

## Aurinkoenergian hyödyntäminen hakkeen kuivauksessa

Hilli Anu, Posio Mikko

16.3.2018 ::



Euroopan unioni  
Euroopan aluekehitysrahasto

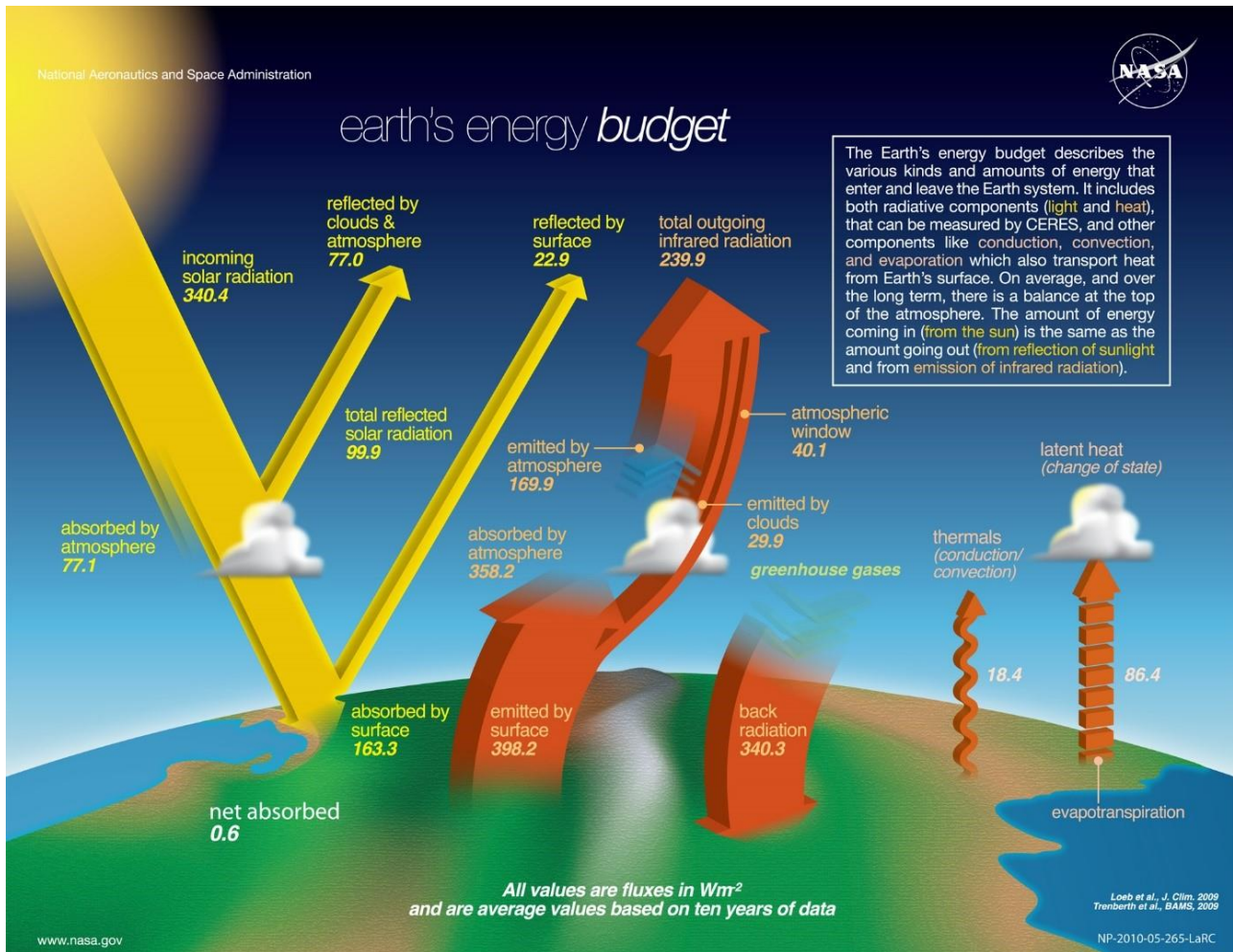
Vipuvoimaa  
EU:lta  
2014–2020

POHJOIS-POHJANMAA  
Council of Oulu Region

**Maatiloilla käytetään huomattava määrä energiaa sekä sähkön- että lämmöntuotannossa. Puupohjaiset lämmitysjärjestelmät ovat maatiloilla yleisiä ja energiaratkaisuina ne ovat ympäristöystävällisiä ja raaka-aine on uusiutuvaa. Maatilojen keskikoko on kasvanut, joten tehokkaat energiaratkaisut ovat osa maataloustuotannon toimintaedellytyksiä ja kilpailukyvyn kehittämistä. Tämän julkaisun tarkoitus on selvittää hakkeen kuivauksen mahdollisuutta aurinkoenergiaan perustuvan käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämmöntuotannolla.**

### Johdanto

Aurinko säteilee maapallolle 174 petawatin teholla. Ilmakehän rajalla yhden neliömetrin kokoiselle pinnalle säteilevän auringon teho on 1,35–1,39 kW, tätä arvoa kutsutaan aurinkovakioksi. Välittömäksi aurinkovakioksi kutsutaan puolestaan säteilyn tehoa, joka kohtaa maanpinnan. Päiväntasaajalla välitön aurinkovakio on päivällä noin 0,8–1,0 kW/m<sup>2</sup>. Suomessa aurinko paistaa parhaiten huhtikuusta syyskuuhun ja vaakatasoon saatava vuosittainen energiamäärä on Etelä-Suomessa noin 1000 kWh/m<sup>2</sup> ja Keski- ja Pohjois-Suomessa noin 800–900 kWh/m<sup>2</sup>. (Kuva 1.) [\[1\]](#) [\[2\]](#) [\[3\]](#)



KUVA 1. Auringosta saapuvan säteilyn tehon keskiarvo maapallolle on 340 w/m<sup>2</sup>, josta 51 % saavuttaa maapallon pinnan. Loput säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen (kuva avautuu suuremmaksi klikkaamalla) [1]

Yleisimmin auringon lämpöenergiaa hyödynnetään Suomessa käyttöveden ja rakennusten lämmittämiseen. Auringosta saatavaa lämpöä käytetään aina yhdessä muun lämmitysjärjestelmän kanssa, koska olosuhderiippuvaisena energiamuotona aurinkolämpö ei yksistään riitä ympärivuotisessa asuinkäytössä olevan rakennuksen lämmön lähteeksi. Aurinkolämpöjärjestelmän mitoituksessa otetaan huomioon kohteen kokonaisenergiantarve vaihteluineen, asukasmäärä, tekniset yksityiskohdat ja mahdolliset olemassa olevat lämmitysjärjestelmät ja varaajat. [4]

Aurinkolämmitysjärjestelmään kuuluvat keskeisimmät järjestelmän osat ovat aurinkokeräimet, pumppuyksikkö, varaaja, putkisto, ohjainyksikkö, paisunta-astia sekä lämmönvaihdin. Pumppuyksikkö kierrättää nestettä keräinten ja varaajaan liitetyn lämmönvaihtimen välillä. Ohjainyksiköllä säädetään pumpun tehoa aurinkokeräinten ja vesivaraajan lämpötilaerojen mukaan. Lisäksi järjestelmään kuuluvat ilma- ja varoventtiilit. [2] [4]

Aurinkokeräin muuttaa vastaanotetun auringon säteilyn lämmöksi. Lämpö siirretään väliaineen mukana lämpövaraajaan tai otetaan suoraan käyttöön. (Kuva 2.) Lämmönsiirron väliaineena käytetään nestettä tai ilmaa. Tasokeräimissä käytetään yleensä nestettä. Ympäri vuoden käytettävissä keräimissä lämmönsiirtonesteinä voidaan käyttää esimerkiksi vesi-propyleeni-glykoliseosta tai vesi-etylenei-glykoliseosta. Lämmönsiirtonesteinä voidaan käyttää myös vettä, mutta tällöin jäätyminen tulee olla estetty. Lämmitysvaraajassa auringolla tuotettu lämpö siirretään lämmönvaihtimen kautta varaajan veteen. Jäähtynyt lämmönsiirtoneste puolestaan palautetaan pumpun avulla takaisin aurinkokeräimeen. [2] [5]



KUVA 2. **Kalle Hoppulan** tilalle asennetut aurinkolämpökeräimet. Keräinten tuottama lämpö otetaan talteen lämpökeskuksen yhteydessä olevaan varajaan (kuva: Mikko Posio)

Maatiloilla energiankulutus vaihtelee huomattavasti tuotantosuunnittain. Tuotantosuunnittain suurimmat energiankulutukset ovat puutarha- ja siipikarjataloudessa. Esimerkiksi maitotiloilla energian kokonaiskulutuksen keskiarvo on 135 MWh ja siipikarjataloudessa 587 MWh/tila. Suurin osa energiankulutuksesta maataloudessa kohdistuu työkoneisiin ja tuotantotilojen valaistukseen ja lämmitykseen sekä asuinrakennuksen lämmön- ja sähkönkulutukseen. Keskimäärin 33 % energiankulutuksesta käytetään työkoneiden polttoaineisiin ja 29 % tuotantotiloihin. Käytetystä energiasta kuluu keskimäärin 19 % sekä viljankuivaukseen että asuinrakennuksiin. [\[6\]](#) [\[7\]](#)

Yleisimmin maatiloilla lämmitysjärjestelmät ovat puupohjaisia tai perustuvat sähköön. Puupohjaisissa lämmitysjärjestelmissä käytetään haketta, pilkkeitä tai pellettiä. Muita yleisesti käytettyjä lämmitysjärjestelmän muotoja ovat öljy ja maalämpö. Uusiutuvista energiamuodoista hyödynnetään puun ohella biokaasua, aurinkoenergiaa ja tuulivoimaa. [\[8\]](#) [\[9\]](#) Julkaisussa selvitetään hakkeen kuivauksen mahdollisuutta maatilalla, jossa tilan päärakennuksessa aurinkokeräinten tuottamaa lämpöä käytetään lämpimän käyttöveden lämmittämiseen.

## Laskelman taustatiedot

Työssä mallinnettiin aurinkoenergian hyödyntämistä hakkeen kuivauksessa. Laskelman pohjaksi valittiin maatila, jossa hakkeen kulutus on vuodessa 120 i-m<sup>3</sup> [\[8\]](#). Aurinkokeräinten tuottamaa lämpöä käytetään asuinrakennuksessa käyttöveden lämmittämiseen. Laskelmassa aurinkolämpökeräimiä oli kahdeksan, yhden keräimen pinta-ala on kaksi neliometriä, joten keräinten kokonaispinta-alaksi muodostui 16 m<sup>2</sup>.

Aurinkokeräimet olivat tyypiltään tasokeräimiä. Lämpimän käyttöveden kulutus laskettiin neljän hengen kulutuksen mukaan (taulukko 1). Aurinkokeräimistä saatu lämpö johdetaan tilan lämpökeskuksen varajaan, samaa varajaa lämmitetään talviaikaan hakekattilalla.

Aurinkokeräimen tuottoa laskettaessa aurinkokeräimen säteilyn hyötysuhteena käytettiin 50 %. Aurinkokeräimen hyötysuhde laskee lämmönsiirtonesteen ja ulkolämpötilan välisen eron kasvaessa. Aurinkokeräinten kallistuskulmana käytettiin 45 astetta. [2] Laskelmassa kallistuksen korjauskertoimena käytettiin 0,93 ja keräinpiirin häviökerroin oli 0,8 [3]. Loivaa kallistuskulmaa voidaan käyttää kesäaikaisessa energian tuotossa, mutta 45 asteen kulmalla keräimet tuottavat energiaa läpi vuoden. Tätä jyrkempiäkin kallistuskulmia voidaan käyttää, mutta tällöin kesäaikainen energiantuotto on alhaisempi [4].

Hakkeen kuivauksen lämmönkulutus vaihtelee kuivurityyppien ja kuivaustavan mukaan. Lämmönkulutus on keskimäärin 1 kWh/kg vettä, vaihtelua on noin  $\pm 10$  prosenttia [10] [11]. Käytettäessä kylmäilmakuivausta ulkoilman lämpötila ja kosteuspitoisuus vaikuttavat huomattavasti kuivauksen lämpöenergian kulutukseen. Lämpöenergian kulutus hakkeen kuivauksessa on noin 100 kWh/i-m<sup>3</sup>, kun ulkoilman lämpötila on +15 °C. Mikäli ulkoilman lämpötila on -15 °C, kuluu lämpöenergiaa 160 kWh kuivattavaa hakeirtokuutiometriä kohden. Tässä laskelmassa hakkeen kuivauksen lämpöenergian tarpeena käytettiin 93 kWh irtokuutiometriä kohden. [11] Laskelmassa hakkeen lähtökosteutena käytettiin 45 % ja sen loppukosteutena 20 %.

## Tulokset ja tulosten tarkastelu

Laskelman mukaan maaliskuulta syyskuulle aurinkokeräinten tuottama lämpöenergia ei kulu kokonaan lämpimän käyttöveden lämmittämiseen, vaan muodostuu ylijäämää 200–700 kWh kuukautta kohden. Kaiken kaikkiaan maaliskuulta syyskuulle muodostuvalla aurinkoenergian tuottamalla lämpöenergiaylijäämällä voidaan kuivata 36 irtokuutiometriä haketta. Maalis- ja syyskuussa kuivattava määrä ilman lisäenergian käyttöä on vain noin kaksi irtokuutiota. (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Aurinkokeräimen tuottama lämpöenergia ja sen käyttö hakkeen kuivauksessa

Kuukausi	LKV lämmitys	Aurinkokeräimen tuotto KWh	Aurinkoenergian ylijäämä KWh	Kuivattu hake i-m <sup>3</sup>
Tammi	404,43	65,27	0	0
Helmi	365,29	239,86	0	0
Maalis	404,43	601,60	197,17	2,12
Huhti	391,39	890,37	498,98	5,36
Touko	404,43	1 052,80	648,37	6,97
Kesä	391,39	992,64	601,25	6,47
Heinä	404,43	1 106,94	702,51	7,55
Elo	404,43	860,29	455,88	4,90
Syys	391,39	655,74	264,35	2,84
Loka	404,43	240,64	0	0
Marras	391,39	72,192	0	0
Joulu	404,43	24,064	0	0
<b>Yhteensä</b>	4 762	6 802	3 368	36

Maatilakokoluokan pienet arinakattilat vaativat hyvin toimiakseen laadultaan hyvää haketta. Hake on laadukasta, kun sen kosteuspitoisuus on alle 30 % ja palakokojakauma on tasainen [12]. Alle 1 MW hakekattiloissa suositellaan käytettäväksi haketta, jonka kosteuspitoisuus on 20–25 % ja maksimikosteus 40 % [13].

Suurin hyöty kuivatun hakkeen käytöstä saadaan kovien pakkasten aikana, sillä kuivaa haketta käytettäessä kattilan teho ja hyötysuhde kasvavat. Tuoreen hakkeen energiasisältö on keskimäärin 0,54 MWh/i-m<sup>3</sup> ja 35 %:n kosteuspitoisuuteen kuivatun hakkeen energiasisältö on puolestaan 0,85 MWh/i-m<sup>3</sup>. Mikäli hake kuivataan 20–25 %:n kosteuspitoisuuteen, sen energiasisältö on 1,01 MWh/i-m<sup>3</sup>. [14]

Muutoin maatilalla tarvittavan hakkeen kuivauksessa kannattaa hyödyntää hakkeeksi käytettävän energiapuun kuivausta välivarastossa luonnonolosuhteissa. Hakkeeksi käytettävää energiapuuta kannattaa kuivata

vähintään yhden kesän yli aurinkoisella ja tuulisella paikalla. Vuoden verran hyvissä olosuhteissa kuivuneen energiapuun kosteuspitoisuus voi laskea jopa 30–35 %:iin, mutta yleensä kosteuspitoisuus jää tätä korkeammaksi. [15] [16]

Tyhjiöputkikeräimillä voitaisiin nostaa kuivattavan hakkeen määrää, sillä ne hyödyntävät auringon hajasäteilyä paremmin kuin tasokeräimet. Toisin sanoen ne toimivat paremmin pilvisellä säällä. Tyhjiöputkikeräimillä voidaan tuottaa energiaa jopa 30 % enemmän verrattuna tasokeräimiin, niistä olisi hyötyä syksyllä ja keväällä. [17]

Uusilla energiaratkaisuilla pyritään lisäämään maatilojen energiaomavaraisuutta. Myös olemassa olevien lämmön- tai sähköntuotannon järjestelmien tehokas hyödyntäminen voi lisätä energiaomavaraisuutta tai -tehokkuutta.

---

Julkaisu on laadittu osana PUUTA-hanketta (Puuraaka-aineen hyödyntäminen Utajärven kunnassa). Hanketta rahoittavat Pohjois-Pohjanmaan liitto, Euroopan aluekehitysrahasto ja alueen yritykset. Hankkeen toteuttavat Utajärven kunta, Oulun yliopiston kauppakorkeakoulu ja Oulun ammattikorkeakoulun luonnonvara-alan ja energia- ja automaation osastot.



## Lähteet

1. <sup>^</sup>Ilmatieteen laitos. 2018. Auringon säteily ja kirkkausvaihtelut. Hakupäivä 26.1.2018. <http://ilmatieteenlaitos.fi/sateily-ja-kirkkausvaihtelut>
2. <sup>^ abc</sup>Erat, B., Erkkilä, V., Nyman, C., Peippo, K., Peltola, S. & Suokivi, H. 2008. Aurinko-opas aurinkoenergiaa rakennuksiin. Hakupäivä 9.1.2018. <http://docplayer.fi/2523956-Aurinko-opas-aurinkoenergiaa-rakennuksiin.html>
3. <sup>^ ab</sup>Heinonen, I. 2012. Aurinko-opas. Aurinkolämmön ja -sähkön energiatuotannon laskennan opas. Hakupäivä 24.1.2018. <http://www.ym.fi/download/noname/%7BF4F73E83-56AF-4112-AD7B-0E1F1804D38B%7D...>
4. <sup>^ abc</sup>Motiva. 2018. Uusiutuva energia. Hakupäivä 31.1.2018. [https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva\\_energia/aurinkolampo...](https://www.motiva.fi/ratkaisut/uusiutuva_energia/aurinkolampo...)
5. <sup>^</sup>Aurinkoenergia.fi. 2017. Aurinkoenergiaa Suomessa. Hakupäivä 24.1.2018. <http://www.aurinkoenergia.fi/aurinkoenergiaa.html>
6. <sup>^</sup>Työ- ja elinkeinoministeriö. 2011. Maatalouden vuosittainen energiakäytön jakautuminen.
7. <sup>^</sup>Tietosarka. 2013. Tietosarka 2. TIKE - Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus.
8. <sup>^ ab</sup>Viirimäki, J. (toim.) 2008. Maatilan hakelämmitysopas. Metsäkeskukset. Hakupäivä 9.1.2018. [http://www.energiatehokaskoti.fi/files/450/Maatilan\\_hakelammitysopas.pdf](http://www.energiatehokaskoti.fi/files/450/Maatilan_hakelammitysopas.pdf)
9. <sup>^</sup>Kinnunen, E. 2013. Maatilan kiinteät biopolttoaineet. Hakupäivä 1.2.2018. [http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Kinnunen\\_28112013.pdf](http://www.ilmase.fi/site/wp-content/uploads/2013/10/Kinnunen_28112013.pdf)
10. <sup>^</sup>Niemitalo, V. 2011. Hakkeen kuivaus. Yhteenveto eri koe- ja tutkimustoiminnasta. Ammattiopisto Lappia. Hakupäivä 19.1.2018. <http://docplayer.fi...>
11. <sup>^ ab</sup>Kauppinen, V-P. (toim.) 2014. Puun kuivaaminen. Puupolttoaineen kuivuriopas. Vammalan kirjapaino Oy, Vammala. Hakupäivä 9.1.2018. <https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/kuivuriopas-web.pdf>
12. <sup>^</sup>Bioenergianeuvoja.fi. 2018. Bioenergian pikkujättiläinen. Biopolttoaineet. Hanke. Laatu. Hakupäivä 19.1.2018. <http://www.bioenergianeuvoja.fi/biopolttoaineet/hake/laatu/>
13. <sup>^</sup>Säättötuli Oy. 2017. Hakupäivä 19.1.2018. <https://www.ariterm.fi/saatotuli/biolammitys/polttoaineet/hake/>

14. [^Energiapalvelu.fi](http://energiapalvelu.fi). 2017. Energialaskuri. Hakupäivä 24.1.2018.  
<http://energiapalvelu.fi/energiapalvelu>
15. [^Lepistö, T. \(toim.\)](#) 2010. Laatuhaakkeen tuotanto-opas. 2. p. Metsäkeskukset. Sastamala: Vammaspaino. Hakupäivä 9.1.2018.  
<https://www.metsakeskus.fi/sites/default/files...>
16. [^Raitila, J., Virkkunen, M. & Heiskanen, V-P.](#) 2014. Metsäpolttoaineiden varastoitavuus runkoina ja haakkeena sekä lämmöntuotantoon integroitu metsäpolttoaineen kuivaus. Tutkimusraportti VTT-R-04524-14. VTT. Hakupäivä 24.1.2018.  
<http://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2014/VTT-R-04524-14.pdf>
17. [^Solartukku aurinkokeräinjärjestelmät.](#) 2017. Esite. Hakupäivä 9.1.2018.  
<http://www.varaaja.com/images/tiedostot/tuotteet/aurinkokeraimet/novasolar...>

## Kuvalähteet

1. [^KUVA 1.](#) Auringosta saapuvan säteilyn tehon keskiarvo maapallolle on 340 w/m<sup>2</sup>, josta 51 % saavuttaa maapallon pinnan. Loput säteilystä heijastuu takaisin avaruuteen. Teoksessa National Aeronautics and Space Administration. Earth's Energy Budget. Hakupäivä 14.2.2018. [https://science-edu.larc.nasa.gov/energy\\_budget/pdf/ERB-poster-combined-update-3.2014.pdf](https://science-edu.larc.nasa.gov/energy_budget/pdf/ERB-poster-combined-update-3.2014.pdf)

## Näin viittaat tähän julkaisuun

Hilli, A. & Posio, M. 2018. Aurinkoenergian hyödyntäminen haakkeen kuivauksessa. ePooki. Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisu 12. Hakupäivä xx.x.2018. <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe201803063764>.

## Metatiedot

**Nimeke:** Aurinkoenergian hyödyntäminen haakkeen kuivauksessa

**Tekijä:** Hilli Anu; Posio Mikko

**Aihe, asiasanat:** aurinkoenergia, ekoenergia, hake, maatilat, polttohake

**Tiivistelmä:** Merkittävä osa maatalouden käyttämästä energiasta on tuotettu uusiutuvilla energiamuodoilla. Puuta käytetään pääasiassa lämmöntuotantoon hake- ja pellettikattiloissa. Usein uusilla energiaratkaisuilla pyritään lisäämään maatilojen energiaomavaraisuutta. Myös olemassa olevien lämmön- tai sähköntuotannon järjestelmien tehokas hyödyntäminen lisää energiaomavaraisuutta. Tämän julkaisun tarkoitus on selvittää haakkeen kuivauksen mahdollisuutta aurinkoenergian perustuvalla käyttöveden lämmitysjärjestelmän lämmöntuotannolla.

Suomessa aurinko paistaa parhaiten huhtikuusta syyskuuhun. Maaliskuulta syyskuulle aurinkokeräimien tuottama lämpöenergia ei kulu kokonaan käyttöveden lämmittämiseen neljän hengen taloudessa. Lämpöenergiaylijäämää muodostui 3 368 kWh. Tällä lämpöenergiaylijäämällä haketta voitaisiin kuivata 36 i-m<sup>3</sup>, kun lämpöenergian kulutus haakkeen kuivauksessa on keskimäärin 93 kWh/i-m<sup>3</sup>.

Suurin hyöty haakkeen kuivauksesta saadaan sen energiasisällön nousun myötä. 20–25 %:n kosteuspitoisuuteen kuivatun haakkeen energiasisältö on 1,01 MWh/i-m<sup>3</sup>, kun tuoreen haakkeen energiasisältö on keskimäärin 0,54 MWh/i-m<sup>3</sup>. Kuivan haakkeen käyttö nostaa kattilan tehoa ja parantaa sen hyötysuhdetta. Lisäksi kuivan haakkeen käyttöä puoltaa puhtaampi palaminen.

**Julkaisija:** Oulun ammattikorkeakoulu, Oamk

**Aikamääre:** Julkaistu 2018-03-16

**Pysyvä osoite:** <http://urn.fi/urn:nbn:fi-fe201803063764>

**Kieli:** suomi

**Suhde:** <http://urn.fi/URN:ISSN:1798-2022>, ePooki - Oulun ammattikorkeakoulun tutkimus- ja kehitystyön julkaisut

**Oikeudet:** Julkaisu on tekijänoikeussäännösten alainen. Teosta voi lukea ja tulostaa henkilökohtaista käyttöä varten. Käyttö kaupallisiin tarkoituksiin on kielletty.