Vyöhyke 20–29 km
1 (Lehdot)	18 (0,4 %)	18 (0,2 %)	-
2 (Lehtomaiset kankaat)	604 (12,5 %)	761 (9,4 %)	185 (9,9 %)
3 (Tuoreet kankaat)	2320 (48,1 %)	3424 (42,4 %)	639 (34,3 %)
4 (Kuivahkot kankaat)	1711 (35,5 %)	3431 (42,5 %)	954 (51,1 %)
5 (Kuivat kankaat)	174 (3,6 %)	443 (5,5 %)	88 (4,7 %)
6 (Karukkokankaat)	-	3 (0,0 %)	-
Yhteensä	4826	8080	1867



Kuva 6. Laskenta-aineiston kehitysluokkajakauma eri kaukokuljetusmatkavyöhykkeillä.

tuloksiin. Tulosten yleistyksessä otettiin ensiharvennumänniköiden osalta huomioon vain toteutumattomien hakkuiden osuus (30 %). Päätehakkuiden osalta toteutumattomien hakkuiden (10 %) lisäksi käytettiin alikasvoksista (2 %), luontoarvojen huomioon ottamisesta (1 %), kulutuksesta (1 %) ja erittäin vaikeasta maastosta (1 %) johtuvia vähennystekijöitä.

Esimerkkikunnan vuotuiseksi päätehakkuaalaksi saatiin 710 ha, josta kuusivaltaisten kohteiden osuus oli 52 % ja mäntyvaltaisten 43 %. Päätehakkuiden hakkuutähteen kokonaispotentiaali ilman mitään rajoituksia ja vähennystekijöitä oli 54 000 m³/v, josta kuusivaltaisten kohteiden osuus oli 63 %. Teknisesti korjattavissa olevan potentiaalin (talteen-saantiprosenttina 65 %) tarkastelussa hakkuutähteen vähimmäiskertymärajoitteeksi asetettiin 35 m³/ha, mikä vähensi potentiaalia lähinnä mäntyvaltaisten kohteiden osalta. Tällöin hakkuutähdekertymä oli keskimäärin 57 m³/ha (mäntyvaltaiset 49 m³/ha, kuusivaltaiset 61 m³/ha), kuviokoko 1,5 ha, metsäkuljetusmatka 221 m ja kustannukset käyttöpaikalla 41 mk/MWh.

Yleistetty ja vähennystekijöillä korjattu tekninen

Taulukko 4. Tekninen hakkuutähdepotentiaali eri kustannustasoilla pääpuulajeittain.

Kustannukset käyttöpaikalla, mk/MWh	Pinta-ala, ha/v	Hakkuutähdekertymä, m ³ /v
Mäntyvaltaiset kohteet		
35–39	21 (4,7 %)	1129 (4,3 %)
40–44	109 (24,2 %)	5528 (21,2 %)
45–49	14 (3,2 %)	607 (2,3 %)
Yhteensä	145 (32,0 %)	7264 (27,8 %)
Kuusivaltaiset		
35–39	93 (20,5 %)	6134 (23,5 %)
40–44	198 (43,7 %)	11814 (45,2 %)
45–49	17 (3,8 %)	911 (3,5 %)
Yhteensä	308 (67,0 %)	18859 (72,2 %)
Kaikki yhteensä	452 (100 %)	26123 (100 %)

Laskentaparametrit:
 kertymäminimi 35 m³/ha, talteen-saantikerroin 0,65, metsätraktorin kuormakoko 8 m³, metsätraktorin käyttötuntikustannukset 300 mk/h, haketus-kustannukset 34 mk/m³, yleiskustannukset 7,5 mk/m³, vähennyskerroin 0,86

Taulukko 5. Päätehakkuiden hakkuutähdekertymät kustannusluokittain eri kokoisilla metsätraktorin kuormatiloilla (k).

Kustannukset käyttöpaikalla, mk/MWh	Hakkuutähdekertymä, m ³ /v (k = 5 m ³)	Hakkuutähdekertymä, m ³ /v (k = 8 m ³)	Hakkuutähdekertymä, m ³ /v (k = 11 m ³)
35–39	3140 (12 %)	7263 (28 %)	11538 (44 %)
40–44	14691 (56 %)	17342 (66 %)	14226 (54 %)
45–49	7243 (28 %)	1518 (6 %)	360 (1 %)
50–54	1049 (4 %)	-	-
Yhteensä	26123	26123	26123

Laskentaparametrit:

kertymäminimi 35 m³/ha, talteensaantikerroin 0,65, metsätraktorin kuormakoko 8 m³, metsätraktorin käyttötuntikustannukset 300 mk/h, haketuskuustannukset 34 mk/m³, yleiskustannukset 7,5 mk/m³, vähennyskerroin 0,86

Taulukko 6. Nuoren metsän kunnostuskohteiden pinta-alat ja kertymät laskenta-aineistossa eri kaukokuljetusmatkavyöhykkeillä.

	Pinta-ala, ha/v	Ainespuukertymä, m ³ /v	Energiapuukertymä, m ³ /v
Vyöhyke 1 (0–9 km)	15,3	419	325
Vyöhyke 1 (10–19 km)	10,1	281	245
Vyöhyke 3 (20–29 km)	0,9	18	19

hakkuutähdepotentiaali oli 26 000 m³/v, josta 72 % oli peräisin kuusivaltaisista kohteista ja josta lähes kaikki oli taloudellisesti korjattavissa (taulukko 4). Teknisestä potentiaalista 8 % oli peräisin kuivahkoilta, 72 % tuoreilta ja 20 % lehtomaisilta kankailta (tai vastaavilta soilta). Talvikorjuuta vaativien kohteiden osuus (7–23%) kasvoi kustannusten noustessa. Metsätraktorin kuormatilan koko oli merkittävä kustannuksiin vaikuttava tekijä (taulukko 5). Taloudellisesti (kustannukset alle 45 mk/MWh) korjattavissa oleva vuotuinen hakkuutähdekertymä olikin pienellä kuormakoolla (5 m³) vain 18 000 m³. Käytettäessä 11 m³:n kuormakokoa jopa 44 % teknisestä hakkuutähdepotentiaalista saadaan alle 40 mk/MWh kustannuksilla.

Kunnan vuotuisesta ensiharvennusosalasta (1291 ha) noin 80 % oli mäntyvaltaisia. Ravinnetaloudellisista syistä ensiharvennusköiden integ-

roidun korjuun tarkastelu rajattiin kuivia kankaita rehevimmille (ravinteisuusluokka 5) maille ja koh-teisiin, joissa männyn kertymäosuus oli vähintään 90 %. Vuotuinen energiapuupotentiaali integroidulla korjuulla oli noin 3600 m³. Keskimääräinen ainespuukertymä oli 30 m³/ha, energiapuukertymä 8 m³/ha ja kustannus käyttöpaikalla 30 mk/MWh. Noin 42 % kertymästä on korjattavissa alle 30 mk/MWh kokonaiskustannuksilla. Kuivahkoilta kankailta ja vastaavilta soilta kertyi runsaat 80 % koko potentiaalista, loput tuoreilta kankailta. Noin puolet kohteista sijaitsi alle 200 m etäisyydellä lähimmästä tiestä.

Nuoren metsän kunnostuskohteiden keskimääräinen ainespuukertymä oli 25 m³/ha ja energiapuukertymä 22 m³/ha. Erityisominaisuuskoodeja oli käytetty varsin vähän uloimmilla vyöhykkeillä, joten päätelmät pitää tehdä vain sisimmän vyöhykkeen tuloksiin nojautuen (taulukko 6). Niiden perusteella saadaan koko kunnan vuotuiseksi nuoren metsän kunnostusosalaksi noin 220 ha (17 % ensiharvennusosalasta) ja energiapuukertymäksi 4800 m³. Noin puolet nuoren metsän kunnostuskohteista on alle 200 m:n metsäkuljetusmatkan kohteita.

Laskenta-aineiston yhteenvetotietoja ja yleistettyjä yhteenvetotuloksia verrattiin Metsäkeskuksen laskemaan alueellisten suunnitelmien yhdistelmään (kattoi 61 % kunnan metsämaan alasta). Laskenta-aineisto (22 % esimerkkikunnan metsämaan alasta) osoittautui varsin edustavaksi ja tulokset realistisiksi.

4 Tarkastelu

Tässä tutkimuksessa esitetty alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmä on tarkoitettu energiapuun hankinnan ja energialaitosinvestointien suunnittelun tukemiseen. Menetelmällä saadaan monipuolista tietoa energiapuuvaroista ja voidaan tarkastella kustannus- ym. rajoitteiden vaikutuksia energiapuukertymiin. Korjattavissa olevat energiapuukertymät yleistetään koko tarkastelualueelle ottaen huomioon määritellyt vähennystekijät (esim. myyntihalukkuus ja hakkuiden toteutumishistoria hakkuumahdollisuuksiin nähden). Tutkimuksessa esitettiin sovellus ja esimerkianalyysi päätehakkuiden hakkuutähdekohteiden, ensiharvennusmänniköiden integroidun korjuun ja osittain (ilman kustannusanalyysii) myös nuoren metsän kunnostuskohteiden osalta. Nuoren metsän kunnostusten hakkuukustannusten laskeminen ei ole suunnitelmätietojen pohjalta luotettavaa, mutta energiapuutietokannasta voidaan poimia esimerkiksi lähellä tietä sijaitsevat nuoren metsän kunnostuskohteet energiapuun hankinnan edistämistä varten.

Tulosten luotettavuus riippuu laskenta-aineiston edustavuudesta ja käytettävien kertymä- ja kustannusmallien realistisuudesta. Vyöhykkeittäin määritettyjen yleistyskertoimien virheet kumoavat toisiaan. Analysoitaessa kunnittaisia energiapuuvaroja vyöhykkeiden metsämaan alojen summaa voidaan verrata olemassa oleviin kunnan tilastoihin, joten kokonaistuloksiin ei pitäisi tulla merkittäviä systemaattisia virheitä. Jos tarkastelualue maantieteellisesti on selvästi jakautunut (esimerkiksi karuun pohjoiseen ja rehevään etelään), on vyöhykkeet jaettava vastaaviin osiin. Kunnittaisen analyysin tapauksissa joillakin alueilla lähin olemassa tai suunnitteilla oleva lämpölaite onkin naapurikunnan puolella. Tällöin analyysi on syytä tehdä hankinta-aluekohtaisesti välittämättä kuntarajoista tai kunnittain ottamalla lähimmän käyttöpaikan sijainti huomioon vyöhykkeitä ja kaukokuljetusmatkoja määrittäessä. Laskenta-aineiston edustavuuden ja lopputulosten realistisuuden arviointiin voidaan käyttää yksityismetsien alueellisten suunnitelmien yhdistelmiä (ASY).

Metsäkuljetusmatkojen laskennan luotettavuus on riittävä, vaikka yksittäisillä kuvioilla voi tulla vir-

heitä todellisuuteen verrattuna. Todellisuudessa maasto-olosuhteet, varastopaikkojen sijainnit ja metsäautoteiden sekä korjuuajankohta vaikuttavat metsäkuljetusmatkaan. Rakennettavien metsäautoiteiden vaikutuksia ei myöskään voida ennakoida laskennassa.

Esimerkianalyysin mukaan kunnan päätehakkuiden hakkuutähteen vuotuinen kokonaismäärä oli $54\,000\text{ m}^3$ eli $0,75\text{ m}^3$ metsämaan hehtaaria kohti. Teknisesti ja taloudellisesti realistisesti korjattavaa päätehakkuiden hakkuutähdettä kertyi esimerkkikunnassa vuosittain noin $25\,000\text{ m}^3$. Keskimäärin päätehakkuiden hakkuutähteen kustannus käyttöpaikalla oli 41 mk/MWh , ja lähes kaikilla kohteilla kustannukset olivat alle 45 mk/MWh . Metsätraktorin kuormakoon ollessa vain 5 m^3 , kannattamattomien (kustannukset yli 45 mk/MWh) kohteiden osuus nousi 32% :iin. Ensiharvennusmänniköiden energiapuukertymä integroidulla korjuulla oli noin $3\,600\text{ m}^3/\text{v}$ ja kustannukset varsin alhaiset (keskimäärin 30 mk/MWh). Integroidun korjuun kustannusten jako ainespuun ja energiapuun välille on ongelmallista. Tässä energiapuun oletettiin saatavan sivutuotteena tien varteen, joten kustannuksia syntyi vain murskauksesta, kaukokuljetuksesta ja yleiskuluista. Käytännössä integroidun korjuun energiapuuta ei kuitenkaan myytäisi energialaitoksille alihintaan, vaan myyntivoitolla katettaisiin ainespuun hankinnan tavaralajimenetelmää kalliimpia kustannuksia. Nuoren metsän kunnostuskohteiden tulosten yleistämisessä on oltava varovainen, sillä tulokset riippuvat paljolti käytettävissä olevan tietoa-aineiston laadusta. Uusimmissa metsäsuunnitelmissa energiapuumäärien arviointi lienee ollut aiempaa systemaattisempaa. Laskelmissa ensiharvennusmänniköiden integroidun korjuun kohde on voinut olla samalla myös nuoren metsän kunnostuskohdeena. Tulokset eivät ole kuitenkaan toisiaan pois sulkevia, sillä integroidun korjuun energiapuukertymään ei lasketa nuoren metsän kunnostuksen energiapuuta.

Mikkelin ympäristön metsähakkeen raaka-aineselvityksen mukaan päätehakkuiden vuosittainen tähdekertymä oli jopa $0,61\text{ m}^3$ metsämaan hehtaaria kohti keskimääräisen hehtaarikertymän ollessa 50 m^3 (Saksa ja Tuovinen 1994). Selvitys perustui metsälautakunnan aluesuunnitelmätietoihin, mutta siinä ei tarkasteltu kustannusten vaikutuksia. Tässä

esimerkkilaskelmassa metsämaan hehtaaria kohti saatua kokonaispotentiaalia ($0,75 \text{ m}^3$) ei voi suoraan verrata Saksan ja Tuovisen (1994) tulokseen, mutta ottaen huomioon hieman erilaiset laskentaperusteet tuloksia voidaan pitää varsin yhdenmukaisina. Esimerkkilaskelmassa päätehakkuutähteen teknisen potentiaalin keskimääräiset kustannukset käyttöpaikalla olivat vain 41 mk/MWh, mikä on huomattavasti vähemmän kuin käytännössä esimerkiksi Mikkelin seudulla (Saksa ja Auvinen 1996). Ero selittyy lähinnä haketus-kustannusten ja lämpöarvo-oletusten eroilla sekä Mikkelin seudun pidemmillä kaukokuljetusmatkoilla.

Alueellisten energiapuuvarojen analysointimenetelmän soveltaminen käytännön tilanteisiin on joustavaa ja nopeaa. Erityisosaamista tarvitaan vain paikkatietoanalyysin osalta. Käytännössä ongelmallisinta lieneekin edustavan aineiston valinta. Varsin luotettaviin tuloksiin päästään myös vaikka kaukokuljetusmatkavyöhykkeitä ei määritettäisi lainkaan, kunhan aineistoa on edustavasti eri puolilta kohdealuetta ja eri etäisyyksiltä käyttöpaikasta. Esimerkkikunnan aineistolla testattiin myös yleistämistä suoraan koko kunnan metsämaan alalle käyttämällä yhteistä yleistyskerrointa. Tulokset eivät poikenneet merkittävästi vyöhykkeittäin yleistetyistä tuloksista.

Jatkossa kehitystyötä pitää suunnata menetelmän soveltamiseen eri tilanteisiin. Kehityskohteita ovat mm. ensiharvennuksista saatavan energiapuun analysointi, eri korjuumenetelmien tarkastelu ja energiapuutietokannan hyödyntäminen hankintatoiminnassa (esim. energiapuupörssi). Kiinnostuksen kohteena voi olla myöskin menetelmän soveltaminen muiden puutavaralajien saatavuuden analysointiin.

Kirjallisuus

- Ahonen, A., Leiviskä, V. & Kiukaanniemi, E. 1994. Pohjois-Suomen kunnallisten lämpölaitosten metsähakkeen käytön aluetaloudelliset vaikutukset ja yhteiskunnallinen kannattavuus. Oulun yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos, Tiedonantoja 1994:99. 54 s.
- Bioenergian tutkimusohjelma. Julkaisuja 6, osa I. Puupolttoaineiden tuotanto. VTT Energia. Jyväskylä 1995.

- Hakkila, P. 1991. Hakkuupoistuman latvusmassa. Folia Forestalia 773. 24 s.
- & Kalaja, H. 1993. Ketjukarsinta ensiharvennumännikön korjuuratkaisuna. Folia Forestalia 803. 31 p.
- Imponen, V. 1993. Pienpuun hankinta; kustannukset ja kannattavuus. Esitelmä Sytyttääkö-seminaarissa Joensuussa 24.9.1993. 9 s.
- Keskimölo, A. 1994. Puuenergian hankinta ja käyttö lapissa. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 522.
- Kärhä, K. 1994. Hakkuutähteen talteenotto osana puunkorjuun kokonaisurakointia. Metsäteknologian syventävien opintojen tutkielma. Joensuun yliopisto, metsätieteellinen tiedekunta. 46 s.
- Mielikäinen, K., Hirvelä, H., Härkönen, K. & Malinen, J. 1995. Energiapuu osana metsänkasvatusta Keski-Pohjanmaalla. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 556.
- Paajala, J. & Kiukaanniemi, E. 1994. Biopolttoaineiden hintarakenne ja biopolttoainevarat ja varojen sekä käytön tasapaino Pohjois-Suomessa. Oulun yliopisto, Pohjois-Suomen tutkimuslaitos, Tiedonantoja 1994: 97. 39 s.
- Saksa, T. 1994. Etelä-Savon energiapuuprojekti. Esitelmä Bioenergia '94 -seminaarissa 1.11.1994. 6 s.
- & Tuovinen, J. 1994. Metsähakkeen raaka-ainevarat Mikkelin seudulla. Helsingin yliopisto, Maaseudun tutkimus- ja koulutuskeskus, Julkaisuja 35. 19 s.
- & Auvinen, P. 1996. Puuhakkeen hankinta- ja tutkimusprojekti Mikkelin seudulla. Bioenergian tutkimusohjelma, Julkaisuja 11: 265–274.

12 viitettä