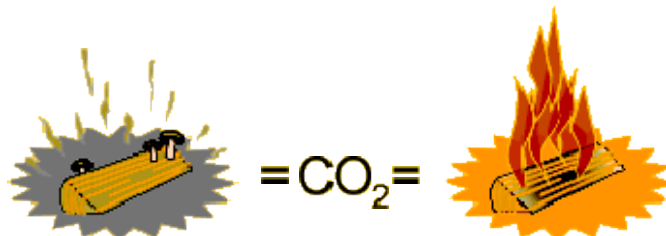


Tämä raportin tiedot ovat kokonaan peräisin Carl Irjalan Internet-tulisijaoppaasta (<http://www.tulisijaopas.com/polttopuu.htm>) lukuun ottamatta kuvaa 1.

## Puu polttoaineena

Puulämmitys on luonnollinen lämmitysmuoto. Poltettaessa puusta vapautuu luonnon kiertokulkuun sama määrä hiilidioksidia kuin lahotessakin



Kuva 1. Hiilidioksidipäästöt puun palaessa ovat yhtä suuret kuin lahotessa (Motiva 2007)

Varhaisimmasta ajoista saakka ihmiset ovat käyttäneet puuta polttoaineena. Syynä on ollut se, että puuta on helppo käsitellä. Sen keräämiseen ei tarvita kalliita välineitä ja pitkälle kehitettyä tekniikkaa. Jollei puita oteta metsistä liikaa, puuston luontainen uudistuminen säilyttää puuvarat entisellään. Parhaassa tapauksessa puu on ilmaista ja sitä saa jo lähimmästä puusta.

Puu on, kuten kaikki eloperäinen, rakennettu elävistä soluista, jotka muodostavat erilaisia kudoksia. Puunrunon ja oksien tärkein tehtävä on kuljettaa vettä sekä ravinteita juuresta kruunuun. Puu on eräs kemiallinen rakenne, joka sisältää pääosin selluloosaa, hemiselluloosaa, ligniiniä, asetyyliä, pieniä määriä ns. ekstraktiivisia aineita sekä mineraaleja.

Kemiallinen pääryhmä	Paino-osuus %		
	Mänty	Kuusi	Koivu
Selluloosa	43	41	38
Hemiselluloosa	20	24	32
Ligniini	28	28	20
Ekstraktiivisia aineita	5	3	3
Asetyyli	1	1	4
Muut	3	3	3
Alkuaineet			
Typpi	Vety	Happi	Hiili
1 %	6 %	43 %	50 %

Fysikaalisista ominaisuuksista tärkeimpiä ovat: Tiheys, kosteus, paino ja miten nopeasti se reagoi kosteusolosuhdemuutoksiin esim. kutistumalla tai paisumalla. Puun tiheys ja kosteuspitoisuus kiinnostaa puulämmittäjiä kaikkein eniten. Märkä puu palaa huonosti, ja mitä tiheämpi puulaji on, sitä enemmän puuaineksen ostaja saa kuutiometreissä.

Puulaji / Puun osa	Lämpöarvo W <sub>a</sub> (MJ / kg KT)	Kuivatiheys S <sub>KT</sub> (kg KT / m <sup>3</sup> f)
<b>Mänty</b>		
Puhdas puu	18,71 - 19,29	410
Kaarna	18,38 - 20,72	300
Oksat	19,39 - 20,50	370
Neulaset	21,05 - 21,07	300
Latvat	18,84	-
Kokonainen puu	19,60 - 20,40	385
Kannot	19,20 - 19,60	450
<b>Kuusi</b>		
Puhdas puu	17,96 - 19,02	400
Kaarna	17,83 - 19,83	340
Oksat	19,80 - 20,00	300
Latvat	18,63 - 19,80	-
Kokonainen puu	19,20 - 19,60	400
Kannot	18,95 - 19,05	410
<b>Koivu</b>		
Puhdas puu	17,41 - 19,13	490
Nila	17,12 - 18,42	550
Tuohi	28,38 - 29,30	550
Oksat	18,84 - 19,80	530
Kokonainen puu	19,10 - 19,60	475
Kannot		510

Markkinoilla on myöskin jalostettuja biopolttoaineita kuten esimerkiksi puujauhe, puupelletti ja briketti.

## **PUUJAUHEET**

Puujauheet ovat erilaatuisia hienojauhettuja puuaineksia, jotka käsitellään suurin piirtein samalla tavalla kuin kevyt polttoöljy. Valmistusprosessin aikana jauho kuivataan kymmenen prosentin kosteuspitoisuuteen. Partikkelit ovat suuruusluokkaa 0,2 - 1,0 millimetriä. Mitä enemmän hienoaineksia sitä vakaampi liekki. Polttoaineen tiheys on luokkaa 200 kg / m<sup>3</sup>. Puujauho on varsin hyvä vaihtoehto lämpöyrittäjille, jotka haluavat siirtyä öljyn käytöstä biopolttoaineeseen.

## **PUPELLETTI**

Puupelletti on "lyhyt sylinterinmuotoinen kappale polttamista varten, puristettu koneellisesti muotoonsa hienojakoisesta puuaineksesta, yleensä ilman sidosaineita". Kappaleen leveys tai halkaisija on pienempi kuin 25 mm. Yleisin koko on 8 – 12 mm. Pinta on tiivis ja kiiltävä ja pituus vaihtelee 5 – 20 mm välillä. Raaka-aineen laatu vaikuttaa kappaleen pituuteen.

Pelletin raaka-aineena voi käyttää mm. haketta, kutterinlastua tai puu- ja metsäteollisuudesta saatavaa sahajauhoa. Maatalouden peltojätettä, turvetta sekä paperiteollisuuden sivutuotteita (ligniini) on myös käytetty pellettien valmistuksessa. Pellettitehdas ostaa raaka-aineensa yleensä muualta. Sahalaitokset, höyläämöt, puulevyteollisuus ja huonekalutehtaat ovat tyypillisiä ostopaikkoja.

Massa puristetaan matriisissa, jossa raaka-aine saa muotonsa. Matriisi on litteä tai pyöreän muotoinen. Noin kolme tuhatta kilogrammaa tiivistetään matriisin kautta tunnissa. Puuaineksen lämpötila nousee, ja puun omat sidosaineet sulavat ja pitävät pelletin koossa. Kosteusprosentti on tässä vaiheessa laskenut 5 %:iin.



Tuotannosta poistettu matriisi



Ölly- ja pellettikattila

Tilavuuspaino 550 – 700 kg / m<sup>3</sup>  
Tehollinen lämpöarvo 17,0 – 17,9 MJ / kg polttoaine (4,7 – 5,0 MWh / t)  
Kosteusprosentti 6 – 10  
Tuhkapitoisuus 0,3 – 0,8 % painosta (Ligniinin käytöstä + 0,1 – 0,2 %)  
Rikkipitoisuus 0,01 - 0,02 % kuivapainosta  
Sisältää typpeä noin 0,05 % kuivapainosta

## **BRIKETIT**

Brikitit ovat myöskin puristetuote puupellettien tavoin mutta halkaisija on suurempi. Yleisin halkaisija on 50 - 75 mm. Brikitit valmistetaan siten, että karkea puuaines puristetaan lievästi kartiomuotoisen sylinterin kautta. Näin saavutetaan kuivatiheys luokkaa 1,2 kg / litra. Poltossa brikketti menettää muotonsa hyvin nopeasti, sitävastoin puupelletti pitää muotonsa suurimman osa palon ajasta.

## **MITÄ OVAT JALOSTETTUJEN BIOPOLTTOAINEIDEN EDUT ESIM. TAVALLISEEN KOIVUPUUKLAPIIN VERRATTUNA?**

- Ainetiheyden takia alhaiset kuljetuskustannukset.
- Korkea ja tasalaatuinen energiapitoisuus.
- Helpompi varastoida, tarvitsee vähemmän tilaa.
- Vanhat öljykattilat on mahdollista muuttaa biokattiloiksi.
- Syntyy vähemmän tuhkaa per tuotettu energiamäärä.
- Lämmityslaitteen hyötysuhde paranee.
- Polttoaineen yleiset kosteus ja homehtumisongelmat poistuvat.
- Vähemmän näkyviä savukaasuja alhaisen kosteusprosentin vuoksi.

## **MITÄ OVAT JALOSTETTUJEN BIOPOLTTOAINEIDEN HAITTAPUOLET TAVALLISEEN KOIVUPUUKLAPIIN VERRATTUNA?**

- Korkea hinta.
- Vaikeasti saatavilla.
- Olematon jakeluverkko.
- Polttoaine murskaantuu helposti.
- Käsittelyssä muodostuu paljon pölyä.

- Polttoaine on vaikea sytyttää.
- Varsinkin puupelletin kohdalla on tulipalo- tai räjähdysriski oleellinen.

### ERI POLTTOAINEIDEN LÄMPÖARVOT

Polttoaine	Kosteus %	Nettitiheys	Tehollinen lämpöarvo		Tuhkapitoisuus
		t / m <sup>3</sup>	MWh / t	MWh / m <sup>3</sup>	%
Brikitit	12 - 15	0,5 - 0,7	4,5 - 5,0	2,2 - 3,5	0,5 - 5,0
Pelletti	5 - 15	0,5 - 0,7	4,5 - 5,0	2,2 - 3,5	0,5 - 5,0
Puu jauho	4 - 6	0,2 - 0,3	4,8 - 5,2	1,0 - 1,3	0,2 - 0,5
Hake	30 - 50	0,2 - 0,4	2,0 - 4,0	0,4 - 1,6	0,5 - 2,0
Turve	30 - 40	0,3 - 0,4	3,0 - 3,5	0,9 - 1,4	2,0 - 8,0
Kivihiihi	5 - 15	0,7 - 0,9	7,0 - 9,0	5,0 - 8,0	7,0 - 15,0
Öljy	-	0,83	11,9	9,9	< 0,1
Maakaasu	-	0,7 kg / m <sup>3</sup>	10 kWh / m <sup>3</sup>		

### PALAMINEN

Puun palamisprosessi voidaan itse asiassa jakaa neljään vaiheeseen:

1. Polttoaine kuivuu ja lämpöä kehittyy. Tämä on polton alin vaihe eli palamisvyöhyke.
2. Toisessa vaiheessa kiinteä aine hajoaa, ja muodostuu runsaasti erilaisia kaasuja. Tätä kutsutaan pyrolyysiksi.
3. Seuraavassa vaiheessa suurin osa kaasuista palaa, ja reaktio muodostaa paljon lämpöä. Tämä on kaasuuntumisvyöhyke.
4. Neljännessä vaiheessa jäljellä oleva hiili palaa ja tässäkin vaiheessa, eli loppuvyöhykkeessä, muodostuu lämpöä.

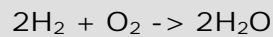
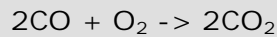
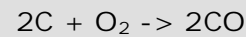
Kuten havaitset, puu ei itse pala vaan eri lämpötiloissa muodostuneet kaasut, joita kehittyy runsaimmin pyrolyysivaiheessa. Se, mikä tekee palamisen niin monimutkaiseksi ja vaikeasti hallitseväksi on se, että kaikki vaiheet tapahtuvat samanaikaisesti mutta eri paikassa tulisijassa.

### POLTTOAINEEN ENERGIAPITOISUUS

Voidaan sanoa, että polttopuun energiapitoisuus on pohjimmiltaan kemiallisia yhdisteitä. Fotosynteesi muodostaa isoja molekyylejä mm. selluloosaa pienimmästä molekyyleistä, joita on vedessä ja hiilidioksidissa. Auringon energia, joka on fotosynteesin vaikuttava voima, muuttuu kemialliseksi energiaksi isoissa molekyyliden atomeissa olevissa sidoksissa. Eli polttopuu ei ole mitään muuta kuin muunneltua ja kemiallisesti varastoitua aurinkoenergiaa. Polttopuun palaessa tämä kemiallinen energia, joka muodostui fotosynteesin aikana muuttuu lämmöksi. Suuria molekyylejä hajoaa alkuperäisiin muotoihin vedessä ja hiilidioksidissa. Myös muut tekijät täyttävät ratkaisevan roolin palon laadussa:

1. Polttoaineen laatu. Tarkoitan tässä yhteydessä kosteuspitoisuutta sekä kokoa.
2. Hapen saanti, joka käsittää syöttötavan ja tarkistustiheyden.
3. Lämpötilat. Se, miten paljon aikaa menee korkean polttolämpötilan saavuttamiseksi ja sen kesto.
4. Miten hyvin happi ja polttoaine sekoittuvat keskenään vaikuttavat ratkaisevasti palon laatuun.

Puu muodostuu suurimmaksi osaksi selluloosasta ja ligniinistä. Nämä ovat monimutkaisia molekyylejä, jotka pääosin sisältävät hiiltä pitkissä ketjussa hapen ja vedyn kanssa. Palon aikana näitä ketjuja hajoaa vaiheittain ja muodostaa muita väliaikaisia kemiallisia aineita. Tärkeimmät reaktiot ovat:



C	Hiili
O <sub>2</sub>	Happi
CO	Hiilimonoksidi (Hiilioksidi)
CO <sub>2</sub>	Hiilidioksidi
H <sub>2</sub>	Vety

Näistä reaktiokaavoista ilmenee, että tarvitaan runsaasti happea ylläpitämään tehokasta polttoa. Liian alhaisen hapensyötön seurauksena on runsas myrkyllinen hiilimonoksidin muodostuminen. Eli täydelliset olosuhteet palon aikana ovat edellytys tehokkaaseen palamiseen.

On sanottu, että tehokas palo vaatii 3 T:tä, Time (Aika), Temperature (Lämpötila) and Turbulence (Pyörteen muodostus). Juuri näiden 3 T:n kohdalla ovat erityisen tärkeää, että ne otetaan huomioon tulisijan suunnittelussa.

## AIKA JA LÄMPÖTILAT

Yleisin ongelma markkinoilla olevissa laitteissa on puutteellinen tulipesän, palotilan ja savukanavien geometrinen suunnittelu. Seurauksena lämpötila muodostuu usein liian alhaiseksi tai liian korkeaksi palon aikana. Savukaasut kulkevat myös hyvin nopeasti tulisijan läpi. Myös ahtaat palotilat aiheuttavat, että kemialliselle reaktiolle ei ole riittävästi tilaa ja poltto jää tällöin vajavaiseksi.

Eräs toinen tapa kuvailla tämä epäkohta on, että kaasujen oikea lämpötilaa ei ole nykylaitteilla mahdollista pitää yllä tarpeeksi kauan. Jokainen vaihe palon aikana vaatii nimittäin oman aikansa niin, että voi syntyä täydellinen reaktio. Lämpötilat:

- Puu kuivuu myös matalissa lämpötiloissa. Vesi haihtuu (80 - 320° C).
- Puu hajoaa ja kaasuuntuu (190 - 600° C).
- Kaasut palavat (510 - 950° C).
- Korkeassa lämpötilassa muodostuu haitallisia typpioksideja (1000° C).
- Hiilloksen täydellinen polttaminen vaatii korkean lämpötilan (800 - 1000° C).
- Lämpötila pysyy matalana kunnes palaminen tapahtuu rajusti (100 - 500° C).
- Ihanteellinen lämpötila on 820 - 980° C. Pyrolyysin kaikki kaasut palavat tehokkaasti eikä typpioksideja pääse muodostumaan.

## ILMANSAANTI

Ilmansaanti täytyy olla niin suuri, että happi riittää muuttamaan polttoaineen hiilidioksidiksi ja vedeksi. Pienin teoreettinen ilmamäärä 4,7 m<sup>3</sup> (noin 6 kg) / kg kuivaa puuta.

Käytännössä tarvittava ilmamäärä on paljon suurempi koska esim. 1 kg ilmakuivattuja puita sisältää 250 grammaa vettä. Ja usein kotitaloudessa paljon enemmän. Ylimääräinen ilmamäärä tarvitaan joten saataisiin aikaan täydellinen palaminen. Tulisijamallista riippuen määrä liikkuu jossain 50 ja 100% välillä. Tärkeintä on, että ylimääräinen ilmantarve on niin pieni kuin on mahdollista koska

mitä enemmän lämmitettyä ilmaa virtaa rakenteen läpi sitä enemmän lämpöenergiaa menee harakoille.

Ilmansaanti ja kosteus vaikuttavat luonnollisesti myös päästöihin. Ruotsissa on tehty 1980-luvulle polttokokeita kuivilla puilla (kosteuspitoisuus 19%) sekä märillä puilla (kosteuspitoisuus 41%). Kostealla polttoaineella savukaasujen koostumus muuttui seuraavan mukaan:

- CO-pitoisuus kasvoi 3-kertaisesti.
- Tervan määrä kasvoi keskimäärin 10-kertaisesti
- VOC kasvoi 10-kertaisesti.
- PAH kasvoi 30-kertaisesti.

## SAVUKAASUJEN AINEOSAT

Suuri määrä kemiallisia yhdisteitä muodostuu kaasuuntumis- ja palamisprosessin aikana koska polttoaine palaa harvoin, tai ehkä voi jopa sanoa ei koskaan loppuun saakka.

**Hiilivedyt** on nimitys joka soveltuu suureen ryhmään orgaanisia aineita. Mainittakoon tässä yhteydessä metaani, etanoli ja bentseeni. Hiilivety päästöt voivat reagoida auringonvalon vaikutuksesta typpioksidien kanssa. Seurauksena muodostuu ns. fotokemiallisia oksideja sekä otsonia.

Terva on raskaampien hiilivetyjen yleisnimitys. Ihmisille vaarallisin ovat polyaromaattiset hiilivedyt eli PAH. PAHia muodostuu, jos ilmansaanti ovat olleet palon aikana liian niukka. Grillimakkarassa musta "PAH-kuori" maistuu varsinkin oluen kanssa erittäin hyvää. PAHia muodostuu kun poltetaan eloperäisiä materiaaleja kuten puuta tai tupakkaa. Ne, jotka polttavat tupakkaa hengittävät keuhkoihinsa suuria määriä PAH-yhdisteitä ja juuri nämä aiheuttavat syöpää tupakoitsijalle.

**Typpioksidit** ( $NO_x$ ) ovat haitallisia sekä ihmisille että luonnolle. Laittevalmistajien tavoite vähentää hiilidioksidi- ja muita raskaita päästöjä on aiheuttanut typpioksidipäästöjen lisääntymistä. Ja kuten totesimme taulukon avulla typpioksidit muodostuvat korkeissa lämpötiloissa.

**Hiilidioksidi (Hiilioksidi)** muodostuu hengityksestä ja kasvillisuus tarvitsee sitä. Hiilidioksidi vahvistaa kuitenkin kasvihuoneilmiötä. Puulämmitys ei kuitenkaan aiheuta mitään nettolisäystä, koska se kuuluu luonnolliseen kiertokulkuun. Jos takkatuli palaa epätäydellisesti päästöt ovat hiilioksidin muodossa, joka on myrkyllinen kaasu.

**Häkä (CO)** on kaasu, jota syntyy epätäydellisen palamisen yhteydessä. Häkä on väritöntä, hajutonta ja mautonta. Miten se tappaa? Veren punasolut kuljettavat elintärkeää happea elimistön kudoksiin. Hänen myrkyllisyys perustuu siihen, että punasolut sitovat itseensä herkemmin sitä kuin happea. Myrkytys syntyy, kun elimistö alkaa kärsiä hapenpuutteesta. Liian pitkäaikainen altistuminen vähäisellekin häkämäärälle voi vahingoittaa aivoja pysyvästi.

Oireisiin kuuluvat päänsärky, uneliaisuus, voimattomuus, huimaus, pahoinvointi ja tajuttomuus, ja vakavissa tapauksissa seurauksena voi olla heikko pulssi, kooma tai tukehtuminen. Äkillisessä häkämyrkytyksessä on erittäin tärkeää antaa uhrille ripeästi happea ja tekohengitystä, jottei hän menehdy aivojen hapenpuutteeseen. Nykyään on saatavilla erityyppisiä kotiin asennettavia häkävaroittimia.

## PUUENERGIAN TULEVAISUUDESTA

- Puupolttoaineiden jalostus ja polttotekniikka kehittyy.
- Puupolttoaineiden kysyntä kasvaa.
- Puusta tulee pulaa ja hinta nousee.
- Polttotekniikka kehittyy päästömääräysten tiukentuessa - uusille teknisille ratkaisuille tulee kysyntää.
- Puupolttoaineiden ja muun biomassan yhteiskäyttö kehittyy.

Metsän uudistuminen on hidasta. Voi kestää jopa 25 vuotta, ennen kuin metsän kasvussa päästään siihen vaiheeseen, että sen kasvukyky korvaa sen käytön polttopuiksi. Se tietää myös sitä, että istutuksilla ei kyetä tyydyttämään tulevaa puunkysyntää.

Metsityshankkeita on meneillään monissa maissa. Pystytäänkö niillä tyydyttämään puun kysyntä tulevaisuudessa? Metsänhoidon asiantuntijoiden vastaus on kieltävä. Puita hakataan paljon nopeammin kuin metsät kykenevät uudistumaan. Eräs ympäristönsuojelukysymyksiin erikoistuneen Worldwatch-instituutin tutkija kirjoittaa: "Monissa maissa ei valitettavasti ole poliittista tahtoa eikä tunneta vastuuta luonnonvaroista, jotka molemmat ovat välttämättömiä, jotta metsien hävittämisen myötävaikutuksella syntynyt noidankehä saataisiin rikotuksi. Tällä hetkellä jokaista paljaaksi hakattua kymmentä hehtaaria kohden istutetaan vain hehtaarin verran uutta metsää."

Kiinnostus biopolttoaineiden käyttöön on siis lisääntynyt merkittävästi. Biopolttoaineet ovat kotimaisia uusiutuvia energialähteitä, joille ennustetaan upeaa tulevaisuutta. Biopolttoaineiden käyttöä lisäämällä kasvihuoneilmion vaikutuksen odotetaan vastaavasti hidastuvan. Uusiutuvien polttoaineiden käyttöön liittyy kuitenkin monia paikallisia haittoja, joista asiantuntijat esittävät eri näkökantoja. On kuitenkin selvä, että bioenergian käytöstä koituu myönteisiä vaikutuksia ympäristölle.

Tämän taustan valossa olen neljän vuoden aikana kehittänyt uuden mittausmenetelmän, joka poikkeaa huomattavasti eri maiden standardeissa mainituista menetelmistä. Menetelmä ottaa pääasiallisesti huomioon kuluttajien tarpeita ja ympäristövaikutuksia. Uusi malliratkaisu on laboratoriotesteissä osoittautunut tehokkaaksi apuvälineeksi yrityksille, jotka pyrkivät kehittämään omia tuotteitaan ympäristöystävällisemmiksi.

**Lähteet:** Carl Irjalan Internet tulisijaopas (<http://www.tulisijaopas.com/polttopuu.htm>) sekä Motivan www-sivut ([www.motiva.fi](http://www.motiva.fi))