

Tuoreen puun energiakäytön vaikutusten tarkastelua

KAKKU-hanke

Juho Lahti



Vaasan yliopisto
UNIVERSITY OF VAASA

SeAMK 
SEINÄJOEN AMMATTIKORKEAKOULU
SEINÄJOKI UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES



Euroopan maaseudun
kehittämisen maatalousrahasto:
Eurooppa investoi maaseutualueisiin

Työympäristö

- ▶ Jos työympäristön ilman sieni-itiö- ja bakteeripitoisuus yli 10 000 cfu/m³, altistuksilla selvää haittaa terveydelle → käytettävä hengityssuojaimia
- ▶ Laitinen ym. (2014): 1-3 vuotta vanhat hakkuutähdekasat, kosteus oli 25 — 52 %.
 - ▶ Haketuslaitteistojen ohjaamojen ilmassa homesienipitoisuudet 11 000 — 80 000 cfu/m³. Vastaavat pitoisuudet ulkoilmassa hakettajan hengitysvyöhykkeellä olivat 19 000 — 180 000 cfu/m³
 - ▶ Bakteerimäärät ohjaamoissa olivat 1500 — 16 000 cfu/m³ ja ulkoilmassa 2000 — 40 000 cfu/m³.

Työympäristö

- ▶ Rankapuun haketuksen luvut lähes vastaavat
- ▶ Vähintään vuoden vanhoissa kasoissa kosteudella tai iällä ei juuri vaikutusta mikrobimääriin
- ▶ Myöskään hakkurityypillä tai sen käyttöiällä ei merkitystä
- ▶ Tuoreen puun haketus?
 - ▶ Puunjalostuslaitosten valvomoista mitatut mikrobimäärät olivat keskimäärin 2400 cfu/m³ homeitiöpitoisuuksia ja 1100 cfu/m³ bakteeripitoisuuksia.
 - ▶ Hakkeen käsittelyssä arvot voivat olla 10-kertaisia

Hyönteistuhot

- ▶ Laki metsätuhojen torjunnasta
- ▶ Edellisen vuoden syyskuun 1. päivän ja kuluvan vuoden toukokuun 31. päivän välisenä aikana kaadettu, kaarnoittunut mäntypuutavara kuljetetaan pois hakkuupaikalta ja välivarastosta Etelä- ja Väli-Suomessa viimeistään 1. päivänä heinäkuuta.
- ▶ Määräystä sovelletaan energiakasoihin, jos tilavuudesta yli puolet on tyviläpimitaltaan yli 10 cm.
- ▶ Ei koske yksittäisiä kasoja, joiden kokonaistilavuus on alle 20 kiintokuutiometriä, ja joiden etäisyys toiseen vastaavaan pinoon on vähintään 200 metriä.

Hyönteistuhot

- ▶ Kuusipuutavara pois hakkuupaikalta ja välivarastosta Etelä-Suomessa viimeistään 15.heinäkuuta, Väli-Suomessa viimeistään 24.heinäkuuta ja Pohjois-Suomessa 15.elokuuta.
- ▶ Etelä-Suomessa 1.6.-31.8 kaadettu kuusipuutavara tulee poistaa jo kuukauden kuluessa kaadosta.
- ▶ Vaihtoehdot poiskuljettamiselle
 - ▶ Peittäminen pieniläpimittaisella puulla tai lehtipuulla
 - ▶ Pintakerroksen poiskuljetus
 - ▶ Varastointi riittävän etäällä saman puulajin metsiköstä (200/400 m)
 - ▶ Sadesuojaukseen tarkoitettu kartonki ei riitä

Hyönteistuhot

- ▶ Kuivatusvarastointi tehokkainta tuhohyönteisten lisääntymisaikana touko-heinäkuussa
- ▶ Kaikista torjuntakeinoista on kustannuksia
- ▶ Yhdenkään merkityksellisen tuhohyönteisen lisääntymiskierto ei tapahdu alle kuukaudessa
- ▶ Jos energiapuukasa kuljetetaan pois metsävarastosta alle kuukauden kuluessa hakkuusta, suojauksesta ei tarvitse huolehtia → kustannusten alentuminen

Kantokasat

- ▶ Jos hakkuupaikalla tai välivarastossa enemmän kuin 10 k-m³ havupuunkantoja, ne on kuljetettava pois kahden vuoden kuluessa nostosta, jos nosto on tehty ennen elokuun 1. päivää.
 - ▶ Jos nosto on tehty elokuussa tai sen jälkeen, kuljetus 2,5 v kuluessa
 - ▶ Kannot hajoavat nostossa osiin → kuivavat polttokosteuteen kesäaikana jopa 3-4 viikossa
 - ▶ Kantoja on kuivatusvarastoitava kasalla, jotta en puhdistuvat maa-aineksesta, uuteaineet haihtuvat
- Kantoenergian tuorepoltto ei järkevää

Kesäaikaiset hakkuut

- ▶ Juurikäpäväaran vuoksi torjunta-aineen käyttö on pakollista Etelä- ja Keski-Suomessa toukokuun alun ja marraskuun lopun välisenä aikana havupuuvaltaisilla kivennäismailla
- ▶ Energiapuuhakkuiden pieni kantoläpimitta ei alenna tartuntariskiä
- ▶ Nuorten metsien riskiä verrattuna päätehakkuisiin lisää suurempi kantojen lukumäärä ja jäävän puuston vioittuminen.
- ▶ Harvennushakkuissa hakkuutähdettä syntyy luonnostaankin päätehakkuuta vähemmän, ei riittävästi poljettavaksi ajourille

Kesäaikaiset hakkuut

- ▶ Juurikäävän torjuntavelvollisuus hakkuuoikeuden omistajalla, ei riippuvaista puun käyttötarkoituksesta
- ▶ Kesäaikaisten energiapuuhakkuiden lisääminen kasvattaisi juurikäävän riskiä, mutta onko niille oikeasti tarvetta ← energian tarve vähäistä, kuivan puun varastoja oltava joka tapauksessa
- ▶ Riskiä pienentää hakkuiden ohjaaminen kohteille, joilla torjuntavelvoitetta ei ole
 - ▶ Lehtipuuvaltaiset kohteet
 - ▶ Turvemaat, joilla kantavuus riittävä

Hakkeen lämpöarvo

Hakkeen tehollinen lämpöarvo lasketaan sen saapumistilassa kaavalla (CEN/TS 14918:2005)

$$Q_s = Q_k \times ((100 - M_s)/100) - 0,02443 \times M_s$$

Q_s = tehollinen lämpöarvo saapumistilassa (MJ/kg)

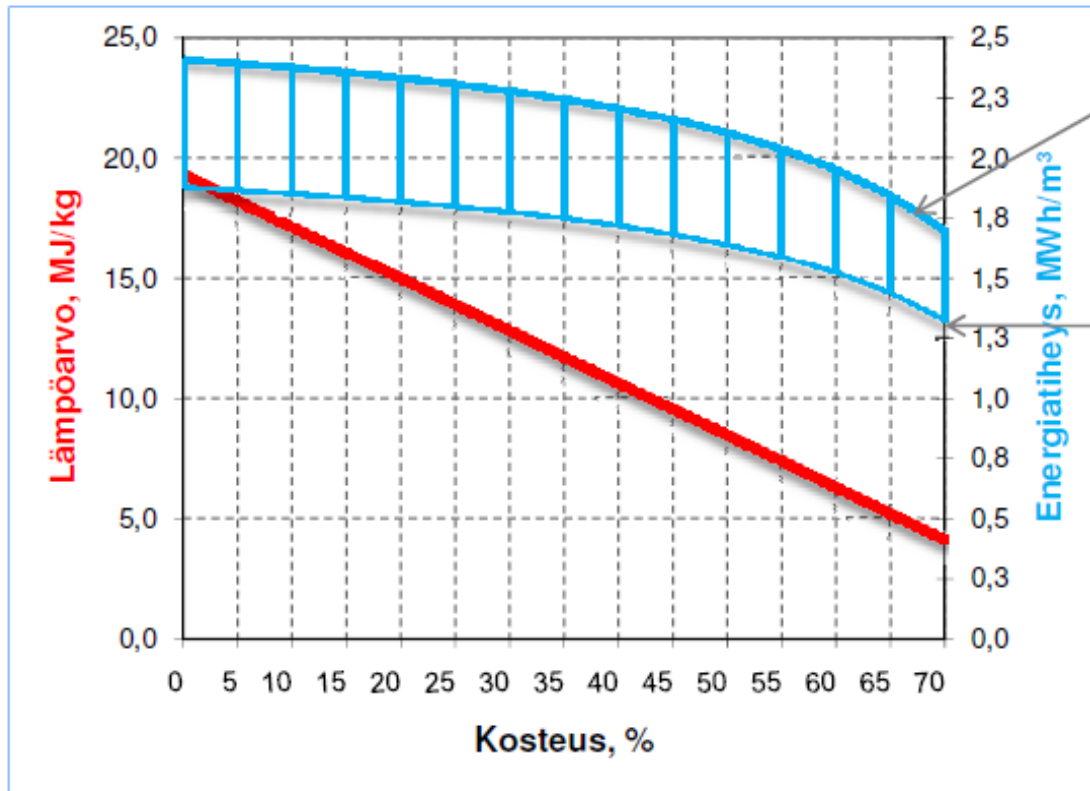
Q_k = tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)

M_s = kosteus saapumistilassa (%)

Täysin kuivan polttoaineen lämpöarvoksi yleensä käytetään 19,6 MJ/kg (Q_k)

0,02443 MJ/kg = +25^o C veden höyrystämiseen kuluvaa lämpö määrää

Hakkeen lämpöarvo



Kuivatuoretiheys 450 kg/m³

Kuivatuoretiheys 350 kg/m³

Lämpöarvo ja energiatiheys kosteuden ja kuivatuoretiheyden (350 – 450 kg/m³) suhteen (Lindblad 2011).

Hakkeen lämpöarvo

Mitä on kuiva-aine?

- ▶ Selluloosa
- ▶ Hemiselluloosa
- ▶ Ligniini
- ▶ Haihtumaton osa rasvaliukoista uuteaineista
- ▶ ”Tuhka” eli Ca,K,P,Fe ... ja N,S
- ▶ Tuoreen puun vesiliukoiset uuteaineet kaava ymmärtää ”kosteudeksi”, ja niiden lämpöarvo vähennetään saapumistilan lämpöarvosta

Hakkeen lämpöarvo

Puun sisältämät aineet

■ Hiili (C) 50% ■ Happi (O) 41% ■ Vety (H) 6% ■ Muut aineet

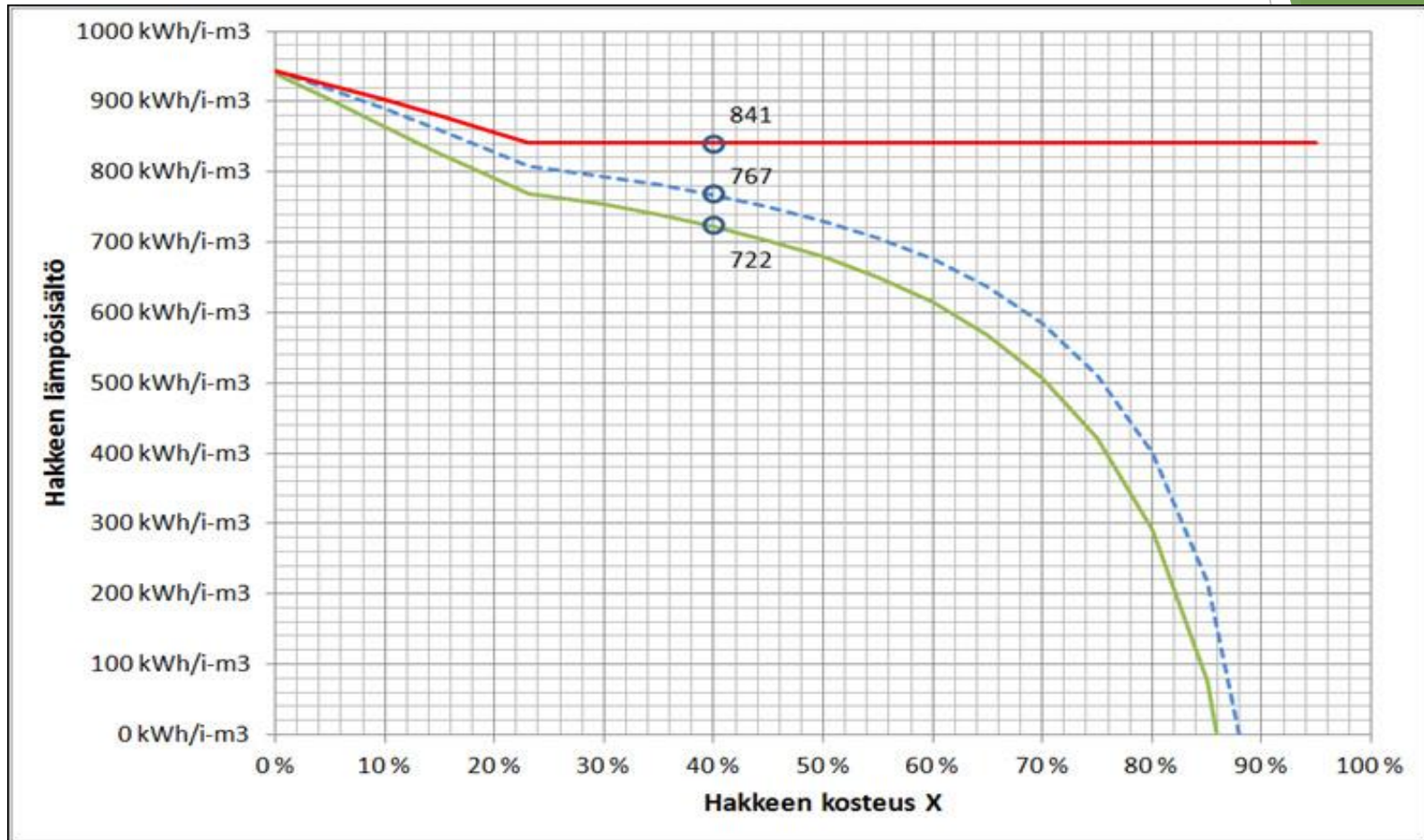


Palavasta aineksesta hiilen osuus on 88 % ja vedyn 12 %, lämpöenergiasta hiilen osuus 67 % ja vedyn 33 %. (Kuva: bioenergia.fi)

Hakkeen lämpöarvo

- ▶ Puuta poltettaessa on haihdutettava kolmen tyyppistä vettä
 - ▶ Vapaa vesi puusolujen sisältä
 - ▶ Haihtuu helposti kuivatusvarastoinnissa
 - ▶ Kuivuminen pienentää massaa
 - ▶ Soluseinämiin sitoutunut vesi
 - ▶ Haihtuu hitaasti, ”puusepänkuivuus”
 - ▶ Kuivuminen pienentää tilavuutta ja massaa
 - ▶ Vesi joka syntyy vedyn palaessa
 - ▶ Syntyy kuiva-aineesta, ei voi haihduttaa

Hakkeen lämpöarvo



Kun huomioidaan veden haihduttamiseen kuluva energia, ei hakkeen energiasisältö irtokuutiota kohti (kWh/i-m³) ei riipu kosteudesta, jos kosteusprosentti on suurempi kuin 23 % (Härkönen 2011)

Hakkeen lämpöarvo

Kauhavan uuden lämpölaitoksen tehon selitykset

- ▶ Kondensoiva savukaasujen lämmöntalteenotto
- ▶ Tehokas lämmönsiirto tarpeeksi alhaiseen kaukolämmön paluuveteen
- ▶ Tuoreen puun vesiliukoisten uuteaineiden energia
 - ▶ Samaa tulosta ei voi saavuttaa kerran kuivatetulla ja uudelleen kostuneella puulla
- ▶ Puu on hygroskooppinen materiaali, vetää aina kosteutta ilmasta
- ▶ Tuoreen puun kosteus vaihtelee vuodenaikojen mukaan
← ilmankosteus, kasvurytmi

Puun tuoretiheyden vuodenaikainen vaihtelu

Puulaji	Tukkien tuoretiheys tehtaalla, kg/m ³		Kuitupuun tuoretiheys tehtaalla, kg/m ³	
	Tammikuu	Heinäkuu	Tammikuu	Heinäkuu
Mänty	846	821	928	828
Kuusi	770	738	849	796
Koivu	-	-	939	827

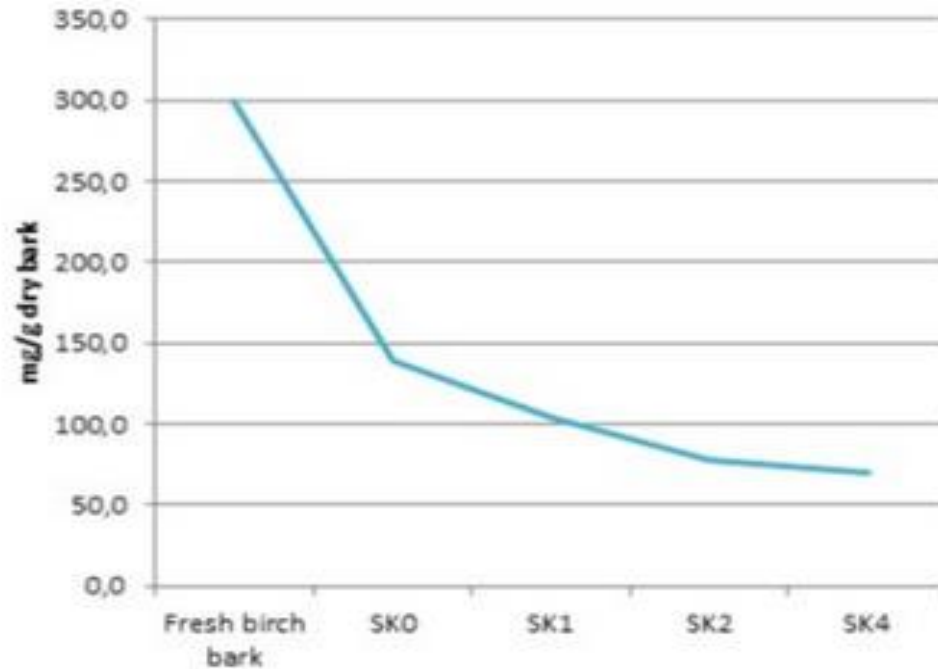
Puutavaran regressiomallin mukaiset tuoretiheydet tehtaalla Pohjanmaalla (Kainulainen & Lindblad 2005).

Uuteaineet

	Kuusi	Mänty	Rauduskoivu	Hieskoivu
Runkopuu	0,8 - 3,8	3,0 - 6,0	1,1 - 4,1	1,1 - 4,9
Pintapuu	1,5 - 2,0	2,9 - 3,3		
Sydänpuu	1,5 - 2,1	4,9 - 6,0		
Oksat	5,8 - 13,9	3,3 - 12,8	5,2 - 9,1	6,1 - 9,2
Kanto	2,8 - 3,6	9,1 - 18,7	3,6	5,8
Juuret	2,4 - 7,2	2,3 - 7,1	5,0 - 6,6	6,8 - 8,7
Kuori				
Sisäkuori	28,1 - 39,4	28,1 - 35,0	14,3 - 23,2	15,5 - 29,0
Ulkokuori	17,4 - 33,6	12,4 - 26,1	26,5 - 34,9	17,6 - 33,3
Lehdet/ neulaset	37,8 - 43,3	38,6 - 40,6	28,8 - 33,4	32,4 - 32,5

Kuusen, männyn ja koivun sisältämät uuteaineepitoisuudet (asetoni) prosentteina **kuiva-aineesta** (Hakkila 1975).

Uuteaineet



Betulinoli-pitoisuuden muutos koivun kuoressa varastoinnin aikana.

- SK0 Kuorinäyte märästä kuorintamateriaalista tehtaalla ennen varastointia
- SK1 Kuorinäyte 1 viikko varastoinnin alusta
- SK2 Kuorinäyte 2 viikkoa varastoinnin alusta
- SK4 Kuorinäyte 4 viikkoa varastoinnin alusta

(Puun uuteaineissa suuri mahdollisuus biojalostuksen raaka-aineiksi. ForestEnergy 2020-hankkeen uutiskirje 1/2014.)

Uuteaineet

▶ Oksat ja neulaset

- ▶ Suuret uuteainepitoisuudet, nopea haihtuminen
- ▶ Neulasten kloori syövyttää kattilat
- ▶ Epätaloudellinen kuljettaa tuoreena
- ▶ Ravinnetalouden heikentyminen, jos päätehakkuualojen neulasia ei karisteta palstalle

▶ Kannot

- ▶ Suuret uuteainepitoisuudet
- ▶ Puhdistumisen vuoksi varastoitava, helposti haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC) haihtuvat siis joka tapauksessa

Uuteaineet

▶ Rankapuu

- ▶ Uuteainepitoisuus runkopuussa pienehkö, mutta osuus kokonaismassasta suuri
- ▶ Kuoren uuteainepitoisuus kaikilla puulajeilla suuri
- ▶ Taloudellisin kuljetettava
- ▶ Haketus terminaalissa lähellä käyttöpaikkaa

Varastointi ja lämpöarvo



Neljä päivää kesäaikaisesta hakkuusta, puun pilaantuminen hyvässä vauhdissa.

Varastointi ja kuiva-ainemenetys

- ▶ Kuiva-ainemenetys voi karsitulla kuitupuulla olla 6-7 % kasvukauden aikana (Kärkkäinen 2007)
- ▶ Vastaava kuiva-ainemenetys hakekasassa voi olla 2-3 % yhdessä kuukaudessa.
- ▶ Kokopuukorjattu hieskoivu menettää energiatiheyttä eli lämpöarvoa tilavuutta kohden 3,6 – 9,6 % kasvukauden aikana (Nurmi 2014)
- ▶ Menetykset aiheuttaa kaadon jälkeen jatkuva elävien solujen soluhengitys ja mikrobien aloittama hajotustoiminta
- Hakekasan hiilidioksidi/metaanipäästöt ilmakehään voivat puolen vuoden aikana olla 20-kertaiset kuljetus- ja tuotantoketjuun verrattuna (Ulander 2010)

SWOT

Vahvuudet

- Pääomien nopeampi kierto
- Lämpölaitosten tehostunut polttoaineen käyttö
- Työympäristön mikrobihaittojen vähentyminen
- Metsätuhohyönteisten uhan pieneminen
- Pienemmät polton päästöhaitat puhtaan polttoprosessin ja savukaasujen puhdistamisen johdosta
- Pienemmät varastointiaikaiset kasvihuonepäästöt ja ravinnehuuhtoumat

Heikkoudet

- Tuoreen puun täyttä kalorimetristä lämpöarvoa ei huomioida hakkeen hinnanmuodostuksessa
- Kuljetuskustannusten nousu, jos kuljetetaan hakkeena
- Kuljetuksen hiilidioksidipäästöjen kohoaminen
- Käyttöpaikkahaketuksen yleistyessä ympäristölupia voidaan joutua tarkistamaan
- Alustavien polttokokeiden tulokset eivät vielä yleistettävissä

SWOT

Mahdollisuudet	Uhkat
<ul style="list-style-type: none">• Lämpölaitosten nykyistä suurempi hyötysuhde• Lämpölaitosten paremman kannattavuuden synnyttämä investointien kasvu• Uusiutuvan energian käytön tehostuminen• Metsätähteiden käytön lopettaminen hyödyttäisi metsien ravinnetasetta	<ul style="list-style-type: none">• Metsien ravinnetasapainon häiriintyminen, jos metsätähdettä tai kokopuuta käytetään tuoreena• Juurikäävän leviämisen riski, jos kesäaikaisia energiapuuhakkuita lisätään kivennäismailla• Energiapuumarkkinoiden pirstoutuminen• Kilpailutilanne teollisuuden kanssa• Ilmastopolitiikan metsiä koskevat määrittelyt

Lähteet

Hakkila, P. 1975. Kanto- ja juuripuun kuoriprosentti, puuaineen tiheys ja asetoniuutteiden määrä. Folia For. 224:1-14.

Härkönen, M. 2012. Puun polttoainekäyttö pienissä aluelämpölaitoksissa. Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulu Centria. Tutkimus ja kehitys. Kokkola.

Kainulainen, J. & Lindblad, J. 2005. Puutavaralajien tuoretiheyden alueellinen vaihtelu mittausasemien vastaanottomittauksissa. Metlan työraportteja 19:1-29.

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Tekijä ja Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna.

Laitinen, S., Rytönen, E., Jumpponen, M. & Ojanen, K. 2014. Työympäristöriskien hallinta tienvarsihaketuksessa. Työterveyslaitos. Helsinki

Lindblad, J. Uutta energiapuun mittauksessa. Lämpöyrittäjäpäivä Kesälahdella Kesälahti 8.4.2011. Metsäntutkimuslaitos, Itä-Suomen alueyksikkö, Joensuu

Nurmi, J. 2014. Changes in volumetric energy densities during storage of whole-tree feed stocks from silvicultural thinnings. Biomass & Bioenergy 61 (2014): 114-120.

Puun uuteaineissa suuri mahdollisuus biojalostuksen raaka-aineiksi. ForestEnergy 2020-hankkeen uutiskirje 1/2014. 23.1.2014 Saatavana: <http://www.forestenergy2020.org/fi/uutiskirjeet/uutiskirje-1-14/>

Ulander, E. 2010. Metsäenergian tuotantoon ja käyttöön liittyvistä ympäristövaikutuksista. Teoksessa: Tasanen, T. & Viirimäki, J. (toim.) 2010. Kehittyvä metsäenergia. Tutkimusta ja aluekehitystä. Etelä-Pohjanmaan metsäkeskus ja Seinäjoen ammattikorkeakoulu 2010.