

## Calculul puterii calorice a biomasei utilizate ca și combustibil

Combustibilul utilizat într-o instalație de cogenerare este biomasa solidă, reprezentată preponderent de scoartă (coajă) de rășinoase (molid, pin, etc.). Construcția cazanelor permite funcționarea și cu alte categorii de deșeuri lemnoase: rumeguș, resturi de lemn, etc.

În cazul instalației analizate, combustibilul predominant este reprezentat de scoartă (coajă) de rășinoase, iar dintre aceste rășinoase predomină molidul (cca. 80% participare masică). Coaja reprezintă min. 70% (participare masică) și este utilizată în amestec cu rumeguș și cioplitură, proporția acestora fiind de maxim 30% (participare masică).

Pentru determinarea puterii calorice inferioare a biomasei solide, se determină analiza chimică a combustibilului, care exprimă participarea masică a elementelor care formează masa combustibilă (în cazul combustibililor solizi: carbon, hidrogen, sulf), dar și a celor care formează balastul (în cazul combustibililor solizi: azot, umiditate, etc.).

Unii combustibili conțin în structură și oxigen, care va participa la procesul de ardere ca și comburant.

Puterea calorică inferioară ( $H_i$ ) pentru coaja de molid variază în funcție de conținutul de umiditate și în funcție de compoziția chimică elementară a acestuia între limitele:

$$H_i = 2.988 \dots 16.564 \text{ MJ/kg}$$

Compoziția elementară pentru combustibilul solid este prezentată într-un tabel de tipul celui alăturat.

Compoziția elementară pentru biomasă solidă	
Elementul chimic	Participația masică [%]
C	c
H	h
O	o
N	n
A	a
W	w
Total	1 (100%)

unde:

- c - participația masică a carbonului
- h - participația masică a hidrogenului
- o - participația masică a oxigenului
- n - participația masică a azotului
- a - participația masică a cenușei
- w - participația masică a apei (umiditate)

Puterea calorică inferioară a combustibilului se poate determina cu relația:

$$H_i = 33900c + 120120 \left( h - \frac{o}{8} \right) + 9250s - 2510w \left[ \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Valoarea obținută din calcul trebuie se încadrează între limitele recomandate de literatura de specialitate.

O alternativă la determinarea puterii calorice pe baza compoziției elementare, este reprezentată de determinarea experimentală a puterii calorice, pentru diferite valori ale umidității totale a biomasei. Informațiile prezentate pe aceste buletine de analiză sunt prezentate alăturat.

Descrierea și identificarea probei: *Biomasă alimentare cazan*

Probă prelevată de: *Beneficiar la data de 07.12.2011*

Data primirii probei: *08.12.2011*

Data executării analizelor: *09.12 – 13.12.2011*

Nr. crt.	Caracteristici tehnice calitative	UM	Valori determinate	Metoda de analiză
1	Umiditate totală	%	48.1	SR ISO 5264/1995
	...			
8	Puterea calorică inferioară raportată la proba inițială	kcal/kg	2006	SR ISO 1928/1994

Beneficiarul efectuează în mod sistematic analize ale probelor de combustibil, pentru determinarea experimentală a puterii calorice a combustibilului.

Pentru realizarea prezentului studiu, beneficiarul a pus la dispoziție măsuratori din care rezultă cantitatea specifică de apă conținută de biomasă, precum și puterea calorică a acesteia, pentru o serie de probe prelevate în cursul anului 2011.

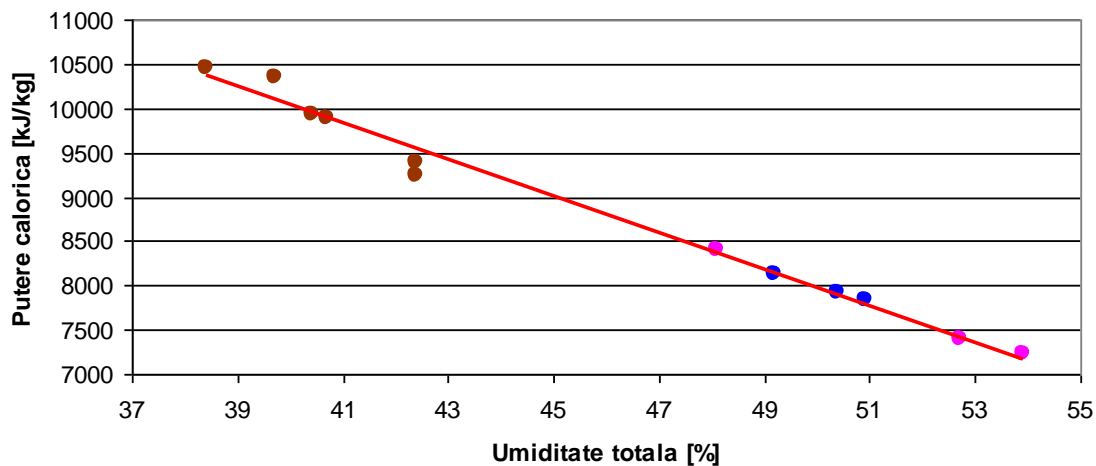
În tabelul alăturat sunt prezentate puterile calorice și umiditățile biomasei, preluate din buletinele de analiză puse la dispoziție de beneficiar. Determinările au fost efectuate de un laborator autorizat.

Valori sintetice referitoare la calitatea biomasei, preluate din buletinele de măsurători

Nr. crt.	Data probei	Date identificare probă	Umiditate totală [%]	Putere calorică	
				kcal/kg	kJ/kg
1	24.08.2011	Biomasă cazan 1 proba 1	40.4	2375	9942
2		Biomasă cazan 1 proba 2	42.4	2242	9385
3		Biomasă cazan 2 proba 1	40.7	2363	9892
4		Biomasă cazan 2 proba 2	42.4	2206	9234
5		Biomasă cazan 3 proba 1	39.7	2475	10360
6		Biomasă cazan 3 proba 2	38.4	2499	10461
7	07.11.2011	Biomasă	50.9	1872	7836
8		Biomasă I	50.4	1894	7928
9		Biomasă II	49.2	1941	8125
10	07.12.2011	Biomasă alimentare	48.1	2006	8397
11		Biomasă I	53.9	1727	7229
12		Biomasă II	52.7	1766	7392

Se observă ca valorile puterii calorice determinate experimental, se încadrează între valorile recomandate de literatură.

Puterea calorică a biomasei solide utilizate de beneficiar ca și combustibil, este puternic influențată de umiditate, așa cum se observă în figura alăturată.



Dependența puterii calorice a combustibilului în funcție de umiditate, pentru biomasa utilizată de beneficiar

Domeniul de variație a umidității combustibilului, pentru care au fost reprezentate pe diagramă valori ale puterii calorice a combustibilului, este între (38...54)%, fiind relativ apropiat de domeniul maxim de variație a umidității combustibilului, acceptat pentru o funcționare normală a cazanelor și anume de (30...67)%.

Se menționează că procentele în care este exprimată umiditatea se referă la participația masică. Astfel unei umidități de 10% în corespunde 0.1 kg apă / kg combustibil.

Pe diagramă au fost reprezentate prin puncte de culoare maro, puterile calorice determinate pentru probele recoltate în luna august 2011, prin puncte de culoare albastră, puterile calorice determinate pentru probele recoltate în luna noiembrie 2011 și prin puncte de culoare roz, puterile calorice determinate pentru probele recoltate în luna decembrie 2011.

Pe diagramă a fost reprezentată și dreapta de aproximare a dependenței puterii calorice a biomasei, de umiditatea totală.

Pe figură se observă că dependența puterii calorice a biomasei cu umiditatea este aproximativ liniară.

Pe lângă umiditate, puterea calorică este influențată și de alți factori, dintre care cel mai important este compoziția chimică, respectiv natura lemnului care reprezintă și natura biomasei.

Pentru valorile puterii calorice a biomasei, furnizate de beneficiar, prin buletinele de măsurători, a fost trasată pe figură, o dreaptă de aproximare (dreapta de culoare portocalie).

Ecuția de aproximare liniară a puterii calorice inferioare ( $H_i$  [kJ/kg]) în funcție de umiditate ( $x$  [%]), a fost determinată cu un grad de încredere de 95% și este:

$$H_i = 18275 - 205.96 \cdot x \text{ [kJ/kg]}$$

Pe intervalul de variație a umidității considerat: (38...54)%, eroarea maximă obținută prin calculul puterii calorice cu ajutorul ecuației de aproximare, față de valorile măsurate este de 3.3% și se încadrează în limitele uzuale pentru astfel de aplicații.

Având în vedere că pe lângă umiditate, puterea calorică este influențată și de natura biomasei, se poate considera că erorile pentru puterea calorică, determinată prin ecuația de aproximare care descrie dependența exclusivă de umiditate, sunt normale și acceptabile.

A fost efectuată și o analiză prin metode statistice (regresie), a gradului în care ecuația de interpolare, determinată numai în funcție de umiditate, descrie corect modul de variație a puterii calorice, tocmai având în vedere că aceasta depinde și de alți factori, între care cel mai important este natura combustibilului, care determină compoziția chimică a acestuia. Fundamentele teoretice ale metodei de analiză aplicate, sunt prezentate în literatura științifică.

Analiza prin regresie a fost realizată cu ajutorul programului Excel, iar rezultatele obținute sunt prezentate alăturat.

### Rezultatele analizei prin regresie

#### SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.993103
R Square	0.986254
Adjusted R Square	0.984879
Standard Error	143.3336
Observations	12

#### ANOVA

	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	1	14740377	14740377	717.4845	1.21E-10
Residual	10	205445.2	20544.52		
Total	11	14945822			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	18274.66	354.3315	51.57504	1.82E-13	17485.16	19064.16
X Variable 1	-205.961	7.689161	-26.7859	1.21E-10	-223.094	-188.829

Coeficienții ecuației de aproximare, denumită acum ecuație de regresie, sunt indicați în câmpurile marcate cu culoare galbenă. Valoarea „*Intercept*” reprezintă valoarea termenului liber al ecuației, iar valoarea „*X Variable 1*” reprezintă coeficientul termenului „*X*”, care în acest caz este umiditatea.

Intensitatea legăturii dintre variabila „*X*” (adică umiditate) și variabila calculată „*Y*” (adică puterea calorică), este indicată de termenul afișat în câmpul de culoare gri „*Adjusted R Square*”, notat și ( $\bar{R}^2$ ), denumit coeficient de determinare ajustat.

Valoarea  $\bar{R}^2 = 0.984879 \approx 0.98$  semnifică faptul că 98% din variația puterii calorice „*Y*” este datorată umidității „*X*”. Diferența până la 100%, adică  $\approx 2\%$  este reprezentată de posibile erori de experiment și de contribuția altor factori (alte variabile necesare în model), dintre care cel mai important se estimează că este compoziția chimică a biomasei.

Astfel se poate concluziona că ecuația de aproximare (sau regresie), determinată cu un grad de încredere de 95%, descrie suficient de corect variația puterii calorice cu umiditatea, în contextul în care 98% din variația puterii calorice, este determinată tocmai de umiditate. Luarea în considerare a altor factori de influență asupra puterii calorice și reducerea erorilor de experiment, ar putea îmbunătăți precizia ecuației de aproximare cu maxim 2%.

Eventuala creștere a preciziei ecuației de aproximare (sau regresie), poate fi realizată pe baza unui număr mai mare de măsurători.

Având în vedere că rezultatele analizei prin regresie furnizează și valorile minime și maxime ale interceptului și ale coeficientului care multiplică umiditatea totală, ecuația de regresie, poate fi scrisă sub forma:

$$H_i = 18274.66^{\pm 789.5} - 205.96 \Gamma^{\pm 17.13} \cdot x \text{ [kJ/kg]}$$

Ecuația de aproximare (sau regresie) determinată și prezentată, este valabilă numai pentru biomasa utilizată de beneficiar, reprezentând cca. 80% coajă de conifere (molid + pin din care cca. 80% molid), în amestec cu rumeguș și cioplitură, în proporție de cca. 20%.

Pentru puterea calorică a biomasei ( $H_{im}$ ), corespunzătoare valorii medii de 45.8%  $\approx$  46% a umidității acesteia în lunile august, noiembrie și decembrie 2011, calculată cu ecuația de interpolare (sau regresie), se obține valoarea:

$$H_{im} = 8849 \text{ kJ/kg}$$

Aceeași valoare a puterii calorice se obține și prin calcularea valorii medii a puterilor calorice determinate experimental, la diverse umidități.

Această valoare poate fi utilizată în bilanțuri termoenergetice.