

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalouden koulutusohjelma

Antti Perho

NUOREN METSÄN ENERGIAPUUHARVENNUSTEN MENETELMÄT JA
KANNATTAVUUS

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

KYMENLAAKSON AMMATTIKORKEAKOULU

Metsätalous

PERHO, ANTTI Nuoren metsän energiapuuharvennusten menetelmät ja kannattavuus

Opinnäytetyö 76 sivua + 2 liitesivua

Työn ohjaaja MMM Jyri Mulari

Toimeksiantaja Stora Enso Metsä, Teemu Manninen

Tammikuu 2010

Avainsanat nuoret metsät, energiapuu, metsähake, joukkokäsittely, näkemäraivaus, tuottavuus, kustannukset, kannattavuus, kestävän metsätalouden rahoituslaki

Opinnäytetyössä on tutkittu nuoren metsän energiapuuharvennuksia. Työ koostuu osatutkimuksista, joita ovat ennen hakkuuta tehtävän näkemäraivauksen työpäiväkohtainen tuottavuus- ja hehtaarikohtainen kustannusselvitys, energiapuun korjuukustannusten selvitys ja kustannuksiin vaikuttavat tekijät sekä energiapuuharvennusten kannattavuustarkastelu. Tutkimuksen aineisto kerättiin 12 energiapuuharvennuskuvioilta. Kuvioiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 9,5 hehtaaria. Opinnäytetyön tuloksia voidaan jatkossa hyödyntää energiapuunhankinnassa. Tuloksia tarkasteltaessa sekä yleistyksiä tehtäessä tulee kuitenkin huomioida aineiston suppeus sekä leimikkokohtaiset eroavaisuudet.

Näkemäraivauksen työpäiväkohtainen tuottavuus oli raivatuilla kuvioilla keskimäärin 1,29 hehtaaria ja raivaustyön hehtaarikustannus keskimäärin 201 €. Näkemäraivauksella voidaan alentaa merkittävästi korjuukustannuksia. Menetelmä soveltuu erityisesti joukkokäsittelynä tehtäville energiapuuharvennuksille, joiden tuottavuutta se parantaa.

Energiapuun korjuukustannukset olivat keskimäärin 19,24 €/m³. Hakkuun tuottavuus vaikutti keskeisesti korjuukustannuksiin. Tutkimusleimikoiden hakkuu joukkokäsittelyyn kykenevällä hakkuulaitteella oli tehokasta. Hakkuun tuottavuus oli keskimäärin 5,42 m³/h. Tuottavuus aleni, kun runkolukupoistuma kasvoi ja hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus aleni.

Energiapuun tuotantokustannukset ilman KEMERA-tukea olivat keskimäärin 39,24 €/m³. KEMERA-tuki ja tämän seurauksena kohonnut kantohintataso huomioiden, energiapuun tuotantokustannukset olivat keskimäärin 28,74 €/m³. Tuen vaikutus tuotantokustannuksiin on merkittävä, keskimäärin tuen suuruus oli 14 €/m³. Energiapuuharvennusten kannattavuuteen vaikuttavat keskeisesti voimalaitosten maksukyky energiapuusta, KEMERA -kelpoisuus, tuntityönä tehtävän hakkuun tuottavuus sekä näkemäraivaus.

SISÄLLYS

SANASTO	6
1 JOHDANTO	9
1.1. Tausta	9
1.2. Opinnäytetyön tavoitteet	10
2 NUORET METSÄT JA ENERGIAPUUN KORJUU	10
2.1. Nuoret metsät	10
2.2. Energiapuu	11
2.3. Metsähake ja haketusmenetelmät	12
2.4. Metsähakkeen käytön kehitys Suomessa	14
2.5. Metsähakkeen tuotannon tukeminen ja tuen edellytykset	14
2.6. Metsähakkeen tuotannon tuet	16
2.7. Metsähakkeen käyttötavoitteet Suomessa	17
2.8. Päästökauppa	17
3 STORA ENSON METSÄENERGIAN HANKINTA	19
3.1. Yleistä	19
3.2. Ohjeistus nuorten energiapuuharvennusten ostoon yksityismetsissä	19
4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS	20
4.1. Tutkimuksen tavoite	20
4.2. Tutkimusongelmat	20
4.3. Tutkimusmenetelmät	21
5 AINEISTON KERUU JA KÄSITTELY	22
5.1. Yleistä	22
5.2. Kuviotietojen inventointi	23
5.3. Näkemäraivauksen kustannukset ja tuotos	24
5.4. Hakkuu ja metsäkuljetus	25
5.5. Kustannukset	28
5.6. Kannattavuus	28

6 TULOKSET	29
6.1. Leimikkotiedot	29
6.2. Näkemäraivauksen kustannukset ja päivätuotos	33
6.3. Hakkuu ja metsäkuljetus	34
6.4. Kustannukset	39
6.5. Kannattavuus	46
7 TULOSTEN TARKASTELU	51
7.1. Leimikkotiedot	51
7.2. Näkemäraivauksen kustannukset ja päivätuotos	54
7.3. Hakkuu ja metsäkuljetus	58
7.4. Kustannukset	63
7.5. Kannattavuus	68
8 PÄÄTELMÄT	70
LÄHTEET	73
LIITTEET	
Liite 1. Yhteenvetotaulukko tutkimusleimikoiden hakkuusta käsittelytavoittain	
Liite 2. Yhteenvetotaulukko joukkokäsittelystä	

SANASTO

Energiapuu: Energiapuulla tarkoitetaan latvusmassaa, harvennusenergiapuuta, tyveysiä / lumppeja sekä kantopuuta (Tapio 2008, 23).

Harvennusenergiapuu: Harvennusenergiapuuksi katsotaan energiapuu, joka on korjattu energiapuuharvennukselta tai harvennushakkuulta. Korjuu voidaan suorittaa kokopuun korjuuna tai rankapuun korjuuna. (Tapio 2008, 23.)

Joukkokäsittely: Hakkuulaitteen lisäominaisuus, jonka avulla voidaan hakkuussa käsitellä useampaa puuta yhtä aikaa. Käytetään usein energiapuun korjuussa.

KEMERA: Kestävän metsätalouden rahoituslaki, jonka mukaisesti voidaan rahoittaa metsien kestävää hoitoa sekä kestävää käyttöä edistäviä toimenpiteitä (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäkeskus Pirkanmaa 2002).

Kokopuu: Kokopuulla tarkoitetaan karsimatonta runkoa tai rungonosia (Tapio 2008, 23). Pienpuu korjataan usein talteen kokopuuna, joten oksat kasvattavat energiapuu-kertymää.

Kuormainvaaka: Energiapuun massan mittauksessa käytetään metsätraktorin tai puutavara-auton kuormaimen tai muihin rakenteisiin asennettua vaakaa tai erillistä vaakalaitetta. Kyseinen mittausmenetelmä soveltuu käytettäväksi harvennusenergiapuun, latvusmassan ja kantojen työ- ja luovutusmittauksessa. Tarvittaessa mittauseren tuoremassa muutetaan kiintotilavuudeksi tavaralajikohtaisia muuntolukuja apuna käyttäen. (Tapio 2008, 6.)

Käyttöaika: Tarkoittaa aikaa, joka välittömästi tai välillisesti kuluu työn suorittamiseen työmaalla sekä sisältää tehoajan lisäksi alle 15 minuutin keskeytykset (Metsäteho 1994).

Metsähake: Metsähake on yleisnimitys hakkeelle, jonka raaka-aine on korjattu metsistä.

MWh: Energian yksikkö. Megawattitunti on energian määrä, joka kuluu tuotettaessa megawatin tehoa tunnin ajan. Tässä opinnäytetyössä on käytetty oletuksena, että yksi energiapuu- m^3 vastaa energiasisällöltään kahta MWh energiaa.

Nuori kasvatusmetsikkö – 02: Metsikkö on keskiläpimitaltaan rinnankorkeudelta enintään 16 cm ja vähintään 8 cm. Havupuiden valtapituus on yli 7 m ja koivujen yli 9 m. Keski-ikänsä nuori kasvatusmetsikkö on yli 0,4 ja alle 0,8 kertaa vastaavan kasvu-paikan suositeltu kiertoaika. (Tapio 2006, 85.)

Näkemäraivaus: Ennen hakkuuta metsurityönä tehtävä hakkuualan raivaus, jonka tarkoituksena on koneellisen hakkuutyön nopeuttaminen. Näkemäraivauksessa poistetaan hakkuualalta 1–4 metriset alikasvoskuuset, yksittäin kasvavat alle 4 cm läpimitaltaan olevat lehtipuut, alle puolen metrin säteellä jätettävistä puista kasvavat rungot sekä lumen takia luokille taipuneet lehtipuut. Soveltuu käytettäväksi energiapuukohteilla sekä erityisesti kohteilla, jotka korjataan puuston joukkokäsittelyyn kykenevällä hakkuukoneella.

Ranka: Karsittua energiapuuta. Rangasta tehty hake soveltuu poltettavaksi myös pienissä kattiloissa.

Teho aika: Tarkoittaa aikaa, joka kuluu suoraan työn suorittamiseen. Tehoaika ei sisällä ollenkaan työn keskeytyksiä. (Metsäteho 1994.)

Varttunut kasvatusmetsikkö - 03: Metsikkö, joka on keskiläpimitaltaan rinnankorkeudelta yli 16 cm, mutta ei täytä suositeltua uudistamiselle asetettua keskiläpimittaa (Tapio 2006, 85).

Varttunut taimikko - T2: Taimikko, joka on keskipituudeltaan yli 1,3 m jonka runkoluku ylittää uusimistiheyden. Varttunut taimikko on keskiläpimitaltaan rinnankorkeudelta alle 8 cm tai valtapituudeltaan puulajin mukaan 7–9 m. (Tapio 2006, 85.)

Ylispuustoinen taimikko - Y1: Metsikkö on kaksijaksainen, eli siinä on kasvatuskel-poinen taimikko sekä siemen-, suojus- tai verhopuustoa. Taimikon keskiläpimitta on

alle 8 cm tai valtapituus puulajeittain 7–9 m. Verhopuuston keskipituus on usein kaksi kertaa taimikon pituus. (Tapio 2006, 85.)

1 JOHDANTO

1.1. Tausta

Suomi kuuluu EU-maiden kärkijoukkoon uusiutuvan energian käytössä. Uusiutuvaa energiaa ovat aurinko-, tuuli-, vesi- ja bioenergia, maalämpö sekä aalloista ja vuoroveden liikkeistä saatava energia. Vuonna 2007 uusiutuvan energian osuus kokonaiskulutuksesta oli 25 prosenttia. Uusiutuvan energian käyttöön Suomessa vaikuttavat maamme omat energia- ja ilmastopoliittiset linjaukset sekä EU:ssa tehdyt päätökset ja direktiivit, muun muassa päästökauppadirektiivi, joka tähtää kasvihuonepäästöjen vähentämiseen. (Motiva 2009.) Valtioneuvoston 6.11.2008 hyväksymä uusi pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia käsittelee ilmasto- ja energiapoliittisia toimenpiteitä yksityiskohtaisesti vuoteen 2020 ja viitteenomaisesti vuoteen 2050 asti. Ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena on energiankulutuksen vähentäminen ja uusiutuvien energian lähteiden käytön voimakas kasvattaminen. Muuten Euroopan komission Suomelle ehdottamat päästöjen vähentämistavoitteet ja energian käytön tehostamistavoitteet jäisivät toteutumatta. Ilmasto- ja energiastrategian tavoitteena on uusiutuvan energian käytön osuuden nostaminen 38 prosenttiin kokonaiskulutuksesta vuoteen 2020 mennessä. (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009.)

Bioenergian osuus Suomessa käytettävästä uusiutuvasta energiasta on huomattava. Vuonna 2007 uusiutuvan energian koko tuotannosta oli bioenergian osuus noin 83 prosenttia. Bioenergialla korvataan fossiilisia polttoaineita ja voidaan vähentää haitallisia kasvihuonekaasu- ja rikkipäästöjä ilmakehään sekä torjua ilmastonmuutosta. Bioenergiaa ovat puuperäiset polttoaineet, peltobiomassat, biokaasu ja kierrätyspolttoaineiden biohajoava osa. Puun merkitys bioenergian tuotannossa on erittäin suuri, sillä puun ja puunjalostusteollisuudessa syntyvien jäteliemien muodostama osuus on noin 97,5 prosenttia bioenergian koko tuotannosta. Bioenergian tuotannon lisäksi puu on tärkeää koko Suomen energiantuotannon kannalta. Kaikesta Suomessa käytettävästä energiasta tuotetaan noin viidennes puulla ja puupohjaisilla energialähteillä. Erityisesti energiapuun merkitys energiantuotannossa korostuu tulevaisuudessa entisestään, kun ilmasto- ja energiastrategian vuodelle 2020 asetettuja tavoitteita toteutetaan. Ilmasto- ja energiastrategian asettamien tavoitteiden mukaan metsähakkeen käytön tulisi kolminkertaistua nykytasosta vuoteen 2020 mennessä. (Motiva 2009.)

1.2. Opinnäytetyön tavoitteet

Tutkimukseni sai alkunsa suorittaessani opintoihin kuuluvaa harjoittelua Stora Enso Metsällä Orimattilan hankintatoimistolla kesällä 2009. Aloittaessani harjoittelun ainespuun hakkuut olivat käytännössä katsoen täysin pysähdyksissä. Energiapuulla sen sijaan oli kysyntää, ja sen korjuuta oltiin aloittelemassa harjoittelupaikkani hankinta-alueella. Energiapuunhankinta on vielä melko tuore toimialue Stora Enso Metsälle, ja sen vuoksi he halusivat selvityksen avulla lisätietoa energiapuuharvennuskohteiden korjuusta, kustannusrakenteesta sekä kannattavuudesta.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin energiapuuharvennusten kustannusrakennetta eri vaiheissa. Orimattilan hankintatoimiston hankinta-alueen energiapuuharvennuskohteilla. Tavoitteenani oli selvitettyjen kustannusten avulla ja käytetyillä voimalaitoshinnoilla määrittää energiapuuharvennusten kannattavuus erilaisilla tutkimuskohteilla ja näin saada selville kannattavien energiapuukohteiden tunnusmerkkejä. Opinnäytetyöni pyrkimyksenä oli lisäksi selvittää ennen energiapuuharvennusta tehtävän näkemäraivauksen työpäiväkohtaista tuotosta ja hehtaarikohtaista kustannusta sekä kerätä lisätietoa joukkokäsittelymenetelmän käytöstä energiapuun korjuussa.

2 NUORET METSÄT JA ENERGIAPUUN KORJUU

2.1. Nuoret metsät

Suomen metsien puuston vuosittainen kasvu on noussut lähes 100 miljoonaan kuorelliseen kuutiometriin. Vuosittaisesta puuston kokonaiskasvusta 96,3 miljoonaa kuutiometriä sijoittuu puuntuotannon maalle. Vuonna 2007 ennätyksellisten markkinahakkuiden ansiosta puuston poistuma nousi korkeammalle kuin koskaan aiemmin, 72,9 miljoonaan kuutiometriin. Ennätyksellisistä hakkuista huolimatta oli poistuma neljänneksen puuntuotantoon käytettävissä olevien metsien kasvua pienempi. (Metla 2008, 38.)

Suomessa on nuoria kasvatusmetsiä 7 166 000 hehtaaria ja varttuneita taimikoita 2 441 000 hehtaaria (Metla 2008, 63). Metla on ehdottanut seuraavalle kymmenvuotiskaudelle ensiharvennuksia tehtäväksi kaikkiaan 3 238 000 hehtaarin alalle. Tämä

tarkoittaa vuositasolla noin 323 800 hehtaaria. (Metla 2008, 67.) Vuonna 2007 tehtyjen ensiharvennusten yhteispinta-ala oli 206 000 hehtaaria. Ensiharvennusten pinta-ala kohosi yksityismetsissä seitsemän prosenttia edellisvuoteen verrattuna. (Metla 2008, 113.) Tuntuva kasvusta huolimatta jäätin Metlan ehdottamasta vuosittaisesta ensiharvennuspinta-alasta selvästi. Tämä tarkoittaa vuositasolla noin 115 000 hehtaarin ensiharvennusrästä.

Valtakunnan metsien 10. inventoinnin (VMI10) vuosina 2004–2006 kerättyjen mittausaineistojen perusteella taimikoiden perkaus ja harvennustarve olisi seuraavan kymmenen vuoden aikana koko maassa 2,5 miljoonaa hehtaaria. Tästä ajoittuu ensimmäisen viiden vuoden jaksolle 1,7 miljoonaa hehtaaria eli kaksi kolmasosaa. Tämä tarkoittaa vuositasolla 350 000 hehtaaria. Tästä 1,7 miljoonasta hehtaaria oli 680 000 hehtaaria taimikonhoito myöhässä, kun inventointia suoritettiin. Vuonna 2007 taimikoita hoidettiin 162 000 hehtaaria ja nuoria metsiä kunnostettiin 86 000 hehtaaria. Arvioidusta taimikonhoitotarpeesta saatiin suoritettua 70 prosenttia. Tämä tarkoittaa, että taimikonhoitorästit ovat vuosittain noin 70 000 hehtaaria. (Metla 2008, 113.)

Taimikoiden ja nuorten metsien hoitorästien kasvu tulisi saada pysähtymään, jotta kasvultaan taantuneiden ja laadultaan heikentyneiden metsiköiden pinta-ala ei lisääntyisi. Lisääntynyt energiapuun kysyntä ja metsäpolttoaineiden hinnan suotuinen kehitys ovat lisänneet energiapuunkorjuuta. Energiapuunkorjuusta on selvästi tullut mahdollisuus, jolla voidaan hillitä hoitorästien kasvua. Energiapuunkorjuun ympäristövaikutukset -tutkimusraportin mukaan metsähakkeen korjuupotentiaalista on hyödynnetty energia- ja lämpölaitoksissa noin viidennes. Huomion arvoista on, että kyseisen tutkimusraportin mukaan nuorten metsien energiapuupotentiaalista vain kymmenesosa hyödynnetään energia- ja lämpölaitoksissa. (Laitila, J., Asikainen, A. & Anttila, P. 2008, 10.)

2.2. Energiapuu

Energiapuu korjataan nuoren metsän kunnostuskohteilta, taimikoista, ensiharvennuskohdeilta sekä päätehakkuualoilta. Päätehakkuun yhteydessä kerättävä energiapuu muodostuu hakkuutähteestä ja kannoista. Nuoren metsän kunnostuskohteilta, taimikoista ja ensiharvennuskohdeilta voidaan energiapuu korjata karsittuna rankana tai

kokopuuna. (Motiva 2009.) Energiapuuharvennuksilta koneellisesti korjattava energiapuu on pääosin kokopuuta. Oksineen korjattu energiapuu paisuttaa hakkuun kertymää. Erityisesti energiakäyttöön korjattava pienpuu on järkevintä korjata kokopuuna, jolloin korjuutyön tuottavuus paranee ja korjuukustannukset alenevat. Energiapuuta on mahdollista korjata erikseen tai yhdistämällä se ainespuun korjuun kanssa. Erillis-korjuussa kohteelta talteen otettava puu on ainoastaan energiapuuta. Aines- ja energiapuun yhdistetyssä eli integroidussa korjuussa korjataan puutavaralajit yhtäaikaaisesti. Kyseisessä korjuussa aines- ja energiapuu eritellään jo hakkuuvaiheessa omiin kassoihinsa metsäkuljetusta varten. (Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Siren, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.T. 2005, 8.)

2.3. Metsähake ja haketusmenetelmät

Metsähake on yleisnimitys hakkeelle, jonka raaka-aine on korjattu metsistä. Raaka-aineena metsähakkeen valmistuksessa voidaan käyttää kokopuuta, karsittua runkopuuta ja hakkuutähdettä. Hakkuutähteellä tarkoitetaan latvumassaa ja oksia. Metsähakkeeksi voidaan lukea myös kannoista murskaimella tehty murska. (Metsäkeskus 2009.)

Energiapuu voidaan hakettaa palstalla, välivarastolla eli tienvarsivarastolla, terminaalissa ja käyttöpaikalla. Vuonna 2008 pienpuusta noin 85 % haketettiin tienvarressa, 8 % terminaalissa ja 7 % käyttöpaikoilla. (Kärhä 2009b).

Palstahaketuksessa työ tehdään palstahakkurilla, joka voi olla metsätraktorin yhteyteen rakennettu hakkuri. Palstahaketuksen hyväksi puoleksi voidaan katsoa se, että haketus- ja metsäkuljetustyövaihe voidaan suorittaa samalla koneella ja että tienvarsivarastotilan tarve pienenee. Huonoina puolina voidaan puolestaan pitää haketuksen tehottomuutta, rajallista hakesäiliön tilavuutta sekä pitkää metsäkuljetusmatkaa. (Kärhä 2009b.)

Välivarasto- eli tienvarsihaketuksessa energiapuut kuljetetaan metsästä tienvarteen metsätraktorilla. Tienvarressa puu voidaan hakettaa käyttäen erillistä hakkuria ja hakeautoa tai integroidulla hakkuri-hakeautolla, jolloin samalla yksiköllä suoritetaan haketus tienvarsivarastolla ja metsähakkeen kaukokuljetus. Erillisten hakkurin ja hake-

auton käytön hyvinä puolina voidaan pitää niiden soveltuvuutta lähes joka korjuuoloihin sekä sitä, että menetelmä on ollut pitkään käytössä. Huonoina seikkoina on, että hakkuri ja hakeauto muodostavat toisistaan riippuvaisen ja häiriöille alttiin kuuman ketjun. Hakkurin ja hakeauton käyttö vaatii tienvarsivarastolta erityisesti tilaa. (Kärhä 2009b.)

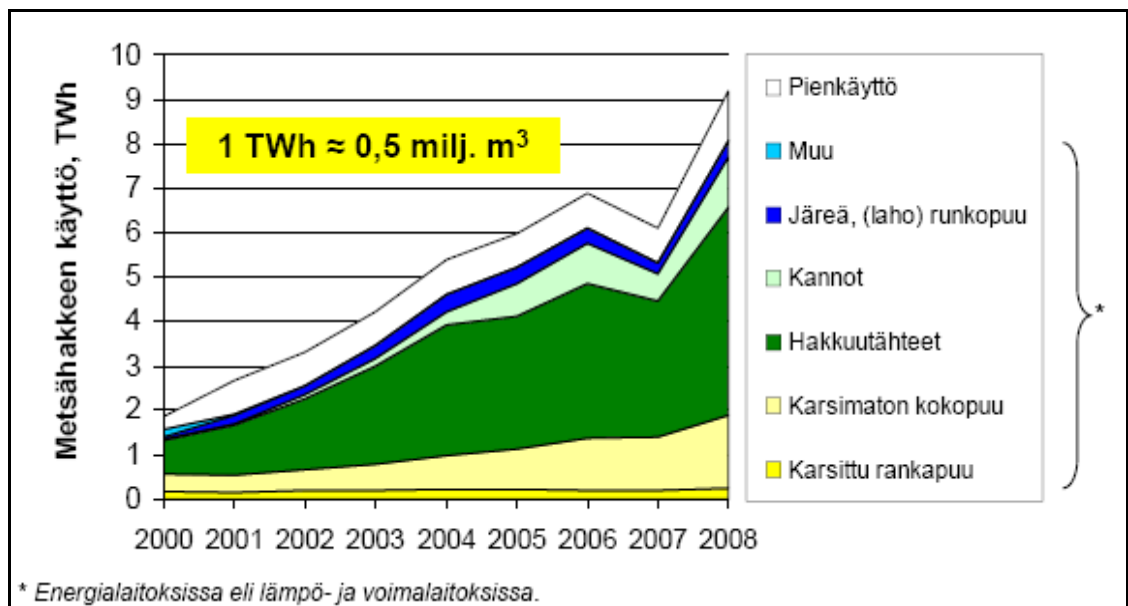
Integroidun hakkuri-hakeauton käyttö mahdollistaa sen, että haketus ja kaukokuljetus voidaan suorittaa samalla yksiköllä eikä se ole häiriöille altis kuuma ketju. Integroidun hakkuri-hakeauton käytön huonoina puolina voidaan puolestaan pitää pidempiä kaukokuljetusmatkoja ja korkeampia kaukokuljetuskustannuksia. Vuonna 2008 pienpuusta hakettiin noin 85 % tienvarressa. Tästä 82 % tuotettiin käyttäen erillistä hakkuria ja hakeautoa. Loppu 3 % tuotettiin käyttäen integroitua hakkuri-hakeautoa. (Kärhä 2009b.)

Terminaalihaketuksessa metsähakkeen raaka-aine kuljetetaan tienvarsivarastolta terminaaliin, jossa se haketetaan. Hake kuljetetaan terminaalista käyttöpaikalle kuorma-autolla, junalla tai laivalla. Terminaalihaketus parantaa hakkeen laadun hallittavuutta sekä lisää hakkeen toimitusvarmuutta. Terminaalihaketuksen yleistymistä hidastavat erityisesti korkeahkot perustamiskustannukset sekä rajalliset terminaalitoiminnoille soveltuvat paikat. Terminaalihaketuksen käyttö pienpuuhakkeen tuotantoketjuna on lisääntynyt viime vuosina selvästi. (Kärhä 2009b.)

Käyttöpaikkahaketuksessa metsähakkeen raaka-aine kuljetetaan käyttöpaikalle, jossa raaka-aine haketetaan. Metsähakkeen raaka-aine voidaan kuljettaa käyttöpaikalle joko irtotavarana tai paaleina eli risutukkeina. Irtotavarana kuljetettava raaka-aine on lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla kustannustehokas. Kaukokuljetusmatkan kasvaessa irtotavarana tapahtuvan kaukokuljetuksen kustannustehokkuus alenee nopeasti. Tämä johtuu kuormien alhaisesta energiatiheydestä. Lisäksi irtotavara vaatii käyttöpaikalla varastokenttiä. Paaleina kuljetettava metsähakkeen raaka-aine mahdollistaa tehokkaamman metsäkuljetuksen sekä edullisemmat metsäkuljetuskustannukset irtotavaraan verrattuna. Lisäksi metsähakkeen raaka-ainetta voidaan kuljettaa paaleina pitkiäkin kaukokuljetusmatkoja. Paalauksen negatiivisena puolena ovat korkeahkot paalaus-kustannukset. (Kärhä 2009b.)

2.4. Metsähakkeen käytön kehitys Suomessa

Suomessa metsähakkeen käyttö on kasvanut voimakkaasti 2000-luvulla. Metsähakkeen kokonaiskäyttö oli 4,6 milj.m³ vuonna 2008. Tämä on runsas 2 prosenttia energian kokonaiskulutuksesta Suomessa. Valtaosa eli 4,0 milj.m³ metsähakkeesta käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa. Loppuosa käytettiin pientalokiinteistöissä, joissa käytön määrä oli 0,6 milj.m³. Metsähake, jota käytettiin lämpö- ja voimalaitoksissa, jakaantui eri raaka-ainelähteisiin seuraavasti: 58 % käytöstä oli hakkuutähdettä, 24 % pienpuuta (koko- ja rankapuuta), 14 % kantoja ja 4 % järeää lahorunkopuuta. (Kärhä 2009a.)



Kuva 1. Metsähakkeen käyttö Suomessa 2000–2008 (Kärhä 2009a.)

2.5. Metsähakkeen tuotannon tukeminen ja tuen edellytykset

Kestävän metsätalouden rahoituslailla (KEMERA) tuetaan metsähakkeen tuotantoa. Tukea on mahdollista saada nuoren metsän hoitoon, puunkorjukseen, metsäkuljetukseen sekä haketukseen, mikäli puu menee energiakäyttöön. Nuoren metsän hoidolla tarkoitetaan varsinaista taimikonhoitoa, nuoren kasvatusmetsän harvennusta sekä sen yhteydessä tehtävän pieniläpimittaisen puuston poistamista. Nuoren metsän hoitoon saatava tuki on pinta-alaperusteinen. Hoitohankkeen on oltava vähintään yhden hehtaarin suuruinen. Nuoren metsän hoitotuen saamiseksi ei edellytetä, että kohteelta korjataan energiapuuta. Kyseinen hoitotuki ei siis sellaisenaan edistä metsähakkeen tuotantoa. Energiapuunkorjuu- ja haketustuki ovat tukimuotoja, joissa tukea maksetaan

suoraan kertymäperusteisesti. (Pöyry 2006; Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja metsäkeskus Pirkanmaa 2008.) Seuraavassa on esiteltynä tämän opinnäytetyön kannalta oleelliset tuet.

Taimikonhoidolle on asetettu seuraavat vaatimukset:

Taimikon tulee olla kehityskelpoinen, ja perkaus sekä harvennus tulee ajoittaa taimikon kehityksen kannalta mahdollisimman oikein. Taimikonhoidossa poistettujen runkojen lukumäärä tulee olla vähintään 2 000 kpl/ha, johon lasketaan kaikki taimikon kehitykselle haitalliset poistetut rungot.

Taimikonhoidon tulee laadullisesti täyttää metsätaloudessa yleisesti hyväksytyt vaatimukset jolla tarkoitetaan metsänhoitosuosituksen noudattamista. Esimerkiksi Etelä-Suomessa taimikonhoito tehdään puulajeittain 4–8 metrin pituusvaiheessa ja jäävä runkoluku on 1 600–2 000 kpl/ha. Hyvin tiheästi kasvaneissa taimikoissa voidaan runkoluku jättää metsänhoitosuosituksen mukaisia arvoja tiheämmäksi. Puuston tiheys on tällöin enintään 3 000 kpl/ha.

Nuoren metsän hoito 2. kehitysluokan kohteissa on seuraavanlainen

Puuston valtapituus ei saa ylittää havumetsiköissä 14 metriä eikä lehtimetsiköissä 15 metriä käsittelyn jälkeen. Mikäli korjattava puu käytetään kokonaan energiapuuksi, valtapituuden ylärajaa ei ole.

Puuston pohjapinta-alalla punnittu keskiläpimitta rinnankorkeudelta tulee käsittelyn jälkeen olla alle 16 cm sekä harvennuksessa poistettujen puiden, jotka ovat kantoläpimitaltaan yli 4 cm, poistuman on oltava yli 1 000 runkoa/ha. Mikäli lähtöpuusto on ylitieheä ja sen harvennus aiheuttaa tuhoriskejä, kasvamaan jäävän puuston tiheys saa olla 2. kehitysluokan kohteissa enintään 2 000 kpl/ha

Käsittelyn jälkeen kohteelle ei saa jäädä välitöntä ensiharvennustarvetta eikä nuoren metsän hoitona voida rahoittaa ennen harvennusta tehtävää pelkkää alueen rai-vausta. (Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja metsäkeskus Pirkanmaa 2008.)

2.6. Metsähakkeen tuotannon tuet

Mikäli kohde täyttää kestävän metsätalouden rahoituslain edellytyksen, on metsänomistajan mahdollista saada tukea nuoren metsän hoitoon ja energiakäyttöön luovutetun pienpuun korjuuseen. Yleensä metsänomistaja luovuttaa valtakirjalla nuoren metsän hoito- sekä korjuutuen työn toteuttajalle, esimerkiksi Stora Ensolle. Haketustuki maksetaan useimmiten hakkeen tuottajalle. (Pöyry 2006.)

Vuonna 2008 energiapuun tuotantotukia maksettiin seuraavasti:

Energiapuun korjuutuki

Korjuutukea myönnetään kasaukseen 3,5 €/m³ ja metsäkuljetukseen 3,5 €/m³ eli yhteensä 7 €/m³. Korjuutukea saa, kun nuoren metsän hoitokohteelta kertyy energiapuuta vähintään 20 m³ ja se luovutetaan energiakäyttöön. Korjuutuen maksaminen edellyttää jälkikäteen toimitettavaa toteutusselvitystä, johon myönnetään tukea 4,6 €/ha.

Energiapuun haketustuki

Haketustukea myönnetään 1,7 €/i-m³ (noin 4,25 €/m³). Haketettavan energiapuun tulee olla peräisin kestävän metsätalouden rahoituslain mukaisesta nuoren metsän hoidosta. Haketustuen maksaminen edellyttää jälkikäteen toimitettavaa toteutusselvitystä, johon tukea myönnetään 0,10 €/i-m³ (noin 0,2 €/m³).

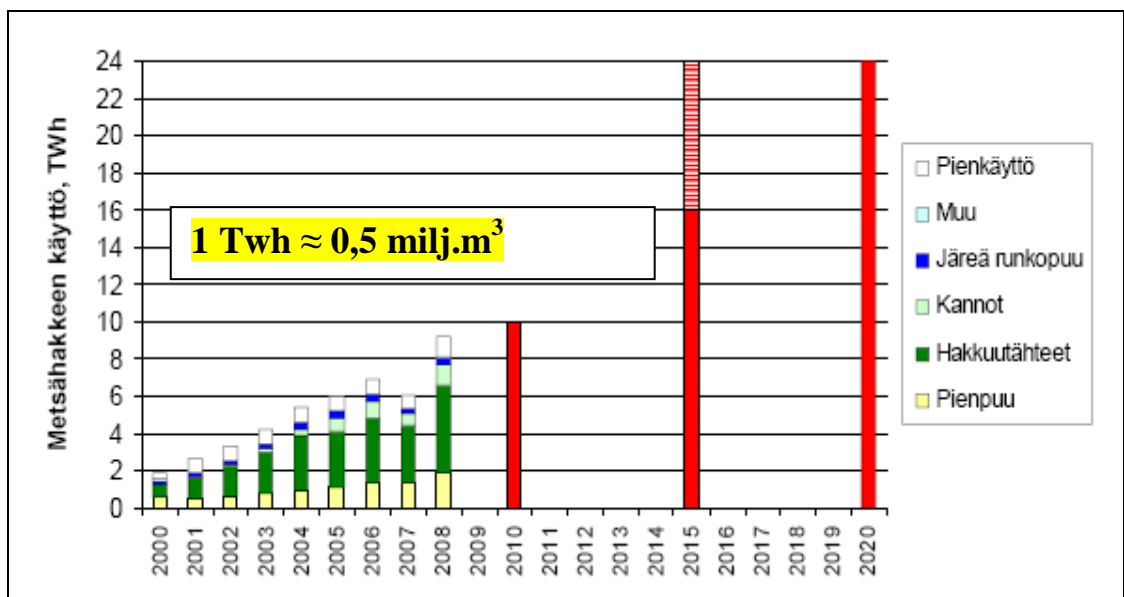
Nuoren metsän hoitotuki

Metsänhoitotuen määrään vaikuttavat leimikon maantieteellinen sijainti, poistettavan puuston tiheys sekä se, tekeekö metsänomistaja työn omatoimisesti vai ulkopuolista työvoimaa käyttäen. Esimerkiksi Etelä-Suomen tukivyöhykkeellä korvaus nuoren kasvatusmetsän harvennuksesta on ulkopuolista työvoimaa käytettäessä 210,5 €/ha. Hoitotuki ei riipu siitä, otetaanko energiapuu talteen vai ei. Metsänhoitotuen maksaminen edellyttää toteutusselvitystä. Tuen suuruus nuoren metsän hoidossa laadittavaan toteutusselvitykseen on vähintään 2,6 ha:n suuruisissa kohteissa enintään 78 € + 16,50 €/ha ja tätä pienemmissä kohteissa enintään 46,50 €/ha.

Kun nuoren metsän hoitoon liittyy alueelta energiakäyttöön luovutettavan puun kasausta ja metsäkuljetusta, edellä mainittua toteutus selvityksen laadinnan tukea maksetaan korotettuna 4,60 €/ha siltä alueelta, jolta energiapuuta kertyy. (Pöyry 2006, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja metsäkeskus Pirkanmaa 2008.)

2.7. Metsähakkeen käyttötavoitteet Suomessa

Metsähakkeen käytölle on asetettu Suomessa kovat kasvutavoitteet. Kansallinen metsäohjelma (KMO) 2015, joka sisältää metsäpolitiikan keskeiset linjaukset, asettaa tavoitteeksi, että metsähakkeen vuotuinen käyttö olisi Suomessa vuoteen 2015 mennessä 8-12 milj.m³. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009.) Lisäksi valtioneuvoston hyväksymä pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia asettaa tavoitteeksi metsähakkeen käytön 2–3-kertaistamisen nykyhetkestä vuoteen 2020 mennessä. Tällöin metsähakkeen vuotuinen käyttö olisi 12 milj.m³ (Työ- ja elinkeinoministeriö 2009.)



Kuva 2. Metsähakkeen käyttö sekä käyttötavoitteita Suomessa (Kärhä 2009a.)

2.8. Päästökauppa

Päästökaupalla tarkoitetaan mahdollisuutta käydä kauppaa päästöoikeuksilla. Päästöoikeus hinnoitellaan €/hiilidioksiditonni, yksikkönä €/CO₂tn. EU:n päästökauppajärjestelmässä annetaan hakemuksen perusteella tietty määrä päästöoikeuksia. Näitä

päästöoikeuksia annetaan kasvihuonekaasupäästöjä aiheuttaville tuotantolaitoksille. Päästöoikeuksia voidaan tarvittaessa ostaa lisää tai myydä pois. Kun laitos tuottaa enemmän kasvihuonekaasupäästöjä, kuin sille on oikeuksia myönnetty, on laitoksen ostettava näitä oikeuksia lisää. Laitoksien on myös mahdollista myydä päästöoikeuksia, jos päästöjä tuotetaan vähemmän. (Energiateollisuus 2009.)

EU:n direktiivin mukaisesti päästökauppajärjestelmän piiriin kuuluvat polttoainetehtaan yli 20 MW:n laitokset. Tällaisia ovat muun muassa energiantuotantolaitokset ja paperi- ja kartonkitehtaat. Järjestelmä kattaa suurten teollisuuslaitosten ja tiettyjen energialaitosten hiilidioksidipäästöt. Suomessa päästökauppa koskee noin 550 energiantuotanto- ja teollisuuslaitosta. Suomessa on myös päästökaupan piirissä kaukolämmön tuotantolaitoksia, joiden nimellinen lämpöteho on 20 MW tai alempi. Näin ollen kaikkia kaukolämpöverkkoon lämpöä tuottavia yrityksiä ja laitoksia kohdellaan tasapuolisesti. (Energiateollisuus 2009.)

Päästökaupan ensimmäinen jakso ajoittui vuosiin 2005–2007, ja nyt meneillään oleva kausi koskee vuosia 2008–2012. Tuleva kausi ajoittuu vuosille 2013–2020. Ensimmäiset päästökauppakaudet koskevat vain hiilidioksidipäästöjä. On mahdollista, että tulevaisuudessa järjestelmään otetaan mukaan myös muita kasvihuonekaasuja. Päästökaupassa tulee noudattaa tiettyjä päästökauppadirektiivin asettamia vaatimuksia. Näitä ovat muun muassa päästöluvan anominen sekä laitoksien vuotuisten CO₂-päästöjen todennus. (Energiateollisuus 2009.)

Päästökaupalla pyritään lisäämään uusiutuvien energialähteiden käyttöä energiantuotannossa, sillä niiden käyttö ei lisää hiilidioksidipäästöjä. Uusiutuvaksi energianlähteeksi luetaan muun muassa puu. Uusiutuvien energianlähteiden käyttö mahdollistaa päästöoikeuksien myymisen, joka on seurausta alentuneista päästöistä. Näin laitokset saavat katettua uusiutuvien energianlähteiden käytöstä aiheutuvia kustannuksia. Päästöoikeuden hinnalla on olennainen vaikutus energiayhtiöiden maksukykyyn puusta ja puun käyttöön energiantuotannossa. (Energiateollisuus 2009.)

3 STORA ENSON METSÄENERGIAN HANKINTA

3.1. Yleistä

Stora Enso Metsä hankkii metsäpolttoaineita kaikkialta Suomesta. Metsäpolttoaineen lähteitä ovat hakkuutähteet, kannot ja pienpuu. Metsäpolttoaineiden vuosittainen hankintamäärä on noin 1 TWh, mikä on noin 0,5 milj.m³. Stora Ensossa, metsäosasto vastaa pääosin myös muiden kiinteiden puupolttoaineiden hankinnasta ja toimituksista. Muita kiinteitä puupolttoaineita ovat kuori ja puru. Asiakkaina ovat omat tehtaat ja ulkopuoliset voimalaitokset sekä alan toimijat. (Stora Enso Metsä 2009.)

Vuonna 2009 Stora Enso Metsä toimitti metsä- ja puupolttoaineita Stora Enson omille Imatran, Anjalankosken, Heinolan, Varkauden, Oulun, Kemin ja Enocellin tehtaille. Lisäksi asiakkaina ovat Etelä-Savon Energia, Mikkeli; Suur-Savon Sähkö, Savonlinna; Porvoon Energia, Porvoo; Jyväskylän Energia, Jyväskylä; Biowatti, tienvarsimyynti; Fortum, Joensuu ja Hanko; Vapo, Forssa sekä Vattenfall, Myllykoski ja Hämeenlinna. (Stora Enso Metsä 2009.)

3.2. Ohjeistus nuorten energiapuuharvennusten ostoon yksityismetsissä

Stora Enso Metsä hankkii energiapuuvaltaisia nuorten metsien hakkuukohteita. Kohdekriteereinä energiapuunhankinnassa on että kohteet ovat pääosin KEMERA-kelpoisia.

Energiapuuharvennuskohteiden hankinnassa huomioidaan erityisesti seuraavat seikat: puuston tulisi olla valtapituudeltaan vähintään 8 metriä sekä kantoläpimitaltaan yli 4cm, kohteelta tulisi kertyä energiapuuta vähintään 40 m³, kohteet pääasiassa kangasmaan koivikkoja sekä männikköjä, metsäkuljetusmatka tulisi olla alle 300 metriä ja mikäli ainespuun osuus jää alle 30 m³/ha, korjataan kaikki puu energiaksi.

Energiapuun mittauksessa on tavoitteena vähitellen luopua pinomittauksesta ja siirtyä kuormainvaakojen käyttöön. Kuormainvaa'alla saavutetaan pinomittaa luotettavampi tulos. Stora Enso Metsä käyttää nuorten metsien energiapuunkorjuussa pääsääntöisesti omia sopimusyrittäjiään. (Stora Enso Metsä 2008.)

4 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

4.1. Tutkimuksen tavoite

Tämän opinnäytetyön tutkimus suoritettiin kokeellisesti, ja sen tarkoituksena oli kerätä järjestelmällisesti tietoa tutkittavasta kohteesta ja kerätyn tiedon perusteella vastata ennalta asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuksessa pyrittiin myös löytämään selitys tutkimuskysymysten vastauksiin. Näin ollen opinnäytetyön tarkoitusta voidaan luonnehtia kartoittavaksi ja selittäväksi.

4.2. Tutkimusongelmat

Opinnäytetyön tarkoituksena oli vastata seuraaviin kysymyksiin:

- Mikä on näkemäraivaustyön hehtaarikohtainen kustannus?
- Mikä on näkemäraivaustyön työpäiväkohtainen tuottavuus?
- Mikä on ollut hakkuukoneen ajanmenekki tutkimuskohteilla?
- Mikä on metsäkuljetuksen ajanmenekki tutkimuskohteilla?
- Mikä on ollut hakkuukoneen tuntituottavuus tutkimuskohteilla?
- Mikä vaikutus hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuudella oli tuntituottavuuteen?
- Millaiseksi muodostuu tutkimusleimikoiden energiapuuharvennusten kustannusrakenne?
- Millainen vaikutus KEMERA-tuella on kokonaiskustannusten muodostumiseen?
- Muodostuiko metsähakkeen hankinta tutkimusleimikoilta kannattavaksi?
- Millainen vaikutus KEMERA-tuella on metsähakkeen hankinnan kannattavuuteen?
- Millä voimalaitoshinnalla saavutetaan metsähakkeen hankinnassa kannattavuuden nollaraja?

4.3. Tutkimusmenetelmät

Opinnäytetyö on luonteeltaan kvantitatiivinen eli määrällinen tutkimus. Kvantitatiivinen tutkimus perustuu siihen, että kerätään numeerista tietoa ja kerättyä aineistoa analysoidaan käyttäen tilastollisia menetelmiä. Opinnäytetyön tilastollisena menetelmänä käytetään yhden muuttujan tilastollista menetelmää (univariate methods) ja kahden muuttujan tilastollista menetelmää (bivariate methods). Yhden muuttujan tilastollisella menetelmällä tarkoitetaan sitä, että kerättyä aineistoa analysoidaan käyttäen graafista tarkastelua ja aritmeettista keskiarvoa eli keskilukua. Aritmeettisella keskiarvolla tarkoitetaan sitä, että havaintojen summa jaetaan havaintojen lukumäärällä. Käyttäen kahden muuttujan tilastollista menetelmää aineistoa analysoidaan korrelaatioiden avulla. (Rantanen 2004.)

Korrelaation (R^2) avulla on pyritty kuvaamaan muuttujien välistä suhdetta. Kahden muuttujan välistä suhdetta on kuvattu käyttäen Pearsonin korrelaatiokerrointa. Kyseinen kerroin mittaa kahden muuttujan $x:n$ ja $y:n$ yhteisvaihtelun astetta. Korrelaatiokerroin on määritetty siten, että se vaihtelee -1 ja $+1$ välillä täydellisestä negatiivisesta korrelaatiosta korrelaation puuttumiseen ($R^2=0$) ja täydelliseen positiiviseen korrelaatioon. (Tilastokeskus 2009.)

Tämän opinnäytetyön tuloksista laadituissa kuvaajissa on käytetty trendiviivoja tulosten kuvaamiseen. Trendiviivanlajin valinnassa pyrittiin löytämään tapauskohtaisesti kyseistä ilmiötä parhaiten kuvaava sekä luotettava trendiviiva. Luotettavimmillaan trendiviivan korrelaatiokertoimen arvo on 1 tai mahdollisimman lähellä sitä. Tällä tarkoitetaan sitä, kuinka hyvin trendiviiva mukaillee hajontapisteitä. Tässä opinnäytetyössä on käytetty trendiviivanlajeina lineaarista, logaritmista sekä potenssirendiviivaa. (Microsoft Excel 2002.)

Linearisella trendiviivalla tarkoitetaan suoraa viivaa. Tiedot ovat lineaarisia, mikäli niiden muodostama kuvio muistuttaa suoraa viivaa. Lineaarinen trendiviiva osoittaa usein, että jokin suurenee tai pienenee tasaisesti. (Microsoft Excel 2002.)

Logaritminen trendiviiva on käyrä, jota käytetään, kun tietojen muutosnopeus suurenee tai pienenee nopeasti, minkä jälkeen muutos lakkaa. Logaritmista trendiviivaa on

mahdollista käyttää sekä negatiivisten että positiivisten arvojen kanssa. (Microsoft Excel 2002.)

Potenssitrendiviiva on käyrä viiva, jota käytetään vertailtaessa arvojoukkojen tietyllä nopeudella kasvavia mittaustuloksia. Potenssitrendiviivaa ei ole mahdollista luoda, jos tiedot sisältävät nolla-arvoja tai negatiivisia arvoja. (Microsoft Excel 2002.)

Analyysin tavoitteena on pyrkiä kuvaamaan ja havainnollistamaan havaintojoukkoa mahdollisimman selkeästi. Tässä opinnäytetyössä käytetään havaintojoukon kuvauksessa taulukointia, tunnuslukuja ja graafista kuvausta. (Rantanen 2004.)

Opinnäytetyössä populaatiota eli perusjoukkoa tutkitaan otannan keinoin. Otannan perusteella pyritään tekemään yleistys perusjoukkoon. Otannasta pyritään saamaan tarkasti perusjoukon ominaisuuksia kuvaava. Kyseistä otosta kutsutaan edustavaksi otokseksi. Otoksen edustavuus perustuu satunnaiseen käyttöön. Opinnäytetyön aineisto kerätään käyttäen systemaattista eli tasavälistä satunnaisotantaa (simple random sampling). Systemaattisella satunnaisotannalla tarkoitetaan sitä, että otantakehikosta valitaan aloituskohta ja poimitaan otanta esimerkiksi 50 metrin välein. (Rantanen 2004.)

5 AINEISTON KERUU JA KÄSITTELY

5.1. Yleistä

Tutkimuksen aineisto kerättiin Stora Enso Metsän Orimattilan hankinta-alueelta ostetuilta energiapuuharvennusleimikoilta. Tutkimusleimikoiden yhteenlaskettu pinta-ala oli 9,5 hehtaaria. Energiapuuharvennuskohteet jakautuivat 12 metsätaloussuunnitelman mukaiseen metsikkökuvioon. Opinnäytetyön aineiston keräys, sen käsittely ja tulosten tarkastelu on suoritettu metsikkökuvioittain hehtaarikohtaisessa muodossa. Kuviokohtaisen aineiston keruun tarkoituksena oli kerätä vertailukelpoista aineistoa puustoltaan hyvin erilaisilta kohteilta. Kuvioiden pinta-alat jakautuivat 0,2:sta aina 2,0 hehtaariin asti. Tutkimuksen tulokset muunnettiin hehtaarikohtaiseen muotoon, jotta niistä saatiin vertailukelpoisia.

5.2. Kuviotietojen inventointi

Puusto inventoitiin kuviokohtaisesti linjoittaisella ympyräkoeala-arvioinnilla. Linja- ja koealaväli määritettiin 50 metrin suuruiseksi. Koealaverkosto suunniteltiin kartalle ennakkoon. Koealaverkosto kulki kartan etelä-pohjoissuunnassa. Koealoja tuli yhteensä 39 kappaletta.

Kuviotietojen inventoinnin toteutuksen tarkoituksena oli selvittää: 1. inventoinnissa lähtöpuusto kuvioilla, 2. inventoinnissa kuvioiden puusto näkemäraivauksen jälkeen tai puusto hakkuun jälkeen riippuen oliko kuviolla tehty näkemäraivaus vai ei sekä 3. inventoinnissa, joka suoritettiin näkemäraivatuilla kohteilla, kuvion puusto hakkuun jälkeen.

Inventointi suoritettiin kaksi tai kolme kertaa, jotta saatiin selville kuviokohtaisia puustotunnuksia ja niiden muutoksia eri työvaiheiden aikana. Luotettavien tulosten aikaansaamiseksi koealat pyrittiin ottamaan samasta pisteestä jokaisella inventointikeralla. Tämä edellytti kiinteiden koealojen perustamista maastoon, kiinteät koealat merkittiin maastoon koealakepeillä. Koealojen paikallistettavuus varmistettiin siten, että koealan sijainti merkittiin GPS-paikantimeen. Tämän tarkoituksena oli helpottaa ja varmistaa koealojen löytyminen maastosta niin ensimmäisellä kuin muillakin inventointikerroilla.

Jokaiselta koealalta mitattiin kullakin inventointikerralla runkoluku puulajeittain sekä kantoläpimitat. Koealan runkoluku mitattiin käyttäen ympyräkoelamenetelmää. Koealan säteenä käytettiin 3,99 metriä. Koealaan osuneet puut kirjattiin puulajikohtaisesti, puulajeina mänty, kuusi, koivu, haapa ja muut lehtipuut (MuuLe). Puista, jotka osuivat ympyräkoelaan, mitattiin myös kantoläpimitta, jolla tarkoitetaan tässä yhteydessä sitä oletettavaa mittauskorkeutta, josta tuleva kaatosahaus tehdään.

Inventoinnin jälkeen kuvion puustoa kuvaavat tiedot koostettiin laskemalla koealojen puustotiedoista aritmeettiset keskiarvot. Inventointi toteutettiin jokaisella kerralla samasta koealapisteestä samoja edellä kuvattuja periaatteita noudattaen.

5.3. Näkemäraivauksen kustannukset ja tuotos

Osalla kohteista oli tarpeen suorittaa metsurityönä tehtävä ennakkoraivaus, jonka tarkoituksena oli poistaa myöhempää hakkuutyötä haittaava ja hidastava puusto. Perinteinen hakkuualan ennakkoraivaus olisi ollut liian voimakas toimenpide, sillä siinä olisi kaadettu myös energiapuun korjuuseen soveltuvaa pienpuustoa maahan. Tämän vuoksi Stora Ensolla kehiteltiin kevennetty versio ennakkoraivauksesta, jossa tarkoituksena oli raivata vain alle 4 cm läpimitaltaan olevat, yksittäiset ja konetyötä haittaavat puut pois. Versiota kutsutaan näkemäraivaukseksi. Koska kyseessä oli uusi työmuoto, sitä ideoimassa oli Stora Enson metsäosaston henkilöstöä, Stora Enson metsuri sekä hakkuukoneenkuljettaja. Työmuotoa ideoitiin myös tutkimusleimikoilla ennen hakkuuta. Päädyimme siihen, että osa kuvioista tulisi näkemäraivata ennen hakkuuta.

Näkemäraivauksessa kaadettavaksi määrättiin 1–4 metrin hakkuutyötä hidastavat alikasvoskuuset, yksittäin kasvavat alle 4 cm läpimitaltaan olevat lehtipuut, alle puolen metrin säteellä jätettävistä puista kasvavat rungot sekä lumen luokille taittamattomat puut. Raivattavilta kuvioilta selvitettiin näkemäraivauksen tuotos työpäivää kohden sekä kustannukset hehtaaria kohden.

Selvitystä varten metsuri kirjasi lomakkeeseen raivaukseen kuluneen työajan kuviokohtaisesti ja mahdollisimman tarkasti. Tässä tutkimuksessa metsurin päiväkohtainen työaika on 8 tuntia, josta tunti on varattu työmatkoihin ja 7 työn suorittamiseen. Työpäiväkohtaista tuotosta on tarkasteltu työn suorittamiseen varatulta 7 tunnilta. Näkemäraivatut metsikkökuviot olivat pinta-aloiltaan erikokoisia, joten kuviokohtaiset ajanmenekit muunnettiin hehtaarikohtaisiksi vertailun mahdollistamiseksi. Tuotoksen tunnuksena on käytetty hehtaaria/7 tunnin työpäivä. Näkemäraivauksen ajanmenekkiarvot ovat rinnastettavissa käyttöajaksi. Käyttöajanmenekki pitää sisällään alle 15 minuutin pituiset työn keskeytykset.

Työpäiväkohtaisen hehtaariuotoksen lisäksi tutkimuskohteilta selvitettiin näkemäraivauksen kustannukset. Kustannukset selvitettiin ensiksi kuviokohtaisesti, minkä jälkeen ne muutettiin hehtaarikohtaisiksi. Kustannukset selvitettiin tilitystositteiden avulla. Tositteista ilmeni metsurin päiväpalkka ja suoritelisän suuruus, joka tässä tapauksessa oli 11 %. Suoritelisä tarkoittaa lisää, joka maksetaan tehdyn työn perusteel-

la. Suoritelisän prosentuaalinen suuruus määräytyy metsurikohtaisesti. Metsurin palkkaan on lisätty vielä palkan sivukulut, mistä saadaan todelliset Stora Ensolle koituvat kustannukset selville. Sivukulun kertoimena on käytetty kerrointa 1,79. Kustannuslaskennassa ei ole huomioitu metsurille maksettavia kilometrikorvauksia eikä mahdollisesti kertyviä tasoituspäiviä. Näkemäraivaustyön kustannusten hehtaarikohtaisena tunnuksena on käytetty €/hehtaari.

5.4. Hakkuu ja metsäkuljetus

Kun tutkimuskohteet oli rajattu maastoon, ne tallennettiin ja rajattiin samalla tavalla Stora Enson tietojärjestelmään. Kohteet jaettiin neljään korjuulohkoon, joista kaksi jaettiin vielä tekoalueisiin. Nämä edellä mainitut tekoalueet muodostuivat metsätaloussuunnitelman mukaisista metsikkökuvioista. Tämä mahdollisti kuviokohtaisen aineiston keräämisen myös korjuusta, sillä nyt lohkot oli mahdollista hakata tekoalueittain eikä vain yhtenä lohkona. Tutkimusleimikoilta korjattiin pelkästään energiapuuta. Karsitut rangat, kokopuut sekä latvus- ja oksamassat menevät kaikki energiaksi.

Tutkimusleimikoiden energiapuunkorjuu suoritettiin John Deeren 1070 D -mallisella hakkuukoneella, joka oli varustettu John Deeren H 412-hakkuulaitteella. Energiapuunkorjuussa käytetty hakkuulaite oli niin sanottu yhdistelmähakkuulaite, joka mahdollisti myös perinteisen hakkuutavan käytön. Perinteisellä hakkuutavalla tarkoitetaan sitä, että hakkuulaitteella voidaan syöttää yhtä runkoa läpi hakkuulaitteen. Tämä kyseinen syöttöominaisuus voidaan toteuttaa esimerkiksi syöttörullien avulla. Rungon syötön yhteydessä hakkuulaite mittaa käsiteltävän rungon läpimittaa ja pituutta. Näiden tunnuksien avulla hakkuulaite määrittää käsiteltävän rungon tilavuuden eli kuutioisen. Kuutioinnin lisäksi syötön yhteydessä käsiteltävä runko liikkuu hakkuulaitteessa olevien karsimateriaalien lävitse karsien rungon.

Perinteisen hakkuutavan lisäksi yhdistelmähakkuulaitteella oli mahdollista korjata energiapuuta joukkokäsittellen. Joukkokäsittelyominaisuutta käyttäen voidaan järkevästi korjata ryppäinä kasvavia pieniläpimittaisia puita. John Deeren H 412-hakkuulaitteessa tämä ominaisuus on toteutettu joukkokäsittelyyn tarkoitettujen tartuntakäpälien avulla. Joukkokäsittelyllä tarkoitetaan sitä, että hakkuulaite kykenee kerralla keräämään lukuisista puista koostuvan nipun ja katkaisemaan tämän. Joukko-

käsittelykypäliä käyttäen on mahdollista lukita tämä nippu hakkuulaitteeseen siksi ajaksi, kun hakkuulaite avataan ja siihen kerätään uusi nippu. Tämä voidaan toistaa niin monta kertaa, kunnes hakkuulaite on täysi. Tämän jälkeen useampien joukkokäsittelykerroin kerätty nippu siirretään ajouran varteen. Joukkokäsittelien korjataan pääsääntöisesti pienempi läpimittaisia puita kokopuina. Kokopuulla tarkoitetaan karsimattomia energiapuuta.

Nämä edellä mainitut yhdistelmähakkuulaitteen puunkäsittelyominaisuudet on myös mahdollista yhdistää, jolloin hakkuulaitteeseen kerätään joukkokäsittelyominaisuuden avulla useammasta puusta koostuva nippu. Tämän jälkeen kyseinen nippu voidaan syöttörullia käyttäen syöttää läpi karsimateriaalien, jolloin nippu pääosin karsiutuu. Nippua ei syötetä kokonaan karsimateriaalien läpi, vaan se katkaistaan ja karsimattomat latvat siirretään karsittujen runkojen kanssa samoille kasoille odottamaan metsäkuljetusta. Kyseistä menetelmää käytettiin tutkimusleimikkoiden hakkuussa harvoin.

Energiapuunhakkuun yhteydessä hakkuulaite tallensi hakkuun tapahtumia hakkuukoneen tietojärjestelmään. Käytettäessä perinteistä hakkuutapaa tallentuneita tapahtumia olivat käsiteltyjen runkojen lukumäärä, kokonaistilavuus sekä keskimääräinen käsittelyn rungontilavuus. Joukkokäsittelyn ja syöttöominaisuuden yhdistävästä hakkuutavasta hakkuukoneen tietojärjestelmään tallentuivat käsiteltyjen runkojen lukumäärä, kokonaistilavuus ja kappalekohtainen keskitilavuus. Käytettäessä pelkkää joukkokäsittelyä hakkuukoneelle tallentui vain hakkuulaitteen rekisteröimät joukkokäsittelykerat. Nämä edellä luetellut tiedot oli mahdollista tulostaa hakkuukoneentietojärjestelmästä leimikkoraportteina tekoalueittain.

Hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottaman aineiston sekä hakkuun jälkeen tehdyn puuston inventoinnissa kerätyn aineiston avulla on pyritty selvittämään pelkästään joukkokäsittelyjen runkojen lukumäärä ja keskimääräinen tilavuus sekä kokonaiskertymä. Joukkokäsittelystä selvitettyjä arvoja tarkasteltaessa tulee huomioida kyseisen aineiston keruu- ja laskentatavasta johtuva virhemahdollisuus.

Hakkuussa käsiteltyä puustoa kuvaavien tunnusten lisäksi hakkuukoneen tietojärjestelmästä oli mahdollista tulostaa työaikatietoa tekoalueittain. Kyseisen tiedon keräämisen mahdollisti hakkuukoneen työajan seurantaominaisuus. Kerätyt ajanmenekki-

tiedot olivat käyttöajanmenekkitietoa. Käyttöajalla tarkoitetaan työn suorittamiseen kuluvaa aikaa, joka pitää sisällään mahdolliset alle 15 minuutin pituiset työn keskeytymiset.

Metsäkuljetuksen yhteydessä kerättiin aineistoa kyseisen työmuodon ajanmenekistä ja hakkuun kertymästä. Metsäkuljetuksen ajanmenekin selvittämiseksi ajokoneenkuljettaja merkitsi energiapuun ajamiseen kuluneen työajan. Metsäkuljetuksesta kerätyt ajanmenekkitiedot ovat rinnastettavissa käyttöajanmenekiksi. Keskimääräinen metsäkuljetusmatka määritettiin kartalta, ja se oli keskiarvo kunkin kuvion keskipisteestä varastopaikalle. Ajanmenekin lisäksi ajokoneen kuljettaja merkitsi ylös tienvarteen ajettujen energiapuiden massat. Metsäkuljetuksen osalta kerätty aineisto on myös kerätty tutkimuskuvioittain.

Energiapuut ajettiin tienvarteen sekakuormina. Sekakuormilla tarkoitetaan sitä, että kuorma koostuu karsituista rangoista, kokopuista sekä oksa- ja latvusmassasta. Energiapuun varastointi tienvarressa on toteutettu samoja periaatteita noudattaen, eli kaikki energiapuut on ajettu samoihin kasoihin lohkoittain. Kun ajokoneenkuljettaja oli saanut loholla olleiden tutkimusleimikoiden energiapuut ajettua tienvarteen, varasto peitettiin peittopaperilla.

Metsätraktorissa oli käytössä kuormainvaaka. Tienvarteen ajettut massat muutettiin tilavuudeksi käyttäen apuna Tapion energiapuunmittausopasta (Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen A. 2008, 7). Massa muutettiin tilavuudeksi kuviokohtaisesti. Massan muuntamisessa tilavuudeksi keskeisiä tekijöitä olivat kuvion puulaji, hakkuun ja metsäkuljetuksen välinen aika sekä ajankohta, jona energiapuunhakkuu suoritettiin. Edellä mainittujen tekijöiden avulla pystyttiin määrittämään kuviokohtaisesti käytettävät energiapuun tuoretiheysarvot, kg/m^3 . Määritettyjen tuoretiheysarvojen perusteella massat muutettiin tilavuudeksi tutkimuskuvioittain. (Lindblad ym. 2008, 7.)

5.5. Kustannukset

Kerätyn aineiston perusteella laskettiin kuviokohtaiset kokonaiskustannukset ja ne eriteltiin kustannuslajeittain jakautuen seuraavasti: hankintakustannukset, yleiskustannukset, näkemäraivauskustannukset, hakkuu- ja metsäkuljetuskustannukset (korjuu)

sekä haketus- ja kaukokuljetuskustannukset. Tutkimusleimikoita ei ostettu yksityisiltä metsänomistajilta, eivätkä ne näin olleet KEMERA-tukiin oikeutettuja. Kustannuslaskelmia on tehty kuitenkin kaksi, joista toisessa on huomioitu KEMERA-tuki. Kustannuslajit on laskettu korjuun tuotokseen perustuen, yksikkönä €/m³. Haketus- ja kaukokuljetuskustannuksena on käytetty oletusarvoa 14,5 €/m³ ja kaukokuljetusmatkana 40 kilometriä. Hakkuussa tuntikustannuksena on käytetty 80 €/h ja metsäkuljetuksessa 60 €/h. Yleiskustannuksena on käytetty oletusarvoa 4 €/m³. Yleiskustannuksella tarkoitetaan organisaation toiminnoista aiheutuvia kustannuksia. Tämä kustannus pitää sisälleen esimerkiksi toimihenkilöiden palkat. Näkemäraivauksen osuus laskettiin hehtaarikohtaisten kustannusten ja korjuun kertymätietojen perusteella, yksikkönä €/m³. Hankintakustannuksilla tarkoitetaan kantohintaa.

Laskelmissa, joissa ei ole huomioitu KEMERA-tukea, on kantohintana käytetty 1,5 €/m³. KEMERA-tukien vaikutusta selvittäessä on käytetty oletusta, että energiapuusta maksettava kantohinta on 5 €/m³ ja lisäksi jokainen tutkimuskuvio on yhden hehtaarin suuruinen. Tämän johdosta pinta-alaperusteiset KEMERA-tuet ovat yhtä suuret joka kohteella. Muutoin kustannukset ovat samat. Opinnäytetyössä ei ole tehty oletuksia siitä, miten KEMERA-tuet mahdollisesti kanavoituvat, eli miten ja mitkä tuet mahdollisesti ohjautuvat eri osapuolille. Osapuolilla tarkoitetaan metsänomistajaa, energiapuun ostajaa ja haketus- ja kaukokuljetusyrittäjää. KEMERA-tuet, niiden suuruus ja saannin edellytykset on esitelty aiemmin tässä työssä, luvussa 2.5.

5.6. Kannattavuus

Kannattavuuslaskelmassa on laskettu kuviokohtaiset kannattavuudet. Kannattavuuden yksikkönä on käytetty €/MWh. Kannattavuuslaskelmissa on käytetty kahta voimalaitoshintaa, jotka ovat 20,00 €/MWh ja 15,00 €/MWh. Kannattavuuksien selvittämiseksi kuviokohtaiset kustannustiedot on muutettu yksiköstä €/m³ yksikköön €/MWh. Opinnäytetyössä on käytetty oletuksena, että yhdestä energiapuu-m³stä saadaan kaksi MWh energiaa. Kuutiometrikohtaiset kustannukset tuli jakaa kahdella, jotta saatiin kustannus MWh:a kohden. Kannattavuus on laskettu vähentämällä energiapuusta voimalaitoksella saatavasta tulosta sen hankinnasta aiheutuneet menot.

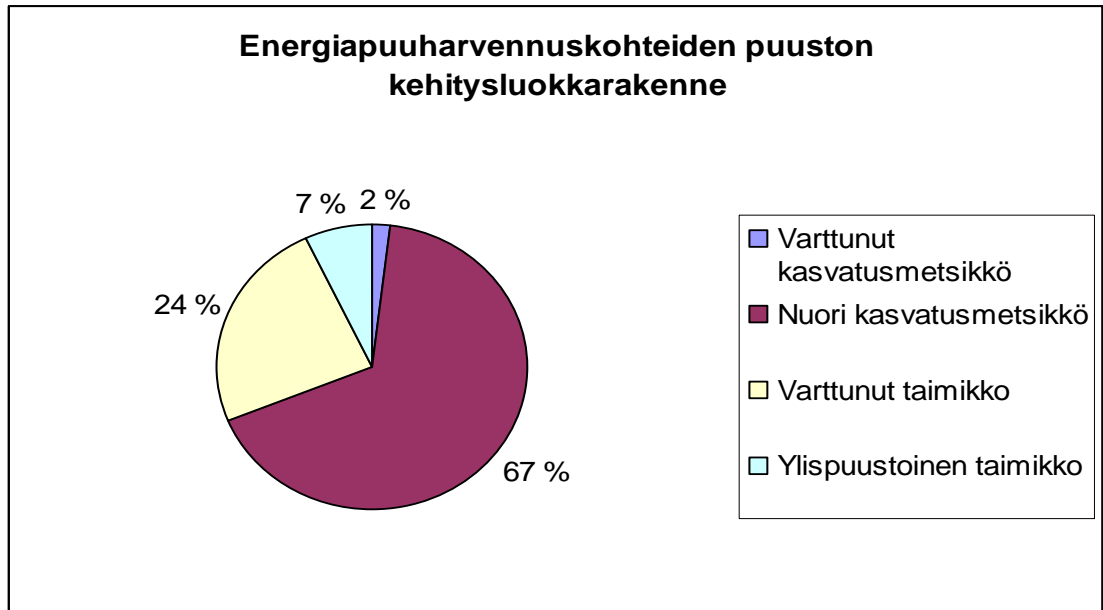
Kannattavuuslaskelmissa ei ole huomioitu mahdollisia energiapuun varastoinnista aiheutuvia sitoutuneen pääoman korkokustannuksia. Käytetyillä voimalaitoshinnoilla tehdyn kuviokohtaisen kannattavuustarkastelun lisäksi on tässä opinnäytetyössä selvitetty, millä voimalaitoshinnoilla saavutettaisiin kannattavuuden nollaraja. Sitä tarkastellaan myös kuviokohtaisesti. Kannattavuuden nollarajalaskelmat on tehty ilman KEMERA-tukia ja KEMERA huomioiden. Kannattavuuden nollarajalla on tarkoitettu sitä voimalaitoshintaa, jolloin energiapuusta saatava tulo olisi yhtä suuri kuin sen hankinnan aiheuttamat menot.

6 TULOKSET

Luvussa 6 esitetään tutkimuksen keskeiset tulokset. Tutkimusleimikoilta kerätyn aineiston tulokset esitetään seuraavassa järjestyksessä: leimikkotiedot, näkemäraivauksen tuottavuus ja kustannukset, hakkuu ja metsäkuljetus, kustannukset ja kannattavuus. Tulokset antavat vastauksen ennalta asetettuihin tutkimuskysymyksiin. Tutkimuskuvio 8 erosi puustoltaan sekä tuloksiltaan huomattavasti muista tutkimuskuvioista. Koska vastaavanlaiset kohteet ohjautuisivat todennäköisemmin ainespuuharvennus- kuin energiapuuharvennuskohteiksi, siksi kyseisen tutkimuskuvion tuloksia ei ole huomioitu kuvissa 7 ja 8, 10–15 ja 20–23 esitetyissä kuvaajissa. Tällä tavoin kyseisistä kuvaajista saadaan paremmin energiapuuharvennuskohteiden olosuhteita kuvaavia.

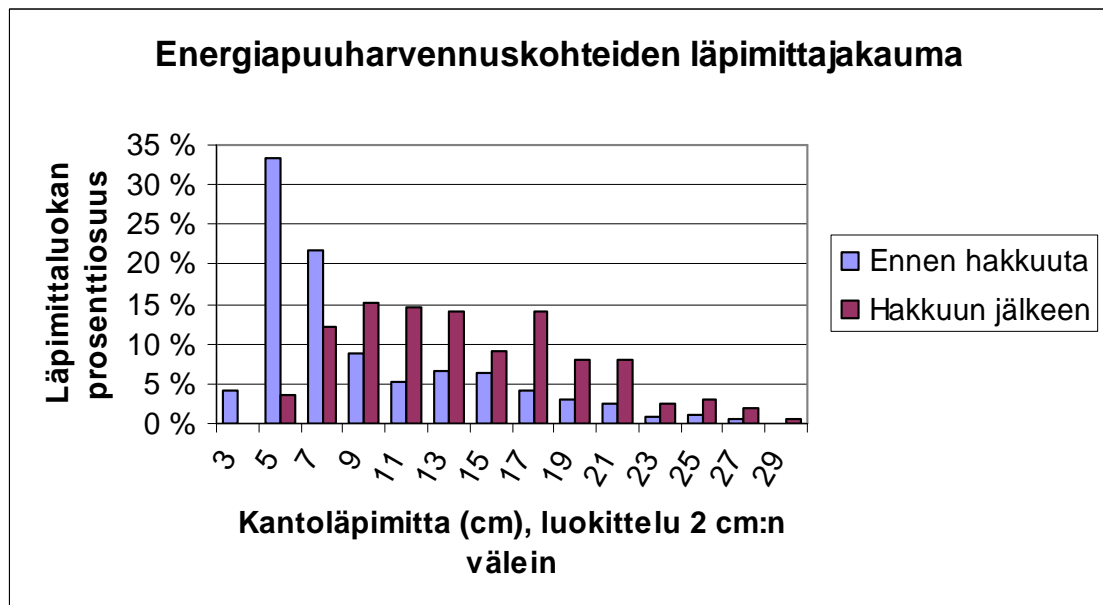
6.1. Leimikkotiedot

Energiapuuharvennuskohteet muodostivat kehitysluokkarakenteeltaan seuraavanlaisen kokonaisuuden: 67 % nuoria kasvatusmetsiköitä, 24 % varttuneita taimikoita, 7 % ylispuustoisia taimikoita ja 2 % varttuneita kasvatusmetsiköitä. (Kuva 3.)



Kuva 3. Energiapuuharvennuskohteiden puuston kehitysluokkarakenne

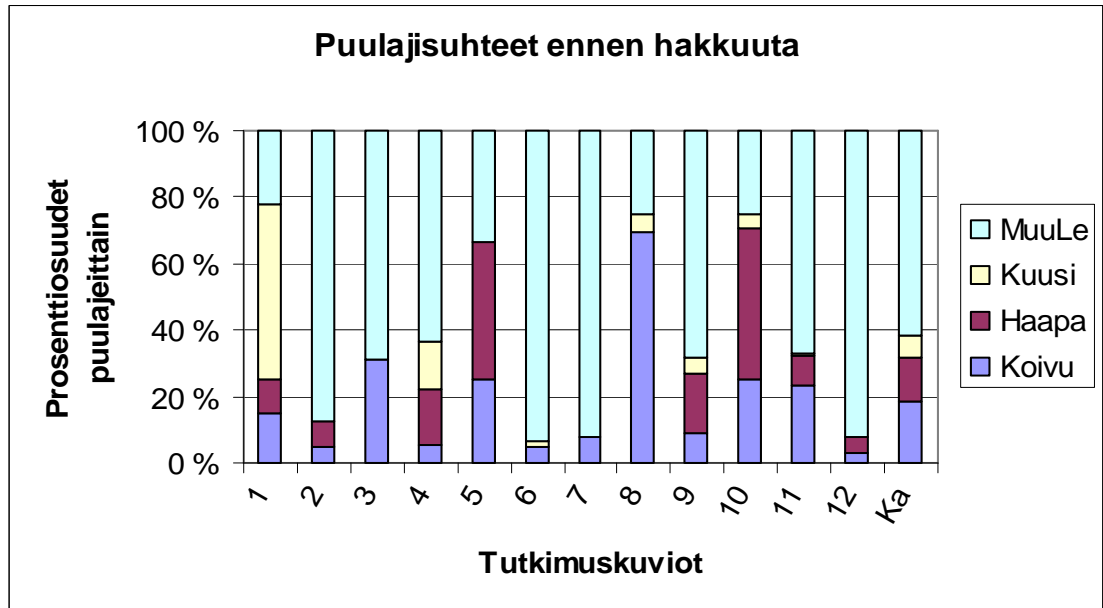
Tutkimusleimikoiden läpimittajakauma selvitettiin ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen. Kuvassa 4 on esitetty tutkimuskohteiden läpimittajakauma ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen 2 cm:n luokissa ja luokan prosentuaalinen osuus kokonaismäärästä.



Kuva 4. Energiapuuharvennuskohteiden läpimittajakauma

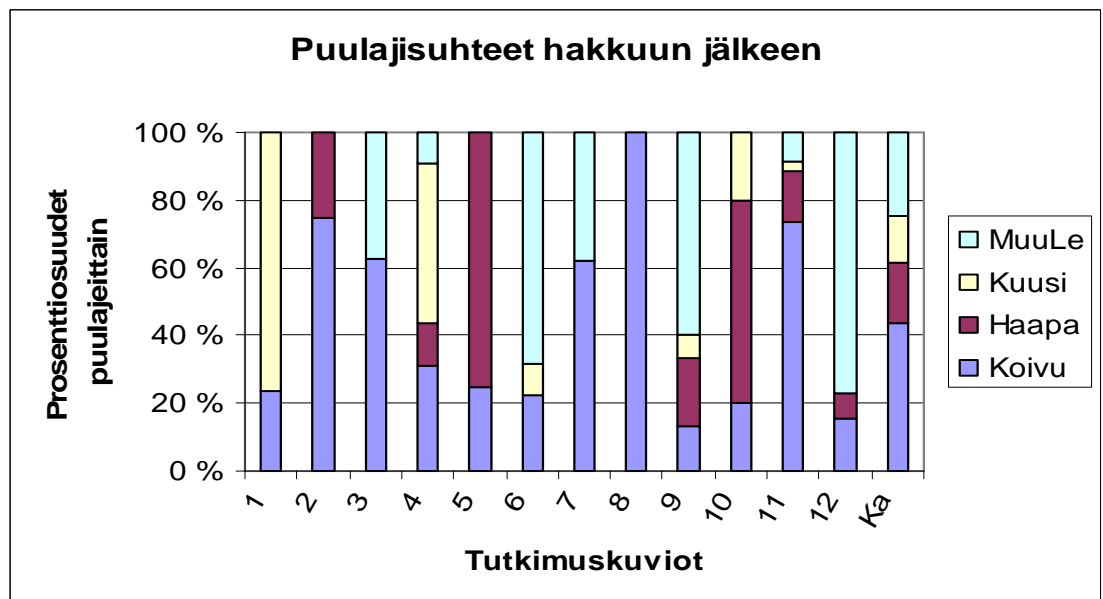
Kuvassa 5 on esitettyä puuston puulajikohtainen jakauma kuvioittain ja kuvioiden keskimääräinen puulajikohtainen jakauma. Keskiarvallisesti tarkasteltuna tutkimus-

leimikoiden puusto ennen hakkuuta jakautui puulajeittain seuraavanlaisesti: 61 % muut lehtipuut, 19 % koivu, 13 % haapa ja 7 % kuusi.



Kuva 5. Tutkimusleimikoiden puulajisuhteet ennen hakkuuta

Tutkimusleimikoiden puuston jakauma hakkuun jälkeen oli tasaisempi kuin ennen hakkuuta. Kuvasta 6 nähdään hakkuun painottuminen muiden lehtipuiden poistamiseen. Keskiarvallisesti tarkasteltuna kuvioiden puusto jakautui hakkuun jälkeen seuraavasti: koivu 43,7 %, muut lehtipuut 24,9 %, haapa 17,9 % ja kuusi 13,5 %.



Kuva 6. Tutkimusleimikoiden puulajisuhteet hakkuun jälkeen

Leimikoiden puustotiedot tutkimuskuvioittain ja näiden keskiarvo on esitetty taulukossa 1. Hakkuukertymän ja keskijäreystietojen laskennassa on käytetty oletuksena, että korjuu on tehty kokopuuna. Yhteensä energiapuuta hakattiin 12 metsikkökuvioilla, joiden yhteen laskettu pinta-ala oli 9,5 hehtaaria. Leimikoiden puustotietoja kerättiin yhteensä 39 kiinteältä metsikkökoealalta.

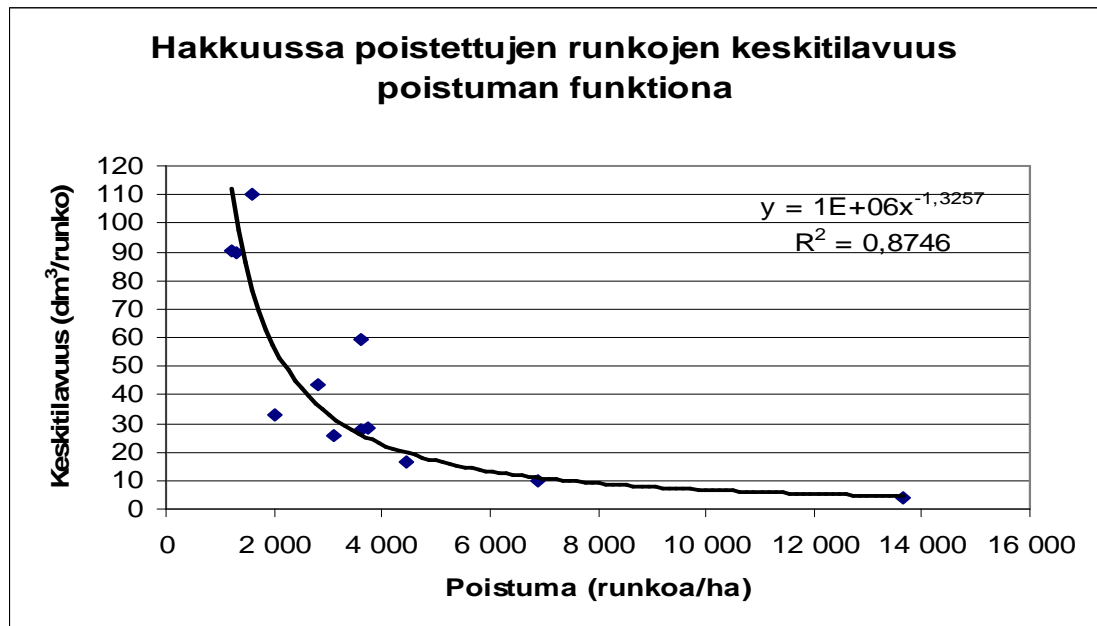
Leimikoiden puuston tiheys ennen hakkuuta oli keskimäärin 4 695 runkoa hehtaaria kohden. Lähtötiheydessä on mukana kaikki yli 3 cm läpimitaltaan olevat puut. Hakkuussa poistettiin keskimäärin 3 717 puuta hehtaaria kohden. Hakkuun jälkeen tutkimuskuviot jäivät keskimäärin 979 rungon hehtaari tiheyteen. Leimikoilta korjattiin energiapuuta keskimäärin 104,9 kuutiometriä hehtaaria kohden. Hakkuussa poistetun puun keskitilavuus tutkimuskuvioilla oli 28,2 dm³. (Taulukko 1.)

Taulukko 1. Tutkimusleimikoiden puustotiedot taulukkona

Tutkimuskuvio	Koealoja, kpl	Näkemäraivatut kuviot	Lähtötiheys, yli 3 cm puut/ha	Lopputiheys, yli 5 cm puut/ha	Hakkuun poistuma puuta/ha	Hakkuukertymä, m ³ /ha	Hakkuun poistuman keskitilavuus, dm ³ /runko
1	3		3 923	1 132	2 800	122,5	43,8
2	2		4 000	400	3 600	213,7	59,4
3	4		2 100	800	1 300	116,9	89,9
4	3	*	14 781	1 132	13 649	50,0	3,7
5	1		2 400	800	1 600	175,7	109,8
6	3	*	5 933	1 466	4 467	74,1	16,6
7	5	*	8 360	1 480	6 880	66,4	9,7
8	4	*	1 123	700	423	84,7	200,2
9	3		2 200	1 000	1 200	108,3	90,3
10	1	*	3 000	1 000	2 000	65,6	32,8
11	7	*	4 057	970	3 087	80,4	26,0
12	3	*	4 466	866	3 600	100,5	27,9
Keskiarvo	3,25	-	4 695	979	3 717	104,9	28,2

Kuvassa 7 on esitetty hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus poistuman funktiona. Tutkimuskohteiden energiapuuharvennuksissa poistettujen runkojen keskitilavuus oli 28,2 dm³/runko, ja hakkuussa poistettiin keskimäärin 3 717 runkoa hehtaaria kohden. Hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden ja hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärän välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,8746$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttäen lajiltaan potenssirendiviivaa. Kuvasta 7 nähdään, kuinka

voimakkaasti hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus alenee, kun hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärä kasvaa. Keskitilavuus pienenee huomattavasti tasaisemmin, kun hakkuun poistuma ylittää 2 000 runkoa/ha. (Kuva 7.)



Kuva 7. Hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus poistuman funktiona

6.2. Näkemäraivauksen kustannukset ja päivätuotos

Näkemäraivaus suoritettiin kaikkiaan seitsemällä metsikkökuvioilla. Kuvioiden pinta-alat vaihtelivat 0,2 ja 2 hehtaarin välillä. Näkemäraivatuista kuvioista kaksi edusti metsikönkehitysluokaltaan vartuneita taimikoita (Taulukko 2, kuviot 7 ja 4), yksi ylispuustoista taimikkoa (Taulukko 2, kuvio 6) ja neljä nuoria kasvatusmetsiköitä (Taulukko 2, kuviot 8, 10, 11 ja 12).

Näkemäraivattujen kuvioiden hehtaariohtainen runkoluku oli 6 684–21 200 rungon välillä, keskimäärin 11 723 runkoa hehtaarilla. Raivauksessa kaadettujen runkojen määrä vaihteli 2 627–6 419 runkoa hehtaaria kohden. Näkemäraivauksen tuottavuus seitsemän tunnin työpäivää kohden vaihteli 0,88–1,92 hehtaaria ja oli keskimäärin 1,29 hehtaaria. Kustannukset hehtaaria kohden vaihtelivat 126–278 € ja olivat keskimäärin 201 €. (Taulukko 2.)

Taulukko 2. Näkemäraivauksen yhteenvetotaulukko

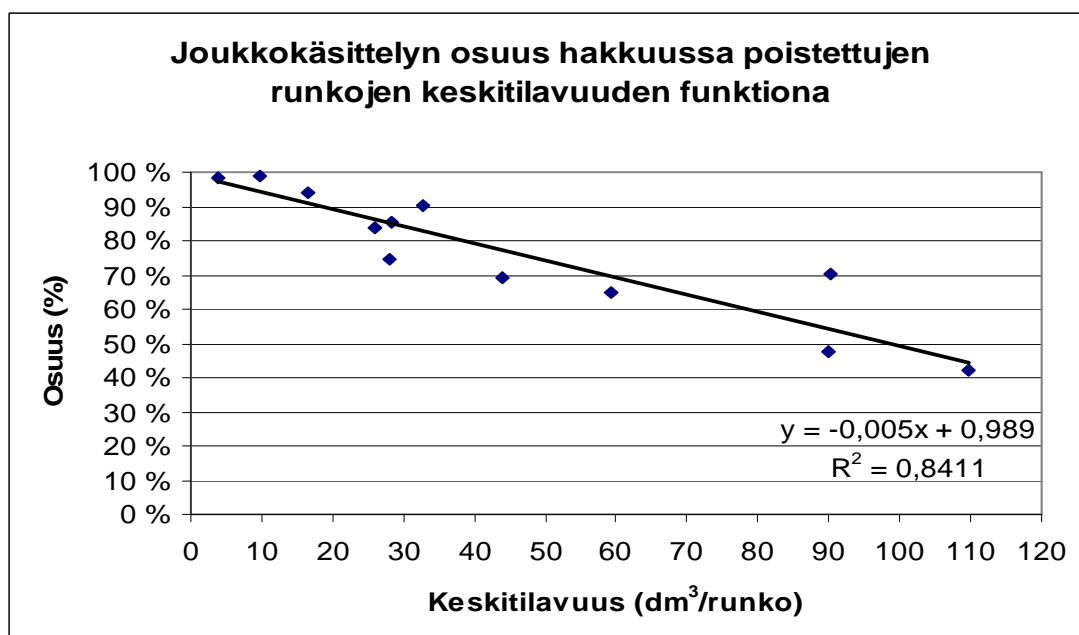
Tutkimus- kuvio	Tutkimus- kuvion lähtötiheys, runkoa/ha	Näkemä- raivauksen poistuma, runkoa/ha	Näkemä- raivauksen voimakkuus %	Lähtötiheys ennen hakkuuta, runkoa/ha	Näkemä-, raivauksen tuottavuus, ha/työpäivä	Näkemä- raivauksen kustannus, €/ha
4	21 200	6 419	30 %	14 781	1,20	202,41
6	10 666	4 733	44 %	5 933	1,09	223,25
7	13 520	5 160	38 %	8 360	0,98	247,97
8	7 523	6 400	85 %	1 123	1,92	126,24
10	10 800	7 800	72 %	3 000	1,40	173,60
11	6 684	2 627	39 %	4 057	1,56	156,24
12	11 666	7 200	62 %	4 466	0,88	277,76
Keskiarvo	11 723	5 763	49 %	5 960	1,29	201,08

6.3. Hakkuu ja metsäkuljetus

Energiapuuharvennusten hehtaarikohtaiset kertymät kuvioittain ja kertymän jakautuminen käsittelytavoittain on esitetty liitteessä 1. Hakkuun keskimääräinen kertymä tutkimuskohteilla oli 104,9 m³/ha, mistä kuutioitiin ja tehtiin yksinpuin 50,7 m³/ha, joukkokäsiteltiin ja kuutioitiin 2,8 m³/ha ja pelkästään joukkokäsiteltiin 51,4 m³/ha.

Tutkimusleimikoiden energiapuuharvennusten poistuma oli keskimäärin 3 717 runkoa hehtaaria kohden (Taulukko 1). Tästä poistumasta keskimäärin 3 174 runkoa poistettiin joukkokäsittellen. Joukkokäsittelyn osuus tutkimuskohteiden poistumasta oli keskimäärin 85,4 %. Keskimäärin käsittelykertoja rekisteröityi hehtaaria kohden 1 580, ja 2,0 runkoa käsittelykertaa kohden. (Liite 2.)

Kuvassa 8 on esitetty joukkokäsittelyn käyttö tutkimusleimikoilla keskitilavuuden funktiona. Kyseisestä kuvasta nähdään, että joukkokäsittelyn käyttö vähenee tasaisesti hakkuun poistuman keskitilavuuden kasvaessa ja alittaa 50 % osuuden keskitilavuuden ollessa noin 100 dm³/runko. Joukkokäsittelyn käytön ja keskitilavuuden välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,8411$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttäen lajitetaan lineaarista trendiviivaa.



Kuva 8. Joukkokäsittelyn osuus hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona

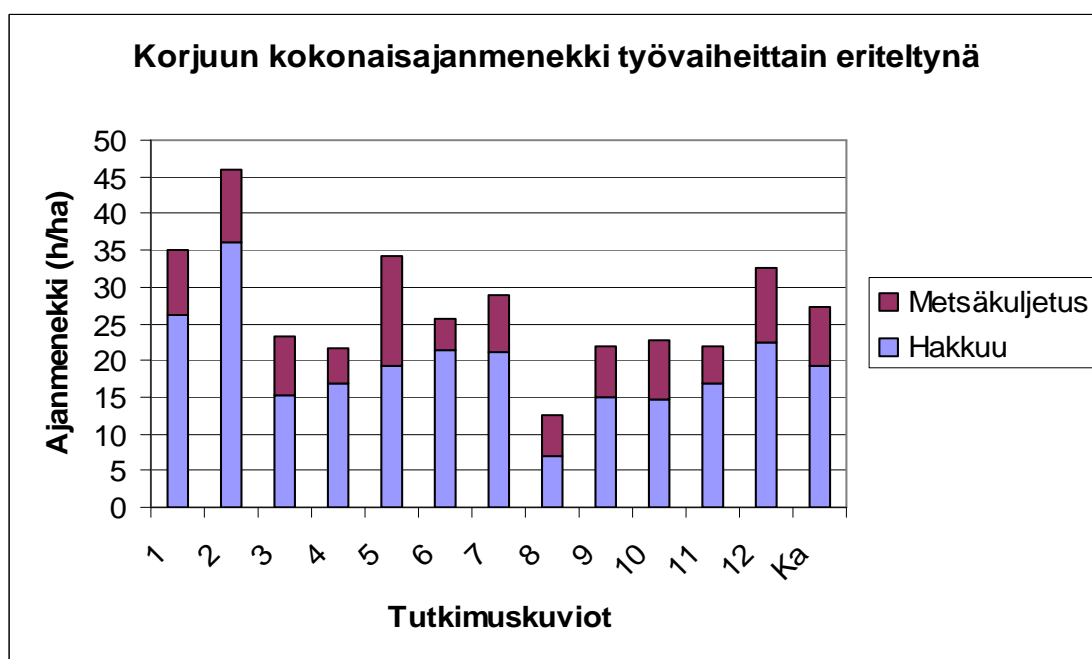
Tutkimusleimikoiden tuottavuus määritettiin kuviokohtaisesti aikatutkimuksen avulla. Aikatutkimuksessa selvitettiin työajanmenekit. Työajanmenekit selvitettiin hakkuusta ja metsäkuljetuksesta. Hakkuun työajanmenekki kirjautui kuviokohtaisesti hakkuukoneelle, josta se voitiin tulostaa leimikkoraporttina. Metsäkuljetuksen osalta ajokoneenkuljettaja kirjasi kuviokohtaisen työajan. Tutkimusleimikoiden hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottavuudet on laskettu ajanmenekin ja kertymän perusteella.

Taulukosta 3 nähdään hakkuun ja metsäkuljetuksen hehtaariohtainen ajanmenekki sekä hakkuun ja metsäkuljetuksen tuntituottavuus kuvioittain. Hakkuutyön keskimääräinen työajanmenekki tutkimuskohteilla oli 19,34 tuntia hehtaaria kohden. Hakkuutyön keskimääräinen tuottavuus oli 5,42 m³/h. Metsäkuljetuksen keskimääräinen työajanmenekki tutkimuskohteilla oli 7,9 tuntia hehtaaria kohden. Metsäkuljetuksen keskimääräinen tuottavuus oli 13,1 m³/h. (Taulukko 3.)

Taulukko 3. Korjuun yhteenvetotaulukko

Tutkimus- kuvio	Hakkuun ajanmenekki, h/ha	Hakkuun tuottavuus, m ³ /h	Metsäkuljetuksen ajanmenekki, h/ha	Metsäkuljetuksen tuottavuus, m ³ /h	Korjuun ajanmenekki, h/ha	Hakkuun kertymä, m ³ /ha
1	26,3	4,7	8,6	14,3	34,9	122,5
2	36,1	5,9	10,0	21,4	46,1	213,7
3	15,3	7,6	8,0	14,6	23,3	116,9
4	16,8	3,0	5,0	10,0	21,8	50,0
5	19,2	9,2	15,0	11,7	34,2	175,7
6	21,3	3,5	4,3	17,3	25,6	74,1
7	21,1	3,2	7,9	8,5	29,0	66,4
8	7,0	12,1	5,5	15,5	12,5	84,7
9	14,9	7,3	7,1	15,2	22,0	108,3
10	14,8	4,4	7,9	8,3	22,7	65,6
11	16,9	4,8	5,0	16,1	21,9	80,4
12	22,5	4,5	10,0	10,1	32,5	100,5
Keskiarvo	19,3	5,42	7,9	13,4	27,2	104,9

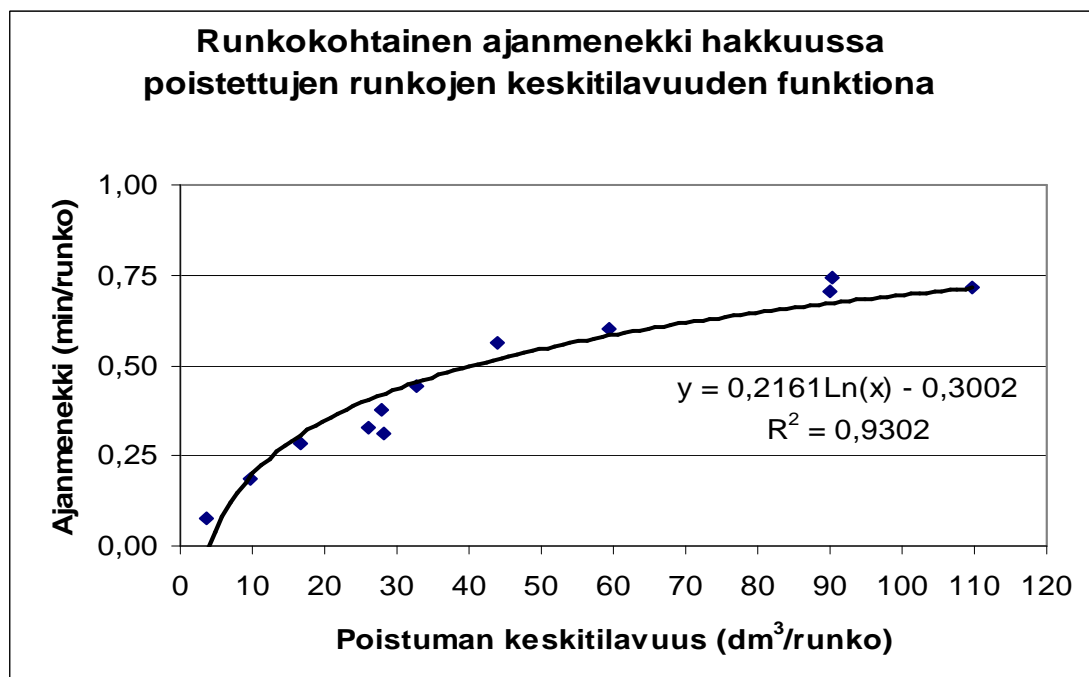
Kuvasta 9 nähdään hehtaarikohtaisen korjuun kokonaisajan jakautuminen tutkimuskohteiden välillä. Korjuun kokonaisaika on jaettu työvaiheisiin, joita ovat hakkuu ja metsäkuljetus. Keskimäärin korjuun ajanmenekki oli tutkimuskuvioilla 27,4 tuntia hehtaaria kohden.



Kuva 9. Korjuun kokonaisajanmenekki työvaiheittain eriteltynä

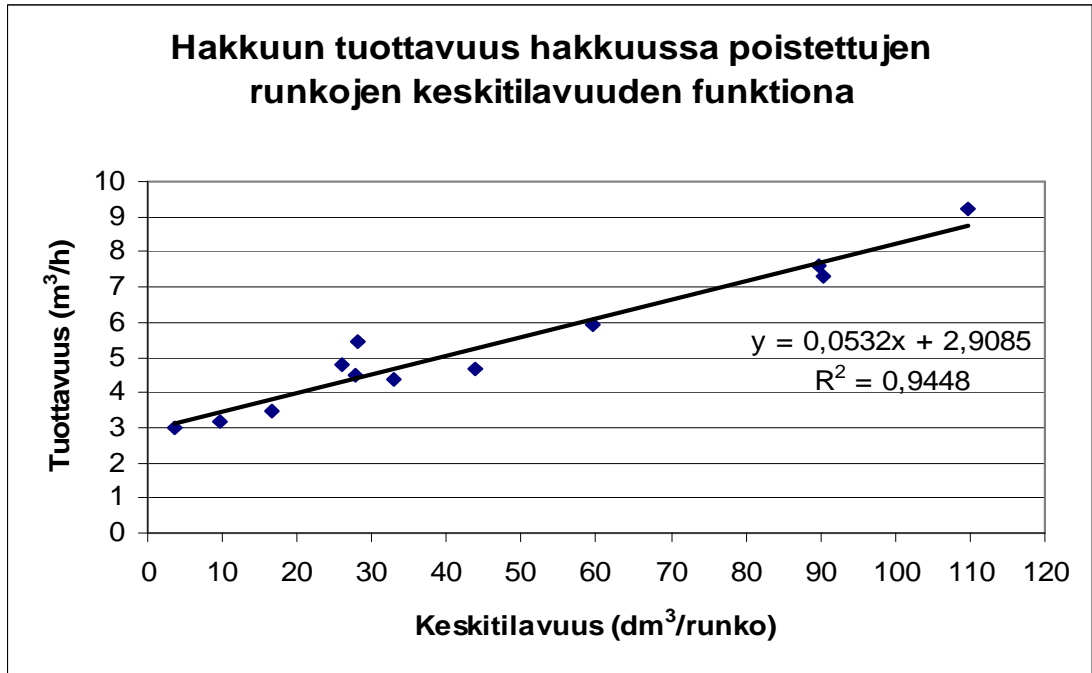
Kuvassa 10 on esitetty tutkimuskohteiden hakkuun runkokohtaiset työajanmenekit hakkuun poistuman keskitilavuuden funktiona. Runkokohtaisen ajanmenekin laskenta

perustui hakkuutyön hehtaarikohtaiseen ajanmenekkiin ja hakkuun hehtaarikohtaiseen poistettujen puiden lukumäärään. Poistettavien puiden keskijäreiden kasvu vaikuttaa runkokohtaiseen ajanmenekkiin. Poistuman keskitilavuuden kasvaessa puukohtaisen ajanmenekin kasvu on aluksi suuri. Poistuman keskitilavuuden ylittäessä 40 dm^3 puukohtaisen ajanmenekin kasvu tasaantuu. Puukohtaisen ajanmenekin ja poistetun rungon keskitilavuuden välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2 = 0,9302$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttäen lajiltaan logaritmista trendiviivaa.



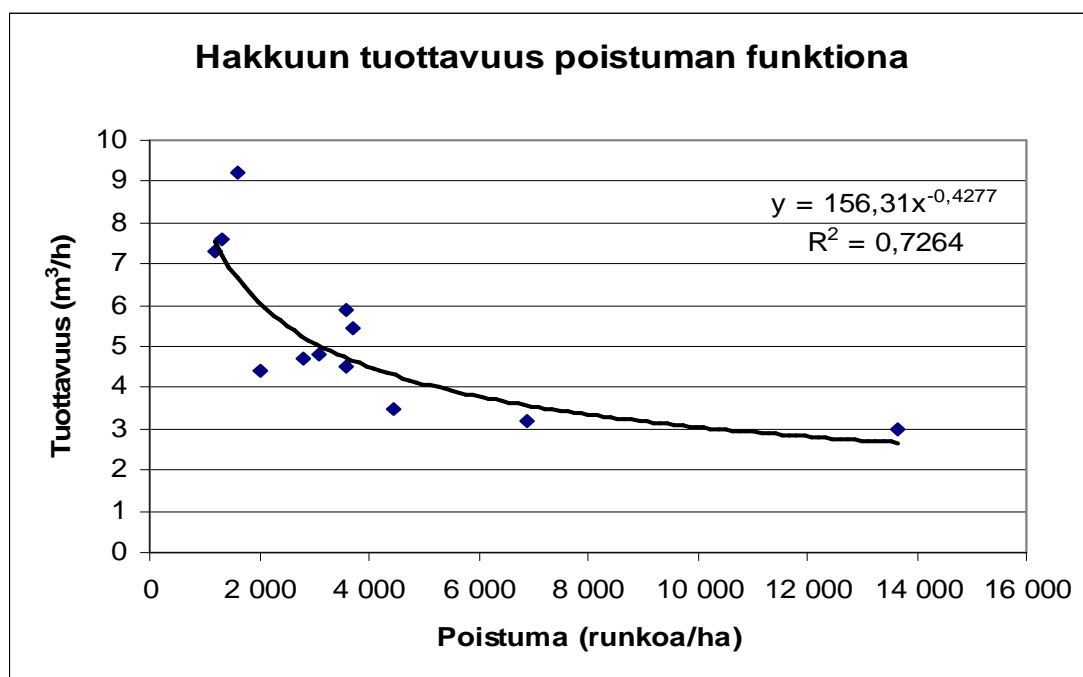
Kuva 10. Runkokohtainen ajanmenekki hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona

Kuvassa 11 on esitetty tutkimusleimikoiden hakkuutyön tuottavuudet hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona. Kuvasta 11 huomataan hakkuun tuottavuuden tasainen kasvu poistuman keskitilavuuden kasvaessa. Keskimäärin hakkuukoneen tuottavuus oli energiapuunkorjuukohteilla $5,42 \text{ m}^3/\text{h}$ ja hakkuussa poistettujen runkojen tilavuus $28,2 \text{ dm}^3/\text{runko}$. Tuntituottavuuden ja poistuman keskitilavuuden välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2 = 0,9448$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttäen lajiltaan lineaarista trendiviivaa.



Kuva 11. Hakkuun tuottavuus hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona

Kuvassa 12 on esitetty hakkuutyön tuottavuus hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärän funktiona. Hakkuutyön tuottavuus oli tutkimuskohteilla keskimäärin 5,42 m³/h ja hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärä 3 717 runkoa/ha. Hakkuun tuntituottavuuden ja hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärän välillä vallitsi melkoinen korrelaatio ($R^2=0,7264$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttäen lajiltaan potenssitrendiviivaa. Hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärän kasvaessa hakkuutyön tuntituottavuus alenee voimakkaasti. Hakkuun poistuman ylittäessä 2 000 runkoa/ha hakkuun tuntituottavuuden aleneminen tasaantuu. (Kuva 12.)



Kuva 12. Hakkuun tuottavuus poistuman funktiona

6.4. Kustannukset

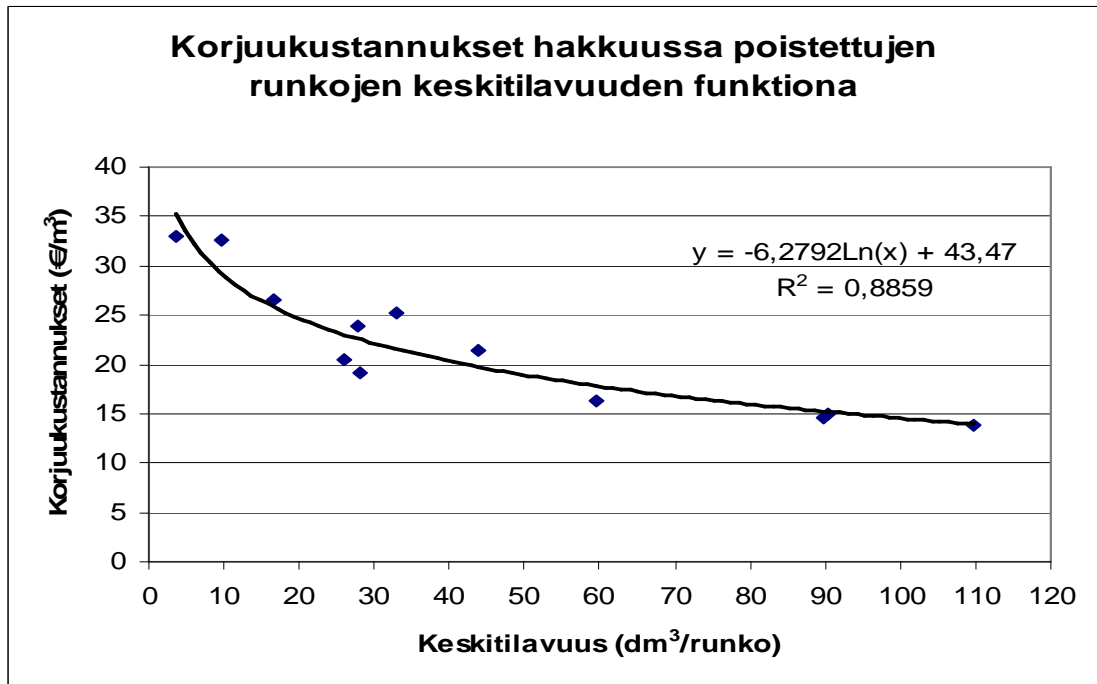
Taulukossa 4 on esitetty hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottavuudet ja kustannukset tutkimusleimikoittain. Korjuun yhteydessä selvitettyjen kuviokohtaisten ajanmenekki- en avulla laskettiin kuviokohtaiset korjuukustannukset. Korjuukustannukset on eritelty hakkuutyön ja metsäkuljetuksen kustannuksiksi.

Hakkuutyön kustannusten laskennassa on käytetty hakkuukoneen tuntikustannuksena 80 € ja metsäkuljetuksessa ajokoneen tuntikustannuksena 60 €. Kustannuksen yksik- könä on käytetty €/m³. Energiapuun korjuun kustannukset olivat tutkimusleimikoissa keskimäärin 19,24 €/m³. Energiapuun hakkuukustannukset olivat 14,75 €/m³ ja met- säkuljetuskustannus 4,49 €/m³. (Taulukko 4.)

Taulukko 4. Korjuukustannusten yhteenvetotaulukko

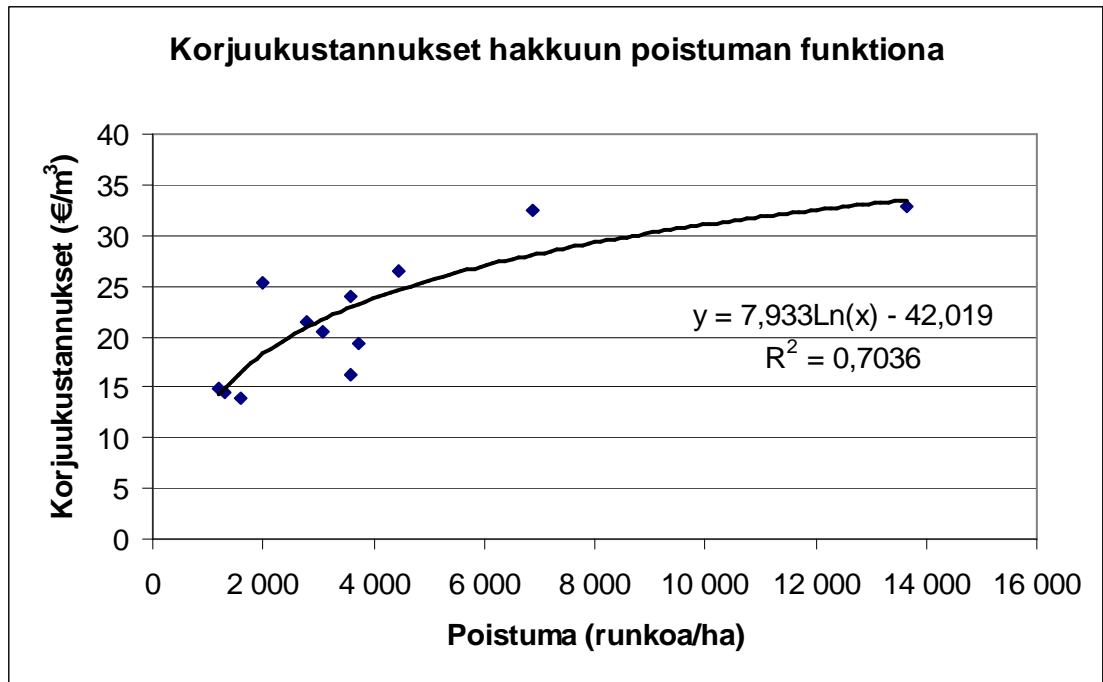
Tutkimus- kuvio	Hakkuun tuottavuus, m ³ /h	Hakkuun- kustannus, €/m ³	Metsä- kuljetuksen tuottavuus,m ³ /h	Metsä- kuljetuksen kustannus €/m ³	Korjuu kustannus, €/m ³
1	4,65	17,19	14,3	4,20	21,39
2	5,92	13,51	21,4	2,81	16,32
3	7,64	10,47	14,6	4,10	14,57
4	2,98	26,83	10,0	6,10	32,93
5	9,18	8,72	11,7	5,12	13,84
6	3,48	22,99	17,3	3,47	26,46
7	3,15	25,43	8,5	7,10	32,53
8	12,07	6,62	15,5	3,86	10,48
9	7,27	11,01	15,2	3,96	14,97
10	4,44	18,00	6,6	7,23	25,23
11	4,77	16,78	16,1	3,73	20,51
12	4,47	17,91	10,1	5,97	23,88
Keskiarvo	5,42	14,75	13,4	4,49	19,24

Kuvassa 13 on esitetty korjuukustannukset hakkuun poistuman keskitilavuuden funktiona. Keskimäärin korjuukustannukset kohteilla olivat 19,24 €/m³ ja hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus 28,2 dm³/runko. Korjuukustannusten ja poistuman keskitilavuuden välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,8859$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käytettäessä lajiltaan logaritmista trendiviivaa. Kuvasta nähdään, että korjuukustannukset nousevat, kun hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus alenee. Korjuukustannusten kasvu voimistuu, kun hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus alittaa 20 dm³/runko.



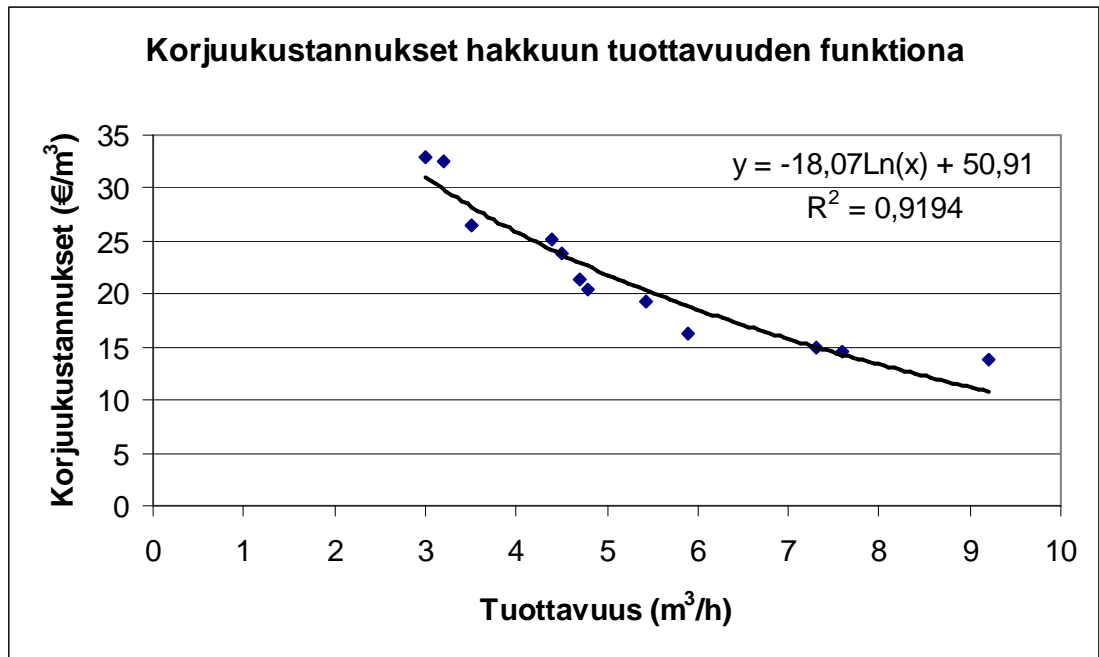
Kuva 13. Korjuukustannukset hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona

Kuvassa 14 on esitettyä korjuukustannukset hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärän funktiona. Keskimäärin korjuukustannukset olivat tutkimuskohteilla 19,24 €/m³ ja hakkuun poistuma 3 717 runkoa/ha. Korjuukustannusten ja hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärän välillä vallitsi melkoinen korrelaatio ($R^2=0,7036$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käytettäessä lajiltaan logaritmista trendiviivaa. Kuvasta 14 nähdään korjuukustannusten nousu, kun hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärä kasvaa.



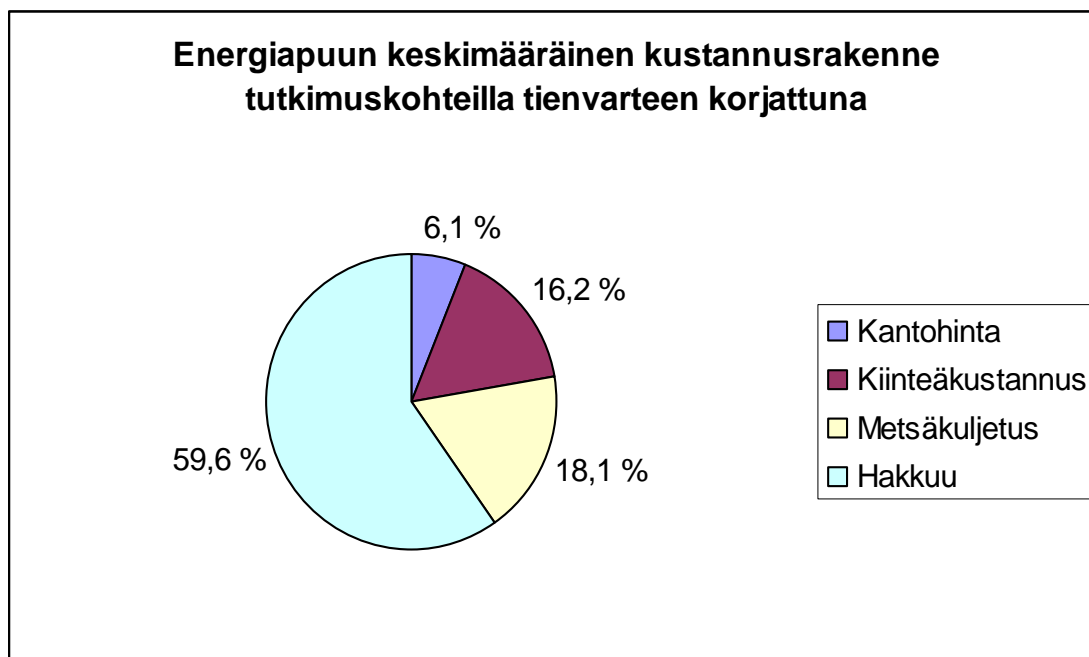
Kuva 14. Korjuukustannukset hakkuun poistuman funktiona

Kuvassa 15 on esitetty korjuukustannukset hakkuun tuottavuuden funktiona. Energia-puun korjuussa hakkuutyön tuottavuus oli keskimäärin $5,42 \text{ m}^3/\text{h}$. Kohteiden korjuukustannukset olivat keskimäärin $19,24 \text{ €/m}^3$. Hakkuun tuntuottavuuden ja korjuukustannusten välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,9194$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käytettäessä logaritmista trendiviivaa. Kuvasta 15 nähdään, kuinka korjuukustannukset nousevat hakkuun tuottavuuden alentuessa. Korjuukustannusten kasvu voimistuu hakkuun tuntuottavuuden laskiessa alle $4 \text{ m}^3/\text{h}$.



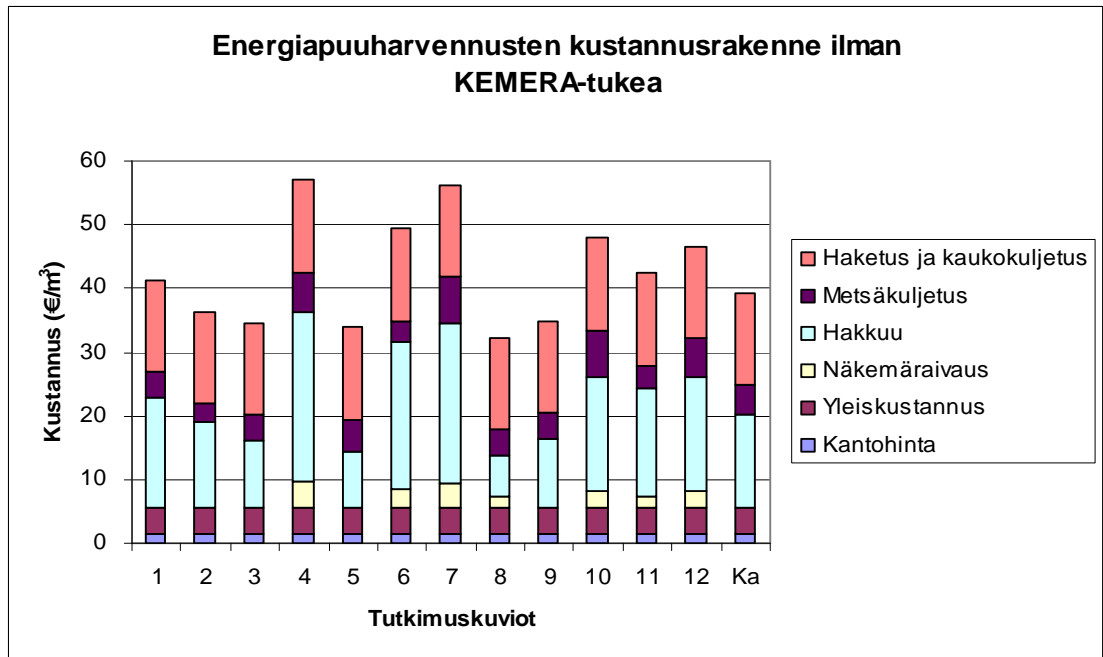
Kuva 15. Korjuukustannukset hakkuun tuottavuuden funktiona

Käytettyjen oletusarvojen ja tutkimusleimikoiden korjuun yhteydessä kerätyn aineiston avulla laskettiin energiapuu-m³:n kustannusrakenne, kun energiapuu on korjattuna tienvarteen. Energiapuu-m³:n kustannusrakenne on laskettu tutkimuskuvioiden kustannusten keskiarvona ja esitetty kustannuslajeittain prosentuaalisesti. Kuvasta 16 nähdään, että energiapuu-m³:n kustannuksista tienvarressa hakkuun osuus on yli puolet (56,9 %). Metsäkuljetuksen osuus on 18,1 % ja yleiskustannuksia kertyy 16,2 %, mikä on lähes yhtä paljon kuin metsäkuljetuksen osuus energiapuu-m³:n kustannuksista. Loppu 6,1 % oli kantohinnan osuus.



Kuva 16. Energiapuun keskimääräinen kustannusrakenne tutkimuskohteilla tienvarteen korjattuna

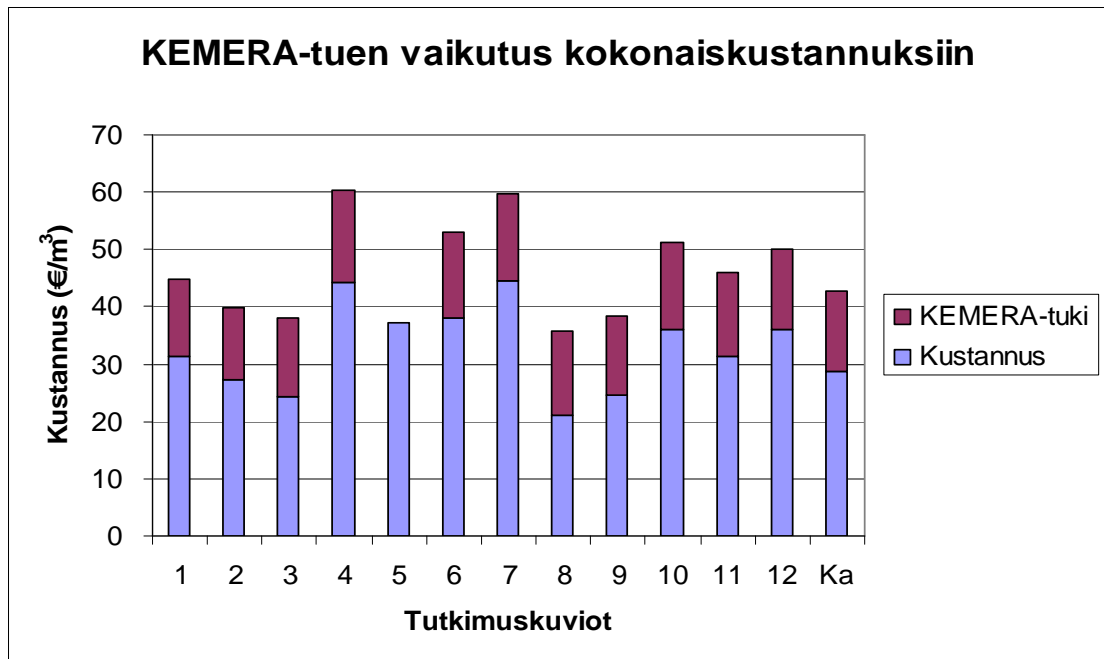
Energiapuu- m^3 :n kokonaiskustannusrakenne selvitettiin tutkimuskohteilta kerätyn aineiston ja käytettyjen oletusarvojen avulla. Kustannukset selvitettiin energiapuuharvennusten saantoon nähden, eli kuinka suuret olivat kokonaiskustannukset energiapuu- m^3 :ä kohden. Kokonaiskustannukset jakaantuvat eri kustannuslajeihin seuraavanlaisesti: kantohinta, yleiskustannus, hakkuu, metsäkuljetus sekä haketus- ja kaukokuljetus. Energiapuuharvennusten kokonaiskustannukset energiapuu- m^3 :ä kohden olivat keskimäärin $39,24 \text{ €/m}^3$ ja jakautuivat kustannuslajeittain seuraavanlaisesti: kantohinta $1,5 \text{ €/m}^3$, yleiskustannus $4,00 \text{ €/m}^3$, hakkuu $14,75 \text{ €/m}^3$, metsäkuljetus $4,49 \text{ €/m}^3$ ja haketus- ja kaukokuljetus $14,50 \text{ €/m}^3$. Näkemäraivauksen kustannus oli keskimäärin $2,84 \text{ €/m}^3$. (Kuva 17.)



Kuva 17. Energiapuuharvennusten kustannusrakenne ilman KEMERA-tukea

KEMERA-tukien osuus kustannuksista on laskettu ja esitetty kuviokohtaisesti, yksikkönä €/m³. Laskennassa on käytetty oletuksena, että jokainen kuvio on yhden hehtaarin suuruinen. Kuviokohtaisten arvojen lisäksi on laskettu myös keskiarvo. Hankintakustannuksena on käytetty kantohintaa 5,00 €/m³, yleiskustannuksena arvoa 4,00 €/m³ ja näkemäraivausten kustannukset on laskettu niille kuvioille, joilla kyseinen työ tehtiin. Haketus- ja kaukokuljetuskustannusten arvona on käytetty 14,50 €/m³. (Kuva 18.)

KEMERA -tuen vaikutus on laskettu kaikista muista kuvioista paitsi kuviosta 5, joka ei täyttänyt KEMERA-tuen edellytyksiä puuston järeyden vuoksi. Keskimäärin tutkimuskohteiden kokonaiskustannuksiksi muodostui oletetulla 5,00 €/m³:n kantohinnalla 42,74 €/m³, josta KEMERA-tuen osuus oli keskimäärin 14,00 €/m³. Kustannukseksi KEMERA-tuen jälkeen jäi keskimäärin 28,74 €/m³. (Kuva 18.)

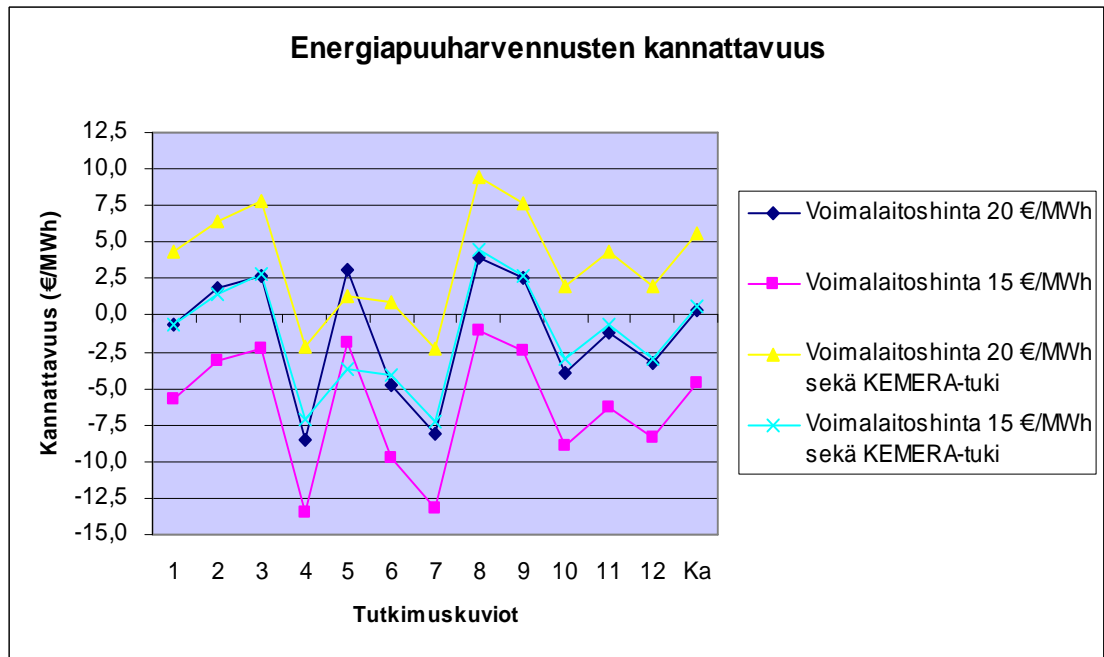


Kuva 18. KEMERA-tuen vaikutus kokonaiskustannuksiin

6.5. Kannattavuus

Kannattavuuslaskelmat ilman KEMERA-tukea, on laskettu kahdelle voimalaitoshinnalle, 20,00 €/MWh ja 15,00 €/MWh. Kustannukset on muutettu energianhankinnan kustannuksiksi, yksikkönä €/MWh. Tämä tapahtui puoittamalla energiapuu-m³:n hankinnan kokonaiskustannukset. Laskelmat, joissa on huomioitu KEMERA-tuen vaikutus, on tehty käyttäen edellä mainittuja voimalaitoshintoja.

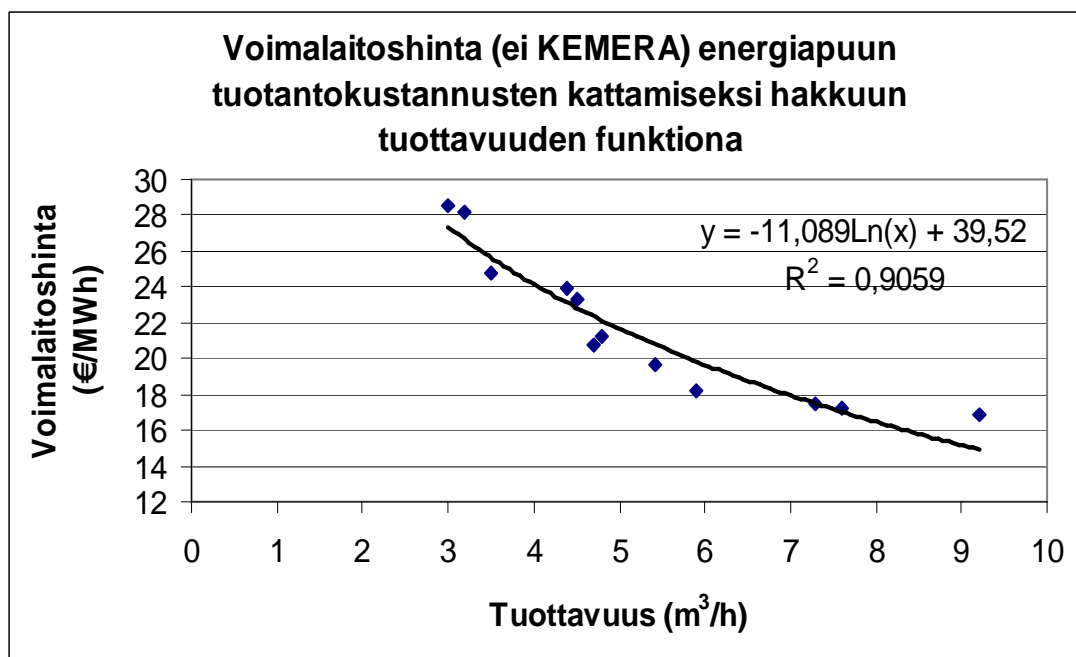
Käyttäen voimalaitoshintaa 20,00 €/MWh kannattavuus oli keskimäärin 0,38 €/MWh (Kuva 22) ja käytettäessä 15,00 €/MWh:n voimalaitoshintaa kannattavuus oli keskimäärin -4,62 € / MWh. (Kuva 19.) KEMERA-tuki paransi tutkimuskohteiden kannattavuutta. Käyttäen 20,00 €/MWh:n voimalaitoshintaa kannattavuus oli positiivinen, keskimäärin 5,64 €/MWh. Käytettäessä 15,00 €/MWh voimalaitoshintaa kannattavuus jäi negatiiviseksi, ja se oli keskimäärin -0,63 €/MWh. (Kuva 19.)



Kuva 19. Energiapuuharvennusten kannattavuus

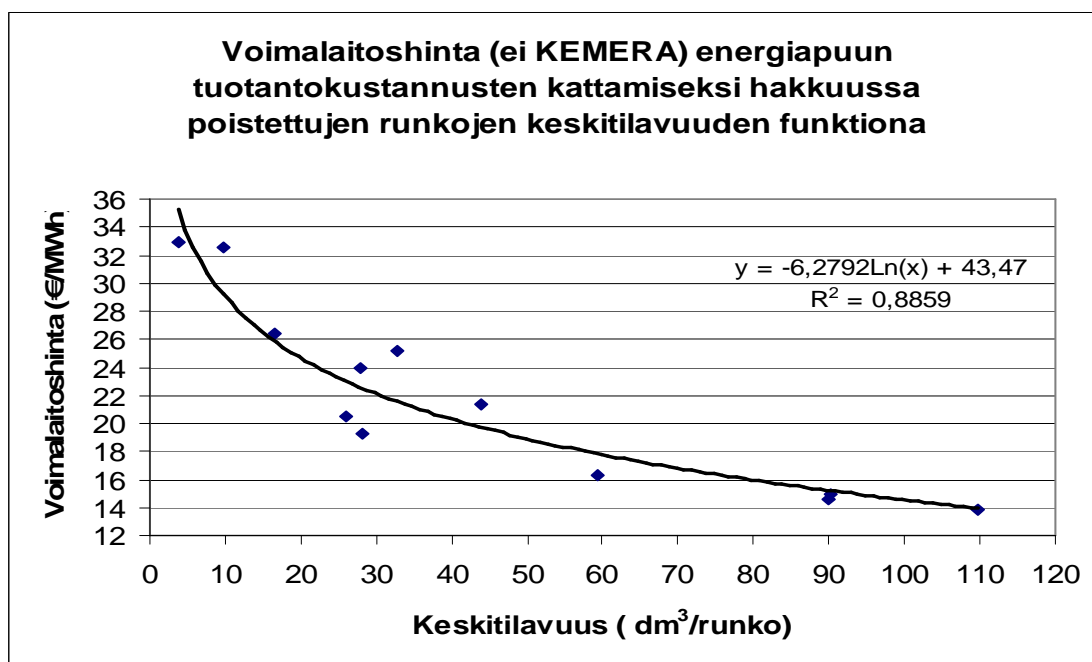
Kuviokohtaisten sekä tutkimuskohteiden keskimääräisen energiapuun hankintakustannusten (€/MWh) avulla selvitettiin voimalaitoshinta, jolla saavutettaisiin kunkin kuvion kohdalla nollatulot eli kannattavuuden nollaraja. Keskimäärin, ilman KEMERA-tukea, tutkimuskohteiden kannattavuuden nollaraja saavutettiin voimalaitoshinnalla 19,62 €/MWh. (Kuva 20.) KEMERA-tuki huomioiden tutkimuskohteiden kannattavuuden nollaraja saavutettiin voimalaitoshinnalla 14,37 €/MWh (Kuva 22).

Kuvassa 20 on esitetty voimalaitoshinta energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuun tuottavuuden funktiona. Keskimäärin hakkuukoneen tuottavuus kohteilla oli 5,42 m³/h, jolloin kannattavuuden nollaraja saavutettiin voimalaitoshinnalla 19,62 €/MWh. Hakkuun tuottavuuden ja kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittavan voimalaitoshinnan välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,9059$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttäen lajiltaan logaritmista trendiviivaa. Kuvasta 20 nähdään, että kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittava voimalaitoshinta nousee, kun hakkuun tuottavuus alenee. Kun hakkuutyön tuntituottavuus laskee alle 4 m³/h, kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittavan voimalaitoshinnan kasvu voimistuu.

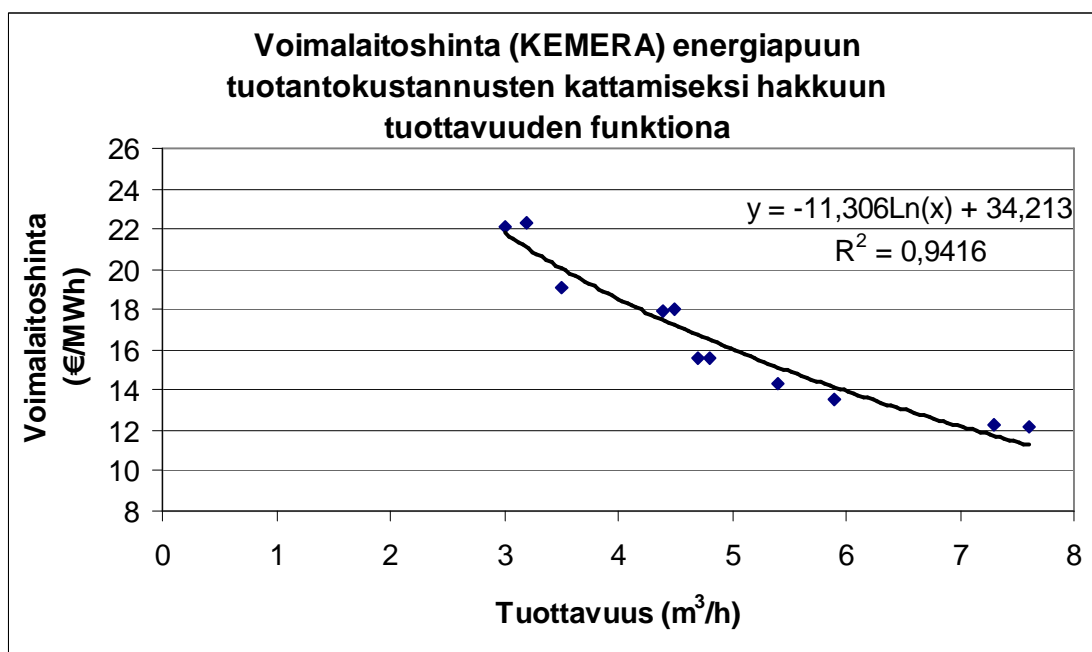


Kuva 20. Voimalaitoshinta (ei KEMERA) energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuun tuottavuuden funktiona

Kuvassa 21 on esitetty voimalaitoshinta energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuun poistuman keskitilavuuden funktiona. Hakkuussa poistettujen puiden keskitilavuus oli tutkimuskuvioilla keskimäärin 28,2 dm³/runko. Energiapuuharvennusten poistuman keskitilavuudella saavutettiin kannattavuuden nollaraja voimalaitoshinnalla 19,62 €/MWh. Hakkuun poistuman keskitilavuuden ja kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittavan voimalaitoshinnan välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,8859$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttämällä lajiltaan logaritmista trendiviivaa. Kuvasta 21 nähdään, että kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittava voimalaitoshinta nousee, kun hakkuun poistuman keskitilavuus laskee. Kun hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus laskee alle 20 dm³/runko, kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittava voimalaitoshinnan kasvu voimistuu.



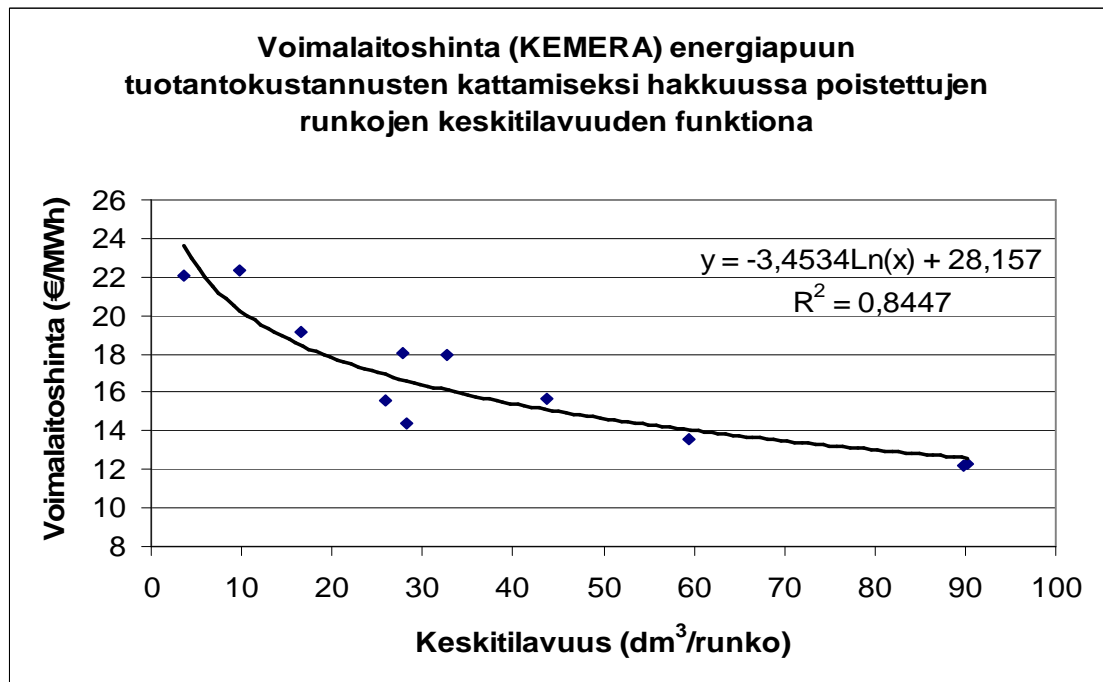
Kuva 21. Voimalaitoshinta (ei KEMERA) energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona



Kuva 22. Voimalaitoshinta (KEMERA) energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuun tuottavuuden funktiona

Kuvassa 22 on esitetty voimalaitoshinta, jossa on huomioitu KEMERA-tuki energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuun tuottavuuden funktiona. Keskimää-

rin hakkuukoneen tuottavuus kohteilla oli 5,42 m³/h, jolloin kannattavuuden nollaraja saavutettiin voimalaitoshinnalla 14,37 €/MWh. Hakkuun tuottavuuden ja kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittavan voimalaitoshinnan välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,9416$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käyttäen lajiltaan logaritmisista trendiviivaa. KEMERA-tuen vaikutus on huomattavissa alhaisempana voimalaitoshintana, joka vaaditaan energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi.



Kuva 23. Voimalaitoshinta (KEMERA) energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona

Kuvassa 23 on nähtävissä voimalaitoshinta, jossa on huomioitu KEMERA-tuki energiapuun tuotantokustannusten kattamiseksi hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden funktiona. Tutkimuskuvioiden energiapuuharvennusten poistuman keskitilavuus oli 28,2 dm³/runko. Tällöin kannattavuuden nollaraja saavutettiin voimalaitoshinnalla 14,37 €/MWh. Hakkuun poistuman keskitilavuuden ja kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittavan voimalaitoshinnan välillä vallitsi vahva korrelaatio ($R^2=0,8447$). Kyseinen korrelaatio saavutettiin käytettäessä lajiltaan logaritmisista trendiviivaa. Kuvasta 23 nähdään, että kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittava voimalaitoshinta nousee, kun hakkuun poistuman keskitilavuus alenee. Kun

hakkuun poistuman keskitilavuus laskee alle 20 dm³/runko, kannattavuuden nollarajan saavuttamiseksi vaadittavan voimalaitoshinnan kasvu voimistuu.

7 TULOSTEN TARKASTELU

7.1. Leimikkotiedot

Energiapuuharvennuskohteille ovat tyypillisiä erittäin suuret korjuuolosuhteissa esiintyvät eroavaisuudet. Korjuuta voidaan suorittaa kohteilta, joissa hakkuun hehtaarikohmainen runkolukupoistuma on korkea ja hakkuussa poistettujen puiden keskitilavuus on alhainen, tai kohteilla, joissa runkolukupoistuma on vähäinen ja keskitilavuus korkea (Kuva 7). Onkin ilmeistä, että hehtaarikohtaisen runkolukupoistuman kasvaessa ja keskitilavuuden laskiessa energiapuun korjuukustannukset kasvavat ja kannattavuus alenee muuttuen lopulta tappiolliseksi. Hehtaarikohtaisen runkolukupoistuman laskiessa ja keskitilavuuden noustessa energiapuun korjuukustannukset puolestaan alenevat ja kannattavuus paranee. Tällöin myös olosuhteet ainespuun korjuulle paranevat koko ajan ja lopulta korjataan pelkkää ainespuuta.

Tutkimuskohteilla oli metsätaloussuunnitelmassa maininta metsänhoitotoimenpiteiden kiireellisyydestä. Ehdotettuja hoitotoimenpiteitä olivat nuoren metsän hoito, ensiharvennus ja taimikon perkaus. Tutkimusleimikoiden puuston läpimittajakauma ennen hakkuuta oli selvästi epätasainen ja painottui pieniläpimittaiseen puustoon (Kuva 4). Tutkimuskohteiden puusto oli myös puulajisuhteiltaan epätasainen, painottuen vähempi arvoisiin lehtipuihin, kuten pihlaja, harmaaleppä ja raita. Kyseisiä puulajeja on käsitelty tässä opinnäytetyössä lajina muut lehtipuut (Kuva 5).

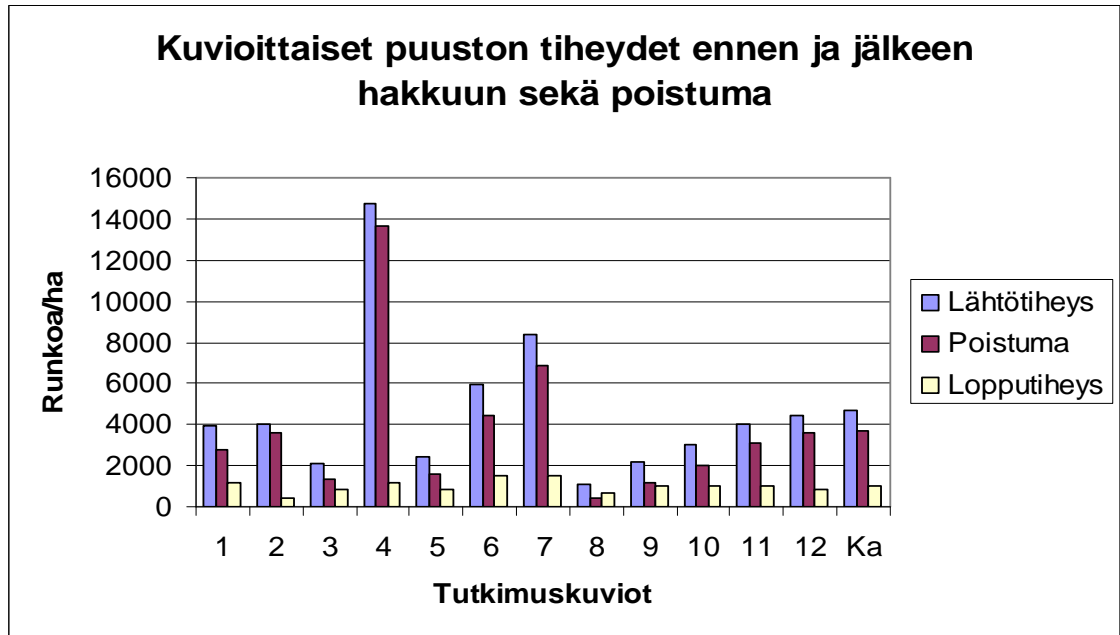
Kohteiden läpimittajakauman epätasaisuus ennen hakkuuta ja puulajisuhteiden painottuminen vähempiarvoisiin lehtipuihin kuvastaa sitä, että kohteiden metsänhoidollinen tila oli melko huono ja aiemmat hoitotoimenpiteet olivat jääneet tekemättä. Seitsemällä tutkimuskuviolla suoritettiin ennen hakkuuta näkemäraivaus, jossa yksittäiset alle 4 cm läpimitaltaan olevat puut kaadettiin. Tutkimusleimikoiden puusto ennen hakkuuta oli paikoin erittäin tiheä. Yli 3 cm läpimitaltaan olevan puuston hehtaarikohtaiset tiheydet vaihtelivat 1 123–14 781 runkoa. Leimikoiden puusto ennen hakkuuta jakautui

puulajeittain seuraavanlaisesti: 61 % muut lehtipuut, 19 % koivu, 13 % haapa ja 7 % kuusi.

Tutkimusleimikoiden energiapuuharvennus kohdistui valtaosin vähempiarvoisten ja pieniläpimittaisten lehtipuiden poistamiseen. Hakkuun hehtaarikohtainen poistuma vaihteli 423–13 649 runkoa, keskimäärin 3 717 runkoa hehtaarilla. Hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus vaihteli 3,5–200,2 dm³, keskimäärin 28,2 dm³/runko.

Hakkuun jälkeinen tutkimuskohteiden läpimittajakauma muodostui tasaisemmaksi, kuin se oli ennen hakkuuta (Kuva 4). Energiapuuharvennuksen jälkeen kasvatettavaksi jäävän yli 5 cm läpimitaltaan olevan puuston hehtaarikohtaiset tiheydet vaihtelivat 400–1 466 runkoa. Lisäksi osalle kuvioista jäi harvennuksen jälkeen kasvatuskelpoinen kuusialikasvos. Etenkin taimikkokohteilla on odotettavissa kaksijaksoinen kuusi-koivu tai muu lehtipuu -sekametsä, jossa lehtipuut ovat jo selvästi kuusia pidempiä, niin että kuusen latvat eivät ylety lehtipuiden latvuksen sisään eivätkä lehtipuut pääse pilaamaan kuusen latvoja (Tapio 2006, 55).

Puuston runkoluvut ennen ja jälkeen hakkuun sekä hakkuun poistuma tutkimusleimikoittain näkyvät kuvassa 24. Myös puulajisuhteiden muutoksessa on havaittavissa selvä puulajikohtaisten suhteiden tasoittuminen, joka luo edellytykset arvokkaampien puulajien kasvatukselle. Keskiarvollisesti tarkasteltuna tutkimuskohteiden puusto oli hakkuun jälkeen puulajeittain ja prosentuaalisesti tarkasteltuna seuraavanlainen: koivu 43,7 %, muut lehtipuut 24,9 %, haapa 17,9 % ja kuusi 13,5 %. (Kuva 6.)



Kuva 24. Kuvioittaiset puuston tiheydet ennen ja jälkeen hakkuun sekä poistuma

Energiapuuharvennusten hehtaarikohtaiset kertymät olivat erittäin runsaita. Energiapuun hehtaarikohtainen kertymä vaihteli 50–213,7 m³, ja se oli tutkimusleimikoilla keskimäärin 104,9 m³/ha. Runsas energiapuukertymä johtuu todennäköisesti siitä, että tutkimusleimikot olivat kasvaneet rehevillä maapohjilla lähes hoitamattomina ja olivat ennen hakkuuta paikoin erittäin pahasti ylitheyden vaivaamia. Lisäksi energiapuun kertymää lisäsi paikoin kokopuuna tehty hakkuu ja se, että myös karsittujen rankojen oksat ja latvukset. Kuviokohtaiset kertymätiedot on esitetty taulukossa 1.

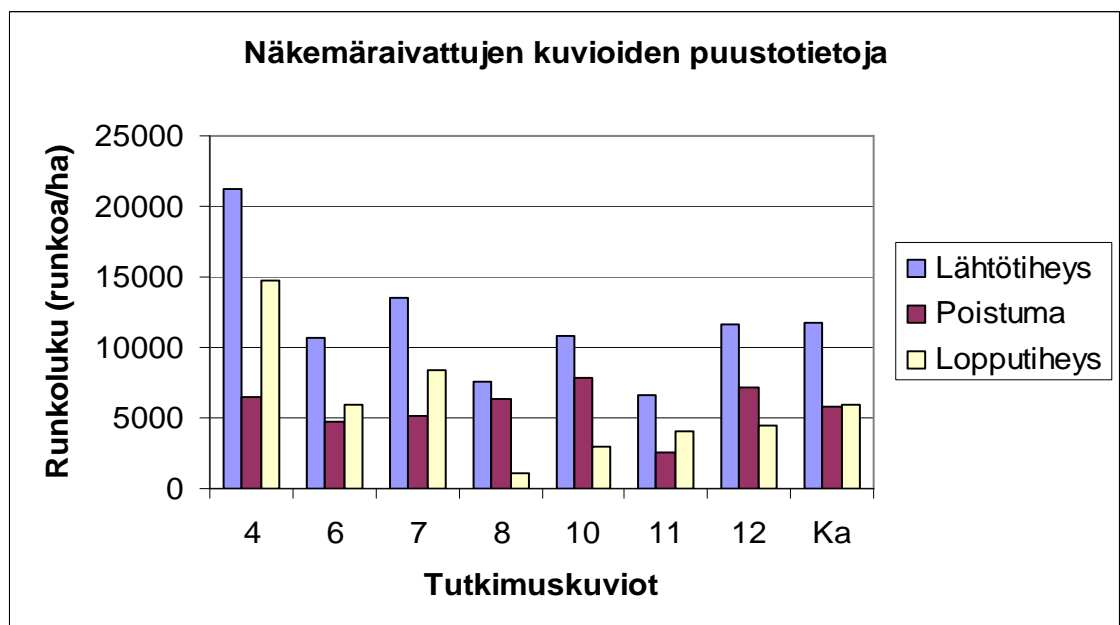
Tuloksista voidaan havaita, että energiapuuharvennus kohdistui tutkimuskohteilla oikeisiin puulajeihin ja läpimittaluokkiin jättäen metsiköihin kasvatuskelpoisen ja puulajeiltaan arvokkaamman puuston. Tämä oletettavasti kohentaa metsikön tilaa sekä parantaa kasvua, mikä johtuu siitä, että hakkuun jälkeen kasvatettavaksi jäävillä puilla on paremmin tilaa kasvaa ja elävän oksaston karkaaminen kohti latvaa pysähtyy. Hakkuun jälkeen tutkimusleimikoille kasvatettavaksi jäävän yli 5 cm läpimitaltaan olevan puuston tiheydet olivat keskimäärin 979 runkoa hehtaaria kohden.

Tutkimusleimikoiden käsittelyssä pyrittiin noudattamaan Tapion hyvän metsänhoidon suositusten (Tapio 2006) mukaisia nuorten metsien ensiharvennusten jälkeisiä tavoiterunkolukuja ja ylitheiden, alle 13 cm rinnankorkeusläpimitaltaan olevien metsien

hoidon jälkeisiä runkolukuja. Näin ollen tavoitellut runkoluvut olivat kohteen mukaan 700–1 100 runkoa hehtaaria kohden. Kuvassa 24 esitetyistä tuloksista voidaan havaita, että kuviokohtaiset jäävän puuston runkoluvut noudattavat melko hyvin näitä Tapion hyvän metsänhoidon suositusten mukaisia runkolukuja. (Tapio 2006, 93.)

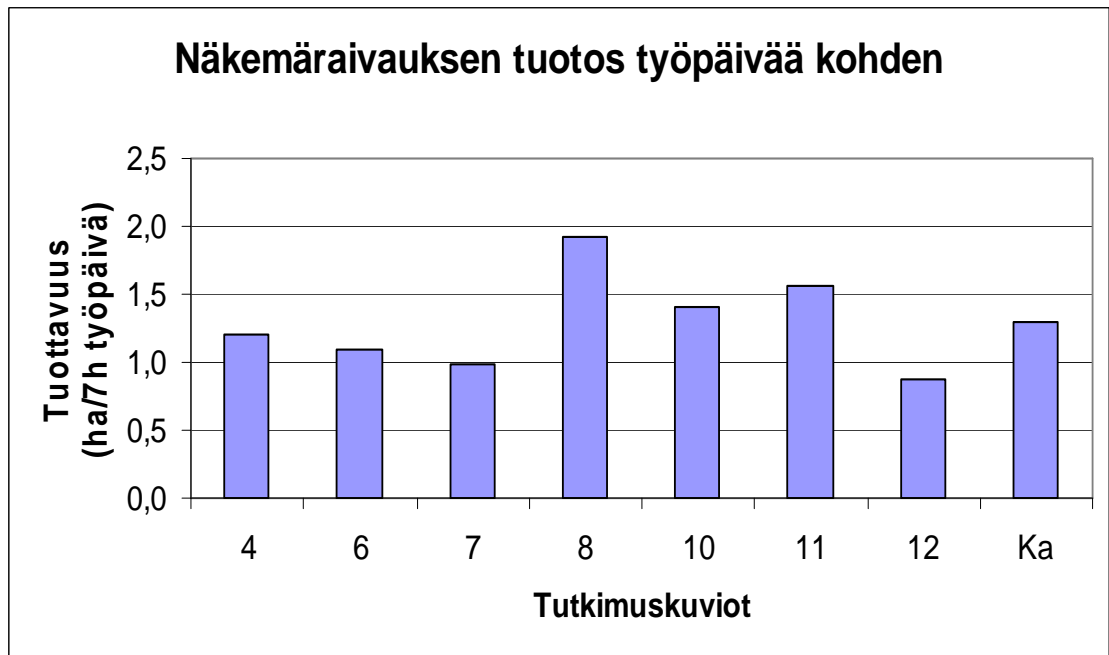
7.2. Näkemäraivauksen kustannukset ja päivätuotos

Näkemäraivausta suoritettiin puuston runkoluvultaan tiheillä kohteilla. Puuston hehtaarikohtaiset tiheydet vaihtelivat kuviokohtaisesti 6 684–21 200 runkoa, keskimäärin 11 723 runkoa hehtaarilla. Kuvassa 25 on esiteltyinä näkemäraivattujen kuvioiden lähtöpuuston tiheys, näkemäraivauksen poistuma ja hakkuuseen jäävän puuston tiheys.



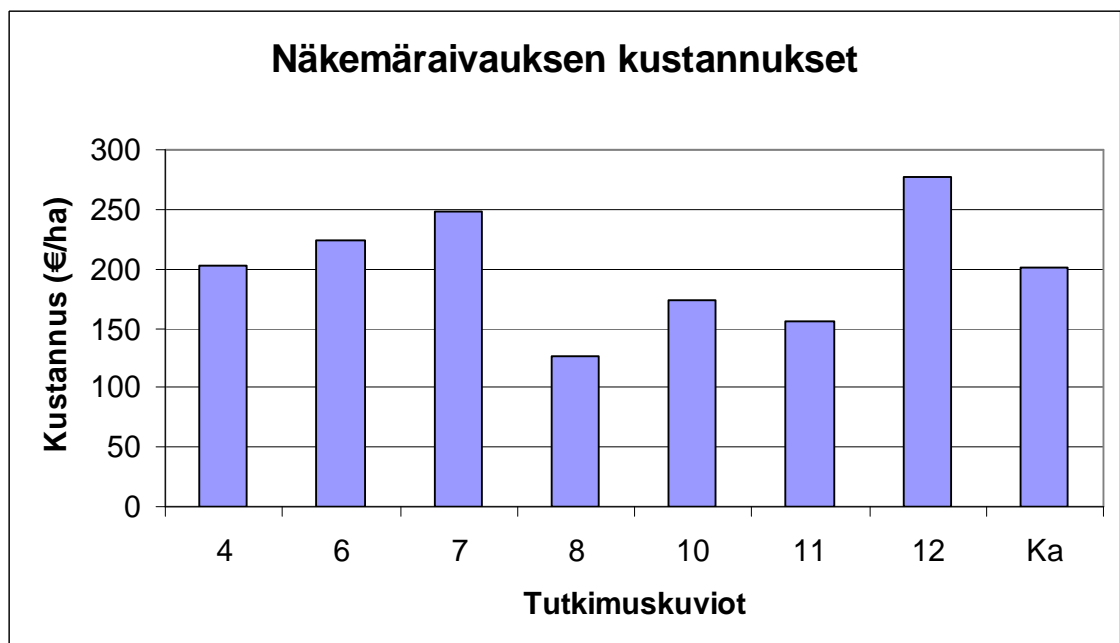
Kuva 25. Näkemäraivattujen kuvioiden puustotietoja

Näkemäraivaustyön työpäiväkohtainen tuottavuus vaihteli 0,88:sta 1,92 hehtaariin, ja oli keskimäärin 1,29 hehtaaria seitsemän tunnin työpäivää kohden. Näkemäraivauksen tutkimuskuviokohtaiset tuottavuudet on esitetty kuvassa 26.



Kuva 26. Näkemäraivauksen tuotos 7 tunnin työpäivää kohden

Näkemäraivaustyön hehtaarikohtaiset kustannukset vaihtelivat 126,34–277,76 €, ja olivat keskimäärin 201 €/ha. Näkemäraivauksen hehtarikohtaiset kustannukset on esitetty kuvassa 27 tutkimuskuvioittain. Kustannukset pitävät sisällään metsurin päiväjalkaan, henkilökohtaisen suorituslisän sekä palkan sivukulut. Sivukulu kertoimena on käytetty 1,79.



Kuva 27. Näkemäraivauksen kustannukset

Nopeimmillaan kyseistä työmuotoa tehtiin kohteella, joka edusti kehitysluokaltaan nuorta kasvatusmetsikköä (02), ja jossa hehtaarikohtainen runkoluku oli alhainen sekä raivaustyö keskittyi täysin pieniläpimittaisen alikasvospuuston poistamiseen. Kyseisellä kohteella metsurilla oli tilaa ja helppoa työskennellä, koska raivattava puusto oli selkeästi hahmotettavissa. Kustannuksiltaan tämä kyseinen tutkimuskuvio oli myös edullisin (Taulukko 2, kuvio 8).

Hitaimmillaan näkemäraivaustyö oli kohteella, joka edusti kehitysluokaltaan nuorta kasvatusmetsikköä. Kohteen, johon hakkuutyö myöhemmin kohdistui, hehtaarikohtainen runkoluku oli runsas. Tämän lisäksi puusto oli selvästi kaksijaksoinen. Myös puusto, johon raivaustyö kohdistui, oli runkoluvultaan tiheä. Kyseisen kohteen metsikön kaksijaksoisuus sekä kummankin latvuskerroksen runkoluvun tiheys olivat syitä siihen, miksi metsurin raivaustyön tuottavuus päivässä oli alhainen ja kustannuksiltaan kallein. Metsurilla kului aikaa kohteella liikkumiseen ja työskentelytilan aikaansaamiseen. Aikaa kului myös katkaistujen puiden alas repimiseen, koska valtaosa katkaistuista puista jäi nojaamaan muihin puihin. Metsurin oli siis tehtävä enemmän ylimääräistä työtä näkyvyyden, työskentely tilan ja liikkumisen helpottamiseksi. (Taulukko 2, kuvio 12.)

Varttuneissa taimikoissa (Taulukko 2, kuvat 7 ja 4) ja ylispuustoisessa taimikossa (Taulukko 2, kuvio 6) tehty näkemäraivaus, vastoin odotuksia, ei ollut kustannuksiltaan kalleinta ja tuottavuudeltaan alhaisinta. Kohteet olivat runkoluvultaan tiheitä ja läpimitaltaan alhaisia. Tiheästä runkoluvusta huolimatta metsurin oli helpompi työskennellä kyseisillä kohteilla kuin hitaimmalla kohteella. Tämä ilmeisesti johtui siitä, että taimikkokohteilla puusto oli läpimitaltaan alhaisempaa ja pituudeltaan tasaista.

Näkemäraivaus on vielä varsin uusi työmuoto, josta on vielä varsin vähän kokemusta ja varsinkin tutkittua tietoa. Menetelmä on ideoitu alentamaan energiapuuharvennuskohteiden hakkuun ajanmenekkiä. Näkemäraivauksen tarkoituksena on poistaa hakkuualalta vain sellainen puusto, jolla on hakkuukoneen työskentelyä hidastava ja kokonaisuuden hahmottamista hankaloittava vaikutus. Näkemäraivauksen tavoitteena on olla kustannuksiltaan perinteistä ennakkoraivausta edullisempi työmuoto, alentamatta kuitenkaan liikaa energiapuuharvennuksen kertymää. Näkemäraivauksella tavoitellaan alhaisempia korjuukustannuksia.

Metsätehon raportissa ”Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta” (Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006) on tutkittu ennen ensiharvennusta tehtävän ennakkoraivauksen kustannuksia ja ajanmenekkiä hehtaaria kohden. Kyseisessä tutkimuksessa osalla koealoista ennakkoraivaus tehtiin poistamalla kaikki alikasvospuut ja jättämällä raivausalalle niin sanottu tuotantopuusto. Alikasvospuustoksi luettiin kantoläpimitaltaan yli 11 mm:n puut ja tuotantopuustoksi rinnankorkeusläpimitaltaan yli 70 mm:n puut. Kyseisessä tutkimuksessa metsurit kirjasiivat paperille ylös raivaustyön tehoajanmenekin. (Kärhä ym. 2006, 14.) Ensiharvennusalan ennakkoraivaustavassa, jossa kaikki alikasvospuut kaadetaan, raivausajanmenekki oli keskimäärin 9,2 tehollista työtuntia hehtaaria kohden (Kärhä ym. 2006, 32). Kyseinen ajanmenekkiarvo saavutettiin, kun poistetun alikasvoksen määrä oli noin 7 000 runkoa hehtaaria kohden (Kärhä ym. 2006, 30).

Metsätehon tutkimuksessa raivausajanmenekkiä oli tutkittu tehollisina työtunteina. Teholliset työtunnit voidaan muuttaa normaaleiksi työtunneiksi käyttäen esimerkiksi oletuskertoimena arvoa 1,3. Muutettaessa tehotunnit käyttötunneiksi ennakkoraivauksen, jossa raivataan kaikki alikasvospuut, ajanmenekki kasvaa noin 12 tuntiin. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin näkemäraivauksen ajanmenekkiä seuraavasti: Metsuri kirjasi ylös jokaisen kuvion näkemäraivaukseen kuluneen normaalin työajan. Näkemäraivaustyön tuottavuus oli tutkimuskohteilla keskimäärin 1,29 hehtaaria seitsemän tunnin työpäivää kohden ja näkemäraivauksen yhteydessä poistettiin keskimäärin 5 763 runkoa hehtaaria kohden. Työpäivällä tarkoitetaan kahdeksan tunnin aikaa, mistä tunti on varattu matkoihin ja seitsemän tuntia työskentelyyn ja taukoihin. Näin ollen hehtaarin alueen näkemäraivaukseen kului aikaa noin kuusi työtuntia. Verrattaessa näiden kahden raivaustavan eroa voidaan todeta näkemäraivaustyön olevan noin kaksi kertaa tuottavampaa kuin perinteisen ennakkoraivauksen, jossa hakkuualalta poistetaan kaikki alle seitsemän senttiä rinnankorkeusläpimitaltaan oleva puusto.

Metsurin työohjeena oli poistaa näkemäraivauksessa yksittäiset kantoläpimitaltaan alle 4 cm:n puut, jotka haittaavat ja hidastavat myöhempää konetyötä. Yksittäin kasvavien alle 4 cm puiden koneellinen käsittely hakkuussa ei ole järkevää. Sen sijaan tiheämpinä ryppäinä kasvavat, läpimitaltaan pienemmätkin puut voidaan hakkuun yhteydessä käsitellä järkevämmiin joukkokäsittelyominaisuuden avulla.

Tutkimusleimikoiden näkemäraivauksen suorittanut metsuri piti uutta työmuotoa vaativampana kuin tavallista ennakkoraivausta. Tämä johtui pitkälti siitä, että metsuri joutui näkemäraivausta tehdessään ajattelemaan sitä, mitkä puut voidaan joukkokäsittelykouralla korjata energiapuuksi ja mitkä puut on kaadettava hakkuutyön nopeuttamiseksi. Kun kyseessä on vielä verrattain uusi työmuoto, jonka kustannuksista ja tuottavuudesta erilaisilla kohteilla on melko vähän kokemusta, voidaan olettaa näkemäraivauksen kustannuksissa ja tuottavuudessa esiintyvän suuria työmaa- ja metsurikohtaisia eroja. Oletusta suurista työmaakohtaisista eroista puoltaa myös se, että kyseiset tutkimusleimikot näkemäraivannut metsuri on myöhemmin yltänyt jopa 3 hehtaarin suuruisiin käsittelypinta-aloihin työpäivää kohden.

Hakkuukoneenkuljettajalta saadun palautteen perusteella voidaan vähäiselläkin raivauksella helpottaa hakkuuta merkittävästi. Suurin hyöty raivauksella saavutetaan hakkuukoneenkuljettajan mukaan kohteilla, joissa on kuusialikasvosta. Palautteen perusteella näkemäraivauksella voidaan saavuttaa yli viiden tunnin säästö hakkuun hehtaarikohtaisessa ajanmenekissä. Tämä tarkoittaisi 400 €:n suuruista korjuukustannusten säästöä hehtaaria kohden, kun hakkuun tuntikustannuksena käytetään 80 €:n hintaa. Lisäksi näkemäraivauksen seurauksena voidaan olettaa korjuuvaurioiden vähenevän, kun näkyväisyys energiapuunkorjuukohteilla lisääntyy.

Eri tutkimuskohteiden välinen ero kustannuksissa ja työpäiväkohtaisissa tuottavuusarvoissa osoittaa sen, että näkemäraivaus voidaan kohdistaa puustoltaan hyvin erilaisiin kohteisiin. Näkemäraivaustyö vaihtelee niin ikään laajasti kohteittain. Se voi olla yhtä hyvin hakkuualan kaikkien alikasvospuiden kaatamista kuin yksittäisten alle 4 cm kantoläpimitaltaan olevien ja konetyötä haittaavien puiden kaatamista.

7.3. Hakkuu ja metsäkuljetus

Tutkimuskohteiden energiapuuharvennustyön suorittamiseen kului hakkuukoneenkuljettajalta aikaa keskimäärin 19,34 tuntia hehtaaria kohden (Taulukko 3). Tuloksista voidaan havaita, että hakkuutyön hehtaarikohtainen ajanmenekki ei noussut olennaisesti varttuneiden taimikoiden ja ylispuustoisen taimikon kohteiden hakkuussa (Taulukko 1, kuviot 4, 6 ja 7). Tämän voidaan olettaa johtuvan siitä, että kyseisten kohteiden

den energiapuunkorjuussa käytettiin pääosin joukkokäsittelyominaisuutta ja lisäksi kohteilla oli suoritettu näkemäraivaus ennen hakkuuta.

Hakkuutyön tuottavuutta tarkasteltiin tuntituotoksen avulla, eli määrittämällä, kuinka paljon energiapuuta saadaan tunnin aikana kohteelta korjattua. Tuntituotosarvo on rinnastettavissa käyttötuntituotokseksi. Keskiarvollisesti tarkasteltuna hakkuun tuntituottavuus oli 5,42 m³/h (Taulukko 3). Suurin tuntituottavuus saavutettiin kohteella, jossa hakkuutyön hehtaarikohtaisin ajanmenekki oli alhaisin ja hakkuussa poistettujen runkojen keskimääräinen tilavuus suurin. Kyseisen kohteen hakkuun tuntituottavuus oli 12,07 m³/h (Taulukko 3, kuvio 8) ja hakkuussa poistetun rungon keskimääräinen tilavuus 200 dm³/runko (Taulukko 1).

Matalin hakkuutyön tuntituottavuusarvo saatiin tutkimuskohteella, jossa hakkuussa poistetun rungon keskimääräinen tilavuus oli alhaisin. Alhaisimmillaan hakkuun tuntituottavuus oli 2,98 m³/h (Taulukko 3, kuvio 4). Kyseisellä kohteella hakkuussa poistettujen runkojen keskimääräinen tilavuus oli 3,7 dm³/runko (Taulukko 1). Kyseisen kohteen hakkuu tehtiin lähes täysin joukkokäsittellen. Kyseisen hakkuutavan osuus oli 98,6 % ja laskennallinen tuottavuus 5,1 runkoa käsittelykertaa kohden (Liite 2). Joukkokäsittely ja sitä nopeuttavan näkemäraivauksen suorittaminen ennen hakkuuta vaikutti todennäköisesti siihen, että alhaisimmillaankaan hakkuun tuntituottavuus ei jäänyt merkittävästi tutkimuskuvioiden keskiarvosta.

Metsätehon laatimassa tuloskalvosarjassa ”Aines- ja energiapuun hankintaketjujen kannattavuusvertailu” (Kärhä, K., Keskinen, S., Laitila, J. & Jylhä, P. 2007) on tarkasteltu kokopuun hakkuun tehotuntituottavuuden ja poistuman keskitilavuuden välistä suhdetta. Kyseisessä tutkimuksessa saatiin kokopuun hakkuun tehotuntituottavuudeksi noin 7 m³/tehotunti, kun poistuman keskitilavuus oli noin 30 dm³/puu. (Kärhä ym. 2007, 35.) Tehotuntiarvo voidaan muuttaa käyttötuntiarvoksi kertoimella 1,3. Käyttötuntituottavuudeksi saadaan kokopuunhakkuussa noin 5,38 m³/käyttötunti, ja poistuman keskitilavuus on noin 30 dm³/puu (Kärhä ym. 2007).

Metsätehon tutkimuksessa (Kärhä ym. 2007) esitetty käyttötuntituottavuus, kun poistuman keskitilavuus on noin 30 dm³/puu, on erittäin samansuuntainen kuin tässä opinnäytetyössä saavutetut tuottavuusarvot. Tuloksista voidaan päätellä, että vaikka opin-

näytetyön tutkimusleimikoissa energiapuuta kerättiin kokopuun lisäksi myös rankana, karsinta tai latvojen käsittely ei ole alentanut hakkuun tuottavuutta merkittävästi. Hyvä tuottavuuden taso on ollut oletettavasti seurausta hakkuukoneenkuljettajan kokemuksesta ja hyvästä osaamisen tasosta yhdistelmähakkuupään käytössä.

Kokopuuna ja karsittuna energiapuuna tapahtuvaa niin sanottua yhdistettyä korjuuta voidaan pitää tuottavana energiapuuharvennusten työmenetelmänä. Tätä oletusta tukee myös Työtehoseuran julkaisu ”Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset” (Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001), jossa on selvitetty aikatutkimuksin pienen hakkuukoneen eli harvennusharvesterin tuottavuutta, kustannuksia ja korjuujälkeä muun muassa ensiharvennuksilla. Ensiharvennuksilta korjattiin vain karsittua kuitupuuta, jonka ohjepituus oli 5 metriä ja lyhin sallittu pituus 2,7 metriä (Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001, 4), ensiharvennusten käyttötuntituottavuus oli 5,6–10,3 m³/h rungon keskiin vaihdellessa 50–100 dm³/runko välillä (Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001, 41).

Keskiarvallisesti tarkasteltuna hakkuutapojen eli joukkokäsittelyn ja perinteisen yksinpuin teon kertymäosuudet jakaantuivat tutkimuskohteilla melko tarkasti tasan eli energiapuuharvennusten kertymästä tuotettiin puolet käyttäen joukkokäsittelyä ja puolet käyttäen perinteistä yksinpuin tapahtuvaa hakkuuta. Tuloksia tarkasteltaessa tulee huomioida, että joukkokäsitteltyjen puiden kertymäiedoissa on mukana myös karsittujen ja kuutioitujen puiden oksia ja latvuksia. Vähäinen osa muodostui hakkuutavasta, jossa useampaa runkoa, useimmiten kahta runkoa, käsiteltiin perinteisesti karsintaterien läpi syöttäen ja kuutioiden. Hakkuukoneenkuljettaja käytti kyseistä menetelmää harvoin. (Liite 1.)

Hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärästä valtaosa oli joukkokäsitteltyjä runkoja. Tutkimuskohteiden hakkuussa poistettiin joukkokäsittelien keskimäärin 3 174 runkoa / ha, joiden keskimääräinen tilavuus oli 16,2 dm³/runko (Liite 1). Joukkokäsittelyn osuus oli 85,4 % hakkuussa poistetuista puista (Liite 2).

Perinteistä hakkuutapaa käytettiin tutkimuskohteilla järeimpien puiden korjuussa. Perinteisellä hakkuutavalla käsitellyn rungon keskimääräinen tilavuus tutkimuskohteilla oli keskimäärin 108,28 dm³/runko. Tutkimuskohteiden energiapuuharvennuksissa

poistettiin keskimäärin 464 runkoa/ha käyttäen perinteistä, yksin puin tapahtuvaa, rungon käsittelyä. (Liite 1.)

Tuloksista voidaan huomata, että joukkokäsittelyn käyttö ei rajoittunut tutkimuskohdeilla vain taimikoihin, vaan sen käyttö määrittyi hakattavan puuston ja hakkuukoneenkuljettajan harkinnan perusteella. Poistuman keskitilavuuden ollessa noin 60 dm³/runko joukkokäsittelyn osuus oli vielä noin 70 %. Vasta poistuman keskitilavuuden ylittäessä 100 dm³/runko joukkokäsittelyn osuus laski alle 50 %:in. (Kuva 8.)

Hyvin samansuuntaisia tuloksia on saatu joukkokäsittelystä Metlan tekemässä raportissa ”Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät” (Heikkilä ym. 2005). Kyseisessä tutkimuksessa joukkokäsittely säilyi lähes täysin pieniläpimittaisen puuston käsittelytapana aina noin 8 cm:n rinnankorkeusläpimittaan asti. Tätä järeämmän puuston hakkuussa joukkokäsiteltyjen puiden määrä laskee. (Heikkilä ym. 2005, 15.)

Joukkokäsittelyyn kykeneviä ja syöttörullilla varustettuja hakkuulaitemerkkejä on markkinoilla jo melko runsaasti. Kyseiset laitteet mahdollistavat tarvittaessa aines- ja energiapuun hakkaamisen samasta leimikosta. Hakkuukoneiden joustava käyttö varsinaisissa ainespuuhakkuissa ja energiapuuharvennuksissa on mahdollista näillä hakkuulaitteilla. Näin vältetään kahden erillisen hakkuulaitteen investointikustannukset. Karsivalla hakkuulaitteella voidaan jättää hakkuutähdettä palstalle haluttu määrä ilman, että energiapuun hakkuun tuottavuus oleellisesti tästä alenisi. (Heikkilä ym. 2005, 54.)

Lehtipuuvaltaisen energiapuun karsinta alentaa vähemmän hakkuun tuottavuutta kuin männiköstä korjattavan energiapuun karsinta. Raportin mukaan karsinta pudottaa vähemmän energiapuukertymää tiheästi kasvaneissa lehtipuuvaltaisissa metsissä kuin männiköissä. Karsinta aiheuttaa hakkuukertymän vähenemistä kasvattaen energiapuun hankintakustannuksia. Kustannusten nousu johtuu siitä, että samalla työmäärällä saadaan hankittua vähemmän puuta. Energiapuun rankana korjaamisella saavutetaan joi-takin etuja kokopuun korjuuseen nähden. Karsinnan ansiosta metsään jää enemmän ravinteita kuin kokopuun korjuussa. (Heikkilä ym. 2005, 52.)

Tuloksista voidaan havaita, että joukkokäsittelynä tapahtuvan energiapuunkorjuun ja perinteisen yksin puin tapahtuvan hakkuutavan yhdistäminen on tuottava ja tehokas vaihtoehto energiapuunkorjuussa. Rangat voidaan valtaosin hakkuun yhteydessä karsia niin, että niiden oksat ja neulaset sekä latvukset on ajettavissa tienvarteen. Tämä voi kuitenkin lisätä hakkuun ajanmenekkiä. Tällöin lisääntyneestä hakkuun kertymästä huolimatta tuottavuus voi alentua. Todennäköistä on että, molempiin hakkuutapoihin kykenevän yhdistelmähakkuupään tuottavuuden maksimoiva käyttö, asettaa lisävaatimuksia hakkuukoneenkuljettajan ammattitaidolle perinteiseen ainespuun hakkuuseen verrattuna.

Edellä esitettyä oletusta tukee Työtehoseuran julkaisu ”Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset” (Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001), jossa on tutkittu muun muassa erilaisten hakkuukoneiden sekä erilaisten hakkuukoneen kuljettajien vaikutusta ensiharvennusten hakkuun tuottavuuteen. Kyseisessä tutkimuksessa tehtiin havainnot jopa 40 %:n suuruisista tuottavuuseroista, kun samaa hakkuukonetta käyttivät eri kuljettajat. Ensiharvennettavan puuston runkoluvun kasvaessa kuljettajien osaamiserot korostuivat. (Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001, 46.)

Metsäkuljetuksen osalta selvitettiin energiapuun lähikuljetuksen ajanmenekki kuvioitain ja näiden keskiarvo. Energiapuun metsäkuljetus suoritettiin sekakuormina. Sekakuormina suoritettujen metsäkuljetusten keskimääräinen työajanmenekki tutkimuskohdeilla oli 7,90 h/ha. Metsäkuljetuksen keskimääräinen tuottavuus oli 13,4 m³/h keskimääräisen metsäkuljetusmatkan ollessa noin 150 metriä. Metsäkuljetuksen kuviokohdattaiset tuottavuudet on esitetty taulukossa 3. Tutkimusleimikoiden metsäkuljetuksen tuottavuuden tulokset ovat samansuuntaisia kuin Metlan tekemässä raportissa ”Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät” (Heikkilä ym. 2005), missä tutkittiin muun muassa metsäkuljetuksen tuottavuutta. Metlan tutkimuksessa saavutettiin 150 metrin keskikuljetusmatkalla rangalle noin 18 m³/h ja kokopuulle noin 16 m³/h tehotuntituottavuus. Samassa tutkimuksessa on käytetty tehotuntien muuttamiseksi käyttötunneiksi kerrointa 1,2. Muuttamalla tehotuntituottavuudet käyttötuntituottavuuksiksi saavutettiin rangalle noin 15 m³/h ja kokopuulle 13,3 m³/h käyttötuntituottavuus. Saman raportin mukaan metsäkuljetuksen tuottavuuteen vaikuttaa oleellisesti puutavaratiheys (m³/ha). (Heikkilä ym. 2005, 18.)

Tutkimuskohteiden runsas puutavariheys oli varmasti yksi keskeisimmistä tekijöistä, minkä ansiosta metsäkuljetuksen tuottavuudessa saavutettiin varsin hyvä taso. Toinen keskeinen tekijä oli oletettavasti se, että hakkuun yhteydessä kokopuut, rangat ja karsittujen puiden oksat ja latvukset tehtiin sekakasoihin eli samaan kasaan. Tutkimuskohteiden puutavariheys oli keskimäärin $104,9 \text{ m}^3/\text{ha}$.

7.4. Kustannukset

Energiapuuharvennusten kokonaiskustannukset muodostuivat hankinnan, yleisistä, hakkuun, metsäkuljetuksen sekä haketus- ja kaukokuljetuksen kustannuksista sekä näkemäraivauksen kustannuksista niillä kuvioilla, joilla kyseinen työ tehtiin. Hankintakustannuksina on käytetty $1,5 \text{ €/m}^3$, yleisinä kustannuksina 4 €/m^3 ja haketuksen sekä kaukokuljetuksen osalta $14,5 \text{ €/m}^3$ oletusarvoja. Hakkuun tuntikustannuksena käytettiin 80 €/h ja metsäkuljetuksen 60 €/h .

Keskimääräisesti tarkasteltuna energiapuun tuotantokustannuksiksi muodostui $39,24 \text{ €/energiapuu-m}^3$ (Kuva 17). Kokonaiskustannusten suuruuteen vaikuttivat keskeisesti korjuukustannukset. Korjuukustannukset muodostuvat energiapuun hakkuukustannuksista ja metsäkuljetuskustannuksista. Tutkimusleimikoiden energiapuun hakkuun kustannukset olivat keskimäärin $14,75 \text{ €/m}^3$ ja metsäkuljetuksen kustannukset keskimäärin $4,42 \text{ €/m}^3$.

Opinnäytetyön tutkimusleimikoiden energiapuun hakkuun tuotantokustannukset muodostuivat selvästi alhaisemmiksi kuin Metlan raportissa ”Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät” (Heikkilä ym. 2005). Kyseisessä raportissa esitetty laskelma perustui esimerkkileimikkoon, joka oli seuraavanlainen: karsitun energiapuun kertymä $40 \text{ m}^3/\text{ha}$, rangen keskikoko $30 \text{ dm}^3/\text{runko}$, metsäkuljetusmatka 200 metriä ja kaukokuljetusmatka 40 kilometriä. Rankahakkeen yleiskustannuksina oli käytetty 2 €/m^3 . Karsittu energiapuu hakattiin koneellisesti joukkokäsittelymenetelmällä. Hakkuun tuntikustannuksena käytettiin 70 €/h ja metsäkuljetuksen 50 €/h . Välivarastohaketuksen kustannus oli $5,3 \text{ €/m}^3$. Rankahakkeen kustannuksiksi käyttöpäikälle toimitettuna muodostui $34,2 \text{ €/m}^3$. (Heikkilä ym. 2005, 36.) Kallein työvaihe oli rangen hakkuu, jonka kustannukset olivat $18,3 \text{ €/m}^3$. Metsäkuljetuksen kustannus oli

3,7 €/m³. Kaukokuljetusmatkan ollessa 40 kilometriä välivarastolla haketetun hakkeen kuljetuskustannus oli 4,9 €/m³. (Heikkilä ym. 2005, 37.)

Tutkimusleimikoiden alhaisemmat hakkuukustannukset johtuivat todennäköisesti korkeammasta hakkuun kertymästä. Keskimäärin energiapuuta korjattiin 104,9 m³/ha. Lisäksi tutkimusleimikoista korjattiin rangan lisäksi kokopuuta sekä karsittujen puiden oksat ja latvat. Metsäkuljetuksessa Metlan raportissa (Heikkilä ym. 2005) on esitetty rangan metsäkuljetuksen olevan kustannuksiltaan alhaisempaa kuin tämän opinnäytetyön tutkimusleimikoiden sekakuormina ajettujen energiapuu. Rangalla saavutetaan tiiviimpiä kuormia, joten kuormakoko on suurempi kuin sekakuormalla. Näin ollen pelkän rangan metsäkuljetus on tuottavampaa kuin kokopuuta, oksia, latvuksia ja rankaa sisältävien sekakuormien kuljetus.

Tutkimusleimikoiden hakkuun keskimääräinen kustannusarvo on erittäin lähellä Metsätehon ”Aines- ja energiapuun hankintaketjujen kannattavuusvertailu” -tulosalvosarjassa (Kärhä, K., Keskinen, S., Laitila, J. & Jylhä, P. 2007) esitettyjen kokopuun hakkuun kustannusten kanssa. Metsätehon tulosalvosarjassa on saatu kokopuuna hakattavalle energiapuulle kustannukseksi noin 15 €/m³, kun rungon keski koko on noin 30 dm³ (Kärhä ym. 2007, 36). Tutkimusleimikoiden hakkuun kustannusten ja hakkuussa poistettujen puiden keskitilavuuden välinen yhteys oli samankaltainen kuin Metsätehon tulosalvosarjassa (Kärhä ym. 2007, 36).

Tutkimusleimikoiden metsäkuljetuksen kustannukset olivat keskimäärin 4,49 €/m³ ja metsäkuljetusmatka keskimäärin 150 metriä. Metsäkuljetus suoritettiin sekakuormina, jotka sisälsivät rankaa, oksia ja kokopuuta. Tutkimusleimikoiden metsäkuljetuksen keskikustannusarvo on alhaisempi kuin Metsätehon tulosalvosarjassa ”Aines- ja energiapuun hankintaketjujen kannattavuusvertailu” esitettyjen kokopuun metsäkuljetuksen kustannusten kanssa. Metsätehon raportissa kokopuun metsäkuljetuskustannuksena oli noin 6,5 €/m³, kun metsäkuljetusmatka oli 150 metriä. (Kärhä ym. 2007, 39.)

Metsätehon tutkimuksessa käytetty metsäkuljetuksen tuntikustannus oli lähes yhtä suuri kuin tässä opinnäytetyössä. Kustannusten välinen ero selittyy todennäköisesti sillä, että tutkimusleimikoiden energiapuut ajettiin sekakuormina, eli kuormat koos-

tuivat rangasta, oksista, latvuksista ja kokopuusta. Sekakuormana saadaan todennäköisesti ajettua enemmän energiapuuta kerralla kuin pelkillä kokopuukuormilla. Tutkimuskohteiden kertymä oli varsin runsas, keskimäärin 104,9 m³/ha. Metsäkuljetuksen osalta on kuitenkin huomioitava, että tutkimusleimikoiden kustannustietojen luotettavuutta ja vertailukelpoisuutta rajoittaa hieman ajokoneen kuljettajan ilmoittamien ajanmenekkiarvojen suuripiirteisyys.

Korjuukustannukset nousivat korkeimmiksi kohteilla, joilla hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus oli alhainen ja poistettujen runkojen lukumäärä runsas. Alhaisen korjuukustannusten tunnusmerkkinä oli korkea hakkuun tuotos, joka oli seurausta hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden noususta ja poistettujen runkojen lukumäärän laskusta. (Taulukko 4.)

Kuvioiden korjuukustannukset olivat keskimäärin 19,24 €/energiapuu-m³. Korjuukustannukset kääntyivät jyrkkään nousuun vasta, kun hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus alitti 20 dm³ runkokohtaisen tilavuuden. (Kuva 13.) Tuloksista huomataan korjuukustannusten maltillinen nousu hakkuun tuottavuuden alentuessa ja poistuman kasvaessa. Korjuukustannusten nousun maltillisuus selittynee joukkokäsittelyn lisääntymisellä, kun hakkuussa poistetun rungon keskitilavuus laskee.

Tutkimusleimikoiden kokopuuna ja karsittuna rankana kerätyn energiapuun yhdistetty korjuu oli korjuukustannuksiltaan keskimäärin alhaisempi kuin Metlan työraportissa ”Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät” (Heikkilä ym. 2005) esitetyt korjuukustannukset. Metlan tutkimuksessa leimikoiden korjuukustannukset olivat 29,3 €/m³ rangalla ja 23,8 €/m³ kokopuulla. Samaisen raportin mukaan kustannusero selittyi pääsääntöisesti hakkuiden tuottavuuserosta, joka aiheutui hakkuukertymän pienenemisestä karsittaessa puuta. (Heikkilä ym. 2005, 3.) Raportin tulokset puoltavat pieniläpimittaisen energiapuun korjuuta kokopuuna, sillä korjuukustannukset olivat keskimäärin 3–5 €/m³ alemmat käytettäessä kokopuumenetelmää energiapuunkorjuussa. Korjuukustannusten välinen ero pieneni puiden järeyden kasvaessa. Raportissa todetaan, että karsinta on järkevintä kohteissa, joissa korjattavien puiden läpimitta on noin 9–13 cm ja rungon koko 30–70 dm³. (Heikkilä ym. 2005, 52.) Edellä mainittuun puuston läpimitta- ja kokoluokkaan asti energiapuuta on pääsääntöisesti järkevintä korjata kokopuuna ja joukkokäsittellen (Heikkilä ym. 2005, 15).

Korkeimmat korjuukustannukset 32,83 €/m³ saavutettiin kohteella, jossa hakkuun tun-
tutuottavuus oli 2,98 m³/h, poistuman keskitilavuus 3,7 dm³/runko ja runkolukupois-
tuma 13 649 runkoa/ha. Korjuukustannusta 32,83 €/m³, kun poistuman keskitilavuus
on 3,7 dm³/runko, voidaan pitää yllättävänä tuloksena. Metsätehon tuloskalvosarjassa
(Kärhä ym. 2007) on esitetty korjuukustannusten ja poistuman keskitilavuuden välistä
yhteyttä. Kyseisessä tuloskalvosarjassa korjuukustannukset ovat jo varsin korkealla
tasolla, kun kokopuunkorjuun poistuman keskitilavuus laskee alle 10 dm³/runko. Kes-
kitilavuudella noin 5 dm³/runko kokopuun korjuukustannukset ovat Metsätehon tulos-
kalvosarjan mukaan jo lähes 60 €/m³. (Kärhä ym. 2007, 40.)

Eräs selittävä tekijä näinkin huimalle kustannusten välisille eroille voi olla ennen hak-
kuuta tehtävä näkemäraivaus. Kuvioilla, joissa suoritettiin ennen hakkuuta näkemä-
raivaus, olivat kyseisen työn kustannukset korkeimmillaan 4,05 €/m³ (Kuva 17). Nä-
kemäraivaustyön kustannus oli keskimäärin 2,84 €/energiapuu-m³.

Mikäli näkemäraivauksella voidaan helpottaa ja nopeuttaa hakkuutyötä, hakkuutyön
ajanmenekin säästöllä voidaan tehdä merkittäviä säästöjä korjuukustannuksissa. Tätä
oletusta tukee tutkimusleimikoiden 1 ja 11 välinen korkea ero hakkuun ajanmenekissä
(Taulukko 3.). Tutkimusleimikko 1 oli kuusivaltainen nuori kasvatusmetsikkö ja tut-
kimusleimikko 11 oli koivuvaltainen nuori kasvatusmetsikkö. Ennen hakkuuta kysei-
set kohteet olivat runkoluvultaan lähes yhtä tiheät (Taulukko 1). Molemmilla kohteilla
hakkuun tuottavuus oli lähes yhtä suuri, vaikka tutkimusleimikon 11 hakkuussa pois-
tettujen runkojen keskitilavuus oli melkein puolet pienempi kuin kohteella 1. Hakkuun
ajanmenekissä näiden kahden kohteen väliset erot olivat suuret. Hehtaarikohtainen
ajanmenekki kohteella 1 oli lähes 10 tuntia korkeampi. (Taulukko 3.)

Tutkimusleimikko 11 näkemäraivattiin ennen hakkuuta, silloin poistettiin kaikki hak-
kuutyötä hidastava ja näkyväsyyttä alentava puusto, jota ei ollut järkevä käsitellä hak-
kuussa. Tutkimusleimikon 11 hakkuussa joukkokäsittelyn osuus oli noin 84 % ja kä-
sittelykerran tuottavuus noin 2,8 runkoa (Liite 2). Tutkimusleimikkoa 1 sen sijaan ei
näkemäraivattu ennen hakkuuta, joten hakkuualan 1–4-metriset alikasvoskuuset olivat
merkittävästi hidastamassa hakkuutyötä, kun hakkuukoneella oli kulunut aikaa yksit-
täisten alikasvoskuusten raivaukseen. Kyseessä olevassa leimikossa joukkokäsittelyn
osuus oli noin 70 % ja käsittelykerran tuottavuus noin 1,1 runkoa (Liite 2).

Energiapuuta korjataan usein kohteilla, joissa poistettavien puiden keskitilavuus on alhaisempaa ja runkoluku tiheämpää kuin ainespuunkorjuun kohteilla. Näkemäraivaus olisi erittäin tärkeä tehdä hakkuualoilla, joissa on tiheähköä 1–4-metristä alikasvoskuusikkoa. Lisäksi merkittäviä hakkuun ajansäästöjä voidaan tehdä suorittamalla näkemäraivaus lehtipuuvaltaisissa kohteissa, joissa on lehtipuualikasvosta. Näkemäraivauksen seurauksena näkyväisyys paranee, puuston joukkokäsittely tehostuu ja hakkuun ajanmenekki alenee. Tutkimusleimikoilta kerättyjen havaintojen perusteella voidaan olettaa, että hakkuun ajanmenekki on kohteen mukaan 20–40 % korkeampi kuin vastaavissa oloissa, joissa näkemäraivaus on suoritettu.

Näkemäraivauksella saavutettavalle hakkuutyön tuottavuushyödyille voidaan hakea suuntaa ja vertailupohjaa Metsätehon raportista 187 ”Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta” (Kärhä ym. 2006). Tutkimuksessa on tarkasteltu muun muassa sitä, miten erityyppinen alikasvos ja sen ennakkoraivaus erilaisilla raivaustavoilla vaikuttaa hakkuun ja metsäkuljetuksen tuottavuuteen. Tutkimuksessa alikasvokseksi luettiin kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan alle 7 cm:n puut ja kaikki kantoläpimitaltaan yli 1,1 cm:n puut. Käytettyinä raivaustapoina oli raivata metrin säde ainespuiden ympäriltä, metrin säde sekä muu hakkuuta haittaava alikasvos sekä metrin säde ja yli metrin pituinen alikasvos sekä kaikkien alikasvospuiden totaaliraivaus. (Kärhä ym. 2006, 8.)

Metsätehon tutkimuksessa havaittiin, että erityisesti kuusialikasvoksen tiheys ja keskipituus vaikuttivat hakkuun tuottavuuteen. Kuusialikasvoksen tiheyden ja keskipituuden kasvaessa hakkuun ajanmenekki lisääntyi. Lisääntynyt ajanmenekki oli seurausta siitä, että aikaa kului hakkuulaitteella tapahtuvaan alikasvoksen raivaukseen ja paineluun. Kun kuusialikasvoksen tiheys oli 2 000 runkoa hehtaaria kohden ja keskipituus 2 metriä, hakkuun tuottavuus oli 12–14 % pienempi kuin oloissa, joissa ei ollut lainkaan alikasvosta. Kuusialikasvoksen tiheyden ollessa 10 000 runkoa hehtaaria kohden ja keskipituuden ollessa 2 metriä hakkuun tuottavuus oli 30–34 % pienempi kuin oloissa, joissa ei ollut lainkaan alikasvosta. Tutkimuksessa havaittiin, että mitä pienempiä ainespuurunkoja hakataan, sitä enemmän hakkuun tuottavuus laskee kuusialikasvoksen tiheyden ja keskipituuden kasvaessa. (Kärhä ym. 2006, 9.)

Tutkimuskohteet eivät olleet KEMERA-tukiin oikeutettuja. Energiapuuta hankitaan kuitenkin pääsääntöisesti yksityisiltä metsänomistajilta. Yksityisiltä metsänomistajilta

ostetut kohteet ovat tuen edellytykset täyttäessään KEMERA-tukeen oikeutettuja. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin KEMERA-tukien vaikutus energiapuukohteiden kokonaiskustannuksiin sekä kannattavuuteen.

7.5. Kannattavuus

Tutkimuskohteiden kannattavuutta tarkasteltiin käyttäen kahta voimalaitoshintaa. Käytetyt voimalaitoshinnat olivat 15,00 €/MWh ja 2000 €/MWh. Halvemmalla voimalaitoshinnalla on kuvattu varmaa perushintaa, joka metsähakkeesta on maksettu viimeisen parin vuoden aikana. Korkeammalla voimalaitoshinnalla on pyritty kuvaamaan huipputason hintaa, jota metsähakkeesta on parhaimmillaan maksettu. (Pöyry 2009.) Myös KEMERA-tuen vaikutusta kannattavuuteen on tarkasteltu. Kannattavuuden nollarajalaskelmat on tehty sekä ilman KEMERA-tukea että tuki huomioiden.

Keskimäärin KEMERA-tukikohteiden energiapuun hankinnan kokonaiskustannuksiksi muodostui 42,74 €/m³. Tämä on seurausta korotetusta kantohinnasta. Kokonaiskustannuksista KEMERA-tuen osuus oli keskimäärin 14,00 €/m³. Kustannuksiksi tuen jälkeen jäi keskimäärin 28,74 €/m³. KEMERA-tuki alentaa kokonaiskustannuksia ja edelleen parantaa kannattavuutta merkittävästi. Keskimäärin kokonaiskustannukset alenivat KEMERA-tuen ansiosta kohteilla noin kolmanneksen (Kuva 18).

Energiapuunhankinta oli kannattamattominta ilman KEMERA-tukea ja voimalaitoshinnalla 15,00 €/MWh, jolloin kannattavuus oli negatiivinen eli -4,62 €/MWh. Tämä tarkoittaa 9,24 €:n negatiivista kannattavuutta jokaista hankittua energiapuu-m³:ä kohden. Korkein kannattavuus energiapuun hankinnassa saavutettiin voimalaitoshinnalla 20,00 €/MWh ja KEMERA-tuki huomioiden, jolloin keskimäärin kannattavuus oli 5,63 €/MWh. Tämä tarkoittaa noin 11,26 € positiivista kannattavuutta jokaista hankittua energiapuu-m³:ä kohden. Käytettyjen voimalaitoshintojen perusteella voidaan huomata, että voimalaitoksen maksukyky energiapuusta sekä KEMERA-tuki vaikuttavat jo suuresti energiapuuharvennuksien kannattavuuteen. (Kuva 19.)

Kun tarkastellaan käytetyillä voimalaitoshinnoilla saatuja kannattavuuden tuloksia yleisesti, huomataan, että energiapuunhankinnan kannattavuus paranee hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden kasvun myötä. Energiapuunhankinnan kannat-

tavuus oli erittäin alhainen tai negatiivinen kohteilla, joissa hakkuun poistuman keskitilavuus oli matala ja hakkuussa poistettujen runkojen lukumäärä korkea.

Tutkimusleimikoista saatujen tulosten perusteella voidaan olettaa, että näkemäraivauksella saavutetaan kustannussäästöjä kohteilla, joissa puusto on läpimitaltaan alhainen ja hakkuun poistuma korkea. Suorittamalla kohteella näkemäraivaus ennen hakkuuta voidaan joukkokäsittelyn korjattavan energiapuun hakkuutyön ajanmenekkiä alentaa. (Taulukko 3.) Hakkuutyön ajansäästö parantaa hakkuun tuottavuutta ja alentaa korjuukustannuksia. Näin ollen voidaan olettaa, että näkemäraivauksella voidaan kohentaa energiapuuharvennusten kannattavuutta ja lisätä potentiaalisten energiapuuharvennuskohdeiden lukumäärää. (Taulukko 4.)

Energiapuuharvennusten kannattavuuden nollaraja ilman KEMERA -tukea saavutettiin keskimäärin voimalaitoshinnalla 19,62 €/MWh. Kyseinen voimalaitoshinta edellytti, että hakkuun tuottavuus oli 5,42 m³/h. KEMERA-tuki huomioituna ja käyttäen energiapuuharvennusten keskimääräistä hakkuun tuottavuutta saavutettiin kannattavuuden nollaraja voimalaitoshinnalla 14,37 €/MWh.

Tuloksista voidaan todeta esimerkiksi, että ilman KEMERA-tukea ja oletetulla voimalaitoshinnalla 20,00 €/MWh kannattavuuden nollarajan saavuttaminen vaatii hakkuun tuottavuudelta hieman alle 6 m³:n tuntituotosta ja hakkuussa poistettujen runkojen tulisi olla keskitilavuudeltaan noin 40 dm³/runko (Kuvat 20 ja 21). KEMERA-tuki huomioiden vastaava kannattavuuden nollaraja saavutetaan puolestaan hakkuun tuottavuuden ollessa noin 3,5 m³/h ja hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuuden ollessa noin 15 dm³/runko (Kuvat 22 ja 23). Ero on huomattava. Tuloksista voidaan päätellä, että KEMERA-tukien ansiosta potentiaalisten energiapuukohteiden määrä lisääntyy, kun korjuu voidaan ulottaa puustoltaan alhaisemman läpimitan ja runsaamman runkoluvun kohteille. On kuitenkin huomattava, että kyseessä on laskennallinen nollaraja, joka on saavutettu tämän opinnäytetyön tutkimusleimikoiden kustannusrakenteella. Leimikkokohtaiset erot kustannuksissa ovat varmasti suuria.

On selvää, että KEMERA-tuen lisäksi energiapuunhankinnan kannattavuuteen vaikuttaa oleellisesti tuotantolaitosten maksukyky metsäenergiasta. Tuotantolaitosten maksukyky määräytyy pääosin päästöoikeuksien hintakehityksen perusteella. Muita met-

sähakkeen maksukykyyn vaikuttavia tekijöitä ovat eri polttoaineiden väliset verokohdelut sekä energian tuotannon tukitaso ja erilaiset tukimuodot (Leskelä 2009, 17).

8 PÄÄTELMÄT

Energiapuuta kertyi paikoitellen tutkimusleimikoilta erittäin runsaasti. Lisäksi korjuukustannukset pysyivät pääsääntöisesti riittävän alhaisella tasolla, jotta energiapuun hankinnasta saatiin kannattavaa. Tutkimusleimikoiden joukossa oli myös kohteita, joissa korjuukustannukset sekä kokonaiskustannukset nousivat liian korkeiksi suhteessa voimalaitosten maksukykyyn energiapuusta. Tällöin toiminnasta tuli kannattamattonta. Kannattamattomissa tutkimusleimikoissa ei kuitenkaan tapahtunut merkittävää korjuukustannusten nousua, kun hakkuun poistuma kasvoi ja hakkuussa poistettujen runkojen keskitilavuus aleni. Tämä näyttäisi olevan seurausta hakkuualan näkemäraivaamisesta ennen hakkuuta.

Näkemäraivauksella voidaan tulosten perusteella saavuttaa merkittäviä hakkuun ajansäästöjä ja näin ollen alempia korjuukustannuksia. Kustannussäästöjen lisäksi on ilmeistä, että kun hakkuuala näkemäraivataan, aiheutetaan hakkuussa kasvatettavaksi jäävään puustoon vähemmän korjuuvaurioita ja korjuujälki paranee. Koska energiapuun korjuu on vielä verrattain uusi metsänkäsittelymuoto, vähemmät korjuuvauriot ja siistimpi korjuujälki helpottavat energiapuun korjuun markkinointia metsänomistajille ja näin ollen ostajien energiapuun hankintaa tulevaisuudessa. Onkin todennäköistä, että hakkuualan näkemäraivaus ennen energiapuun korjuuta yleistyy ja siitä tulee tarvittaessa jatkossa osa energiapuun hankintaketjua.

Energiapuun korjuussa joukkokäsittelyyn kykenevän ja puunsyöttöominaisuudella varustetun hakkuupään käyttö näyttäisi olevan tutkimusleimikoilta kerätyn aineiston perusteella erittäin tehokas vaihtoehto. Käytettäessä edellä mainittua hakkuulaitetta kokopuun ja rangan yhdistetyssä energiapuun korjuussa hakkuun tuottavuus säilyttää varsin korkean tason. Lisäksi nämä yhdistelmähakkuupäät mahdollistavat tarvittaessa joustavan aines- ja energiapuun hakkuun samalta leimikolta.

Opinnäytetyötä voidaan pitää varsin onnistuneena, sillä ennalta asetetut tavoitteet saavutettiin. Selvitystyön aineiston koko ja tutkimusleimikoiden toisiaan lähellä oleva si-

jaini mahdollistivat tarkan tiedon keräämisen sekä työn hallittavuuden jokaisessa työvaiheessa. Näillä seikoilla olikin ratkaiseva vaikutus opinnäytetyön onnistumiseen ja ennalta asetettujen tavoitteiden saavuttamiseen.

Selvitystyön myötä saatiin uutta sekä hyödynnettävissä olevaa tietoa energiapuuharvennuksista. Uutta tietoa saatiin ennen hakkuuta tehtävästä näkemäraivauksesta sekä tämän vaikutuksista energiapuun korjuun ajanmenekkiin ja kustannuksiin. Lisäksi hyödynnettävissä olevaa tietoa saatiin energiapuuharvennusten kustannusrakenteesta ja tähän vaikuttavista tekijöistä.

Työn tuloksia on mahdollista hyödyntää jatkossa energiapuun hankinnassa. Tuloksia hyödynnettäessä tulee kuitenkin huomioida aineiston koko sekä energiapuuharvennuskohteiden väliset eroavaisuudet. Aineiston koko ja tutkimusleimikoiden lähekkäisyys alentavat tulosten luotettavuutta sekä vaikeuttaa yleistysten laatimista. Lisäksi on otettava huomioon inhimillisten mittaus- tai kirjaamisvirheiden mahdollisuus työn eri vaiheissa.

Opinnäytetyön eri osaselvityksistä muodostuva kokonaisuus antaisi mahdollisuuden useille jatkotutkimuksille. Jatkotutkimuksen aiheena voisi olla esimerkiksi näkemäraivaustyön tutkiminen laajemman aineiston avulla. Laajempi aineisto koostuisi toisistaan maantieteellisesti erillään olevista työmaista. Työmaiden yhteispinta-alan olisi hyvä olla suurempi kuin tässä työssä. Nämä voisivat olla myös eri metsureiden rai-vaamia. Lisäksi aineisto olisi hyvä kerätä ajallisesti hajautetusti sekä puustoltaan hyvin erilaisilta kohteilta. Edellä luetellut seikat mahdollistaisivat luotettavimmat tulokset ja paremman yleistettävyyden. Näkemäraivauksen osalta tulisi erityisesti selvittää lisää sen vaikutusta hakkuun työajanmenekkiin ja tämän myötä korjuukustannuksiin.

Toisena hyvänä jatkotutkimuksen aiheena voisi olla energiapuuharvennusten kustannusrakenteen selvittäminen laajemman aineiston avulla. Laaja aineisto voisi koostua maantieteellisesti sekä ajallisesti hajautetusta, eri kuljettajien korjaamista ja leimikkorakenteeltaan toisistaan eriävistä työmaista. Lisäksi kustannusrakennetta olisi hyvä selvittää koko hankintaketjun osalta, periaatteella ostosta voimalaitoksen portille. Tämä mahdollistaisi paremman yleistettävyyden sekä kannattavien kohteiden tunnusmerkkien listaamisen ostotoiminnan tukemiseksi.

Suomessa oli vuonna 2007 käytössä noin 1 830 hakkuukonetta ja 2 020 metsätraktoria (Metla 2008, 200). Kyseisen korjuukaluston työllisyydessä esiintyy kausivaihtelua. Kasvava energiapuun kysyntä sekä hakkuupäihin energiapuun korjuuta varten asennettavien lisälaitteiden kehitys on mahdollistanut työllisyyden kausivaihtelun tasoittumisen. Energiapuun korjuulle paras aika osuu yleensä aikaan, jolloin ainespuun korjuussa käytettyjä koneita on paljon vailla työtä.

Pyrittäessä saavuttamaan energiapuun käytölle asetetut tavoitteet energiapuun hankinta tulevaisuudessa yhä enemmän painottuu nuoriin metsiin. Niinpä energiapuun hankinnassa ja korjuumenetelmissä on odotettavissa kehitystä. Eräänä kehityssuuntana voidaan nähdä, että rankana korjattavan energiapuun määrä lisääntyy ja kokopuun korjuu vähenee, mutta ei häviä. Rankana korjatun energiapuun kaukokuljetuksessa voidaan käyttää perinteisiä puutavara-autoja. Näin ollen olemassa olevaa kalustoa voidaan hyödyntää kaukokuljetuksessa. Lisäksi tähän tarkoitukseen mahdollisesti hankittava lisäkalusto soveltuu myös ainespuun kaukokuljettamiseen. Rankana korjattu energiapuu kuljetetaan suoraan käyttöpaikalle tai terminaaleihin haketettavaksi. Terminaalien avulla on mahdollista vastata kasvavan energiapuunhankinnan aiheuttamiin haasteisiin. Terminaalitoiminnot parantavat hakkeen laadun ja määrän hallittavuutta. Näiden lisäksi metsähakkeen toimitusvarmuus paranee, kun sitä voidaan toimittaa terminaalista voimalaitoksille.

Puun energiakäytön määrän kasvattaminen tulevaisuudessa sekä nuorten metsien korkean energiapuupotentiaalin hyödyntäminen ovat hyvin pitkälti riippuvaisia metsänomistajien suhtautumisesta energiapuun korjuuseen ja myyntiin. Lisäksi vaikuttavia tekijöitä ovat metsäteollisuuden suhdannevaihtelut ja valtion ohjaama tukipolitiikka.

LÄHTEET

Energiateollisuus 2009. Päästökauppa. Saatavissa:

<http://www.energia.fi/fi/ymparisto/paastokauppa> [viitattu 31.12.2009].

Heikkilä, J., Laitila, J., Tantt, V., Lindblad, J., Siren, M., Asikainen, A., Pasanen, K. & Korhonen, K.T. 2005. Karsitun energiapuun korjuuvaihtoehdot ja kustannustekijät. Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa:

<http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2005/mwp010.pdf> [viitattu 7.12.2009].

Kärhä, K. 2009a. Metsähakkeen tuotantoketjut Suomessa vuonna 2008. Metsätehon tuloskalvosarja 14/2009. Metsäteho Oy. Saatavissa:

http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_2009_14_Metsahakkeen_tuotantoketjut_kk_2.pdf [viitattu 7.1.2010].

Kärhä, K. 2009b. Metsähakkeen tuotantoprosessikuvaukset. Metsätehon tuloskalvosarja 3/2008. Metsäteho Oy. Saatavissa:

http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_2008_03_Metsahakkeen_tuotantoprosessi_kk_3.pdf [viitattu 7.1.2010].

Kärhä, K., Keskinen, S., Kallio, T., Liikkanen, R. & Lindroos, J. 2006. Ennakkoraivaus osana ensiharvennuspuun korjuuta. Metsätehon raportti 187. Metsäteho Oy. Saatavissa: <http://www.metsateho.fi/uploads/rvjdj8nborun8p.pdf> [viitattu 31.12.2009].

Kärhä, K., Keskinen, S., Laitila, J. & Jylhä, P. 2007. Aines- ja energiapuun hankintaketjujen kannattavuusvertailu. Metsätehon tuloskalvosarja 2/2007. Metsäteho Oy. Saatavissa:

http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_2007_2_Kokopuupaalain_kk.pdf [viitattu 28.12.2009].

Laitila, J., Asikainen, A. ja Anttila, P. 2008. Energiapuuvarat. Julkaisussa M. Kuusinen ja H. Ilvesniemi (toim.) Energiapuunkorjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Saatavissa: <http://www.metla.fi/julkaisut/muut/2008-02-08-energiapuunkorjuu-raportti.pdf>. 6-12. [viitattu 13.12.2009].

Laitila, J., Asikainen, A & Anttila, P. 2008. Energiapuubarat. Ss. 6 – 12 julkaisussa: Kuusinen, M., Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. Tapion ja Metlan julkaisuja. Saatavissa: http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/Energiaseminaari%2020112007/Energiapuun_korjuun_ymparistovaikutukset.pdf [viitattu 31.12.2009].

Leskelä, J. 2009. Turvekokemuksia lämmityskaudelta 2008 – 2009 ja tulevaisuuden näkymiä. Turveteollisuusliiton kevätseminaari 16.4.2009. Helsinki. Energiateollisuus ry. Saatavissa: http://www.turveteollisuusliitto.fi/user_files/files/Kevatseminaari_2009/LESKELA%20oturpeen%20nakymat%20-%20TTL%20kevatsseminaari%20JUL%202009-4-16.pdf [viitattu 31.12.2009].

Lindblad, J., Äijälä, O. & Koistinen A. 2008. Energiapuun mittaus. Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja Metsäntutkimuslaitos. Saatavissa: <http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketit/mittaus/aineistoja/energiapuun-mittausopas-2008.pdf> [viitattu 23.11.2009].

Maa- ja metsätalousministeriö 2009. Kansallinen metsäohjelma (KMO)2015 Saatavissa: <http://www.mmm.fi> [viitattu 1.11.2009].

Metsäteho 1994. Metsätehon tiedotus 410. Puutavaran koneellinen hakkuu ja metsäkuljetus.

Metla 2008. Metsätilastollinen vuosikirja 2008. Metsäntutkimuslaitos. Vammala: Vammalan kirjapaino Oy.

Metsäkeskus 2009. Saatavissa: <http://www.metsakeskus.fi/NR/exeres/DDB1741D-66E7-48D0-A43E-836FC652705C.htm> [viitattu 31.12.2009].

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio ja metsäkeskus Pirkanmaa 2002. Kemeraopas. Saatavissa: http://www.metsavastaa.net/files/metsavastaa/pdf/amm_kemeraj.pdf [viitattu 22.9.2009].

Microsoft Excel 2002. Microsoft Excel, Ohje. Tietoja ennusteista ja trendien näyttämistä kaavioissa.

Motiva 2009. Saatavissa: <http://www.motiva.fi> [viitattu 1.11.2009].

Pöyry 2009. Puupolttoaineiden hintaseuranta. Saatavissa:
<http://www.puunhinta.fi/tilastot.htm?graph=fi-all-main> [viitattu 31.12.2009]

Pöyry Forest Industry Consulting OY. Loppuraportti 2006. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökäytännön olosuhteissa. Saatavissa:
http://www.mmm.fi/attachments/ymparisto/5iOShijmp/52A07161_Loppuraportti_090806.pdf [viitattu 23.10.2009].

Rantanen, P. 2004. Kvantitatiivinen metodologia verkossa. Perusteiden kertaus. Helsingin Yliopisto. Saatavissa:
https://www.edu.helsinki.fi/svy/kvanti/perusteet/mat/perusteet_oppim.pdf [viitattu 27.11.2009].

Ryynänen, S. & Rönkkö, E. 2001. Harvennusharvestereiden tuottavuus ja kustannukset. Työtehoseuran julkaisuja 381. Työtehoseura ry. Helsinki: Tummavuoren kirjapaino Oy.

Stora Enso Metsä 2008. Ohje nuorten energiapuuharvennusten ostoon ja korjuuseen yksityismetsissä. Ei julkinen.

Stora Enso Metsä 2009. Metsäenergian hankinta –esitys. Ei julkinen.

Tapio 2006. Hyvän metsänhoidon suositukset. Metsäkustannus Oy: F.G. Lönnberg, Helsinki 2006.

Tilastokeskus 2009. Verkkokoulu. Johdatus tilastolliseen ajatteluun. Saatavissa:
<http://www.stat.fi/tup/verkkokoulu/data/tt/index.html> [viitattu 18.1.2010].

Työ- ja elinkeinoministeriö 2008. Pitkän aika välin ilmasto- ja energiastrategia Saata-
vissa: <http://www.tem.fi> [viitattu 1.11.2009].

LIITTEET

Liite 1. Yhteenvetotaulukko tutkimusleimikoiden hakkuusta käsittelytavoittain

Tutkimuskuviot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Keskiarvo
Hakkuun kertymätiedot, m³ / ha													
Syötetyt	58,7	110,4	64,1	10,1	116,7	34,8	4,3	53,7	39,5	18,1	40,3	57,8	50,7
Joukkokäsitellyt+syötetyt	7,7	5,1	2,0	0,8	8,1	1,1	0,2	0,1	0,1	0,0	4,1	4,7	2,8
Joukkokäsitellyt	56,2	98,3	50,9	39,1	50,9	38,2	61,9	30,9	68,7	47,5	36,1	38,0	51,4
Kertymä m ³ /ha	122,5	213,7	116,9	50,0	175,7	74,1	66,4	84,7	108,3	65,6	80,4	100,5	104,9
Hakkuun poistumatiedot, runkoa/ha													
Syötetyt	630	1058	635	165	745	227	54	305	351	195	427	772	464
Joukkokäsitellyt+syötetyt	229	213	48	27	180	31	11	2	3	0	71	142	80
Joukkokäsitellyt	1 941	2 329	617	13 457	675	4 209	6 815	116	846	1 805	2 589	2 686	3 174
Poistuma runkoa/ha	2 800	3 600	1 300	13 649	1 600	4 467	6 880	423	1 200	2 000	3 087	3 600	3 717
Poistuman keskitilavuus, dm³ / runko													
Syötetyt	93,1	104,3	100,9	61,1	156,7	153,3	79,3	176,2	112,4	92,9	94,3	74,9	109,3
Joukkokäsitellyt+syötetyt	33,4	23,7	41,5	29,6	45,0	35,8	20,9	35,0	36,7	0,0	57,2	32,8	35,3
Joukkokäsitellyt	28,9	42,2	82,4	2,9	75,4	9,1	9,1	266,3	81,3	26,3	13,9	14,2	16,2
Keskitilavuus dm ³ /runko	43,8	59,4	89,9	3,7	109,8	16,6	9,7	200,2	90,3	32,8	26,0	27,9	28,2

Liite 2. Yhteenvertaustaulukko joukkokäsittelys

Tutkimus- kuvio	Hakkuun poistuma, runkoa/ha	Poistuman keskijäreys dm ³ /runko	Hakkuun- tuottavuus, m ³ /h	Joukko- käsitelty, runkoa/ha	Joukko- käsittelykerrat, kpl/ha	Joukkokäsiteltyjen runkojen lukumäärä / käsittelykerta	Joukko- käsittelyn osuus
1	2 800	43,8	4,65	1 941	1 811	1,1	69,3 %
2	3 600	59,4	5,92	2 329	2 290	1,0	64,7 %
3	1 300	89,9	7,64	617	502	1,2	47,5 %
4	13 649	3,7	2,98	13 457	2 643	5,1	98,6 %
5	1 600	109,8	9,18	675	680	1,0	42,2 %
6	4 467	16,6	3,48	4 209	2 649	1,6	94,2 %
7	6 880	9,7	3,15	6 815	3 423	2,0	99,1 %
8	423	200,2	12,07	116	114	1,0	27,4 %
9	1 200	90,3	7,27	846	874	1,0	70,5 %
10	2 000	32,8	4,44	1 805	1 385	1,3	90,3 %
11	3 087	26	4,77	2 589	921	2,8	83,9 %
12	3 600	27,9	4,47	2 686	1 662	1,6	74,6 %
Keskiarvo	3 717	28,2	5,42	3 174	1 580	2,0	85,4 %

