

Seinäjoen
ammattikorkeakoulun
julkaisusarja

B

Tiina Sauvula-Seppälä, Essi Ulander ja
Tapani Tasanen (toim.)

Kehittyvä metsäenergia

Tutkimusseminaari
Seinäjoen Framissa
18.11.2009

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
B. Raportteja ja selvityksiä 46

Tiina Sauvula-Seppälä, Essi Ulander ja
Tapani Tasanen (toim.)

Kehittyvä metsäenergia

Tutkimusseminaari
Seinäjoen Framissa 18.11.2009

www.seamk.fi 

 **metsäkeskus**
ETELÄ-POHJANMAA



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin.

Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisusarja
Publications of Seinäjoki University of Applied Sciences

- A. Tutkimuksia Research reports
- B. Raportteja ja selvityksiä Reports
- C. Oppimateriaaleja Teaching materials
- D. Opinnäytetöitä Theses

Myynti:

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Keskuskatu 34 PL 97, 60101 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-04-8 (painettu)
ISBN 978-952-5863-05-5 (verkkójulkaisu)

ISSN 1456-1743 (painettu)
ISSN 1797-5573 (verkkójulkaisu)

ESIPUHE

Metsäenergian käyttö on lisääntynyt voimakkaasti viime vuosina; tahti on ollut jopa niin kiivas, ettei tutkimuksen keinoin ole ennätetty saamaan vastauksia käytännön toimijoita askarruttaneisiin kysymyksiin. Tilanne on nyt kuitenkin muuttunut ja uusia tutkimustuloksia metsäenergian korjuusta sekä käytöstä saadaan jatkuvasti. *Kehittyvä metsäenergia* -seminaarin tavoitteena oli tuoda uusinta tutkimustietoa metsä- ja energia-alan toimijoille, metsänomistajille sekä kaikille aiheesta kiinnostuneille. Seminaari keräsi yli 130 metsäenergia-asioista kiinnostunutta kuulijaa Seinäjoen Framiin marraskuussa 2009. Tähän seminaarijulkaisuun on koottu artikkelit seminaarissa kuulluista esityksistä. Seminaarin järjesti Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun yhteinen *Kehittyvä metsäenergia* -hanke, jota rahoittaa Manner-Suomen maaseutuohjelma.

Tuomarniemellä 26.5.2010

Tiina Sauvula-Seppälä, Essi Ulander ja Tapani Tasanen

Sisällys

Energiaa Etelä-Pohjanmaan metsistä	7
MMM Tiina Sauvula-Seppälä, FM Essi Ulander & MMT Tapani Tasanen	
Metsäenergiapotentiali ja energiapuun korjuun resurssitarpeet	17
MMM Jussi Laurila	
Energiapuun korjuun taloudellisuus nuorissa kasvatusmetsissä	26
Dos., MMT Anssi Ahtikoski	
Kemera-tukien vaikutus nuoren metsän hoidon erilliskannattavuuteen eri kauppavaihtoehdoissa Etelä-Pohjanmaalla	37
Dos., MMT Risto Lauhanen, MMM Jussi Laurila & MMM Juha Laitila	
Heikosti kantavien maiden energiapuun korjuun kehittäminen ja tulevaisuuden visiot	47
MMT, KTM Kalle Kärhä	
Energiapuun korjuu ja metsämaan puuntuotoskyky	63
MMT Antti Wall	
Hakkuutähteiden määrä ja ravinnesisältö aines- ja energiapuukorjuun jälkeen ojitettujen turvemaiden ensiharvennusmänniköissä	70
MMT Jyrki Hytönen, MH Mikko Moilanen, Mti Olavi Kohal & Mti Aki Lokasaari	
Yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatus	80
MMT Matti Sirén	
Energianpuun korjuu kuusen väliharvennuksilta	88
MMM Otto Läspä, MMM Kati Sammallahti & MMT Juha Nurmi	

Energiaa Etelä-Pohjanmaan metsistä

MMM Tiina Sauvula-Seppälä, FM Essi Ulander ja
MMT Tapani Tasanen
Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö

1. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen metsiä hyödynnetään tehokkaasti

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen aluetta luonnehtivat lukuisat suot ja karut metsät sekä tasainen maisema laajoine peltoaukeineen ja pitkine jokineen. Alueen metsät eroavat monin tavoin eteläsuomalaisesta luonnosta. Erot ovat seurausta muun muassa alueen karuudesta sekä pitkästä metsänkäyttöhistoriasta, joka on jatkunut viime vuosikymmeniin asti tehokkaana puuntuotantona (Leikola 1999). Alueella on viime vuosisatojen aikana esiintynyt metsiä eniten kuluttaneita metsänkäyttömuotoja tervanpoltosta ja kaskeamisesta laivanrakennukseen. Nämä metsänkäyttömuodot ovat vaikuttaneet metsien rakenteeseen sekä puulajisuhteisiin kuten myös muihin metsälajeihin, vaikkakin viimeisten vuosikymmenten tehokas metsänkäyttö peittää alleen menneiden aikojen metsänkäytön vaikutuksia (Leikola 1999).

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen metsiä hyödynnetään edelleen tehokkaasti. Puuston kokonaispoistuma ylitti vuosina 2002 - 2005 valtakunnan metsien 9. inventoinnin arvion puuston kasvun tasosta. Uusimpaan, valtakunnan metsien 10. inventointiin perustuvan puuston kasvuarvion mukaan puuston käyttöä voidaan kuitenkin tehostaa kasvuun nähden. VMI10 arvion mukaan puuston vuotuinen kasvu puuntuotantoon käytettävissä olevalla maalla on 6,2 milj. m³. Puuston kokonaispoistuma on ollut vuosina 2006 - 2008 keskimäärin 4,6 milj. m³. (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus - Metsävarat 2010.)

Lisääntyneen energiapuun käytön seurauksena metsät ovat yhä tehokkaammassa käytössä. Ainespuun lisäksi metsästä korjataan energiantuotantoon pienpuut oksineen sekä päätehakkUILTA hakkuutähteet ja kannot. Suomi on määrätietoisesti edistänyt puupolttoaineiden käyttöä erilaisten kansallisten ohjelmien avulla. Esimerkiksi Kansallisen metsäohjelman 2015 (2006) tavoitteena on lisätä energiapuun käyttöä 8 - 12 milj. m³:iin vuodessa. Kansallisen metsäohjelman 2010 (1999) asettama käyttötavoite oli viisi miljoonaa kuutiometriä vuoteen 2010 mennessä. Lisäksi Suomi on sitoutunut noudattamaan EU:n ilmasto- ja energiapolitiikkaa, jonka tavoitteena on hidastaa ilmastonmuutosta ja parantaa alueen energia-

omavaraisuutta (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008). Ilmasto- ja energiapolitiikan päätavoitteita ovat kasvihuonekaasupäästöjen ja energiankulutuksen vähentäminen sekä energiatehokkuuden ja uusiutuvan energian lisääminen energiantuotannossa. Kansalliseen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiaan on kirjattu keinoja, joilla maamme voi omalta osaltaan täyttää EU:n asettamat ilmasto- ja energiapolitiikan tavoitteet. Strategiassa on esitetty, että esimerkiksi kaikkien bioraaka-aineiden käyttöä energiantuotannossa tulee lisätä vuoteen 2020 mennessä. Erityisesti perinteinen ”metsäpää” on kovien haasteiden edessä, koska valtioneuvosto on asettanut tavoitteeksi lisätä metsähakkeen vuotuista käyttöä 12 milj. m³:iin vuoteen 2020 mennessä (Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia 2008). Vuonna 2009 metsähakkeen käyttö voimalaitoksissa ja kotitalouksissa oli yhteensä 6,1 milj. m³ (Ylitalo 2010).

Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella metsähakkeen käyttö voimalaitoksissa ja pientaloissa oli noin 0,3 milj. m³ vuonna 2008 (Metsäntutkimuslaitos 2009). Lisäksi alueelta viedään metsähaketta lähialueen suurille voimalaitoksille kuten Pietarsaareen ja Kokkolaan. Pietarsaareessa käytetään metsähaketta vuosittain noin 0,15 milj. m³ (Alholmens Kraft Ab 2010) ja Kokkolassa 0,05 milj. m³ (Ahokangas 2010). Metsäenergian käyttö tulee Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella lisääntymään kuten myös vienti alueen ulkopuolelle. Vaskiluodon voiman Vaasan laitoksessa korvataan vuodesta 2012 lähtien osa kivihilestä biopolttoaineilla. Hankintapäällikkö Timo Oravan (2009) arvion mukaan energiapuun käyttömahdollisuudet tulevatkin tämän myötä lisääntymään vaihteittain Seinäjoki-Vaasa alueella jopa 0,4 miljoonaan kuutiometriin vuodessa.

2 Metsäenergian riittävyys

Metsäenergian riittävydestä on tehty useita valtakunnallisia ja maakunnallisia arvioita. Toistaiseksi ei ole olemassa vakiintuneita menetelmiä metsäenergiapotentiaalin laskentaan (Hakkila 2004). Tarkemmin laskentaperusteista kerrotaan jäljempänä Jussi Laurilan ym. artikkelissa. Eroja metsäenergian potentiaaliarvioihin syntyy laskelmissa käytetyistä erilaisista rajoitteista. Koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueelle on tehty vähän laskelmia metsäenergiapotentiaalista, maakunnallisia arvioita on sen sijaan tehty useita. Näistä johtamalla voidaan esittää koko metsäkeskusalueelle arvio metsäenergiapotentiaalista. Maidellin ym. (2008) esittämä Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen teknis-taloudellinen metsäenergiapotentiaali on 0,70 milj. m³. Tämän teknis-taloudellisen potentiaalin laskennassa on huomioitu korjuun tekniset rajoitteet ja taloudellinen kannattavuus. Kärhän ym. (2009) esittämä teknis-taloudellinen metsähakkeen hankintapotentiaali vuonna 2020 on noin 0,39 milj. m³. Laskelmassa on huomi-

oitu metsäteollisuuden rakennemuutoksen vaikutukset. Lisäksi rajoitteissa on huomioitu *Energiapuun korjuu* -oppaan suositukset (Koistinen & Äijälä 2006), metsänomistajien energiapuun myyntihalukkuus sekä metsähake-erien tuotantokustannukset, joita on verrattu energialaitosten maksukykyyn. Laskelmassa käytetty metsähakkeen talteensaantoprosentti on alle 100. Myös pienen osan kuitupuusta on arvioitu ohjautuvan polttoon.

Erilaisten metsäenergiapotentiaalia koskevien laskelmien perusteella on vaikea arvioida kuinka paljon metsäenergiaa on todellisuudessa käytettävissä. Toistaiseksi metsähaketta on ollut riittävästi saatavilla, mutta sitä on kuitenkin hyödynnettävissä rajallinen määrä. Lisäksi teknologian kehitys vaikuttaa taloudellisesti kannattavien energiapuukorjuukohteiden määrään. Metsäenergian saatavuus tulevaisuudessa on riippuvainen nyt tehtävistä metsänhoitotoimista. *Kehittyvä metsäenergia* -seminaarissa tuotiin esille joitakin tekijöitä, joiden avulla voidaan lisätä ja mahdollisesti tulevaisuudessa turvata metsäenergian saatavuus voimalaitoksille ja uusille biojalostamoille.

3 Metsänomistajien energiapuun myyntihalukkuuden lisääminen

Metsäenergian kysynnän kasvaessa myös metsänomistajien kiinnostusta energiapuun myymiseen tulee lisätä ja pitää yllä. Energiapuun myymisen tulee olla metsänomistajalle taloudellisesti kannattavaa, korjuujäljen vastata metsänomistajan toiveita eikä jäävän puuston tai tulevan puusukupolven elinvoimaisuus saa kärsiä korjuusta. Vaikka energiapuun ostaja voisikin täyttää metsänomistajan toivelistan, ovat käytännön toimijat havainneet energiapuuharvennuskohteiden ja niiden omistajien löytämisen olevan erityisen vaikeaa. Aktiivisen metsänomistajan kanssa on helppo puukaupan yhteydessä neuvotella päätehakuiden hakkuutähteiden korjuusta ja kantojen nostosta sekä mahdollisista energiapuuharvennuskohteista. Passiivisia metsänomistajia sen sijaan on vaikeaa tavoittaa ja metsäenergiapotentiaalia ei saada hyödynnettyä täysimääräisesti. Metsänomistajien ikääntyminen ja tilakokojen pienentyminen ovat edelleen hankaloittaneet energiapuun ja ainespuun hankintaa. Iäkkäät metsänomistajat tekevät sekä vähemmän metsänhoitotöitä että myyvät vähemmän puuta. Pieni tilakoko puolestaan nostaa puunhankintaorganisaatioiden kustannuksia (Hänninen 2009). Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella jopa 82 prosenttia metsänomistajista on yksityisiä, kun valtakunnallinen keskiarvo on 52 prosenttia (Metsäntutkimuslaitos 2009). Lisäksi metsälöiden keskimääräinen pinta-ala on pieni, alle 30 hehtaaria (Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus - Metsänomistus 2010).

Metsäenergian käytön lisäämisen edellytyksenä on, että metsänomistaja ja energiapuun ostaja kohtaavat. Tämän edistäminen on hankalaa esimerkiksi henkilötietolain estäessä metsäkeskuksia luovuttamasta paikkaan sidottua tietoa energiapuukorjuukohteista hankintaorganisaatioille. Tietoa sopivista korjuukohteista voidaan antaa vain maanomistajan luvalla. Puun ostajille, metsänomistajille, neuvoille ja muille toimijoille on tarkoitus tuottaa valtionavulla sähköinen kohtaamispaikka. Kohtaamispaikka *metsaan.fi* ei myöskään julkaise metsänomistajan tietoja, jollei metsänomistaja sitä itse halua (Sinko 2009). Tarkoituksena on tuottaa helppo väylä, jonka avulla kysyntä ja tarjonta saataisiin kohtaamaan.

4 Metsäenergia kaikille osapuolille kannattavaksi

Metsäenergian käytön tavoitteiden saavuttaminen edellyttää, että metsähakkeen käyttö energiantuotannossa on yhtäläillä kannattavaa voimalaitoksille, korjuuyrittäjille ja metsänomistajille. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella käytetystä metsähakkeesta 68 prosenttia tulee harvennuskohteilta (Metsäntutkimuslaitos 2009). Vain Lapin ja Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskusten alueella käytettävästä metsähakkeesta suurempi osuus on peräisin harvennuskohteilta. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueella harvennuksilta saadun energiapuun suuri osuus selittyy osittain sillä, että alueella on paljon nuoria metsä. Valtakunnan metsien 10. inventoinnin mukaan Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen puuntuotannon metsämaalla lähes 35 % metsiköistä on nuoria kasvatusmetsiä (Metsäntutkimuslaitos 2009).

Nuorten metsien harvennuksilta tuotetun metsähakkeen käyttöpaikkahinta on noin 50 % korkeampi kuin hakkuutähteestä tuotetun hakkeen hinta (Asikainen 2008). Energiapuuharvennusten korjuukustannuksiin vaikuttavat korjattavan leimikon olosuhteet. Poistettavan puuston keskijäreys ja leimikolta korjattavan energiapuun määrä vaikuttavat korjuukustannuksiin (Laitila ym. 2004). Erityisesti hoitamattomilla kohteilla energiapuun korjuukustannukset nousevat korkeiksi, jolloin raaka-aine maksaa voimalaitokselle paljon. Tällöin voimalaitoksilla ei ole mahdollisuutta maksaa metsänomistajille raaka-aineesta. Metsien hoitamattomuus ei ole voimalaitokselle, korjuuyrittäjälle eikä metsänomistajalle ihanteellinen tilanne eikä metsien varhaishoitoa tulisikaan jättää tekemättä energiapuukertymän kasvattamiseksi. Anssi Ahtikosken artikkelissa perehdytään eri osapuolten toiminnan kannattavuuteen vaikuttaviin tekijöihin korjattaessa energiapuuta nuorista kasvatusmetsistä.

Energiapuu on uusi ”puutavaralaji”, jolle vielä etsitään toimivia puukauppamalleja. Metsäenergiamarkkinoille ei ole vielä vakiintunut samanlaisia käytänteitä kuin

ainespuukaupassa. Metsänomistaja on tottunut käymään puukauppaa kiinto-kuutiometreissä (m^3), mutta metsäenergiaa myytäessä voidaan kauppaa tehdä niiden lisäksi hakekuutioissa ($i-m^3$), tonneissa (tn) tai energiasisällön (MWh) mukaan. Jos energiapuuta korjataan nuoren metsän hoitokohteelta, joka täyttää kestävän metsätalouden rahoitustukiehdot (Kemera), voidaan kauppasopimusta laadittaessa päättää, kuinka Kemera -tuet ohjataan toimijoille. Tämä vaikuttaa eri osapuolten toiminnan kannattavuuteen. Tarjouksien vertailu voi olla vaikeaa metsänomistajalle, jos kemera -tuet jakaantuvat usealle eri toimijalle ja tarjoajat ovat käyttäneet eri yksiköitä energiapuumäärän arvioinnissa. Eri kauppavaihtoehtojen vaikutuksia kaupan osapuolten toiminnan kannattavuuteen on tarkasteltu Risto Lauhasen ym. artikkelissa tässä julkaisussa.

5 Korjuukaluston soveltuvuus turvemaiden energiapuunkorjuuseen

Soilla on keskeinen asema Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen luonnossa. Metsämaisema on alueella soiden suuren määrän vuoksi luonnostaan mosaikkimainen (Leikola 1999). Vain Pohjois-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella soiden osuus metsätalousmaasta on lähes yhtä suuri kuin Etelä-Pohjanmaalla. Valtakunnallisesti soita on keskimäärin 24 prosenttia metsämaasta, kun Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella soita ja turvekankaita on noin 40 prosenttia metsämaasta (Metsäntutkimuslaitos 2009).

Metsäenergian käytön lisääntyessä siirrytään energiapuun hankinnassa helpoita korjuukohteilta vaikeammille kohteille. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella tämä tarkoittaa siirtymistä turvemaille, joiden energiapuunvaroja ei ole hyödynnetty. Kärhän (2008) mukaan turvemaiden rooli energiapuun korjuussa tulee korostumaan erityisesti Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla ja Kainuussa, missä monella alueella harvennushakkuusuunnitteesta yli 40 % on laskettu kertyvän turvemailta tulevana vuosina. Turvemaiden energiapuun korjuun lisääntyessä joudutaan heikosti kantavien maiden puuta korjaamaan myös sulan maan aikana. Lisäksi lämpiminä talvina jäätyneen maan hyväksikäyttö puunkorjuussa ei ole mahdollista. Sulan maan aikana puunkorjuun suurin ongelma turvemaille on maaperän heikko kantavuus. Kantavuusongelmaa voidaan pyrkiä ratkaisemaan joko erikoiskoneilla tai parantamalla nykykaluston käyttömahdollisuuksia (Airaavaara ym. 2008). Tässä julkaisussa Kalle Kärhä esittelee heikosti kantavien maiden puunkorjuun tehostamiskeinoja, kuten työmaasuunnittelussa ja toimijoiden valmiuksissa huomioitavia asioita, konekaluston varustelun mahdollisuuksia sekä konetyöskentelyn sopeuttamista heikosti kantaville maille.

6 Energiapuun korjuun vaikutuksista metsämaahan

Energiapuun laajamittaisempaan käyttöön vaikuttaa metsänomistajien mielipide energiapuun korjuun ympäristövaikutuksista. *Kehittyvä metsäenergia* -hankkeella selvitettiin Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen toimialueen asukkaiden kansalaismielipidettä metsäenergiasta. Tutkimuksessa ilmeni, että jopa 23 % Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen toimialueen asukkaista oli huolissaan jäljelle jäävän puuston riittävästä ravinteiden saannista, jos energiapuuta korjataan harvennushakkuilta (Laukka 2009). Kolmannes vastaajista ei osannut ottaa kantaa ravinnekysymykseen. Ristiriitaiset tiedot energiapuun korjuun vaikutuksista jäävän puuston kasvuun ja metsämaan ominaisuuksiin eivät helpota metsäalan neuvontatyötä eivätkä lisää metsänomistajien energiapuun myyntihalukkuutta. Syy ristiriitaiseen tietoon on pääasiassa seurausta vähäisestä tutkimustiedosta. Puun ja metsän kasvuun vaikuttaa lukuisia tekijöitä suoraan ja välillisesti, minkä vuoksi on erittäin vaikeaa erottaa yhden tietyn tekijän aiheuttamia muutoksia. Luotettavien tulosten saaminen vaatii pitkäaikaista, metsän kiertoajan yli kestäväää seuranta sekä riittävän isoja aineistoja kattavasti erilaisista ympäristöistä. Luonto luo omat haasteensa pitkäaikaisille seuranta tutkimuksille, koska luonnonoloja ei voida stabilisoida eikä ennakoimattomia tilanteita, kuten hyönteistuhoja, voida ennustaa tai ehkäistä täysin. Myös eri tutkimusten tulosten vertailtavuus voi olla vaikeaa esimerkiksi menetelmien poiketessa toisistaan ja tulosten pätevyiden rajoituksissa tietyille kasvupaikoille.

Antti Wall vertailee artikkelissaan eri maissa tehtyjen tutkimustulosten pohjalta puuntuotoskykyyn vaikuttavien indikaattoreiden esiintymistiheyttä ja niiden tilastollista merkitsevyyttä. Hänen mukaansa suoria todisteita energiapuun korjuun vaikutuksista maan ravinteisuuteen ja puuston kasvuun ei voida esittää. Varovaisuusperiaate energiapuun korjuussa turvaa kuitenkin puuntuotannon kestävyuden. Varovaisuusperiaatteella tarkoitetaan sitä, että osa hakkuutähteistä jätetään korjaamatta, energiapuun korjuu tehdään vain kerran puuston kiertoaikana ja korjuutekniikkaa kehitetään siten, että voidaan säädellä metsään jäävän biomassan määrää, laatua ja tilajakaumaa.

Energiapuuta korjataan vielä varsin vähän turvemailta. Turvemailloilla on paljon harvennustarpeessa olevia nuoria tai varttuneita kasvatusmetsiä, joiden hakkuukertymä on pieni. Korjattaessa energiapuuta kokopuuna voidaan näiden kohteiden harvennusten kannattavuutta parantaa (Heikkilä 2007). Energiapuun korjuun yleistymistä turvemailta on kuitenkin hidastanut epätietoisuus korjuun vaikutuksista turvemaan ravinnetalouteen ja jäävän puuston kasvuun. Energiapuun korjuuseen turvemailta on ohjeissa ja suosituksissa suhtauduttu hyvin kriittisesti. Jyrki Hytösen artikkelissa esitetään tuloksia kokopuukorjuun vaikutuksista

puuston kasvuun ja ravinnetalouteen turvemaiden ensiharvennuksilta. Hytösen mukaan energiapuun korjuu turvemailta ei ole niin ongelmallista kuin on oletettu, koska kokopuun korjuussa ravinteita sisältävää hakkuutähdettä jää runsaasti kasvupaikalle. Hytösen esittämät tulokset ovat lyhytaikaiselta koealasarjalta, joten hakkuutähteiden vaikutuksia puuston kasvuun pidemmällä aikavälillä ei voida vielä arvioida. Artikkelin mukaan kokopuun korjuuta ei kuitenkaan saa tehdä kasvupaikoilla, joilla esiintyy ravinnepuutoksia tai jotka ovat kaliuminpuutoksen riskialueilla. Uudet, nykyaikaisiin korjuutekniikoihin pohjautuvat tutkimustulokset varmistavat energiapuun korjuun ekologisen kestävyys ja edistävät osaltaan metsäenergian saatavuutta.

7 Tulevaisuuden metsäenergiavarat

Metsäenergian riittävyyden takaamiseksi tulee pohtia sitä, millaisilla tämän päivän toimenpiteillä voidaan turvata raaka-aineen saatavuus tulevaisuudessa. Energiapuun kasvatus voidaan ottaa osaksi metsänkasvatusketjua. Nykyisin metsänhoito tähtää pääasiassa ainespuun kasvatukseen. Yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatus antaa mahdollisuuden tuottaa huomattavia määriä energiapuuta ainespuun tuotoksesta tinkimättä. Tällöin myös energiapuuharvennuksen korjuuolosuhteet paranevat, jolloin korjuukustannukset jäävät hoitamattomiin kohteisiin verrattuna huomattavasti pienemmiksi. Matti Sirénin artikkelissa esitellään yhdistettyä aines- ja energiapuun kasvatusmallia. Yhdistetty kasvatus antaa mahdollisuuden tuottaa vuositasolla useita miljoonia kuutiometrejä energiapuuta, joka päästään korjaamaan kohtuullisista korjuuloista.

Energiapuuta korjataan pääasiassa nuoren metsän kunnostuskohteilta, ensiharvennuksilta ja päätehakkuilta. Kantoja ja hakkuutähdettä korjataan pääasiassa kuusen uudistusaloilta. Metsäenergian käytön lisääntyessä myös muut potentiaaliset metsäenergian korjuupaikat tulevat olemaan kasvavan kiinnostuksen kohteina. Männyn kantoja korjataan jonkin verran jo nyt, mutta väliharvennusten hakkuutähde ja kannot ovat toistaiseksi vielä jääneet hyödyntämättä. Hakkuutähteiden ja kantojen nostoa kuusen väliharvennuksilta esitellään Otto Läspän ym. artikkelissa. Tutkimustulosten mukaan hakkuutähteiden paalaus kuusen väliharvennuksilta on hieman heikommin tuottavaa kuin päätehakkuilta, mutta saanto on hyvä ja korjuuvauriot olivat vähäisiä. Tutkimuksessa testattiin myös kantojen nostoa väliharvennuksilta juurikairalla. Tulosten mukaan menetelmä vaatii vielä kehittelyä, jotta toiminta voisi yleistyä.

Sekä nykyisten että tulevien metsäenergiavarojen täysimääräinen hyödyntäminen edellyttää riittävästi ammattitaitoisia työntekijöitä metsäenergiaketjun kaikissa

vaiheissa. Erityisesti korjuukaluston ja korjuumenetelmien kehittäminen sekä osaavan työvoiman riittävyyden takaaminen koulutuksen avulla parantavat metsäenergian kilpailukykyä vaihtoehtoisiin polttoaineisiin nähden. Tulevaisuuden resurssitarpeita on tarkasteltu Jussi Laurilan ym. artikkelissa.

Tässä *Kehittyvä metsäenergia* -seminaariin liittyvässä julkaisussa tarkastellaan erityisesti metsäenergiavarojen riittävyyttä sekä energiapuun korjuuseen liittyviä kysymyksiä. Näiden kysymysten lisäksi metsäenergian tuotannossa tulee panostaa myös muiden työvaiheiden kehittämiseen. Tuottamalla laadukasta ja kuivaa metsähaketta saadaan rajallinen energiapuuvaranto hyödynnettyä tehokkaimmin.

Kirjallisuus

- Ahokangas, P. 2010. Kokkolan Voima Oy:n tuotannon esittely. 12.4.2010. Suullinen tieto.
- Airavaara, H., Ala-Ilomäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. [Verkkojulkaisu]. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 80. [Viitattu 17.5.2010]. Saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp080.pdf>
- Alholmens Kraft Ab, Tuotanto. [Verkkosivu]. [Viitattu 10.1.2008]. Saatavana: <http://www.alholmenskraft.com/fi/production/index.htm>
- Asikainen, A. 2008. Puuenergia nyt ja käyttöpotentiaali. Julkaisussa: Savolainen, M. (toim.) Bioenergiapäivät 2008, seminaarijulkaisu. Finbio, Julkaisu 41, 47-50.
- Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus – metsänomistus. 2010. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.5.2010]. Saatavana: http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/36323307-FA58-433D-8931-91ECC899AC23/0/epmetsat_kasvu_kokonaispoistuma.pdf
- Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus – metsäavarat. 2010. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 20.5.2010]. Saatavana: http://www.metsakeskus.fi/NR/rdonlyres/36323307-FA58-433D-8931-91ECC899AC23/0/epmetsat_kasvu_kokonaispoistuma.pdf
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 - 2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Helsinki: Tekes. Teknologiaohjelma-raportti 5/2004.
- Heikkilä J. 2007. Turvemaiden puun kasvatus ja korjuu – nykytila ja kehittämistarpeet. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 43.
- Hänninen, H. 2009. Ovatko sukupolvenvaihdokset ja metsätilakoko ongelma metsätaloudessa? Metsäpäivät 2009 Helsingissä 5.-6.11.2009. Metsänomistajaseminaari. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.5.2010]. Saatavana: [http://www.metsapaivat.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid MP/19B8AC10FAE72CF2C2257669004B8102/\\$file/Metsapaivat2009-HarriHanninen.pdf](http://www.metsapaivat.fi/smy/Materiaalitdeve.nsf/allbyid MP/19B8AC10FAE72CF2C2257669004B8102/$file/Metsapaivat2009-HarriHanninen.pdf)
- Kansallinen metsäohjelma 2010. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2/1999. [Viitattu 21.5.2010]. Saatavana: http://wwwb.mmm.fi/kmo/asiakirjat_raportit/Kansallinen_metsaohjelma.pdf.
- Kansallinen metsäohjelma 2015. 2008. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Valtioneuvoston periaatepäätös 27.3.2008. 55 s. [Viitattu 21.5.2010]. Saatavana: [http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/Kansallinen%20mets%C3%A4ohjelma%202010%20\(KMO\)/Documents/Kansallinen_metsaohjelma_2015_periaatepaatos_20080327.pdf](http://www.metsateollisuus.fi/Infokortit/Kansallinen%20mets%C3%A4ohjelma%202010%20(KMO)/Documents/Kansallinen_metsaohjelma_2015_periaatepaatos_20080327.pdf)
- Koistinen, A. & Äijälä, O. 2006. Energiapuun korjuu. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
-

-
- Kärhä, K. 2008. Turvemaiden puunkorjuu saatava ympärivuotiseksi. Metsäikkuna – Pohjois-Pohjanmaan metsäalan toimijoiden ja metsänomistajien yhteinen julkaisu 1/2008:10.
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T., Keskinen, S., Saijonmaa, P. & Strandström, M. 2009. Kiinteiden puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa vuonna 2020. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja. Energia ja ilmasto XX/2009. Käsikirjoitus.
- Laitila, J., Asikainen, A., Sikanen, L., Korhonen, K.T. & Nuutinen, Y. 2004. Pienpuuhakkeen tuotannon kustannustekijät ja toimituslogistiikka. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 3.
- Laukka, P. 2009. Metsäenergian käyttö yhteiseksi asiaksi. Kansalaisten käsitykset, odotukset ja mielipiteet metsäenergiasta Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö, Ähtäri. Opinnäytetyö.
- Leikola, N. 1999. Metsäluonnon monimuotoisuus ja metsien käytön historia Etelä-Pohjanmaalla. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 273.
- Maidell, M., Pyykkönen, P. & Toivonen, R. 2008. Metsäenergiapotentiaalit Suomen maakunnissa. Helsinki: Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen työpapereita 106.
- Mannerkoski, H. 2002. Metsämaa. Teoksessa Tapion taskukirja, 24. uud. painos. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. s. 150–161.
- Metsätilastollinen vuosikirja. 2009. SVT. Maa-, metsä-, ja kalatalous 2009. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos.
- Orava, T. 2009. Puuenergian käytön tavoitteet ja haasteet. Kehittyvä metsäenergia seminaari 18.11.2009. Seinäjoki.
- Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. 2008. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 21.5.2010]. Saatavana: http://www.tem.fi/files/20585/Selontekoehdotus_311008.pdf
- Sinko, J. 2009. Paikkatiedon hyödyntämisen mahdollisuudet ja haasteet. Esitelmä Kehittyvä metsäenergia seminaarissa 18.11.2009. Seinäjoki. [Verkojulkaisu]. [Viitattu 21.5.2010]. Saatavana: <http://www.puulakeus.net/docs/120-uJb-sinko.pdf>
- Ylitalo, E. 2010. Puun energiakäyttö 2009. [Verkkosivu]. Metsätilastotiedote 16/2010, 28.4.2010. [Viitattu 17.5.2010]. Saatavana: <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2010/puupolttoaine2009.htm>
-

Metsäenergiapotentiaali ja energiapuun korjuun resurssitarpeet

MMM Jussi Laurila

Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö

1 Johdanto

Tämä kirjallisuuskatsaus on tehty laajemman ”Metsäenergiavarat ja energiapuun korjuun resurssitarpeet Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella” -tutkimuksen taustakatsaukseksi. Sekä kirjallisuuskatsaus että varsinainen tutkimus on tehty Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun yhteisessä ”*Kehittyvä metsäenergia*” -hankkeessa, joka kuuluu Manner-Suomen maaseutuohjelmaan.

Maamme ainespuuvarat tunnetaan melko tarkkaan noin 90 vuoden ajalta, sillä ensimmäinen valtakunnan metsien inventointi tehtiin jo 1920-luvun alussa (Metsäntutkimuslaitos 2009). Metsävarojen tunteminen on tärkeää päätettäessä mm. metsäteollisuuden kapasiteetista ja tehtaiden sijainnista. Vastaavia tarkkoja ja yksityiskohtaisia metsäenergiälaskelmia ei ole ollut tarpeen laatia, koska tähän asti metsäbiomassaa on ollut tarjolla kysyntää enemmän. Tilanne voi kuitenkin muuttua bioenergiaan kohdistuneiden lisäämistavoitteiden myötä. Metsäenergia on rajallinen voimavara uusiutuvuudestaan huolimatta (Hakkila 2004). Metsien kestäväen käytön turvaamiseksi on tärkeää tuntea alueelliset metsäenergiavarat eli metsäenergiapotentiaali.

2 Kirjallisuuskatsaus

2.1 Potentiaalit

Metsäenergiapotentiaalin käsite ei ole yksiselitteinen, sillä käytännössä teoreettisen kokonaispotentiaalin hyödyntämismahdollisuuksia rajoittavat useat eri tekijät kuten esimerkiksi käytettävissä oleva teknologia ja taloudellisuus. Bioenergian *biologinen potentiaali* voidaan johtaa fotosynteesin teoreettisesta hyötysuhteesta, joka asettaa ylärajan aurinkoenergian biologiselle hyödyntämiselle (Lampinen & Jokinen 2006).

Teoreettinen potentiaali tarkoittaa sitä määrää, joka olisi mahdollista hyödyntää energiakäyttöön, kun ei huomioitaisi mitään rajoittavia tekijöitä kuten teknologisia,

taloudellisia ja ekologisia rajoitteita. *Teknologisesta potentiaalista* puhuttaessa tarkoitetaan tunnetulla teknologialla teoriassa tuotettavissa olevaa potentiaalia. *Teknis-taloudellinen potentiaali* saadaan, kun rajoitetaan teoreettista potentiaalia teknologisilla ja taloudellisilla reunaehdoilla. Rajoitteet johtuvat mm. korjuutekniikasta, tuotantologistiikasta, vaihtoehtoisten polttoaineiden hintakehityksestä, tuista, verotuksesta, energia- ja ilmastopolitiikasta, metsähakkeen laatuvaatimuksista jne. Rajoitteiden yhteisvaikutusta on vaikeaa arvioida tarkkaan (Hakkila 2004). Teknis-taloudellisen kokonaispotentiaalın arvioidaan yleensä olevan 50 % teoreettisesta kokonaispotentiaalista. Teknis-taloudellista potentiaalia voi rajoittaa myös metsänomistajien tarjontahalukkuus (Hakkila 2004, Lampinen & Jokinen 2006, Maa- ja metsätalousministeriö 2006, Lauhanen & Laurila 2007, Maidell ym. 2008).

Muita potentiaalikäsitteitä ovat mm. *sosioekonominen ja ekologinen potentiaali*. Sosioekonomisesta potentiaalista puhuttaessa tarkoitetaan teknologian ja resursien käytön hyväksyttävyyttä yksilöiden ja yhteiskunnan näkökulmasta. Ekologinen potentiaali kuvaa eliömaailman sietokykyä, joka luonnontieteellisesti tarkasteltuna on alhainen. Ekologiseen potentiaaliin kuuluu luonnontieteellisten näkökulmien lisäksi myös arvosidonnaisia oletuksia (Lampinen & Jokinen 2006).

2.2 Puun kosteus

Puun kosteus vaihtelee puulajien sekä puun eri osien että saman lajin eri yksilöiden välillä. Esimerkiksi kuusen pintapuun uloimmissa lustoissa kosteus on jopa 60 %, kun taas sydänpuun kosteus on vain noin 30 %. Männyllä vastaavat arvot ovat hieman alhaisemmat. Kosteus vaihtelee merkittävästi myös vuodenajan ja vuorokaudenajan mukaan (Saranpää & Tuimala 1997). On myös esitetty, että puun kosteus määräytyisi osittain perinnöllisesti (Kärkkäinen 2003). Tuoreen puuaineen keskimääräinen kosteus on 50 - 60 %. Kuoren kosteus poikkeaa puuaineen kosteudesta ja havupuilla se vaihtelee 36 - 67 % välillä puun eri osista. Yleisesti voidaan sanoa, että kaarnan kosteus on alempi kuin muun kuoren kosteus (Alakangas 2000).

Puuta poltettaessa vesi haihtuu ennen kuin puuaine alkaa kemiallisesti hajota. Veden lämpeneminen, höyrystyminen ja höyryn lämpötilan kohoaminen vaativat energiaa. Tämä aiheuttaa polttoaineen tehollisen lämpöarvon ja palamislämpötilan alenemista. Palamislämpötilan aleneminen hidastaa palamisnopeutta (Kärkkäinen 1981, Pietilä 2005). Lämpöarvon alenemisen lisäksi kosteudesta aiheutuu lisäkustannuksia logistisessa ketjussa (Laurila & Lauhanen 2007).

2.3 Puun lämpöarvo

Puun kuiva-aineen tehollinen lämpöarvo on 5,1 - 5,6 MWh/tn (Alakangas 2000). Lämpöarvoon vaikuttavat kosteuden lisäksi mm. puulaji ja puun kemiallinen koostumus (Kärkkäinen 2007). Kiintokuutiometri kuorellista puuta sisältää energiaa noin 2 MWh (Alakangas 2000, Maa- ja metsätalousministeriö 2006). Oksien, latvojen ja pienikokoisten puiden lämpöarvo on kemiallisista ja fysikaalisista ominaisuuksista johtuen suurempi kuin runkopuun (Alakangas 2000). Nurmen (2000) mukaan männyn oksien lämpöarvo on 5,55 MWh/tn ja runkopuun 5,43 MWh/tn. Suurimmat lämpöarvovaihtelut puun eri osien välillä ovat haavalla ja lepällä.

Kuoren lämpöarvo poikkeaa hieman puuaineen lämpöarvosta. Esimerkiksi männyn kuoren lämpöarvo on noin prosentin ja koivun kuoren noin 22 prosenttia korkeampi kuin rungon puuaineen lämpöarvo. Kuusella taas kuoren lämpöarvo on noin prosentin alempi kuin rungon puuaineen lämpöarvo massayksikköä kohti tarkasteltuna (Alakangas 2000).

2.4 Aikaisemmat metsäenergiapotentiaalilaskelmat

Metsäenergiapotentiaalilaskelmien keskinäistä vertailua vaikeuttavat erilaiset aluejaot ja potentiaalimääritelmät. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalue (kuva 1) käsittää Etelä- ja Keski-Pohjanmaan sekä osia Pohjanmaan maakunnasta. Valtakunnan metsien inventointitietoihin perustuvia koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen kattavia kuntakohtaisia metsäenergiapotentiaalilaskelmia ei ole aikaisemmin esitetty.



Kuva 1. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalue.

Pöyryn laatimassa maa- ja metsätalousministeriön toimeksiannon mukaisessa raportissa (Maa- ja metsätalousministeriö 2006) metsäenergiapotentiaalit määritettiin maakunnittain. Etelä-Pohjanmaan maakunnan teknis-taloudelliseksi metsäenergiapotentiaaliksi saatiin 730 GWh vuodelle 2010 ja Keski-Pohjanmaan 240 GWh/v.

Keski-Pohjanmaan bioenergiaohjelmassa esitettiin Keski-Pohjanmaan maakunnan vuotuiseksi tekniseksi metsäenergiapotentiaaliksi noin 300 GWh/v ja teoreettiseksi potentiaaliksi 860 GWh/v. Koko Keski-Pohjanmaan maakunnan tekninen bioenergiapotentiaali oli noin 400 GWh/v, josta metsäenergian osuus oli noin 76 % (Härkönen 2008). *Etelä-Pohjanmaan energiaomavaraisuuden kehittämissstrategiassa* esitettiin Etelä-Pohjanmaan maakunnan metsistä korjattavan energiapuun

teknis-taloudelliseksi energiapotentiaaliksi noin 1,6 TWh/v (Uusiutuvaa voimaa Etelä-Pohjanmaalle 2008).

Lauhanen ja Laurila (2007) laskivat Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen metsäenergiapotentiaalin vuonna 2007. Tavoite 2 -alueeseen kuuluivat Järviseudun, Kuusiokuntien, Eteläisten Seinänaapurien ja Suupohjan seutukunnat. Laskelmat tehtiin käyttäen ajantasaistettua VMI9 -aineistoa. Tutkimuksessa tavoite 2 -alueen metsäenergian vuotuiseksi tuotantopotentiaaliksi saatiin noin 900 GWh/v (Lauhanen & Laurila 2007).

Tavoite 2 -alueen potentiaalista voidaan johtaa karkea arvio koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueelle seuraavasti. Tavoite 2 -alueen metsämaan pinta-ala (6 844 km²) oli noin 55 % koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen pinta-alasta (12 470 km²) (Metsäntutkimuslaitos 2008). Pinta-alojen suhteella laskien saadaan tavoite 2 -alueen potentiaalin nojalla koko Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen vuotuiseksi teknis-taloudelliseksi metsäenergiapotentiaaliksi noin 1,6 TWh/v. Laskelma on kuitenkin yleistävä eikä se huomioi kuntakohtaisia metsien rakenteellisia eroja.

Maidell ym. (2008) laskivat metsäenergiapotentiaalit maakunnittain ja saivat Etelä-Pohjanmaan maakunnan vuotuiseksi teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi 0,7 milj. m³ eli noin 1,4 TWh/v, Keski-Pohjanmaan teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi 0,3 milj. m³ eli noin 0,6 TWh/v ja Pohjanmaan teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi 0,3 milj. m³ eli noin 0,6 TWh/v. Laskelmat perustuivat vuonna 2006 toteutuneisiin hakkuisiin ja metsänhoitotöihin. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueeseen kuuluvat Etelä- ja Keski-Pohjanmaan maakunnat sekä osa Pohjanmaan maakunnasta (Isokyrö, Laihia ja Vähäkyrö). Maapinta-alojen suhteessa Isokyrö, Laihia ja Vähäkyrö edustavat noin 13 % koko Pohjanmaan maakunnan alasta (Maanmittauslaitos 2008). Maapinta-alojen suhteella laskien saadaan Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueeseen kuuluvan Pohjanmaan maakunnan osan vuotuiseksi teknis-taloudelliseksi metsäenergiapotentiaaliksi 0,04 milj. m³ eli noin 0,08 TWh/v. Laskemalla yhteen vuotuiset teknis-taloudelliset metsäenergiapotentiaalit kolmen maakunnan (1,4 TWh/v, 0,6 TWh/v ja 0,08 TWh/v) Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueetta käsittävän alueen osalta saadaan metsäkeskusalueen vuotuiseksi teknis-taloudelliseksi potentiaaliksi noin 2,1 TWh/v.

2.5 Energiapuun korjuun resurssitarpeet

Osa energiapuusta korjataan kohteilta, joilta korjataan myös ainespuuta. Metsäenergian korjuu vaikuttaa ainespuun korjuun tuottavuuteen. Ensiharvennuskohteilla energiapuun korjuun vaikutus ainespuuhakkuun tuottavuuteen voi olla

merkittävä (Asikainen 2004). Kärhän ja Mutikaisen (2008) tutkimuksessa integroidun energia- ja ainespuunkorjuun tuottavuus oli noin 10 % alhaisempi pelkkään kokopuun hakkuuseen verrattuna.

Normaalisti päätehakkuussa harvesteri karsii oksat ajouralle koneen eteen, jolloin ne ehkäisevät maastovaurioiden syntymistä. Korjattaessa hakkuutähteitä uudistusaloilta pyritään hakkuutähteet kasaamaan normaalista poiketen kasoihin ajourien sivuille. Hakkuutähteen korjuulla ei ole juuri vaikutusta varsinaiseen hakkuutyöhön, mutta uudenlainen työskentelytapa vaatii kuljettajalta hieman totuttelua (Asikainen 2004).

Hakkuutähteen korjuun vaikutus metsäkuljetuksen tuottavuuteen on suurempi kuin hakkuun tuottavuuteen. Hakkuutähteet ajetaan ainespuun jälkeen, jolloin ainespuun metsäkuljetuksen tuottavuus alenee 2 - 12 %, koska puutavaran ajossa joudutaan väistelemään hakkuutähdekasoja. Lisäksi puutavaraa joudutaan kuormaamaan kauempaa kuin normaalisti hakkuutähdekasoista johtuen. Korjuuolosuhteet vaikuttavat oleellisesti tuottavuuteen (Wigren 1992, Oijala ym. 1999, Asikainen 2004).

Taulukossa 1 esitetään metsäenergian hankinnassa käytettävien koneiden ja ajoneuvojen vuosisuoritteet Asikaisen (2004) mukaan. Koneiden ja ajoneuvojen vuosisuoritteet on laskettu olettaen, että koneita käytetään kahdessa vuorossa (2 x 8h/vrk), jolloin konetta kohti tarvitaan vähintään kaksi kuljettajaa. Vuotuinen työaika on 10 kk kaikilla muilla koneilla, paitsi kantopuun korjuuseen käytettävällä kaivinkoneella 7 kk. Käytännössä kaikki metsäenergian parissa työskentelevät koneet ja laitteet eivät työskentele kahdessa vuorossa. Tällöin konekohtainen vuosisuorite on alempi kuin taulukossa esitetyt arvot (Asikainen 2004).

Taulukko 1. Energiapuun hankinnassa käytettävien ajoneuvojen ja koneiden vuosisuoritteet, m³/v (Asikainen 2004).

Konetyyppi	Vuosisuorite, m ³
Kaatokasauskone	10 000
Kantopuun korjuukone	17 000
Paalain	25 000
Siirrettävä hakkuri	30 000
Käyttöpaikkamurskain	120 000
Metsätraktori	30 000
Kanto- tai risuauto	25 000
Hakeauto	25 000

3 Päätelmät

On vaikeaa esittää tarkkoja metsäenergiapotentiaaleja, koska potentiaalilaskentoihin liittyy erilaisia epätarkkuustekijöitä. Laskelmissa joudutaan aina tekemään oletuksia. Useissa metsäenergiapotentiaalilaskelmissa teknis-taloudellisen potentiaalilin oletetaan olevan puolet teoreettisesta potentiaalista (Hakkila 2004, Maa- ja metsätalousministeriö 2006, Lauhanen & Laurila 2007, Maidell ym. 2008). Absoluuttisen tarkan suhteen esittäminen teoreettisen ja teknis-taloudellisen potentiaalilin välille on kuitenkin mahdotonta. Kantoja ja hakkuutähteitä korjataan enimmäkseen kuusivaltaisilta uudistusaloilta. Kuusivaltaisuuden määritelmä ei kuitenkaan ole yksiselitteinen ja maastossa kuusivaltaisuuden arviointi on aina tapauskohtaista sekä perustuu aina jossain määrin arvioon. Joka tapauksessa huolella tehty potentiaalilaskelma palvelee käytännön tarpeita metsäenergiavarojen käytön suunnittelussa ja kehittämisessä.

Laajemmassa ”Metsäenergiavarat ja energiapuun korjuun resurssitarpeet Etelä-Pohjanmaan metsäkeskuksen alueella” -tutkimuksessa selvitetään Etelä-Pohjanmaan metsäkeskusalueen metsäenergiapotentiaali kuntakohtaisesti valtakunnan metsien inventointitietoja (VMI10) apuna käyttäen. Lisäksi työssä esitetään teknis-taloudellisen metsäenergiapotentiaalilin vuotuisen korjuuseen tarvittavien koneiden ja ajoneuvojen sekä kuljettajien määrät. Potentiaaleja tarkastellaan erikseen varttuneissa taimikoissa, nuorissa kasvatusmetsissä ja uudistuskypsissä metsissä. Tutkimus on tarkoitus julkaista kuluvan vuoden aikana. Alueellisten metsäenergiavarojen tunteminen turvaa osaltaan metsiemme ekologista, sosiaalista ja taloudellista kestävää käyttöä.

Kirjallisuus

- Alakangas, E. 2000. Suomessa käytettävien polttoaineiden ominaisuuksia. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus. VTT tiedotteita 2045.
- Asikainen, A. 2004. Puunkorjuu ja kuljetus. Julkaisussa: Harstela, P. (toim.). 2004. Metsähake ja metsätalous. Suonenjoki: Metsäntutkimuslaitos, Suonenjoen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 913, 26 - 36.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999 - 2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Helsinki: Tekes. Teknologiaohjelma-raportti 5/2004.
- Härkönen, M. 2008. Keski-Pohjanmaan bioenergiaohjelma 2007 - 2013.
- Kansallinen metsäohjelma 2015. 2008. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008. [Viitattu 7.5.2010]. Saatavana: http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_netti.pdf
- Kärhä, K. & Mutikainen, A. 2008. Moipu 400ES ensiharvennuspuun integroidussa korjuussa. TTS tutkimuksen tiedote. Luonnonvara-ala: metsä. 10/2008 (726).
- Kärkkäinen, M. 1981. Polttopuun rasiinkaadon ja muiden kuivausmenetelmien perusteet. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Folia Forestalia 459.
- Kärkkäinen, M. 2003. Puutieteen perusteet. Helsinki: Metsälehti.
- Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Helsinki: Metsäkustannus.
- Lampinen, A. & Jokinen, E. 2006. Suomen maatilojen energiantuotantopotentiaalit. Ekologinen perspektiivi. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto. Jyväskylän yliopiston bio- ja ympäristötieteiden laitoksen tiedonantoja 84.
- Lauhanen, R. & Laurila, J. 2007. Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueen metsäenergiapotentiaali. Teoksessa: Lauhanen, R. & Laurila, J. (toim.). 2007. Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaustutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisuja B33, 11 - 25.
- Laurila, J. & Lauhanen, R. 2007. Energiakäyttöön korjatun kanto- ja juuripuun kosteuden vaihtelu. Teoksessa: Lauhanen, R. & Laurila, J. (toim.). 2007. Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaustutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisuja B33, 93 - 111.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2006. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. 52A07161-Ejpc-1. 9.8.2006. Loppuraportti. Vantaa: Pöyry Forest Industry Consulting.
-

-
- Maanmittauslaitos.fi -portaali. Suomen pinta-ala kunnittain 1.1.2008. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.2.2010]. Saatavana: <http://www.maanmittauslaitos.fi/default.asp?id=894>
- Maidell, M., Pyykkönen, P. & Toivonen, R. 2008. Metsäenergiapotentiaalit Suomen maakunnissa. Helsinki: Pellervon taloudellinen tutkimuslaitos. Pellervon taloudellisen tutkimuslaitoksen työpapereita 106.
- Metsäntutkimuslaitos. 2009. VMI:n historia. [Verkkosivu]. [Viitattu 13.3.2009]. Saatavana: <http://www.metla.fi/ohjelma/vmi/vmi-historia.htm>
- Oijala, T., Saksa, T. & Sauranen, T. 1999. Hakkuutähteen korjuumenetelmien vertailu ja vaikutus metsänuudistamiseen. Benet bioenergiaverkosto. Jyväskylä: Jyväskylän teknologiakeskus. Julkaisuja, Bioenergian tutkimusohjelma 27.
- Pietilä, K. 2005. Puun panospolton identifiointi ja säätö tulisijassa. Oulun yliopisto. Prosessi- ja ympäristötekniikan osasto. Säätötekniikan laboratorio. Diplomityö.
- Saranpää, P. & Tuimala, A. 1997. Kosteus puussa. Helsinki: Työtehoseura. Työtehoseuran metsätiedote. 9 (577).
- Uusiutuvaa voimaa Etelä-Pohjanmaalle. Etelä-Pohjanmaan energiaomavaraisuuden kehittämisstrategia. 2008. Seinäjoki: Helsingin yliopisto, Ruralia-instituutti. Raportteja 27.
- Wigren, C. 1992. Studie av bränsleanpassad avverkning med engreppsskördare hos Mellanskog. Skogsarbeten.
-

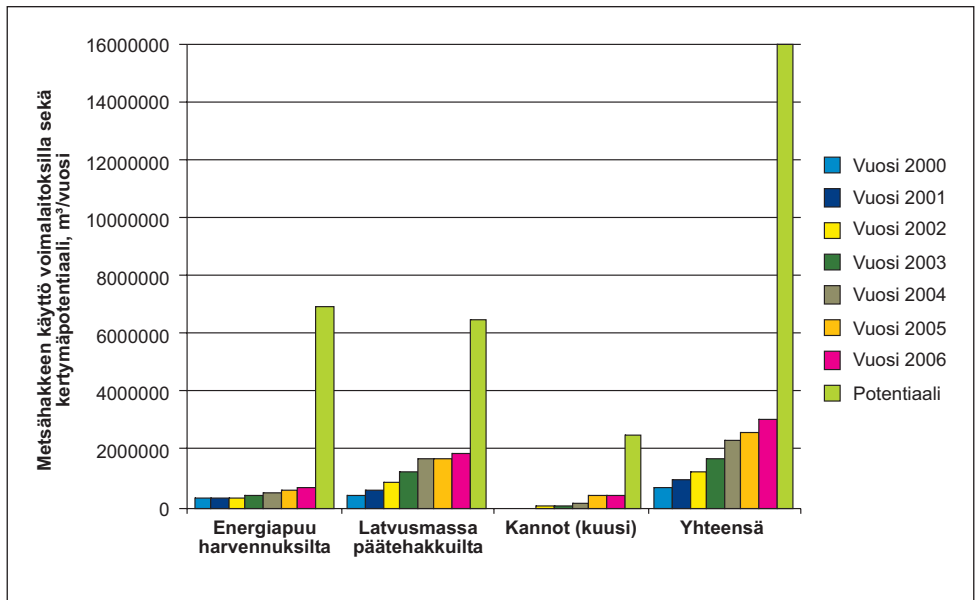
Energiapuun korjuun taloudellisuus nuorissa kasvatusmetsissä

Dos., MMT Anssi Ahtikoski
Metsäntutkimuslaitos, Pohjois-Suomen alueyksikkö,
Rovaniemen toimipaikka

1 Johdanto

Lämpö- ja voimalaitokset käyttivät vuonna 2007 metsähaketta noin 2,7 milj. m³. Nykyinen käyttömäärä on vajaa viidennes teknisesti korjattavissa olevasta potentiaalista, jonka määräksi arvioidaan 16 miljoonaa m³ a⁻¹ (kuva 1). Käyttö kääntyi lievään laskuun koko 2000-luvun alun kestäneen kasvujakson jälkeen. Nuorista metsistä saatavaa pienpuuhaketta käytettiin vuonna 2007 noin 0,7 miljoonaa m³.

Pienpuuhake on pienten lämpölaitosten korkealaatuinen polttoaine, jolla on merkityksensä myös suurempien laitosten raaka-aineen laadun tasaajana. Nykyisellään pienpuuhake tulee pääosin nuorten metsien hoitokohteilta, jotka ovat taimikonhoidon laiminlyönnin seurauksena tiheitä ja pienirunkoisia. Kohteiden korjuu pelkästään ainespuuksi ei ole kannattavaa ja kokopuuna tapahtuva energiapuun korjuu saattaa olla järkevä vaihtoehto etenkin silloin, kun pelkkä ainespuukertymä jää alle 20 m³ ha⁻¹. Metsähakkeen hankinta nuorten metsien hoitokohteilta on vaikeista korjuuoloista johtuen ratkaisevasti riippuvainen tuista, joiden jatkuvuudesta ei tällä hetkellä ole takeita. Pienpuuhakkeen lisääntyvää tarvetta ei voida tyydyttää nykyisillä toimintamalleilla. Tarvitaan uusia innovaatioita, sillä laitosten polttoainehuolto ja yrittäjien investoinnit eivät voi enää perustua oletukseen, että jatkossakin taimikonhoitoa laiminlyödään. Valtion tuet eivät myöskään saisi rohkaista taimikonhoidon laiminlyönteihin.



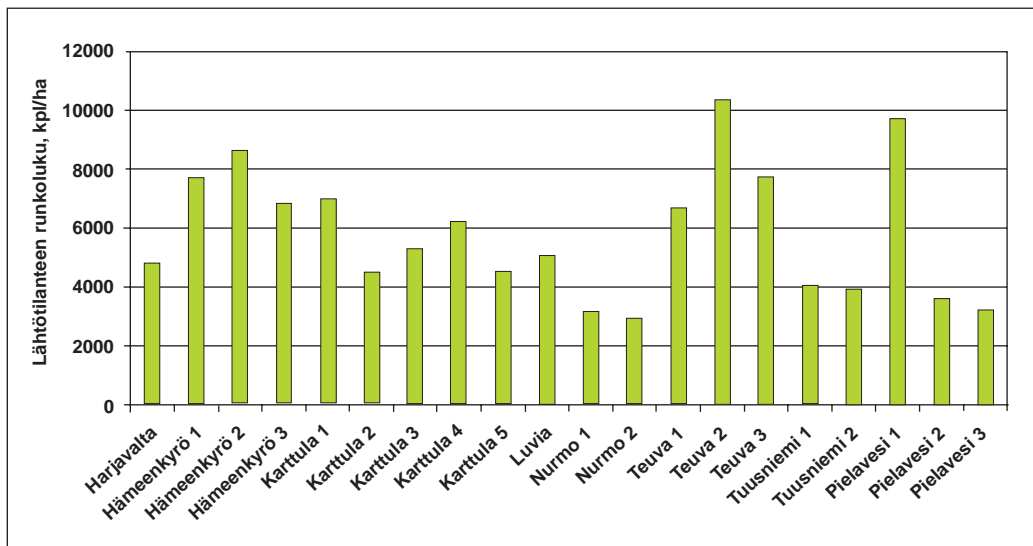
Kuva 1. Metsähakkeen käyttö koko maassa vuosina 2000 - 2006 sekä metsähakepotentiaali.

Metsähakkeen käytön määriin vaikuttaa ratkaisevasti se, kannattaako energiapuun talteenotto yksityisten metsänomistajien näkökulmasta. Tärkeää on myös tarkastella, saavatko kaikki toimintaan osallistuvat tahot (yksityinen metsänomistaja, koneyrittäjä, metsäyrittäjä, lämpölaitos) toimintansa liiketaloudellisesti perustelluksi osallistuessaan energiapuun talteenottoon.

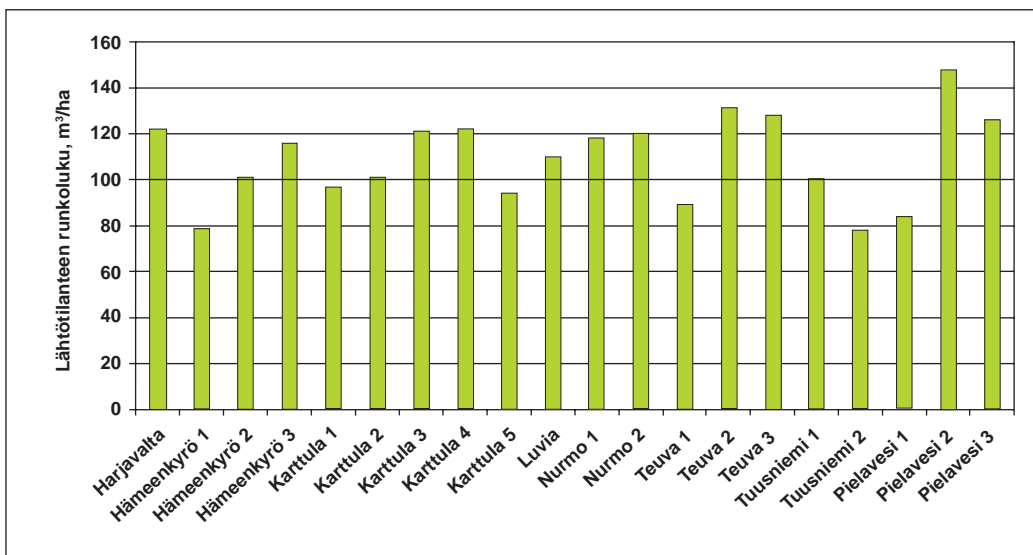
Tässä tiivistelmässä tarkastellaan kahden jo julkaistun tieteellisen artikkelin pohjalta nuorten metsien energiapuun talteenoton kannattavuutta toimintaan osallistuvien eri tahojen näkökulmasta. Artikkelissa Ahtikoski ym. 2008 käsitellään kohteita, joissa taimikonhoito on laiminlyöty. Artikkelissa Heikkilä ym. 2009 painottuu yhdistettyyn aines- ja energiapuun kasvatukseen, jossa energiapuun tuotanto on suunnitelmallinen osa metsänkasvatusta.

2 Aineisto ja menetelmät

Ahtikoski ym. (2008) tutkimusaineisto koostui eri puolilla Suomea olevista taimikonhoidon osalta laiminlyödyistä metsikkökohteista. Kohteille oli tyypillistä puiden runsaslukuisuus (kuva 2) ja suhteellisen pieni runkokoko (kuva 3).



Kuva 2. Tutkimusaineiston metsikkökohteiden runkoluvut lähtötilanteessa (Ahtikoski ym. 2008).



Kuva 3. Tutkimusaineiston metsikkökohteiden runkopuutilavuus lähtötilanteessa (Ahtikoski ym. 2008).

Ahtikoski ym. (2008) tarkasteltiin energiapuun talteenoton kannattavuutta usean eri toimijan näkökulmasta yhtäaikaisesti. Ennen tätä tarkastelua määritettiin metsikkökohteen yleiskannattavuus (engl. feasibility):

$$\Pi_{ik} = \left[INCOME_{ik} + \sum_{n=1}^5 GS_{nik} \right] - \sum_{h=1}^4 C_{hik} \quad [1]$$

, missä

- Π = kohteen yleiskannattavuus, €/ha
 INCOME = energiapuun talteenoton tulot, kun kohteella i sovelletaan harvennusvoimakkuutta k , €/ha
 GS = valtion tuet, €/ha
 CC = kustannus h , joka liittyy metsikön i harvennusvoimakkuuden k mukaiseen talteenottoon, €/ha

Yllä esitetyn yleiskannattavuuden lisäksi artikkelissa määritettiin kullekin energiapuun talteenottoon osallistuvalla toimijalla (yksityinen metsänomistaja, koneyrittäjä ja lämpölaite) vielä erilliskannattavuus. Yksityisen metsänomistajan kannattavuustarkasteluissa oletettiin, että hän saa tuloja puuenergian myynnistä ja valtion tuista, joiden summalla hän maksaa koneyrittäjälle energiapuun talteenotosta korjuukustannuksia (kaato + metsäkuljetus) vastaavan korvauksen ja koneyrittäjän voittotavoitteen, joka oli 20 %. Vastaavasti, koneyrittäjän kannattavuuslaskelmissa oletettiin, että hän saa suorien korjuukustannusten päälle vielä 20 % palkkiota (koneyrittäjän voittotavoite). Lämpölaite puolestaan maksaa raaka-aineesta markkinahinnan, ja tuottaa pelkästään lämpöenergiaa kaukolämpöverkkoon markkinahinnalla. Lisäksi lämpölaite maksaa haketuksen ja kaukuljetuksen, ja saa tuloja lämmön myynnistä kaukolämpöverkkoon markkinahinnoin.

Tässä tarkastelussa käytettiin neljää sovelletusta harvennusvoimakkuudesta alkuperäisen kuuden sijasta:

- $k_2 \rightarrow$ erittäin voimakas energiapuuharvennus, jossa ainoastaan 600 runkoa hehtaarille jätetään kasvamaan energiapuuharvennuksen jälkeen. Keskimääräinen energiapuukertymä n. 100.0 m³/ha (keskihajonta 16.0)
- $k_3 \rightarrow$ voimakas energiapuuharvennus, jossa ainoastaan 900 runkoa hehtaarille jätetään kasvamaan energiapuuharvennuksen jälkeen. Keskimääräinen energiapuukertymä n. 72.8 m³/ha (keskihajonta 17.1)
- $k_4 \rightarrow$ normaali energiapuuharvennus, jossa 1200 runkoa hehtaarille jätetään kasvamaan energiapuuharvennuksen jälkeen. Keskimääräinen energiapuukertymä n. 51.9 m³/ha (keskihajonta 18.9)

- k_5 → lievä energiapuuharvennus, jossa 1500 runkoa (hehtaarilla) jätetään kasvamaan energiapuuharvennuksen jälkeen. Keskimääräinen energiapuukertymä n. 42.0 m³/ha [keskihajonta 17.7]

Heikkilä ym. (2009) keskittyi tarkastelemaan, onko nuorten metsien energiapuun talteenotolla joko puuntuotannollisia tai taloudellisia haittavaikutuksia, kun tarkastelu ulotetaan koskemaan koko kiertoaika. Tutkimusaineisto koostui nuorista taimikoista, joissa ei ollut vielä tehty taimikonhoitoa. Kohteet olivat sekä mänty- että kuusivaltaisia kivennäismaan taimikoita. Mäntyvaltaisia kohteita oli 22 ja kuusivaltaisia kohteita 21. Kaikki kohteet täyttivät myös Kemera-tuki ehtojen kriteerit. Kohteiden puuston ikä vaihteli 11 ja 26 vuoden välillä ja valtapituus 4,1 m ja 7,6 m välillä (Heikkilä ym. 2009).

Vaihtoehtoiset kasvatusketjut olivat tässä:

- IWP_1 → Hyvän metsänhoidon suositusten mukainen käsittely, jossa ei otettu energiapuuta talteen (vertailukasvatusketju)
- CP_2 → Taimikonhoidossa jätettiin 3000 r/ha ja energiapuuharvennus tehtiin 8 metrin valtapituudessa, jossa jätettiin kasvamaan 1300 r/ha.
- CP_3 → Taimikonhoidossa jätettiin 3000 r/ha ja energiapuuharvennus tehtiin 10 metrin valtapituudessa, jossa jätettiin 1300 r/ha
- CP_4 → Taimikonhoidossa jätettiin 3000 r/ha ja energiapuuharvennus tehtiin 12 metrin valtapituudessa, jossa jätettiin 1300 r/ha
- CP_5 → Taimikonhoidossa jätettiin 4000 r/ha ja energiapuuharvennus tehtiin 8 metrin valtapituudessa, jossa jätettiin 1300 r/ha
- CP_6 → Taimikonhoidossa jätettiin 4000 r/ha ja energiapuuharvennus tehtiin 10 metrin valtapituudessa, jossa jätettiin 1300 r/ha
- CP_7 → Taimikonhoidossa jätettiin 4000 r/ha ja energiapuuharvennus tehtiin 12 metrin valtapituudessa, jossa jätettiin 1300 r/ha

Edellä esitettyjen vaihtoehtojen mukaiset myöhemmät puuston kehitysennusteet laadittiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä Motti-metsikkösimulaattorilla (Matala ym. 2003, Hynynen ym. 2005, Salminen ym. 2005). Nuoren metsän energiapuuharvennuksen ja vertailukasvatusketjun ensiharvennuksen jälkeen puuston kehitys perustui olettamukseen, jossa metsiä käsitellään Hyvän metsänhoidon suositusten mukaisesti kaikissa vaihtoehdoissa. Mahdolliset erot syntyivät siis siitä, miten energiapuuharvennus lopulta vaikuttaa puuston myöhempään kehitykseen – toisin sanoen, simulointien lähtötilanne heti energiapuuharvennuksen jälkeen oli toisistaan merkittävästi poikkeava. Motti- simulaattorin on todettu ennustavan puustojen kehitystä varsin luotettavasti ja pääosin harhattomasti (esimerkiksi Ahtikoski ym. 2004, Huuskonen & Ahtikoski 2005, Mäkinen ym. 2005, Huuskonen 2008).

Vaihtoehtojen koko kiertoajan mukaiset tuotoslukuarvot perustuivat keskimääräiseen vuotuiseseen kasvunlisään (engl. MAI), kun taloustarkastelut puolestaan pohjautuivat paljaan maan arvojen vertailuun. Paljaan maan arvo laskettiin kaavalla:

$$BL_F = \frac{\sum_{i=0}^l CI_i * (1.0r)^{-i} - \sum_{i=0}^n SC_{ik} * (1.0r)^{-i}}{1 - (1.0r)^{-l}} \quad [2]$$

, missä

BL = paljaan maan arvo, €/ha

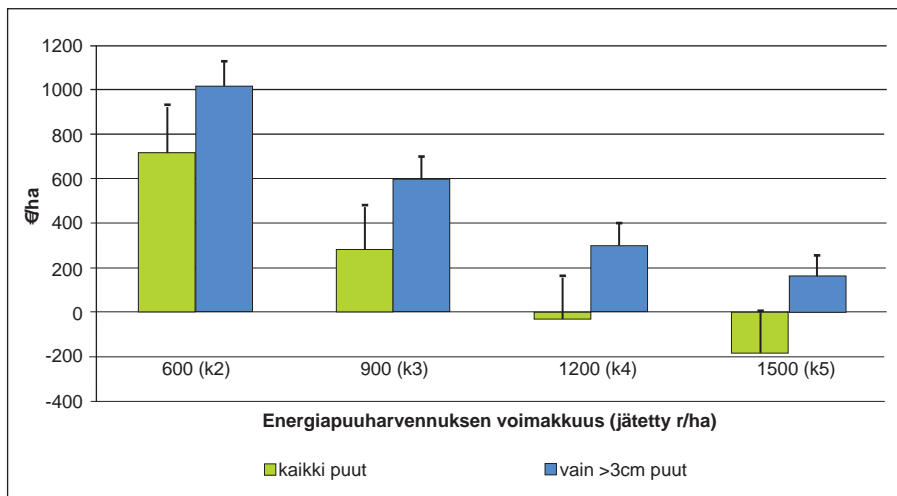
CI = harvennuksen kantorahatulot vuonna i (päätehakkuu vuonna l), €/ha

SC = metsänhoitotoimenpiteen k kustannukset vuonna n , €/ha

r = laskentakorkokanta, %

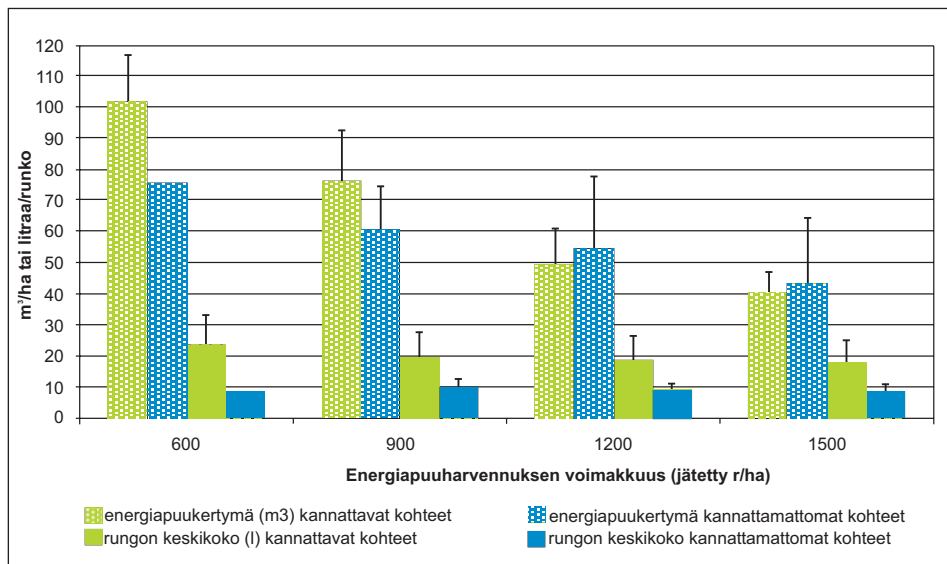
3 Tulokset

Ensimmäisen artikkelin mukaiset yleiskannattavuudet on esitetty kuvassa 4. Energiapuukorjuun yleiskannattavuuteen vaikutti harvennuksen voimakkuus. Yleiskannattavuus oli heikoin jos harvennuksessa korjattiin kaikki puut talteen ja harvennuksen jälkeen jätettiin kasvamaan 1500 puuta hehtaarille. Energiapuuharvennuksen yleiskannattavuutta parani huomattavasti, jos kaikki alle 3 cm rungot jätettiin korjaamatta.



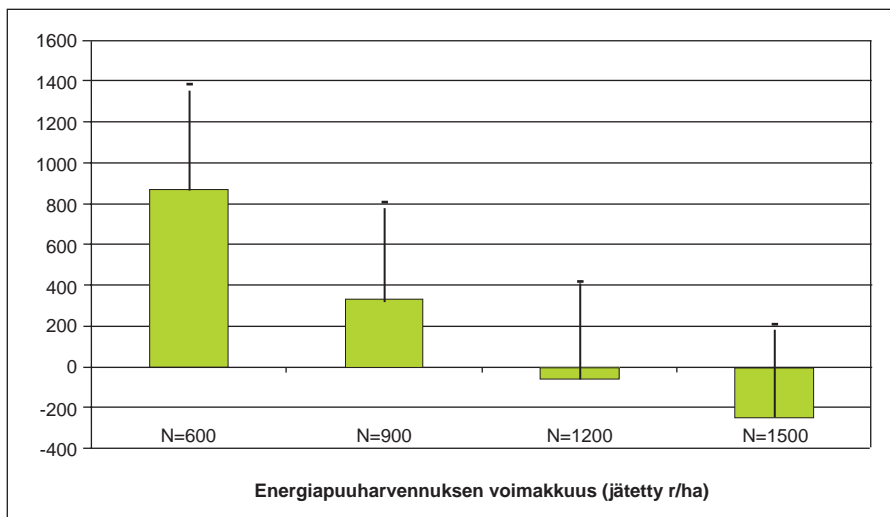
Kuva 4. Energiapuun talteenoton yleiskannattavuuden keskiarvot on kuvattu pylväinä ja keskihajonnat janoina. Vaaka-akselilla on energiapuuharvennuksen voimakkuus (k_2 - k_5).

Talouselaskelmissa tarkasteltiin lisäksi sitä, voidaanko yleiskannattavat kohteet aidosti erottaa kannattamattomista kohteista joko kertymän tai rungon keskikoon suhteen. Tulokset osoittivat, että rungon keskikoko muodostui yksiselitteisesti merkittävämmäksi tekijäksi, kun kohteita jaoteltiin kannattaviin ja kannattamattomiin kohteisiin (kuva 5).



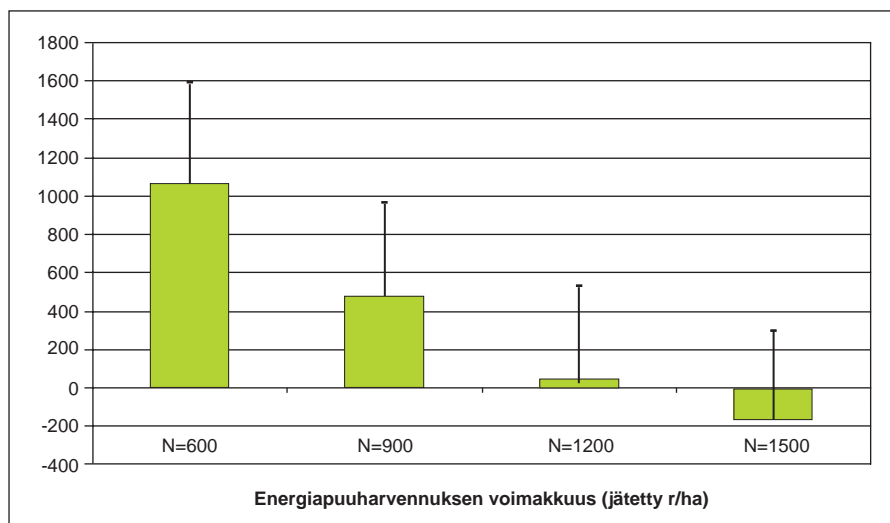
Kuva 5. Kohteiden jako yleiskannattaviin ja kannattamattomiin kohteisiin energiapuukertymän ja rungon keskikoon suhteen (Ahtikoski ym. 2008). Janat kuvaavat keskiahajontoja.

Kun yleiskannattavuus oli kohteittain ja harvennusvoimakkuuksittain saatu määritettyä, purettiin kannattavuus vielä erikseen toimijoittain. Yksityiselle metsänomistajalle energiapuun talteenotto näytti olevan kannattavaa, kun energiapuuharvennus toteutettiin joko erittäin voimakkaana tai voimakkaana (kuva 6). Uusin tutkimustieto ajanmenekeistä viittaa tosin siihen, että normaalilla harvennusvoimakkuudella eli harvennuksen jälkeen jätetään 1200 runkoa hehtaarille (kuva 6) päästäisiin yksityisen metsänomistajan kannattavuudessa positiiviseen tulokseen, kun käytössä olisi aines- ja energiapuun integroitu korjuu esimerkiksi Ponsse H53e-laitteistolla.



Kuva 6. Energiapuun talteenoton kannattavuus yksityiselle metsänomistajalle eri harvennusvoimakkuuksilla. Laskelmissa on mukana kaikki Kemera-tuet kohteittain. Janat kuvaavat keskihajontoja.

Koneyrittäjälle energiapuun talteenotto oli kannattavaa kun energiapuunharvennus toteutettiin kaikilla muilla tavoilla paitsi lievänä (kuva 7).



Kuva 7. Koneyrittäjän kannattavuus energiapuun talteenotossa, kun harvennus tehtiin eri voimakkuuksilla. Janat kuvaavat keskihajontoja.

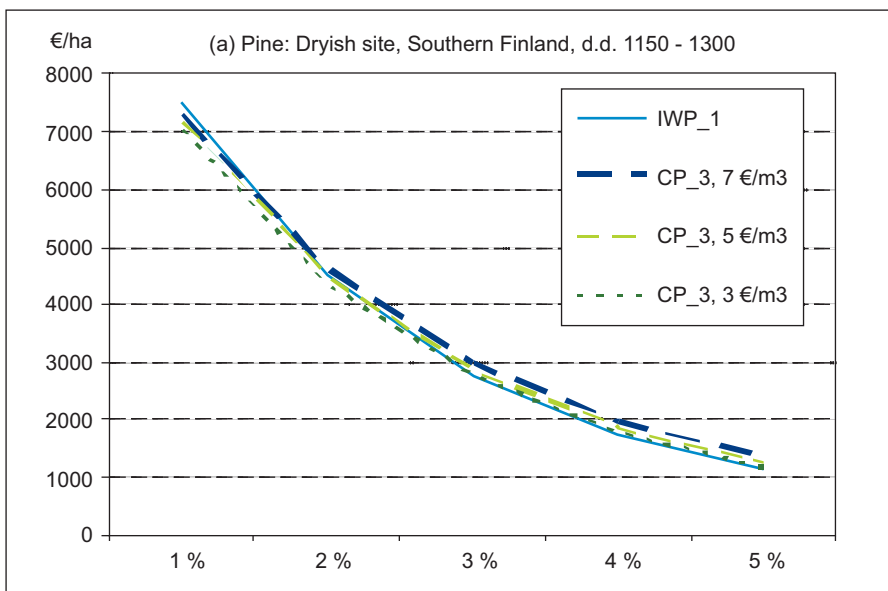
Vallitsevilla markkinahinnoilla, jotka on tarkastettu vuonna 2007, lämpölaitokselle oli yhdenkään millaisista metsikkökohteista energiapuu otettiin talteen. Energiapuun talteenotto oli siis kannattavaa lämpölaitoksen näkökulmasta kaikilla harvennusvoimakkuuksilla, kun lämpölaitos maksoi 12 €/MWh raaka-aineesta ja pystyi myymään lämpöenergiaa vähintään 35 €/MWh hintaan.

Kun energiapuun talteenottoa nuorista metsistä tarkastellaan kaikkien toimintaan osallistuvien tahojen kannalta yhtäaikaisesti, huomataan selkeästi pullonkaulat (taulukko 1).

Taulukko 1. Nuorten metsien energiapuun talteenoton yhtäaikainen kannattavuus eri toimijoille.

Harvennusvoimakkuus	Yksityinen metsänomistaja	Koneyrittäjä	Lämpölaitos
Erittäin voimakas (k_2 eli "N=600")	kannattavaa	kannattavaa	kannattavaa
Voimakas (k_3 eli "N=900")	kannattavaa	kannattavaa	kannattavaa
Normaali (k_4 eli "N=1200")	kannattavaa (?)	kannattavaa	kannattavaa
Lievä (k_5 eli "N=1500")	kannattamatonta	kannattamatonta	kannattavaa

Heikkilä ym. (2009) mukaan nuorten metsien energiapuun talteenotto ei vaikuttanut merkittävästi puuston myöhempään kehitykseen, kun tarkasteltava muuttuja oli keskimääräinen vuotuinen kasvu. Myöskään paljaan maan arvoissa ei ollut merkittäviä eroja eri kasvatusvaihtoehtojen välillä (kuva 8) käytettäessä eri laskentakorkoa.



Kuva 8. Kuivahkon kankaan männikön paljaan maan arvot kahdessa eri kasvatusvaihtoehdoissa (IWP_1 ja CP_3) laskentakorkokannan funktiona. (CP_3 = taimikonhoidossa jätetään 3 000 runkoa, energiapuuharvennus tehdään 10 m valtapituudessa, jossa jätetään 1300 runkoa hehtaarille). Laskelmissa on oletettu, että energiapuuharvennuksessa energiapuusta maksetaan joko 3 €, 5 € tai 7 € kuutiometriltä.

4 Johtopäätökset

- Nuorten metsien energiapuun talteenotto näyttäisi olevan kannattavaa toimintaa yksityiselle metsänomistajalle – kunhan kohteelta talteen otettavan energiapuun keskikoko on yli 15 dm³, energiapuukertymä on vähintään 42 m³/ha ja Kemera-tuet ovat täysimääräisesti käytettävissä.
 - Koneyrittäjän näkökulmasta kohteen energiapuukertymän pitäisi olla mieluummin yli 50 m³/ha.
 - Vallitsevalla energian hinnalla, haketuksen ja kaukokuljetuksen kustannuksilla lämpölaitoksen on perusteltua ostaa nuorten metsien energiapuuta.
 - Energiapuuharvennuksella ei näyttäisi olevan ratkaisevaa merkitystä puuston myöhemmälle tuotoskehitykselle, ainakaan kuivahkon kankaan männiköissä eikä liioin taloustulokseenkaan (paljaan maan arvioihin).
 - Nuorten metsien energiapuupotentiaalia Etelä-pohjanmaalla näyttäisi olevan varsin hyvin, ainakin VMI10-tulosten ja uusimpien saatavuustarkasteluiden valossa.
-

Kirjallisuus

- Ahtikoski, A., Heikkilä, J., Alenius, V. & Sirén, M. 2008. Economic viability of utilizing biomass energy from young stands - The case of Finland. *Biomass and bioenergy* 32, 988 - 996.
- Ahtikoski, A., Päätaalo, M.-L., Niemistö, P., Karhu, J. & Poutiainen, E. 2004. Effect of alternative thinning intensities on the financial outcome in silver birch (*Betula pendula* Roth) stands: a case study based on long-term experiments and MOTTI stand simulations. *Baltic forestry* 10 (2), 46 - 55.
- Heikkilä, J., Sirén, M., Ahtikoski, A., Hynynen, J., Sauvula, T. & Lehtonen, M. 2009. Energy wood thinning as a part of the stand management of Scots pine and Norway spruce. *Silva Fennica* 43(1), 129 - 146.
- Huuskonen, S. 2008. Nuorten männiköiden kehitys – taimikonhoito ja ensiharvennus. Helsinki: Suomen metsätieteellinen seura. *Dissertationes Forestales* 62.
- Huuskonen, S. & Ahtikoski, A. 2005. Ensiharvennuksen ajoituksen ja voimakkuuden vaikutus kuivahkon kankaan männiköiden tuotokseen ja tuottoon. *Metsätieteen aikakauskirja* 2, 99 - 115.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest ecology and management* 207, 5 - 18.
- Matala, J., Hynynen, J., Miina, J., Ojansuu, R., Peltola, H., Sievänen, R., et al. 2003. Comparison of a physiological model and a statistical model for prediction of growth and yield in boreal forests. *Ecological modelling* 161, 95 - 116.
- Mäkinen, H., Hynynen, J. & Isomäki, A. 2005. Intensive management of Scots pine stands in southern Finland: First empirical results and simulated further development. *Forest ecology and management* 215, 37-50.
- Salminen, H., Lehtonen, M. & Hynynen, J. 2005. Reusing legacy FORTRAN in the MOTTI growth and yield simulator. *Computers and electronics in agriculture* 49(1), 103-113.
-

Kemera-tukien vaikutus nuoren metsän hoidon erilliskannattavuuteen eri kauppavaihtoehtoissa Etelä-Pohjanmaalla

Dos., MMT Risto Lauhanen¹, MMM Jussi Laurila¹ ja MMM Juha Laitila²

¹Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö

²Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen alueyksikkö, Joensuun toimipaikka

1 Johdanto

Kansallisen metsäohjelman 2015 tavoitteissa puuperäisen energian kokonaiskäyttö lisääntyy, ja metsähakkeen käyttö nousee 8 - 12 miljoonaan kuutiometriin vuositasolla [Kansallinen... 2008]. Nuorten metsien hoidolla on jatkossa aiempaa keskeisempi merkitys energiapuun hankinnassa. Tällä työlajilla turvataan metsien suotuisaa kasvukehitystä sekä kotimaisen metsäteollisuuden raaka-ainehuoltoa pitkällä aikavälillä.

Nuorten metsien hoitoon saa yhteiskunnan tukea, sillä energiapuun korjuu on kallista nuorten metsien alhaisten hakkuukertymien ja poistettavien runkojen pienen keskikoon takia [Hakkila 2004, Laitila 2005, Ahtikoski ym. 2008]. Pinta-ala-, korjuu- ja haketustuet parantavat nuorten metsien hoitotöiden kannattavuutta. Perinteisesti vain yksityismetsänomistajat ovat saaneet tukea metsien hoitoon ja perusparannukseen (Metsänparannuslaki... 1987). Esimerkiksi kunnostusojituksen ja metsien terveyslannoituksen tuet jäävät yksityisille metsänomistajille. Nuorten metsien hoitotukia voi kuitenkin kohdentaa alan organisaatioille uusissa sopimuskäytänteissä. Toisaalta töiden toteuttajat ja energiapuun ostajat voivat halutessaan siirtää omia tukiaan metsänomistajille.

Energiapuun mittauksella on keskeinen merkitys liiketoiminnan käytännön toteutuksessa. Epämääräisen olomuodon omaavaa energiapuuta voidaan mitata palstalla, metsätien varressa, terminaaleissa ja käyttöpaikalla. Energiapuuta mitataan kiintokuutiometreinä, pinokuutiometreinä, irtokuutiometreinä, hehtaareina, tonneina tai energiasisällön mukaan megawattitunteina. Energiapuuta toimitetaan metsätien varrelta lämpölaitokselle useimmiten vasta kuivumisen jälkeen. Energiapuun mittaus ei perustu puutavaran mittauslakiin, vaan suosituksiin ja sopimuksiin. (Hakkila 2006).

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida nuoren metsän hoitokohteen kannattavuutta erilaisissa kauppasopimustilanteissa ja toimitusmalleissa. Tarkoituksena oli esi-

merkkilaskelmien avulla selvittää, voivatko saman nuoren metsän hoitokohteen ja saman energiapuuerän osalta raaka-aineen luovuttajan tulot, menot ja tuet vaihdella. Vastaavasti tavoitteena oli arvioida energiapuun vastaanottajan tuloja, menoja ja tukia eri tilanteissa.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Leimikkotiedot

Hankintaleimikko oletettiin esimerkkilaskelmassa yhden hehtaarin suuruiseksi, koska vähintään tämänkoinen kohde on tukikelpoinen ja lisäksi omatoimisen metsänomistajan yksin manuaalisesti toteutettavissa (Viirimäki 2010). Pystykauppaleimikon pinta-ala oli laskelmissa 3,7 hehtaaria, mikä vastasi vuonna 2006 toteutuneiden nuoren metsän hoitokohteiden keskimääräistä pinta-alaa Etelä-Pohjanmaalla (Mäntymaa 2007). Muilta osin leimikkotiedot vastasivat hankinta- ja pystyleimikoilla keskimääräisiä maakuntatason tietoja (Mäntymaa 2007). Metsäkuljetusmatka oli 280 metriä metsästä varastopaikalle sisältäen jatkettun lähikuljetuksen kantavalle varasto- ja haketuspaikalle. Tuoretta energiapuuta kertyi 32 kiintokuutiometriä hehtaarilta. Vertailulaskelmia tehtiin myös 50 kiintokuutiometrin hehtaarikertymällä.

Hakkuupoistuman rungon keskikoko oli 29 litraa. Hakkuupoistumasta oli puolet mäntyä, neljännes kuusta ja neljännes koivua (Mäntymaa 2007). Leimikoiden korjuu toteutettiin yhdellä kertaa. Kun nuoren metsän hoitokohde tehdään valmiiksi kerralla, myös hoitokohteen toteutusselvitys laaditaan yhdellä kertaa. Välivarastolla valmistetun kokopuuhakkeen kaukokuljetusmatka metsätien varresta lämpölaitokselle oli laskelmissa 40 kilometriä (Lauhanen ym. 2007).

2.2 Hankintakustannukset

Pienpuuhakkeen hankintakustannukset laskettiin Laitilan (2005) kehittämällä ohjelmistolla. Laskelmien konekustannustiedot vastasivat vuoden 2008 lukuarvoja (Ryymin ym. 2008). Giljotiinikouralla varustetun kaato-kasauskoneen käyttötuntikustannus oli 71 € ja kuormatraktorin 60 €. Metsurin päivätaksaksi oletettiin 200 €.

Yhden hehtaarin hankintaleimikossa metsänomistajan omatoimisen moottorisaahakkuun kustannus oli 18,3 €/m³ tuorelle kiintokuutiometrille. Metsäkuljetuskustannus oli 12,7 €/m³. Metsurityön jälkeen metsäkuljetus maksaa enemmän kuin koneellisen kaatokasauksen jälkeen, sillä manuaalisessa hakkuussa ei tule suuria kourakasoja toisin kuin koneellisessa kaatokasauksessa (Taulukko 1).

Tyypillisellä eteläpohjalaisella nuoren metsän hoitokohteella pystykaupan hankintakustannukset metsästä lämpölaitokselle olivat noin 40 € tienvarressa kuivunutta kiintokuutiometriä kohti (Mäntymaa 2007) (Taulukko 1). Tuoreen energiapuun hankintakustannukset jäävät kuivatetun puun hankintakustannuksia alhaisemmiksi, sillä kuivan puun haketuskustannukset ovat korkeammasta leikkauslujuudesta johtuen kalliimmat kuin tuoreen puun.

Lisäksi energiapuun kuivatuksen yhteydessä varastoon sidottu pääoma (6 %) tulee laskelmiin mukaan. Kahdeksan kuukauden varastoinnin aikana hehtaarin hankintaleimikolta korjatun varaston tilavuus kutistui kuiva-ainetappioiden myötä 32 kiintokuutiometriä 30 kiintokuutiometriin. Samalla varaston kosteus laski 53 prosentista 35 prosenttiin, ja varaston energiasisältö kohosi 61 megawattitunnista 63 megawattituntiin (Laitila 2005). Vastaavasti 3,7 hehtaarin pystykauppaleimikolla energiapuun varaston tilavuus kutistui kuiva-ainetappioiden myötä 118 kuutiometriä 112 kuutiometriin. Samanaikaisesti varaston energiasisältö kohosi 225 megawattitunnista 232 megawattituntiin.

Taulukko 1. Tienvarsivarastolla kuivatun ja haketetun energiapuun hankintakustannukset nuorten metsien hoitokohteella Laitilan (2005) laskentaohjelman perusteella ja Mäntymaan (2007) esittämällä leimikkotiedoilla. Pystykaupassa kustannukset kohdentuvat ostajalle (vastaanottajalle) ja varastolla kuivatetulle ja haketetulle energiapuulle. Hankintakaupassa tuoreen puun hakkuu- ja metsäkuljetuskustannukset kohdentuvat myyjälle (luovuttajalle) ja muut kustannukset ostajalle (vastaanottajalle).

	Hankintakauppa 1 hehtaari	Pystykauppa 3,7 hehtaaria
Yleiskulut	3,2 €/m ³	3,1 €/m ³
Hakkuu	18,3 €/m ³	17,9 €/m ³
Metsäkuljetus	12,7 €/m ³	8,2 €/m ³
Haketus	5,2 €/m ³	5,2 €/m ³
Kaukokuljetus	5,5 €/m ³	5,0 €/m ³
Yhteensä	44,9 €/m³	39,4 €/m³

2.3 Kemera-tuet

Nuoren metsän hoitokohteen korjuu-, haketus- ja toteutusvelvoitteet laskettiin Koistisen (2009) tukilaskurin avulla. Vuonna 2009 metsänhoidollinen pinta-ala oli metsänomistajan omalle hankintatyölle 162 €/ha ja vieraan tekemälle hankintatyölle 253 €/ha, jos eteläpohjalaisella työkohteella oli voimassa oleva metsäsuunnitelma. Korjuutuki oli 7 € mitattua kiintokuutiometriä kohti ja haketustuki vastaavasti 4,25 € haketettua kiintokuutiometriä kohti. Toteutusvelvoitustukea myönnettiin 51 € yhden hehtaarin kohteelle ja 156 € keskimääräiselle 3,7 hehtaarin työkohteelle (Koistinen 2009).

2.4 Tuotot, verot ja kulut

Lämpölaitoksen oletettiin maksavan metsäenergiasta 13 €/MWh (Solmio 2006). Kaikissa tapauksissa metsänhoidollisen ja maisemahyödyn oletettiin jäävän metsälle ja metsänomistajalle. Metsänomistajan saamat tuet olivat verovapaita. Energiapuun kantohinnasta oletettiin kertyvän myyntivoittoveroa 25 % metsänhoitomaksun, metsävakuutuksen ja muiden hallinnollisten kulujen jälkeen.

Nuoren metsän hoitokohteiden yleisiä ja kaikille metsänomistajille avoimia kauppasopimus- ja toimituskäytäntöjä selvitettiin bioenergia-alan eri toimijoita haastatteleamalla helmikuussa 2009. Vaihtoehtolaskelmat tehtiin Excel-taulukkolaskentaohjelmistolla.

3 Tulokset

Mikäli metsänomistaja luovuttaa hehtaarin hankintakaupassa 32 m³ energiapuuta ilman kantohintaa saaden pinta-ala- ja korjuutuet, jää hankintakustannusten jälkeen tappiota 18,9 €/m³ (Taulukko 2; a) Vastaavasti energiapuun vastaanottaja saa 19,4 €/m³ voittoa saatuaan haketus- ja toteutus selvitystuet, lämpötilin sekä maksaen haketus-, kaukokuljetus- ja organisaatiokustannuksensa. Jos hankinta-kaupan kertymä olisi 50 m³/ha, jäisi luovuttajalle tappiota 19,6 €/m³ ja vastaanottajalle voittoa 18,5 €/m³ (Taulukko 2; b).

Jos luovuttaja tekee hehtaarin pystykaupan (32 m³) ilman kantohintaa luovuttaen kaikki tuet vastaanottajalle, jää luovuttajalle 0 €/m³, kun taas vastaanottajan voitto on 6,6 €/m³ (Taulukko 2; c). Jos luovuttaja saa pystykaupan pinta-alatuen, jää tälle voittoa 7,9 €/m³. Vastaavasti vastaanottajalle jää tappiota 1,9 €/m³. (Taulukko 2; d).

Jos taas luovuttaja saa hehtaarin pystykaupan (32 m³) korjuutuen, jää tälle voittoa 7,0 €/m³ (Taulukko 2; e) Tässä tilanteessa vastaanottajalle jää pinta-alatuen ja hankintakustannusten kanssa tappiota 0,9 €/m³. Nollavaihtoehdossa nuori metsä jää kokonaan hoitamatta. Kukaan ei työllisty, eivätkä tuki- ja rahavirrat liiku.

Jos luovuttaja tekee pystykaupan (3,7 ha ja 32 m³/ha) 10 €/m³:n kantohinnalla luovuttaen kaikki tuet vastaanottajalle, jää luovuttajalle 7,5 €/m³ voittoa puun myyntivoittoveroa (25 %) huomioon ottaen (Taulukko 3; f). Tässä tilanteessa energiapuun vastaanottaja jää hankintakustannusten, tukien ja lämpötilin kera 1,6 €/m³ tappiolle. Jos samassa tilanteessa energiapuun kantohinta on 5,0 €/m³, jäävät sekä luovuttaja (3,8 €/m³) että vastaanottaja (3,6 €/m³) voitolle (Taulukko 3; g).

Lisäksi arvonlisäverollinen metsänomistaja saa 22 prosentin arvonlisäveron energiapuun kantohinnan päälle. Puunmyynnistä saaduista arvonlisäveroista on mahdollista vähentää metsätalouden menojen arvonlisäverot, ja niiden erotus pitää palauttaa verottajalle seuraavan vuoden helmikuun loppuun mennessä. Mikäli menojen arvonlisäverot ovat myyntien arvonlisäverojen suuremmat, saa metsänomistajan arvonlisäveronpalautusta.

Jos luovuttaja saa pystykaupassa (3,7 ha ja 32 m³/ha) pinta-alatuen ja lämpötilin ilman kantohintaa maksaen osuustoimintamallissa nettohankintakustannukset, jää luovuttajalle voittoa 7,6 €/m³ (Taulukko 3; h). Silloin vastaanottajalle jää haketus- ja toteutusselvitystukien ja laskennallisen katteen (overheads) kanssa osuustoiminnallista voittoa 1,3 €/m³.

Jos taas energiapuun luovuttaja saa pystykaupan pinta-alatuen ja lämpötilin ilman kantohintaa maksaen vastaanottajan kaikki hankintakustannukset työ-johtokuluineen (overheads), jää luovuttajalle tappiota 11,4 €/m³ (Taulukko 3; i) Vastaanottaja saa kaikki muut tuet sekä hankintakustannusten katteen (20 %) ja voittoa 20,9 €/m³.

Jos luovuttaja ei saa tukia eikä kantohintaa maksaen vastaanottajan kaikki hankintakustannukset ja katteen (20 %), jää luovuttajalle tappiota 44,9 €/m³ (Taulukko 3; j) Tällöin energiapuun vastaanottajalle jää hankintakustannusten kate, kaikki tuet sekä lämpötili ja voittoa 56,2 €/m³.

Taulukko 2.

Energiapuun luovuttajan (myyjän) ja vastaanottajan (ostajan) tuet, tulot ja kustannukset (€) 1,0 hehtaarin leimikon eri kauppasopimustilanteissa ja toimitusmalleissa. Kertymä 32 m³/ha (kuivana 30 m³/ha, 63 MWh). Vaihtoehdossa b kertymä 50 m³/ha (kuivana 48 m³, 98 MWh). Luovuttaja tarkastelee tuoreita kiintokuutiometrejä ja vastaanottaja kuivia kiintokuutiometrejä katetta (€) laskettaessa. Hankintakustannukset on kuvattu taulukossa 1. Over-heads on hankintapalvelun tarjoajan provisio. Pystykaupassa vastaanottaja (ostaja) maksaa kaikki hankintakustannukset. Hankintakaupassa luovuttaja (myyjä) maksaa energiapuun hakkuun ja metsäkuljetuksen, sekä vastaanottaja (ostaja) muut hankintakustannukset (taulukko 1).

	Kantohinta/ Hankintahinta	Tuet				Toteutus- selvitystuki	Tuot, tulot	Hankinta- kustannus	Over- heads	Lämpö- tili	Kate	Kate/ m ³
		Pinta- alatuiki	Korjuu- tuiki	Haketus- tuiki	Tuet							
Hankintakauppa 1,0 ha (32 m ³ /ha)	Luovuttaja	0	224	0	0	0	386	-992	0	0	-606	-18,9
	Vastaanottaja	0	0	128	51	51	179	-417	0	819	581	19,4
Hankintakauppa 1,0 ha (50 m ³ /ha)	Luovuttaja	0	350	0	0	0	512	-1490	0	0	-978	-19,6
	Vastaanottaja	0	0	204	51	51	255	-643	0	1274	886	18,5
Pystykauppa 1,0 ha (32 m ³ /ha)	Luovuttaja	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vastaanottaja	0	253	128	51	51	656	-1278	0	819	197	6,6
Pystykauppa 1,0 ha (32 m ³ /ha)	Luovuttaja	0	253	0	0	0	0	0	0	0	253	7,9
	Vastaanottaja	0	0	224	128	51	403	-1278	0	819	-56	-1,9
	Luovuttaja	0	224	0	0	0	0	0	0	0	224	7,0
	Vastaanottaja	0	253	128	51	51	432	-1278	0	819	-27	-0,9

Taulukko 3.

Luovuttajan (myyjän) ja vastaanottajan (ostajan) tuet, tulot ja kustannukset (€) 3,7 hehtaarin leimikon (32 m³/ha) eri kauppasopimustilanteissa. Saanto 118 m³ (kuivana 112 m³, 232 MWh). Luovuttaja tarkastelee tuoreita kiintokuutiometrejä ja vastaanottaja kuivia kiintokuutiometrejä katetta laskettaessa. Hankintakustannukset on kuvattu taulukossa 1 yksikkökustannusten osalta. Tapauksissa f ja g hankintakustannus jää vastaanottajan (ostajan) lopulliseksi kuluksi. Tapauksissa h, i, ja j hankintakustannukset läpivirtaavat vastaanottajan (ostajan) kautta koneyritykselle. Overheads on hankintapalvelun tarjoajan eli vastaanottajan (ostajan) provisio. Tapauksessa h vastaanottaja (ostaja) saa tuet, mutta laskuttaa hankintakustannuksista nettohinnan luovuttajalta (myyjältä).

	Kantohinta/ Hankintahinta	Tuet			Toteutus- selvitystuki	Tuot, tulot	Hankinta- kustannus	Over- heads	Lämpötila	Kate	Kate/ m ³
		Pinta- alatuki	Korjuu- tuki	Haketus- tuki							
f	Luovuttaja Vastaanottaja	10 -1180	0 936	0 826	0 476	0 156	1180 2394	0 0	0 3016	826 -183	7,5 -1,6
g	Luovuttaja Vastaanottaja	5 -590	0 936	0 826	0 476	0 156	590 2394	0 0	0 3016	442,5 407	3,8 3,6
h	Luovuttaja Vastaanottaja	0 0	936 0	0 826	0 476	0 156	936 1458	-149 149	3016 0	848 149	7,6 1,3
i	Luovuttaja Vastaanottaja	0 0	936 0	0 826	0 476	0 156	0 1458	-883 883	3016 0	-1344 2431	-11,4 20,9
j	Luovuttaja Vastaanottaja	0 0	936 0	0 826	0 476	0 156	0 2394	-883 883	0 3016	-5296 6293	-44,9 56,2

Pystykauppa
3,7 ha
(32 m³/ha)

4 Tarkastelua

Tutkimuksen tavoitteena oli arvioida nuoren metsän hoitokohteen erilliskannattavuutta erilaisissa kauppasopimustilanteissa ja toimitusmalleissa. Tarkoituksena oli esimerkkilaskelmien avulla selvittää, voivatko samalta nuoren metsän hoitokohteelta ja saman energiapuuerän osalta energiapuun myyjän/luovuttajan tai yhtäläillä ostajan/vastaanottajan tulot, menot ja tuet vaihdella.

Laskelmat osoittivat, että samalta kohteelta ja samasta energiapuumäärästä voi päätyä erilaisiin erilliskannattavuuksiin tapauskohtaisesti sen mukaan, mitä kulloinkin sovitaan. Vaihtoehtolaskelmissa metsänomistaja sai enimmillään energiapuulle nettokantorahaa tai tukea 7 - 8 €/m³, kun epädullisimmassa vaihtoehdossa metsänomistajan tappio oli 45 €/m³. Vastaanottajan tappio oli enimmillään alle 2 €/m³, ja voitto ylitti enimmillään 56 €/m³. Esimerkkilaskelmat oletuksineen koskevat vuoden 2006 leimikkotietoja, vuoden 2008 hankintakustannuksia ja vuoden 2009 toimintamalleja ja Etelä-Pohjanmaan olosuhteita. Tilanteet muuttuvat markkinoiden ja olosuhteiden muuttuessa.

Metsäenergian hankinnassa energiapuun eri mittayksiköt vaikuttavat erilliskannattavuuteen. Energiapuun hankinnan käytännöt ovat monimuotoisempia kuin ainespuukaupassa. Sama koskee energiapuun mittausta. Ainespuun hankinnassa asiakaslähtöisen logistisen ketjun seuranta ja hallinta on puutavaranmittauslailla säädeltyä ja reaaliajassa ohjattua. Energiapuun osalta käytännöt ovat vasta osin kehitteillä. Energiapuun mittauksessa käytettävät energiapuuerän massan ja erän tilavuuden väliset muuntoluvut ovat suosituksia. Käytetty muuntoluku vaikuttaa erän tilavuuteen, ja sitä kautta tukiin.

Tuloksia tarkastellessa on muistettava, että tutkijoiden tehtävänä on tuottaa erilaisia vertailu-laskelmia, mutta käytännön toimijat tekevät aina omat laskelmansa ja vastaavat niistä. Toisaalta jokainen päätöksentekijä omine kriteereineen ja mieltymyksineen on yksilöllinen, erillinen toimija, jolle kokonaiskannattavuus merkitsee eniten eri toimijoiden erilliskannattavuuksien ollessa osa kokonaiskannattavuutta. Lämpölaitoksen ja energiapuun käyttäjän kannalta raaka-aineen hinta on vain yksi kokonaiskatteen osa. Kaupunkimetsänomistajalle voi riittää, että nuori metsä hoidetaan kuntoon ilman metsänomistajan omaa työtä ja kuluja.

Koska energiapuulle voidaan nykyisin maksaa myös kantohintaa, on yhteiskunnallisessa ja verotuksellisessa mielessä tarpeen keskustella toimintaanko yhteiskunnan tuilla vai markkinatalouden keinoin. Metsäenergia, peltoenergia, tuulivoima ja muut uusiutuvan energian lähteet ovat toisiaan korvaavia hyödykkeitä, joiden hintoja markkinamekanismi ja yhteiskunnan toimet ohjaavat. Laskelmissa

lämpötilin arvo oli 13 €/MWh, mutta sen arvo on vuosina 2006 - 2009 noussut 6 €/MWh, jolloin lämpötilin saajan asema parani noin 12 €/m³. (Tilastokeskus 2010).

Päästöoikeuden hinta vaikuttaa energiapuun käyttöön. Alhaisilla päästöoikeuksien hinnoilla energiapuulle ei ole kysyntää toisin kuin turpeelle tai kivihiilelle. Energiapuun osittaisen syöttötariffin mahdollisuutta ei ole laskelmissa arvioitu. Samoin metsäenergian hankinnan ravinnetalousvaikutuksia ei ekologisessa eikä taloudellisessa mielessä ole laskelmissa tarkasteltu. Aihetta on tarpeen tutkia jatkossa, kun metsäenergian hankinnan ravinnevaikutuksista saadaan pitkän aikajakson kenttäkoemittaustietoja.

Nuori metsä hyötyy energiapuuharvennuksesta useimmiten aina, kun työnjälki on hyvä. Samalla yhteiskunta hyötyy hiilineutraalin metsäenergian käytöstä. Nuorten metsien hoidon tulee olla niin metsänomistajille kuin metsäenergia-alan eri toimijoille kannattavaa ja pitkäjänteistä toimintaa. Hoitamattomuus (nollavaihtoehto) on nuorille metsille ja yhteiskunnalle huonoin vaihtoehto.

Kirjallisuutta

- Ahtikoski, A. , Heikkilä, J., Alenius, V. & Siren, M. 2008. Economic viability of utilizing biomass energy from young stands – The case of Finland. *Biomass and bioenergy* 32(11), 988-996.
- Hakkila, P. 2004. Puuenergian teknologiaohjelma 1999-2003. Metsähakkeen tuotantoteknologia. Loppuraportti. Helsinki: Tekes. Teknologiaohjelmaraaportti 5.
- Hakkila, P. 2006. Selvitys energiapuun mittauksen järjestämisestä ja kehittämisestä. Dnro:n 4191/67/2005/MMM mukainen selvitystehtävä. 25.2.2006. Moniste.
- Kansallinen metsäohjelma 2015. 2008. Lisää hyvinvointia monimuotoisista metsistä. Valtioneuvoston periaatepäätös 2008. [Verkkojulkaisu]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008. [Viitattu 4.1.2010]. Saatavana: http://www.mmm.fi/attachments/metsat/kmo/5ywg0T9jr/3_2008FI_netti.pdf
- Koistinen, A. 2009. Nuoren metsän hoitokohteen tukilaskuri. [Verkkosivu]. [Viitattu 5.3.2009]. Saatavana http://www.metsavastaa.net/tukilaskuri_nuoren_metsan_hoito
- L 544 / 11.5.2007. Kestävän metsätalouden rahoituslaki.
- L 140 / 13.2.1987. Metsänparannuslaki.
- Laitila, J. 2005. Kokopuuhakkeen kustannuslaskentaohjelma. Metsäntutkimuslaitos. Excel-laskentaohjelmisto.
-

- Lauhanen, R. , Laitila, J. , Laurila, J. & Asikainen, A. 2007. Pienpuuhakkeen hankintakustannukset Etelä-Pohjanmaan tavoite 2 -alueella. Teoksessa: Lauhanen, R. & Laurila, J. (toim.) Bioenergian hankintalogistiikka. Tapaus-tutkimuksia Etelä-Pohjanmaalta. Seinäjoki: Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Seinäjoen ammattikorkeakoulun julkaisuja B33, 49-67.
- Maa- ja metsätalousministeriö 2006. Metsäenergian tuotannon, korjuun ja käytön kustannustehokkuus sekä tukijärjestelmien vaikuttavuus päästökaupan olosuhteissa. 52A07161-Ejpc-1. 9.8.2006. Loppuraportti. Vantaa: Pöyry Forest Industry Consulting.
- Mäntymaa, S. 2007. Korjuujäljen seuranta energiapuun korjuukohteissa. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Maa- ja metsätalouden yksikkö, Ähtäri. Opinnäytetyö.
- Ryymän, R. , Pohto, P. , Laitila, J. , Humala, I. , Rajahonka, M. , Kallio, J. , Selosmaa, J. , Anttila, P. & Lehtoranta, T. 2008. Metsäenergian hankinnan uudistaminen. Loppuraportti 12/2008.
- Solmio, H. 2006. Lämpöyrittämisen kannattavuus. Teho 4, 41-42.
- Tilastokeskus. Energian kokonaiskulutus väheni 6 prosenttia vuonna 2009. 2010. [Verkkosivu]. [Viitattu 30.4.2010]. Saatavana: http://www.stat.fi/til/ehkh/2009/04/ehkh_2009_04_2010-03-24_tie_001.html
- Viirimäki, J. 2010. Haastattelu 20.4.2010.
-

Heikosti kantavien maiden energiapuun korjuun kehittäminen ja tulevaisuuden visiot

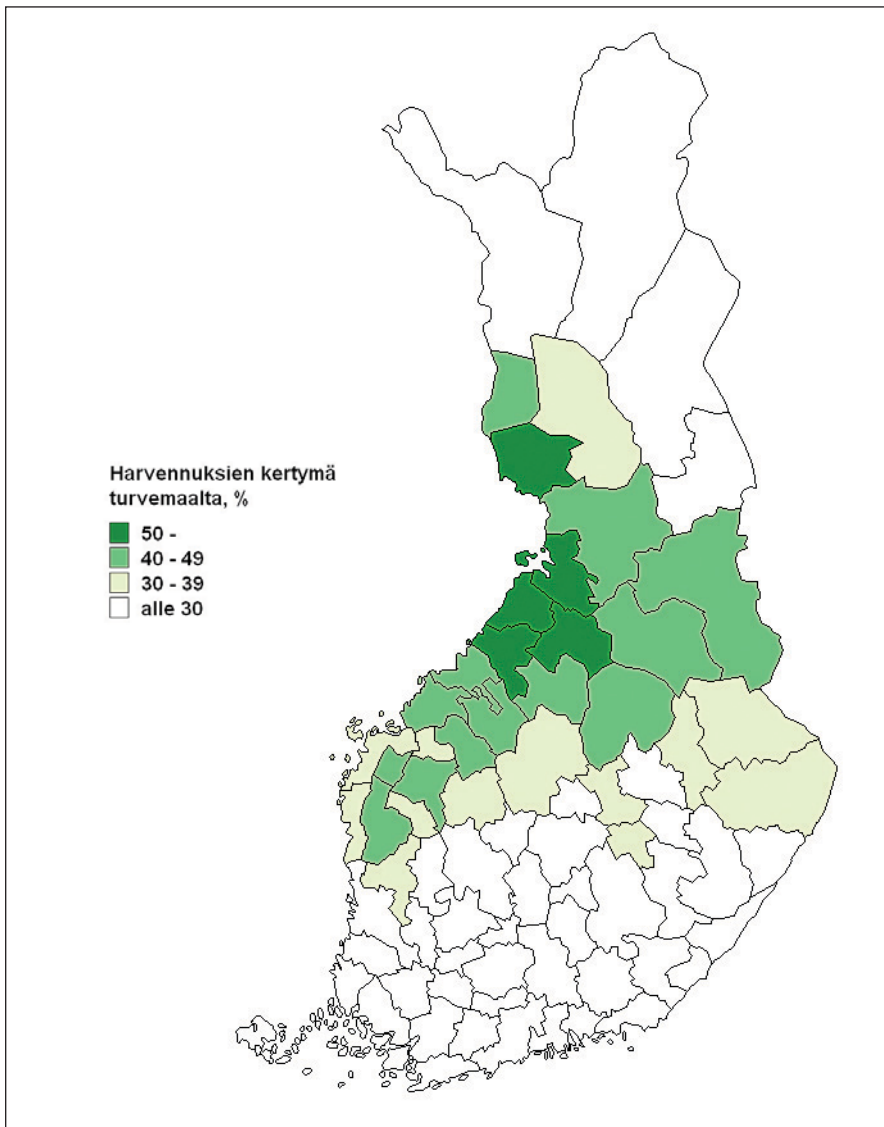
MMT, KTM Kalle Kärhä
Metsäteho Oy

1 Johdanto

Energiapuun korjuu ja käyttö ovat kasvaneet Suomessa nopeasti 2000-luvulla: kun vuonna 2000 metsähakkeen käyttö oli 0,8 milj. m³, vuonna 2008 metsähakkeen kokonaiskäyttö oli jo 4,6 milj. m³ (Ylitalo 2009). Vuonna 2008 energialaitokset eli lämpö- ja voimalaitokset käyttivät metsähaketta 4,0 milj. m³ ja pienkiinteistöt 0,6 milj. m³. Energialaitosten metsähakkeen käytöstä hakkuutähdehakkeen osuus oli 58 %, kantomurskeen 14 % ja järeästä (lahovikaisesta) runkopuusta valmistetun polttohakkeen 4 %. Nuorista kasvatusmetsistä tuotetun pienpuuhakkeen (eli koko- ja rankapuuhakkeen) osuus oli yhteensä 24 % (Ylitalo 2009).

Kansalliseen pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategiaan (2008) on kirjattu kaikkiaan runsaan 12 milj. m³:n (noin 24 TWh) metsähakkeen käyttötavoite vuoteen 2020 mennessä. Mikäli mainittu tavoite halutaan saavuttaa, edellyttää tämä, että neljännes, jopa kolmannes kokonaiskäytöstä katetaan nuorista kasvatusmetsistä tuotetulla pienpuuhakkeella. Tämä merkitsee 3 - 4 milj. m³:n (noin 6 - 8 TWh) pienpuun korjuumääriä vuonna 2020 (vrt. Kärhä ym. 2009).

Mistä mittavat pienpuuhakemäärät sitten tulevaisuudessa hankitaan? – Voidaan ennustaa, että turvemailta korjattavat pienpuuhakevolyymit tulevat kasvamaan merkittävästi jatkossa. Turvemaiden rooli energiapuun korjuussa tulee korostumaan erityisesti Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla sekä Kainuussa, missä monella alueella yli 40 % harvennushakkuusuunnitteesta on laskettu kertyvän tulevina vuosina turvemailta (Kärhä 2008a) (kuva 1).



Kuva 1. Turvemailta korjattavissa olevan harvennuspuun osuus kokonaisharvennussuunnituksesta seutukunnittain Suomessa. Joillakin seutukunnilla (Siikalatva, Raahe, Oulu, Kemi-Tornio ja Ylivieska) yli puolet harvennuspuusta on korjattavissa jatkossa turvemailta (Metla / MVMi & VMI10). Pohjakartta © Affecto Finland Oy, Lupa L8010/09.

Kun harvennuspuuta – niin energia- kuin ainespuutakin – korjataan turvemailta tai muilta heikosti kantavilta mailta, korjuuoperaation onnistuneeseen hoitoon, ts. puutavaran kustannustehokkaaseen korjuuseen tienvarteen mahdollisimman pienin korjuuvaurioin, on koottava leimikkokohtainen keinovalikoima, ”työkälypakki”. Tässä artikkelissa esitellään mainittua keinovalikoimaa turvemaiden ja muiden heikosti kantavien maiden puunkorjuun tehostamiseksi nuorista kasvatusmetsistä. Lisäksi tarkastellaan eri tehostamiskeinojen tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksia heikosti kantavien maiden energiapuun korjuussa.

2 Tehostamiskeinovalikoiman esittely

2.1 Keinoja puunkorjuun tehostamiseen

Taulukkoon 1 on listattu keinoja, joilla voidaan nähdä olevan mahdollisuuksia tehostaa puunkorjuuta heikosti kantavilta mailta. Högnäs (2007) on jakanut tehostamiskeinot neljään ryhmään; samaa luokittelua käytetään myös tässä artikkelissa (taulukko 1).

Taulukko 1. Potentiaalisia keinoja energiapuun korjuun tehostamiseksi heikosti kantavilta mailta nuorissa kasvatusmetsissä (vrt. Högnäs 2007).

<p>1) Suunnittelun tehostaminen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Leimikoiden korjuukelpoisuusluokitukset Puunkorjuukaluston maastokelpoisuusluokitukset Leimikko- ja työmaasuunnittelu Korjuun ajoitus
<p>2) Konekalusto ja sen varustaminen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Leveämmät ja maastoystävällisemmät telat Pyörien lukumäärä Pidempi telasto & Lisäpyöräratkaisut Leveämmät ja maastoystävällisemmät renkaat Halkaisijaltaan isommat renkaat Renkaiden ilmanpaineiden alentaminen Kantavuus/omapaino -suhde
<p>3) Konetyöskentelyn sopeuttaminen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Varastopaikkojen ja ajourien sijoittelu Kuormakoon säätely Urakohtaisten ajokertojen säätely Ajouran vahvistaminen Suorat ja riittävän leveät ajourat Lyhyet kannot Upottavien kohtien väistäminen
<p>4) Toimijoiden valmiuksien parantaminen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ohjeistus ja koulutus Korjuumenetelmien ja -kaluston valinta ja kehitys

2.2 Suunnittelun tehostaminen

Ensisijaisesti heikosti kantavien maiden puunkorjuukohteet on pyrittävä hoitamaan kuntoon talvella, maan ollessa roudassa. Kasvatavat energiapuun korjuumäärät edellyttävät kuitenkin ympärivuotista korjuuta. Täten ainakin osa ”perinteisistä” talvileimikoista on pystyttävä korjaamaan sulan maan aikana. Myös leudot talvet tuovat entistä enemmän talvileimikoita kesäkorjuuseen.

Högnäs (2007) esitteli puunkorjuukaluston suokelpoisuus- ja turvemaiden kantavuusluokitukset syksyllä 2007. Turvemaaleimikon kantavuusluokka kuvaa korjuuolosuhdetta, jossa tiettyä suokelpoisuutta omaavalla metsäkoneella talvileimikko voidaan korjata sulan maan aikana. Syksyllä 2009 Högnäs ym. (2009) esittelivät päivitetyn luokituksen, jossa kantavuusluokkia on kolme (taulukko 2):

- Kantavuusluokka 1, jossa kuormatraktorin maksimipintapaine saa olla enintään 50 kPa,
- Kantavuusluokka 2 (max. pintapaine ≤ 40 kPa) ja
- Kantavuusluokka 3 (max. pintapaine ≤ 30 kPa).

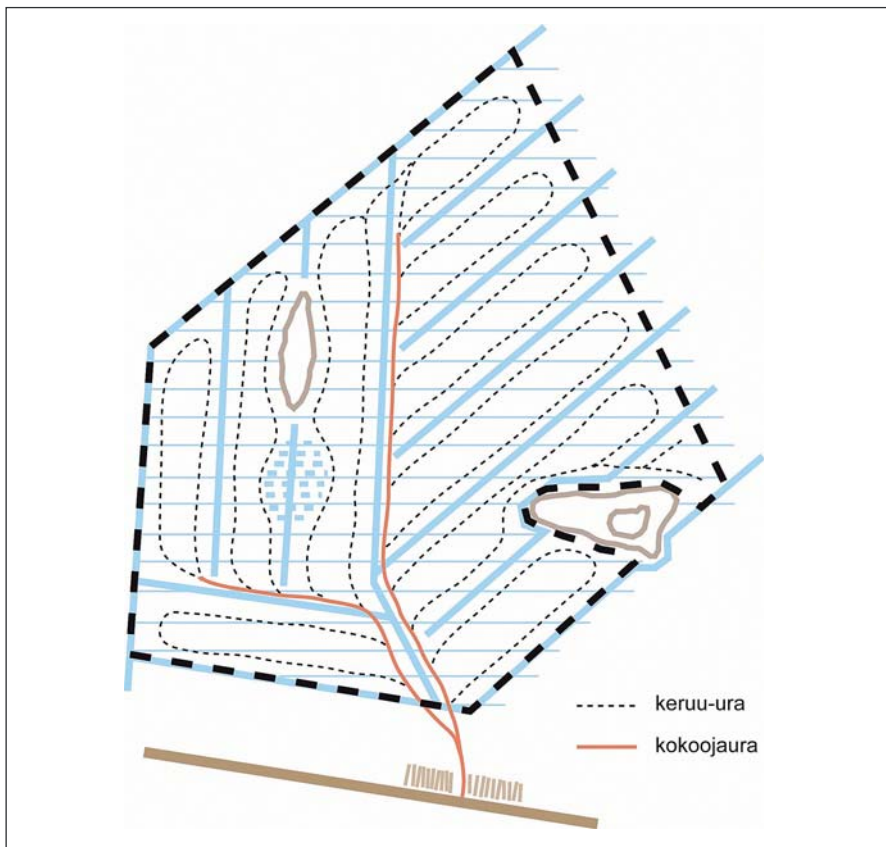
Taulukko 2. Turvemaaharvennusten kantavuusluokitus (Högnäs ym. 2009). Kun korjattavan kuvion kokonaispuusto on pieni ja lisäksi kuormitus ajouraverkostolle muodostuu suureksi (punaiset korjuuolot taulukossa), luokituksessa suositellaan, ettei tällaista kuviota korjata lainkaan sulan maan aikana.

Korjattavan kuvion kokonaispuusto, m ³ /ha	Korjuukohteen varastojärjestelyjen, muodon ja koon perusteella arvioitu kuormitus ajouraverkostolle *		
	Pieni	Kohtalainen	Suuri
	Kantavuusluokka **		
>170	1	2	3
170 - 120	2	3	TALVI
<120	3	TALVI	TALVI
Korjaukset kantavuusluokkiin:			
Pohjaveden syvyys:			
- Kohteissa, joissa pohjavesi on alle 25 cm:n syvyydellä suon pinnasta, käytetään yhtä luokkaa heikompa kantavuutta.			
- Jos korjuuta on edeltänyt yli 4 viikkoa kestänyt kuiva kausi, suunnittelussa määritetty kantavuus paranee toteutuksessa yhdellä luokalla.			
Turpeen paksuus: Kohteella, jossa turvekerroksen paksuus on alle 75 cm, kantavuus paranee yhdellä luokalla.			
* Suuntaa-antava kokoojaurien määrä turvemaalla: pieni <75 m/ha, kohtalainen 75 - 150 m/ha ja suuri >150 m/ha.			
** Edellytetään, että hakkuutähteet hakataan ajouralle ja ajouraverkoston kriittiset kohdat vahvistetaan hakkuutähteillä tai muulla tavalla.			
Päättehakuilla luokitusta käytetään sovelletusti. Energiapuuhakuilla luokitusta käytetään myös harkiten.			

Högnäs ym. (2009) kantavuusluokituksessa turvemaaleimikon kantavuusluokka määräytyy pääasiallisesti kahden leimikkotekijän suhteen: leimikon kokonaispuusto ja ajouraverkoston kuormittuminen leimikossa. Mitä isompi korjuukohteen kokonaispuusto ja mitä kevyemmällä ajouraverkoston kuormituksella hakattu puutavara saadaan tienvarsivarastolle, sitä korkeampi on korjuukohteen kantavuusluokka.

Ajouraverkoston kuormitukseen vaikuttavat erityisesti puutavaran varastojärjestelyt sekä korjuukohteen muoto ja koko (Högnäs ym. 2009). Jos tie- ja varastolosuhteet antavat mahdollisuuden sijoittaa varastopinot hajautetusti, pienenee ajouraverkoston kuormitus selvästi. Vastaavasti pitkulainen tai monihaarainen korjuukohde, jossa leimikon reuna-alueita kovalla maalla ei pystytä hyödyntämään, tuo mukanaan raskaan kuormituksen ajouraverkostolle. Laajoilla, yhtenäisillä turvema-alueilla ajourien kuormitus on myös väkisin suuri heikkojen varastointimahdollisuuksien ja pitkien metsäkuljetusmatkojen vuoksi.

Ajouraverkoston kuormitusta kuvaa erityisesti se, kuinka paljon raskaasti kuormitettuja ajouria eli kokoojauria on turvemaalla (Högnäs ym. 2009). Kokoojauralla tarkoitetaan ajouraverkoston rungon muodostavaa uraa, johon yhtyy vähintään 2 - 3 keruu-uraa (kuva 2). Kokoojauralla kuljetetaan siten käytännössä vähintään 4 kuormaa. Kun leimikkoa suunnitellaan ja korjuukohteen kantavuusluokkaa määritetään, on siis kartoitettava mahdollisuudet, pystytäänkö raskaasti kuormitetut ajourat sijoittamaan valtaosin kovalle maalle. Lisäksi on pyrittävä suunnittelemaan ajouraverkosto, jolla ajokertojen määrä kyetään minimoimaan, ja näin mahdollistetaan tehokas puunkorjuu myös sulan maan aikana turvemaaleimikosta.



Kuva 2. Karttapiirros erään turvemaaleimikon ajouraverkostosta ja -tyypeistä. Jyrkkiä mutkia vältetään, suorja ja riittävän leveitä ajouria suositaan, upottavat maastonkohdat kierretään ja tarpeen niin vaatiessa vahvistetaan. Muun muassa näillä keinoilla voidaan selviytyä heikosti kantavien maiden energiapuun korjuutyömaille. Piirros: Juha Varhi, © Metsäteho Oy.

Päivitetystä kantavuusluokituksessa (Högnäs ym. 2009) edellytetään, että hakkuutähteet hakataan ajouralle ja ajouraverkoston kriittiset kohdat vahvistetaan hakkuutähteillä tai muulla tavalla. Energiapuun korjuussa, varsinkin karsimattoman pienpuun (kokopuun) korjuun jäljiltä on vaikea saada hyvä havutus ajouralle. Tämän vuoksi Högnäs ym. (2009) kehottavatkin käyttämään luokituksia harkiten energiapuun korjuussa. Huomioitavaa on, että karsitun pienpuun (rankapuun) korjuussa on paremmat mahdollisuudet heikosti kantavan maaperän vahvistamiseen hakkuutähteillä kuin kokopuun hakkuussa.

2.3 Konekaluston varustaminen

Ponsse Oyj aloitti syksyllä 2007 metsäkoneiden varustelubuumiin tuomalla markkinoille Ponsse 10w -kuormatraktorin. ”Kymppipyörä”-konseptissa kuormatraktorin takatelin taakse on asennettu yksi lisäakseli lisäpyörineen ja kantavat telat on laitettu kiertämään lisäpyörien takaa. Näin maata koskettavan telaston pituutta on saatu kasvatettua ja koneyksikön pintapaineet laskettua 30 kPa:n tasolle. Airavaaran ym. (2008) tutkimuksessa Ponsse Wisent 10w -kuormatraktorilla leveillä (telakengän leveys 1 023 mm) Eco-Magnum-teloilla raiteen muodostus oli huomattavasti pienempi kuin kahdeksanpyöräisellä kuormatraktorilla. 10w-varustelu on saatavissa Ponsse Wisent, Elk ja Buffalo -kuormatraktoreihin.

Leveiden (noin 900 - 1 000 mm), kantavien, Olofsfors AB:n valmistamien ja Metsätyö Oy:n markkinoimien Eco-Magnum-telojen telakengän päät on taivutettu, millä on pyritty eliminoimaan maanpinnan leikkautuminen ja telan reunan aiheuttamat juuristovauriot jäävälle puustolle. Vajaan parin vuoden ajan kantavia Eco-Wheel Magnum -pyöräteloja on asennettu kuusipyöräisiin hakkuukoneisiin (esim. John Deere 1070, Valmet 901, Ponsse Ergo) (Kärhä 2008b, 2009a). Eco-Wheel Magnum -pyörätelaratkaisu on esitetty kuvassa 3. Pyörätelojen käytöllä pyritään pienentä-



Kuva 3. Nykyistä hakkuukonekalustoa on rakennettu pyörätelojen avulla paremmin sopivaksi heikosti kantavien maiden harvennuksille. Kuvassa epäsymmetriset Eco-Wheel Magnum 700/55-34 -pyörätelat (telakengän leveys 92 cm) Ponsse Ergo -hakkuukoneessa. Valokuva: Kalle Kärhä, Metsäteho Oy.

mään keskiraskaan hakkuukoneen painavan moottoripään pintapaineita. Keväällä 2009 Ponsse Oyj esitteli heikosti kantavien maiden harvennuksille suunnitellun kahdeksanpyöräisen Ponsse Fox -hakkuukoneen.

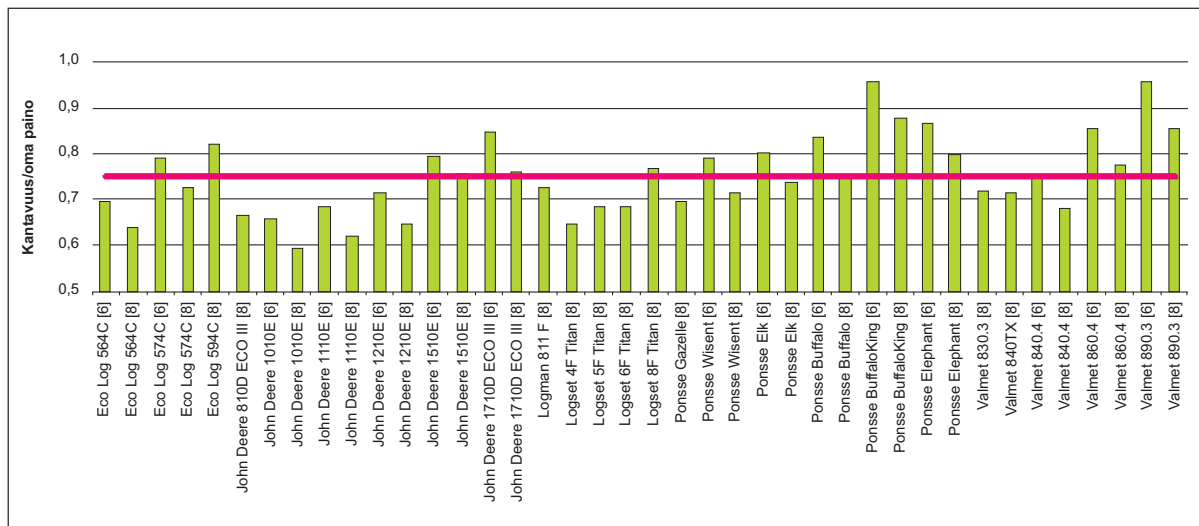
ProSilva Oyj toi metsäkoneisiin jäykän Berco-kaivukonetelan kevättalvella 2008. Myös näiden telojen telakengän päät on taivutettu (kuva 4). Jäykkätelainen ProSilva 810 T -hakkuukone on jo markkinoilla ja vastaava kuormatraktori on tulossa. Jäykkätelaisen metsäkoneen etuna voidaan pitää sitä, ettei ”se lähde etsimään” metsämaaston heikoimpia kohtia, vaan pikemminkin pyrkii etenemään maaston kantavimpien kohtien päällä (Kärhä ym. 2010). Metsäteho Oy tutki jäykkätelaista ProSilva-hakkuukone-kuormatraktori -korjuuketjua korpikuusikon kesäharvennuksella ja testitulokset olivat hyviä (Kärhä ym. 2010).



Kuva 4. Jäykkätelainen ProSilva 810 T -kuormatraktori-prototyyppi, jossa on 800 mm leveät Berco-kaivukonetelastot. Takatelaston maata koskettava pituus on 2,4 m ja etutelaston pituus 2,0 m (8 cm:n painumaoletus). Valokuva: Kalle Kärhä, Metsäteho Oy.

ProSilva Oyj on myös testannut valmistamissaan nelipyöräisissä ProSilva 810 ja 910 -hakkuukoneissa 700/70-34-renkaita (normi-ilmanpaineella halkaisija 184 cm), joissa ilmanpaineita on laskettu 120 - 150 kPa:n tasolle. Nokian Raskaat Renkaat Oy toi metsäkoneisiin pari vuotta sitten maastoystävälliset vyörenkaat (Forest Rider), jotka soveltuvat myös telakäyttöön. Leveimmät markkinoilla olevat metsäkonerenkaat ovat nykyisin 800 mm.

Kuvaan 5 on listattu kaikki Suomessa nykyisin markkinoilla olevat kuormatraktorit. Kuvassa on verrattu kuormatraktorin kantavuutta koneen omaan painoon. Kuvasta nähdään, että korkeimman kantavuus/omapaino -suhdeluvun saavat järeät, kuusi- ja kahdeksanpyöräiset päätehakkuukuormatraktorit. Vastaavasti pienillä, kahdeksanpyöräisillä harvennushakkuukuormatraktoreilla on matalimmat suhdeluvut (kuva 5).



Kuva 5. Vuoden 2009 alussa Suomen markkinoilla olleet kuormatraktorit ja niiden kantavuus/omapaino -suhdeluvut. Kuvassa on hakasuluissa koneiden pyörien lukumäärä. Koneiden omat painot ja kantavuus on saatu metsäkonevalmistajien internet-sivuilta. Suhdelukua laskettaessa koneen omaan (esite)painoon lisättiin 2,0 tonnia (telat, kirkaketjut ja muu varustelu), jotta kuormatraktorin painot saatiin lähemmäksi käytännön työpainoja. Koko aineistosta laskettu kantavuus/omapaino -suhdeluku oli 0,75.

2.4 Konetyöskentelyn sopeuttaminen

Metsäkonekaluston varustamisen lisäksi konetyöskentelyn sopeuttaminen heikosti kantaville maille on ensiarvoisen tärkeää. Kiteytetysti konetyöskentelyn sopeuttamisessa on kysymys siitä, että työmaalla toteutetaan tehtyä leimikko- ja työmaasuunnittelua ja toimitaan ennakoidusti kunkin tilanteen mukaan. Tällöin pyritään muun muassa:

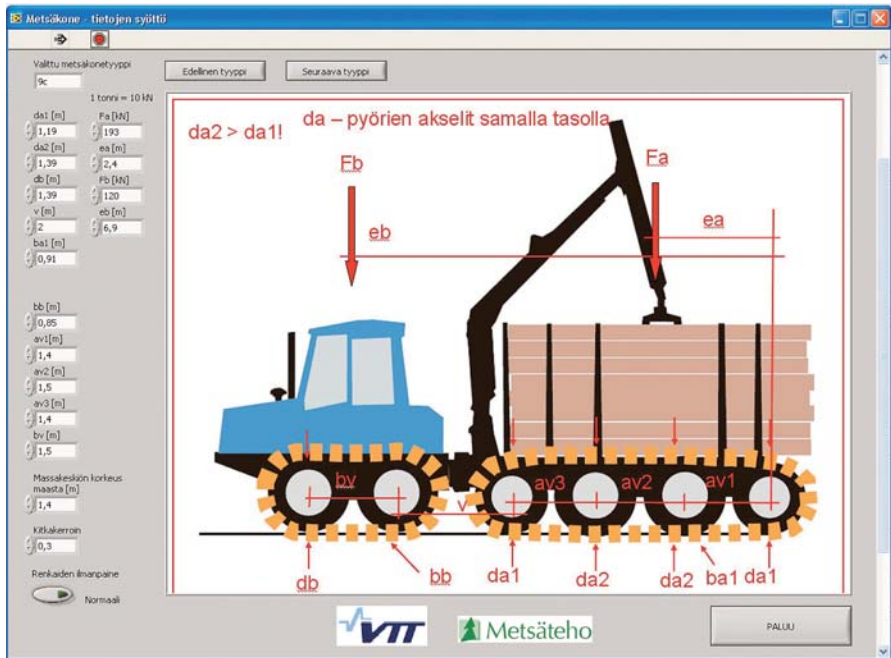
- hajauttamaan mahdollisuuksien mukaan tienvarsivarastopaikat,
- sijoittamaan ajourat mahdollisuuksien mukaan kovalle maalle,
- tasaamaan tarpeen niin vaatiessa ajouraverkoston kuormitusta säätelemällä urakohtaisten ylijokertojen määrää ja kuormakokoa,

- vahvistamaan ajourat hakkuutähteillä,
- tekemään mahdollisimman suorat ja riittävän leveät ajourat sekä lyhyet kannot ja
- väistämään upottavat maastonkohdat.

2.5 Toimijoiden valmiuksien parantaminen

Karrikoidusti voidaan sanoa, että toimija, jolla on heikoimmat tiedolliset ja taidolliset valmiudet heikosti kantavien maiden puunkorjuusta, on heikosti kantavien maiden puunkorjuuketjun heikoin lenkki. Täten korjuuketjun kaikkien toimijoiden valmiuksien parantaminen on tärkeää. Korjuuketjun eri toimijaryhmille suunnattu ohjeistus ja koulutus sekä niin kutsutun hiljaisen tiedon siirto kokeneilta toimijoilta nuoremmille ovat tehokkaita toimenpiteitä toimijoiden valmiuksien kehittämisessä. Tästä työstä hyvä esimerkki on Metsäteho Oy:n organisoima turvemaiden puunkorjuukohteiden asiantuntija-arviointi ja työstä laadittu raportti (Suutari ym. 2008). Arviointiraportissa esitetään yhteenveto hyvistä puunkorjuukäytännöistä auditoiduilta korjuukohteilta.

Myös korjuukaluston valintaan ja kehitykseen sekä optimaaliseen käyttöön on panostettava; on esimerkiksi oltava työkalut, joilla toimijat voivat määrittää, onko koneyksikkö soveltuva pintapaineiden puolesta Kantavuusluokan 2 tai 3 turvemaaleimikolle. Mainittakoon esimerkkinä tällaisesta työkalusta Metsäteho Oy:n toimeksiannosta VTT:n rakentama Metsäkone-laskentamalli, jolla pystytään määrittämään erityyppisten pyöräalustaisten puunkorjuukoneiden pintapaineet ja myös ennustamaan raiteen muodostus (Törnqvist ym. 2010) (kuva 6). Tähän astihan metsäkoneiden pintapaineita on laskettu useilla laskentakaavoilla, jotka on rakennettu pääosin kolmisenkymmentä vuotta sitten (vrt. Rieppo 1997). Metsäkone-laskentamallia voidaan käyttää myös esimerkiksi tarkasteltaessa, mikä on metsäkoneen painojakauman ja varustelun vaikutus koneyksikön pintapaineisiin ja raiteen muodostukseen.



Kuva 6. Uudella Metsäkone-laskentamallilla voidaan määrittää teknologiaavapaasti pyörälustaisien puunkorjuukoneiden, siis myös 12-pyöräisten kuormatraktoreiden pintapaineet.

3 Tehostamiskeinojen hyödyntämispotentiaali

Edellä taulukossa 1 on esitelty tehostamiskeinoja heikosti kantavien maiden puunkorjuuseen. Taulukossa 3 on arvioitu edelleen näiden keinojen hyödyntämisen nykytasoa energiapuun korjuussa sekä mahdollisuuksia hyödyntää keinovalikoimaa tulevaisuudessa nuorissa kasvatusmetsissä. Heikosti kantavilla mailla onnistunut puunkorjuu lähtee hyvästä suunnittelusta. Niinpä leimikko- ja työmaasuunnittelulla on merkittävä hyödyntämispotentiaali. Tärkeänä osana leimikon suunnittelua on sen korjuukelpoisuusluokan määrittäminen. Turve- maaleimikon kantavuusluokitusta on tähän mennessä käytetty lähes yksinomaan ainespuuleimikoiden luokitukseen, ei niinkään energiapuuleimikoiden luokitteluun (vrt. Högnäs ym. 2009).

Taulukko 3. Arvio kunkin tehostamiskeinon hyödyntämisen nykytasosta sekä tulevaisuuden hyödyntämispotentiaalista heikosti kantavien maiden energiapuun korjuussa nuorista kasvatusmetsistä.

	Hyödyntämisen nykytaso	Hyödyntämispotentiaali
1) Suunnittelun tehostaminen:		
Leimikoiden korjuukelpoisuusluokitukset	o	++
Puunkorjuukaluston maastokelpoisuusluokitukset	o	o
Leimikko- ja työmaasuunnittelu	+	++
Korjuun ajoitus	o	+
2) Konekalusto ja sen varustaminen:		
Leveämmät ja maastoystävällisemmät telat	+	++
Pyörien lukumäärä	+	+
Pidempi telasto & Lisäpyöräratkaisut	o	+
Leveämmät ja maastoystävällisemmät renkaat	-	-
Halkaisijaltaan isommat renkaat	o	o
Renkaiden ilmanpaineiden alentaminen	-	-
Kantavuus/omapaino -suhde	-	++
3) Konetyöskentelyn sopeuttaminen:		
Varastopaikkojen ja ajourien sijoittelu	+	+
Kuormakoon säätely	o	-
Urakohtaisten ajokertojen säätely	+	o
Ajouran vahvistaminen	+	++
Suorat ja riittävän leveät ajourat	o	+
Lyhyet kannot	o	+
Upottavien kohtien väistäminen	++	-
4) Toimijoiden valmiuksien parantaminen:		
Ohjeistus ja koulutus	o	+
Korjuumenetelmien ja -kaluston valinta ja kehitys	o	+

++ = Runsaasti käytetty | Suuri potentiaali

+ = Jonkin verran käytetty | Jonkin verran potentiaalia

o = Vähän käytetty | Vähän potentiaalia

- = Erittäin vähän / huonosti käytetty | Erittäin vähän potentiaalia

-- = Ei lainkaan / hyvin huonosti käytetty | Ei lainkaan potentiaalia.

Erityinen huomio leimikkosuunnittelussa on kiinnitettävä leimikoiden tarkempaan luokitteluun; talvi- ja kesäleimikot on pystyttävä luokittelemaan nykyistä hienojakoisemmin. Tämä luo haasteita metsäsuunnittelijoiden osaamiselle. Nykyaikaiset kaukokartoitusmenetelmät (esim. laserskannaus ja -keilaus) sekä maaperäkartojen yhdistelmät tulevat jatkossa entistä tiiviimmin suunnittelijoiden avuksi (Anttila 2009). Myös korjuun toteutukseen on saatava lisää joustavuutta ja tilanneherkkyyttä: pitkät, kuivat kaudet kesällä on hyödynnettävä jatkossa maksimaalisesti.

Konekaluston osalta on nostettava esille kuormatraktoreiden kantavuus/omapaino -suhteen parantamistarve; kuormatraktoriin hitsatulla teräskilolla olisi pystyttävä kuljettamaan yksi puukilo, tai mieluummin hieman enemmän tienvarteen. ”*Kuormatraktoriin runkoon on vain laitettava rautaa rajusti, että se kestää ja ei tule reklamaatioita!*” näin totesi eräs konevalmistaja tarinan mukaan, kun häneltä tiedusteltiin syitä kuormatraktoreiden isoihin painoihin. Tästä huolimatta kuormatraktorien rungot saattavat joskus vaurioitua. Tällöin kyseistä kohtaa koneessa vahvistetaan ja painoa tulee lisää. Jatkuvat ylikuormat ovat useimmiten syynä koneen runkovaurioihin. Kun sadoissa kuormatraktoreissa alkaa olla kuormainvaaka, ylikuormien todentaminen on helppoa. Koneen kantavuuden jatkuvat ylitykset tulevat varmasti jatkossa katkaisemaan koneelle annetut takuut.

Energiapuun, varsinkaan kokopuun korjuussa ylikuormat eivät muodostu ongelmaksi. Heikosti kantavien maiden, erityisesti turvemaiden energiapuun korjuussa ainoastaan ojien ylitys voidaan nähdä kuormatraktoria ja sen rakenteita kuormittavana tekijänä. Tällöin herääkin kysymys, olisiko mielekästä rakentaa turvemaille kevyt, erikoisrakenteinen, kantavuudeltaan 10 - 11 tonnin kuormatraktori, jonka kantavuus/omapaino -suhde olisi selvästi yli yhden (vrt. kuva 5).

Myös leveillä ja erityisesti maastoystävällisillä teloilla, pidemmällä telastoilla ja lisäpyöräratkaisuilla on mielenkiintoisia sovellusmahdollisuuksia heikosti kantavien maiden energiapuun korjuussa tulevaisuudessa. Sen sijaan pelkillä renkailla ja renkaiden ilmanpaineiden alentamisella ei todennäköisesti ole huomattavaa roolia energiapuun korjuussa heikosti kantavilla mailla (taulukko 3).

Havutuksella ja sen laadulla on havaittu olevan voimakas yhteys raiteen muodostukseen turvemaiden puunkorjuussa (esim. Airavaara ym. 2008, Högnäs ym. 2009, Kärhä ym. 2010). Tämän vuoksi hyvän havutuksen teko ajouralle on tärkeää. Rankapuun korjuussa ajouran vahvistaminen hakkuutähteillä on helpompaa kuin kokopuun korjuussa (esim. Kärhä 2009b). Rankapuun korjuun yleistyminen helpottaa siis ajourien havuttamista jatkossa energiapuuleimikoissa. Kesäkorjuussa heikosti kantavilla mailla on suositeltavampaa käyttää rankapuun korjuuta kuin kokopuun korjuuta.

Muita potentiaalisia konetyöskentelyn sopeuttamistekijöitä ovat varastopaikkojen ja ajourien sijoittelu sekä suorat ja riittävän leveät ajourat (taulukko 3). Kantavien kivennäismaiden ajouran ohjeleveys (4,5 m) ei ole riittävä heikosti kantaville maille, erityisesti turvemaiden energia- ja ainespuun korjuussa. Näin ollen voidaan kysyä, olisiko esimerkiksi 5,0 tai 5,5 metriä mielekkäämpi ajouran leveysuositus turvemaille kuin nykyinen 4,5 metriä. Tämä asia tulisi selvittää mahdollisimman pian.

Unohtaa ei myöskään saa eri toimijaryhmien ohjeistus- ja koulutustarvetta ja niiden mahdollisuuksia. Opas- ja koulutusmateriaaleihin alkaa olla melko hyvin uutta, tuoretta tietoa, kun moni vuonna 2008 käynnistetty heikosti kantavien maiden T&K-hanke on saatu valmiiksi. Metsäkoneyritysten koon kasvu luo koneyrityksille mahdollisuuden hankkia heikosti kantavien maiden energiapuun korjuuketju tavanomaisten, kantavien maiden puunkorjuuketjujen rinnalle. Alueilla (ks. kuva 1), joille on tulossa paljon heikosti kantavien maiden sekä energia- että ainespuun korjuutöitä, voisi olla aihetta rekrytoida kuhunkin metsäkeskukseen *heikosti kantavien maiden puunkorjuuasiantuntija*, joka jakaisi tietoa ja antaisi koulutusta (vrt. metsäkeskusten puuenergianeuvojat).

4 Yhteenveto

Tulevaisuudessa turvemailta tullaan korjaamaan nykyistä enemmän pieniläpimittaista koko- ja rankapuuta. Turvemaiden rooli energiapuun korjuussa tulee korostumaan erityisesti Etelä- ja Pohjois-Pohjanmaalla sekä Kainuussa. Artikkeleissa esiteltiin keinovalikoimaa turvemaiden ja muiden heikosti kantavien maiden puunkorjuun tehostamiseksi nuorista kasvatusmetsistä. Lisäksi tarkasteltiin eri tehostamiskeinojen tulevaisuuden hyödyntämismahdollisuuksia heikosti kantavien maiden energiapuun korjuussa.

Heikosti kantavilla maille onnistunut korjuu lähtee hyvästä suunnittelusta. Paremmalla leimikko- ja työmaasuunnittelulla nähtiin olevan merkittävä hyödyntämispotentiaali. Tärkeänä osana leimikon suunnittelua on sen korjuukelpoisuusluokan määrittäminen. Konekaluston puolelta nostettiin esille kuormatraktoreiden kantavuus/omapaino -suhteen parantamistarve, kuten myös leveiden ja erityisesti maastoystävällisten telojen tuomat mahdollisuudet. Konetyön sopeuttamisessa korostettiin ajouran hyvän havituksen tärkeyttä. Hyvä havutus on vaikea saada aikaan kokopuun korjuussa. Rankapuun korjuussa ajouran vahvistaminen hakkuutähteillä on helpompaa.

Energiapuun korjuu heikosti kantavilta mailta on teknisesti mahdollista; sen käytäntö on osoittanut. Ennen kuin heikosti kantavilta mailta pystytään korjaamaan

nykyistä isompia energiapuumääriä, on korjuuketjun kaikkien toimijoiden tiedolliset ja taidolliset valmiudet saatava hyvään kuntoon: energiapuun korjuuketjuun ei saa jäädä heikkoja lenkkejä.

Kirjallisuus

- Airavaara, H., Ala-Illomäki, J., Högnäs, T. & Sirén, M. 2008. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. [Verkkojulkaisu]. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 80. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2008/mwp080.pdf>
- Anttila, T. 2009. Toimijoiden vaihtoehtoiset roolit suometsän hoitohankkeessa. Esitelmä, Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion Puuta turvemailta -kutsuseminaari, 19.3.2009, Sokos Hotel Pasila, Helsinki. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: http://www.tapio.fi/files/tapio/Puuta%20turvemailta%20-kutsuseminaari/Anttila_T.pdf
- Högnäs, T. 2007. Nykykalustolla turvemaiden puunkorjuuseen. Metsähallitus, Tulosraportti 25.11.2007.
- Högnäs, T., Kärhä, K., Lindeman, H. & Palander, T. 2009. Turvemaaharvennusten kantavuusluokitus. [Verkkojulkaisu]. Metsätehon tulosalvosarja 17/2009. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2009_17_Turvemaaharvennusten_kantavuusluokitus_kk.pdf
- Kärhä, K. 2008a. Turvemaiden puunkorjuu saatava ympärivuotiseksi. Metsäikku - Pohjois-Pohjanmaan metsäalan toimijoiden ja metsänomistajien yhteinen julkaisu 1, 10.
- Kärhä, K. 2008b. Heikosti kantavien maiden puunkorjuu lisääntyy – Metsäkonevalmistajat aktiivisesti liikkeellä. KoneYrittäjä 8, 12–14.
- Kärhä, K. 2009a. Hakkuukoneesta täysverinen harvennuskone: Pyöräteloilla pehmeille maille. KoneYrittäjä 4/, 24–25.
- Kärhä, K. 2009b. Integroituna vai ilman? Esitelmä, Metsätieteen päivä 2009: Näkökulmia puunkorjuun kehitykseen ja kehittämiseen, 4.11.2009, Tieteiden talo, Helsinki. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: http://www.metsatieteellinenseura.fi/files/tekklubi/Metsatieteen_Paiva_04112009/karha_kalle_integroituna_vai-ilman.pdf
- Kärhä, K., Elo, J., Lahtinen, P., Räsänen, T. & Pajujoja, H. 2009. Puupolttoaineiden saatavuus ja käyttö Suomessa 2020. [Verkkojulkaisu]. Metsätehon katsaus 40. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: http://www.metsateho.fi/uploads/Katsaus_40.pdf
-

- Kärhä, K., Poikela, A. & Keskinen, S. 2010. Korpikuusikon harvennus sulan maan aikana. Metsätehon tulostulosarja 5/2010. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 29.4.2010]. Saatavana: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_05_Korpikuusikon_harvennus_kk.pdf
- Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. 2008. [Verkkajulkaisu]. Helsinki: Työ- ja elinkeinoministeriö. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja, Energia ja ilmasto 36/2008. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: http://www.tem.fi/files/21079/TEMjul_36_2008_energia_ja_ilmasto.pdf
- Rieppo, K. 1997. Metsäkoneiden telin liikedynamiikasta ja pintapaineiden määrittämisestä. [Verkkajulkaisu]. Metsätehon raportti 23. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: <http://www.metsateho.fi/uploads/prk5myu.pdf>
- Suutari, V., Kariniemi, A., Keränen, J., Punttila, T., Siponen, K., Teittinen, A. & Valtonen, J. 2008. Heikosti kantavan maan puunkorjuu - sulan maan aikana. [Verkkajulkaisu]. Metsätehon tulostulosarja 11/2008. [Viitattu 23.2.2010]. Saatavana: http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_2008_11_Heikosti_kantavan_maan_puunkorjuu_aka_1.pdf
- Törnqvist, J., Kurkela, J. & Kärhä, K. 2010. Metsäkoneen pintapaineen ja raiteen muodostuksen laskentamalli. [Verkkajulkaisu]. Metsätehon tulostulosarja 3/2010. [Viitattu 29.4.2010]. Saatavana: http://www.metsateho.fi/files/metsateho/Tuloskalvosarja/Tuloskalvosarja_2010_03_Metsakoneen_pintapaineen_ja_raiteen_muodostuksen_kk_jt.pdf
- Ylitalo, E. 2009. Puun energiakäyttö 2008. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos, Metsätalastiedote 15/2009.
-

Energiapuun korjuu ja metsämaan puuntuotoskyky

MMT Antti Wall

Metsäntutkimuslaitos, Länsi-Suomen alueyksikkö, Kannuksen toimipaikka

1 Johdanto

Ainespuun korjuussa runkojen karsinnan, katkonnan ja poiskuljetuksen jälkeen kasvupaikalle jää kanto- ja juuripuun lisäksi hakkuutähteenä latva- ja muu hukkarunkopuu sekä latvusmassa. Hakkuutähteen korjuu uudistushakkuun jälkeen ja kokopuun korjuu nuorista metsistä energian tuotantoon (energiapuun korjuu) ovat yleistyneet voimakkaasti, mutta energiapuun korjuun vaikutukset metsämaan ominaisuuksiin ja puuston kasvuun tunnetaan huonosti.

Kokopuun korjuussa poistuu kasvupaikalta huomattavasti enemmän ravinteita kuin ainespuun korjuussa, koska kokopuun korjuussa poistuva biomassa on suurempi sekä oksien ja lehvästön ravinnepitoisuudet ovat runkopuuta korkeammat. Kokopuun korjuun aiheuttamat ravinnepoistumat ovat ravinnetaselaskelmien perusteella arvioituina aiheuttaneet huolta kasvupaikan puuntuotoskyvyn säilymisestä erityisesti vähäravinteisilla kasvupaikoilla jo 1970-luvulla.

Puunkorjuun aiheuttamia muutoksia kasvupaikan puuntuotoskyvyssä on mitattu perinteisesti kasvupaikan ainespuun tuotoksella. Puuntuotoskyky määräytyy ilmaston ja kasvupaikan fysikaalisten, kemiallisten ja biologisten ominaisuuksien yhteisvaikutuksen tuloksena. Maan ominaisuuksista ravinteiden ja veden saatavuus sekä maan ilmanvaihto ovat keskeisiä puuston kasvuun vaikuttavia tekijöitä. Puuntuotoskykyä ilmentävinä metsämaan indikaattoriominaisuuksina on yleisesti käytetty maan orgaanisen aineksen määrää, maan kokonaistypen määrää, puustolle käyttökelpoisessa muodossa olevien ravinteiden määriä ja maan happamuutta. Maan ominaisuuksien lisäksi kasvupaikan puuntuotoskykyyn vaikuttaa topografia, kasvillisuuden tuotospotentiaali (mm. puuston käsittelyhistoria, geneettiset ominaisuudet, pintakasvillisuuden kilpailu) sekä erilaiset puustotuhot.

Koska energiapuun korjuutoiminta on laajaa ja sen suuruus kasvaa jatkuvasti, voidaan kysyä ovatko tutkimustiedot energiapuun korjuun vaikutuksista metsämaan puuntuotoskykyyn riittäviä. Tämän katsauksen tarkoituksena on arvioida mikä on energiapuun korjuun vaikutus kasvupaikan puuntuotoskykyä ilmentäviin metsämaan ominaisuuksiin ja puuston kasvuun verrattuna ainespuun korjuuseen.

2 Aineisto ja menetelmät

Aineistoksi valittiin kansainvälisten tiedejulkaisujen joukosta tutkimukset, joissa kokeen perustaminen noudatti kenttäkokeen tieteellisiä periaatteita. Kriteerit täyttäviä julkaisuja oli 58 kpl, joihin sisältyi kaikkiaan 227 kenttäkoetta. Julkaisuja oli tehty eniten Euroopassa, mutta Pohjois-Amerikassa oli perustettu eniten kenttäkokeita. Suurin osa kenttäkokeista sijaitsi lauhkealla ilmastovyöhykkeellä.

Aineistosta laskettiin kullekin puuntuotoskyvyn indikaattoriominaisuudelle havaintojen esiintymistiheys. Havainnolla tarkoitetaan tutkimusjulkaisuisissa raportoitujen kenttäkokeiden tuloksia. Havainnot luokiteltiin sen mukaan olivatko puun korjuumenetelmien väliset erot puuntuotoskyvyn indikaattorissa tilastollisesti merkitseviä vai eivät, ja jos olivat, mikä oli muutoksen suunta (pienensi/suurensi).

Tehtäessä energiapuun korjuuta koskevia johtopäätöksiä kansainvälisten järjestettyjen kenttäkokeiden tulosten pohjalta on otettava huomioon, että koejärjestelyt eivät useinkaan ole vastanneet meillä käytettyä hakkuutähteiden korjuumenetelmää. Puunkorjuun vaikutuksia selvittäneissä kenttäkokeissa on pääsääntöisesti pyritty keräämään kaikki hakkuutähte talteen, kun käytännössä talteen saadaan vain 60 - 80 % hakkuutähteestä. Lisäksi tutkimuksissa hakkuutähte on usein levitetty käsin tasaisesti hakkuualalle, kun esimerkiksi kuusivaltaisten metsiköiden päätehakkuissa hakkuutähdetasat peittävät 40 - 60 % maan pinnasta riippuen käytetystä korjuutekniikasta. Näin ollen tutkimustulokset edustavat pääsääntöisesti suurinta mahdollista biomassan korjuuastetta, ja hakkuutähteen ravinnevaikutus on niissä suurin mahdollinen.

3 Tulokset

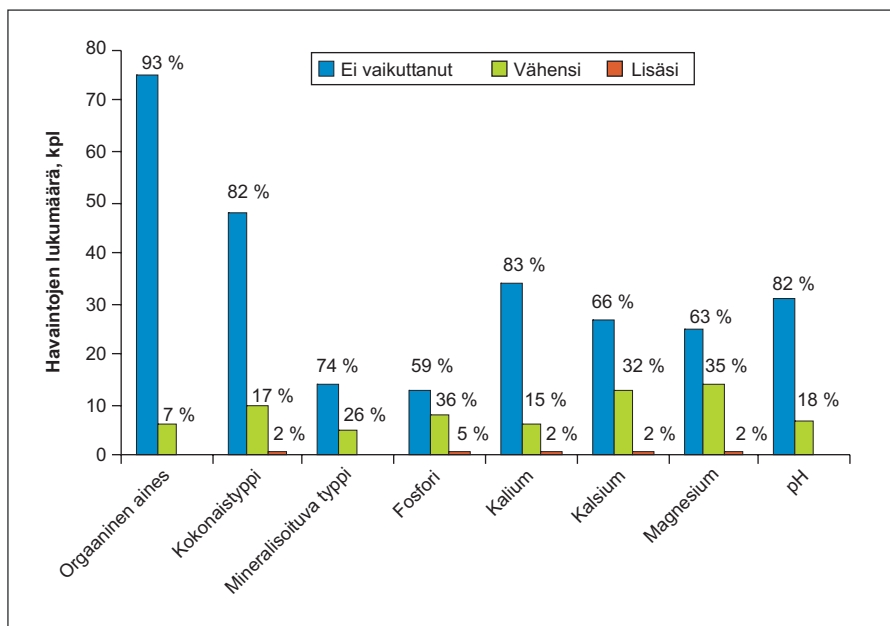
3.1 Kokopuun korjuun vaikutus maan ominaisuuksiin

Valtaosalla järjestetyistä kenttäkokeista kokopuun korjuu ei ollut vaikuttanut puuntuotoskykyä kuvaaviin maan indikaattoriominaisuuksiin verrattuna ainespuun korjuuseen (kuva 1). Erityisen selkeä tulos on ollut maan orgaanisen aineen (orgaaninen hiili) osalta, jossa sen määrä tai pitoisuus on ollut tilastollisesti merkitsevästi pienempi kokopuunkorjuun jälkeen vain harvoin. Näissä kokeissa puunkorjuun menetelmien välinen ero orgaanisen hiilen määrässä tai pitoisuudessa oli pienimmillään 8 ja suurimmillaan 36 %. Myös maan kokonaistypen määrä on ollut vain seitsemässä kokeessa tilastollisesti merkitsevästi pienempi kokopuun korjuun jälkeen ja ero korjuumenetelmin välillä on ollut pienimmillään 23 % ja suurimmillaan 35 %. Jotta puunkorjuumenetelmien välillä voidaan havaita tilastollisesti merkitsevä ero maan orgaanisen aineksen tai kokonaistypen mää-

rässä, eron on oltava suhteellisen suuri, noin 20 - 30 % keskimääräisestä. Eron havaitsemista saattaa osaltaan vaikeuttaa se, että uudistushakkuulla sinällään on suuri vaikutus maan orgaanisen aineksen ja kokonaistypen varastoihin ja tämä muutos saattaa peittää alleen korjuumenetelmien välisen eron.

Valtaosalla kenttäkokeista kokopuun korjuu ei ollut vaikuttanut maan potentiaalisesti mineralisoituvan tai mineralisoituneen typen määrään tai pitoisuuteen (kuva 1). Kun kokopuun korjuun jälkeen potentiaalisesti mineralisoituvan tai mineralisoituneen typen määrä tai pitoisuus oli pienempi, eron suuruus vaihteli välillä 12 - 33 %.

Puunkorjuumenetelmien väliset erot ovat maan fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin osalta vaihdelleet laajasti: kokopuun korjuun jälkeen näiden maan ravinteiden määrä tai pitoisuus on ollut yhtä suuri, pienempi tai joissakin tapauksissa jopa suurempi kuin ainespuun korjuun jälkeen (kuva 1). Kun ravinteiden pitoisuus tai määrä on ollut kokopuun korjuun jälkeen pienempi, ero puunkorjuun menetelmien välillä ravinteiden määrässä tai pitoisuudessa oli pienimmillään 13 % ja suurimmillaan 39 %. Näiden tutkimusten tulokset viittaavat siihen, että kokopuun korjuu voi alentaa maan orgaanisen kerroksen emäskationien määrää verrattuna ainespuukorjuuseen, koska kokopuun korjuussa kasvupaikalta poistuu emäskationeja.



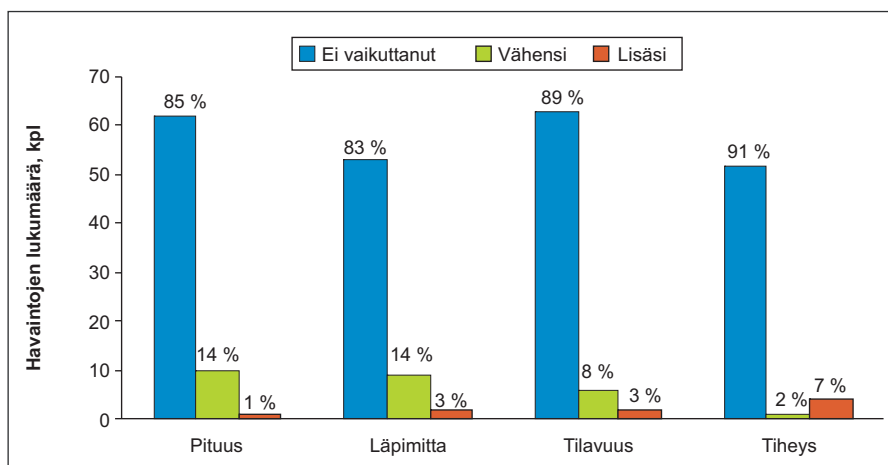
Kuva 1. Kokopuun korjuun vaikutusten esiintymistiheys (prosentteina kokeista pylvään yläpuolella) puuntuotoskykyä ilmentäviin maan indikaattoriominaisuuksiin verrattuna ainespuun korjuuseen kansainvälisissä kenttäkokeissa.

Valtaosalla järjestetyistä kenttäkokeista kokopuun korjuu ei ollut vaikuttanut maan happamuuteen (kuva 1). Kun Ruotsissa kokopuun korjuun jälkeen maan happamuus oli kasvanut verrattuna ainespuun korjuuseen, korjuumenetelmien välinen ero vaihteli välillä 0,1 - 0,4 pH-yksikköä. (Nykqvist & Rosén 1985, Staaf & Olsson 1995)

3.2 Kokopuun korjuun vaikutus puuston kasvuun

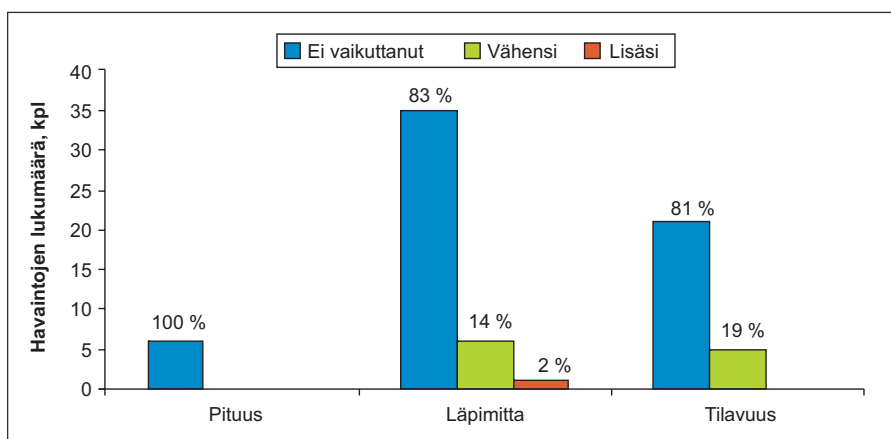
Suurimmassa osassa kenttäkokeista kokopuun korjuun ja ainespuun korjuun välillä ei ole ollut tilastollisesti merkitseviä eroja puuston kasvussa uudistushakkuun jälkeen (kuva 2). Kokopuun korjuu on joissakin kokeissa vaikuttanut puuston läpimittaa ja biomassaa pienentävästi ja muutamassa kokeessa lisäävästi verrattuna ainespuun korjuuseen. Puunkorjuun aiheuttamia vaihtelevia vaikutuksia puuston kasvuun uudistushakkuun jälkeen selittää se, että puunkorjuulla voi olla monia vaikutuksia taimien varhaiskehitystä sääteleviin kasvutekijöihin. Tämän takia puunkorjuun aiheuttamat vaikutukset ovat usein monimutkaisia, mahdollisesti kumulatiivisia ja vaihtelevat kasvupaikan ominaisuuksista, sääolosuhteista ja ajankohdasta riippuen.

Suurimmassa osassa kenttäkokeista kokopuun korjuu ja ainespuun korjuu eivät ole eronneet toisistaan taimien eloonjäännin suhteen (kuva 2). Kokopuun korjuu on joissakin tutkimuksissa parantanut taimien eloonjääntiä, mutta vaikutus on riippunut puulajista. Kokopuun korjuun on havaittu Ruotsissa lisäävän luontaisten koivun taimien määrää, mutta männyn ja kuusen luontaisten taimien määrään ei korjuumenetelmällä ole ollut vaikutusta (Karlsson ym 2002).



Kuva 2. Kokopuun korjuun vaikutusten esiintymistiheys (prosentteina kokeista pylvään yläpuolella) puuntuotoskykyä kuvaaviin puuston ominaisuuksiin verrattuna ainespuun korjuuseen uudistushakkuun jälkeen kansainvälisissä kenttäkokeissa.

Myös harvennushakkuun jälkeen suurimmassa osassa kenttäkokeista kokopuun korjuun ja ainespuun korjuun välillä ei ole ollut tilastollisesti merkitseviä eroja puuston kasvussa sillä noin 80 %:lla kenttäkokeista eroa puuston kasvussa ei ole ollut (kuva 3). Vaikkei tilastollisesti merkitseviä eroja ole yleensä havaittu puunkorjuumenetelmien välillä, niin kokopuun korjuulla on toisinaan ollut taipumus johtaa pienempään kasvuun. Kun puunkorjuumenetelmien välillä on ollut eroja puuston kasvussa, niin kokopuun korjuun jälkeen puuston läpimitta ja tilavuus on yleensä pienentynyt ja joissakin tapauksissa myös suurentunut verrattuna ainespuun korjuuseen. Kun puuston läpimitta tai pohjapinta-ala oli havaittu pienemmäksi kokopuun korjuun jälkeen, niin ero on ollut pienimmillään 8 % ja suurimmillaan 16 %.



Kuva 3. Kokopuun korjuun vaikutusten esiintymistiheys (prosentteina kokeista pylvään yläpuolella) puuntuotoskykyä kuvaaviin puuston ominaisuuksiin verrattuna ainespuun korjuuseen harvennushakkuun jälkeen kansainvälisissä kenttäkokeissa.

Olettamus siitä, että kokopuun korjuun haitat olisivat suurimpia karuilla niukatyyppisillä kasvupaikoilla on saanut vain harvoin tukea tutkimustuloksista ja joissakin tutkimuksissa puuston kasvu on vähentynyt eniten nimenomaan viljavilla kasvupaikoilla. Syyksi karujen kasvupaikkojen puuston heikkoon reagointiin puunkorjuun menetelmään on arveltu mm. vähäisempää ravinnepoistumaa ja viivästyntä kasvureaktiota viljaviin kasvupaikkoihin verrattuna sekä typen voimakasta mikrobiologista sitoutumista, kun hakkuutähteet on jätetty kasvupaikalle.

4 Päätelmät

Kenttäkokeiden tulosten mukaan puuntuotoskykyä ilmentävissä maan ominaisuuksissa, puuston ravinnetilassa ja puuston kasvussa on todettu vain harvoin tilastollisesti merkitseviä eroja kokopuun korjuun ja ainespuun korjuun välillä kivennäismailla. Lisäksi suora yhteys puunkorjuumenetelmästä johtuvan kasvutekijöiden muutoksen ja puuston kasvun välillä on havaittu vain harvoin. Esimerkiksi Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa puunkorjuumenetelmien välisiä eroja puuston kasvussa ei ole voitu selittää puunkorjuumenetelmien aiheuttamilla muutoksilla maan ravinnemäärissä tai puuston ravinnetilassa (Olsson ym. 2000, Egnell & Leijon 1999, Olsson ym. 1996a, Olsson ym. 1996b. Siksi voidaan päätellä, ettei energiapuun korjuu yleensä vaaranna kasvupaikan puuntuotoskykyä lyhyellä aikajaksolla. Havaitut erot puunkorjuumenetelmien välillä saattavat selittyä hakkuutähteen lyhytaikaisilla vaikutuksilla esim. ravinteiden saatavuuteen tai maan fysikaalisiin olosuhteisiin. Näilläkin vaikutuksilla on merkitystä puuntuotosta ja metsänkasvatuksen taloudellista tulosta ajatellen, mutta ne eivät ole yhtä vakava ongelma kuin kasvupaikan pitkäaikainen viljavuuden heikkeneminen.

Vaikka yleisesti pätevät suorat todisteet energiapuun korjuun vaikutuksista metsämaan puuntuotoskykyyn puuttuvatkin, ei ole syytä hylätä huolta puunkorjuun aiheuttamista mahdollisista vaikutuksista. Tällä hetkellä käytettävissä on tuloksia kokeista, joiden kattavuus kasvupaikkatyyppien suhteen on puutteellinen eikä niiden perusteella ole mahdollista tehdä kasvupaikkakohtaisia päätelmiä. Energiapuun korjuun puuntuotannollista kestävyyttä voidaan turvata toimimalla varovaisuusperiaatteiden mukaan:

- 1) vältetään korjaamasta kaikkia hakkuutähteitä (30 %:a hakkuutähteistä jää yleensä korjaamatta teknisistä syistä),
 - 2) energiapuun korjuu tehdään vain kerran puuston kiertoaikana,
 - 3) vaikutuksia pienennetään kehittämällä korjuutekniikkaa, joka vaikuttaa kasvupaikalle jäävän biomassan määrään, laatuun ja tilajakaumaan tai tekemällä kompensatiolannoitus.
-

Kirjallisuus

- Egnell, G. & Leijon, B. 1999. Survival and growth of planted seedlings of *Pinus sylvestris* and *Picea abies* after different levels of biomass removal in clear-felling. *Scandinavian journal of forest research* 14, 303-311.
- Karlsson, M., Nilsson, U. & Örlander, G. 2002. Natural regeneration in clear-cuts: effects of scarification, slash removal and clear-cut age. *Scandinavian journal of forest research* 17, 131-138.
- Nykvist, N. & Rosén, K. 1985. Effect of clearfelling and slash removal on the acidity of northern coniferous soils. *Forest ecology and management* 84, 165-147.
- Olsson, B.A., Staaf, H., Lundkvist, H., Bengtson, J. & Rosen, K. 1996a. Carbon and nitrogen in coniferous forest soils after clear-felling and harvests of different intensity. *Forest ecology and management* 82, 19-32.
- Olsson, B.A., Bengtson, J. & Lundkvist, H. 1996b. Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *Forest ecology and management* 84, 135-147.
- Olsson, B.A., Lundkvist, H., & Staaf, H. 2000. Nutrient status in needles of Norway spruce and Scots pine following harvesting of logging residues. *Plant and Soil* 223, 161-173.
- Staaf, H. & Olsson, B. 1994. Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden. *Scandinavian journal of forest research* 9, 305-310.
-

Hakkuutähteiden määrä ja ravinnesisältö aines- ja energiapuukorjuun jälkeen ojitettujen turvemaiden ensiharvennusmänniköissä

MMT Jyrki Hytönen¹, MH Mikko Moilanen², Mti Olavi Kohal¹ ja Mti Aki Lokasaari³

1) Metsäntutkimuslaitos, Länsi-Suomen alueyksikkö, Kannuksen toimipaikka

2) Metsäntutkimuslaitos, Pohjois-Suomen alueyksikkö, Muhoksen toimipaikka

3) Seinäjoen ammattikorkeakoulu, Maa- ja metsätalouden yksikkö, Ähtäri

1 Johdanto

Puuperäisten polttoaineiden osuus Suomen kokonaisenergiankulutuksesta on tällä hetkellä (2008) 21 %. Vuonna 2008 metsähaketta käytettiin energiaksi 4,6 milj. m³ ja määrän odotetaan lähivuosina kasvavan merkittävästi. Kansallisen metsäohjelman 2015 (Kansallinen metsäohjelma 2009) tavoitetaso metsähakkeen energiakäytölle on 8 - 12 miljoonaa kuutiometriä vuodessa. Uusiutuvan energian käyttöä puoltaa erityisesti sen merkitys fossiilisten polttoaineiden korvaajana. Päästökauppa lisää uusiutuvien energialähteiden kilpailukykyä uusiutumattomiin verrattuna. Euroopan unioni (EU) on sitoutunut vähentämään kasvihuonekaasupäästöjään 20 % vuoden 1990 päästötasoon verrattuna ja lisäämään uusiutuvan energian osuuden 20 %:iin unionin alueella vuoteen 2020 mennessä. Kansallisen metsäohjelman toteuttaminen tukisi merkittävästi EU:n asettamaa tavoitetta lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä.

Turvemaiden metsistä on suurin osa nuoria tai varttuneita kasvatusmetsiä, joissa on runsaasti harvennustarvetta. Hakkuutarvetta arvioitiin 2000-luvun alussa olevan noin kolmasosalla ojitettujen soiden pinta-alasta (Tomppo 2005). Ojitettujen turvemaiden metsien ensiharvennukset ovat usein ongelmallisia paitsi maan heikon kantavuuden myös puuston pienen hakkuukertymän vuoksi. Energiapuun korjuuta on esitetty erääksi keinoksi parantaa harvennusten kannattavuutta tiheissä kasvatusmetsissä (Heikkilä 2007) (kuva 1). Energiapuuharvennus parantaa harvennuksen kannattavuutta ja puuston metsänhoidollista tilaa erityisesti tiheissä kasvatusmetsissä. Tällöin on yleensä kyse nk. kokopuukorjuusta, jossa metsiköstä otetaan sekä aines- eli runkokuuta, latvuksia ja hakkuutähteitä. Suometsien kokopuukorjuuta on kuitenkin rajoittanut huoli kasvualustan ravinteiden riittävydestä, koska latvuksen, oksien ja neulasten mukana metsiköstä poistuu huomattavasti enemmän ravinteita kuin normaalissa ainespuukorjuussa. Kokeellisen tutkimustiedon puuttuessa energiapuun talteenoton seurannaisvaikutuksista turvemaiden tiedetään hyvin vähän. Valtakunnalliset suositukset kestäväälle energiapuunkor-

juulle nojaavat tutkitun tiedon vähyyden takia varovaisuusperiaatteeseen (Hyvän metsänhoidon suositukset 2006, Koistinen & Äijälä 2006, Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007, Kuusinen & Ilvesniemi 2008), eikä kokopuukorjuuta tällä hetkellä suositella turvemaiden harvennuksiin.



Kuva 1. Kokopuukorjuuta Alajärven Puukkoahon koealueella.

Turvemaat poikkeavat ravinnetaloudeltaan huomattavasti kivennäismaista. Ravinnetasetutkimuksissa on verrattu keskenään puustoon sitoutuneita ravinnemääriä ja turpeessa puiden juuristokerroksessa olevia ravinnemääriä (mm. Moilanen ym. 1996, Kaunisto & Paavilainen 1988, Kaunisto & Moilanen 1998). Niiden pohjalta on päätelty, että energiapuukorjuussa metsiköstä poistuvat typpi- ja fosforimäärät ovat suhteellisen pieniä verrattuna juuristokerroksen ravinnemääriin. Sen sijaan kaliumin ja boorin kohdalla tilanne voi olla kriittinen: puuston ja pintaturpeen ravinnemäärät ovat usein samaa suuruusluokkaa. On siis mahdollista, että energiapuukorjuun seurauksena maan kalium- ja boorivarat vähenevät ja riski puiden ravinnepuutoksiin ja -epätasapainotiloihin kasvaa.

Metsäntutkimuslaitoksessa perusti vuosina 2003 - 2009 koesarjan, jossa selvitetään harvennushakkuun vaikutuksia rämemänniköiden ravinnetalouteen ja kasvuun. Tavoitteena on tarkastella erilaisten korjuuvaihtoehtojen jälkeen hakkuualalle jäävän hakkuutähteen määrää ja ravinnesisältöä ja arvioida erilaisten hakkuutapojen ravinnetaloudellisia vaikutuksia metsänojitusalueilla.

2 Aineisto ja menetelmät

2.1 Koealueiden kuvaus

Tutkimuksen aineisto kerättiin viideltä koealueelta Etelä-, Keski- ja Pohjois-Pohjanmaalta (taulukko 1). Alajärven toista koetta lukuun ottamatta kohteet sijaitsevat paksuturpeisilla soilla. Kasvupaikka oli turvemaametsiköissä puolukaturvekangas ja kangasmaanmetsikössä puolukkatyyppi. Sievin koealue oli alun perin ollut neva, jolle puusto oli syntynyt luontaisesti. Kaikki tutkimusmetsiköt olivat Himangan Tokolaa lukuun ottamatta hoidettuja mäntyvaltaisia ensiharvennuspustoja. Koivun osuus puustosta oli suurin (35 %) Himangan metsikössä.

Taulukko 1. Perustietoja koealueista.

Kokeen nimi		Himanka	Sievi	Muhos	Alajärvi turvema	Alajärvi, kiv. maa
Perustamisvuosi		2003	2008	2003	2009	2009
Suotyyppi/metsätyyppi		Ptkg-Mtkg	PtkgII	PtkgII	Ptkg	VT
Turpeen paksuus, cm		20–105	18–100	>150	33–98	-
Ojitus		1970-luku	1960 ja 1980 luku	1930- ja 1950-luku, 1977	1970-luku	-
Männyn osuus puustosta, %		60	90	95	100	100
Puuston ikä, v		60–80	55–60	60–70	40–50	40–50
Puusto	ennen hakkuuta	265	141	150–170	179	174
m ³ /ha	hakkuupoistuma	152	44	60–70	78	56
Korkeus merenpinnasta mpy, m		50	125	71	180	180
Lämpösumma, dd (ka.1995–2004)		1160	1137	1123	1146	1146
Sademäärä, mm (ka.1995–2004)		572	582	554	615	615
Koeruutuja, kpl		24	20	18	15	10
Koeruudun koko, m ²		1500–2000	1600	700–900	1200–1900	1200–1900
Lohkoja, kpl		6	4	4	3	2

2.2 Hakkuukäsittelyt

Hakkuut tehtiin talviaikana. Puustonkäsittelyvaihtoehdot valittiin siten, että metsikköön jääneen hakkuutähteen määrä vaihtelisi laajasti. Normaalisissa ainespuunkorjuussa hakkuutähteet ja latvukset jäivät metsikköön. Hieman pienempää hakkuutähteen määrää tavoiteltiin käsittelyllä, jossa ainespuun lisäksi korjattiin polttoranka. Kokopuunkorjuussa metsiköstä korjattiin koko puu ja suurin osa oksista ja neulasista. Vähiten hakkuutähdettä jäi silloin kun kokopuunkorjuun jälkeen hakkuutähdettä kerättiin käsin pois mahdollisimman tarkoin. Useimmilla koealueilla oli lisäksi harventamaton vertailukäsittely.

Taulukko 2. Tutkimusmetsiköiden hakkuuvaihtoehdot.

Käsittely	Kuvaus
A Ainespuukorjuu	Latvat, oksat ja raivauspuusto jäivät alueelle. Hakkuu yksioteharvesterilla ja metsäkuljetus metsätraktorilla.
A+ Ainespuukorjuu ja polttoranka	Kuten ainespuukorjuu, lisäksi korjattiin polttoranka. Koealueelle jäivät oksat ja lyhyet latvat.
K Kokopuukorjuu	Koko puu oksineen korjattiin koealueelta pois. Hakkuu tehtiin yksioteharvesterilla, jossa katkonta puun tyvestä ja rungon puolivälistä. Karsintaa ei tehty. Metsäkuljetus metsätraktorilla.
K+ Kokopuukorjuu ja käsitydennys	Kuten kokopuukorjuu, mutta jäljelle jääneet hakkuutähteet kerättiin käsin pois koeruuduilta.

2.3 Mittaukset

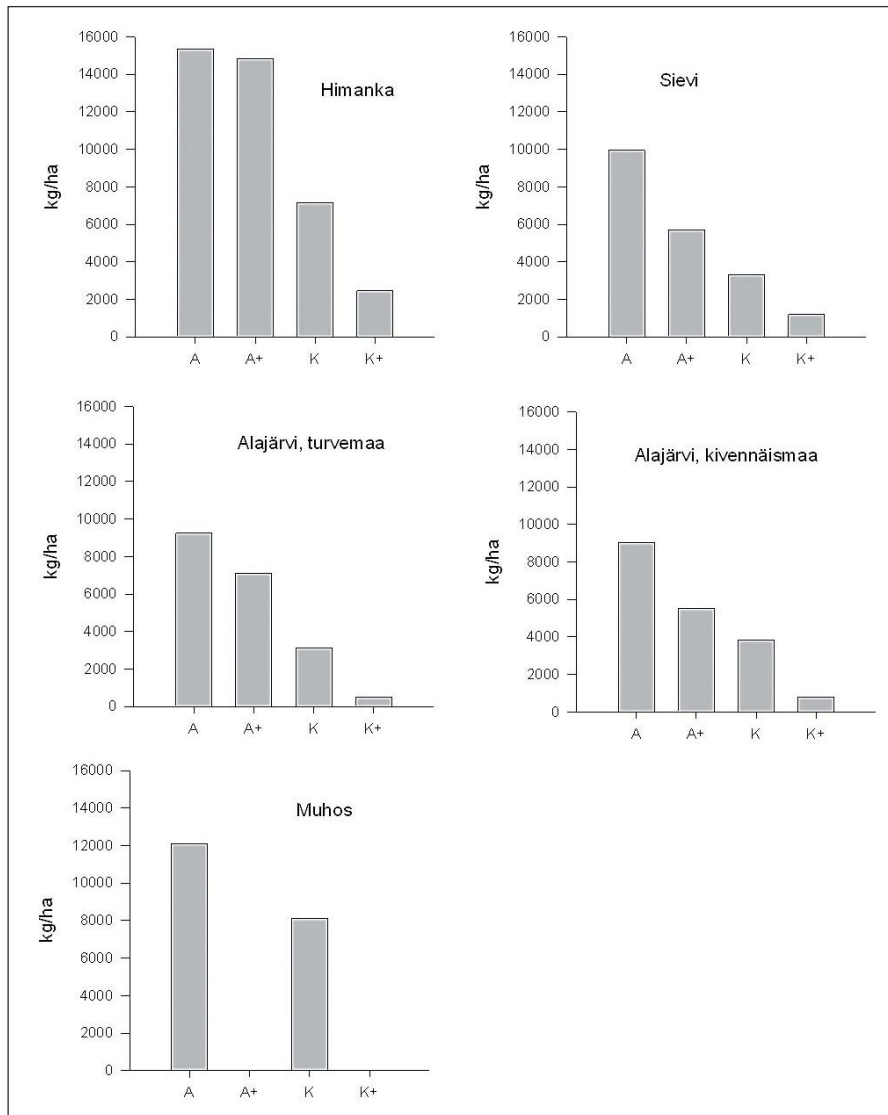
Puusto mitattiin kaikilta kokeilta ennen hakkuuta ja hakkuun jälkeen. Mittaus tehtiin joko ympyräkoealoilta (Himanka: 2 kpl säteeltään 6 m ympyrää per koeala; Muhos: koealan keskelle sijoitetulta säteeltään 8 - 11 m:n ympyrältä) tai ruutujen läpi ulottuvilta kaistoilta (leveys 8 m Alajärvi, 10 m Sievi). Himangalla mitattiin kaikki yli 1,3 m pituiset puut ja muilla kokeilla mukaan tulivat kaikki rinnankorkeusläpimitaltaan yli 4,5 cm:n kokoiset puut.

Hakkuun jälkeen metsikköön jääneen hakkuutähteen määrä mitattiin käsittelyittain punnitsemalla hakkuutähteet 3 m²:n (1 m x 3 m) kokoisilta näytealoilta (15 kpl/koeruutu). Muhoksen kokeella hakkuutähteet punnittiin koeruuduittain niiden keskipisteeseen ja lävistäjille sijoitetuilta viideltä 10 m²:n ympyrältä (säde 178,5 cm). Hakkuutähtenäytteet ositeltiin kolmeen kokoluokkaan (neulaset ja lehdet; 2 mm ja sitä ohuimmat oksat sekä irralliset tuohen ja kuoren palat; yli 2 mm:n oksat), joista kustakin otettiin näytteet kosteuspitoisuus- ja ravinnemäärityksiä varten. Jokaiselta koealueelta kerättiin puiden talvilevon aikaiset neulasnäytteet ravinnepitoisuuksien määrittämistä varten viitenä vuotena hakkuun jälkeen. Lisäksi otettiin maanäytteet maan ravinnemäärien selvittämiseksi.

3 Tulokset

3.1 Hakkuutähteen määrä eri käsittelyillä

Metsikköön jäävän hakkuutähteen määrä vaihteli huomattavasti eri hakkuukäsittelyjen välillä. Määrä oli kaikilla koealueilla suurin normaalissa ainespuukorjuussa ja seuraavaksi suurin polttorangan ja ainespuun yhdistetyssä korjuussa (kuva 2). Kokopuukorjuussa hakkuutähdettä jäi edellisiä vähemmän, mutta selvästi enemmän kuin käsittelyssä, jossa kokopuukorjuun jälkeen poistettiin käsin loput hakkuutähteet.



Kuva 2. Hakkuutähteen kuivapaino koealueilla eri käsittelytavoilla. A = ainespuukorjuu, A+ = ainespuukorjuu ja ranka, K = kokopuukorjuu ja K+ = kokopuukorjuu, täydennetty käsin (kaikki pois).

Alkupuuston määrän ja siitä johtuvan hakkuupoistuman määrän vaihtelu selittivät koealueiden välisiä eroja. Hakkuupoistuma oli suurin Himangalla 152 m³/ha, kun se muilla koealueilla oli 25 - 78 m³/ha. Himangalla myös hakkuutähdettä jäi eniten. Sievin sekä Alajärven koealueilla hakkuutähdettä jäi vain 20 - 65 % Himangan koealueeseen verrattuna.

Metsikköön jäi hakkuutähteitä eniten ainespuuhakkuun jälkeen, Himangalla 15 340 kg/ha ja muilla koealueilla 9 030 - 12 100 kg/ha. Kokopuunkorjuussa ei saatu talteen kaikkia hakkuutähteitä, vaan niitä jäi melko runsaasti koealueille katkenneina pieninä oksina ja neulasina. Hakkuutähteitä jäi kokopuukorjuussa Himangalla 47 %, Sievissä 34 %, Alajärven kivennäismaalla 43 % ja turvemaalla 34 %, ja Muhoksella 66 % verrattuna ainespuukorjuuseen. Polttorangan korjaaminen ainespuukorjuun lisäksi ei pienentänyt paljoakaan jäljelle jääneen hakkuutähteen määrää. Himangalla vähennys oli pienin. Käsityönä täydennetyssä kokopuukorjuussakaan ei kaikkia hakkuutähteitä saatu korjattua. Varsinkin Himangalla jäi hakkuutähteitä vielä runsaasti (lähes 5000 kg/ha). Alajärvellä käsinkeruussa käytettiin haravaa ja hakkuutähteen määrä jäi siksi vähäiseksi (500- 800 kg/ha).

Neulaset ja pienet oksat hajoavat hakkuutähteestä nopeammin kuin isot ja paksut oksat. Metsään jäävä hakkuutähde koostui suurelta osin yli 2 mm:n paksuisista oksista, joita oli koealueesta riippuen 50 - 80 % kuivamassasta. Pienten oksien osuus oli 7 - 32 % ja neulasten osuus 8 - 18 %. Neulasten ja pienten oksien osuus oli suurin käsin täydennetyllä kokopuukorjuulla (37 - 49 %), koska hakkuutähteen kuivamassasta poistettiin käsinkeruussa erityisesti isoja ja paksuja oksia.

3.2 Hakkuutähteen sisältämät ravinnemäärät

Metsään jääneiden hakkuutähteen ravinnemäärät laskettiin hakkuutähteen ravinnepitoisuuksien avulla. Eniten ravinteita koeruuduille jäi ainespuukorjuussa (taulukko 2). Vastaavasti kokopuukorjuussa ja erityisesti käsin täydennetyssä kokopuukorjuussa kasvupaikan ravinnemenetykset olivat suurimmat. Metsikköön eri hakkuutavoissa jääneet ravinnemäärät vaihtelivat koealueittain johtuen hakkuupoistumien vaihtelusta.

Kaliumia on suometsien ravinnetaloudessa pidetty kriittisenä ravinteena kokopuukorjuun kannalta. Kokopuukorjuu vähensi kaliumin määrää ainespuukorjuuseen verrattuna Himangalla 12 kg/ha, Sievissä 7 kg/ha, Alajärven turvemaalla 15 kg/ha ja Alajärven kivennäismaalla 8 kg/ha ja Muhoksella 4 kg/ha.

Taulukko 2. Hakkuutähteissä koealoille jääneet ravinteet, kg/ha. Samalla kirjaimella merkityt keskiarvot eivät poikkea toisistaan tilastollisesti merkitsevästi Tukeyn testin mukaan 0,05 prosentin riskitasolla.

Koealue	Käsittely	Ravinnemäärä, kg/ha					
		N	P	K	Ca	Mg	B
Himanka	Ainespuukorjuu	86a	7a	21a	40a	7a	0,13a
	Ainespuu + latva	71ab	6a	21a	38a	7a	0,12a
	Kokopuukorjuu	35bc	3b	9b	20ab	3b	0,05b
	Kokopuukorjuu+ käsinkeruu	14c	1b	3b	7b	1b	0,02b
Sievi	Ainespuukorjuu	43a	5a	11a	16a	5a	0,05a
	Ainespuu + latva	33a	3b	7b	13a	3b	0,03a
	Kokopuukorjuu	21b	2c	4c	6b	2c	0,02b
	Kokopuukorjuu+ käsinkeruu	9c	1c	2c	3b	1c	0,01b
Alajärvi, turvemaa	Ainespuukorjuu	55a	7a	19a	23a	5a	0,07a
	Ainespuu + latva	39ab	4ab	12ab	16ab	4ab	0,05ab
	Kokopuukorjuu	16bc	2b	4b	8bc	2bc	0,02ab
	Kokopuukorjuu+ käsinkeruu	3c	0,4b	0,9b	1c	0,3c	0,00b
Alajärvi, kiv. maa	Ainespuukorjuu	37	5	16	17	4	0,05
	Ainespuu + latva	33	4	13	15	3	0,04
	Kokopuukorjuu	24	3	8	11	2	0,03
	Kokopuukorjuu+ käsinkeruu	5,2	0,5	1,4	2,2	0,4	0,00
Muhos	Ainespuukorjuu	52	4	12	19	6	0,06
	Kokopuukorjuu	36	3	8	12	4	0,03

4 Tarkastelu

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää kokopuukorjuun vaikutuksia puuston kasvuun ja ravinnetalouteen turvemaiden ensiharvennuksilla. Koska kokeet ovat nuoria eikä puuston kasvumuutoksia suhteessa hakkuukäsittelyyn ole vielä havaittavissa, hakkuutapojen vertailu rajattiin hakkuutähteiden ja ravinnemäärien tarkasteluun. Koesarja tuottaa jatkossa tietoja hakkuun vaikutuksesta neulasten ravinnepitoisuuksiin ja puuston kasvuun.

Kivennäismaille suositellaan jätettäväksi korjaamatta kolmasosa hakkuutähteistä, jotta metsikköön jäisi riittävästi ravinteita turvaamaan jäljelle jääneen puuston kasvua (Kuusinen & Ilvesniemi 2009). Energiapuun korjuuseen turvemailta on ohjeissa ja suosituksissa suhtauduttu hyvin kriittisesti eikä sitä ole suositeltu. Vuonna 2001 ”Biomassan tehostetun talteenoton seurannaisvaikutukset metsässä” -raportissa pääteltiin, että hakkuutähteen korjuu turvemailta ei ole ravinnepölylogisista syistä lainkaan perusteltua (Mälkönen ym. 2001). Myös uusimmissa suosituksissa turvemaille (Hyvän metsänhoidon suositukset ... 2007) korostetaan,

että kokopuukorjuuta voidaan suositella turvemaiden harvennushakkuiden yhteydessä vain, jos puunkorjuussa menetettävät ravinteet korvataan lannoituksella. ”Energiapuun korjuu” -oppaassa (Koistinen & Äijälä 2006) puolestaan rajataan korjuun ulkopuolelle puolukaturvekankaat ja sitä karummat turvemaat. ”Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset” -raportissa (Kuusinen & Ilvesniemi 2008) energiapuun korjuuta ei suositella paksaturpeisille turvemaille, joille ei tule korvaavaa ravinnelisää alla olevasta kivennäismaasta.

Hakkuutähteitä jäi metsään eniten ainespuukorjuussa. Myös talviaikaisessa kokopuukorjuussa hakkuutähteitä (etenkin pieniä oksia neulasineen) jäi kohtalaisen runsaasti. Muhoksen koalueella hakkuutähteiden määrä kokopuukorjuussa oli jopa 66 % ainespuukorjuuseen verrattuna. Siten yleinen käsitys siitä, että kokopuukorjuussa metsästä viedään kaikki puubiomassa, ei pidä paikkaansa. Koalueilla hakkuutähteistä siis jäi metsikköön enemmän kuin kivennäismaiden suosituksen mukainen vähimmäismäärä eli kolmasosa. Tutkimuksen hakkuut tehtiin talvella pakkasten aikaan, jolloin oksat katkeavat helposti. Toisaalta soilla puunkorjuu kesällä on hyvin hankalaa. Kokeessa myös keinotekoisesti vähennettiin hakkuutähteen määrää keräämällä kokopuukorjuun jälkeen hakkuutähteitä käsin pois. Keräämisen jälkeen hakkuutähteiden määrä oli enää 6 - 16 % ainespuukorjuun alueisiin verrattuna.

Koaloille hakkuutähteisiin jääneiden ravinteiden määrä on suhteessa hakkuutähteiden määrään ja niiden jakautumiseen runkopuuhun, oksiin ja neulasiin. Ainespuukorjuussa metsään jäi hakkuutähteiden lisäksi myös eniten ravinteita. Typpi, fosfori, kalium ja boori ovat puuston kasvun kannalta keskeisimpiä ravinteita turvemaille. Toisin kuin kivennäismailla, turvemaille hakkuutähteiden sisältämän typen poistuminen kasvupaikalta ei ole ravinnetaloudellisesti merkittävää, koska soilla turpeeseen on sitoutunut runsaasti typpeä. Suometsien kokopuunkorjuussa on oltu erityisesti huolestuneita kaliumin ja boorin lisääntyvästä poistumisesta kasvupaikalta. Tässä tutkimuksessa kokopuukorjuu vähensi metsään jäävän kaliumin määrää ainespuukorjuuseen verrattuna 33 - 63 %. Tutkimukset ja laskelmat, joissa kokopuunkorjuun on oletettu sisältävän kaikki oksat ja neulasen, yliarvioivat ravinnepoistumia. Esimerkiksi (Kaunisto 1996) laski kokopuukorjuuna tehtävän hakkuun lisäävän kaliumin poistumaa jopa 10 - 15 kg/ha verrattuna normaaliin runkopuun korjuuseen, kun runkopuun kertymä on luokkaa 30 - 40 m³/ha (Kaunisto 1996). Tämän tutkimuksen mukaan käytännön kokopuunkorjuussa ravinteiden poistuma on huomattavasti pienempi, koska hakkuutähteitä jää kasvupaikalle. Kokopuukorjuun jälkeen kaliumia jäi metsikköön koalueesta riippuen 4 - 15 kg/ha. Tästä voidaan päätellä, että erot kasvupaikalle jäävissä kaliummäärissä aines- ja runkopuun ja kokopuukorjuun välillä eivät ole kovin suuria. Lisääntyneen kaliuminpoistuman merkitys puuston ravinnetaloudelle saadaan selville vasta

myöhemmin tehtävillä neulasanalyseillä. Seuraavan 10 - 20 vuoden kuluessa saadaan tarkempi tieto siitä, onko hakkuutähteiden keräämisellä ollut vaikutusta puuston kasvuun.

Vaikka ravinteita jääkin turvemaiden kokopuunkorjuussa kasvupaikalle enemmän kuin on oletettu, kokopuunkorjuuta ei ole syytä tehdä kasvupaikoilla, joilla puilla esiintyy silmin havaittavia ravinnepuutoksia tai jotka ovat kaliumpuutoksen riskialueita (Ptkg/II- ja MtkgII-turvekankaat). Käyttämällä suositeltuja lannoitteita (RautaPK, tuhka) voidaan ravinnepuutokset korvata ja lisätä huomattavasti puuston kasvua.

Kirjallisuus

- Heikkilä J. 2007. Turvemaiden puun kasvatus ja korjuu – nykytila ja kehittämistarpeet. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metlan työraportteja 43.
- Hyvän metsänhoidon suositukset 2006. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. Julkaisusarja 2006/22.
- Hyvän metsänhoidon suositukset turvemaille 2007. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
- Kansallinen metsäohjelma (KMO) 2015. 2009. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 3/2008.
- Kaunisto S. 1996. Massahakemenetelmä ja ravinnepoistuma rämeen ensiharvennusmänniköissä. Julkaisussa: Laiho, O. & Luoto, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Porissa 1995. Parkano: Metsäntutkimuslaitos, Parkanon tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 593, 15-23.
- Kaunisto, S. & Moilanen, M. 1998. Kasvualustan, puuston ja harvennuspoistuman sisältämät ravinnemäärät neljällä vanhalla ojitusalueella. Metsätieteen aikakauskirja – Folia Forestalia 3, 393 – 410.
- Kaunisto, S. & Paavilainen, E. 1988. Nutrient stores in old drainage areas and growth of stands. Seloste: Turpeen ravinnevarat vanhoilla ojitusalueilla ja puuston kasvu. Communicationes Instituti Forestalis Fenniae 145.
- Koistinen, A. & Äijälä, O. 2006. Energiapuun korjuu. Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio.
- Kuusinen, M. & Ilvesniemi, H. (toim.) 2008. Energiapuun korjuun ympäristövaikutukset, tutkimusraportti. [Verkkojulkaisu]. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos: Helsinki: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio. [Viitattu 16.2.2010]. Saatavana: <http://www.metsavastaa.net/energiapuu/raportti>
- Moilanen M., Piironen M.-L. & Karjalainen, J. 1996. Turpeen ravinnevarat metsähallituksen vanhoilla ojitusalueilla. Julkaisussa: Piironen, M.-L. & Väärä, T. (toim.). Metsäntutkimuspäivä Kajaanissa 1995. Muhos: Metsäntutkimuslaitos, Muhoksen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 598, 35-54.
- Mälkönen, E., Kukkola, M. & Finer, L. 2001. Energiapuun korjuu ja metsämaan ravinnetase. Teoksessa Nurmi, J. & Kokko, A. (toim.) Biomassan tehostetun talteenoton vaikutukset metsässä. Kannus: Metsäntutkimuslaitos, Kannuksen tutkimusasema. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 816, 31- 52.
- Tomppo, E. 2005. Suomen suometsät 1951 - 2003. Teoksessa: Ahti, E., Kaunisto, S., Moilanen, M. & Murtovaara, I. (toim.): Suosta metsäksi - suometsien ekologisesti ja taloudellisesti kestävä käyttö. Tutkimusohjelman loppuraportti. Vantaa: Metsäntutkimuslaitos, Vantaan toimintayksikkö. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja 947, 25 – 38.
-

Yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatusta

MMT Matti Sirén

Metsäntutkimuslaitos, Etelä-Suomen alueyksikkö, Vantaan toimipaikka

1 Tavoitteita ei saavuteta nykyisillä toimintamalleilla

Lämpö- ja voimalaitokset käyttivät vuonna 2008 metsähaketta 4,0 milj. m³, metsähakkeen kokonaiskäytön ollessa 4,6 milj. m³. Lähes 60 % metsähakkeesta oli päätehakkuiden hakkuutähdehaketta. Samanaikaisesti metsäteollisuuden sivutuotepuun käyttö oli vuosikymmenen alimmalla tasolla ollen 9,5 milj. m³ (Ylitalo 2009). Puuenergian käytön lisäämiselle asetettujen kunnianhimoisten tavoitteiden saavuttaminen edellyttää pienpuuhakkeen osalta tuotannon kaksinkertaistamista. Pienpuuhakkeen tuotannolla on merkittävät paikalliset sosioekonomiset vaikutukset. Vaikka metsähakkeen korjuun osuus kuutiometreinä on alle 5 % kotimaan puunhankinnasta, osuus työsuoritteesta on yli kymmenes. Metsähakkeen korjuulla voidaan tasoittaa puunkorjuun kausi- ja jossakin määrin myös suhdannevaihtelua. Kesällä 2009 ainespuun korjuun ollessa hyvin alhaisella tasolla metsähakkeen korjuu antoi työtä monille koneyrityksille.

Nykyisin pienpuuhakkeesta suurin osa korjataan nuoren metsän kunnostuskohteilta, joille valtio myöntää tukea nuoren metsän hoitoon, energiapuun korjuuseen ja haketukseen. Nuoren metsän hoidon laiminlyönti johtaa ylitiheään ja ainespuuleimikolle epätaloudelliseen poistumarakenteeseen, jolloin kannattavaksi vaihtoehtoksi saattaa jäädä energiapuuharvennus eli koko ensiharvennuspoistuman ohjaaminen energiapuuksi. Hoitamattomien kohteiden vaikeat korjuuolot johtavat korkeisiin korjuukustannuksiin ja sitä kautta energiapuun alhaiseen kantohintaan. Energiapuuharvennus myös korvaa ensiharvennuksen, joten metsänomistajan kantorahatulot kiertoaikana jäävät pienemmiksi kuin kohteissa, joissa taimikonhoito on tehty ajallaan.

Pienpuuhakkeen lisääntyvää tarvetta ei voida tyydyttää nykyisillä toimintamalleilla. Laitosten raaka-ainehuolto ja yrittäjien investoinnit eivät voi perustua oletukseen, että taimikonhoidon laiminlyönnit paikataan tuilla, jotka pahimmillaan saattavat jopa rohkaista taimikonhoidon laiminlyönteihin. Nykyiset metsänkasvatustavoitteet on laadittu aikana, jolloin energiapuu oli ´rojupuuta´, kun se nykyisin on puutavaralaji puutavaralajien joukossa. Nyt tarvitsemmekin energiatuotantoon tarkoitettua biomassan kasvatusta lisäämistä eri muodoissaan. Osalla kasvupaikoista metsänomistajalle on tarjolla vaihtoehto, jossa energiapuuta kasvatetaan

suunnitelmallisesti aiheuttamatta menetyksiä ainespuun kasvatuksessa. Kyse ei ole dramaattisesta muutoksesta, vaan pikemminkin metsän tuottokyvyn paremmasta hyödyntämisestä.

2 Simulaattori mahdollistaa kasvatusvaihtoehtojen vertailun

Seuraavassa esitetään Metsäntutkimuslaitoksen, Maa- ja metsätalousministeriön, Tekesin ja metsäteollisuusyritysten rahoittaman tutkimushankkeen *’Energiapuun osaksi metsänkasvatustietoa’* tuloksia, jotka on tarkemmin raportoitu julkaisussa Heikkilä ym. (2009). Yhdistetyn aines- ja energiapuun kasvatuksen mahdollisuuksia selvitettiin aineistolla, joka käsitti 22 mäntyvaltaista ja 21 kuusivaltaista kivennäismaan taimikkoa, joissa puuston tiheys oli yli 4000 runkoa/ha. Männyllä kasvupaikka oli joko kuivahko tai tuore kangas, kuusikoilla puolestaan tuore tai lehtomainen kangas.

Mäntyvaltaiset taimikot olivat luontaisesti syntyneitä, kylvettyjä ja istutettuja, kun taas kaikki kuusen taimikot olivat istutettuja. Taimikoissa oli vaihteleva määrä havu- ja lehtipuita, koska taimikoiden varhaishoitoa ei ollut tehty.

Metsien kehitystä ennustettiin Metsäntutkimuslaitoksessa kehitetyllä *Motti-ohjelmistolla* (Hynynen ym. 2005). Motti-ohjelmisto on metsikkötason simulaattori, jonka avulla voidaan arvioida vaihtoehtoisten metsänkäsittelyjen vaikutusta metsikön puuntuotokseen ja taloudelliseen tulokseen. Yksittäisten puiden syntymistä, kasvua ja kuolemista kuvaavilla malleilla kuvataan metsikön kehitystä. Puukohtaisilla malleilla voidaan tarkastella puiden reagoitua erilaisiin metsänkäsittelyihin ja olosuhteisiin. Mallit on laadittu koko maan kattaviksi, ja niiden laadinnassa on käytetty yli 3 000 kivennäismaan ja 1 400 turvemaan toistuvasti mitattua koealaa. Metsikkösimulaattori ottaa huomioon paikalliset olosuhteet, kuten lämpösumman, sijaintipaikan korkeuden sekä kasvupaikan tuotoskyvyn. Ohjelmistolla voidaan arvioida mm. puun hintojen ja korkokannan vaikutusta metsänkäsittelyvaihtoehtojen kannattavuuteen. Ohjelmiston kasvuennusteet on todettu luotettaviksi ja sillä voidaan luotettavasti vertailla metsiköiden kasvatusvaihtoehtoja. Ohjelmistolla voidaan myös ennustaa energiapuun korjuussa biomassan mukana poistuvan typen vaikutusta jäävän puuston kehitykseen.

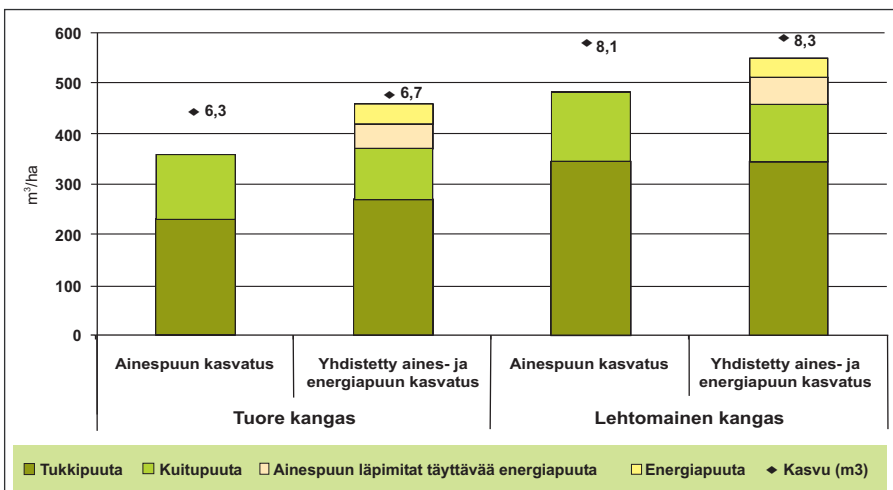
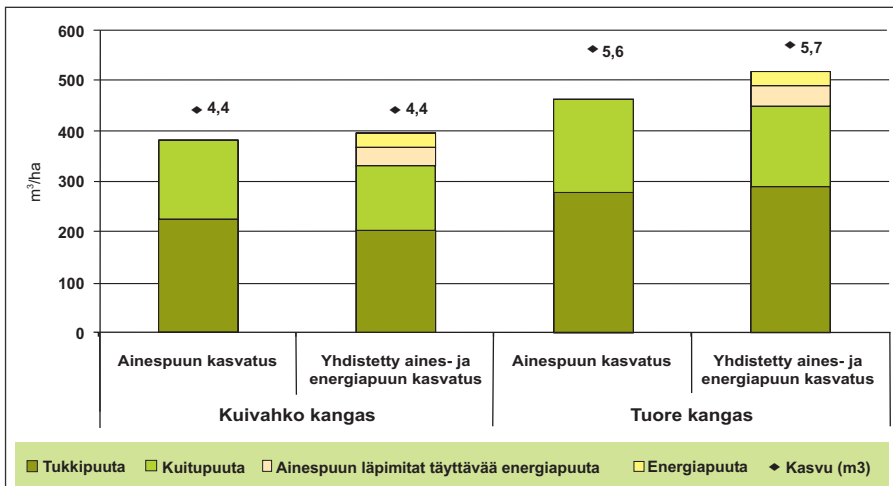
3 Ainespuun tuotannosta ei tarvitse tinkiä

Tutkimuksessa verrattiin nykyohjeiden mukaista ainespuun kasvatusketjua yhdistettyyn aines- ja energiapuun kasvatukseen. Ainespuun kasvatusketjussa taimikon harvennus tehtiin 5 m pituudessa ja harvennuksessa jätettiin männiköissä 2000 ja kuusikoissa 1800 puuta hehtaarille. Ensiharvennus tehtiin männiköissä 11 - 13 m valtapituudessa, ja metsikköön jätettiin 1000 puuta/ha. Kuusikoissa ensiharvennus tehtiin 13 metrin valtapituudessa ja jätettiin 900 puuta/ha.

Yhdistetyssä aines- ja energiapuun tuotannossa taimikon harvennus tehtiin männiköissä noin 5 metrin ja kuusikoissa 3 - 5 metrin pituudessa. Kasvamaan jätettiin 3 000 - 4 000 puuta/ha, joista mahdollisimman suuri osa havupuuta. Täydennykseksi jätettiin siemensyntyisiä lehtipuita. Havupuun taimille jätettiin 1 - 1,5 metrin etumatka poistamalla etukasvuiset lehtipuut.

Ensi-/energiapuuharvennuksen jälkeen metsikön kasvatusta ja hoitoa jatkettiin metsänhoitosuosituksen mukaisesti. Harvennukset tehtiin heti, kun harvennusmallin mukainen leimausraja ylittyi. Harvennukset toteutettiin alaharvennuksena ja niiden voimakkuus asetettiin harvennusmallien puoleen väliin. Päätehakkuu tehtiin järeyskriteerin täytyessä.

Yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatusta ei vähennä ainespuun tuotantoa (kuva 1). Keskimääräinen vuotuinen kasvu vaihtelee eri kasvatusvaihtoehtojen välillä hyvin vähän, ja yhdistetyssä aines- ja energiapuun kasvatuksessa keskikasvu ja kiertoajan kokonaistuotos ovat suuremman tiheyden vuoksi hieman korkeammat kuin ainespuuvaihtoehdossa. Puulajilla ja lämpösummalla on merkittävämpi vaikutus kasvuun kuin kasvatusvaihtoehdoilla.



Kuva 1. Yläkuvassa on männiköiden ja alakuvassa kuusiköiden kiertoajan puuntuotanto eri kasvatusvaihtoehdoissa.

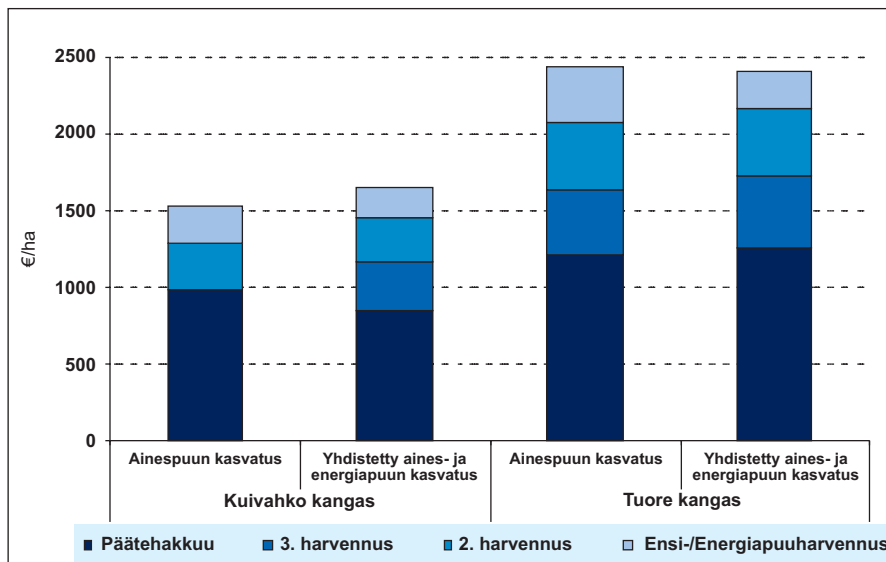
Toimenpiteiden ajankohdat, kantorahatulot ja korjuukustannukset sekä käytetty laskentakorko vaikuttavat oleellisesti kasvatusketjujen taloudelliseen kannattavuuteen. Päätehakuu tehtiin järeyskriteerin täytyessä ja kiertoajat eri kasvatusketjujen välillä vaihtelevat jonkin verran. Kasvatusvaihtoehtojen kiertoajat poikkesivat toisistaan enimmillään vain muutamia vuosia.

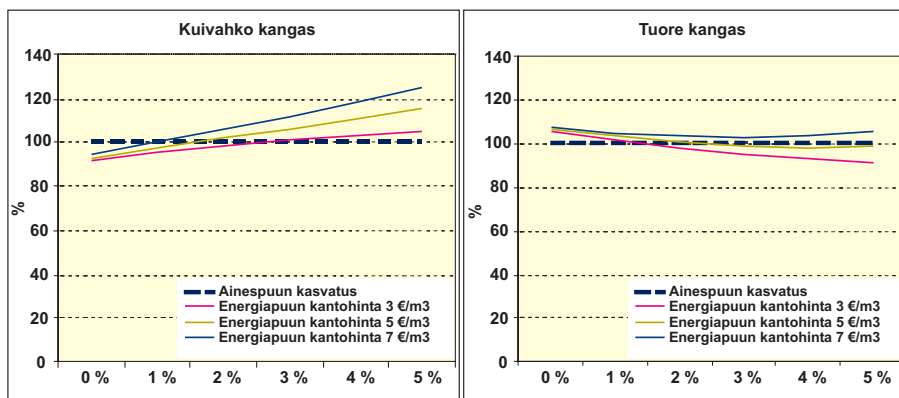
Eri käsittelyvaihtoehtojen taloudellista kannattavuutta tarkasteltiin diskonttaamalla kiertoajan kantorahatulot taimikonharvennuksen ajankohtaan, jolloin metsänomistaja valitsee metsänkasvatusketjun. Kantohintoina käytettiin taulukossa 1 esitettäviä hintoja. Männiköissä oletettiin, ettei ensiharvennuksesta saada tukkipuuta.

Taulukko 1. Laskelmissa on käytetty seuraavia kantohintoja.

Puutavaralaji	Minimi-läpimitta, cm	Kantohinnat, €/m ³	
		Ensiharvennus	Muut hakkuut
Mäntytukki	15	-	44
Kuusitukki	16	41	46
Koivutukki	18	-	40
Mäntykuitupuu	6	10	12
Kuusikuitupuu	7	17	21
Koivukuitupuu	6	10	12

Energiapuun kantohinta oli 5 €/m³ ja energiapuuharvennuksessa myös ainespuun mitat täyttävät puut korjattiin energiapuuksi. Kemera-tukien oletettiin olevan mukana käytetyssä kantohinnassa. Herkkyysanalyysissä selvitettiin lisäksi energiapuun kantohinnan vaikutusta vaihtoehtojen kannattavuuteen. Kasvatusvaihtoehtojen kannattavuus metsänomistajalle sekä energiapuun hinnan ja laskentakoron vaikutus kasvatusvaihtoehtojen suhteelliseen kannattavuuteen männiköissä on esitetty kuvissa 2–3.

**Kuva 2.** Harvennusten ja päätehakkuun kantorahatulot männiköissä, kun energiapuun kantohinta on 5 €/m³ ja laskentakorko 3 %.

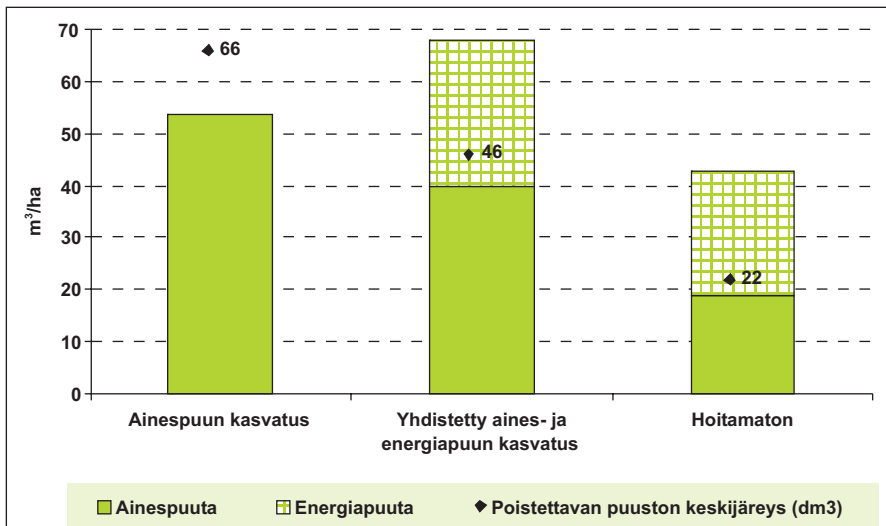


Kuva 3. Energiapuun kantohinnan ja laskentakoron vaikutus kasvatusvaihtoehtojen kannattavuuteen männiköissä. (100 % = Ainespuun kasvatusta vaihtoehto johon muutosta verrataan).

Yhdistetyn aines- ja energiapuun kasvatuksen kannattavuus on ainespuun kasvatuksen tasolla kuivahkolla kankaalla, kun energiapuun kantohinta on 3 €/m³ ja tuoreella kankaalla, kun energiapuun kantohinta on 5 €/m³. Kuusikoissa energiapuun kantohinnan pitäisi olla 8 - 9 €/m³, jotta yhdistetty kasvatusta olisi kannattavaa. Tehdyssä tarkastelussa oli oletuksena, että korjuu tehdään kokopuuna ja että koko energiapuuharvennuksen kertymä on energiapuuta. Integroitu korjuu, jonka menetelmät ovat voimakkaasti kehittymässä ja jossa aines- ja energiapuuosite otetaan erilleen, parantaa yhdistetyn kasvatuksen kannattavuutta erityisesti kuusikoissa, joissa energiapuun ja kuitupuun hintaero on suuri.

4 Yhdistetty kasvatusta mahdollistaa hyvät korjuuolot

Ensiharvennusrästit johtuvat suurelta osin siitä, etteivät korjuuoloiltaan huonoimmat kohteet houkuttele puunostajia. Kuvassa 4 esitetään harvennuskertymä ja poistettavien runkojen keskikoko hoidetuissa ensiharvennuskohdeissa, yhdistetyn kasvatuksen energiapuuharvennuksissa ja hoitamattomien kohteiden energiapuuharvennuksissa. Hoitamattomien kohteiden suurin ongelman on pieni runkokoko, joka johtaa korkeisiin korjuukustannuksiin. Vaikka hoidetuissa kohdeissa ensiharvennusten korjuuolot ovat jo nykyäänkin kohtuulliset, yhdistetyssä kasvatuksessa energiapuuharvennusta seuraava harvennusta päästään tekemään jo hyvinkin kelvollisissa korjuuoloissa. Erityisesti korjuukustannuksiin oleellisesti vaikuttava poistettavien runkojen keskikoko on hyvä.



Kuva 4. Harvennuskertymä ja poistettavien runkojen keskikoko hoidetuissa ainespuuensiharvennuksissa, yhdistetyn kasvatuksen energiapuuharvennuksessa ja hoitamattomien kohteiden energiapuuharvennuksessa.

5 Useiden miljoonien kuutiometrien potentiaali ei saa jäädä hyödyntämättä

Yhdistetty aines- ja energiapuun korjuu antaa mahdollisuuden tuottaa huomattavia määriä energiapuuta ainespuun tuotannosta tinkimättä. Jo alhaisella energiapuun kantohinnalla yhdistetty kasvatusta on männiköissä metsänomistajalle kannattava ja vähäriskinen vaihtoehto. Kuusikoissa kuitupuun hinta on korkeampi kuin männiköissä, ja kuusikoissa energiapuulle tarvitaan lähes 10 €/m³ kantohinta, jotta yhdistetty kasvatusta olisi kilpailukykyistä. Kuusikoissa täytyy muistaa myös korjuuvaurioiden ja ravinetappioiden aiheuttamat riskit. Huomattava osa energiapuuharvennuksen kertymästä on kuitupuuta. Korjuu voidaan tehdä myös integroituna, jolloin kuitupuuosion parempi hinta lisää yhdistetyn kasvatusta kannattavuutta erityisesti kuusikoissa. Tulevien biojalostamojen joustavuus raaka-aineen käytössä mahdollistaa korjuun rationalisointia metsäpäässä.

Metsikön nuoruusvaiheen kasvatustiheys vaikuttaa selvästi puuston laatuun männiköissä. Yhdistetty kasvatusta muistuttaakin käsittelyiltään paljon männyn laatuksivatusta. Nyt tehdyissä taloudellisissa vertailuissa laatua ei ole otettu huomioon. On kuitenkin todennäköistä, että tulevaisuudessa puun laatuero näkyvät nykyistä enemmän myös tukkipuun hinnoissa.

Kokopuun korjuussa metsästä poistuu ravinteita huomattavasti enemmän kuin ainespuun korjuussa. Kokopuuna tapahtuvalla energiapuuharvennuksella on vai-

kutuksia maaperään ja myös jäävän puuston kasvuun. Hakkuutähteiden korjuun seurauksena syntyvän ravinnemenetyksen vaikutus vaihtelee metsikön kehitysvaiheen, kasvupaikan ja puulajin sekä poistuneen hakkuutähdemäärän mukaan. Energiapuuharvennuksessa kokopuukorjuu ei kuitenkaan ole ainut vaihtoehto. Energiapuuta voidaan korjata myös karsittuna rankana, jolloin osa hakkuutähteistä jää metsään. Edellä esitetyt tuotosvertailut sisältävät energiapuun korjuun aiheuttaman kasvutappion. Motti-ohjelmisto ennustaa energiapuun korjuussa poistuvan biomassan määrän ja sen mukana poistuvan typen vaikutukset jäävän puuston kehitykseen. Ohjelmisto käyttää energiapuun määrän laskennassa biomassayhtälöitä, jotka antavat puun eri osien kuivamassan. Energiapuun tilavuus lasketaan kuivamassan ja neulasten sekä elävien ja kuolleiden oksien kuivatuoretiheyksien avulla. Kokopuukorjuussa metsästä poistuvan typen määrä lasketaan poistettavien osioiden kuivamassan ja typpipitoisuuksien avulla. Typen niukkuus on keskeinen kasvua rajoittava tekijä kangasmailla.

Pienpuuhakkeen lisääntyvää kysyntää ei voida tyydyttää nykyisillä toimintamalleilla. Hoitamattomien kohteiden korjuu on kannattavaa ainoastaan tukien avulla. Yhdistetty aines- ja energiapuun kasvatusta antaa mahdollisuuden tuottaa vuositasolla useita miljoonia kuutiometrejä energiapuuta, joka päästään korjaamaan kohtuullisista korjuuoloista. Samalla parannetaan ainespuuharvennusten korjuuoloja ja tukkipuun laatua männiköissä. Tällaista mahdollisuutta meidän ei kannata jättää hyödyntämättä.

Kirjallisuus

- Heikkilä, J., Sirén, M., Ahtikoski, A., Hynynen, J., Sauvula, T. & Lehtonen, M. 2009. Energy wood thinning as a part of the stand management of Scots pine and Norway spruce. *Silva Fennica* 43(1), 129 – 146.
- Hynynen, J., Ahtikoski, A., Siitonen, J., Sievänen, R. & Liski, J. 2005. Applying the MOTTI simulator to analyse the effects of alternative management schedules on timber and non-timber production. *Forest ecology and management* 207, 5 - 18.
- Ylitalo, E. 2009. Puun energiakäyttö 2009. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos. Metsätilastotiedote 15/2009.

Energianpuun korjuu kuusen väliharvennuksilta

MMM Otto Läspä, MMM Kati Sammallahti & MMT Juha Nurmi
Metsäntutkimuslaitos, Länsi-Suomen alueyksikkö, Kannuksen toimipaikka

1 Johdanto

Suomi on uusiutuvien energialähteiden ja erityisesti bioenergian hyödyntämisessä maailman johtavia maita. Uusiutuvat energiamuodot kattavat yli neljänneksen Suomen lämmön ja sähkön tuotannosta. Suomessa käytettävistä uusiutuvista energiamuodoista tärkeimpiä on bioenergia, erityisesti puupolttoaineet (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010). Vuonna 2008 puupolttoaineiden osuus kokonaisenergian kulutuksesta oli 21 % (turve 6 %, vesivoima 4 %) (Tilastokeskus 2010). Kansallisen energia- ja ilmastostrategian tavoitteena on edelleen lisätä uusiutuvien energialähteiden käyttöä ja osuutta energian kulutuksesta. Vuonna 2008 uusiutuvan energian osuus energian kokonaiskulutuksesta oli 28 % ja vuoteen 2020 mennessä tavoitteena on sen osuuden olevan 38 % (Työ- ja elinkeinoministeriö 2010).

Suomessa metsäbiomassalla on uusiutuvista energialähteistä parhaat edellytykset kasvattaa osuuttaan. Tähän mennessä erilaista metsäbiomassaa, kuten pienikokoista energiapuuta, hakkuutähteitä ja kantoja, on kerätty jo yleisesti ensiharvennuksilta sekä päätehakkuilta, mutta väliharvennukset ovat toistaiseksi jääneet vielä hyödyntämättä. Vuonna 2007 väliharvennuksia tehtiin 209 800 ha, kun ensiharvennuksia tehtiin 205 700 ha. Kuusen osuus väliharvennuksista oli 56 600 ha (Metsätilastollinen vuosikirja 2008). Tähän biomassareserviin keskityttiin tässä tutkimuksessa.

Jotta hakkuualalta saadaan hyödynnettäväksi kelpaavaa hakkuutähdettä, on hakkuumenetelmän (kuva 1) oltava tähän tarkoitukseen sopiva. Käytännössä tämä sulkee ns. perinteisen harvennushakkuun ainespuumenetelmän pois, sillä kyseisessä menetelmässä runko karsitaan koneen edessä, jolloin hakkuutähteet jäävät ajouralle ja tulevat hakkuukoneen yliajamiksi. Energiapuukorjuussa runko karsitaan hakkuukoneen vierellä, jolloin hakkuutähteet kerääntyvät ajouran varteen omaksi tavaralajikseen kasaan ja energiaksi menevät jakeet saadaan onnistuneesti korjattua pois metsästä. Menetelmä mahdollistaa myös ainespuun ja kuitu-/energiapuun laittamisen omiin kasoihinsa.



Kuva 1. Perinteinen ainespuumenetelmä (vasemmalla) sekä energiapuukorjuumenetelmä (oikealla).

Hakkuutähte voidaan kerätä metsästä joko irtotavarana tai paaleina. Irtotavarana korjaaminen on lyhyillä kaukokuljetusmatkoilla kannattavampaa, koska tuotantokustannukset ovat pienempiä. Paalaamisen kannattavuus paranee kuljetusetäisyyden kasvaessa, koska yhden autokuorman paalien suuremmasta tiheydestä johtuva suurempi energiasisältö kompensoi niiden korkeammat tuotantokustannukset. Tässä tutkimuksessa näistä kahdesta tarkasteluun otettiin hakkuutähteen paalaukseen perustuvat menetelmät.

Hakkuutähteen paalaus- eli risutukkitekniikka on alun perin kehitetty Ruotsissa, jossa kehitys on lähtenyt liikkeelle heinäpaalaimista. Ensimmäinen hakkuutähdepaalain oli Bala Press AB ja Trädenergi Väst AB kehittämä paalain (Andersson & Brunberg 1996). Ensimmäinen Suomeen tuotu paalain oli Fiberpac 370, jonka pohjalta Timberjack alkuperäiset tuoteoikeudet ostettuaan on kehittänyt 1490D-paalaimen (Kärhä ym. 2004).

Hakkuutähteen lisäksi tulevaisuudessa väliharvennuksilta tullaan mahdollisesti nostamaan myös kantoja. Vuonna 2007 kantoja käytettiin kaikkiaan energiaksi Suomessa 0,56 TWh edestä (Metsätilastollinen vuosikirja 2008). Kannonnostossa vallitsevana menetelmänä ovat telakaivinkoneeseen kiinnitetyt erilaiset kantoharat, jotka ovat osoittautuneet toimiviksi ratkaisuksi päätehakkuilla. Kaivinkone ei peruskoneena kuitenkaan sovellu yhtä hyvin harvennushakkuille kuin erilaiset pyöräajoneuvot. Tästä syystä kokeiltavana oli Timberjack 1270 -harvesteriin kiinnitetty kantokaira.

Tavoitteet

Tavoitteena oli saada vastaus kolmeen tutkimusongelmaan:

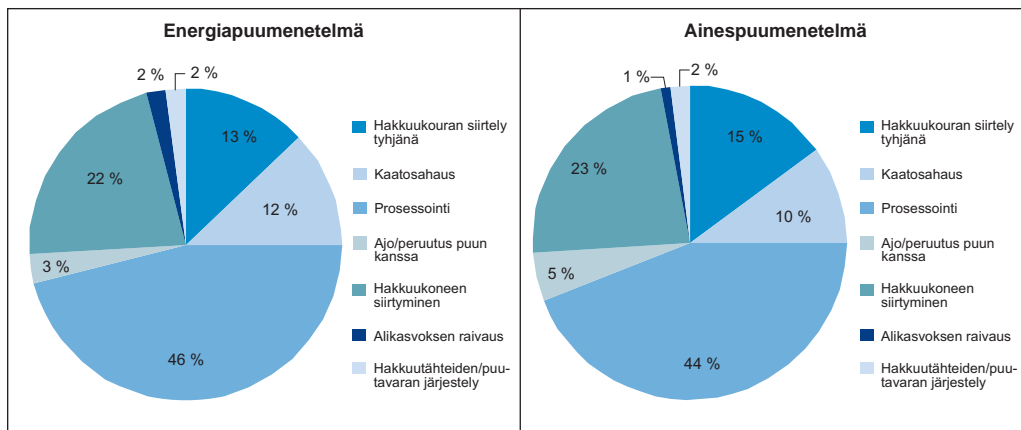
- Vaikuttaako energiapuun talteenotto hakkuukoneen tuottavuuteen ja hakkuutyön ajankäytön jakautumiseen kuusikon väliharvennuksella?
- Soveltuuko päätehakkuitten hakkuutähteen paalaukseen suunniteltu paalain harvennuksille ja millainen on sen tuottavuus?
- Onko kannonnosto mahdollista väliharvennuksilla ja soveltuuko kantokaira tähän tarkoitukseen?

2 Koejärjestelyt ja tulokset

2.1 Hakkuutyö

Kesän 2008 sekä talven 2009 aikana suoritetuissa hakkuissa hakattiin yhteensä 13,8 hehtaaria kuusimetsää, joista noin kymmenen hehtaaria hakattiin energiapuumenetelmällä ja loput noin kolme hehtaaria perinteisellä ainespuumenetelmällä. Keskimääräinen puuston rinnankorkeusläpimitta oli 21 cm ja pituus 19 metriä. Runkojen lukumäärä hehtaaria kohden oli keskimäärin 674. Puuston keskimääräinen tilavuus puolestaan oli 256 m³/ha ja yksittäisen rungon koko oli 382 litraa. Hakkuukokeen yhteydessä kahdelta kuviolta laskettiin hakkuun aiheuttamat vauriot. Hakkuut kuvattiin videokameralla ja saadusta materiaalista tehtiin aikatutkimus Ari Laurénin *A_aikakone* (versio 1.03) aikatutkimussovelluksella. Hakkuutyön aikatutkimusaineisto oli kestoltaan 20 h.

Hakkuumenetelmien välillä havaittiin tuottavuudessa noin 10 prosentin ero perinteisen ainespuumenetelmän hyväksi. Tehotuntituotos perinteisellä menetelmällä oli 36,2 m³/ha, kun se energiapuumenetelmällä oli 32,6 m³/ha. Tehoajan jakaumat eri hakkuumenetelmillä ovat esitettyinä kuvassa 2.



Kuva 2. Hakkuukoneen tehoajan jakauma hakkuumenetelmittäin.

Erot hakkuun ajankäytön jakaumissa eivät olleet suuria ja koealakohtaista vaihtelua esiintyi jonkin verran. Perinteisellä ainespuun menetelmällä hakattaessa oli prosessoinnin sekä kaatosahauksen osuus muutaman prosentin suurempi kuin energiapuun menetelmällä hakattaessa, jota käytettäessä aikaa kului enemmän puolestaan hakkuukouran siirtelyyn sen ollessa tyhjänä sekä hakkuukoneen siirtymiseen sekä tyhjänä että puun ollessa kourassa.

Hakkuun jälkeisessä vaurioinventoinnissa jokainen puu tarkastettiin yksitellen. Perinteisellä menetelmällä hakatulla alalla (1,49 ha) oli yhteensä kolme vauriota kun energiapuun menetelmällä (1,48 ha) hakattaessa vaurioita tuli 12 kappaletta. Saadusta tuloksesta ei kuitenkaan voida vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä, sillä kyse on ainoastaan kahden kuvion keskinäisestä vertailusta.

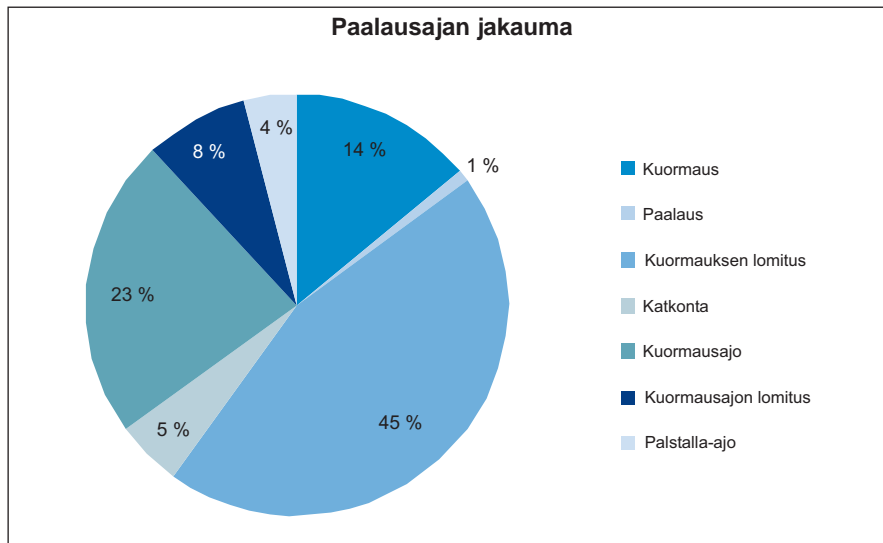
2.2 Paalaus

Paalauskoeket suoritettiin kesällä 2008 kuusikon väliharvennuksella. Koealojen pinta-ala oli yhteensä 8,7 hehtaaria. Paalaus suoritettiin Timberjack 1490D-paalaimella, jolla saatavien paalien pituus on 3 metriä ja halkaisija 60 - 80 cm (John Deere Forestry 2010). Hakkuutähteen paalaus videoitiin ja kuvamateriaalia kertyi 10 tuntia.

1490D sitoi paalit 5 - 7 kohdasta. Paalien keskimääräinen paino oli 559 kg. Paalien suuren painon selittää niiden suuri kosteus, sillä kesä 2008 oli hyvin sateinen, ja sekä hakkuun että paalauksen aikana satoi usein. Yhden paalin tekemiseen kului aikaa 3 min 2 s ja yhteensä paaleja saatiin 218 kappaletta. Saanto väliharvennukselta oli 26 paalia/ha ja 19,7 paalia/h. Väliharvennuksella suoritettussa paalauksessa jäätin tuotoksessa pienempiin saantoihin kuin mitä päätehakkuulla

suoritetussa paalauksessa (Kärhä ym. 2004) ja lisäksi aikaa kului noin minuutti enemmän paalia kohti kuin päätehakkuualalla.

Kuvassa 3 on esitetty, kuinka paalaus aika jakautuu eri työvaiheiden kesken. Selvästi eniten tehotyöajasta kului kuormauksen lomitukseen (45 %). Kuormauksen lomitus työvaiheena pitää sisällään yhtäaikaisen kuormaamisen ja paalaamisen sekä mahdollisesti myös paalin katkonnan. Seuraavaksi eniten työajasta vei kuormausajon lomitus (23 %), jossa ajon ohella paalataan tai kuormataan.



Kuva 3. Paalausajan jakauma kuusikon väliharvennuksella.

Tästä huolimatta väliharvennukselta saadut tulokset olivat rohkaisevia. Paalaus onnistui myös paalainkuljettajan mielestä hyvin. Hänen mielestään tähteet olivat hyvin kasoilla ja ajouralla oli riittävästi tilaa isolle koneelle. Yksi onnistuneen paalauksen edellytyksistä onkin hakkuutähdekasojen hyvä kunto ja sijainti. Kuljettaja oli myös tyytyväinen tuottavuuteen ja vaurioiden vähäisyyteen.

Paalaimen aiheuttamat vauriot tarkastettiin kaikista puista 8,7 hehtaarin alueelta. Paalaimesta oli aiheutunut runkovaurioita ainoastaan neljälle puulle koko alueella, mikä tekee 0,5 vauriota/hehtaari. Tämä vastaa 0,1 % jäljelle jääneestä puustosta. Vaurioiden määrä on todella alhainen, sillä esimerkiksi hakkuutyö aiheutti keskimäärin 11,8 vauriota/hehtaari, joista $\frac{2}{3}$ oli runkovaurioita. 73 % hakkuutyön yhteydessä tulleista vaurioista oli kaatoon ja prosessointiin liittyviä.

2.3 Kannonnosto väliharvennuksilta

Kannonnostokoe suoritettiin MT-tyyppin kuusikon väliharvennuksella. Koealueen koko oli 0,7 hehtaaria ja alueella oli 189 nostettavaksi merkittyä kantoa, jotka oli paikannettu, numeroitu ja joiden läpimitta oli mitattu. Kantojen halkaisija vaihteli 13 ja 46 cm välillä, keskiarvon ollessa 29,8 cm. Kaikki työvaiheet kuvattiin videokameralla ja tästä kuvamateriaalista tehtiin aikatutkimus.

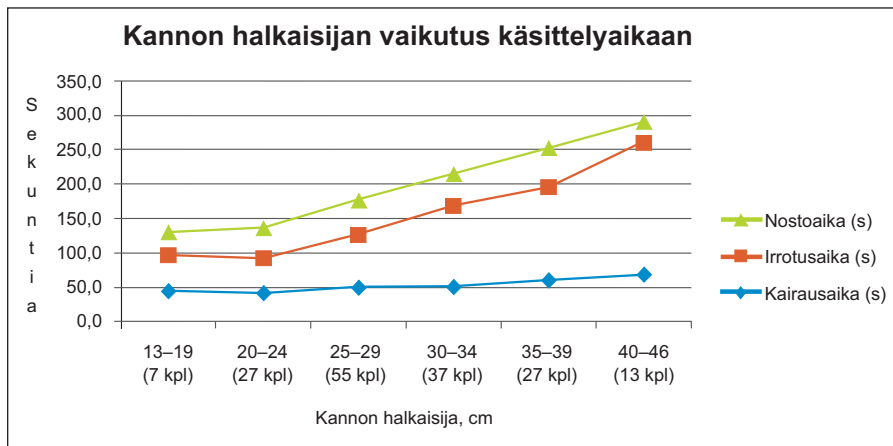
Kairausaika mitattiin 188 kannosta, yhden kannon luo ei harvesteri päässyt maastosta ja jäävästä puustosta johtuen. Kairauksen jälkeen kannot numeroitiin uudestaan niiden kantojen osalta, joista numerolappu oli kairauksen aikana kadonnut. Tutkimuksessa käytetty kantokaira on esitetty kuvassa 4.

Tämän jälkeen kannot revittiin irti maasta Valmet 860.1 -kuormatraktorin hakkuutähdekouralla. Irrotukseen kului kaikkiaan noin 9 tuntia. Kaikkia kantoja ei kyetty tunnistamaan enää irrotuksen aikana ja lisäksi pari kantoa jäi irtoamatta maasta johtuen riittämättömästä kairauksesta tai kannon sijainnista kiven päällä tai väleissä. Täten kairausaika saatiin yhdistettyä 170 kantoon.



Kuva 4. Kantokaira.

Kuvassa 5 on esitetty kannonnostoon keskimäärin kulunut aika läpimittaluokittain. Alin käyrä esittää kairausajan läpimitan funktiona (188 kantoa). Seuraava käyrä esittää samoin irrotusajan (170 kannosta). Kolmas käyrä, eli nostoaika (kairaus ja irrotus kantokohtaisesti yhteenlaskettuna) laskettiin 166 kannosta. Kairaus- ja irrotusajat eivät summaudu suoraan nostoajaksi johtuen yllä mainituista eroista kelloitetujen kantojen määrissä.



Kuva 5. Kannon halkaisijan vaikutus käsittelyaikaan.

Irrotuksen jälkeen kannot kuljetettiin tien varteen samalla kuormatraktorilla millä ne revittiinkin. Kannoista tuli kaikkiaan seitsemän kuormaa, joista viimeinen oli vajaa. Kuuden täyden kuorman lastaamisessa, kuljetuksessa ja purkamisessa meni keskimäärin 36,5 min kuormaa kohden. Viimeisessä, vajaassa, kuormassa meni noin 16 min. Yhteensä metsäkuljetus siis vei noin 4 tuntia.

Keskimäärin yhden kannon käsittelemiseen aikaa kului yhteensä 3 min 18 s ja kantoja kertyi 22 610 kg, mikä vastaa 32 300 kg hehtaarisäntöä. Verrattaessa näitä tuloksia päätehakkuualueelta kaivurilla ja kantoharalla nostettuihin kantoihin huomataan kolminkertainen ajanmenekki väliharvennuksella verrattuna avohakkuualueelta nostettuihin kantoihin (taulukko 1).

Taulukko 1. Kannonnostokohteiden ja -menetelmien vertailu.

	väliharvennus ja kantokaira	avohakkuu ja kantohara
Ajanmenekki/kanto:	3 min 28 s	1 min 10 s
Kertymä/hehtaari	32 300 kg	noin 80 000 kg

Koealueella tehtiin kannonnoston jälkeen vaurioinventointi, jossa selvitettiin jäävälle puustolle aiheutuneet juuristo- ja runkovauriot sekä mitattiin satunnaisotannalla valittujen kantokuoppien koko. Juuristovaurioksi laskettiin yli 3 cm paksuisen juuren katkeaminen. Näitä vaurioita löydettiin yhteensä 20 eri puusta. Kaikkiaan katkenneita juuria oli 28 kappaletta, eli keskimäärin 1,4 juurta oli katkennut yhtä vaurioitunutta puuta kohden. Juuristovaurioiden lisäksi yhdessä puussa oli kantojen nostosta aiheutunut runkovaurio ja kahdessa puussa vaurioita koneen pyöristä/teloista.

Kannonnostosta aiheutunut kuoppa mitattiin 62:sta satunnaisotannalla kannonnoston jälkeen valitusta kantokuopasta. Näistä mitattiin halkaisija ristimitalla ja keskimääräinen syvyys sekä kuopan syvyyden maksimiarvo. Kuoppien keskimääräinen pinta-ala oli 3,3 m² ja syvyys 16,1 cm (maksimisyvyys 55 cm).

3 Yhteenveto

Väliharvennukset ovat vielä käyttämätön biomassareservi, joka on teknisesti hyödynnettävissä. Aikaisempien tutkimustulosten puuttuessa ei hyviä vertailukohtia saaduille tuloksille ole. Nyt saadut tulokset rohkaisevat kuitenkin aiheen laajempiin kannattavuus- ja tuotostutkimuksiin.

Vastoin yleisiä ennakko-odotuksia 1490D -paalain soveltuu hakkuutähteen paalaamiseen kuusikon väliharvennuksilta. Paalaus onnistui teknisesti hyvin ja vauriot olivat vähäisiä. Tuottavuudessa jäätin hieman päätehakkuun vastaavista tuloksista, mutta saanto oli verrattain hyvä. Näihin tuloksiin edellytyksenä on kuitenkin hakkuutähdekasojen hyvä muoto ja sijainti.

Kantokaira osoittautui soveltumattomaksi menetelmäksi kannonnostoon. Ongelmaksi muodostui riittämätön tuottavuus ja mekaaninen kestävyys. Kannonnosto väliharvennuksilta vaatiikin lisätutkimuksia vaihtoehtoisten koneiden ja menetelmien osalta.

Energiapuun talteenottoon tähtävän hakkuumenetelmän ajanmenekin jakautuminen ei eroa perinteisestä hakkuumenetelmästä, mutta sen tuottavuus on 10 % perinteistä alhaisempi. Tätä voidaan verrata Ruotsissa saatuihin tuloksiin, joissa vaihtoehtoisten hakkuumenetelmien on todettu alentavan harvesterin tuottavuutta päätehakkuissa 2 - 4 % (Wigren 1991 & 1992). Toisaalta Nurmen (1994) tutkimuksessa päätehakkuulla ajouran molemmille puolille kasoille suoritettu hakkuu oli noin 14 % perinteistä työtappaa tuottoisampi.

Kirjallisuus

- Andersson, G. & Brunberg, B. 1996. Baling of unchipped logging residues. Teoksessa: Hudson, B. & Kofman, P.D. (toim.). Harvesting, storage and road transportation of logging residues. Proceedings of a workshop of IEA-BA-Task XII activity 1.2 held in October 1995 Glasgow, Scotland. Forskningscentret for Skov & Landskab, 33 - 40.
- John Deere Forestry. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.1.2010]. Saatavana: http://www.deere.fi/fi_FI/equipment/forestry/energy_wood/1490d.html
- Kärhä, K., Vartiamäki, T., Liikkanen, R., Keskinen, S. & Lindroos, J. 2004. Hakkuutähteen paalauksen ja paalien metsäkuljetuksen tuottavuus ja kustannukset. [Verkköjulkaisu]. Helsinki: Metsäteho. Metsätehon raportti 179. [Viitattu 8.1.2010]. Saatavana: <http://www.metsateho.fi/uploads/4djb1xxw0otzss5.pdf>
- Laurén, A. A_aikakone aikatutkimussovellus, versio 1.03.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2008. Helsinki: Metsäntutkimuslaitos.
- Nurmi, J. 1994. Työtavan vaikutus hakkuukoneen tuotokseen ja hakkuutähteen kasautumiseen. Folia Forestalia – Metsätieteen aikakauskirja 2, 113 - 122.
- Tilastokeskus. 2009. Energian kokonaiskulutus 2008. [Verkkosivu]. [Viitattu 8.1.2010]. Saatavana: http://www.stat.fi/til/ekul/2008/ekul_2008_2009-12-14_kuv_001_fi.html
- Työ- ja elinkeinoministeriö. 2010. Uusiutuvat energialähteet. [Verkkosivu]. [Viitattu 12.1.2010]. Saatavana: <http://www.tem.fi/index.phtml?s=2481>
- Wigren, C. 1991. Tillvaratagande av trädrester efter slutavverkning med engreppskördare – studie av en bränsleanpassad metod hos Mälarskog. Skogarbeten. Moniste 1991-11-08.
- Wigren, C. 1992. Studie av en bränsleanpassad metod hos Mellanskog. Skogarbeten. Moniste 1992-02-14.
-

SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULUN JULKAISUSARJA

A. TUTKIMUKSIA

1. Timo Toikko. Sosiaalityön amerikkalainen oppi. Yhdysvaltalaisen caseworkin kehitys ja sen yhteys suomalaiseen tapauskohtaiseen sosiaalityöhön. 2001.
2. Jouni Björkman. Risk Assessment Methods in System Approach to Fire Safety. 2005.
3. Minna Kivipelto. Sosiaalityön kriittinen arviointi. Sosiaalityön kriittisen arvioinnin perustelut, teoriat ja menetelmät. 2006.
4. Jouni Niskanen. Community Governance. 2006. (verkkojulkaisu)
5. Elina Varamäki, Matleena Saarakkala & Erno Tornikoski. Kasvu-yrittäjyyden olemus ja pk-yritysten kasvustrategiat Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
6. Kari Jokiranta. Konkretisoituva uhka. Ilkka-lehden huumekirjoitukset vuosina 1970–2002. 2008.

B. RAPORTTEJA JA SELVITYKSIÄ

1. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu – tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma. 1998.
 2. Elina Varamäki - Ritva Lintilä - Taru Hautala - Eija Taipalus. Pk-yritysten ja ammattikorkeakoulun yhteinen tulevaisuus: prosessin kuvaus, tuotokset ja toimintaehdotukset. 1998.
 3. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään: Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1996-1997 valmistuneiden sijoittuminen. 1999.
 4. Petri Kahila. Tietoteollisen koulutuksen tilanne- ja tarveselvitys Seinäjoen ammattikorkeakoulussa: väliraportti. 1999.
 5. Elina Varamäki. Pk-yritysten tuleva elinkaari - säilyykö Etelä-Pohjanmaa yrittäjämaakuntana? 1999.
 6. Seinäjoen ammattikorkeakoulun laatujärjestelmän auditointi 1998–1999. Itsearviointiraportti ja keskeiset tulokset. 2000.
-

-
7. Heikki Ylihärtilä. Puurakentaminen rakennusinsinöörien koulutuksessa. 2000.
 8. Juha Ruuska. Kulttuuri- ja sisältötuotannon koulutus selvitys. 2000.
 9. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta soveltavan osaamisen korkeakoulu. Tutkimus- ja kehitystoiminnan ohjelma 2001. 2001.
 10. Minna Kivipelto (toim.). Sosionomin asiantuntijuus. Esimerkkejä kriminaalihuolto-, vankila- ja projektityöstä. 2001.
 11. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta 1998-2000 valmistuneiden sijoittuminen. 2002.
 12. Varmola T., Kitinoja H. & Peltola A. (ed.) Quality and new challenges of higher education. International Conference 25.-26. September, 2002. Seinäjoki Finland. Proceedings. 2002.
 13. Susanna Tauriainen & Arja Ala-Kaupilla. Kivennäisaineet kasvavien nautojen ruokinnassa. 2003.
 14. Päivi Laitinen & Sanna Välisaari. Staphylococcus aureus -bakteerien aiheuttaman utaretulehduksen ennaltaehkäisy ja hoito lypsykarjatiljoilla. 2003.
 15. Riikka Ahmaniemi & Marjut Setälä. Seinäjoen ammattikorkeakoulu - Alueellinen kehittäjä, toimija ja näkijä. 2003.
 16. Hannu Saari & Mika Oijennus. Toiminnanohjaus kehityskohteena pk-yrityksessä. 2004.
 17. Leena Niemi. Sosiaalisen tarkastelua. 2004.
 18. Marko Järvenpää (toim.) Muutoksen kärjessä. Kalevi Karjanlahti 60 vuotta. 2004.
 19. Suvi Torkki (toim.). Kohti käyttäjäkeskeistä muotoilua. Muotoilija-koulutuksen painotuksia SeAMK:ssa. 2005.
 20. Timo Toikko (toim.). Sosiaalialan kehittämistyön lähtökohta. 2005.
 21. Elina Varamäki & Tarja Heikkilä & Eija Taipalus. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v. 2001-2003 valmistuneiden sijoittuminen opiskelun jälkeen. 2005.
 22. Tuija Pitkäkoski, Sari Pajuniemi & Hanne Vuorenmaa (ed.). Food Choices and Healthy Eating. Focusing on Vegetables, Fruits and Berries. International Conference September 2nd - 3rd 2005. Kauhajoki, Finland. Proceedings. 2005.
 23. Katariina Perttula. Kokemuksellinen hyvinvointi Seinäjoen kolmella asuinalueella. Raportti pilottihankkeen tuloksista. 2005.
-

-
24. Mervi Lehtola. Alueellinen hyvinvointitiedon malli – asiantuntijat puhujina. Hankkeen loppuraportti. 2005.
 25. Timo Suutari, Kari Salo & Sami Kurki. Seinäjoen teknologia- ja innovaatiokeskus Frami vuorovaikutusta ja innovatiivisuutta edistävänä ympäristönä. 2005.
 26. Päivö Laine. Pk-yritysten verkkosivustot – vuorovaikutteisuus ja kansainvälistyminen. 2006.
 27. Erno Tornikoski, Elina Varamäki, Marko Kohtamäki, Erkki Petäjä, Tarja Heikkilä, Kirsti Sorama. Asiantuntijapalveluyritysten yrittäjien näkemys kasvun mahdollisuuksista ja kasvun seurauksista Etelä- ja Keski-Pohjanmaalla –Pro Advisor –hankkeen esiselvitystutkimus. 2006.
 28. Elina Varamäki (toim.) Omistajanvaihdosnäkymät ja yritysten jatkuvuuden edistäminen Etelä-Pohjanmaalla. 2007.
 29. Beck Thorsten, Bruun-Schmidt Henning, Kitinoja Helli, Sjöberg Lars, Svensson Owe and Vainoras Alfonsas. eHealth as a facilitator of transnational cooperation on health. A report from the Interreg III B project "eHealth for Regions". 2007.
 30. Anmari Viljamaa, Elina Varamäki (toim.) Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2007. 2007.
 31. Elina Varamäki - Tarja Heikkilä - Eija Taipalus – Marja Lautamaja. Ammattikorkeakoulusta työelämään. Seinäjoen ammattikorkeakoulusta v.2004–2005 valmistuneiden sijoittuminen opiskelujen jälkeen. 2007.
 32. Sulevi Riukulehto. Tietoa, tasoa, tekoja. Seinäjoen ammattikorkeakoulun ensimmäiset vuosikymmenet. 2007.
 33. Risto Lauhanen & Jussi Laurila Bioenergian hankintalogistiikka. Tapauksia Etelä-Pohjanmaalta. 2007. (verkkajulkaisu)
 34. Jouni Niskanen (toim.). Virtuaalioppimisen ja -opettamisen Benchmarking Seinäjoen ammattikorkeakoulun, Seinäjoen yliopistokeskuksen sekä Kokkolan yliopistokeskuksen ja Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun Averkun välillä keväällä 2007. Loppuraportti. 2007. (verkkajulkaisu)
 35. Heli Simon & Taina Vuorela. Ammatillisuus ammattikorkeakoulujen kielten- ja viestinnänopetuksessa. Oulun seudun ammattikorkeakoulun ja Seinäjoen ammattikorkeakoulun kielten- ja viestinnänopetuksen arviointi- ja kehittämishanke 2005–2006. 2008. (verkkajulkaisu)
 36. Margit Närvä - Matti Ryhänen - Esa Veikkola - Tarmo Vuoremaa. Esiselvitys maidontuotannon kehittämiskohteista. Loppuraportti. 2008.
-

-
37. Anu Aalto, Ritva Kuoppamäki & Leena Niemi. Sosiaali- ja terveysalan yrittäjyyspedagogisia ratkaisuja. Seinäjoen ammattikorkeakoulun Sosiaali- ja terveysalan yksikön kehittämishanke. 2008. (verkkojulkaisu)
 38. Anmari Viljamaa, Marko Rossinen, Elina Varamäki, Juha Alarinta, Pertti Kinnunen & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2008. 2008. (verkkojulkaisu)
 39. Risto Lauhanen. Metsä kasvaa myös Länsi-Suomessa. Taustaselvitys hakkuumahdollisuuksista, työmääristä ja resurssitarpeista. 2009. (verkkojulkaisu)
 40. Päivi Niiranen & Sirpa Tuomela-Jaskari. Haasteena ikäihmisten päihdeongelma? Selvitys ikäihmisten päihdeongelman esiintyvyydestä pohjalaismaakunnissa. 2009. (verkkojulkaisu)
 41. Jouni Niskanen. Virtuaaliopetuksen ajokorttikonsepti. Portfoliotyyppinen henkilöstökoulutuskokonaisuus. 2009. (verkkojulkaisu)
 42. Minttu Kuronen-Ojala, Pirjo Knif, Anne Saarijärvi, Mervi Lehtola & Harri Jokiranta. Pohjalaismaakuntien hyvinvointibarometri 2009. Selvitys pohjalaismaakuntien hyvinvoinnin ja hyvinvointipalveluiden tilasta sekä niiden muutossuunnista. 2009. (verkkojulkaisu)
 43. Vesa Harmaakorpi, Päivi Myllykangas ja Pentti Rauhala. Seinäjoen ammattikorkeakoulu. Tutkimus-, kehittämis- ja innovaatiotoiminnan arviointiraportti. 2010.
 44. Elina Varamäki (toim.) Pertti Kinnunen, Marko Kohtamäki, Mervi Lehtola, Sami Rintala, Marko Rossinen, Juha Tall ja Anmari Viljamaa. Etelä-Pohjanmaan yrittäjyyskatsaus 2010. 2010.
 45. Elina Varamäki, Marja Lautamaja & Juha Tall. Etelä-Pohjanmaan omistajan-vaihdosbarometri 2010. 2010.

C. OPPIMATERIAALEJA

1. Ville-Pekka Mäkeläinen. Basics of business to business marketing. 1999.
 2. Lea Knuutila. Mihin työhjausta tarvitaan? Oppimateriaalia sosiaali-alan opiskelijoiden työhjauskurssille. 2001.
 3. Mirva Kuni & Petteri Männistö & Markus Välimaa. Leikkauspelot ja niiden hoitaminen. 2002.
-

D. OPINNÄYTETÖITÄ

1. Hanna Halmesmäki – Merja Halmesmäki. Työvoiman osaamistarvekartoitus Etelä-Pohjanmaan metalli- ja puualan yrityksissä. 1999.
 2. Tiina Kankaanpää – Maija Luoma-aho – Heli Sinisalo. Kymmenen metrin kävelytestin suoritusohjeet CD-rom levyllä: aivoverenkiertohäiriöön sairastuneen kävelyn mittaaminen. 2000.
 3. Laura Elo. Arvojen rooli yritysmaailmassa. 2001.
 4. Nina Anttila. Päälle käyvää – vaatemallisto ikääntyvälle naiselle. 2002.
 5. Jaana Jeminen. Matkalla muotoiluyrittäjyyteen. 2002.
 6. Päivi Akkanen. Lypsääkö meillä tulevaisuudessa robotti? 2002.
 7. Johanna Kivioja. E-learningin alkutaival ja tulevaisuus Suomessa. 2002.
 8. Heli Kuntola – Hannele Raukola. Naisen kokemuksia minäkuvan muuttumisesta rinnanpoistoleikkauksen jälkeen. 2003.
 9. Jenni Pietarila. Meno-paluu – lauluillan tuottaminen. Produktion tuottajan käsikirja. 2003.
 10. Johanna Hautamäki. Asiantuntijapalvelun tuotteistaminen case: 'Avaimet markkinointiin, kehittyvän yrityksen asiakasohjelma -pilotti projekti'. 2003.
 11. Sanna-Mari Petäjästä. Teollinen tuotemuotoiluprosessi – Sohvapöydän ja sen oheistuotteiden suunnittelu. 2004.
 12. Susanna Patrikainen. Nuorekkaita asukokonaisuuksia Mode LaRose Oy:lle. Vaatemallien suunnittelu teolliseen mallistoon. 2004.
 13. Tanja Rajala. Suonikohjuleikkaukseen tulevan potilaan ja hänen perheensä ohjaus päiväkirurgisessa yksikössä. 2004.
 14. Marjo Lapiolahti. Maksuvalmiuslaskelmien toteutuminen sukupolvenvaihdostiloilla. 2004.
 15. Marjo Taittonen. Tutkimusmatka syrjäytymisen maailmaan. 2004.
 16. Minna Hakala. Maidon koostumus ja laatutekijät. 2004.
 17. Anne Uusitalo. Tuomarniemen ympäristöohjelma. 2004.
 18. Maarit Hoffrén. Vaihtelua kasviksilla. Kasvisruokalistan kehittäminen opiskelijaravintola Risettiin. 2004.
 19. Sami Karppinen. Tuomarniemen hengessä. Arkeista antologiaksi. 2005.
 20. Elina Syrjänen – Anne-Mari Uschanoff. Messut – ideasta toimintaan. Messutoteutus osana yrityksen markkinointiviestintää. 2005.
-

-
21. Ari Sivula. Metahakemiston ja LDAP-hakemiston asennus, konfigurointi ja ohjelmointi Seinäjoen koulutuskuntayhtymälle. 2006. (verkkójulkaisu)
 22. Johanna Väliniemi. Suorat kaaret – kattaustekstiilien suunnittelu yhteistyössä tekstiiliteollisuuden kanssa. 2006. (verkkójulkaisu)



Seinäjoen ammattikorkeakoulu
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Seinäjoen korkeakoulukirjasto
Keskuskatu 34 PL 97, 60101 Seinäjoki
puh. 020 124 5040 fax 020 124 5041
seamk.kirjasto@seamk.fi

ISBN 978-952-5863-04-8 (painettu)
ISBN 978-952-5863-05-5 (verkkójulkaisu)

ISSN 1456-1743 (painettu)
ISSN 1797-5573 (verkkójulkaisu)