

Info-sheet

SECURE-BIO-SUPPLY

Nro 3: Huhtikuu 2025

Metsäbiomassan energiasisältö ja tiheys – osa 1

Tämä on osa 1 kahdesta tietolehtisestä. Osa 1 esittelee laskelmia metsäbiomassan energiasisällöstä ja tiheydestä.

Data ja laskentakaavat

Laskettaessa polttoaineen energiasisältöä, energiamäärää painon tai tilavuuden mukaan, **kosteuspitoisuus** ja **tiheys** ovat keskeisiä parametreja.

Kosteuspitoisuus

Kosteuspitoisuus on veden osuus kokonaismassasta kosteassa materiaalissa, ilmaistuna prosentteina.

$$M = \frac{m_f - m_t}{m_f}$$

jossa

M = materiaalin kosteuspitoisuus [%]

m_f = kostean materiaalin massa

m_t = kuivan materiaalin massa

Tuoretiheys, kiintokuutiometri (kg/m³):

Tuoretiheys on tuoreen puun massan ja tilavuuden suhde. Tuoretiheys ilmaistaan kiintokuutiometreinä esimerkiksi kuljetuskustannuksia laskettaessa. Puumateriaalin tuoretiheys riippuu puun kuiva-tuoretiheydestä ja

kosteuspitoisuudesta.

$$r_g = \frac{100 \cdot r_{0,g}}{100 - M}$$

jossa

r_g = materiaalin tuoretiheys [kg/m³]

$r_{0,g}$ = materiaalin kuiva-tuoretiheys [kg kuiva-aine (TS) /m³] (**Taulukko 1**)

Kuiva-tuoretiheys (kg TS/m³) on kuivan massan ja tuoreen tilavuuden osamäärä. Käytännössä puukappale kutistuu hieman kuivuessaan, mutta näissä laskelmissa kutistumisen oletetaan olevan merkityksetön.

Irtokuutiometri (i-m³):

Puun tilavuus voidaan ilmaista kiintokuutiometrinä (m³) tai irtokuutiometrinä (i-m³).

$$1 \text{ i} - \text{m}^3 = \frac{1 \text{ m}^3}{F}$$

jossa

F on yleisesti käytetty muuntokerroin irt-, pinotun tai muun todellisen kuutiometrin ja kiintokuutiometrin välillä. Hakkeen muuntokertoimena käytetään useimmiten 2,5 [i-m³/m³].

Irtotiheys (kg/i-m³)

Tuoreen puun tai hakkeen irtotiheys, eli massa



Euroopan unionin
osarahoittama



per tilavuus toimitustilassa ($i\text{-m}^3$), voidaan laskea seuraavalla yhtälöllä.

$$D_{puu, tuore} = \frac{r_{0,g}}{F} \cdot \frac{100}{100 - M}$$

Energiasisältö

Kuiva-aineen energiasisältö, tehollinen lämpöarvo $q_{net, dry}$ (MJ/kg_{TS}) on alempi lämpöarvo. Se on energiamäärä, joka vapautuu poltettaessa, kun polttoaineen veden höyrystämiseen kuluva energia menetetään. Höyrystettävän veden määrä riippuu polttoaineen vetypitoisuudesta, joka on noin 6% puupolttoaineissa. $q_{net, dry}$ on suhteellisen vakio tietyille puulajille, joten on harvoin tarvetta analysoida sitä jotta saadaan hyväksyttäviä arvioita toimituskostean metsäbiomassan energiapitoisuudesta. **Taulukko 1** esittää ehdotuksia lämpöarvoille.

Tehollinen lämpöarvo, $q_{net, ar}$ (MJ/kg)

Tehollinen lämpöarvo toimituskostean tai saapumistilassa olevalle polttoaineelle, $q_{net, ar}$, lasketaan kuiva-aineen lämpöarvon ja polttoaineen kosteuspitoisuuden avulla.

$$q_{net, ar} = q_{net, dry} \cdot \left(\frac{100 - M_{ar}}{100} \right) - 0,02443 \cdot M_{ar}$$

jossa

$q_{net, ar}$ = tehollinen lämpöarvo saapumistilassa, kostea polttoaine (MJ/kg)

$q_{net, dry}$ = tehollinen lämpöarvo kuiva-aineessa (MJ/kg)

M_{ar} = kosteuspitoisuus saapumistilassa (paino-%, kostea polttoaine)

0.02443 = höyrystymisen entalpian korjauskerroin vedelle (vakioaineessa 25 °C lämpötilassa,

MJ/kg per 1 paino-% kosteutta)

Saapumistilan tehollisen lämpöarvon muuntaminen yksiköstä MJ/kg yksikköön kWh/kg (tai MWh/t) saavutetaan jakamalla $q_{net, ar}$ luvulla 3,6.

Taulukko 1. Potentiaalisten energiapuiden kuiva-tuoretiheys ja vastaava lämpöarvo kuiva-aineessa ((Hakkila, 1978; Virkola, 1983), muokattu).

Energiapuun tyyppi	Puulaji	$r_{0,g}$ Kuiva-tuoretiheys kg TS/m^3	$q_{net, dry}$ Lämpöarvo, TS MJ/kg
Kuoreellinen runkopuu	mänty	390	19,26
	kuusi	380	19,12
	koivu	490	19,50
Harvennuspuu	mänty	385	19,59
	kuusi	400	19,19
	koivu	475	19,04
Hakkuutähteet neulasittana	mänty	405	20,36
	kuusi	465	19,70
	koivu	500	19,70
Hakkuutähteet neulasineen kuori	mänty	395	20,54
	kuusi	425	19,82
Kannot ja juuret	mänty	305	19,40
	kuusi	375	19,80
	koivu	515	22,30
	mänty	475	19,53
	kuusi	435	19,07

Osassa 2 näytetään kaavioita, joita voi saada näistä laskelmista.

Lue lisää:

Hakkila, P., 1978. Pienpuun korjuu polttoaineeksi. Folia Forestalia 342.

Virkola, N.-E., 1983. Puumassan valmistus, 2nd ed. Teknillisten tieteiden akatemia.

Tekijät:

Margareta Björklund-Sönkiaho

Energiatekniikan professori ja hankejohtaja, Åbo Akademi

Sami Lieskoski

Väitöskirjatutkija ja projekti-insinööri, Åbo Akademi

Kiinteiden biopolttoaineiden pitkän aikavälin varastoinnin kehittäminen **(SECURE-BIO-SUPPLY)** kestävän energia-siirtymän mahdollistamiseksi



Ota yhteyttä:

abo.fi/secure-bio-supply

Hanketiedot:

Aika: 1.3.2024–28.2.2026

Hankkeen omistaja: Åbo Akademi

Hankepartnerit: Yrkeshögskolan Novia, Metsäkeskus

Rahoittaja: EU-FRO Oikeudenmukaisen siirtymän rahasto (Pohjanmaan FRO (JTF) haku 2/2023.) Pohjanmaan liitto.

SECURE-BIO-SUPPLY – hankkeen tavoitteena on analysoida, mitä haasteita ja mahdollisuuksia muutos polttoaineiden pitkäaikaisvarastoinnissa voi luoda Pohjanmaalla.



**Euroopan unionin
osarahoittama**

